

# 南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト

## 平成26年度 成果報告書

平成27年5月

文部科学省 研究開発局

独立行政法人 海洋研究開発機構

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究  
委託事業による委託業務として、独立行政法人  
海洋研究開発機構が実施した平成26年度「南海  
トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の成果  
を取りまとめたものです。

#### 実施機関

独立行政法人海洋研究開発機構  
国立大学法人東北大学  
独立行政法人防災科学技術研究所  
国立大学法人名古屋大学  
国立大学法人京都大学  
国立大学法人東京大学  
国立大学法人東京大学地震研究所  
独立行政法人産業技術総合研究所

無断複製等禁止

# 1. 東日本大震災教訓活用研究



**震災教訓文献データベース**  
-論文・報告書がしめす震災教訓の検索システム-

---

🏠 トップページ
🔍 調べる
ℹ️ 震災教訓文献データベースとは
🔗 関連リンク

---

🔍 検索

フリーキーワードを入力して検索するか、下部のタグクラウドからキーワードを選択してください

作成者(論文:筆頭著者, 報告書:発行機関)	区分	雑誌名	学会名	災害名
環境省 饗庭 伸 稲垣文彦 竹葉 勝重 越山 健治 河本 尋子 井ノ 口 宗成 村田明 子 田村 圭子 新 藤 淳 金子由芳 重川 希志依 古 屋 貴司 田中正 人 河村 正美 書	論文 調査報告 書	消費者アンケート調査結果 地域安全学会論文集 復興 日本地震工学会論文集 日本災害復興学会論文集 災害情報 自然災害科学 消費者アンケート調査 (1次調査) (付録) (表紙)	地域安全学会 日本災害復興学会 地震工学会 日本災害情報学会 自然災害学会	東日本大震災 阪神・淡路大震災 新潟県中越地震 新潟県中越沖地震 新潟県中越・中越沖地震 東海・東南海地震 阪神淡路大震災 昭和南海地震 東南海地震 南海地震

図1 「震災教訓文献データベース」のトップ画面

## 2. 地震・津波被害予測研究

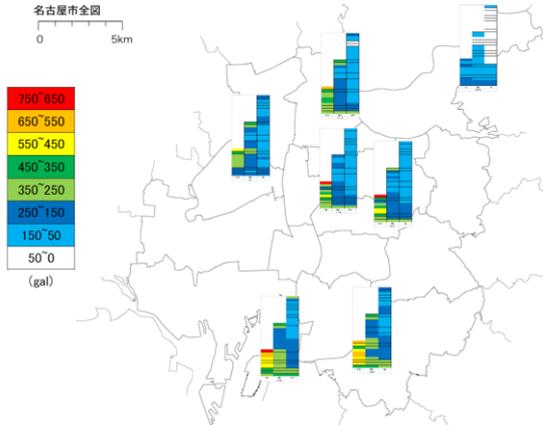


図2 仮想建物の最大応答加速度分布

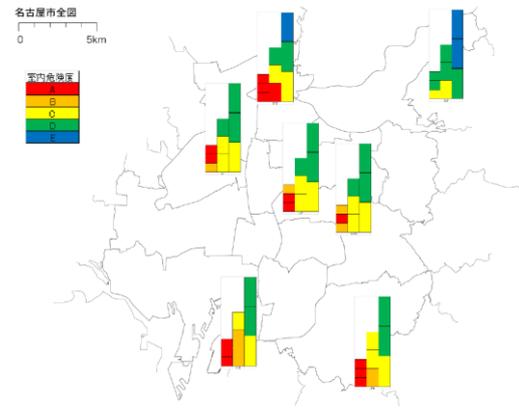


図3 階層別の室内危険度

表1 地震時室内危険度の指標

室内危険度	A	B	C	D	E
家具転倒率	~ 0.3	0.3~ 0.1	0.1~	0.1~	0.1~
天井被害					

室内危険度	
A	家具の転倒が多く、天井の破損する可能性も高い
B	家具の転倒が少し見られ、天井の破損する可能性が高い。
C	家具の転倒はほとんどないが、天井の破損する可能性がある。
D	家具の転倒はほとんどないが、天井の破損する可能性が少しある。
E	家具の転倒も、天井の破損もほとんど起こらない

家具転倒率	天井被害	
~0.4		破損する可能性が高い
0.4~0.3		確率は低い破損する可能性がある
0.3~0.2		ほぼ破損しない
0.2~0.1		
0.1~		

東日本大震災における高層建物の室内被害調査結果や家具の被害予測手法に基づき、名古屋市内の7地点を評価地点として、10階、20階、30階建ての仮想建物を対象とした建物内の高さ方向の室内被害予測方法について検討した。

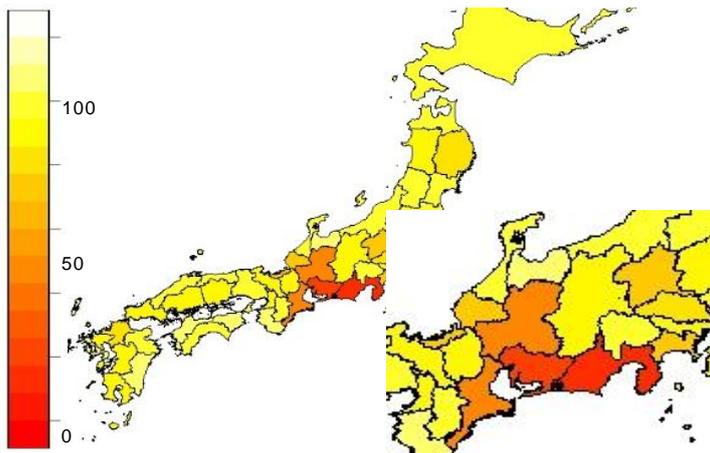


図4 発災後1ヶ月間の鉦工業生産水準  
(平時を100とする)

南海トラフ巨大地震を想定し、発災後1か月間における鉦工業生産水準の変化をシミュレートした。シミュレーションでは、地震動により被災県内に立地する産業の資本ストックが毀損すると仮定。資本ストックの損壊に伴い被災県内の鉦工業生産水準が減少し、さらにそのことに加え、都道府県内外の産業間取引の変化を通じ被災していない都道府県の鉦工業生産水準にも影響が波及することが明らかとなった。

### 3. 防災・減災対策研究



東海地域研究会



関西地域研究会



四国地域研究会



九州地域研究会



減サイエンス塾



東南海地震 70 周年シンポジウム

図5 地域研究会や啓発・啓蒙活動の実施

地域の防災・減災対策に活かすため、行政やライフライン担当者との闊達な議論を通じて、より実践的な防災・減災対策を目指す「地域研究会」や、シンポジウム等を通じた一般社会への情報発信を行った。

#### 4. 災害対応・復旧復興研究

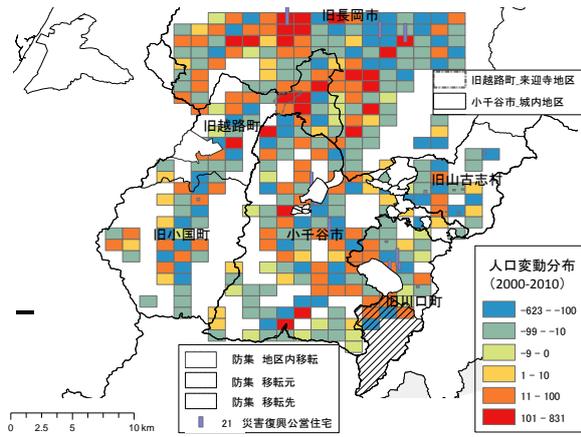


図6 震災前後の人口増減数(2000-2010)

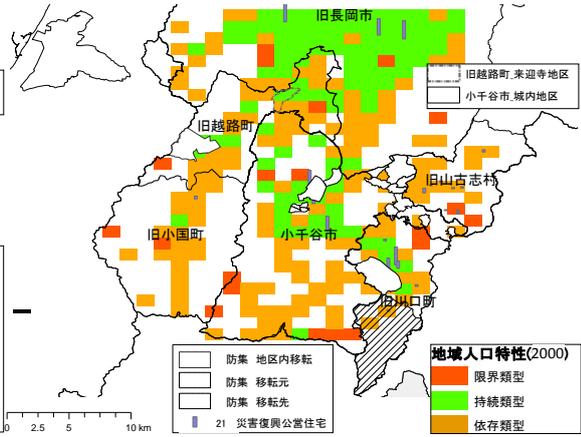


図7 震災前の地域人口特性(2000)

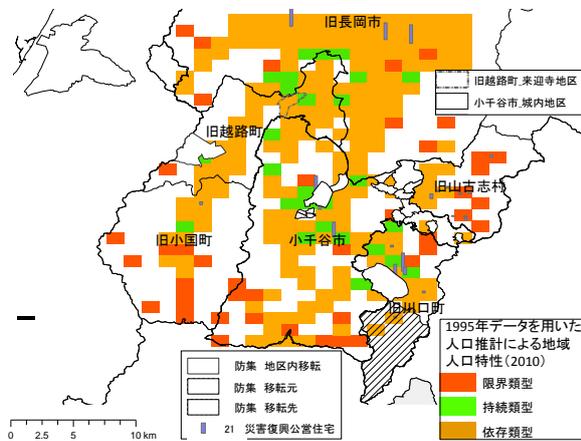


図8 震災前のトレンドに基づく人口特性の推計  
(1995→2010)

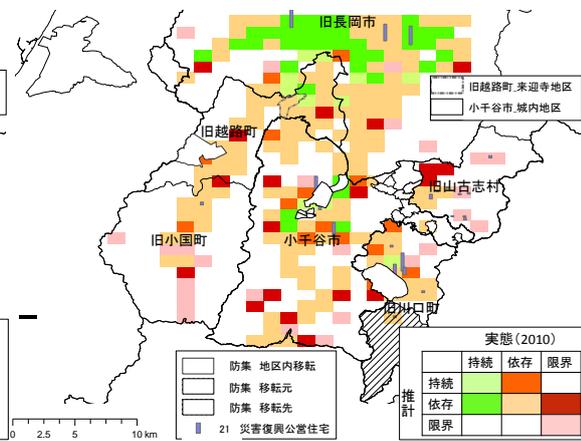


図9 推計された人口特性と震災後の人口特性(2010)  
との関係

過去の大規模災害やその後の復興事業が地域社会にどのような影響を及ぼしたか—その実態を把握した上で現在の地域社会構造を踏まえた対策を準備しておくことが、南海トラフ巨大地震を前にわれわれがなすべきことのひとつであろう。

上掲したのは新潟県中越地震(2004年)の被災地を対象とし、震災前の地域人口特性(図7、ここでは2000年時点为例示)、地震が発生せずに震災前の地域人口特性がそのままの傾向で推移したと考えて推計した結果(図8、1995年時点の人口特性に基づき、地震が発生していないパラレルワールドとしての2010年時点の人口特性をコーホート法によって推計)、そして人口特性の推計値と震災が起きた後の実態との比較状況(図9、両者の乖離を地震の影響と定義した)をそれぞれ表現した図である。

被災地において広汎に人口減少が進んだ(図6を参照)一方で、人口構造のバランスが良い(子育て世代と子供世代が一定程度存在し、高齢世帯よりも多い状況)エリアでは他のエリアに比べて現実に震災が起きた場合でも人口流出やそれにとまなう高齢化が穏やかであるか、見られなかったことが窺えた。

## 5. 防災・災害情報発信研究

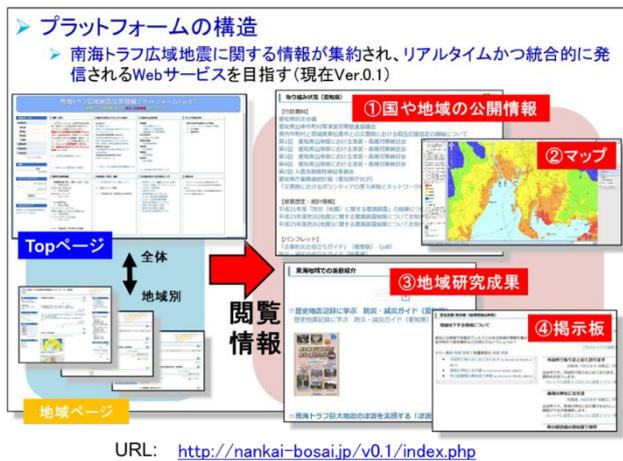


図10 各種データベースおよびプラットフォームの詳細設計に着手するとともに、Ver.0のテスト運用を通じて、データの運用管理や発信方法、利活用方法について検討し、Ver.0.1を構築した。また、必要な機能の追加開発のための設計を行った。

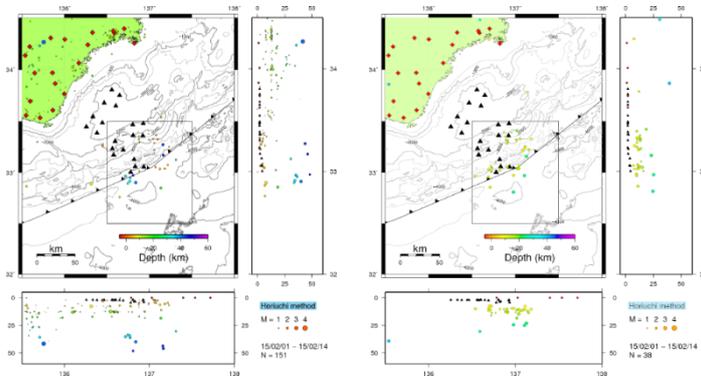


図11 自動震源決定システムの機能向上・改良を3つ行った。P波S波識別フィルターの開発による、S波読み取りの高精度化、理論的エンベロープ波形と観測波形の比較による、間違った処理結果の除去、2次元レイトレースによる、海と陸との構造を用いた走時計算方法の導入。



図12 減災関連情報の収集・整理を行うとともに、これらを減災対策等に有効活用できる、あるいは、一般住民にきめ細やかで分かりやすく、納得感が得られる情報として提供していくための情報システムの構築を進めた。防災啓発・教育・学習・人材育成に関する情報収集を行うとともに、効果的な手法について調査した。

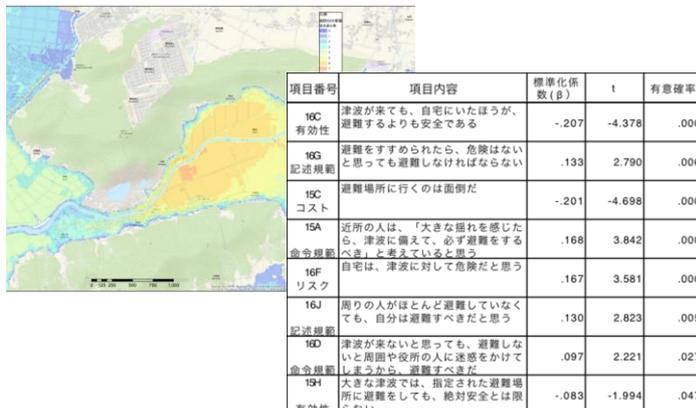


図13 南海トラフ巨大地震で津波被害が想定される地域で、住民の防災知識構造を明らかにすることを目的とし、前年度の量的調査を受け、特定地域を対象に、知識構造ならびに社会構造をより精緻かつ深く解明するために、質的調査を行った。比較のため、必要に応じて東日本大震災の事例を収集した。

## 6. プレート・断層構造研究

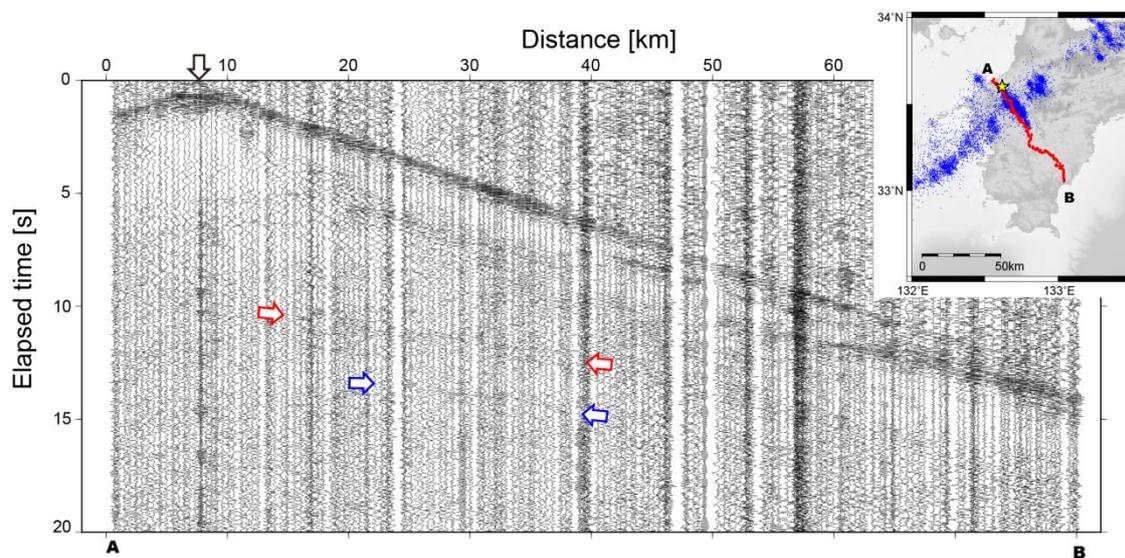


図 1 4 四国西部で実施した人工地震観測の記録。帯域幅 2 ~ 15Hz の帯域通過フィルタならびにウィンドウ幅 1.5 秒の AGC を適用した。発破点付近に黒矢印を、顕著な反射波が確認された場所に赤矢印と青矢印を付記した。なお、観測点の配置を右上地図の赤点で示す。地図中の青点は深部低周波微動の震央位置 (Obara *et al.*, 2010) を表す。

## 7. 海陸津波履歴研究

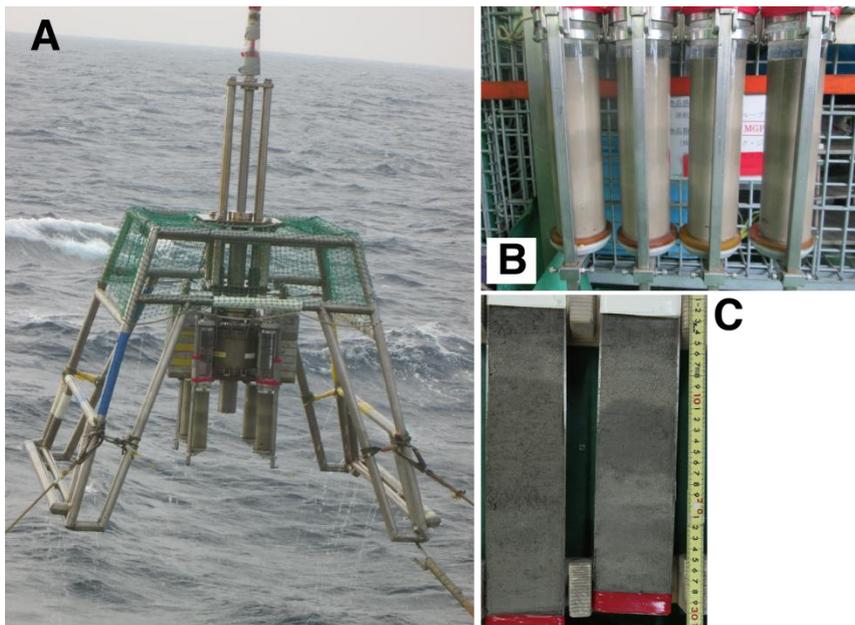


図15 石垣島南方海底扇状地上での不擾乱表層堆積物採取作業と採取された試料  
 A: マルチプルコアラー、B: 採取試料外観、C: コア断面。堆積物の色の白い部分が石灰質生物遺骸を多く含むタービダイト。

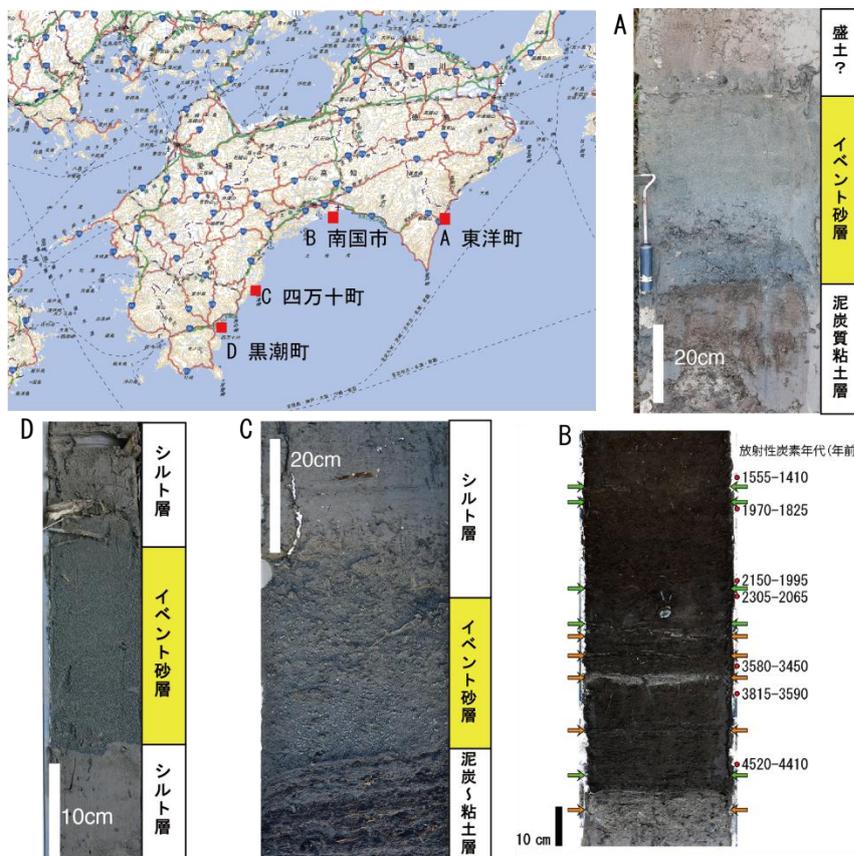


図16 高知県東洋町 (A)、四万十町 (C)、黒潮町 (D) から採取されたイベント砂層と南国市 (B) のイベント砂層 (オレンジ及び緑の矢印層準) と年代測定結果

## 8. 広帯域地震活動研究

### ① 南海トラフにおける準リアルタイム海底上下変動観測によるスロースリップのモニタリング

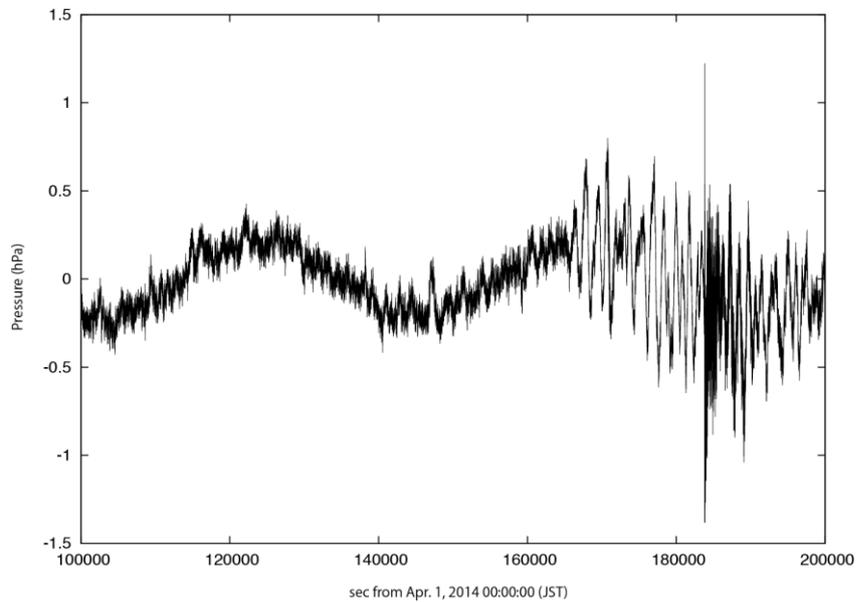


図17 熊野灘に設置したブイシステム海底局で観測されたチリ・イキケ地震によるマイクロ津波（2014年4月2日）。得られた記録に、低域遮断フィルター（周期3600秒）を作用させた後の波形。

### ② 南海トラフ西部の領域における広帯域自然地震観測

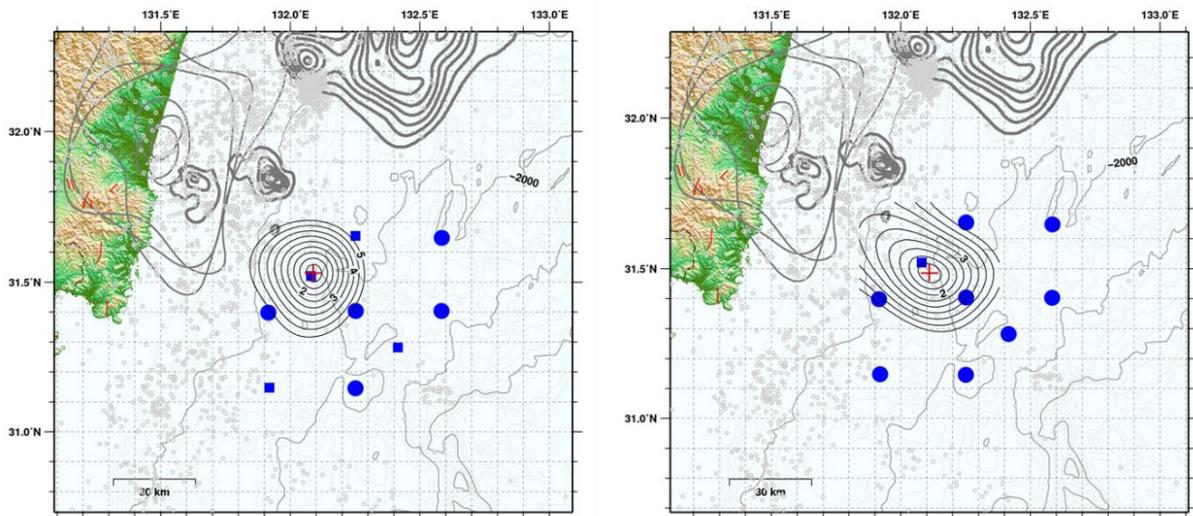


図18 S波速度3.5km/sの均質媒質を仮定し、深さはプレート境界面（Yamamoto *et al.*, 2013）に固定してエンベロップ相関法（Obara, 2002）により計算した浅部低周波微動の震源のうち、2例を示す。青の丸と四角は海底地震観測点で、赤十字が震源位置、コンターは残差を示しており0.5 s 間隔である。

## 9. データ活用予測研究

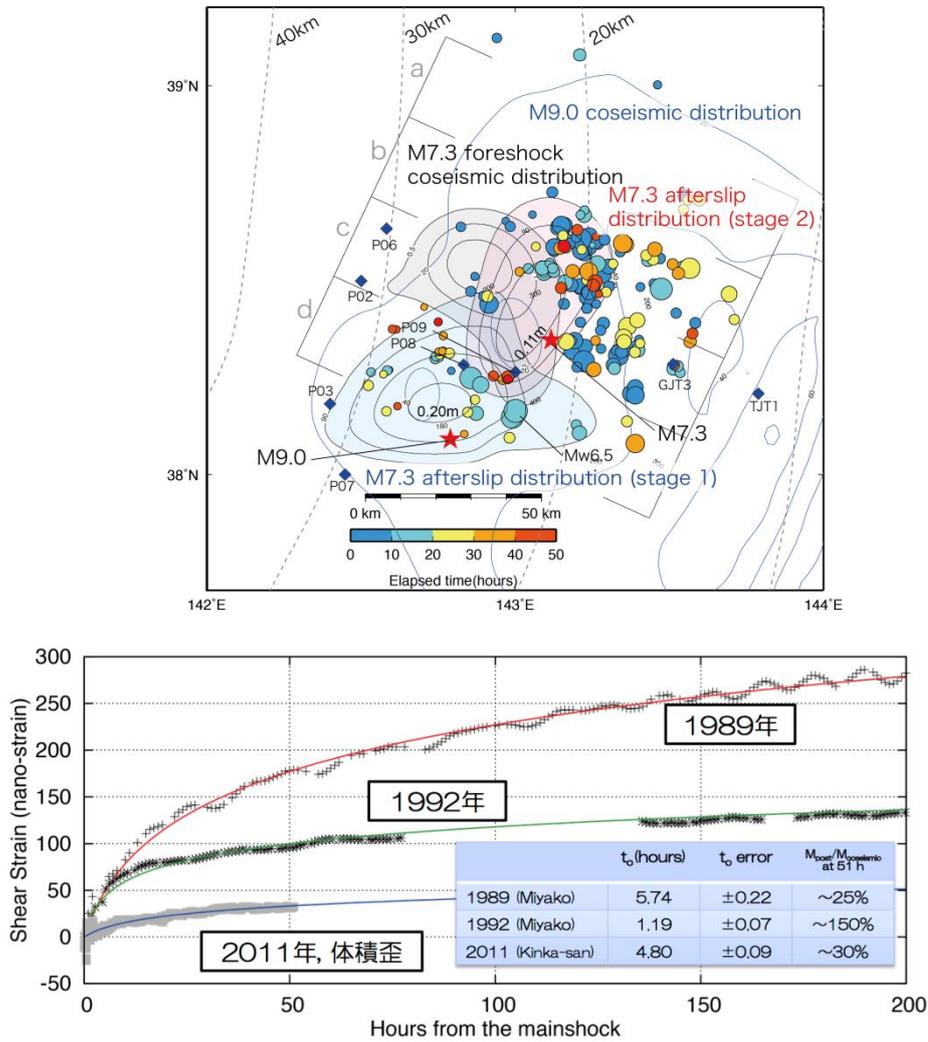


図 19-1 (上図) 2011 年 3 月 9 日三陸沖地震 (2011 年東北地方太平洋沖地震の最大前震) の地震時すべりおよび地震後余効すべり分布。灰色で塗りつぶしたコンターが地震時すべりを示し、薄青色で塗りつぶしたコンターが前震発生から前震の最大余震である M6.5 の地震までの余効すべり、桃色コンターが M6.5 の余震から東北地方太平洋沖地震本震までの余効すべりを示す。青色コンターは海陸測地データから推定された東北地方太平洋沖地震時の地震時すべり分布 (Iinuma et al., 2012)。色付きの丸印は前震から本震の間の余震活動を、前震からの経過時間で色付けしてしめす。(下図) 1989 年、1992 年、2011 年の各三陸沖イベントにおける地震後余効変動時系列を示す。各時系列にはすべり速度・状態依存摩擦構成則に基づく対数関数を当てはめ、得られた時定数( $t_0$ )およびその推定誤差を図中の表に示した。また地震発生から 51 時間後時点におけるひずみ量と地震時に観測されたひずみ量の比も同表中に示す。

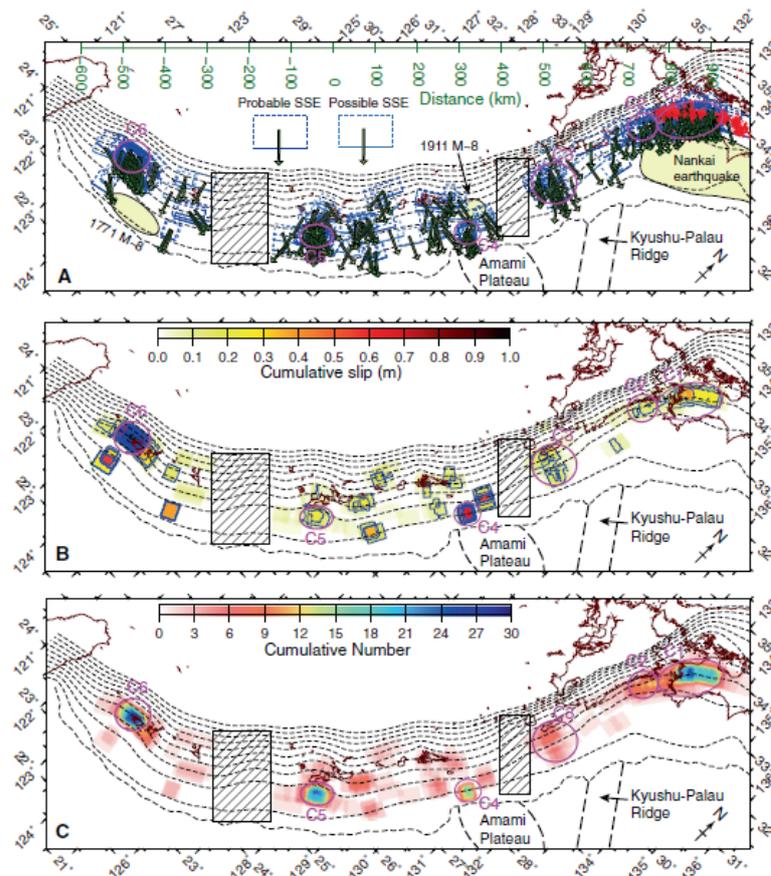


図 19-2 約 17 年間の間に南西諸島で検出された短期的 SSE 断層モデル (Nishimura, 2014)。ハッチをつけた矩形領域は使用できるデータが少ないので解析領域から外している。(A) 推定した SSE の断層モデル 破線の矩形は推定断層 (実線は断層上端) を示し、緑色ベクトルは推定したすべりを示す。黄色領域は、過去および将来発生する地震の震源域を示す。(B) 短期的 SSE による累積すべり量 青線は 10cm 間隔での累積すべり量を表すコンターである。(C) 短期的 SSE の検出数。

10. 震源モデル構築・シナリオ研究

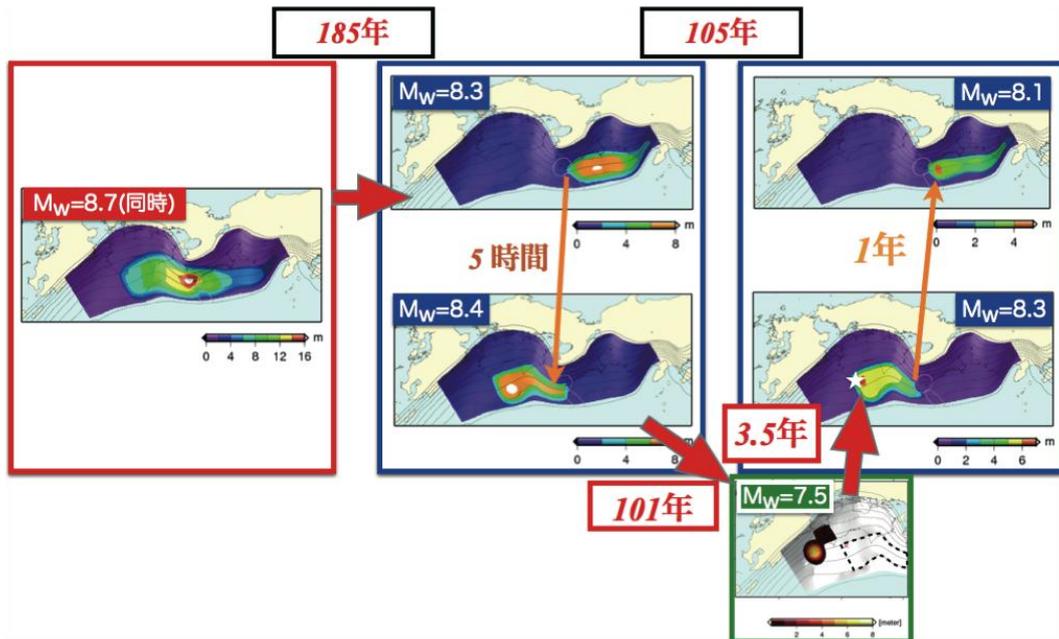


図20-1 日向灘地震・豊後水道スロースリップイベント（SSE）の影響を考慮した地震発生サイクルシミュレーションで見つかった、南海トラフ地震の新しいシナリオの例。(左図)熊野灘から地震破壊が開始し、東海・南海セグメントが同時に破壊される地震シナリオ。(中図)地震が熊野灘から開始し、東海地震セグメントの破壊が発生したのち、5時間で南海地震セグメントが破壊する地震シナリオ。(右下図)Mw7.5の日向灘地震の発生。(右上図)日向灘地震の発生から、3.5年で足摺沖を震源とする南海地震セグメントの破壊が開始し、その一年後に東海地震セグメントが破壊する地震シナリオ。

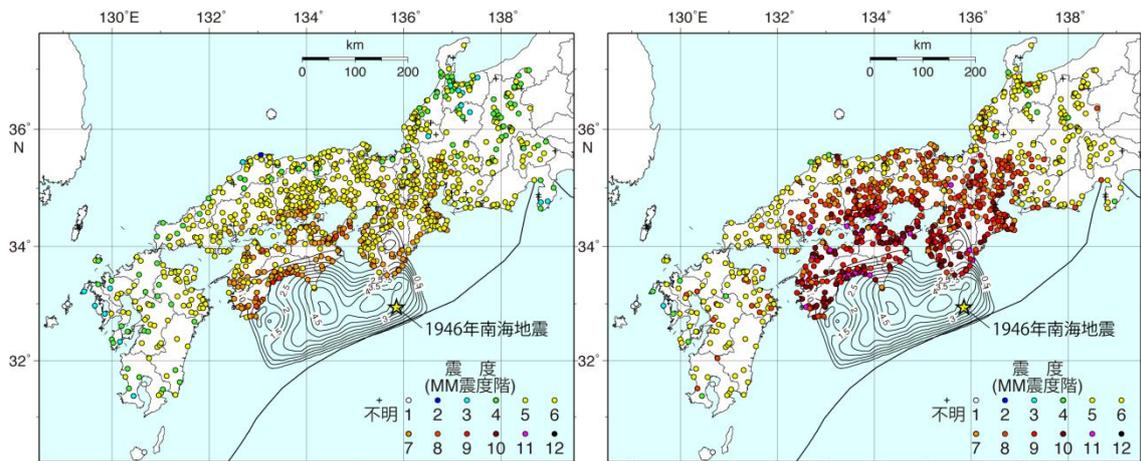


図20-2 1946年南海地震直後に東大地震研で行われたアンケート調査結果による震度分布（MM震度階）。左は、調査結果からわかった各地域の震度の平均値。右図は最大値。星印とコンターは、本地震の震央とすべり量分布（「Murotani, 2007」による）を現す。

## まえがき

南海トラフを震源域とする東海・東南海・南海地震は、過去の地震等記録から、連動して発生する可能性が高いと考えられ、連動発生した場合に推定される被害の甚大さや、将来の発生確率の高さからも、きわめて切迫度の高い地震とされている。

このため、平成 20～24 年度の 5 年間で実施された文部科学省の科学技術試験研究委託事業「東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究」（以下、「連動性評価研究」という。）において、多数の機関の参加のもと、東海・東南海・南海地震の想定震源域等における稠密な海底地震・津波・地殻変動観測、大規模数値シミュレーション研究、強震動予測、津波予測、被害想定研究等が総合的に進められてきた。これにより、東海・東南海・南海地震の時間的及び空間的な連動性評価に資する知見の獲得や、連動に対応した災害対策等の検討に必要な情報提供が実現した。その一方で、さらに広い範囲での連動性評価研究や、災害対策を行う防災機関との連携の強化、減災教育や地域の人材育成を通じた地域対応力の向上などが課題として残っていた。

また、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震を踏まえ、南海トラフ地震の長期評価手法の見直しが進められており、南海トラフの想定震源域は従来の評価より拡大された。政府の地震調査研究推進本部地震調査委員会の平成 25 年 5 月の発表によれば、見直し後の評価では、南海トラフでは最大クラスの地震として M9.1 の巨大地震が起きる可能性があることが示され、M8～M9 クラス地震の今後 30 年以内の発生確率は 70%程度（平成 26 年 1 月 1 日での算定）となっている。

本プロジェクトは、「連動性評価研究」の成果と新たに明らかになった課題及び南海トラフの想定震源域の拡大を踏まえ、将来発生が危惧される南海トラフ巨大地震へ備える研究を理学・工学・社会学の連携で実施するものである。具体的には、長期評価の見直しにより拡大された震源域や、南西諸島海域までの連動発生を考慮に入れて求め、津波履歴や地震の広帯域観測からプレート境界のすべり特性の時空間分布を明らかにする。さらに、これらを用いて 3 次元不均質を含んだ高精度構造モデルから地震発生予測を行い、南西諸島海域まで含んだ震源モデルを構築、地震動と津波のハザードを評価し、防災・減災対策へ活かす。また、地震・津波のあらゆる被害予測とその対策、発災後の現実的な復旧・復興対策を検討するとともに、地域研究会を通じて行政等と連携し、これにより、科学的知見の獲得から成果の社会実装までを総合的に推進するものである。

## 目次

1. プロジェクト概要	1
2. 業務の実施体制	5
3. 研究成果報告	
地域連携減災研究（防災分野）	
3. 1 東日本大震災教訓活用研究	11
3. 1. ① アーカイブシステムの構築・利活用	13
3. 1. ② 震源域情報	22
3. 1. ③ 復興	27
3. 1. ④ 地震動	29
3. 1. ⑤ 被害	34
3. 1. ⑥ 強震動と津波の特性、生成メカニズムに関する評価	49
3. 2 地震・津波被害予測研究	57
3. 2. ① 津波	60
3. 2. ② 地震動	79
3. 2. ③ 地盤被害	88
3. 2. ④ 建物被害・高層建物	98
3. 2. ⑤ ライフライン	112
3. 2. ⑥ 広域リスク評価	122
3. 2. ⑦ 都市災害と経済被害	135
3. 3 防災・減災対策研究	147
3. 4 災害対応・復旧復興研究	163
3. 4. ① 災害による地域への影響を把握するための「地域特性評価システム」 の高度化	165
3. 4. ② 中部地方における事前復興計画の策定実践	168
3. 4. ③ 関西地方における事前復興計画の策定実践	178
3. 4. ④ 共通被害シナリオの構築準備	183
3. 5 防災・災害情報発信研究	185
3. 5. ① 各種DBおよびプラットフォームの詳細設計と追加機能の設計	187
3. 5. ② リアルタイム伝送	212
3. 5. ③ 情報システムと歴史データ等データ整備、及び防災教育・啓発	221
3. 5. ④ 住民の防災知識構造と社会構造に関する質的調査	234
巨大地震発生域調査観測研究（調査観測分野）	
3. 6 プレート・断層構造研究	244
3. 6. ① 海域におけるプレート・断層構造調査	246
3. 6. ② 自然地震・構造探査を用いた構造解析	254

3. 7	海陸津波履歴研究	263
3. 7. ①	海域での津波履歴調査航海実施	264
3. 7. ②	陸域での津波履歴調査実施（四国～九州）とサンプルデータ解析	271
3. 8	広帯域地震活動研究	280
3. 8. ①	南海トラフにおける準リアルタイム海底上下変動観測によるスロースリップのモニタリング	282
3. 8. ②	南海トラフ西部の領域における広帯域自然地震観測	288
巨大地震発生域調査観測研究（シミュレーション分野）		
3. 9	データ活用予測研究	297
3. 9. ①	地殻変動データ整備および東北地方太平洋沖地震の余効変動解析	299
3. 9. ②	東北地方太平洋沖地震前後の地殻活動の特徴抽出	307
3. 9. ③	予測システムの検証・予測試行実験	315
3. 9. ④	余効すべり・過去のゆっくりすべり同化手法の開発	321
3. 10	震源モデル構築・シナリオ研究	332
3. 10. ①	日本列島粘弾性モデル構築とその応用	334
3. 10. ②	地震発生サイクル計算手法の高度化	338
3. 10. ③	南海トラフ地震発生サイクルの再現・モデル検証	348
3. 10. ④	地震発生シナリオの評価	355
3. 10. ⑤	巨大地震の震源モデル及び地殻・地盤モデル開発	360
3. 10. ⑥	シミュレーションに基づく南海トラフ地震津波の検証・評価	369
3. 10. ⑦	実用的な津波土砂移動シミュレーション手法の開発	392
4.	全体成果概要	406
5.	成果の論文発表・口頭発表等	410
6.	むすび	426
7.	運営委員会	
7. 1	活動報告	427
7. 2	運営委員会構成員	427

## 1. プロジェクト概要

将来発生する南海トラフ巨大地震へ備える研究を理学・工学・社会科学の連携で実施する。地震・津波の被害予測とその対策、発災後の現実的な復旧・復興対策を検討する。地域研究会を通じて行政等と連携、成果の社会実装を目指す。東日本大震災の状況も含め情報をデータベース化し、社会実装のための情報発信システムを構築し市民を広く啓発する。これらの背景となる地下構造モデル、特に内閣府による最大級の地震断層モデルを念頭に、南西諸島海域までの連動発生を考慮に入れて地下構造モデルを求め、津波履歴や地震の広帯域観測からプレート境界のすべり特性の時空間分布を明らかにする。これらを用いて3次元不均質を含んだ高精度構造モデルから地震発生予測を行い、南西諸島海域まで含んだ震源モデルを構築、地震動と津波のハザードを評価、防災・減災対策へ活かす。

### (1) 地域連携減災研究（防災分野）

2011年東日本大震災の各種要素をデータベース化し、南海トラフ沿いの地域と比較して、被害、事前対策、復興状況など、将来の南海トラフ巨大地震への備えの要素をあぶりだす。同時に、巨大地震の発生時期や発生の多様性を考慮した広域の地震・津波リスク評価と地域防災・減災を念頭に高分解能な地域リスク評価も合わせて実施する。復旧・復興対策にこれらのデータや予測を取り込み、地域研究会を活用して社会実装を目指す。社会実装には情報発信が欠かせない。これまでの成果を取り込んだWebサービス「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を構築し、市民を巻き込んだ防災・減災の啓発活動を実施、人材育成にも努める。

#### (a) 東日本大震災教訓活用研究

前半の4年間では、既存のアーカイブ活動と連携をしながら、東日本大震災での広域で複合的な災害及びその対応、復旧・復興に関するアーカイブを作成・拡張し、課題や教訓を整理する。さらに、プロジェクト指向型アーカイブを構築することにより、東日本大震災の被災地と南海トラフ地震との被害発生の類似パターンを抽出し、南海トラフ地震・津波における人的被害軽減戦略プログラムを策定する。東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集の基礎的検討を行う。後半の4年間では公表されたコンテンツを新たに収集・連携し、アーカイブシステムのβ版を構築する。同アーカイブを用いて防災・減災・復興に資する生きる力を解明し、災害時の生きる力醸成プログラムを作成する。さらに、東日本大震災の基礎自治体復興計画の現状に対してアクションリサーチ手法を用いつつ課題の分析・抽出を行う。

#### (b) 地震・津波被害予測研究

将来人口推計して得た人口モデルや建物滅失率等を考慮した建物モデルを構築し、地震の発生時期や発生の多様性等を考慮した広域の地震・津波ハザード・リスク評価を行う。地域にとって影響の大きい建物や施設に対しては、地盤の非線形性を考慮した地盤モデルの高度化等を行い、高分解能なリスク評価を行う。ハザード・リスク評価結果の中から類型化手法により特徴的な災害パターンを抽出し、災害シナリオを作成し、防災・災害情報発信研究 1-e と連携し情報提供できるようにする。

(c) 防災・減災対策研究

「東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト」では、地域の防災・減災にとってどのような災害シナリオを考えるべきなのか、地域研究会を開催して議論を進められてきた。この地域研究会を発展させ、前半4年間は、地方自治体やライフライン事業者から課題を聞きつつ、プロジェクト関係者からの残された課題を含め最新の成果の地域の防災減災対策へのインプットに重点を置き、後半4年間では、具体的な社会実装に向けた提案・対策案をまとめる。また、地方自治体だけではなく、内閣府をはじめとする府省への働きかけを強化し、国レベル、地方自治体レベルの両面から防災・減災対策の推進を図る。前半4年では、サブテーマ1で期待される成果である被害予測やデータベース構築などを逐次、地方行政のシステムに実装にすることを検討する。後半4年では、地域行政の防災対策に向けた実装を進めると共に、社会的な活用を目指して、市民参加の防災・減災カフェや地元メディアとも連携した防災・減災の啓発活動を推進する。

(d) 災害対応・復旧復興研究

将来の地域特性シミュレーション、詳細被害シミュレーション結果にもとづき、南海トラフ巨大地震の各地域の影響についての「納得」プロセスの開発、さらには各地域で想定される影響にもとづき事前の復旧・復興計画策定、災害対応計画の策定を行う。得られた成果は1-c、1-eと共有するとともに、被害想定、復旧・復興計画については1-a、1-bの知見を利用する。

(e) 防災・災害情報発信研究

南海トラフ広域地震に関する情報が集約され、リアルタイムかつ統合的に発信されるWebサービスとして「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を構築する。プラットフォーム上では、各種地理空間情報や歴史資料、強震計・水圧計データ等のリアルタイムデータ、他の研究課題の調査結果、研究成果、ハザード評価、リスク評価などの情報を統合して発信できるものとする。このプラットフォームを基盤とした、あるいは連携した、防災・減災対策や復旧・復興等に資する各種利活用システム、防災人材育成、教育教材、啓発ツールを開発し、防災・減災対策研究や復旧・復興対策研究等に活用する。これらを効果的に進めるためのリスクコミュニケーション手法を開発し、人材育成を図る。

(2) 巨大地震発生域調査観測研究

2-1 調査観測分野：

サブテーマ1の防災・減災対策の実効性を検証するためには、地震発生時の連動の範囲や地震や津波の時空間的な広がりを見積もる必要がある。内閣府が最大級の南海トラフ地震を評価したが、改めて広がった地震発生域の地下構造の特性を明らかにする。また、ほとんど知見のない九州から南西諸島海域にかけての沈み込み帯の構造を明らかにし、

地震発生の構造的な背景を明らかにする。海陸両方で津波履歴を調査し、地震発生間隔の知見を新たに加える。また広帯域観測からプレート境界のすべり特性を解明する。これらの知見はサブテーマ2-2へ受け渡す。

(a)プレート・断層構造研究

稠密な地下構造調査と稠密地震観測を実施することにより、地震発生帯のプレート形状及び物性の詳細、陸側プレートとの相対的な位置関係等を把握する。また、南西諸島域では大規模構造探査によりこれまで明らかになっていない地震発生帯プレート形状を明らかにする。得られた成果は2-1-bや2-1-cの研究成果との整合性を確認し、シミュレーション研究(2-2-d、2-2-e)の項目に提供する。

(b)海陸津波履歴研究

海域及び陸域の地層の中から過去の地震・津波の痕跡を検出する。陸域では掘削調査などから津波浸水や地殻変動の履歴を、海域では海底調査から地震・津波の発生履歴を解明し、その年代や拡がりから南海トラフ沿いにおける津波の履歴を解明する。判明した津波履歴は適宜、シミュレーション研究(2-2-d、2-2-e)の項目に提供する。また、防災分野における地域との連携の中で、津波履歴に関する資料があれば提供を受ける。

(c)広帯域地震活動研究

南海トラフから南西諸島海溝にかけて、広帯域海底地震観測により、トラフ付近の低周波イベントの解明と地震活動の詳細な把握を行う。プレート境界のすべり特性の解明、さらには巨大地震発生域の高精度推定に寄与する。得られた成果はシミュレーション研究(2-2-d、2-2-e)の項目に提供する。

**2-2 シミュレーション分野：**

南海トラフ地震の広域地震・津波対策の高度化に向け、観測データを用いた地震発生の予測を行うとともに、南海トラフ～南西諸島海溝で発生する巨大地震の震源モデルを構築して、全国の地震動と津波のシミュレーションを行う。本研究の成果は、1-bの地震・津波被害予測研究の入力データとして用い、また、防災・減災・復旧・復興研究の検討の条件として活用を図る。リスク評価や防災・災害情報発信として求められる解像度のハザード情報を、その不確実性を含めて適切に提供するために、サブテーマ間の連携を強く意識した研究を進める。

(d) データ活用予測研究

① 地殻変動観測データのコンパイルと解析、データベース化

HPCI 戦略プログラムにおいて京コンピュータで計算される多数の地震シナリオとその前後のゆっくりすべりのシミュレーション結果のデータベースと、GEONET・DONET・水準測量や三辺・三角測量等の地殻変動データや相似地震のデータをコンパイルした観測データベースを構築する。

## ② プレート境界すべりの推移予測の妥当性検証と予測の試行

過去の地震やゆっくりすべりの観測データを逐次入力し、シミュレーションデータベースと比較する同化の模擬テストを行なう。また、次の豊後水道のゆっくりすべりや東北地方太平洋沖地震後の余効すべり等に対して予測の試行実験を行う。これらを通して同化手法や予測の問題点を洗い出し、改善に必要な知見を得る。

## ③ 逐次データ同化手法の改良

精度の異なる複数データを用いる場合の尤度評価やリアルタイムでデータを取り込みながらモデルパラメータや初期値を更新できるように同化手法を改善するとともに、地殻変動以外の観測データ（特に地震活動データ）の同化手法を開発する。

### (e)震源モデル構築・シナリオ研究

#### ① 日本列島の地震発生モデルの構築

粘弾性を考慮した日本列島広域構造モデルを開発し、構造探査結果を随時取り入れて3次元不均質構造モデルの改良を図る。本モデルを用いて、沈み込み帯の応力・強度分布の推定とそれにもとづく地震発生予測を行う。誤差を考慮した予測結果を受けて、幅のある想定地震発生モデルに対して強震動と津波を評価する災害予測システムを開発する。更に、巨大地震発生前後の内陸地震の活発化や、巨大地震の発生後の余震や誘発・連動地震の推移の評価手法を開発する。

#### ② 巨大地震の震源モデルの構築

南海トラフの過去地震の震源再解析に加え、国内外を含む他の地震発生帯での巨大地震の震源解析、並びに地震発生シミュレーションの結果等を参考にして、南海トラフで発生する巨大地震の震源特性と連動様式の一般化（レシピ）を図るとともに、地震発生サイクルの計算結果に基づき、発生しうる破壊伝播シナリオの検討を行う。また、津波堆積物や津波石の移動を考慮した津波シミュレーション法を開発し、周辺諸国を含めて古文書等の記録を集めることによりデータが少ない過去地震の震源過程を評価する。

#### ③ 地震ハザードの高精度評価

強震動・津波シミュレーション法の大規模並列化を進め、高分解能・広帯域化するとともに、プレート詳細形状・物性モデルと高分解能地殻・堆積層モデルを結合した高分解能地下構造モデルを構築して、巨大地震シナリオの高度なハザード評価を行う。震源や地下構造モデルの不確定性と地震シナリオの不確実性（多様性）に伴う短周期強震動と長周期地震動の予測のバラツキを適切に評価し、防災に資することのできる実用的なハザード評価を行う。南海トラフ地震と南西諸島海溝地震の連動可能性や、相模トラフの地震や日本海溝の地震との最大連動の可能性、こうした地震津波による広域津波について評価も行う。

## 2. 業務の実施体制

このプロジェクトは、海洋研究開発機構、東北大学、防災科学技術研究所、名古屋大学、京都大学、東京大学、東京大学地震研究所、産業技術総合研究所が体制を構築し、関係する研究機関・研究者の参加・協力を得て実施する。本プロジェクトの代表機関は海洋研究開発機構（プロジェクト代表者：金田義行）とする。

また、研究を効果的に実施するために、関係する研究機関・研究者等により構成する「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト運営委員会」（事務局は海洋研究開発機構）を設置する。

調査観測項目	担当機関	担当者 (◎は各項目代表者)
プロジェクト代表者	独立行政法人海洋研究開発機構	金田義行
地域連携減災研究（サブテーマ1） 代表者	国立大学法人名古屋大学	福和伸夫
地域連携減災研究（サブテーマ1） (a)東日本大震災教訓活用研究	国立大学法人東北大学	◎今村文彦 今井健太郎 佐藤翔輔 保田真理 網田早苗 後藤さつき 橋本茜 姥浦道生
	独立行政法人海洋研究開発機構	金田義行 高橋成実 馬場俊孝
	国立大学法人京都大学	牧紀男
	独立行政法人防災科学技術研究所	藤原広行 青井真 功刀卓 中村洋光
	国立大学法人名古屋大学	福和伸夫 野田利弘 護雅史 長江拓也 飛田潤
	国立大学法人東京大学	古村孝志

地域連携減災研究（サブテーマ 1） (b)地震・津波被害予測研究	国立大学法人名古屋大学	福和伸夫 曾根好徳 ◎野田利弘 廣井悠 護雅史 北野哲司 武村雅之 都築充雄 宮腰淳一 虎谷健司 野中俊宏 山崎雅人 飛田潤 中井健太郎 平井敬 山中佳子
	独立行政法人海洋研究開発機構	馬場俊孝 CITAK Seckin Ozgur
	国立大学法人東北大学	今村文彦 今井健太郎 橋本茜
	独立行政法人防災科学技術研究所	藤原広行 平田賢治 河合伸一 中村洋光 森川信之 長江拓也 大角恒雄 前田宜浩 東宏樹
	国立大学法人東京大学	古村孝志 原田智也
地域連携減災研究（サブテーマ 1） (c)防災・減災対策研究	独立行政法人海洋研究開発機構	金田義行 ◎高橋成実 馬場俊孝
	国立大学法人名古屋大学	福和伸夫 野田利弘 武村雅之

		北野哲司 護雅史 廣井悠 都築充雄 宮腰淳一 平井敬 虎谷健司 山崎雅人 川端 寛文
	国立大学法人京都大学	牧紀男
	独立行政法人防災科学技術研究所	藤原広行 青井真 臼田 裕一郎 中村洋光 大角 恒雄 前田 宜浩 水井 良暢 東 宏樹 田口 仁 崔 青林 李 泰榮
	国立大学法人東北大学	今村文彦 今井健太郎
	国立大学法人東京大学	古村孝志 原田 智也
地域連携減災研究（サブテーマ1） (d)災害対応・復旧復興研究	国立大学法人京都大学	◎牧紀男 樋本圭祐 鈴木進吾 田中傑
地域連携減災研究（サブテーマ1） (e)防災・災害情報発信研究	独立行政法人防災科学技術研究所	藤原広行 臼田裕一郎 田口仁 李泰榮 東宏樹 崔青林 水井良暢
	独立行政法人海洋研究開発機構	金田 義行 高橋 成実 中野 優

		馬場 俊孝
	国立大学法人名古屋大学	福和伸夫 護雅史 山中佳子 武村雅之 倉田和己 川端寛文 近藤ひろ子 脇田久美子
	国立大学法人東京大学	田中淳 地引泰人
巨大地震発生域調査観測研究（調査観測分野）（サブテーマ 2-1）代表者	独立行政法人海洋研究開発機構	金田義行
巨大地震発生域調査観測研究（調査観測分野）（サブテーマ 2-1） (a)プレート・断層構造研究	独立行政法人海洋研究開発機構	金田義行 ◎小平秀一 三浦誠一 仲西理子 山下幹也 海宝由佳 石原靖 高橋努 山本揚二郎 新井隆太
	独立行政法人防災科学技術研究所	汐見勝彦 武田哲也 浅野陽一 木村尚紀 齊藤竜彦 松澤孝紀 松原誠 上野友岳 木村武志 田中佐千子
巨大地震発生域調査観測研究（調査観測分野）（サブテーマ 2-1） (b)海陸津波履歴研究	独立行政法人産業技術総合研究所	◎池原研 荒井晃作 鈴木淳

		板木拓也 宍倉正展 藤原治 澤井祐紀 安藤亮輔 行谷佑一 松本弾 谷川晃一朗
	独立行政法人海洋研究開発機構	金松敏也
	国立大学法人高知大学	岩井雅夫
	法政大学	前杢英明
	一般財団法人地域地盤環境研究所	越後智雄
	国立大学法人筑波大学	藤野滋弘
巨大地震発生域調査観測研究（調査観測分野）（サブテーマ 2-1） (c)広帯域地震活動研究	国立大学法人東京大学	◎篠原雅尚 小原一成 塩原肇 酒井慎一 望月公廣 山田知朗 一瀬建日 前田拓人 八木健夫 藤田親亮 阿部英二 増田正孝 西本太郎
	国立大学法人神戸大学	中東和夫
	国立大学法人東北大学	日野亮太 木戸元之 飯沼卓史 太田雄策 鈴木秀市
巨大地震発生域調査観測研究（シミュレーション分野）（サブテーマ 2-2）代表者	国立大学法人京都大学	古村孝志

巨大地震発生域調査観測研究（シミュレーション分野）（サブテーマ2-2） (a)データ活用予測研究	国立大学法人京都大学	◎平原和朗 宮崎真一 西村卓也 伊藤喜宏
	国立大学法人東北大学	日野亮太 太田雄策 内田直希
	国立大学法人名古屋大学	鷺谷威 古本宗充 伊藤武男
	独立行政法人産業技術総合研究所	安藤亮輔
	独立行政法人海洋研究開発機構	堀高峰 中田令子 兵藤守 有吉慶介
	国立大学法人東京大学	◎古村孝志 原田智也 市村強
巨大地震発生域調査観測研究（シミュレーション分野）（サブテーマ2-2） (b)震源モデル構築・シナリオ研究	国立大学法人京都大学	平原和朗
	国立大学法人名古屋大学	橋本千尋
	独立行政法人防災科学技術研究所	福山英一
	独立行政法人海洋研究開発機構	堀高峰
	独立行政法人産業技術総合研究所	安藤亮輔
	国立大学法人京都大学	岩田知孝 関口春子 浅野公之
	国立大学法人東北大学	今村文彦 今井健太郎

### 3. 研究成果報告

#### 3.1 東日本大震災教訓活用研究

##### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 「東日本大震災教訓活用研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東北大学 災害科学国際研究所  大学院工学研究科	教授 助教 助教 助手 技術支援員 技術支援員 技術支援員 准教授	今村文彦 今井健太郎 佐藤翔輔 保田真理 網田早苗 後藤さつき 橋本茜 姥浦道生
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター	招聘上席技術研究員 グループリーダー 招聘上席技術研究員	金田義行 高橋成実 馬場俊孝
国立大学法人京都大学 防災研究所	教授 助教 特定研究員	牧紀男 鈴木進吾 田中傑
独立行政法人防災科学技術研究所	領域長 地震・火山観測データセンター長 強震観測管理室長 主任研究員 主幹研究員	藤原広行 青井真 功刀卓 中村洋光 先名重樹
国立大学法人名古屋大学 減災連携研究センター  災害対策室	教授 教授 特任教授 准教授 教授	福和伸夫 野田利弘 護雅史 長江拓也 飛田潤

国立大学法人東京大学 大学院情報学環	教授	古村孝志
-----------------------	----	------

(c) 業務の目的

前半の4年間では、既存のアーカイブ活動と連携をしながら、東日本大震災での広域で複合的な災害及びその対応、復旧・復興に関するアーカイブを作成・拡張し、課題や教訓を整理する。さらに、プロジェクト指向型アーカイブを構築することにより、東日本大震災の被災地と南海トラフ地震との被害発生の類似パターンを抽出し、南海トラフ地震・津波における人的被害軽減戦略プログラムを策定する。東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集の基礎的検討を行う。後半の4年間では公表されたコンテンツを新たに収集・連携し、アーカイブシステムのβ版を構築する。同アーカイブを用いて防災・減災・復興に資する生きる力を解明し、災害時の生きる力醸成プログラムを作成する。さらに、東日本大震災の基礎自治体復興計画の現状に対してアクションリサーチ手法を用いつつ課題の分析・抽出を行う。

(d) 8か年の年次実施業務の要約

平成25年度：

プロジェクト指向型アーカイブの基本設計と震災の教訓に関する学術論文・調査報告書の文献調査を行った。また東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集の基礎的検討を行った。

平成26年度：

アーカイブコンテンツの収集・連携を行うとともに、アーカイブシステムのα版を構築した。また、東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集を行った。

平成27年度：

東北各地域との類似タイプの抽出および文献における「教訓」の整理・体系化を行う。また、東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集（宮城県）を行う。

平成28年度：

現実的な津波ハザード・リスクマップの作成のほか、暫定版の疑似体験プログラム、生きる力の醸成プログラムの作成を行う。また、東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関する課題の分析・抽出を行う。

平成29年度：

前年度の成果を実装するフィージビリティスタディを実施する。また、東日本大震災の基礎自治体復興計画の実現に関するデータ収集の基礎的検討を行う。

平成30年度：

初年度以降に公表されたコンテンツを新たに収集・連携し、アーカイブシステムのβ版を構築する。また、コンテンツを追加した上で、平成27年度の実施内容を更新する。また、東日本大震災の基礎自治体復興計画の実現に関するデータ収集（岩

手県)を行う。

平成 31 年度：

前年度の更新を受けて、平成 28 年度の実施内容を更新する。また、東日本大震災の基礎自治体復興計画の実現に関するデータ収集（宮城県）を行う。

平成 32 年度：

前年度の成果を実装し、効果の検証ならびに研究プロジェクトの総括を行う。また、東日本大震災の基礎自治体復興計画の実現に関する課題の分析・抽出を行う。

#### (e) 平成 26 年度業務目的

プロジェクト指向型アーカイブのプロトタイプを実装し、前年度に引き続きアーカイブコンテンツ（震災に関する文献、空間に関する動画・データ、東北地方の復興経過）の収集を行う。その上で、前年度に引き続き東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータを収集、被災地の現状と復旧・復興過程を把握し、南海トラフ地震による被災状況と復興状況の想定のための基礎データとする。

また、前年度に引き続き、東北地方太平洋沖地震及びその余震時等の地震波形データについてデータベース化を継続し、東日本大震災における建造物の被害関連情報の収集・分析準備、復興プロセスに関するデータ収集及び基礎検討を進める。

## (2) 平成 26 年度の成果

### ①アーカイブシステムの構築・利活用

#### (a) 業務の要約

平成 25 年度（昨年度）行った「東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」の基本設計から得られた災害履歴データベース、理論データベース、事例データベースからなる「3層アーカイブモデル」にもとづき、平成 26 年度（今年度）は、「東日本大震災の教訓」を具体的に記述している理論データベース（教訓検索システム）を公開するウェブシステムの実装と東日本大震災の津波の来襲状況、シミュレーション、被害の状況に関する動画を検索できるシステムの仮実装を行った。

東日本大震災教訓活用型アーカイブシステムのコンテンツを充実させるために、東日本大震災に関係する災害に関する主要学会にて発行されている学術論文や公的機関が発行している調査報告書の文献調査を行い、本文から「教訓」と判断される箇所を抽出し、データベーステーブルを作成した。さらに、東日本大震災の津波の来襲状況、シミュレーション、被害の状況に関する公開動画を調査し、データベーステーブルを作成した。さらに、東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータを収集した。

#### (b) 業務の成果

1) 「東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」の基本設計（平成 25 年度（昨年度）

## 成果の再掲)

平成 25 年度（昨年度）は、東日本大震災の教訓を活用することに特化した「東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」の基本設計を行った。基本設計においては、南海トラフ広域地震津波災害の想定被災地における自治体の防災担当職員へのインタビュー調査を実施した。その回答結果は主に次の 3 通りであった。

- a) 東日本大震災で明らかになった、いわゆる「教訓」を簡便に詳細に検索・閲覧したい。
- b) 東日本大震災における津波に関する動画（津波の来襲映像、津波のシミュレーション動画）を検索・閲覧したい。
- c) 東日本大震災の被災自治体において、被災経験を踏まえて策定された各種計画、設計・実施された訓練等の事例を参照したい。

a) のような回答をした地域では、すでに南海トラフ広域地震津波について活発な対策活動を行われていた。このような組織・自治体においては、すでに一定の対策を講じているために、即効性がより高い対策を講じようと、直近で発生した「東日本大震災の教訓」、言い換えれば、東日本大震災の経験を踏まえて、津波災害への対応として効果的な対策・対処方法、次の大津波被災地でも起こる可能性が高い問題やその解決策に対する高い関心が寄せられる傾向があった。具体的な例としては、三重県防災対策部（2014）では、東日本大震災において「誰が何に困ったのかリスト」を作成している。防災・減災の実務者にとっては、「東日本大震災の教訓」を情報として調べたいというニーズが高いことが分かった。

b) のような回答をした地域は、南海トラフ広域地震津波の対策を徐々に始めているような地域であった。そのような地域では、過去の津波の経験があまりなく、地域住民の意識があまり高くはない傾向にあった。行政担当者としては、まず、動画というリアリティのある映像を地域住民に見てもらうことで、まず津波に対する危機意識をもってもらいたい、という回答が得られた。実施、住民からそのようなニーズが寄せられることもあるという。最初のステップとして、危険意識がそれほど高くはない地域住民に対して、津波の危険性を視覚的に訴えることで、津波防災・減災への対策・行動に関心をもってもらいたいというニーズが存在することが分かった。

c) は、事前の防災・減災施策の具体例として、大津波を経験した被災自治体が、何をどのように準備しているのかを直接把握したいという、実務上、直接的なニーズであった。

以上は、行政や住民が求めるアーカイブの要件である。これに加えて、研究者は各種の分析・解析のために、基本的には生データ（いわゆるローデータ）を利用を希望することが想像される。

以上のインタビュー調査や考察を踏まえて、平成 25 年度に、図 3-1-①-1 のような東日本大震災教訓活用型アーカイブシステムの基本設計（概念図）を作成した。

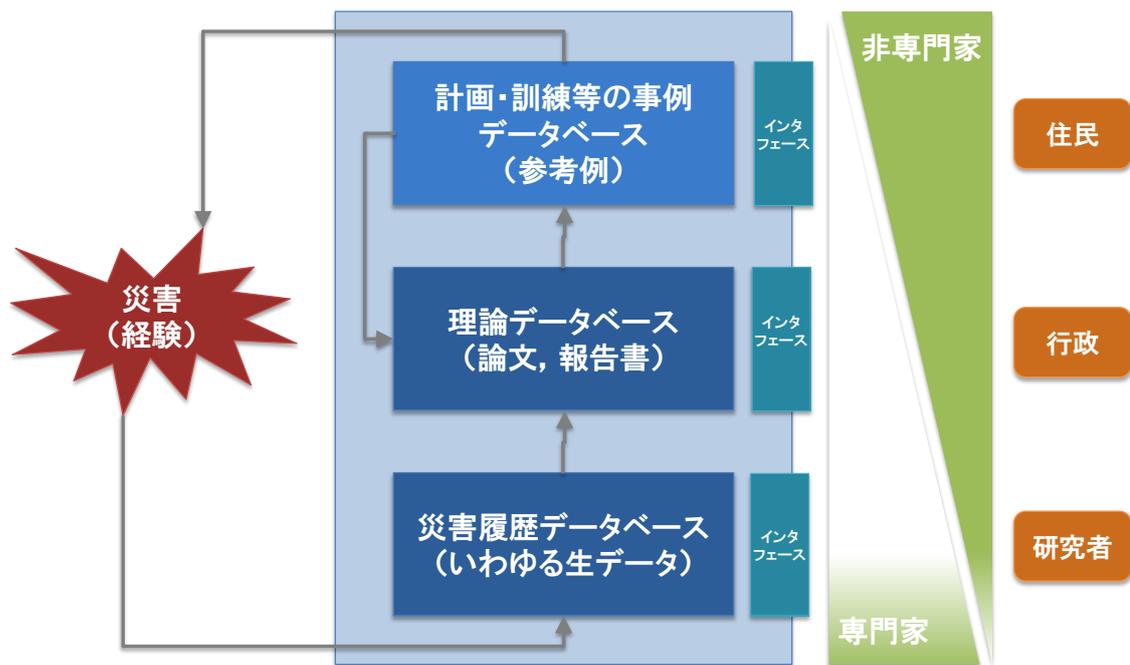


図 3-1-①-1 東日本大震災教訓活用型アーカイブシステムの基本設計  
(概念図：3層アーカイブモデル)

東日本大震災の教訓を活用する上では、利用者の業種や専門性によって、直接必要になるアーカイブコンテンツの概念レベルが、大きく3種類に別れる(3層アーカイブモデル)。災害の経験をもとにして生成されるものには、a) 生データとしての災害履歴(災害履歴データベース)、b) 学術論文や報告書などに記載された結論・知見としての理論(理論データベース)、c) 災害の経験や一般化された理論をもとに設計された各種計画・訓練事例(事例データベース)の3種類が存在する。これらは、利用者の業種・立場(住民、行政、研究者)やコンテンツを扱うリテラシーや専門性によって、アクセスの範囲が異なる。東日本大震災に関して収集したコンテンツを、同一のインタフェースで閲覧するのではなく、具体的な利用ケースに応じたインタフェースを個別に用意することで、「東日本大震災の教訓」をより効果的・効率的に活用してもらえようと考えた。インタビュー調査の結果を基本設計の枠組みの中に照らし合わせると、津波に関する映像の検索・閲覧は、下層の災害履歴データベースから、行政・住民が行う。行政担当者は「東日本大震災の教訓」を情報として検索するために中層の理論データベースを参照したり、加えて避難訓練等の設計において上層の事例データベースを参照する、といった例が考えられる。

平成26年度(今年度)は、上記のうち、特に優先度の高い中層のb)「東日本大震災の教訓」を具体的に記述している理論データベース(教訓検索システム)を公開するウェブシステムと、下層のc)津波の流況やシミュレーション、被害の実態に関する公開映像を検索できるシステムの実装の2点を行った。その内容を下記に詳述する。

## 2) 震災教訓に関する文献の収集・整理と震災教訓文献データベースの実装

平成 26 年度（今年度）は、特に優先度の高い「東日本大震災の教訓」を具体的に記述している理論データベース（教訓検索システム）を公開するウェブシステムの実装を行った。平成 25 年度（昨年度）に実施した「東日本大震災ほか災害に関する文献調査」の結果をシステムにインポートしている。これは、東日本大震災ほか、災害に関する学術論文と報告書の文献調査を行ったものである。学術論文としては、地震工学会、地域安全学会、自然災害学会、日本災害情報学会、日本災害復興学会の 5 つの学会が発行する学会誌・予稿集等に掲載されている論文、調査報告、事例報告、特集を対象にした。報告書は、調査主体を官公庁、研究機関、団体等が発行しているものを対象にした。作業手続きは、対象論文マスターテーブル作成、対象論文の収集（電子版のダウンロード、紙面の電子化）、対象要件の二次精査、「教訓」の抽出（文中から教訓等を抽出）、コーディングからなる。なお、対象とした災害イベントは、東日本大震災、新潟県中越沖地震、新潟県中越地震、阪神・淡路大震災、東海・東南海・南海地震である。なお、平成 26 年度も文献調査を継続し、登録した論文・報告書を追加している。

図 3-1-①-2 に教訓検索システム「震災教訓文献データベース—論文・報告書がしめす震災教訓の検索システム—」のトップ画面を示す。ここでいう教訓とは、学術論文、報告書から、結語部分をもとに情報を整理し、フリーワード（自然語）のほか、タグ（統制語）でタグクラウドから検索することができる。タグクラウドは、登録件数が多いものから、フォントサイズを大きくして上位に表示している。

**震災教訓文献データベース**  
—論文・報告書がしめす震災教訓の検索システム—

🏠 トップページ | 🔍 調べる | ⓘ 震災教訓文献データベースとは | 🔗 関連リンク

🔍 検索

フリーキーワードを入力して検索するか、下部のタグクラウドからキーワードを選択してください

作成者(論文:筆頭著者, 報告書:発行機関)	区分	雑誌名	学会名	災害名
環境省 饗庭 伸 稲垣文彦 竹葉 勝重 越山 健治 河本 尋子 井ノ 口 宗成 村田明 子 田村 圭子 新 藤 淳 金子由芳 重川 希志依 古 屋 貴司 田中正 人 河村 正美 書	論文 調査報告 書	消費者アンケー ト調査結果 地域 安全学会論文集 復興 日本地震工 学会論文集 日本 災害復興学会論 文集 災害情報 自然災害科学 消 費者アンケート 調査 (1次調査)	地域安全学会 日 本災害復興学会 地震工学会 日本 災害情報学会 自 然災害学会	東日本大震災 阪 神・淡路大震災 新潟県中越地震 新潟県中越沖地 震 新潟県中越・ 中越沖地震 東 海・東南海地震 阪神淡路大震災 昭和南海地震 東 南海地震 南海地 震

図 3-1-①-2 「震災教訓文献データベース」のトップ画面

図3-1-①-3に「震災教訓文献データベース」の検索結果の例を示す。災害対応のフェーズ（直後・初動期、応急復旧期、復旧復興期）、対象（住民、行政、支援団体等）、カテゴリ（避難、救援・救助、被災者支援、住宅再建等）、場所（平野、リアス、中山間地等）、災害名、雑誌名をキーにして検索できる。



**震災教訓文献データベース**  
-論文・報告書がしめす震災教訓の検索システム-

---

🏠 トップページ
🔍 調べる
📌 震災教訓文献データベースとは
🔗 関連リンク

---

---

**作成者(論文:筆頭著者, 報告書:発行機関)**

- 佐藤 翔輔 (18)

**区分**

- 論文 (18)

**雑誌名**

- 地域安全学会論文集 (15)
- 自然災害科学 (3)

**学会名**

- 地域安全学会 (15)
- 自然災害学会 (3)

**災害名**

- 東日本大震災 (11)
- 阪神・淡路大震災 (7)

**対象**

- 避難 (6)
- ボランティア (4)
- その他 (2)
- 復興計画 (2)
- 防災体制 (2)

次の5件 >>

**🔍 検索結果一覧**

ID	文献名	フェーズ	対象	カテゴリ	場所
p0341	東日本大震災における被災地外からの人的支援量の関連要因に関する分析	直後・初動期 応急復旧期	ボランティア	支援団体	その他・非該当
p0342	東日本大震災における被災地外からの人的支援量の関連要因に関する分析	直後・初動期 応急復旧期	ボランティア	その他・非該当	その他・非該当
p0343	東日本大震災における被災地外からの人的支援量の関連要因に関する分析	直後・初動期 応急復旧期	ボランティア	その他・非該当	その他・非該当
p0344	東日本大震災における被災地外からの人的支援量の関連要因に関する分析	その他・非該当	その他	その他・非該当	その他・非該当
p0345	東日本大震災における被災地外からの人的支援量の関連要因に関する分析	その他・非該当	ボランティア	その他・非該当	その他・非該当
p0438	東日本大震災について報じられたウェブニュースコーパスの基礎的解析	直後・初動期 応急復旧期	情報	その他・非該当	その他・非該当
p0960	地震によるライフライン停止と住宅損傷を考慮した短期的避難需要の評価モデル：生活支障の計量評価を利用した震害波及過程の記載	直後・初動期	避難	その他・非該当	その他・非該当

図3-1-①-3 「震災教訓文献データベース」の検索結果の例

図3-1-①-4に1つの教訓を選択して表示した画面例を示す。ページのトップに論文結語中に記載されていた「教訓」として抽出した文を、その下部にタグ付けした結果や書誌情報を表示している。なお、文献がウェブ上にあるものについては、本文へのリンクも示している。

■ 東日本大震災における被災地外からの人的支援量の関連要因に関する分析

---

メディアが及ぼす人的支援の量への影響は、市町村の名称といった表象的な内容だけでなく、発信された内容がネガティブなのか、ポジティブなのか、といった質的な要素も影響することが予想される。これについても同様に今後の課題としたい。あわせて、人的支援量は十分であったか、不足していたかについても、別途、分析・評価することで、あるべき人的支援量を検証する必要がある。

作成者(論文:筆頭著者,報告書:発行機関):	2015/02/13
著者:	佐藤 翔輔
フェーズ:	その他・非該当
対象:	ボランティア
カテゴリ:	その他・非該当
場所:	その他・非該当
区分:	論文
掲載誌名:	地域安全学会論文集
掲載巻ページ:	No.19
出版者:	地域安全学会
災害種別:	東日本大震災

▶ 関連URL

- http://issj.jp.net/issj-site/wp-content/uploads/2013/08/2012-841\_cd.pdf

▶ 登録者の他の教訓 (コンテンツ)

- p0341 東日本大震災における被災地外からの人的支援量の関連要因に関する分析
- p0342 東日本大震災における被災地外からの人的支援量の関連要因に関する分析

図 3 - 1 - ① - 4 「教訓」の表示例

### 3) 東日本大震災の津波の来襲状況や被害について撮影・公開されている動画検索システムの仮実装 (構築中)

上記 2) に加えて、平成 26 年度 (今年度) は、東日本大震災の津波の来襲状況や被害について撮影・公開されている動画検索システムの仮実装を行った。システムの実装に先立ち、東日本大震災の津波の来襲状況、津波のシミュレーション動画、被害の状況をおさめてインターネット上 (YouTube) に公開される映像・動画を調査・整理し、データテーブルとして作成した。

以上の調査をもとに、検索キーワード (その動画を検索した際に用いたフリーワード)、動画 ID、タイトル、詳細 (動画の説明記述)、カテゴリ (YouTube で規定しているカテゴリ。例: News、People など)、URL をフィールドとするデータベーステーブルを作成した。なお、検索キーワードは、「東日本大震災」と「津波」を必須とし、青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県沿岸市町村名を採用している。さらに、詳細な位置座標が同定できたものは、緯度・経度もデータベーステーブルに登録した。

図 3 - 1 - ① - 5 に、開発中の動画検索システムの画面を示す。事例として参照す

る上で、「東日本大震災」の津波動画であるという条件はもとより、位置情報をキーにして、地図上で検索できるようにしている。本システムの構成や画面については、現在検討中であり、次年度も開発を継続して行う。



図 3 - 1 - ① - 5 動画検索システムの表示例 (仮)

#### 4) 東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集

本年度は、東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集（岩手県）を行った。

具体的には、以下の通りである。まず、岩手県下の東日本大震災の復興計画の策定状況について調査を行った（表 3 - 1 - ① - 1）。いずれの自治体も、震災から 1 年以内に計画策定が行われている。内容については、復興のハード事業のみならず、ソフト事業についても扱っているものがほとんどであり、都市計画マスタープランというよりは総合計画的な位置づけが与えられている。なお、いくつかの自治体では、このうちハード部分についてさらに詳細な計画を策定している場合も見られる。ほとんど

の自治体が土地利用計画図を付けており、その意味では空間計画的側面も有しているといえる。

策定手続きについて、ほとんどの計画が住民も含めた策定委員会を組織して計画されているが、議会の議決を経ている自治体は概ね半分程度である。

表 3 - 1 - ① - 1 岩手県における復興計画の策定状況

自治体名	計画名	策定日	内容	土地利用計画の有無	議会議決の有無	策定段階での委員会等の有無
洋野町	洋野町震災復興計画	平成23年7月28日	「町民生活の再生」、「ウニの里と地域産業の復興」、「災害に強いまちづくり」の3つを基本方針としたものである。	無	無※本部会議にて策定	有
久慈市	久慈市復興計画	平成23年7月22日	「生活を再建する」、「水産業を復興する」、「交流人口を拡大する」、「災害に強いまちづくりを進める」、「再生可能エネルギー等に取り組み」の5つの視点を設定している。	有※土地利用方針と防災関連施設等の計画案を掲載	有※市議会議員全員協議会にて協議、策定	無
野田村	野田村東日本大震災津波復興計画	平成23年11月7日	「防災まちづくり」、「生活再建」、「産業・経済再建」の3つの方針から成る。	有※地域別の防災に向けた復興パターンを掲載	無※村長、総務課長等計12名から成る本部会議にて決定	有
普代村	普代村災害復興計画	平成23年9月29日	「産業・経済の再建」、「住民生活の再生」、「災害に強い村づくり」の3つの目標を掲げている。	有	無	有
田野畑村	田野畑村災害復興計画(復興基本計画)	平成23年9月29日	「防災の地域づくり」、「生活再建」、「地域振興」の3つを基本方針としている。	無	有	有
	田野畑村災害復興計画(復興実施計画)	平成24年3月31日	『復興基本計画』の実現に向けての取り組みを、土地利用計画図を含め、より具体的に示したものである。	有	有	有
岩泉町	岩泉町震災復興計画	平成23年9月16日	「生活の再建」、「防災体系の強化」、「産業経済の再生」の3つを軸とした計画となっている。	有※防災施設、居住地・公共施設の移転先案を掲載	有	有
宮古市	宮古市東日本大震災(基本計画)	平成23年10月31日	「すまいと暮らしの再建」、「産業・経済復興」、「安全な地域づくり」を計画の柱としている。	無	無※市長、各部長等から成る本部会議にて策定	有
	宮古市東日本大震災(推進計画)	平成24年3月30日	『基本計画』の目標を達成するための具体的な実現手法を示している。	有※特に被害の大きかった地域に対し、土地利用の基本となる方向性を掲載	無※市長、各部長等から成る本部会議にて策定	有
山田町	山田町復興計画	平成23年12月22日	「津波から命を守るまちづくり」、「産業の早期復旧と再生・発展」、「住民が主体となった地域づくり」を基本理念としている。	有	無※本部会議にて策定	有
大槌町	大槌町東日本大震災津波復興計画(基本計画)	平成23年12月26日	「空間環境基盤」、「社会生活基盤」、「経済産業基盤」、「教育文化基盤」の4つの基盤の整備を基本方針としている。	有	有	有
	大槌町東日本大震災津波復興計画実施計画(第1期復興期)	平成24年5月23日	『基本計画』の実現に向けて、自治体が行う(もしくは支援する)施策、事業を具体的に示したものである。	有	有	有
	大槌町東日本大震災津波復興計画実施計画(第2期再生期)	平成26年5月8日	復興からの再生期として、4つの生活基盤における施策毎に予定している事業をまとめたものである。	無	有	有
釜石市	釜石市復興まちづくり基本計画	平成23年12月22日	4つの基本方針と7つの基本目標、そして目標を達成するための12の主要施策から構成されている。	有※地域毎に土地利用の方針を掲載	有	有
大船渡市	大船渡市復興計画	平成23年10月31日	「市民生活の復興」、「産業・経済の復興」、「都市基盤の復興」、「防災まちづくり」を大きな方針としている。	有※地域毎に大まかな土地利用の方針を掲載	有	有
陸前高田市	陸前高田市震災復興計画	平成23年12月21日	3つの基本理念、6つの基本方針、11の基本計画から構成されている。	有	有	有

次に、宮古市を事例として、より詳細な復興まちづくり計画の策定プロセスに関する資料の収集を行った。

策定手続きについて、ほとんどの計画が住民も含めた策定委員会を組織して計画されているが、議会の議決を経ている自治体は概ね半分程度である。

宮古市は、岩手県沿岸部に位置する小規模な自治体(被災前の人口は6万人程度)である。東日本大震災の発生に伴う津波で、中心市街地を含めた大規模な地域が壊滅的な被害を受けた。復興計画策定においては、マンパワーが不足する中、各地区に網羅的に住民協議会を設置し、積極的な住民参加を図った。

宮古市では3地区が被災し、それぞれにおいて市街地の再整備を行うこととなった。合意形成に向けて、被災戸数が40戸未満の23地区では「全体協議型」を採用し、被災戸数が100戸以上かつ複数の復興パターンが想定される10地区では、「検討会立ち

上げ型」を採用した。

「全体協議型」では、説明会と住民への戸別訪問を繰り返し、復興事業に関する理解を得ることを目指した。「検討会立ち上げ型」では、市主導で各地区に住民協議会（地区復興まちづくり検討会（以下「検討会」））を設置した。検討会は20～30名ずつ、市の声かけで集まった自治会長等で構成された。検討会の目的は、ワークショップにより、住民による「地区復興まちづくり計画案」を作成することである。宮古市はその内容を最大限に尊重した上で、復興計画を策定することとした。また、これらの検討会が策定した資料等についても収集を行った（図3-1-①-6、図3-1-①-7）。

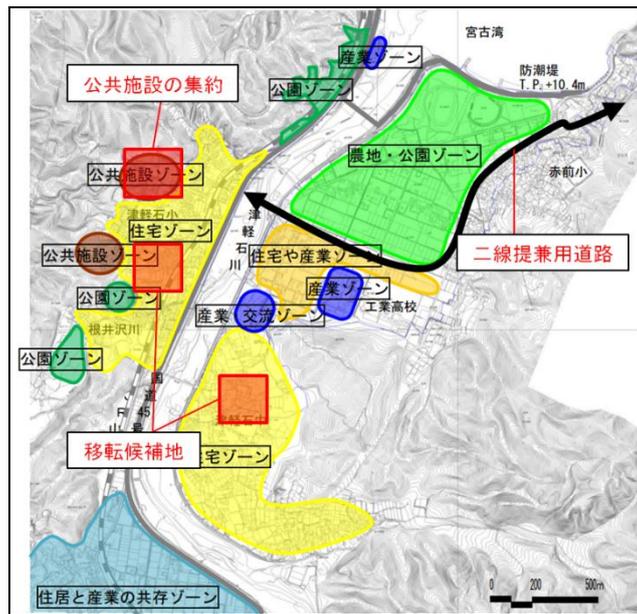


図3-1-①-6 津軽石地区・住民提言案

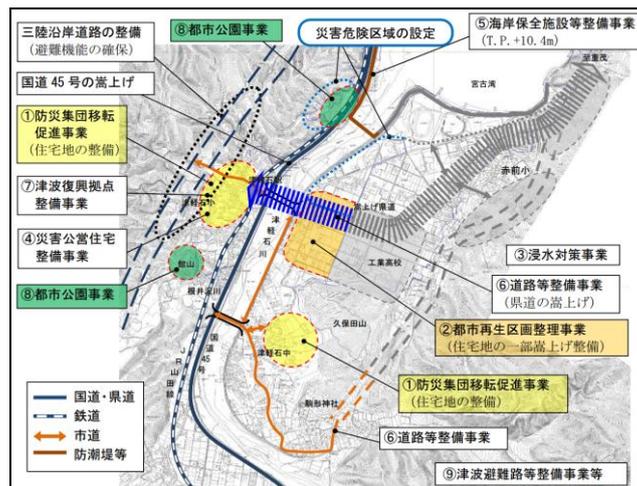


図3-1-①-7 津軽石地区・行政提言案

(c) 結論ならびに今後の課題

平成25年度（昨年度）行った「東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」の基

本設計から得られた災害履歴データベース、理論データベース、事例データベースからなる「3層アーカイブモデル」にもとづき、平成26年度（今年度）は、「東日本大震災の教訓」を具体的に記述している理論データベース（教訓検索システム）を公開するウェブシステムの実装と東日本大震災の津波の来襲状況、シミュレーション、被害の状況に関する動画を検索できるシステムの仮実装を行った。さらに、東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータを収集した。次年度は、昨年度のインタビュー調査協力自治体を中心に、開発したシステムのユーザー評価を行い、システムの有用性の有無や改良点を明らかにすることを今後の課題とする。

#### (d) 引用文献

なし

### ②震源域情報

#### (a) 業務の要約

（独）海洋研究開発機構は、岩手沖から宮城沖にかけて、海溝軸部分を中心に高精度マルチチャンネル反射法探査データを実施した（Nakamura et al., 2013; 2014）。その結果、南北方向に堆積層の厚さや太平洋プレート側の断層分布に違いが見られることが明らかになった。太平洋プレート側の断層分布では、大きく湾曲している部分があり、こういった不均質構造と津波波源域や地震発生時のすべり量分布との関係を今後、整理する必要がある。

また、震源分布を2010年、2011年、2012年の3か年の情報を集め、時空間分布の違いを抽出してみた。特に誘発地震として以前から海溝型地震発生後に比較的大きな陸域を引き起こすことから、少し長いスパンで地震の発生頻度の変遷を比較した。ほとんどの場所は地震の発生前後で大きな違いはないが、1年以上たっても群発地震がおさまらない場所が比較的震源から遠いエリアにも存在している。今後、情報を増やしたうえで、あらゆる時間スケールで比較してみる必要がある。

#### (b) 業務の実施方法

（独）海洋研究開発機構が実施した高精度マルチチャンネル反射法探査の反射記録断面の解釈結果を収集し、断層分布の知見を得る。また、気象庁一元化震源情報から地震活動の時空間分布の情報を得る。これらの整理した情報をこれらの成果を論文から取りまとめ、データベースの一要素として整理した。

#### (c) 業務の成果

（独）海洋研究開発機構では、東北地方太平洋沖地震発生以降、同海域において高精度のマルチチャンネル反射法探査を行ってきた（Nakamura et al., 2013; 2014）。この東北地方太平洋沖地震の海溝軸近辺のすべりの不均質の背景を調べることも背景の一つである。これまで岩手県沖から宮城県沖にかけてまんべんなくデータを取得している。図

3-1-②-1は測線図と海溝軸近辺の読み取った断層分布である (Nakamura et al., 2014)。これによると岩手県北部沖の断層の走向は海溝軸のそれに近いが、岩手県南部沖から宮城県沖にかけては、断層の走向が海溝軸に斜交している。図3-1-②-2は堆積層厚分布に着目した例である。これからは、岩手県南部沖と宮城南部沖に堆積層が薄く、両県北部沖では厚くなる傾向がみてとれる。これらの構造的特徴が繰り返し発生してきた巨大地震の何に影響を及ぼしているのか、今後、福島県沖まで測線を広げる計画があるため、今後に期待したい。

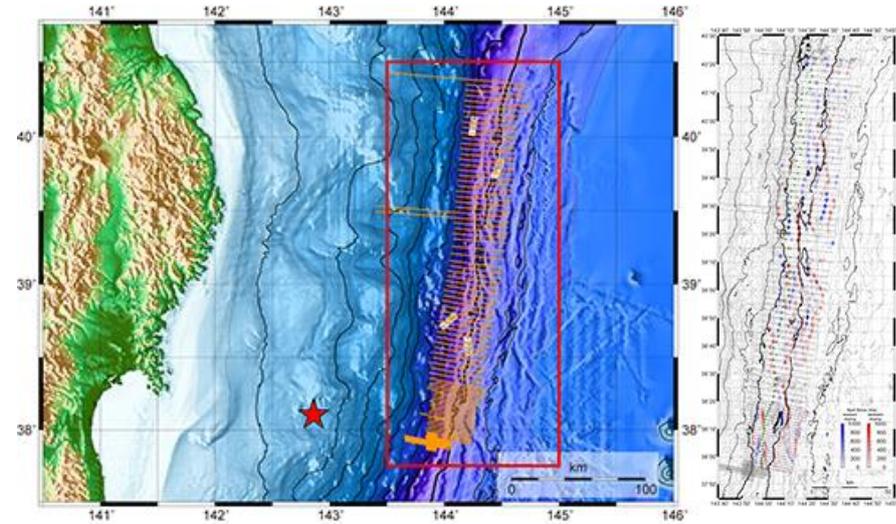


図3-1-②-1 高精度反射法探査測線(左)と読み取った断層分布(右) (Nakamura et al., 2014)。星印は本震の震央位置を示す。

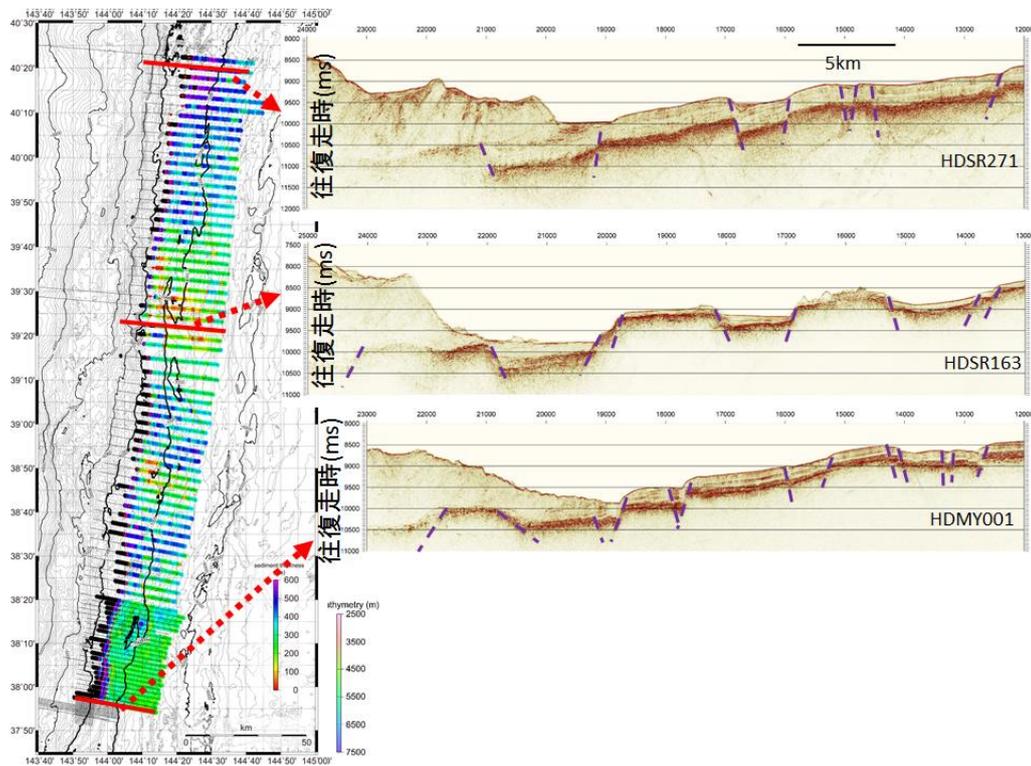


図3-1-②-2 反射断面比較と堆積層厚分布 (Nakamura et al., 2014)。

次に東北地方太平洋沖地震前後の震源分布図を比較する。特に、海溝型地震後の誘発地震の発生は、三河地震などその規模が比較的大きく被害をもたらす例もあることと、余震が長く継続すれば復旧復興作業にも影響を及ぼす可能性があるため、余震の位置と継続性は防災を議論するための要素の一つである。過去に既に Hirose et al. (2011)より、同地震直後に活発化したエリアが示されている。しかし、2011年3月までに限られており、継続的な整理はなされていない。ここではおおざっぱな傾向をまず把握するため、年ごとの比較を行った(図3-1-②-3)。地震発生前の2010年、地震発生の直前と直後の2011年、比較的時間を経たあとの2012年の3か年の分布を比較した。これを見ると、震源分布に一部変化があったことがわかる。例えば、田沢湖の東側で2010年南北に長いクラスタを形成していたが、地震後からは東側ではなく、西側に震源クラスタが移動している。猪苗代湖の北西側は、地震前は特に震源はなかったが、地震後2012年の震源分布でもはっきりしたクラスタを抽出することができる。もっとも目立つのは福島県いわき市周辺である。2010年はまったく浅部の地震(赤)は見られないが、地震が発生した2011年から顕著なクラスタを形成している。銚子沖の浅部の地震もいわき市周辺と共通の特徴を示している。一方、秋田沖から北海道南西沖地震のエリアは、地震前後ともおなじようなクラスタを形成している。そこで3年間の震源分布を重ねて比較してみる。図3-1-②-4は、2010年(赤)、2011年(緑)、2012年(青)の順で震源を重ねた図である。赤が残っていれば、地震前のクラスタの活動度がさがったことを示す。この図を見ると、日本海の積丹半島西沖と八丈島東沖以外に赤で示された震源クラスタは存在しない。日本海溝前弧域や海溝海側斜面には緑色が顕著になるが、これは本震発生後、余震がおさまってきたことを意味している。図3-1-②-5は逆に2012年(青)、2011年(緑)、2010年(赤)の順で重ねた図である。青が残っている、つまり本震後しばらくたってから活発化した場所は襟裳海山周辺のみである。また、赤の周囲に緑が目立つのは、地震前に存在していたクラスタも地震後も同じように震源クラスタを形成するが、地震後そのエリアが拡大したことを示す。地震前の震源クラスタが地震後も活動し、地震後の余震のクラスタは1年以上たっても基本的にかわらない。但し、地震前の震源クラスタが地震後広がっている様子が日本海秋田沖や新潟県、群馬県で確認することができる。

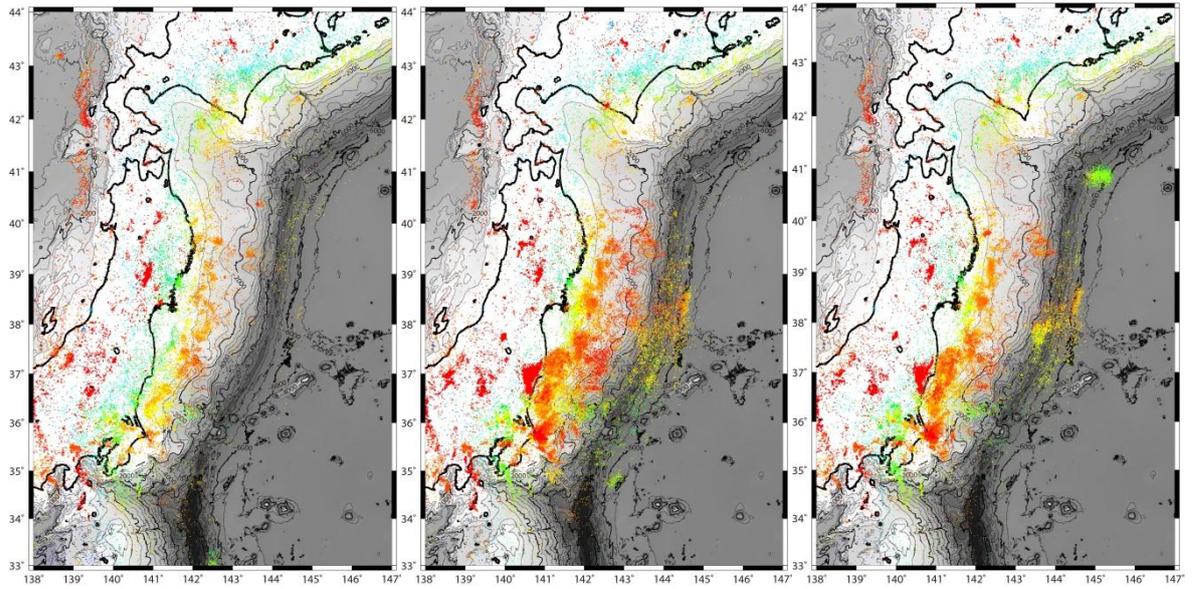


図 3-1-②-3 1年間の気象庁一元化震源による震源分布。(左) 2010年、(中) 2011年、(右) 2012年。

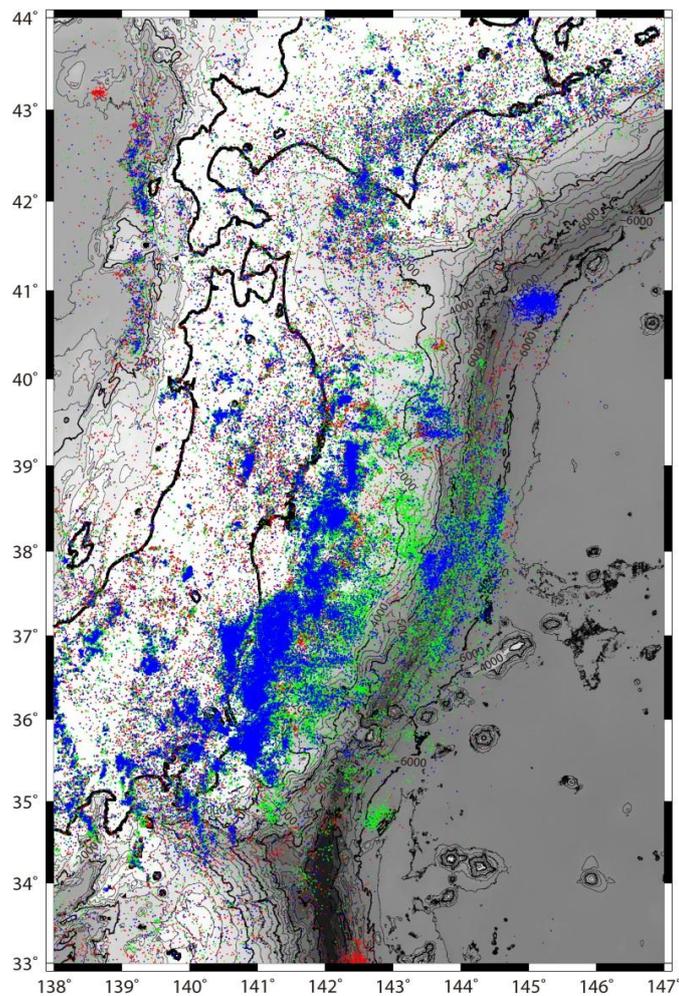


図 3-1-②-4 2010年(赤)、2011年(緑)、2012年(青)の順に震源分布を上書きした比較図。

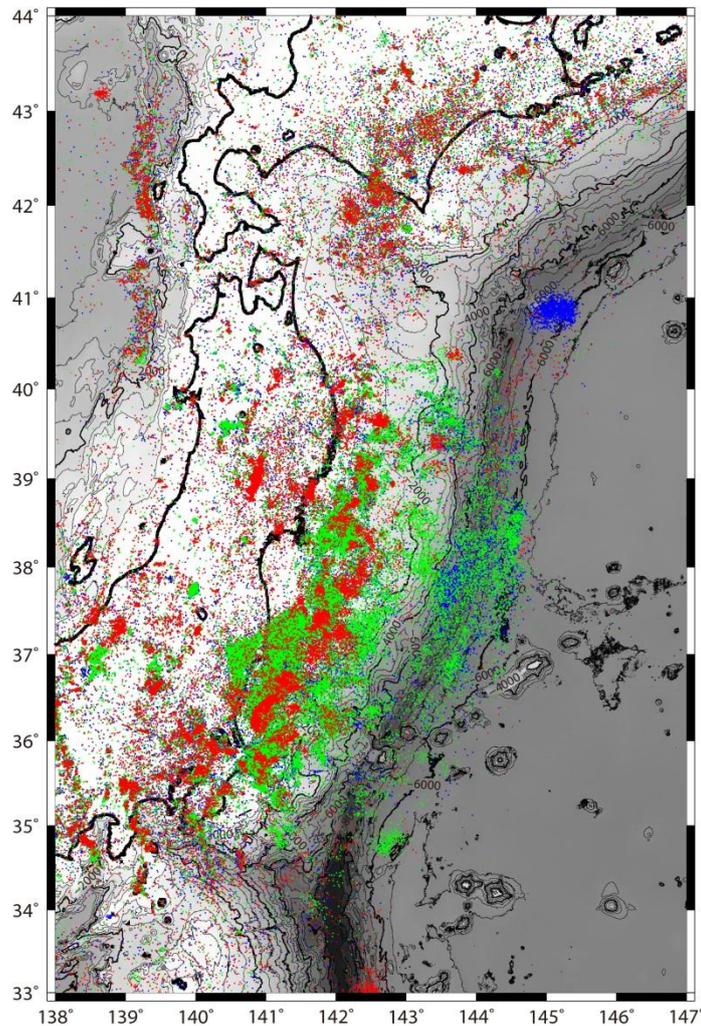


図 3-1-②-5 2012年(青)、2011年(緑)、2010年(赤)の順に震源分布を上書きした比較図。

(d) 結論ならびに今後の課題

反射法探査データからは断層分布の走向が岩手県北部と同県南部以南で大きく変わっていることが明確になったが、更に福島県沖の断層分布を把握することが必要である。今後もデータを収集し、また、新しい調査観測データを得て、今後より広域で特徴を抑えてみたい。震源分布の比較は1年ごとの比較であったが、それでも震源クラスタの成長を一部のエリアで確認することができた。今後、新しいデータを付け加えるとともに、いろんな時間スケールで比較する。

(e) 引用文献

Hirose, F., K. Miyakoya, N. Hayashimoto, T. Yamazaki and M. Nakamura, Outline of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Mw 9.0) –Seismicity: foreshocks, mainshock, aftershocks, and induced activity-, Earth Planets Space, 63, 513-518, 2011.

Nakamura, Y., S. Kodaira, S. Miura, C. Regalla, and N. Takahashi, High-resolution seismic

imaging in the Japan Trench axis area off Miyagi, northeastern Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 1713-1718, doi:10.1002/grl.50364, 2013.

Nakamura, Y., S. Kodaira, M. Yamashita, S. Miura, G. Fujie, M. Strasser, K. Ikehara, T. Kanamatsu, K. Usami, Incoming sediments and its deformation observed on high resolution seismic profiles in the northern Japan Trench axis region, AGU Fall meeting 2014.

### ③復興

#### (a) 業務の要約

震災後のまちの復興過程のアーカイブ化及び分析手法の開発を実施した。現地調査の日程・概要は表3-1-③-1の通りである。

表3-1-③-1 復興モニタリングシステムの開発に係る現地調査の日程・概要

年月日	調査先	調査概要
平成26年10月4日(土)	石巻市「ISHINOMAKI2.0」	Webカメラ設置候補場所の調査
平成26年10月5日(日)	陸前高田市「みんなの家」	Webカメラ設置状況の確認、座談会の開催に向けた調整
平成26年10月5日(日)	大船渡市	Webカメラ設置候補場所の調査
平成26年12月20(土)	石巻市 アイトピア商店街	Webカメラ設置候補場所の調査

#### (b) 業務の実施方法

復興過程のモニタリングを実施するため、ハード・ソフトの両面から以下の業務を実施した。

- 1) 本年度モニタリングを実施している陸前高田市の「みんなの家」に設置したシステム全体の運用・管理。
- 2) モニタリングカメラの増設場所の検討(石巻市)。
- 3) 市民に対する、モニタリングの画像を利用した災害過程のヒアリング調査(図3-1-③-1)。
- 4) アーカイブ分析手法の検討(図3-1-③-2)。



図 3-1-③-1 ヒアリング状況（中央が牧教授）

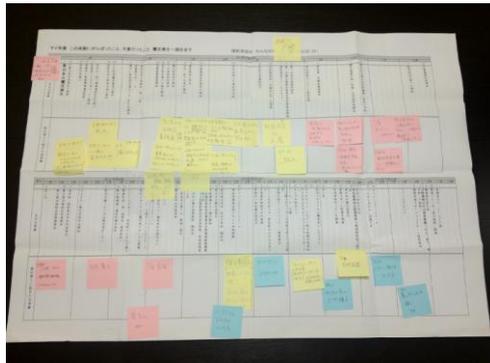


図 3-1-③-2 画像を見て甦った証言の整理

(c) 業務の成果

- 1) 画像配信の稼働状況の監視（サーバへの送信の不具合、システムダウン等）や機材の物理的メンテナンス（陸前高田市「みんなの家」に設置しているモニタリング機材の防水措置）を通じてモニタリングを継続した。
- 2) モニタリングカメラの増設候補地を決定した。
- 3) モニタリングの成果を災害対応の科学研究に活用する可能性を確認できた。
- 4) モニタリング映像に活用して復興の効果を推定（仮説）するために必要な仕様を整理した。

(d) 結論ならびに今後の課題

現在実施中のシステム設計が復興モニタリングに充分有効であることが確認された。今後の課題として、モニタリング中に収集される個人情報の扱いが挙げられる。

現在実施している陸前高田市「みんなの家」からのモニタリングは町全体の変化を捉えるため、個人情報（人相や服装、自動車のナンバープレートなど）が記録される懸念がないが、石巻市に増設を検討しているカメラは街並みやにぎわいの変化をモニタリングするため、その懸念がある。現在、対応を検討中である。

(e) 引用文献

なし

#### ④地震動

##### (a) 業務の要約

平成 25 年度に引き続き東北地方太平洋沖地震および余震時等の地震波形データ等のゆれに関する情報を収集、整理し、昨年度作成したデータベースにデータを追加した。

##### (b) 業務の成果

平成 25 年度において、既に収集された主に自治体等の震度計における 2011 年東北地方太平洋沖地震の本震・余震の地震波形データを汎用性のあるデータフォーマットに変換・整理し、データベース化を行ってきた。本業務では、昨年度に引き続き、東北地方太平洋沖地震および余震時等の地震波形データ（約 19,000 波形）について、昨年度作成したデータベースにデータを追加した。また、データベース化した K-NET 形式の波形データのヘッダ情報等（記録開始時刻やマグニチュード等の各種情報）や波形名称等の確認・修正作業を行い、昨年度整理したデータと合わせて合計約 96,000 波形について観測記録の情報の統一的な整理を行った。

収集したデータのうち、東日本地域の自治体における合計 893 震度計観測点（図 3-1-④-1、表 3-1-④-1）のデータについて、汎用性のある K-NET(ASCII) 形式フォーマットに変換・整理し、データベース化を実施した。なお、昨年度同様に、東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県、神奈川県については、首都圏強震動総合ネットワーク(SK-net)による公開データを利用した。



図 3-1-④-1 フォーマット変換・整理作業を実施した自治体範囲（緑色：自治体から直接収集、黄色：SK-net のデータを利用）

表 3-1-④-1 自治体（都道府県・政令指定都市単位）から収集した観測点数一覧

都道府県 政令指定都市	観測点数
北海道	68
札幌市	12
青森県	58
秋田県	56
岩手県	58
宮城県	49
仙台市	5
山形県	48
福島県	83
群馬県	54
栃木県	52
新潟県	104
長野県	101
山梨県	78
静岡県	67
合計	893

自治体から収集した地震波形データの期間と観測点数を表 3-1-④-2 に示す。今年度約 19,000 波形の収集、整理を実施し、昨年度と合わせ整理したデータは約 96,000 波形となった。収集した地震波形データは自治体毎に異なったフォーマットであるため、それらを統一的に利用できるよう K-NET 形式（図 3-1-④-2）に変換する。変換の手順として、K-NET 形式の波形データに変換し、ヘッダ情報等の修正を行い、観測点コード名および RecordTime 等の修正およびデータベースの階層構造と観測点リストを統一化した（表 3-1-④-3、図 3-1-④-3）。

図 3-1-④-4 に今回フォーマット変換を実施した自治体震度計、および、気象庁、港湾技研、K-NET、KiK-net による震度相当値分布図を示す。空間補間の方法は、強震観測地点の計測震度を Vs30 マップから求まる増幅度（若松加寿江・松岡昌志, 2008）を減じて硬質地盤（Vs30 が 600 m/s 相当）での値に戻し、地震の震源からの距離減衰特性をトレンド成分とした Simple Kriging による空間補間計算（防災科学技術研究所, 2008）を行うことで硬質地盤上における計測震度の分布を計算し、250m メッシュ単位にて地盤の増幅度を加算して求めた。

表 3-1-④-2 収集した自治体のデータの期間、データ数（波形数）の一覧（平成 25、26 年度の合計）

都道府県 政令指定都市	データの期間	データ数 (波形数)
北海道	2002.1～2011.9	10494
札幌市	2002.1～2011.12	477
青森県	2010.3～2011.7	355
秋田県	2011.3～2011.10	8004
岩手県	2011.3～2011.10	6690
宮城県	2011.3～2011.9	2406
仙台市	2011.3～2011.9	58
山形県	2011.1～2011.11	5367
福島県	2011.1～2011.12	37924
群馬県	2007.10～2011.6	3860
栃木県	2011.3～2011.10	3325
新潟県	2009.10～2011.6	2730
長野県	2011.1～2011.10	4920
山梨県	2010.4～2011.9	4316
静岡県	2007.10～2011.6	4832
合計		95758

Origin Time	2011/08/16 11:46:00	#地震発生時刻
Lat.	38.1	#震央北緯
Long.	142.4	#震央東経
Depth. (km)	20	#震源深さ
Mag.	6.8	#マグニチュード
Station Code	AKTM001	#観測点コード
Station Lat.	40.3252	#観測点北緯
Station Long.	140.7463	#観測点東経
Station Height (m)	168	#観測点標高
Record Time	2011/08/16 11:47:12	#記録開始時刻
Sampling Freq(Hz)	100Hz	#サンプリング周期
Duration Time(s)	127.59	#計測時間
Dir.	E-W	#チャンネル
Scale Factor	2000(gal)/8388608	#スケールファクタ
Max. Acc. (gal)	10.41	#最大加速度
Last Correction	2011/08/16 11:00:00	#最終構成時刻
Memo.		#メモ欄
	-64343 -64288 -64226 -64257 -64321 -64357 -64366 -64295	#データ
	-64239 -64311 -64379 -64336 -64315 -64334 -64326 -64277	
	-64282 -64242 -64203 -64218 -64304 -64449 -64332 -64283	
	-64318 -64312 -64278 -64236 -64235 -64237 -64329 -64316	
	-64228 -64221 -64270 -64310 -64250 -64248 -64266 -64291	
	-64317 -64339 -64341 -64186 -64243 -64274 -64230 -64244	
	-64274 -64297 -64345 -64346 -64329 -64318 -64140 -64216	
	-64315 -64292 -64242 -64191 -64225 -64293 -64326 -64304	
	-64264 -64349 -64320 -64345 -64374 -64344 -64243 -64247	
	.....	
	-64293 -64306 -64285 -64251 -64371 -64310 -64297 -64302	

図 3 - 1 - ④ - 2 K-NET(ASCII)形式ファイルフォーマット概要

表 3 - 1 - ④ - 3 観測点データのコード対応表 (秋田県の一例)

気象庁 code	lat.(w)	lon.(w)	観測開始	観測終了	観測点名 (地点住所)
J55202	40.2120	140.0267	199711101200	999999999999	能代市上町
J55206	39.8874	139.8479	199711101200	999999999999	男鹿市船川
J55341	40.0463	140.0815	200603221200	999999999999	三種町鹿渡
J55342	40.2055	140.2316	200603221200	999999999999	能代市二ツ井町上台
J55343	40.3692	140.0174	200604031200	999999999999	八峰町八森中浜
J55344	40.1076	140.0725	200811041200	999999999999	三種町豊岡
J55345	40.1017	140.0048	200603221200	999999999999	三種町鶴川
J55346	40.2784	140.2617	199711101200	999999999999	藤里町藤琴
J55362	39.8693	140.0659	200503221200	999999999999	潟上市昭和大久保
J55363	39.9493	140.0733	199711101200	999999999999	八郎潟町大道
J55364	39.8833	140.0707	200503221200	999999999999	潟上市飯田川下虻川

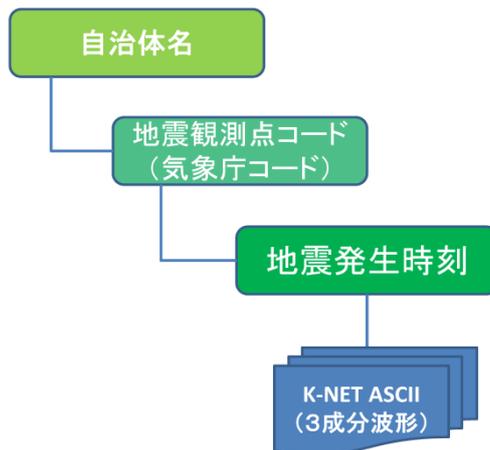


図 3 - 1 - ④ - 3 データベース化した基本的な階層構造

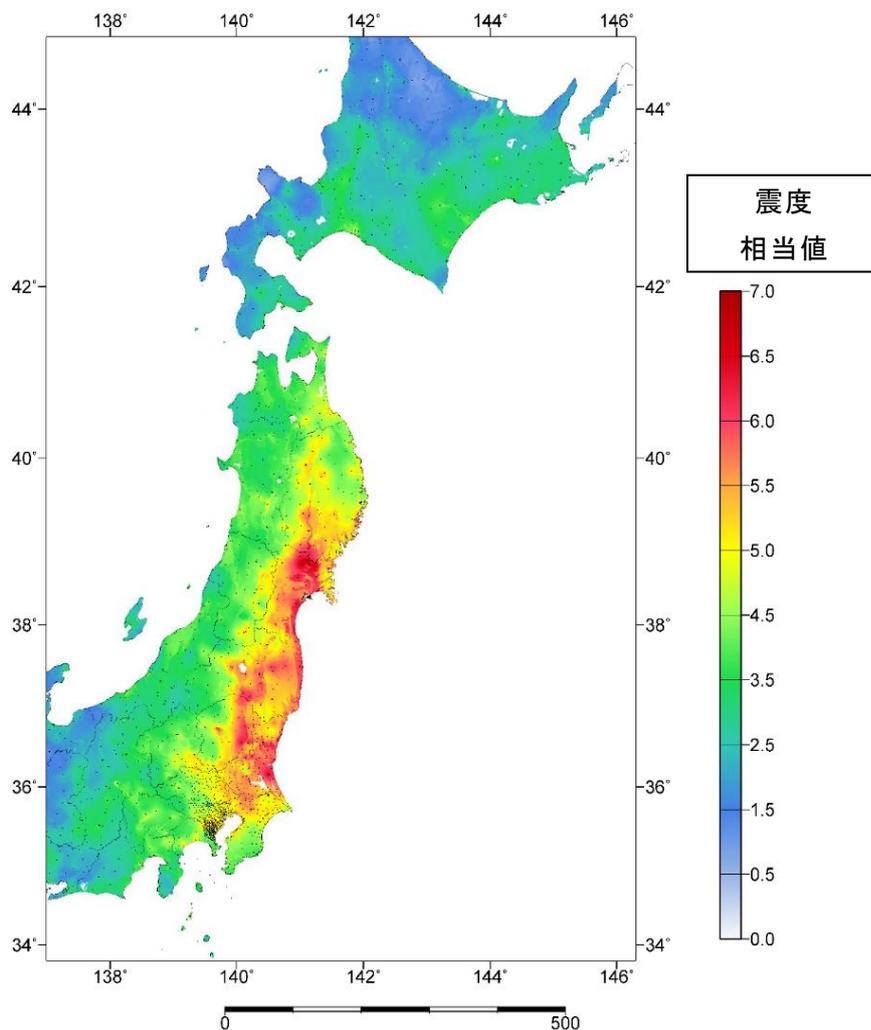


図 3 - 1 - ④ - 4 収集整理した自治体震度計と、気象庁、港湾技研、K-NET、KiK-net の地震記録による 2011 年東北地方太平洋沖地震の震度相当値分布図（地図中の黒点は観測点）

(c) 結論ならびに今後の課題

今年度の業務では、東北地方太平洋沖地震およびその余震時等の地震波形データについて約 19,000 波形を追加し、K-NET(ASCII)形式にフォーマット変換したうえで、各自治体・観測点・地震発生時間毎に階層化し、データベース化した。また、K-NET フォーマットの地震観測点名および波形名称に気象庁コードを入れることによって関連性が分かるようにした。これにより波形の整理・管理が容易にできるようになった。今後は、今年度整理された地震波形データについて、研究利用を目的としたデータの公開が可能となるよう自治体等の関係各機関と調整・手続きを行うことが必要である。

(d) 引用文献

- 1) 若松加寿江、松岡昌志, 地形・地盤分類 250m メッシュマップ全国版の構築, 日本地震工学会大会 -2008 梗概集, pp.222-223, 2008. (デジタルデータは <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>)
- 2) 防災科学技術研究所川崎ラボラトリー, 文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト公開ソフトウェア, <http://www.kedm.bosai.go.jp/japanese/daidaitoku/software.html>, 2008.

⑤被害

(a) 業務の要約

東日本大震災における建築物の被害状況と教訓について、文献調査に基づき整理・考察した。各種構造の被害について、鉄筋コンクリート造では 1981 年以前の旧耐震基準による建物の被害が顕著であったこと、鉄骨造では体育館のブレース等の構造被害や大規模な天井落下がみられたこと、木造では震度に比して全壊・大破の率が小さいこと、宅造地盤や液状化による被害がみられたこと、などの特徴が得られた。また大規模地震に伴う長周期地震動により、多数の高層建物や免震建物が大きな応答を生じ、構造、設備、室内等に被害を生じた。宅地造成地の被害や大規模な液状化による建物被害も生じた。このような特性は、現在の建物の状況を反映し、また大規模地震に伴う広域の被害発生という観点で、将来の南海トラフ地震等における被害予測と被害軽減のために有用な知見といえる。

(b) 業務の実施方法

学会・研究機関等による調査報告書、および学術論文などの文献調査を行い、被害発生の傾向や原因・課題について整理・考察を行った。特に、被害の全体像を組織的に網羅した調査結果（日本建築学会, 2011；国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所, 2012（以下国総研・建研 2012）；日本建築構造技術者協会東北支部, 2012 など）を主に用いて、各種構造の被害（鉄筋コンクリート造、鉄骨造、木造）と、長周期建物の被害（高層建物の構造と室内、免震建物）に分けてまとめた。

### (c) 業務の成果

#### 1) 地震動による各種構造物の被害

2011年東北地方太平洋沖地震においては、設計における大地震・レベル2相当の地震動が広範囲で観測されており、多数の建築物がこうした地震動を経験した。一方で、地震動特性の観点からは、1995年兵庫県南部地震の神戸海洋気象台の観測記録などと比べて、主に周波数特性の相違により一般的な建物を破壊する威力を有しているものは多くない。兵庫県南部地震の強震記録にみられる、いわゆるキラーパルスのような成分が見られなかったことが、震度の大きさに対して建物被害が多くない理由と考えられる。

ここでは、国土交通省国土技術政策総合研究所と独立行政法人建築研究所による平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震被害調査報告(国総研・建研, 2012)を主に参照し、各種構造(鉄筋コンクリート造建物, 鉄骨造建物, 木造建物)ごとに、地震動による建築物の被害を分析する。

#### a) 鉄筋コンクリート造建物

大きな傾向としては、1981年に施行された新耐震基準に従って設計された建物(新耐震建物)と、それ以前の旧耐震基準による建物(旧耐震建物)において、被害の程度に大きな差が生じた。旧耐震建物では柱のせん断補強筋が不足し、柱がせん断破壊する傾向が第一に挙げられる。柱がせん断破壊すると、その柱を有する階の耐力(地震により水平力に耐える力)が急激に減少することになる。建物骨組が地震動を受けて、骨組全体がしなって水平方向に変形しているときに、特定の階の耐力が減少すると、骨組の変形がその階に集中してしまいその階の変形は急激に進展することになる。1階が柱のみで構成され、2階以上に連層耐震壁が存在する住宅系建物の1階部分・ピロティがこうした現象を伴い層崩壊し落階する被害が確認されている。また、中間階においても、柱のせん断破壊によって層崩壊した被害も確認されている。



図3-1-⑤-1 柱のせん断破壊(国総研・建研, 2012)



(a) 1階層崩壊



(b) 中間階層崩壊

図3-1-⑤-2 鉄筋コンクリート造建物の層崩壊（国総研・建研，2012）

鉄筋コンクリート造建物においては、集合住宅の玄関ドア周りや南側の掃きだし窓周り等に、柱梁の構造主架構に取り付く雑壁が存在する。この雑壁は設計時には構造上考慮されない、つまり力を負担しないと仮定されることが一般的で、非構造壁とも呼ばれる。しかし、実際には、柱もしくは梁と一体でコンクリート打設されており、柱や梁の動きを部分的に拘束するため、骨組内における力の分配に影響を及ぼす。上下の梁のみに挟まれる長い柱と、さらにたれ壁、腰壁で上下を拘束された短い柱が並んでいると、その階に加わる水平力は、剛性の違いから短い方の柱に集中する。鉄筋コンクリート柱は、短くなるとせん断破壊しやすくなるため、雑壁の存在が主構造架構の柱における重度被害を誘発する。



(a) 建築物H（損傷度IV）



(b) 建築物J（損傷度IV）

図3-1-⑤-3 短柱のせん断破壊（国総研・建研，2012）

非構造壁にも実際には力が加わる。非構造壁のせん断破壊は、大規模な補修が必要となる建物として重度の損傷に分類される。玄関周りの非構造壁の損傷によってドアが開かなくなることもあり、避難行動を阻害する危険もある。また、開いたドアが閉まらなくなり、防犯上の不具合の原因にもなる。

新耐震設計に従う建物の場合は、柱、梁が粘りのある曲げ破壊に至ることが多く、相対的に被害を小さくしているが、非構造壁自体の被害については、旧耐震建物同様に多数報告されている。これにより、特に集合住宅で継続使用できない例が多数発生し、被

災の影響度の観点からは重要である。



(a) 玄関ドア周りの非構造壁



(b) ベランダ側の非構造壁

図3-1-⑤-4 非構造壁のせん断破壊 (国総研・建研, 2012)

耐震補強済み建物で大きな問題があった例は多くないが、東北大学工学研究科建物（SRC造9階建）があげられる。1969年の竣工から1978年宮城県沖地震の顕著な被害を経て、2005年に耐震補強がなされていたが、今回の地震で高層棟の柱脚などに顕著な被害を受け、全壊となった。敷地は丘陵地にあつて、近くの10階建て程度の2棟も全壊しており、地盤増幅の周期との共振も影響したとされている（日本建築学会，2011）。

津波による被害については、鉄筋コンクリート造では耐力が大きく流されずに残る場合が多いため、様々な被害を生じた。波力による構造被害のほか、深い水深による浮力や転倒モーメントによる転倒、建物周辺地盤の洗掘などがみられる（日本建築学会，2011）。

#### b) 鉄骨造建物

通常の事務所ビル等の鉄骨造建物は、内外装材や耐火被覆などにより鉄骨骨組が覆われており、外観からは構造骨組の損傷を直接見ることはできない。東日本大震災における一般的な鉄骨造建物の調査では、内外装の脱落などがあるものの、倒壊等の顕著な構造被害は多くない。兵庫県南部地震の際の鉄骨造建物の被害調査では、柱と梁を接合している梁の端部の溶接部分が、スカラップとよばれる溶接棒を通すための穴の付近から破断する例が多数確認された。このような被害は東北地方太平洋沖地震ではあまり報告されておらず、その主な原因は地震動特性の相違と考えられる。

大空間構造物に分類される体育館においては、構造物被害とともに内部被害も多数報告されている。避難所としての役割を担う体育館の地震時安全性の確保は重要な課題であり、その被災状況は貴重な事例といえる。

体育館の構造被害は鉛直ブレースの座屈と接合部破断が多く、特に旧耐震基準で設計された場合はブレースを含む架構自体の耐力が不足しており、またブレース接合部がブレース自体の耐力を十分に上回っていないため、新耐震基準の建物に比べて相対的に被害が多くなっている。ラチス柱斜材の座屈や、鉄骨造屋根の水平ブレースのたわみ、座屈、破断についても、基本的には、ブレース自体の耐力に対して過度の力が加わった

こと、接合部の設計が不十分であったこと等が原因といえる。



(a) ブレースの座屈と接合部破断



(b) ラチス柱斜材の座屈

図 3-1-⑤-5 非構造壁のせん断破壊 (国総研・建研, 2012)

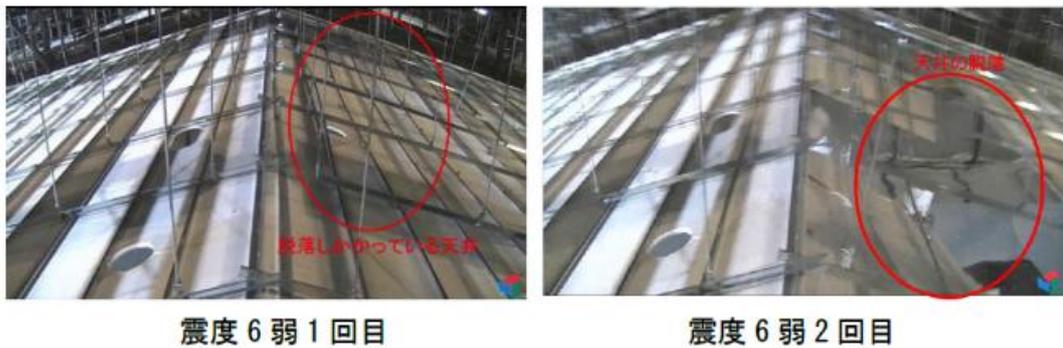
非構造部材の被害としては、天井、照明の脱落で大きな被害が報告されている。その他、外壁、内壁の脱落、窓ガラスの損壊などがある。天井の被害については、旧基準に従った場合と、現行基準に従った場合において、大きな差異は無く、天井を取り付けている下地材の条件が大きな影響を及ぼすと考えられる。



図 3-1-⑤-6 体育館天井の落下 (国総研・建研, 2012)

こうした状況を受けて、2014年1月にE-ディフェンス(実大三次元破壊実験施設)において、鉄骨造体育館の試験体内部に施工した大規模天井の振動実験が行われた。この実験では、天井の落下防止が未対策の場合として、吊ボルトとハンガーで構成される軽鉄下地に天井ボードを取り付けた一般的な吊り天井と、対策を施した場合として、内部に斜材を入れるとともに天井と側壁の間に適切なクリアランスをとった耐震吊り天井を比較して、被害の原因と対策の効果が検証された。未対策の場合では、K-NET 仙

台波 50%（震度 6 弱）の加振でも吊りボルトとハンガーの接合部が緩んで外れ、天井ボードの落下にいたるメカニズムが明らかにされた。耐震天井の場合は、斜材が効率的に力を負担するため、同地震動において損傷は生じなかった。さらに K-NET 仙台波 100%（震度 6 強）による加振では、通常流通する JIS 規格の斜材では折れ曲がり元の形に戻らなくなる損傷が生じている。一方で、より高強度の斜材を用いればこうした被害も軽減されることも明らかにされている。以上の被害状況と実験結果から、現在の特定天井の耐震対策につながっている。



(a) 未対策の天井：K-NET 仙台波 50%（震度 6 弱）



(b) 耐震天井：K-NET 仙台波 100%（震度 6 強）

図 3-1-⑤-7 体育館天井の実験

### c) 木造建物

主に木造住宅については、広域で多数の被災状況が確認され、その一般的傾向についても検討されている。

地震動と被害の関係については、東北地方の自治体による罹災調査に基づいた被害傾向の検討が行われている（川合ほか，2014）。結果として図 3-1-⑤-8 に示す被害率曲線が得られており、同図の兵庫県南部地震以降の地震被害データに基づく既往の推定式に比べて被害率がかなり小さい。この原因として、地震動の周期特性や木造建物の耐震性能の地域差、特に東北地方でこれまでに強い地震を複数回受けたことにより古く弱い建物が淘汰された可能性などが考察されている。実際、宮城県北部、岩手県南部では、2000 年以降で震度 5 弱以上の地震動を 5 回以上経験している地域がある。

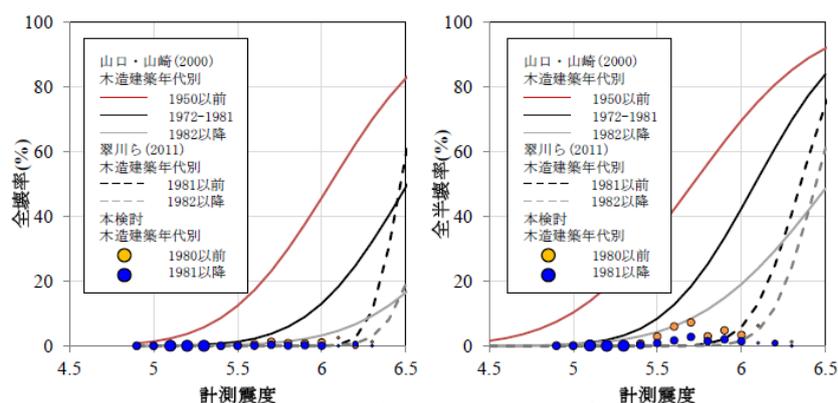


図 3-1-⑤-8 被害率と計測震度の関係 (川合ほか, 2014)

一方、宮城県の強震観測地点周辺の主に木造建物について、悉皆調査に基づく検討が行われている(林ほか, 2013)。この結果からも、全体に震度の大きさに比して全壊・大破の数が少ないこと、その原因が短周期の卓越する地震動特性と関係していること、相対的に被害が多い地点(JMA 大崎市古川三日町)では1~1.5秒応答が大きいことが示されている。

被害状況としては、比較的早く耐震性の低い建物が被災している。たとえば図3-1-⑤-9に示すように、在来軸組構法による木造住宅においては、開口部が大きく筋かいが少ない場合に、水平に大きく変形し残留すると共に、外壁・内壁に仕上げ材の脱落が見られた。また屋根瓦の被害も見られる。



図 3-1-⑤-9 木造建物の被害 (国総研・建研, 2012)

地盤に起因する建物被害も生じている。宅地造成地の被害は仙台市などを中心に多数発生した。仙台市では1978年宮城県沖地震の際の宅地造成地の被害(緑ヶ丘など)が知られているが、今回はそれ以降に開発された地域が大規模な被害を受けた例も報告されている。一方、液状化は関東も含む広範囲で発生し、特に浦安市を中心とする東京湾岸の埋め立て地などで顕著な被害を生じた。比較的小規模で基礎も強固でない木造住宅は、地盤被害の影響を顕著に受ける傾向は指摘できる。

## 2) 地震動による長周期建物の被害

### a) 長周期建物の研究背景

2005年に日本建築学会・土木学会より海溝型巨大地震への対策を訴える共同提言が発表された。こうした社会情勢のもと、文部科学省プロジェクトとして超高層建物のE-ディフェンス実験が実施された。2007年度に行われた超高層鋼構造建物の骨組の耐震性能を検証した実験を図3-1-⑤-10に示す。超高層建物の鋼構造骨組を低層部のみ製作し、錘とバネからなる上部装置を設置することで、部分骨組に超高層建物の揺れが加わる実験システム（高さ80mの超高層建物を想定）が採用された。柱と梁の接合詳細は、1970年代の設計資料に見られる特徴をできるだけ再現している。

東海・東南海地震を想定した予測地震動として、3秒付近の周期帯が卓越した名古屋・三の丸波を入力し、長周期地震動で共振する超高層建物の被害が検討された。骨組には約2秒の周期で繰り返される大変形が3分間にわたって作用し、梁の端部に塑性ひずみが累積した。ウェブをボルト接合した現場溶接接合形式の梁の端部には早期に破断が生じた。

2009年度に行われた実験の状況を図3-1-⑤-11に示す。2007年度と同様の試験体を用い、骨組内にダンパーが設置された。名古屋三の丸波を受ける場合にはダンパーは長時間にわたりエネルギーを吸収し、結果として梁端部で消費するエネルギー（累積塑性ひずみ）が大幅に軽減され、被害軽減に向けた有効性が確認されている。



(a) 全景

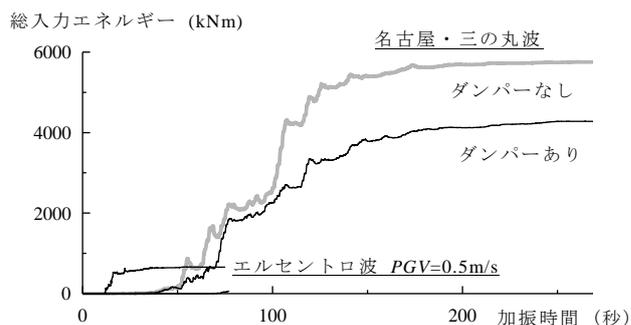


(b) 骨組内の柱梁接合部

図3-1-⑤-10 超高層建物に関する大型実験（2007年）



(a) ダンパーの取り付け状況



(b) 総エネルギー入力の比較

図 3-1-⑤-1 1 超高層建物に関する大型実験 (2009 年)

b) 超高層建物の観測記録

国土交通省国土技術政策総合研究所と独立行政法人建築研究所による平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震被害調査報告 (国総研・建研, 2012) においては、東北地方から関西地方の 10 棟の超高層建物に関する強震記録と時刻歴応答解析から、東北地方太平洋沖地震時における超高層建物の地震応答状況が確認されている。東北地方から関東地方においては、地震の最中における超高層鉄骨造建物の 1 次固有振動数の変化が 5-15%程度であり、また、記録された加速度波形を用いた時刻歴応答解析における結果との整合も踏まえると、これらの超高層建物に生じた最大層間変形角は、0.0005rad-0.008rad の範囲にあったと評価されている。これらの値は、構造骨組に重度な損傷を生じさせる塑性変形レベルに達しておらず、構造上の安全性には問題が無かったと考えられる。ただし、骨組の変形による圧力によって生じた非構造部材の損傷・損壊、床の揺れによって生じた室内の被害については、一定の量に達していたものと思われる。

表 3-1-⑤-1 超高層建物観測の対象建物 (国総研・建研, 2012)

名称	所在地	階数	構造	備考
建物 A	宮城県	地上 15 階/塔屋 2 階	S 造	
建物 B	埼玉県	地上 26 階/塔屋 2 階	S 造	履歴型ダンパーあり
建物 C	東京都	地上 19 階/塔屋 1 階	S 造	
建物 D	東京都	地上 21 階/塔屋 1 階	S 造	履歴型ダンパー・粘性ダンパーあり
建物 E	東京都	地上 20 階/塔屋 1 階	S 造	
建物 F	東京都	地上 20 階/塔屋 1 階	S 造	
建物 G	神奈川県	地上 23 階/塔屋 1 階	S 造	
建物 H	大阪府	地上 15 階/塔屋 3 階	S 造	
建物 I	大阪府	地上 52 階/塔屋 3 階	S 造	
建物 J	東京都	地上 37 階	RC 造	

建物 I については、大阪湾岸に立地する超高層鉄骨造建物は震源から 770km の距離にあったが、高さが 256m で固有周期が約 6 秒程度であったため、大阪湾岸地域における地震の卓越周期と一致して約 10 分間の揺れが生じ、最上階では最大 137cm の振幅が観測された。これにより、内装材に損壊が生じ、エレベーターの閉じ込め等が生じた。

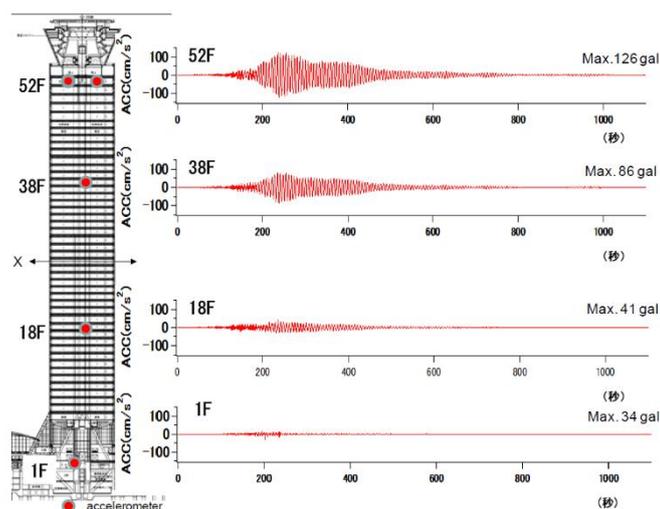


図 3-1-⑤-1.2 大阪湾岸庁舎建物の損傷記録（国総研・建研，2012）

表 3-1-⑤-2 大阪湾岸庁舎建物の損傷（大阪府総務部，2011）

【内装・設備等の被害状況】

- 内装材・防火戸等の損傷（合計 360 か所）

中央廊下の防火戸のゆがみ	49 か所
消火栓上部鉄板のへこみ	33 か所
事務所・テナントの天井の落下・床の浮き	59 か所
階段室の壁面ボードのゆがみ・亀裂・落下	72 か所
階段室床面の浮き・亀裂・はがれ	8 か所
中央廊下・居室内の壁面ボード亀裂・パネル落下	110 か所
電気室吹付材の落下	4 か所
トイレ洗面台の排水トラップ（ジョイント部分）の損傷・その他	25 か所

- エレベーターの停止・閉じ込め

- ・ 全 32 基が停止。うち 25 基は地震時管制運転装置が正常に作動したが、4 基でロープの絡まりによる閉じ込め事象が発生。

なお本建物は、平成 26 年 1 月の時点で制震ダンパーの設置工事（鋼材系ダンパー 152 台（長辺方向）、オイルダンパー 140 台（短辺方向））が完了している。

c) 高層建物における家具等の室内被害

肥田・永野（2011）は、関東地域にある 24 階から 33 階建ての高層住宅を対象に家

具の被害状況についてアンケート調査を実施している。その調査結果に基づき、対象建物をそれぞれ高さ方向に高層階、中層階、低層階と大きく 3 つに分割し、各部について被害の違いを比較している。表 3-1-⑤-3 にその結果を示す。この表から「大きく転倒」した事例は高層階に集中していることがわかる。また、高層階にて「一部転倒」という回答が 58%、低層階では「全く動かず」の回答が 82%で、この検討事例では、高層階ほど被害が大きくなる傾向が認められる。

田村ほか（2012）は、東京 23 区内の高層住宅において家具被害状況調査を実施している。その調査結果を表 3-1-⑤-4(1)、(2)に示す。この表から 20 階建て以下の建物では中層階で最も被害が大きいのに対し、27 階以上の建物では高層階と低層階で被害が大きくなっており、建物高さによって被害分布が異なっていることがわかる。

表 3-1-⑤-3 関東地域における高層住宅の家具被害状況（%）

	大きく転倒	一部転倒	全く動かず
高層階	18	58	24
中層階	1	31	68
低層階	0	18	82

表 3-1-⑤-4(1) 建物の高さ別家具被害状況（20 階建て以下，%）

20 階建て以下	大きく転倒	一部転倒	全く動かず
高層階	7	73	20
中層階	10	30	60
低層階	0	5	95

表 3-1-⑤-4(2) 建物の高さ別家具被害状況（27 階建て以上，%）

27 階建て以上	大きく転倒	一部転倒	全く動かず
高層階	5	25	70
中層階	0	10	90
低層階	3	15	82

一方、日本建築学会が行ったアンケート結果（日本建築学会，2012）によると、高層集合住宅の室内被害に比べて高層オフィス内の被害が小さい傾向が認められる。その要因としてまず、建物構造の違いが挙げられる。一般に、鉄筋コンクリート造系の高層集合住宅における応答加速度は、鉄骨造系のオフィスのそれよりも大きいことが指摘されている。また、アンケートでは高層オフィスでは 7 割以上が家具止めを実施していたのに対し、高層住宅では 3 割程度であったことがあげられる。同アンケート結果には 28 階から 52 階建ての高層オフィス本棚被害の項目がある。その調査結果を表 3-

1-⑤-5に示す。表より、すべての階層において背の高いものを除き、本棚が転倒したという報告は認められないが、本の飛び出しは、高層階のほか低層階でも多いことから、必ずしも高層階だけで室内被害が大きくなるとは限らないことを示唆している。

表3-1-⑤-5 本棚の被害状況（件）

	本棚転倒	高い本棚転倒	本が飛び出る
高層階(49)	0	3	15
中層階(44)	0	0	4
低層階(12)	0	0	10

高層建物の天井の被害に関して、表3-1-⑤-6の損傷レベルを基に、高層の各建物で観測されている地震計のうちで最大加速度を記録した階(建物最上階を1とした相対高さで表示)における最大加速度と天井の損傷レベルを整理した事例(斉藤ほか, 2011)を表3-1-⑤-7に示す。これより、150Galを超えるあたりから天井被害が発生していることがわかる。

表3-1-⑤-6 天井の損傷レベル（日本建築学会，2003）

種類	損傷度1	損傷度2	損傷度3
システム天井	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部材の脱落はない</li> <li>・一部のボードが外れる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・天井のラインに曲がりやずれが生じる</li> <li>・一部パネルが落下するが設備の落下はない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・天井部材がずれ、変形、落下する</li> <li>・重量部材が落下する</li> </ul>
在来天井	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部材の脱落はない</li> <li>・一部に目地ずれや変形が生じる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・目地ずれや変形が発生し、破片が落下する</li> <li>・一部パネルが落下するが設備の落下はない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・天井が大きく破損し、部材が落下する</li> <li>・重量部材が落下する</li> </ul>

表3-1-⑤-7 高層建物内の天井被害

建物番号	構造	最大加速度	相対高さ	損傷度
1	S造	156	0.2	1
2	S造	163	0.5	2
3	S造	224	1	1
4	S造	146	1	0
5	S造	236	1	1
6	S造	238	1	1
7	S造	210	1	2
8	S造	137	0.6	0
9	S造	265	1	3

d) 関東地域の高層建物におけるエレベーターの被害

東日本大震災における高層建物内のエレベーターの被害状況について、主に関東地域における調査結果を基に概説する。東北地方太平洋沖震直後の関東地域のエレベーター被害状況を震度・復旧に要した日数を指標として、表3-1-⑤-8に示す。本調査結果からは、5強以上でエレベーターが停止し、そのほとんどがほぼ1日以内に復旧していることがわかる。ただし、2棟では復旧に9~10日を要している事例があり、地震以外の要因を含めて原因を究明しておく必要がある。

表3-1-⑤-8 高層建物におけるエレベーターの被害状況

建物番号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
震度	5強	5強	5強	5強	5強	5強	5強	5強	5強	5強	5弱
停止なし											○
一部停止							○	○	○	○	
全て停止	○	○	○	○	○	○					
復旧に要した日数	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	10	0.5	9	1.2	1.2	0

e) 免震建物の調査記録

典型的な免震建物は、免震層が周期を長くするための積層ゴムとエネルギーを吸収して減衰性能を確保するダンパーによって構成されている。積層ゴムにおいては、亀裂や残留変形などの問題は確認されてなくても、積層ゴムを挟み基礎上部側と建物下部側に接続される鋼板フランジやその取り付け用ボルトに錆が発生している場合があった。

鋼材ダンパーと鉛ダンパーは、塑性変形を繰り返し受けることでエネルギーを吸収するため、局所的な残留変形が観察された。鋼材ダンパーの場合は、塗料が剥がれ落ちており、累積値の観点からの塑性変形量と塑性変形能力のバランスについての検討が必要となる。鉛ダンパーについては、局所的なひび割れの発生が確認され、交換の必要性が認められた。



(a) 積層ゴムと U 型鋼材ダンパー



(b) 鉛ダンパー

図 3-1-⑤-13 免震装置の状況 (国総研・建研, 2012)

免震構造と非免震構造が隣接しており、エキスパンジョイント等の境界部を有する場合には、周辺の天井等の非構造部材が十分に相対変位に追従できず、損壊する事例が確認された。



図 3-1-⑤-14 エキスパンジョイント部分の損傷 (国総研・建研, 2012)

(d) 結論ならびに今後の課題

東日本大震災における建築物の被害状況と教訓について、文献調査に基づき整理・考察した。各種構造の被害について、以下の傾向が得られた。

- ・ 鉄筋コンクリート造については、1981 年以前の旧耐震基準による建物の被害が顕著であり、層崩壊の被害も見られた。一方で、雑壁（非構造壁）の被害も多く見られ、集合住宅などでは継続使用が困難になるなど大きな影響を及ぼした。耐震補強済みの建物の被害、津波被害なども重要である。

- ・ 鉄骨造については、一般的な事務所ビル等では躯体が直接確認できないこともあって、顕著な構造被害は必ずしも多くない。体育館などでは、露出した構造躯体の被害に加えて、広い面積の天井の落下などの被害が注目された。
- ・ 木造の住宅については、広域の多数の被害状況から被害率曲線が推定されているが、従来の兵庫県南部地震以降の地震記録で検討された結果に比べ、被害率は低い傾向がある。これは東北地方が何度も強い地震に見舞われて、古く弱い建物が淘汰されたためという可能性もある。また地盤に関連して、宅地造成地の被害や液状化の影響があげられる。

また大規模地震に伴う長周期地震動により、多数の高層建物や免震建物で大きな応答となり、以下のような問題を生じた。

- ・ 超高層建物については、首都圏の多数の建物が大きな応答となったが、構造躯体に大きな損傷を生じるほどではなく、むしろ非構造部材の損傷やエレベーターの停止、室内の什器等の被災が重要である。震源からかなり離れた大阪でも超高層建物が大きく応答した例があった。
- ・ 免震建物については、大振幅で長く続く振動により、鉛ダンパーと鋼材ダンパーに繰り返し塑性変形が作用した。特に鉛ダンパーについては、塑性変形によりクラックを生じた例がある。

ここで得られた情報は、現在の建物の状況を反映したものであり、また将来の大規模地震に伴う広域の被害発生という観点で、将来の南海トラフ地震等における被害予測と被害軽減のために有用な知見といえる。

#### (e) 引用文献

- 1) 大阪府総務部：咲洲庁舎の安全性等についての検証結果，2011
- 2) 川合佳穂，山本真一郎，宮腰淳一，福和伸夫，護雅史：2011年東北地方太平洋沖震の建物被害データに基づく地震動強さとの関係について，日本建築学会学術講演梗概集，pp.191-192，2014.
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人建築研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震被害調査報告，2012.
- 4) 斉藤大樹，石川孝重，高橋徹：巨地震に対する集合住宅の人・生活を守る技術開発，日本建築学会，2011.
- 5) 田村和夫，金子美香，北村春幸，斉藤大樹：2011年東北地方太平洋沖地震における東京の高層住宅での揺れと室内被害および対応行動に関するアンケート調査，日本建築学会技術報告集，Vol.18，No.39，pp.453-458，2012.
- 6) 日本建築学会：長周期地震動に関する公開研究集会，2012.
- 7) 日本建築学会：非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および要領，2003
- 8) 日本建築学会：2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報，2011.
- 9) 日本建築構造技術者協会東北支部：2011年東北地方太平洋沖地震被害調査報告書，2012.
- 10) 林佑樹，飯塚裕暁，汐満将史，小林雄，境有紀：2011年東北地方太平洋沖地震の

宮城県における強震観測点周辺の状況と発生した地震動との対応性，日本地震工学会論文集，第13巻，第5号，pp.62-101，2013.

- 11) 肥田剛典，永野正行：アンケート調査に基づく2011年東北地方太平洋沖地震時の超高層集合住宅の揺れと被害，2011年度日本地震工学会大会，pp.34-35，2011.

## ⑥強震動と津波の特性，生成メカニズムに関する評価

### (a) 業務の要約

東北地方太平洋沖地震において、関東平野等の日本の主要平野で発生した長周期地震動を詳細に調べることにより、南海トラフ沿いで発生する巨大地震の強震動の予測精度の向上につなげる。本研究では、防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET、KiK-net）で記録された東北地方太平洋沖地震の地震波形データを精査し、M7～8級の過去地震による長周期地震動との比較から、平野での長周期地震動の生成要件を検討した。

まず、関東平野の周辺で発生した、震源が浅く（ $H < 15$  km）地震規模M7程度の地震を選び、長周期地震動の生成特性を調べた。その結果、平野から見て北東方向で発生した地震では、長周期地震動の震幅が多方向で起きた地震に比べて優位に小さい傾向が確認できた。関東平野の地下の基盤構造（盆地構造）が、北東方向では周囲の山地に向けて緩やかに浅く変化していることにより、基盤深度が急激に変化する他の方向に比べて表面波の増幅が小さくなることが原因と考えられる。

次に、地震波伝播シミュレーションによりこれを検証したところ、東北地方太平洋沖地震と同規模地震が南海トラフ沿いで発生した場合には、長周期地震動のレベルは関東平野では2倍以上に強まる可能性が示された。南海トラフの地震は、関東平野において長周期地震動が増幅されやすい方向にあること、地震波の伝播経路となるトラフ軸上に柔らかい付加体が厚く堆積しており、これに沿って長周期地震動が関東平野に向けて誘導される効果が考えられる。また、大阪平野では東北地方太平洋沖地震に比べて震源距離がずっと小さいために、長周期地震動のレベルは5倍以上になる可能性がシミュレーションより示された。

### (b) 業務の実施方法

防災科学技術研究所のK-NET、KiK-net強震計観測網で記録された東北地方太平洋沖地震の加速度計記録を用いて、速度応答スペクトルを求めた。また、強震観測網で記録された近年のM7～8規模の地震の長周期地震動と、1944年東南海地震の強震記録との比較から、東北地方太平洋沖地震における長周期地震動の特性を評価した。また、東北地方太平洋沖地震の震源モデルを用いて南海トラフ沿いでの超巨大地震の長周期地震動の予測を、京コンピュータを用いた大規模計算により行った。

### (c) 業務の成果

#### 1) 東北地方太平洋沖地震の長周期地震動の特性と関東平野での増幅特性

2011年東北地方太平洋沖地震において、東京都心の新宿の超高層ビルが大きくかつ

十数分間以上にわたって長く揺れたことが社会問題となった。しかしながら、関東平野の中心部で記録された、K-NET 新宿 (TKY007) 地点の強震記録を見る限り、現有の長周期構造物 (固有周期 6 ~ 10 秒程度) に影響する周期帯の長周期地震動の速度応答スペクトルは 30 ~ 40 cm/s 程度にすぎず (水平動、減衰定数 = 5% の相対応答)、1944 年東南海地震 (M7.9) において都心 (東京大学本郷地点) で記録された長周期地震動の最大応答 (周期 8 秒前後) と同程度のレベルであった。都心から見て 2 地震の震源距離がほぼ等しいことを考えると、東北地方太平洋沖地震は M9 という超巨大地震ではあったが、この周期帯の長周期地震動は、南海トラフ沿いの M8 級の地震のものと同程度に過ぎなかったことがわかる。

東北地方太平洋沖地震の長周期地震動が、過去の M8 級の地震時のものと同程度だったことは、全国の長周期地震動応答からもわかる。たとえば、震源域に近い宮城や福島、茨城で観測された固有周期 6 ~ 10 秒の速度応答は最大で 100 cm/s 程度であり、これは 2003 年十勝沖地震 (M8.0) において北海道 ~ 東北地方で観測された長周期地震動レベルと同等であった (図 3-1-⑥-1)。

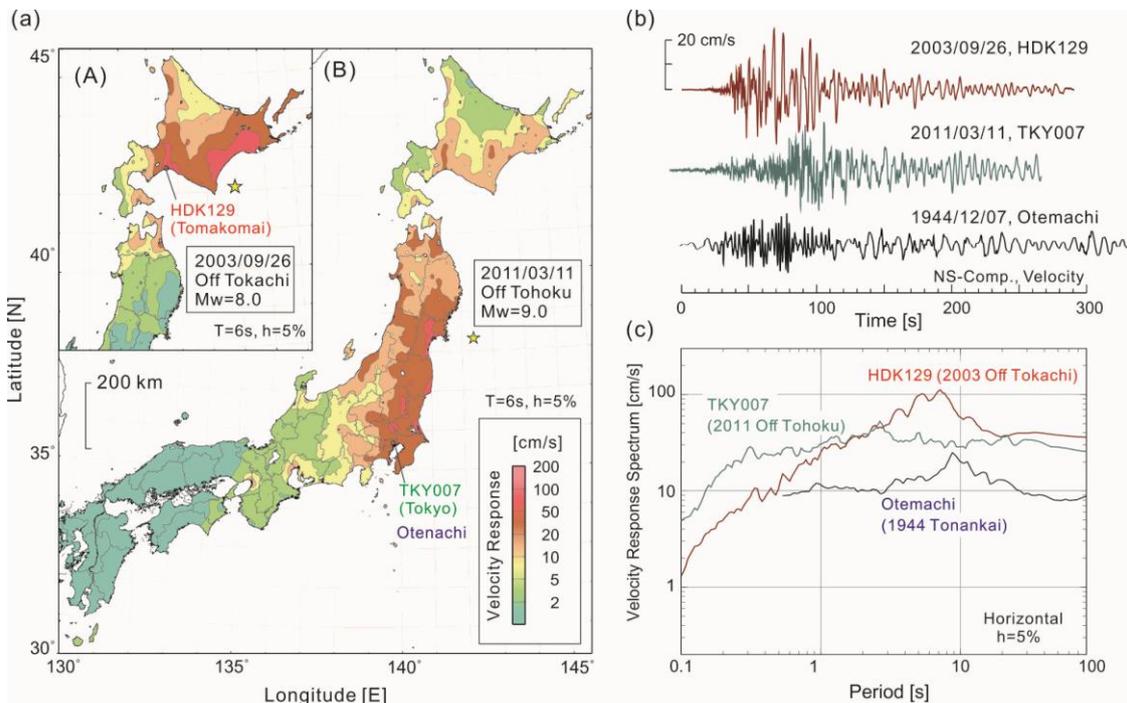


図 3-1-⑥-1 (a) 東北地方太平洋沖地震における、全国の長周期地震動分布 (固有周期 6 秒の速度応答スペクトル、減衰定数 = 5%) と、2003 年十勝沖地震の速度応答スペクトルの比較 (Furumura, 2014 による)。(b) 十勝沖地震における苫小牧観測点 (HDK129) の地震動、東北地方太平洋沖地震での新宿観測点 (TKY007) での地震動、及び 1944 年東南海地震での東京大手町の地震動の比較。(c) 3 つの地震の速度応答スペクトルの比較 (平成 25 年成果報告書の図の再掲)。

昨年度の研究では、東北地方太平洋沖地震の長周期地震動レベルが地震規模に比べて小さかった原因として、震源の影響を検討した。すなわち、東北地方のプレート沈み

込み帯では、日本海溝から東北日本下にかけて太平洋プレートが急角度(約 30~40 度)で沈み込む結果、強震動生成域が地表からずっと深い(約 30~50km)場所となるために、長周期地震動の起原である表面波の生成が小さくなる原因を示し、東北沖で発生した地震データからそれを確認した(Furumura, 2014; 古村, 2014)。しかしながら、震源が浅い( $H < 10$  km)、東北沖のアウトライズ地震においても関東平野では長周期地震動の振幅が小さいことから、上記の原因のほかに、震源~関東平野にかけての伝播経路における表面波の増幅・減衰特性の違いや、震源の方位と関東平野への地震波の入射角が、長周期地震動の増幅特性に与える影響についても追加検討が必要と結論づけられた。

そこで本年度は、非対称な 3 次元基盤構造を有する関東平野における長周期地震動の増幅特性の、地震波入射方位性を観測データ解析と地震波伝播シミュレーションをもとに調査した。

まず、関東平野の周囲で発生した震源が浅く( $H < 15$  km)、規模が M7 級の地震を選び、震央から都心にかけて K-NET 強震観測記録を並べて表面波の生成・伝播特性を確認した。ここで比較に用いた地震は、(a) 2004 年新潟県中越地震 (M6.8 ;  $h=5$  km)、(b) 2011 年福島県東部の地震 (M6.6 ;  $h=5$  km)、(c) 2007 年能登半島沖地震 (M6.7 ;  $h=8$  km)、(d) 2004 年紀伊半島南東沖地震 (M7.5 ;  $h=11$  km) の 4 つである。浅い地震の震源直上で発生した表面波の伝播特性と、関東平野での長周期地震動の生成過程を比べたところ、関東平野において通常は S 波の数倍以上の振幅で強く発生する長周期地震動が、平野に対して北東方向から地震波が入射する場合(すなわち、福島県東部の地震の場合)には、長周期地震動の生成が弱く、直達 S 波と同等以下に小さいことが確認できた。そして、震源直上での表面波振幅は他の 3 地震と同程度であることから、関東平野への入射方向による長周期地震動の増幅特性の違いが強く示唆された。

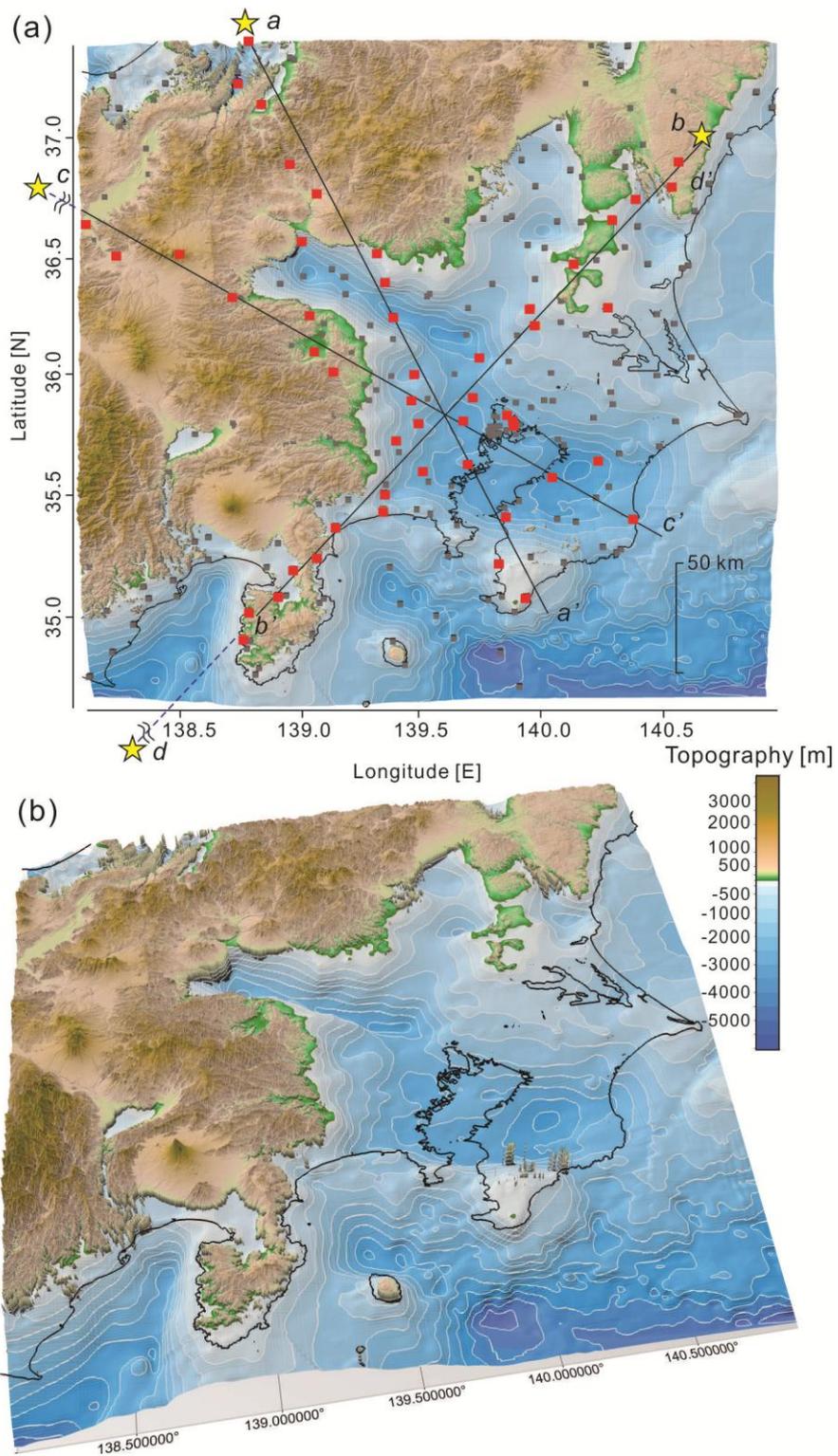


図 3 - 1 - ⑥ - 2 (a) 関東平野の基盤（先新第三系基盤岩類相当）の深度分布 (J-SHIS; Azuma et al., 2013 による)と、K-NET, KiK-net 観測点（灰色の四角）。次の図に示す 4 側線（a-a' , b-b' , c-c' , d-d'）と観測点（赤色の四角）を示す。(b) 基盤構造の 3 次元表示（等深度線は 500m 間隔で表示）。4 地震の震源は☆印で表示。

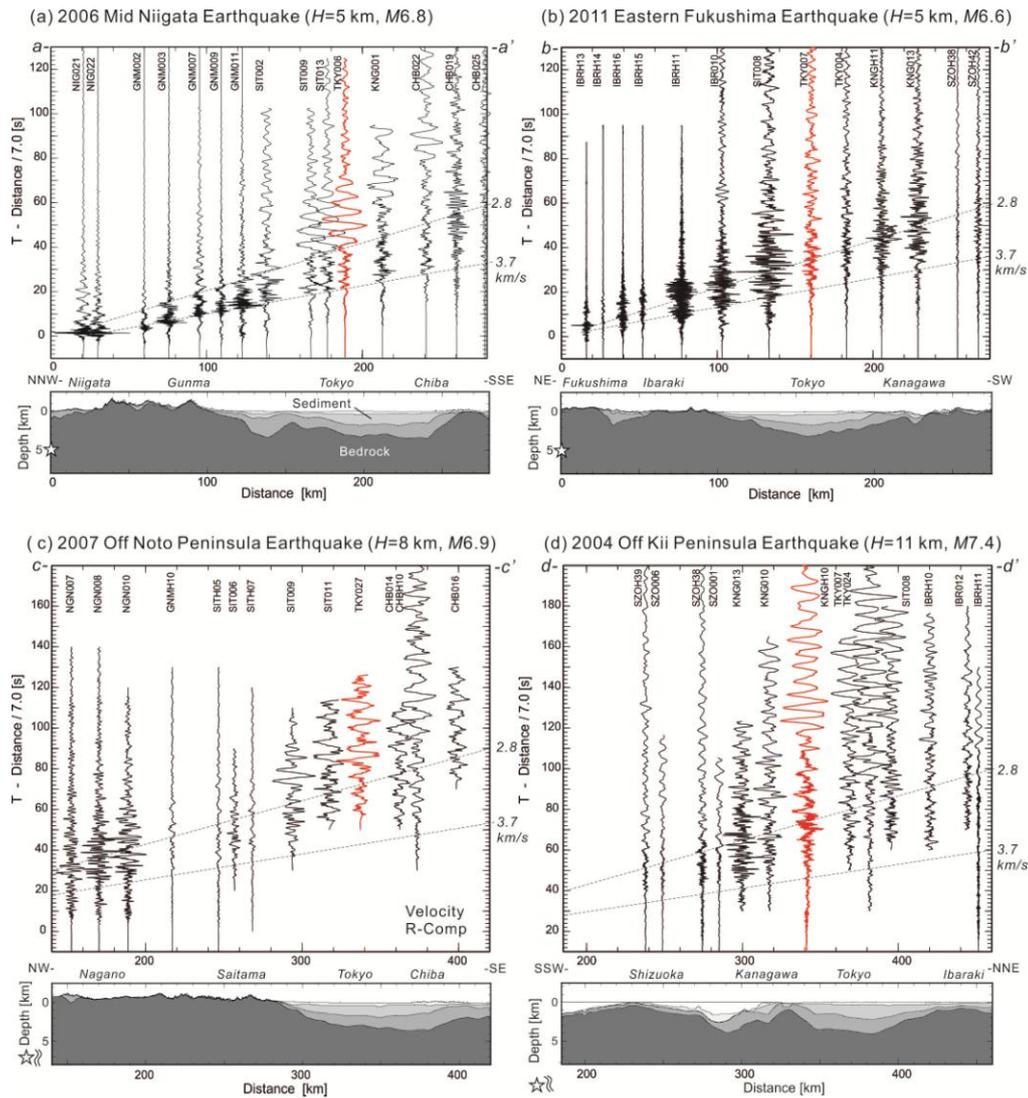


図 3-1-⑥-3 前図で示した関東平野を横切る側線における地震波形（速度波形 Radial 成分）の特徴と長周期地震動の増幅特性、(a)2006 年新潟県中越地震（M6.8）、(b)2011 年福島東部地震（M6.6）、(c)2007 年能登半島沖地震、(d)2004 年紀伊半島南東沖地震（M7.4）。都心の K-NET 観測点における地震波形記録を赤色で示す。各観測点の位置は前図に赤色の四角で表示。下図は観測点下の地下構造（白～薄灰色：堆積層、濃灰色：基盤岩）の断面を表す。

表面波の入射方向の違いによる、長周期地震動の増幅特性の違いには、関東平野の基盤構造の方位性（非対称性）が大きく関係していることが考えられる。平野を取り囲む山地に向けて、基盤深度が急激に浅くなる（堆積層が急激に薄くなる）崖構造となっているのに対して、平野の北東方向だけは、周囲の山地に向けて基盤深度が緩やかに浅くなっている違いが影響していると考えられる（図 3-1-⑥-2）。長周期地震動音波長は数 km～十数 km 程度であり、基盤深度（最大 5 km 程度）の数倍の長さを持つことから、表面波の伝播経路において基盤深度が急激に深くなる場合には、水平に伝わる表面波の振動エネルギーが堆積層内にそのまま入射し、そして堆積層で強く増幅される。と

ころが、伝播経路に沿って基盤深度が緩やかに変化する場合には、エネルギーは堆積層内にはほとんど入らずに、大部分が（地震波速度の大きい）基盤深部に抜けていってしまう結果、平野で長周期地震動が強く生成しないことが考えられる。

## 2) 南海トラフ地震による関東平野での長周期地震動の生成シミュレーション

次に、平野への地震波の入射方向と長周期地震動の生成特性の違いを確認するために、地震波伝播の数値シミュレーションを行った。深部地盤モデル（J-SHIS モデル）を 500m の格子間隔で離散化し、地震波の伝播を差分法から評価した。計算には、理化学研究所計算科学研究機構の京コンピュータを利用した。

本地下構造モデルと東北地方太平洋沖地震の震源モデル（Lee et al., 2011）を用いた地震動シミュレーションにより、東北～関東にかけての周期 3 秒以上の長周期地震動が適切に再現されることは既に確認している（Maeda et al., 2013）。そして、本モデルを用いて南海トラフ沿いで起きる超巨大地震の長周期地震動を評価するために、東北地方太平洋沖地震の震源モデルをそのまま南海トラフに移して地震波伝播シミュレーションを実施した。なお、南海トラフから沈み込むフィリピン海プレートの沈み込み角度は浅い（10～20 度）ことから、東北地方太平洋沖地震の震源モデルをフィリピンプレート上面に置き直した段階で、東北地方太平洋沖地震よりも震源が浅く（10～30 km）なっている。

関東平野および大阪平野での長周期地震動をシミュレーションから求め、東北地方太平洋沖地震の長周期地震動（シミュレーション結果）との比較を行ったところ、南海トラフ沿いの M9 超巨大地震において、関東平野（都心地点）では、東北地方太平洋沖地震の 2 倍異常の強い震幅を持つ長周期地震動が発生することが確認できた。太平洋プレートと同様の深さの震源を用いたシミュレーションでも同様のことが確認されたことから、これは地震波の伝播経路の違いと関東平野への地震波の入射方向の違いにより起きた現象と結論づけられる。

さらに東北地方太平洋沖地震に比べて震源距離がずっと短くなる大阪地点では、東北地方太平洋沖地震の 5 倍以上の震幅を持つ長周期地震動が発生する可能性も示された。シミュレーションから求められた地震波伝播のスナップショットを見ると、関東平野に対して南東方向から入射した表面波が平野で急激に増幅され、そして平野内では長周期地震動による地盤振動が数分間以上にわたって長く続く様子が確認できた。また、震源域の直上のトラフ軸沿いに広がる、柔らかい付加体において表面波が強く生成、その後、長い波群を持つ地震波が付加体に沿って関東平野の方向に誘導される効果も確認でき、これが平野の入射波自体の震幅と継続時間を増大させている効果も確認できた。

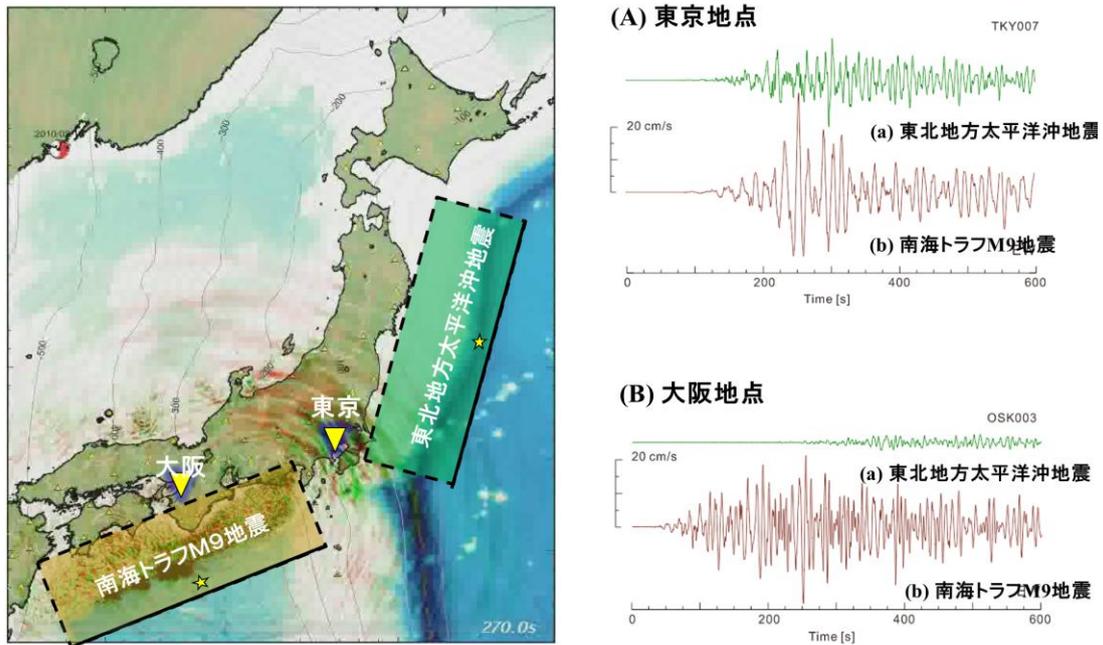


図 3-1-⑥-4 東北地方太平洋沖地震の震源モデル (Lee et al., 2011) を用いた同地震による長周期地震動の再現 (緑色) と、同震源モデルを南海トラフのフィリピン海プレート上面に置いた場合の長周期地震動シミュレーション結果 (茶色) の比較。東京地点 (K-NET、TKY007 観測点地点) と大阪地点 (OSK003 地点) の地震波形は地動速度、東西成分を示す。地震波伝播のスナップショットは地震発生から 270 秒後の地動の強さを表す。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

2011 年東北地方太平洋沖地震において、関東平野で観測された長周期地震動が過去の M8 規模の地震と同程度であり、地震規模 (M9.0) から想定されるレベルよりも小さくなった原因を、関東平野の基盤構造 (盆地構造) の 3 次元不均質性と、平野への地震波の入射方向の違いによる表面波の増幅特性の違いから説明することができた。

こうした平野の基盤構造の非対称性と、長周期地震動生成の方位性は、濃尾平野や大阪平野など他の平野でも大きいものと考えられる。関東平野での詳細な検討結果を整理し、南海トラフ巨大地震における日本全域の平野での長周期地震動予測手法の高度化につなげる必要がある。このために、地震観測データの解析を進めるとともに、不均質地下構造モデルを用いた地震波伝播シミュレーションと計算結果の可視化を通じて、不均質な基盤・地下構造における長周期地震動の増幅メカニズムの評価と一般化を進める。

#### (e) 引用文献

古村孝志, 関東平野の深部基盤構造と長周期地震動リスク, 地学雑誌, Vol. 123, No4, 434-450, 2014.

Furumura, T., Radiation and development of short- and long-period ground motions from the 2011 Off Tohoku, Japan, Mw9.0 Earthquake, Journal of Disaster Research, Journal of

Disaster Research Vol.9 No.3, 281-290, 2014.

Lee, S. J., B. S. Huang, M. Ando, H. C. Chiu, and J. H. Wang. Evidence of large scale repeating slip during the 2011 Tohoku - Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.* 38, doi: 10.1029/2011GL049580, 2011.

Maeda, T., T. Furumura, S. Noguchi, S. Takemura, S. Sakai, M. Shinohara, K. Iwai, S. J. Lee, Seismic and tsunami wave propagation of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake as inferred from the tsunami-coupled finite difference simulation, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 103(2B), 1456-1472, doi:10.1785/0120120118, 2013.

Azuma H., Kawai S, Fujiwara H, Development of J-SHIS and Applications Using API, *Journal of Disaster Research*, 8, 869-877, 2013.

### (3) 平成 27 年度業務計画案

昨年度のインタビュー調査協力自治体を中心に、開発した「震災教訓文献データベースシステム」と、仮実装中に「東日本大震災における津波動画検索システム（仮）」に対するシステムのユーザー評価を行い、システムの有用性の有無や改良点を明らかにする。さらに、ことを今後の課題とする。東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータを収集、被災地の現状と復旧・復興過程を把握し、南海トラフ地震による被災状況と復興状況の想定のための基礎データとする。

引き続き高精度反射法探査のデータ収集に努めるが、震源分布の時空間変化の把握を実施する。今年度は非常に粗い 1 年間分の震源分布の比較であったが、新たな震源情報を付け加えるとともに、時間スケールを変えて時空間分布の特徴の把握に努める。

陸前高田市と石巻市において、復興モニタリングを継続し、モニタリング画像の解析手法の検討をおこなう。

収集した地震波形データについて、研究利用を目的としたデータの公開が可能となるよう各関係機関と調整を行う。

東日本大震災における地盤・土構造物の被害関連情報の収集・分析および課題の整理を行う。

東北地方太平洋沖地震の震源破壊過程の複雑さを考慮して、南海トラフ地震の長周期地震動シミュレーションを各種の震源破壊過程シナリオをもとに実施する。南海トラフ巨大地震のハザード評価において、震源モデルの多様性と不確実性が予測結果に与えるバラツキを定量的に評価する。

## 3.2 地震・津波被害予測研究

### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 「地震・津波被害予測研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
名古屋大学減災連携研究センター	センター長・教授	福和伸夫
	副センター長・寄附研究部門教授	曾根好徳
	副センター長・教授	野田利弘
	准教授	廣井悠
	准教授	長江拓也
	特任教授	護雅史
	特任教授	新井伸夫
	寄附研究部門教授	北野哲司
	寄附研究部門教授	武村雅之
	寄附研究部門准教授	都築充雄
	寄附研究部門准教授	宮腰淳一
	寄附研究部門助教	虎谷健司
	寄附研究部門助教	野中俊宏
寄附研究部門助教	山崎雅人	
名古屋大学災害対策室	教授	飛田潤
名古屋大学工学研究科	准教授	中井健太郎
名古屋大学環境学研究科	助教	平井敬
名古屋大学地震火山研究センター	准教授	山中佳子
独立行政法人海洋研究開発機構	技術主任 特任技術研究員	馬場俊孝 CITAK Seckin Ozgur
東北大学災害科学国際研究所	教授	今村文彦
	助教	今井健太郎
	技術補佐員	橋本茜

独立行政法人防災科学技術研究所	領域長 総括主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 主幹研究員 主幹研究員 契約研究員 契約研究員	藤原広行 平田賢治 河合伸一 中村洋光 森川信之 前田宜浩 先名重樹 大角恒雄 東宏樹 内山庄一郎
東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター	教授 特任助教	古村孝志 原田智也

(c) 業務の目的

将来人口推計して得た人口モデルや建物滅失率等を考慮した建物モデルを構築し、地震の発生時期や発生の多様性等の時間の概念を取り入れた広域の地震・津波ハザード・リスク評価を行う。地域にとって影響の大きい建物や施設に対しては、地盤の非線形性を考慮した地盤モデルの高度化等を行い、高分解能なリスク評価を行う。ハザード・リスク評価結果の中から類型化手法により特徴的な災害パターンを抽出し、災害シナリオを作成し、防災・災害情報発信研究 1-e と連携し情報提供できるようにする。

(d) 8か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度：

広域リスク評価に必要な人口や建物等のモデルの整備を行った。人口モデルは将来人口推計を適用し、建物モデルは建物滅失率を考慮した。津波は既往被害事例を網羅的に整理した。地域リスク評価に必要なハザード予測・構造物応答予測手法の開発を行った。

平成 26 年度：

暫定的な広域リスク評価を実施した。地震発生の時期や規模等の各種要因のばらつきがリスク評価に与える影響度を把握した。津波被害を地形特性等の観点から分類し、地域リスク評価に必要な火災、ライフライン被害、経済被害の予測モデルの構築を行った。

平成 27 年度：

災害シナリオを選定するための基準を検討し、選定したシナリオに対して、現状における広域リスクを実施し、災害シナリオを試作する。津波被害発生基準の高度化と津波シミュレーションの環境整備を行う。地域リスク低減のための帰宅困難者・避難

者行動対策技術検討及び室内安全性予測手法を検討する。

平成 28 年度：

対策の有無による広域リスク評価結果を比較することで、対策の効果を定量的に評価する。津波被害発生基準による平野地形の被害再現性を検証する。経済被害予測手法に基づく経済被害の暫定予測を行う。減災戦略による経済被害軽減効果の暫定評価を行う。

平成 29 年度：

津波被害発生基準によるリアス式地形の被害再現性を検証する。また、サブテーマ 2 による地震動分布や津波の痕跡等から災害シナリオ作成の妥当性を検証し、災害シナリオ作成手法の高度化を図る。具体的な地域を想定して、予測地震動に対する被害予測と都市域の被害軽減方針を検討する。揺れや水害等の都市リスクを評価し、配信する仕組みを開発する。

平成 30 年度：

津波被害予測モデル地区の選定と基礎データ整備を行う。広域リスク評価は南西諸島まで含めて実施する。また、間接的な被害も考慮したリスク評価を行う。具体的な地域を想定して、地域活動の枢要地域を中心とした BCP と減災戦略を立案する。避難行動に活用できるモニタリング手法及び地域リスク低減のための普及啓発手法の開発を行う。

平成 31 年度：

モデル地区における津波被害予測と対応策を検討する。リスク評価結果から災害パターンの地域類型化を実施し、特徴的な災害パターンを抽出し、災害シナリオを作成する。各種災害予測手法及び対策等の減災戦略の社会実装について、地域展開を図る上での問題点・課題の抽出と解決を図る。

平成 32 年度：

ハザード・リスク評価や災害シナリオ、及び対策前後のリスク評価によるリスク低減効果の評価結果を総括し、南海トラフ沿いに発生しうる巨大地震に対して戦略的に備えるための基盤情報として防災・災害情報発信研究等と連携し、外部に汎用的な形式で提供できるようにする。

#### (e) 平成 26 年度業務目的

南海トラフの歴史地震の震源モデルの再評価のために、津波の史料調査と現地調査を昨年度に引き続き継続実施し、南海トラフ地震及び他地域の巨大地震の連動性とその多様性を再検討する。

また、平成 23 年東北地方太平洋沖地震津波など、既往の津波被害事例について、前年度の地形特性、土地利用による分類結果に基づき、津波被害に関連する影響因子の抽出を行い、その発生要因について検討を行う。

さらに、地震動や津波による広域のハザード情報からリスクを評価する手法の検討を行い、平成 25 年度に構築した経年変化を考慮した建物・人口モデル等を用い、広域のリスク評価を試算する。あわせて、強震動・地盤災害などの地域ハザード評価に加え、地域リスク評価に必要な地盤、建物、ライフラインなど各種被害予測モデルの構築に着手する。

## (2) 平成 26 年度成果

### ① 津波

#### (a)業務の要約

長時間津波計算の準備として、高知市における漏水対策を実施した高分解能地形データの作成、および、48 時間の津波計算を試験的に行った。

また、青森県・岩手県・宮城県沿岸における最小行政区分において、代表的な土地利用状況（主産業）を抽出し、2011 年東北地方太平洋沖地震津波における被災状況写真と国土地理院による被災直後の空中写真により漂流物種類を目視判別した。これらのデータに基づき、各種漂流物に関連する産業種類の分類を行い、その相対危険度を評価した。

加えて、並木・漂流物群各諸元から並木の津波漂流物捕捉機能を定量的に明らかにする評価手法を提案し、その定量評価手法を用いて、津波漂流物捕捉時に並木に作用する倒伏モーメントを提案した。倒伏モーメントの評価手法を用いて、津波漂流物捕捉事例の検証を行い、評価手法の適用性を確認した。

#### (b)業務の実施方法

##### 1) 長期湛水予測に関する検討

高知市や名古屋市などの海拔ゼロメートル地帯に大規模な津波が襲来した場合、長期に渡って海水が停滞する恐れがある。実際、1946 年南海地震の際には、高知市では数か月にわたって津波により運ばれた海水が市内に留まった。広大な濃尾平野内に位置する名古屋市においては、津波による長期湛水の記録はないものの、1959 年伊勢湾台風によって河川堤防が決壊し、長期湛水している。長期湛水が発生すると救助のみならず、復旧、復興が遅れることになるため、長期湛水ハザードを的確に予測し、準備しておくことは重要である。また、関東平野および大阪平野をはじめ、平坦で土地利用のしやすい沖積平野に都市が形成されており、長期湛水問題は特定の地域に限ったものではない。ここでは、まず長期湛水現象を予測することを目的として、津波浸水シミュレーションを長時間実施する。

長期湛水予測のために津波計算を実施するが、計算には地形格子モデルが必要とな

る。本研究では、国土地理院が基盤地図情報サイトで公開している数値標高モデル(10m 格子、5m 格子)を使用して、5m 分解能の高知市内地形モデルを構築した。まずは地形データの不完全さによって、高知市内の河川から実際とは異なる浸水がないことを確認するため、津波を起こさない状況(つまり、初期水位ゼロのまま)で、計算を実施した。しかしながら、津波を入力していないにもかかわらず、河川から高知市内へ浸水が認められた(図 3-2-①-1 (a))。これは河川堤防のモデル化が不完全なためと考えられた。このため、GIS ソフトを利用して手動で河川堤防を作成し、それを地形データに付け加えた(図 3-2-①-1 (b))。その結果、地形データの不完全さに起因する漏水が認められなくなった(図 3-2-①-2)。

ここで作成した高知市内の地形データを利用し、内閣府の M9.1 波源断層モデルケース 4<sup>2)</sup>(2012)を入力として、試験的に 48 時間の津波シミュレーションを実施した。津波シミュレーションには高分解能、かつ、長時間計算が可能な並列化された津波計算コード JAGURS<sup>1)</sup>(Baba et al., 2014)を用いた。なお、効率的に計算を行うため、外洋から研究対象地域に向かって地形分解能を向上させることができるネスティング手法を用いているが、長時間計算をした場合、ネスティング境界で計算が発散することがしばしばある。本計算では、ネスティング境界にある一定幅のオーバーラッピング領域を設けて、計算が発散しないように工夫した。

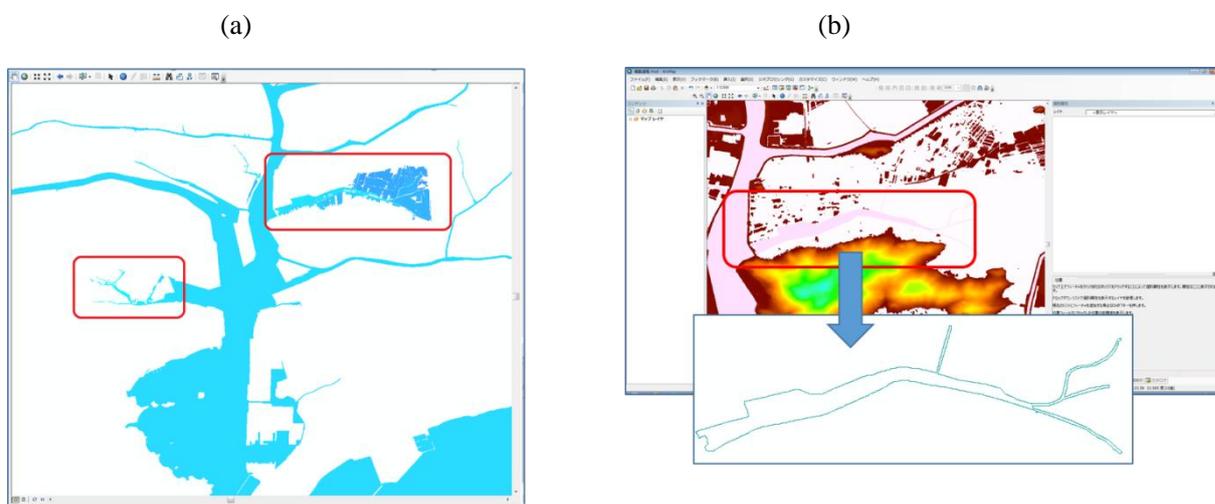


図 3-2-①-1 (a) 初期水位ゼロのままで津波計算を実施した場合の河川からの漏水。地形データの不完全さに起因する。(b)解決法として、手動で河川堤防データを作成した。

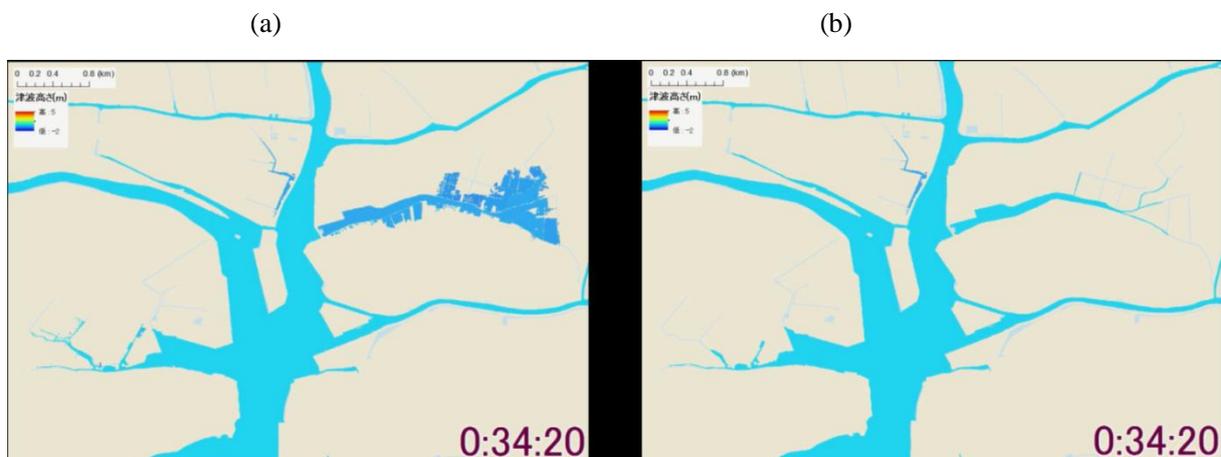


図 3-2-①-2 (a)漏水対策前と(b)漏水対策後の初期水位ゼロの津波浸水計算。

## 2) 土地利用による分類結果に基づく津波被害の発生要因に関する検討

実際の津波被害形態は多岐にわたり、複合的な要因が絡み合っている。2011年東北地方太平洋沖地震津波では、家屋損壊や流出、海岸インフラ被害などの津波の浸水あるいは津波力による直接的な被害だけでなく、自動車漂流による被害などの多岐にわたる被害形態が実際に確認された。津波漂流物は、津波に伴ってさらなる被害を拡大させる可能性や、復旧活動を阻害するため、漂流物発生要因を明らかにすることができれば津波防災だけでなく、復旧活動にも大きく貢献することが期待できる。

本業務では、2011年東北地方太平洋地震津波における青森県・岩手県・宮城県沿岸の被害地域において、既往のアーカイブシステムを利用して、津波漂流物分類を行い、土地利用に応じて整理を行った。津波漂流物の発生状況を判読するために、東北大学災害科学国際研究所による『みちのく震録伝』<sup>3)</sup>、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる『津波写真アーカイブス』<sup>4)</sup>を用いた。これらのシステムにアーカイブされている2011年東北地方太平洋沖地震津波における被災状況写真と国土地理院による被災直後の空中写真<sup>5)</sup>により漂流物種類を目視判別した。

マクロ的な視点に立ち、評価対象地域として青森県・岩手県・宮城県の沿岸における最小行政区分において、代表的な土地利用状況（主産業）を抽出し、それと判読した漂流物種別の分類を行った。土地利用状況や津波被害状況の把握に用いた資料リストを表 3-2-①-1 に示す。

表 3-2-①-1 土地利用状況や津波被害状況の把握に用いた資料リスト（研究機関・青森県）

機関	資料発行元	資料, URL
原子力規制庁 (前JNES)	津波痕跡データベース	津波浸水高さ及び標高高さ <a href="http://tsunami-db.irides.tohoku.ac.jp/tsunami/mainframe.php">http://tsunami-db.irides.tohoku.ac.jp/tsunami/mainframe.php</a>
国土交通省	東北地方整備局	震災伝承館 <a href="http://infra-archive311.jp/?area=a01">http://infra-archive311.jp/?area=a01</a>
青森県	青森県庁国勢調査	平成22年の人口と世帯数 <a href="http://www6.pref.aomori.lg.jp/tokei/data/0000002768/0000002768_2_1.pdf">http://www6.pref.aomori.lg.jp/tokei/data/0000002768/0000002768_2_1.pdf</a>
	青森県庁	被害状況（地震・津波の概要） <a href="http://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/soumu/seikatsusaiken/shinsaikiroku.html">http://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/soumu/seikatsusaiken/shinsaikiroku.html</a>
	おいらせ町役場	土地利用（おいらせ町震災復興計画） <a href="http://www.town.oirase.aomori.jp/soshiki/7/sinsaifukkoukeikaku.html">http://www.town.oirase.aomori.jp/soshiki/7/sinsaifukkoukeikaku.html</a>
	おいらせ町役場	おいらせ町震災復興地域づくり計画調査報告書 <a href="https://www.town.oirase.aomori.jp/soshiki/7/sinsai-chousa.html">https://www.town.oirase.aomori.jp/soshiki/7/sinsai-chousa.html</a>
	階上町役場	土地利用（階上町震災復興計画） <a href="http://www.town.hashikami.aomori.jp/sp/index.cfm/9,0,44,217,html">http://www.town.hashikami.aomori.jp/sp/index.cfm/9,0,44,217,html</a>
	階上町役場	被害状況（広報はしかみ2011年4月号） <a href="http://www.town.hashikami.lg.jp/index.cfm/9,0,36,157,html">http://www.town.hashikami.lg.jp/index.cfm/9,0,36,157,html</a>
	階上町役場	人口（広報はしかみ2010年12月号） <a href="http://www.town.hashikami.lg.jp/index.cfm/9,0,36,156,html">http://www.town.hashikami.lg.jp/index.cfm/9,0,36,156,html</a>
	七戸町役場	人口（七戸町統計書） <a href="http://www.town.shichinohe.lg.jp/kouhou/toukei/toukeisyo/toukeisyo.html">http://www.town.shichinohe.lg.jp/kouhou/toukei/toukeisyo/toukeisyo.html</a>
	七戸町役場	土地利用（都市計画マスタープラン第2章） <a href="http://www.town.shichinohe.lg.jp/gyosei/keikaku/kurashi/toshikeikakumaster.html">http://www.town.shichinohe.lg.jp/gyosei/keikaku/kurashi/toshikeikakumaster.html</a>
	田子町役場	土地利用 <a href="http://www.town.takko.aomori.jp/999999so300201102001.pdf">http://www.town.takko.aomori.jp/999999so300201102001.pdf</a>
	田子町役場	人口（広報たっこ2010年4月） <a href="http://www.town.takko.aomori.jp/999999se1005003.htm">http://www.town.takko.aomori.jp/999999se1005003.htm</a>
	八戸市役所	被害状況（八戸市の記録） <a href="http://www.city.hachinohe.aomori.jp/index.cfm/26,56977,84,222,html">http://www.city.hachinohe.aomori.jp/index.cfm/26,56977,84,222,html</a>
	八戸市役所	土地利用（はちのへの水産2014） <a href="http://www.city.hachinohe.aomori.jp/index.cfm/14,185,113,html">http://www.city.hachinohe.aomori.jp/index.cfm/14,185,113,html</a>

表 3-2-①-1 土地利用状況や津波被害状況の把握に用いた資料リスト（岩手県）

機関	資料発行元	資料, URL
岩手県	一般社団法人岩手県建設業協会	被害状況（復興への道） <a href="http://www.iwaken.or.jp/031/0300/">http://www.iwaken.or.jp/031/0300/</a>
	いわて防災情報ポータル	被害状況 <a href="http://www2.pref.iwate.jp/~bousai/">http://www2.pref.iwate.jp/~bousai/</a>
	釜石市役所	被害状況（復興情報） <a href="http://www.city.kamaishi.iwate.jp/fukko_joho/keikaku_torikumi/fukko_keikaku/detail/1191314_2340.html">http://www.city.kamaishi.iwate.jp/fukko_joho/keikaku_torikumi/fukko_keikaku/detail/1191314_2340.html</a>
	釜石市役所	片岸地区土地利用 <a href="http://www.city.kamaishi.iwate.jp/fukko_joho/machidukuri/detail/_icsFiles/afie/ldfile/2015/02/25/01katagishi_jikei.pdf">http://www.city.kamaishi.iwate.jp/fukko_joho/machidukuri/detail/_icsFiles/afie/ldfile/2015/02/25/01katagishi_jikei.pdf</a>
	釜石市役所	嬉石松原地区土地利用 <a href="http://www.city.kamaishi.iwate.jp/fukko_joho/machidukuri/detail/_icsFiles/afie/ldfile/2015/02/25/03urematsu_jikei.pdf">http://www.city.kamaishi.iwate.jp/fukko_joho/machidukuri/detail/_icsFiles/afie/ldfile/2015/02/25/03urematsu_jikei.pdf</a>
	釜石市役所	平田地区土地利用 <a href="http://www.city.kamaishi.iwate.jp/fukko_joho/machidukuri/detail/_icsFiles/afie/ldfile/2015/02/25/04heita_jikei.pdf">http://www.city.kamaishi.iwate.jp/fukko_joho/machidukuri/detail/_icsFiles/afie/ldfile/2015/02/25/04heita_jikei.pdf</a>
	釜石市役所	鶴住居地区土地利用 <a href="http://www.city.kamaishi.iwate.jp/fukko_joho/machidukuri/detail/_icsFiles/afie/ldfile/2015/02/25/02unosumai_jikei.pdf">http://www.city.kamaishi.iwate.jp/fukko_joho/machidukuri/detail/_icsFiles/afie/ldfile/2015/02/25/02unosumai_jikei.pdf</a>
	久慈市役所	被害状況 <a href="http://www.city.kuji.iwate.jp/fukkouka/fukkou_g/kiroku.html">http://www.city.kuji.iwate.jp/fukkouka/fukkou_g/kiroku.html</a>
	宮古市役所	被害状況 <a href="http://www.city.miyako.iwate.jp/kikaku/koho/higashinihondaishinsai_miyako-shi-no-kiroku/shinsaikirokushi1_index.html">http://www.city.miyako.iwate.jp/kikaku/koho/higashinihondaishinsai_miyako-shi-no-kiroku/shinsaikirokushi1_index.html</a>
	宮古市役所	被害状況 <a href="http://www.city.miyako.iwate.jp/data/open/cnt/3/2940/1/67-81p_2syo_saigaitaisakuhonnbu_katudoujyoukyou.pdf">http://www.city.miyako.iwate.jp/data/open/cnt/3/2940/1/67-81p_2syo_saigaitaisakuhonnbu_katudoujyoukyou.pdf</a>
	大船渡市役所	被害状況 <a href="http://www.city.ofunato.iwate.jp/www/contents/1303015440244/">http://www.city.ofunato.iwate.jp/www/contents/1303015440244/</a>
	大船渡市役所	被害状況 <a href="http://www.city.ofunato.iwate.jp/www/contents/1309418254331/">http://www.city.ofunato.iwate.jp/www/contents/1309418254331/</a>
	陸前高田市役所	土地利用 <a href="http://www.city.rikuzentakata.iwate.jp/shinsai/shinsai.html">http://www.city.rikuzentakata.iwate.jp/shinsai/shinsai.html</a>
	陸前高田市役所	被害状況 <a href="http://www.city.rikuzentakata.iwate.jp/shinsai/oshirase/hazard1.pdf">http://www.city.rikuzentakata.iwate.jp/shinsai/oshirase/hazard1.pdf</a>
	陸前高田市役所	被害状況 <a href="http://www.city.rikuzentakata.iwate.jp/kategorie/bousai-syoubou/shinsai/kshoukokusyo.pdf">http://www.city.rikuzentakata.iwate.jp/kategorie/bousai-syoubou/shinsai/kshoukokusyo.pdf</a>

表 3-2-①-1 土地利用状況や津波被害状況の把握に用いた資料リスト（宮城県）

宮城県	宮城県	被害状況 <a href="http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/252945.pdf">http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/252945.pdf</a>
	気仙沼市役所	被害状況（海を生きる） <a href="http://www.city.kesennuma.lg.jp/www/contents/1318004527115/files/hukkokei_kaku.pdf">http://www.city.kesennuma.lg.jp/www/contents/1318004527115/files/hukkokei_kaku.pdf</a>
	気仙沼市役所	人口，土地利用 <a href="http://www.city.kesennuma.lg.jp/www/contents/0000000000000/1375178463618/index.html">http://www.city.kesennuma.lg.jp/www/contents/0000000000000/1375178463618/index.html</a>
	気仙沼市役所	被害状況 <a href="http://www.city.kesennuma.lg.jp/www/contents/1308917412557/files/hukko1shiryo6.pdf">http://www.city.kesennuma.lg.jp/www/contents/1308917412557/files/hukko1shiryo6.pdf</a>
	南三陸町役場	人口，被害状況 <a href="http://www.town.minamisanriku.miyagi.jp/index.cfm/6.html">http://www.town.minamisanriku.miyagi.jp/index.cfm/6.html</a>
	南三陸町役場	土地利用 <a href="http://www.town.minamisanriku.miyagi.jp/index.cfm/6.303,22.html">http://www.town.minamisanriku.miyagi.jp/index.cfm/6.303,22.html</a>
	石巻市役所	土地利用 <a href="https://www.city.ishinomaki.lg.jp/cont/10181000/7742/7742.html">https://www.city.ishinomaki.lg.jp/cont/10181000/7742/7742.html</a>
	石巻市役所	被害状況 <a href="http://www.city.ishinomaki.lg.jp/cont/10181000/8235/20140624130932.html">http://www.city.ishinomaki.lg.jp/cont/10181000/8235/20140624130932.html</a>
	石巻市役所	被害状況 <a href="http://www.city.ishinomaki.lg.jp/cont/10181000/8235/99.hukkoujyoukyou_2.pdf">http://www.city.ishinomaki.lg.jp/cont/10181000/8235/99.hukkoujyoukyou_2.pdf</a>
	石巻市役所	人口 <a href="https://www.city.ishinomaki.lg.jp/cont/10102000/0040/3914/20130301161659.html">https://www.city.ishinomaki.lg.jp/cont/10102000/0040/3914/20130301161659.html</a>

### 3) 並木による津波漂流物捕捉機能に関する検討

津波災害減災対策の一つとして並木による漂流物捕捉機能を活用することは有効な手法と考えられるが、現状は事例に基づいた議論（首藤, 1985）<sup>7)</sup>や今井・他（2012）<sup>7)</sup>による検討に留まる。そこで、既往の津波漂流物捕捉効果の定量的知見と水理実験結果に基づいて、津波氾濫流に対する漂流物捕捉時の並木の物理限界を検討するとともに、沿岸部並木の津波減災施設としての適用性を明らかにすることを検討した。

#### (c)業務の成果

##### 1) 長期湛水予測に関する検討

今年度実施した長時間（48時間）津波計算で得られた高知市内の津波浸水状況を図 3-2-①-3 に示す。計算結果から、地震発生後48時間たっても、浸水域が少しずつ広がっているの認められた。しかしながら、東北地方太平洋沖地震の例から考えると、地震発生後2日間たっても浸水域が広がっているとやや考えにくい。今後、計算の妥当性も含めて、シミュレーション結果を詳細に分析する。

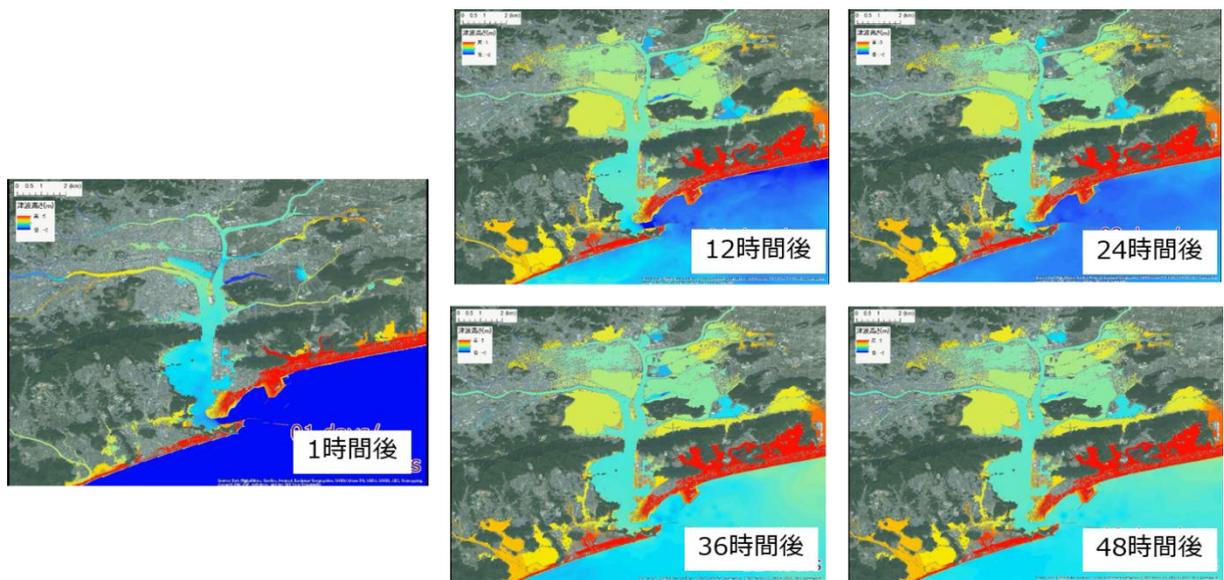
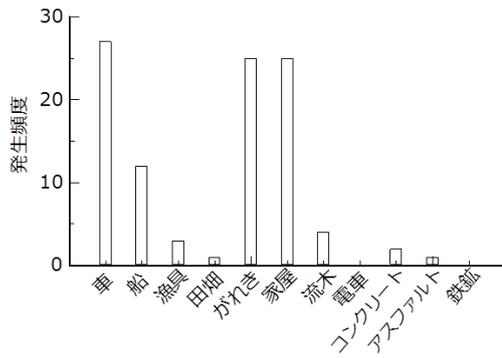


図 3-2-①-3 内閣府モデルケース 4（2012）の津波断層モデルを入力とした高知市における長時間津波浸水計算。図中の時間は地震発生後の経過時間。

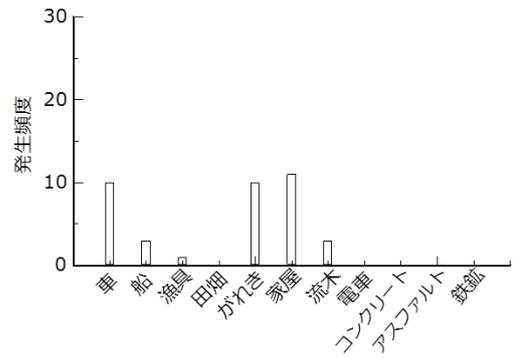
## 2) 土地利用による分類結果に基づく津波被害の発生要因に関する検討

図 3-2-①-4 に、各産業に応じた津波漂流物種別を示す。漂流物種別としては、車、船、漁具、主に家屋がれき、家屋（形状を保ったままのもの）、流木、コンクリート（片）、アスファルト（片）、鉄骨材などの鉄鉱である。産業種としては、サンプル地域において複数の産業を持つ場合もあるため、のべ数である。図から、ほとんどの業種で自動車とがれきの漂流物が生じていたことがわかる。また、漁業や養殖業を営んでいる地域では、漂流物種として車、船、漁具、がれき、家屋が多いことがわかる。

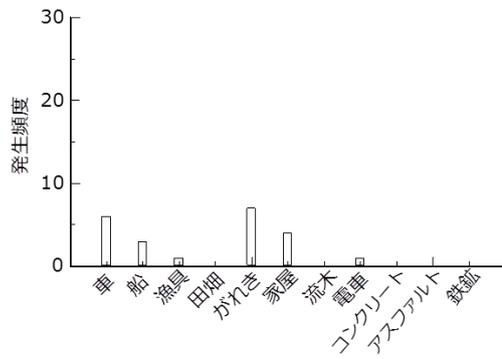
説明変数を産業種と津波浸水高とし、漂流物種別の発生を目的変数としたロジスティック解析を行った。漂流物種別としては、漂流物種別として高頻度な車、船、家屋の3つに絞って解析を行った。表 3-2-①-2 に外力および業種に応じた漂流物種に関するオッズ比（相対危険度）を示す。表において、(f)教育～(j)小売業においては発生頻度が低かったために、解析は行わなかった。表から、漂流物種の津波外力（津波浸水高）への依存性は確認できない。評価対象地域において、津波浸水高は 10 m 以上であり、いずれの被害も発生し得るためと考えられる。車の漂流物化としては、養殖業や製造業に相対危険度が高いことがわかる。船については、養殖業に相対危険度が高いようである。また、家屋については、漁業、製造、農業に対して危険度が高いことがわかる。これらの結果については、さらに地域の詳細な特性を踏まえて考察する必要がある。



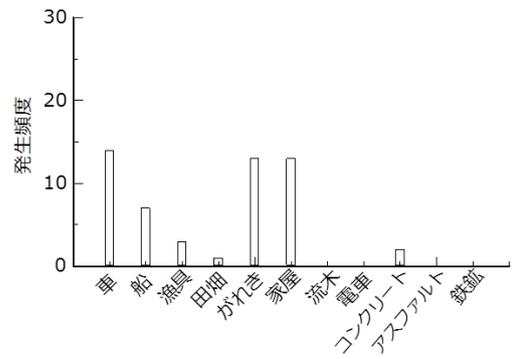
(a) 漁業



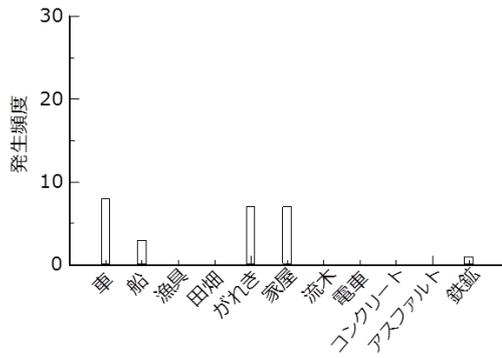
(b) 養殖業



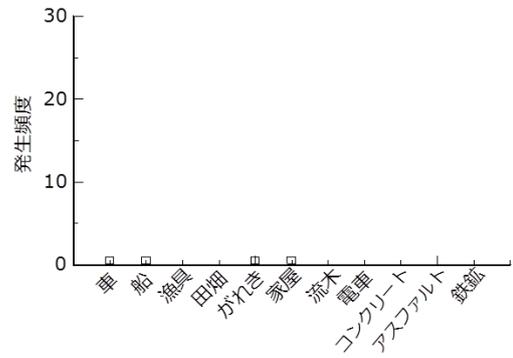
(c) 製造業



(d) サービス業

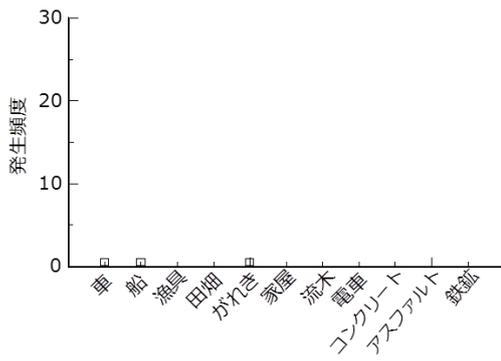


(e) 農業

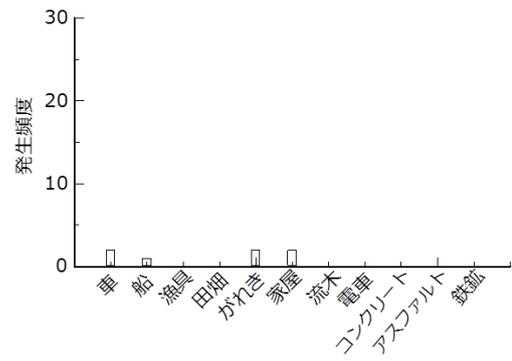


(f) 教育

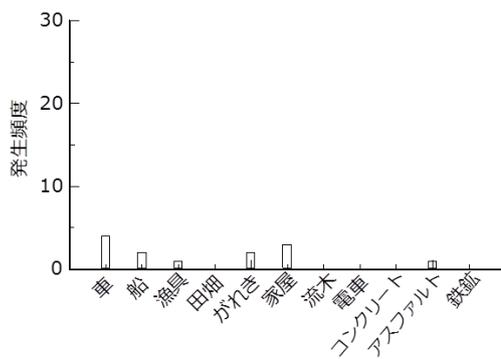
図 3-2-①-4 各産業に応じた津波漂流物の種別



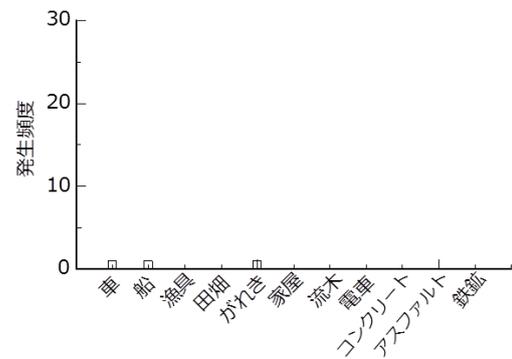
(g) 製造業



(h) 工業



(i) 観光業



(j) 小売り業

図 3-2-①-4 各産業に応じた津波漂流物の種別

表 3-2-①-2 外力および業種に応じた漂流物種に関するオッズ比 (相対危険度)

外力および業種	車	船	家屋
津波浸水高	0.7	1.0	0.9
漁業	1.2	0.8	2.5
養殖業	8.5	2.4	0.7
製造	2.5	1.0	5.6
サービス	1.0	0.8	0.8
農業	0.8	1.3	2.0

### 3) 並木による津波漂流物捕捉機能に関する検討

#### i) 現地調査

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、東北地方太平洋沖の海岸林に大きな被害が生じたが、震源域から離れた地域や沿岸から数百メートル内陸部においては、津波にともなった漂流物（船舶、自動車、漁具や瓦礫など）を海岸林や街路並木が捕捉し、または流出を防ぎ、周辺地域への漂流物による2次被害の拡大を抑制していた。このような事例を空中写真から把握するとともに、漂流物諸元（漂流物の種類とその全長・全幅）を空中写真から判読し、並木諸元（樹木直径、樹高、樹木間隔）についての現地調査を実施し、漂流物捕捉に関わる諸条件について検討を行った。なお、青森県八戸市や宮城県亶理町では海岸林による船舶の捕捉が確認されたが、津波流体力と漂流物の衝突力と樹木の倒伏・折損耐力を考慮した検討が必要となるため、本研究では検討の対象外とした。

宮城県石巻市魚町付近における空中写真と並木の配置状況を図3-2-①-5(a)に示す。当該地域では、かつて黒松を中心とした海岸林が旧石巻市から東松島市の沿岸域に造成されていたが、土地利用の変遷により、海岸林の造成地域は減少した。県道240号（宮城県）の中央分離帯にその名残としての並木が残っていた。この並木により自動車、漁具や油タンクの捕捉が確認された。この地域での津波浸水深は5.8～7.5 m程度であった（東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ，2012）<sup>8)</sup>。

宮城県多賀城市栄付近における空中写真と並木の配置状況を図3-2-①-5(b)に示す。製材工場内に貯蓄されていた資材や車が津波により散乱しているが、これらの敷地外への流出が工場を囲っている整然とした並木により阻止されている様子がわかる。また、樹木間隔が平均3～5 mであるにもかかわらず、全巾・全長がその間隔に満たない場合でも漂流物捕捉が確認された。このことから、樹木間隔より漂流物の代表長さが小さい場合でも、群体として漂流してきた場合には捕捉が可能であることがわかる。この地域での津波浸水深は1.8～2.5 m程度であった（東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ，2012）<sup>8)</sup>。

宮城県仙台市宮城野区港付近における空中写真と並木の配置状況を図3-2-①-5(c)に示す。自動車や工業製品などの漂流物が並木により捕捉されている様子がわかる。この地域での津波浸水深は4.0～4.7 m程度であった（東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ，2012）<sup>8)</sup>。

並木諸元について、石巻市魚町付近と仙台市宮城野区港付近の並木については、現地調査時点ですでに伐採されていたために、幹根元の直径を測定対象とし、樹高については斜め空中写真から概算した。

空中写真と現地調査から得られた漂流物と並木の諸元を表3-2-①-3に示す。間欠のない林帯をもつ並木は漂流物捕捉数が多いことや、漂流物が群体となった場合に、そ

の個々の代表長（表中のL）が樹木間隔より小さい場合でも捕捉されていたことが確認された。



(a) 石巻市魚町付近 (b) 多賀城市栄付近 (c) 仙台市港付近

図 3-2-①-5 空中写真による並木の津波漂流物捕捉状況と並木の配置。図中の○は現地調査による並木配置を示す。国土地理院発行の数値地図 25000 と国土地理院（オンライン）による空中写真に加筆。

表 3-2-①-3 空中写真と現地調査から得られた漂流物と並木の諸元

位置	宮城県石巻市魚町付近 N 38.416° E141.333°	宮城県多賀城市栄付近 N 38.288° E141.021°	宮城県仙台市宮城野区港付近 N 38.278° E141.019°
漂流物	乗用車 (W 2.5 m × L 9 m)	乗用車 (W 2 m × L 5 m)	乗用車 (W 1.5~2.5 m × L 5 m)
	漁具 (W 1~2 m × L 1~2 m)	資材 (W 1 m × L 6 m)	工業製品 (W 1.5 m × L 1.5 m)
樹木直径	0.34 m (根株直径)	0.37 cm	0.2 m (根株直径)
樹高	6~9 m (斜め空中写真)	10~11 m	9~11 m (斜め空中写真)
樹木間隔	2.1 m, 3.1 m, 3.6 m	2.4 m, 2.9 m, 5.3 m	3.8 m

表中、Wは漂流物の短辺長さ、Lは長辺長さを示す。

ii) 水理実験

今井・他 (2012)<sup>7)</sup>は並木の津波漂流物捕捉機能を並木間隔や漂流物形状などの幾何学的条件によって評価した。詳細については文献を参照されたいが、漂流物捕捉に関わる影響因子として  $L_m/l_t$  ( $L_m$ : 漂流物の代表長さ,  $l_t$ : 並木間隔)、津波外力、並木列数と漂流物の平面的なアスペクト比  $L/W$  であることを示した。並木列数をより一般的な変数として表現するために首藤 (1985)<sup>6)</sup>の植生厚み  $d_C \cdot n$  を用いる。ただし  $d_C$  は幹直径 (m)、 $n$  は単位林帯幅あたりの立木本数である。津波外力のパラメータとしては津波浸水深  $D$  と  $d_C$  の比である  $D/d_C$  を用いる。これらのパラメータを用いることにより、次式を得ることができ、実験値をうまく説明し得ることを示した (図 3-2-①-6)。

$$R_G = 1 / \{1 + \exp(-\Phi_G)\}$$

$\Phi_G$  は次式で示される。

$$\Phi_G = -0.31(d_C \cdot n)^{-0.34} (D/d_C)^{0.70} (L_m/l_t)^{-0.93} (L/W)^{0.40} + 5.0 \pm \sigma$$

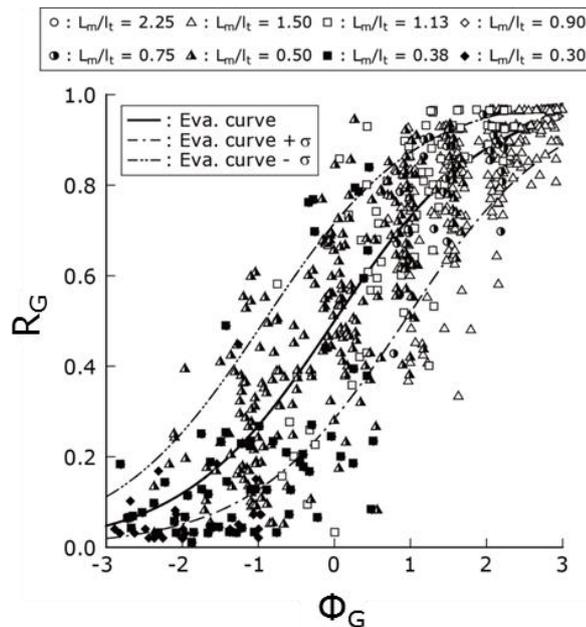


図 3-2-①-6 漂流物捕捉割合  $R_G$  に関する実験値と評価式による計算値の整合性

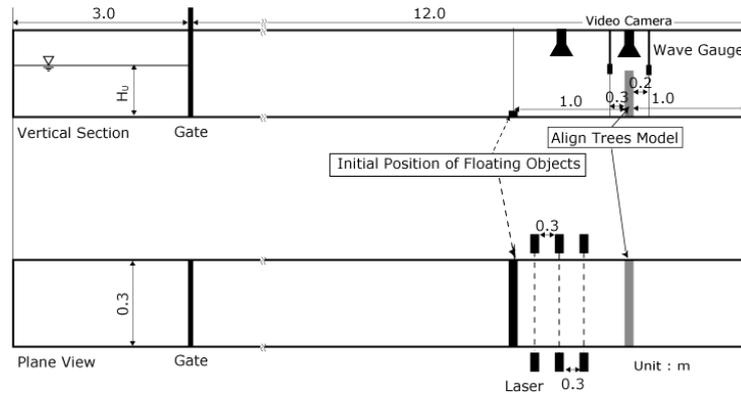


図 3-2-①-7 実験水路概要

表 3-2-①-4 実験条件

貯留水深 ( $H_U$ )	10, 12, 14 cm
漂流物種類	立方体 (1.5 cm × 1.5 cm × 1.5 cm)
	直方体 (4.5 cm × 1.5 cm × 1.5 cm)
漂流物個数	立方体; 12, 21, 33, 45, 54, 66, 78, 87, 99
	直方体; 4, 7, 11, 15, 18, 22, 26, 29, 33
漂流物初期位置	1 m
並木模型直径	0.4 cm
並木模型間隔	3 cm
並木模型列数	1

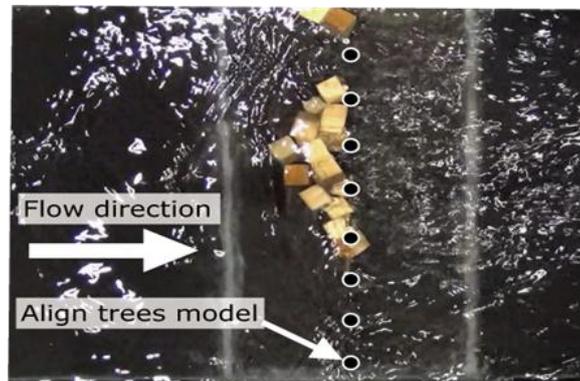


図 3-2-①-8 並木によって捕捉された漂流物

ここで、 $R_k$  は幾何学条件で決定される並木の漂流物捕捉割合を示し、 $\sigma = 0.93$ 、決定係数  $R^2 = 0.8$ 、有意水準  $p < 0.001$  である。本式の適用範囲としては  $d_c \cdot n < 0.3$ 、 $D/d_c < 8$ 、 $0.3 < L_m/l_t < 2.25$ 、 $L/W < 3$  である。

ただし、流下漂流物の運動学的な挙動の影響については検討していない。そこで流下漂流物群の挙動を定量的に把握するべく水理実験を実施した。

図 3-2-①-7 に実験水路概要、表 3-2-①-4 に実験条件、図 3-2-①-8 に並木によって捕

捉された漂流物の様子を示す。津波氾濫流はゲート急開流れで模擬した。漂流物捕捉割合  $R_K = N_K/N_A$  ( $N_K$ : 並木により捕捉された漂流物数、 $N_A$ : 全漂流物数) を定義した。漂流中の漂流物の群体規模について検討をするために漂流物群密度  $D_{fg} = \Sigma s / (BL_{ft})$  ( $\Sigma s$ : 漂流物群総面積、 $B$ : 水路幅、 $L_{ft}$ : 流下漂流物群の流れ方向の拡散長さ) を定義した。漂流物群の通過時間及び移動速度から評価した。

図 3-2-①-9 に  $D_{fg}$  と  $R_K$  の関係を示す。 $L/W$  によるが  $D_{fg}$  が大きくなると  $R_K$  も大きくなる傾向にある。群体漂流物群が並木間隔よりも大きくなり、並木に捕捉されやすくなるためであると考えられる。ただし、 $D_{fg}$  が一定値に達すると  $R_K$  が頭打ちになることも確認された。

図 3-2-①-10 にフルード数  $Fr (=U/(gD)^{0.5})$  と  $R_K$  の関係を示す。氾濫流速  $U$  は漂流物群の移動速度と同程度と仮定した。全体的な傾向として、 $Fr$  の増加にともなって  $R_K$  は減少していることが確認できる。実験結果より、漂流物群条件を考慮した並木の津波漂流物捕捉機能に関する影響因子として  $D_{fg}$ 、津波外力、 $L/W$ 、 $Fr$  であることが考えられる。以上のパラメータ及び統計学的知見を基に、流下漂流物群条件を考慮した並木の津波漂流物捕捉割合  $R_K$  に関する評価式を以下に示す。

$$R_K = 1 / \{1 + \exp(-\Phi_K)\}$$

$\Phi_K$  は次式で示される。

$$\Phi_K = -4.2(L/W)^{-0.37} D_{fg}^{-0.11} Fr^{0.74} + 5.0 \pm \sigma$$

$\sigma = 1.03$ 、決定係数  $R^2 = 0.77$ 、有意水準  $p < 0.001$  である。図 3-2-①-11 に  $R_K$  に関する実験値と評価式による計算値の整合性を示す。整合性はおおむね良好であることがわかる。既往の並木の津波漂流物捕捉機能の定量評価手法(今井・他(2012))<sup>7)</sup>とあわせて、並木の津波漂流物捕捉機能の評価を行うことが可能となる。 $R_G$ 、 $R_K$  は独立の関係にあると仮定し、漂流物捕捉割合  $R_C$  を次式で定義する。

$$R_C = R_G \cdot R_K$$

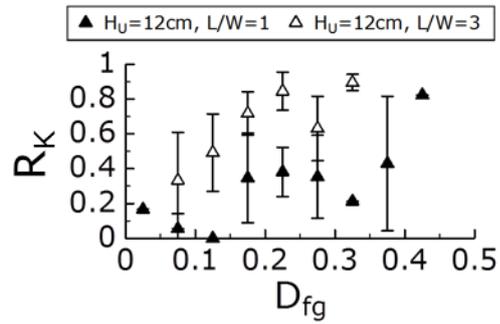


図 3-2-①-9  $R_K$  と  $D_{fg}$  の関係

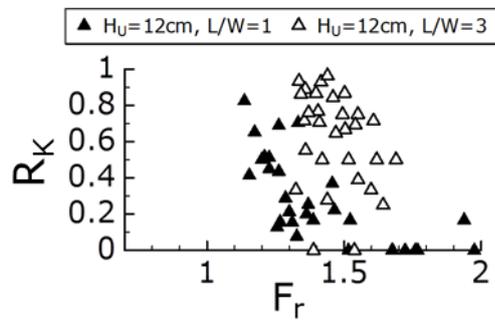


図 3-2-①-10  $R_K$  と  $F_r$  の関係

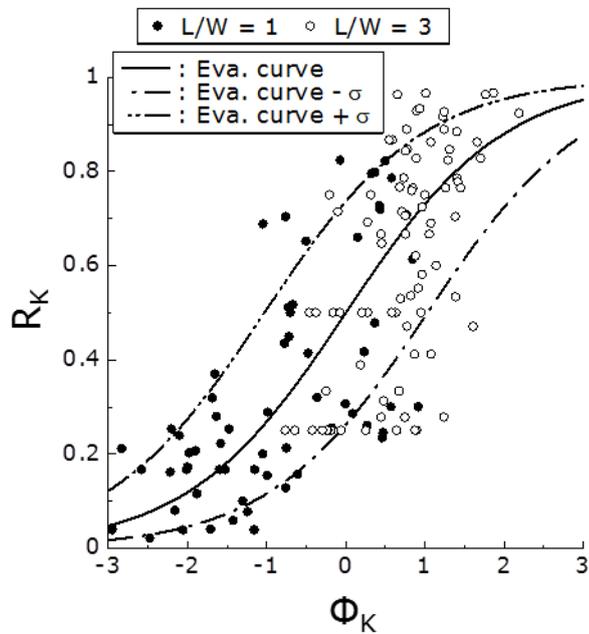


図 3-2-①-11 漂流物捕捉割合  $R_K$  に関する実験値と評価式による計算値の整合性

iii) 漂流物捕捉に伴う並木の物理限界評価手法と事例検証

津波漂流物を捕捉したときの並木の物理限界を検討する。津波漂流物を捕捉したときの樹木に作用する力を図 3-2-①-12 および図 3-2-①-13 のように考える。対象樹種は黒松で、並木に捕捉された漂流物とそれにより排される流体から受ける力を樹木 1 本あたりについて想定する。本稿では静的な荷重のみ検討した。捕捉された漂流物群から並木全体に作用する力  $F_{flt}$  を以下に示す。

$$F_{flt} = \rho U^2 R_C A_{all} \quad (D > h_f)$$

$$F_{flt} = \rho U^2 R_C A_{all} D / h_f \quad (D \leq h_f)$$

$\rho$  は水の密度、 $U$  は代表流速、 $A_{all}$  は漂流物群の流向方向投影面積、 $h_f$  は漂流物高さである。漂流物捕捉割合は  $A_{all}$  に反映すると仮定した。漂流物の投影面積について、漂流物の最大投影面積  $A_{max}$  を予め設定し、 $A_{max} \leq R_C A_{all}$  の場合、 $R_C A_{all} = A_{max}$  とすることで、漂流物の量により投影面積が無限に増大しないようにする。

樹幹部に作用する流体力  $F_{trk}$  を以下に示す。

$$F_{trk} = 0.5 \rho C_D U^2 d_c (D - h_f)$$

漂流物捕捉時の樹木の根部まわりの倒伏モーメント  $M_C$  を以下に示す。

$$M_C = 0.5 (D - h_f) F_{trk} + (D - h_f / 2) F'_{flot} \quad (D > h_f)$$

$$M_C = \frac{1}{2} D F'_{flot} \quad (D \leq h_f)$$

$$M_C = 0.5 D F'_{flot} \quad (D \leq h_f)$$

$F_{flot}$  は単位幅あたりに作用する漂流物捕捉による流体力ある。 $F'_{flot}$  は樹木 1 本あたりにかかる  $F_{flot}$  である。

宮城県多賀城市における並木の津波漂流物捕捉事例 (図 3-2-①-5(b)) をもとに検証を行った。図 3-2-①-13 に植栽による津波漂流物捕捉機能の適用性を示す。宮城県多賀城市栄 2 丁目における並木による津波漂流物捕捉事例にて確認された諸条件 (表 3-2-①-5) をもとに、津波浸水深と漂流物捕捉を考慮した倒伏モーメントの変化及び並木の津波漂流物捕捉割合の変化である。図中の黒太破線は今井ら (2013)<sup>9)</sup> による黒松の倒伏限界モーメントの評価値 ( $M_C = \beta \sigma_b W_{dc}$ ,  $\beta$ : 群生環境係数 (=1.51),  $\sigma_b = 29.0 \text{ N/mm}^2$ ,  $W_{dc}$ : 断面係数 (=  $\pi d_c^3 / 32$ )) を示す。当該地域の並木は倒伏せずに多くの漂流物を捕捉可能と示し、評価値では 83% となり、概ね現地の状況 (図 3-2-①-5(b) より概算すると、捕捉率 80% 程度) と合致している。

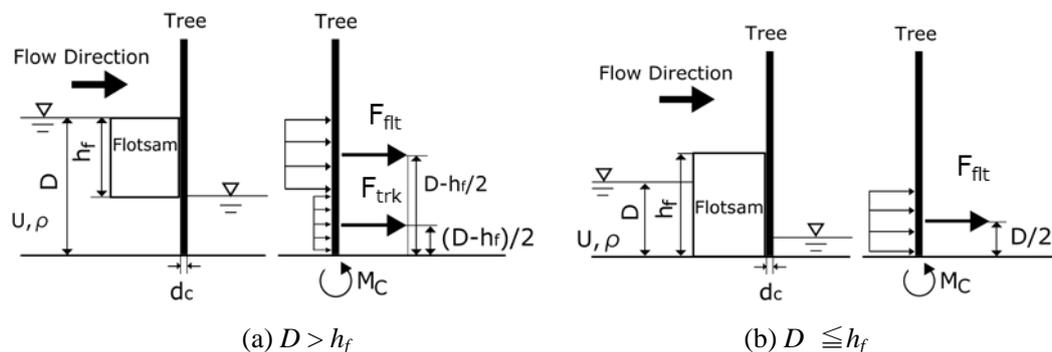


図 3-2-①-12 樹木にかかる倒伏モーメントの模式図

表 3-2-①-5 並木による津波漂流物捕捉事例（宮城県多賀城市）にて確認された諸条件

位置	N 38.288° E 141.021°
漂流物	乗用車 (5.0 m × 2.0 m × 1.5 m) 幅 50 m に 20 台
流速	$F_r = 1.0, 1.2, 1.4$ の場合を検討
並木間隔	3.6 m 間隔 1 列
並木直径	0.37 m
$R_C$ 条件	$D_{fg} = 0.5, F_r = 1.2$

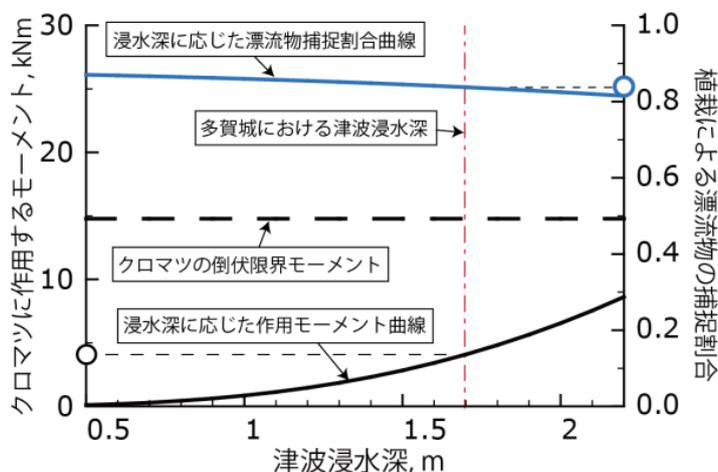


図 3-2-①-13 植栽による津波漂流物捕捉機能の適用性

(d) 結論ならびに今後の課題

今年度は長時間津波計算の準備として、高知市における漏水対策を実施した高分解能地形データの作成、および、48時間の津波計算を試験的に行った。来年度は今年度得られた試算の結果を詳細に分析し、高知市における長期湛水予測に向けた本計算を実施する。

青森県・岩手県・宮城県の沿岸における最小行政区分において、代表的な土地利用状況（主産業）を抽出し、2011年東北地方太平洋沖地震津波における被災状況写真と国土地理院による被災直後の空中写真により漂流物種類を目視判別した。これらのデータに基づき、各種漂流物に関連する産業種類の分類を行い、その相対危険度を評価した。今後は、地域の詳細な特性（海岸線形状、地形勾配や土地利用状況）を踏まえて考察する必要がある。

並木・漂流物群各諸元から並木の津波漂流物捕捉機能を定量的に明らかにする評価手法を提案した。上記の定量評価手法を用いて、津波漂流物捕捉時に並木に作用する倒伏モーメントを提案した。倒伏モーメントの評価手法を用いて、津波漂流物捕捉事例の検証を行い、本評価手法の適用性を確認した。今後は地域特性に応じた漂流物発生危険度評価と組み合わせて、漂流物捕捉機能を有した並木の現地実装に関する検討が必要である。

#### (e)引用文献

- 1) Baba, T., N. Takahashi, Y. Kaneda, Y. Inazawa and M. Kikkoin, Tsunami inundation modeling of the 2011 Tohoku earthquake using three-dimensional building data for Sendai, Miyagi Prefecture, Japan, in V. S.-Fandiño et al. (ed.) : Tsunami Events and Lessons Learned, Advances in Natural and Technological Hazards Research, SPRINGER, 35, 89-98, 10.1007/978-94-007-7269-4\_3., 2014.
- 2) 内閣府 (2012), 南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等 (第二次報告), [http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough\\_info.html](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html).
- 3) みちのく震録伝 (オンライン) : 東北大学研究者による復興写真マップ「写真で見る復興」, <http://shinrokuden.irides.tohoku.ac.jp/archives/896>, 参照 2015-3-18。
- 4) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (オンライン), 津波写真アーカイブス, <http://grene-city.csis.u-tokyo.ac.jp/>, 参照 2015-3-18。
- 5) 国土地理院 (オンライン) : 地図・空中写真閲覧サービス, <http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do>, 参照 2015-3-18。
- 6) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (オンライン) : [http://www.coastal.jp/tjt/index.php?plugin=attach&refer=%E7%8F%BE%E5%9C%B0%E8%AA%BF%E6%9F%BB%E7%B5%90%E6%9E%9C&openfile=tjt\\_survey\\_25-Apr-2012\\_tidecorrec-ted.csv](http://www.coastal.jp/tjt/index.php?plugin=attach&refer=%E7%8F%BE%E5%9C%B0%E8%AA%BF%E6%9F%BB%E7%B5%90%E6%9E%9C&openfile=tjt_survey_25-Apr-2012_tidecorrec-ted.csv), 参照 2015-3-18。
- 7) 首藤伸夫 (1985) : 第 32 回海岸工学講演会論文集, pp.465-469。
- 8) 今井健太郎・林晃大・今村文彦(2012) : 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.68, No.2, pp.401-405。
- 9) 今井健太郎・原田賢治・南幸弘・川口誠史・二宮栄一(2013) : 土木学会論文集 B2, Vol.68, No.2, pp.361-365。

② 地震動

③

(a) 業務の要約

経験的グリーン関数法における中小地震による地震動の補正に適用することを指向して、地盤構造モデルを用いた理論計算による地震動のスペクトル比を伝達関数とし、任意の震源による地震動を推定する手法を提案し、これを 3 つの地震および想定東南海地震の震源モデルに適用して検証を行った。

(b) 業務の実施方法

地盤震動の研究の実施方法としては、グリーン関数の相反性を利用しつつ、3次元有限差分法によって計算した地震動のグリーン関数の比（伝達関数）と、地震動観測記録を組み合わせることで、新たな地震動予測手法を提案し、その妥当性と適用性を検討することとした。

従来の経験的グリーン関数法は、想定する大地震の震源断層を小さな要素断層の集合体として表現し、まず各要素に起因する地震動を予測して、これを破壊伝播による時間遅れを考慮しながら足し合わせることで、大地震による地震動を予測する方法である。計算方法としては、以下のように定式化される。

$$u_i^{\text{syn}}(t) = \sum_{j=1}^n u_{ij}^{\text{elem}}(t - t_j^{\text{del}}) \quad (3-2-②-1)$$

ここで  $u_i^{\text{syn}}(t)$  は合成された地震動の  $i$  成分、 $u_{ij}^{\text{elem}}(t - t_j^{\text{del}})$  は要素断層  $j$  から発せられる地震動の  $i$  成分を表す。 $t_j^{\text{del}}$  は要素断層  $j$  による地震動が観測点に到達するまでの時間遅れを表しており、下記のように計算される。

$$t_j^{\text{del}} = t_j^{\text{rup}} + \frac{r_j - r^{\text{seed}}}{V_s} \quad (3-2-②-2)$$

ここで  $t_j^{\text{rup}}$  は要素断層  $j$  の破壊時刻、 $r_j$  と  $r^{\text{seed}}$  はそれぞれ観測点から見た要素断層と中小地震の震源までの距離、 $V_s$  は S 波速度である。大地震による地震動を構成する波動のうち、S 波をもっとも重要と考えて、式 (3-2-②-2) では震源距離による到達時間の差を S 波速度を用いて補正している。式 (3-2-②-1) における要素断層から発せられる地震動を推定する方法には、様々な方法が提案されているが、本論文では壇・佐藤の方法 [1] を取り上げる。壇・佐藤の方法では、中小地震による地震動記録に対して  $\omega^2$  スペクトルに基づくスケールファクターを乗ずることで、要素断層から発せられる地震動を推定する。

$$U_{ij}^{\text{elem}}(\omega) = \frac{r^{\text{seed}} A_{ij}^{\text{elem}}(\omega) S_j^{\text{elem}}(\omega)}{r_j^{\text{elem}} A_i^{\text{seed}}(\omega) S_i^{\text{seed}}(\omega)} U_i^{\text{seed}}(\omega) \quad (3-2-②-3)$$

ここで  $A(\omega)$  は震源と観測点との位置関係・走向・傾斜・すべり角によって定まる地震動の放射特性、 $S(\omega)$  は震源スペクトルを表す。これ以降、角振動数を変数とする

アルファベット大文字で書かれる関数は、対応する小文字の時間領域の関数のフーリエ変換を表すものとする。震源スペクトルには、ひとつのコーナー振動数を有する  $\omega^2$  スペクトルを用いる。

$$S(\omega) = \frac{M_0}{(1+i\omega/\omega_c)^2} \quad (3-2-②-4)$$

ここで  $M_0$  は地震モーメント、 $\omega_c$  はコーナー角振動数 (= コーナー振動数  $\times 2\pi$ ) を表す。

本論文で提案する地震動の補正方法は、高橋・他による擬似経験的グリーン関数法 [2] の考え方を震源側に拡張したものである。図 3-2-②-1 に、従来の経験的グリーン関数法、高橋・他による擬似経験的グリーン関数法、および本提案手法の模式図を示す。経験的グリーン関数法は、中小地震による地震動記録が得られている地点においてのみ適用可能な手法である。これを地震動記録が存在しない地点に対しても適用しようとすると、何らかの方法でその地点に対する中小地震による地震動を推定する必要がある。高橋・他の擬似経験的グリーン関数法では、3次元有限差分法による理論地震動のスペクトル比を伝達関数として用いることで、これを実現した。これに対して本業務においては、理論地震動のスペクトル比として定義される伝達関数を、観測点の相違ではなく震源の相違に対して適用する。本手法を用いて波形合成を行う場合、大地震による地震動は次式で表される。

$$u_i^{\text{syn}}(t) = \sum_{j=1}^n u_{ij}^{\text{elem}}(t - t_j^{\text{rup}}) \quad (3-2-②-5)$$

要素断層から発せられる地震動  $u_{ij}^{\text{elem}}(t)$  は下記のように推定する。

$$U_{ij}^{\text{elem}}(\omega) = \frac{W_{ij}^{\text{elem}}(\omega)}{W_i^{\text{seed}}(\omega)} U_i^{\text{seed}}(\omega) \quad (3-2-②-6)$$

ここで、 $W_{ij}^{\text{elem}}(\omega)$  と  $W_i^{\text{seed}}(\omega)$  はそれぞれ  $j$  番目の要素断層と中小地震による地震動を理論計算によって求めたものである。経験的グリーン関数法の式 (3-2-②-1) においては、要素断層による地震動を足し合わせる際に、式 (3-2-②-2) のように要素断層の破壊時刻と走時差を考慮しているのに対し、式 (3-2-②-5) においては走時差を表す項が存在しない。これは、式 (3-2-②-6) に現れる各グリーン関数の位相部分に走時の情報が含まれているため、スペクトル比 (伝達関数) の位相部分には走時の差が組み込まれていることによる。また、壇・佐藤の補正方法の式 (3-2-②-3) においては、震源距離・放射特性・震源スペクトルの比を作用させて地震動を補正しているが、式 (3-2-②-6) においては単純に理論地震動のスペクトル比を乗ずるだけとなっている。こちらも、距離減衰・放射特性・震源時間関数の影響が、すべて理論地震動のスペクトルに含まれているため、式の上では非常に単純な形となる。

次に、検討に使用したモデルとデータについて説明する。本業務においては、まず伝達関数を用いた地震動の補正について妥当性を検証し、次にこれを波形合成法に適用した例を示す。図 3-2-②-2 (a) に、伝達関数による地震動の補正の妥当性を検証するために用いたモデルを示す。図 3-2-②-2 (a) において、色の濃淡は地震基盤の深さ分布、星印はサンプルとして取り上げた地震の震央、丸印は地震動の検証に用いた観測点を示す。地盤構造モデルとしては、堀川・他による中京地域の深部地下構造モデル [3] を用いた。表 3-2-②-1 に地盤構造モデルの各層の物性値を示す。表 3-2-②-2 に、サンプルとして取り上げた 3 地震の諸元を示す。観測点は KiK-net 松阪 (MIEH08) と KiK-net 鳳来 (AICH10) とした。これらの選定は、震源同士の距離が近い組合せ (地震 1 と地震 2)、遠い組合せ (地震 1 と地震 3)、および震源と観測点との距離が近いもの (MIEH08) と遠いもの (AICH10) を選び取るようにした。震源時間関数には、 $\omega^2$  型震源スペクトルをフーリエ逆変換したものを用いた。図 3-2-②-2 (b) には、伝達関数による地震動の補正を波形合成法に適用するにあたって使用した震源断層モデルを示した。想定地震としては、2003 年に内閣府中央防災会議 [4] の地震被害想定において用いられた東南海地震のモデルを使用した。表 3-2-②-3 に震源モデルの諸元を示す。図 3-2-②-1 (b) において、色付の要素断層はアスペリティを、白色の要素断層は背景領域を示している。波形合成の際に経験的グリーン関数として用いる小地震は、表 3-2-②-2 に示した地震 1 と同じものを用いることとした。

表 3-2-②-1 地盤構造モデルの各層の物性値

地質	層番号	密度 / kg m <sup>-3</sup>	P 波速度 / km s <sup>-1</sup>	S 波速度 / km s <sup>-1</sup>	基準 Q 値
第四系	1	1.88	1.70	0.40	80
	2	1.92	1.77	0.50	100
	3	1.95	1.86	0.60	120
	4	1.99	1.94	0.70	140
	5	2.03	2.03	0.80	160
	6	2.06	2.13	0.90	180
	7	2.10	2.23	1.00	200
	8	2.13	2.33	1.10	220
東海層群	9	1.88	1.54	0.40	80
	10	1.95	1.80	0.50	100
	11	2.00	2.00	0.60	120
	12	2.05	2.10	0.70	140
	13	2.07	2.20	0.80	160
	14	2.10	2.30	0.90	180
	15	2.15	2.40	1.00	200
	16	2.13	2.40	1.10	220
	17	2.16	2.55	1.20	240
	18	2.20	2.72	1.30	260
	19	2.23	2.90	1.40	280
	20	2.26	3.08	1.50	300
豊橋 C 層	21	1.99	2.10	0.70	140
中新統	22	2.13	2.88	1.10	220
	23	2.20	2.70	1.30	260
	24	2.25	3.00	1.50	300
	25	2.30	3.20	1.70	340
	26	2.34	3.79	1.80	360
	D 層	27	2.37	4.00	1.90
地震基盤	28	2.35	3.50	2.00	400
	29	2.42	3.64	2.10	400
	30	2.45	4.20	2.40	400
	31	2.60	5.00	2.90	400
	32	2.63	5.00	3.20	400
	上部地殻	33	2.70	5.80	3.40
34		2.80	6.40	3.80	400
マントル	35	3.20	7.50	4.50	500
海洋地殻	36	2.90	6.80	4.00	300

表 3-2-②-2 サンプルとして用いた地震の諸元

	地震 1	地震 2	地震 3
発生時刻	2004.1.6 14:50	2000.10.31 1:42	2004.9.8 20:58
震源緯度	34.215° N	34.287° N	33.117° N
震源経度	136.714° E	136.342° E	137.287° E
震源深さ	37 km	44 km	36 km
走向	30°	205°	239°
傾斜	85°	45°	37°
すべり角	-10°	60°	54°
地震モーメント	1.4×10 <sup>17</sup> N m (M <sub>w</sub> = 5.4)	8.5×10 <sup>17</sup> N m (M <sub>w</sub> = 5.9)	2.3×10 <sup>19</sup> N m (M <sub>w</sub> = 6.8)
コーナー振動数	0.8 Hz	0.5 Hz	0.1 Hz

表 3-2-②-3 東南海地震の震源モデルの諸元

	面積	地震モーメント
全体	15800 km <sup>2</sup>	2.45×10 <sup>21</sup> N m (M <sub>w</sub> = 8.2)
	平均すべり量	3.8 m
	応力降下量	3.0 MPa
	S 波速度	3.82 km s <sup>-1</sup>
	平均密度	2800 kg m <sup>-3</sup>
	剛性率	41 GPa
	破壊伝播速度	2.7 km s <sup>-1</sup>
アスペリティ (西側)	面積	1308 km <sup>2</sup>
	地震モーメント	4.26×10 <sup>20</sup> N m
	平均すべり量	7.9 m
	応力降下量	21.9 MPa
アスペリティ (中央)	面積	1107 km <sup>2</sup>
	地震モーメント	3.31×10 <sup>20</sup> N m
	平均すべり量	7.3 m
	応力降下量	21.9 MPa
アスペリティ (東側)	面積	1107 km <sup>2</sup>
	地震モーメント	3.31×10 <sup>20</sup> N m
	平均すべり量	7.3 m
	応力降下量	21.9 MPa
背景	面積	11800 km <sup>2</sup>
	地震モーメント	1.29×10 <sup>21</sup> N m
	平均すべり量	2.7 m
	応力降下量	2.4 MPa

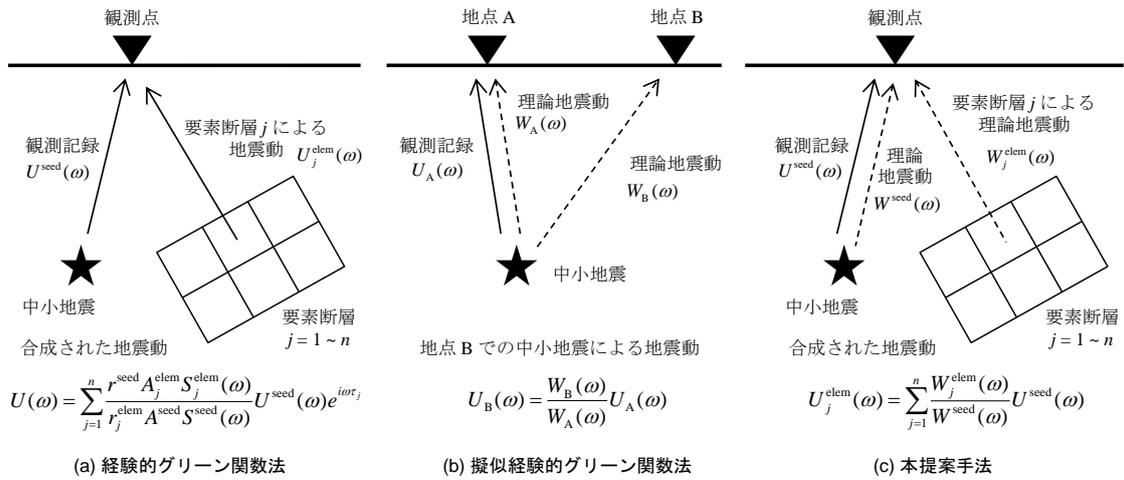


図 3-2-②-1 (a) 経験的グリーン関数法、(b) 擬似経験的グリーン関数法、(c) 本提案手法の模式図

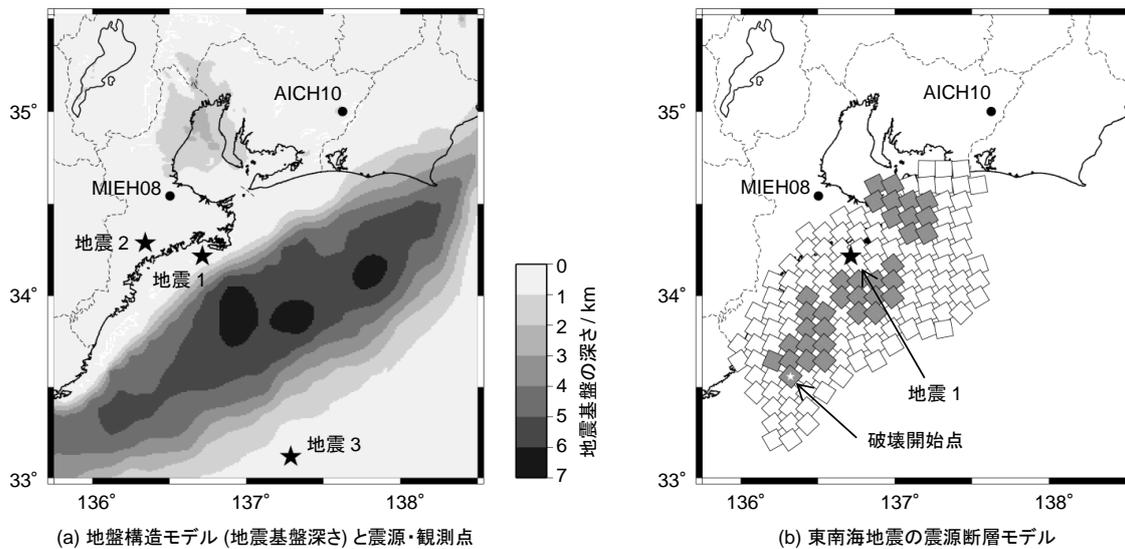


図 3-2-②-2 提案手法の検討に用いた地盤構造モデル (a) と震源モデル (b)

(c) 業務の成果

初めに、表 3-2-②-2 に示した 3 地震による地震動を、3 次元有限差分法を用いて計算した。図 3-2-②-3 に、計算された速度波形を各地震での観測波形記録と比較して示す。すべて周期 3 s ~ 10 s の帯域通過フィルタを施した。図中の  $E_{wav}$  は計算された波形  $u_{cal}(t)$  と観測波形  $u_{obs}(t)$  との不一致の度合いを表す値であり、次式で定義される。

$$E_{\text{wav}} = \sqrt{\int_0^T [u_{\text{cal}}(t) - u_{\text{obs}}(t)]^2 dt / \int_0^T [u_{\text{obs}}(t)]^2 dt} \quad (3-2-②-7)$$

また、 $E_{\text{env}}$  は包絡形状の不一致の度合いを表す値であり、各波形の包絡形状に対して式 (3-2-②-7) と同様の計算を行ったものである。図 3-2-②-3 より、MIEH08 地点では、地震 1 および地震 2 の波形がほぼ再現されていることが分かる。地震 3 については、初動の時刻と全体的な振幅は表現できているが、波形の山谷はずれている。これは、地震 3 が MIEH08 地点から遠く離れており、かつ間に付加体を挟んでいるため、波形を完全に再現することが困難であることを示している。AICH10 地点では、各地震ともに初動と全体的な振幅および継続時間は表現できているが、やはり波形の山谷はずれている。これは、 $E_{\text{wav}}$  は大きいと  $E_{\text{env}}$  が小さいことにも表れている。

次に、本論文で提案する伝達関数を用いた地震動の補正の有効性について、表 3-2-②-1 に示した地震 1 による地震動記録から地震 2 による地震動を推定することで検証する。図 3-2-②-4 に、地震 2 について、理論計算のみによる地震動、壇・佐藤の方法（以下、従来法と称する）によって地震 1 から推定された地震動、本手法によって地震 1 から推定された地震動を示す。それぞれ、実現象との比較のために、地震動の観測記録を重ねて示した。同様に、図 3-2-②-5 に地震 3 による地震動を推定した結果を示す。波形の推定にあたっては、各地震を点震源として扱い、伝達関数による補正を行った。図 3-2-②-4 より、MIEH08 における地震 2 による地震動は、どの手法によってもおおむね再現できることが分かる。ただし従来法では、放射特性の変化を考慮していないため、波形の正負が逆になっている。AICH10 における地震 2 による地震動は、全体として初動と全体的な振幅の程度は合うが、やはり波形の山谷はずれているところが多い。包絡形状の一致の程度は、従来法とほぼ同様であり、特に本手法が有利であるというわけではない。図 3-2-②-5 より、地震 3 による地震動については、MIEH08・AICH10 の両地点において、どちらかというとも本手法による推定結果が従来法と比較して観測記録に近いことが分かる。特に、従来法による推定波形は、全体的な振幅が他のものよりも大きい。これは、両観測点とも震源からの距離が遠いため、地震動が主に表面波によって構成されていると考えると説明がつく。従来法では実体波を前提に震源距離に反比例する形の距離減衰を仮定しているのに対し、本手法は実体波と表面波を合わせた波形全体を使って補正しているため、表面波が持つ距離の平方根に反比例する距離減衰特性が現れたものと考えられる。

最後に、伝達関数を用いた地震動の補正方法を波形合成に応用することについて、図 3-2-②-2 (b) に示した東南海地震を例に検討する。波形合成に用いる小地震としては、表 3-2-②-2 に示す地震 1 を用いた。図 3-2-②-6 に、各観測点における速度波形について、理論計算のみによる結果、従来法による波形合成の結果、本手法による波形合成の結果を、周期 3 s ~ 10 s の帯域通過フィルタを施して示す。図 3-2-②-6 において、従来法による波形の振幅が小さいのは、図 3-2-②-5 についての考察と同様に、東南海

地震による長周期の地震動は主に表面波によって構成されているのに対して、従来法では震源距離に反比例する距離減衰を仮定しているからであると考えられる。本手法による合成波形は、80 s以降の後続波部分の振幅が大きくなっている。これはAICH10地点において特に顕著である。これは、図3-2-②-3に示した地震1の観測記録において、理論計算による波形と比較して後続動が大きく現れていることによる。本業務のように、波形合成のための経験的グリーン関数として、想定震源域よりも観測点に近い位置に震源を有する中小地震による地震動記録を使った場合は、本手法による地震動は従来法によるものよりも大きくなる。逆に、想定震源域よりも遠方の中小地震による地震動を用いる場合は、従来法による地震動が大きくなる。このことは、長周期地震動の影響を受けやすい高層建物の設計用入力地震動を作成する際に、特に注意を要すると考えられる。

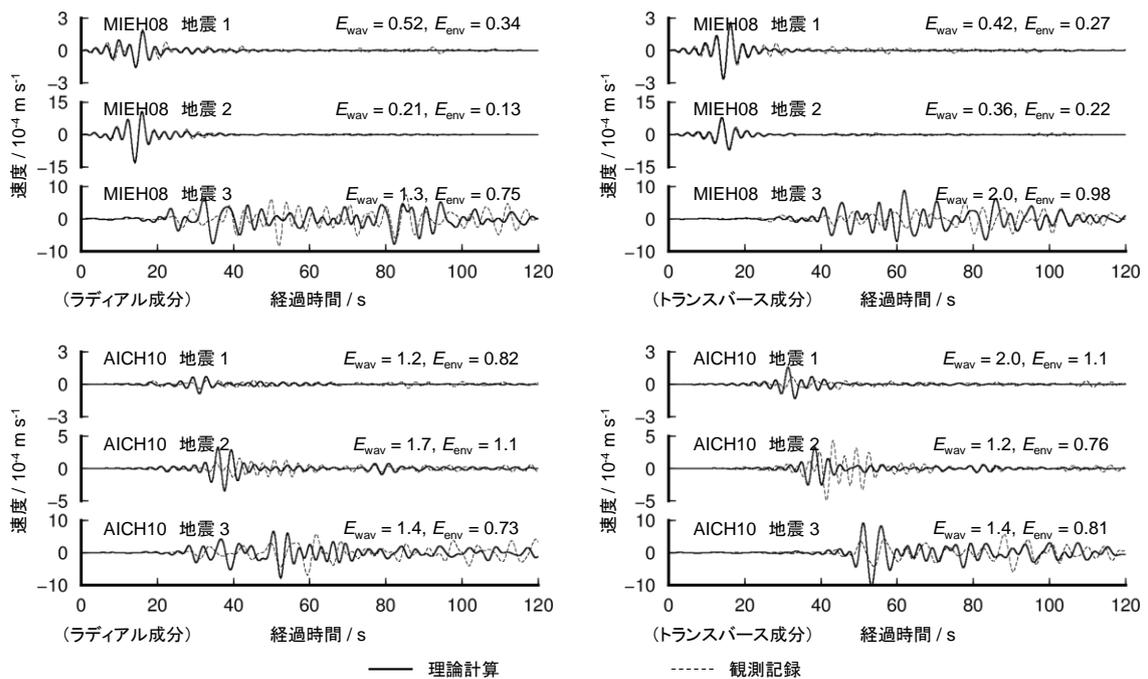


図 3-2-②-3 3次元有限差分法によって計算された地震動

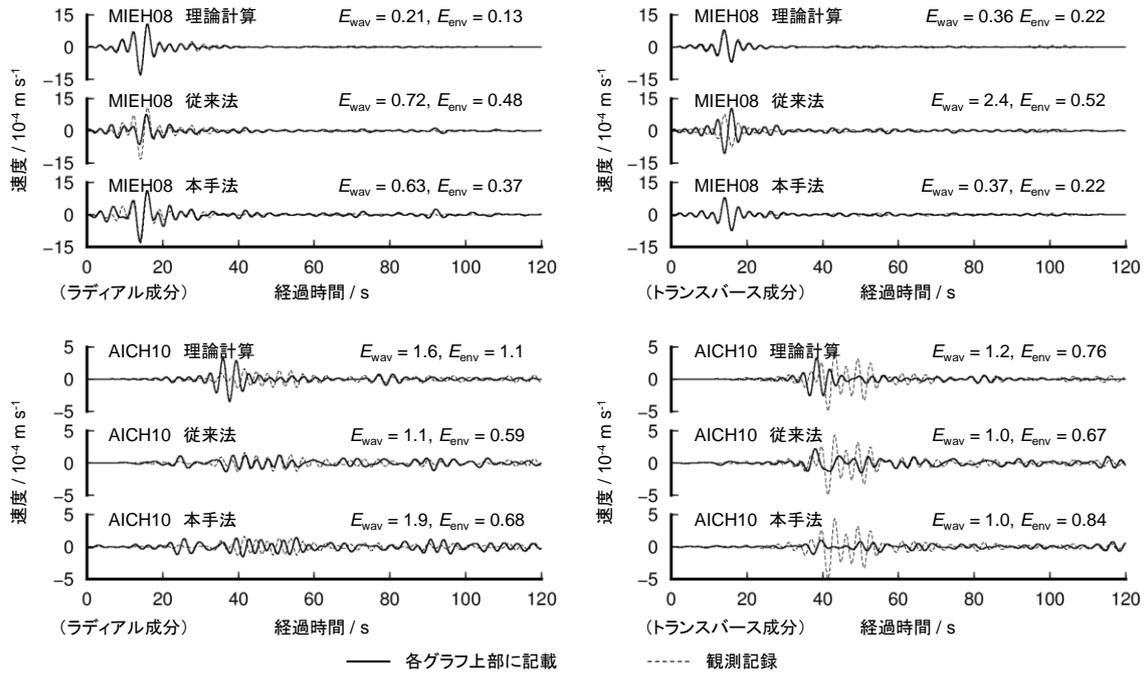


図 3-2-②-4 地震 1 による地震動の観測記録から推定した地震 2 による地震動

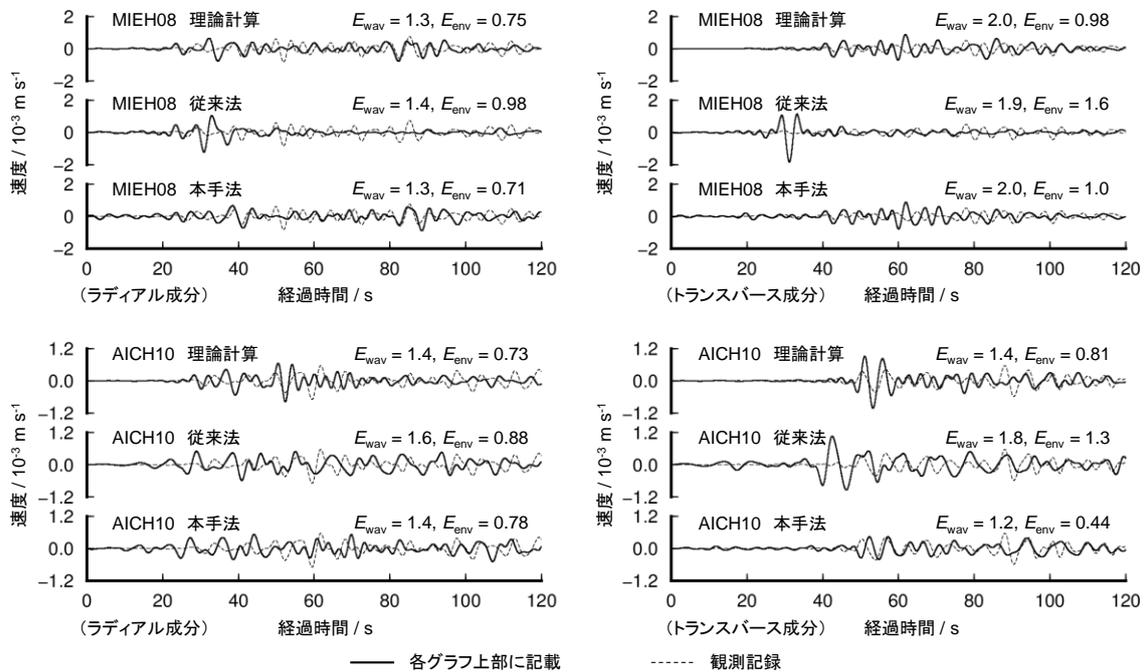


図 3-2-②-5 地震 1 による地震動の観測記録から推定した地震 3 による地震動

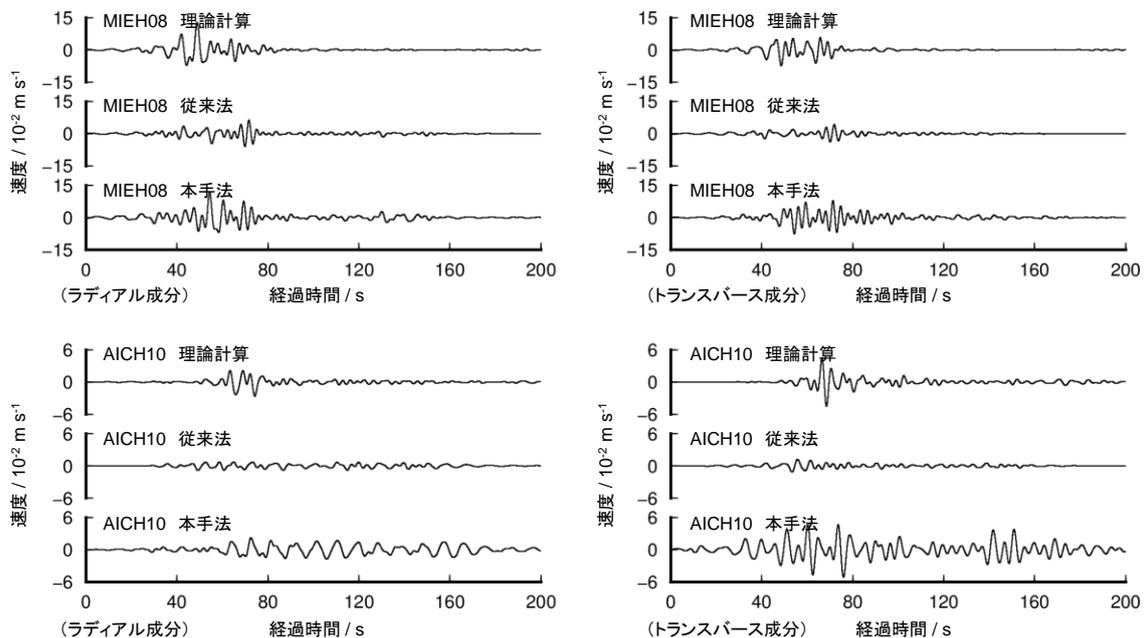


図 3-2-②-6 東南海地震による地震動の計算結果

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務では、経験的グリーン関数法における中小地震による地震動の補正に適用することを指向して、地盤構造モデルを用いた理論計算による地震動のスペクトル比を伝達関数とし、任意の震源による地震動を推定する手法を提案し、これを 3 つの地震および想定東南海地震の震源モデルに適用して検証を行った。本手法では、実体波あるいは表面波のみでなく、すべての相を含んだ形で理論的に距離減衰を補正することが可能である。そのため、表面波の寄与が大きい長周期地震動の合成を行う場合に、既存の手法と比較して有用であると考えられる。一方で、観測記録のスペクトルに理論地震動のスペクトル比を乗じて地震動の補正を行うため、震源同士の距離が遠い場合には、正確さが損なわれる。これは本手法を広く適用しようとする場合において課題となる点である。

(e) 引用文献

- 1) 壇一男, 佐藤俊明 : 断層非一様すべり破壊を考慮した半経験的波形合成法による強震動予測, 日本建築学会構造系論文集, 509, pp.49-60, 1998.7
- 2) 高橋広人, 林宏一, 福和伸夫 : 擬似経験的グリーン関数法を用いた強震動予測, 応用地質技術年報, 28, pp.15-29, 2008.2
- 3) 堀川晴央, 吉見雅行, 関口春子, 吉田邦一, 杉山雄一, 佐竹健治, 福和伸夫, 鈴木晴

彦, 松山尚典, 劉瑛, 滝沢文教: 中京地域の 3 次元地盤構造モデル, 活断層・古地震研究報告, 8, pp.203-254, 2008.12

4) 中央防災会議: 東南海・南海地震等に関する専門調査会 (第 16 回) 資料 3, 2003.12

### ③ 地盤被害

#### (a) 業務の要約

液状化する砂地盤上に建設された建物の液状化被害形態に関し、隣接家屋の影響に着目した地震応答解析を実施した。その結果、①建物周囲の地盤が液状化した場合、建物と建物直下の液状化していない地盤の揺れは液状化層の揺れに支配され建物が傾斜していくこと、②建物高さが高いほど揺れが伝わりやすく、傾斜が大きくなること、③建物が 2 棟隣接している場合、隣接距離により傾斜方向が変化すること、④建物の沈下による地盤の沈み込みと押し広げの境で建物同士が向き合って傾斜していくか、外向きに反発しあって傾斜していくかが決定することを示した。

#### (b) 業務の実施方法

2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震では、千葉県浦安市の住宅地での液状化や噴砂による被害は甚大で (安田他, 2011)、多くの戸建て住宅が不同沈下等の被害を受けた。東日本大震災以前は戸建て住宅の液状化被害自体があまり重要視されていなかったため、今日までにその被害形態に着目した研究は少なく、その被害メカニズムは十分に解明されているとは言えない。ここでは戸建て住宅の液状化被害に関して、その被害形態を隣接家屋の影響に注目して数値解析的に検討する。解析コードは、土の骨格構造とその働きの差異によって砂から粘土、両者が混在した中間土を同じ理論的枠組みの中で記述する弾塑性構成式 (SYS カムクレイモデル (Asaoka, A. et al., 2002) を搭載した水～土骨格連成有限変形解析コード GEOASIA (Noda, T. et al., 2008) で、静的も動的も区別なく扱う事ができる。

#### (c) 業務の成果

解析で用いた有限要素メッシュを図 3-2-③-1 に示す。二次元平面ひずみ条件を仮定し、洪積層 (非液状化層) 5m の上に、相対密度  $Dr=50\%$  の沖積砂層 (液状化層) が 10m 堆積している。解析に用いた弾塑性性状の一覧を表 3-2-③-1 に示す。これらは砂 7 号の力学試験結果を SYS カムクレイモデルで再現することにより決定している。各層で比体積と構造の程度は均一と仮定し、土被り圧に応じて過圧密比を分布させた。地表面は排水境界、地盤の側面と底面は非排水境界とし、地下水位は  $GL-1.0m$  とした。ただし、(水～土二相系の) 飽和土の解析のため、地下水位以浅の不飽和部分に相当する要素はその 4 辺とも大気圧となるような排水条件を与えた。地震動は、地

盤底面の全有限要素節点の水平方向に、東日本大震災で浦安地区において観測された地震波を入力した（図3-2-③-2）。地盤下端節点は底面粘性境界（ $V_s=300\text{m/sec}$ ）を設け、地盤両側端要素に側方境界要素単純せん断変形境界を設けた。

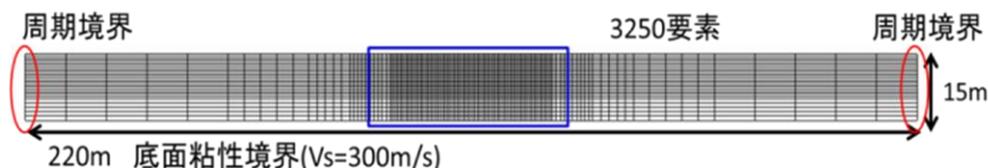


図3-2-③-1 解析で用いた有限要素メッシュ

表3-2-③-1 解析に用いた弾塑性性状の一覧

弾塑性パラメータ・物性		発展則パラメータ		初期値	
圧縮指数 $\lambda$	0.045	正規圧密土化指数 $m$	0.08	比体積 $v_0$	1.90
膨潤指数 $\kappa$	0.002	構造劣化指数 $a(b=c=1)$	2.2	構造の程度 $1/R_0^*$	2.0
限界状態定数 $M$	1.20	回転硬化限界面 $m_b$	3.5	静止土圧係数 $K_0$	0.6
NCL の切片 $N$	1.98	回転硬化指数 $br$	0.9	異方性の程度 $K_\beta$	0.6
ポアソン比 $\nu$	0.15				
土粒子密度 $\rho_s$	2.636				
透水係数 $k(\text{cm/s})$	$1.0 \times 10^{-3}$				

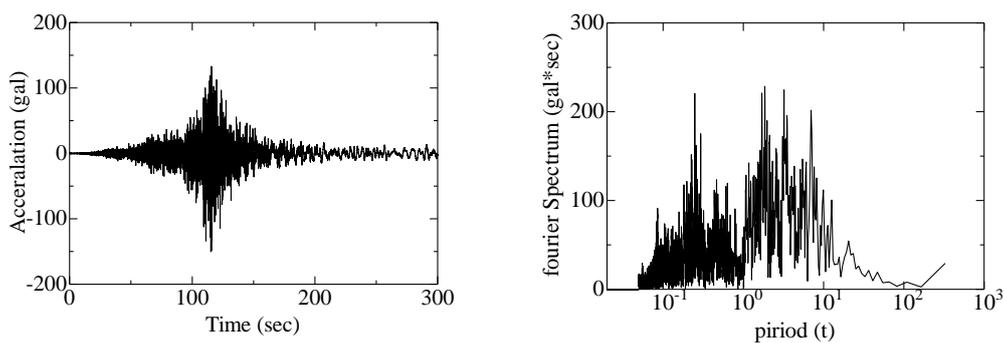


図3-2-③-2 入力地震動

最初に、建物高さの違いが地盤の変形、建物自体の傾斜に与える影響について検討した。建物底面はすべて7mとして高さ3.5m（平屋想定）、7.0m（二階建て想定）、14.0m（アパート想定）の3ケースに関して比較検討を行う。重量に関しては木造平屋を想定した3.5mの重量を建物高さ分重くなったものを想定する。また偏心荷重等は考えな

いこととして計算を行う。図3-2-③-3に地震最大加速度時の平均有効応力、図3-2-③-4に地震終了後、過剰間隙水圧消散に伴う変形収束後のせん断ひずみ分布を示す。地震による過剰間隙水圧の上昇に伴い、地盤の平均有効応力が低下し、液状化層全体で液状化が発生した。またせん断ひずみ分布をみると、建物接地面中心部から左右対称に広がっているが、建物の傾斜が大きいアパート想定建物では傾斜方向にせん断ひずみが広がっている。これは建物の接地圧分布（図3-2-③-5）をみてもわかるように、地震開始時において、地盤の反力は建物底面でほぼ均等にかかっているのに対し、地震による建物の傾斜に伴い傾斜方向の地盤で建物の荷重を支える形になっているためである。

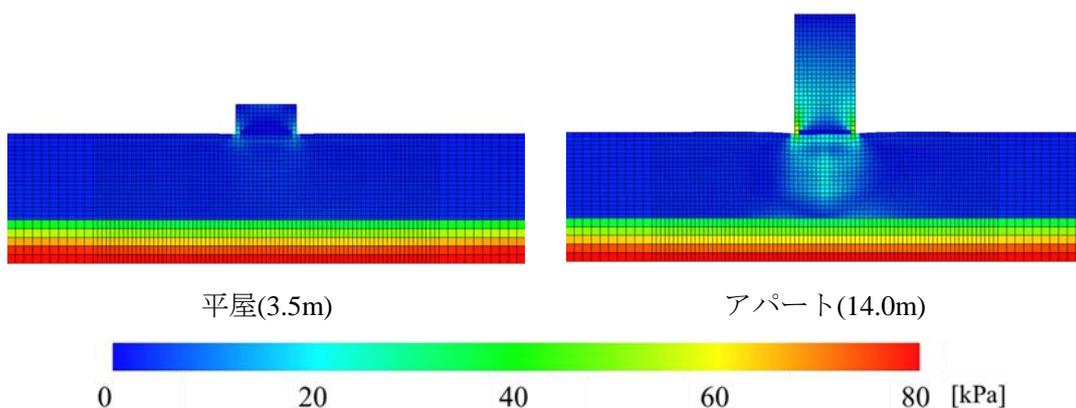


図3-2-③-3 地震最大加速度時の平均有効応力

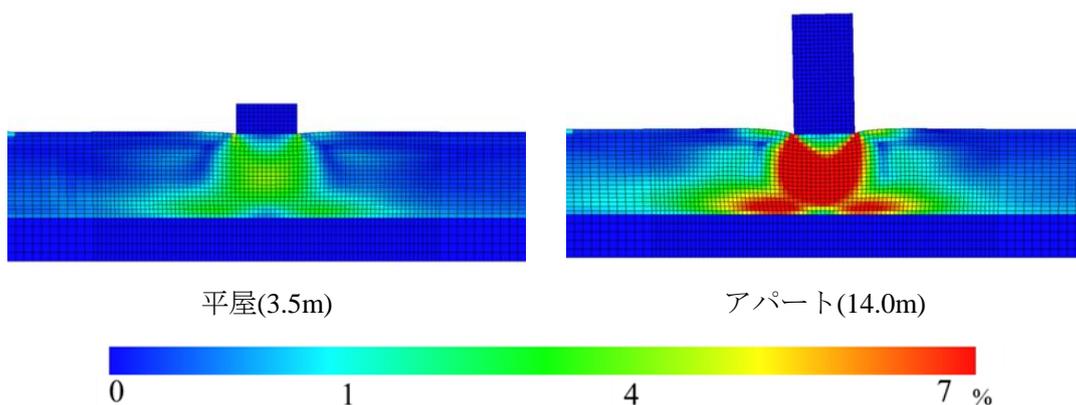


図3-2-③-4 過剰間隙水圧消散に伴う変形収束後のせん断ひずみ

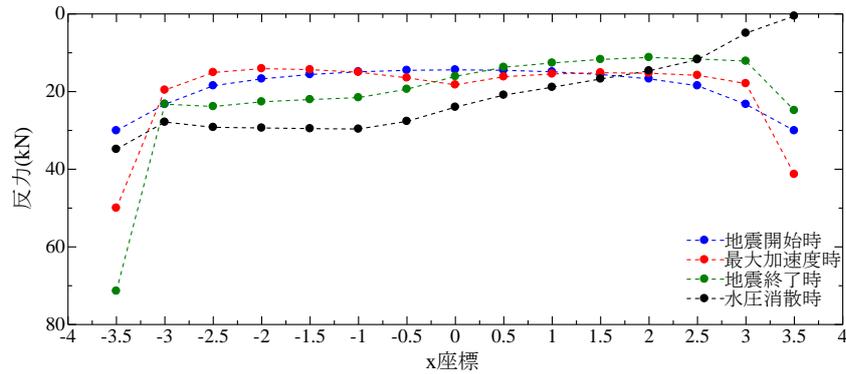


図 3-2-③-5 建物の接地圧分布

続いて、地震終了後、過剰間隙水圧消散に伴う変形収束後の地表面沈下量の様子を図 3-2-③-6 に、建物の沈下量、勾配を表 3-2-③-2 に示す。沈下量は建物重量に比例する形で平屋が最も少なく (28.15cm)、アパートで最も多くなる (56.46cm)。これは建物高さが高いほど揺れを伝えやすいため、地盤の揺れの影響をアパート高さのものが最も受けたためだと考えられる。建物の傾斜は平屋、2階建て想定ケースではほとんど出ず安定しているのに対し、アパートを想定した建物では大きく建物が傾斜しており、高さによる影響が出ている。また二階建て、アパートを想定した建物では建物の沈下に伴う周辺地盤の盛り上がりが見られ、建物端点から 4m~20m の範囲で最大 10cm 周辺地盤の押し広がりが見られる。

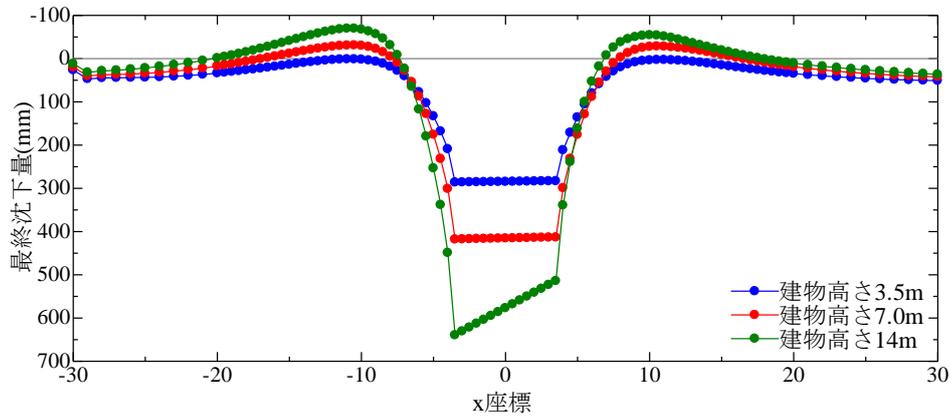


図 3-2-③-6 変形収束後の地表面沈下量

表 3-2-③-2 変形収束後の建物沈下量及び傾斜勾

	沈下量(cm)	勾配(1/1000)
平屋(3.5m)	28.146	0.437
二階建て(7.0m)	40.930	1.108

周辺環境の影響による被害メカニズムを解釈するため、隣接家屋の影響による被害について検討する。最初に隔離距離 2m で木造家屋が並んでいる場合での隣接家屋の影響について検討する。図 3-2-③-7 に平屋及び二階建て住宅の過剰間隙水圧消散に伴う変形収束後のせん断ひずみ分布を示す。隣接する家屋は互いに向かい合うように傾斜していき 2 棟の間の地盤深部でせん断ひずみが重なり合うように発生している。続いて図 3-2-③-8 に過剰間隙水圧消散に伴う変形収束後の地表面沈下量の様子、表 3-2-③-3 に建物の沈下量及び傾斜勾配を示す。2m の距離で隣接する家屋は互いに向かい合うように傾斜し、平屋同士の隣接では左家屋で 12.85/1000、右家屋で 13.28/1000、二階建て同士の隣接では左家屋で 32.13/1000、右家屋で 32.82/1000 と隣家がない場合と比べ大きく傾斜しており、隣家の有無に建物の傾斜は大きく左右されることがわかる。このような傾斜の原因として、建物沈下に伴う周辺地盤の沈み込みと盛り上がりが見られる。図 3-2-③-6 「変形収束後の地表面沈下量」より木造平屋及び木造二階建て構造物において建物端点から 2m の地表部では平屋で約 10cm、二階建てで約 15cm の沈み込みが発生している。この沈み込みが重なり合うことで互いに向かい合うように傾斜する挙動を取ったことがわかり、沈み込み量が多い二階建て構造物ではより向かい合うように傾斜している。また 2 棟の右建物右端、左建物左端では 1 棟の時に比べ建物沈下に伴う押し広げ量が増加しており、2 棟になったことで周辺への影響はさらに拡大することがわかる。

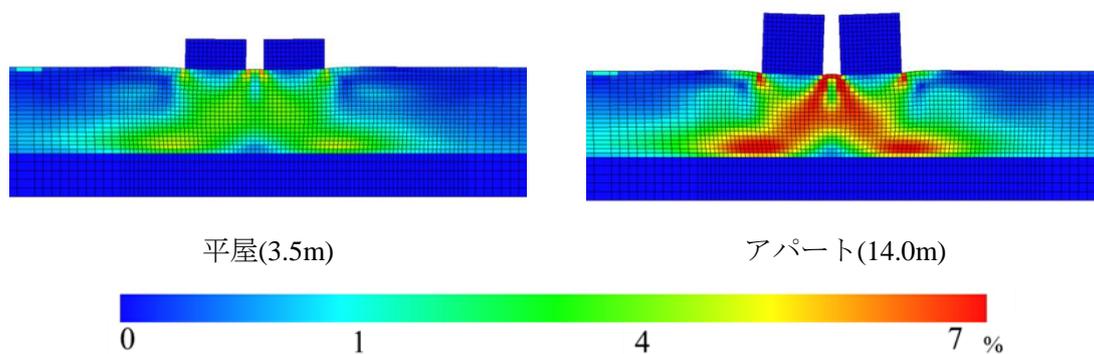


図 3-2-③-7 過剰間隙水圧消散に伴う変形収束後のせん断ひずみ

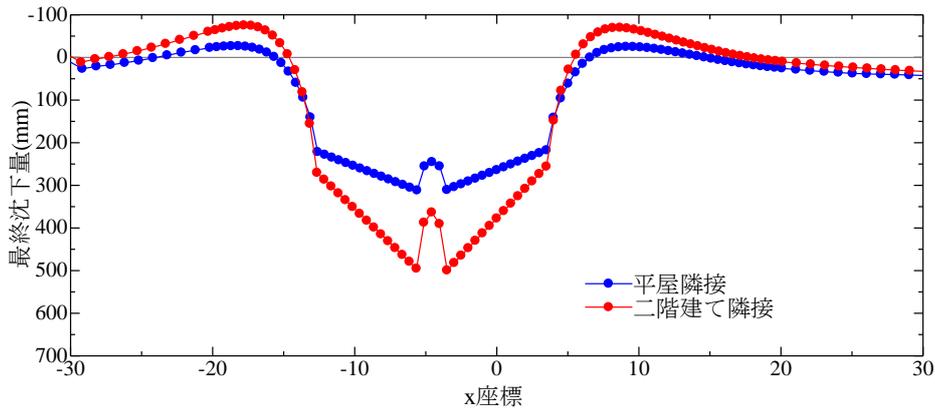


図 3 - 2 - ③ - 8 変形収束後の地表面沈下量

表 3 - 2 - ③ - 3 変形収束後の建物沈下量及び傾斜勾配

	左家屋		右家屋	
	沈下量(cm)	勾配(1/1000)	沈下量(cm)	勾配(1/1000)
平屋隣接	26.7	12.845	26.4	13.284
二階建て隣接	38.3	32.127	37.8	34.820

続いて、隔離距離 5m で木造家屋が並んでいる場合での隣接家屋の影響について検討する。図 3 - 2 - ③ - 9 に平屋及び二階建て住宅の過剰間隙水圧消散に伴う変形収束後のせん断ひずみ分布を示す。2m 隔離の場合と異なり隣接する家屋は互いに反発するようにせん断ひずみが発生し、地表面で重なり合うように 2m 間隔の物と比べ大きく発生している。それに伴い互いに反発しあうように傾斜していく挙動を示している。続いて図 3 - 2 - ③ - 10 に過剰間隙水圧消散後の地表面沈下量の様子、表 3 - 2 - ③ - 4 に建物の沈下量及び傾斜勾配を示す。2m 隔離の場合に対し、5m の隣接では互いに反発しあうように建物同士が傾斜している。これは 2m 隔離の場合では沈下による周辺地盤の沈み込みの重なりによって互いに向き合うように傾斜したことに対し、5m 隔離では建物間の距離があるため沈下に伴う周辺地盤の押し広げが互いに影響しあったことによる。建物間の地表面でせん断ひずみが周辺よりも発生したこともこのためである。平屋と二階建ての傾斜の様子を比較すると、平屋同士の隣接に比べ二階建て同士の隣接の方がより周辺地盤の影響を受けて傾斜している。これは沈み込みによる周辺地盤の押し広げの様子、図 3 - 2 - ③ - 6 の建物間の地盤の隆起の様子からも確認することができる。

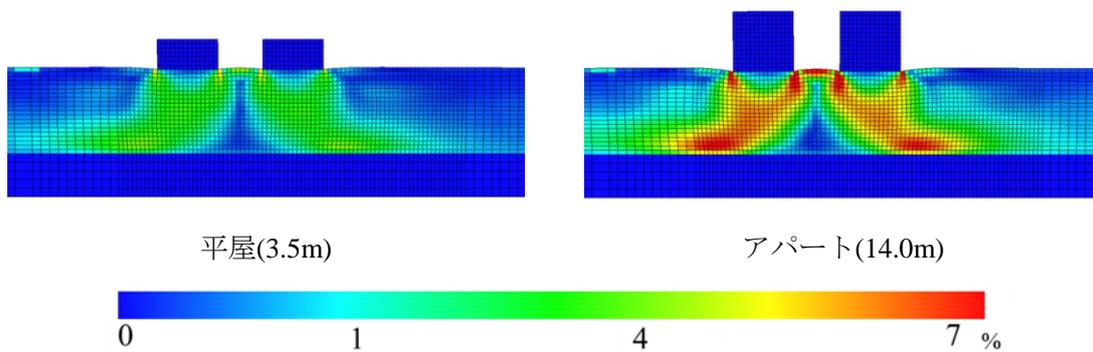


図 3-2-③-9 過剰間隙水圧消散に伴う変形収束後のせん断ひずみ

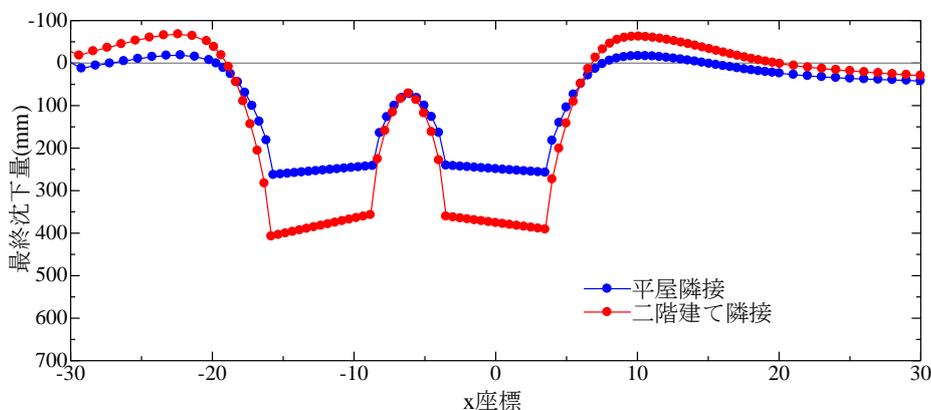


図 3-2-③-10 変形収束後の地表面沈下量

表 3-2-③-4 変形収束後の建物沈下量及び傾斜勾配

	左家屋		右家屋	
	沈下量(cm)	勾配(1/1000)	沈下量(cm)	勾配(1/1000)
平屋隣接	25.2	3.020	24.9	2.415
二階建て隣接	37.9	7.193	37.6	4.387

木造平屋を想定し、隣接距離と建物傾斜の関係性を調べる。図 3-2-③-11 に過剰間隙水圧消散後の 2 棟の地表面沈下量の様子、表 3-2-③-5 に建物の沈下量及び傾斜勾配を示す。この図を見ると建物の隣接距離が 2m 及び 3m では互いに向かい合い傾斜していき、4m では互いに干渉せず、5m では互いに反発して傾斜をしている。図 3-2-③-6 「変形収束後の地表面沈下量」での沈下に伴う地盤の引き込み量と押し広がりの影響範囲をみると地盤の引き込みと押し広げの境は建物両端から各 4m の地点であり、この境界が、建物が内向きに傾斜するか反発して傾斜していくかの境と

なることがわかる。

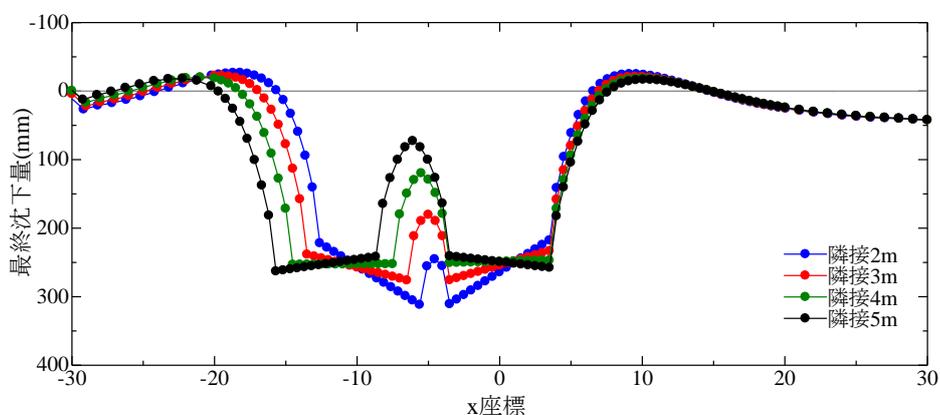


図 3-2-③-1 1 変形収束後の地表面沈下量

表 3-2-③-5 木造平屋想定での隣接距離ごとの傾斜勾配

	左家屋	右家屋
	勾配(1/1000)	勾配(1/1000)
2m	12.845	13.284
3m	5.379	6.057
4m	0.105	0.540
5m	3.020	2.415

次に 3次元解析による 4棟隣接時の傾斜の被害形態に関する検討を行う。2m 間隔で 4棟が隣接する場合に関して計算を行う。解析断面は図 3-2-③-1 2 に示す通りであり、80m×80m の正方形の地盤を想定し、地盤の深さは 15m で層構成は 2次元の場合と同様とした。境界条件は四方の側面は周期境界、底面は粘性境界とした。また入力地震波は図 3-2-③-1 3 に示す直下型の 35s の地震波を用いた。

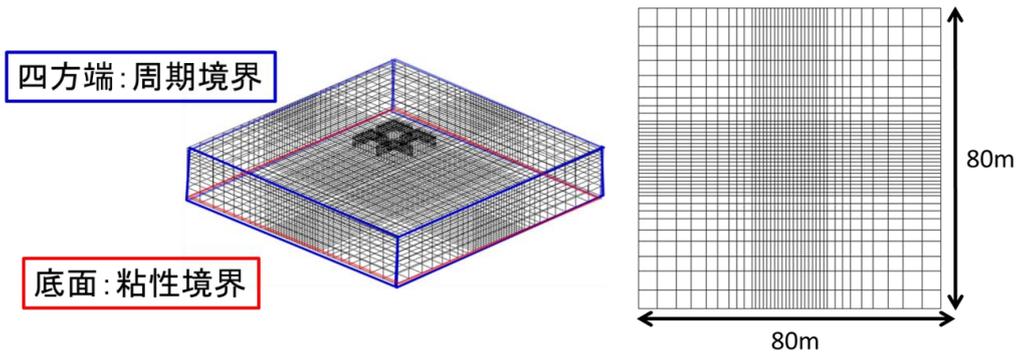


図 3-2-③-1-2 3次元解析における有限要素メッシュ及び境界条件

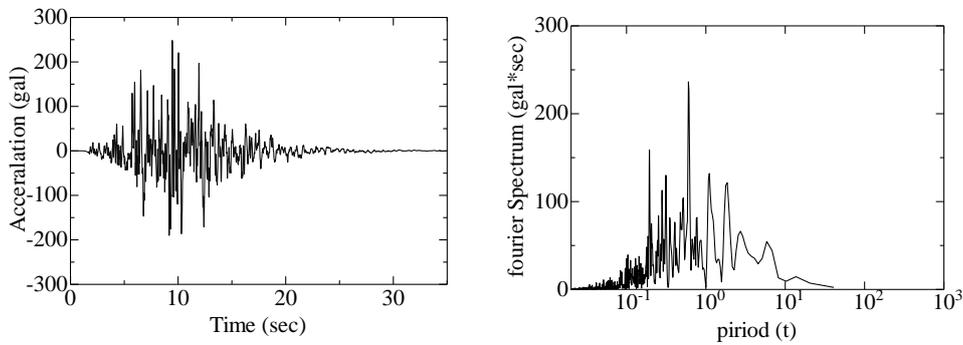


図 3-2-③-1-3 入力地震動

図 3-2-③-1-4 に地震後水圧消散時の建物沈下の様子を示し、図 3-2-③-1-5 に地盤内のせん断ひずみの様子を示す。なお変形がわかりやすくなるよう変形量は 5 倍で出力している。計算の結果 4 棟は中心に向かい内向きに傾斜していく挙動を示した。これは 4 棟すべての沈下による沈み込み重なり合う中心部へ向かって傾斜したためといえる。地盤内では 2 次元同様に建物直下で左右対称にせん断ひずみが分布しており、建物傾斜方向である 4 棟の中心部の地表でせん断ひずみが最も発生している。これより 4 棟の沈み込みが中心部で影響し合い中心へ向かって傾斜していくといえることができる。

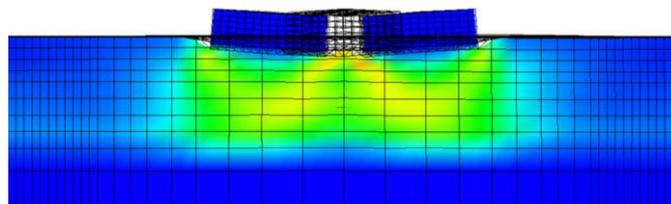


図 3-2-③-1-4 地震後水圧消散時の建物沈下の様子

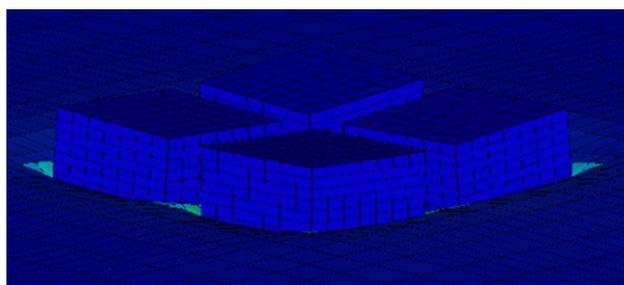


図 3-2-③-15 地震後水圧消散時のせん断ひずみ

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務での結論について述べる。戸建て住宅の液状化被害のメカニズムを建物高さに着目しその被害形態の解明を行った。また隣接家屋の影響による建物傾斜のメカニズムに関して有効応力解析を用いて明らかにした。建物周囲の地盤が液状化した場合、建物と建物直下の液状化していない地盤の揺れは液状化層の揺れに支配され建物が傾斜していく。そのため建物高さが高いほど揺れが伝わりやすく、傾斜が大きくなる。建物が 2 棟隣接している場合、隣接距離により傾斜方向が変化する。建物の沈下による地盤の沈み込みと押し広げの境で建物同士が向き合って傾斜していくか、外向きに反発しあって傾斜していくかが決定する。また、建物同士の反発は 1 棟で沈下した場合の地盤の押し広げが最大となる距離で隣接した場合最も反発するように傾斜する。

今後は、三次元解析を一層進めるとともに、地盤の層構成や状態の違いなどを考慮して、この解析手法に基づく評価の妥当性を検証してゆく。

(e) 引用文献

- 1) 安田進, 原田健二, 石川敬、東北地方太平洋沖地震による千葉県被害、地盤工学ジャーナル, Vol.7, No.1, pp.103-115、2011。
- 2) Asaoka, A., T. Noda, E. Yamada, K. Kaneda and M. Nakano, An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *Soils and Foundations*, Vol 42. No.5, pp.47-57, 2002.
- 3) Noda, T., A. Asaoka and M. Nakano, Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, *Soils and Foundations*, Vol.48, No.6, pp.771-790, 2008.

#### ④建物被害・高層建物

##### (a) 業務の要約

建物被害予測モデルの構築に向けて、一般的な建物の強震観測記録の収集・整理に基づく建物応答の評価、中低層庁舎の応答特性と動的相互作用、大規模産業施設の被害予測のための地震応答評価、普及型高耐震建物の検討、高層建物の地震時室内被害予測を行った。

##### (b) 業務の成果

###### 1) 建物強震観測記録の収集・整理と建物応答の評価

25年度から実施した一般的な中低層建物の地震観測記録の収集・整理に基づいて、建物の応答特性に関する検討を行うとともに、その結果をもとに原稿設計法における地震荷重に関する考察を行った。

###### a) 対象建物の概要

分析を行う建物は、名古屋大学東山キャンパス構内に立地する8棟の中低層建物である。図3-2-④-1に建物の概形と強震計配置、表3-2-④-1に建物の概要を示す。構造形式、高さなどが異なり、いずれも10年以上の観測期間と数十～数百の記録がある。このような記録を整理するためのプラットフォーム環境も整えつつある(図3-2-④-2)

###### b) 応答増幅

図3-2-④-3に建物の応答増幅を、地震動の卓越周期を簡便に示す等価卓越周期との関係で示す。実測値は建物の屋上と1階で観測された最大加速度の比とし、各地震が1つの点で表現されている。設計値に基づく応答増幅は、地盤を第2種地盤、重量を一様分布、周期は設計用1次固有周期として2次設計の各層の応答加速度を求め、その最上層と最下層の比とした。入力によらないので図中では横線になっている。混構造の建物④については、建物高さ $H$ と1次固有周期 $T$ の近似式 $T=0.0244H$ により算定した。

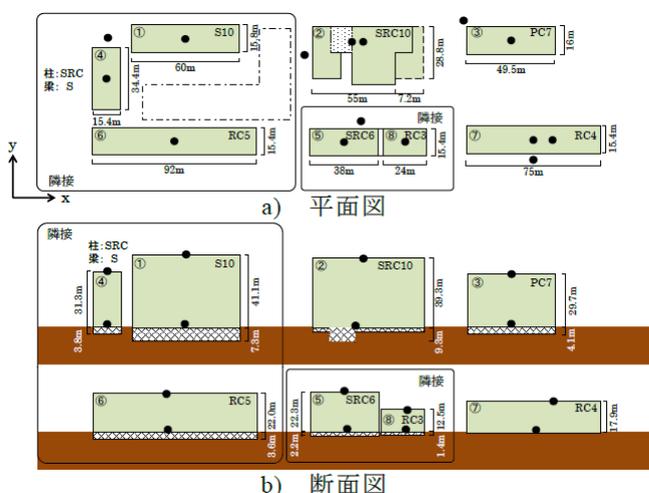


図3-2-④-1 分析対象建物の概形と強震計配置



図3-2-④-2 地震観測記録データベース

表 3-2-④-1 建物概要

建物No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
構造種別	S造	SRC造	PC造	柱；SRC造 梁：S造	SRC造	RC造	RC造	RC造
階数	地上 10階 地下 1階	10階 1階	7階 1階	7階 -	6階 -	5階 1階	4階 -	3階 -
軒高	41.1m	39.3m	29.7m	31.3m	22.3m	22.m	17.9m	12.5m
建築面積	987㎡	1501㎡	852㎡	529㎡	374㎡	1416㎡	1155㎡	604㎡
骨組形式	桁行 ラーメン構造	耐震壁付 ラーメン構造						
基礎・杭種別	場所打ち杭	PHC杭	PHC杭	PHC杭	PC杭	PHC杭	RC杭	直接基礎
杭長	41.7m	48.0m	36.0m	23.0m	12.0m	24.0m	6.0m	-
根入深さ	GL-7.3m	GL-2.5m	GL-4.1m	GL-3.8m	GL-2.2m	GL-3.5m	GL-0m	GL-1.4m
地盤建物連成系	桁行	1.10sec	0.58sec	0.40sec	0.27sec	0.28sec	0.23sec	0.21sec
固有周期	梁間	1.23sec	0.65sec	0.48sec	0.38sec	0.30sec	0.28sec	0.23sec
スウェイ固定系	桁行	1.08sec	0.53sec	0.38sec	0.40sec	0.25sec	0.27sec	0.23sec
固有周期	梁間	1.14sec	0.59sec	0.44sec	0.36sec	0.28sec	0.26sec	0.22sec
設計1次固有周期	1.23sec	0.79sec	0.59sec	0.76sec	0.45sec	0.44sec	0.36sec	0.25sec
平均S波速度	250m/s	220m/s	280m/s	250m/s	302m/s	250m/s	244m/s	302m/s
観測された地震記録数	164	61	344	164	89	164	74	55
観測期間	2004.7～	1999.3～	2004.5～	2004.7～	1999.3～	2004.7～	2002.3～2009.8	2000.3～

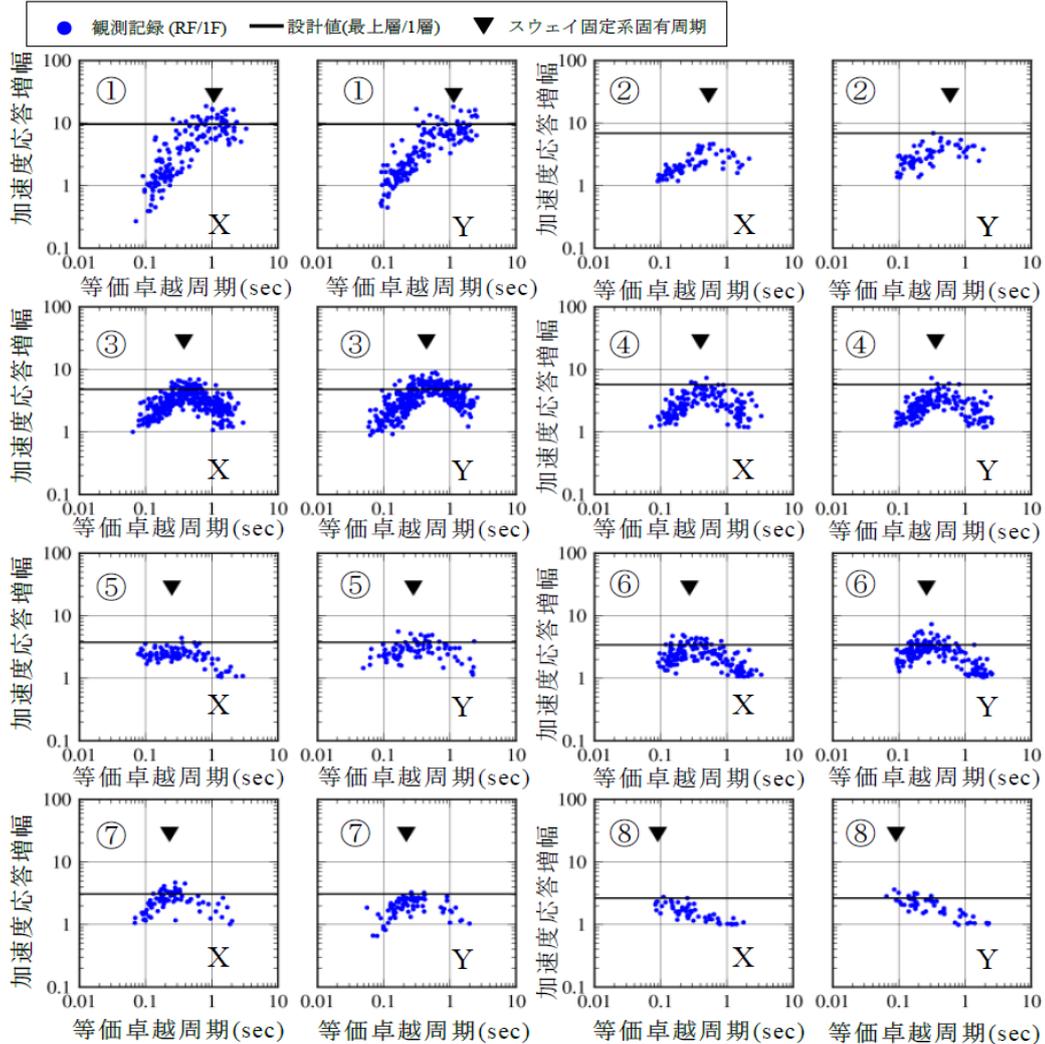


図 3-2-④-3 建物による応答増幅と地震動の等価卓越周期の関係

地震動の等価卓越周期が建物の 1 次固有周期に近いとき、建物①、⑤、⑦、⑧および建物③、⑥の長辺では実測の応答増幅と設計値に対応が見られる。建物③、⑥の短辺方向では、設計値と比較して実測がやや大きくなる傾向が見られるが、これはロッキングの影響と考えられる。また、設計用 1 次固有周期と実測固有周期の差が大きい建物④では、設計値が実測の増幅値の上限程度となっている。全体としては、整形な建物では、地震動の卓越周期が建物の固有周期に近い場合に、建物応答増幅の実測値が設計による値に近づくことを確認した。

#### c) モード形状

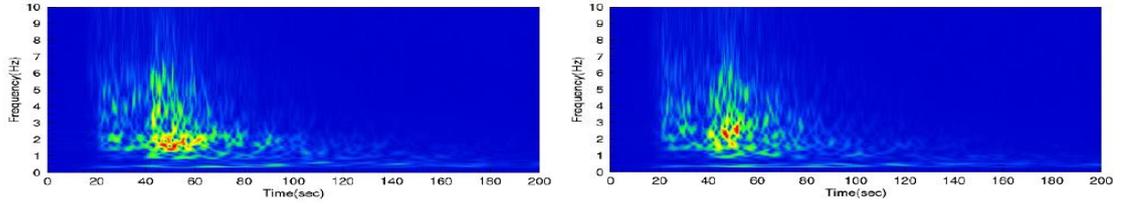
建物内の複数点で地震観測記録が得られる建物③においてモード形状の分析を行う。観測点は 7 階建ての 1、2、3、5、屋上階にある。EQ1：2013 年 4 月 13 日の淡路島地震 (M6.3) と、EQ2：2013 年 2 月 6 日の愛知県西部の地震 (M4.1) の記録を用い、地表の加速度波形と非定常スペクトル、及びモード形を図 3-2-④-4~5 に示す。モード形は加速度応答波形の包絡線を振幅として用い、1 階の振幅で基準化したものを各時刻でプロットした。図中で設計値は  $A_i$  分布である。

これらの図より、建物の 1 次固有振動数付近で地震動が卓越する EQ1 では、実体波部において長辺短辺ともに 1 次モードの応答が見られる。短辺方向では上部建物全体がロッキングしているようなモード形が見られ、最上階で  $A_i$  分布を上回る応答が見られる。後続波では長辺短辺ともに剛体的な応答を示す。一方、EQ2 では、長辺短辺ともに実体波部で 2 次モードを含む高次モードの影響が確認できる。最上階での応答は小さいが、3 階など中間階で  $A_i$  分布のモード形状を上回る応答が見られる。後続波では地震動の卓越振動数が低下し、1 次モードの応答が見られた。全体としてこの建物では、 $A_i$  分布に基づくモード形状が示すような頂部での増幅は見られない。

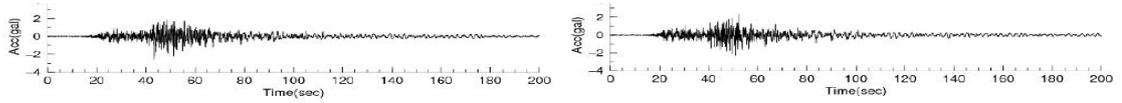
#### d) 入力特性

地表で観測された加速度波形の最大値を 0.33G、0.2G で基準化したのちに求めた加速度応答スペクトル ( $h=5\%$ ) と  $R_t$  曲線の比較を図 3-2-④-6 に示す。0.33G で基準化した場合は短周期域で  $R_t$  曲線を上回る地震動があるが、0.2G で基準化した場合は短周期域で  $R_t$  曲線に概ねおさまっている。応答スペクトルを等価 1 質点系の応答と考えると、2 次設計で想定している地動加速度が 0.2~0.3G 程度である可能性がある。

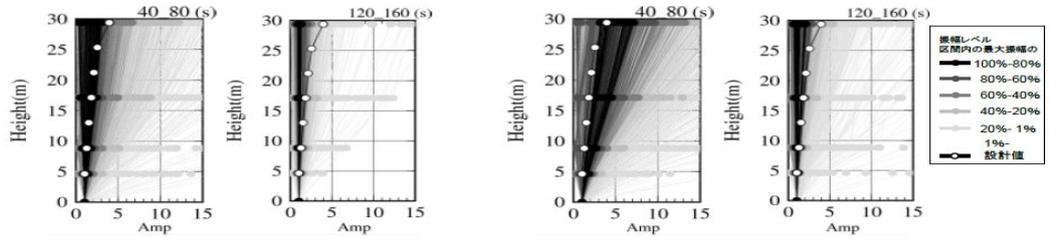
以上、建物の地震観測記録から、平均的な応答特性と現行設計法での扱いについて考察を加えた。



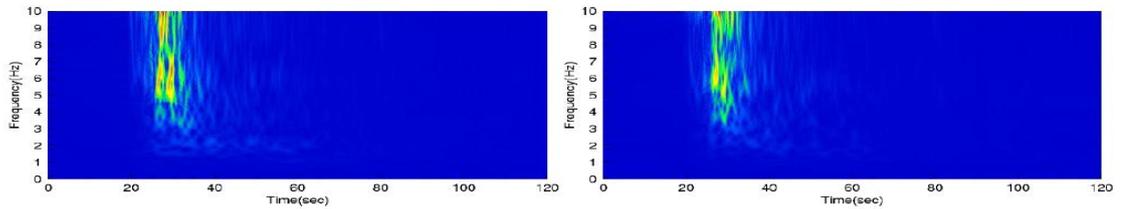
(a)非定常スペクトル、EQ1、長辺（左図）、短辺（右図）



(b)加速度波形、EQ1、長辺（左図）、短辺（右図）



(c)モード形、EQ1、長辺（左図）、短辺（右図）



(d)非定常スペクトル、EQ2、長辺（左図）、短辺（右図）

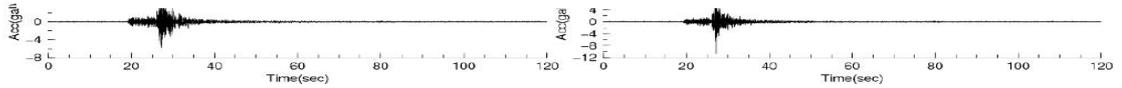


図 14 振害加速度波形(愛知県西部の地震、左：長辺、右：短辺)

(e)加速度波形、EQ2、長辺（左図）、短辺（右図）

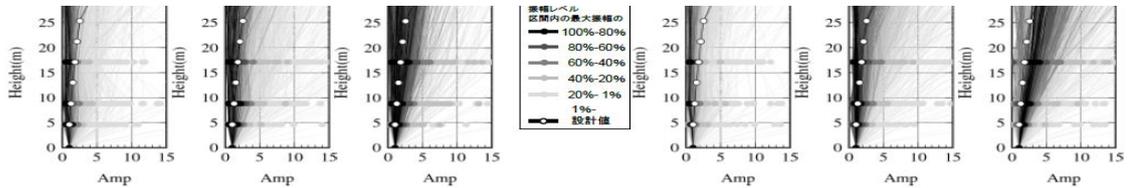
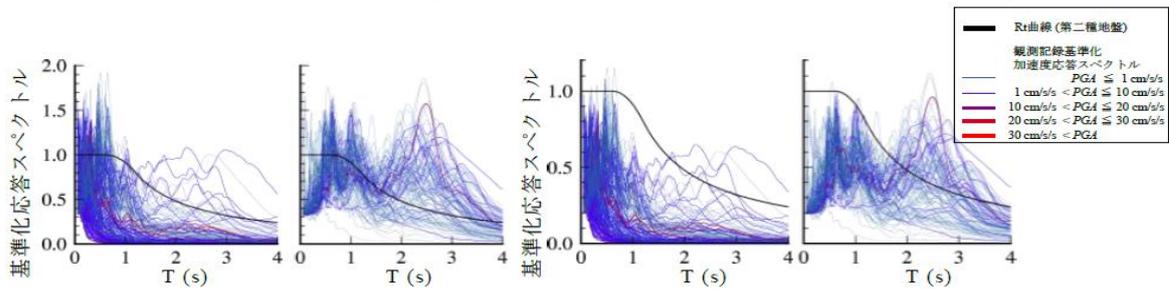


図 15 モード形状(愛知県西部の地震、左：長辺、右：短辺)

(f)モード形、EQ2、長辺（左図）、短辺（右図）

図 3-2-④-4 地震中の地震動周波数特性とモード形の変化



i) 震央距離<300km ii) 震央距離≥300km i) 震央距離<300km ii) 震央距離≥300km

図 3-2-④-5 地表最大加速度を 0.33G (左図)、0.2G (右図) で基準化した加速度応答スペクトル

## 2) 中低層建物の振動特性と動的相互作用解析

RC 造中低層庁舎等の地震応答と被害を検討する際には、複雑な構造による立体振動や地盤との動的相互作用特性が重要となる。常時微動多点同時計測により立体振動特性の検討を行うとともに、動的相互作用を考慮したモデル解析を行った。

### a) 常時微動計測による検討

表 3-2-④-2 に対象とした庁舎建物の概要、図 3-2-④-6 に多点同時計測の概要を示す。建物はおおむね整形ではあるが、上層階に議場があり、低層部の張り出した形状の特徴を持つ。これらの観測で得られた常時微動記録から、立体振動モードを検出した結果を図 3-2-④-7 に示す。ねじれ、ロッキングなどを伴う立体振動特性や相互作用が確認できる。また基礎スラブの面外変形も確認された。以上を含めて入力相互作用、慣性の相互作用に関して検討を行った。

表 3-2-④-2 対象建物の概要

延床面積	7207 m <sup>2</sup>	構造種別	RC 造
建築面積	1932 m <sup>2</sup>	平面形式	センターコア型
竣工	1976(S51)年 4 月	構造形式	コア部：耐震壁付ラーメン コア周囲：ラーメン
増築	1 階北小室 2 室	基礎種別	杭基礎
増築年	不明		
階数	地上 5 階建		PC パイルφ500
	塔屋 2 階建		L = 44.0 m L = 45.0 m
最高高さ	25.5 m		武智三角杭
軒高	20.0 m		L = 8.5 m

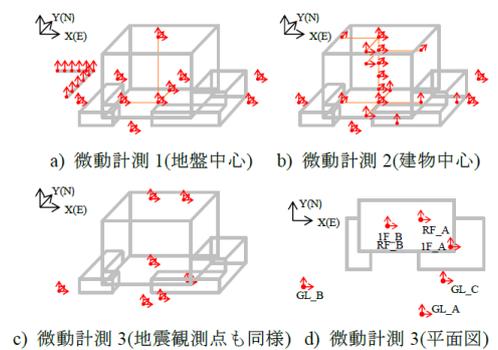


図 3-2-④-6 常時微動計測の概要

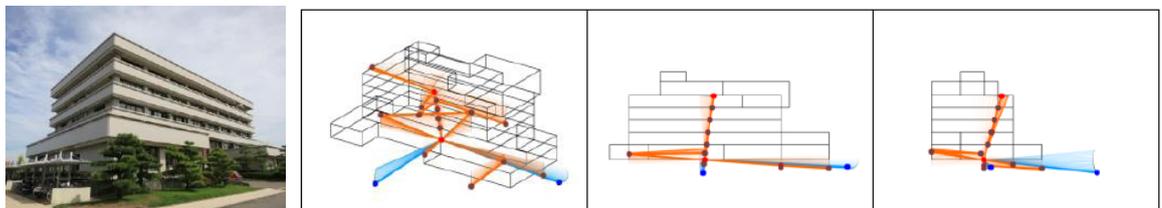


図 3-2-④-7 建物概形と立体振動性状

#### b) 解析的検討

地盤-基礎-構造物連成系の解析的検討を行った。結果の一例として、図 3-2-④-8 に杭基礎建物で上部構造に連層耐震壁によるセンターコアを有する場合の影響を示す。センターコアにより基礎部分の面外変形が生じており、SR モデル化などを行う際に基礎剛性の評価の影響が大きいことがわかる。

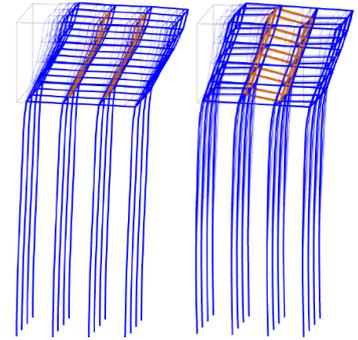


図 3-2-④-8 上部構造の異なる杭基礎建物

### 3) 大規模産業施設の地震応答評価

工場、倉庫等の大規模産業施設の被害は社会に対する影響が大きい。これらの多くは鉄骨造大規模構造であり、その地震応答特性の評価や予測に関する知見は多くない。ここでは常時微動計測による振動特性評価と、それに基づく応答解析を行った。

#### a) 常時微動計測

図 3-2-④-9 に対象建物の概要を示す。対象建屋は 1970 年に建設された鋸屋根をもつ鋼構造平屋で、東西 240m、南北 140m、柱スパンは梁間方向 20m、桁行方向 10m、エキスパンションジョイントはない。東西方向に大梁トラス、南北方向に小屋組みがあるため、東西方向を梁間方向、南北方向を桁行方向と考える。梁間方向の外側構面には間柱が取り付けられている。柱と間柱は桁行方向を強軸とした H 型鋼である。軒高 5.5m、最高部高さ 8.9m、高さ 4.4m に点検用の歩廊がある。建屋の質量は設備機器、小屋組みや屋根材のある上部に集中している。このほかに形式が異なる 2 棟の計測も行い、全体として傾向把握を行った。

常時微動計測は図 3-2-④-9 に示すように 3 ケース行っており、それぞれ①建屋の一体性、固有振動数、②壁面の振動特性、③梁中間部の振動特性、を目的としている。これらの結果として、以下の特性が明らかになった。

1 次固有振動数は梁間 1.4Hz、桁行 1.7Hz、1 次減衰定数は 1.5～3%であった。2 次固有振動数は 2～3Hz 弱である。これは他の工場建屋でもほぼ同様であった。この際、建屋上の 2 点に注目すると、2 点間を結ぶ方向の直交方向成分の振動の相関が低いことから、全体振動の一体性が低く、1 質点系置換が適切でない可能性がある。一方、柱脚の振動については、2 点間が離れるほど相関が低く、大規模構造で入射地震動が一様でないことが示された。梁中間部の振動が梁端部（柱頭付近）と比較して、面外方向、上下方向ともに数倍となっていたことから、設備機器等の設置に留意すべきである。

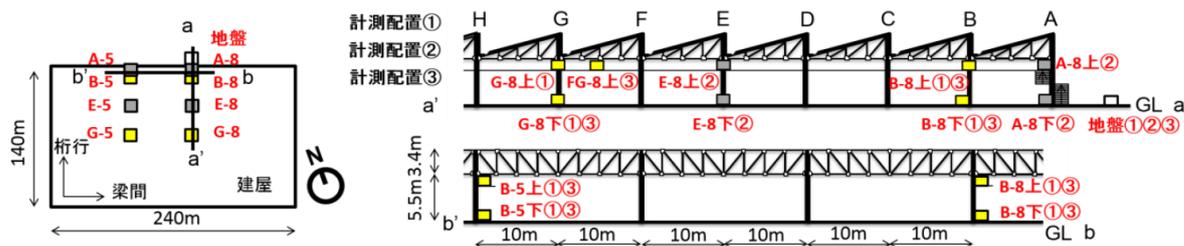


図 3-2-④-9 対象建物の平面、断面および常時微動計測点（計測ケース①～③）

b) 解析的検討

対象建屋の 3 次元立体解析を行うことで、計測で得られた振動特性との比較を行う。モデルは柱脚、接合部、間柱と外壁の有無などの条件により表 3-2-④-3 に示す No.1～5 の 5 通りとした。図 3-2-④-10 に間柱と外壁を考慮した解析モデル No.1 を示す。節点数は約 2 万点である。外壁は木毛セメント板の剛性を考慮した。実際には設備機器が多数設置されていたが、解析モデルではまず部材と屋根材の質量のみを考慮した。図 3-2-④-11 に 1～3 次の振動モード図を示す。また表 3 の No.1～5 にそれぞれの固有値解析結果を示す。各方向の 1 次モードは並進で屋根の面内変形が伴っており、計測でとらえた特性に整合している。全体がねじれる 2 次モードは計測からは得られなかった。

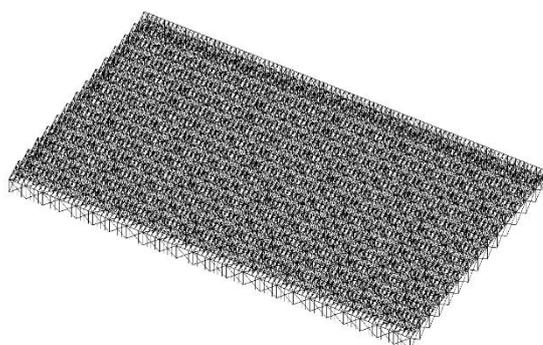


図 3-2-④-10 立体モデル

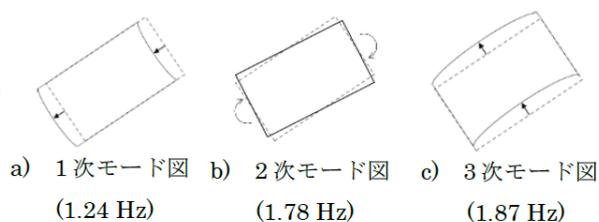


図 3-2-④-11 振動モード

表 3-2-④-3 計測と解析で得られた固有振動数と面内変形成分の比

No.	柱脚	柱梁接合部	東梁接合部	間柱	外壁	梁間方向1次		桁行方向1次		fy/fx
						fx(Hz)	面内変形成分の比	fy(Hz)	面内変形成分の比	
1	固定	剛	剛	剛	有	1.24	1.18	1.87	1.05	1.51
2	固定	剛	剛	なし	なし	1.17	1.04	1.88	1.04	1.62
3	固定	ピン	剛	剛	有	1.22	1.18	1.82	1.05	1.54
4	地盤ばね	剛	剛	剛	有	1.19	1.17	1.80	1.04	1.34
5	ピン	剛	剛	剛	有	0.73	1.16	1.05	1.04	1.36
6		剛床		剛	有	1.62	1	2.64	1	1.63
7						1.4	2.09	1.7	1.61	1.21

表 3-2-④-3 の No.6 の行は屋根面を剛床と仮定した 1 質点系モデルである。また、No.7 の行は計測結果の固有振動数、固有振動数の比と面内変形成分の比を示す。No.2 では固有振動数比が大きく、H 型鋼柱の強軸、弱軸の差によるものと考えられる。No.1 では外側構面の剛性が大きくなり、No.3~5 では内側構面の剛性がより小さくなるため面内変形成分の比は大きくなるが、計測結果よりは小さい値である。固有振動数比も計測結果よりは小さい値であり、今回の解析モデルでは考慮していない非構造部材が剛性を発揮している可能性がある。また、No.6 の結果より面内変形による有効質量を考慮して推定した単位面積当たりの設備荷重は約  $70 \text{ kg/m}^2$  である。

設備荷重の偏在による振動モードの変化について、設備荷重を最大の推定値  $70 \text{ kg/m}^2$  とし、建屋平面の北半分に分散させて固有値解析を行った。結果として、屋根面荷重の偏在がモード形に明確な影響を及ぼすことが分かった。

最後に、解析モデルを用いて弾塑性応答解析を行った。モデルの接合部は剛接合とし、外壁は耐力が小さいため地震時の影響は小さいと考え取り付けない。質量は部材、屋根材、設備荷重を考慮する。減衰は初期剛性比例型 2%とし、解析はニューマークの  $\beta$ 法 ( $\beta=0.25$ ) で行った。入力地震動は南海トラフの巨大地震におけるサイト模擬地震動とし、最大加速度は梁間 342gal、桁行 410gal、鉛直 344gal である。建屋応答は、建屋中心部に近い点で梁間方向 256gal、桁行方向 586gal、鉛直方向 352gal となり、梁間方向の加速度応答は低減している。層間変形角は約 1/47 であった。応答の加速度フーリエスペクトルでは、梁間方向は 0.63Hz、0.79 Hz、桁行方向は 0.85Hz、1.26Hz、1.55Hz にピークが見られ、いずれも計測結果の 1 次固有振動数より長周期側にある。設備荷重なしと仮定した解析結果では層間変形角は 1/100 を上回る個所はなく、比較的小さな応答となった。

以上の結果は、大規模産業施設の被害予測モデルの基礎となるものといえる。

#### 4) 普及型高耐震建物に関する検討

##### a) 背景

わが国では、共同住宅が約 2,070 万戸で住宅全体の約 42%を占めている。このうち 4 階建て以上の共同住宅建物について、14 階建てまでで約 1,140 万戸、15 階建て以上が約 57 万戸となっている。また、4 階建て以上の共同住宅建物の構造形式は、95%以上が鉄筋コンクリート造（鉄骨鉄筋コンクリート造を含む）となっている。これら中高層の鉄筋コンクリート造建物が、1981 年施行の新耐震設計法に従って設計されるとき、大地震に対しては骨組の耐力と粘りの確保によって耐震性が与えられることになる。新耐震設計法を基本とする現行設計に従う骨組を対象とした E-ディフェンス実験（図 3-2-④-12）では、レベル 2 地震動程度の入力において骨組が軽微な補修により継続使用可能な程度の損傷に留まる一方で、兵庫県南部地震クラスの極大地震動が入力した

場合には、大変形によって骨組が補修困難な損傷に至ることが確認されている<sup>1),2)</sup>。

そこで、大地震に対して地震入力を低減する効果を持つ新基礎構造の開発を視野に、実用化に向けた資料の蓄積を行う。

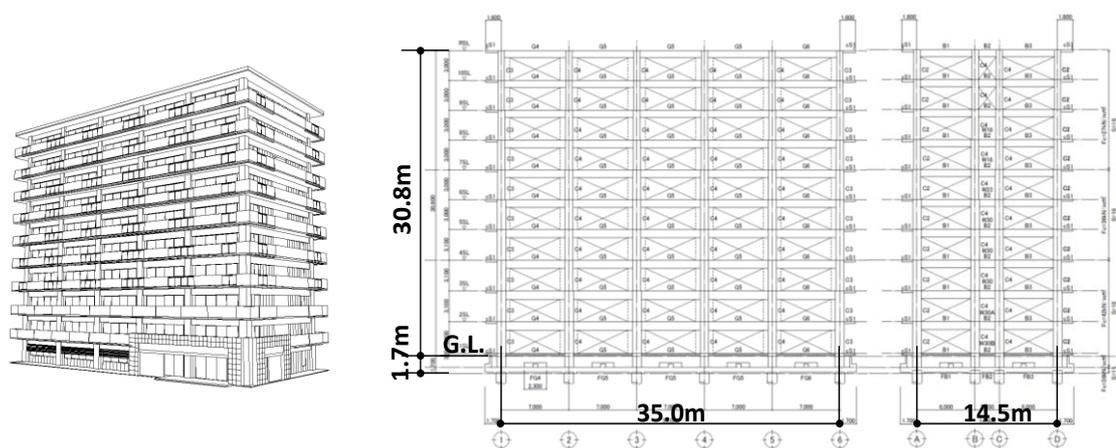


図 3-2-④-12 E-ディフェンス加振における現行設計骨組の損傷程度（実験後）

### b) 基礎分離構造

ここで提案・考察する基礎分離構造は、1階床位置の梁と場所打ちコンクリート杭を繋ぐ基礎梁が上下に分離されており、鋳鉄支承を介して直置きされている。この構造を地盤条件も考慮の上で試設計した。比較のため、1階床と一体の建物軒高の8%程度の高さ寸法を有する基礎梁を採用する従来型の基礎構造についても試設計した。

図 3-2-④-13 に一般的な10階建ての鉄筋コンクリート造建物について、基礎分離構造を採用した設計例を示す。1階床位置の梁の高さ寸法と基礎梁の高さ寸法を合わせた総高さを1.7mに設定した。



(a) 全景パース

長辺方向：純フレーム構造 短辺方向：壁フレーム構造

(b) 軸組図

図 3-2-④-13 基礎分離構造を採用する10階建て鉄筋コンクリート造建物の試設計

### c) 提案建物設計の特徴

<設計方針>

直接基礎の基礎滑りによる入力低減<sup>3)</sup>を人工的に現出させる基礎構造を設計する。本提案は分離基礎構造内の鋳鉄支承<sup>4)</sup>の滑りを利用するものであり、レベル2地震動程度の入力に対しては骨組の有する耐震性によって損傷を留め、極大地震動時に基礎滑りによって、上部骨組の損傷を補修可能な程度にとどめることを意図した。

#### <適用範囲>

- ・ 中低層から高層までの鉄筋コンクリート造建物、鋼構造建物に適している。
- ・ 暴風時に基礎部の摩擦力より大きい水平力が生じ、建物が片側に横滑りする可能性のある軽量かつ小規模の建物には適さない。
- ・ 建物基礎を固定しない所謂直接基礎に分類されるもので、大地震に、全体転倒しない規模・形状を有していることが前提である。
- ・ 超高層建物では固有周期が長くなり地震波特性によっては大幅な入力低減が予想される。例えば、第2種地盤に立地し振動特性係数  $R_t$  が 0.8 となる建物の設計用 1 次固有周期は 1.2 秒と逆算され、これに該当する建物高さは鉄筋コンクリート造で 60m、鋼構造で 40m となる。今後の詳細な検討を要するが、鉄筋コンクリート造では約 60m、鋼構造では約 40m の高さ程度までを適用高さの目安とする。

#### <建物構成と必要性能>

対象建物は、上部骨組、基礎構造、地業部分から構成され、それぞれ下記のような構造上の必要性能を考える。

- ・ 上部骨組：最下階の柱下部を低摩擦（摩擦係数 0.20～0.25）の鋳鉄支承で支持される上部建物は、支承部摩擦面等から伝達される地震力に耐える耐震特性を有する。
- ・ 基礎構造：基礎梁上面位置のコンクリート版上で支承の円滑な滑りを可能にし、かつ水平力の地業部への伝達（剛床の役割）、上部骨組側の水平滑り変位の抑制、水平滑り変位による支承部鉛直力の偏心モーメントの処理（基礎梁長期許容応力度設計等）、地震後の原位置復旧のための作業ヤードの確保、等の機能を有する。
- ・ 地業部分：基礎下部に加わる鉛直力、水平力を安全に支持する。地盤条件と設計方針により①硬質地盤＋砂利地業、②地盤改良（浅層混合処理工法、柱状地盤改良工法等）、③杭地業（既成コンクリート杭、場所打ち RC 杭等）等の方法を選択する。

#### <各部の設計項目>

- ・ 上部骨組：現行耐震基準の 1 次設計（許容応力度設計、 $C_o=0.2$ ）を行い、耐震余裕度の確保のため現行耐震基準レベルの保有水平耐力を有することを確認する。大地震時に対する検討として、別途、基礎滑りを考慮した地震応答解析を行い、滑り変位量、建物の地震応答量の確認を行う。
- ・ 基礎構造：上部建物下部の過大な水平変位を抑えるため、衝突壁及び緩衝材の配置を検討する。また、建物原位置復旧のためのジャッキの配置、およびその基礎側反力部、建物側加力部の設計検討を行う。
- ・ 地業部分：基礎及び地業については、支承の滑り幅を考慮した範囲とする。杭基礎

については、基礎梁と杭を一体化したモデルとして解析し、杭頭の固定度と水平変位を適切に評価する。

今後は、以上の内容を踏まえ、地盤、基礎構造、上部骨組を総合的にモデル化した数値解析<sup>5)</sup>に取り組むこととする。さらに、現行設計において、限界耐力計算法として枠組が整備されている応答スペクトル法の適用性向上<sup>6)</sup>により、体系的な設計法・性能評価手法の構築に取り組む。

## 5) 仮想建物モデルを用いた階層別の地震室内被害予測

### a) 目的

東日本大震災では、特に関東地方の超高層建物において、家具転倒・移動に伴う被害、天井落下やエレベータ停止などの非構造部材の被害が多数確認され、さらに、同一建物内においても被害の程度が階数によって異なることが明らかになった<sup>7)</sup>。このような非構造部材の被害は、人命に直接関わるだけでなく、家具の転倒や天井落下による避難所要時間の増大、スプリンクラー破損や防火扉の変形により火災拡大が抑制できなくなる等の関連被害を誘発することが十分に予想される。将来の南海トラフ地震を想定すれば、多人数が居住・活動する高層建物の多くが影響を受ける。その際に、低層部、中層部、高層部など大まかな階層毎の室内被害程度が推定できれば、発災直後の救助に有効活用できる。そこで、本節では、東日本大震災における高層建物の室内被害調査結果<sup>7)</sup>や家具の被害予測手法<sup>8)</sup>に基づき、建物内の高さ方向の室内被害予測方法について検討する。

### b) 解析手法

仮想建物を用いて地震応答解析を実施し、その最大加速度応答値と東日本大震災における高層建物の室内被害調査結果<sup>7)</sup>や家具の被害予測手法<sup>8)</sup>等より、同一建物内の高さ方向の室内被害の総合的な推定を行う。なお、非構造部材の被害や家具転倒は加速度応答だけではなく、速度応答や応答層間変形との関連性が高い場合もあるが、今回は高さ方向別の室内被害予測の試行として、実被害との関係が資料としてまとめられている加速度応答に着目することとした。

建物は、10階、20階、30階建ての仮想建物を想定し、多質点系せん断型モデルに置換した。せん断剛性の高さ方向の分布は、 $A_i$ 分布と各階質量を一定と仮定して得られる層せん断力分布形状と相似形になるように設定している。なお、本検討において建物は弾性と仮定しており、材料非線形性を考慮した検討については今後実施することとしたい。減衰定数は、建物の一次固有周期において2%の剛性比例型とした。

入力地震動は、2014年に公表された愛知県東海地震・東南海地震・南海地震等被害予測調査結果<sup>9)</sup>において作成された地震動のうち、過去の5地震における震度を再現した震源モデル（「過去地震最大モデル」）の工学的基盤における地震波から、重複反射理論に基づく等価線形解析により地表における地震波を推定して用いた。評価地点は、

図 3-2-④-14 に示す愛知県設計用入力地震動研究協議会で地盤モデルが作成されている名古屋市内の 7 地点とした。各評価地点のうち、NST（名古屋駅付近）における入力地震波の波形、及び減衰定数 2% のトリパタイトスペクトルを図 3-2-④-15 に示す。



図 3-2-④-14 検討対象地点

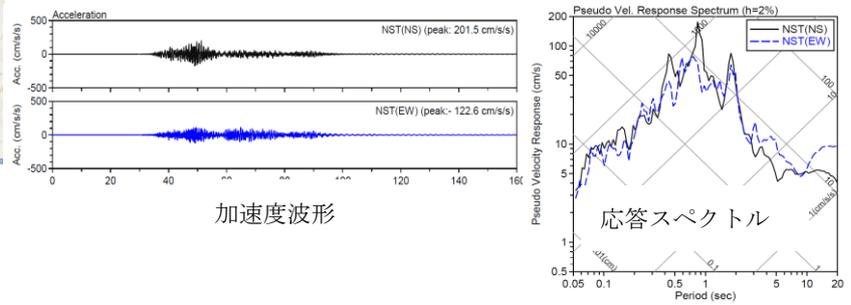


図 3-2-④-15 地点 NST の入力地震動特性

### c) 解析結果

各評価地点における仮想建物の地震応答解析結果の最大応答加速度分布を図 3-2-④-16 に示す。10 階建物、あるいは軟弱地盤の名古屋市南部で応答加速度が大きくなる傾向が認められる。なお、今回用いた入力地震波は長周期成分が十分に考慮されていないため、20 階、30 階建物については過小評価になっている可能性がある。

これらの結果をもとに、同一建物を高層部、中層部、低層部の 3 つに階層に分け、東日本大震災における高層建物の室内被害調査結果や家具の被害予測手法等から、各評価地点について各階層の平均的な室内被害推定を行った結果を図 3-2-④-17、3-2-④-18 に示す。図 3-2-④-17 は階層別家具転倒率、図 3-2-④-18 は階層別天井被害を示している。なお、家具の解析については、加速度応答値と相関がある形状比 0.2 の比較的倒れやすい背の高い家具を対象とし、床の摩擦係数は一般的なフローリングと絨毯の間の 0.5 で設定している。天井被害については、東日本大震災における高層建物の室内被害調査結果によれば、およそ 150gal からシステム天井が、およそ 200gal から在来天井に被害が生じ始めることが示されていることから、本検討では各階層の平均の応答加速度が 150gal までを「ほぼ破損しない」、150～200gal を「確率は低い破損する可能性がある」、200gal 以上を「破損する可能性が高い」という 3 段階に分けて評価している。

これらの結果から、低層階での家具転倒率が高い地点が多いことがわかる。また、建物高さが異なると被害の出やすい階層も異なる。天井被害についてみれば、建物高さが低い建物、あるいは高い建物の低層部で被害が大きくなる。さらに、20 階建物では全階層に渡って被害が生じる可能性が高いという推定結果となった。

最後に、表 3-2-④-4 の独自に設定した基準にしたがい、上記 2 つの室内被害推定から総合的な室内危険度を評価した結果を図 3-2-④-19 に示す。限定された検討ではあるが、10 階建ての全層、20 階建ての低層部で危険度が高いことがわかる。このような評

価手法を用いることで、発災時の初動体制をとる際の重要な情報として活用できる可能性がある。

以上、本節では、東日本大震災における高層建物の室内被害調査結果や家具の被害予測手法<sup>8)</sup>に基づき、名古屋市内の7地点を評価地点として、10階、20階、30階建ての仮想建物を対象とした建物内の高さ方向の室内被害予測方法について検討した。長周期地震動の影響や建物の材料非線形性などについては、今後の検討課題とする。

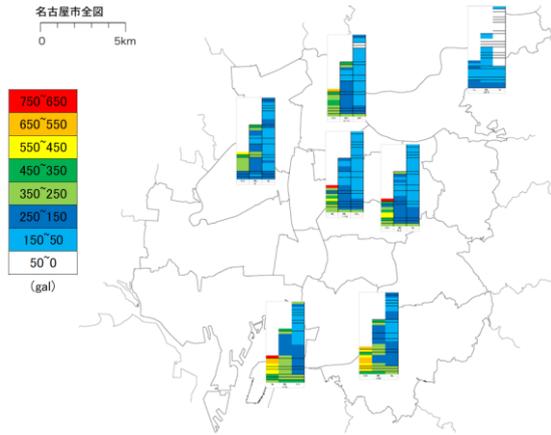


図 3-2-④-16 仮想建物の最大応答加速度分布

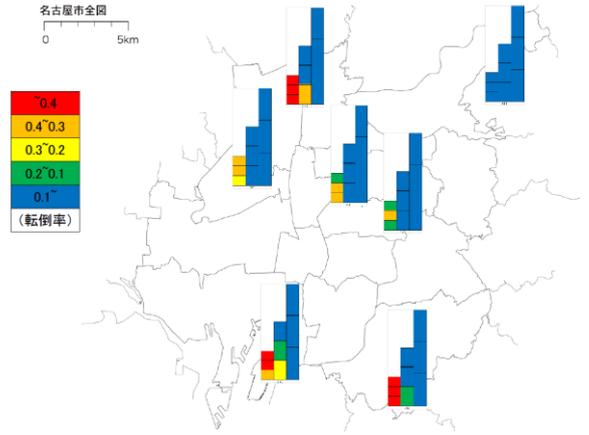


図 3-2-④-17 階層別家具転倒率

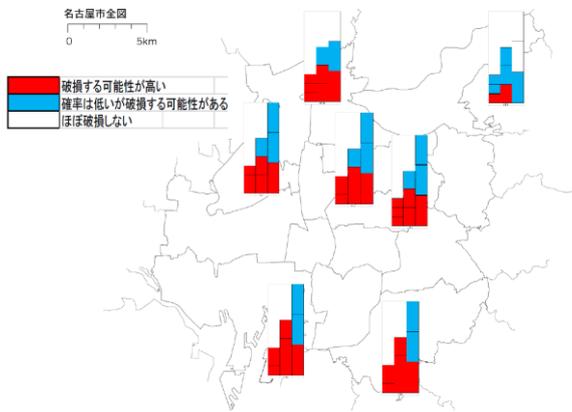


図 3-2-④-18 階層別天井被害状況

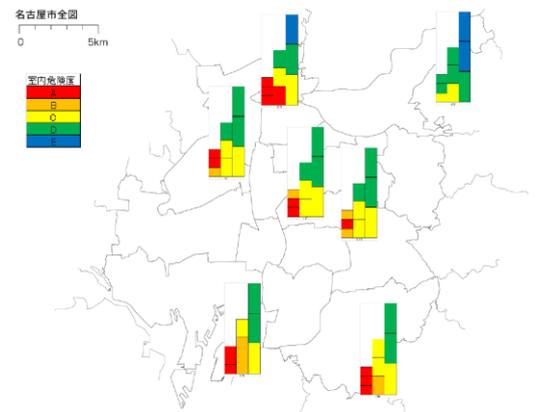


図 3-2-④-19 階層別の室内危険度

表 3-2-④-4 本検討で設定した地震時室内危険度の指標

室内危険度	A	B	C	D	E
家具転倒率	~ 0.3	0.3~ 0.1	0.1~	0.1~	0.1~
天井被害					

室内危険度	
A	家具の転倒が多く、天井の破損する可能性も高い
B	家具の転倒が少し見られ、天井の破損する可能性が高い。
C	家具の転倒はほとんどないが、天井の破損する可能性がある。
D	家具の転倒はほとんどないが、天井の破損する可能性が少しある。
E	家具の転倒も、天井の破損もほとんど起こらない

家具転倒率	天井被害
~ 0.4	破損する可能性が高い
0.4~0.3	確率は低いが破損する可能性がある
0.3~0.2	ほぼ破損しない
0.2~0.1	
0.1~	

(c) 結論ならびに今後の課題

建物被害予測モデルの構築に向けて、さまざまな形式の建物について観測と解析的検討の両面を行った。以下に個々の成果のまとめを述べる。

一般的な中低層建物について強震観測記録の収集・整理を継続的に実施し、多数の記録の分析から建物応答特性の評価を行った。また現行設計法における  $A_i$ 、 $R_t$ 、 $C_0$  等の意味についても観測記録から考察した。

中低層庁舎については、常時微動多点同時計測から立体振動特性と相互作用特性を検討し、地盤-基礎-建物相互作用系の解析的検討からも、応答に影響を与える上部建物の壁配置や基礎スラブ剛性などの検討を行った。

工場、倉庫などの大規模産業施設について常時微動計測を行い、代表的な固有振動数や減衰定数に加えて、大規模建屋の振動は剛体的でないこと、入力も場所により一様でないこと、長い梁の中間の応答は増幅されることなどを示した。観測記録を適切に表現できる立体モデルを作成し、サイト地震動入力による弾塑性応答解析で被害予測を試みた。

普及型高耐震建物について、基礎部に滑り部分を挿入する新たな工法を提案し、その特性について検討を重ね、実用レベルに至る資料を蓄積した。

建物内の階数の相違による家具転倒や天井落下の可能性を、常時微動計測と地震応答解析に基づいて検討し、総合的な室内危険度を求めた。

以上の成果に基づき、地震、地盤、建物種別、高さ・形状、室内状況などに応じた被害予測に結び付けることが今後の課題といえる。すでに被害予測の試行を実施済みの部分もあり、いっそうの観測データの収集・分析・普及に基づく方針の検討を行う必要がある。

(d) 引用文献

- 1) 長江拓也、田原健一、福山國夫、松森泰造、塩原等、壁谷澤寿海、河野進、西山峰広、西山功：4階建て鉄筋コンクリート造建物を対象とした大型振動台実験、日本建築学会構造系論文集、第 669 号、pp1961、2011.11.
- 2) 海野元伸、飛田潤、福和伸夫、長江拓也、松森泰造：地震時損傷評価のための強震計による中層 RC 造建築物の復元力特性評価、日本建築学会学術講演梗概集、B-2 分冊、pp.1077、2012.9.
- 3) 壁谷澤寿一、壁谷澤寿海、松森泰造、壁谷澤寿成、金 裕 錫：実大 3 層鉄筋コンクリート建物の振動実験、日本建築学会構造系論文集、第 632 号、pp1833、2008.10.
- 4) 榎田竜太、長江拓也、池永昌容、稲美充顕、中島正愛：黒鉛潤滑を応用した直置き型鋼構造建物柱脚の摩擦低減、日本建築学会構造系論文集、第 685 号、pp435、2013.3.
- 5) 長江拓也、内村均、小林恒一、吉田望、林静雄：変形性能に優れた鉄筋コンクリート杭に支持される建物の地震応答解析、日本建築学会構造系論文集、第 555 号、pp107、

2002.5.

- 6) 松森泰造、田原健一、長江拓也、福山國夫：純フレーム構造骨組および連層耐震壁フレーム構造骨組を有する4層コンクリート系建物の1次モード応答評価 E-ディフェンス実験、日本建築学会学術講演梗概集、C-2分冊、pp.581、2013.8.
- 7) 日本建築学会：長周期地震動に関する公開研究
- 8) 金子美香：地震時における家具の転倒率推定方法、日本建築学会構造系論文集、第551号、pp.61-68、2002.1
- 9) 愛知県：愛知県東海地震・東南海地震・南海地震等被害予測調査結果、2014.6
- 10) 愛知県設計用入力地震動研究協議会：愛知県設計用入力地震動の作成 想定地震による強震動予測（改訂版）、2006.2

## ⑤ ライフライン

### (a) 業務の要約

平成26年度は、南海トラフ巨大地震によるライフラインの被害予測の実効性向上を目的として、電力については発災後の需給シミュレーションの現状と課題を抽出した。また、上水道については、内閣府被害想定課題の抽出とその改善策の提案、また、その中の一部の項目を取り入れた被害予測モデルの構築に着手した。

### (b) 業務の実施方法

本章では、電力および上水道に着目して、南海トラフ巨大地震によるライフラインの被害予測の課題や被害想定手法の問題点と課題を検討した。

電力については発災後の対策を策定する上で重要な需給ギャップ量を把握するための需給シミュレーションについて、実績データに基づいた手法の課題を整理した。また上水道については、浄水場やポンプ場等の施設について、過去の被害事例や建設年代等を参照した地震・津波被害想定照査フローを考案した。

### (c) 業務の成果

#### 1) 電力

##### a) 東日本大震災後の電力需給について（東北電力管内）

精度良い需給シミュレーションの実施に当たっては、停電発生のメカニズムを考慮する必要がある。大地震により停電に至る要因は様々であるが、過去の被害状況を踏まえると、大きく次のような3つの様相が考えられる。

- ① 発災直後に電力需給バランスが崩れ広域が短期的に停電（数時間～数日）
- ② 配電設備を中心とする流通設備が被災し設備復旧まで停電（1週間以上）
- ③ 発電設備が被災し、設備復旧まで長期的に供給力が不足（1か月以上）

図3-2-⑤-1に東日本大震災後の東北電力管内における停電戸数の推移を示す。発災直後は最大4,659,205戸、総需要家数7,116,470戸の65.5%が停電し、発災後3日で約80%、発災後8日で約94%の停電が解消されたことになる。

図3-2-⑤-2に同じく発災後の東北電力管内における電力需給の状況を示す。発災直後の需要は389万kwであり発災前の約1,100万kwの35.4%に相当するが、停電戸数割合の65.5%と整合的である。これは、前述の停電に至る要因①に相当し、発災直後に電力需要と供給のバランスが崩れ周波数低下防止装置(UFR)が自動的に作動し強制的に供給を遮断したため広域が短期的に停電したものであるが、大きな揺れや津波を受けていない地域では需要側・供給側共に設備が健全であったため、数時間～数日で電力は復旧した。

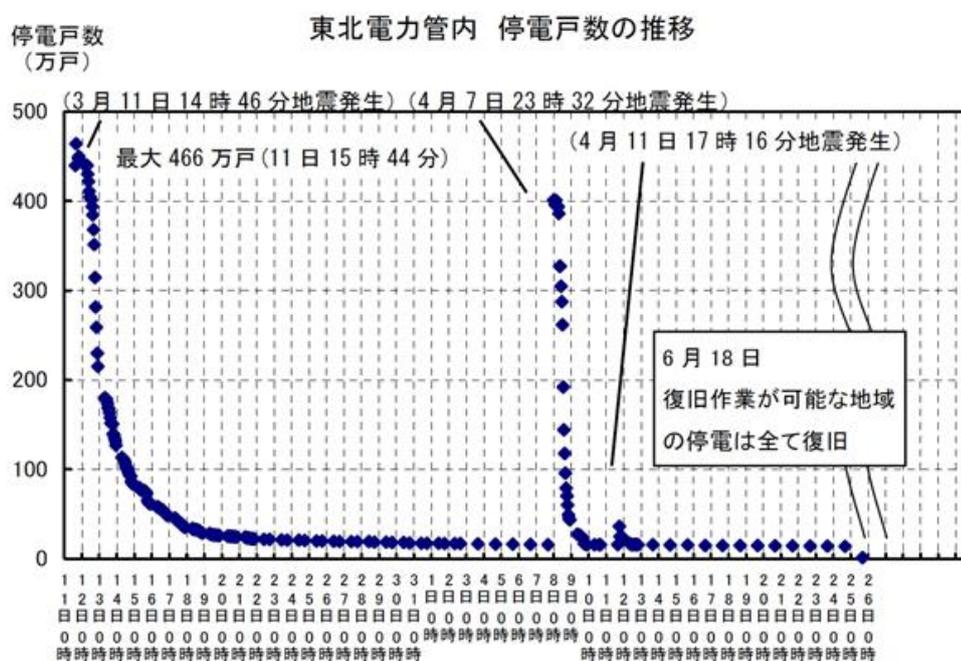


図3-2-⑤-1 東日本大震災後の東北電力管内における停電戸数の推移  
(電力安全小委員会電気設備地震対策ワーキンググループ報告書平成24年3月)

	3/11 (地震前)	3/11 (地震後)	3/14	3/20	5/31	7/1	7/17	7/30	8/9 (夏季最大)	8/31	9/30 (台風期)	12/27	2/2 (冬季最大)
供給力合計	1,430	619	910	1,107	1,146	1,241	1,264	1,204	1,303	1,190	1,149	1,386	1,436
最大需要		389	750	763	912	988	1,058	950	1,246	1,087	963	1,282	1,362
復旧・追加した電源			能代1・2号 (1号3/13, 2号 3/14運転再開) 秋田2〜4号 酒田1号 (2/12運転再開)	酒田2号 (3/14運転再開) 八戸3号	東新潟 港1号	勿来9号 (6/30運転再開)	勿来8号	新潟5号 系列		東新潟 港3号系列 (8/26運転開始)		新仙台1号 勿来7号 (12/21運転再開) 新地2号 (既運転)	新潟6号 (1/21運転開始) 仙台4号 (既運転) 新地1号 (既運転)



図 3-2-⑤-2 発災後の東北電力管内における電力需給 (東北電力 HP より)

その後の停電戸数に着目すると、発災後 8 日で約 94%の停電が解消されているが、これは停電に至る要因②に相当し、配電設備を中心とする流通設備の被害率が小さかったため、配電設備の復旧に合わせて 1 週間程度で停電が解消したものである。

一方、発災後 3 日で約 80%、8 日で約 94%の停電が解消されたにもかかわらず、発災 3 日後の 3 月 14 日の需要は 750 万 kW であり発災前の約 1,100 万 kW の 68%、発災 9 日後 3 月 20 日の需要は 763 万 kW の 69%に留まっている。供給力はそれぞれ、910 万 kW・1,107 万 kW が確保されているが、需要側がそこまで回復していないことが伺える。これは、サプライチェーン寸断による産業需要の回復の遅れ、商業施設の被害程度と営業再開時期のミスマッチ、節電意識の高まりなどの心理的要因などによるものであると考えられる。

その後も全ての時系列で供給力合計が最大需要を上回っているが、社会全体が相互に依存した電力システムの中でそれぞれの立場で危機を乗り越えるべく努力を継続した結果、停電に至る要因③を吸収し、需要と供給のバランスを維持することが可能であったと考えられる。なお、東京電力管内では計画停電が実施された。

### c) 需給シミュレーションにおける需要予測の現状と課題

需給シミュレーションにおける需要予測で求められる数値は、人的・物的直接被害とインフラやサプライチェーン被害による間接被害を受け需要家が喪失する電力

需要分を「平常時の電力需要」から差し引いた数値に、復旧・復興と代替生産分の電力需要を加えた、「潜在需要」の値である。これは、一般に発災直後の電力需要は平常時から大きく減少しその後の時系列で生活を含む社会経済活動の復旧に伴い回復して行くが、その過程で電力を使いたいが使えない状況、つまり、潜在的な電力需要に対する供給力が不足する状況の有無と程度を需給シミュレーションで予測するという意味である。

一般に潜在需要の予測は、別の被害予測で計算された人的被害、建物被害、産業の生産額の減少と回復率などを根拠に、平常時の電力の民生需要・産業需要などとの関係から原単位を設定して計算されることになる。従ってこれらは全て、過去の地震・津波による根拠となる指標の被害実績データから統計的・間接的に予測されるものである。

南海トラフ巨大地震については、発生間隔が数十年から百数十年の規模のレベル1の地震・津波から、科学的に想定し得る最大規模のレベル2の地震・津波までの様々なタイプが想定されているが、特にレベル2においては、未経験の強震動に見舞われる範囲が未経験の広域に及ぶため、実績データに基づく現状の知見では、根拠となる指標である人的・物的直接被害に関する被害関数や、社会の機能としての被害全般に関わるサプライチェーンやライフラインを含む産業連関被害に伴う間接被害に大きく影響を受ける経済被害・復旧関数の適用性に課題が残る。

一方で、東日本大震災後の電力需給バランスが損なわれなかったことは、潜在需要を減らす効果として、需要家による非常用電源の準備や心理的要因・節電要請などにより「使わなかった」電力分の影響も大きかったと考えられる。未経験の超巨大地震後の電力需要を考える際には、季節・時間帯別の需要変動の幅も考慮に入れて、需要側・供給側共に社会全体が相互に依存した電力システムの中でそれぞれの立場で危機を回避する努力を最大限引き出せるような、「社会機能を継続・持続できる最低限の需要」を押さえておくことも重要である。それには、様々な前提条件に立つ電力需要予測に関して、研究レベルにおける新たな知見の提示とともに、研究成果を迅速に社会に提供し対策を議論・合意して行く枠組みの構築が必要である。

#### d) 需給シミュレーションにおける供給力予測の現状と課題

東日本大震災では、地震、津波、また液状化や地盤沈下等の複合的な要因により、太平洋岸を中心として19の火力発電所の計40ユニット(2,365万kW)が運転中に停止又は停止中に被災した。東日本大震災における火力発電所の被害と復旧期間を概観すると、震度6強や6弱の地域に立地していた火力発電所では、ボイラー過熱管などに被害が発生しているが、ほとんどの発電所において各設備の被害程度は軽微な損傷(少しの部品交換で修理)や損傷なしであった。その結果、地震の揺れによる被害を受けた発電所はほぼ1か月以内に運転を再開している。一方で、津波に

よって設備が浸水した火力発電所では、燃料設備・冷却水設備・受電設備などが、重度な損傷（基礎をやり直す、多くの部品交換）や再使用不可能といった大きな被害を受けた。それでも福島原子力第一発電所の影響を受けた原町火力発電所を除いて、ほぼ9か月以内に復旧している。

需給シミュレーションにおける供給力予測では、外力レベルに応じた設備被害程度や復旧期間の関係を設定する必要がある。経済産業省電気設備自然災害等対策ワーキンググループ中間報告では、東日本大震災で実際に被害を受けた火力発電所の被害と復旧実績から、震度や津波浸水深さと被害の大きかった火力発電設備の被害程度や復旧期間の関係を整理している。湯山・梶谷(2014)は、東日本大震災における火力発電所立地地点での外力の強さ、発電所における多様な個別設備の被害、停止日数等を整理したデータベースを構築し、その統計分析に基づいて、地震動および津波に対する個別設備の脆弱性曲線、機能停止の有無に着目した発電所施設の脆弱性曲線、そして設備被害の発生状況をパラメータとした発電機能の停止期間予測式を推計しており、地震災害時における火力発電所の被害対策や復旧対策の立案に有用な知見を提示している。

これらの知見は、東日本大震災などで火力発電所がこれまでに経験した地震・津波被害の実績データに基づいたアプローチであるため、南海トラフ巨大地震に適用する場合、レベル1の地震・津波に対する被害程度と復旧期間の予測にはある程度の信頼性が担保されるものであると考えられる。ただし、実際に被害を受けた火力発電所の事例が多いとは言えず、推定精度には問題が残る。この問題に対しては、火力発電所において相互に依存しながら総合的に運用されている個別設備について、それぞれの設備の設計情報や実験・観測結果を活用したモデル化を行うことにより、地震動の強度・周期特性・継続時間等の影響も考慮して被害程度を予測できる、工学的アプローチを組み合わせることにより精度を向上できる。

一方、レベル2の地震・津波に対しては、過去に震度7を経験した火力発電所が無いことなどから、別途被害程度と復旧期間を設定する必要があるが、地盤や個別設備構造物の大変形問題を工学的に精度良く再現するためには、研究レベルの更なる進展に俟たなければならない。さらには、未経験の強震動に見舞われる範囲が未経験の広域に及ぶレベル2の地震・津波においては、発電所を稼働させるために必要な工業用水、港湾の設備を利用して受け入れる燃料の他、外部電源や復旧資機材や要員の参集に関わる道路等の周辺のインフラ被害からの波及影響が大きくなると考えられるが、これらを総合的に評価する知見は現在のところ存在しない。このため、行政やインフラ事業者が様々なハザードレベルにおける被害復旧に関する知見を共有し、対策レベルの統一や整合および復旧の優先順位についての意見交換や社会合意を行うための枠組みの構築が必要である。

2) 上水道

a) 内閣府南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループの上水道被害予測の課題

「南海トラフ巨大地震対策検討WG」の最終報告における上水道の被害予測については、「津波浸水による施設被害」、「停電による施設被害」、「地震の揺れによる管路被害」の3項目のみを対象とした簡易的な予測手法に留まっているのが現状である。南海トラフ巨大地震における上水道の被害予測を行うに際して、現手法では正確な予測は困難である。そこで昨年度から引き続き、内閣府における上水道被害予測手法における課題（被害が想定されていない項目、詳細な予測が必要な項目等）を抽出し、その改善策を提案することで、高度化した被害予測手法の大枠を検討した。表3-2-⑤-1に内閣府予測手法の課題とその改善策を示す。

表3-2-⑤-1 内閣府予測手法の課題とその改善策

施設被害		
	内閣府予測手法の課題	改善策
①	施設被害は浄水場のみ	配水場、ポンプ場等の被害も考慮
②	津波浸水深が浄水場の標高を上回ればその浄水場の給水エリアは全て断水	津波浸水深に応じた施設機能停止を考慮（施設の壊滅的な被害であれば全て断水、軽微な被害であれば送水量を落として供給継続する等）
③	建造物の地震動による揺れの被害、液状化等の地盤災害は未考慮	過去被害事例を踏まえた建造物の地震動による揺れの被害、液状化等の地盤災害を考慮
④	浄水場の取水に関する二次災害は未考慮	津波遡上による取水停止、水源上流施設の被害（下水処理場等）による取水停止等を考慮
管路被害		
	内閣府予測手法の課題	改善策
⑤	市町村等が受け持つ上水道事業の管路のみ対象、市町村等が持つ自己水源は未考慮	水道用水供給事業の管路も対象とし、上流から下流への水供給および自己水源の有無を考慮することで、水供給システムが持つ特性を反映
⑥	市町村間の連絡管は未考慮	既存の連絡管を考慮し市町村間の水融通を想定
⑦	水管橋・橋梁添架管被害は未考慮	津波の波力・津波漂流物の衝突による水管橋・橋梁添架管の被害等を考慮

上記の項目を上水道被害予測手法に取り込み高度化を図っていく。ただし、今後のインプットデータの収集に際し、データ入手の可否等の要因によって取り込みが不可能な項目が発生する可能性がある。

平成26年度は、上記項目の内、「②津波浸水深に応じた施設機能停止」「③建造物の地震動による揺れの被害、液状化等の地盤災害」について、被害予測フローを作

成し、被害予測手法に取り込んだ。

b) 上水道施設の津波浸水被害・構造物被害の予測フロー

表3-2-⑤-3に東日本大震災における、上水道施設の津波被害状況を示す。また図3-2-⑤-3、3-2-⑤-4に、津波被害の写真を示す。

表3-2-⑤-2 上水道施設の津波被害状況

事業体名	施設名称	浸水深	構造物	機械設備	電気設備
気仙沼市	南明戸水源場	11.4m	大破	大破	大破
陸前高田市	竹駒水源池	5.0m	中破	小破	大破
気仙沼市	波板ポンプ所	3.4m	小破	小破	大破
石巻地方広域 水道企業団	針岡ポンプ所	1.4m	無傷	無傷	大破



図3-2-⑤-3 南明戸水源場

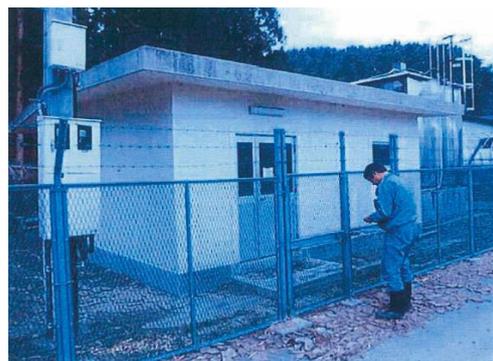


図3-2-⑤-4 針岡ポンプ所

浸水深が約1mでは、電気設備類に被害が生じるものの、機械設備や建屋等の構造物には被害が生じていない。浸水深が3.0mを超えると上水道の機能維持にとって致命的となる機械設備への被害が発生し、また構造物の損傷が大きくなる等壊滅的な被害が生じている。このように津波浸水深に応じて被害状況が変化し、断水に与える影響が異なってくるため、被害予測において「津波浸水深に応じた施設機能停止」を取り込むことは重要である。今後、被災事例数を増やし浸水深と被害の関係を詳しく調査していく。

次に、図3-2-⑤-5、図3-2-⑤-6に、構造物の地震動による揺れの被害および液状化被害の写真を示す。



図 3-2-⑤-5 配水池の地震動被害 図 3-2-⑤-6 浄水場の液状化被害

岩手県一関市沢配水池では、強い地震動により高架水槽の架台部（RC 構造）の破壊が生じ配水池としての機能を失うことで長期断水が発生した。また、茨城県鰯川浄水場では、敷地内一帯で液状化が発生し、水処理施設間をつなぐ管路の抜けや、強い地震動により高架水槽の架台部（RC 構造）の破壊が生じ、1 ヶ月以上断水が続いた。構造物の地震動による揺れの被害、液状化等の地盤災害は断水に大きな影響を与えるため、上水道被害予測の検討項目に取り入れる必要がある。

以上を踏まえ、構造物の津波浸水被害および地震動の揺れによる損傷・地盤変状被害を予測するフローを作成した。フローの作成に当たっては、過去の被害事例、構造物の建設年代、水道施設耐震工法指針等を根拠としながら行った。図 3-2-⑤-7 に予測フローの全体像を示す。浄水場、ポンプ場等の施設に対し、4 つの照査項目（構造物の損傷、構造物・管路の変位、地盤変状、津波による浸水）で個別評価した後、総合的に施設の被災状況を決定する予測フローとなっている。図 3-2-⑤-8、図 3-2-⑤-9 に、「津波浸水」照査フロー、「構造物の損傷」照査フローを掲載する。

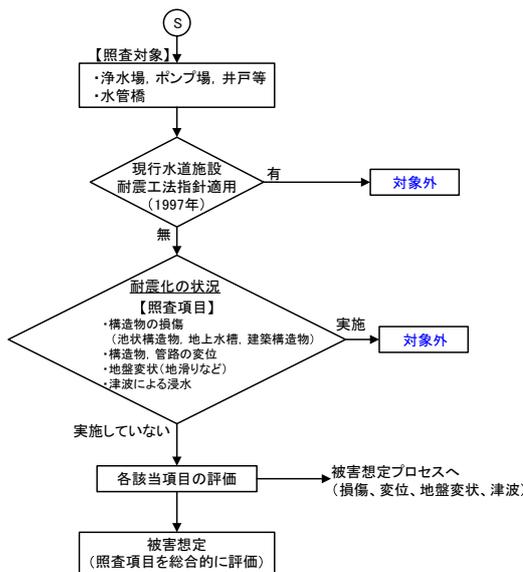


図 3-2-⑤-7 全体フロー

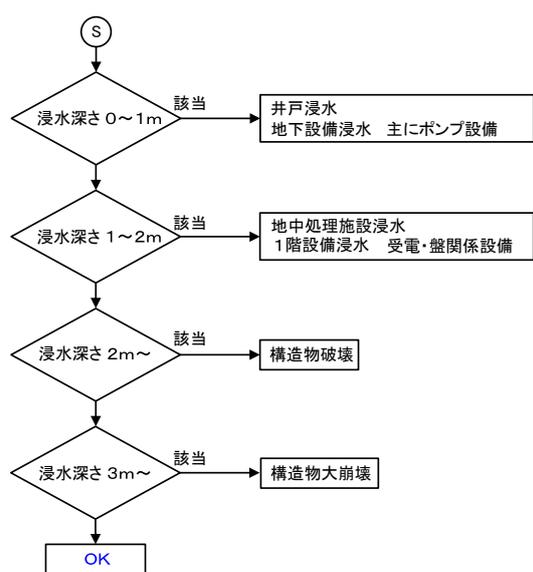


図 3-2-⑤-8 「津波浸水」照査フロー

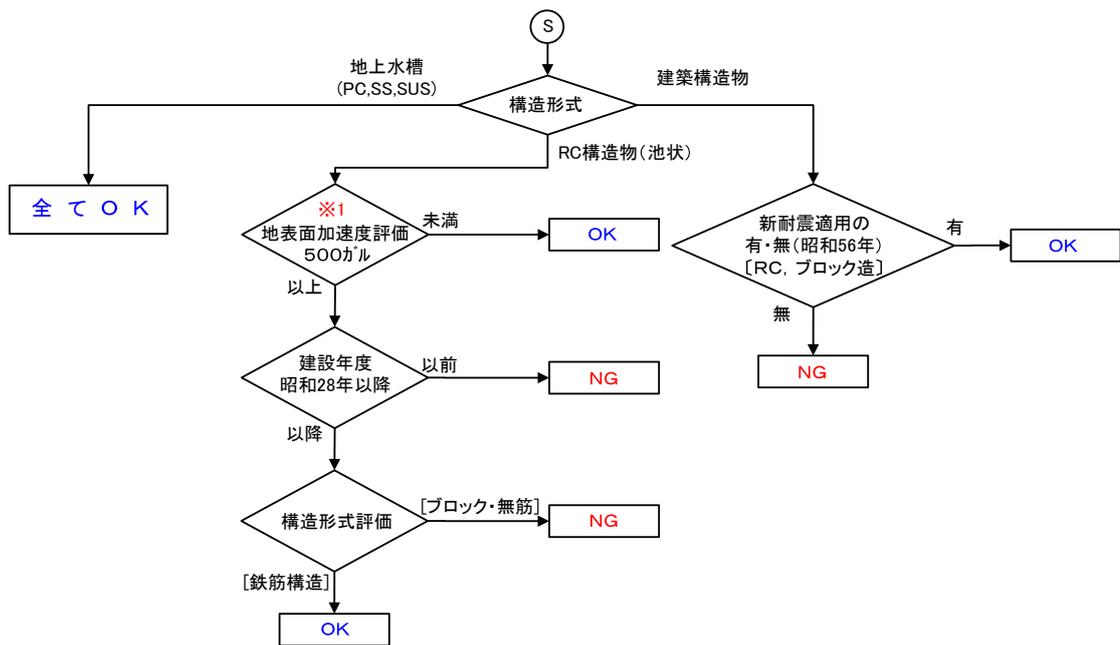


図 3-2-⑤-9 「構造物の損傷」照査フロー

この被害予測フローにて決定した施設の被害状況から、断水率および復旧日数を予測するフローを今後作成していく予定である。なお、上記の被害予測フローは、試行的に作成した暫定のものであり、今後根拠データを蓄積していく中でブラッシュアップしていく予定である。

(d) 結論ならびに今後の課題

1) 電力について

本論では、電力の被害予測において発災後の時系列における具体的な需給ギャップ量を把握し合理的な需給対策や復旧迅速化策を策定するためには、精度良い需給シミュレーションが重要であることを踏まえ、需給シミュレーションにおける需要予測と供給力予測の現状と課題を整理した。

その結果、需要予測・供給力予測共に実績データに基づく知見は、南海トラフ巨大地震におけるレベル1程度までのハザードへの適用は可能であるが、レベル2への適用には課題が残ると考えられる。一方で、研究レベルの進展に伴う知見を需給シミュレーションの高精度化に反映させることと、現実レベルでの電力に関する災害対応の強靱化対策は、相互に密接に関係はしているが別問題であると考え、現実の対応について、研究成果を迅速に社会に提供し対策を議論・合意して行く枠組みや、行政やインフラ事業者が様々なハザードレベルにおける被害復旧に関する知見を共有し対策レベルの統一や整合および復旧の優先順位についての意見交換や社会合意を行うための枠組みの構築を提言した。

なお、本プロジェクトサブテーマ1の防災・減災対策研究における「地域研究会」は、需要側・供給側共に社会全体が相互に依存した電力システムの中でそれぞれの立場で危機を回避する努力を最大限引き出せるような枠組みに発展させることのできる取組のひとつである。

## 2) 上水道について

災害時に最低限の生活を営むためには「水」は欠かせない。南海トラフ巨大地震が発生した際、上水道施設の被害や断水の影響について正確に予測することが重要である。今年度は、内閣府被害想定における課題の抽出とその改善策をまとめることで高度化した上水道被害想定の大枠を検討した。また、抽出した課題の内、施設の津波浸水被害、地震動の揺れによる損傷・地盤変状被害を予測するフローを、過去被害事例等を根拠として作成した。東日本大震災における被災事例を見ても、これら施設自体が受ける被害が断水に与える影響は大きく、被害想定において考慮することが必要不可欠な項目である。

今後は根拠資料を増やし、被害予測フローのブラッシュアップを図ると共に、その妥当性を検証するため、過去地震での事例に当てはめ、実被害との比較を行っていく。また、その他の課題項目についても順次被害予測手法に取り込んでいく。特に、表3-2-⑤-1における⑤の水供給システムが持つ特性の反映については、予測結果に与える影響が大きくなると予想されるため、優先的に取り組んでいく。

## (e) 引用文献

- 1) 内閣府, 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ, [http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku\\_wg/index.html](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/index.html), 2013.
- 2) 経済産業省, 産業構造審議会 保安分科会 電力安全小委員会 電気設備自然災害等対策ワーキンググループ中間報告書, 平成26年6月24日, [http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/denryoku\\_zen/denki\\_setsubi\\_wg/report\\_01.html](http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/denryoku_zen/denki_setsubi_wg/report_01.html)
- 3) 湯山安由美, 梶谷義雄, 2011年東日本大震災のデータに基づく火力発電所の被害・復旧関数の推計, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.70, No.4(地震工学論文集第33巻), I664-I677, 2014.
- 4) 東北電力株式会社, 東日本大震災復旧記録, 2012/9
- 5) 厚生労働省, 東日本大震災水道施設被害状況調査最終報告書, 2013.3., <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/houkoku/suidou/130801-1.html>
- 6) 厚生労働省, 東日本大震災水道施設被害状況調査 第1回査読委員会・検討会 資料, 2012.3.
- 7) 土木学会, 東日本大震災被害調査団緊急地震被害調査報告書, 2011.5.

## ⑥広域リスク評価

### (a) 業務の要約

本業務では南海トラフで発生する地震・津波を対象としたリスク評価手法について検討するとともに、現在～将来における地震による建物被害・人的被害の暫定的な広域リスク評価を実施し、地震発生 の 時期や規模等の各種要因が与える影響を示した。さらに、国で実施された既往の津波シミュレーション結果を利用し、津波による建物被害・人的被害のリスクを試算した。

### (b)業務の成果

#### 1) リスク評価手法の検討

南海トラフで発生する地震・津波を対象としたリスク評価手法について検討を行った。平成 25 年度は地震による建物被害について検討を実施したが、本年度は地震リスクや津波リスク評価に用いる人的被害の予測方法について検討した。

#### a) 地震による人的被害予測手法の検討

1995 年兵庫県南部地震以降に発生した地震のうち建物倒壊による死者数が 5 名を超えた表 3-2-⑥-1 に示す 4 地震を対象に、実被害と予測値の比較を行った。検討対象とした被害予測手法は以下の通りである。

手法① 中央防災会議(2004)の木造全壊棟数  $W_n$  と死者数  $D_n$  の関係

$$D_n = 0.0676 \times W_n \quad \text{式 3-2-⑥-1}$$

手法② 新井健介・境有紀(2011)の建物全壊内滞留人口  $T_{sn}$  と死者数  $D_n$  の関係

$$D_n = 0.0023 \times T_{sn} \quad \text{式 3-2-⑥-2}$$

手法③ 福島誠志・他(1997)を補正して作成した建物全壊率  $H_r$  と死者率  $D_r$  の関係 (図 3-2-⑥-1)

$$H_r < 3.0\% \quad D_r = 0.0103 \times H_r \times a \quad \text{式 3-2-⑥-3}$$

$$H_r \geq 3.0\% \quad D_r = (0.0006 \times H_r^2 + 0.0067 \times H_r + 0.0054) \times a \quad \text{式 3-2-⑥-4}$$

※全壊率 3%以下の区間では原点を通るよう 1 次式で補正するとともに、小丸安史・他(2010)と同様に罹災証明の被災度区分のための被害補正係数  $a$  (0.3)を導入した。

検討に用いた各地震の震度分布は、防災科学技術研究所の K-NET・KiK-net (Aoi et al.,2011)および気象庁観測点での観測値より、表層地盤による増幅の影響を考慮して空間補間法(防災科学技術研究所, 2007)により面的な分布を推定したものをを用いた (図 3-2-⑥-2)。また、高齢化の影響を考慮するため、全ての手法において算出した死者数に対して、年齢区分別補正係数  $b$  (小丸安史・他,2010)を乗じ死者

数を算定した。予測値と消防庁の被害情報等(厚生省,1995、消防庁,2009、消防庁 2012、消防庁 2013)に基づき推定した建物倒壊による実際の死者数を比較した結果、手法③の誤差指標  $\sigma$  が最も小さくなったことが確認できた。

$$b = 0.65 \times 65 \text{ 歳未満人口率} + 3.19 \times 65 \text{ 歳以上人口率} \quad \text{式 3-2-⑥-5}$$

$$\sigma = \sqrt{\{ \Sigma (\log_{10}(\text{予測値}) - \log_{10}(\text{実績値}))^2 / (\text{地震数}) \}} \quad \text{式 3-2-⑥-6}$$

表 3-2-⑥-1 死者数の予測値と実測値の比較

No	地震名	手法①	手法②	手法③	実被害
1	1995年兵庫県南部地震	6,522	691	5,199	4,908
2	2004年新潟県中越地震	173	9	38	10
3	2007年新潟県中越沖地震	56	3	8	8
4	2011年東北地方太平洋沖地震	173	7	27	187
-	誤差指標	0.752	0.858	0.511	-

※東北地方太平洋沖地震の実被害は内陸部の市区町村の死者数のみ

※実被害は厚生省(1995)、消防庁(2009)、消防庁(2012)、消防庁(2013)に基づき推定した推定値を含む

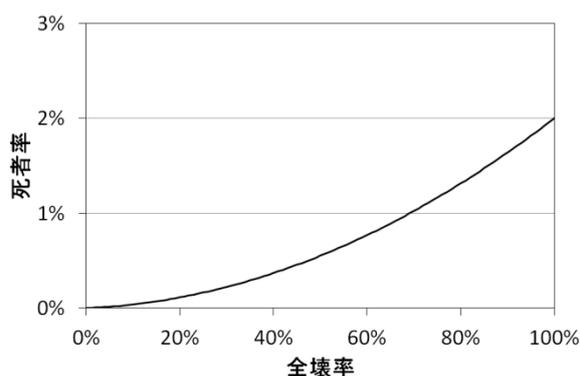
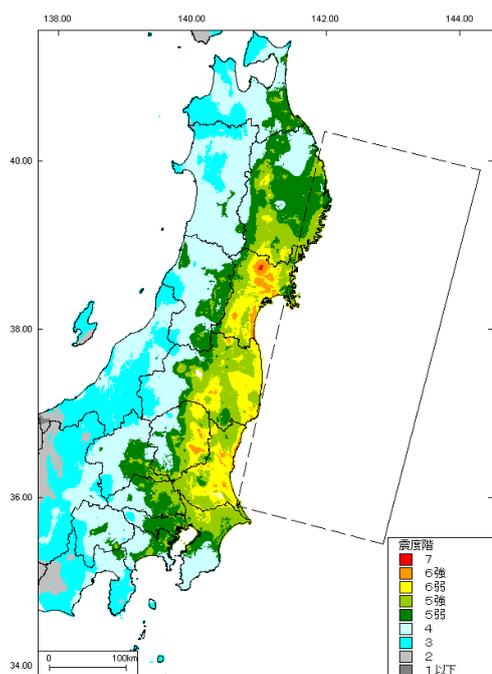


図 3-2-⑥-1  
手法③の全壊率と死者率の関係

図 3-2-⑥-2  
2011 年東北地方太平洋沖地震の推定震度分布

#### b) 津波による人的被害予測手法の検討

2011 年東北地方太平洋沖地震を対象に実被害と予測値の比較を行った。検討対象とした被害予測手法の概要は以下の通りである。

手法④ 静岡県(2001)の建物大破率  $B_{r1}$ ・中破率  $B_{r2}$  と死者率  $D_r$  の関係

$$D_r = 0.0424 \times \exp\{0.1763 \times (B_{r1} + 0.5 \times B_{r2})\} / 100 \quad \text{式 3-2-⑥-7}$$

※死者率  $D_r$  の上限値は静岡県(2001)と同様に 4.5%とした。また、津波避難ビルや避難率による補正はしていない。

手法⑤ 中央防災会議(2006)の手法 (図 3-2-⑥-3)

手法⑥ 中央防災会議(2006)に避難未完了率の補正や年齢別補正を加えた手法

(図3-2-⑥-3)

避難率：東日本大震災の実績値(内閣府・他,2011) (表3-2-⑥-2)

避難未完了率：東日本大震災における推定値(中央防災会議,2011)

(図3-2-⑥-4)

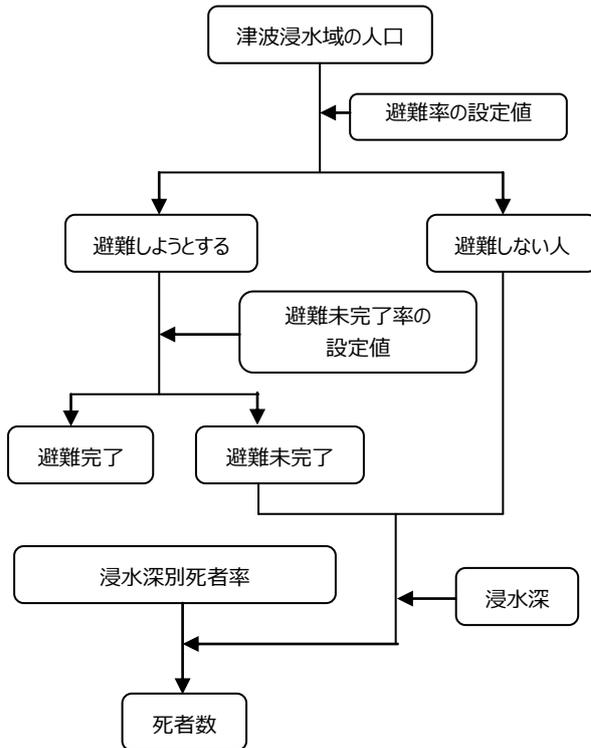


図3-2-⑥-3

津波による死者数予測の流れ (手法⑤⑥)

表3-2-⑥-2 手法⑥の避難率の設定

直後避難	57%	} 避難しようとする人
用事後避難	31%	
切迫避難・避難せず	12%	→ 避難しない人

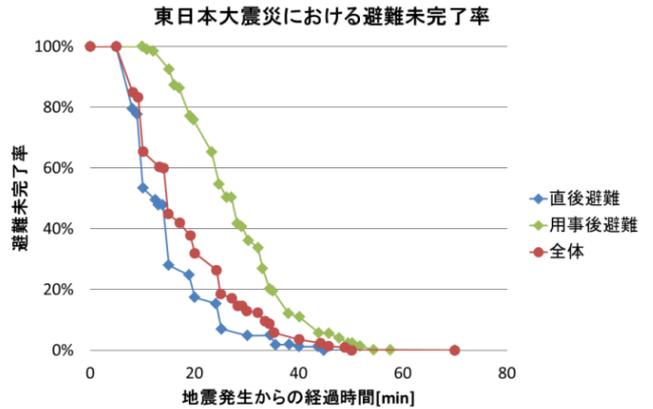


図3-2-⑥-4

手法⑥の避難未完了率

検討に用いた浸水深は復興支援調査アーカイブの 100m メッシュ別浸水深(復興支援調査アーカイブ,2012)を利用した。また、高齢化の影響を考慮するため、全ての手法において、算出した死者数に対し人的被害補正係数  $b$  (中央防災会議,2012)を乗じ死者数を算定した。予測値と太平洋沿岸市町村の実際の死者・行方不明者数(消防庁,2012)を比較した結果、手法⑥が最も実被害に近い結果となったことを確認した。

$$b = 0.34 \times 0 \sim 14 \text{ 歳人口比率} + 0.62 \times 15 \sim 64 \text{ 歳人口比率} + 1.79 \times 65 \sim 74 \text{ 歳人口比率} + 2.81 \times 75 \text{ 歳以上人口率} \quad \text{式 3-2-⑥-8}$$

表 3-2-⑥-3 東北地方太平洋沖地震の  
死者・行方不明数と予測値の比較

	手法④	手法⑤	手法⑥	実被害
青森県	1,314	714	513	4
岩手県	4,178	7,705	5,537	5,946
宮城県	13,705	15,246	10,956	11,287
福島県	2,172	1,216	874	2,647
茨城県	2,031	461	332	45
千葉県	963	235	169	17
計	24,364	25,578	18,382	19,946
予測値/実被害	1.22	1.28	0.92	-

※東北地方太平洋沖地震の実被害(消防庁,2012)は沿岸部市区町村の死者・行方不明者数

2) 地震リスク評価の試算

a) 評価手法

平成 25 年度構築した人口・建物モデルや本年度の被害予測手法の検討に基づき、現在～将来において南海トラフで発生する地震を対象とした揺れによる建物被害・人的被害のリスク評価を行った。図 3-2-⑥-5 に地震リスク評価の流れを図示す。具体的な評価手順は以下の通りである。

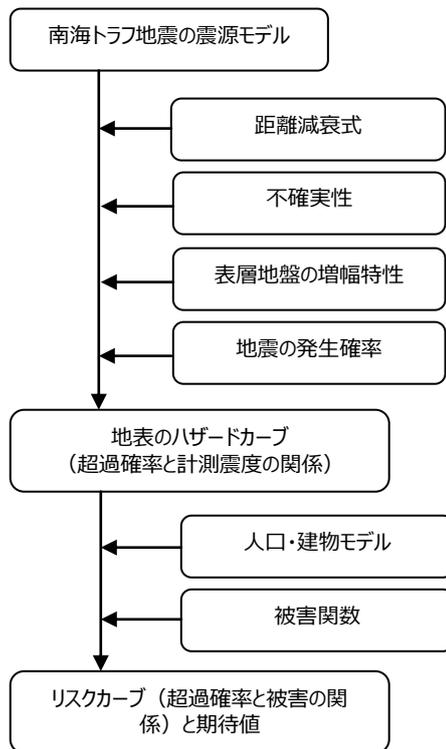


表 3-2-⑥-4 南海トラフの地震の発生パターンと付与する重みの詳細(地震本部,2014)

		日向灘	南海	東南海	東海	条件付確率	Mw
1 地震	No.1	←	←	←	←	0.0125	8.8
	No.2	←	←	←	←	0.0125	9.0
	No.3	←	←	←	←	0.0125	9.0
	No.4	←	←	←	←	0.0125	9.1
	No.5		←	←	←	0.1625	8.7
	No.6		←	←	←	0.1625	8.9
	No.7	←	←	←	←	0.0125	8.8
	No.8	←	←	←	←	0.0125	9.0
	No.9		←	←	←	0.0250	8.7
	No.10		←	←	←	0.0250	8.9
	No.11		←	←	←	0.0500	8.4
2 地震	No.12・13	←	←	←	←	0.0500	8.7,8.3
	No.14・13		←	←	←	0.3250	8.5,8.3
	No.12・15	←	←	←	←	0.0250	8.7,8.2
	No.14・15		←	←	←	0.1000	8.5,8.2

図 3-2-⑥-5  
地震リスク評価の流れ

i) リスク評価基準年

- 平成 25 年度作成した人口・建物モデルと同様に 2015 年・2025 年・2035 年・2045 年・2065 年とした。

ii) ハザード評価

- ① 地震調査研究推進本部の南海トラフ地震の震源モデル(地震調査研究推進本部,2014)を利用し、距離減衰式(司宏俊・翠川三郎,1999)と地震動のばらつきから南海トラフで発生するという条件下での工学的基盤におけるハザードカーブ(地震動の超過確率と最大速度の関係)を算出する。
- ② 上記ハザードカーブに対し表層地盤の増幅率(藤本一雄・翠川三郎,2006)を適用するとともに地震動指標を最大速度から計測震度に変換(翠川三郎・他,1999、藤本一雄・翠川三郎,2005)し、地表における条件付超過確率と計測震度の関係を算出する。
- ③ ②に各評価年における南海トラフ地震の発生確率を乗じることで、各評価基準年における地表のハザードカーブを算出する。

iii) リスク評価

- 上述の地表のハザードカーブに対し、建物被害及び人的被害関数、評価基準年における人口・建物モデル(中村洋光・他,2014)を適用しリスクカーブ(被害量とその超過確率の関係)と期待値を算出する。なおリスク評価は人口・建物モデルと同じ 4 分の 1 地域メッシュ(250m メッシュ)単位で実施した。

iv) 被害関数

- 建物被害(建物全壊)
  - ・ 木造：中嶋唯貴・岡田成幸(2008)の損傷度 0.6 以上の被害率と震度の関係  
なお、木造建物の経年劣化の影響は老朽化得点  $F$  と経過年  $t'$  の関係式(中嶋唯貴・岡田成幸,2008)で評価しこれを被害関数に反映させた。

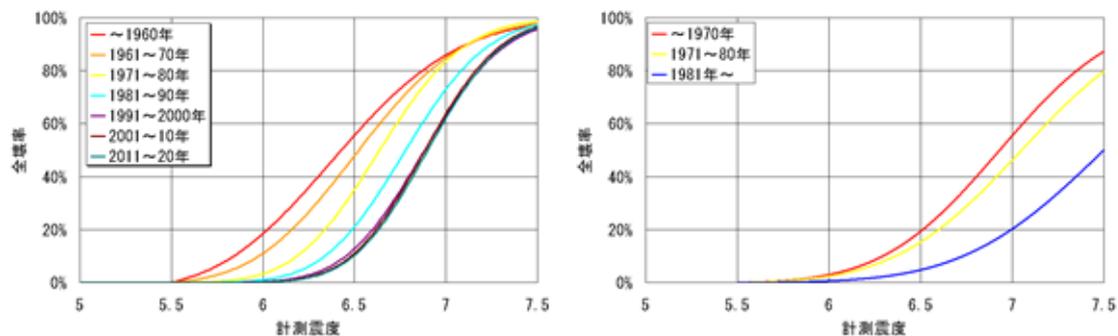
$$F(t') = -0.0021 \times t' + 1 \quad \text{式 3-2-⑥-9}$$

- ・ 非木造：中央防災会議(2004)の非木造建物の被害率と震度の関係  
(図 3-2-⑥-6)

- 人的被害(死者数)
  - ・ 福島誠志(1997)を補正した手法(本報告手法③)

v) 人口・建物モデル

- 平成 25 年度作成した各評価年における人口・建物モデル(中村洋光・他,2014)を使用。



(a) 木造(2015年時点)

(b) 非木造

図 3-2-⑥-6 建物被害関数

b) 評価の試算結果

本年度実施した地震リスク評価の試算結果を整理すると以下の通りである。

i) 建物被害リスク

2015年時点における建物全壊棟数の30年期待値は全国集計値で約34万棟と推定された。発生パターン別にみた場合、No.14・No.13が約12万棟と最も大きく、No.11が約800棟と最も小さい結果となった。都道府県別集計値では静岡県が最も大きく約10万棟、次いで愛知県の約6万棟、三重県・高知県の約2.5万棟という結果が得られた。また、九州地方など震源域から遠い地域は東海～日向灘領域が震源となるタイプの影響が、南海・東南海領域に近い地域ではNo.13・No.14の影響が大きい結果となり、同じ南海トラフの地震でも最も大きな影響を及ぼす発生パターンは地域によって異なることがリスク評価からも確認された。

評価基準年の推移による30年期待値の変化をみると、人口減少に伴う建物棟数の減少によって、ほとんどの地域で30年期待値が減少する結果となった。一方、全壊率の30年期待値は、2025年にピークを迎え、その後は減少する結果となった。評価基準年の変化による建物被害リスクの増加要因としては、木造建物の経年劣化、南海トラフの地震発生確率の上昇が挙げられる。一方、建物被害リスクの減少要因としては、建物棟数の減少、建替えによる耐震性能の向上が挙げられる。

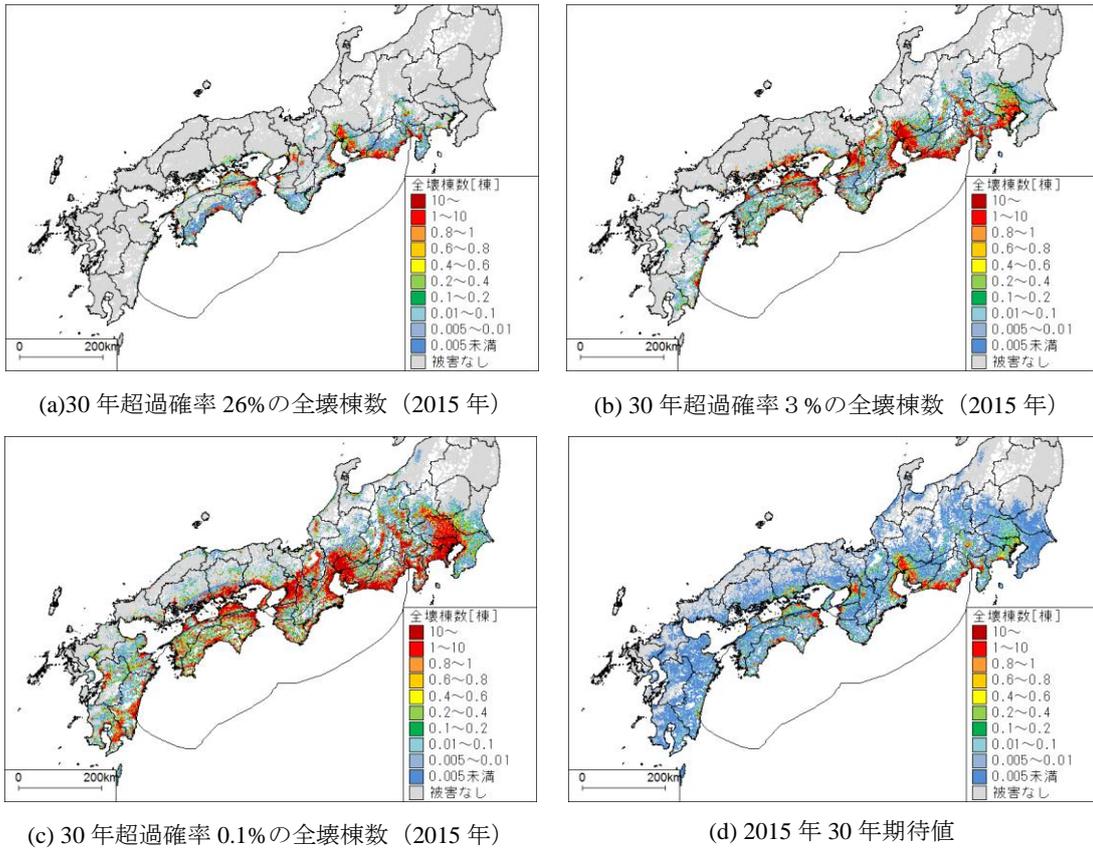


図 3-2-⑥-7 地震リスク評価の試算結果 (建物被害)

ii) 人的被害

2015年時点における死者数の30年期待値は全国集計値で約5千人と推定された。発生パターン別にみた場合、建物全壊と同様にNo.14・No.13が約1.8千人と最も大きく、No.11が約9人と最も小さい結果となった。都道府県別集計値では静岡県が最も大きく約2千人、次いで愛知県の約800人、三重県・高知県の約300人という結果が得られた。

評価基準年の推移による30年期待値の変化をみると、全国集計値では2025年にピークを迎えた後、減少に転じる結果となった。また、死者率の期待値は2045年でピークを迎え、2065年でもほぼ同じレベルにある結果となった。建物の耐震性能が向上するにも関わらず、死者率が上昇する要因は、南海トラフの地震発生確率の上昇の他に高齢者率の上昇が要因として挙げられる。高齢者率の上昇による木造建物滞留人口の増加(高齢者は日中も自宅にいる割合が高い)や建物被害に対する高齢者の脆弱性が、建物被害リスクの評価結果との違いに表れたと考えられる。

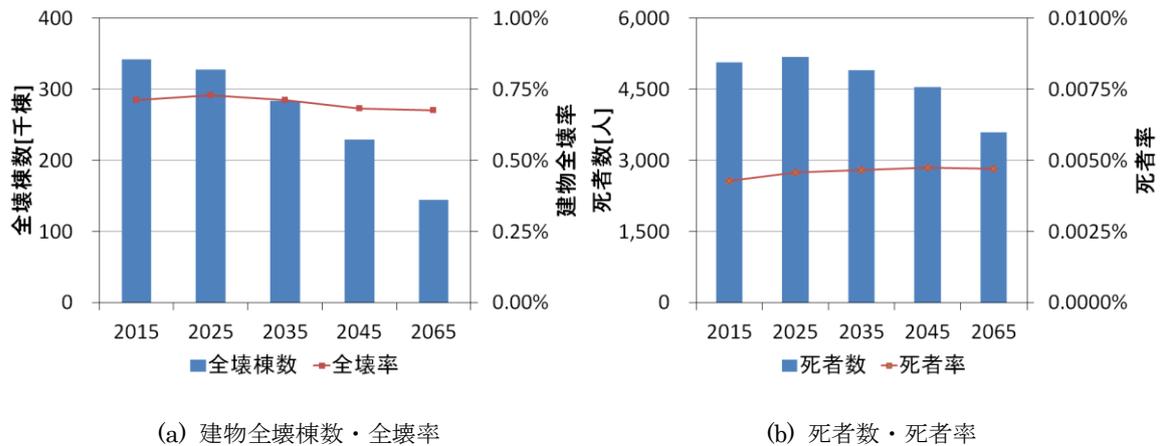


図 3-2-⑥-8 地震リスクの 30 年期待値の推移

### 3) 津波リスク評価の試算

#### a) 評価手法

南海トラフ地震を対象に国で実施された津波シミュレーション結果(内閣府,2012 など)を利用して、現在～将来において南海トラフで発生する津波による建物被害・人的被害のリスクを試算した。図 3-2-⑥-9 に津波リスクの試算方法を図示する。具体的な評価手順は以下の通りである。

#### i) リスク評価基準年

- 地震リスクと同様に 2015 年・2025 年・2035 年・2045 年・2065 年とした。

#### ii) ハザード評価

- 地震調査研究推進本部(2014)の南海トラフ地震の各発生パターンに国で実施されたの既往の津波シミュレーション結果(内閣府,2012、中央防災会議,2003)を適用した。これにシミュレーション結果のばらつきを考慮することで、南海トラフ地震が発生するという条件下での海岸線津波高のハザードカーブを作成する。なお、既往の想定結果は朔望平均満潮位における結果であるが、本試算では以下の式で潮位補正を行い、潮位条件を T.P.=0 とした場合の海岸線津波高をハザード評価

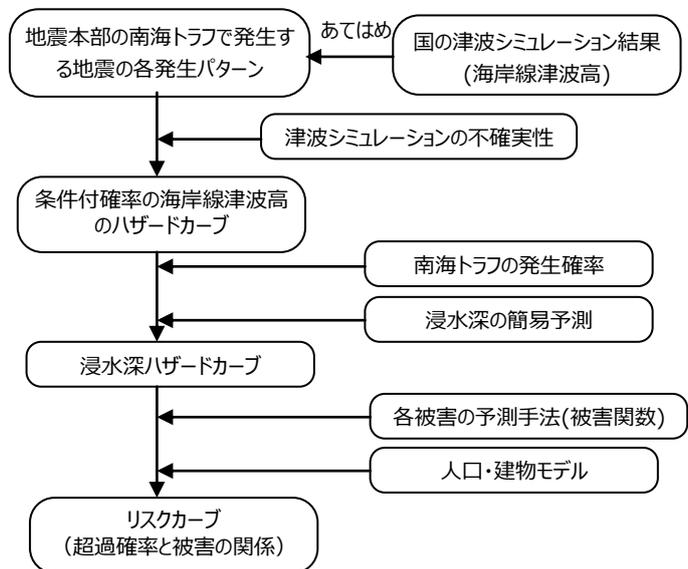


図 3-2-⑥-9 津波リスクの試算の流れ

に用いた。

$$(\text{海岸線津波高}) = (\text{シミュレーションによる海岸線津波高}) - (\text{評価地点の朔望平均満潮位}) \quad \text{式 3-2-⑥-10}$$

② ①の津波高に浸水深の簡易予測法(清水智・若浦雅嗣,2012)と各評価基準年における南海トラフ地震の発生確率を適用し、浸水深ハザードカーブ(浸水深と超過確率の関係)を作成する。なお、本試算では堤防はないものと仮定して浸水深を試算した。

iii) リスク評価

- 上述の浸水深ハザードカーブに対し、建物被害関数及び人的被害の予測手法、評価基準年における人口・建物モデル(中村洋光・他,2014)を適用しリスクカーブ(被害量とその超過確率の関係)と期待値を算出する。なお、リスク評価は地震リスクと同様に4分の1地域メッシュ(約250mメッシュ)単位で実施した。

iv) 被害関数

- 建物被害(建物全壊)
  - ・ 被害想定で一般的に利用されている中央防災会議(2012)の浸水深と全壊率の関係を利用した。(図3-2-⑥-10)
- 人的被害(死者数)
  - ・ 中央防災会議(2006)の手法に対し、避難率・避難未完了率を東日本大震災の実績値で補正した手法(本報告手法⑥)を使用した。

v) 人口・建物モデル

- 平成25年度作成した各評価基準年における人口・建物モデル(中村ほか,2014)を使用した。

表3-2-⑥-5 南海トラフ地震の発生パターンと対応させる津波タイプ

	日向灘	南海	東南海	東海	条件付確率	Mw	対応させる津波
No.1	←			→	0.0125	8.8	タイプ1
No.2	←			→	0.0125	9.0	タイプ1
No.3	←			→	0.0125	9.0	タイプ1
No.4	←			→	0.0125	9.1	タイプ1
No.5		←		→	0.1625	8.7	タイプ2
No.6		←		→	0.1625	8.9	タイプ2
No.7	←			→	0.0125	8.8	タイプ3
No.8	←			→	0.0125	9.0	タイプ3
No.9		←		→	0.0250	8.7	タイプ3
No.10		←		→	0.0250	8.9	タイプ3
No.11		←		→	0.0500	8.4	タイプ3
No.12・13	←	←	←	→	0.0500	8.7,8.3	タイプ1
No.14・13		←	←	→	0.3250	8.5,8.3	タイプ4
No.12・15	←	←	←	→	0.0250	8.7,8.2	タイプ5
No.14・15		←	←	→	0.1000	8.5,8.2	タイプ5

表3-2-⑥-6 各津波タイプ別の津波高

タイプ1	南海トラフ巨大地震モデルの11パターンの平均津波高	内閣府(2012)
タイプ2	中央防災会議の想定東海+東南海+南海地震の津波高	中防(2003)
タイプ3	中央防災会議の東南海+南海地震の津波高	中防(2003)
タイプ4	中央防災会議の想定東海+東南海地震の津波高と南海地震の津波高	中防(2003)
タイプ5	中央防災会議の東南海地震の津波高と南海地震の津波高	中防(2003)

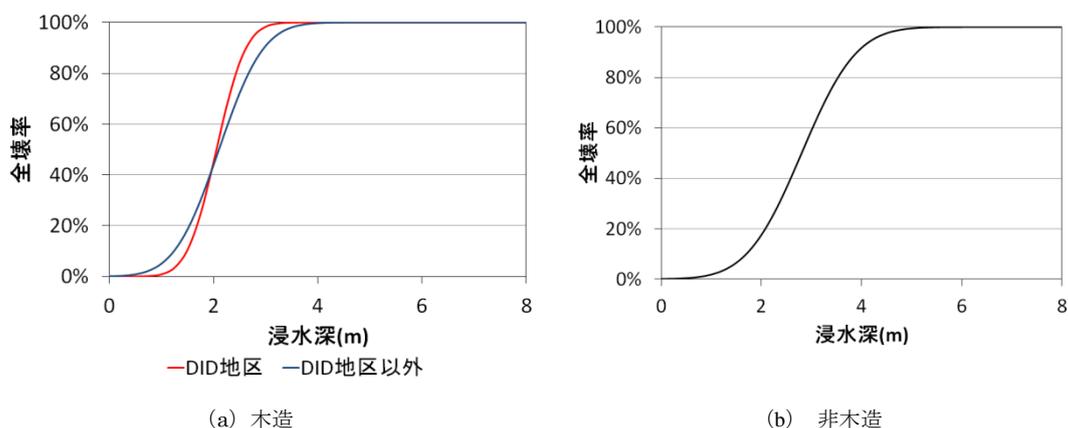


図3-2-⑥-10 建物被害関数（全壊）

b) 評価の試算結果

本年度、堤防がない条件下で国が実施した津波リスクの試算結果を整理すると以下の通りである。

i) 建物被害

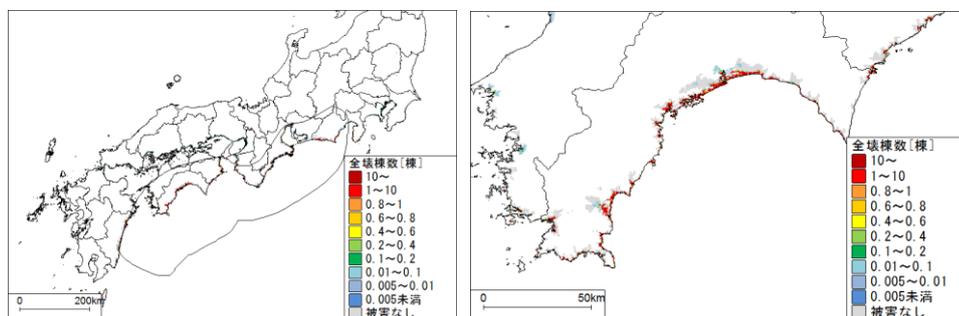
2015年時点における建物全壊棟数の30年期待値は全国集計値で約7.3万棟と推定された。発生パターン別にみた場合、地震と同様にNo.14・No.13が約2万棟と最も大きい結果となった。都道府県別集計値では高知県が最も大きく約2.7万棟、次いで和歌山県の約1.2万棟、三重県の約1.1万棟という結果になった。評価基準年の推移による30年期待値の変化をみると、建物棟数の減少により全国集計値は年々減少する結果となった。一方で全壊率30年期待値は高知県など津波の影響の大きな地域では年々上昇する結果が得られた。これは、地震とは異なり建物の建替えても津波に対する脆弱性は変化しない一方で、時間の経過による発生確率の上昇がリスク量の増加に寄与するためと考えられる。

ii) 人的被害

2015年時点における死者数の30年期待値は全国集計値で約9.3千人と推定された。発生パターン別にみた場合、建物全壊と同様にNo.14・No.13が約2.2千人と最も大きい結果となった。都道府県別集計値では高知県が最も大きく約2.3千人、次いで静岡県の約2.0千人という結果が得られた。

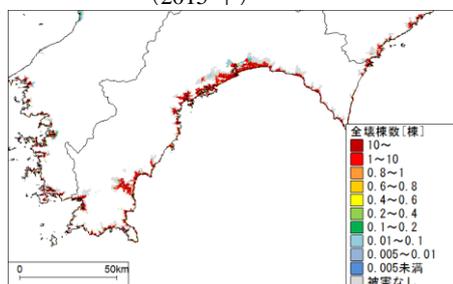
評価基準年の推移による30年期待値の変化をみると、全国集計値では2025年にピークを迎えた後、減少に転じる結果となった。また、死者率の期待値は2045

年でピークを迎え、2065 年はやや減少する結果となった。これは、浸水域と浸水域外の人口分布や高齢者率などが原因と考えられる。

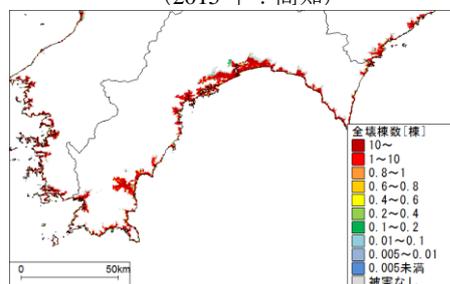


(a) 30 年超過確率 3% の全壊棟数 (2015 年)

(b) 30 年超過確率 26% の全壊棟数 (2015 年：高知)

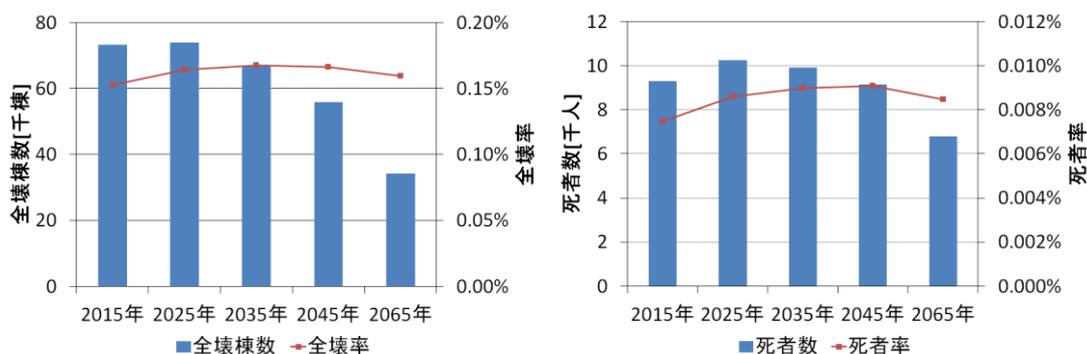


(c) 30 年超過確率 3% の全壊棟数 (2015 年：高知)



(d) 30 年超過確率 0.1% の全壊棟数 (2015 年：高知)

図 3-2-⑥-11 津波リスクの試算結果 (建物被害)



(a) 建物全壊棟数・全壊率

(b) 死者数・死者率

図 3-2-⑥-12 津波による 30 年期待値の推移

(c) 結論ならびに今後の課題

本年度は、南海トラフを対象とした広域リスク評価のための人的被害の予測手法を検討するとともに、平成 25 年度作成した将来の人口・建物モデルを利用し南海トラフを対象とした地震の広域リスク評価と津波リスクの試算を行った。得られた知見は以下の通りである。

(1) 東北地方太平洋沖地震など過去発生した被害地震を対象に、揺れ・津波による人的被害予測手法の検討を行った。その結果、揺れは手法③、津波は手法⑥が最も実被害に近い結果となったことを確認した。

(2) 2015年・2025年・2035年・2045年・2065年の各年を評価基準年とした地震による建物被害・人的被害の暫定的なリスク評価を実施した。この結果、2015年時点の全壊棟数30年期待値は約34万棟と推定された。また、時間の経過に従い全壊棟数は減少、全壊率は2025年にピークを迎えた後に減少することを示すとともに、時間の経過による発生確率の上昇、人口動態、建物の建替えによる耐震性の向上、既存建物の経年劣化といった要因で、建物被害リスク量が変化することを示した。また死者数は2025年にピークを迎えた後に減少する一方、死者率は2045年まで増加することを示した。これは、発生確率の上昇のほか高齢者率の増加が要因と考えられる。

(3) 国が実施した既往の津波シミュレーション結果を利用して津波による建物被害・人的被害のリスクを試算した。この結果、2015年時点の全壊棟数30年期待値は約7.3万棟と推定された。地震と同様に時間の経過に従い全壊棟数は減少することを示すとともに、地震と異なり建物の建替えによる津波に対する脆弱性は改善しないため、地域によっては地震発生確率の上昇に伴い全壊率が上昇し続けることを確認した。また、堤防なしという条件で得られた死者数の30年期待値は2025年まで、死者率は2045年まで上昇する結果が得られるとともに、地震による死者数のリスクよりも大きいことを確認した。

次年度以降、引き続き、南海トラフで発生する地震・津波による広域リスク評価を実施する。具体的には、地震リスクは発生確率として10年確率を適用した場合のリスク評価を実施する。津波リスクは、既存の国のシミュレーション結果を利用した今年度の試算で十分に考慮できなかった南海トラフで発生する津波波源の多様性を取り入れた津波ハザードモデルを利用し広域リスク評価を実施する。また、これらのリスク評価結果に基づき特徴的なシナリオ地震を抽出し、災害シナリオを試作する予定である。

#### (d)引用文献

- 1) 中央防災会議, 首都直下地震に係る被害想定手法について,  
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/index.html>, 2004.
- 2) 新井健介, 境有紀, 建物被害と相関を持つ地震動強さ指標を用い構造種別や層数を考慮した地震被害推定システムの開発, 日本地震工学会論文集, 第11巻, 第4号, pp.88-107, 2011.
- 3) 福島誠志, 河田恵昭, 西村明儒, 林春男, 田中聡: EDA手法を用いた人的被害の推定法の開発, 地域安全学会, pp.52-55, 1997.
- 4) Aoi, S., T. Kunugi, H. Nakamura, and H. Fujiwara, Deployment of new strong motion seismographs of K-NET and KiK-net, Earthquake Data in Engineering Seismology, 14, pp.167-186, 2011.
- 5) 気象庁, 主な地震の強震観測波形データ,

<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/index.html>

- 6) 防災科学技術研究所, 文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト III.1 震災総合シミュレーションシステムの技術の開発 III.2 大都市特性を反映する先端的な災害シミュレーションの技術の開発 公開ソフトウェア, 2007.
- 7) 小丸安史, 清水智, 藤原広行, 河合伸一, 森川信之, 松山尚典, 早川譲, 全国地震動予測地図のハザード情報に基づく建物被害リスクおよび人的被害リスクの試算, 第13回日本地震工学シンポジウム, pp.2584-2591, 2010.
- 8) 厚生省, 人口動態統計からみた阪神・淡路大震災による死亡の状況, 1995.
- 9) 消防庁, 平成16年(2004年)新潟県中越地震(確定報),  
<http://www.fdma.go.jp/data/010909231403014084.pdf>, 2009.
- 10) 消防庁, 平成19年(2007年)新潟県中越沖地震(確定報),  
<http://www.fdma.go.jp/bn/%E5%B9%B3%E6%88%9019%E5%B9%B4%EF%BC%882007%E5%B9%B4%EF%BC%89%E6%96%B0%E6%BD%9F%E7%9C%8C%E4%B8%AD%E8%B6%8A%E6%B2%96%E5%9C%B0%E9%9C%87%EF%BC%88%E7%A2%BA%E5%AE%9A%E5%A0%B1%EF%BC%89.pdf>, 2013.  
消防庁, 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)について,  
<http://www.fdma.go.jp/bn/higaihou/pdf/jishin/146.pdf>, 2013.
- 11) 静岡県, 第3次地震被害想定結果, 2001.
- 12) 中央防災会議, 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会, 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る被害想定手法について,  
[http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/nihonkaiko\\_chisimajishin/17/pdf/siryoul.pdf](http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/nihonkaiko_chisimajishin/17/pdf/siryoul.pdf), 2006.
- 13) 内閣府・消防庁・気象庁: 津波避難等に関する調査結果, 2011.
- 14) 中央防災会議 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会: 従来の被害想定と東日本大震災の被害(概要), 第7回, 資料5,  
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/7/pdf/5.pdf>, 2011.
- 15) 復興支援調査アーカイブ, <http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/>, 2012.
- 16) 中央防災会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ, 南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要,  
[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku\\_wg/pdf/20120829\\_gaiyou.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20120829_gaiyou.pdf), 2012.
- 17) 地震調査研究推進本部, 全国地震動予測地図2014年版 ~全国の地震動ハザードを概観して~, [http://www.jishin.go.jp/main/chousa/14\\_yosokuchizu/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/14_yosokuchizu/index.htm), 2014.
- 18) 司宏俊, 翠川三郎, 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 523, pp.63-70. 1999.
- 19) 藤本一雄, 翠川三郎, 近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平

- 均 S 波速度の関係，日本地震工学会論文集，第 6 卷，第 1 号，pp.11-22，2006.
- 20) 翠川三郎，藤本一雄，村松郁栄，計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係，地域安全学会論文集，No.1，pp.51-56，1999.
  - 21) 藤本一雄，翠川三郎，近年の強震記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法，地域安全学会論文集，No.7，pp.1-6，2005.
  - 22) 中村洋光，藤原広行，森川信之，清水智，若浦雅嗣，小丸安史，早川讓，南海トラフ地震を対象とした広域リスク評価のための将来建物・人口モデルの構築，第 14 回日本地震工学シンポジウム，pp.1195-1204，2014.
  - 23) 中嶋唯貴，岡田成幸，時間軸上の死者低減率最大化を主目標とした木造住宅耐震化戦略の策定：東海・東南海連動型地震を対象とした東海 4 県への適用事例，日本建築学会構造系論文集，623，pp.79-86，2008.
  - 24) 内閣府，南海トラフの巨大地震モデル検討会，  
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html>，2012.
  - 25) 中央防災会議，東南海・南海地震等に関する専門調査会，  
[http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/tounankai\\_nankaijishin/index\\_nankai.html](http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/tounankai_nankaijishin/index_nankai.html)，2003.
  - 26) 清水智・若浦雅嗣，東北地方太平洋沖地震の津波痕跡調査結果に基づく浸水深の簡易予測，第 9 回日本地震工学会大会－2012 梗概集，pp.372-373，2012.

## ⑦ 都市災害と経済被害

### (a) 業務の要約

都市災害について、2014 年度は大都市災害時移動シミュレーションモデルを開発することで、帰宅困難者が混雑危険性や災害対応に与える影響を可視化し、帰宅困難者対策の政策評価に繋げた。

経済被害について、2014 年度は、東海圏のサプライチェーンネットワークの災害脆弱性に関する基礎的解析と経済被害予測モデルの開発を行った。経済被害予測モデルは「全国 47 都道府県動的応用一般均衡モデル」を開発し、東海沖を震源とする巨大地震の経済被害の暫定予測を行った。

### (b) 業務の実施方法

#### 1) 都市災害

2014 年度は、首都圏の自動車と徒歩移動者の双方を考慮しうる大都市災害時移動シミュレーションモデルを開発した。用いた道路は一般都道府県道以上及び道路交通センサス対象道路（ただし高速道路は除外）であり、歩道幅は道路交通センサスの歩道幅データを使用、道路交通センサス対象外の歩道幅については片側 1m×両側とした。移動速度は中央防

災会議(2008)を参考に、徒歩移動の場合は混雑度が 1.5 人/m<sup>2</sup>で時速 4km/h、混雑度が 1.5 人/m<sup>2</sup>以上 6 人/m<sup>2</sup>未満では時速 4km/h から時速 0.4km/h まで直線的に低減し、混雑度 6 人/m<sup>2</sup>以上は 0 (つまりそれ以上入らない) ものとした。他方で自動車の移動速度は、道路交通センサスからの推定値により、車両密度の最大値を 150 台/km としたうえで、車両密度を  $\rho_{car}$  (台/km)、移動速度を  $v_{car}$  (km/h) としたとき  $\rho_{car} = 1000V_{car}$  が成り立つよう設定した (ただし歩行者密度が 0.5 人/m<sup>2</sup>の場合は歩行者による車両交通への影響を考え、 $\rho_{car} = 750V_{car}$  を適用、推定値は  $R^2 = 0.41$ )。対象領域の人口は首都圏 1 都 3 県とし、平日の昼間の数値を PT 調査により求め、主要交通手段が公共交通 (つまり自分の車、バイク、自転車以外) かつその移動目的が「通勤・通学・勤務」、「私用・その他」の各人について廣井他(2011)で構築された帰宅意思モデルに従い、「徒歩帰宅・送迎してもらう・帰宅せず」滞留の 3 パターンを選択するとした。また東京都(2011)の調査結果より、送迎のうち迎えの割合は 47%であったことが知られているため、ここでは送迎の 47%において上り下りの双方で交通需要が発生するとした。なお、主要交通手段が「自分の車」である人は、全員が自動車で「すぐに帰宅」して滞留しないと考え、簡単のため自転車とバイクは混雑に寄与しないものとする。さらには徒歩・自動車ともに、帰宅経路は各人が 10 分ごとに最短時間経路をもとにして迂回も含め逐次更新すると想定した (つまり道路情報について完全情報を想定)。なお今回は、道路の直接被害による交通障害は考慮しない。このもとで様々な政策を評価した。

## 2) 経済被害

2014 年度は東海圏のサプライチェーンネットワークの脆弱性について企業間取引データを用いて基礎的な解析を行った。解析手法は以下の通りである。東海圏に本社を置く資本金 1 億円以上の企業と左記の企業の一次取引先 (調達先、納品先) 企業 (一次取引先企業も資本金 1 億円以上とする) とのつながりをネットワークデータに変換し、その性質をグラフ理論に基づき解析した。また 2014 年度は「全国 47 都道府県動的応用一般均衡モデル」を開発し、東海沖を震源とする巨大地震の経済被害の暫定予測を行った。「全国 47 都道府県動的応用一般均衡モデル」は、全都道府県の 2005 年度版産業連関表を連結した全国 47 都道府県間産業連関表に基づく、多地域他部門逐次均衡型動的応用一般均衡モデルである。モデルでは各都道府県に 20 業種の製造業が存在する。これらの産業は立地する各都道府県間内だけでなく都道府県間でも中間財取引や最終消費財の出荷を行っており、全国的なサプライチェーンのネットワークを形成している。これよりサプライチェーンを通じ直接に被災していない都道府県へ経済被害が波及する様子をシミュレートすることが可能となる。

### (c) 業務の成果

#### 1) 都市災害

2014 年度に開発した首都圏の自動車と徒歩移動者の双方を考慮しうる大都市災害時移動シミュレーションモデルを用いて、表 3-2-⑦-1 に示す各ケースのシミュレーションを行った。

表 3-2-⑦-1 シミュレーションケースの特徴

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
帰宅開始時間	東日本大震災時と同様	一斉	一斉	一斉	一斉
従業員の帰宅・滞留	東日本大震災時と同様	全員帰宅	半分が滞留	全員帰宅	全員帰宅
私用外出者の帰宅・滞留	東日本大震災時と同様	全員帰宅	全員帰宅	半分が滞留	全員帰宅
車両による送迎	東日本大震災時と同様	東日本大震災時と同様	東日本大震災時と同様	東日本大震災時と同様	無し

ケース(1)としては東日本大震災の再現を試みる。東日本大震災時は平日の就業時間中に発生した震度 5 強程度の災害であったため、帰宅開始時間もばらつき、かつ滞留できる施設も多く、一斉帰宅状態とはなっていない。このため混雑の発生条件としてはやや緩い条件となる。ここでは帰宅開始時間分布を東日本大震災時と同様とし、徒歩帰宅、車で迎えに来る選択も東日本大震災時と同様の割合として（帰宅意思モデルは利用せず筆者が収集した東日本大震災帰宅困難者調査の実データのみを使用）シミュレーションを行った。これ以降のケースは首都直下地震など強い揺れを想定したものである。ケース(2)は東日本大震災時と異なり、就業者などの「通勤・通学・勤務」目的の人や、買い物客など「私用・その他」の人がいずれも災害直後に一斉の徒歩帰宅を試みる場合である（ただし車での送迎を選択する人の数は上記の帰宅意思モデルに基づくものとする）。つまり東日本大震災時と徒歩帰宅者の数及びその出発時間分布が大きく異なり、結果としてたいへんな混雑が考えられる想定である（東日本大震災時の滞留者が全員徒歩帰宅してしまったらという想定）。ケース(3)はケース(2)をベースとしつつ、就業者など「通勤・通学・勤務」目的の人が半分は徒歩帰宅ではなく滞留を選択した場合の想定である。つまり徒歩帰宅者の帰宅開始時間分布は一斉でありながら、就業者の一斉帰宅数を半分抑制できた場合の政策効果とみてよい。ケース(4)もケース(2)をベースとしつつ、買い物客などの「私用・その他」の人が半分徒歩帰宅ではなく滞留を選択する場合のシミュレーションである。一時滞在施設の確保をはじめとした、私用外出者の帰宅抑制効果を検証するケースとなる。ケース(5)はケース(2)をベースとして、車で迎えに来る人をゼロとしたケースである。このとき、車で迎えに来てもらふことを選択する人はみな滞留するものとし、自分の自動車で帰宅する人は他ケースと同じくそのまま一斉に帰宅を試みる。

図 3-2-⑦-1、図 3-2-⑦-2 がケース(2)の発災 1 時間後及び 5 時間後における歩行者密度であり、図 3-2-⑦-3、図 3-2-⑦-4 がケース(2)の発災 1 時間後及び 5 時間後における自動車の平均移動速度である。一斉帰宅を許してしまった場合は、首都圏では歩行者密度が 6 人/m<sup>2</sup>以上というきわめて高い密度が散見された。また自動車の平均移動速度も時速 5km/h 未満の箇所が多く現れることが分かった。一刻も早く現場に到着せねば

ならない状況下でこのような重度の交通渋滞が起きた場合、災害対応の著しい遅延を許す可能性がある。更にこの傾向は時間経過につれて首都圏郊外部に向け拡大していくことも分かった。このように、どの道路が・どのような時刻に・どの程度混雑するかを知ることが滞留者の誘導や一時滞在施設の施設立地問題を考える上で重要な知見である。図3-2-⑦-5から図3-2-⑦-8はそれぞれのケースにおける歩行者密度を示したものである(ただし0.5人/m<sup>2</sup>以上のみ、ケース(5)の歩行者密度はケース(2)と同様)。ケース(1)とケース(2)の比較により判明したことは、滞留場所の喪失や家族の安否が懸念されることにより一斉帰宅が行われやすい首都直下地震時などでは、首都圏の在住者が2011年3月11日に経験した徒歩帰宅者の大行列とは、比べ物にならないほど深刻な状況になるという結果である。特に上記で述べた群衆なだれの危険性が増す6人/m<sup>2</sup>の歩行空間は計算の結果、道路延長距離でケース(1)の約34倍発生することがわかり、人的被害の発生リスクが深刻であることも物語っている。このことより首都直下地震と東日本大震災では帰宅困難者をとりまく状況が全く異なることが定量的に判明したほか、首都圏で帰宅困難者対策をすすめる意義を改めて確かめることができた。

ケース(2)からケース(4)を比較することで、帰宅困難者対策の具体方針を評価することが可能となる。これによると少なくとも広域的な視点においては、災害直後の歩行者密度を減らすには就業者の一斉帰宅抑制がとりわけ効果的である。就業者の半分が帰宅抑制することで東日本大震災時とまではいかないまでも、滞留者密度は大幅に減じることがわかった。反対に、私用外出者の一斉帰宅抑制は就業者の一斉帰宅抑制と比べて効果が薄い。上記の帰宅意思モデルによれば、私用外出者は就業者に比べてそもそも滞留しにくいことが明らかになっており、また一時滞在施設における私用外出者の滞留も、備蓄物資の費用負担や善管注意義務など法的責任の所在、セキュリティの問題など数多もの課題が存在し、一般には事業所への就業者の滞留よりも困難である。それゆえ地域や曜日によっても異なるが、帰宅困難者対策としては就業者の一斉帰宅抑制の優先順位がきわめて高いものと判断できる。

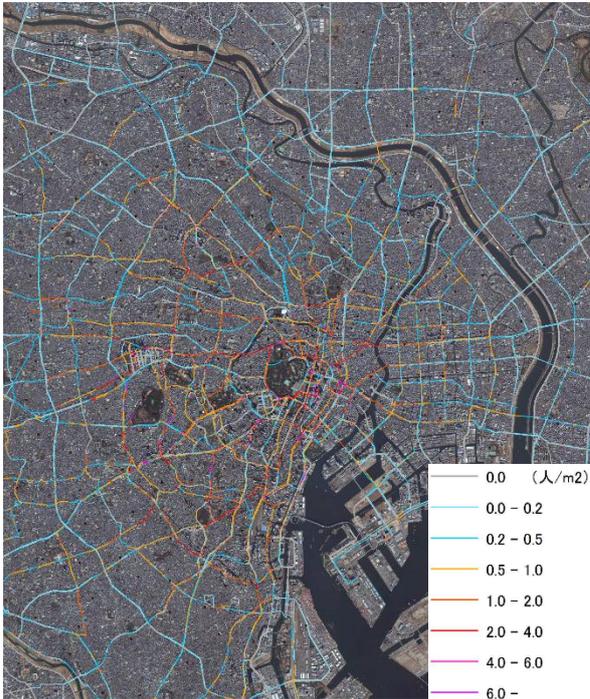


図 3-2-⑦-1 ケース(2)における  
徒歩帰宅者の歩行者密度 (発災 1 時間後)

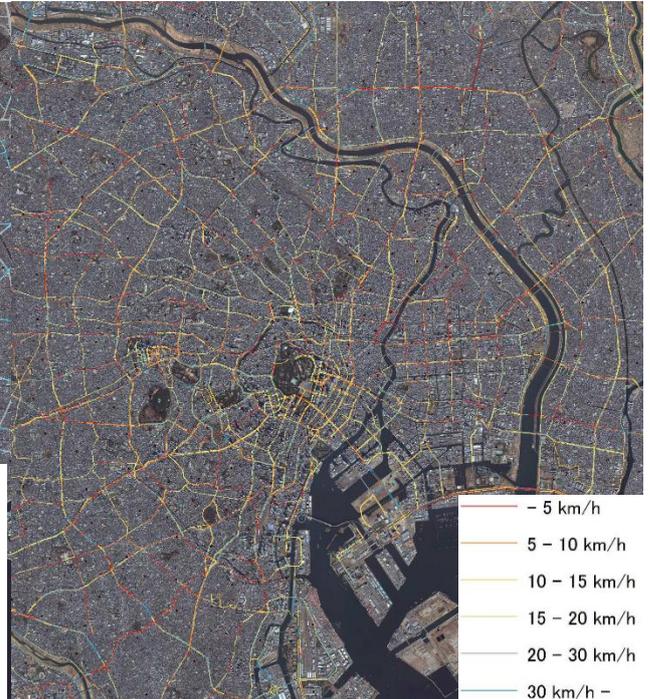


図 3-2-⑦-3 ケース(2)における  
自動車の平均移動速度 (発災 1 時間後)

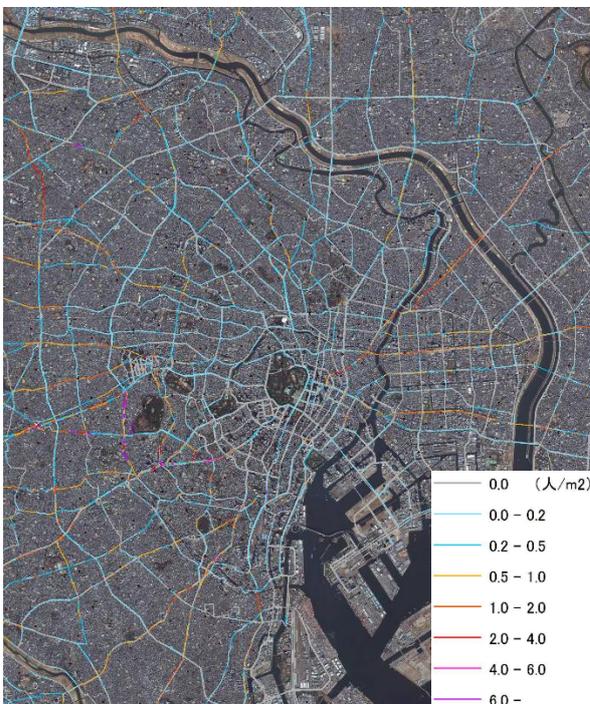


図 3-2-⑦-2 ケース(2)における  
徒歩帰宅者の歩行者密度 (発災 5 時間後)

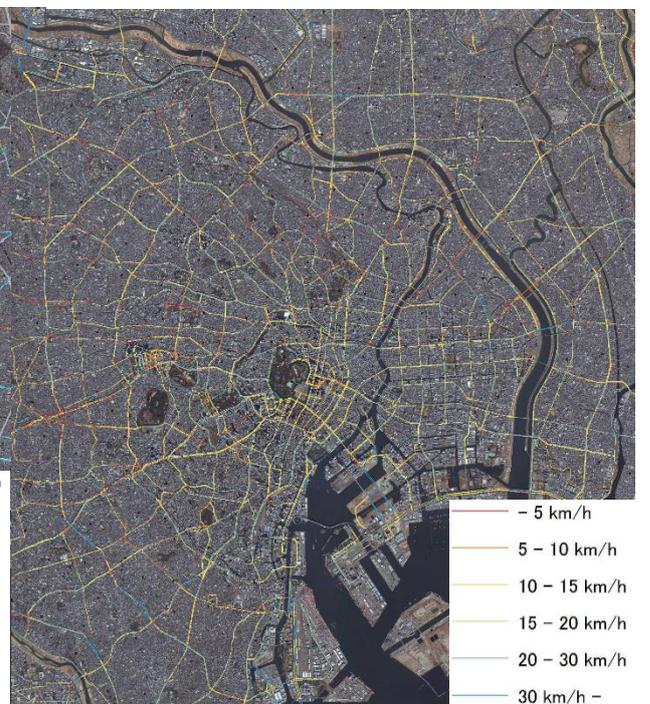


図 3-2-⑦-4 ケース(2)における  
自動車の平均移動速度 (発災 5 時間後)

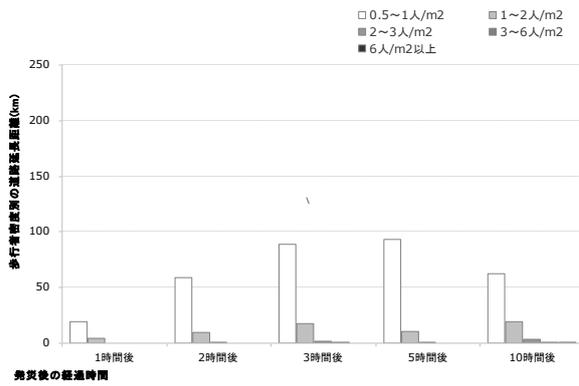


図 3-2-⑦-5 歩行者密度別の道路延長距離（ケース(1)）

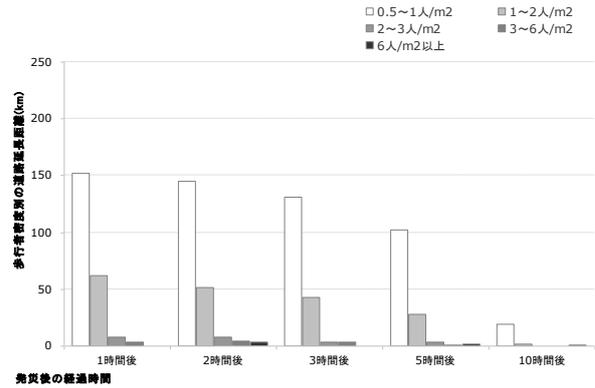


図 3-2-⑦-7 歩行者密度別の道路延長距離（ケース(3)）

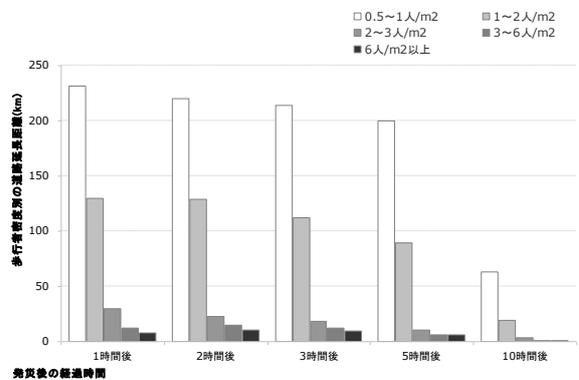


図 3-2-⑦-6 歩行者密度別の道路延長距離（ケース(2)）

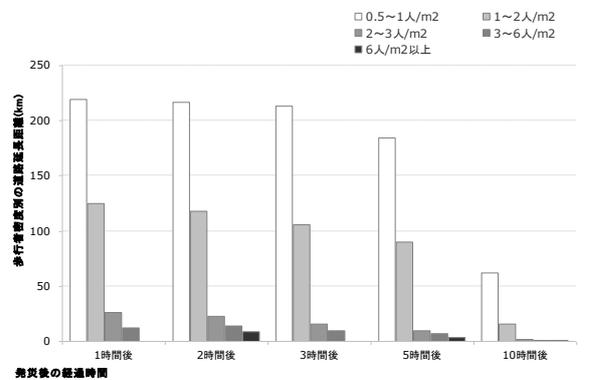


図 3-2-⑦-8 歩行者密度別の道路延長距離（ケース(4)）

一方で、図 3-2-⑦-9 から図 3-2-⑦-10 が自動車の平均移動速度をケースごとに示したものである（上り、下りを別個に計算して合計）。歩行者密度と同様に、一斉帰宅が行われやすい大規模な災害のもとでは、東日本大震災をはるかに超える車道の交通渋滞が発生する。例えば平均移動速度が 5km/h 未満の大渋滞が発生する箇所は、発災 1 時間後に道路延長距離で約 3 倍に至ることも分かった。他方でケース(2)からケース(4)を比較して明らかになることは、就業者の徒歩帰宅抑制や私用外出者の徒歩帰宅抑制は車道の交通渋滞を減らす効果はほぼないことである（ただし、自動車の帰宅抑制はないものとしていることや、徒歩帰宅者の存在が自動車交通に与える影響が上式で示されるように移動速度の低減のみとしたうえでの計算結果であることに注意されたい）。

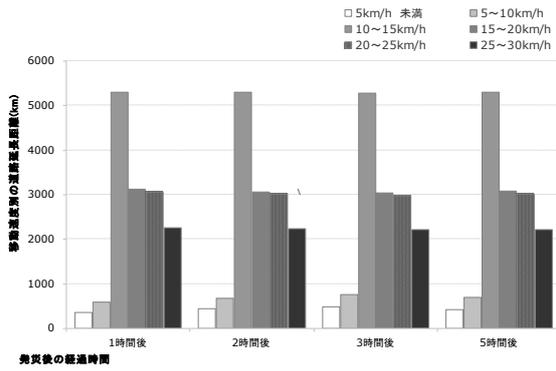


図 3-2-⑦-9 車の平均移動速度の延長距離 (ケース(1))

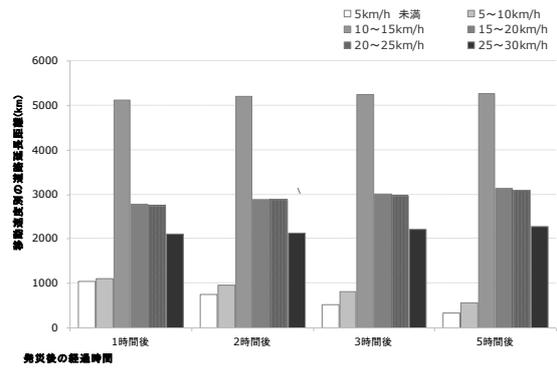


図 3-2-⑦-12 車の平均移動速度の延長距離 (ケース(4))

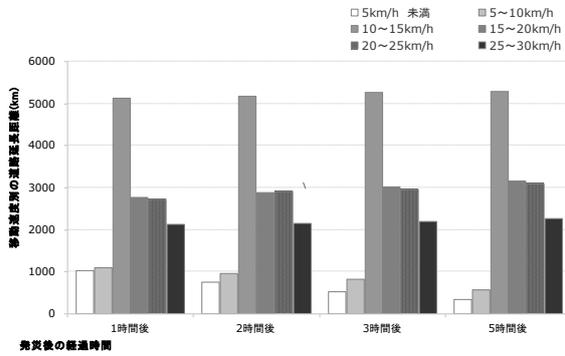


図 3-2-⑦-10 車の平均移動速度の延長距離 (ケース(2))

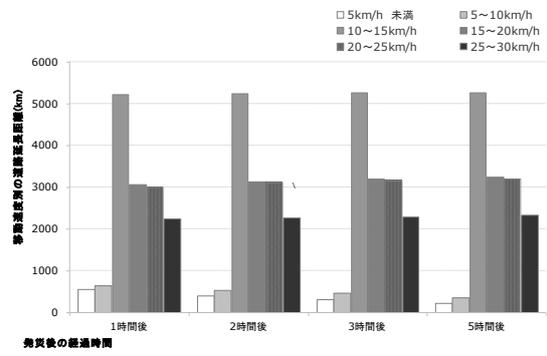


図 3-2-⑦-13 車の平均移動速度の延長距離 (ケース(5))

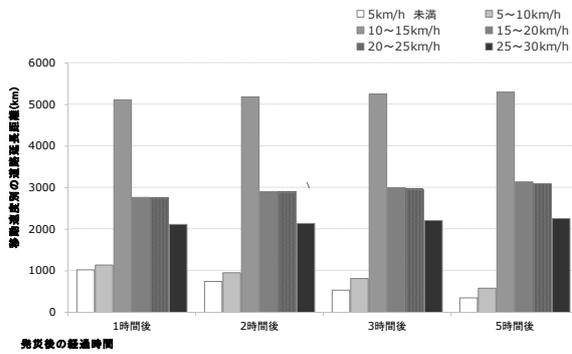


図 3-2-⑦-11 車の平均移動速度の延長距離 (ケース(3))

そもそも帰宅困難者対策の主な目的は、1. 過密空間における歩行者・滞留者の人的被害軽減、及び2. 深刻な交通渋滞による消防・救急など様々な災害対応の遅延解消であるが、各都市で現在精力的に行われている対策は、おおむね一斉徒歩帰宅の抑制や一時滞在施設の確保に偏っており（ただし東京都の帰宅困難者対策条例では帰宅手段にかかわらず、大規模地震直後における都民の一斉帰宅を禁じている）。車道における交通渋滞の解消はその多くを警察による交通規制に頼らざるを得ず、場合によっては後者の目的を達成できないことになる。それゆえ今後は、自動車による帰宅の抑制や自動車の滞留場所などの確保についてもさらなる対策の進捗を期待したい。

一方で、ケース(2)とケース(5)を比較すると、全体の3.3%ともいうべき自動車による迎え交通需要のみを抑制するだけで、東日本大震災当日の基準には満たないものの、平均移動速度の延長距離を相当数減らせることが明らかになった（例えば、平均移動速度が5km/h未満の渋滞箇所は半減する）。自動車による迎え交通需要の抑制はいまのところ、帰宅困難者対策として検討している例がほとんどないが、災害直後の活動障害を減じる意味でも効果の高い施策であると考えられる。

## 2) 経済被害

### a) 東海圏のサプライチェーンの災害脆弱性に関する解析

東海圏の企業間取引ネットワークデータ（東海圏に本社を置く資本金1億円以上の企業と左記の企業の一次取引先（調達先、納品先）企業（ただし資本金1億円以上）とのつながり）を、企業の立地住所を利用して日本地図上に可視化したものが図3-2-⑦-14である。図3-2-⑦-14より東海圏に立地する企業は東海圏内の企業にとどまらず、東京や大阪、北陸、北九州等に立地する企業とも取引があることがデータにより確認できる。このことは東海圏に立地する企業が被災した場合にサプライチェーンを通じて上記の様な他地域にも影響が波及する可能性が高いことを示している。災害の経済被害の特徴の一つは、まさに地震動や津波浸水等による直接的な被害のない地域（非被災地域）でも、その地域に立地する企業の取引先が被災すれば当該企業の生産活動も中断される得ること、つまり経済被害がサプライチェーンを通じて非被災地域に波及する可能性があることである。

東海圏のサプライチェーンのネットワーク構造をより詳しく解析するため、力学モデルに基づきネットワークデータの再描画を行った（図3-2-⑦-15参照）。図中において各企業は球体（ノード）で表現されており、一次取引先企業が多い企業ほど相対的に大きな球体として描画されている。企業間で取引関係がある場合はノード間に線（エッジ）が引かれている。なお図中の球体の位置関係はネットワークデータの可視化に適するアルゴリズムに基づき配置されている。これより東海圏の企業を中心とするサプライチェーンのネットワークは、多くの一次取引先を有する少数の企業と少数の一次取引先を有する多数の企業から構成されている事が見て取れる。ただし本研究におけるネットワークデータ上の企業は資本金1億円以上の企業のみであることに注意されたい。

ネットワークデータの次数分布をグラフ化したものが図3-2-⑦-16である。横軸に企業の一次取引先の数（次数）をとり、縦軸にネットワーク全体の企業数に占める任意の

数の一次取引先を持つ企業数の割合をとっている。Albert, Jeong and Barabasi. (2000)で指摘されているように、ネットワークがスケールフリーネットワークである場合には、ランダムなノードの削除（災害では企業の被災を意味する）に対してネットワークは強い耐性を有するが、エッジ数（一次取引先の企業数）が非常に多い少数のノードを狙った攻撃に対しては非常に脆弱である。図3-2-⑦-16は東海圏の企業を中心とするサプライチェーンのネットワークがスケールフリーネットワークであることを示しており、例えば災害により取引先が非常に多い企業が被災した場合、東海圏全体の企業間取引に重大な支障をきたす可能性があることを示唆している。

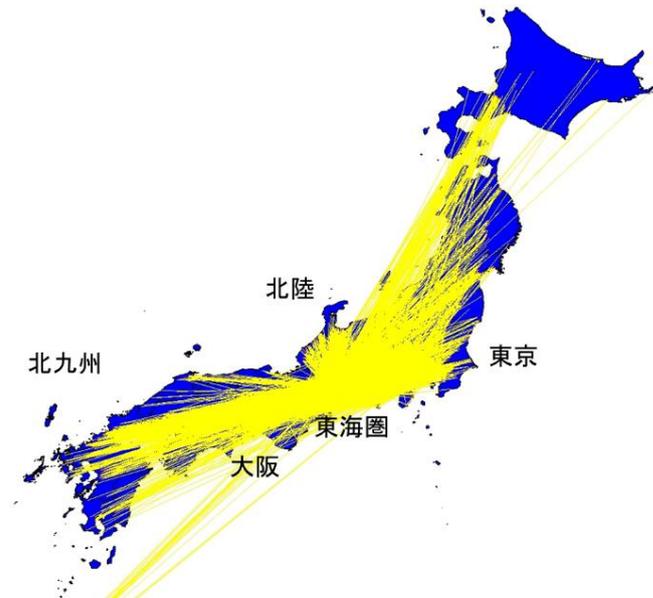


図3-2-⑦-14 企業立地住所に基づく東海圏の企業とその一次取引先との関係

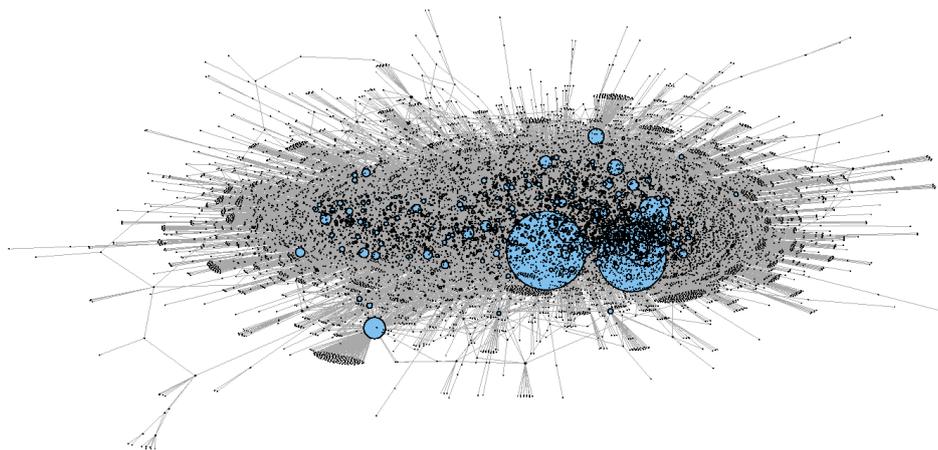


図3-2-⑦-15 力学モデルに基づく東海圏の企業とその一次取引先の関係性

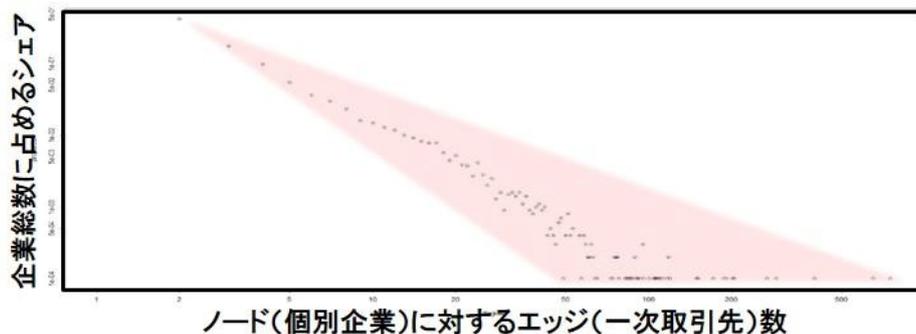


図 3-2-⑦-16 サプライチェーンネットワークの次数分布

b) 全国 47 都道府県動的応用一般均衡モデルの開発と応用

本年度は企業間取引データを使った東海圏のサプライチェーンの脆弱性解析とともに、サプライチェーンを明示的に考慮した経済被害予測モデルを開発し、東海沖を震源とする仮定の巨大地震の経済被害予測を試みた。本研究はより広域を震源とする南海トラフ巨大地震の経済被害予測に向けた暫定予測である。

全国 47 都道府県動的応用一般均衡モデルは、2005 年度を対象とした全国 47 都道府県間産業連関間表を利用している。全国 47 都道府県間産業連関間表は、全国 47 都道府県の産業連関間表を物流センサスデータ等により結合し作成した。モデル上の各都道府県には製造業を中心とした 20 業種の産業と代表的家計、地方政府が存在する。また Putty-clay アプローチに基づく逐次均衡型動的モデルとなっており、時間を通じた経済変数の挙動に関するシミュレーション分析も可能である。モデル上で各都道府県に存在する産業は表 3-2-⑦-2 の通りである。モデルでは、災害の発生等のショックにより都道府県を越えた産業間取引がいかに変化するかシミュレーション可能であり、巨大地震によるサプライチェーンを通じた経済被害の全国的波及を捉えることが可能となっている。

表 3-2-⑦-2 全国 47 都道府県モデルにおける産業分類

1. 農林水産	11. 金属製品
2. 建設	12. 一般機器
3. 飲食料品	13. 電気機械
4. 繊維製品	14. 電子部品
5. パルプ・紙製品	15. 自動車・関連部品
6. 印刷	16. 造船
7. 化学製品	17. その他輸送機器
8. 石油・石炭製品	18. 精密機器
9. プラスチック・ゴム製品	19. 電力・ガス・水道
10. 窯業製品	20. サービス

シミュレーションでは、東海沖を震源とし、静岡県、愛知県、三重県、岐阜県の東海 4

県に地震動被害をもたらす巨大地震を想定した。震度分布等は仮定の値であり、また今回は津波浸水被害を考慮していない。図3-2-⑦-17は、発災後1ヶ月間における鉱工業生産水準の変化をシミュレートしたものである。シミュレーションでは、地震動により被災県内に立地する産業の資本ストックが毀損すると仮定している。資本ストックの損壊に伴い被災県内の鉱工業生産水準が減少する。これに加え、都道府県内外の産業間取引の変化を通じ被災していない都道府県の鉱工業生産水準にも影響が波及する。図3-2-⑦-17のシミュレーション結果から、まず被災した4県の鉱工業生産水準が相対的に大きく減少していることが分かる。その原因として地震動による資本ストックの毀損と県内でのサプライチェーン寸断があげられる。また東海圏から離れた地域でも鉱工業生産の減少も見られる。これは都道府県を超えた取引を通じて波及したものでありサプライチェーン寸断の結果である。また非被災都道府県への影響の大きさは、かならずしも被災県との地理的な近さだけでは説明できないこともわかる。今後は全国47都道府県動的応用一般均衡モデルに、南海トラフ巨大地震のハザードを入力し、南海トラフ巨大地震の経済被害を波及効果も含め全国的に推計する。

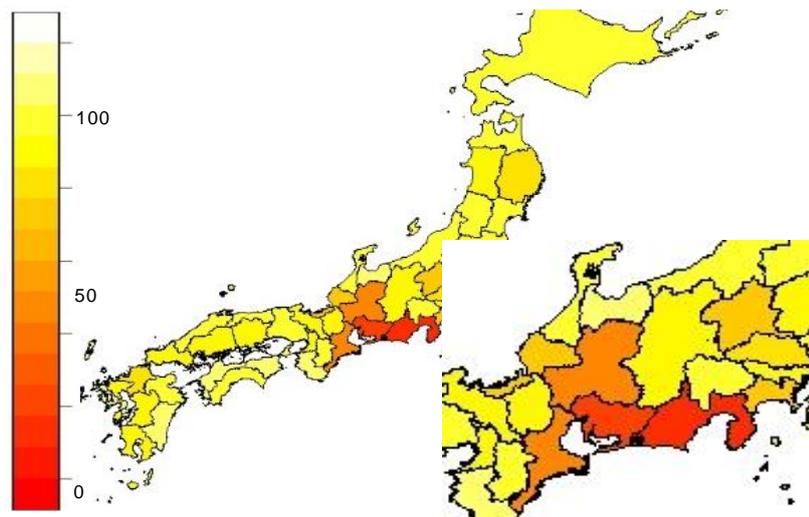


図3-2-⑦-17 発災後1ヶ月間の鉱工業生産水準（平時を100とする）

(e) 参考文献

- 1). Albert, R., Jeong, H. and Barabasi, AL., Error and attack tolerance of complex networks. Nature. Vol.406, pp.378-82, 2000.
- 2). 廣井悠・関谷直也・中島良太・藁谷俊太郎・花原英徳，東日本大震災における首都圏の帰宅困難者に関する社会調査，地域安全学会論文集，No.15，pp.343-353．2011.
- 3). 中央防災会議，首都直下地震避難対策等専門調査会報告，2008.
- 4). 東京都，東京都等の帰宅困難者対策，2011.  
[http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku\\_syuto/kitaku/1/6.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku_syuto/kitaku/1/6.pdf).

### (3) 平成 27 年度業務計画案

今年度得られた試算の結果を詳細に分析し、高知市における長期湛水予測に向けた本計算を実施する。今年度に収集した地域特性データと 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による津波漂流物分類に基づき、地域の詳細な特性を踏まえてその発生基準について、さらに検討を進める。さらに、南海トラフ沿岸地域においてモデル地域を選定し、津波ハザード・被害予測のための環境整備（波源の設定，地形データ・土地利用データの作成）を実施する。

現状における広域リスクを実施するとともに、リスク評価結果から特徴的なシナリオ地震を抽出し災害シナリオを試作する。

### 3.3 防災・減災対策研究

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 「防災・減災対策研究」

(b) 担当者 (◎は代表幹事)

所属機関	役職	氏名
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター	招聘上席技術研究員 研究開発センター長代理 技術主任	◎金田 義行 (四国、九州) 高橋 成実 馬場 俊孝
国立大学法人名古屋大学 減災連携研究センター	教授 教授 寄附部門教授 寄附部門教授 准教授 准教授 寄附部門准教授 寄附部門准教授 助教 寄附部門助教 寄附部門助教 技術職員	◎福和 伸夫 (東海) 野田 利弘 武村 雅之 北野 哲司 護 雅史 廣井 悠 都築 充雄 宮腰 淳一 平井 敬 虎谷 健司 山崎 雅人 川端 寛文
国立大学法人京都大学 防災研究所	教授	◎牧 紀男 (関西)
独立行政法人防災科学技術研究所	プロジェクトリーダー センター長 主任研究員 研究員 研究員 研究員 研究員 研究員 研究員 研究員	◎藤原 広行 (府省) 青井 真 中村 洋光 大角 恒雄 前田 宜浩 水井 良暢 東 宏樹 田口 仁 崔 青林 李 泰榮
国立大学法人東北大学 災害科学国際研究所	教授 助教	今村 文彦 今井 健太郎
国立大学法人東京大学 大学院情報学環	教授 研究員	古村 孝志 原田 智也

(c) 業務の目的

理学・工学・社会学の研究者が最新の研究成果を、地域の防災・減災対策に活かすため、行政やライフライン担当者との闊達な議論を通じて、より実践的な防災・減災対策を目指す。また、地方自治体やライフライン事業者に加え、積極的に市民参加の防災カフェなどを通じて一般社会へも情報発信する。

(d) 8か年の年次計画

これまで地域の防災・減災にとってどのような災害シナリオを考えるべきなのか、地域研究会を開催して議論を進めてきた。この地域研究会を発展させ、前半4年で地方自治体やライフライン事業者から課題を聞きつつ、プロジェクト関係者からの残された課題を含め最新の成果のインプットに重点を置き、後半4年で具体的な社会実装に向けた提案・対策案をまとめる。また、地方自治体だけではなく、内閣府をはじめとする府省への働きかけを強化し、国レベル、地方自治体レベルその両面から防災・減災対策の推進を図る。前半4年では、サブテーマ(1)で期待させる成果である被害予測やデータベース構築などを逐次、地方行政のシステムに実装にすることを検討する。後半4年では、地域行政による対策としての実装を強化しつつ、社会実装を進めるため、市民参加の防災カフェや地元メディアとも連携した防災減災の啓発活動を開催する。年次計画と想定される成果は以下である。

平成 25 年度：

地域研究会の体制を整えて、開催のルールを敷いた。

平成 26 年度：

地域研究会を通じて最新の地震津波防災研究を展開し、現実的な被害予測に対する課題を整理した。地域防災のボトルネックとなる課題について調査活動を実施した。

平成 27 年度：

地域研究会を通じて最新の地震津波防災研究の展開し、防災・減災の効果を高める情報発信のあり方を検討する。情報発信の社会実装を進めるために必要な課題を洗い出す。

平成 28 年度：

地域研究会を通じて最新の地震津波防災研究を展開し、現実的な復旧・復興対策を検討する。地域行政に活かすための課題を整理する。国レベル、地方自治体レベル両面から実装を見据えた議論を展開する。

平成 29 年度：

地域研究会を通じて、被害予測、情報発信、復旧復興対策について社会実装の現状を評価し、社会実装に向けた計画を策定する。新しい災害シナリオが提出されれば、対策の可否を議論する。防災カフェやマスコミ勉強会を通じた啓発活動を進める。

平成 30 年度：

地域研究会を通じて、これまでの防災研究の成果を社会実装するためのシステムを構築する。地域に適した防災・減災対策を整理し、地方自治体と連携して、防災・減災対策の有効性を確認する。防災カフェやマスコミ勉強会を通じた啓発活動を進める。

平成 31 年度：

地域研究会を通じて、地域防災に活かすための方策や情報発信システムの利活用を検討し、地方自治体との連携を図り、地震前後のシナリオを整理する。市民参加の防災カフェやマスコミ勉強会を通じた啓発活動を進める。

#### (e) 平成 26 年度業務目的

今年度は前年度に議論した各地方自治体の防災・減災対策の状況を踏まえて、プロジェクト側研究者や国の機関からの取り組みの現状の報告に主眼を置く。今年度から始まった戦略イノベーションプログラムや各地方自治体が取り組みつつある国土強靱化計画などの情報も考慮しながら、地域に貢献できる防災・減災研究について情報を共有する。また、今年度は 1944 年の東南海地震の 70 周年にあたり、70 周年シンポを開催し、現状の防災・減災研究の取り組みを報告する。さらに、減サイエンス塾や減災カフェを実施、地域への防災・減災へ意識向上を図る。

## (2) 平成 26 年度成果

### (a) 業務の要約

#### 1) 東海地域研究会

静岡県、愛知県、三重県、岐阜県のエリアを念頭に本プロジェクトの研究成果をエリア内の防災・減災対策に活かすべく、地域研究会を 2 回開催した。東海地域研究会の代表幹事を名古屋大学の福和伸夫とし、メンバーには、エリア内の県や市町村などの地方自治体、国土交通省地方整備局、海上保安部、気象台、ライフライン事業者、港湾事業者、経済団体、地元の有力企業などが参加した。

#### 2) 関西地域研究会

大阪府、和歌山県、兵庫県のエリアを念頭に本プロジェクトの研究成果をエリア内の防災・減災対策に活かすべく、地域研究会を 2 回開催した。関西地域研究会の代表幹事を京都大学の牧紀男とし、メンバーには、エリア内の県や市町村などの地方自治体、国土交通省地方整備局、海上保安部、気象台、ライフライン事業者、港湾事業者、経済団体、地元の有力企業などが参加した。

#### 3) 四国地域研究会

高知県、徳島県、香川県、愛媛県のエリアを念頭に本プロジェクトの研究成果をエリア内の防災・減災対策に活かすべく、地域研究会を 2 回開催した。四国地域研究会の代表幹事を海洋研究開発機構の金田プロジェクトリーダーとし、メンバーには、エリア内の県や市町村などの地方自治体、国土交通省地方整備局、海上保安部、気象台、ライフライン事業者、港湾事業者、経済団体、地元の有力企業などが参加した。

#### 4) 九州地域研究会

福岡県、大分県、宮崎県、鹿児島県のエリアを念頭に本プロジェクトの研究成果をエリア内の防災・減災対策に活かすべく、地域研究会を 2 回開催した。九州地域研究会の代表幹事を海洋研究開発機構の金田プロジェクトリーダーとし、メンバーには、エリア内の県や市町村などの地方自治体、国土交通省地方整備局、海上保安部、気象台、ライフライン事業者、港湾事業者、経済団体、地元の有力企業などが参加した。

#### 5) 府省連絡会

昨年度より継続し、南海トラフ地震に対する府省連携での防災・減災対策を検討する協議会を立ち上げるための準備・調整作業を行い、南海トラフ地震に対する各府省の取り組みについて調査し、課題抽出を行った。

#### 6) 啓発・啓蒙活動

今年度は 1944 年東南海地震から 70 周年にあたるため、一般向けの東南海地震 70 周年シンポジウムを名古屋大学減災館で開催した。また、高知市内で減サイエンス塾と防災カフェをそれぞれ金田プロジェクトリーダーと関西地域研究会の牧代表幹事が講演を行った。

### (b) 業務の実施方法

#### 1) 東海地域研究会

静岡県、愛知県、三重県、岐阜県のエリアを念頭に地方自治体、国土交通省地方整備局、海上保安部、気象台、地方整備局、大学、ライフライン事業者、港湾事業者、経済団体、地元の有力企業などが参加した地域研究会を開催し、プロジェクトの研究成果を地域

に還元する。防災・減災対策において、現状の国と地域の現状を共有し、今後とるべき防災・減災対策を洗い出す。

## 2) 関西地域研究会

大阪府、和歌山県、兵庫県のエリアを念頭に地方自治体、国土交通省地方整備局、海上保安部、気象台、地方整備局、大学、ライフライン事業者、港湾事業者、経済団体、地元の有力企業などが参加した地域研究会を開催し、プロジェクトの研究成果を地域に還元する。防災・減災対策において、現状の国と地域の現状を共有し、今後とるべき防災・減災対策を洗い出す。

## 3) 四国地域研究会

高知県、徳島県、香川県、愛媛県のエリアを念頭に地方自治体、国土交通省地方整備局、海上保安部、気象台、地方整備局、大学、ライフライン事業者などが参加した地域研究会を開催し、プロジェクトの研究成果を地域に還元する。防災・減災対策において、現状の国と地域の現状を共有し、今後とるべき防災・減災対策を洗い出す。

## 4) 九州地域研究会

福岡県、大分県、宮崎県、鹿児島県のエリアを念頭に地方自治体、国土交通省地方整備局、海上保安部、気象台、地方整備局、大学、ライフライン事業者などが参加した地域研究会を開催し、プロジェクトの研究成果を地域に還元する。防災・減災対策において、現状の国と地域の現状を共有し、今後とるべき防災・減災対策を洗い出す。

## 5) 府省連絡会

南海トラフ地震に対する府省連携での防災・減災対策を検討する協議会を立ち上げるための準備・調整作業を行い、南海トラフ地震に対する各府省の取り組みについて調査し、課題抽出を行う。

昨年度に引き続き、南海トラフ広域地震に対する各府省が報道・広報している取り組みについての文献・資料の追加収集および整理を行い、より詳細な状況把握を進める。

同様に府省担当者へのヒアリングも継続し、昨年度から今年度にかけての状況変化等について情報収集を行う。これらの結果を分析し、前述している協議会の実施を実現するために役立つ情報整理を行う。

実施の手順としては下記の a) から d) である。

- a) 南海トラフ広域地震に対する各府省の取り組みについての文献・資料の収集（昨年度からの継続作業）
- b) 収集した文献・資料の整理
- c) 南海トラフ広域地震に対する各府省の災害情報と取り組みに関するとりまとめ
- d) 府省ヒアリング

## 6) 啓発・啓蒙活動

これらの活動は一般向けに広く防災・減災対策の現状を知ってもらうことと、実際に防災・減災対策を検討・実施している地方自治体との緊密な議論を交わすものがある。今年度実施した東南海地震 70 周年シンポジウムはプロジェクト現状と防災・減災における課題を一般と広く共有すること、減サイエンス塾は地元の一般に地域の防災上の課題を深く共有すること、減災カフェは地方自治体との緊密な議論を目的とした。

(c) 業務の成果

1) 東海地域研究会

7月23日と1月19日に名古屋市と津市において地域研究会を開催した。今年度から参加基礎自治体として東海地域の中核市である豊田市、岡崎市、豊橋市が新たに参加メンバーとして加わった。地域研究会の事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各研究会の開催内容を下記にまとめる。

7月23日の地域研究会は名古屋大学減災館で開催した(図3-3-①-1)。参加メンバーは、愛知県、岐阜県、三重県、岡崎市、豊田市、豊橋市、名古屋市、四日市市、第四管区海上保安本部、名古屋地方気象台、岐阜大学、名古屋工業大学、三重大学、名古屋港管理組合、中部電力株式会社、東邦ガス株式会社、東海旅客鉄道株式会社、中日本高速道路株式会社、名古屋商工会議所、名古屋第二赤十字病院、名古屋鉄道株式会社、トヨタ自動車株式会社、公益財団法人名古屋まちづくり公社、中部経済連合会、日本郵便株式会社(オブザーバー)である。プロジェクト側は、名古屋大学、海洋研究開発機構、京都大学、東京大学、東北大学、防災科学技術研究所、国土地理院から参加した。防災科学技術研究所の藤原広行氏から「防災・災害情報の共有と地震ハザード評価」について、特に基盤情報としての地下構造データベースや事前情報としての災害ハザードリスク評価、災害情報共有プラットフォームが紹介された。次に、防災科学技術研究所の長江拓也氏から「南海トラフ巨大地震時の都市建物被害とその対策」について、特にEディフェンスを使った実証実験や建物の地震防災力の向上が紹介された。その後、国土地理院の石関隆幸氏から国土地理院の電子防災情報システムについて、防災科学技術研究所の水井良暢氏から電子防災情報プラットフォームeコミマップについて紹介があった。

1月19日の地域研究会は津市のホテルグリーンパーク津で開催された。参加メンバーは、愛知県、三重県、静岡県、岡崎市、豊田市、豊橋市、名古屋市、四日市市、第四管区海上保安本部、津地方気象台、中部地方整備局、日本地震工学会、三重大学、名古屋港管理組合、中部電力株式会社、東海旅客鉄道株式会社、東邦ガス株式会社、中日本高速道路株式会社、名古屋第二赤十字病院、トヨタ自動車株式会社、公益財団法人名古屋まちづくり公社、日本郵便株式会社(オブザーバー)である。プロジェクト側は、名古屋大学、海洋研究開発機構、京都大学、防災科学技術研究所、文部科学省(オブザーバー)、リアルタイム地震・防災情報利用協議会(オブザーバー)から参加した。名古屋大学の野田利弘氏から「濃尾平野における液状化被害の拡大に繋がるもう一つの要因」について、特に濃尾平野の液状化の原因とそこに発生する表面波が被害を拡大させる可能性が紹介された。次に、名古屋大学の武村雅之氏から「1944年東南海地震の広域震度分布の再評価と被害の特徴」について、被害の検証と被害率が高い地域の原因が紹介された。さらに第四管区海上保安本部の中川正則氏から海上保安庁が作成している津波防災情報図の紹介があった。



図3-3-①-1 東海地域研究会開催風景。(左)第3回。(右)第4回。

## 2) 関西地域研究会

7月8日と1月19日に大阪市において地域研究会を開催した。地域研究会の事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各研究会の開催内容を下記にまとめる。

7月8日の地域研究会は大阪市ガーデンパレスで開催した(図3-3-②-1)。参加メンバーは、大阪府、和歌山県、関西広域連合(兵庫県)、大阪広域水道企業団、和歌山市、大阪管区气象台、和歌山地方气象台、神戸地方气象台、近畿地方整備局、人と防災未来センター、西日本高速道路株式会社、西日本電信電話株式会社、大阪ガス株式会社、関西電力株式会社、新日鐵住金株式会社、南海電気鉄道株式会社、東海・東南海・南海地震津波研究会、NTTコミュニケーションズ株式会社、日本郵便株式会社(オブザーバー)である。プロジェクト側は、京都大学、名古屋大学、海洋研究開発機構、東北大学、防災科学技術研究所、国土地理院、リアルタイム地震・防災情報利用協議会(オブザーバー)から参加した。和歌山県の中内啓文氏から「和歌山県のDONET観測情報の利活用」について、和歌山県が取り組む津波即時予測システムとその狙いが紹介され、海洋研究開発機構の高橋成実氏から「DONETを用いた津波浸水予測の高精度化」について、特に今後の展望が紹介された。続いて防災科学技術研究所の伊勢正氏から防災・災害情報の共有と自治体の災害対応における活用について、官民協働危機管理クラウドシステムが紹介された。その後、国土地理院の石関隆幸氏から国土地理院の電子防災情報システムについて、防災科学技術研究所の水井良暢氏から電子防災情報プラットフォームeコミマップについて紹介があった。

1月19日の地域研究会は大阪市の大阪国際交流センターで開催した。参加メンバーは、大阪府、和歌山県、大阪市、大阪管区气象台、神戸地方气象台、和歌山地方气象台、第五管区海上保安本部、近畿地方整備局、和歌山大学、関西大学、地震工学会、大阪広域水道企業団、NTTコミュニケーションズ株式会社、大阪ガス株式会社、関西電力株式会社、西日本電信電話株式会社、日本郵便株式会社(オブザーバー)である。プロジェクト側は、京都大学、名古屋大学、海洋研究開発機構、東京大学、防災科学技術研究所、徳島大学、文部科学省(オブザーバー)、リアルタイム地震・防災情報利用協議会(オブザーバー)、南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト運営委員会(オブザーバー)から参加した。名古屋大学の廣井悠氏から、「南海トラフ巨大地震時に予想される津波火災被害」について、特に津波火災の原因になる倒壊物の運搬先での延焼と山林火災への延焼のリスクが示された。次に東京大学加藤孝明氏から「延焼クラスターから地震火災を考える」について、特に延焼過程のモデル化と延焼クラスターの形成、地震火災を低減する都市計画や避難が紹介された。さらに、京都大学田中聡氏から「共通被害シナリオ構築」について、各県の復旧実績をもとに、復旧のシナリオの推移を時系列で表現する試みが紹介された。



図3-3-②-1 関西地域研究会開催風景。(左)第3回。(右)第4回。

## 3) 四国地域研究会

8月8日と1月26日にそれぞれ高知市と松山市において地域研究会を開催した。地域研究会の事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各研究会の開催内容を下記にまとめる。

8月8日の地域研究会は高知市高知新聞放送会館高新文化ホールで開催した（図3-3-③-1）。参加メンバーは、高知県、徳島県、香川県、愛媛県、室戸市、大阪管区气象台、高松地方气象台、高知地方气象台、徳島地方气象台、松山地方气象台、四国地方整備局、四国運輸局、香川大学、四国電力株式会社、四国ガス株式会社、西日本電信電話株式会社、高知日商プロパン株式会社、株式会社フィールドテクノ、日本郵便株式会社（オブザーバー）である。プロジェクト側は、海洋研究開発機構、名古屋大学、京都大学、防災科学技術研究所、国土地理院、リアルタイム地震・防災情報利用協議会（オブザーバー）、南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト運営委員会（オブザーバー）から参加した。海洋研究開発機構の高橋成実氏から「地震・津波観測監視システム-DONET2」について、リアルタイム波形を用いた津波即時予測が紹介された。続いて防災科学技術研究所の中村洋光氏から「防災・災害情報の共有とリアルタイム地震情報」について、初動対応に役立つシステムとしてリアルタイム地震被害推定システム（J-RISQ）が紹介された。その後、国土地理院の石関隆幸氏から国土地理院の電子防災情報システムについて、防災科学技術研究所の水井良暢氏から電子防災情報プラットフォームeコミマップについて紹介があった。

2月26日の地域研究会は松山市のホテルJALシティ松山で開催された。参加メンバーは、香川県、徳島県、高知県、四国地方整備局、四国運輸局、高松地方气象台、徳島地方气象台、松山地方气象台、高知地方气象台、愛媛大学、香川大学、徳島大学、日本地震工学会、四国ガス株式会社、四国電力株式会社、NTT西日本電信電話株式会社、株式会社NTTフィールドテクノ、日本郵便株式会社（オブザーバー）である。プロジェクト側は、海洋研究開発機構、名古屋大学、防災科学技術研究所、東京大学、リアルタイム地震・防災情報利用協議会（オブザーバー）から参加した。名古屋大学の野田利弘氏から「地震時の河川堤防の崩壊に関するいくつかの話題」として、液状化による河川堤防損傷のメカニズムとそれを抑制させる手法が紹介された。続いて四国地方整備局の小泉勝彦氏から「四国地震防災基本戦略の進捗」について、発災前、発災直後、発災後に分けた施策の紹介がなされた。その後、四国4県の防災担当部局より、防災対策の課題と今後の展望について紹介があり、議論された。



図3-3-③-1 四国地域研究会開催風景。（左）第3回。（右）第4回

#### 4) 九州地域研究会

8月5日と1月27日にそれぞれ大分市と鹿児島市において地域研究会を開催した。地域研究会の事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各研究会の開催内容を下記にまとめる。

8月5日の地域研究会は大分市のホルトホール大分で開催された(図3-3-④-1)。参加メンバーは、大分県、宮崎県、鹿児島県、九州地方整備局、大分地方気象台、大分大学、宮崎大学、新日鐵株式会社、株式会社地震工学研究開発センター、株式会社NTTフィールドテクノ、九州運輸局(オブザーバー)、日本郵便株式会社(オブザーバー)、である。プロジェクト側は、海洋研究開発機構、東京大学、防災科学技術研究所、国土地理院、南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト運営委員会(オブザーバー)から参加した。東京大学の原田智也氏から「史料調査と津波シミュレーションによる過去の南海トラフ沿い巨大地震の見直し」について、慶長地震津波の震源は小笠原沖である可能性が紹介された。続いて新日鐵大分の金井則之氏から「BCPを考慮した地震・津波対策」について、3次元津波シミュレーションを用いた津波減災対策が紹介された。その後、国土地理院の石関隆幸氏から国土地理院の電子防災情報システムについて、防災科学技術研究所の水井良暢氏から電子防災情報プラットフォームeコミマップについて紹介があった。

1月27日の地域研究会は鹿児島市のサンプラザ天文館で開催された。参加メンバーは、大分県、宮崎県、鹿児島県、鹿児島地方気象台、九州地方整備局、宮崎市、肝付町、鹿児島大学、新日鐵住金株式会社、株式会社地震工学研究開発センター、株式会社NTTフィールドテクノ、九州運輸局(オブザーバー)、九州経済連合会(オブザーバー)、である。プロジェクト側は、海洋研究開発機構、名古屋大学、京都大学、東京大学、防災科学技術研究所、文部科学省(オブザーバー)、リアルタイム地震・防災情報利用協議会(オブザーバー)、南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト運営委員会(オブザーバー)から参加した。名古屋大学の曾根氏から「大地動乱の時代を生き抜くために - 「斜面災害」の視点から考える-」について、震度5強以上で発生する斜面災害のリスクが紹介された。九州地方整備局の三浦錠二氏からは「九州における津波防災地域づくりの先進事例の紹介」について、宮崎市の例として津波避難を時系列で表現し、避難タワーや避難指定ビルを指定する取り組みが紹介された。



図3-3-④-1 九州地域研究会開催風景。(左)第3回。(右)第4回。

## 5) 府省連絡会

### a) 南海トラフ広域地震に対する各府省の取り組みについての文献・資料の収集

南海トラフ広域地震に対する各府省が報道・広報している取り組みについての文献・資料収集および整理を以下の手順で実施した。なお、昨年度実施した調査の追跡・追加調査である。

- i) 各府省の報道・広報のポータルサイトで「南海トラフ」でのキーワード検索を行った。なお、復興庁など、一部の「庁」についても必要に応じて調査することとした。
- ii) キーワード検索で表示されたポータルサイトで公開されている情報をダウンロードするとともに、ポータルサイト情報をテキスト化し、情報管理シートとして作成した。
- iii) ダウンロードした情報は情報管理シートとリンクさせ、整理した。

iv) 上記の手順で収集した行政機関は、図 3-3-⑤-1 とした。

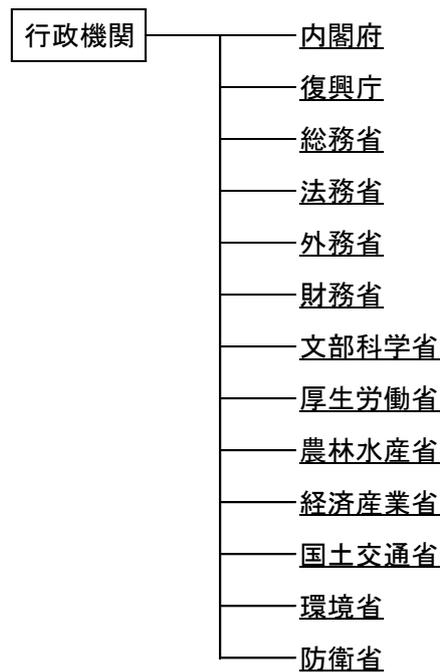


図 3-3-⑤-1 対象とした行政機関

b) 収集した文献・資料の整理

表 3-3-⑤-1 は昨年度の各府省の取り組みをまとめた情報管理シートに今年度分の追加・修正を加えたものである。

黄色着色した箇所が昨年度より変更されている。なお、農林水産省の灰色着色の箇所は今年度削除されており閲覧できなくなっていることを確認した。

表 3-3-⑤-1 各府省の取り組み情報管理シート ※黄色部分が今年度変更箇所

行政機関	事前の備え (命を守る)	発災後の対応 (救急救命)	被災者支援と復旧・復興 (被災地への支援・施設復旧)	調査(被害認定 含む)	助成	研究開発	制度	法策(カッコ内の日は発布日)
内閣府	中央防災会議 防災対策推進検討会議の最終報告(H24.7)～ゆるぎない日本の再構築を目指す～							震災対策のあゆみ
	南海トラフの巨大地震モデル検討会							我が国の地震防災に関する法律体系
	南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ							南海トラフ巨大地震対策特別措置法 (H25.12.7)
	南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会							災害対策基本法(S36.11.15)
	南海トラフ巨大地震対策協議会							大規模地震対策特別措置法(S53.6.15)
復興庁			復興庁について 東日本大震災に関する復興への取り組み		復興庁について 東日本大震災に関する復興への取り組み	復興庁について 東日本大震災に関する復興への取り組み		東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法(H14.7.26)
総務省	災害に強い電子自治体に関する研究会							地震防災対策強化地域における地震対策緊急事業に係る国の財政上の特別措置に関する法律(H16.4.2)
	重点施策(25年度報告表) ICTで開拓する防災と安心・安全 ――南海トラフ巨大地震対策の推進―							地震防災対策特別措置法(H7.6.16)
	情報伝達手段確保に係る取り組み(組織体制及び施策)							津波対策の推進に関する法律(H23.6.24)
近畿総務								津波防災地域づくりに関する法律(H23.12.24)
東海総務								日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る地震防災対策推進に関する特別措置法(H18.4.2)
消防庁	南海トラフ巨大地震・首都直下地震等に対応した消防用設備等のあり方に関する検討部会 ～大地震発生に備えた消防用設備等の設置基準のあり方～(H23.8)						南海トラフ巨大地震・首都直下地震等に対応した消防用設備等のあり方に関する検討部会 ～大地震発生に備えた消防用設備等の設置基準のあり方～	原子力災害対策特別措置法(H11.12.17)
	「津波避難対策推進マニュアル検討会報告書」の公表							活動火山対策特別措置法(S48.7.24)
法務省			大規模な災害の被災地における借地借家に関する特別措置法第二条第一項の特定大規模災害及びこれに対し適用すべき措置等を決定する政令について					被災者生活再建支援法(H10.5.22)
			大規模な災害の被災地における借地借家に関する特別措置法について					特定非常災害の被害者の権利利益の保全等を図るための特別措置に関する法律(H8.6.14)
			法制審議会一被災関連借地借家・建物区分所有法制部会					激甚災害に対処するための特別の財政援助等に関する法律(S37.9.6)
外務省	外務省の対応～外務省防災業務計画							東日本大震災に対処するための特別の財政援助および助成に関する法律(H23.5.2)
財務省			地震保険制度に関するプロジェクトチーム会議報告					阪神・淡路大震災に対処するための特別の財政援助および助成に関する法律(H7.3.11)
文部科学省	東海・東南海・南海地震の運動性評価研究プロジェクト							大規模な災害の被災地における借地借家に関する特別措置法第二条第一項の特定大規模災害及びこれに対し適用すべき措置等を決定する政令について
	南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト							法制審議会一被災関連借地借家・建物区分所有法制部会
防災科研	南海トラフ巨大地震発生による富士山噴火運動評価に関する研究							
JAMSTEC	南海トラフ地震発生帯掘削計画							
厚生労働省	管路の耐震化に関する検討会							
	「東日本大震災に対処するための特別の財政援助及び助成に関する法律(平成23年法律第40号)」について							
農林水産省	平成24年度第2回技術小委員会							
	農業・農村の復興マスタープラン							
経済産業省	「災害対策特別委員会」							
	電気設備自然災害等対策ワーキンググループ							
国土交通省	中央防災会議による「南海トラフ巨大地震に係る調査・調査等」について(内閣府)また、中部電力株式会社浜岡原子力発電所における影響評価及び対策に係る報告を受領							
国土交通省	南海トラフ巨大地震対策計画中間とりまとめ～初期体制から施設復旧までの計画～							
	巨大地震に備えて建築物耐震システムの実用化に関する総合的な対策の検討を進めるための「巨大地震発生時における災害復旧対策検討委員会」発足(継続中)							
水産庁	フナジャーボートの適正管理及び利用環境改善のための総合的対策に関する推進計画							
環境省	防衛省防災業務計画(H24.12.21)							
防衛省	自衛隊南海トラフ地震対策計画の概要							
防災白書	防災白書(平成13年～平成25年)							

1行目には、行政機関(図3-3-⑤-1の行政機関)、事前の備え・発災直後の対応・支援・復旧・復興(内閣府の最終報告で明示された南海トラフに対する対応項目)、調査・助成・研究開発・制度および法律の欄を設けた。

この表で行政機関列の府省名をクリックするとその府省で報道・公表されている南海トラフに関する情報の pdf ファイルを整理した目次の表が表示され、この表に記載されている青色で表示された文書名をクリックすると閲覧したい文書が見られるよう整理した。

また、1行目の一番右「法律」の欄をクリックすると法律に関する目次が表示され、法律に関する pdf ファイルが閲覧できるようにした。さらに、1行目の2列以降の「事前の備え～制度」の下の行に記載された青色の文をクリックすると記載された報道・公表されているポータルサイトの pdf 文書が表示されるようにした。

c) 南海トラフ広域地震に対する各府省の災害情報と取り組みに関するとりまとめ

各府省の南海トラフ広域地震に対する取り組みについて、入手できた文献・資料等の内容からそれぞれが災害に対してどのような役割や対策を実施するのか区分けを行った。

i) 内閣府

全体とりまとめを実施。

ii) 復興庁

復旧・復興のための調整を実施。

iii) 国土交通省

管轄するインフラ設備について、事前対策の実施と啓発。発災直後の迅速な情報収集・発信と人的支援。復旧時の応急対策・情報発信。復興時のインフラ整備と次の災害への対処。

iv) 農林水産省

管轄する農水分野事業（農地、農道、ため池、水産業など）について、事前対策の実施と啓発。復旧時の応急対策・土地改良など。復興時の事業支援制度。

v) 総務省

管轄する通信・自治等について、事前対策の実施と啓発。発災後の自治体への法的・人的支援と情報通信インフラの状況把握・再整備・対策。

vi) 財務省

被災地域に対する生活財政支援の実施。

vii) 文部科学省

災害発生 of 科学的調査と、次の災害の事前対策に役立てられる研究成果作成。

viii) 経済産業省

被災地域に対する事業継続支援のための政策と実施。

ix) 厚生労働省

災害時医療対応の事前計画。DMAT の派遣。復旧から復興時期の被災者生活支援・メンタルケア。

x) 外務省

防災技術の国際貢献。災害時の国際相互協力促進。

xi) 環境省

災害廃棄物の対応と政策立案。

xii) 防衛省

自衛隊の災害派遣。復旧時期の人道支援を実施。

これらの項目を図化したものが、図 3.3.5.2 である。

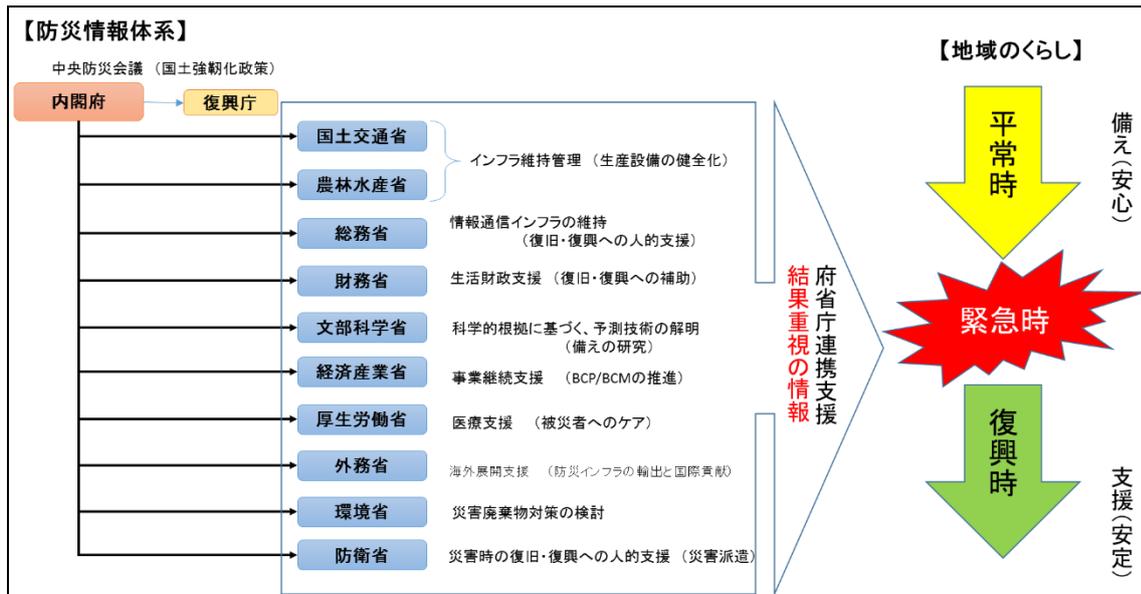


図 3-3-⑤-2 府省の役割イメージ

また、これら国の役割がどのように各地域（自治体）での災害対策の取り組みに活用されるのかを、2)で収集した府省の情報の内容より推測し、相互の関連マトリクス（案）（表 3-3-⑤-2）を作成した。

この表からは、ユーザ側から必要とされている国の情報・支援がどの府省にまたがり存在するのかを推測することができる。

表 3-3-⑤-2 各府省の取り組みと地域防災との関連マトリクス（案）

政策課題 (キーワード)	機関名	防 災 政 策	地域防災の連携					
			平常時(防災対策)		緊急時(情報伝達)		復興時(復旧対策支援)	
			自治体	地域住民	自治体	地域住民	自治体	地域住民
防災政策	内閣府	防災対策推進検討会議 最終報告	防災対策の衆知徹底		各府省庁連携の 緊急支援体制の発動		防災対策の見直し 新たな課題への政策立案	
社会 イン フラ 維持	国土交通省	南海トラフ巨大地震対策計画	河川・港湾などの災害対策 土砂災害(危険度情報) (耐震補強・診断・観測網強化)		被害状況の把握と 復旧への初動体制		新たな災害対策基準の見直し	
	農林水産省	水路・ため池施設の 耐震設計基準の改訂	ため池・農業施設の災害対策 (地盤・施設耐震診断・保守) (遠隔監視などの強化)		被害状況の早期把握と 早期復旧への初動体制		新たな災害対策基準の見直し	
	総務省	大規模集客施設の防災対策 災害に強い通信インフラ構築	通信施設の維持・緊急時の 通信網の確保		緊急通信網の発動 通信状況の把握と復旧体制		通信基盤の強化と整備	
税務対策	財務省	特別会計改革 (地震保険制度の充実)	災害援助法などに伴う 緊急融資対策 等				災害補償制度の見直し	
廃棄物処理	環境省	巨大地震発生時における 災害廃棄物対策の検討					被災物の環境汚染対策	
人道支援	防衛省	災害対策基本法に基づく 自衛隊南海トラフ 巨大地震対処計画	緊急時における災害 人道支援体制の維持		発災時の初動体制		被災地における救助支援	
エネルギー の安全 企業支援	経済産業省	原子力発電所の安全対策 中小企業の災害対策 電力システムの耐性強化	電力システムの強化対策 企業のBCPの促進		産業別被害状況の把握		企業の災害復興支援	
科学解明	文部科学省	防災科学研究戦略の推進 (社会実装に向けた研究)	科学的根拠に基づいた 災害予測技術情報の提供 (ハザード情報 等)		リアルタイム情報の発信 J-RISK等		災害発生の科学的検証	
補償制度	法務省		地震保険や災害時の 補償制度の提供				地域の災害規模の把握と 補償の早期実施(安定生活) 新たな災害法整備	
国際貢献	外務省	防災技術(日本の技術力)の グローバル展開	日本の災害技術による 国際貢献(技術輸出)				災害支援要請 復興力の発信(国力の安定)	

各地域（自治体）での災害対策のカテゴリーとして「防災政策全般」、「平常時」「緊急時」「復旧・復興時」の4つに区分しまとめると下記のように要約できる。

i) 防災政策：内閣府を中心として、ほぼすべての府省の計画・情報が利用されている。

特に社会インフラ整備計画についてはどの地域でも大きな事業として実施されており、ハード面での事前対策の主体となっている

- ii) 平常時の防災対策：ハード面でのインフラ整備の実施と、ソフト面でのルール・仕組み形成と啓発等の人材育成が主体である。東日本大震災の後は融資や地震保険などの財政・保障面での啓発も重視されている
- iii) 緊急時の情報伝達：自然災害の詳細情報と、それにより生じた被害に関する各種情報の集約・発信と、各組織（国、自治体）の初動体制状況の把握が重視されている
- iv) 復旧・復興時の対策支援：災害の科学的検証を行い、今後の対策方針を示し、これまでの計画と制度を見直し次の災害に備える。速やかな復興を目指すため、地域再生につながる経済的な対策を実施することが重視されている

災害現場（エンドユーザ）となる各地域（自治体）が上記のようなことを実施・対応できるように、国としての府省は、関連する情報・人材の連携を強化していくべきであると考えられる。

#### d) 府省ヒアリング

##### i) 昨年度ヒアリング内容の再検討

昨年度は、内閣府（防災担当）、国土交通省、総務省（消防）、農林水産省、文部科学省の5つを対象として南海トラフ巨大地震対策に関する府省間の連携、情報の共有、情報の利活用についてヒアリング調査を行った。

それら調査内容を再検証した結果、府省連携について即すためには、国レベルでの組織間の課題を考えることは当然であるが、災害現場（エンドユーザ）レベルでのニーズから必要性を考えることも重要であると推測された。今年度のヒアリングでは、災害時の現場視点の話題から府省連携の必要性を探る方針とした。

##### ii) 今年度ヒアリング

今年度は、災害時に実務的な活動が主体となる可能性の高い府省を選び、災害時の連携についてヒアリングを行った。対象としたのは、上記 i) で前述している中から内閣府、国土交通省、総務省の1府2省である。

#### 6) 啓発・啓蒙活動

2014年11月3日に、減サイエンス塾「寺田寅彦先生の地球科学観に学ぶ 一減災科学研究（げんさいえんす）の推進一」を高知市の寺田寅彦記念館で開催した（図 3-3-⑥-1）。地元の一般の方々と深く防災・減災を議論することを目的とした。講演は海洋研究開発機構の金田義行プロジェクトリーダーが行った。21名の聴講者であったが、動画シミュレーションを市民が見られるようにしてほしい、研究が進んでいることはわかったが、どこまで市民に理解されるだろうか、少人数で聴講できてわかりやすかった、減災教育も必要で、子供、若者、親にも聞いてほしい、今後もこういう機会を持ってほしいといった意見が寄せられた。

2015年1月7日に、シンポジウム「昭和東南海地震から70年 -次の地震への備えは-」を名古屋大学減災館で開催した（図 3-3-⑥-2）。このシンポジウムでは、前半が研究者からの基調講演、後半がパネルディスカッションとして、全体を2部構成とした。基調講演は、海洋研究開発機構の金田義行プロジェクトリーダーから「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトの現状と展望」、東京大学の古村孝志氏から「地震・津波発生予測研究の現状と課題」、名古屋大学の福和伸夫氏からは「地域対応力向上への取り組み」、東京大学の田中淳氏からは「減災に向けた人文社会学系研究のあり方」について、講演がなされた。後半のパネルディスカッションは京都大学の牧紀男氏の進行で、上記4名の基調講演者に国土交通省中部地方整備局の井口泰行氏を合わせた5名で行われた。最後に本プロジェクトの本蔵義守運営委員長から総評を頂いた。シンポジウムの来場者は263名で、1階で行われているシンポジウムを2階で中継する形で進めた。中京テレビ放送、名古屋テレビ、

NHK 名古屋、CBC テレビ、NHK 放送文化研、読売新聞、共同通信社から取材を受けた。シンポジウム後に頂いたアンケートでは、講演とパネルのバランスが大変良かった、各スピーカーの方の話がうまくつながっておもしろく感じた、技術は日々進歩していることを実感した、多面的に現状を把握しやすかった、工学・理学の考え方に人文社会学の考え方を入れこむことは大変おもしろい、たいへん参考になった、等のコメントを頂いた。しかし、詳しい内容は学術的すぎて理解できなかった、自分や地域にとって何ができるのか、何をしなければならないのかのイメージや具体的なきっかけの発見に至らなかった、というコメントもあり、今後の反省点である。また、今後、期待したいこととして、更なる情報発信、プロジェクト成果の国・地域の対策への早期の反映、府省の枠組み、分野の違い等を超えた横の連携、災害弱者に対しての情報提供、一般市民の意識向上につながるような運営、継続的に世代を通じて防災・減災教育をできる環境作り、予測精度向上と事前防災、住民の立場で考えなければならない視点、予測できていないものの国民への周知、DONET3 の整備、必要な所への人材と予算の確保等が挙げられた。

2015年2月20日には、京都大学の牧紀男氏が高知県庁地震対策本部で減災カフェを実施した(図3-3-⑥-3)。「高知の災害からの復興を考える」をタイトルに、1)長期湛水 2)人口減少 3)高知の中心部の被害をキーワードとして議論をした。特に事前復興と街づくりを如何に進めるのか、進めるために必要なことは何か、との質問に、事前に地域で議論を進め、各地域での判断を得て尊重することが大切であることが議論された。高知県の土地計画では、現在、復興指針を策定中である、とのことであった。



図 3-3-⑥-1 減サイエンス塾の風景。



図 3-3-⑥-2 東南海地震 70 周年シンポジウムの風景



図 3-3-⑥-3 減災カフェの風景

(d) 結論ならびに今後の課題

プロジェクト側の研究者からの話題提供、海上保安庁や国土交通省地方整備局といった国の施策の話題提供をして頂いた。情報提供については、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）との連携が必要であるが、国と府県、さらには市町村との連携、緊急時の運用の難しさが議論された。また、液状化や火災、建築物の耐震性実証、斜面災害、津波即時予測といった最新の成果も報告され、各地域の実情に合わせた議論が必要である。また、過去の震源モデルや被害の再検討の成果も報告された。今後の被害像を把握するためにも、このような検討が今後必要である。各県では国土強靱化計画や地域防災計画立案が進んでおり、今後、研究成果の地域への実装を考えると、より地域との綿密なニーズの吸い上げと研究とのマッチングが必要になってくると思われる。府省連絡会については、戦略的イノベーション創造プログラムとの連携が今後必要になる。

南海トラフ広域地震に対する各府省の取り組みについての文献・資料の収集作業からは、以下のことがわかった。(1) 順次新しい知見を取り入れて検証されたプロジェクトや委員会等の成果物が公開されている。(2) 科学的な調査・検証や、東日本大震災の教訓などが活かされており事前対策と災害時の対応だけでなく、復旧・復興に関する内容もより多く記載されている。(3) 地域（自治体）視点からのニーズである、各府省の管轄の枠を超えた複合的な災害対策を実施していくには、まだ相互連携が若干不足しているように思われる。今年度の府省ヒアリングでは、以下の話題があげられた。(1) 機械的に情報を蓄積するだけでなく、災害現場で本当に必要とされている情報を選別し共有すべき。(2) 現地で求められる局所的な情報もカバーするためには国だけではなく地域自治体との連携も必要。(3) 府省間では基本的にどのような情報も共有するのが望ましい。ただし、各府省それぞれの役割分担の調整が必要。各府省とも災害時連携の重要性については肯定的な意見であった。特に災害現場（エンドユーザ）の活動で求められている情報の内容は、府省いずれか単独のものではなく、複数にまたがることが予想され、そのためにも組織間での情報共有がスムーズに行われる必要があるとの認識は一致していた。昨年度よりも着実に府省連携の必要性があるとの意識が大きくなっているように思われ、今後も、継続的に関係強化を推し進める活動を行うべきである。

(e) 引用文献

- 1) 防衛省，自衛隊南海トラフ地震対処計画の概要，<http://www.mod.go.jp/js/Press/press.htm>。
- 2) 外務省，外務省防災業務計画，<http://www.mofa.go.jp/mofaj/annai/shocho/bosai/>。
- 3) 内閣府，南海トラフ地震対策，<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html>。
- 4) 経済産業省，産業構造審議会保安分科会電力安全小委員会電気設備自然災害等対策ワーキンググループ - 議事要旨，

[http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/denryoku\\_anken/denki\\_setsubi\\_wg/001\\_haifu.html/sankoushin/hoan/denryoku\\_anken/denki\\_setsubi\\_wg/002\\_giji.html](http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/denryoku_anken/denki_setsubi_wg/001_haifu.html/sankoushin/hoan/denryoku_anken/denki_setsubi_wg/002_giji.html).

- 5) 国土交通省, 国土交通省南海トラフ巨大地震対策計画中間とりまとめ,  
[http://www.mlit.go.jp/saigai/saigai\\_nankai-trough.html](http://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_nankai-trough.html).
- 6) 文部科学省, 東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト,  
[http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/tokai\\_pro/](http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/tokai_pro/).
- 7) 文部科学省, 南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト,  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/hyouka/kekka/1326806.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/hyouka/kekka/1326806.htm).
- 8) 農林水産省, 「農業・農村の復興マスタープラン」を策定,  
[http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/higai\\_taio/master\\_plan.html](http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/higai_taio/master_plan.html).

### (3) 平成 27 年度業務計画案

平成 26 年度は、地域の被害想定や地域防災計画の構築をにらんで、プロジェクト側からの話題提供と国の施策の情報共有を行った。平成 27 年度は引き続き年 2 回の地域研究会の開催を行う予定であるが、特に四国と九州については、地域ごとの防災・減災対策の特徴が大きくことなるため、地域研究会は年度後半の 1 回とし、各県とのより密着した議論を進めるための分科会を年に数回開催する。また、今年度に引き続き、減災カフェ等を通じた南海トラフ巨大地震・津波の啓発活動、啓蒙活動に努める。府省連携会議を即すための調査を南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト単独で実施してきたが、次年度以降は別の国プロジェクトである戦略的イノベーション創造プログラムにて実施される府省連携の活動と連携・協力し引き続き実施していく予定である。

### 3.4 災害対応・復旧復興研究

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 「災害対応・復旧復興研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人 京都大学 防災研究所	教授 助教 研究員	牧紀男 鈴木進吾 田中傑
国立大学法人 東京大学 生産技術研究所	准教授	加藤孝明
国立大学法人 東京大学 大学院 工学系研究科都 市工学専攻	准教授	村山顕人

(c) 業務の目的

南海トラフ巨大地震を想定した復興準備のため、歴史的資料や土地利用・建物・人口等の減災に関わる情報の収集及び将来の地域特性評価システムの構築等を行い影響シナリオ構築のための環境整備を行う。

また、復興・復旧対策の検討に向けて、地震動の到達時間が短く、既成市街地に津波による大きな被害が想定される地域を対象に、復旧・復興計画立案に必要な行政制度、地域社会の仕組み、民間の人材、地域災害文化の現状についての基礎的調査を行う。

(d) 8か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度：

南海トラフ巨大地震を想定した復興準備のため、歴史的資料や土地利用・建物・人口等の減災に関わる情報の収集及び将来の地域特性評価システムの構築等を行い影響シナリオ構築のための環境整備を行った。また、復興・復旧対策の検討に向けて、地震動の到達時間が短く、既成市街地に津波による大きな被害が想定される地域を対象に、復旧・復興計画立案に必要な行政制度、地域社会の仕組み、民間の人材、地域災害文化の現状についての基礎的調査を行った。

平成 26 年度：

南海トラフ巨大地震を想定した復興準備のため、歴史的資料等減災関連情報の収集、将来の地域特性評価システムの構築・検証、被害イメージ共有のための基礎的

考察と影響シナリオ構築のための環境整備を行った。また、復興・復旧対策の検討に向けて、地震動の到達時間が短く、既成市街地に津波による大きな被害が想定される地域を対象に、復旧・復興計画立案に必要な行政制度、地域社会の仕組み、民間の人材、地域災害文化の現状についての基礎的調査を行い、事前復興計画を策定するための基礎的検討を行った。

平成 27 年度：

影響評価システムの構築、事前計画策定の検証。

将来の地域特性シミュレーション、詳細被害シミュレーションシステムの構築を行うとともに、事前復旧・復興計画策定プロセスの検証・開発を行う。

平成 28 年度：

影響評価、事前計画システムのプロトタイプ構築。

将来の地域特性シミュレーション、詳細被害シミュレーションシステムから構成される南海トラフ巨大地震の影響評価システムのプロトタイプの構築を行うと共に、事前復旧・復興計画システムの現地での導入試験を行い、プロトタイプの構築を行う。

平成 29 年度：

影響評価、事前計画システムの地域での実装・検証（名古屋・三重・関西）。

南海トラフ巨大地震の影響評価システム、事前復旧・復興計画策定システムを名古屋・三重、関西地域の都市地域、非都市地域で実際に利用し、事前復旧・復興計画の策定を行うと共に、システムの問題点の検証を行う。

平成 30 年度：

影響評価、事前計画システムの地域での実装・検証（四国・静岡・九州）。

南海トラフ巨大地震の影響評価システム、事前復旧・復興計画策定システムを四国、静岡、九州地域の都市地域・非都市地域で実際に利用し、事前復旧・復興計画の策定を行うと共に、システムの問題点の検証を行う。

平成 31 年度：

影響評価、事前計画システムの地域でのチューニング、南西諸島での実装・検証。

南海トラフ巨大地震の影響評価システム、事前復旧・復興計画策定システムについて、これまでの検証結果に基づくチューニングを行うと共に、南西諸島において本システムを利用した事前復旧・復興計画の策定を行うと共に、システムの問題点の検証を行う。

平成 32 年度：

全体とりまとめ。

南海トラフ巨大地震の影響評価システム、事前復旧・復興計画策定システムについての汎用化を図ると共に、開発したシステムの普及活動を行う。

(e) 平成 26 年度業務目的

南海トラフ巨大地震を想定した復興準備のため、歴史的資料や土地利用・建物・人口等の減災に関わる情報の収集及び将来の地域特性評価システムの構築等を行い影響

シナリオ構築のための環境整備を行う。

また、復興・復旧対策の検討に向けて、地震動の到達時間が短く、既成市街地に津波による大きな被害が想定される地域を対象に、復旧・復興計画立案に必要な行政制度、地域社会の仕組み、民間の人材、地域災害文化の現状についての基礎的調査を行う。

## (2) 平成 26 年度成果

### ①災害による地域への影響を把握するための「地域特性評価システム」の高度化

#### (a) 業務の要約

災害による地域への影響シナリオを構築するために平成 25 年度に開発した「地域特性評価システム」を日本全国に拡張する一方、そのシステムの高度化・精緻化を図った。

#### (b) 業務の実施方法

昨年度、公益財団法人統計情報研究開発センター（SINFONICA）が提供する 1990～2005 年国勢統計調査の男女別・5 歳階級別人口データ（1km メッシュ）を用いて兵庫県南部地震（1995 年）が震災前の人口トレンド（上述の男女別・5 歳階級別人口データに基づき、コーホート要因法によって推計）にいかに関与を及ぼしたのかを明らかにする一方、大阪府および和歌山県を対象として、人口の再生産力の強さに着目した地域特性評価（年齢構成比に基づいたクラスター分析により「持続類型」、「依存類型」、「限界類型」の 3 つに区分）を実施したが、今年度は後者の対象を日本全国に拡張し、将来の南海トラフ巨大地震による影響シナリオを構築する準備をおこなった。

また、類型の判別基準を昨年度までは大阪府および和歌山県のデータを根拠に算出・定義していたが、今年度は全国のデータを根拠に算出した。

#### (c) 業務の成果

##### 1) 日本全国における地域特性評価の分析

過年度に実施していたChenらの手法<sup>1)</sup>では、大阪府と和歌山県の調査年ごとのデータのみを対象としていたが、平成25年度より、データの地域性の問題を解消するため、全国データを複数年度統合したものを扱うこととした。平成25年度は、データが大規模となるため、Chenらの手法をもととした階層クラスター分析では、

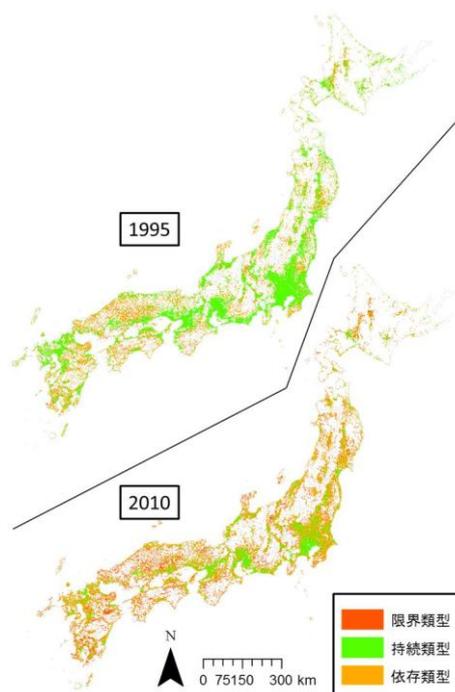


図 3-4-①-1 類型結果の全国分布  
(1995 年および 2010 年)

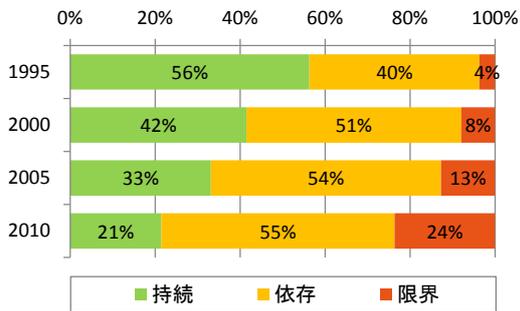


図 3-4-①-2 調査年次ごとの類型結果

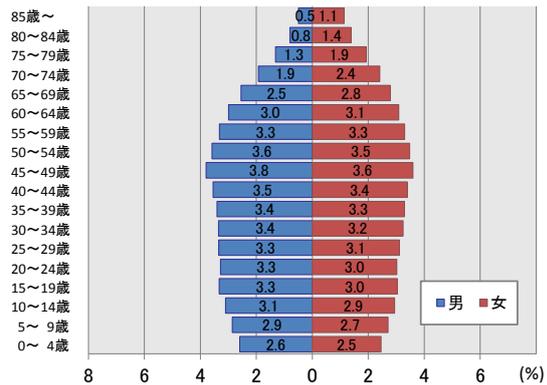


図 3-4-①-3 調査年次ごとの類型結果

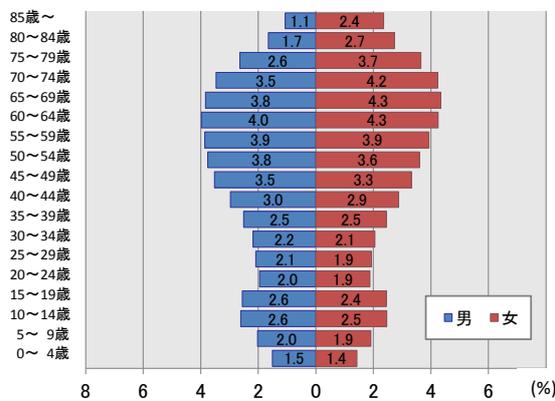


図 3-4-①-4 調査年次ごとの類型結果

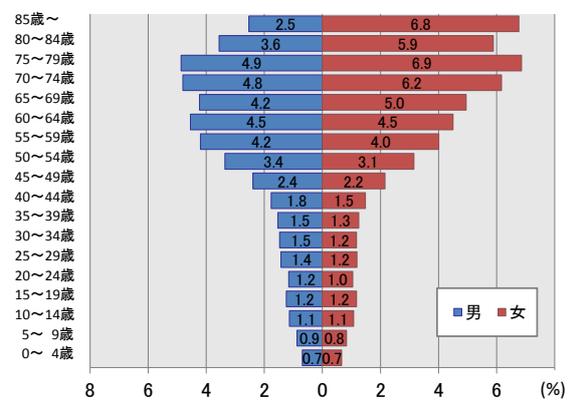


図 3-4-①-5 限界類型の人口ピラミッド

汎用の計算環境で収束させることは困難であることが分かった。

そこで、平成26年度は、大規模データの分析に適した非階層クラスター分析の代表的な手法であるk-means法を利用し、4カ年度（1995～2010年度）の国勢調査地域メッシュ統計を統合したデータを用いたクラスター分析の結果、3つの地域特性類型を抽出した（図3-4-①-1～5は、佐藤ら<sup>2)</sup>より引用）。

## 2) 陳氏モデルとの差分抽出

陳氏モデルによる地域類型判別と1)において行った分析結果との差分を抽出するため、陳氏モデルによる係数を用いた最短距離判別式を用いて、1)データの判別

表 3-4-①-1 陳氏モデル係数による最短距離判別式分類結果

(年度)	(件数)				(割合)		
	持続	依存	限界	合計	持続	依存	限界
1995	35,412	93,171	8,049	136,632	25.9%	68.2%	5.9%
2000	37,919	90,940	7,964	136,823	27.7%	66.5%	5.8%
2005	40,201	74,593	8,428	123,222	32.6%	60.5%	6.8%

を行った（陳氏モデルにおいては1990年～2005年、1）では1995～2005年のデータが用いられていたため、比較対象は1995～2005年の3か年となる）。（図3-4-①-6, 7）

1995年と比較し、2005年では依存類型が減少し、持続類型および限界類型が増えるという結果となった（表3-4-①-1）。

1）では、持続が減少し、依存、限界が増えていた（図3-4-①-2）。陳氏モデルにおいては、大阪和歌山のみを基準にモデル係数を作成していたため、全国の人口構成と比較した場合、人口が比較的多く、持続とされる分類が多かったことが考えられる。

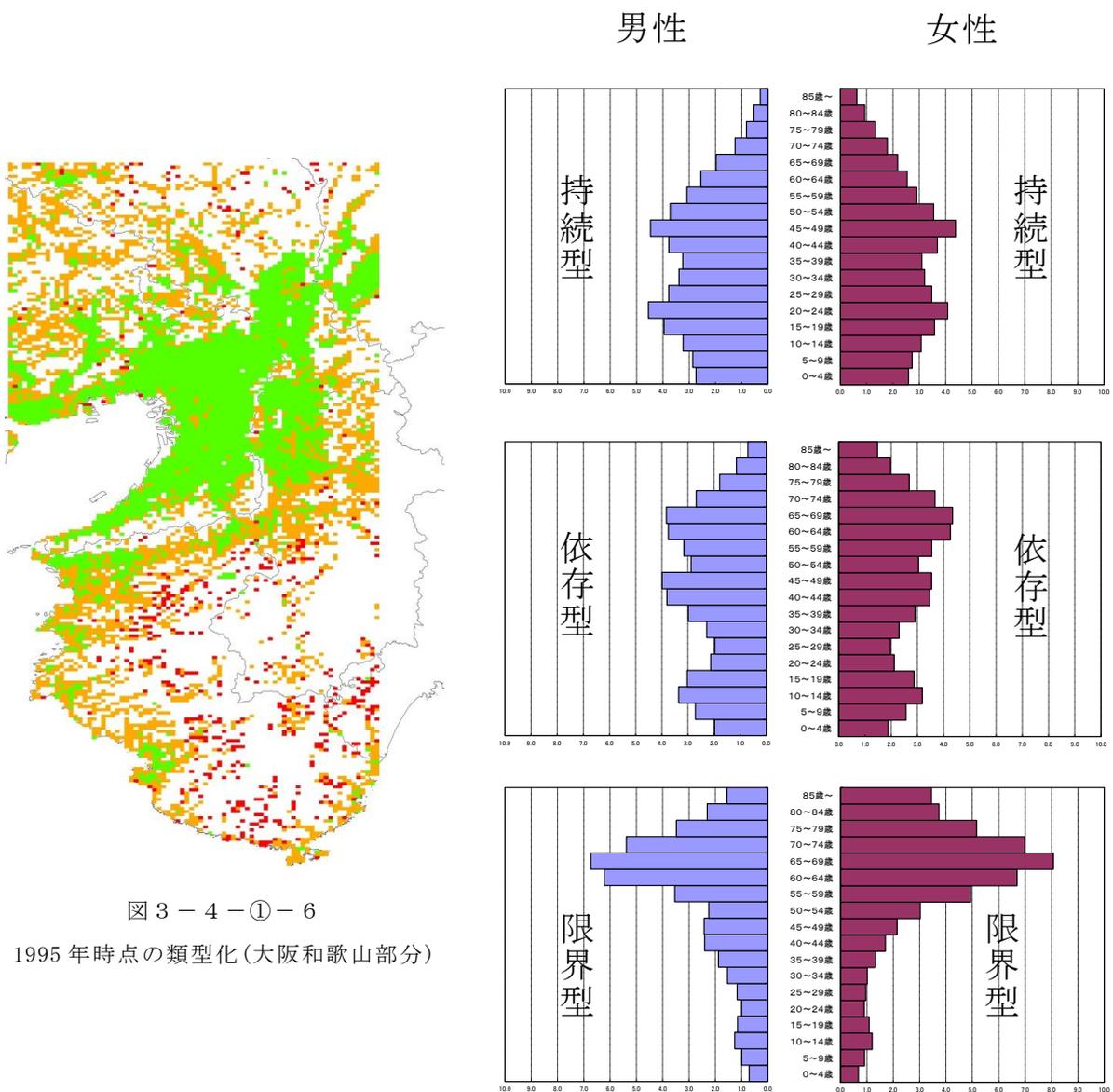


図3-4-①-6

1995年時点の類型化(大阪和歌山部分)

図3-4-①-7 1995年類型別人口構成(大阪和歌山)

(d) 結論ならびに今後の課題

地域特性評価の手法を日本全国へ拡張し、過去の大規模災害が人口構成のトレンドにどのような影響をあたえたかを分析する準備が出来た。今後は評価手法の精緻化を

進めるとともに、本作業の成果を踏まえた南海トラフ巨大地震の想定被災エリアにおける被害シナリオの構築および事前復興計画の策定を検討することが課題となる。

(e) 引用文献

1) Chen, H., Maki, N., Hayashi, H.: Evaluating the Impact of Demographic Transition in the Context of Tokai-Tonankai-Nankai Earthquake, Japan, Journal of natural disaster science, Vol.31, No.2, pp.19-30, 2009.

2) 佐藤慶一、牧紀男、堀田綾子、岸田暁郎、田中傑 被災前の人口トレンドが被災地の地域人口構造へ与える影響、一阪神・淡路大震災と新潟県中越地震を対象として、地域安全学会論文集 No.24、pp.293-302 2014年11月

②中部地方における事前復興計画の策定実践

(a) 業務の要約

平成25年度に構築した東海4県の人口増減と複合災害危険度の情報を含む空間データベースを活用し、静岡県吉田町及び三重県尾鷲市中心部を対象に、長期的な土地利用計画を検討する際のベースとなり得る市街地移転シナリオを検討した。また、本業務の成果を県や自治体における都市計画の検討に反映させる取り組みを継続している。

(b) 業務の実施方法

業務の流れを図3-4-②-1に示す。南海トラフ巨大地震の被害が想定される東海4県（愛知・岐阜・三重・静岡）を対象に、平成25年度に構築した人口増減と複合災害危険度の情報を含む100mメッシュの空間データベース<sup>1)</sup>を活用し、国土交通省中部地方整備局「地震・津波災害に強いまちづくりガイドライン」（2014年2月）のケーススタディ対象でもある静岡県吉田町と三重県尾鷲市中心部を対象に、人口増減と複合災害危険度の関係を明らかにした上で、長期的な土地利用計画を検討する際のベースとなり得る市街地移転シナリオを検討した。なお、本シナリオを実際に作成する場合は、「5. 計画フレームの設定」、「6. シナリオの条件設定」、「8. シナリオの評価」の各段階における住民参加・意向反映は不可欠であるが、本業務ではそれを省略している。

なお、平成25年度に構築した空間データベースの人口は、国勢調査の集計単位である小地域の人口の各メッシュへの均等配分により求めており、土地利用を無視していたため、補正を行った。具体的には、国土交通省国土地理院の基盤地図情報の建築物データ<sup>2)</sup>を用いて、国勢調査の人口の集計単位である小地域毎の土地利用別建築物棟数割合を算出し、その割合を用い、メッシュ内の土地利用構成を考慮する形で、人口を配分し、改めて、メッシュ毎の人口を求めた。ここで、土地利用については、土地利用細分メッシュデータ<sup>3)</sup>を分かりやすい形で使用するため、当該データの「田」・「その他の農用地」を「Farm」、「森林」・「荒地」を「Forest」、「建物用地」を「Building」、「道路」・「鉄道」・「その他の用地」・「ゴルフ場」を「Others」、「河川地及び湖沼」・「海浜」・「海水域」を「Water」と統合して名付け、移転跡地を「Site」と名付けた。

また、長期的な土地利用計画の検討を念頭に置いているため、人口は国立社会保障・人口問題研究所の市区町村別 2040 年推計人口をベースとした。2010 年の人口を 100 とすると、吉田町の 2040 年人口は 97.5、尾鷲市の 2040 年人口は 51.5 となる。よって、データベース上の自治体総人口は、それぞれの割合を掛けたものに変更し、人口減少が進んだ 2040 年の推計人口で検討を行うこととした。

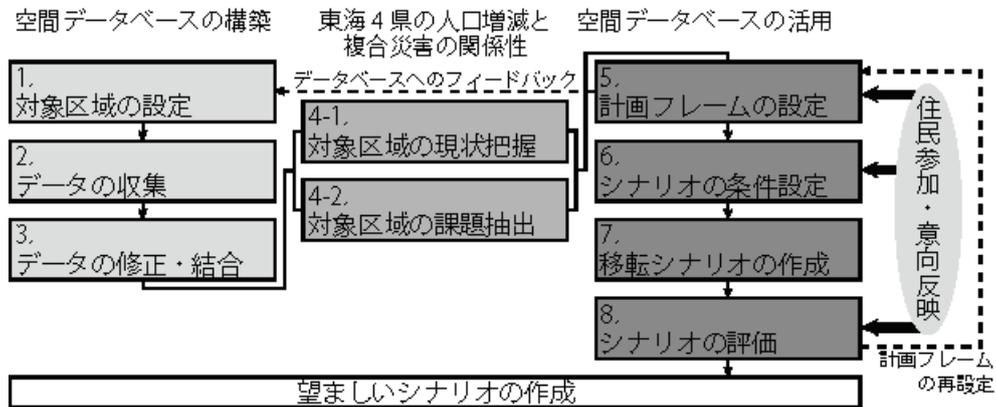


図 3-4-②-1 業務の流れ

本業務では、まず、平成 25 年度の業務<sup>1),4)</sup>を踏まえ、図 3-4-②-2 の考え方で、人口増減と各災害危険度の関係を整理し、市街地の低密度化や撤退を進めるべき（本業務では「移転すべき」）相対的に危険な「Risk Area」とより多くの人口を受け入れるべき（本業務では「移転を受け入れるべき」）相対的な安全な「Safe Area」を設定した。

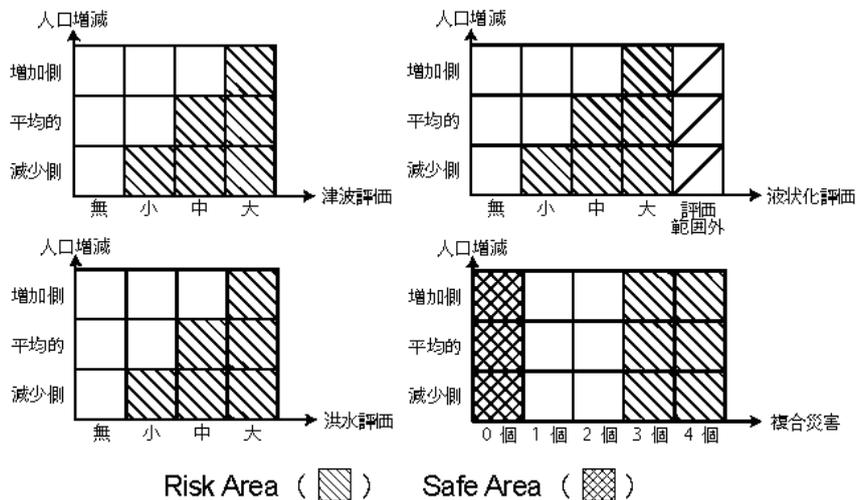


図 3-4-②-2 Risk Area と Safe Area の設定

次に、移転シナリオの前提条件を次のように設定した。

- (1) 移転は全て Safe Area で受け入れること
- (2) Risk Area で移転の対象とするのは土地利用が Building のみであること
- (3) Others と Water の土地利用は扱わないこと

その上で、①農地・森林開発型シナリオ、②農地・森林保全型シナリオ、③人口密度誘導型シナリオの3つのシナリオを作成した。各シナリオの考え方は、次の通りである。

①農地・森林開発型シナリオ（図3-4-②-3）

- (1) 旧来の市街地（Safe Area の Building）の人口密度を保持するために、Safe Area の Building には移転しない。
- (2) Safe Area の Farm 及び Forest を、移転を受け入れるエリアとする。
- (3) 旧来の市街地（Safe Area の Building）の人口密度を保持しながら、Farm 及び Forest へ移転し、余剰の Farm 及び Forest は保全する。
- (4) Farm 及び Forest での移転受け入れでは、人口密度の高いエリアから優先的に移転を受け入れる。

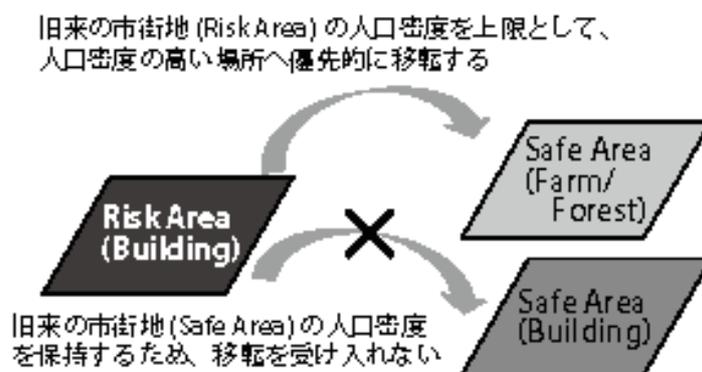


図3-4-②-3 農地・森林開発型シナリオのイメージ

②農地・森林保全型シナリオ（図3-4-②-4）

- (1) 農地・森林を保全するため、Safe Area の Farm 及び Forest では移転を受け入れない。
- (2) Safe Area の Building を、移転を受け入れるエリアとする。
- (3) Safe Area の Building への移転では人口密度の上限を設定しない。
- (4) Safe Area の Building への移転では人口密度の低いエリアから順に均しながら行う。

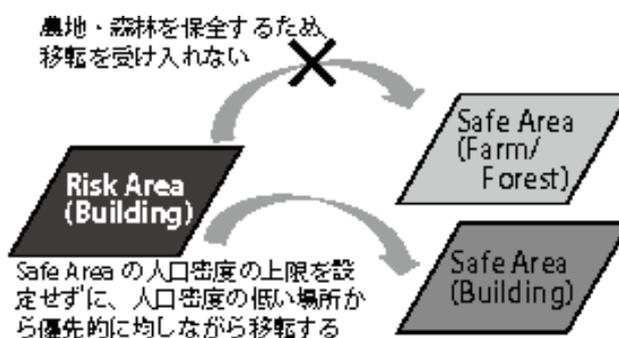


図3-4-②-4 農地・森林保全型シナリオのイメージ

③人口密度誘導型シナリオ（図3-4-②-5）

- (1) 目指すべき都市の形態に誘導するために、既往研究<sup>5)</sup>を参考に、Safe Area の Building への移転時に人口密度の上限（吉田町：4,000人/km<sup>2</sup>、尾鷲市：15,000人/km<sup>2</sup>）を設定する。
- (2) Safe Area の Building への移転は人口密度の低いエリアから順に均しながら行う。
- (3) 上限を超えた分は、人口密度の上限設定をそのままに Safe Area の Farm 及び Forest へ移転し、余剰の Farm 及び Forest は保全する。
- (4) Farm 及び Forest での移転受け入れでは、人口密度の高いエリアから優先に移転を受け入れる。

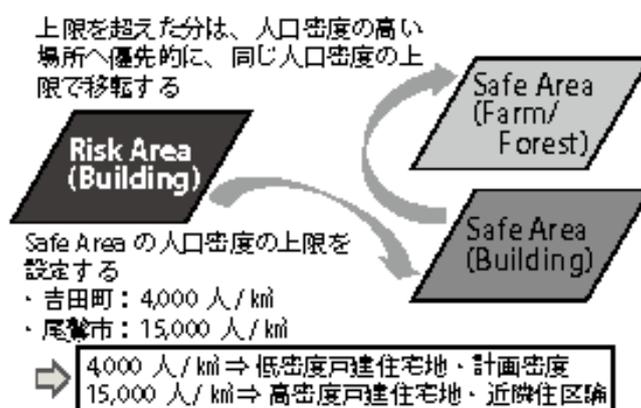


図3-4-②-5 人口密度誘導型シナリオのイメージ

(c) 業務の成果

図3-4-②-2の考え方により、吉田町及び尾鷲市において、人口増減と各災害危険度の関係を整理し、市街地の低密度化や撤退を進めるべき（本業務では「移転すべき」）相対的に危険な Risk Area と人口を受け入れるべき（本業務では「移転を受け入れるべき」）相対的な安全な Safe Area を設定し、土地利用別に集計した結果は、表3-4-②-1の通りである。

表3-4-②-1 吉田町及び尾鷲市中心部における土地利用別の Risk Area と Safe Area の人口、面積等

静岡県吉田町		Farm	Forest	Building	Others	Water	Total
Risk Area	人口[人]	606	222	2067	206	56	3158
	面積[km <sup>2</sup> ]	0.51	0.41	0.77	0.34	0.62	2.65
	人口密度[人/km <sup>2</sup> ]	1184.39	542.89	2668.72	610.35	90.78	1190.57
Safe Area	人口[人]	565	52	486	0	4	1106
	面積[km <sup>2</sup> ]	0.78	0.03	0.22	0.00	0.09	1.13
	人口密度[人/km <sup>2</sup> ]	726.77	1549.22	2170.88	0.00	43.79	979.84
三重県鳥羽市中心部		Farm	Forest	Building	Others	Water	Total
Risk Area	人口[人]	111	526	4831	148	47	5664
	面積[km <sup>2</sup> ]	0.21	2.96	3.01	0.96	0.38	7.53
	人口密度[人/km <sup>2</sup> ]	529.51	177.53	1602.67	154.08	123.22	751.91
Safe Area	人口[人]	67	174	136	15	1	393
	面積[km <sup>2</sup> ]	0.38	5.53	0.10	0.12	0.01	6.14
	人口密度[人/km <sup>2</sup> ]	176.63	31.37	1362.63	124.56	56.36	63.89

続いて、吉田町の3つの移転シナリオによる都市形態を図3-4-②-6～8に示す。また、3つの移転シナリオにおける土地利用別人口、面積、それらの移転前との比較等は表3-4-②-2の通りとなった。

①農地・森林開発型シナリオでは、移転後の移転先の人口密度は3,312.27人/km<sup>2</sup>であり、移転元よりも値が大きいため、Safe AreaのFarmとForestの面積では移転元の人口密度が維持できないことが分かった。②農地・森林保全型シナリオでは、移転後の移転先の人口密度は11,413.25人/km<sup>2</sup>であり、移転元、移転受け入れ前の移転先の状況よりもそれぞれ約4.28倍、約5.26倍の高い人口密度となることが分かった。③人口密度誘導型シナリオでは、Safe AreaのBuildingへ上限4,000人/km<sup>2</sup>まで移転した場合、409人は移転可能であったが、残りの1,658人はFarmとForestで受け入れる必要が生じた。



図3-4-②-6

吉田町①農地・森林開発型シナリオ



図3-4-②-7

吉田町②農地・森林保全型シナリオ



図 3-4-②-8 吉田町③人口密度誘導型シナリオ

表 3-4-②-2 吉田町の 3つの移転シナリオにおける土地利用別人口、面積等

静岡県吉田町		Farm	Forest	Building	Others	Water	Site	Total
① 林農 地開 発・ 型森	人口[人]	5850	435	21939	629	217	0	29070
	面積[k㎡]	6.00	0.82	8.67	0.93	3.36	0.77	20.55
	人口密度[人/k㎡]	975.19	533.00	2531.26	678.94	64.66	0.00	1414.90
	移転前との人口差	-565	-52	616	0	0		
	移転前との面積差	-0.78	-0.03	0.04	0.00	0.00		
② 林農 地保 全・ 型森	人口[人]	6414	486	21323	629	217	0	29070
	面積[k㎡]	6.78	0.85	7.86	0.93	3.36	0.77	20.55
	人口密度[人/k㎡]	946.71	572.94	2713.83	678.94	64.66	0.00	1414.90
	移転前との人口差	0	0	0	0	0		
	移転前との面積差	0.00	0.00	-0.77	0.00	0.00		
③ 農人 導 口密 度	人口[人]	6041	437	21746	629	217	0	29070
	面積[k㎡]	6.28	0.82	8.38	0.93	3.36	0.77	20.55
	人口密度[人/k㎡]	961.43	533.31	2595.25	678.94	64.66	0.00	1414.90
	移転前との人口差	-373	-50	423	0	0		
	移転前との面積差	-0.49	-0.03	-0.25	0.00	0.00		

次に、尾鷲市中心部の 3つの移転シナリオによる都市形態を図 3-4-②-9～11 に示す。また、3つの移転シナリオにおける土地利用別人口、面積、それらの移転前との比較等は表 3-4-②-3 の通りとなった。

①農地・森林開発型シナリオでは、移転後の移転先の人口密度は 857.75 人/km<sup>2</sup> であり、移転元よりも値が小さいため、Safe Area の Farm と Forest の面積で移転元の人口密度が維持できることが分かった。②農地・森林保全型シナリオでは、移転後の移転先の人口密度は 49,671.95 人/km<sup>2</sup> であり、移転元、移転受け入れ前の移転先の状況よりもそれぞれ約 30.99 倍、約 36.45 倍の極めて高い人口密度となることが分かった。③人口密度誘導型シナリオでは、Safe Area の Building へ上限 15,000 人/km<sup>2</sup> まで移転した場合、1,364 人は移転可能であったが、残りの 3,467 人は Farm と Forest で受け入れる必要が生じた。

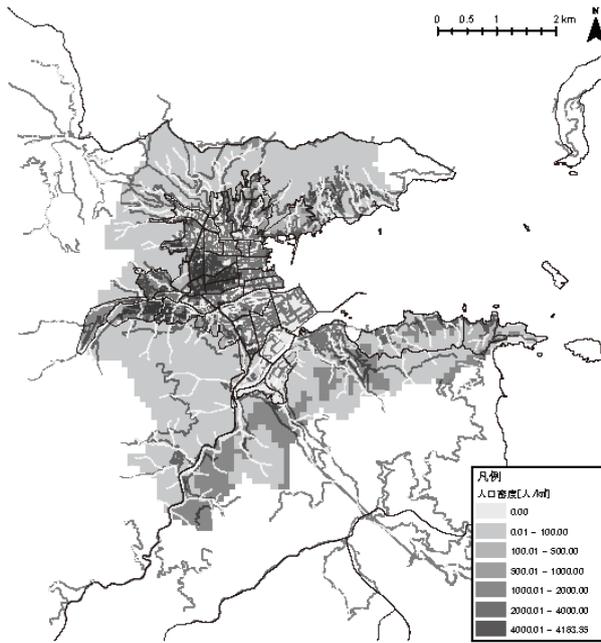


図 3 - 4 - ② - 9

尾鷲市①農地・森林開発型シナリオ

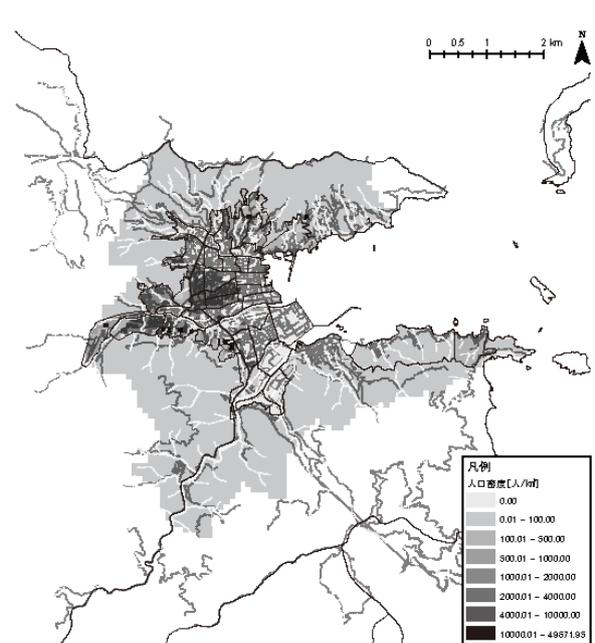


図 3 - 4 - ② - 1 0

尾鷲市②農地・森林保全型シナリオ

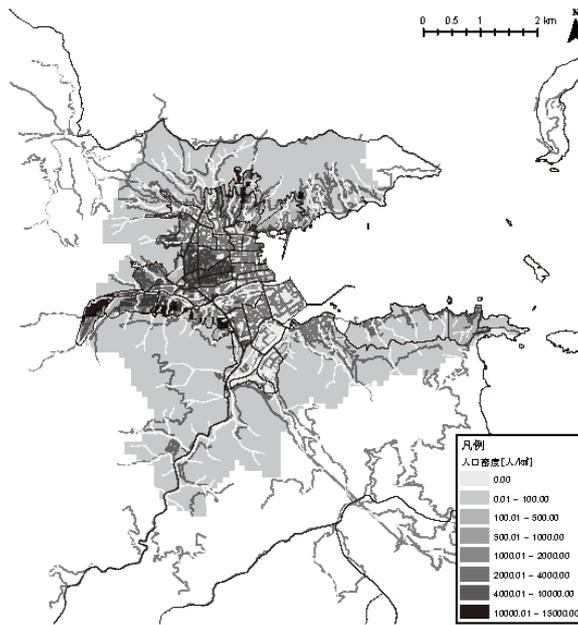


図 3 - 4 - ② - 1 1 尾鷲市③人口密度誘導型シナリオ

表 3-4-②-3 尾鷲市の3つの移転シナリオにおける土地利用別人口、面積等

三重県尾鷲市中心部		Farm	Forest	Building	Others	Water	Site	Total
① 林農 開地 保・ 型森	人口[人]	200	888	6794	193	48	0	8122
	面積[k㎡]	0.50	14.37	4.07	1.15	0.39	3.01	23.51
	人口密度[人/k㎡]	395.87	61.75	1670.92	167.65	121.30	0.00	345.55
	移転前との人口差	-67	-170	237	0	0		
	移転前との面積差	-0.38	-2.79	0.15	0.00	0.00		
② 林農 保地 全・ 型森	人口[人]	267	1058	6557	193	48	0	8122
	面積[k㎡]	0.88	17.16	0.90	1.15	0.39	3.01	23.51
	人口密度[人/k㎡]	303.16	61.62	7285.33	167.65	121.30	0.00	345.55
	移転前との人口差	0	0	0	0	0		
	移転前との面積差	0.00	0.00	-3.01	0.00	0.00		
③ 開人 導口 型密 度	人口[人]	229	925	6727	193	48	0	8122
	面積[k㎡]	0.82	16.98	1.14	1.15	0.39	3.01	23.51
	人口密度[人/k㎡]	279.56	54.47	5886.54	167.65	121.30	0.00	345.55
	移転前との人口差	-37	-133	170	0	0		
	移転前との面積差	-0.06	-0.18	-2.77	0.00	0.00		

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務は、分かりやすい極端な3つの移転シナリオを設定し、シナリオ毎に災害危険度を考慮した人口配分を行い、シナリオ毎の都市形態を確認したものである。実際には、Risk Area (Site) の人口がゼロになることは現実的ではなく、また、人口の移動は中長期的に玉突き的に発生するはずである。本業務は、災害危険度の高い Risk Area を短期間で集団移転することを是としているわけではなく、あくまでも、長期的な土地利用計画の検討に向け、2040年時点の人口配分を仮想的に行っているに過ぎない。南海トラフ巨大地震が短中期的将来に発生すれば、復興の段階で都市形態を大きく変えることがあり得るし、また、南海トラフ巨大地震が長期的に発生しなくても、発生するときに備え、事前に、災害危険度が相対的に低いエリアに多くの人々が住めるように、都市形態を誘導することが事前復興の取り組みとして重要だと考える。

シナリオの設定においては、市街地の移転を考える際、「移転すべき」側にも「移転を受け入れるべき」側にも、現在及び趨勢の人口密度ひいては生活環境やライフスタイルを大きく変えたくないという要請が一部にあること、また、市街地の開発と森林や農地の保全との両立を図る要請があることを考慮した。吉田町のシナリオ検討では、相対的に安全な森林や農地を全て開発しても移転前の人口密度は保持できない（移転によって人口密度が上がる）こと、ましてや、森林や農地を保全するとなると、既成市街地の人口密度を上げる必要が生じることが分かった。尾鷲市中心部のシナリオ検討では、森林や農地を開発すれば人口密度が保持できる（移転によって人口密度を上げる必要がない）こと、しかしながら、森林や農地の開発を許さなければ既成市街地の人口密度が極めて高くなってしまふことが分かった。いずれの検討においても、災害危険度の高いエリアの低密度化や撤退を進めるのであれば、新市街地の開発と森林・農地の保全のバランスを考えつつ、既成市街地は高密度化する方向で現実的なシナリオを検討する必要があることが示唆された。尾鷲市では、本来は、森林や農地のエリアの土砂災害危険度にも考慮する必要があると、新市街地を開発できるエリアは限定される。

尾鷲市では、実際、図3-4-②-12のように、津波浸水災害危険度が高い沿岸の旧市街地から、市街地周縁部の新市街地（光が丘地区）に住宅や事業者が高台移転する民間

主導の動きがある。新市街地をどの程度の密度にすべきかの議論と都市計画的対応がないまま、民間主導で市街地の移転が少しずつ進み、低密度な新市街地が形成されつつある。一方、環境保全や土砂災害危険度に考慮すれば、これから新市街地を開発できるエリアは限定され、結果として、既成市街地の高密度化を進める必要が生じる。尾鷲市全体の長期的な土地利用計画が必要である。



図 3-4-②-12 民間主導で市街地の高台移転が進む尾鷲市中心部

三重県県土整備部は、こうした都市計画の問題にも対応しつつ、県内市町の都市計画をガイドするため、三重県都市計画審議会の中に「三重県地震・津波対策都市計画指針（仮称）策定に関する小委員会」を設置し、市町が都市計画マスタープランを見直す際に地震・津波災害を考慮した長期的な土地利用・施設配置計画が検討されるような指針あるいはガイドラインを検討している。その中では、図 3-4-②-13 のように、市街地の移転を伴う長期的な空間形成と短中期的な防災・減災施策をうまく組み合わせていくべきことが議論されている。また、並行して、鈴鹿市をはじめとする自治体では、図 3-4-②-14・15 のように、都市計画マスタープランを見直す中で、防災・減災施策と空間形成の組み合わせを検討している。愛知県名古屋市でも、先般、都市計画マスタープランの防災・減災部分を補う「震災に強いまちづくり方針」が策定された。なお、こうした自治体の取り組みには、東京大学の村山顕人も委員として参加し、本業務で得られた知見が実際の都市計画の現場に反映されるよう努力している。

今後は、本業務で行った市街地移転シナリオの検討だけでなく、防災・減災施策と（長期間かけた市街地移転を含む）空間形成の取り組みを市町の現状と将来戦略に応じて組み合わせ、市民の納得のいく事前復興計画やその機能を果たす都市計画マスタープランを策

定する必要がある。

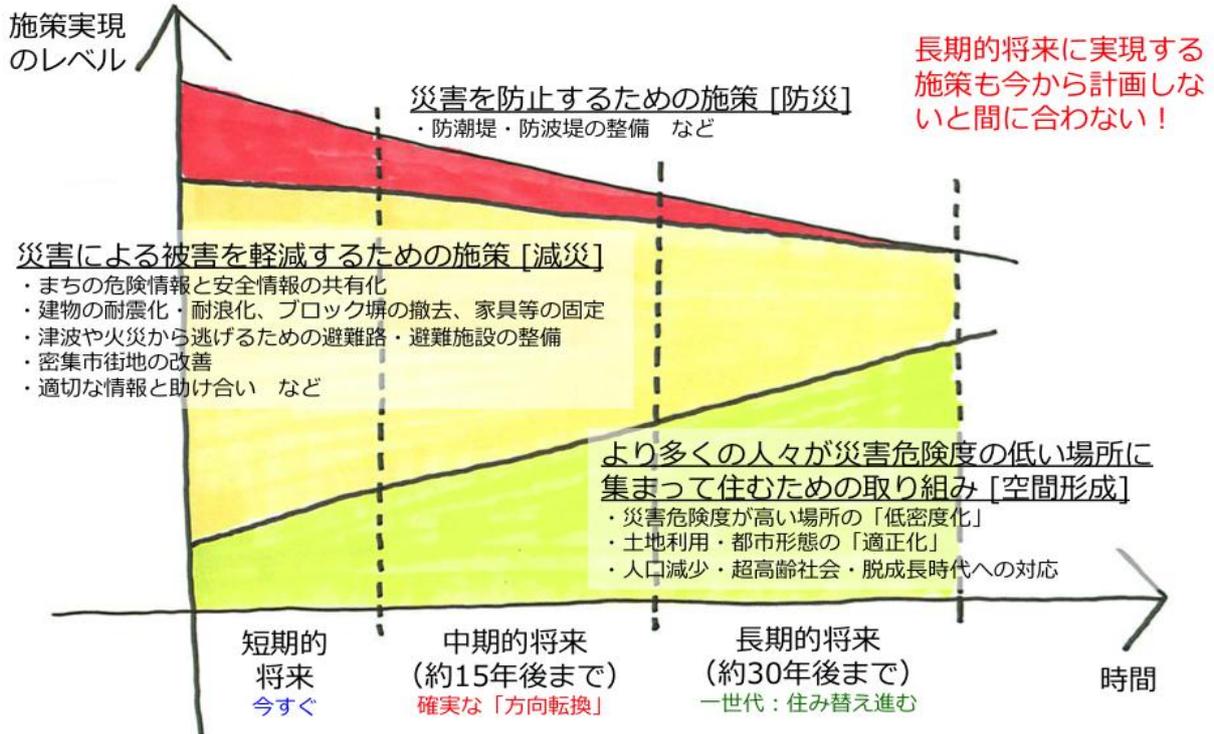


図 3-4-②-13 防災・減災施策と空間形成の展開イメージ

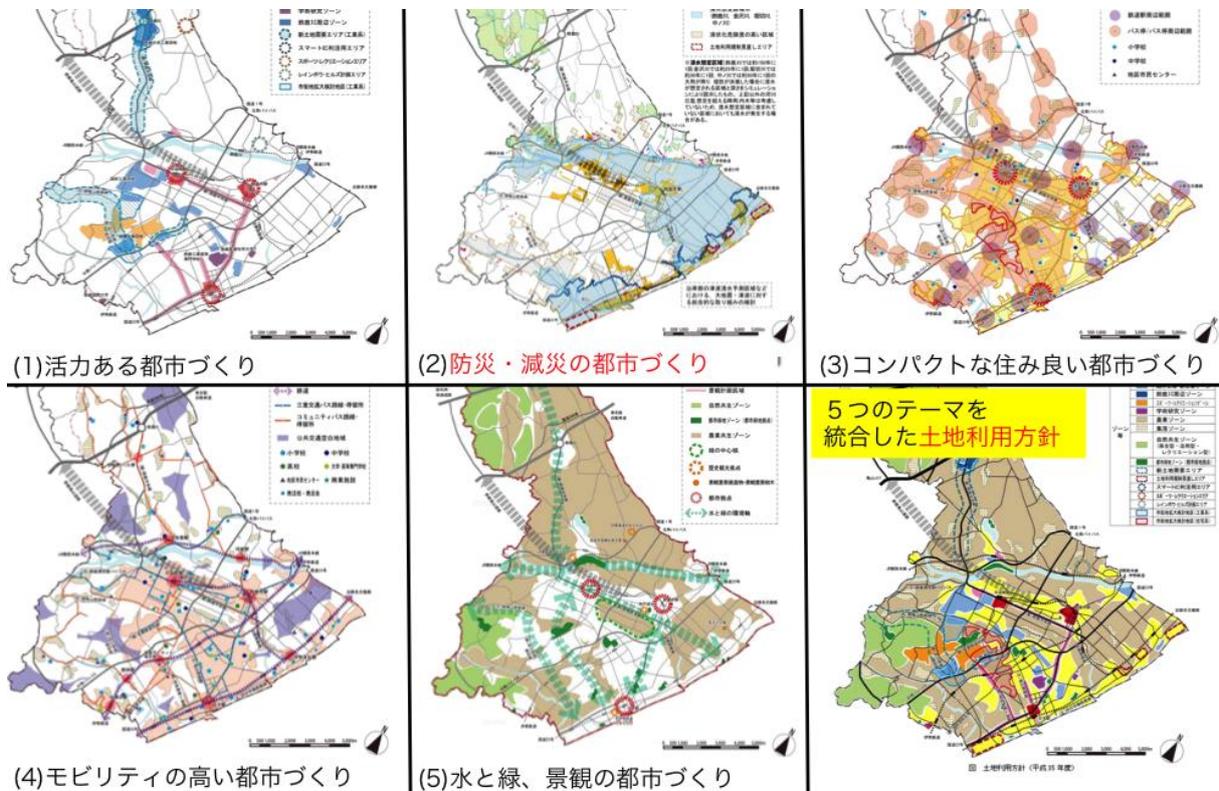


図 3-4-②-14 鈴鹿市都市計画マスタープランのテーマ別方針とそれらを統合した土地利用方針<sup>6)</sup>を抜粋・編集

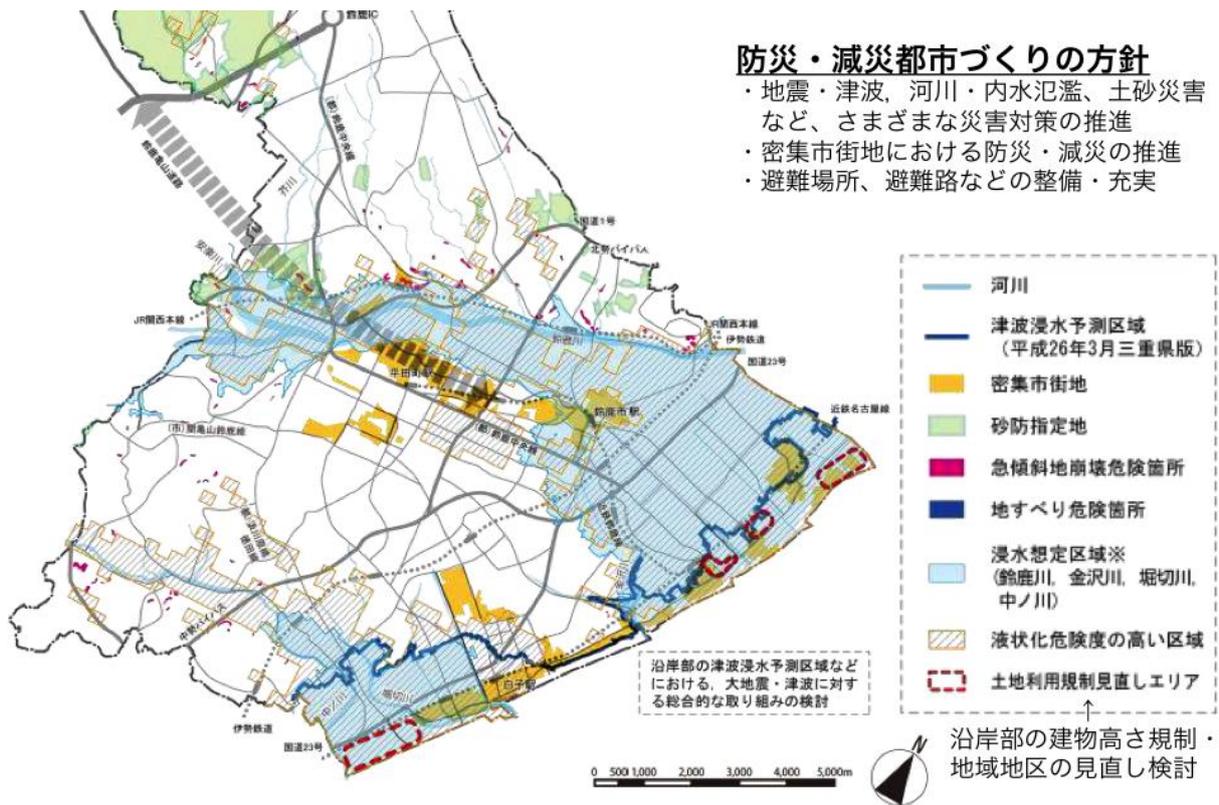


図3-4-②-15 鈴鹿市都市計画マスタープランの防災・減災都市づくりの方針<sup>6)</sup>を抜粋・編集

(e) 引用文献

- 1) 澤寄裕樹・村山顕人・清水裕之，人口増減と複合災害リスクを考慮した空間データベースの構築と土地の類型化，日本建築学会東海支部研究報告集，No.52，pp.705-708，2014
- 2) 国土交通省国土地理院，基盤地図情報< <http://www.gsi.go.jp/kiban/> >
- 3) 国土交通省国土政策局国土情報課，国土数値情報：平成21年度都市地域土地利用細分メッシュデータ
- 4) 澤寄裕樹・村山顕人・清水裕之，ニューオーリンズ市統合計画（UNOP）の策定に見る復興計画策定技法，日本建築学会技術報告集第45号，pp.735-740，2014.6.
- 5) 谷口守・松中亮治・中道久美子，ありふれたまちかど図鑑：住宅地から考えるコンパクトなまちづくり，技法堂出版，2007.3
- 6) 鈴鹿市，第35回鈴鹿市都市計画審議会議案書，2015年2月3日

③関西地方における事前復興計画の策定実践

(a) 業務の要約

「事前復興計画」の概念を整理した上で、事前復興計画を策定するためのケーススタディをおこなった。同時に、今後ケーススタディを進める上で不可欠となる地域住民と

の懇談時に彼らが津波被害を具体的にイメージできる手助けとなるように「津波被害シミュレーションの GUI」を開発した。

#### (b) 業務の実施方法

事前復興計画の実践をしている研究者を集めて「事前復興計画研究会」を開催し、「事前復興計画」の概念・要件を整理した。また、住民および行政関係者とともに和歌山県海南市黒江および日高郡由良町を対象に事前復興計画を立案するための基礎的なケーススタディをおこなった。シミュレーションの GUI の開発はソフト開発業社（株式会社 創夢）の手を借りて実施した。

#### (c) 業務の成果

##### 1) 「事前復興計画の概念および具備すべき要件」の整理

当該研究会は 2014 年 8 月 30 日、31 日（会場：和歌山市 T-Labo）で開催された。参加者は関西地方を中心とした対象地において事前復興計画の策定実践・研究活動を遂行している業務協力者（このほか、首都大学東京・市古太郎准教授を加えた）である。このほか、3 名のオブザーバが自費で参加した。参加者は以下の通りである。

京都大学・牧紀男教授、大阪大学・木多道宏教授、関西大学・越山健治准教授、関西学院大学・松田曜子准教授、神戸大学・紅谷昇平特命准教授、首都大学東京・市古太郎准教授、千葉大学・石川永子特任准教授、人と防災未来センター・照本清峰研究主幹、和歌山大学・平田隆行准教授、京都大学・田中傑特定研究員、京都大学・金玟淑研究員、オブザーバ：弘前大学・北原啓司教授、都市調査計画事務所・田中正人氏、ミクニヤ・岸川英樹氏）

研究会では「事前復興計画」の要件、留意すべき点、調査や研究の方法論などについて議論をし、2 日目の午後以降は南海トラフ巨大地震の想定被災エリアである海南市周辺を実地見学し、意見の交換をおこなった。



図 3-4-③-1 事前復興計画研究会の様子

（左：討議風景、右：事前復興計画が備えるべき要件に関する議論を KJ 法で集約）

## 2) 海南市黒江・日高郡由良町衣奈における事前復興計画の基礎的ケーススタディ

### a) 黒江地区におけるケーススタディ（フレームの導出と試案の検討）

本地区は紀州漆器の産地として江戸期から発展し、その歴史は職住一体のコミュニティを形成するとともに、「のこぎり歯状」と称される独特のまちなみを生み出してきた。町の中央を流れる堀川の埋立て後、その歴史的景観は徐々に失われてきたが、2011年12月、県景観条例に基づく「わかやま景観づくり協定」の第1号認定を受け、コミュニティを主体とした景観形成の取り組みが開始されている。

認定に際しては、協定エリア内におけるすべての権利者の合意（同意書への署名捺印）が得られていることから、かつての景観は失われつつあるものの、今なおその価値は共有されていると言えよう。なお、協定の締結エリアは主に南ノ浜といわれる区域であるが、前述の「のこぎり歯状」のまちなみや連子格子の町家建築はその周囲にも広がっている。

地区の人口は5,618人、2,325世帯である（平成22年国勢調査）。海南市を含む和歌山県沿岸域は、過去8回、南海地震により被災していると言われるが、直近の昭和南海地震（1946年）では、最大3.21mの津波が来襲したものの、物的・人的被害は記録されていない。

一方、南海トラフ巨大地震による新たな被害想定（2013年3月28日、和歌山県）によれば、海南市に來襲する最大津波高さは8m（3連動では6m）、平均浸水深2.9m（同1.8m）、到達時間は39分（同47分）とされる。黒江・船尾地区の大半は標高1～5m未満にあり、想定通りであれば浸水は避けがたい。景観形成に向けた「協定」後の取り組みは、ちょうどこうした津波被災リスクの明示プロセスと並走するかたちで進んできた。

本地区における被害想定と、それを踏まえて立てられた土地利用計画の策定方針は以下の通りである。

#### 【被害想定】

- ・想定地震：南海・東南海・東海3連動地震（M8.7）
- ・最大津波高：6m（平均津波高：5m）
- ・平均浸水深：1.8m
- ・津波到達時間：47分

#### 【土地利用計画の策定方針】

- (1) 避難可能性をもとに、上記のまちなみの価値をできる限り保全する
- (2) 地震・津波だけでなく、土砂災害のリスクもあわせて考慮する
- (3) 移転候補地として、既存の未利用地（空地・空家）の有効利用を図る

この方針に基づき、以下の手順で事前復興計画の策定フレームを導出した（図3-4-③-2）。

- (1) 計画対象区域を以下の3つのエリアに区分する
  - ① 想定浸水区域外

②想定浸水区域内（浸水区域線から 250m 圏内）（※）

③想定浸水区域内（浸水区域線から 250m 圏外）（※）

（※）250m 圏の設定根拠

$250\text{m} \div \text{歩行速度 } 1\text{m/sec.} = 250\text{sec.}$

$250\text{sec.} \times 2 + 1,800\text{sec.}$ （避難準備に 30 分を見込む） $= 2,300\text{sec.} < 2,340\text{sec.}$ （南海トラフ巨大地震時の到達想定時間） $< 2,820\text{sec.}$ （3 連動時の到達想定時間）

(2) さらに土砂災害を考慮し、以下のエリアを設定する

●上記①から「がけ崩れ警戒区域」を除外した範囲：移転候補区域

●上記②から「がけ崩れ警戒区域」を除外した範囲：避難誘導

（準移転候補）区域

●上記③：避難困難（移転促進）区域

(3) 各エリアの未利用区画数・住戸数をカウントする

●移転候補区域の未利用（空地・空家）区画：214 区画

●避難誘導（準移転候補）区域の未利用区画：432 区画

●避難困難（移転促進）区域の住戸：290 戸

(4) 土地利用計画を検討する（移転パターン①）

●避難困難（移転促進）区域：0 戸（290 戸全戸移転・非居住区域）

●避難誘導（準移転候補）区域：76 区画の一戸建住宅利用（76 戸の移転先）

●移転候補区域：214 区画の一戸建住宅利用（214 戸の移転先）

(5) 土地利用計画を検討する（移転パターン②）

●避難困難（移転促進）区域：0 戸（290 戸全戸移転・非居住区域）

●避難誘導（準移転候補）区域：182 区画の一戸建住宅利用（182 戸の移転先）

+ 6 区画の集合住宅利用（108 戸の移転先）

●移転候補区域：現状通り

	避難困難 (移転促進) 区域	避難誘導 (準移転候補) 区域	3層集合住宅 (18戸見当)	移転候補 区域
	290戸	426戸	6棟 108戸	214戸
		534戸		
▼				
移転パターン①	0戸	76戸	—	214戸
移転パターン②	0戸	182戸	108戸	—

図 3-4-③-2 黒江地区における事前復興計画のフレームの導出

また、本フレームに基づき、移転促進区域や移転候補区域などを設定する事前復興計画（土地利用計画）の試案を策定した（図 3-4-③-3）。

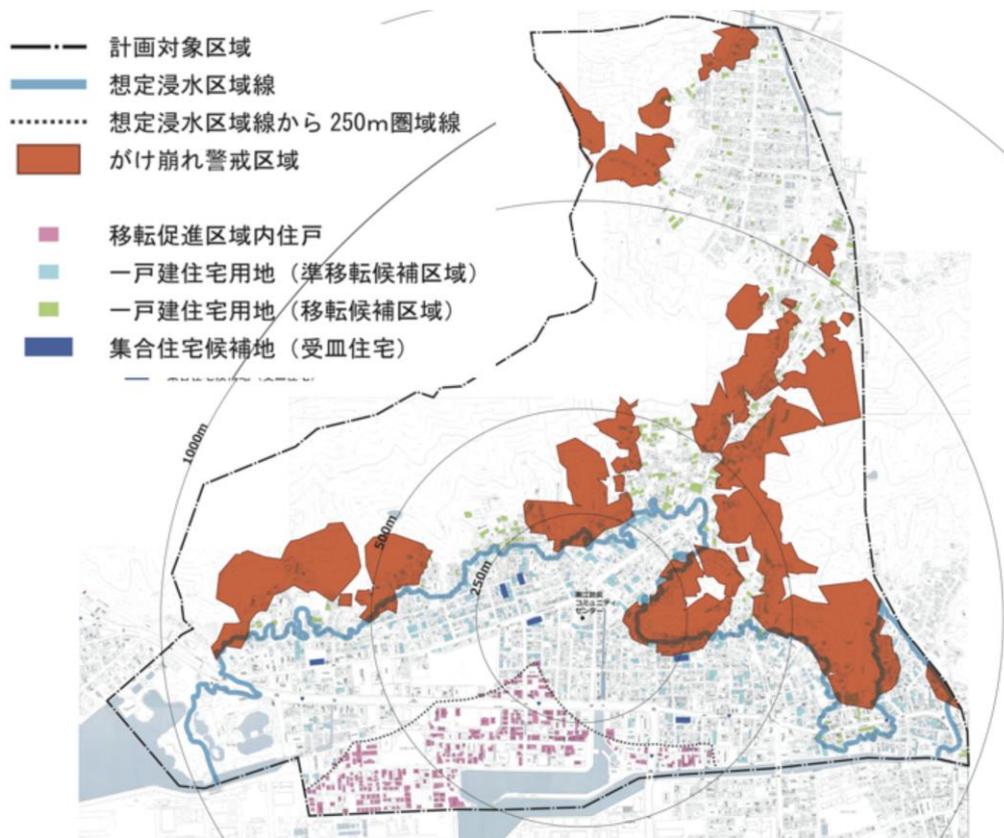


図 3-4-③-3 黒江地区における事前復興計画（土地利用計画）の試案

b) 日高郡由良町衣奈地区

本地区は南海トラフ巨大地震によってその枢要部が 3～5m の津波浸水被害を受けると想定されていて、平時においては高齢化が進行する一方、本地区に立地する衣奈漁港が周辺の漁業者も利用する第二種漁港として位置付けられているなど、今後、地域漁業経営を存続させていく上でカギとなる港のひとつと考えられる。

そこで、漁協関係者や地区住民とともに本地区の防災上あるいは社会経済上の課題を抽出し、事前復興計画を立案するための基礎的な検討を 2015 年 3 月 25 日および 26 日におこなった。

3) 津波被害シミュレーションの GUI の開発

1)や 2)のようなケーススタディにおいて地区住民に津波被害（浸水の範囲、浸水線の位置）を具体的イメージとともに理解してもらうため、既存の津波シミュレーション・システム（FAST）やシミュレーション結果のビューワ（EasyWMSView）を利用した GUI（グラフィカル・ユーザ・インターフェース=操作パネル、を意味）を開発した（図

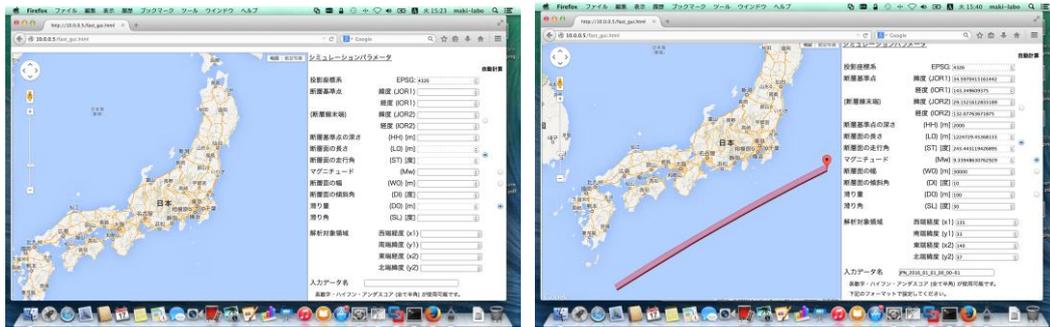


図 3-4-③-4 開発された GUI (右は任意のパラメータを入力した状態)

3-4-③-4)。

当該システムは、株式会社 google の提供する電子地図 googlemap 上に置いた任意の基準点に関して、各種の地震パラメータを入力して発生する津波の浸水線をシミュレートできるものである。

(d) 結論ならびに今後の課題

海南市黒江地区に関しては、土地利用計画のフレーム導出と事前復興計画の試案の策定が完了したため、今後はその計画の遂行方策や同地区における平時のまちづくり（景観の保全・形成活動）との整合を検討する。

日高郡由良町衣奈地区に関しては端緒についたばかりであるため、黒江地区ともども、今回開発した津波被害シミュレーション GUI を活用しながら平時の課題（漁業経営の継続）を考慮した事前復興計画の策定を進めることが課題となる。

(e) 引用文献

なし

④ 共通被害シナリオの構築準備

(a) 業務の要約

関西地域での事業継続計画の策定に供する目的で、南海トラフ巨大地震にともなって生じる諸現象を、関西地方の府県（今年度は大阪府・和歌山県・兵庫県）とインフラ事業者のおこなった被害・復旧想定に依拠しながらタイムラインに沿って把握し、またインフラ事業者へのヒアリングを実施することで、各所で編まれた被害・復旧想定をひとつのシナリオ（以下、「共通被害シナリオ」と表現する）へと再構築する準備を実施した。

(b) 業務の実施方法

関西地域研究会のメンバーのうち、インフラ事業者を対象として「共通被害シナリオ構築ワーキング・グループ（以下、WG と略す）」を編成し、2回の会合を開催して共通被害シナリオのあり方を議論する一方、各種情報の提供を呼びかけ、実際に提供を受けた。

また、WGの事務局（幹事：京都大学防災研究所・牧紀男教授）が大阪府・和歌山県・兵庫県が過去に策定した大規模地震の被害想定を収集し、それらが記載していないものの共通被害シナリオの構築には不可欠なデータ項目をリストアップし、WGに参加するメンバーに対するヒアリングその他の手法を通じて把握することを試みた。

#### (c) 業務の成果

上記WGにおけるKJ法による意見集約を通じて、共通被害シナリオの構築目的と要件を、

- ・M8.6を想定したより現実性と予測可能生の高いシナリオを編むことで、現実的な防災対策の参考としてもらう（M9のシナリオは内閣府が既に構築）
- ・シナリオの構築はオープンデータに依拠するが、単に時系列で叙述するのではなく、バックキャストで綴ることにより、事業継続計画を策定する際の参考になるようにすることとした。

また、共通被害シナリオは全体シナリオ（関西地域全体、主としてネットワークの復旧に着目）とエリア・シナリオ（阪神都市圏=堺以北と和歌山の2エリア）の2本だてで構成するという方針も決定した。

一方、和歌山県と大阪府の被害シナリオの間で想定される地震の規模が異なること、想定項目にズレがあること、たとえば紀伊半島における基幹道である国道42号線の被害想定が未発表（想定作業中）であるなど、必要な情報が容易には揃わないことが判明した。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

被害想定 of 情報を収集する一方、各インフラ事業者や官公庁での被害シナリオの策定状況を把握し、協力・連携を図り、共通被害シナリオの構築を進めることが課題である。

#### (e) 引用文献

なし

### (3) 平成27年度業務計画案

南海トラフ巨大地震を想定した復興準備のため、平成26年度に実施した歴史的資料や土地利用・建物・人口等の減災に関わる情報の収集、そして将来の地域特性評価システムの構築などを踏まえ、同評価システムを南海トラフ広域地震災害の想定被災地域に適用して減災対策を構築するための基礎的検討を行い、あわせて影響シナリオの構築を進める。

また、復興・復旧対策の検討に向けて、地震動の到達時間が短く、既成市街地に津波による大きな被害が想定される地域を対象に、平成26年度に開始した復旧・復興計画立案に必要な行政制度、地域社会の仕組み、民間の人材、地域災害文化の現状についての基礎的調査を踏まえ、同地域において研究者、住民および行政関係者を交えたワークショップを開催し、事前復興計画の策定を共同で検討する事例研究を実施する。

### 3.5 防災・災害情報発信研究

#### (1)業務の内容

(a) 業務題目 「防災・災害情報発信研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
独立行政法人防災科学技術研究所	領域長	藤原広行
	主任研究員	白田裕一郎
	研究員	田口仁
	研究員	李泰榮
	契約研究員	東宏樹
	契約研究員	崔青林
	契約研究員	水井良暢
	独立行政法人海洋研究開発機構	招聘上席技術研究員
研究開発センター長代理		高橋 成実
技術研究員		中野 優
技術主任		馬場 俊孝
国立大学法人名古屋大学	教授	福和伸夫
	特任教授	護雅史
	准教授	山中佳子
	寄附研究部門教授	武村雅之
	寄附研究部門助教	倉田和己
	技術職員	川端寛文
	技術補佐員	近藤ひろ子
	技術補佐員	脇田久美子
国立大学法人東京大学	教授	田中淳
	特任助教	地引泰人

(c) 業務の目的

南海トラフ広域地震に関する情報が集約され、リアルタイムかつ統合的に発信される Web サービスとして「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」（以下、「災害情報プラットフォーム」という。）を構築する。プラットフォーム上では、各種地理空間情報や歴史資料、強震計・水圧計データ等のリアルタイムデータ、他の研究課題の調査結果、研究成果、ハザード評価、リスク評価などの情報を統合して発信できるものとする。このプラットフォームを基盤とした、あるいは連携した、防災・減災対策や復旧・復興等に資する各種利活用システム、防災人材育成、教育教材、啓発ツールを開発し、防災・減災対策研究や復旧・復興対策研究等に活用する。これらを効

果的に進めるためのリスクコミュニケーション(RC)手法を開発し、人材育成を図る。

(d) 8か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度：

プラットフォームの基本設計を行った。自治体が有する各種地域データの収集・整備を開始した。リアルタイム伝送システム設計のための検証等を開始した。加えて、RC・防災に関わる人材育成・教育のための調査を開始した。

平成 26 年度：

プラットフォームの詳細設計を開始した。データの収集・整備を引き続き実施するとともに、これらの利活用システムについて検討した。リアルタイム伝送システムのアプリケーション開発を開始した。防災に関する知識構造の解明と、RC・防災人材育成の手法の検討を行った。

平成 27 年度：

プラットフォームの実装について検討する。データの収集・整備、利活用システム開発を引き続き実施する。リアルタイム伝送システム開発を継続して実施する。RC・人材育成については、行動を促す知識構造の解明を進めるとともに、防災教育の社会実装実験を始める。

平成 28 年度：

プラットフォームのベータ版 (Ver.1) の公開を行い、試験的な運用を開始する。また、これと各種利活用システムとの連携について検討を開始するとともに、データやシステムの整備と RC・人材育成手法の継続的検討と教材開発を行う。

平成 29 年度：

他の研究課題の成果のデータベース化とともに、成果の運用に関する連携技術について検討・開発する。また、リアルタイム伝送システムとの連動機能を開発する。RC・人材育成のための社会的仕組みの概念設計と教材開発を行う。

平成 30 年度：

地域研究会や防災教育等での活用を通じて、プラットフォームや各システムを高度化する。RC・人材育成の社会実装実験を行う。

平成 31 年度：

引き続きプラットフォームや各システムを高度化するとともに、RC・人材育成手法の地域への展開や利活用推進を図る。

平成 32 年度：

最終的な実証実験を行い、システムの有効性を評価する。その結果を踏まえ、プラットフォームを最終版 (Ver.2) として整備するとともに、開発した各システムの地域展開を検討する。

(e) 平成 26 年度業務目的

各種データベースおよびプラットフォームの詳細設計に着手するとともに、Ver.0 のテスト運用を通じて、データの運用管理や発信方法、利活用方法について

検討し、必要な機能の追加開発のための設計を行う。また、前年度に引き続き南海トラフ巨大地震に対する防災・災害関連データの収集・DB化、利活用システム開発を開始し、防災に関わる人材育成・教育のための調査を実施する。地震や津波、その他の情報のリアルタイム伝送に向けて、精緻な自動震源決定システムの設計を実施する。

また、南海トラフ巨大地震で津波被害が想定される地域において、住民の防災知識構造を明確化するために、前年度の量的調査を受け、特定地域を対象に、知識構造ならびに社会構造をより精緻かつ深く解明するために、質的調査を行う。

## (2)平成 26 年度成果

### ①各種 DB およびプラットフォームの詳細設計と追加機能の設計

#### (a) 業務の要約

各種データベースおよびプラットフォームの詳細設計に着手するとともに、Ver.0 のテスト運用を通じて、データの運用管理や発信方法、利活用方法について検討し、Ver.0.1 を構築した。また、必要な機能の追加開発のための設計を行った。

#### (b) 業務の実施方法

##### 1) 災害情報プラットフォーム詳細設計の事前検討

昨年度作成した災害情報プラットフォーム Ver.0 を利用し、ユーザ権限設定、コンテンツ分類、ページ構成、ページの導線、コンテンツ収集データベース、利活用方法案の提案など検証項目の有無を検討し、詳細設計を実施するための初期検討を行った。

##### 2) アンケート調査

災害情報プラットフォーム Ver.0.1 の構造を検討するためには実際に利用するユーザの意見を取り入れる必要がある。そのために、地域研究会の参加者を対象に災害情報に関するニーズ調査を実施した（第4回地域研究会）。対象者は主に自治体防災担当者、ライフライン企業防災担当者、大学等研究機関職員である。

##### 3) 防災・減災情報の収集

初期段階の詳細設計とアンケート結果から導き出された、ユーザが必要としている防災・減災に関する情報の収集を実施した。

##### 4) 詳細設計

事前検討、アンケート結果、収集した情報の取りまとめから、ユーザ視点の災害情報プラットフォーム Ver.0.1 の構造をイメージし、詳細設計を実施した。

5) グループページの構築と情報導入

現段階で導入可能なコンテンツを災害情報プラットフォーム Ver.0.1 に投入し、試作ページを構築した。

6) 今後必要となる追加機能の検討

詳細設計を実施した結果から、現状の e コミュニティ・プラットフォームでは実現できない機能を抽出し、その追加開発についての項目をとりまとめた。

(c) 業務の成果

1) 災害情報プラットフォーム詳細設計の事前検討

「1-e」の研究成果を公開可能な範囲で閲覧可能とし、東海、関西、四国、九州の対象となる地域の自治体で利用される南海トラフに関連する防災・減災情報を閲覧できるポータルサイトの構造について、詳細設計を実施するための検討項目を考察した。

まず、災害情報プラットフォームの本プロジェクト内での位置づけを認識し、その関係性を考慮しつつ「1-e」内の研究成果の情報取り込みを検証した。また、災害情報プラットフォームの成果物である「情報」の出口となる「1-c」防災・減災対策研究での地域研究会参加者利用をイメージし、対象となるユーザの区分と、利用権限、求める情報に円滑にたどり着くためのページ構造を検証した。

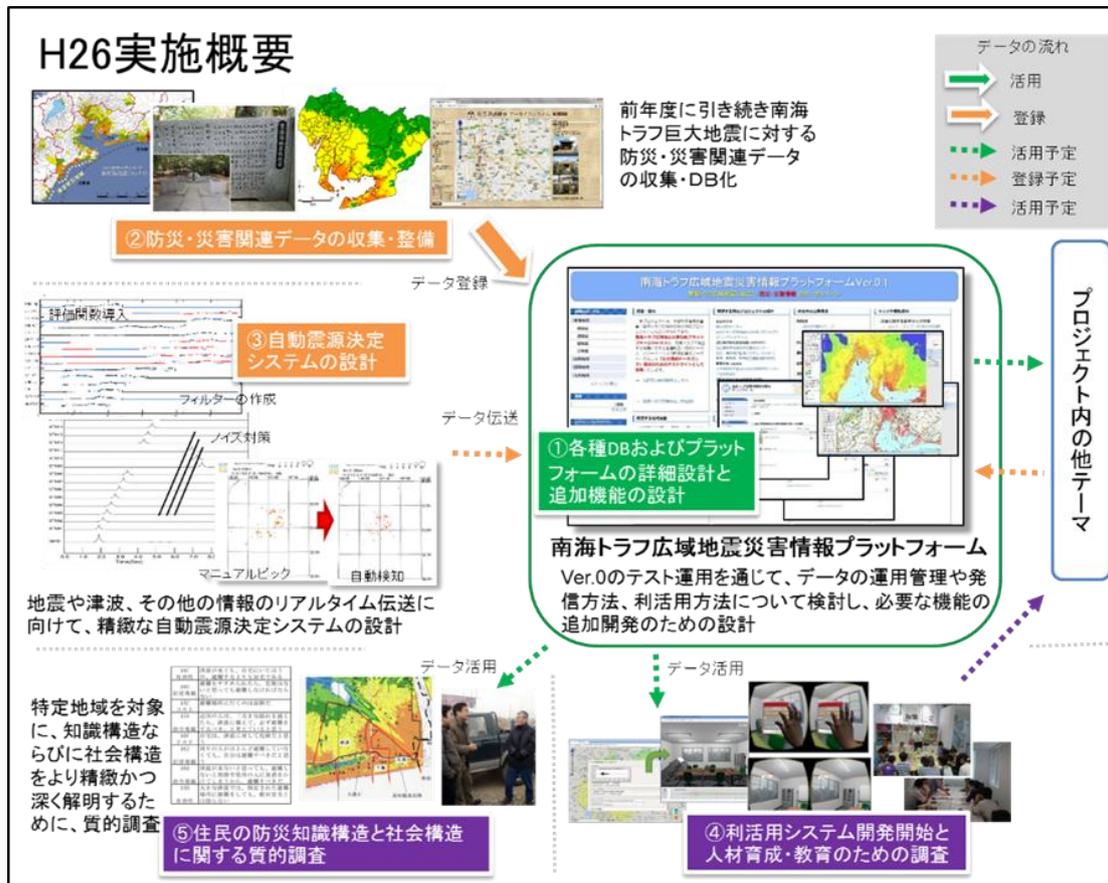


図 3-5-①-1 1-e の中での災害情報プラットフォームの位置づけ

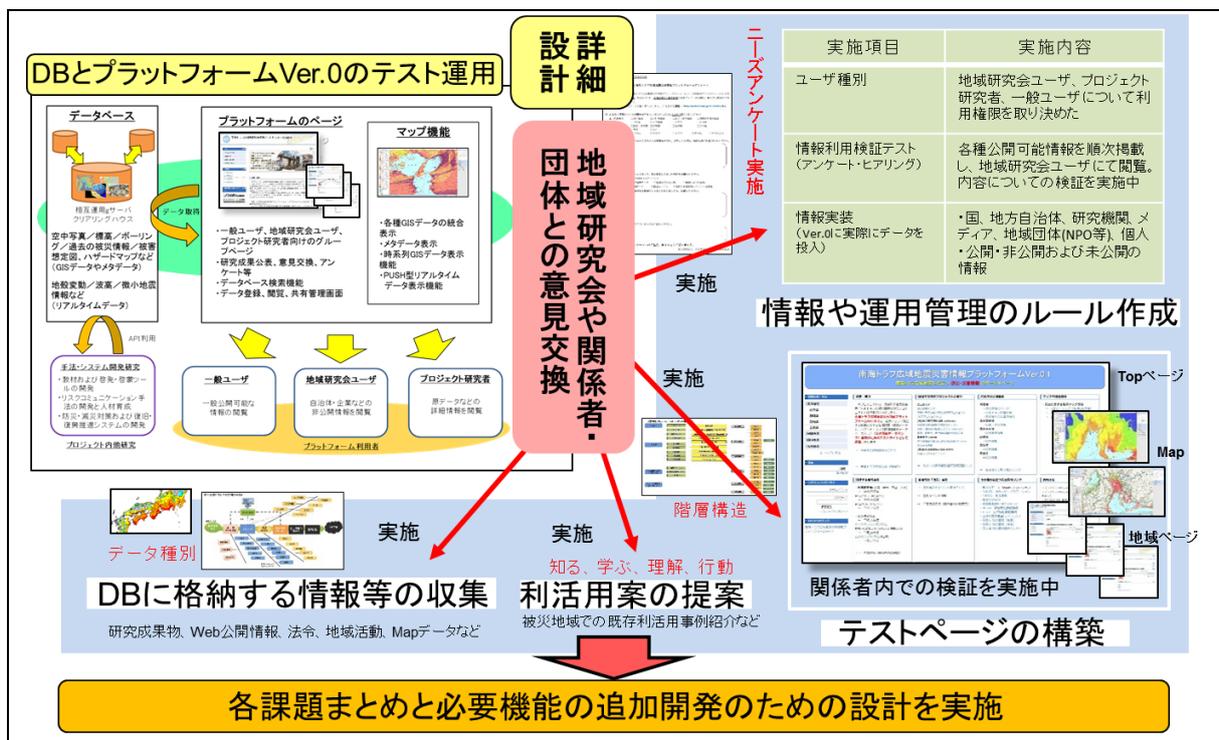


図 3-5-①-2 詳細設計を実施するために検証すべき作業

検証の結果、詳細設計に必要とされる作業を以下の項目とし、実施していくこととした。

- a) 地域研究会や関係者・団体との意見交換
- b) データベースに格納する情報等の収集と分類分け
- c) 情報や運用管理のルール作成
- d) 利活用案の提示 (利用シナリオ)
- e) ページ構造検討
- f) 試作ページの構築
- g) 追加機能の項目出し

## 2) アンケート調査

災害情報プラットフォーム Ver.0.1 の構造を検討するためのユーザ意見収集を目的とし、本プロジェクトの地域研究会参加者を対象に災害情報に関するアンケート調査を実施した (第4回地域研究会)。主な対象者は自治体防災担当者、ライフライン企業防災担当者、大学等研究機関職員である。

次にアンケートの内容を記す。

## 第1回 南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームアンケート

このアンケートは、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム（以下、災害情報プラットフォーム）」が多くの方々に「災害に備える」為に活用され、地域の防災・減災対策に貢献することを目的に、提供する情報を充実させるために行うものです。

御協力の程、何卒よろしくお願ひ申し上げます。（こちらから閲覧→ <http://nankai-bosai.jp/v0.1/index.php>）

① あなたの所属についてお聞かせ下さい。（該当する部分にチェックマーク☑を入れて下さい）

- |         |                                 |                                |                                  |                                   |                                |
|---------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| A. 所属機関 | <input type="checkbox"/> 県庁職員   | <input type="checkbox"/> 市町村職員 | <input type="checkbox"/> 組合・団体職員 | <input type="checkbox"/> 試験研究機関職員 |                                |
|         | <input type="checkbox"/> 会社員    | <input type="checkbox"/> 大学職員  | <input type="checkbox"/> 大学生     | <input type="checkbox"/> その他      |                                |
| B. 職 種  | <input type="checkbox"/> 経営・管理職 | <input type="checkbox"/> 事務職   | <input type="checkbox"/> 技術職     | <input type="checkbox"/> その他      |                                |
| C. 性 別  | <input type="checkbox"/> 男性     | <input type="checkbox"/> 女性    |                                  |                                   |                                |
| D. 年 代  | <input type="checkbox"/> 20代    | <input type="checkbox"/> 30代   | <input type="checkbox"/> 40代     | <input type="checkbox"/> 50代      | <input type="checkbox"/> 60代以上 |

② 災害情報プラットフォームからどのような情報を所得し、どのような防災・減災対策に利活用したいですか。

[ ]

③ 災害情報プラットフォームに関して、特に留意して欲しい内容をお聞かせ下さい。

（該当する部分にチェックマーク☑を入れて下さい）

- |   |                                   |  |
|---|-----------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> ハザードマップ等の専門データ | <input type="checkbox"/> 地域限定の地図等 | <input type="checkbox"/> 地域における活動        |
| <input type="checkbox"/> リアルタイムな観測データ   | <input type="checkbox"/> 関連ニュース   | <input type="checkbox"/> 外部の災害情報とのリンク充実度 |

④ 特に追加して欲しい情報や関連情報サイトなどがありましたら、記載して下さい。

[ ]

⑤ その他ご意見・ご要望がございましたらご記入ください。

[ ]

アンケートへのご協力、ありがとうございました。

独立行政法人 防災科学技術研究所 20150126

図3-5-①-3 第1回南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームアンケート

以下にアンケート内容から考察された結果を記す。ユーザ要望のカテゴリとして、「災害事前情報について」「災害直前・直後・事後情報について」「教育や啓発について」の3つの視点から取りまとめた。

回答者数は38名である。

表3-5-①-1 アンケート結果まとめ

カテゴリ	要望とコメント	対応内容(案)	今後の目標
災害 事前情報について	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハザード情報。リアルタイム情報。それら情報の更新タイミングの情報</li> <li>・共通となる災害シナリオ。最新の研究内容</li> <li>・災害が起きたときの状況のシミュレーション結果</li> <li>・平時のクライシスレスポンス・サイト的な一元情報の入手</li> <li>・国および地方自治体(特に独自で持っている)の情報</li> <li>・地震動・液状化・津波浸水データなどの情報による施設対策への反映</li> <li>・病院、避難所、行政機関、保健所、医師会、消防本部、ヘリポートの位置関係と各場所・導線の被害予測</li> <li>・コンビナート地域など危険物等が集まっている地域の情報</li> </ul>	<p><b>災害に関して知っておくべき情報をより多くの人に知ってもらおう</b></p> <p>ハザード情報、予測情報、施設の位置など地理情報、地域の危険情報などの提供</p>	<p>研究成果をより詳細にわかりやすく作成し表現・発信する</p> <p>地域研究会や情報プラットフォーム等でより多くの人に周知する</p>
直前・直後・事後情報について(リアルタイム・準リアルタイム)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リアルタイム観測情報。準リアルタイム予測情報</li> <li>・道路情報(液状化対策の有無・リスク等)</li> <li>・行政の動きを把握し社内の意思決定に活用</li> <li>・国および地方自治体(特に独自で持っている)の情報</li> <li>・災害発生時の現場状況等の報告(速報値等)。ライフライン系の情報掲載(防災対策、BCP等)</li> <li>・海上漂流物関係の情報が欲しい。海部に関するデータも追加してほしい</li> <li>・移動体(車など)に対してPush情報として送るプラットフォームの構築</li> </ul>	<p><b>災害に関する情報をより速く確実に知ってもらおう</b></p> <p>リアルタイム観測・予測情報、インフラ・ライフライン情報、災害対策・対処状況、周辺状況、さまざまな通信・受発信条件への対応</p>	<p>情報をより早く確実にシンプルにわかりやすく作成し発信する</p> <p>観測体制の強化と伝達・表示の仕組みをより速く強固なものにする</p>
教育や啓発について	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人材育成のための教材</li> <li>・市民(住民・事務所・来訪者 etc)らの啓発(減災行動の支援など)資料</li> <li>・自主防災組織や自治会など、他地域住民が取り組んでいる防災活動等の報告情報</li> <li>・防災に関する都道府県(地域)でのイベント情報や講習会、セミナー情報</li> <li>・共通となる災害シナリオ</li> <li>・災害が起きたときの状況のシミュレーション結果</li> <li>・国および地方自治体(特に独自で持っている)の情報</li> </ul>	<p><b>災害に備えるために人材育成を促進する</b></p> <p>・教材、啓発資料、地域防災活動情報、災害イベント情報の提供</p>	<p>災害対策の意識向上につながる教育や資料等の作成する</p> <p>社会・地域特性を理解し防災・減災の手法やツールを開発する</p>

### 3) 防災・減災情報の収集

災害情報プラットフォーム Ver.0.1 が対象としている「自治体防災担当者」「研究者」「一般」ユーザが必要とする防災・減災に関する情報の収集を実施した。

方法としては、国、地方自治体、ライフライン企業、報道機関、研究機関の Web にて公開されている南海トラフに関する情報をインターネットにて収集し、URL のリンク集を作成しデータベース化すると同時に、その時点で所得できるテキストや画像、PDF データ等をダウンロードしアーカイブ作業を行った。

収集したコンテンツをカテゴリ分けし、データ形式として次の表にまとめた。

表 3-5-①-2 収集コンテンツのカテゴリ区分と形式一覧表

#	カテゴリ	コンテンツ	形式
1	プロジェクトの概要・目的	南海トラフ対策地域	外部リンク
2		概要・目的	テキスト
3		概要・目的	テキスト
4	プロジェクトの詳細	1-e 防災・災害情報発信研究の概要図	画像、外部リンク
5		サブプロジェクト1「地域連携減災研究」防災分野	テキスト、外部リンク
6	関連する研究プロジェクトの紹介	名古屋大学 減災連携センター	外部リンク
7		名古屋大学 南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト	外部リンク
8		JAMSTEC 地震津波海域観測研究開発センター	外部リンク
9		JAMSTEC DONET	外部リンク
10		JAMSTEC 東海、東南海、南海地震運動性評価研究	外部リンク
11		東大CIDER 総合防災情報研究センター	外部リンク
12		東大CIDER 主な研究活動	外部リンク
13		防災科研 災害リスク研究ユニット	外部リンク
14		各地域の防災リンク集	外部リンク集
15		各地域のイベント情報	テキスト
16	各地域の「防災」活動	ご意見掲示板	電子掲示板機能
17		国土強靱化地域計画の策定に向けた取り組み(予定を含む)を公表している地方公共団体	外部リンク
18		内閣府 防災情報のページ	外部リンク
19	府省庁の公開情報	内閣府 南海トラフ地震対策	外部リンク
20		内閣府 関係省庁の災害情報等	外部リンク
21		国土交通省 災害・防災情報	外部リンク
22		農林水産省 災害関連情報	外部リンク
23		総務省 災害情報	外部リンク
24		消防庁 災害情報	外部リンク
25		気象庁 防災情報	外部リンク
26		各府省庁の取り組みリンク	外部リンク集
27	マップや閲覧資料	災害に関する各種マップ情報	eコミマップ
28		各地域の実証実験などの紹介	外部リンク
29	関連する地域活動	地域研究会	テキスト
30		シンポジウム	テキスト、外部リンク
31	その他の役立つ災害情報リンク	新強震モニタ	外部リンク
32		J-SHIS	外部リンク
33		J-RISQ	外部リンク
34		地震防災Web	外部リンク
35		強震観測網K-NET, KiK-net	外部リンク
36		Hi-net	外部リンク
37		F-net	外部リンク
38		E-ディフェンス実験映像	外部リンク
39		自然災害情報室(ライブラリ)	外部リンク
40		気象庁 防災情報(地震)	外部リンク
41		気象庁 防災情報(津波)	外部リンク
42		国土交通省 防災情報提供センター	外部リンク
43		想定東南海、東海地震による津波防災情報図	外部リンク
44		お知らせ	お知らせ
45	地域別情報	自治体のGIS情報	外部リンク集
46		行政資料	外部リンク集
47		被害想定・統計資料	外部リンク集
48		住民向け情報	外部リンク集
49		防災教育・訓練	外部リンク集
50		観測情報	外部リンク集
51		災害履歴	テキスト、外部リンク
52		地域の防災・減災情報	テキスト
53		地域の位置	地図

#### 4) 詳細設計

災害情報プラットフォーム Ver.0.1 の構造事前検討、アンケート調査、防災・減災情報の収集より得られた条件や要望等を考慮し、詳細設計を行った。

詳細設計図を作成するために、ユーザ条件を想定した利用シナリオ案を作成し、その利用内容とページ導線をシミュレーションしプラットフォームの構造を検証した。

以下の手順で設計作業を実施した。

- a) プロジェクト（災害情報プラットフォーム構築）の概要を明確化
- b) ターゲットとするユーザの定義を実施
- c) 重要なユーザモデル（ペルソナ）想定キーワードを検討
- d) 関連キーワード一覧まとめ
- e) キーワードマップで相関を図化
- f) 構築作業の戦略・方針を決定
- g) シナリオ案の検証
- h) コンテンツ分類の定義を実施

なお、次年度以降も作業を進めていく中でさまざまな条件が追加・破棄されていくものと思われる。そのため詳細設計内容は今後も継続して検証・改修を続けていく予定である。

作業の詳細は以下のとおりである。

a) プロジェクトの概要

<p><b>●プロジェクトの目的</b>                  JAMSTECが主体となり実施している文部科学省の南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトで生まれる研究成果と、一般に公開されているさまざまな災害情報(自治体、民間、住民などが発信するもの)を受発信する「災害情報プラットフォーム」を構築する。                  災害情報プラットフォームの構築・運用によって、南海トラフ地震の防災対策特別強化地域における自治体職員や住民の啓発と防災・減災活動の向上に役立てることを目指す。同時に、対象災害の対策に関わる研究者の参照情報データベースとしての活用を目指す。</p>		
<p><b>●プロジェクトの目標(ゴール)</b>                  ・災害情報プラットフォームの構築と運用                  ・南海トラフ地震に関する研究成果と公開情報の収集、整理、発信                  ・南海トラフ地震対策に関わる研究者の参照情報の収集、整理、発信                  ・情報の利用者から情報発信者へのフィードバック機能の実装と利用                  ・ユーザが自身の活動地域・活動分野の近接情報を取得するための情報フィルタリング機能の実装と利用</p>		
<p><b>●プロジェクト参加者とコアコンピタンス</b>  <b>【定義】</b>                  コアコンピタンスとは、プロジェクトの参加者が活動分野において持つ「他者に真似できない核となる能力」の事。本書においては、「プラットフォームのユーザに利益をもたらす、他にない研究成果や技術、ノウハウ」の事とする。                  個々の研究成果や技術、ノウハウをユーザに即座に提供可能な状態のものは「コンテンツ」とし、コアコンピタンスとは区別する。</p>		
#	プロジェクト参加者	コアコンピタンス
1	(独)海洋研究開発機構	DONET(地震・津波観測監視システム)、地域研究会
2	名古屋大学	地域防災・減災活動、地域連携、教材作成
3	京都大学	社会基盤再生、災害対応・復旧復興研究
4	東京大学	社会防災・教育、広帯域地震観測、災害シミュレーション
5	東北大学	東日本大震災教訓アーカイブ、災害シミュレーション
6	(独)防災科学技術研究所	地震・津波推定情報、J-SHIS、J-RISQ、地震観測網、自然災害情報室アーカイブ
7	(独)産業技術総合研究所	津波履歴調査、活断層調査

図 3-5-①-4 プロジェクトの概要

b) 対象とするユーザの定義[1-2]

表 3-5-①-3 ユーザの定義

<p><b>●顕在需要者</b>                  本書では、「今すぐ防災研究成果等を活用したいと考えているユーザ」を顕在需要者とする。</p>		
#	顕在需要者	需要
1	自治体の防災関係者	自地域における最先端の防災研究成果
2	企業などの経営者、リスク管理責任者	研究成果の利活用事例(自社の防災への応用性)
3	大学などの研究者	先端科学技術に基づく研究成果・論文等
<p><b>●潜在需要者</b>                  本書では、「現状に課題を抱えており、その改善に防災研究成果が有効なユーザ」を顕在需要者とする。</p>		
#	顕在需要者	需要(抱えている課題等)
1	自治体の防災関係者	計画立案に使う最新ハザード情報の入手、他地域の活動参照
2	企業などの経営者、リスク管理責任者	計画立案に使う最新ハザード情報の入手
3	大学などの研究者	研究者相互の最新成果物の共有

利用される災害情報プラットフォームを目指すために、ユーザ視点の利用シミュレーションを行った。そのために、自治体の防災担当者と企業の経営者・管理責任者（どちらも地域研究会参加者）、大学などの研究者の3ユーザを想定し各種条件設定をした。

<b>ターゲットユーザ</b>	自治体・市町村の防災関係者	
●ユーザとサイトと情報提供者の理想的な関係性		
関係図		
	<p>●ペルソナモデル</p> <p>【定義】 ペルソナモデルとは、ターゲットユーザの外的側面を具体的に想像した架空の人物像の事</p> <p>【書き方】 ターゲットユーザに該当する人物像を具体的に想像し、以下の項目を記入する。          基本情報・・・年齢、性別、地域、職業、役職、経歴、担当職務など          特徴・性格・・・スキルや特殊技能、興味関心事項、課題意識を抱えていること、性格、行動特徴など          ニーズ・・・サイト訪問の要因となる、需要者が抱える課題          キーワード・・・ニーズの解消のためにWEB検索する際の想定キーワード</p>	
<b>基本情報</b>	54歳 男性 南海トラフ地震防災対策特別強化地域内の自治体の防災対策課長 南海トラフ地震対策計画の企画担当	
<b>特徴・性格</b>	情報技術に疎い	
<b>ニーズ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・南海トラフ地震対策計画の企画作成のため、計画項目の洗い出しを行っている。</li> <li>・他自治体の計画策定状況を知りたい。</li> </ul>	
<b>キーワード</b>	南海トラフ地震	南海トラフ地震 対策
	南海トラフ地震 《地域名》	南海トラフ地震 特別強化地域
	南海トラフ地震 被害想定	南海トラフ地震 防災対策計画
	南海トラフ地震とは	南海トラフ地震 津波
	南海トラフ地震対策特別措置法	南海トラフ 津波 《地域名》

図 3-5-①-5 ターゲットユーザ①自治体・市町村の防災関係者

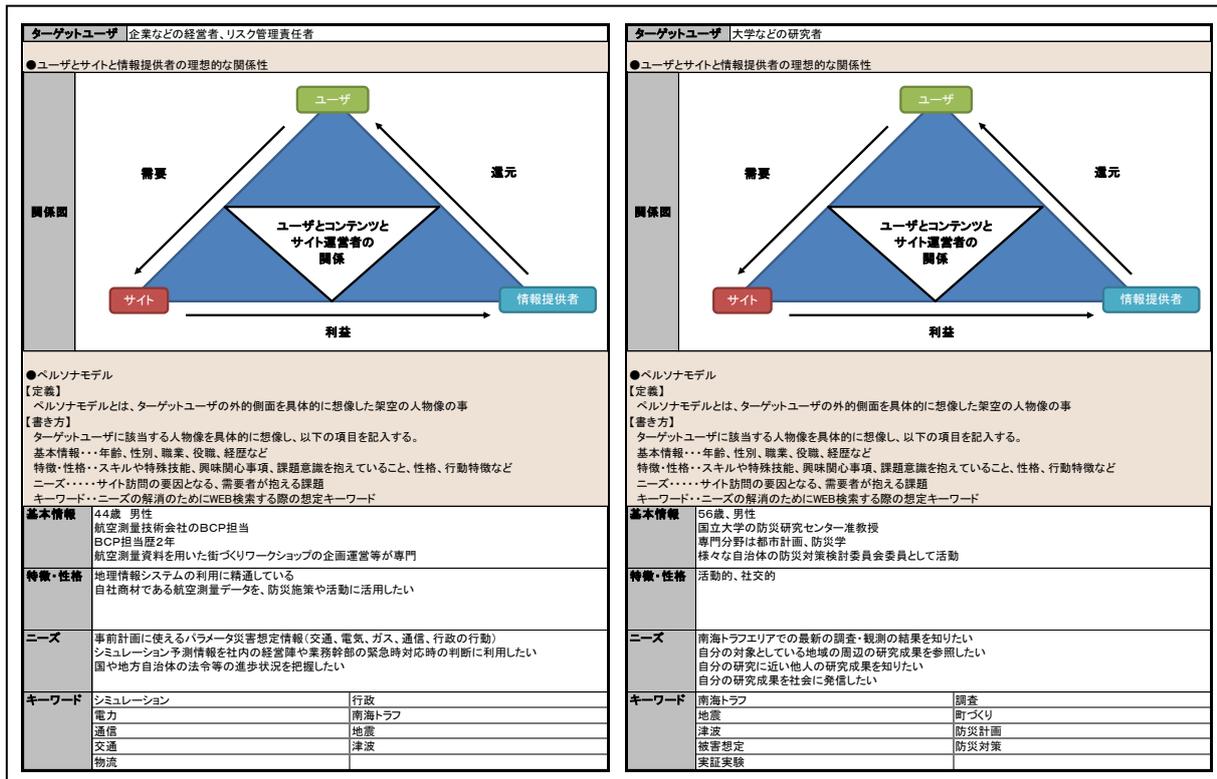


図 3-5-①-6 ターゲットユーザ②企業の責任者と③大学などの研究者

c) 重要なユーザモデル (ペルソナ) 想定キーワード[3-1]

この後は、想定ユーザの視点で利用状況をシミュレーションしていく。例として自治体の防災担当者について説明していく。

表 3-5-①-4 ターゲットユーザの想定キーワード

#	ターゲットユーザ	キーワード
1	自治体・市町村の防災関係者	南海トラフ地震
2		南海トラフ地震 対策
3		南海トラフ地震 《地域名》
4		南海トラフ地震 特別強化地域
5		南海トラフ地震 被害想定
6		南海トラフ地震 防災対策計画
7		南海トラフ地震とは
8		南海トラフ地震 津波
9		南海トラフ地震対策特別措置法
10		南海トラフ 津波 《地域名》

d) 関連キーワード一覧

前述の想定キーワード（自治体）と似通った文言について現在社会的に関心の高いものを調べ、インターネット利用者の関心度を把握した。以下の表がその結果である。

表3-5-①-5 似通ったキーワードの社会的関心度

【方法】			
3-1でリスト化したキーワードに対して、Google Adwords のキーワードプランナーツールを利用して、関連性の高いキーワードの一覧を取得する。その中から本プロジェクトのターゲットになり得るものを抽出する。			
#	キーワード	月間平均検索性数	
1	南海トラフ地震	390	
関連性 ランク	キーワード	月間平均 検索性数	対象
1	南海トラフ地震 津波 マップ	480	○
2	南海トラフ地震津波予想	110	○
3	南海トラフ地震 津波到達時間	70	○
4	南海トラフ地震津波地図	70	○
5	南海トラフ地震とは	210	○
6	南海トラフ地震 対策	170	○
7	南海トラフ地震津波想定	70	○
8	南海トラフ地震防災対策推進地域	390	○
9	南海トラフ地震 津波 高さ	70	○
10	南海トラフ地震の津波想定	30	○
11	地震対策	2900	
12	南海トラフ 津波 想定	210	○
13	南海トラフ地震 津波 大阪	70	○
14	南海トラフとは	320	○
15	南海トラフ巨大地震 対策	140	○
16	南海トラフ地震 兵庫県	110	○
17	南海トラフ地震 愛媛県	110	○
18	南海トラフ地震震度分布図	40	○
19	南海トラフ地震津波予測	30	○
20	南海トラフ 兵庫県	210	○
21	南海トラフ地震防災対策計画	70	○
22	南海トラフ地震津波範囲	30	○
23	南海トラフ 愛媛	140	○
24	地震 備え	1300	
25	南海トラフ地震 予想震度	30	○
26	南海トラフ巨大地震津波シュミレーション	50	○
27	南海トラフ地震 備え	40	○
28	南海トラフ巨大地震津波予想図	50	○
29	地震の備え	320	
30	南海トラフ沖地震	90	○
31	愛媛 地震 予想	210	○
32	南海トラフ地震防災対策	40	○
33	南海トラフ巨大地震 被害想定 愛媛県	70	○
34	南海トラフ大震災	70	○
35	地震の被害	210	
36	南海トラフ地震の被害想定	40	○
37	南海トラフ地震 2014	50	
38	津波予測	140	
39	南海トラフ地震 規模	30	○
40	耐震対策	170	

e) キーワードマップ

キーワードの関連性を評価しまとめたのが下記の図である。ページ構成と表示テキストを考える時に、この関心の高いキーワードも参照とした。

【方法】		
1. 類似のキーワードをグループ化する		
2. 関連性の高いグループ同士を並列し、上位・下位をつなげてツリー構造で表す		
南海トラフ地震	南海トラフ地震	390
	南海トラフ地震とは	210
	南海トラフとは	320
	南海トラフ沖地震	90
	南海トラフ大震災	70
被害想定	南海トラフ地震の被害想定	40
	南海トラフ地震 規模	30
地域別	南海トラフ巨大地震 被害想定 愛媛県	70
被害想定	南海トラフ地震 兵庫県	110
	南海トラフ地震 愛媛県	110
	南海トラフ 兵庫県	210
	南海トラフ 愛媛	140
津波ハザード	南海トラフ地震 津波 マップ	480
	南海トラフ地震津波予想	110
	南海トラフ地震 津波到達時間	70
	南海トラフ地震津波地図	70
	南海トラフ地震津波想定	70
	南海トラフ地震 津波 高さ	70
	南海トラフ地震の津波想定	30
	南海トラフ 津波 想定	210
	南海トラフ地震津波予測	30
	南海トラフ地震津波範囲	30
	南海トラフ巨大地震津波シミュレーション	50
	南海トラフ巨大地震津波予想図	50
地域別	南海トラフ地震 津波 大阪	70
津波ハザード		
予想震度分布	南海トラフ地震震度分布図	40
	南海トラフ地震 予想震度	30
地域別	愛媛 地震 予想	210
予想震度分布		
防災対策計画	南海トラフ地震 対策	170
	南海トラフ巨大地震 対策	140
	南海トラフ地震防災対策計画	70
	南海トラフ地震防災対策	40
推進地域	南海トラフ地震防災対策推進地域	390
地域・家庭での備え	南海トラフ地震 備え	40

図 3 - 5 - ① - 6 キーワードのグループ化と相関一覧

f) 戦略の決定（ターゲット、バリュー、ゴール）

表 3-5-①-6 戦略の内容

ターゲット	バリュー	ゴール
自治体などの防災関係者	広域地震であることを前提として、周辺自治体の対策状況等が比較できること	他自治体の事例紹介や計画内容、大学・研究所等の研究成果コンテンツへのアクセス、過去の災害履歴把握、地域内防災活動団体の把握、意見交換の場設置

g) シナリオ案の検証例（利活用想定案）

ユーザ視点で利用されると想定したページの構造と導線について検討を行った。

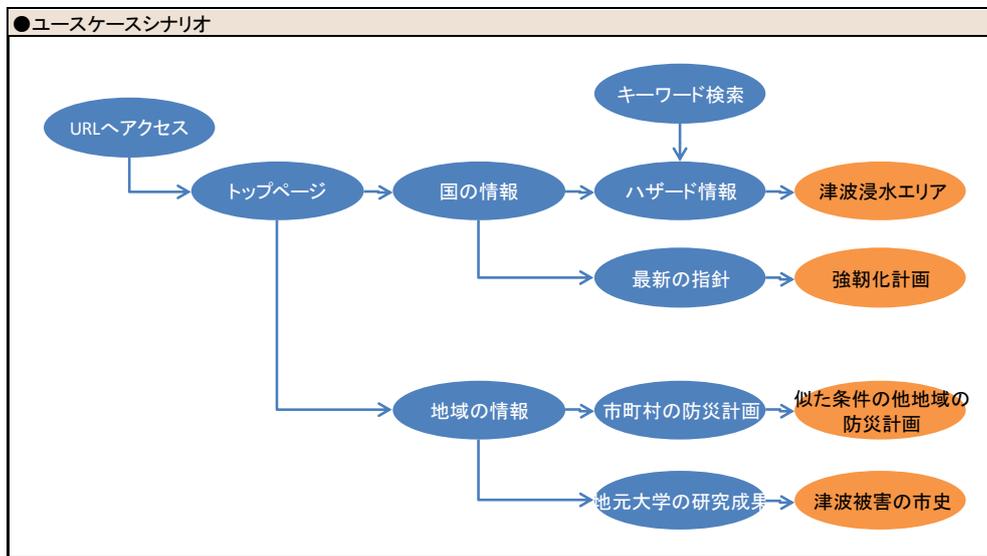


図 3-5-①-7 利用イメージの階層構造（案）

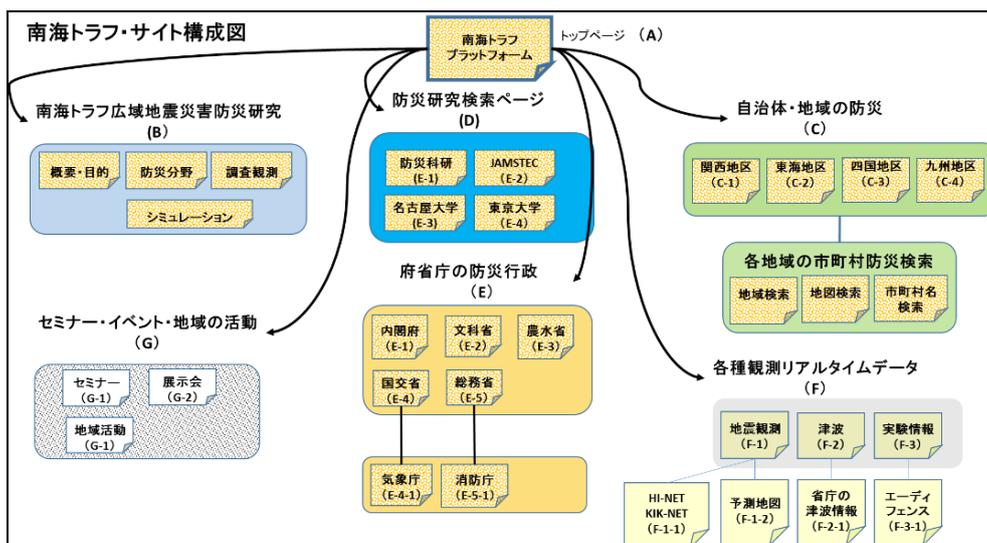


図 3-5-①-8 ページ構造とユーザ利用導線の検証

h) コンテンツ分類の定義（データベース構築）

表 3-5-①-7 各種活動の成果物と地域名称と情報の種別

●分野カテゴリ		
分類記号	分類名	
PP	プロジェクトの紹介	
PP-A	地域連携減災研究の紹介	
PP-A1	東日本大震災教訓活用研究の紹介	
PP-A2	地震・津波被害予測研究の紹介	
PP-A3	防災・減災対策研究の紹介	
PP-A4	災害対応・復旧復興研究の紹介	
PP-A5	防災・災害情報発信研究の紹介	
PP-B	巨大地震発生域調査観測研究(調査観測分野)の紹介	
PP-B1	プレート・断層構造研究の紹介	
PP-B2	海陸津波履歴研究の紹介	
PP-B3	広帯域地震活動研究の紹介	
PP-C	巨大地震発生域調査観測研究(シミュレーション分野)の紹介	
PP-C1	データ活用予測研究の紹介	
PP-C2	震源モデル構築・シナリオ研究の紹介	
RP	プロジェクトの成果	
RP-A	地域連携減災研究の成果	
RP-A1	東日本大震災教訓活用研究の成果	
RP-A2	地震・津波被害予測研究の成果	
RP-A3	防災・減災対策研究の成果	
RP-A4	災害対応・復旧復興研究の成果	
RP-A5	防災・災害情報発信研究の成果	
RP-B	巨大地震発生域調査観測研究(調査観測分野)の成果	
RP-B1	プレート・断層構造研究の成果	
RP-B2	海陸津波履歴研究の成果	
RP-B3	広帯域地震活動研究の成果	
RP-C	巨大地震発生域調査観測研究(シミュレーション分野)の成果	
RP-C1	データ活用予測研究の成果	
RP-C2	震源モデル構築・シナリオ研究の成果	
RR	関連研究の成果	
GM	府省庁の公開情報	
LG	地方自治体の公開情報	
RI	地域の団体・住民の情報	

●地域カテゴリ		
分類記号	分類名	
	関西地域	
	三重県	
	兵庫県	
	和歌山県	
	東海地域	
	静岡県	
	愛知県	
	四国地域	
	徳島県	
	愛媛県	
	高知県	
	九州地域	
	大分県	
	宮崎県	
	鹿児島県	

●目的カテゴリ			
分類記号	分類名		備考
S	学術コンテンツ		各種の客観的または公的な情報
S1	テキスト		計画、制度、報告書、研究論文など
S2	データ		統計データ、観測データ、解析データ、リアルタイムデータなど
S3	マップ		地図、空中写真、各種主題図の地図データまたは画像データ
S4	事例		研究成果の活用事例、防災活動の取り組み事例などの紹介
S5	映像・画像		各種映像資料、画像資料
T	ツールコンテンツ		ツールとして活用可能なコンテンツ
T1	様式		計画策定等を支援する各種様式
T2	教材		学習を支援する各種教材
T3	コミュニケーションツール		コミュニケーションを支援する各種ツール
L	教育コンテンツ		学術コンテンツおよびツールコンテンツの活用を促進する情報
L1	解説		データ等の見方などを解説する記事
L2	ハウツー		計画策定、データ解析、資料作成、ワークショップの運営等の実行手段を解説する記事
L3	チュートリアル		サイト上の機能の使用方法を解説するチュートリアル機能
L4	比較、分類、評価		公開情報等をテーマに沿って比較、分類、評価する記事

これら検討作業により、ユーザ視点を基本とした災害情報プラットフォーム Ver.0.1 の構造（ページ構成、導線、表示情報など）と、データの分類仕様を評価し決定した。

想定ユーザおよび、閲覧権限としては、以下の表 3-5-①-8 の条件とした。

図 3-5-①-9 に災害情報プラットフォーム Ver.0.1 のツリー構造を記す。なお現在のところ研究者向けデータベースは構築中であり閲覧は不可である。ユーザからの意見や質問は問い合わせフォームにて対処し FAQ にて回答を公開する予定。

表 3-5-①-8 利用者の権限設定

対象者	ログイン条件	閲覧権限
一般	ログイン無し	※現在は閲覧できないが将来的に公開情報のみ閲覧可能
地域研究会メンバー	アカウントでログイン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ページすべて閲覧（閲覧ユーザ）</li> <li>・ 自分の地域ページのみ変更可能（管理者権限）</li> </ul>
研究者	研究者アカウントでログイン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ページすべて閲覧（閲覧ユーザ）</li> <li>・ 研究データベース閲覧（研究者ユーザ）</li> <li>・ 将来的に研究データベース変更可能にする（管理者権限）</li> </ul>

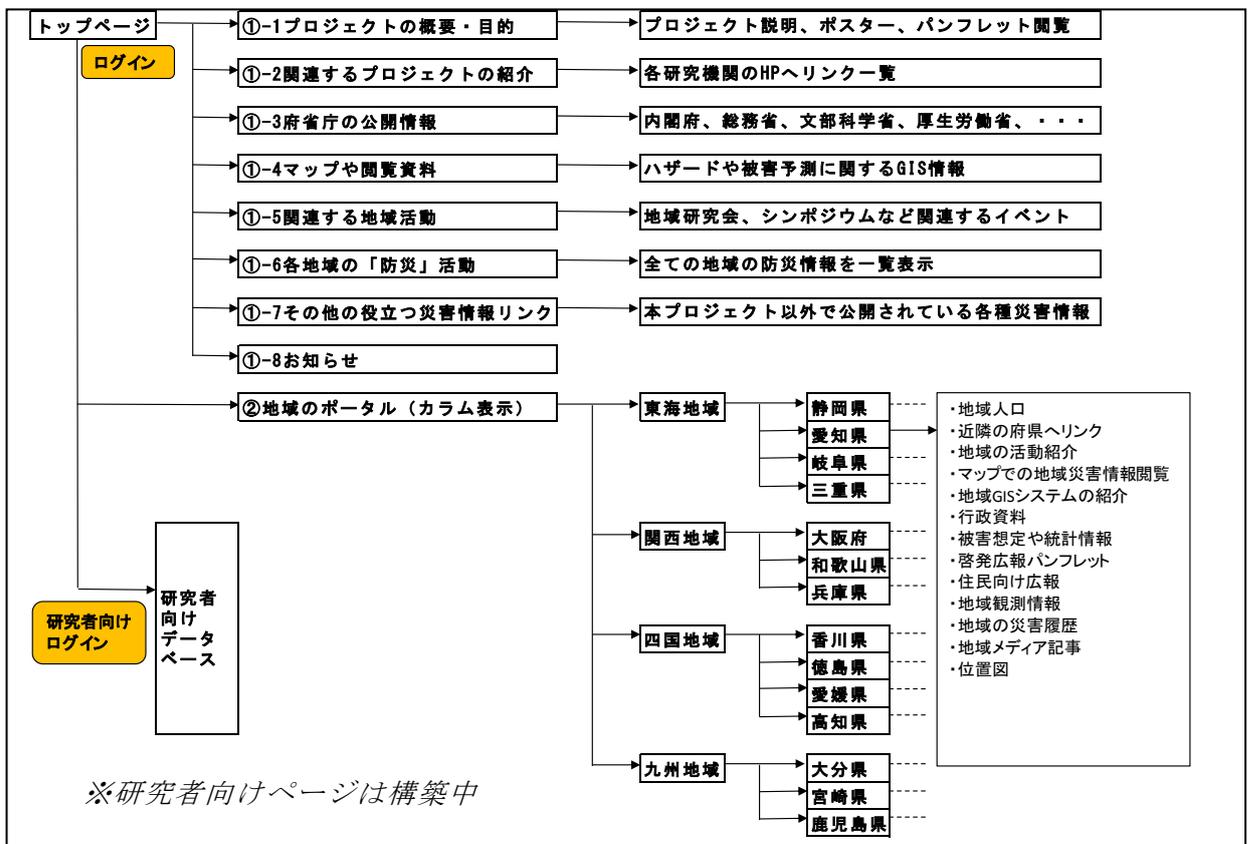


図 3-5-①-9 災害情報プラットフォーム Ver.0.1 のツリー構造

情報の掲載ルールについては表3-5-①-9に記す。情報の種類にてをキーワード分類し、それらの情報の公開の条件を、情報提供機関と本プロジェクト関係者の立場を考慮して公開の条件を整理した。

なお、情報の内容は、南海トラフ大規模地震に関する情報に限定している。

表3-5-①-9 情報別掲載ルール（案）

情報の種類	主な情報の内容	公開の条件					情報提供機関						
		公開	未	非	限定	不明	国	県市	企業	地域	大学	研究機関	
研究情報	過去の研究成果(論文)	○										○	○
	現在の研究成果(論文)				○							○	○
	将来の研究成果(論文)			○								○	○
対策情報 (平常時・緊急時・復興時)	地震:防災マニュアル	○					○	○					
	津波:防災マニュアル	○					○	○					
	訓練:防災マニュアル	○					○	○					
	教育:防災マニュアル				○		○	○					
政策情報	防災対策	○					○	○					
	ハザード情報				○		○	○					
	緊急支援	○					○	○					
	災害補償				○		○	○					
観測情報	地震・津波観測情報				○							○	○
	施設の耐震診断情報				○			○	○			○	○
実験情報	耐震実験(E-ティエンス)	○										○	○
	耐震実験(津波遡上実験)				○							○	○
防災活動情報	自治体・市町村の訓練・連携活動	○						○					
	学校の訓練・連携活動				○			○				○	
	地域住民の訓練・連携活動	○						○		○			
	企業の訓練・連携活動			○					○				
イベント情報	講演会	○											
	セミナー				○							○	○
	シンポジウム				○							○	○
	展示会	○							○				○
	訓練				○		○	○		○			
地域説明会	避難所情報	○						○					
	緊急時のインフラ情報				○			○	○				
	復興時の防災体制				○			○	○				
委員会情報	防災政策委員会情報(議事録、委員会名簿)	○					○	○					
	防災政策委員会情報(配布資料)			○			○	○					
	防災対策委員会情報(議事録、委員会名簿)	○					○	○					
	防災対策委員会情報(配布資料)			○			○	○					
研究論文	地震・津波メカニズム				○							○	○
	地震・津波予測手法				○							○	○
	地震・津波情報技術				○							○	○
歴史情報	過去の災害事例(時期)	○						○				○	○
	過去の災害事例(場所)	○						○				○	○
	過去の災害事例(規模)	○						○				○	○
	過去の災害事例(被害状況)				○			○	○	○	○	○	○
	過去の災害事例(社会変化)				○			○		○	○	○	○

#### 5) グループページの構築と情報導入

詳細設計により検討された権限設定、コンテンツ分類、ページ構造、導線の各条件を反映し災害情報プラットフォーム Ver.0.1 の構造を改修し、実際に情報を導入した試作ページを構築した。

また、名古屋大学が所持する GIS データの利用を可能とするため、相互のクリアリングハウス連携を検討し試験運用を開始した。

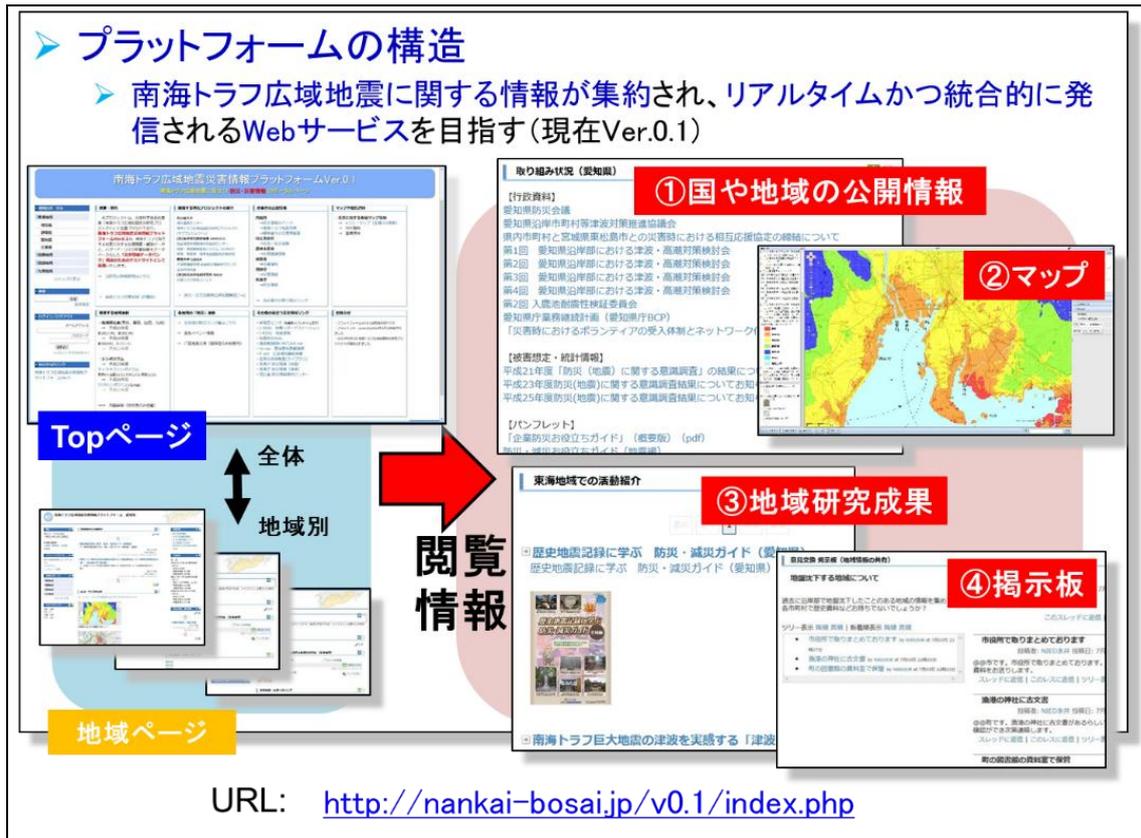


図 3-5-①-10 災害情報プラットフォーム Ver.0.1 の構造イメージ

前述しているの表 3-5-①-7 のコンテンツ分類と、利用するユーザの情報閲覧の導線を考慮して、トップページのデザイン検討を実施した。検討したデザインのいくつかを下記に記す。

ページ表示は、あくまでもデザイン案であり、今後も継続して改修を行っていく。

シンプル表示デザインとしてボタン表示のみの案が、次の図 3-5-①-11 と図 3-5-①-12 である。

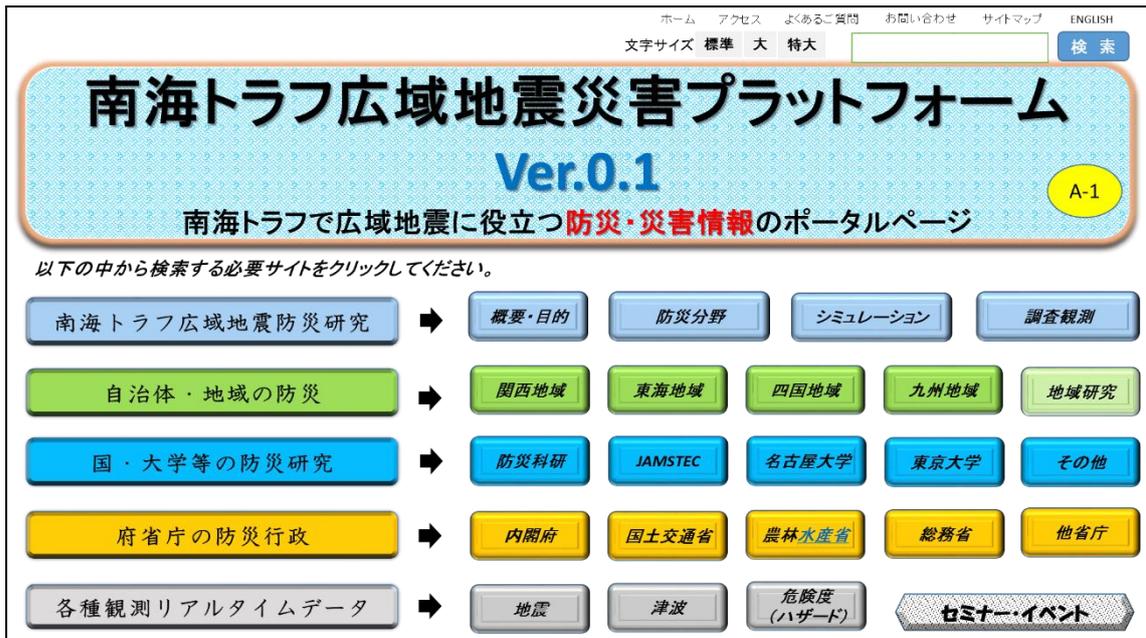


図 3-5-①-11 トップページのデザイン案 1



図 3-5-①-12 トップページのデザイン案 2

テキスト主体でカテゴリ表示した案が次の図 3-5-①-13 と図 3-5-①-14 である。

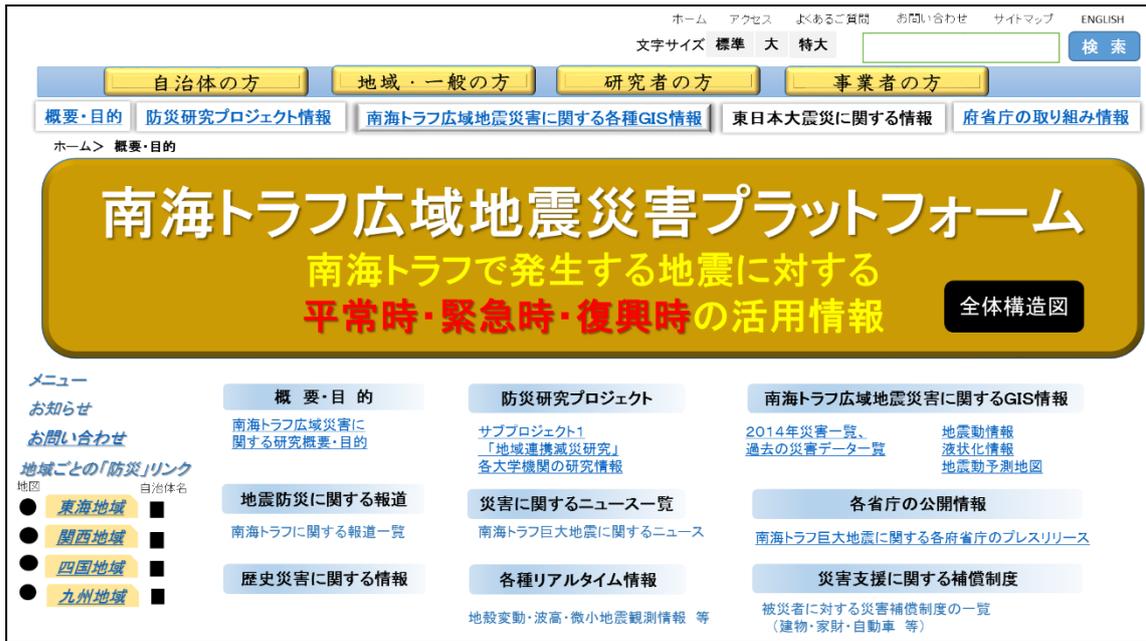


図 3-5-①-13 トップページのデザイン案 3



図 3-5-①-14 トップページのデザイン案 4

次に、災害情報プラットフォーム Ver.0.1 にて利用可能なトップページ、地域のページの全体構成を説明する。なお、現段階ではトップページのデザイン案 4 で作成している。

a) トップページから閲覧できる情報の説明

## 災害情報プラットフォームのTopページ(全国情報)

**0.地域ページへはこちらから**

1.概要・目的
2.プロジェクト紹介
3.国の情報
4.マップ機能

**地域のパネル**

- 東海地域
- 畿内地域
- 静岡地域
- 近畿地域
- 三重地域
- 関東地域
- 四国地域
- 九州地域

**概要・目的**

本プロジェクトは、文部科学省委託事業「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」に位置づけられており、南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームVer.0.1は、南海トラフで発生する地震に対する各種調査・観測データと、ハザード・リスク評価結果をデータベース化した「災害情報データベース」構築のためのウェブサイトとして運用いたします。

→ 当研究の詳細説明はこちら

**関連する研究プロジェクトの紹介**

名古屋大学  
防災連携センター  
南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト(サブプロジェクト)  
(独)海洋研究開発機構 JAMSTEC  
地震津波海嘯総合研究センター  
地震・津波観測システム(DONET)  
東海、東南海、南海地震運動性評価研究  
東京大学 CIDER  
大学連携学域 総合防災情報研究センター  
主な研究活動  
(独)防災科学技術研究所 NIED  
災害リスク研究ユニット

**府省庁の公開情報**

内閣府  
→ 防災情報のページ  
→ 南海トラフ地震対策  
→ 関係省庁の災害情報等  
国土交通省  
→ 災害、防災情報  
農林水産省  
→ 災害関連情報  
総務省  
→ 災害情報  
消防庁  
→ 災害情報  
気象庁  
→ 防災情報

**マップや関連資料**

- ・ 災害に関する各種マップ情報
- eコミ、マップ(各種GIS情報)
- PDF資料
- 画像資料

5.関連活動
6.各地の活動
7.災害情報リンク
お知らせ

**検索**

検索条件設定

**関連する地域活動**

- ・ 地域研究会(東海、関西、四国、九州)
- 平成25年度  
第1回(11月)、第2回(2月)
- 平成26年度  
第1回(8月)、第2回(1月)
- 平成27年度
- ・ シンポジウム
- 平成25年度  
キックオフシンポジウム  
東海/4.25日/11.15.九州/11.19.関西/11.20
- 平成26年度  
12/9シンポジウム(名古屋)
- 平成27年度

→ 内容詳細(関係者のみ閲覧)

**各地域の「防災」活動**

- 各地域の防災リンク集はこちら
- 各地イベント情報
- 意見掲載系(関係者のみ利用可)

**その他の役立つ災害情報リンク**

- ・ 新強震モニタ(地震動リアルタイム表示)
- ・ J-SHIS 地震ハザードステーション
- ・ J-RISQ 地震速報
- ・ 地震防災Web
- ・ 強震観測網-CINET, KiK-net
- ・ Hi-net 高感度地震観測網
- ・ F-net 広帯域地震観測網
- ・ 自然災害情報室(ライブラリ)
- ・ 気象庁 防災情報(地震)
- ・ 気象庁 防災情報(津波)
- ・ 国交省 防災情報提供センター

**お知らせ**

- ・ プラットフォームVer.0.1は現在作成中です
- ・ プラットフォームVer.0は2014年3月に作成されました
- ・ 2013年9月1日 南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトが開始されました

➡ **コンテンツの項目ごとに区分けしたTopページから求める情報へと進む**

図 3-5-①-15 トップページ

### Topページからの閲覧情報(全国情報)

コンテンツの項目ごとに区分けしたTopページから求める情報へと進む

1.概要・目的

**概要・目的**

→ 南海トラフ対策地域(内閣府)

本プロジェクトは、文部科学省委託事業「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」に位置づけられており、南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームVer.0.1は、南海トラフで発生する地震に対する各種調査・観測データと、ハザード・リスク評価結果をデータベース化した「災害情報データベース」構築のためのウェブサイトとして運用いたします。

→ 当研究の詳細説明はこちら

2.プロジェクト紹介

**関連する研究プロジェクトの紹介**

名古屋大学  
防災連携センター  
南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト(サブプロジェクト)  
(独)海洋研究開発機構 JAMSTEC  
地震津波海嘯総合研究センター  
地震・津波観測システム(DONET)  
東海、東南海、南海地震運動性評価研究  
東京大学 CIDER  
大学連携学域 総合防災情報研究センター  
主な研究活動  
(独)防災科学技術研究所 NIED  
災害リスク研究ユニット

→ 防災・災害情報発信研究要約(1-e)

### Topページからの閲覧情報(全国情報)

コンテンツの項目ごとに区分けしたTopページから求める情報へと進む

プロジェクト説明

プラットフォームVer.0.1は、南海トラフで発生する地震に対する各種調査・観測データと、ハザード・リスク評価結果をデータベース化した「災害情報データベース」構築のためのウェブサイトとして運用いたします。

→ 当研究の詳細説明はこちら

説明ポスター

南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームVer.0.1は、南海トラフで発生する地震に対する各種調査・観測データと、ハザード・リスク評価結果をデータベース化した「災害情報データベース」構築のためのウェブサイトとして運用いたします。

➡ **各研究機関ページへのリンク**

図 3-5-①-16 1 プロジェクト概要・目的、2 関連するプロジェクトの紹介



図 3 - 5 - ① - 17 3 府省庁の公開情報、4 マップ情報や閲覧可能な図等



図 3 - 5 - ① - 18 5 関連する地域活動、6 各地域の防災活動情報



図 3 - 5 - ① - 19 7 その他の役立つ災害情報研究成果のリンク

b) 地域のページから閲覧できる情報の紹介

## Topページから各地域のページへ(各地域の詳細情報)

**0.地域ページ 南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームVer.0.1**  
南海トラフ広域地震に役立つ 防災・災害情報のポータルページ

**地域のポータル**

- 東海地域
- 畿伊圏
- 静岡圏
- 愛知圏
- 三河圏
- 関西地域
- 四国地域
- 九州地域

<p><b>概要・目的</b></p> <p>本プロジェクトは、文部科学省委託事業「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」に位置づけられており、<b>南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームVer.0.1</b>は、南海トラフで発生する地震に対する各種調査・観測データと、ハザード・リスク評価結果をデータベース化した「<b>災害情報データバンク</b>」構築のためのテストサイトとして運用いたします。</p> <p>→ 当研究の詳細説明はこちら</p>	<p><b>関連する研究プロジェクトの紹介</b></p> <p>名古屋大学 防災連携センター 南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト(サブプロジェクト1) (独)海洋研究開発機構 JAMSTEC 地震津波海洋観測研究開発センター 地震・津波観測監視システム(DONET) 東海・南海海・南海地震運動性評価研究 東京大学 CIDER 大分県立総合防災情報研究センター 主な研究活動 (独)防災科学技術研究所 NIED 災害リスク研究ユニット</p> <p>→ 防災・災害情報発信研究概要(1-e)</p>	<p><b>府省庁の公開情報</b></p> <p>内閣府 → 防災情報のページ → 南海トラフ地震対策 → 関係府庁の災害情報等</p> <p>国土交通省 → 災害・防災情報</p> <p>農林水産省 → 災害関連情報</p> <p>総務省 → 災害情報</p> <p>消防庁 → 災害情報</p> <p>気象庁 → 防災情報</p> <p>→ 各府省庁の取り組みリンク</p>	<p><b>マップや図表資料</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・災害に関する各種マップ情報</li> <li>→ eコマ、マップ(各種GIS情報)</li> <li>→ PDF資料</li> <li>→ 画像資料</li> </ul>	
<p><b>検索</b></p> <p>検索 条件設定</p>	<p><b>関連する地域活動</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>地域研究会</b>(甲斐、関西、四国、九州) → 平成25年度 第1回(11月)、第2回(2月) → 平成26年度 第1回(8月)、第2回(1月) → 平成27年度</li> <li>・<b>シンポジウム</b> → 平成25年度 キックオフシンポジウム 南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームVer.0 第1回(4.4回)11/15,九州11/19,関西11/20 → 平成26年度 12/9シンポジウム(名古屋) → 平成27年度</li> </ul> <p>→ 内容詳細(関係者のみ閲覧)</p>	<p><b>各地域の「防災」活動</b></p> <p>→ 各地域の防災リンク集はこちら</p> <p>→ 各地イベント情報</p> <p>→ ご意見提議表(関係者のみ利用可)</p>	<p><b>その他の役立つ災害情報リンク</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新強震モニタ(地震動リアルタイム表示)</li> <li>・J-SHIS 地震ハザードステーション</li> <li>・J-RISQ 地震速報</li> <li>・地震防災Web</li> <li>・強震観測網K-NET, KiK-net</li> <li>・Hi-net 高精度地震観測網</li> <li>・F-net 広帯域地震観測網</li> <li>・自然災害情報検索(ライブラリ)</li> <li>・気象庁 防災情報(地震)</li> <li>・気象庁 防災情報(津波)</li> <li>・国土省 防災情報提供センター</li> </ul>	<p><b>お知らせ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・プラットフォームVer.0.1は現在作成中です</li> <li>・プラットフォームVer.0.2は2014年3月に作成されました</li> <li>・2013年9月1日 南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトが開始されました</li> </ul>

**→ Topページの左上「地域のポータル」から求める地域の情報へと進む**

図 3 - 5 - ① - 20 トップページから地域のポータルへ移動

自治体名称リストから目的の自治体へ移動する

東海地域		関西地域		四国地域		九州地域	
静岡県	大府県	和歌山県	高知県	宮崎県	徳島県	香川県	福岡県
あ 浜松市	い 浜田市 だ 大宮市	あ 有田市	あ 高松市	あ 安芸市	か 高松市	か 高松市	か 門川市
い 伊豆市	い 浜松市 だ 大宮市	い 和歌山県	か 高松市	あ 大分県	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
う 藤枝市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
お 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
さ 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
し 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
す 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
せ 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
そ 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
た 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
て 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
と 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
な 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
に 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
ひ 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
ふ 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
ほ 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
ま 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
み 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
や 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
ゆ 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
よ 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
ら 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
り 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
ろ 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
る 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県
れ 浜松市	え 浜松市 だ 大宮市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	か 高松市	あ 大分県

地域ページからの閲覧情報(例:愛知県) 各地域の詳細情報

地域人口

地域の研究活動情報

観測情報

地域の災害履歴

近隣の県へ

マップで地域の災害情報閲覧

地元発信の防災情報

図 3 - 5 - ① - 21 府県と市町村の一覧表示、地域ページ(例:愛知県)

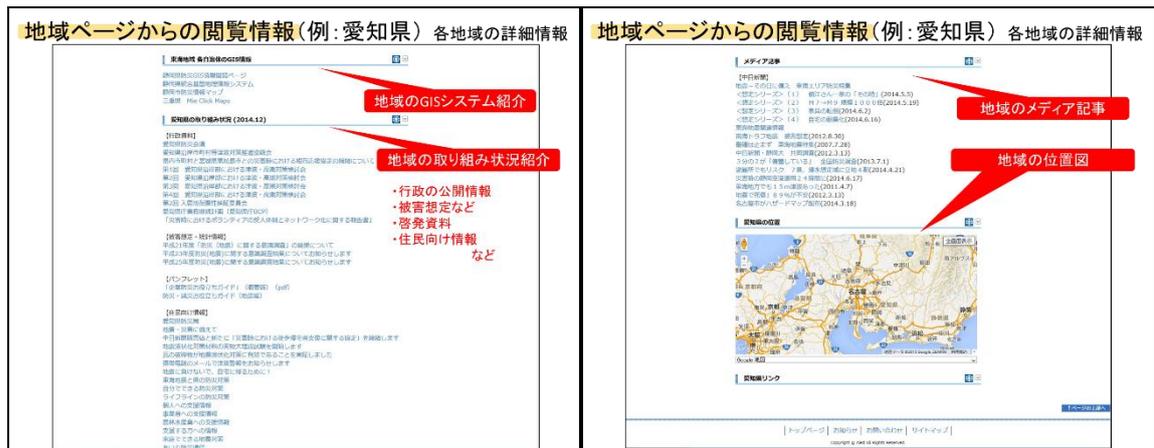


図 3-5-①-22 地域ページ（例：愛知県）

6) 今後必要となる追加機能の検討

作業過程から判明した課題について検討し、今後必要となる追加機能を考察した。

a) マウスポインターを重ねることによる概要情報表示ヘルプ吹き出し機能

広域災害を対象とした啓発の目的もあるため、ユーザは自分自身の地域だけでなく周辺地域の対策状況や、遠方の地域との事前連携に興味を持ってもらう必要がある。そのため、検索時に自分の地域をマップ上で選択したときに周辺の概要情報も自動的に表示されるような機能が必要である。

b) 自動巡回と情報収集機能を組み合わせたアプリの開発

公開されている災害情報は随時更新されていくため、収集作業は今後も継続される。すべてを手動で行うと膨大な作業が発生してしまう。しかし情報によっては自動的に巡回し収集することが可能なものもある。将来的に、情報所得とコンテンツの区分け作業を自動化する必要がある。

(d) 結論ならびに今後の課題

詳細設計を実施した災害情報プラットフォーム Ver.0.1 を構築したことにより、南海トラフ広域地震防災研究を行っている大学や研究機関の成果を自治体や企業の防災担当者に発信することが可能になり、平常時における災害対策への意識向上に効果を発揮すると期待される。

また、各地域の自治体や団体等が行っている災害に関する様々な情報も収集、カテゴリ分けを行った。これにより自分自身の地域だけでなく周辺地域の活動状況も閲覧することが可能となっており、広域災害の視点から他地域との事前連携等の意識が高まることが期待される。

これらが可能になったことによる効果としては以下があげられる。

1) 自治体防災担当者の場合

「南海トラフ」に関する各地域のハザードや観測、研究成果、地域活動等の各種情報を入手することが可能になった。効果としては以下の3点があげられる。

- ① 災害対策に利用できるハザード情報や観測情報を参照し必要に応じて入手
- ② 災害対策で連携すべき研究者の存在や活動内容を知る
- ③ 他地域の活動状況を参考にし、相互連携を深める

## 2) 研究者の場合

各種データを自身の研究に活用可能、研究成果を地域研究会参加者、自治体等に向け発信することが可能になった。効果としては以下の3点があげられる。

- ① 研究成果を「南海トラフ」対策地域の方々に知ってもらえる機会が増加
- ② 最新のハザード・観測情報、研究成果を入手し自身の研究に利用
- ③ 地域自治体の職員や住民からの声（意見や要望）を入手

## 3) 一般地域住民の場合

現在は、まだ住民向けを意識していないが、あえて言えば。

- ① 自分の地域のリスクを知る
- ② 自分の地域と近隣・広域の災害対策活動の現状を知る
- ③ 研究成果を活用した自助・共助を実行する

今後の課題としては、前述している必要となる追加機能の検討でも記述しているが、システムやツールの面ではユーザ支援のヘルプ機能や、情報収集のための支援ツールの開発である。

また、災害情報プラットフォームの運用面として、今後も新規・更新情報を集約し発信していくための運営スタッフの確保と人材育成、そして運営を担う組織の構築が必要であると考えられる。

## (e) 引用文献

- 1) 防災科学技術研究所, e コミュニティ・プラットフォームについての説明, <http://ecom-plat.jp/>, 2013
- 2) 防災科学技術研究所, 相互運用 g サーバについての説明, <http://ecom-plat.jp/index.php?gid=10459>, 2013
- 3) 防災科学技術研究所, 災害リスク情報クリアリングハウスについての説明, <http://ecom-plat.jp/group.php?gid=10620>, 2013
- 4) 防災科学技術研究所, 地震ハザードステーション(J-SHIS), <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>, 2013
- 5) 内閣府, 「南海トラフの巨大地震モデル検討会において検討された強震断層モデル、津波断層モデルに係るデータ」, [http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/data\\_t\\_eikyoku.html](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/data_t_eikyoku.html), 2012.12.

6) 田口仁, 李泰榮, 臼田裕一郎, 長坂俊成, 効果的な災害対応を支援する地理情報システムの一提案: 東北地方太平洋沖地震の被災地情報支援を事例として, 日本地震工学会, 2015.

## ②リアルタイム伝送

### (a) 業務の要約

南海トラフ巨大地震は、昭和、安政の過去2回は熊野灘周辺海域から破壊が始まったことが知られている。海洋研究開発機構（JAMSTEC）が敷設した地震津波・観測監視システム(DONET, Kawaguchi et al., 2010)は、その熊野灘海域に20点の観測点を設け、世界的にみても稠密な観測網である（Kaneda, 2010）。この海域での応力場の変化を捉えるため、微小地震の時空間分布を把握する。熊野灘海域には微小地震が活発に発生しており、3つのクラスタを構成しているが、そのうちの一部が東北地方太平洋沖地震直後には活発化した（Nakano et al., 2013）。しかし、これらはマグニチュード1.5程度が下限でそれ以下の微小地震の震源決定は十分ではない。そのため、微小地震を自動検知して震源決定を通じて応力変化の時空間分布を捉えることとした。この取り組みは平成25年から開始し、昨年度までに自動震源決定システムを導入、試験的に現在使用している。今年度はこれを機能を向上させることとした。具体的には、(1) P波 S波識別フィルターの開発による S波読み取りの高精度化、(2) 理論的エンベロープ波形と観測波形の比較による間違った処理結果の除去、(3) 2次元レイトレースによる海と陸との構造を用いた走時計算法の導入の3つに取り組んだ。(1)の S波読み取りの高精度化は、P波と S波の卓越周波数の違いに着目し、両者を分離する関数を設計した。(2)の間違った処理結果の除去については、(1)の検知結果に対して理論的なエンベロープ波形と比較して経験的にスコア化した。(3)の海と陸との構造を用いた走時計算法の導入は、一次元構造では正確な震源位置は求められない一方で、海と陸では速度構造に大きな違いがあるため、それぞれの代表的な構造を使って震源位置を求めることとした。これら3つの手法を完成させ、来年度以降の実装に向けてシステムのチューニングを実施した。

### (b) 業務の実施方法

DONET のアーカイブデータを用いて、この手法の効果を評価した。昨年度は、1.6倍のイベントの P波の検知に成功したが、S波の検知に課題が残っていたため、今年度はこれに取り組んだ。S波の検知式には、P波と S波の比を用いているが、これらのパラメーターは DONET 特有のものであり、経験的に決定した。間違った処理結果の除去には、1) P波到着時刻、2) P波最大振幅、3) S波最大振幅、4) (S-P) 時間、5) P波コーダ振幅の時間的減衰率それぞれに基準を設けて理論的エンベロープを計算しており、これも経験的に決定している。海と陸の構造を用いた走時計算法の導入も、P波構造、S波構造が異なる海陸のパラメーターを決定している。いずれも、DONET や設置海域に特有なものであり、長期間のデータを用いたチューニングが必要である。

### (c) 業務の成果

昨年度導入した自動震源決定システムの機能向上を行った。今年度は以下の点について改良を行った。(1) P波 S波識別フィルターの開発による、S波読み取りの高精度化、(2) 理論的エンベロープ波形と観測波形の比較による、間違った処理結果の除去、(3) 2次元レイトレースによる、海と陸との構造を用いた走時計算方法の導入、の3点である。以下に具体的な内容を記す(堀内ほか、2014)。

#### 1) P波 S波識別フィルターの開発による、S波読み取りの高精度化

地震計記録から地震動の初動を検出し、震源決定を行うシステムにおいて、一般に初動の検出は地震動振幅の急激な増加によって行う。P波の検出は、地震動が入射することによってそれまでのノイズレベルからの急激な振幅増加によって、比較的容易に検出できる。S波の検出はP波コーダの影響があるため、その検出はP波ほど容易ではない。また、地震波の放射特性によってP波初動振幅が小さい場合、その後到達するS波を間違えてP波と誤認することがある。P波とS波を正しく識別することは震源決定において重要である。これらを誤認すると震源決定の精度は非常に悪くなる。そのため、既存の自動震源決定システムでは、P波のみを使って震源決定を行う、あるいはP波は上下動波形から、S波は水平動波形から検出するなどの手順がとられてきた。前者の場合はS波を使わないため、震源決定の精度向上は期待できない。後者は、P波、S波の性質から、それぞれ上下および水平動において卓越するという特長を利用したものである。しかし、P波コーダにも時に水平動が卓越することがあり、上下水平の振幅比だけでは、S波を誤検知する場合がある。また、地震波の放射パターンの影響によってP波振幅が小さい場合には、上下動においてもS波初動が顕著となるため、必ずしも期待したとおりにならないことがある。一方、S波はP波と比べて卓越周期が長くなることが知られている。この卓越周期を同時にモニタすることで、S波の検知精度を向上できると考えられる。地震波継続中における卓越周期のモニタは、簡易的に速度波形と加速度波形の振幅比を取ることで行う。しかし、P波コーダの中にもやはり一時的に卓越周期が変化するため、卓越周期単独ではやはりS波読み取りの精度を向上することは難しい。

ここでは、以下の式を用いて水平上下動の振幅比と、卓越周期の変化を組み合わせモニタすることにより、S波の読み取りの高精度化を行った。

$$F(t) = \{2Z(t) - NS(t) - EW(t)\} \cdot c \{V(t) - rA(t)\} \quad (1)$$

ここで、 $Z(t)$ 、 $NS(t)$ 、 $EW(t)$ はそれぞれ地震動波形の上下、南北、東西各成分の絶対値の移動平均、 $V(t)$ は三成分速度波形の絶対値の移動平均、 $A(t)$ は三成分加速度波形の絶対値の移動平均である。また、 $r$ はP波コーダ部分の $V(t)$ と $A(t)$ の平均値との比、すなわち $r=V/A$ 、であり、P波の卓越周期を表す。したがって(1)式において、前半の $\{2Z(t) - NS(t) - EW(t)\}$ は水平動(H)と上下動(V)の振幅の相対的な変化、すなわち地震波が上下動と水平度のどちらに卓越するかを表す。地震動において、P波は上下動成分が卓越、S波は水平動成分が卓越する。上下動が卓越する場合、すなわちP波が入射した場合はこの項は正となり、S波が入射した場合はこの項は

負となることが期待される。後半の $-V(t)-rA(t)$ は、 $r$ がP波コーダの卓越周期であることから、これに対する卓越周期の変化を表す。 $c$ はH/V振幅変化と周波数変化からS波を検出するための重みで、経験的に0.3とした。地震動の卓越周波数は、P波と比べてS波の方が相対的に長周期成分に推移する。よってこの項は、地震動がP波からS波に推移するにしたがって、正から負に変化することが期待される。したがって、(1)式では地震動の卓越する振動方向および卓越周波数の変化を組み合わせることで、S波検知の精度向上を行う。(1)式の前半および後半の項はどちらも、S波の到着によって値が負になると期待される。どちらか一方が一時的に負になる場合と比べ、二つの指標を組み合わせることでS波の到着による変化が顕著となり、誤検知しにくい指標となると期待される。したがって(1)式の計算で得られる $F(t)$ の符号が負になる時刻を基に、S波を検出する。

図3-5-②-1に式(1)のS波識別フィルターによる出力例を示す。波形から計算した $F(t)$ はP波到着時には正に、S波到着時には負に変化している。このフィルターを用いることによってS波読み取りの高精度化を行った。

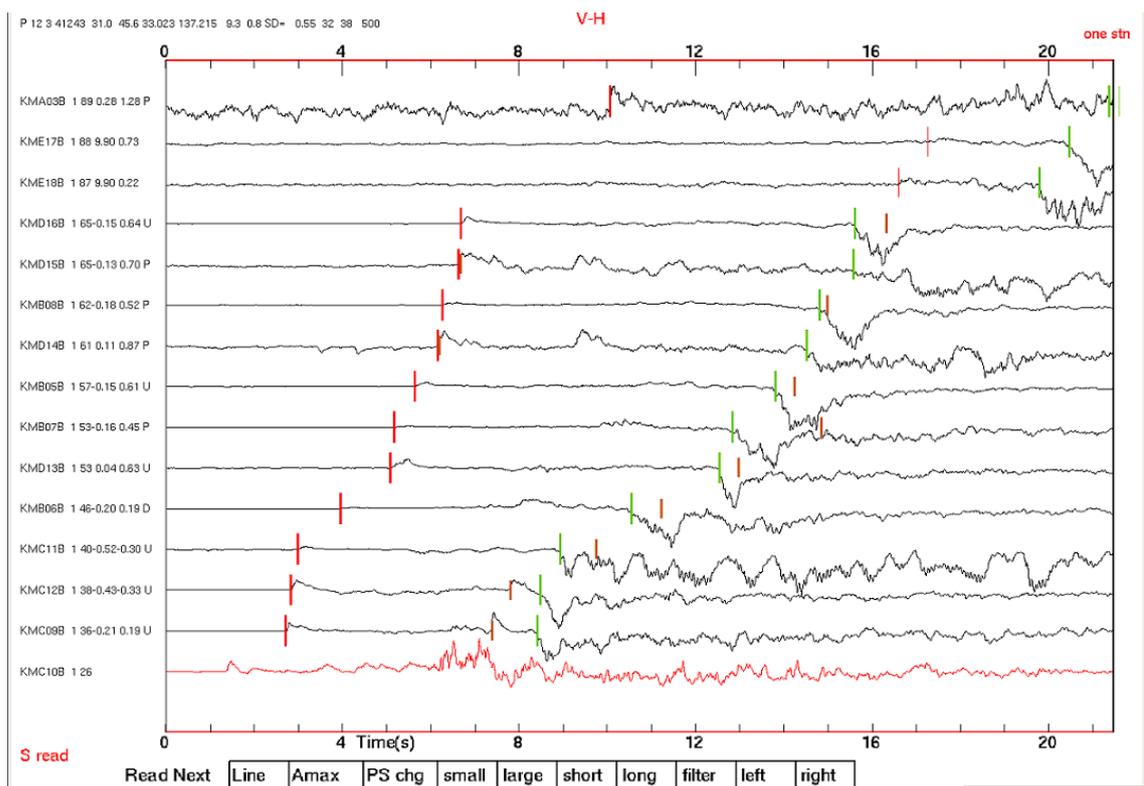


図3-5-②-1. P波、S波識別フィルターの出力結果の例。P波到着時には、振幅が正、S波到着時に、振幅が負となるため、S波の識別が容易になった。

- 2) 理論的エンベロップ波形と観測波形の比較による、間違った処理結果の除去  
 ノイズの混入や、変換波等による顕著な位相を間違ってP波もしくはS波と認識してしまう事がある。このようなデータを用いて震源決定を行った場合、ノイズや

相の誤認の影響が大きいと、震源決定の結果は実際の震源と大きく異なり、P波、S波の理論的な時刻は実際の時刻と大きくずれる。本来であればP波、S波の理論的な到着時刻周辺で実際の波形の振幅は大きくなるはずであるが、震源が大きすぎた場合やノイズによる影響が大きい場合、P波、S波の理論的な到着時刻では観測波形の振幅が大きくなり、別の時刻で振幅が大きくなる。このような誤検知による震源決定結果を取り除くため、理論的なエンベロープ波形を計算し、観測波形のそれと比較することにより、間違っただータが混入しているかについて調べ、間違っただ処理結果を除去するようにした。

観測波形のエンベロープ波形の計算において、厳密には三成分波形の二乗和の平方根を使うが、平方根の計算における処理負荷を軽減するため、ここでは三成分地震波形の絶対値を計算し、その移動平均を用いた。各観測点における理論的エンベロープ波形は以下で示す基準により作成した。

- 1) P波到着時刻
- 2) P波最大振幅
- 3) S波最大振幅
- 4) (S-P)時間
- 5) P波コーダ振幅の時間的減衰率

ここで、P波、S波の走時は、読み取り結果によって得られた震源から計算される理論値を用い、最大振幅は理論走時近傍での最大振幅と一致するようにした。震源決定結果が正しければ、観測波形はP波の理論走時付近で振幅が増加、コーダ部分では振幅が減少し、S波の到着によってふたたび振幅が増加、その後コーダ部分で再び振幅が減少すると期待される。この振幅の変化を、理論エンベロープを計算し観測波形と比較することによって、震源決定結果が間違っていないかをチェックする。理論エンベロープ波形は、以下の仮定に基づいて作成する。

- 1) P波、S波ライズタイムは(S-P)時間の10%
- 2) (S-P)時間の3倍で振幅が0
- 3) コーダ振幅の時間変化は直線で近似
- 4) S波振幅は、P波振幅より大きい
- 5) S波到着直前でのP波コーダ振幅はP波振幅の70%以下

すなわち、理論エンベロープの振幅は、P波到着から、そのライズタイムの区間で単調に増加、その後S波到着までは単調に減少、S波ライズタイムの区間で単調に増加、その後は単調に減少するものとした。P波、S波の最大振幅は、震源パラメータから計算されるP波、S波到着時刻近傍での観測波形の最大振幅を用いた。P波コーダ振幅の時間的減衰率は、S波到着の直前での観測および理論波形の振幅が一致するようにした。ここで、震源決定誤差により理論的なP波、S波到達時刻が実際の到達時刻と多少ずれても正確に評価できるよう、ライズタイムを導入し、多少の誤差は吸収できるものとした。

これらの仮定に基づき、各観測点について理論的なエンベロープ波形  $U_{theo}(t)$  を作成する。 $U_{theo}(t)$ と観測波形から計算したエンベロープ波形  $U(t)$ について以下

の式に基づき score を計算する。

$$\text{score} = 1.0 - \left\{ \frac{\sum (U(t) - U_{\text{theo}}(t))^2}{\sum U(t)^2} \right\}^{1/2} \quad (2)$$

(2)式によって計算された score が 0.4 以上であれば、この観測点における読み取りは正しいものとし、そうでない場合はノイズ、もしくは別の地震によるものとした。各観測点の score について評価し、特に求まった震源に近い観測点における score が良くない場合には震源決定結果が間違っていると判定するようにした。

図 3-5-②-2 に観測波形のエンベロープ波形と、上記に基づく理論エンベロープ波形の比較の例を示す。震源決定結果が正しい場合には、震源近傍の多くの観測点で score が高くなっている。計算された score が小さい場合は波形の振幅変化が震源から予想される理論的なものと大きく異なり、ノイズ、もしくは別の地震によるシグナルと考えられる。

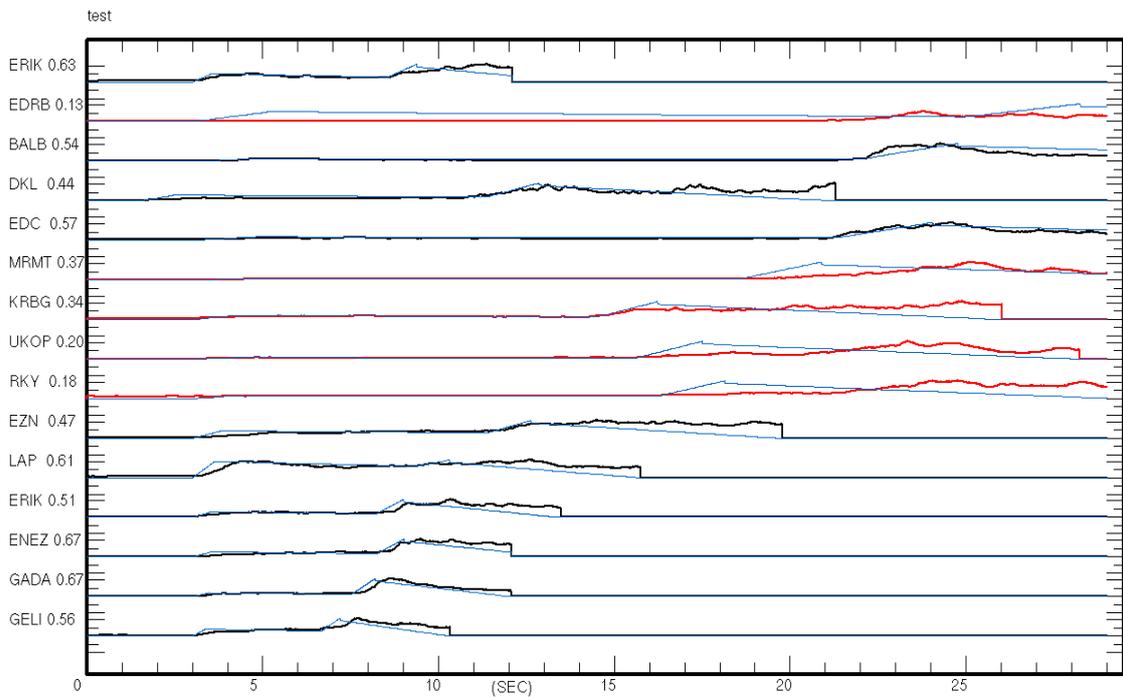


図 3-5-②-2. 観測されたエンベロープ波形(黒または赤)と、理論モデル(青)との比較。左側の数値は score で、この値が 0.4 以下 (赤)だとノイズ、あるいは、別の地震と判定。

### 3) 2次元レイトレースによる、海と陸との構造を用いた走時計算法の導入

DONET データと陸上における観測データを統合してプレート収束域における地震活動をモニタし、地震活動について詳しく調べることにより、沈み込み帯におけるテクトニクスや巨大地震発生機構についての理解が進むと期待される。特に海陸観測網の中間域における震源決定精度の向上には、海陸両方の観測網のデータを統合して使用することが重要である。さらに、統合データを用いてトモグラフィー等

を行うことにより、沈み込み帯における詳しい構造の解析とテクトニクスに関する理解が深まると考えられる。一方、沈み込み帯や海陸の境界域では深さ方向だけでなく水平方向にも顕著な構造の不均質があり、一次元の水平成層構造を仮定した震源決定では正確な震源分布を得ることは難しい。また自動処理においてP波、S波の自動読み取り結果が正しいものであるかの判断において、理論走時との比較を行う。このとき、海と陸では速度構造が大きく異なるため、一次元構造による理論走時を用いた場合は実際の走時との誤差が大きくなるため、正しく読み取りを行ってもノイズとして除去してしまう可能性が大きい。これらの問題を解決するには三次元速度構造を用いるのがベストであるが、精度のよい三次元構造の構築は容易ではなく、また三次元構造を用いた震源決定は解析に時間がかかるため、即時解析には適さない。ここでは、海陸それぞれの一次元構造から、プレートの沈み込みを反映した二次元速度構造を作成し、震源決定に用いるための開発を行った。

二次元速度構造は、次のように作成した。

- ・プレート境界の陸側では、陸の構造、海側では海の水速度構造を用いる
- ・速度は、鉛直方向には変化するが、水平方向には変化しない

すなわち、ここでは陸および海それぞれの一次元速度構造を斜めにつなぎ合わせたような構造を用いる（図3-5-②-3）。つなぎ合わせる境界面は、沈み込むプレートの上面に設定する。これにより、海洋観測網直下では海の構造、陸上観測網直下では陸の構造、また海陸をまたいだ波線においては、沈み込むプレートの構造を近似的に反映した構造となっている。

波線追跡による走時の計算は、以下のような手順で行う。

- ・波線は水平方向には曲がらないと仮定
- ・波線がプレートと交差する点を  $H_c$  とし、海域を伝播する波線の走時と、陸域を伝播するそれとの和が最少となる、 $H_c$  をグリッドサーチで求める
- ・陸の構造は鶴川（1984）、海の水速度構造は、中野ほか（2014 地震学会）によるDONET直下の構造を利用
- ・走時の計算は、走時テーブルを利用

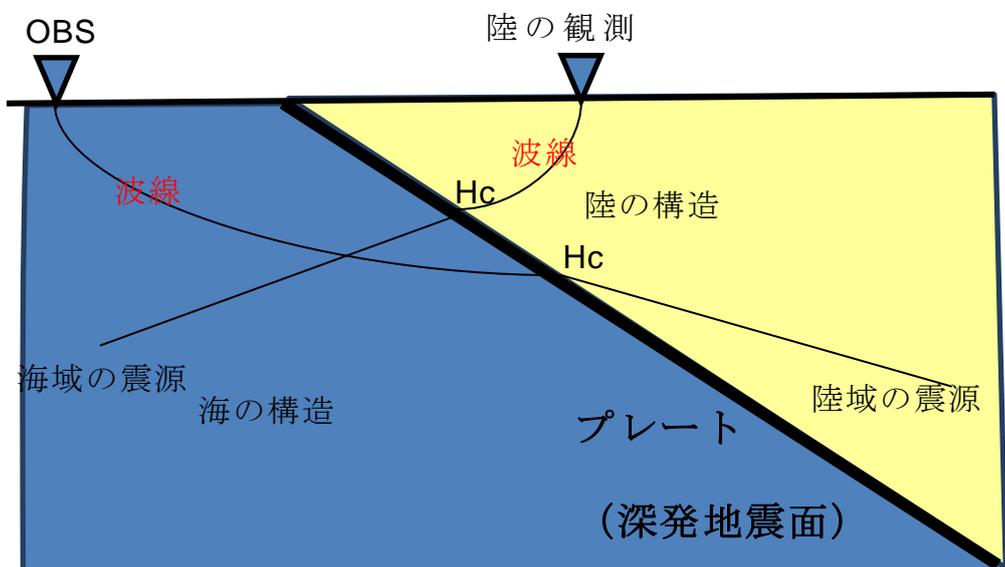


図3-5-②-3 二次元モデルにおける波線計算の概念図

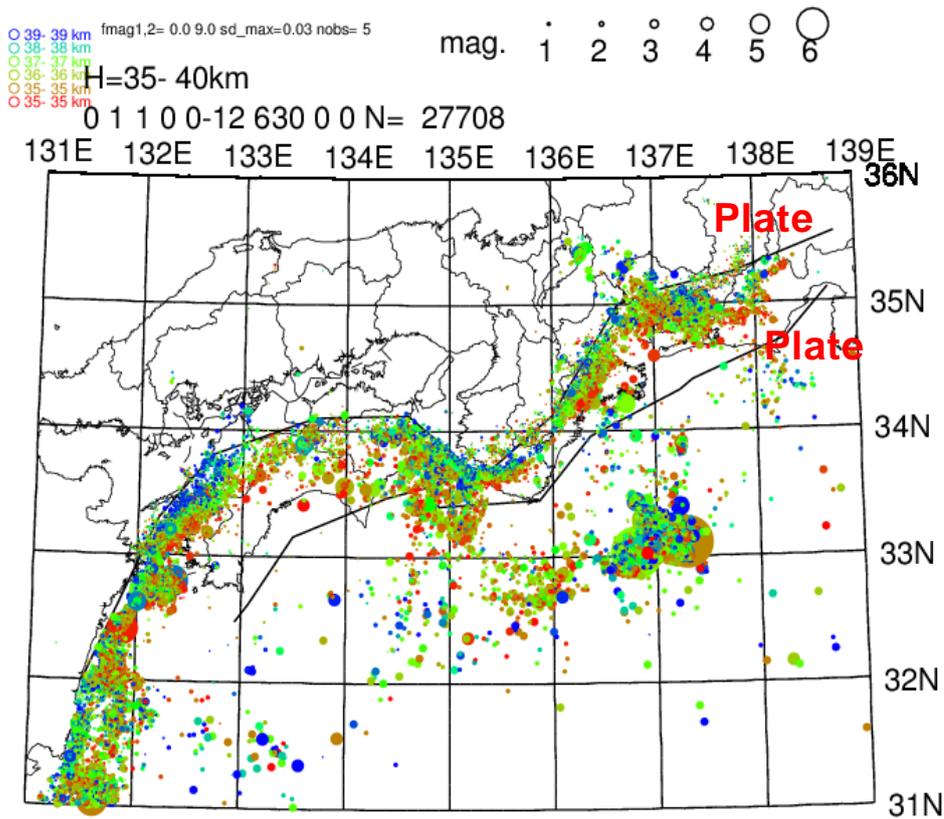


図 3-5-②-4 海と陸との構造モデルに採用した深さ 0 km と 40 km のプレートの等深線。気象庁による深さ 35 km - 40 km の地震がプロットされている。

表 3-5-②-1 オペレータによる読み取りを用いて、観測点補正値を用いた場合の走時残差の比較

モデル	地震数	P, S 波読み取り数			RMS(秒)		
		P+S	P	S	P+S	P	S
プレート	831	54703	26982	27721	0.61	0.52	0.69
海	831	49862	25807	24055	0.95	0.73	1.13
陸	831	54292	27002	27290	0.69	0.48	0.85

走時テーブルは、任意の深さの震源から、任意の震央距離の観測点までを計算できるよう、3次元の走時テーブルを震央距離( $r$ )、震源深さ ( $H$ )、波線のプレートとの荒天の深さ ( $H_c$ ) の関数として、 $T_p(r, H, H_c)$ ,  $T_s(r, H, H_c)$ を作成し、利用するようにした。ここで、 $r, H, H_c$ についてそれぞれ 81, 61, 61 パターン計算し、走時テーブルを作成した。ここで  $H_c$  の計算において、沈み込むプレートの形状が近似的に必要となるが、ここでは気象庁による地震の震源の深さ分布を用いてプレート境界面を設定した (図 3-5-②-4)。

この構造を用いて震源決定を行った場合の走時残差について、一次元構造を用いた場合との比較を表 3-5-②-1 に示す。各観測点の走時には観測点直下の不均質による理論走時との系統的な誤差が含まれるため、震源決定後に走時残差の平均を求め、これをサイト補正值として導入して震源の再決定を行った。ここで、走時残差が 2.5 秒以上となった読み取り値については除外しているため、仮定した速度構造モデルによって実際に使用した読み取りの数は異なる。P 波の走時残差は陸の一次元構造を仮定した場合の方が小さくなっているが、S 波の走時残差は二次元構造を用いた方が小さくなっている。震源決定において S 波読み取りは決定精度の向上に大きく貢献するので、S 波の誤差が小さくなることは重要である。海構造を仮定した場合については走時残差が非常に大きくなる。したがって、DONET での読み取りを重視して海の一次元構造を仮定した場合、陸上での読み取りを精度よく行う事は期待ができない。一方陸の一次元構造を仮定した場合の残差は二次元構造の場合とそん色がないが、DONET 直下と構造が異なるため、DONET データに対する制度の良い読み取りが期待できない。したがって DONET と陸の観測データを統合的に用いて震源決定を行う場合、二次元構造を用いるのが良い。

上記の改良を施した震源決定結果図 3-5-②-5 および図 3-5-②-6 に示す (2015 年 2 月 1 日から 14 日までの 2 週間の自動処理結果)。図 3-5-②-5 では、DONET データに対し上記 1、2 の改良を行ったシステムによる震源決定結果を、図 3-5-②-6 には海陸データを統合した、3 の改良を行ったシステムによる震源決定結果を示す。両者を比べると、図 3-5-②-5 の結果の方が DONET 直下の震源分布の精度が良くなっている。一方、陸上データと統合した場合 (図 3-5-②-6) は、陸域においても多数の震源が求まっている。両者の震源決定について精査し、さらに改良を加えることで、より震源決定の精度を向上していく事ができると期待される。

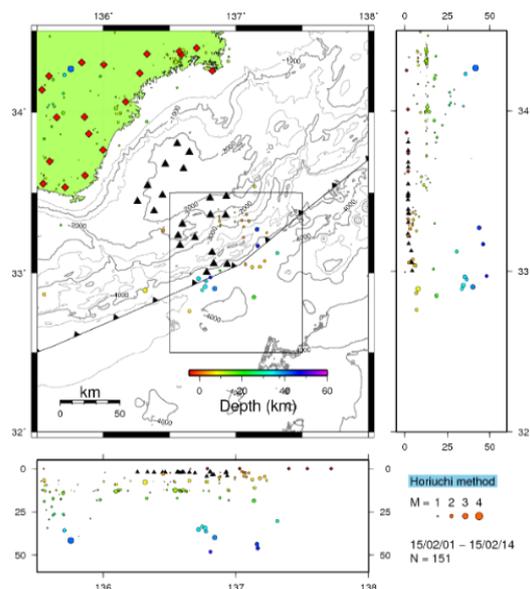


図 3-5-②-5 DONET および陸上のデータを統合して自動震源決定を行った結果。

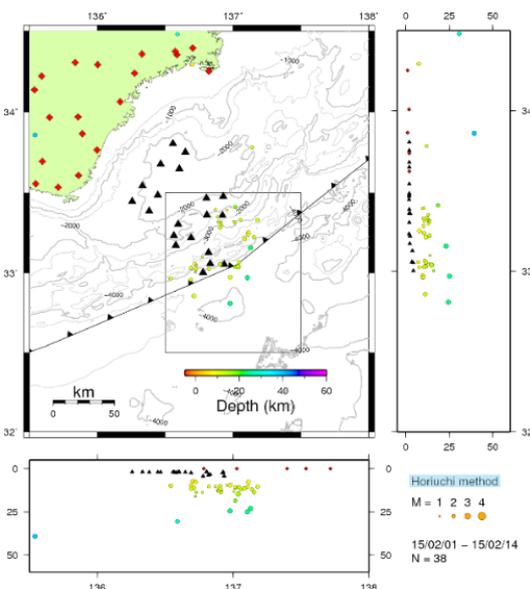


図 3-5-②-6 新しいシステムを用いた DONET データによる自動震源決定結果。

(d) 結論ならびに今後の課題

昨年度から P 波の検知能力の向上を進め、今年度 S 波の検知能力の向上が進んだ。P 波と S 波の検知のミスを別関数で評価するロジックを組み立て、誤検知を除去する工夫を加えた。これらを用いて震源決定をするところで、海と陸の構造を用いて震源決定を進めた。震源決定の精度向上には、もう少し工夫の余地がある。来年度は、この震源決定の高精度化に取り組み、微小地震の時空間分布から応力場の変化を検知するシステム構築に近づきたい。

(e) 引用文献

Kaneda, Y., The advanced ocean floor real time monitoring system for mega thrust earthquakes and tsunamis-application of DONET and DONET2 data to seismological research and disaster mitigation, MTS/IEEE OCEANS (2010).

Kawaguchi, K., S. Kaneko, T. Nishida and T. Komine, Submarine cables real-time seafloor observatory and subsea engineering ROV for observatory construction, SubOptic (2010).

Nakano M., T Nakamura, S. Kamiya M. Ohori, and Y. Kaneda, Intensive seismic activity around the Nankai trough revealed by DONET ocean-floor seismic observation, *Earth Planets Space*, **65**, 5-15, doi:10.5047//eps.2012.05.013, (2013).

堀内茂木, 堀内優子, 飯尾能久, 澤田義博, 関根秀太郎, 中山貴史, 平原 聡, 河野俊夫, 長谷川 昭, 小原一成, 加藤愛太郎, 中野 優, 高橋成実, 小笠原宏, Denver Birch, Artur Cichowicz, Ali Pinar, Mustafa Erdik, 人間以上に高精度の地震波自動読み取り システムの開発 (その 7) —理論エンベロープ波形と観測波形との比較による解析結果の評価—, 地震学会秋季大会予稿集, (2014).

### ③情報システムと歴史データ等データ整備、及び防災教育・啓発

#### (a) 業務の要約

ハザード評価やリスク評価、及びこれらに予測精度を向上させるための地域特性を考慮した基礎データ、さらには評価結果の検証や一般市民の減災行動誘発を目的とした、歴史的資料をはじめとする減災関連情報の収集・整理を行うとともに、これらを減災対策等に有効活用できる、あるいは、一般住民にきめ細やかで分かりやすく、納得感が得られる情報として提供していくための情報システムを構築する。また、防災啓発・教育・学習・人材育成に関する情報収集を行うとともに、効果的な手法について検討し、社会実装実験を行う。

#### (b) 業務の実施方法

##### 1) 歴史資料、ボーリングデータ等の基礎データの収集・整理、及びシステム構築

ハザード評価やリスク評価、及びこれらに予測精度を向上させるための地域特性を考慮した基礎データ、歴史的資料をはじめとする減災関連情報の収集・整理を行うとともに、これらを減災対策等に有効活用するための情報システムの試作を行う。

##### 2) 防災に関わる人材育成・教育のための調査

防災教育・啓発に関する「ヒト・コト・モノ・バ」の観点からの整理を行うとともに、その結果に基づいて、対象者毎の現状調査を実施する。

#### (c) 業務の成果

##### 1) 昭和東南海地震の推定震度と慰霊碑調査

本検討では、飯田汲事による 1944 年東南海地震における被害データベースを精査してより確度の高いものにした上で、それをもとに推定震度分布を作成した。表 3-5-③-1 は県別の被害集計（流失は津波による被害）、表 3-5-③-2 は市区町村別の死亡者数である。市区町村別の被害状況を元に、作成した震度分布を図 3-5-③-1 に示す。市区町村別の死亡者数の多い上位 20 位までを並べてみると、一番多かったのは愛知県半田市である。上位には三重県尾鷲市のように\*印を付した津波の襲来を受けた町村と、揺れによる住宅の全壊数が多く震度 7 と判定された静岡県袋井町のような町村が並んでいる。一方、人口比でみた死亡率では\*印が付いた町村で高く、津波が一举に多くの人々の命を奪うことが浮き彫りになっている。

また、写真 3-5-③-1 は雁宿公園にある「追憶の碑」（昭和 26 年建立）（左）、「殉難学徒の碑」（昭和 32 年建立）（中）と「平和祈念碑」（平成 7 年建立）（右）である。昭和東南海地震による死者数が 188 名で最も多かった愛知県半田市は、津波の襲来もなくまた震度も 6 弱程度でそれほど強く揺れではなかった。死亡者のうち 154 名は中島飛行機の山方工場の倒壊で亡くなった人々であった。山方工場は東

洋紡の古い煉瓦造の工場を軍用機の組み立て工場に転用した耐震性を全く無視した建物だった。154名のうち97名は学徒動員されていた子供たちであった。その痛ましい死を悼み、半田市の雁宿公園に3つの慰霊碑が建てられている。なお、同様のことは名古屋市南区の三菱重工道德工場でも発生しており、日本では如何なる場合にも耐震対策を忘れてはいけないという教訓として非常に重要である。



写真3-5-③-1 雁宿公園にある「追憶の碑」(昭和26年建立)(左)、「殉難学徒の碑」(昭和32年建立)(中)と「平和祈念碑」(平成7年建立)(右)

表3-5-③-1 県別の被害集計(流失は津波による被害)

県	死者	傷者	住家全潰	住家半潰	非住全潰	非住半潰	流失(住)	流失(非)
静岡県	295	842	6970	9522	4862	5553		
愛知県	435	1142	6943	19666	10145	15838		
岐阜県	16	38	406	541	459	395		
三重県	373	607	3376	4353	1429	2249	2238	775
奈良県	3	17	89	176	234	214		
滋賀県			7	76	28	38		
石川県			3	11	6	8		
山梨県			13	11	14	3		
大阪府	14	135	199	1629	124	63		
兵庫県		2	3		23	9		
福井県			1	2	2	3		
長野県			12	47	1	2		
和歌山県	47	70	121	604	47	62	162	85
合計	1183	2853	18143	36638	17374	24437	2400	860

表3-5-③-2 市区町村別の死亡者数

県	郡市	区町村	評価震度	死者	傷者	人口	死亡率(%)	現市町村
愛知県	半田市		6-	188	286	60721	0.31	半田市
三重県	北牟婁郡	尾鷲町*	6-	96	40	16171	0.59	尾鷲市
愛知県	名古屋市	南区	6-	91	189	125834	0.07	(南区)
静岡県	磐田郡	袋井町	7	67	101	9338	0.72	袋井市
三重県	北牟婁郡	錦町*	6+	64	3	3418	1.87	大紀町
三重県	渡會郡	吉津村*	6+	39	185	3484	1.12	南伊勢町
三重県	渡會郡	島津村*	6-	34	109	2852	1.19	南伊勢町
静岡県	周智郡	山梨村	7	26	47	3318	0.78	袋井市
和歌山県	東牟婁郡	勝浦町*	6-	26	2	5217	0.50	那智勝浦町
三重県	南牟婁郡	南輪内村*	5+	24	3	3567	0.67	尾鷲市
三重県	四日市市		6-	23	71	114250	0.02	四日市市
静岡県	濱松市		5+	22	167	162754	0.01	(中区・南区)
愛知県	幡豆郡	福地村	7	21	31	6065	0.35	西尾市
三重県	北牟婁郡	二郷村*	6-	20		2957	0.68	紀北町
静岡県	濱名郡	鷲津町	6-	19	63	7505	0.25	湖西市
静岡県	清水市		6-	19	110	77565	0.02	(清水区)
静岡県	磐田郡	今井村	7	17	50	1846	0.92	袋井市
三重県	北牟婁郡	長島町*	6+	16	16	5166	0.31	紀北町
三重県	南牟婁郡	新鹿村*	6+	16	1	3362	0.48	熊野市
愛知県	幡豆郡	一色町	6+	15	26	17510	0.09	西尾市
愛知県	名古屋市		5+	121	485	1344100	0.01	名古屋市

\*印は津波の襲来があったところ

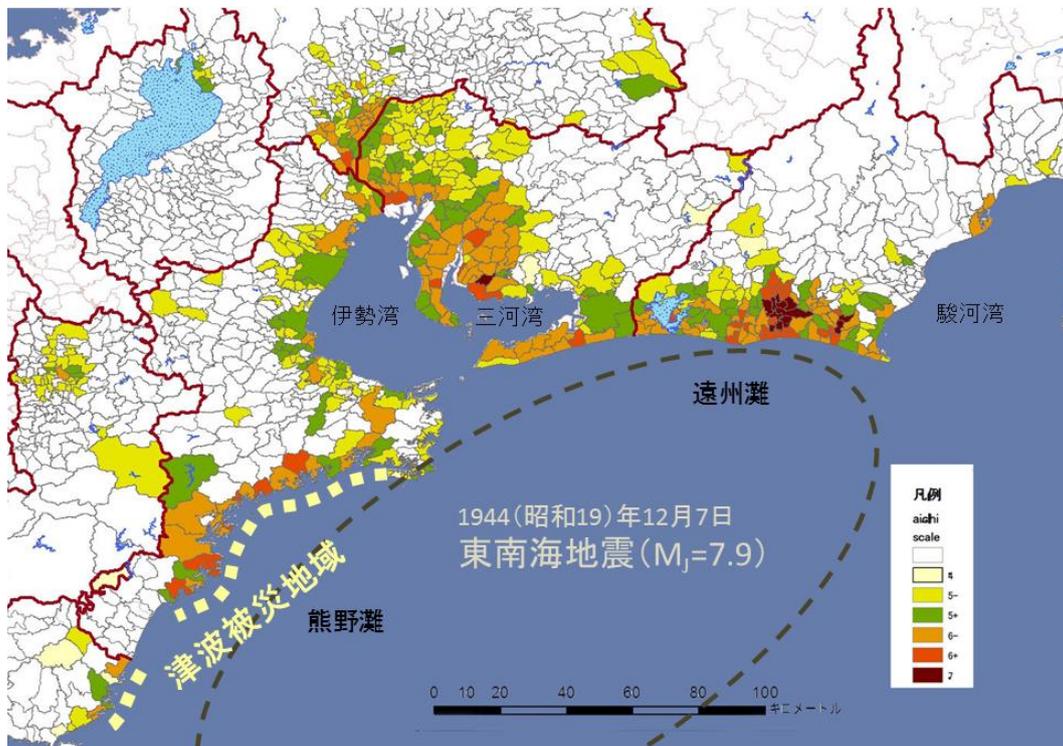


図3-5-③-1 市区町村別の被害から評価した震度分布

## 2) 災害情報アーカイブシステムの改良

地図上から任意の地点の災害体験データを見ることができるシステムである。トップページの URL にアクセスすると、図 3-5-③-2 に示す画面が表示される。



図 3-5-③-2 地図画面

地図左上のスクロールボタンや地図上をマウスでドラッグ操作する事により、地図を移動する事ができる。また、地図左上（スクロールボタン下）のスケールスライダーにより地図の拡大／縮小ができる。画面左の災害教訓・レイヤ・背景地図表示切替において、表示する地図の選択ができる（図 3-5-③-3）。

画面右の検索結果欄に、本システムで使用する地図レイヤを地図中央位置にて横断検索結果が表示される（図 3-5-③-4）。検索結果欄中段の「周辺の地名として次のような物があります。」に続いて、バス停の名称が良い地盤／悪い地盤／良い悪いのどちらでもない地盤に分けて表示される。検索結果欄下段の「将来、次のような被害が予想されています。詳しくはマップで確認して下さい。」に続いて、想定震度／液状化危険度／津波浸水想定が表示される。検索結果欄上段の「この場所には。。。に続いて、災害教訓の名称が表示され、名称を選択すると属性検索結果画面に同情報の詳細が表示される（図 3-5-③-5）。



図 3-5-③-3 災害教訓・レイヤ・背景地図の表示切替

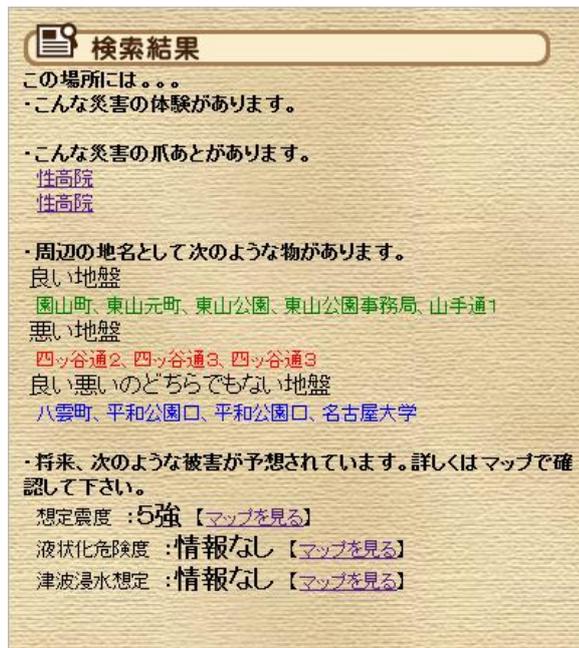


図 3-5-③-4 検索結果 (地図レイヤ横断検索結果)

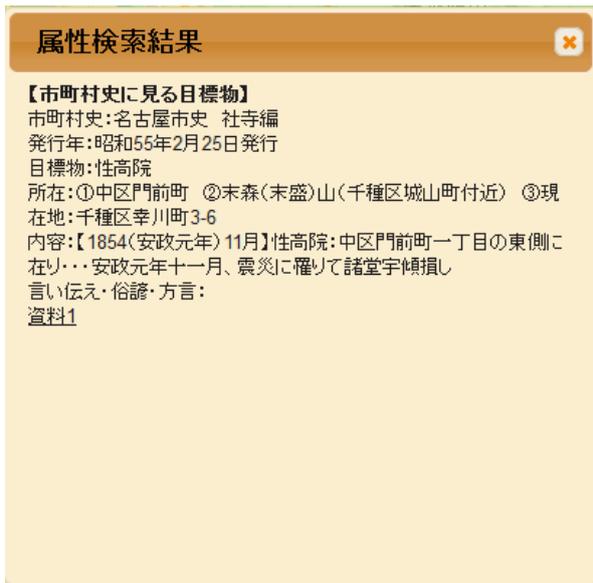


図 3-5-③-5 属性検索結果 (詳細情報)

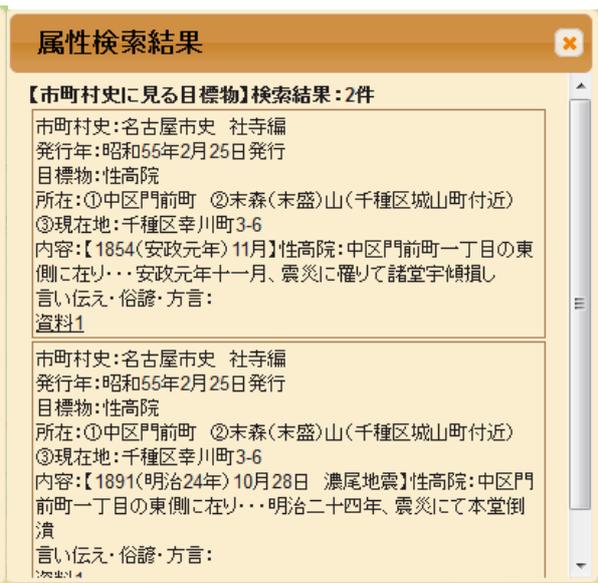


図 3-5-③-6 属性検索結果 (詳細情報)



図 3-5-③-7 住所検索



図 3-5-③-8 住所検索結果

また、地図上の **濃** を選択する事により、属性検索結果画面において、詳細情報を表示する事ができる (図 3-5-③-6)。**資料1** を選択する事により、資料を表示する事ができる。**濃** は、災害教訓として今回新たに追加した情報で、濃尾地震における当時の状況を伝える証言が閲覧できる。

また、住所検索のテキストボックスに住所や目標物名を入力し、**検索** ボタンを選択すると住所検索結果画面が表示される (図 3-5-③-7、図 3-5-③-8)。住所検索結果画面において、検索された目標物を選択する事により、目標物の位置に地図が移動する (図 3-5-③-9)。



図 3-5-③-9 住所検索位置表示



図 3-5-③-10 属性検索

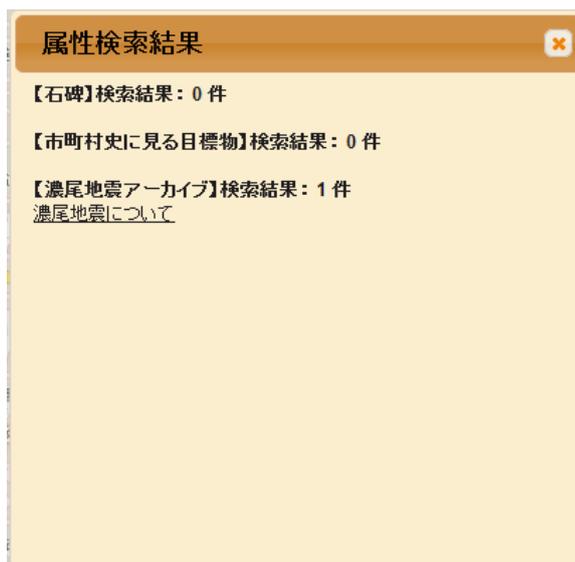


図 3-5-③-11 属性検索結果



図 3-5-③-12 属性検索位置表示

属性検索のテキストボックスに災害教訓の属性情報に含まれる文字列を入力し、**検索** ボタンを選択すると属性検索結果画面が表示される(図 3-5-③-10、図 3-5-③-11)。住所検索結果画面において、石碑/市町村史に見る目標物/濃尾地震アーカイブにおいて、検索された属性情報の件数、属性名が表示され、検索された属性名を選択する事により、属性情報の位置に地図が移動する(図 3-5-③-12)。

### 3) EVEREST

地図上から好きな地点を選び、任意の地震での揺れを見ることができるシステムであり、以下の2機能から構成されている。

1. 地図機能
2. 地震シミュレーション機能

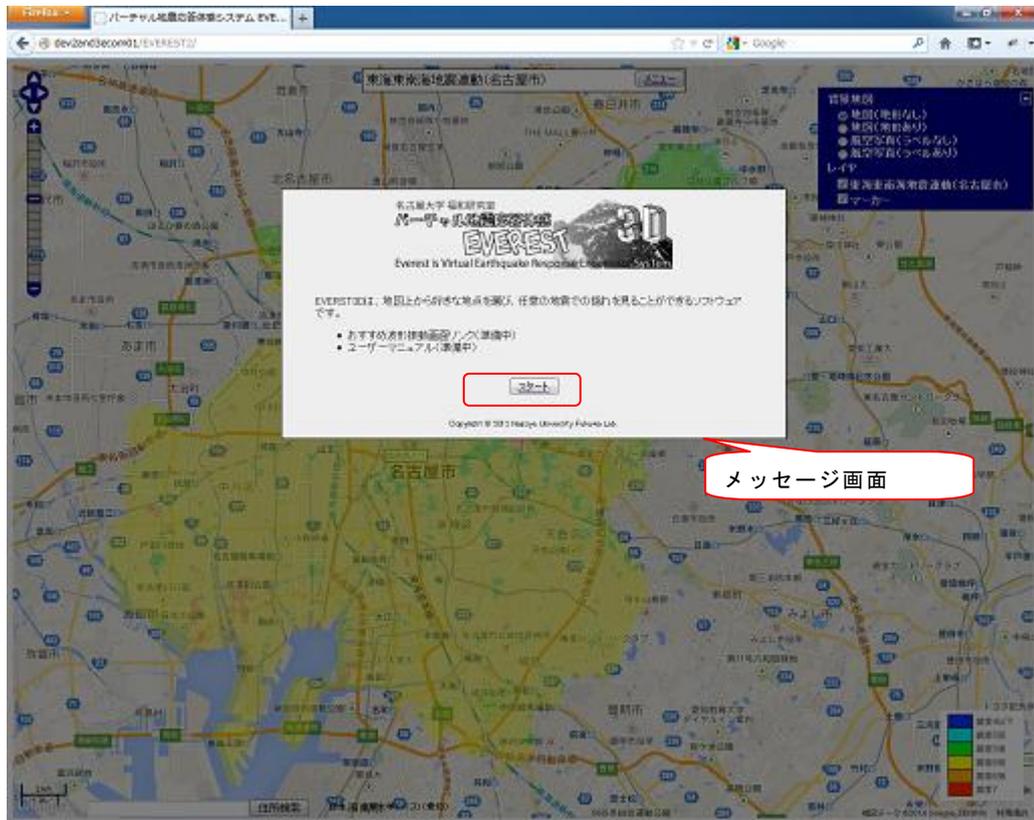


図 3-5-③-13 トップページ

トップページの URL にアクセスすると、図 3-5-③-13 に示す画面が表示される。画面中央にメッセージ画面が表示される。

a) 地図の操作 (図 3-5-③-14)

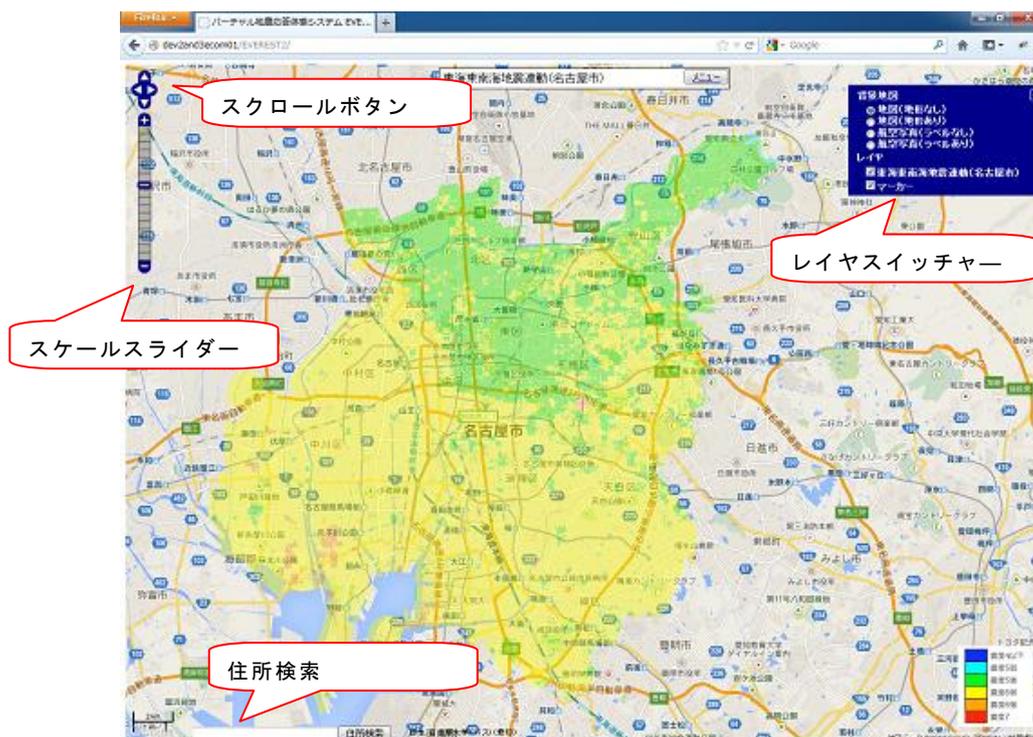


図 3-5-③-14 地図画面

画面左上のスクロールボタンをクリックする事により、矢印の方向に地図を移動できる。また、画面左上のスケールスライダーにより地図が拡大／縮小できる。

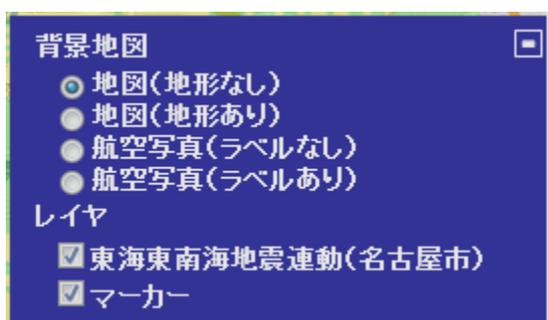


図 3-5-③-15 レイヤスイッチャー

画面右上のレイヤスイッチャーにおいて、表示する地図が選択できる (図 3-5-③-15)。レイヤは選択中の地震レイヤとマーカー(住所検索の📍マークのレイヤ)があり、それぞれの表示 ON/OFF はチェックボタンにより指定可能としている。

また、テキストボックスに住所や目標物名を入力し、住所検索 ボタンを選択すると住所検索結果画面が表示される (図 3-5-③-16)。住所検索結果画面において、検索された目標物を選択すると、目標物の位置に地図が移動し、📍マークが表示される (図 3-5-③-17)。



図 3-5-③-16 住所検索

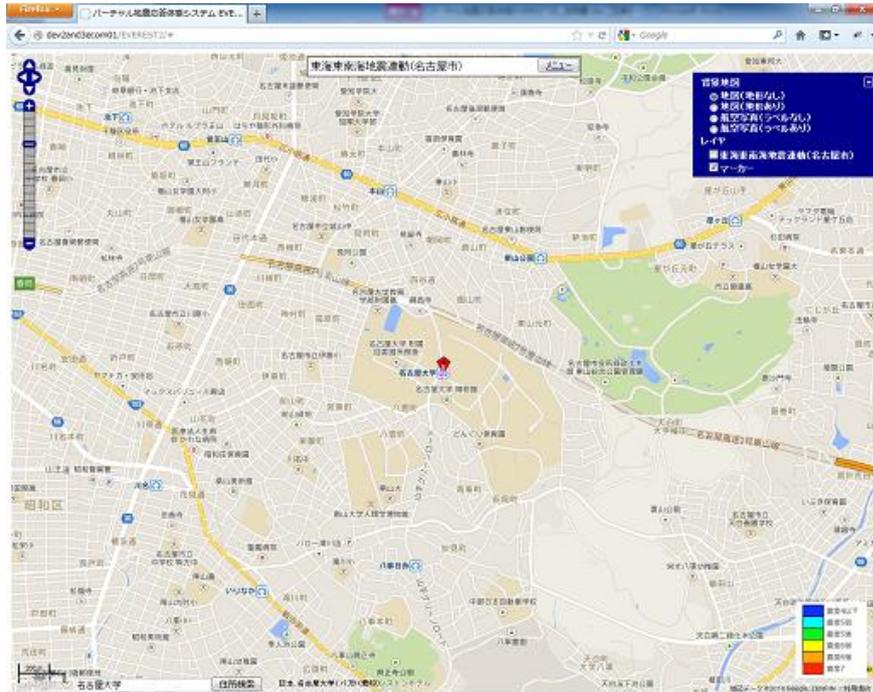


図 3-5-③-17 住所検索位置表示

b) 地震シミュレーション機能

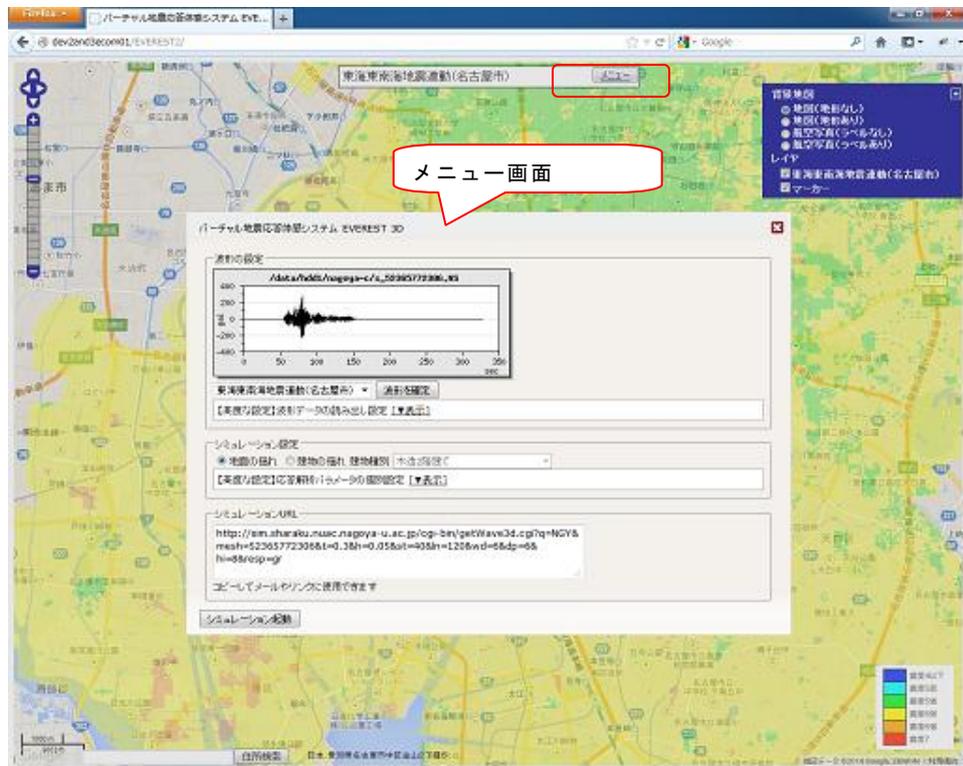


図 3-5-③-18 メニュー画面

画面上部の **メニュー** ボタンをクリックすると、図 3-5-③-18 に示すメニュー画面

面が表示され、シミュレーションを実施する地震動の条件を指定する。

図3-5-③-19に示す波形の設定方法について、以下に示す。

**波形イメージ**：選択されている地震の地図中心位置での波形イメージが表示される。データが存在しない場合は、「地図の中心位置に、選択されている地震のデータがありません」とエラーメッセージが表示される。

**波形選択**：プルダウンメニューにより、地震を選択し、**波形を確定** ボタンを選択する事により、地震を変更可能となっている。

**波形データの読み出し設定**：**▼表示**を選択すると、開始時刻、継続時間のプルダウンメニューが表示される（図3-5-③-20）。

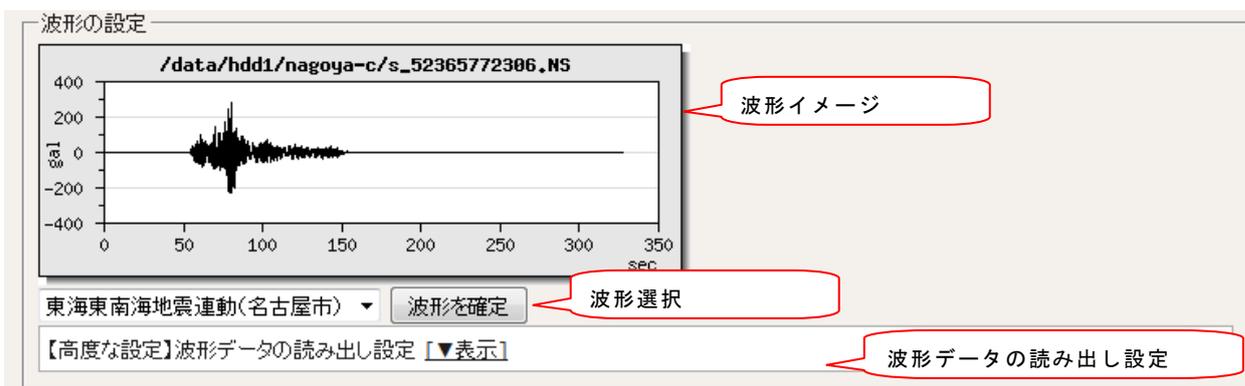


図3-5-③-19 波形の設定

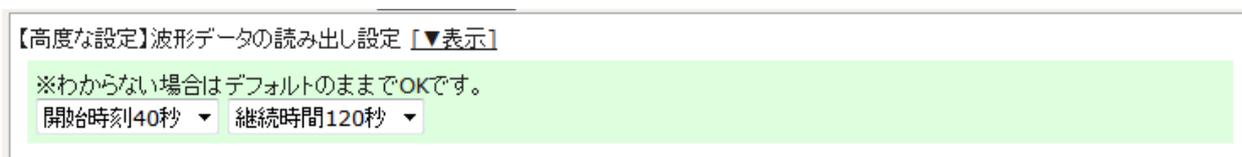


図3-5-③-20 開始時刻、継続時間のプルダウン



図3-5-③-21 シミュレーション設定

シミュレーション設定方法（図3-5-③-21）は以下のとおりである。

**シミュレーション種別**：地面の揺れ／建物の揺れのいずれかを選択する。建物の揺れを選択した場合、建物種別を選択する。

**応答解析パラメータの個別設定**：**▼表示**をクリックすると、固有周期、減衰のプルダウンメニューが表示される（図3-5-③-22）。

【高度な設定】応答解析パラメータの個別設定 [▼表示]

※わからない場合はデフォルトのままです。

固有周期0.3秒 ▼ 減衰5% ▼

図 3-5-③-22 固有周期、減衰のプルダウン

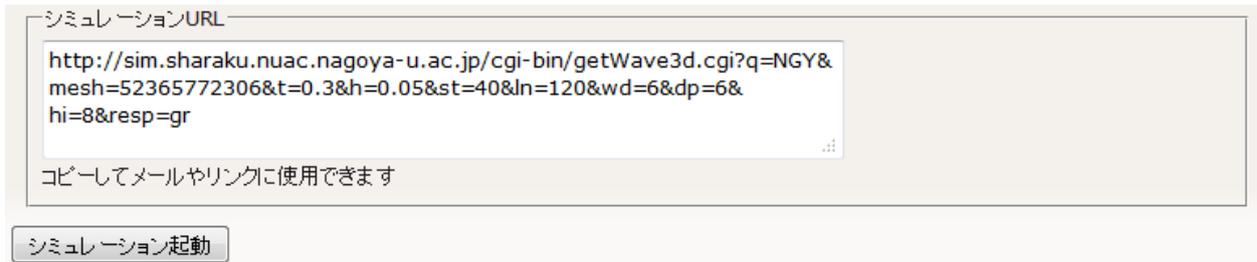


図 3-5-③-23 シミュレーション URL とシミュレーション起動ボタン

地震シミュレーションの条件の設定に応じて表示されるシミュレーション URL (図 3-5-③-23) をブラウザで開くか、**シミュレーション起動** ボタンをクリックすると、地震シミュレーション画面を表示される (図 3-5-③-24)。

シミュレーション設定について、以下に示す。

**ダウンロード状況**：シミュレーション用のデータのダウンロード状況を表示する。

**振動開始ボタン**：クリックする事により、3D地震シミュレーションを再生する。

**3D地震シミュレータ**：部屋の3Dイメージが表示される。再生中は、時間の進行に伴い、部屋の備品の揺れがシミュレーションされ、マウスのドラッグ操作により、方向を変更する事もできる。

**リビング/オフィス切替**：部屋の3Dイメージをリビング/オフィスのいずれかから選択する事ができる。

**地震波形**：地震の波形が表示される。



図 3-5-③-24 地震シミュレーション画面

#### 4) 防災教育・人材育成

防災教育・人材育成については、昨年度実施した「ヒト・コト・モノ・バ」の観点からの整理・分析結果参考に、ワークショップやセミナーを通じて、自治体が実施している防災教育の概要整理、及び課題の抽出（写真3-5-③-2）、学校において実施されている防災教育プログラムの課題や防災教育先端事例収集、子供向け減災体験企画を通じた防災教育手法の検討（写真3-5-③-3）、また歴史地震記録の小・中学校向け教材の作成と活用に向けた検討等を実施した。



写真 3-5-③-2

自治体との防災教育ワークショップ



写真 3-5-③-3

子供向け防災学セミナー

(d) 結論ならびに今後の課題

ハザード評価やリスク評価、及びこれらに予測精度を向上させるための地域特性を考慮した基礎データを収集・整理した。歴史地震に関しては、1944年昭和東南海地震における被害状況を再度精査して、推定震度分布を作成した。また、市民への災害に対する理解を深めるために、昨年度に引き続き、旧版地図などの様々な地図や災害を記した文献などの資料を活用し国勢調査の結果や土地利用などの情報と重ねる提案および検討を行った。さらに、濃尾地震の証言を新たにデータベース化し、災害教訓としてシステムから閲覧できるようにした。また、データベース化された南海トラフの地震に対する推定地震波を用いて、室内のゆれの様子を表現できるシステムの高度化を行った。防災教育については、関する「ヒト・コト・モノ・バ」の観点からの整理を継続して行うとともに、自治体や学校において実施されている防災教育の概要整理・課題の抽出等、あるいは、子供向け減災体験企画を通じた防災教育手法の検討を行った。

今後は、今年度と同様、情報収集、デジタル化を進めるとともに、災害情報をより効果的に伝えることができる利活用システムの開発をSIPと連携して進める。防災教育・啓発については、対象者毎にあり方や方法論について検討を進める。

(e) 引用文献

飯田汲事、飯田汲事教授論文選集 東海地方地震津波災害誌、1985

④住民の防災知識構造と社会構造に関する質的調査

(a) 業務の要約

南海トラフ巨大地震で津波被害が想定される地域で、住民の防災知識構造を明らかにすることを目的とし、前年度の量的調査を受け、特定地域を対象に、知識構造ならびに社会構造をより精緻かつ深く解明するために、質的調査を行う。比較のため、必要に応じて東日本大震災の事例を収集する。

(b) 業務の実施方法

静岡県焼津市および高知県南国市の津波浸水の想定される地域の自主防災会を対象に、スノーボール法に準じて自主防災会会長および会長から紹介された会員数名程度（2から5人）に訪問面接調査法を採用した。スノーボール法は政治心理学等の分野で地域の意思決定構造を把握するために用いられる対象者決定方法である。地域リーダーから聞き取り調査を開始し、そのリーダーから見て、当該地域の論点に対して相談したり、配慮する人物の紹介を得て、さらに2番目の対象者から紹介を受けて聞き取り調査をしていく手法である。産業や伝統などから地域の意思決定を左右する人的なつながりや合意形成の過程を分析するのに適しているとされる。対象者が雪だるま式に増えていくのでスノーボールと呼ばれる。今回は、防災の意思決定を左右するキーパーソンを探り、立場の違いによるとらえ方の多様性を把握するためにスノーボール法の発想は援用したが、対象者数の制約および時間的制約から、市の防災担当者と相

談して対象者の決定を行った。

調査対象者数は、焼津市20名、南国市20名とし、調査は半構造化された質問紙に基づいた。一人当たり1時間程度であった。

### (c) 業務の成果

#### 1) 地域類型の可視化

社会統計データを重ね合わせ、地域特性を把握しやすい可視化を行うために、今年度は、内閣府が実施した浸水実績を市町村地図と重ね合わせる基盤を開発した。

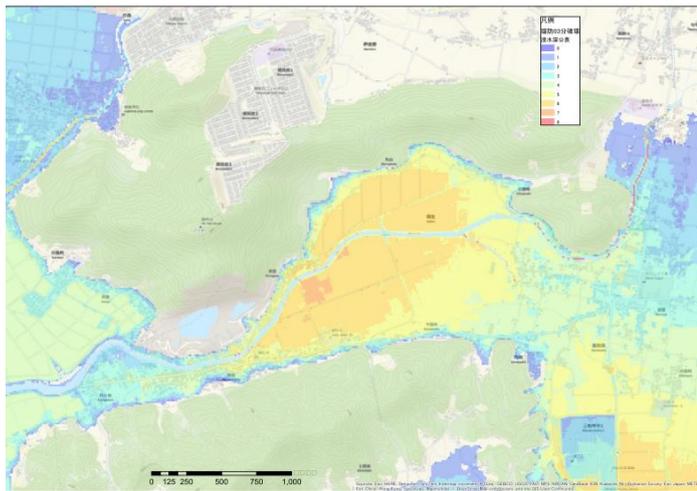


図3-5-④-1 浸水実績の可視化

#### 2) 量的調査の詳細分析

昨年度、静岡県沼津市、同焼津市、高知県南国市、同土佐市を対象とした訪問面接法による津波意識に関する量的調査結果を、今年度も詳細に解析した。昨年度に実施した行動意図モデルに基づく因子分析および避難意図との適合性を見た。これらの結果から、避難行動に結びつけるためには、どのような論点でのリスク・コミュニケーションを行うべきか検討しうる可能性が示された。しかし、懸念される将来の津波に対する避難意図と東北地方太平洋沖地震時の避難意図とでは、各因子との相関関係が異なること、チリ地震津波時の避難意図構造とは異なる点など一貫性が乏しい。また、そもそも因子分析結果は統計的に必ずしも十分な説明力を持つとは言えない。このため、項目の精査や分析を追加的に行い、精緻化を図る必要があると判断したためである。

まず、昨年度と同様に6因子モデルを採用し、これを全体ではなく地域ごとに当てはめて因子分析を行ったところ、4地域のいずれにおいても共通性が1を超え、不適解を示した。これは全体での分析で見いだされた6因子モデルが地域ごとの津波意識構造としては当てはまらない可能性を示している。

そこで各地域において妥当な行動意図モデルを見出すよう、探索的に地域ごとの因子分析を繰り返し行った。その結果が表3-5-④-1-a)から表3-5-④-1-d)である。

表 3-5-④-1 地域ごとの因子分析の結果

	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5
Q16J	0.84522	0.00318	-0.20329	-0.10439	0.08715
Q16K	0.74575	0.05863	-0.04192	0.16948	0.05835
Q16A	0.68114	-0.07449	-0.04323	0.1425	0.04061
Q16E	0.60559	0.02104	0.14207	0.07537	-0.12488
Q16G	0.4905	0.1177	0.0928	0.04955	-0.26033
Q16F	0.47335	-0.15702	0.27857	-0.43003	-0.14696
Q15A	0.21975	0.77374	-0.21158	0.01349	0.06243
Q15J	0.0771	0.68591	-0.03707	-0.15238	0.21302
Q16D	-0.07442	0.58746	0.15525	0.04736	-0.16833
Q15I	-0.03868	0.54322	0.18299	-0.01619	0.03356
Q15B	-0.10611	0.52972	0.31402	-0.04502	-0.25066
Q16H	-0.11127	0.32829	0.12175	-0.06257	-0.08463
Q16I	0.23029	0.16438	0.76051	-0.08392	0.15122
Q15G	0.13468	0.02061	0.68741	0.24715	0.0196
Q15C	-0.10632	-0.0257	0.56263	0.18135	0.12632
Q16B	-0.34486	-0.00705	0.48496	-0.09493	0.06778
Q15D	-0.10954	0.20709	0.46458	0.04342	-0.09367
Q16C	-0.02117	-0.05349	0.36011	0.51592	0.38478
Q16M	0.16769	-0.16316	0.01493	0.42555	-0.15635
Q15E	0.35012	-0.03309	0.06529	0.38798	-0.21952
Q15H	0.13388	0.01205	0.19235	0.35219	0.10312
Q15F	-0.03867	0.00847	0.17146	0.0459	0.70167
Q16L	0.10648	0.25602	-0.07589	0.25244	-0.38173

a)静岡県沼津市

	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5
Q16I	0.90179	-0.00618	-0.14042	0.01703	-0.25755
Q15G	0.62955	-0.12522	0.08863	-0.02275	0.20425
Q15D	0.43845	0.03028	0.08622	-0.0522	0.06048
Q16K	0.43176	0.08967	-0.18029	0.09048	0.35143
Q15B	0.36605	0.29243	0.27184	0.04863	-0.06608
Q15I	-0.00668	0.55473	0.2843	-0.13486	0.25432
Q15A	-0.29645	0.54079	-0.15335	0.07637	-0.11122
Q16D	0.10713	0.48575	0.09082	-0.11689	0.08504
Q15J	-0.0688	0.48025	-0.03465	0.23923	-0.13306
Q16G	0.17034	0.44415	-0.15571	0.2481	0.128
Q16H	0.19795	0.356	-0.09451	-0.30569	-0.19662
Q16B	0.05971	0.02822	0.82714	0.16838	-0.14399
Q15C	0.14692	-0.00138	0.5778	0.03718	0.03864
Q16A	0.05552	0.02563	-0.26013	0.04963	-0.03417
Q16F	0.16818	-0.01944	0.11444	0.61241	-0.01862
Q16J	-0.07227	0.09492	-0.26234	0.4955	0.03653
Q16E	0.17299	-0.167	-0.24817	0.26188	0.09232
Q15F	0.01869	-0.00993	-0.07559	-0.13436	0.10237
Q16C	0.14613	-0.00172	-0.05757	-0.66507	0.02595
Q16M	0.00401	-0.04618	-0.00634	0.09429	0.61978
Q16L	-0.03148	0.0155	-0.03341	-0.0712	0.50732
Q15E	0.0509	0.28402	-0.21082	-0.03659	0.31747
Q15H	0.24521	0.02317	0.0977	-0.05683	0.26872

b)静岡県焼津市

いずれも最尤法、プロマックス回転を用い、全体でみられた6因子モデルに近い因子数を選択した結果を示している。高知県土佐市は5因子でも収束しなかったために4因子モデルにし、他は5因子モデルの分析結果である。なお、掲載している分析以外の分析も数多く行ったが、各地域で統一の因子構造は観測されなかった。因子分析では、明白な構造は見いだせなかった。

表 3-5-④-1 地域ごとの因子分析の結果(続き)

	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5		Factor1	Factor2	Factor3	Factor4
Q16J	0.77443	0.00901	0.15501	-0.00657	0.06377	Q16C	0.86368	0.03661	0.03054	-0.03583
Q16G	0.76315	-0.0126	-0.13564	0.15804	-0.03826	Q16B	0.52811	0.00224	0.08815	-0.06072
Q16K	0.45553	-0.19777	-0.00199	0.06606	0.1798	Q15C	0.3449	0.03019	0.10811	0.0211
Q16F	0.4526	-0.15669	0.24632	0.08563	0.00371	Q15F	0.22671	0.18246	-0.18437	0.17894
Q16D	0.36162	0.06056	-0.03639	0.14086	0.18711	Q16J	-0.15358	0.11281	0.11089	0.05387
Q15A	0.34052	0.10567	-0.02287	0.31595	-0.04517	Q15J	-0.25438	0.02419	0.06639	0.19179
Q16C	-0.48043	0.31712	0.00659	0.03408	0.07194	Q16F	-0.58945	-0.02123	0.06816	-0.02157
Q15C	-0.14255	0.63907	0.12466	0.03677	0.01831	Q16I	0.0349	0.64937	-0.11121	-0.07355
Q16B	-0.13887	0.55648	0.03594	-0.10067	0.18632	Q15G	-0.27009	0.59186	0.22115	-0.22552
Q15F	-0.01544	0.3226	0.08629	0.0017	-0.01102	Q15D	0.16322	0.56862	0.00093	0.14868
Q16E	-0.13117	-0.65983	0.30513	0.34441	0.02981	Q15B	0.11563	0.53965	-0.03912	0.17432
Q15G	-0.05387	0.06609	0.75667	-0.15862	0.02986	Q15H	0.03306	0.46469	0.08934	-0.07926
Q16I	0.33148	0.24017	0.75299	-0.12275	-0.03422	Q16M	0.13851	-0.04134	0.76527	-0.14211
Q15H	-0.0849	-0.09633	0.52769	0.28292	0.05957	Q16L	0.09449	0.06532	0.75827	0.18213
Q15I	0.06194	0.10417	-0.03336	0.52891	0.16683	Q16K	-0.06295	0.22333	0.42082	0.02071
Q15D	0.02767	0.35112	0.1202	0.49012	-0.04444	Q16E	-0.09772	-0.10803	0.33838	0.18524
Q15J	0.21756	-0.17573	-0.07446	0.40443	-0.04869	Q16A	-0.172	-0.02525	0.22065	0.11821
Q16H	0.264	-0.05244	-0.19889	0.40059	0.06306	Q16D	-0.02121	0.10022	-0.12419	0.64658
Q15B	-0.07383	0.38467	0.18783	0.38835	-0.23565	Q15E	0.06324	-0.10074	0.18623	0.49479
Q15E	0.03195	-0.09032	0.01859	0.21827	0.04637	Q15I	-0.09404	-0.00717	-0.00462	0.42565
Q16A	0.10607	-0.097	-0.02987	0.21439	-0.06817	Q15A	-0.17222	0.21145	0.15322	0.35728
Q16M	-0.00727	0.0503	0.01116	0.10982	0.93354	Q16H	0.0805	-0.05233	0.20035	0.3341
Q16L	0.11884	0.04163	0.0356	-0.02049	0.5883	Q16G	-0.2844	-0.12645	0.17932	0.28234

c)高知県南国市

d)高知県土佐市

そこで、避難意図を規定する項目を洗い出すために、元々の質問項目 23 項目をステップワイズ法で投入する重回帰分析を実施した。その結果を表 2 に示したが、有効性、記述規範、コスト、命令規範、リスクに関わる 8 項目が有意な項目として抽出された。

表 3-5-④-2 重回帰分析により抽出された 8 項目

項目番号	項目内容	標準化係数(β)	t	有意確率
16C 有効性	津波が来ても、自宅にいたほうが、避難するよりも安全である	-.207	-4.378	.000
16G 記述規範	避難をすすめられたら、危険はないと思っても避難しなければならない	.133	2.790	.006
15C コスト	避難場所に行くのは面倒だ	-.201	-4.698	.000
15A 命令規範	近所の方は、「大きな揺れを感じたら、津波に備えて、必ず避難をするべき」と考えていると思う	.168	3.842	.000
16F リスク	自宅は、津波に対して危険だと思う	.167	3.581	.000
16J 記述規範	周りの人がほとんど避難していなくても、自分は避難すべきだと思う	.130	2.823	.005
16D 命令規範	津波が来ないと思っても、避難しないと周囲や役所の人に迷惑をかけてしまうから、避難すべきだ	.097	2.221	.027
15H 有効性	大きな津波では、指定された避難場所に避難をしても、絶対安全とは限らない	-.083	-1.994	.047

これらの結果は、日本社会情報学会および日本災害情報学会において発表をした（黄ほか、2014；田中ほか、2014）。

### 3) 質的分析

上記、量的調査の結果の解釈妥当性ならびに一般化可能性を検討するために、対象地域の中から静岡県焼津市及び高知県南国市を対象に、地域リーダー層が見る地域住民の津波防災意識についてスノーボール法に準じた質的調査を行った。具体的には、市から津波対策上重要な自主防災組織の紹介を受け、各自主防災組織のリーダーやキーパーソンを対象とした半構造化質問紙に則った訪問面接調査を行い、各自主防災組織の現状と課題を把握した。一つの自主防災組織から津波対策上キーとなる構成員複数から現状と課題を聞き取ることで、異なる立場、視点から地域理解することを目的としたためである。この本調査結果は、現在データ分析中である。

また、本調査の実施前に、昨年度に量的調査を行った静岡県沼津市、同焼津市、ならびに高知県南国市、土佐市において、市の防災担当者及び自主防災組織のリーダーに対して、量的調査結果の報告と地域の現状と課題の予備的聞き取りを行った。ここでは、本調査の対象となった静岡県焼津市と高知県南国市での予備的聞き取り調査を中心に結果を示す。

#### [静岡県焼津市]

静岡県焼津市では、沿岸部の6自主防災組織を対象に聞き取り調査を行った。調査対象者として、概ね1000世帯で構成される自主防災組織から会長、防災委員長を、また大規模な組織についてはその下位レベルである区長までを対象とした。

焼津市は15.5kmの海岸性を持ち、市北部には水揚げ金額全国1位、水揚げ量全国2位を占める焼津港があり、南部は志太平洋野であり平坦な地形となっている。静岡県第4次地震被害想定によると津波高平均6mであり、浸水深沿岸部で3～5mであるが、2m以下の地域も多い。津波避難ビル214施設が指定してされており、津波避難タワーも26基設置されている。なお、このうち、5基は民間施設で、市が補助したものである。

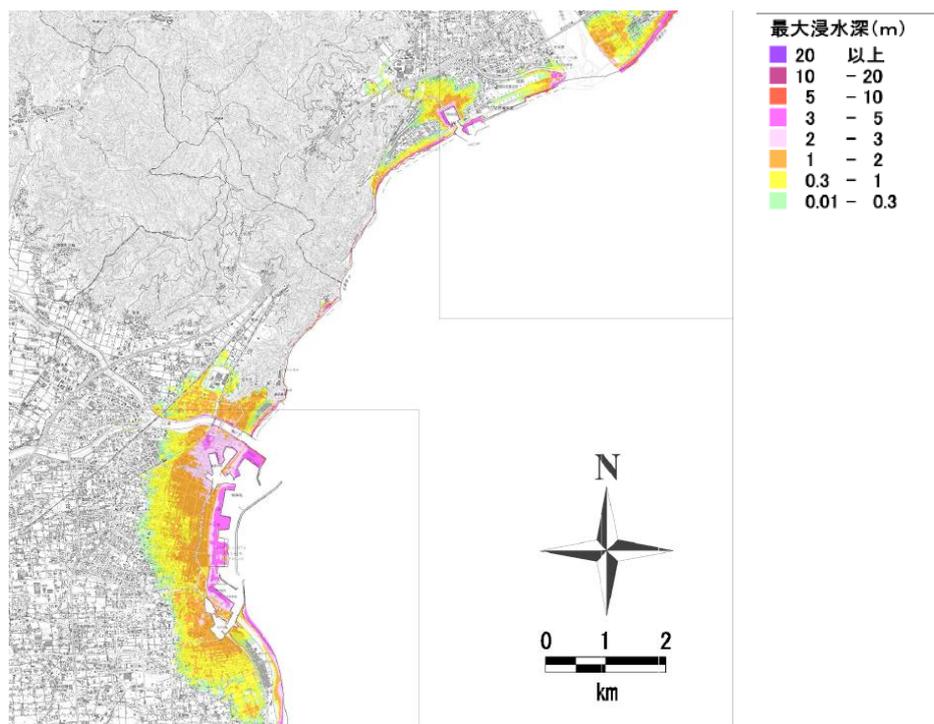


図3-5-④-2 津波浸水予測図 焼津市(「静岡県第4次被害想定」より抜粋)

聞き取り調査の結果の中で、避難訓練参加率が極めて高い点が最も注視すべき点であろう。平成23年12月4日実施の地域防災訓練には53,405名、平成25年9月1日実施の総合防災訓練には50,868名、平成25年12月1日実施の地域防災訓練には55,752名、同年3月1日実施の津波避難訓練には44,769名が参加している。人口が14万4千人であることを考えれば3分の1を超えている。

この参加率を支えているのは、長年の自主防災組織活動にあるが、その特色はグループリーダーにある。5～6軒を単位とする「向こう三軒グループ」を10数年前から立ち上げ、平常時には、要援護者や人的資源、物的資源の把握を、また避難の際には、世帯安全確認カードを玄関に掲げるようにするルール。カードが掲げておられなければリーダーが家の中に入り状況を確認することになっている。こういった地域の組織を活かすことに配慮した基地をつくった効果は、基地を中心としたお祭りなどで住民同士の互助意識が発揮されており、防災活動が無理しないで継続できているとしていた。また、役員の想いを住民に理解してもらうためには目に見える変化が必要との観点から、無線の整備や基地の看板、役員のベストなど順次整備を進めている。

活動にあたっては、民間施設と住民が協力している。事例としてはスーパーが駐車場に東日本大震災の翌年に津波避難タワーを設置してくれたこと、特養で避難階段を設置してくれたこと等が挙げられる。特養は2階に多くの入所者がおり3階へあげるために避難した地域のものが支援する協力体制ができている。

また、自主防災会長は任期で変わっていくため、防災委員長をおいている。継続性を担保し、かつ意欲のある人材を活用する仕組みといえよう。

女性の視点を取り入れることが重要であり、保健委員や女性部が市での研修を地元に戻って伝える役割を担ってくれている点を指摘していた。

しかし、東日本大震災の際に避難をした人は少なく、この点は、沼津市でも同様であった。実際の場面では、震度が予想される東海地震等と比べて弱かったとはいえ、テレビで情報確認した人が多い点に課題がある。

なお、沼津市では、車での避難を課題としてあげている。年間 50 万人に達する港湾地区の観光客に対して車避難の制限は難しいことを懸念していた。このことを受け、沼津市西浦地区では車避難を検証してみる計画がある。

#### [高知県南国市]

高知県南国市では、沿岸の大湊地区と浜改田地区を対象として聞き取り調査を行なった。調査対象者として、概ね百世帯程度で構成される自主防災会から 2 名ずつを選定し、大湊地区の 6 自主防災会、浜改田地区の 4 自主防災組織から合計 20 名に訪問面接調査を行なった。

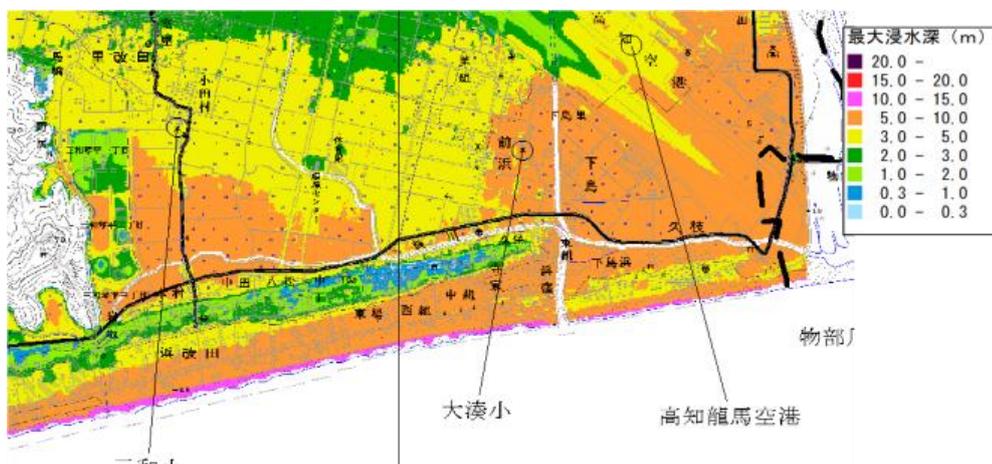


図 3-5-④-3 津波浸水予測図 南国市 (「【高知県版第 2 弾】南海トラフの巨大地震による震度分布・津波浸水予測について」より抜粋)

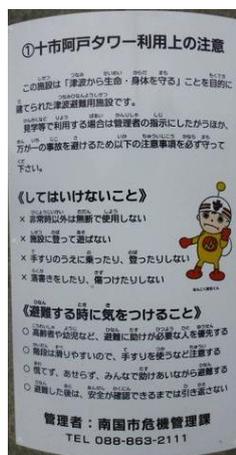


図 3-5-④-4 南国市における津波避難タワー

当該地域は、海岸に平行して東西方向に発達した浜堤上と、その南北に住宅が建てられている。高知県による南海トラフ地震（レベル2）の津波浸水予測図では、当該地域の居住地では浜堤の下では最大3～10メートル程度の浸水が、浜堤の上では最大1～3メートル程度の浸水が予測されている。当該地域では、東日本大震災後に、津波避難タワーが数百メートル間隔で整備されている。

聞き取り調査の結果では、当該地域は、高齢化率は市のなかでも平均から高い方で地区あり、住民の転入・転出は少ない地区と認識されていた。また、住居形態は戸建て住宅が極めて多く、就業産業としては農業および会社員が多いと認識されていた。

1946年の昭和南海地震および津波に関する地域での伝承については、地震の揺れによる家屋や人的な被害があったこと、津波によって漁船などに被害があったことが、地域の高齢者から伝え聞かれている様子があるとの回答が多かった。その一方で、津波による陸上での被害はなかったと伝えられているとの傾向もみられた。そのため、近年に発生した津波の影響によって、本地域の人々が「この地域は津波によって大きな被害を受ける可能性がある地域だ」との意識形成に繋がっている様子はみられなかった。東日本大震災の際にも、地域では避難した地域はほぼ見られないとの認識であった。

そうしたなかで、東日本大震災後には、地域の津波防災に対する意識は高まった地域が多いとの認識の回答が多く得られた。そして、現在の地域住民のもつ津波のイメージについても、東日本大震災の強い影響が強いとの認識が多く、当地域に襲来する津波については具体的なイメージというよりも、東日本大震災津波への恐怖心や、きわめて高い津波へのやや漠然とした懸念がある様子がみられるとの認識であった。同時に、こうした津波に対する懸念は大きいものの、浜堤の上の地区などでは、土地が高く過去の浸水の伝承もないことから、切迫した具体的なイメージを持ちにくい状況も指摘された。

そして今は地域では、「ゆれたらみんなで避難」という共通意識はあると思われるとの認識されているものの、多くの住民の避難のきっかけとしては、揺れの体感に加えて、避難勧告などの放送があると、具体的な契機になるとの認識が多かった。

こうした地域の状況において、東日本大震災後に建設された津波タワーに対しては、「津波避難タワーに逃げれば大丈夫であろう」と地域の住民は概ねその安全性について信頼しているとの認識の回答者が多かった。多くの回答者の認識では、地域では津波に関心のない住民は現在は少ないと思われるものの、具体的な津波イメージが乏しいなか、東日本大震災後に津波への懸念が高まったタイミングで建設されたことから、地域の避難訓練への参加率の向上にも効果があったのではとの指摘もみられた。今後の津波タワーの活用については、現在の避難訓練での利用に加えて、花火などの地域イベントでの活用や、防災訓練時に複数の津波避難タワーを参加者がリレーする催しなど様々なアイデアなどが挙げられた。地域では、おおむね現時点では、津波避難タワーが地域の具体的な避難計画や訓練の活動などに寄与していると評価するとともに、今後の地域の防災活動などの拠点の一つとして一層の活用

を検討しようとする積極的な意欲が見られた。

ただし、地域の津波避難に関する懸念として、津波タワーまで逃げられれば心配は少ないものの、本地域では家屋が倒壊し津波避難タワーへたどり着く途中の道がふさがれる、避難に時間のかかる高齢者が多いなどを地域の課題として指摘する回答者が多かった。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

避難意図を決定する因子が安定しないことは、尺度構成に問題がある、あるいは地域差が大きいなどの理由が考えられる。スノーボール法に準じる質的調査を詳細に分析することで地域差への影響を分析するとともに、尺度構成の再構成を行うことが求められる。

その際、重回帰分析の結果から得られた8項目（表2参照のこと）からみると、避難行動に関する規範が大きく寄与していることがわかる。つまり、避難意図を高めるためには、規範に関する情報を提供する必要があることを強く示唆する。

質的調査の結果から、上記の検討を詳細に分析する必要があり、次年度に行う。このほか、質的調査から仮説的であるが、興味深い論点を得られた。第1に、津波避難タワーなどいわゆるハード整備が避難計画や訓練参加、引いて津波避難意識に展開していく可能性を示唆している。第2に、東日本大震災で津波に注目が集まったため、非津波被害想定地域の防災活動は想定的に維持することは難しくなっており、その解決のために津波被害想定地域と連携をとり、受け入れ訓練を行うことで結果的に自宅の耐震化や家具の固定につなげようとする試みが南国市においても、焼津市においても観察された。第3に、東日本大震災による津波防災意識は確実に高くなっているが、その継続に向けて自主防災組織の強化・維持をするために、自主防災組織の連合を強めたり、構成を広域化したりする動きが観察された。

これらの仮説を今後、詳細かつ量的に実証していくことを予定している。

#### (e) 引用文献

・黄 欣悦、田中 淳、磯打 千雅子、宇田川 真之、三船 恒裕、2014、「災害時のリスクコミュニケーションに関する研究—南海トラフ巨大地震想定地域を対象に—」、2014年 社会情報学会（SSI）学会大会 研究発表論文集、pp. 227-232

・田中 淳・宇田川真之・三船恒之・磯打千雅子・地引泰人・黄欣悦、2014、「南海トラフ沿岸住民調査にみる避難意図の規定要因」、日本災害情報学会第16回研究発表大会 予稿集、pp. 128-129

### (3) 平成 27 年度業務計画案

各種データベースおよびプラットフォームの実装を開始する。また、メタデータの仕様について検討し、データベースの収集・整備に反映する。

防災・災害情報発信プラットフォームの実装について検討する。データの収集・整備、

利活用システム開発を引き続き実施する。リアルタイム伝送システム開発を継続して実施する。**RC**・人材育成については、行動を促す知識構造の解明を進めるとともに、防災教育の社会実装実験を始める。

### 3.6 プレート・断層構造研究

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 「プレート・断層構造研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター	招聘上席技術研究員	金田 義行
	研究開発センター長	小平 秀一
	グループリーダー	三浦 誠一
	技術研究員	中村 恭之
	技術研究員	仲西 理子
	研究員	山下 幹也
	技術研究副主幹	海宝 由佳
	ポストドクトラル研究員	新井 隆太
	グループリーダー	石原 靖
	主任研究員	高橋 努
	研究員	山本揚二郎
独立行政法人防災科学技術研究所 地震・火山防災研究ユニット	主任研究員	汐見 勝彦
	主任研究員	武田 哲也
	主任研究員	浅野 陽一
	主任研究員	木村 尚紀
	主任研究員	齊藤 竜彦
	主任研究員	松澤 孝紀
	主任研究員	松原 誠
	主任研究員	上野 友岳
	主任研究員	木村 武志
	主任研究員	田中 佐千子

(c) 業務の目的

サブテーマ1の防災・減災対策の実効性を検証するためには、地震発生の連動の範囲や地震や津波の時空間的な広がりを見積もる必要がある。このため、稠密な地下構造調査と稠密地震観測により、大津波の発生要因となる南海トラフのトラフ軸付近の詳細構造を得てすべり履歴の解明を図る。

地震発生全域、特に知見の不足する九州、隣接する南西諸島海溝までの地震発生全域における地震発生帯のイメージング及び海陸境界域深部構造イメージングを行って、地震発生帯のプレート形状及びプレート境界の物性を把握し、地震発生帯のプレート形状及び物性の詳細、陸側プレートとの相対的な位置関係等を把握する。得られた成果は他の観測研究成果と

の整合性を確認し、シミュレーション研究の項目に提供する。

(d) 8か年の年次実施業務の要約

基本的に前半の4年間には、震源モデル構築の準備と予測計算のため、基礎データを取得する。後半の4年間には、国レベル、地方行政レベルの現実的な防災・減災のための予測の再計算などに資する、不足しているデータを取得する。

平成25年度：

南海トラフの前縁断層イメージと南西諸島海域での構造イメージを得た。

平成26年度：

南海トラフ域の前縁断層イメージと地震発生帯の浅部・深部の構造イメージを得た。

平成27年度：

西部南海トラフの前縁断層構造イメージ、南西諸島北部の構造イメージを得る。

平成28年度：

西部南海トラフの前縁断層構造イメージと四国中部とトラフ軸近傍および微動発生域のプレート物性情報を得る。

平成29年度：

中部南海トラフの前縁断層構造イメージ、沖縄本島南方の構造イメージを得る。

平成30年度：

中部南海トラフの前縁断層構造イメージ、トラフ軸域と四国東部の微動発生域のプレート物性情報を得る。

平成31年度：

東部南海トラフの前縁断層構造イメージ、沖縄本島北方のプレート形状イメージを得る。

平成32年度：

東部南海トラフの前縁断層構造イメージ、トラフ軸近傍と紀伊半島で微動発生域のプレート物性情報を得る。

(e) 平成26年度業務目的

地震発生の連動の範囲や地震や津波の時空間的な広がりを見積もるために、内閣府が最大級の南海トラフ地震を評価した結果、改めて広がった地震発生域の地下構造の特性を明らかにする。そのため、日向灘～西部南海トラフでの高分解能反射法探査、大規模構造調査や海陸統合調査を実施し、前縁断層構造イメージ、及び四国下～四国沖にかけてのプレート形状イメージ及びプレート物性に関わる情報を得る。

四国西部で発生する深部低周波微動源並びに微小地震震源の高精度決定を目的として平成25年度に設置した陸域稠密地震観測を継続する。加えて、深部低周波微動活動が活発な四国西部を対象として、海域のエアガン発振による振動やダイナマイトによる人工地震を用いた構造探査を実施し、陸域下に沈み込むプレートと深部低周波微動源および微小地震震源の相対的位置関係解明に向けた解析を行う。

## (2) 平成26年度成果

①海域におけるプレート・断層構造調査(南海トラフの拡大想定震源域上限の構造マッピング、拡大想定震源域下限および海洋プレート構造・物性の決定、南西諸島海溝地震発生帯モデルの構築)

### (a) 業務の要約

6. 25m 間隔 192 チャンネルのストリーマケーブル(1.2km 長)を用いた高分解能反射法探査、海底地震計 35 台を用いた屈折法地震探査、および防災科学技術研究所(②で後述)と共同で海陸統合調査を実施した。

具体的には、西部南海トラフでの拡大想定震源域の上限を規定すると考えられる前縁断層構造イメージを得るため、昨年度に引き続き、主に高知沖南海トラフ周辺において、トラフに直行する 11 本の測線上で総延長約 1250km の稠密な高分解能反射法探査を実施した。

また、地震発生の連動の範囲や地震や津波の時空間的な広がりを見積もるために必要なフィリピン海プレートの構造および物性の決定のため大規模構造調査として、南海トラフ海側でトラフに平行な約 360km 長の測線 SB01 に海底地震計 35 台を設置し、屈折法地震探査および高分解能反射法地震探査を行った。さらに、四国沖～四国下の深部構造イメージを得るため、「南海連動性評価プロジェクト」で実施した四国沖南海トラフ横断測線とほぼ同一測線(SK03-2)でのエアガン発振を再度行い、測線の陸上延長線上に防災科学技術研究所が設置した臨時観測点 30 点でエアガン波形記録を取得する海陸統合調査を実施した。

同時に、昨年度実施した南西諸島南部海溝域での大規模構造探査、および自然地震観測のデータを用いた解析を進めた。

### (b) 業務の実施方法

西部南海トラフでの拡大想定震源域の上限を規定すると考えられる前縁断層構造イメージを得るため、高知沖南海トラフ周辺において、海洋研究開発機構の海洋調査船「かいよう」KY14-07 航海(2014 年 5 月 28 日～6 月 10 日)により、稠密な高分解能反射法探査(高分解能 MCS)を実施した。測線はトラフに直行する 11 本、総延長約 1250km と、トラフ海側にトラフに平行な約 360km 長の測線である(図 3-6-①-1)。この調査は微細な構造を対象とするため総容量 380cu. in の 4 台のエアガンを 2000psi の高圧で運用する高周波な音源を制御震源とし、ストリーマー受信間隔 6.25m の全長 1.2km のシステムを使用した。発振間隔は 37.5m、データサンプリング間隔は 1msec と、空間的、時間的に密なデータを得られる。

反射法探査データは、探鉱器を通して SDLT テープに SEG-D 形式(Society of Exploration Seismology 規格の地震探査用フォーマット)で記録し、船舶に設置の GPS から得られた位置情報などを併せ SEG-Y 形式に編集した。船上にてノイズ除去などのデータ編集の後、航海終了後に反射断面を作成した。

また、地震発生の連動の範囲や地震や津波の時空間的な広がりを見積もるために必要なフィリピン海プレートの構造および物性の決定のため、海洋研究開発機構の深海調査研究船「かいれい」KR14-05 航海(2014 年 5 月 1 日～5 月 15 日)にて、大規模構造調査を実施した。本調査

では、四国沖南海トラフ海側の四国海盆でトラフに平行な約 360km の測線 SB01 に海底地震計 (OBS) 35 台を設置し、屈折法地震探査を行った。さらに、四国沖～四国下の深部構造イメージを得るため、「南海連動性評価プロジェクト」で実施した四国沖南海トラフ横断測線とほぼ同一測線 (SK03-2) でのエアガン発振を再 200m 間隔で再度行い、測線の陸上延長線上に防災科学技術研究所が設置した臨時観測点 30 点でエアガン波形記録を取得する海陸統合調査を実施した (図 3-6-①-1)。この調査はフィリピン海プレートの沈み込みに伴う海陸境界部の深部構造までを対象とするため、OBS および「かいいい」搭載の制御震源である総容量 7800cu. in の大容量チューンドエアガンを圧力 2000psi、発振間隔 200m で使用した。

本調査で使用した海底地震計 (株) 東京測深製 TOBS-24N 型) は、3 成分受振器 (固有周波数 4.5Hz) とハイドロフォンで構成され、200Hz サンプリングで連続記録されている。屈折法地震探査データについては、地震探査調査終了後に観測した記録を SEG-Y フォーマットデータ (Society of Exploration Seismology 規格) に編集した。

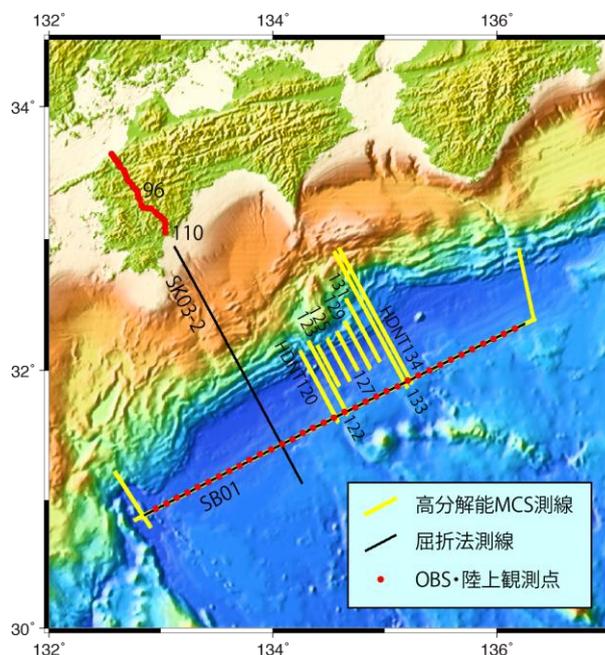


図 3-6-①-1  
日向灘～西部南海トラフでの KY14-07 高分解能 MCS 測線、KR14-05 大規模構造調査測線、および海陸統合地震探査測線。陸上観測点 Site 96 と 110 の記録を図 3-6-①-7、高分解能 MCS 測線の記録例を図 3-6-①-2 に、SB01 測線上の OBS の記録例を図 3-6-①-5 に示す。

### (c) 業務の成果

#### 1) 南海トラフ巨大地震の拡大想定震源域上限の構造マッピング

西部南海トラフでの拡大想定震源域の上限を規定すると考えられる前縁断層構造イメージを得るため、高知沖南海トラフ周辺において、高分解能 MCS 調査を実施した。得られたデータ断面とその解釈結果 (図 3-6-①-2) に基づき、南海トラフ巨大地震の拡大想定震源域上限を規定する構造を調査海域についてマッピングした。ここでは、拡大想定震源域上限を規定する構造は、先行研究 (Moore et al. 2005) に従って、プレート境界すべり面から海底にいたる前縁断層、およびトラフ充填堆積物と四国海盆堆積物の境界 (トラフ充填堆積物先端) までの領域内に存在する、とした。昨年度の高分解能 MCS データの解釈も併せて、マッピングした結果、内閣府によるトラフ軸を上限とする拡大想定震源域は妥当であると考えられる (図 3-6-①-3)。

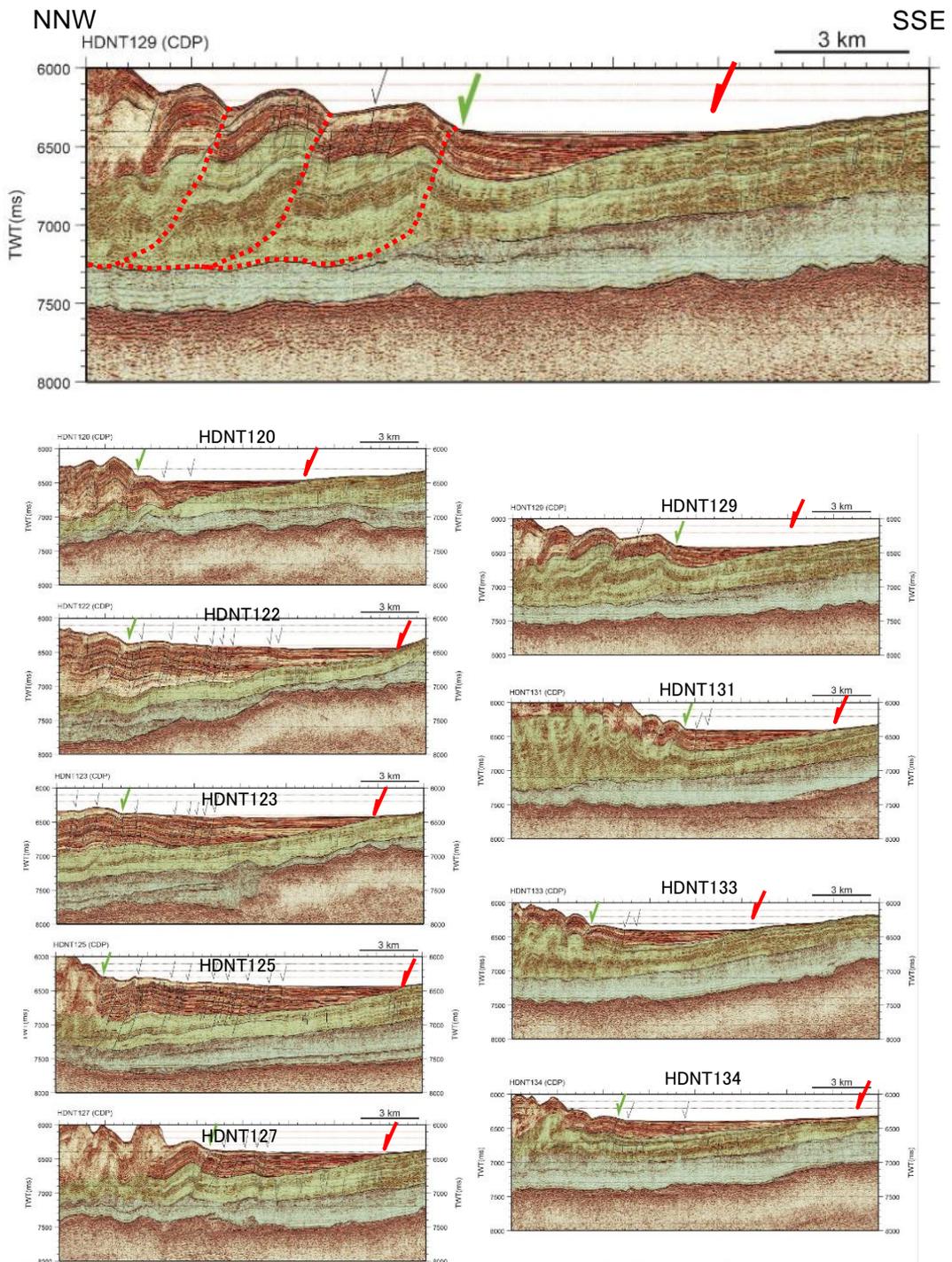


図 3-6-①-2 四国沖トラフ軸周辺の高分解能 MCS 時間記録断面拡大図（上：断層解釈を含む代表例、下：全断面）とその解釈。縦軸は往復走時。矢印で示す断層のうち、緑は前縁断層、赤はトラフ充填堆積物先端の位置を示す。

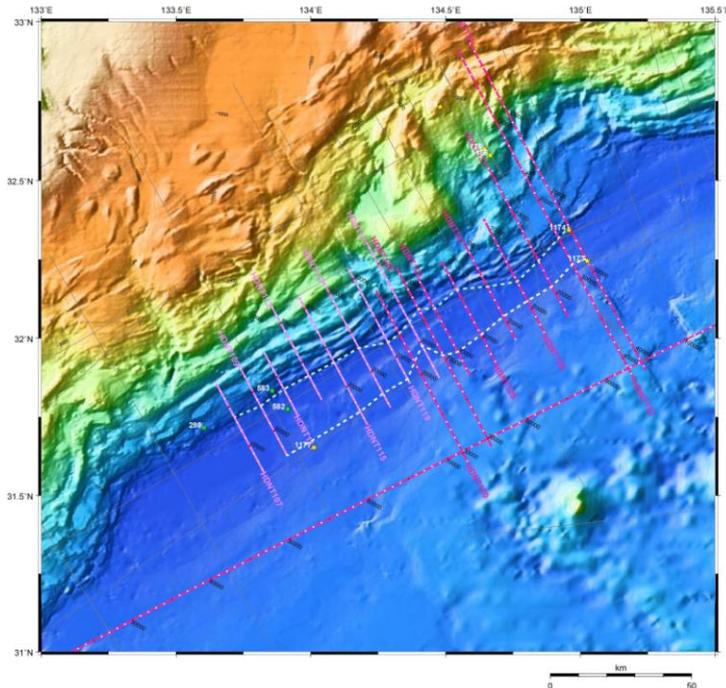


図3-6-①-3

前縁断層およびトラフ充填堆積物先端の分布。桃色線、濃桃色線はそれぞれ昨年度および今年度の高分解能MCS測線を示す。薄緑破線は前縁断層、白破線(図3-6-①-2の赤矢印に対応)はトラフ充填堆積物先端のマッピング結果を示す。

## 2) 拡大想定震源域下限および海洋プレート構造・物性の決定

巨大地震を含む海溝型地震の発生には、水(流体)の存在が密接に関わっていると考えられている。南海トラフの巨大地震想定震源域についても、含水量分布を明らかにすることが重要な課題である。さらに、拡大想定震源域下限に沿って発生している深部低周波微動(地震)は巨大地震のトリガーとなる可能性も指摘され、その発生には、沈み込むフィリピン海プレートの脱水反応によって生成する水の存在が関係していると考えられている(例えば、小原, 2007)。深部低周波微動(地震)実態解明のためにも、フィリピン海プレートの含水量分布イメージは不可欠な情報である。そこで、海洋研究開発機構では、拡大想定震源域および地震時のすべりに大きな影響を与えるフィリピン海プレートの構造および物性の決定のため、深部構造探査として、南海トラフ海側の四国海盆でトラフに平行な約360km長の測線SB01にOBS35台を設置し、屈折法地震探査および高分解能MCS調査を行った。さらに、四国沖~四国下の深部構造イメージを得るため、「南海連動性評価プロジェクト」で実施した四国沖南海トラフ横断測線とほぼ同一測線(SK03-2)でのエアガン発振を再度行い、測線の陸上延長線上に防災科学技術研究所が設置した臨時観測点30点でエアガン波形記録を取得する海陸統合調査を実施した(図3-6-①-1)。

SB01測線で得られた高精度MCS断面から、測線に沿った堆積層と基盤の構造不均質が認められた(図3-6-①-4)。測線南西側の基盤が平坦な部分で反射強度が比較的に弱い特徴がみられる一方、測線北東側では基盤からの反射が明瞭で凹凸が激しい。OBSで得られたデータ(図3-6-①-5)の暫定的な解析結果からも、測線の南西側と北東側で基盤直下のP波速度が4km/s前後から5km/s前後へと大きく変化しているイメージが得られた(図3-6-①-6)。これらの構造変化は、測線西端から約160km周辺で見られ、地磁気異常から四国海盆の拡大初期から拡大終盤の境界域と推定される領域

(Okino et al., 1994, 1999) に相当する。このようにトラフ軸方向にプレート形状や構造の特徴が大きく異なるフィリピン海プレートが西南日本下には沈みこんでいることが明らかになった。

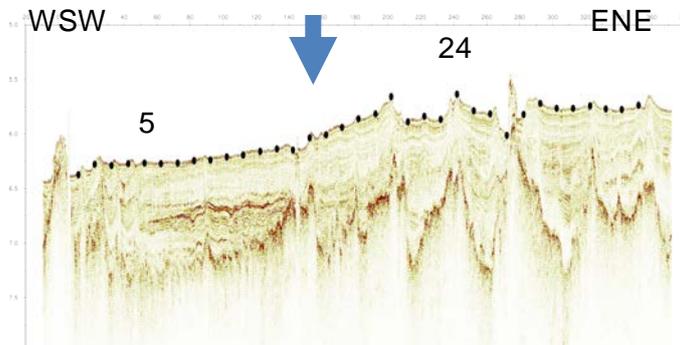


図3-6-①-4 トラフ軸海側四国海盆 SB01 測線における高分解能 MCS 時間断面。縦軸は往復走時、黒丸は OBS を示す。矢印周辺を境に東西で、堆積層構造や基盤の形状に差異が見られる。番号を記す OBS の記録断面を図3-6-①-5に示す。

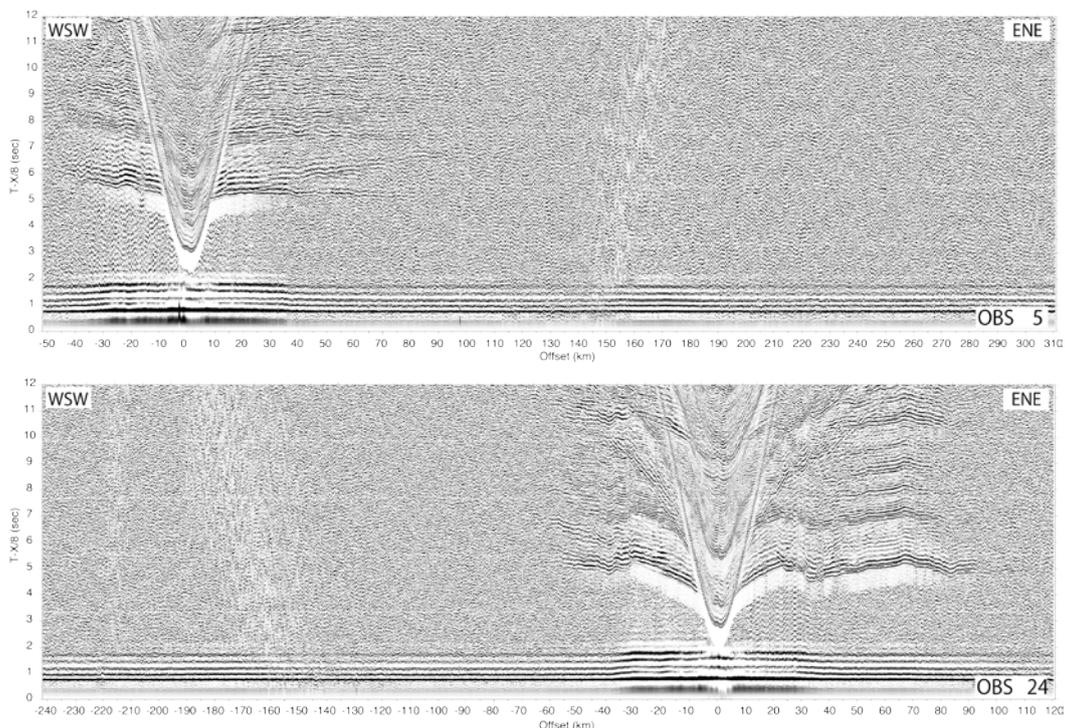


図3-6-①-5

南海トラフ海側の四国海盆における SB01 測線上の OBS5 (上) と OBS24 (下) の記録断面例。縦軸は走時。マンツルの一般的な速度である見かけ速度 8 km/s が水平になるよう、距離に応じた速度リダクションを施している。

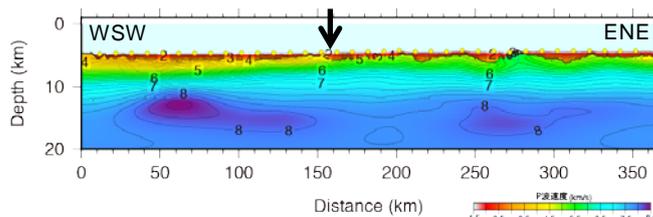


図3-6-①-6 トラフ軸海側四国海盆 SB01 測線における大規模構造調査データの暫定的な解析の結果得られた P 波速度構造モデル。

黄丸は OBS を示す。矢印周辺を境に東西で基盤直下の P 波速度が大きく変化する。矢印の位置は、図3-6-①-4と一致。

SK03-2測線の延長線上の陸上測線で得られたエアガン波形データ(図3-6-①-7)と、既存測線SK03のOBSデータを統合し、海陸統合解析を実施した結果、海域測線だけでは決定できなかった海陸境界域の深部構造をイメージングすることができた(図3-6-①-8)。

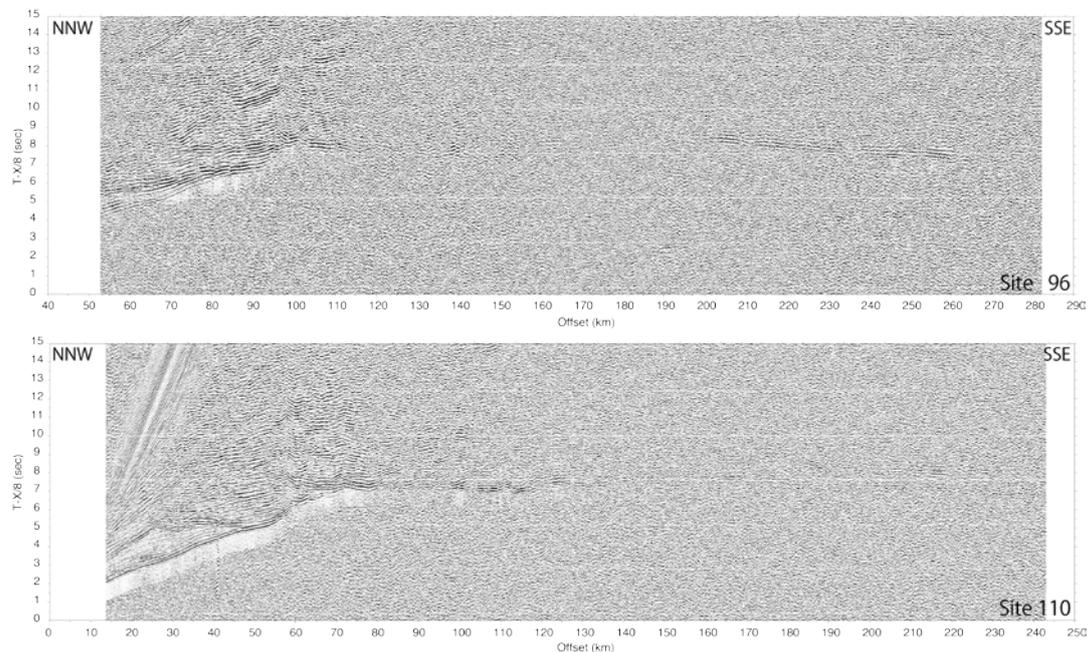


図3-6-①-7

陸上観測点で取得したSK03-2測線上で発振したSite 96(上)と110(下)のエアガン波形データ例。縦軸は走時。マンツルの一般的な速度である見かけ速度8 km/sが水平になるよう、距離に応じた速度リダクションを施している。

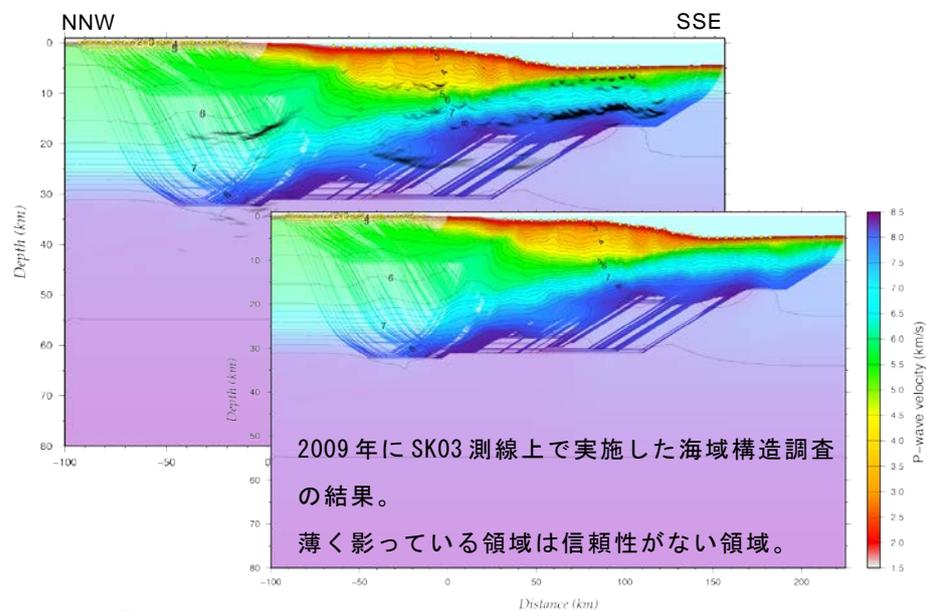


図3-6-①-8

SK03-2測線陸側延長線上の陸上観測点のデータおよび「南海連動性評価プロジェクト」で実施した同一測線上で取得したOBSデータを用いた海陸統合解析より得られた四国沖～四国下のP波速度構造モデルと反射イメージ(上)。黄丸はOBSおよび陸上観測点。OBSデータのみから得られた構造モデル(下)に比べて、海陸境界深部構造について解像度が向上した。

### 3) 南西諸島海溝地震発生帯モデルの構築（海域深部構造探査、自然地震観測）

知見の不足する九州から南西諸島海域にかけての沈み込み帯の構造、及び地震発生の構造的な背景を明らかにするため、昨年度実施した南西諸島南部の琉球海溝域での大規模構造調査、および自然地震観測のデータを用いた解析を進めた。

OBS、MCS による構造調査データの解析の結果、沈み込むプレートの上面のイメージを深さ約 30km までイメージングすることができた（図 3-6-①-9）。沈み込み角度は、海底付近の約 5 度から深くなるにつれて約 20 度まで急角度へと変化する様子が得られた。また、前弧側の上盤では、プレート境界から派生する分岐断層の存在が確認でき、分岐断層でせき止められた楔状の付加体は低速度層を形成していることが明らかになった。この分岐断層および楔状の低速度の付加体は、津波遡上分布から推定された 1771 年八重山地震の震源域のモデル (Nakamura, 2009) と概ね一致し、津波の発生や断層モデルを検討する上で重要な結果と考えられる。

自然地震観測から得られた暫定的な震源分布と構造イメージを比較してみると、地震活動は海洋地殻内部から海洋マントル内で発生しているように見える。さらに、プレートの固着状態を把握するために、低周波地震現象にも着目した。陸上での広帯域地震観測点などで、超低周波地震によると考えられる波群が観測され、この超低周波地震発生時に琉球海溝前弧である石垣島および西表島沖で浅部低周波地震が発生していることが明らかになった（図 3-6-①-10）。P 波、S 波の到達時刻が読み取れた低周波地震の震源は、上述の構造イメージで得られた分岐断層深部のプレート境界付近で発生しており、1771 年八重山地震の津波波源域 (Nakamura, 2009) のやや深部に位置する。（図 3-6-①-11）

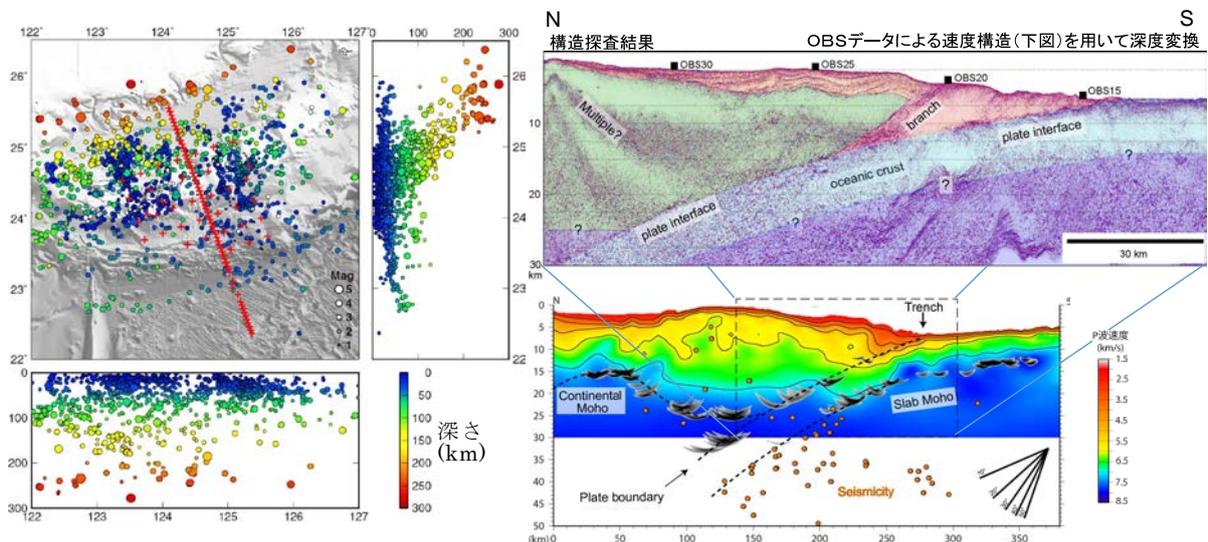


図 3-6-①-9

南西諸島南部の琉球海溝域での調査観測点配置図および震源分布（左）と構造探査結果（右）。赤+は OBS を示す。OBS が多数直線上に並んでいるところが大規模構造調査測線。構造探査結果（右）は、OBS データ解析から得られた P 波速度構造モデルと反射イメージ、測線の両側幅 10km の範囲内に含まれる震源分布（右下）と、P 波速度構造を用いて、時間断面を深度変換した MCS 断面とその解釈（右上）を示す。

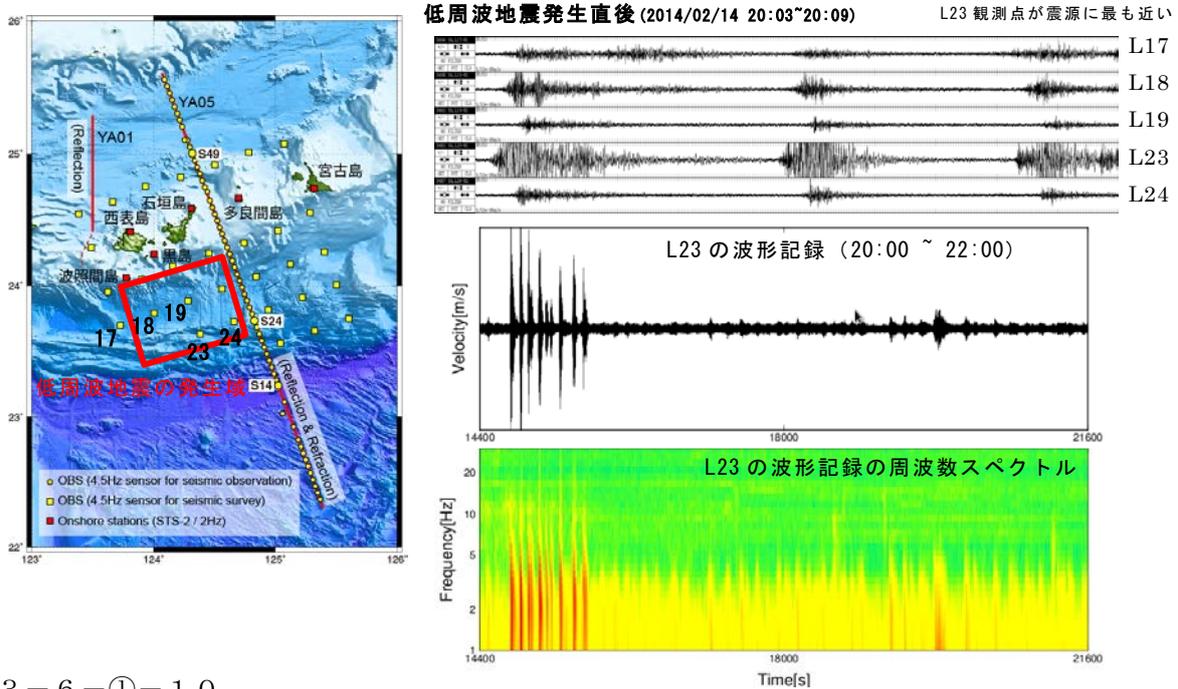


図 3 - 6 - ① - 1 0

南西諸島南部の琉球海溝域での調査観測点配置図（左）と低周波地震観測記録例（右）、および最も震源に近い観測点と考えられる L23 のより長時間の連続記録（右中）と周波数スペクトル（右下）。時刻は世界時表示。黄四角は自然地震観測用 OBS、赤四角は陸上の地震観測点を示す。OBS による地震波形記録例（右上）より、浅部低周波地震発生域は地図上の赤矩形領域と推定される。

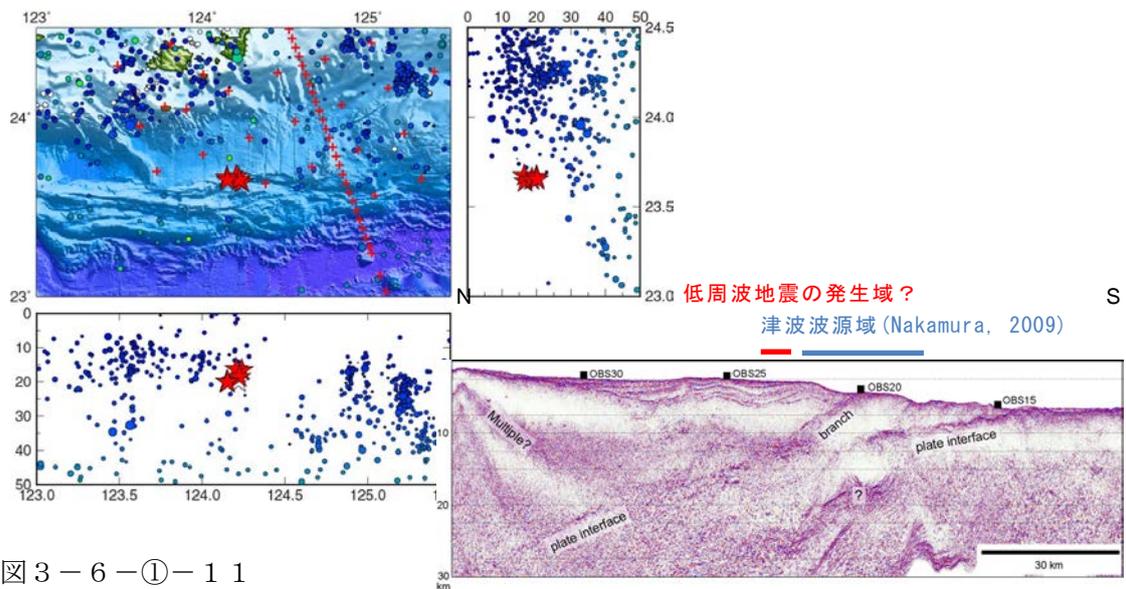


図 3 - 6 - ① - 1 1

浅部低周波地震の震源の推定位置（左）と MCS 構造断面に見られる分岐断層、および過去の津波地震波源域との比較（右下）。

(d) 結論ならびに今後の課題

日向灘～西部南海トラフでの高分解能反射法探査、大規模構造調査や海陸統合調査を実施した。その結果、南海トラフ巨大地震の拡大想定震源域上限と前縁断層分布がほぼ一致することを確認した。四国下～四国沖にかけて、海陸境界深部のプレート形状イメージを明らかにした。南海トラフに沿って、プレート形状や構造の特徴が大きく異なるフィリピン海プレートが西南日本下に沈みこんでいることが明らかになった。今後、前縁断層分布やプレート形状イメージを実施する領域を拡大し、プレートの構造と物性の決定を進め、フィリピン海プレートの流体分布イメージを得ることが課題である。

南西諸島海溝地震発生帯モデルの構築に向けて、南部での大局的な2次元構造イメージを得た。また自然地震観測より得られた暫定的な震源は、地震が主に海洋マントルで発生していることを示唆する結果となった。さらに、浅部低周波地震を観測することに成功し、構造との対比を進めた。今後、調査観測域を南西諸島域全体に展開しながら、震源決定精度向上を進め、構造との比較を再検討した上で、3次元モデルの構築を実施する。

(e) 引用文献

Moore, G. F., H. Mikada, J. C. Moore, K. Becker, and A. Taira (2005), Legs 190 and 196 synthesis: deformation and fluid flow processes in the Nankai Trough accretionary prism. In H. Mikada, G. F. Moore, A. Taira, K. Becker, J. C. Moore, and A. Klaus (Eds.), Proc. ODP, Sci. Results, 190/196, 1-26

小原一成、スロー地震と水、地学雑誌、116、1、114～132 (2007)

Okino, K., Y., Shimakawa, and S., Nagaoka, Evolution of the Shikoku Basin, J. Geomag. Geoelectr., 46, 463-479 (1994)

Okino, K., Y. Ohara, S. Kasuga, and Y. Kato, The Philippine Sea: New survey results reveal the structure and the history of the marginal basins, Geophys. Res. Lett., 26, 2287-2290, (1999)

Nakamura, M., Fault model of the 1771 Yaeyama earthquake along the Ryukyu Trench estimated from the devastating tsunami, Geophys. Res. Lett., 36, L19307, doi:10.1029/2009GL039730. (2009)

②自然地震・構造探査を用いた構造解析

(a) 業務の要約

四国西部で発生する深部低周波微動源の高精度決定や微動発生メカニズム解明等を目的として平成25年度に設置した30箇所の陸域稠密地震観測を継続し、自然地震の記録を収集した。この間、四国沖で実施されたエアガン発振による振動の記録も得た。加えて、平成26年12月には短周期上下動地震計を150箇所に追加設置し、ダイナマイト

発破による人工地震探査を実施した。人工地震による観測波形中、沈み込むプレートに起因すると思われる複数の反射波の到来を確認した。これらのデータに基づいて、陸域下に沈み込むプレートと深部低周波微動源および微小地震震源の相対的位置関係解明に向けた解析を開始した。

#### (b) 業務の成果

深部低周波微動（以下、微動）は、内閣府により想定されている最大級の南海トラフ地震の想定震源域陸域深部下限を規定する根拠となった現象である。しかし、微動活動と南海トラフにおいて発生する巨大地震の関係は、必ずしも明確とは言えない。一方、沈み込むプレートからの脱水が微動の発生に強く関与していると考えられている（例えば、Obara, 2002; Katsumata and Kamaya, 2003）。この仮説が正しければ、微動発生域周辺でプレート形状やプレートを構成する岩石の物性等が変化している可能性があり、大地震時のすべり域を規定する条件の一つとなり得る。

高精度な微動源や微小地震震源位置の決定に資することを主な目的として、平成 25 年度末に 30 箇所の臨時地震観測点を四国西部に設置した。四国西部は、四国地方の中でも微動活動が特に活発な地域として知られている。平成 26 年度は、さらに、同地域の地殻ならびにフィリピン海プレートに関する詳細な地下構造を推定し、微動と地下構造との相対的位置関係を詳細に調査するため、上下動地震計を一時的に 150 箇所に追加設置し、人工地震探査を行った。以下にそれぞれの観測の詳細をまとめるとともに、得られた観測記録の一例とその特徴を示す。

#### 1) 自然地震観測

四国西部で発生している微動源ならびに微小地震源の高精度決定や発生メカニズムの解明、陸域下に沈み込むプレート境界や陸側モホ面の位置および形状の推定に資するため、平成 26 年 2 月、四国西部の総延長約 82 km の測線上に臨時機動観測点 30 点をほぼ等間隔になるように設置した。観測点の概略位置を図 3-6-②-1 に示す。測線は北北西-南南東方向に広がる活発な微動クラスタ上を通過するよう、愛媛県伊予市と高知県黒潮町を結んでいる。各観測点には、低消費電力型のデータ収録装置（計測技研製 HKS-9550）と固有周波数 1 Hz の三成分短周期地震計（OYO Geospace 社製 GS-1）を設置した。サンプリング周波数 100 Hz で離散化された観測データは、データ収録装置内の CF カードに蓄積される。データ収録装置内の内部時計は、GPS からの信号に基づき、4 時間に 1 回の頻度で時刻校正を行った。平成 26 年度は、これらの観測点の運用を継続し、データ回収やバッテリーの交換等の必要なメンテナンスを行った後、平成 27 年 3 月に全点を撤収した。

観測期間中の平成 26 年 5 月上旬には、測線の海域延長部において、海洋研究開発機構によるエアガンの発振が行われた。図 3-6-②-2 にその際の観測記録の一例を示す。最も陸域に近い発振については、高知県内に設置した全ての観測点 (NAN019~NAN030) で信号が到達していることが分かる。また、観測期間中の平成 26 年 10 月 19 日 0 時台に観測された上下動成分の波形記録を図 3-6-②-3 に示す。ここで、当該時間帯に

において、バッテリー低下等の理由で正常な観測が出来ていなかった観測点の記録は除外した。図の上部の黒丸は、同時帯に基盤的地震観測データの解析により微動源の位置が求められた時刻（防災科学技術研究所，2014）を表す。0時10分頃や48分頃等の顕著な微動活動についてはほぼ全域で微動を記録していること、従来から深部低周波微動の活発な地域に設置した観測点（NAN004～NAN012）では、それ以外の時間にも明瞭な微動活動に伴う信号の到来を確認することができる。以上のように、今回設置した臨時観測点においても微動に伴う微弱な地動が明瞭に観測されており、これらの活動の詳細な解析に資するデータが得られたことが分かる。

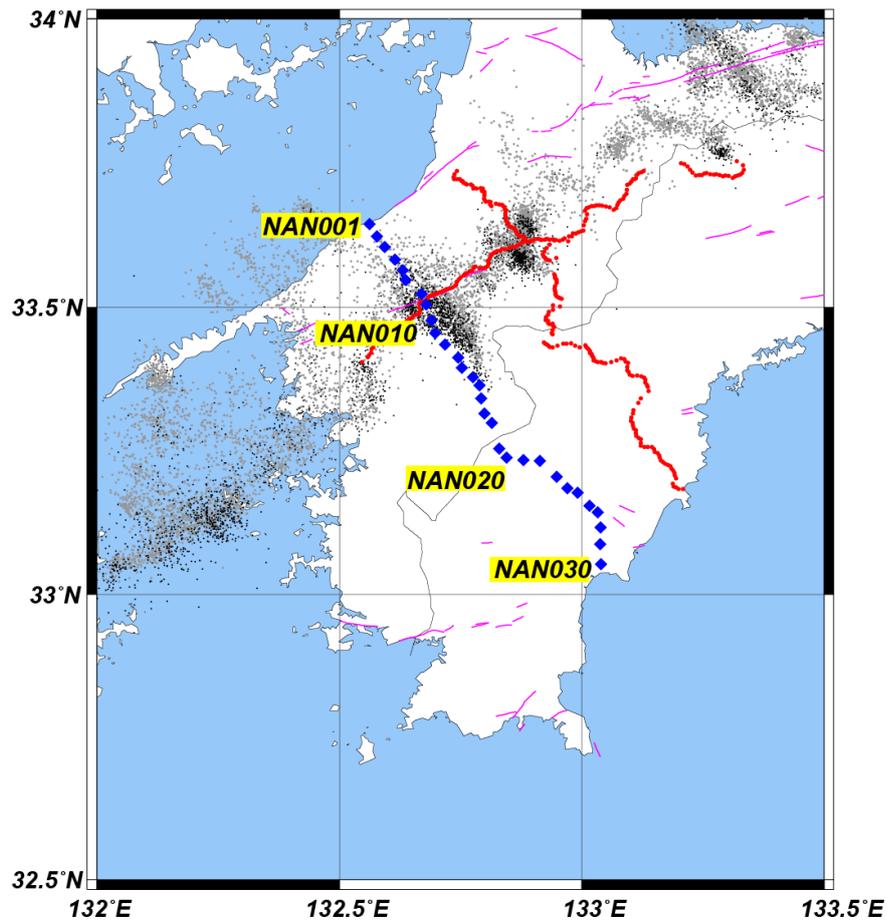


図3-6-②-1 四国西部臨時地震観測点の位置。臨時設置した30箇所の地震観測点を青菱形で示す。2008年に防災科学技術研究所が実施した構造探査観測点(Takeda *et al.*, 2008)を赤丸で、気象庁一元化処理震源カタログによる低周波地震の震央および深部低周波微動の震央(Obara *et al.*, 2010)をそれぞれ黒点および灰点で示す。紫線は活断層の位置(活断層研究会編, 1991)を示す。

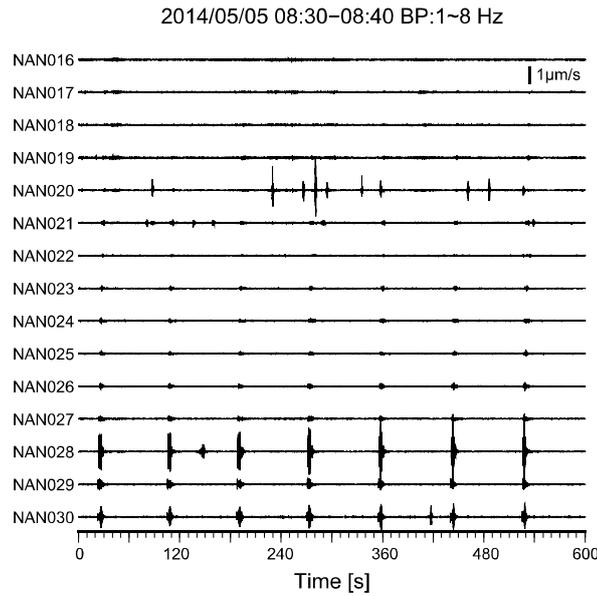


図 3-6-②-2 四国西部臨時地震観測点で収録されたエアガンショットの記録の一例。もっとも海岸近くで発振された 10 分間について、南側 15 点で観測された上下動成分の波形記録を示す。80~90 秒間隔でパルス状の記録が繰り返し記録されていることが分かる。描画にあたって、帯域幅 1~8 Hz の帯域通過フィルタを適用した。

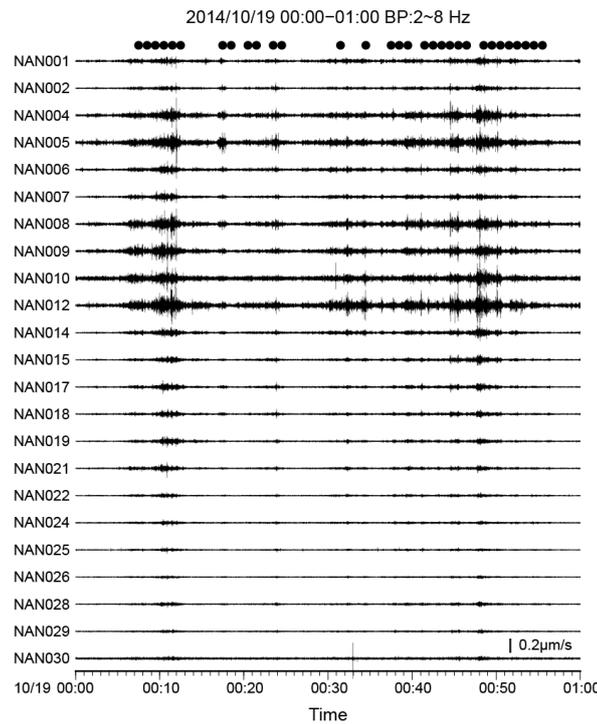


図 3-6-②-3 四国西部臨時地震観測点で収録された微動記録の一例（上下動成分）。描画にあたって、帯域幅 2~8 Hz の帯域通過フィルタを適用した。波形最上部に示した黒丸は、基盤的地震観測網データにハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) を適用することにより深部低周波微動源が推定された時刻を表す。

## 2) 人工地震観測

自然地震観測データを解析することにより、地震観測点下のプレートや陸側モホ面の位置・形状、地震波速度構造などを推定することが出来る（例えば、Shiomi *et al.*, 2006; Matsubara and Obara, 2011）。しかし、限られた観測期間中に解析に耐えうる自然地震が発生することは保障されておらず、自然地震のみから地下構造に関する詳細な情報を得るためには、おのずと長期間にわたる地震観測点の運用が必要となる。加えて、近地で発生する地震の記録を解析に用いる場合、震源位置や震源時刻の推定誤差が結果に大きな影響を与えることがある。これに対し、人工地震の記録を使用する場合、発破位置や発破時刻を明示的に決定することが出来る。これにより、発破時刻を含む短期間のみを対象に多数の臨時観測点を設置することが可能となり、きわめて高分解能な解析に資するデータをほぼ確実に取得できるという利点がある。平成 26 年度は、四国西部に沈み込むフィリピン海プレートの位置や形状を詳細に把握し、前節の自然地震観測等で求められた微動源や微小地震震源との相対位置の評価に資するため、ダイナマイト発振を用いた人工地震観測を実施した。

人工地震観測時の観測点および発破点の位置を図 3-6-②-4 に示す。発破点は、愛媛県大洲市と内子町の市町界付近の内子町域に設けた。発破にあたっては、深さ 70 m の発破孔を鉛直下方に掘削し、ケーシング管を設置した。薬量は 300 kg とした。探査の実施に際して、固有周波数 2 Hz の上下動成分地震計（株式会社岩崎製 IWA-UD2、あるいはサーセル社製 L-22D）150 台を平成 26 年 11 月下旬より追加設置した。追加観測点は、昨年度設置した 30 箇所観測点の隙間を埋めるように、測線上に配置した。追加設置した観測点の様子を写真 3-6-②-1 に示す。発破は、12 月 11 日 0:31 過ぎに実施した。この発破による振動は、発破点から 100 km 程度離れた防災科研 Hi-net の観測点でも検知されており、防災科研 Hi-net の地震観測データ処理システムにより、その規模はマグニチュード 0.4 程度と推定されている。なお、データ収録装置は自然地震観測と同じ計測技研製 HKS-9550 を用いた。150 地点については 12 月中に全地点の撤収を完了した。また、発破点の原状復旧も年度内に完了した。

人工地震により得られた観測記録を図 3-6-②-5 に示す。得られた記録からは反射波と考えられる多くの後続波位相の到来を確認することができる。特に、発破から 11~12 秒（図 3-6-②-5、赤矢印）と約 14 秒経過後（同、青矢印）に顕著な位相が到来している。これらの経過時間は、反射面までの往復走時に相当する。前者の波群は、過去の探査データ（Takeda *et al.*, 2008）およびプレートモデル（Shiomi *et al.*, 2008）などから、プレート上面境界からの反射波と推測される。また、この波群の瀬戸内海側は、他の波群と比べて継続時間が長くなっており、厚みを伴う反射面の存在が示唆される。微動源との概略的位置関係から、この部分は Shelly *et al.* (2006) により高圧流体が存在すると指摘された領域に対応する可能性がある。

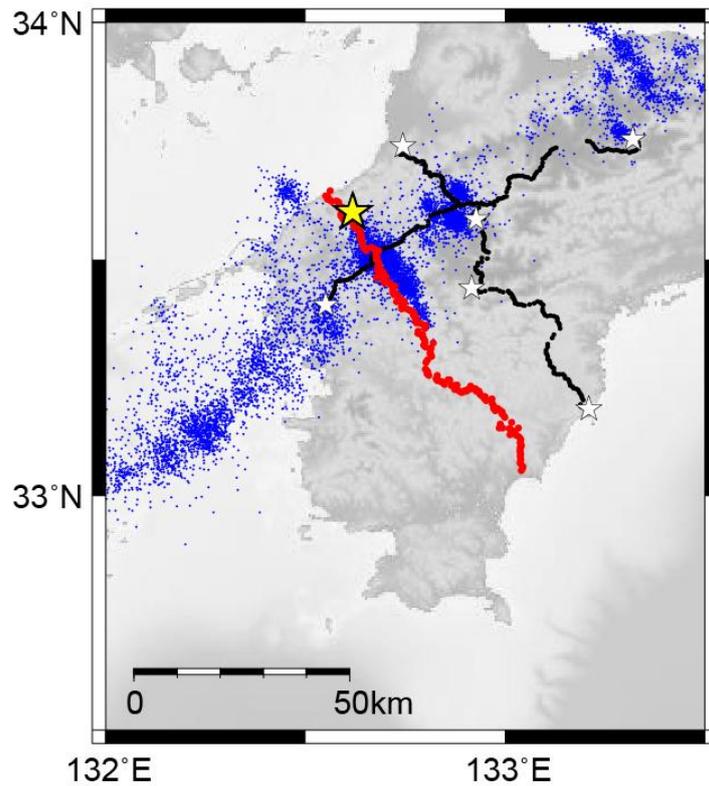


図3-6-②-4 人工地震観測の発破点（黄星）および臨時地震観測点（赤丸）の位置。2008年に防災科学技術研究所が実施した構造探査の発破点を白星、観測点を黒点で表す（Takeda *et al.*, 2008）。青点は、深部低周波微動の震央（Obara *et al.*, 2010）を示す。



写真3-6-②-1 追加設置した臨時地震観測点の様子。赤い筒状の容器の中に地震計を設置し、収録装置ならびに乾電池を収納した観測箱は、緑色のビニルシートで保護した。GPS アンテナは右側の木柱に取り付けた。

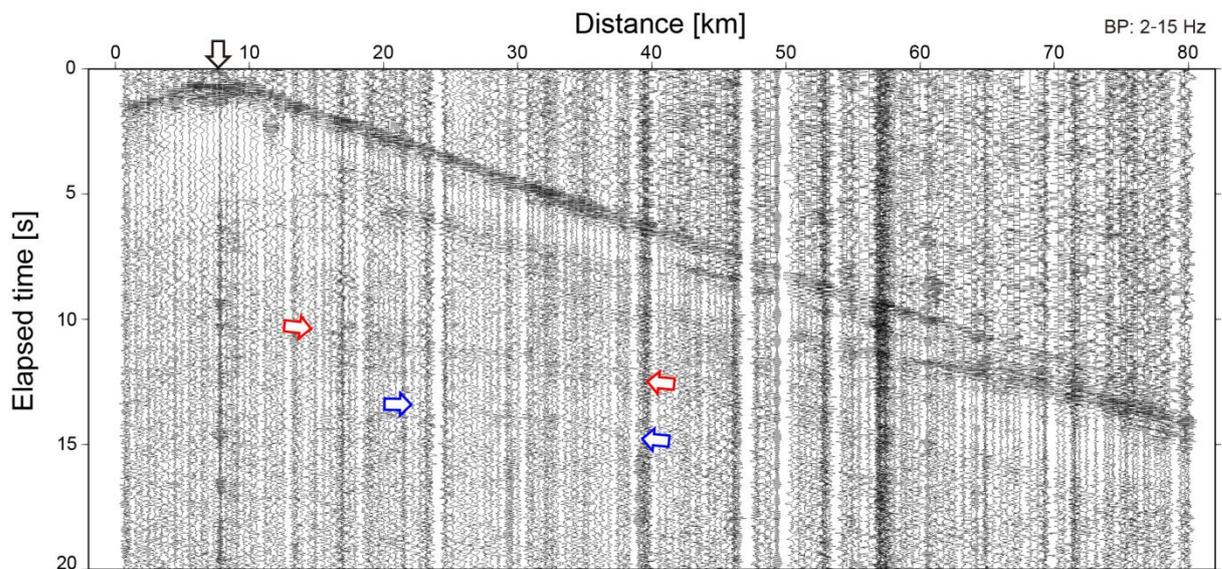


図 3-6-②-5 人工地震の観測記録。図の左側が瀬戸内海側、右が太平洋側を表す。縦軸は、発破からの経過時間、横軸は測線上の距離である。描画にあたって、帯域幅 2～15 Hz の帯域通過フィルタならびにウィンドウ幅 1.5 秒の AGC を適用した。発破点付近に黒矢印を示す。プレート上面およびプレート内モホ面からと思われる反射波の位置をそれぞれ赤矢印、青矢印で示す。

(c) 結論ならびに今後の課題

四国西部を対象に 30 箇所 of 臨時観測点からなる線状アレイでの自然地震観測を行うとともに、計 180 箇所 of 臨時観測点による人工地震探査を実施した。自然地震観測では、四国西部で発生した深部低周波微動や海域でのエアガン発振に伴う振動が明瞭に観測されていることを確認した。また、人工地震観測記録の概略的な解析の結果、沈み込むフィリピン海プレートに起因すると思われる複数の明瞭な反射波を確認した。この反射波の特徴が波群によって異なることから、プレート境界面の特徴が場所によって異なる可能性が示唆される。今後は、今年度までに収集した微動を含む自然地震データ、人工地震データならびに過去に防災科学技術研究所が四国西部で実施した構造探査データ（図 3-6-②-4. Takeda *et al.*, 2008）を統合的に解析することにより、プレートと陸側モホ面の位置・形状および微動源とプレートとの相対位置の把握、微動発生域とその周辺の構造の特徴の違いの抽出を進めなくてはならない。一方、四国東部は西部に比べて微動活動が低調であり、活動域もよりクラスタ化する傾向にある。微動の活動度と地下構造の関係を調査するため、今後は、四国東部の微動の活動度が低調な地域を対象とした臨時観測を行い、四国西部との比較検討を行う必要がある。

(d) 引用文献

- 1) 防災科学技術研究所, 西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

- (2014年8月～10月), 地震予知連絡会提出資料,  
<http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/205/image205/012.pdf>.
- 2) 活断層研究会編, 新編日本の活断層－分布図と資料－, 東京大学出版会, 437p, 1991.
  - 3) Katsumata, A. and N. Kamaya, Low-frequency continuous tremor around the Moho discontinuity away from volcanoes in the southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1020, doi:10.1029/2002GL015981, 2003.
  - 4) Maeda, T. and K. Obara, Hypocenter distribution of deep low-frequency tremors in Nankai subduction zone, Japan, *J. Geophys. Res.*, 114, B00A09, doi:10.1029/2008JB006043, 2009.
  - 5) Matsubara, M. and K. Obara, The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate, *Earth Planets Space*, 63, 663 - 667, 2011
  - 6) Obara, K. Nonvolcanic deep tremor associated with sub-duction in southwest Japan, *Science*, 296, 1679 - 1681, 2002.
  - 7) Obara, K., S. Tanaka, T. Maeda, and T. Matsuzawa, Depth-dependent activity of non-volcanic tremor in southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 37, doi:10.1029/2010GL043679, 2010.
  - 8) Shelly, D. R., G. C. Beroza, S. Ide, and S. Nakamura, Low-frequency earthquakes in Shikoku, Japan, and their relationship to episodic tremor and slip, *Nature*, 442, 188-191, doi:10.1038/nature04931, 2006.
  - 9) Shiomi, K., K. Obara, and H. Sato, Moho depth variation beneath southwestern Japan revealed from the velocity structure based on receiver function inversion, *Tectonophys.*, 420, 205 - 221, doi:10.1016/j.tecto.2006.01.017, 2006.
  - 10) Shiomi, K., M. Matsubara, Y. Ito, and K. Obara, Simple relationship between seismic activity along Philippine Sea slab and geometry of oceanic Moho beneath southwest Japan, *Geophys. J. Int.*, 173, 1018 - 1029, doi:10.1111/j.1365-246X.2008.03786.x.
  - 11) Takeda, T., K. Obara, Y. Haryu, Y. Asano, T. Maeda, K. Shiomi, T. Ueno, T. Matsuzawa, Y. Yukutake, M. Matsubara, H. Hirose, and S. Sekine, Seismic exploration of deep low-frequency tremor area in western Shikoku, Japan, the AGU 2008 Fall Meeting, U33A-0029, 2008.

### (3) 平成27年度業務計画案

南西諸島北部の領域において海底地震計やマルチチャンネル反射法システムを用いた大規模構造探査を実施し、堆積層や地殻、最上部マンツルの速度や層境界に関する情報から南西諸島北部のプレート形状イメージを得る。

四国東部で発生する深部低周波微動源ならびに微小地震震源の高精度決定や陸域のプ

プレート形状推定を行うため、四国東部域を対象とした陸域稠密地震観測点を展開し、観測を開始する。本研究プロジェクトや基盤的地震観測網等でこれまでに収録された観測記録を解析し、四国におけるプレート形状ならびに物性の特徴の詳細把握を行うための解析を進める。

### 3.7 海陸津波履歴研究

#### (1)業務の内容

(a) 業務題目 「海陸津波履歴研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
独立行政法人産業技術総合研究所 地質情報研究部門	副研究部門長 研究グループ長 主任研究員 研究員 特別研究員	池原 研 鈴木 淳 板木拓也 西田尚央 宇佐見和子
独立行政法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門	研究グループ長 主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 研究員 研究員	宍倉正展 藤原 治 澤井祐紀 安藤亮輔 行谷佑一 松本 弾 谷川晃一朗
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター	グループリーダー	金松敏也
国立大学法人高知大学 教育研究部	教授	岩井雅夫
法政大学 文学部	教授	前杵英明
一般財団法人地域地盤環境研究所	研究員	越後智雄
国立大学法人筑波大学 生命環境系	助教	藤野滋弘

(c) 業務の目的

海域及び陸域の地層の中から過去の地震・津波の痕跡を検出する。陸域では掘削調査などから津波浸水や地殻変動の履歴を、海域では海底調査から地震・津波の発生履歴を解明し、その年代や拡がりから南海トラフ沿いにおける津波の履歴を解明する。判明した津波履歴は適宜、シミュレーション研究(2-2-d, 2-2-e)の項目に提供する。また、防災分野における地域との連携の中で、津波履歴に関する資料があれば提供を受ける。

(d) 8か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度：

陸域では四国沿岸において津波浸水や地殻変動の履歴について調査を行った。海域では四国沖海域での調査航海を実施し、地震・津波履歴の調査を行った。

平成 26 年度：

陸域では平成 25 年度に得られた試料の分析と四国～九州沿岸での掘削調査等から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では平成 25 年度に得られた試料や既存試料の分析と九州～琉球沖の海底調査から地震・津波の発生履歴を得た。

平成 27 年度：

陸域では四国沿岸等での掘削調査等で得られた試料の分析に基づいた津波浸水や地殻変動の履歴、海域では九州～琉球沖の海底調査から地震・津波の発生履歴を得る。

平成 28 年度：

陸域では紀伊半島～東海沿岸での掘削調査等から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では九州～琉球沖の海底調査から地震・津波の発生履歴を得る。

平成 29 年度：

陸域では紀伊半島～東海沿岸での掘削調査等から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では日向灘～紀伊半島沖の海底調査から地震・津波の発生履歴を得る。

平成 30 年度：

陸域では紀伊半島～東海沿岸での掘削調査等から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では日向灘～紀伊半島沖の海底調査から地震・津波の発生履歴を得る。

平成 31 年度：

陸域では紀伊半島～東海沿岸での掘削調査等から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では熊野～東海沖の海底調査から地震・津波の発生履歴を得る。

平成 32 年度：

海陸の調査結果のとりまとめと比較検討を行い、本地域全体での地震・津波の発生履歴についてまとめる。

(e) 平成 26 年度業務目的

陸域ではおもに四国沿岸に着目し、沖積低地において機械ボーリングや地層抜き取り装置（ジオスライサー）による掘削調査を実施し、津波堆積物の検出とその分布について解明することを目標とする。また生物遺骸群集や離水海岸地形などの隆起痕跡についても四国から南西諸島北部沿岸において現地調査を実施し、その分布について解明することを目標とする。

海域では、2-1-a で実施する調査航海に参加し、琉球海溝周辺海域から海底堆積物コアを採取する。また、四国沖の南海トラフや日本海溝沿いの堆積物記録との比較研究を実施する。これらから、その堆積構造解析を実施し、地震・津波により形成された堆積層の検出を行い、その分布を解明することを目標とする。海域の調査と採取試料の解析は、2-1-a との密接な連携のもとに共同して実施する。

## (2) 平成 26 年度成果

### ① 海域での津波履歴調査航海実施

(a) 業務の要約

琉球海溝沿いで発生する地震・津波に伴い形成されるイベント堆積物を海底堆積物中から認定し、その堆積間隔から過去の地震発生履歴を推定するために、沖縄八重山～沖縄島沖海域の海底堆積物の採取と解析を行った。海洋研究開発機構の調査船「よこすか」による YK15-01 航海で沖縄石垣島南方前弧域、琉球海溝域、沖縄島南方前弧域で堆積物試料の採取を行った結果、いずれの海域においてもタービダイトの挟在が確認された。特に石垣島南方前弧域の海底扇状地上では多数のタービダイトが挟在し、タービダイトを用いた地震発生履歴の研究のポテンシャルを有する場所であることがわかった。一方、琉球海溝底から採取されたコアにも多数のタービダイトが確認されたが、粗粒粒子の組成はその給源が台湾である可能性を示した。また、石垣島における 1771 年明和津波の津波発生モデルのうち、前弧域の海底地すべりの可能性の有無を海底地形と海底堆積物試料から検討した結果、前弧域の海底地すべりの寄与の可能性は低いことがわかった。

#### (b) 業務の実施方法

琉球海溝域における地震・津波イベント堆積物の認定とこれに基づく過去の地震・津波発生履歴の解明のため、海洋研究開発機構の調査船「よこすか」のYK15-01航海により沖縄八重山～沖縄島沖海域において海底地形調査、海底表層地層探査と海底堆積物コアの採取を行った(図3-7-①-1、表3-7-①-1)。調査航海では、先行研究により地震の痕跡がタービダイトとして残されているとされる西表島南方の海底扇状地上(Ujiie et al., 1997)とその周辺の前弧域並びに八重山沖琉球海溝域を第一目的海域とし、17回のピストコア採取と2回のマルチプルコア採取を試み、琉球海溝底の1回(PC15)を除く、前弧域でピストンコア13本とマルチプルコア2本、琉球海溝域でピストンコア1本を採取した。また、沖縄島南方前弧域で2本のピストンコアを採取した。採取された堆積物コアは、船上で半割の後、肉眼観察・記載、写真撮影と一部について色測定を行った。また、火山灰分析用と年代測定用試料を船上で分取した。また、タービダイトを用いた地震・津波履歴の解明手法の高度化を目指して、南海トラフや琉球海溝と堆積学的な設定が異なる日本海溝並びにその陸側斜面において採取された既存のコア試料の堆積構造解析と年代測定を実施した。

#### (c) 業務の成果

海溝型地震の震源の多くは海底下にある。このため、もっとも大きな地震動とそれに伴う変動は海底で起こると考えられる。海底での大きな地震動は海底堆積物粒子の再配列を引き起こし、粒子間の間隙を埋める水(間隙水)の圧力を上昇させ、粒子を間隙水中に浮かすことで堆積物を不安定にし、海底地すべりを発生しやすくする。また、浅海に侵入した津波は海底の傾斜変換点でエネルギーを集中させ、海底表層堆積物を巻き上げる可能性がある(Arai et al., 2013; Ikehara et al., 2014)。さらに震源近傍の海底では地震動によって表層堆積物をまき上げたり(Sakaguchi et al., 2011)、変形させたり(Ikehara et al., 2014)するプロセスの存在も示されている。このような地震や津波に伴う海底での土砂の輸送/再配置は、海底地すべりや堆積物の巻き上げ起源の堆積物粒子を含んだ周囲の海水よりも密度の大きい水塊として、重力の効果により海底斜面を流れ下る密度流である混濁流によると考えられる。混濁流からの粒子の堆積は平常時に堆積する泥と異なる粒度組成や堆積構造をもつことが知られている(Bouma, 1962; Stow and Shanmugam, 1980など)ので、海底堆積物中から混濁流起源の堆積層であるタービダイトを認定し、その堆積年代を決めることで過去の地震の発生時期を特定できる可能性がある(Adams, 1990; 池原, 2001; Goldfinger et al., 2003など)。本課題では、沖縄八重山沖前弧域を中心とした海域を対象とした、海底堆積物中の地震・津波起源のタービダイトによる地震・津波の発生間隔の解明と、1771年明和津波発生における海底地すべりの影響の評価を目的とする。

「よこすか」のYK15-01航海で沖縄八重山沖前弧域の11地点(黒島海丘北方2地点と前弧海盆9地点11本:図3-7-①-1、表3-7-①-1)から採取されたコア試料のうち、10地点から採取されたコア試料の多くはシルト質の泥質堆積物からなり、石灰質生物遺骸を主とする砂質堆積物が挟在する(図3-7-①-2)。これらの砂質堆積物は、下面が明瞭かつ侵食的で、上方へ細粒化し、Bouma(1962)のタービダイトの構造と一致するので、混濁流から形成されたタービダイトと解釈される。

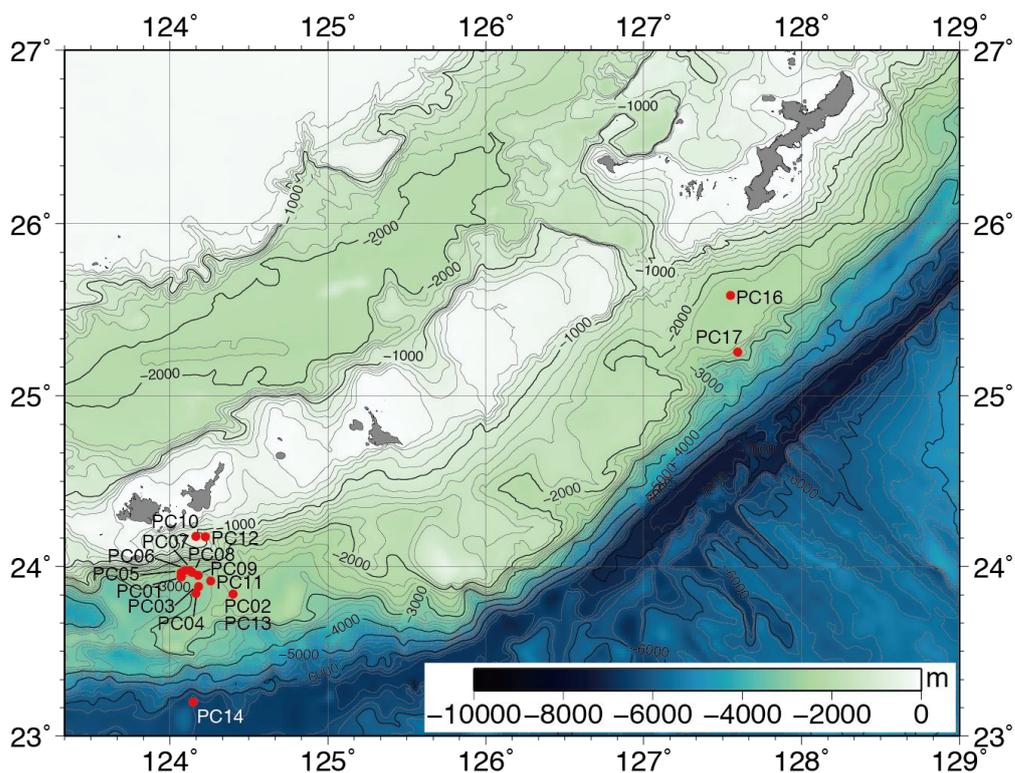


図 3-7-①-1 「よこすか」 YK15-01 航海の試料採取地点  
 琉球海溝底の PC15 は試料が採取できなかったので図には載っていない。MC01 は PC08、MC02 は PC01 と同じ地点から採取された。

表 3-7-①-1 「よこすか」 YK15-01 航海の採泥点の水深と位置 (緯度・経度)

Core ID	Water Depth (m)	Position	
		Latitude	Longitude
PC01	2,765	23_56.3055N	124_04.4122E
PC02	2,502	23_50.2047N	124_24.1047E
PC03	2,886	23_52.9100N	124_11.0074E
PC04	2,933	23_50.9964N	124_10.6016E
PC05	2,748	23_57.8103N	124_04.4275E
PC06	2,674	23_58.5892N	124_05.6789E
PC07	2,637	23_58.5118N	124_07.7061E
PC08	2,667	23_57.8957N	124_08.5161E
PC09	2,821	23_56.8099N	124_10.8693E
PC10	1,121	24_10.5934N	124_09.9869E
PC11	2,823	23_54.7831N	124_15.5360E
PC12	1,150	24_10.4888N	124_13.6063E
PC13	2,520	23_50.1469N	124_24.1241E
PC14	6,448	23_12.0169N	124_08.9843E
PC15	6,529	23_08.0377N	124_24.9981E
PC16	2,521	25_35.0077N	127_32.9978E
PC17	2,681	25_15.2887N	127_35.8534E
MC01	2,667	23_57.9044N	124_08.5459E
MC02	2,766	23_56.3217N	124_04.4508E

八重山前弧域の前弧海盆に発達する海底扇状地上では、Ujiie et al. (1997) により、およそ 1000 年のタービダイトの堆積間隔が示され、過去の地震の発生間隔を示すと考えられた。しかし、Ujiie et al. (1997) ではおよそ 1000 年の間隔でタービダイトが堆積しているコアは 1 本のみであり、その堆積間隔の推定には不確実性が残っていた。なぜならば、海底扇状地上でタービダイトはローブ状に堆積すると考えられる (Reading and Richards, 1994) が、ローブは地形的な低まりを埋めて堆積するため、タービダイトの主堆積場は時間とともに場所を移動させる可能性があるからである。また、最近 Araoka et al. (2013) は八重山地方の沿岸に分布する多数の津波石の放射性炭素年代測定から、八重山地方における津波の再来間隔を 150~400 年と推定した。この間隔は、Ujiie et al. (1997) のタービダイトの堆積間隔よりも明らかに短い。このため、Ujiie et al. (1997) でおよそ 1000 年の堆積間隔が得られている海底扇状地状から複数の海底堆積物コアを採取し、より高い確実度でタービダイトの堆積年代と堆積間隔を決定し、津波石の記録と比較することを目指した。また、石垣島に大きな被害を与えた 1771 年明和津波により形成されたタービダイトの有無も、この海底扇状地の堆積物が八重山地方の地震・津波発生履歴の解明に使えるかどうかの判断に重要であるので、不擾乱表層堆積物試料を 2 地点から採取した。

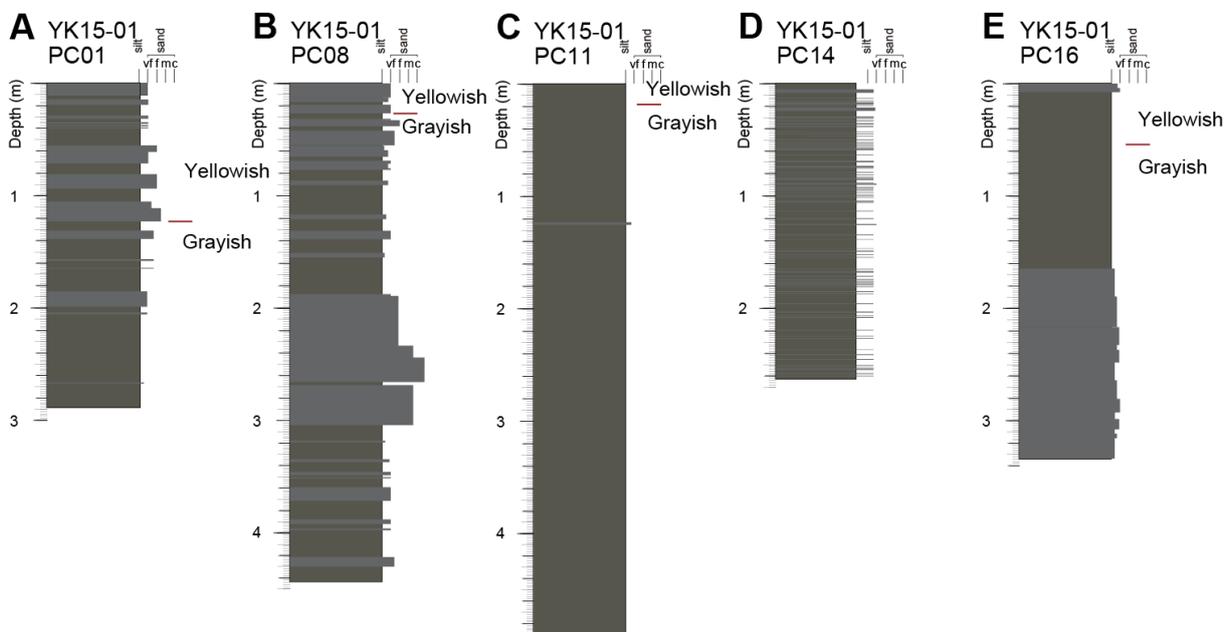


図 3-7-①-2 YK15-01 航海で採取された代表的なピストンコア試料

石垣島南方前弧域海底扇状地南部 (A)、北部 (B)、前弧海盆底 (C)、琉球海溝底 (D)、沖縄島南方前弧域 (E)。コア試料の採取位置は、図 3-7-①-1、表 3-7-①-1 を参照。通常時の堆積物を濃い灰色、イベント層 (タービダイト) を灰色で示し、コラムの幅が粒度を示す (右につき出るほど粒度が粗い)。

結果として、Ujiie et al. (1997) の海底扇状地上には、貝殻片やサンゴ片などの石灰質生物遺骸の破片を多く含む極細粒砂~中粒砂の粒径をもったタービダイトが広く分布すること、扇状地上ではその給源となる海底谷の開口域に近づくにつれてタービダイトが粗粒化並びに厚層化すること、扇状地南部はコア下部でややタービダイトの挟在頻度が減ること、一方扇状地北部ではコア上での頻度は南部より少ないがコア下部では南部よりも多いことが明らかとなった (図 3-7-①-2 (A)、(B))。したがって、扇状地南部と北部のコアを統合的に解析することで、より確実なタービダイトの堆積頻度が得られると期待される。コア試料の年代測定は今後行われる予定であるが、前弧域のタービダイトを挟在しないコアの色変化が酸素同位体曲線とよく似た変化を示すので、これが正しいとし、また前弧域のコアに共通する色変化(コ

ア最上部で明茶色、下部でオリーブ色) がコア間で対比可能だと仮定すると、海底扇状地上のコアの上部でのタービダイトの平均堆積間隔は 1000 年弱程度と推測され、Ujiie et al. (1997) の結果と整合的である。また、マルチプルコアラーによる不擾乱表層堆積物試料にも複数のタービダイトの挟在が確認できた (図 3-7-①-3)。最上位のタービダイトは薄い通常時の堆積物 (半遠洋性泥) に覆われている。また、最上位のタービダイトの下には、半遠洋性泥を挟んで、最上位のものと似た特徴を持つタービダイトが存在する。Araoka et al. (2010) は、石垣島の津波石の U/Th 年代測定から、津波石が 1771 年明和津波と 1625 年の津波により打ち上げられたとした。海底扇状地上の表層堆積物も 2 つのイベントの発生を示唆しており、複数の年代測定手法を用いたこの不擾乱表層堆積物コア試料中のタービダイトの堆積年代の決定が今後重要な課題となる。

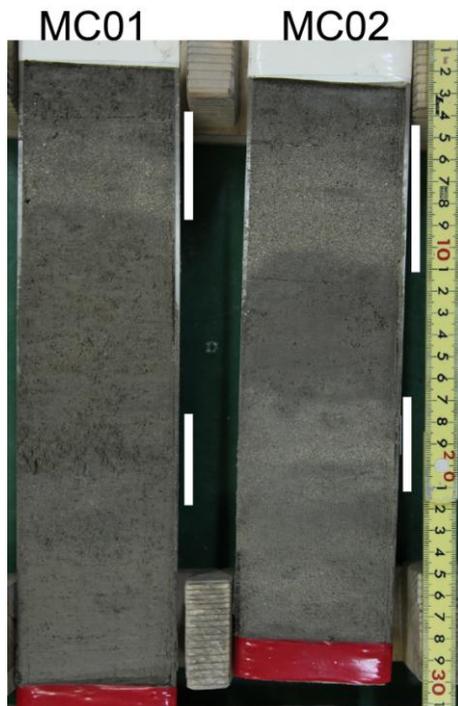


図 3-7-①-3 石垣島南方前弧域の海底扇状地上から採取された表層堆積物試料  
白線で示した層準にタービダイトが挟在する。試料の採取位置は、表 3-7-①-1 を参照。

1771 年明和津波の波源についてはまだ確定していない。今村ほか (2001) は前弧域の海底地すべりを、Nakamura (2009) は琉球海溝付近の津波地震を、Miyazawa et al. (2012) は前弧域の断層運動と海底地すべりの複合を波源とした。1771 年明和津波に海底地すべりが大きな寄与をしていたとしたら、海底地形や海底堆積物にその痕跡が残されているはずである。YK15-01 航海における海底地形データの取得範囲は今村ほか (2001) や Miyazawa et al. (2012) が想定した海底地すべりの分布範囲を含むが、海底地形や表層地層探査記録には崩落地形や流れ山の存在、水中土石流堆積物を示す音響的層相などの海底地すべりを示す明瞭な痕跡は確認できなかった。また、Miyazawa et al. (2012) の海底地すべり想定域の近傍から今回採取された海底堆積物コア (YK15-01 PC11 : 図 2 3-7-①-2C) におけるタービダイトの挟在は薄層のものが 1 枚のみであり、それもコアの最上部ではない。八重山前弧域の半遠洋性泥の堆積速度は 1.5~6.3cm/千年程度である (Xu and Ujiie, 1994) ので、1771 年明和津波の時期に形成されたタービダイトとは考えにくい。以上の事実は、少なくとも今回の調査範囲には最近の海底地すべりの痕跡はないことを示し、1771 年明和津波に対する前弧域の海底地すべりの影響の可能性は低いことが明らかとなった。

海溝底の堆積物中のタービダイトも地震発生履歴の推定に使われる (Patton et al.、2013 ;

Ikehara et al.、2012 など). Hsu et al. (2013) の反射法地震探査記録によれば、琉球海溝底にはよく成層した厚い堆積物の存在が確認できる。しかし、琉球海溝底から採取されたコア試料の報告はなく、琉球海溝底の堆積物がどのような特徴を持ち、地震発生履歴の解析に使えるかどうかは判断できない状況であった。YK15-01 航海では琉球海溝底で2回のピストンコアリングを試み、1地点からコア試料 (YK15-01 PC14) を得た。得られたコアは粘土質シルト中に薄層のタービダイトが多数挟在する岩相を示す (図3-7-①-2D)。タービダイトは極細粒砂~粗粒シルトの粒径をもち、鉱物と岩片に富み、前弧域のタービダイトとはまったく異なる特徴を持つ。八重山諸島にも堆積岩は分布し、前弧域のタービダイト中にも堆積岩片はわずかに含まれるが、まったく石灰質生物遺骸が含まれないことから、前弧域のタービダイトと海溝域のタービダイトは給源が異なる可能性が高い。海溝底のタービダイトは岩片や鉱物に富むことから、その給源は台湾である可能性があり、今後タービダイトの粒子組成の分析が必要である。

沖縄島南方前弧域から採取された2本のコアのうちの1本 (YK15-01 PC16: 図3-7-①-2E) のコア下部は厚い粗粒堆積物からなる。このコアはこの粗粒堆積物を貫いていないが、この粗粒堆積物は5枚以上の明瞭で侵食的な基底をもち上方細粒化するユニット (タービダイト) の累重からなる。ユニット間に通常時の堆積物を挟在しないことから一つのイベントにより形成されたものと推定される。このため、このコアのみからイベントの発生間隔や頻度を推定することは困難である。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

以上のように、「よこすか」YK15-01 航海で沖縄八重山~沖縄島沖海域から採取された海底堆積物コアには、多数の地震性と考えられるタービダイトが挟在していることがわかった。特に、石垣島南方前弧域ではタービダイトがよく保存されており、1771年明和津波に対応するタービダイトが残されている可能性があることがわかった。今後、これらの堆積物試料の年代決定を行うことで、八重山地方の地震・津波の履歴に関する情報が得られると期待される。ただし、八重山前弧域での今年度の調査範囲は石垣島~西表島南方の一つの海底谷-海底扇状地に集中しており、八重山地方で過去に発生したすべての地震・津波イベントを記録していない可能性もある。一つのイベント堆積物の空間的広がりには地震や津波の規模に関する可能性もあるので、今後、今年度の海域に連続する宮古島南方までの海域についても海底堆積物データの取得と解析が必要である。石垣島などでは沿岸の津波石による津波履歴の推定がなされている (Araoka et al.、2010、2013)。津波は遠地の地震によっても襲来しうるので、海域と陸域のデータを統合することが重要である。海域での高品質のデータの取得とともに、陸域と統合した解析を進める必要がある。

これまで日本周辺海域で行われてきたタービダイトを用いた地震発生履歴の研究の対象海域は、以下の3つの設定にまとめられる。1) 海底谷-海底扇状地-海盆系、2) 小海底谷・ガリー-小海底扇状地系、3) 斜面-閉鎖小海盆系。1) はタービダイトの堆積場としては最も典型的な設定であり、平成25年度に調査を行った室戸トラフがその例としてあげられる。2) は今年度の石垣島南方前弧域や千島海溝の上部斜面 (Noda et al.、2008) などが例となる。3) は南海トラフ東部の金洲ノ瀬トラフ (池原、2001) や熊野沖の海溝陸側斜面の小海盆 (Ashi et al.、2014)、日本海溝底 (Ikehara et al.、2012) や陸側斜面下部の平坦面上 (Usami et al.、2014) などが例となる。このうち、1) や2) では混濁流が流下する海底谷からその自然堤防、海底扇状地上のローブとローブ間低地、さらにその先の海盆底という地形的設定の違い、3) では小海盆内の起伏などに応じてタービダイトの構造や厚さ、粒径などが変化すると考えられるので、適切な場所から解析のためのコア試料を取得することが重要である。また、現在進行中の日本海溝域の研究結果 (Ikehara et al.、2012; Usami et al.、2014 など) は堆積速度が地震・津波イベント堆積物の保存や高精度での年代決定に重要であることを示唆している。詳細な地形的設定を考慮し、よりよい試料を採取して、高精度の解析を行うことが今後のタービダイト古地震学の発展のために重要である。

(e) 引用文献

- Adams, J., Paleoseismicity of the Cascade subduction zone: evidence from turbidites off the Oregon-Washington margin, *Tectonics*, **9**, 569–583, 1990.
- Arai, K., H. Naruse, R. Miura, K. Kawamura, R. Hino, Y. Ito, D. Inazu, M. Yokokawa, N. Izumi, M. Murayama and T. Kasaya, Tsunami-generated turbidity current of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geology*, **41**, 1195–1198, 2013.
- Araoka, D., M. Inoue, A. Suzuki, Y. Yokoyama, R.L. Edwards, H. Cheng, H. Matsuzaki, H. Kan, N. Shikazono and H. Kawahata, Historic 1771 Meiwa tsunami confirmed by high-resolution U/Th dating of massive *Porites* coral boulders at Ishigaki Island in the Ryukyus, Japan, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **11**, Q06014, doi:10.1029/2009GC002893, 2010.
- Araoka, D., Y. Yokoyama, A. Suzuki, K. Goto, K. Miyagi, K. Miyazawa, H. Matsuzaki and H. Kawahata, Tsunami recurrence revealed by *Porites* coral boulders in the southern Ryukyu Islands, Japan, *Geology*, **41**, 919–922, 2013.
- Ashi, J., R. Sawada, A. Omura and K. Ikehara, Accumulation of an earthquake-induced extremely turbid layer in a terminal basin of the Nankai accretionary prism, *Earth Planets Space*, **66**, 51, 2014.
- Bouma, A.H., Sedimentology of some flysch deposits, Elsevier, Amsterdam, 168p, 1962.
- Goldfinger, C., C.H. Nelson, J.E. Johnson and the Shipboard Scientific Party, Holocene earthquake records from the Cascadia subduction zone and northern San Andreas Fault based on precise dating of offshore turbidites, *Annual Rev. Earth Planet. Sci.*, 555–577, 2003.
- Hsu, S.-K., Y.-C. Yeh, J.-C. Sibuet, W.-B. Doo and C.-H. Tsai, A mega-splay fault system and tsunami hazard in the southern Ryukyu subduction zone, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **362**, 99–107, 2013.
- 池原 研, 深海底タービダイトを用いた南海トラフ東部における地震発生間隔の推定, *地学雑誌*, **110**, 471–478, 2001.
- Ikehara, K., T. Kanamatsu, M. Strasser, H. Fink, Y. Nagahashi, K. Usami, G. Wefer and SO219A and MR12-E01 on-board scientists, Past “Earthquake/tsunami” event deposits found in the Japan Trench: Results from the Sonne SO219A and Mirai MR12-E01 cruises, Abstract 2012 AGU Fall Meeting, NH41C-02, 2012.
- Ikehara, K., T. Irino, K. Usami, R. Jenkins, A. Omura and J. Ashi, Possible submarine tsunami deposits on the outer shelf of Sendai Bay, Japan resulting from the 2011 earthquake and tsunami off the Pacific coast of Tohoku, *Marine Geol.*, 358, , 2014.
- 今村文彦・, Imamura, F., I. Yoshida and A. Moore, Numerical study of the 1771 Meiwa tsunami at Ishigaki Island, Okinawa and the movement of the tsunami stones. Proc. Coast. Eng. JSCE, 48, 346–350, 2001
- Miyazawa, K., K. Goto and F. Imamura, Re-evaluation of the 1771 Meiwa tsunami source model, southern Ryukyu Islands, Japan, In Yamada, Y. et al. (eds.) Submarine Mass Movements and Their Consequences, Springer, 497–506 2012.
- Nakamura, M., Fault model of the 1771 Yaeyama earthquake along the Ryukyu Trench estimated from the devastating tsunami, *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L19307, 2009.
- Noda, A., T. TuZino, Y. Kanai, R. Furukawa, and J. Uchida, Paleoseismicity along the southern Kuril Trench deduced from submarine-fan turbidites, *Marine Geology*, **254**, 73–90, 2008.
- Patton, J.R., C. Goldfinger, A.E. Morey, C. Romos, B. Black, Y. Djadjadihardja and Udrek, Seismoturbidite record as preserved at core sites at the Cascadia and Sumatra-Andaman subduction zones, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **13**, 833–867, 2013.
- Reading, H.G. and M. Richards, Turbidite systems in deep-water basin margins classified

- by grain size and feeder system, *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, **78**, 792-822, 1994.
- Sakaguchi, A., G. Kimura, M. Strasser, E. J. Screaton, D. Curewitz and M. Murayama, Episodic seafloor mud brecciation due to great subduction zone earthquakes, *Geology*, **39**, 919-922, 2011.
- Stow, D.A.V. and G. Shanmugam, Sequence of structures in fine-grained turbidites: Comparison of recent deep-sea and ancient flysch sediments, *Sed. Geol.*, **25**, 23-42, 1980.
- Ujiie, H., T. Nakamura, Y. Miyamoto, J.-O. Park, S. Hyun and T. Oyakawa, Holocene turbidite cores from the southern Ryukyu Trench slope: suggestions of periodic earthquakes, *Jour. Geol. Soc. Japan*, **103**, 590-603, 1997.
- Usami, K., K. Ikehara, T. Kanamatsu and C. McHugh, Seismo-turbidites in the Japan Trench inner slope, Abstract 2014 AGU Fall Meeting, T43B-4716, 2014.
- Xu, X. and H. Ujiie, Bathyal benthic foraminiferal changes during the past 210,000 years: Evidence from piston cores taken from seas south of Ishigaki Island, southern Ryukyu Island arc, *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, no. 175, 497-520, 1994.

## ② 陸域での津波履歴調査実施（四国～九州）とサンプルデータ解析

### (a) 業務の要約

陸域津波履歴調査では高知県東洋町・四万十町・黒潮町において、津波堆積物調査を実施した。ボーリング調査を合計 15 地点で、ジオスライサー調査を合計 5 地点で実施し、深さ最大 20 m まで掘削を行った。海岸低地地下に分布するシルトおよび粘土層中からイベント堆積物を検出し、東洋町生見では最大 4 層、四万十町興津では少なくとも 5 層、黒潮町入野・下田の口では最大 3 層の細砂を主体とするイベント砂層が確認された。さらに、平成 25 年度に南国市十市で採取した試料の放射性炭素年代測定を実施した。その結果、この柱状試料では約 4500～2300 年前の間に 4 層のイベント砂層が堆積し、約 2300 年前以降は明瞭なイベント砂層が見られないことが明らかになった。

### (b) 業務の実施方法

空中写真判読や現地踏査、高知県が実施した津波痕跡調査の結果（高知県、2013）などを参考に、高知県東洋町・四万十町・黒潮町の海岸低地を調査地域に選定した（図 3-7-②-1）。これらの海岸低地は海岸沿いの浜堤の背後に分布する小規模な低地で、河川などの流水の影響が比較的小さく主にシルトや粘土などの細粒な堆積物で構成されているため、イベント堆積物の検出に適している。東洋町と黒潮町では、ハンドコアラーを用いて手掘りの試掘を行い、イベント堆積物が見つかる可能性がより高い地点を掘削地点とした。掘削には機械式オールコアボーリングとジオスライサーを用いた。ボーリングは 3 地域 15 地点で実施し、深さ最大 20 m まで掘削を行った。ジオスライサーは 3 地域 5 地点で実施し、深さ最大 4 m まで掘削を行った。これらの掘削で採取された柱状試料については、層相観察の上、柱状図を作成した。

また、平成 25 年度に高知県南国市においてジオスライサーを用いて採取した試料の放射性炭素年代測定も実施した。また、イベント堆積物の成因を特定するため、珪藻化石分析も現在進めている。



図 3-7-②-1 陸域津波履歴調査地域。地理院地図を使用。南国市は平成 25 年度に実施。

(c) 業務の成果

東洋町生見では海岸から約 300 m 内陸の標高 4～6 m の海岸低地においてボーリングを 4 地点、ジオスライサーを 3 地点で行い、深さ最大 8 m まで掘削を行った(図 3-7-②-2)。低地地下は深さ約 5 m までシルトおよび粘土層からなり、それより下位は基盤の砂礫層となる。シルト～粘土層中には細砂を主体とするイベント砂層が最大 4 層挟在する。最も上位の深さ約 50～100 cm に分布するイベント砂層は厚く 40 cm にも及ぶものもみられた(図 3-7-②-3)。この砂層は下限に明瞭な地層境界を持ち上方細粒化する。

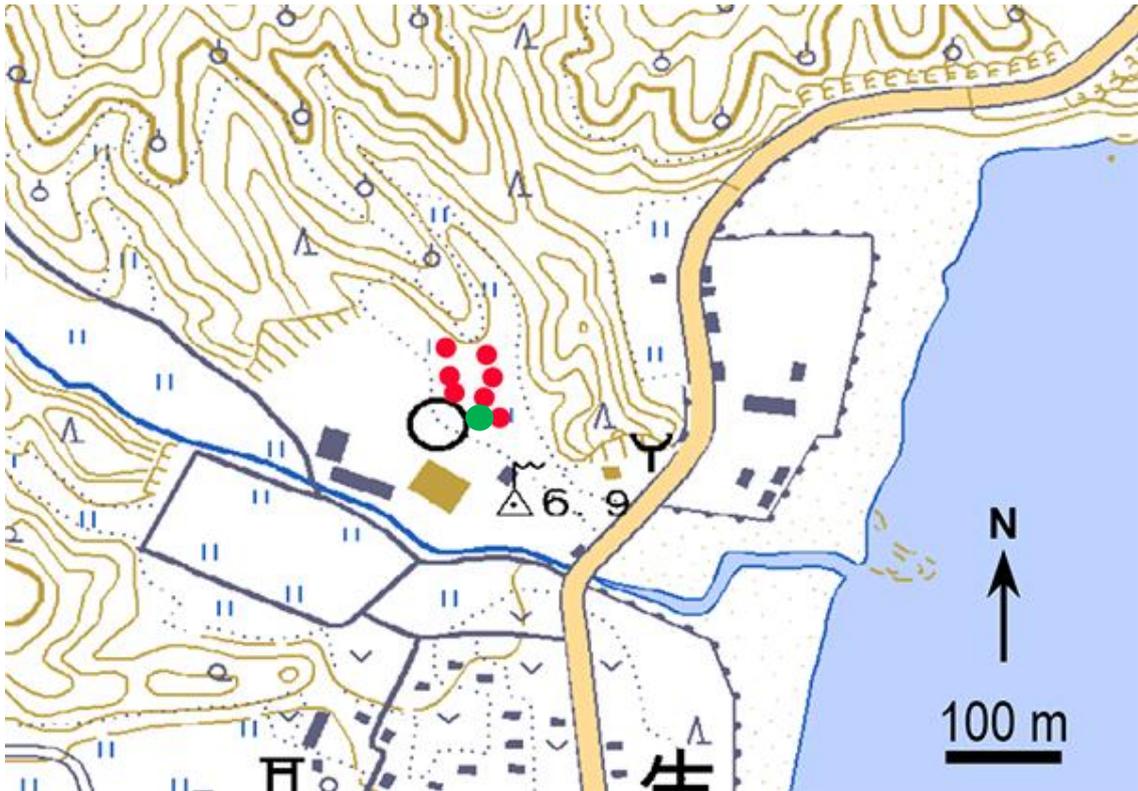


図3-7-②-2 東洋町生見の掘削地点。2万5千分の1地形図「甲浦」を使用。



図3-7-②-3 東洋町生見で採取されたイベント砂層（図3-7-②-2の緑色の地点）

四万十町興津では標高1～1.5 mの海岸低地でボーリングを2地点、ジオスライサーを1地点で行い深さ最大20 mまで掘削を行った（図3-7-②-4）。本低地は南北を海に囲まれ、掘削地点から約1.3 km南の海岸には浜堤が発達し、北側は丘陵に挟まれた細い水路が海に通じている。低地地下は深さ約13～17 mまで主にシルトおよび粘土層からなり、それより下位

は基盤の砂礫層となる。深さ3～16 mには貝殻片が混じり、深さ約16 mには約7300年前に噴出したとされる鬼界アカホヤ火山灰とみられる火山灰層が分布する。火山灰層より上位のシルト～粘土層中には細砂を主体とする比較的明瞭なイベント砂層が少なくとも5層挟在する。深さ約2.6～3 mには層厚約30 cmのイベント砂層がみられた(図3-7-②-5)。この砂層は石英に富み、下限に明瞭な地層境界を持ち上方細粒化する。



図3-7-②-4 四万十町興津の掘削地点。2万5千分の1地形図「窪川・興津浦」を使用。



図3-7-②-5 四万十町興津で採取されたイベント砂層（図3-7-②-4の緑色の地点）

黒潮町では海岸から約 500 m 内陸（入野）と約 1.8 km 内陸（下田の口）の標高 2～4 m の海岸低地においてボーリングを 7 地点、ジオスライサーを 1 地点で行い深さ最大 4 m まで掘削を行った（図3-7-②-6）。入野の低地は浜堤に両側を挟まれ海岸線と平行に分布する堤間湿地である。入野の低地地下は深さ約 1～2 m までシルトおよび粘土層からなり、深さ 3 m までは砂層となる。シルト～粘土層中には細砂を主体とするイベント砂層が最大 2 層挟在する。深さ約 40～60 cm に分布するイベント砂層は石英に富み、下限に明瞭な地層境界を持ち上方細粒化する（図3-7-②-7）。下田の口の低地地下は深さ約 1 m まで耕作土や盛土で構成され、深さ約 1～3 m はシルトおよび粘土層からなる。深さ約 3 m より下位は基盤の砂礫層となる。シルト～粘土層中には細砂を主体とするイベント砂層が最大 3 層挟在する。これらの砂層も下限に明瞭な地層境界を持ち上方細粒化する特徴がみられる。

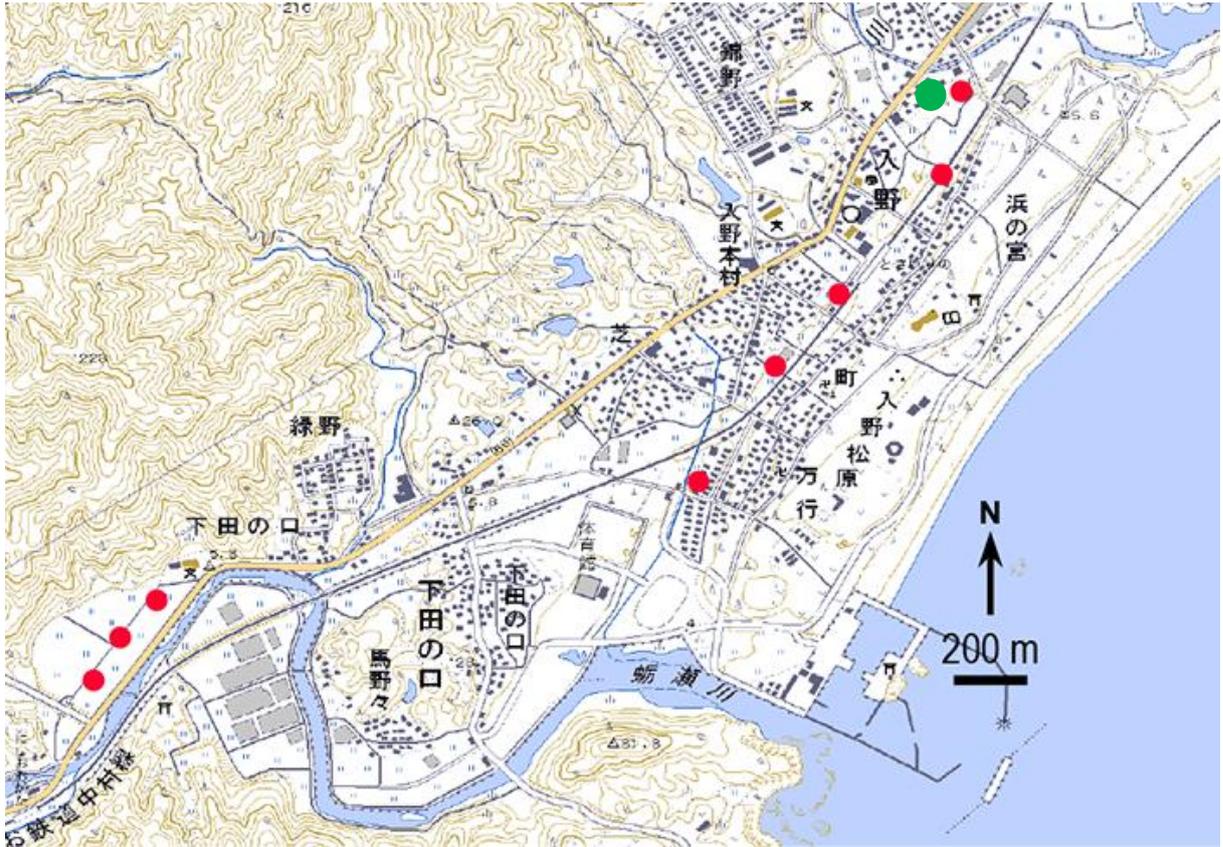


図3-7-②-6 黒潮町入野と下田の口の掘削地点。2万5千分の1地形図「土佐佐賀、蕨岡」を使用。



図3-7-②-7 黒潮町入野で採取されたイベント砂層（図3-7-②-6の緑色の地点）

南国市十市では平成 25 年度に、ボーリングおよびジオスライサーを用い 12 地点で深さ最大 8 m まで掘削が行われた。本年度は、最も海側の地点 TO-01 (図 3-7-②-8) のジオスライサーの試料の中から種子を抽出し、放射性炭素年代測定を実施した(図 3-7-②-9)。このジオスライサーの深さ約 2.2~3 m には比較的明瞭な 5 層のイベント砂層が、泥炭~粘土層中に挟在する。最も下位の層厚約 10 cm のイベント砂層を挟んで、層相は灰色の粘土層から茶褐色の泥炭質粘土層へと変化する。上位の 4 層は年代測定の結果、約 4500~2300 年前の間に堆積したと推定される。また、この地点においては、約 2300 年前以降は明瞭なイベント砂層が見られない。

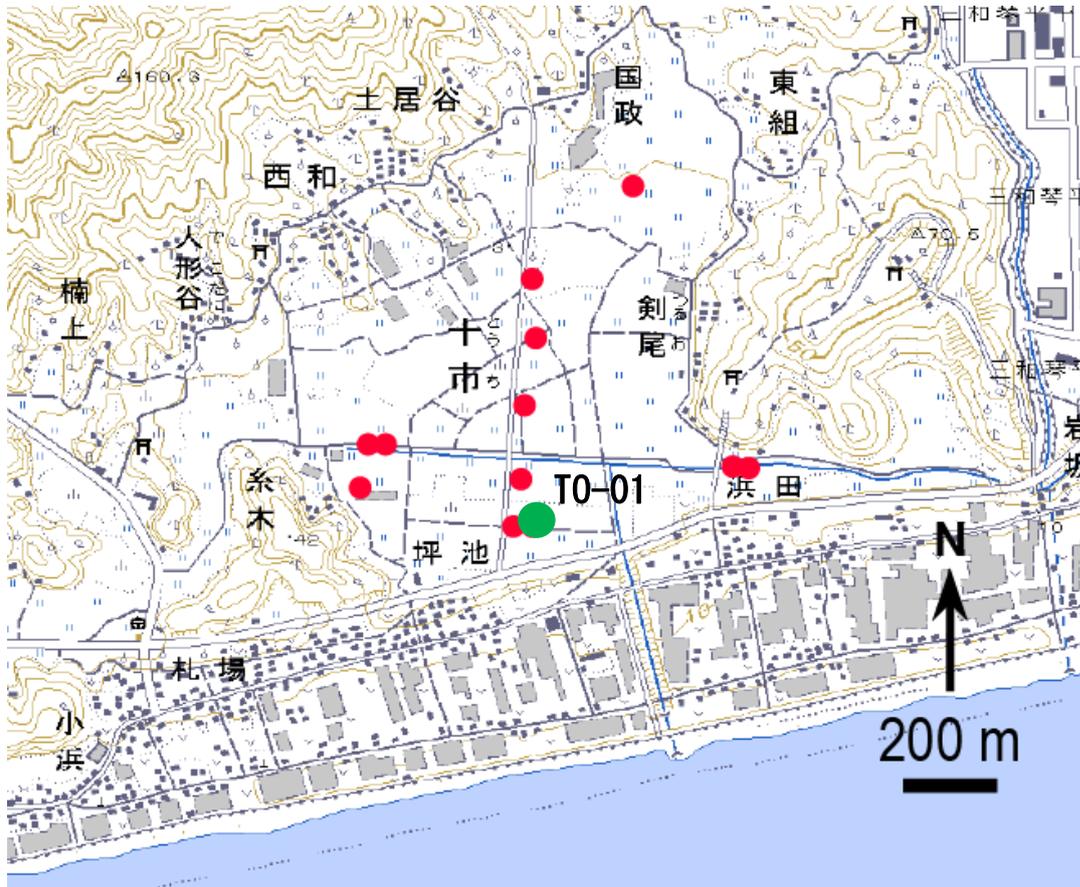


図 3-7-②-8 南国市十市の掘削地点。2万5千分の1地形図「後免」を使用。

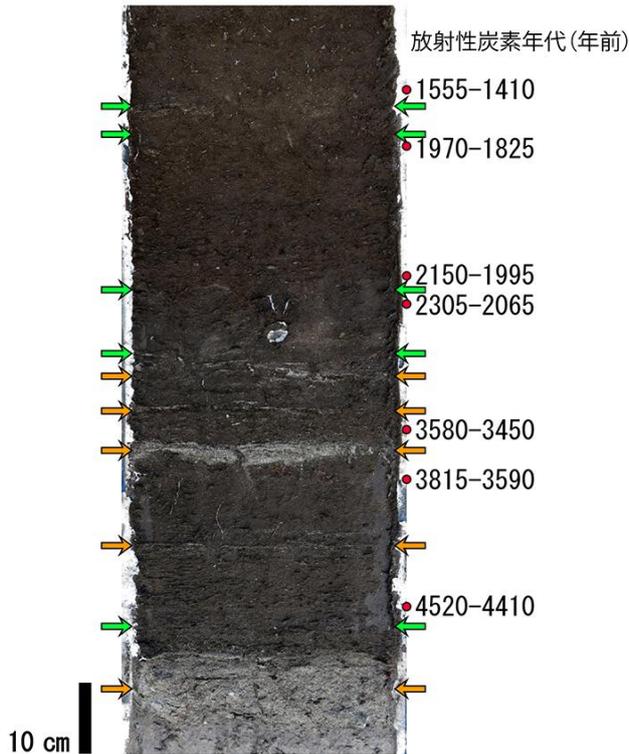


図 3-7-②-9 TO-01 で採取されたジオスライサーコア試料の一部と放射性炭素年代。オレンジ色の矢印は比較的明瞭なイベント砂層、緑色の矢印は不明瞭な砂層を示す。

(d) 結論ならびに今後の課題

高知県東洋町・四万十町・黒潮町の海岸低地において津波堆積物調査を実施し、低地地下に分布するシルトおよび粘土層中からイベント堆積物を検出した。東洋町生見では最大 4 層、四万十町興津では少なくとも 5 層、黒潮町入野・下田の口では最大 3 層の細砂を主体とするイベント砂層が確認された。これらのイベント砂層の多くは 7300 年前以降に堆積した可能性が高いが、今後、詳細な年代測定を実施しそれぞれのイベントの年代を明らかにする必要がある。また、イベント砂層の成因を明らかにするため、珪藻化石分析や有孔虫分析などの微化石分析を実施しなければならない。さらに、それぞれのイベント砂層の地点間および地域間での対比を行い、その分布範囲から津波の規模の推定を行いたい。今年度調査を実施した 3 地域のうち、四万十町興津は周囲を海と丘陵に囲まれた非常に小規模な低地にも関わらず、他地域に比べ非常に厚い粘土層が堆積している。本地域では千年オーダーの長期間の地殻変動が検出できる可能性もあり、津波堆積物だけでなく地形発達も視野に入れ検討を進めたい。

高知県南国市で採取したジオスライサーは放射性炭素年代測定から、約 4500～2300 年前の間に 4 層のイベント砂層が堆積し、それ以降は明瞭なイベント砂層が見られないことが明らかになった。しかし、まだ個々のイベントの年代が全ては明らかにできておらず、引き続き年代測定を進める必要がある。また、珪藻化石分析を進めイベント砂層の成因を解明しなければならない。さらに、当地域で最も下位に見られるイベント砂層の上下では層相が粘土層から泥炭質粘土層に急激に変化する。この層相変化は地震時の地殻変動を反映している可能性があるため、該当部分では特に詳細な珪藻化石分析を行いたい。

(e) 引用文献

- 1) 高知県, 高知県防災マップ,  
<http://bousaimap.pref.kochi.lg.jp/kochi/top/agreement.asp?dtp=5&dtpold=&npg=/kochi/top/select.asp&npr=dtp=5/pl=3>, 2013.

### (3) 平成 27 年度業務計画案

陸域においては、これまでに四国沿岸で採取した掘削調査の試料や、南海トラフ沿い沿岸で採取された既存の試料について年代測定や微化石分析等の各種分析を進め、具体的な過去の地震や津波の時期とそれに伴う環境変化を解明する。また四国沿岸での補完調査や今後に向けた事前調査を南海トラフ沿い沿岸各地で実施する。海域では、2-1-a で実施する調査航海に参加し、琉球海溝周辺海域から海底堆積物コアを採取し、その分析を実施する。また、四国沖の南海トラフや日本海溝沿いの堆積物記録との比較研究を実施する。これらから、その堆積構造解析を実施し、地震・津波により形成された堆積層の検出を行い、その分布を解明することを目標とする。海域の調査と採取試料の解析は、2-1-a との密接な連携のもとに共同して実施する。

### 3.8 広帯域地震活動研究

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 「広帯域地震活動研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東京大学地震研究所	教授	篠原 雅尚
	教授	小原 一成
	教授	塩原 肇
	准教授	酒井 慎一
	准教授	望月 公廣
	助教	山田 知朗
	助教	一瀬 建日
	助教	前田 拓人
	特任研究員	山下 裕亮
	技術専門職員	八木 健夫
	技術職員	藤田 親亮
	技術職員	阿部 英二
	技術職員	田中 伸一
技術職員	西本 太郎	
国立大学法人神戸大学	助教	中東 和夫
国立大学法人東北大学災害科学国際研究所	教授	日野亮太
	准教授	木戸元之
	助教	飯沼卓史
国立大学法人東北大学大学院理学研究科	助教	太田雄策
	技術職員	鈴木秀市

(c) 業務の目的

南海トラフから南西諸島海溝にかけて、広帯域海底地震観測により、トラフ付近の低周波イベントの解明と地震活動の詳細な把握を行う。プレート境界のすべり特性の解明、さらには巨大地震発生域の高精度推定に寄与する。

南海トラフ陸側斜面域で発生する、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播といった多様な現象を捉えるため、海底における水圧を広帯域・高ダイナミックレンジで連続して取得するためのシステムを開発し、トラフ付近の低周波イベントや、津波発生を伴うようなものを含めた地震の活動実態の把握を行い、巨大地震発生域の事前推定の高度化に寄与する。さらに、観測成果を地殻活動モニタリング情報として、シミュレーション研究に提供する。

(d) 8カ年の年次実施業務の要約

平成 25 年度：

南海トラフ西部の領域において、長期観測型海底地震計計 10 台を設置し、長期海底地震観測を開始した。また、南海トラフ中部の陸側斜面域である熊野灘において、ブイシステムを用いた海底水圧の試験観測に着手した。海底の水圧変動から、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播といった多様な現象を捉えるため、広帯域・高ダイナミックレンジで連続して海底水圧データを取得するためのシステム開発に必要な基礎データを実海域で取得した。

平成 26 年度：

南海トラフ西部の領域において、海底地震圧力計 10 台程度の回収・再設置を実施した。また、南海トラフ中部の陸側斜面域である熊野灘において、ブイシステムを用いた海底水圧の試験観測を継続して実施した。海底の水圧変動から、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播といった多様な現象を捉えるため、広帯域・高ダイナミックレンジで連続して海底水圧データを取得するためのシステム開発に必要な基礎データの取得を継続して実施した。

平成 27 年度：

南海トラフ西部の領域において、海底地震圧力計の回収・再設置を実施する。また、熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧の試験観測を継続する。システムの実用化にむけた基礎データの取得を継続するほか、試験観測で得られた海底の水圧変動の特性の解析を進め、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播といった多様な現象を捉えるためのデータ処理・解析手法の検討を進める。

平成 28 年度：

南海トラフ西部の領域において、海底地震圧力計 10 台程度の回収・再設置を実施する。また、熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧の試験観測を継続する。システムの実用化にむけた基礎データの取得を継続するほか、試験観測で得られた海底の水圧変動の特性の解析を進め、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播といった多様な現象を捉えるためのデータ処理・解析手法の検討を進める。

平成 29 年度：

南海トラフ西部の領域に設置されている海底地震圧力計 10 台程度を回収する。また、海底地震圧力計 10 台程度を南西諸島海溝域に設置し、長期海底地震観測を行う。また、熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧の試験観測を継続する。システムの実用化にむけた基礎データの取得を継続するほか、試験観測で得られた海底の水圧変動の特性の解析から、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播に関連する現象による変動を抽出し、これら現象のモデル化を試みる。

平成 30 年度：

南西諸島海溝域において、海底地震圧力計 10 台程度の回収・再設置を実施する。また、熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧の試験観測を継続する。システムの実用化にむけた基礎データの取得を継続するほか、試験観測で得られた海底の水圧変動の

特性の解析から、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播に関連する現象による変動を抽出し、これら現象のモデル化を行う。

平成 31 年度：

南西諸島海溝域において、海底地震圧力計 10 台程度の回収・再設置を実施する。また、熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧の試験観測を継続する。システムの実用化にむけた基礎データの取得を継続するほか、試験観測で得られた海底の水圧変動の特性の解析から、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播に関連する現象による変動を抽出し、これら現象のモデル化を行うとともに、処理解析の準リアルタイム化を実現する。

平成 32 年度：

南西諸島海溝域に設置されている海底地震圧力計 10 台程度を回収する。また、観測データに基づき、成果をとりまとめる。また、熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧の試験観測を完了する。本年度中の試験観測で得られる海底の水圧変動に対して、前年度までに開発した準リアルタイム処理解析の手法を適用し、本業務で開発した広帯域・高ダイナミックレンジで連続して海底水圧データを取得するためのシステムの性能の実証を行う。

#### (e) 平成 26 年度業務目的

南海トラフ西部の領域において、長期観測型海底地震計 10 台程度を回収・再設置し、長期海底地震観測を継続する。また、データ解析を開始するとともに、国内外の学会において情報を収集する。南海トラフ中部の陸側斜面域である熊野灘において、ブイシステムを用いた海底水圧の試験観測を継続して実施する。

### (2) 平成 26 年度の成果

#### ① 南海トラフにおける準リアルタイム海底上下変動観測によるスロースリップのモニタリング

##### (a) 業務の要約

平成 25 年度に南海トラフ中部の陸側斜面域である熊野灘に設置したブイシステムによって得られた海底水圧データの精度評価を行った。海底局でオフライン収録された高速サンプリングデータを解析したところ、南米チリ・イキケ沖で発生した地震に伴う津波が 1cm 以下の振幅で記録されており、高い分解能で圧力変化を観測する性能を有することが確認された。一方で、準リアルタイムで海底局から陸上局に伝送されたデータについては、海上中継局への音響伝送時に伝送誤り・欠損がしばしば発生することが確認された。そこで、海底水圧時系列解析システムの開発の着手点として、通信障害の原因を特定して耐障害性を向上させるための、陸上局装置の機能向上を行った。

## (b) 業務の実施方法

平成 26 年の 1 月 12 日から 6 月 15 日までの 5 か月間、ブイシステムを用いた海底水圧の試験観測を、熊野灘沖の南海トラフ陸側斜面域において実施した。ブイシステムは、海底で水圧を検知・記録する海底局と、洋上に係留されたブイとワイヤーロープで接続され水深 1000m 近辺に設置される吊下局、時刻や位置の管理など本システムの頭脳に相当する洋上ブイ局から構成されている(Takahashi *et al.*, 2014)。海底局は水圧値を音響通信により吊下局に送信する機能を有しており。この音響データ伝送では、観測された水圧値を、続けて発射する音響パルス（パルダブルパルス）の発射時間差に換算している。吊下局で受信されたデータには、時刻のスタンプを付与したのち洋上ブイ局まで伝送され、衛星通信によって陸上局まで伝送される。試験観測の終了後、海底局を含むすべての装置は回収され、こうしたブイ観測で得られる海底水圧データの品質に関する検討を行った。また、海底水圧データの音響・衛星通信による伝送においては、伝送中に高い頻度で伝送誤りが発生することから、通信障害の原因を特定して耐障害性を向上させることを目的とした陸上局装置機能向上の一環として、リアルタイムデータ監視システムを制作した。

## (c) 業務の成果

海底局で観測された海底水圧データは、音響通信で吊下局へ伝送されるとともに、海底局装置内においてもオフライン収録されている。そこで、伝送経路の影響を受けていない海底局で収録されたデータを用いて、広帯域地震観測の視点から海底水圧データの品質についての検証を行った。観測中全期間にわたる海底水圧がサンプリング 1Hz で連続収録された。図 3-8-①-1 に得られた海底水圧時系列を示す。海底局の設置位置は、北緯 33 度 32.43 分、東経 137 度 23.41 分である。海底水圧変化に卓越する海洋潮汐による水圧変化が明瞭に記録されている。

本業務の試験観測期間中である、2014 年 4 月 1 日にチリ北部の太平洋岸のイキケ地方を震源とする M8.2 の地震が発生し、この地震に伴う津波は北海道・東北地方ならびに伊豆小笠原諸島の沿岸において数十 cm 程度の波高で観測されているが、西日本の沿岸地域では顕著な津波の到来は検知されていない（気象庁，2014）が、本観測システムの海底局では明瞭に捉えることができた。

図 3-8-①-2 は津波が到達した 2014 年 4 月 2 日の海底水圧の時系列である。卓越する海洋潮汐に重畳してわずかな水圧の擾乱が、矢印で示した時刻付近から始まっていることを見て取ることができる。この擾乱は、潮汐成分を周期 3600 秒の低域遮断フィルターによって取り除くと明瞭となり（図 3-8-①-3）、振幅が 1cm（水圧に換算するとほぼ 1hPa）に満たないような小振幅な津波をも検知できる分解能を、本システムの海底局が有していることを確認することができた。

次に、音響通信と衛星通信を介して、陸上局にリアルタイム伝送されたデータ（図 3-8-①-4）についての検討結果について述べる。こうした伝送経路により海底での水圧データをリアルタイムで伝送できることは確認できたが、試験観測の実績では、吊下局までの音響データ伝送の成功率は 85%程度、吊下局から洋上ブイまでのデータ

伝送成功率は 54%程度にとどまった。海底局と吊下局間での音響データ伝送でデータ誤りが発生する最大の原因は、吊下局側で受信されたダブルパルスの時間差を 1msec 以上読み間違っていることにある。吊下局と洋上ブイの間でデータ伝送成功率が大きく下がっているのは、これらの間をつなぐワイヤーロープが破損したためである。破損の原因は周囲の漁具との干渉とブイの回転に伴うワイヤーロープのゆがみによる断線であると考えている。

こうしたデータ伝送障害を回避するために、吊下局や海底局の音響特性の改良や、吊下局と洋上ブイまでのデータ伝送経路の二重化とケーブル連結方法の改善といった、ブイシステムのハードウェア的な手直しを進めている。さらに、水圧データをダブルパルスの時間差に変換するアルゴリズムの見直しについても検討している。これは、時間差の読み間違いの主たる原因が、多重反射音響信号との干渉であって、読み間違いには特定のパターンが見られるためであり、こうした多重反射との干渉を受けにくくなる変換を行う対策もデータ誤りの影響を低減する上で効果的であると期待される。

記録の状況をリアルタイムで確認し、ブイの姿勢や設置環境を監視し、広帯域の現象をリアルタイムでデータを取得するための陸上局の整備を行った。洋上ブイに上げられた水圧データは、イリジウム衛星通信を通じて陸上局へ伝送している。このイリジウム通信の通信状態が安定せず、常時接続が事実上難しいことをこれまでの海域試験を通じて確認している。そのため、本システムではイリジウムショートバーストデータ (SBD) にコーディングして送ることとしている。SBD で送信する電文には海底圧力の観測データに加えて、洋上ブイの位置や周囲の気象海況情報などの関連データが付加されている。これらの関連データ (システム・ステータス) は、主としてシステム保守を目的として伝送されているが、音響通信における多重反射信号の影響や吊下局—洋上ブイ間のデータ伝送経路で発生する障害の発生条件の特定に、システム・ステータスに含まれる情報は有効で、これを受信された海底水圧データの処理に活用することにより、伝送誤りの一部は補正できる可能性がある。

これらのことから陸上局に、イリジウム通信で送られたイリジウム SBD のデコード、データ保存、特定の情報の抽出・配信、所定の組み合わせのデータ転送、といった作業を全自動で連続して行うことができる機能 (リアルタイムデータ監視システム) を導入することにした。本システムの概要を図 3-8-①-5 に示す。このシステムはシステム管理画面を有し、セキュリティを確保するためのアカウント管理機能やレポートの本文やデータの条件を設定するレポート設定機能、配信先の設定機能、メールサーバー設定機能から構成されている。また、ファイルのダウンロードやアップロードの機能も有し、情報の共有も可能にするシステムとした。また、データを簡易的に表示することもできる。配信するレポートの内容として、表 3-8-①-1 にまとめた。このシステムは内部にデータベースを抱えているが、以下の項目のデータを洋上ブイから得て蓄積している。それらは、受信 SBD ファイル名、洋上電文生成時刻、GPS 原文、GPS 日付、GPSFix、緯度、経度、移動速度、移動方向、方位、収録時間、水圧、洋上電圧 (5V 系)、洋上電流 (5V 系)、洋上電圧 (7.8V 系)、洋上電流 (7.8V 系)、洋上電圧 (12V 系)、洋上電流 (12V 系)、洋上 AN0 値、洋上 AN1 値、洋上 AN2 値、洋上 AN3 値、洋上 AN4

値、洋上浸水センサー、Aquadopp 東西方向、Aquadopp 南北方向、Aquadopp 鉛直方向、Aquadopp 方位、Aquadopp 傾き、Aquadopp 圧力、Aquadopp 温度、水温、伝導度、圧力、吊下 AN0 値、吊下 AN1 値、吊下 AN2 値、吊下 AN3 値、吊下 AN4 値、吊下浸水センサー、吊下 HMR センサーHeading、吊下 HMR センサーPitch、吊下 HMR センサーRoll、IMM TCC、R485/GNSS 使用状態、GPS/GNSS 利用状態、GPS 利用可能フラグ、E8 ステータス、吊下起動時刻、洋上使用セクタ番号、吊下使用セクタ番号、吊下使用セクタ番号である。

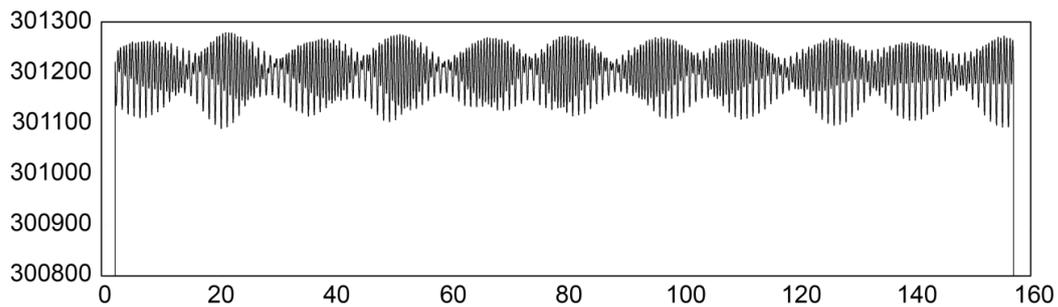


図 3-8-①-1 5 か月間の海域試験中の海底局の水圧計の記録。横軸は日数、縦軸は圧力 (hPa)。

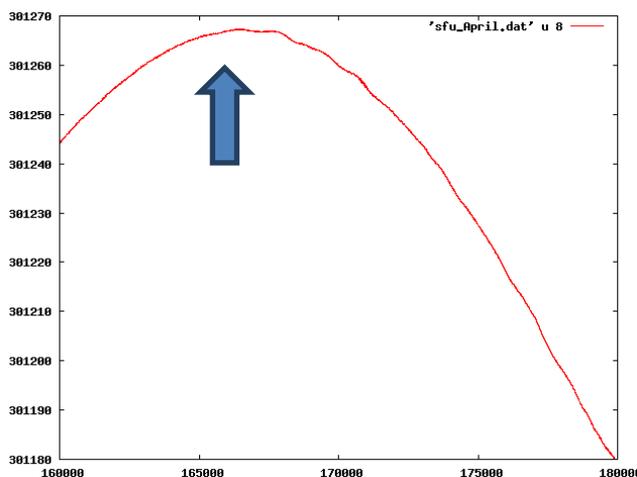


図 3-8-①-2 海底局で観測されたチリ・イキケ地震によるマイクロ津波。横軸は 4 月 1 日からのトータル秒、縦軸は圧力 (hPa)。矢印のあたりで津波が到達した。

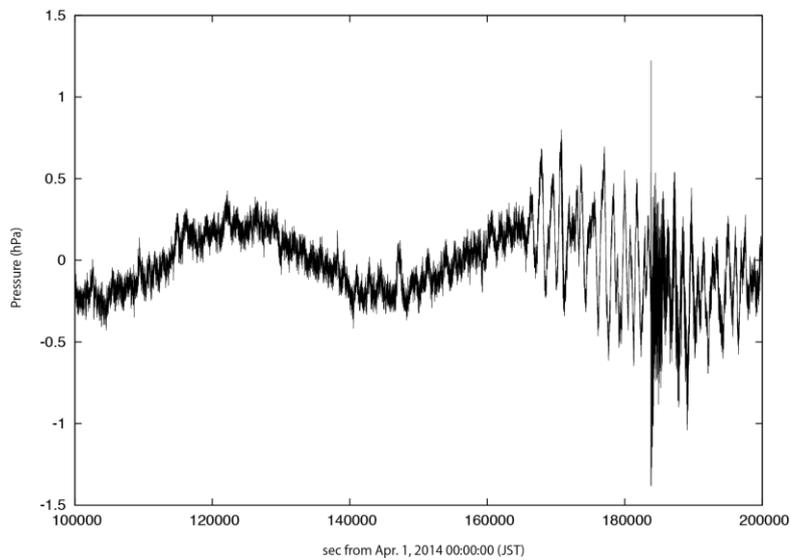


図 3-8-①-3 海底局で観測されたチリ・イキケ地震によるマイクロ津波。  
 図 3-8-①-2 に示した記録に低域遮断フィルター（周期 3600 秒）を作用させた後の波形。

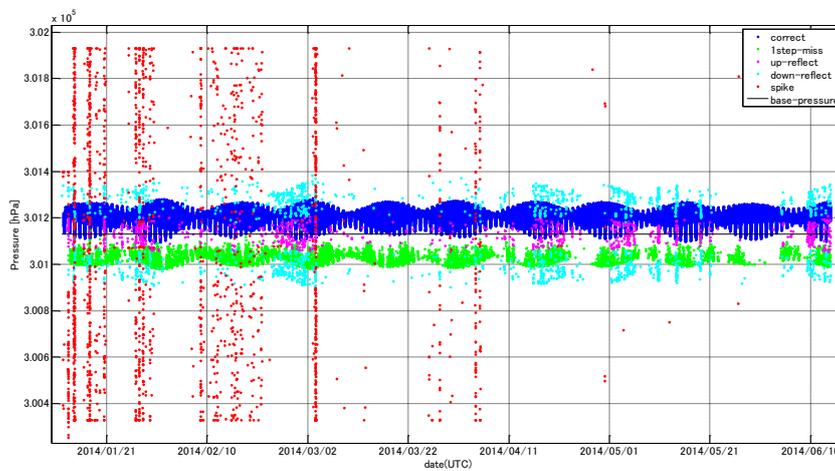
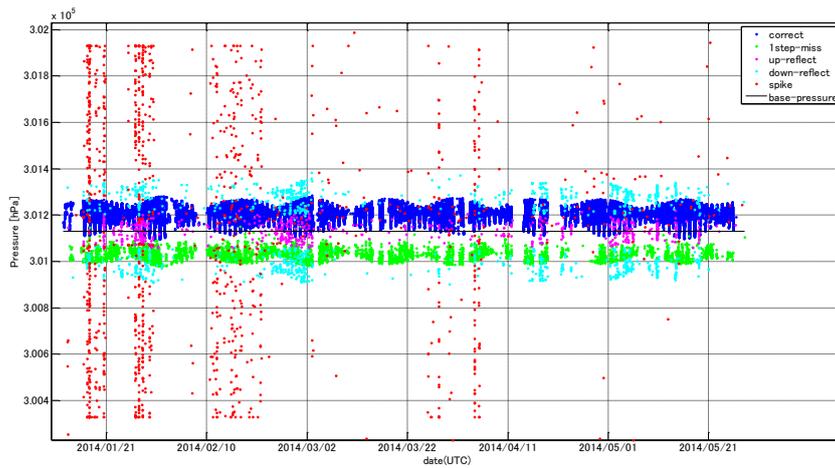


図 3-8-①-4 陸上局の記録（上）と吊下局の記録（下）の比較。青部分は正しい記録、水色部分は海底や海面からの反射波を吊下局が誤認した部分、緑部分はダブルパルスの検知が 1msec ずれた部分、赤部分はスパイク状のノイズ部分を示す。

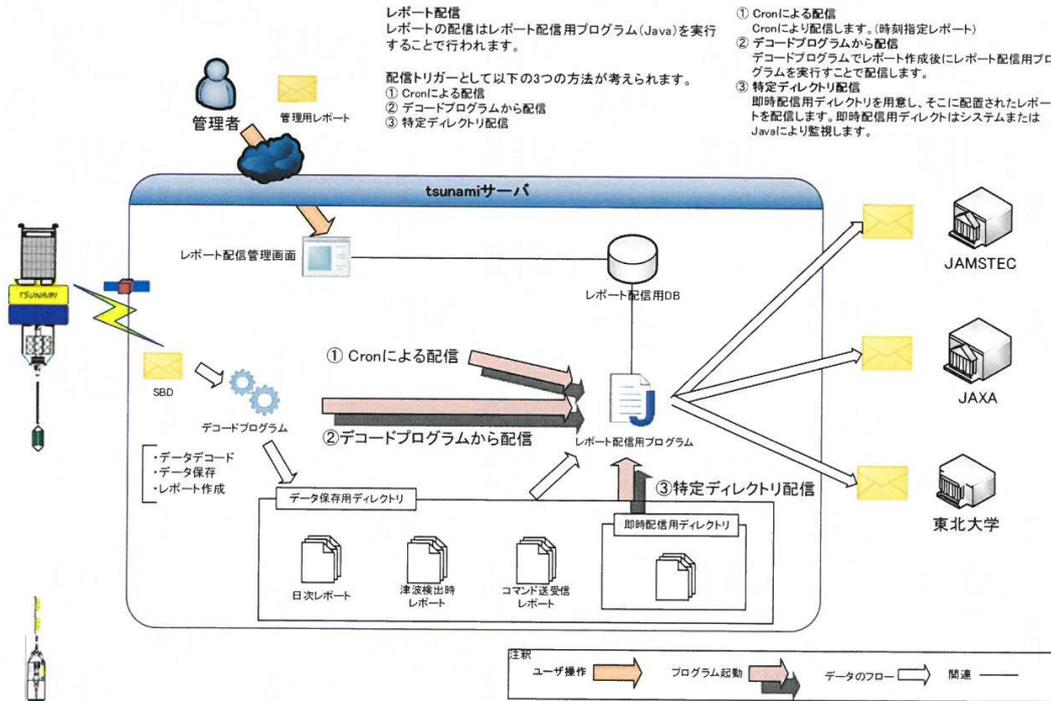


図 3-8-①-5 陸上局の概要

表 3-8-①-1 配信レポート

レポート名	配信頻度	内容
毎時レポート	毎時	毎時ショートバーストデータが到着するたびにデコードした内容を配信
JAVAD 動作確認ログ	週 1 回	JAVAD のログサイズを取得し、配信
東北大測距情報配信	週 1 回	測距を行った結果の相関図をグラフ化し、切り出されたデータと共に配信
水圧グラフレポート	毎日 10 時	過去 3 日に受信された水圧をグラフ化して配信
水圧データレポート	毎日 10 時	過去 1 日に受信された水圧を CSV フォーマットで配信
ブイ位置レポート	毎日 10 時	現在のブイ位置を直近 3 日間の動きと共にプロットする。
MB100 動作確認ログ		MB100 の記録サイズを取得し配信
津波検出時レポート		津波検出 SBD の到着時にデコードした内容を即時配信

(d) 結論ならびに今後の課題

試験観測により、海底に設置された水圧計のデータをリアルタイム連続で、音響・衛星通信によって陸上局にまで伝送できることが確認できた。海底で得られる水圧データの分解能は cm 以下の分解能であることが実証された一方で、伝送経路における障害によりリアルタイムで陸上において得られるデータの品位が劣化することが確認され、その対策の一環としてリアルタイムデータ監視システムを、陸上局に導入した。今後、試験観測で得られた知見をブイシステムのハード・ソフトウェアの改善に活用し、次回の試験観測に向けた準備を進める予定である。また、データ監視システムを活用して、陸上局で得られる水圧計データの品質向上するための検討をさらに進める予定である。

(e) 引用文献

- 1) 気象庁, 2014 年 4 月 2 日 8 時 46 分頃にチリ北部沿岸で発生した地震について (第 5 報), <http://www.jma.go.jp/jma/press/1404/03c/kaisetsu201404031810.pdf>
- 2) Takahashi, N., Y. Ishihara, H. Ochi, T. Fukuda, J. Tahara, Y. Maeda, M. Kido, Y. Ohta, K. Mutoh, G. Hashimoto, S. Kogure and Y. Kaneda, New buoy observation system for tsunami and crustal deformation, *Marine Geophysical Research*, 35, 243-253, 2014.

② 南海トラフ西部の領域における広帯域自然地震観測

(a) 業務の要約

スロースリップが繰り返し発生している豊後水道域において海底地震・圧力観測を繰り返し行うことで、スロースリップ前後を含めたモニタリングを行い、スロースリップの発生様式を明らかにする。また、このスロースリップに同期して発生することが知られている浅部低周波地震活動域では、低周波微動が頻繁に発生することが明らかになってきた。そこで浅部イベント発生域直上で長期海底地震観測を実施し、浅部微動活動とスロースリップの関係を明らかにする。本年度は上記目的達成のため、前年度豊後水道沖に設置した圧力計を同時搭載した広帯域型地震計 1 台と、足摺沖から日向灘にかけて設置した 9 台の長期観測型海底地震計を回収した。回収された海底地震計は、全台・全期間において良好な波形データを取得できた。また、観測を継続するため、豊後水道沖の 1 点と日向灘の 7 点では、同タイプの海底地震計を再設置した。さらに、足摺沖の観測強化のため、5 台の長期観測型海底地震計を新たに設置した。

(b) 業務の実施方法

豊後水道周辺域ではスロースリップイベントが約 6 年に 1 回の頻度で発生していることが知られている (Hirose *et al.*, 2010)。本研究期間中に次のスロースリップが発生する可能性が高いことから、スロースリップイベントが繰り返し発生している豊後水道域に、圧力計を搭載した広帯域型海底地震計を 1 台投入し、陸上地震・測地観測網と併せてスロースリップ発生域をカバーするネットワークを構築する。これにより、

スロースリップ発生前後を含めた状態変化をモニターする。

豊後水道域のスロースリップイベントに関連して、海溝軸よりの領域で、浅部低周波地震活動が発生していることが明らかになっている (Hirose *et al.*, 2010; Asano *et al.*, 2015)。一方、近年、浅部超低周波地震活動域直上での広帯域海底地震計を用いた海底観測が行われ、活動の詳細が推定されている (Sugioka *et al.*, 2012)。足摺沖から日向灘にかけての海溝近傍における短周期海底地震計アレイによる地震観測により、このような浅部低周波地震活動と同期する形で、この領域において浅部低周波微動が発生することが明らかになってきた (Yamashita *et al.*, 2013)。この微動活動は時間変化とともに発生領域の移動がみられ、スロースリップの発生との関係が示唆される結果が得られている。そこで、南海トラフ西方に位置する微動活動域に計 9 点の長期観測型海底地震計を前年度に設置し、微動活動の時空間分布を明らかにすることを目的とした。また、これらの 9 点のうち、海溝軸よりの 2 点には圧力計を搭載した広帯域型海底地震計を配置することで、豊後水道の 1 点ならびに陸上の観測網と併せた広帯域地震・測地観測ネットワークが形成された。

今年度はこれら 10 台の海底地震計を回収し、取得したデータの解析を開始する。また、10 点のうち 8 点において同タイプの海底地震計を再設置し、観測を継続するほか、新たに 5 台の長期観測型海底地震計を足摺沖に設置し、観測網の強化を図った。

### (c) 業務の成果

南海トラフから南西諸島海溝にかけて、トラフ付近の低周波イベントの解明と地震活動の詳細な把握を行い、プレート境界のすべり特性の解明、さらには巨大地震発生域の高精度推定に寄与することを目的として、本年度は豊後水道ならびに足摺沖から日向灘にかけての領域に前年度に設置した計 10 台の長期観測型海底地震計を回収し、このうち NK1403 と NK1408 以外の観測点に同タイプの海底地震計を再設置して観測を継続した (図 3-8-②-1、図 3-8-②-2~5、表 3-8-②-1~2)。本回収・設置作業には海洋エンジニアリング株式会社所属の第七開洋丸 (2015 年 1 月 6 日大分・佐伯港出港、同年同月 10 日宮崎港帰港) を利用した (図 3-8-②-2)。回収された海底地震計 10 台は全台・全観測期間を通じて良好なデータを取得できおり、このうち 2014 年 6 月 1 日~3 日に観測網直下で発生した浅部低周波微動と超低周波地震活動を捉えることに成功した (図 3-8-②-6)。Yamashita *et al.*, (2014) と同様のエンベロープ相関法による低周波微動の震源決定を行ったところ、主な微動活動は NK1402, 1403, 1404, 1406 で囲まれる領域で発生していることが分かった (図 3-8-②-7)。また、超低周波地震について、固有周波数 1 Hz の長期観測型海底地震計でも、卓越周期である 10~20 秒の帯域において明瞭なシグナルを捉えられていることが分かった。震源と観測点間の距離が近いこと、地震計の感度が落ちる 10~20 秒の帯域でもノイズレベルを十分に超えるシグナルを検知出来たものと考えられ、浅部超低周波地震に関しても低周波微動と同等の精度で震源位置を求めることができると期待される。浅部低周波微動と超低周波地震の異なる周波数特性を持つ低周波イベントの発生様式のモデル化に向け、これらのデータを利用してより精度良くお互いの震源

位置を推定する手法を開発中である。

豊後水道においては、2014年夏頃からスロースリップの発生が認められ、スロースリップに伴う浅部スローイベントの活発化が足摺沖で予想されるため（Hirose et al., 2010 : Asano et al., 2015）、今年度新たに5台の長期観測型海底地震計を設置した。従って、2015年1月以降は、広帯域海底地震・圧力計3台と、1Hz型地震計を搭載した長期観測型地震計10台の計13点で、日向灘から足摺沖に至る東西約100kmに渡る浅部低周波イベント発生域をカバーする海底地震・圧力観測網が構築され、海底観測を継続中である（図3-8-②-1、表3-8-②-2）。

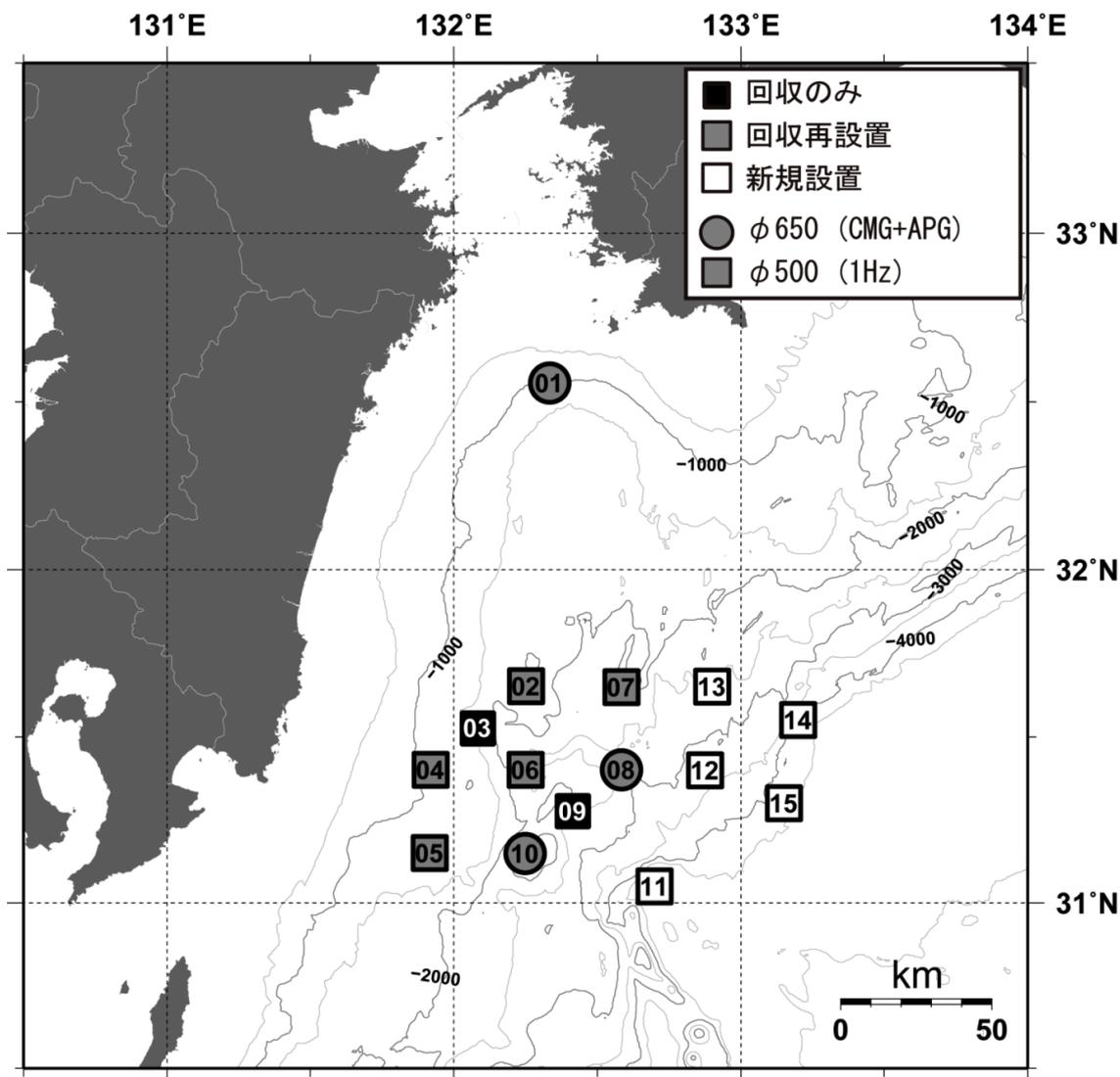


図3-8-②-1 海底地震観測点

本年度回収・設置を行った長期観測型海底地震計15台の位置。図中のグレーの丸または四角は再設置点、黒の四角は回収のみ、白の四角は今年度新たに設置した長期観測型海底地震計である。図中丸印の3点に圧力計を付加した広帯域型海底地震計、残りの10点に1Hz長期観測型海底地震計を設置し、観測を継続中である。これらの地震計は、次年度まで観測を継続し、その後回収を予定している。なお、図中のコンターは500m間隔の等水深線である。



図 3 - 8 - ② - 2 海洋エンジニアリング株式会社所属 第七開洋丸 (499t)

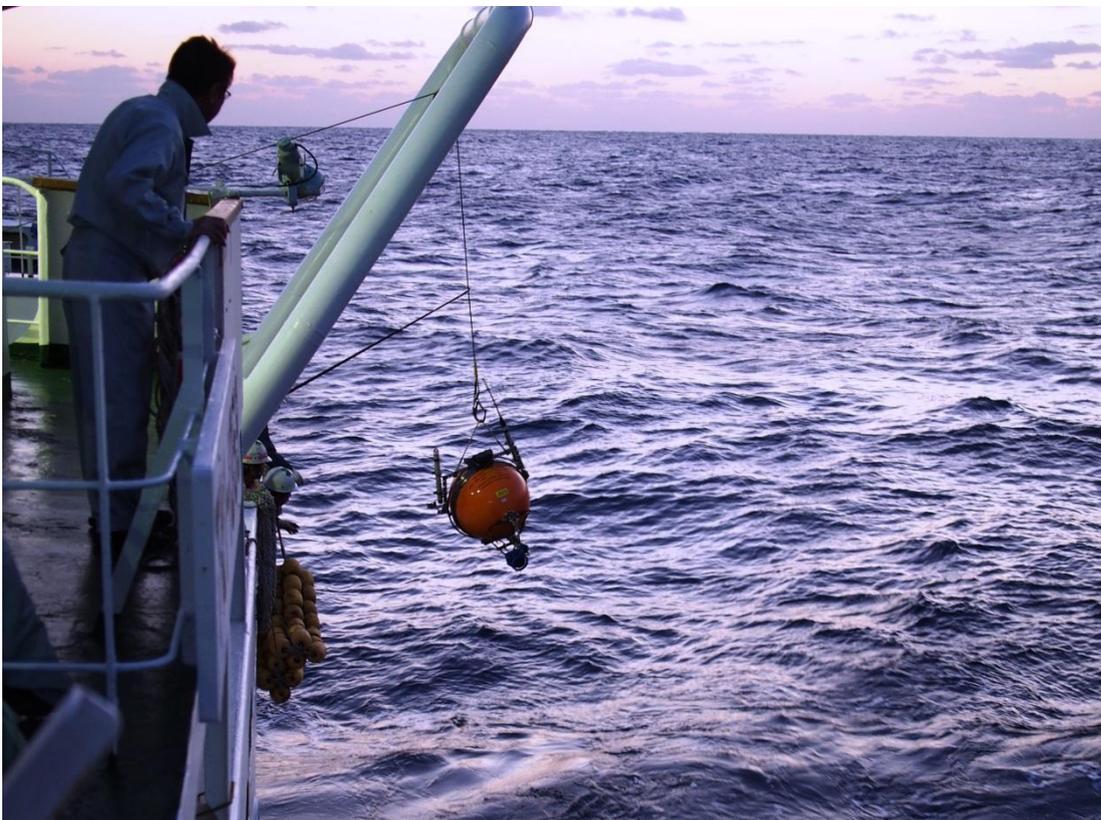


図 3 - 8 - ② - 3 海底地震計回収作業

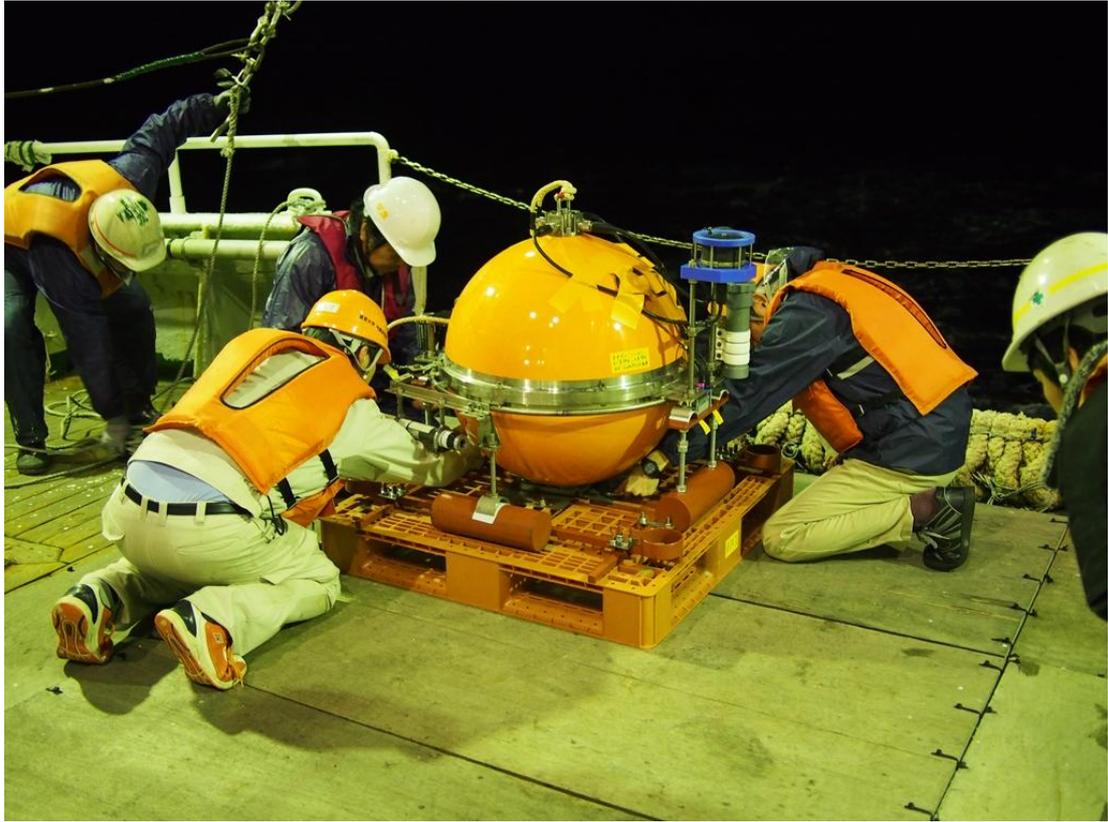


図 3 - 8 - ② - 4 海底地震計設置前準備



図 3 - 8 - ② - 5 回収した海底地震計の搬出

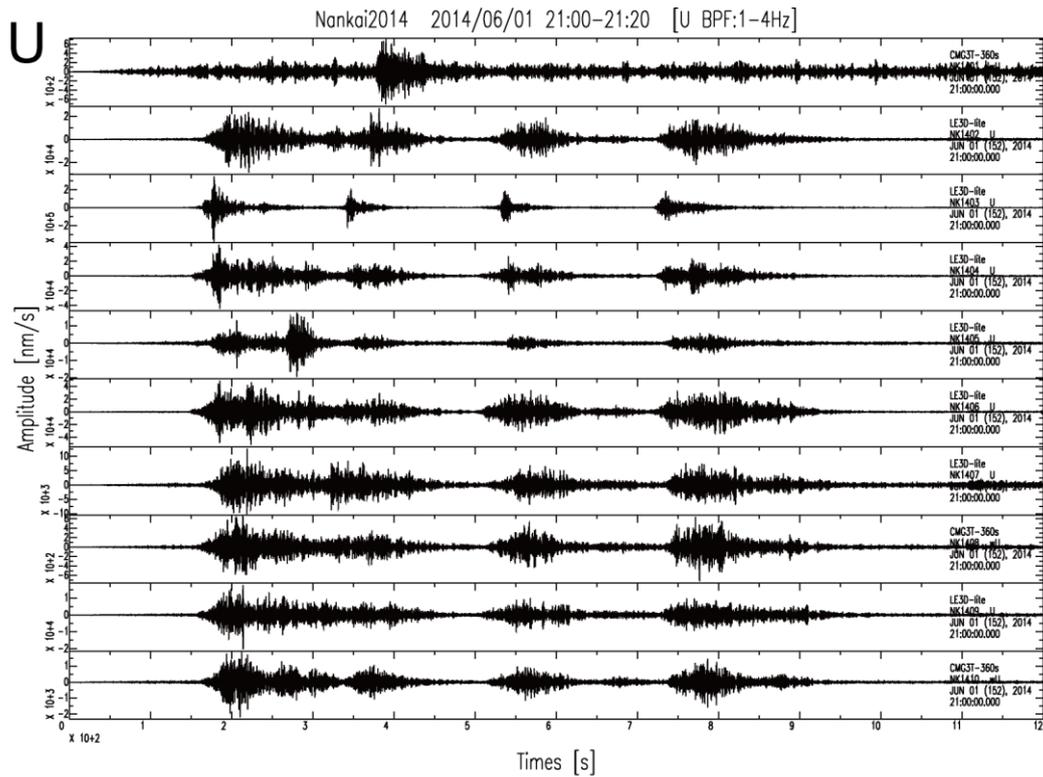


図 3-8-②-6 浅部低周波微動波形例 (2014年6月1日 21:00-21:20)。各海底地震計の上下動波形に 1-4Hz のバンドパスフィルタをかけている。上から順に、NK1401, 1402... の順で、一番下が NK1410 であり、各波形は最大振幅で規格化されている。一番上段の NK1401 は、豊後水道沖の観測点なので距離が他の観測点に比べ大きく離れている。

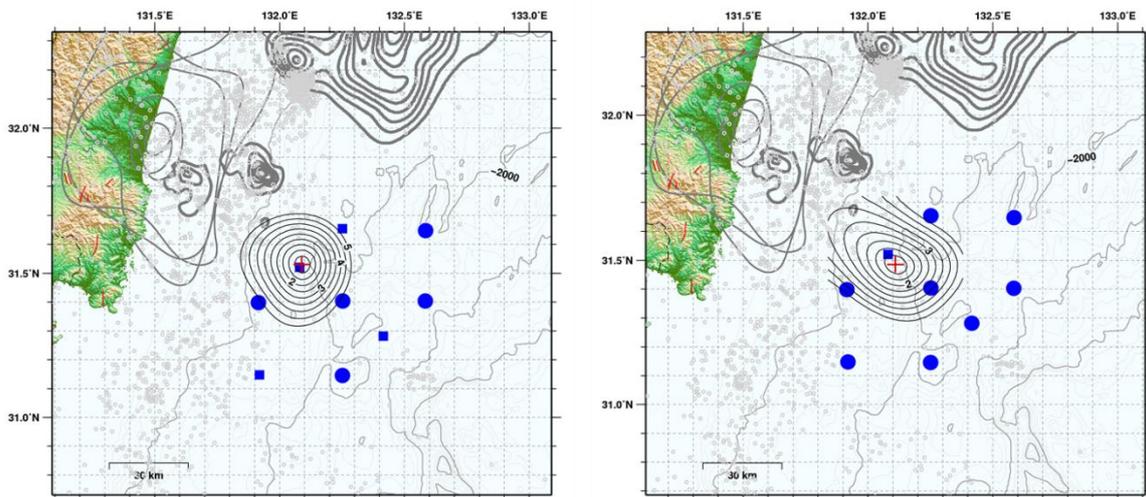


図 3-8-②-7 浅部低周波微動の震源決定結果の例。S 波速度 3.5km/s の均質媒質を仮定し、深さはプレート境界面 (Yamamoto *et al.*, 2013) に固定してエンベロープ相関法 (Obara, 2002) により計算したもののうち、2 例を示す。青の丸と四角は海底地震観測点で、赤十字が震源位置、コンターは残差を示しており 0.5 s 間隔である。

表 3-8-②-1 回収した海底地震計の位置

観測点名	Trコード	緯度		経度		水深 m	回収日時	
		度	分	度	分		年月日	時分秒
NK1401	685	32	33.2818	132	20.1617	1,079	2015/01/08	13:02:15
NK1402	716	31	39.0208	132	15.0443	1,896	2015/01/09	12:42:29
NK1403	690	31	31.3540	132	05.4382	1,628	2015/01/07	21:42:00
NK1404	766	31	23.7025	131	55.9787	1,204	2015/01/07	07:15:29
NK1405	658	31	10.5142	131	57.7447	1,321	2015/01/07	11:20:40
NK1406	765	31	24.1197	132	15.4690	2,451	2015/01/07	19:23:48
NK1407	704	31	39.1929	132	35.2038	2,283	2015/01/09	09:46:46
NK1408	688	31	24.8151	132	36.0819	2,754	2015/01/09	06:53:13
NK1409	659	31	16.8397	132	25.9234	2,389	2015/01/07	16:31:00
NK1410	660	31	09.3505	132	15.6953	1,605	2015/01/07	13:47:50

\* 斜字は広帯域海底地震・圧力計

表 3-8-②-2 海底地震計設置点位置

観測点名	Trコード	緯度		経度		水深 m	設置日時	
		度	分	度	分		年月日	時分秒
NK1501#	674	32	33.4032	132	20.0023	1,064	2015/01/08	12:08:37
NK1502#	620	31	39.0998	132	15.0989	1,891	2015/01/09	11:36:39
NK1504#	729	31	24.0123	131	55.1958	1,154	2015/01/07	05:48:27
NK1505#	561	31	09.0010	131	54.9984	1,250	2015/01/07	09:01:49
NK1506#	720	31	24.0031	132	14.9989	2,489	2015/01/07	18:14:21
NK1507#	787	31	38.9984	132	35.0912	2,294	2015/01/09	08:34:54
NK1508#	710	31	24.0020	132	34.9956	2,811	2015/01/09	05:29:50
NK1510#	708	31	08.9913	132	14.8876	1,696	2015/01/07	12:49:44
NK1511	562	31	02.9912	132	41.9894	4,800	2015/01/09	03:19:13
NK1512	718	31	24.0010	132	52.4932	3,185	2015/01/09	00:29:28
NK1513	670	31	39.0074	132	54.0017	2,389	2015/01/08	18:59:42
NK1514	559	31	32.9991	133	11.9889	3,845	2015/01/08	20:42:47
NK1515	763	31	17.9987	133	08.9941	4,269	2015/01/08	22:34:35

# 前年度と同じ場所に再設置

\* 斜字は広帯域海底地震・圧力計

## (d) 結論ならびに今後の課題

豊後水道ならびに足摺沖から日向灘にかけての海域において、圧力計を同時搭載した広帯域型地震計 3 台を含めた計 10 台の長期観測型海底地震計の回収を行い、このうち 8 点において同地点に同タイプの海底地震計を再設置して観測を継続開始した。ま

た、今年度はスロースリップイベントの発生に伴う浅部低周波イベント活発化が予想される足摺沖に新たに5台の長期観測型海底地震計を設置し、観測網の強化を図った。

今年度回収した海底地震計では、全観測点・全期間において良好な波形データを取得することができており、2014年6月1日～3日に観測網直下で発生した浅部低周波微動と超低周波地震を捉えることに成功した。これらの取得したデータについては現在解析を進めているところである。

本観測はオフラインシステムのため、データ取得は次年度の回収作業が必須である。そこで得られたデータをもとに、プレート境界のすべり現象についての解析を実施する。また、スロースリップイベントの検知や微動活動の推移把握のためには、継続的な観測ならびにスロースリップイベント帯域に適した観測が重要であり、次年度以降も観測を継続する。

(e) 引用文献

- 1) Hirose, H., Y. Asano, K. Obara, T. Kimura, T. Matsuzawa, S. Tanaka, T. Maeda, Slow Earthquakes Linked Along Dip in the Nankai Subduction Zone, *Science*, 330, 1502, 2010.
- 2) Sugioka, H., T. Okamoto, T. Nakamura, Y. Ishihara, A. Ito, K. Obana, M. Kinoshita, K. Nakahigashi, M. Shinohara and Y. Fukao, Tsunamigenic potential of the shallow subduction plate boundary inferred from slow seismic slip, *Nature Geoscience*, doi:10.1038/NGL01466, 2012.
- 3) Asano Y., K. Obara, T. Matsuzawa, H. Hirose, and Y. Ito, Possible shallow slow slip events in Hyuga-nada, Nankai subduction zone, inferred from migration of very low frequency earthquakes, *Geophys. Res. Letts.* 42, doi:10.1002/2014GL062165, 2015.
- 4) Yamashita Y., H. Yakiwara, H. Shimizu, K. Uchida, M. Kamizono, M. Nakamoto, M. Fukui, S. Fujita, K. Aizawa, H. Miyamachi, S. Hirano, K. Umakoshi, T. Yamada, H. Kanehara, T. Aoshima, Shallow Low-frequency Tremor in the Hyuga-nada region, western Nankai Trough subduction zone, observed by ocean bottom seismographic experiment, S41B-2428, *2013 AGU Fall Meeting*, San Francisco, CA, USA, The Moscone South, 2013
- 5) Obara K., Nonvolcanic Deep Tremor Associated with Subduction in Southwest Japan, *Science*, 296, 1679-1681, doi: 10.1126/science.1070378, 2002.
- 6) Yamamoto Y., K. Obana, T. Takahashi, A. Nakanishi, S. Kodaira, and Y. Kaneda, Imaging of the subducted Kyushu-Palau Ridge in the Hyuga-nada region, western Nankai Trough subduction zone, *Tectonophysics*, 589, 90–102, doi:10.1016/j.tecto.2012.12.028, 2013.

(3) 平成 27 年度業務計画案

平成 25 および 26 年度に設置した南海トラフ中部の陸側斜面域である熊野灘におけるブイシステムによって得られた海底水圧データの精度評価を実施する。また、この観測ならびに過去の日本近海の観測で得られた水圧変動から、ゆっくりすべりイベント、超低周波

地震、津波の励起と伝播といった多様な現象を捉えるための時系列解析システムの開発を継続して実施する。

また、南海トラフ西部の領域における広帯域自然地震観測については、平成 26 年度は、平成 25 年度に設置した広帯域型地震・圧力計 3 台を含む、長期型海底地震計 10 台を回収し、8 台を再設置して観測を継続した。また、足摺沖に 5 台の長期型海底地震計を新設し、観測網の強化を図った。平成 27 年度は、既に回収済みの海底地震計のデータについて解析を進めるとともに、平成 26 年度に設置した海底地震計を回収し、データ解析を実施する。また、新たに長期型海底地震計ないし圧力計 10 台程度を南海トラフ西方領域に再設置し、長期海底地震観測を継続して実施する。

### 3.9 データ活用予測研究

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 「データ活用予測研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東北大学災害科学国際研究所	教授	日野亮太
国立大学法人東北大学大学院理学研究科	准教授 助教	太田雄策 内田直希
国立大学法人京都大学大学院理学研究科	教授 准教授	平原和朗 宮崎真一
国立大学法人京都大学防災研究所	准教授 准教授	西村卓也 伊藤喜宏
国立大学法人名古屋大学 減災連携研究センター	教授	鷺谷威
国立大学法人名古屋大学大学院 環境学研究科附属地震火山研究センター	教授 助教	古本宗充 伊藤武男
独立行政法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門	主任研究員	行谷佑一
国立大学法人東京大学大学院理学研究科	准教授	安藤亮輔
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター	グループリーダー代理 特任技術研究員 特任研究員 技術研究員	堀高峰 中田令子 兵藤守 有吉慶介

(c) 業務の目的

- ・地殻変動観測データのコンパイルと解析、データベース化

京コンピュータ等で計算される多数の地震シナリオとその前後のゆっくりすべりのシミュレーション結果のデータベースと、GEONET・DONET・水準測量や三辺・三角測量等の地殻変動データや相似地震のデータをコンパイルした観測データベースを構築する。

- ・プレート境界すべりの推移予測の妥当性検証と予測の試行

過去の地震やゆっくりすべりの観測データを逐次入力し、シミュレーションデータベースと比較する同化の模擬テストを行なう。また、次の豊後水道のゆっくりすべりや東北地方太平洋沖地震後の余効すべり等に対して予測の試行実験を行う。これらを通して同化手法や予測の問題点を洗い出し、改善に必要な知見を得る。

- ・逐次データ同化手法の改良

精度の異なる複数データを用いる場合の尤度評価やリアルタイムでデータを取り込みながらモデルパラメタや初期値を更新できるように同化手法を改善するとともに、地殻変動以外の観測データ（特に地震活動データ）の同化手法を開発する。

(d) 8か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度:

これまでに整備した地殻変動データのコンパイル結果に最新データを加えて、追加解析を行うとともに、過去の豊後水道や八重山のゆっくりすべりで逐次同化の模擬テストを行う準備を進めた。また、観測データベースの仕様を検討し、東北地方太平洋沖地震前後のデータのコンパイルを始めた。複数データの尤度評価手法の開発を進めた。

平成 26 年度:

前年度までに整備した地殻変動データのコンパイル結果に最新データを加えて、さらに追加解析を行うとともに、過去の豊後水道や八重山のゆっくりすべりで逐次同化の模擬テストを行った。また、観測データベースの仕様を決め、東北地方太平洋沖地震前後のデータを引き続きコンパイルした。複数データの尤度評価手法の開発に着手した。

平成 27～28 年度:

東北地方太平洋沖地震前後のデータを解析し、同化手法の模擬テストを行う。モデルパラメタを逐次更新する手法を開発する。

平成 29～30 年度:

模擬テスト結果にもとづいて同化手法を改善するとともに、すでに一部発生した豊後水道のゆっくりすべりでリアルタイム予測試行実験を行う。地震活動データの同化手法を提案するとともに、観測データベースに地震活動を加える。

平成 31～32 年度:

模擬テスト結果や手法改良研究にもとづいて同化手法の改善を進めるとともに、南海トラフならびに日本海溝において、リアルタイム予測試行実験を行い、予測の問題点を整理する。また、地殻変動・相似地震と地震活動データを用いた同化システムのプロトタイプを構築する。

(e) 平成 26 年度業務目的

昨年に引き続き、余効すべり・ゆっくりすべりデータ同化手法を開発し、八重山や豊後水道ゆっくりすべりの観測データを整理して、観測データをシミュレーションデータベースと比較するための研究開発を行う。また、東北地方の海陸地殻変動観測のデータを用いて、平成 23 年東北地方太平洋沖地震の発生前後に起こった、プレート間固着強度の時空間ゆらぎ（余効変動を含むゆっくりすべりイベント、前震活動、余震活動）の同化の模擬テストに着手する。さらに、ゆっくりすべりの観測事例や発生機構に関する海外の研究動向の情報収集を行う。

## (2) 平成 26 年度成果

### ①地殻変動データ整備および東北地方太平洋沖地震の余効変動解析

#### (a) 業務の要約

##### 1) 東北地方太平洋沖地震の余効変動解析

2011 年東北沖地震時と地震後の GEONET や海底地殻変動観測によって観測された余効地殻変動データを用いてプレート境界面上の余効すべりの時空間分布を求めた。この余効変動解析は粘弾性応答を同時に考慮した余効すべりインバージョン解析を実施することで、粘弾性緩和に起因する余効変動を除いたプレート境界面上の余効すべりを推定し、余震活動や粘弾性の影響を評価した。

##### 2) 地殻変動データの整備

###### a) 西南日本

過去の西南日本の水準測量データを整理し、地震サイクル全体にわたる時空間的な地殻変動を整理することにより、西南日本のプレート間カップリングの時空間変化を推定するためのデータセットの準備をする。また、これらの解析の高度化を行うため、3次元有限要素法による Green 関数の生成の準備を行った。

###### b) 南西諸島

南西諸島沿いの琉球海溝からフィリピン海プレートが沈み込んでいるが、プレート間固着は弱いとされてきた。しかしながら、測地的なアプローチからのプレート間の固着は明らかにされていないため、地震の長期評価もされていなかった。そのため、喜界島での水準測量による傾斜速度の測定と横当島による GNSS 観測を実施することで、プレート境界に直交する喜界島・奄美大島・横当島の測線にてプレート間の固着を評価するための観測を行った。

#### (b) 業務の実施方法

##### 1) 東北地方太平洋沖地震の余効変動解析

2011 年 3 月 11 日に東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) が発生した。この地震による地殻変動が GEONET や海底地殻変動観測点により観測されている。これらの地殻変動時系列を説明するために、余効すべりと粘弾性応答の 2 つの現象を同時に考慮し、GEONET と海底地殻変動観測のデータを時空間インバージョン解析することで、2011 年東北沖地震の地震時、地震後のすべりの時空間分布を推定した。

##### 2) 地殻変動データの整備

###### a) 西南日本

長期的地殻変動データを用いてプレート境界面におけるプレート間カップリングの時空間変動を推定する。推定手法の高度化の為に、3次元有限要素法による Green 関数の生成に必要な有限要素メッシュの構築を行った。本研究で対象とする領域は日本列

島全体としており、フィリピン海プレートと太平洋プレートの沈み込み形状をモデル化する(図3-9-①-1)。有限要素メッシュの作成には Cubit ver. 13 を用いた。Cubit ver. 13 は汎用的な有限要素メッシュを作成するソフトウェアであることから、柔軟にかつ効率的にプレート形状などを取り込んだソリッドモデルから有限要素メッシュの作成を行う事ができる。なお、この有限要素メッシュでは、100 万から 500 万要素程度の有限要素法を想定している。

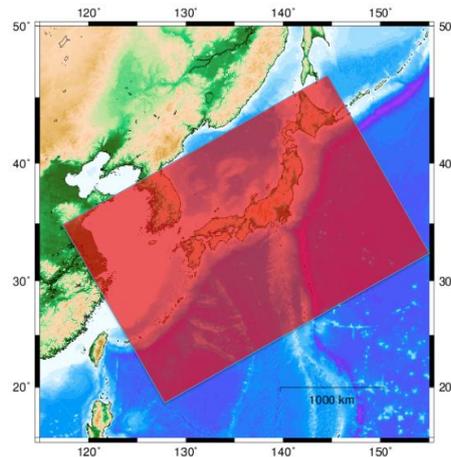


図3-9-①-1 3次元有限要素法によってモデル化を行う領域(赤い四角領域)

#### b) 南西諸島

南西諸島の北部地方は大隅・トカラ列島と奄美・沖縄諸島群から構成され、西側の沖縄トラフでは拡大が指摘されている。一方、南西諸島の東側の琉球海溝からフィリピン海プレートが沈み込んでおり、複雑なテクトニック背景を持っている(図3-9-①-2)。ほぼ一列に並ぶ南西諸島内において琉球海溝に直交した約100 km 測線を構築出来る場所は横当島・奄美大島・喜界島である。よって、横当島(無人島)にGNSS観測点を2013年9月に設置し測量することで、沖縄トラフの拡大と琉球海溝からのフィリピン海プレートの沈みこみの影響の分離を試みる。また、喜界島は南西諸島内でも琉球海溝に最も近い島である。そのため、喜界島内の水準測量を実施することで、喜界島内の傾斜速度を測量し、プレート間カップリングを評価する基礎情報とする。

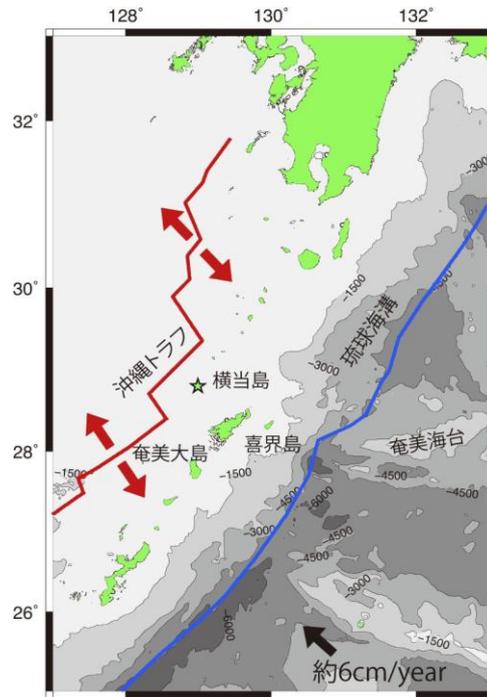


図 3-9-①-2 南西諸島におけるテクトニック背景。星印は横当島（無人島）、黒矢印はフィリピン海プレートの速度、赤矢印は沖繩トラフの拡大を示す。

(c) 業務の成果

1) 東北地方太平洋沖地震の余効変動解析

地殻変動データは GEONET と海底地殻変動観測点から得られた地殻変動データから東北地方太平洋沖地震の余効すべりの時空間変化を推定した。地震時のすべりは宮城沖の海溝付近に位置しており、最大すべり量は海溝付近で約 60 m となった。粘弾性と弾性の両方の応答関数を用いたもので同様な結果が得られた(図 3-9-①-3)。余効すべりの時空間分布は、粘弾性を考慮する場合としない場合では大きな違いが生じた。余効すべりの大きさは粘弾性を考慮した解析の場合は地震後 2.5 年間で最大で 2 m に達し、粘弾性を考慮しない場合では最大で 4 m に達した。また、余効すべりの分布は粘弾性を考慮しない場合にくらべ、福島沖の余効すべりは顕著に小さくなっており、海底地殻変動観測によって観測された、「宮城沖 1」の西向きの変動も粘弾性応答で説明可能であった。このことから上部マントルの粘弾性応答に起因する地殻変動の影響は大きく、逆解析にて考慮する必要がある。粘弾性を考慮した余効すべりの領域は地震時の破壊領域とは相補的な関係があり、過去のプレート境界での大地震の破壊領域とも相補的な関係がある。なお、プレート境界で発生した地震の分布と余効すべりの分布を比較すると、余効すべりが発生している周りで地震が発生していると考えられる。

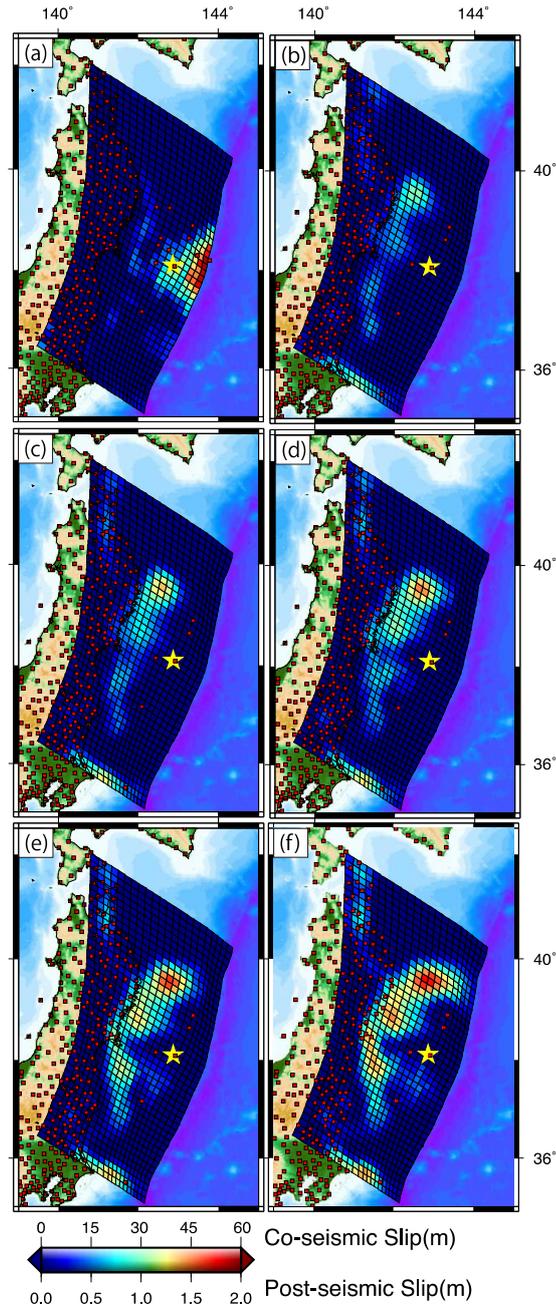


図 3-9-①-3 (a)地震時のすべり分布、(b-f)半年毎の余効すべりの積算分布。

## 2)地殻変動データの整備

### a) 西南日本

プレート間カップリングの時空間変化の推定手法の高度化の為に、3次元有限要素法を用いた日本列島の地下構造のモデル化を行った。この有限要素法によるモデル化により不均質構造を考慮した Green 関数を生成することができる。現時点では、この有限要素メッシュは地形 (SRTM30+: Becker et al., 2009)、フィリピン海プレート形状、太平洋プレート形状、モホ面形状、球面の形状の考慮を予定している。これらを考慮した有限要素メッシュは 100 万から 500 万要素程度の規模を想定している。これ

は、スーパーコンピュータを用いることなく、境界条件など柔軟に変更し、実用的な時間で繰り返し計算できる規模である事から設定した。

現時点では、Cubit ver 13 を用いて、地形、フィリピン海プレート形状、太平洋プレート形状および、モホ面形状のボリュームモデルの作成が完了している（図 3-9-①-4）。また、作成したボリュームモデルを 27 分木メッシュにより部分的に密なメッシュを作成するなど、Green 関数の生成に最適なメッシュのバランスを模索している状況である。図 3-9-①-5 は有限要素メッシュの一例であり、今後、球面の形状の導入やメッシュサイズと密度の最適化を進める予定である。

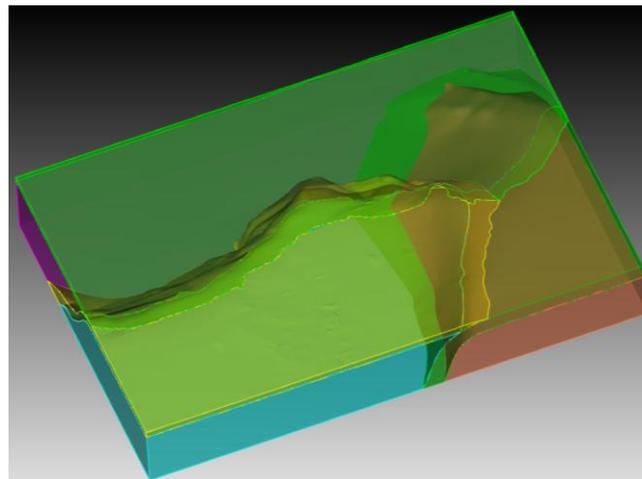


図 3-9-①-4 Cubit ver 13 によって生成したボリュームモデルを作成した。日本列島を南東方向から見た鳥瞰図である。

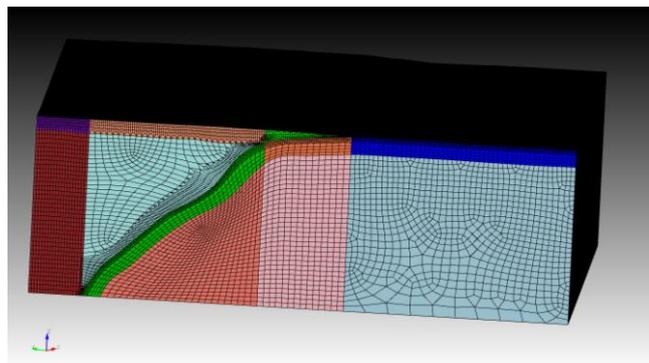


図 3-9-①-5 Cubit ver 13 によって作成した有限要素メッシュの一例。プレート境界面のメッシュサイズは 3 km 程度で構成しており、27 分木メッシュにより部分的に密なメッシュを実現している。

#### b) 南西諸島

南西諸島は海溝軸に対して平行して配列しているため、海溝軸に対して直交する方

向の地殻変動の観測は難しい。しかしながら、横当島・奄美諸島・喜界島近辺は海溝軸に対して直交する唯一 100km を越える観測測線を配置できる場所であることから、2013 年 9 月に横当島（無人島）に新たに GNSS 観測点を設置することで、奄美諸島近辺の海溝軸に対して直交する方向に対しての地殻変動を明らかにすることを試みる。2014 年 6 月に横当島の 1 回目のデータ回収を実施した。複数の大型台風がこの地域を襲ったにもかかわらず、データの欠測はほとんどなかった。横当島は直径 1 km に満たない小さな火山島であるにも関わらず標高は 259 m と 494 m の 2 つの火山を有しており、急峻な地形で構成されている。このことから、GNSS 観測点は山の陰になっている部分もあり、回収したデータを解析した結果、GNSS 衛星が 4～5 つしか補足できていない時間帯はかなり多い。このような不利な観測条件であるが、データの解析を実施したところ、横当島と奄美大島は年間 3 mm/yr 程度の収縮が認められた。しかしながら、観測期間が短いため年周変化である可能性も否定できない。これらを明らかにするためには今後も継続して観測を続ける必要がある。

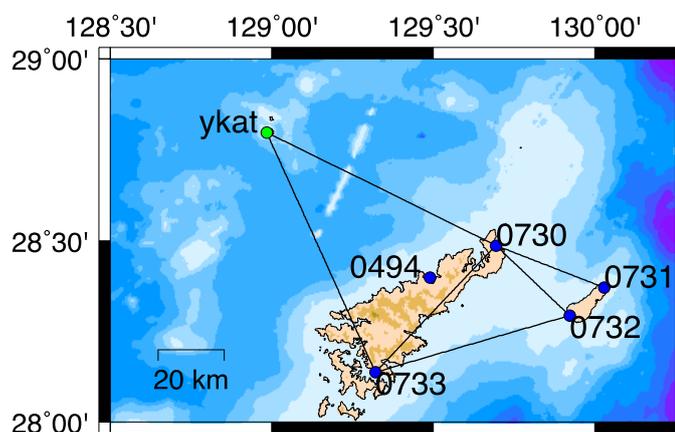


図 3-9-①-6 横当島(ykat)・奄美大島・喜界島近辺の GNSS 観測点の配置図を示す。各 GNSS 観測点を結ぶ線は図 3-9-①-7 に示される基線長変化の GNSS 観測点の組み合わせに対応している。

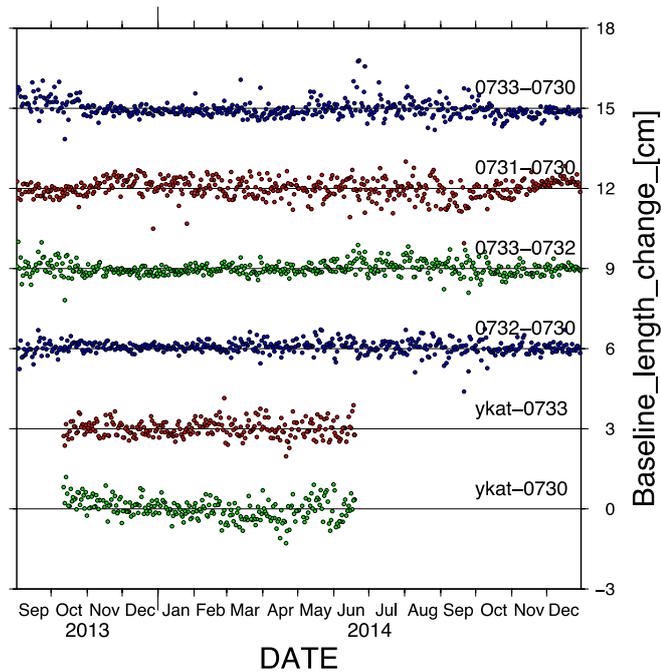


図 3-9-①-7 横当島・奄美諸島・喜界島近辺の GNSS 観測点間の基線長変化。それぞれの GNSS 観測点配置は図 3-9-①-6 に示してある。

一方、喜界島の上下変動は奄美大島に対して約  $2 \text{ mm/yr}$  の速度で高速隆起しており、地質学的に求められている隆起速度とほぼ一致する。この喜界島は傾動しながら隆起していることが地質学的手法により指摘されており、長期的な傾動の傾向は海溝軸側が上がる傾向であり地震間でどのような傾動をしているのかを把握することは、プレート間のカップリングを調べる上でも重要である。そこで、我々は喜界島内の水準測量を実施し、1997年9月に国土地理院によって測量された2等水準路線を2014年4月に再測量することで、喜界島内の上下変動パターンを明らかにした(図 3-9-①-8)。この測量により、約  $1 \text{ mm/yr}$  の速度で海溝軸側が沈降している事が明らかになった。この分布は地質学的手法によって求められた長期的な傾動の傾向とは正反対の方向を示しており、これらのモデル化が今後の課題である。

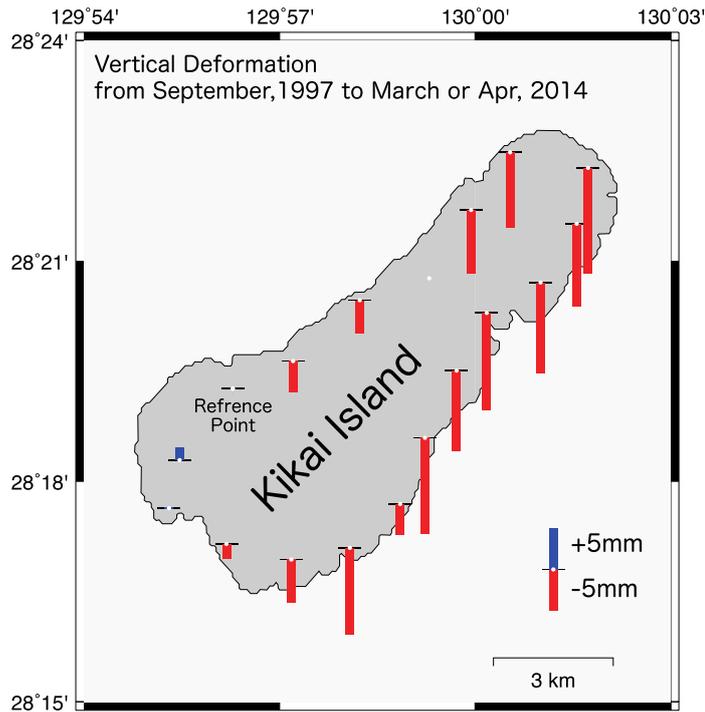


図 3-9-①-8 1997年9月と2014年4月に実施された水準測量結果による喜界島の地殻変動の上下変動。

(d) 結論ならびに今後の課題

1) 東北地方太平洋沖地震の余効変動解析

GEONETおよび海底地殻変動観測にて観測された2011年東北沖地震の余効変動から、3次元構造を考慮した上でのアセノスフェアの粘弾性応答を考慮して余効すべりの時空間分布を求めた。その結果、粘弾性応答を考慮する場合としない場合では余効すべりの時空間分布に大きな違いが確認できた。また、海底地殻変動観測によって、観測された西向きの海底地殻変動も説明可能である。今後は注意深く、余効すべりの推移の時空間分布を把握し、プレート境界面の摩擦特性などについて言及してゆく必要がある。

2) 地殻変動データの整備

a) 西南日本

プレート間カップリングの時空間変化を推定する手法の高度化を行うために、有限要素法によるGreen関数の生成を試みた。そのため、本年度は有限要素法によるGreen関数を生成するために、地表、フィリピン海プレート形状、太平洋プレート形状を考慮したソリッドモデルを生成した。ソリッドモデルから生成される有限要素メッシュは100万から500万要素程度を想定しており、そのためには有限要素メッシュの最適化が必要である。

b) 南西諸島

喜界島内での水準測量を実施し、喜界島内の傾動速度及び方向を測量した。その結果、地質学的な研究から求められている長期的な傾動方向は海溝軸とは反対方向であったが、水準測量により測量された傾動方向は海溝軸方向であった。水準測量で測量された傾動方向はプレート間のカップリングを示唆しており、今後、定量的な評価を実施し、長期的な地殻変動と地震間の地殻変動を説明するモデルの構築が必要である。

(e) 引用文献

Becker, J. J., D. T. Sandwell, W. H. F. Smith, J. Braud, B. Binder, J. Depner, D. Fabre, J. Factor, S. Ingalls, S-H. Kim, R. Ladner, K. Marks, S. Nelson, A. Pharaoh, R. Trimmer, J. Von Rosenberg, G. Wallace, P. Weatherall., Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30\_PLUS, Marine Geodesy, 32:4, 355-371, 2009.

②東北地方太平洋沖地震前後の地殻活動の特徴抽出

(a) 業務の要約

東北地方の海陸地殻変動観測・地震データを用いて、2011年東北地方太平洋沖地震の発生以前および以降に発生したプレート間固着強度の時空間ゆらぎの予測実験を継続して進めた。今年度は昨年度に引き続き、過去の地震やゆっくりすべりの観測データの整理を進めた。その結果、2011年東北地方太平洋沖地震前後のプレート境界における小地震の時空間変化を詳細に明らかにした。特に2011年東北地方太平洋沖地震後はプレート境界地震、海溝軸近傍の太平洋プレート内の正断層型地震、海岸線近傍の太平洋プレート内の逆断層型地震、上盤プレート内の正断層型地震などの各断層タイプの地震が領域毎に棲み分けて発生している傾向を見出した。また、2011年3月9日に発生した2011年東北地方太平洋沖地震前の最大前震について、その地震後余効変動の解析をより詳細に進め、最大前震以降、前震の最大余震(M6.5)が発生するまでの前半部では、最大前震の地震時すべりと東北沖地震の震源の間の領域(南側)にそのすべりが推定される一方、M6.5最大余震後の後半部においては、最大前震の地震時すべりよりもプレート境界浅部側にそのすべりが集中していることを見出した。さらに同地域で過去に発生した1989年、1992年の三陸沖地震について、伸縮計記録および体積ひずみ計記録を精査し、その地震後余効変動が比較的短い時間に大きなモーメント解放をしたことを見出した。また本サブテーマに参加する研究者間で観測データを共有するためのVPNを用いたサーバ構築を引き続き進めた。さらにゆっくりすべりの観測事例や発生機構に関する海外の研究動向の情報収集を行った。

(b) 業務の実施方法

2011年東北地方太平洋沖地震直後からの余効変動を含む地殻変動現象の整理として、東北沖地震後の地震活動の特徴、およびその時間変化の調査を行った。また東北沖地震震源域付近で発生したプレート境界型地震の余効すべりの特徴把握を観測データの再解析を含めて実施することで、本震に至る過程の理解の高度化を図った。また、得られた観測データをどのよう

にシミュレーションデータベースと比較するのが適当かの検討を進めた。さらに本サブテーマ実施担当間でのデータ流通の高度化をデータサーバの整備を行うことで進めた。

また米国地球物理学連合秋季大会等への参加により、ゆっくりすべりの観測事例や発生機構に関する海外の研究動向の情報収集を実施した。

### (c) 業務の成果

#### 1) 東北沖地震前後のメカニズムタイプごとの地震分布の推定

本研究では、これまで素性の良く知られていなかった沖合の小地震の発震機構を推定するために、既に発震機構が分かっている地震をテンプレートとして用いた波形相関による分類手法を開発した。メカニズム解の違いと波形の相互相関係数の間に相関関係を見出し、これを利用して、発震機構が似ている地震を抽出するための相互相関係数のしきい値を設定した。これを発震機構が未知の地震に対して適用した。

解析の結果、新たに 8,655 個の地震のタイプを同定することに成功し、これまで知られていたものと合わせておよそ 2 倍の地震についてその断層タイプを知ることができるようになった。新たに得られた逆断層型地震は 6,046 個（うち低角逆断層型を示すプレート境界地震が 5,302 個）、正断層型地震は 1,232 個、横ずれ型地震は 616 個、いづれにも該当しない地震は 761 個である（図 3-9-②-1、図 3-9-②-2）。

これらの地震について先行研究を基にした三次元速度構造を構築して、相対震源決定を行った結果、海溝軸近傍の太平洋プレート内に正断層型地震、海岸線近傍の太平洋プレート内に逆断層型地震、上盤プレート内に正断層型地震が分布し、全体的に各断層タイプの地震が領域毎に棲み分けて発生している傾向が見えた。この傾向は東北地方太平洋沖地震後の宮城県沖の地震で特に顕著であった。また、時空間分布の大きな特徴としては、2011 年東北地方太平洋沖地震後には本震の大すべり域内では小地震まで含めプレート境界地震の発生が大きく減少したことが挙げられる（図 3-9-②-3）。

また、プレート境界地震活動度の増加は、プレート境界における非地震性すべりの発生に起因していると考ええると、地震活動度の増加域はおおむね余効すべり発生域と等価と考えることができる。これらから東北地方太平洋沖地震の余効すべり域を推定すると、その北端は 1994 年三陸はるか沖地震の震源域、南端は関東地方下まで及んでいることが示唆される結果となった（図 3-9-②-3）。さらに宮城県沖の海溝軸近傍の太平洋プレート内や陸に近い上盤プレート内部で正断層型地震が顕著に増加しているなど、プレート境界地震以外の地震にもいくつかの特徴が見られ、その多くが本震による応力変化で説明できることが分かった。

#### 2) 東北沖地震の前震による余効滑りの時空間発展の抽出

2011 年 3 月 9 日に発生した東北沖地震の最大前震 (M7.3 三陸沖地震)の余効変動の時空間発展を明らかにした。平成 25 年度においては、海陸測地観測データを用いて、同前震後から東北沖地震に至るまでの余効すべりのすべり分布を求めた (Ohta et al., 2012) が、平成 26 年度では、その余効すべりの時空間発展を推定した。具体的には、

海底水圧計および陸上 GNSS 観測点のデータを、最大前震から最大前震後の最大余震 (M6.5) までとそれ以降で分割し、それぞれのタイムウィンドウにおける余効すべり分布を推定した。さらに海底水圧計データのノイズレベルをより低減させるために、これまでの潮汐および全球客観解析による非潮汐海洋変動成分の除去に加え、主成分分析に基づいて各海底水圧計データにおける共通誤差成分を抽出し、それを差し引いた (Hino et al., 2014)。推定された余効すべりは、M6.5 の最大余震が発生するまでの前半においては、最大前震の地震時すべりと東北沖地震の震源の間の領域 (南側) に推定された。一方で M6.5 最大余震後の後半部においては、最大前震の地震時すべりよりもプレート境界浅部側にそのすべりが集中していることが明らかになった (図 3-9-②-4)。これらの結果は、最大前震後の余効すべりが地震後比較的早い段階で東北沖地震の震源付近に到達し、さらに M6.5 の余震付近を境としてその余効すべりの空間パターンが変化していたことを示唆するものである。

### 3) 過去の三陸沖地震および 2011 年 3 月 9 日三陸沖地震後の余効変動の時定数の比較研究

2011 年 3 月 9 日に発生した三陸沖地震 (東北沖地震の最大前震) の余効すべりは、その継続時間と比較してモーメント解放量が大きく、ゆっくりすべりで一般的に成立すると考えられているスケーリング則 (Ide et al., 2007) から外れるイベントであることが指摘されている (Ohta et al., 2012)。同スケーリング則と比較すると、2011 年三陸沖地震以外にもスケーリング則と合致しない地震イベントが存在する。このうち、2011 年三陸沖地震と近接する領域で発生した 1989 年、1992 年三陸沖地震について、ひずみ計データを再解析することによって、その地震後余効変動の特徴を明らかにした。

具体的には、1989 年 1 月 1 日に発生した三陸沖地震 ( $M_{JMA}7.1$ ) と、1992 年 7 月 17 日に発生した三陸沖地震 ( $M_{JMA}6.9$ ) の地震後余効変動を同じ計測システムで記録していた東北大学宮古観測点における石英管伸縮計記録を用いて、その余効変動の特徴を抽出した。観測点分布を図 3-9-②-5 に示す。図 3-9-②-6 に宮古観測点における各イベント時における時系列を示す。当該観測点においては、伸縮計は 4 成分 (EXT1:  $N78.38^\circ E$ , EXT2:  $N157.48^\circ E$ , EXT3:  $N78.47^\circ E$ , EXT4:  $N168.60^\circ E$ ) あるが、平均的な剪断ひずみとなるように変換を行ったものを使用した。得られた時系列に対して、すべり速度・状態依存摩擦構成則に基づく対数関数 ( $u(t)=a\log(1+t/t_0)$ ) を当てはめ、その時定数をそれぞれの時系列において推定した。この時、2011 年イベントと比較を行うために、金華山における体積ひずみ計の記録に対しても同様の当てはめを行った。その結果、いずれの地震においても 1 日以下の短い時定数 (1989 年: 3.23 時間、1992 年: 1.33 時間、2011 年: 4.80 時間) が得られ、これらの余効変動では比較的短い時間に大きな地震後モーメント解放があったことが明らかになった。また、2011 年イベント発生から東北沖本震が発生するまでの時間は 51 時間であったが、同時間において観測されたひずみ変化と、地震時に観測されたステップの比 ( $M_{\text{post}}/M_{\text{coseismic}}$ ) を見ると、1992 年イベントでは地震発生後 51 時間で、本震において観測された量の 150% の余効変動が観測されたことが明らかになった。他の 2 イベントも 30% 程度と比較的大きな値を

示すことが分かった。ここで挙げた3イベントは、いずれもプレート境界やや浅部(20km前後)で発生したものであるが、小繰り返し地震の解析においても、当該地域では他の領域と比較して、地震後の余効すべりの時定数が短い傾向(Uchida et al., 2004)が見られ、三陸沖の比較的プレート境界の浅い側におけるプレート境界の摩擦特性等の地域的な特徴を見ている可能性があることが明らかになった。

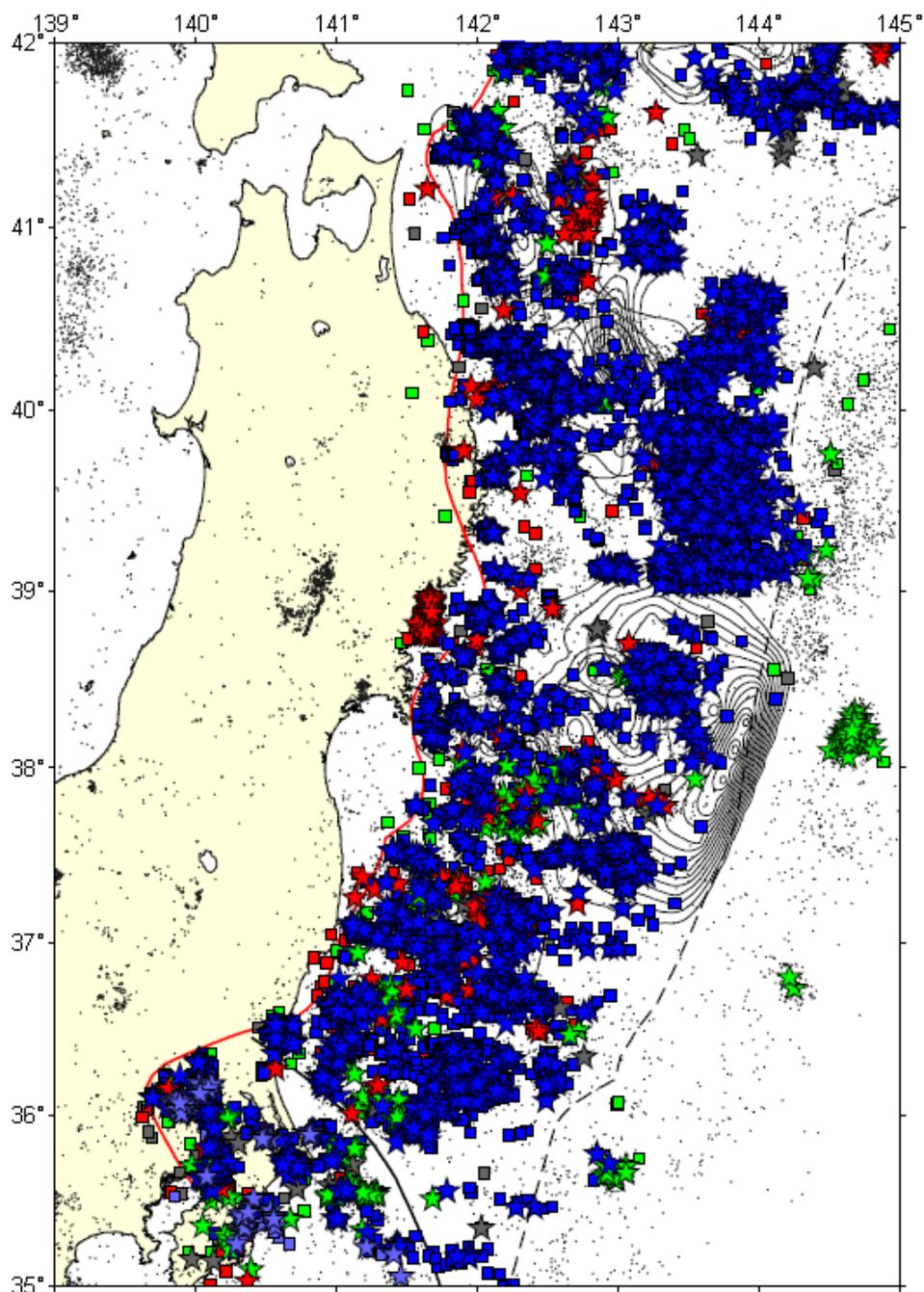


図3-9-②-1 1984年以降2011年東北地方太平洋沖地震発生前の日本海溝沿いにおける発震機構の空間分布(中村, 2013)。青:プレート境界地震、紫:フィリピン海プレートを下盤とするプレート境界地震、緑:正断層型地震、赤:プレート境界型以外の逆断層型地震、灰:横ずれ型地震を表す。

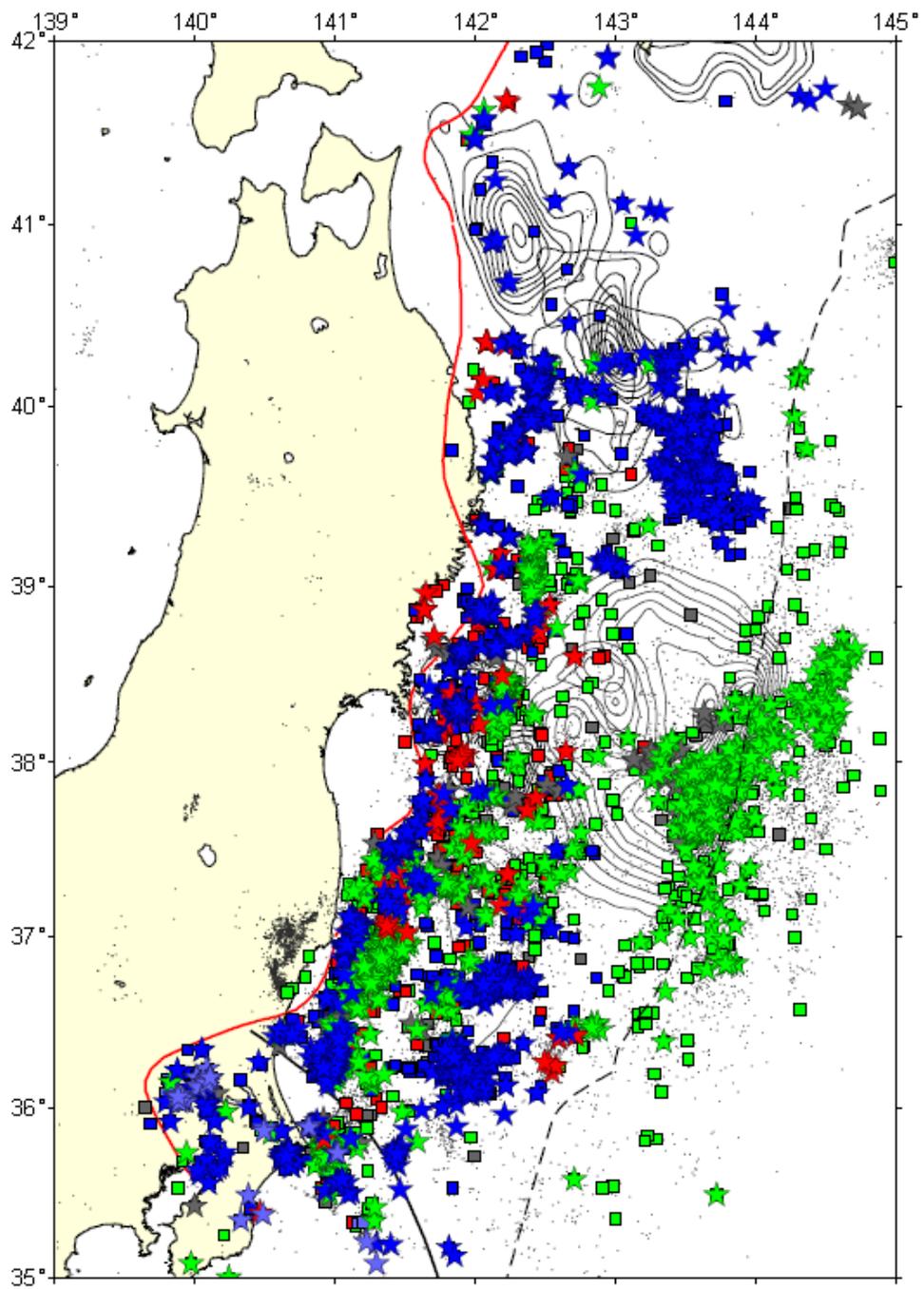


図 3-9-②-2 2011 年東北地方太平洋沖地震発生後、2012 年 12 月までの日本海溝沿いにおける発震機構の空間分布（中村, 2013）。

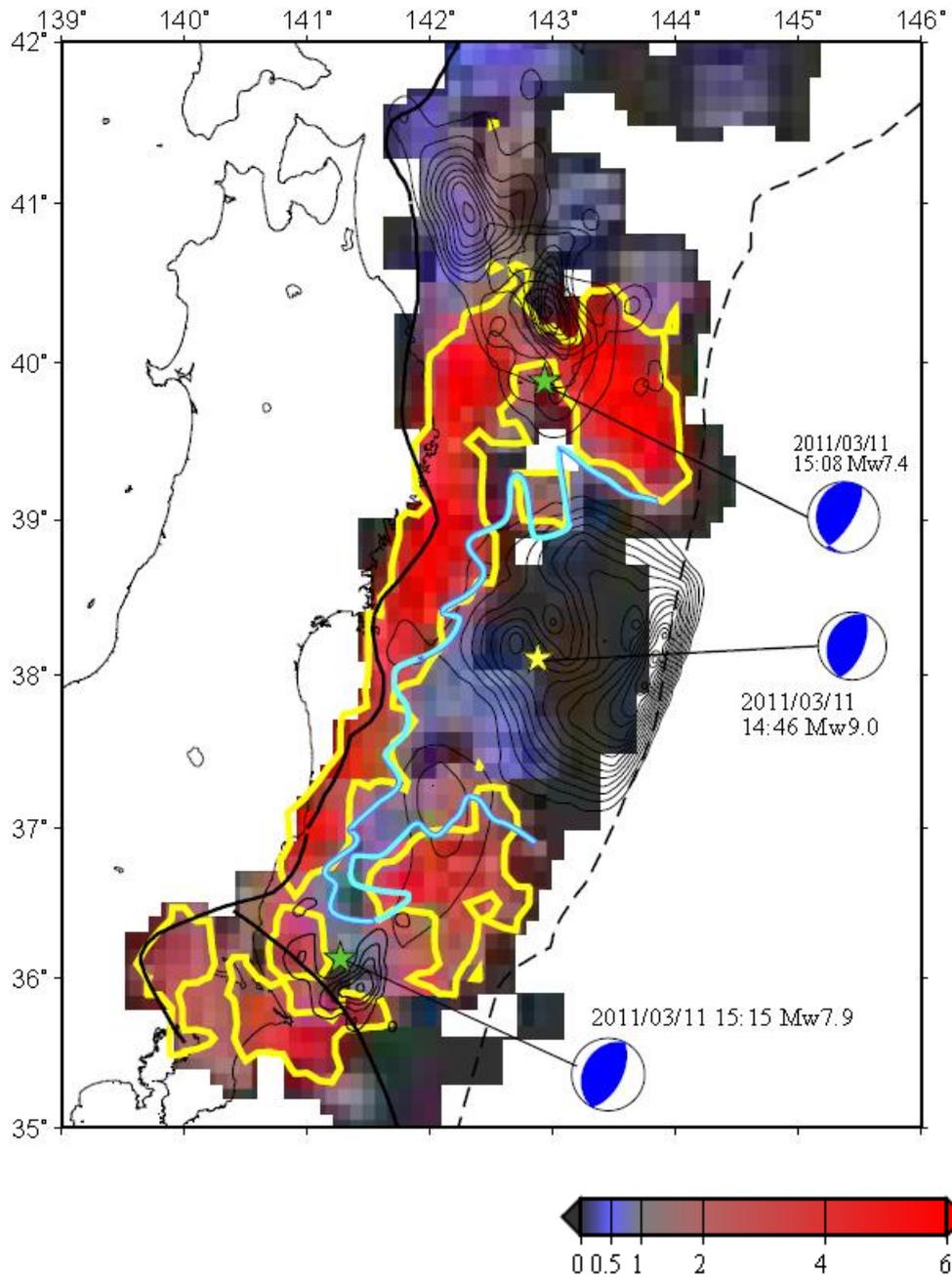


図 3-9-②-3 2011 年東北地方太平洋沖地震前後のプレート境界地震の発生レートの比 (中村, 2013)。発生レート比が 2 となるところに黄線を引いた。水色線は Kato and Igarashi [2012] による余震活動から推定した東北地方太平洋沖地震の地震時すべり領域を表す。

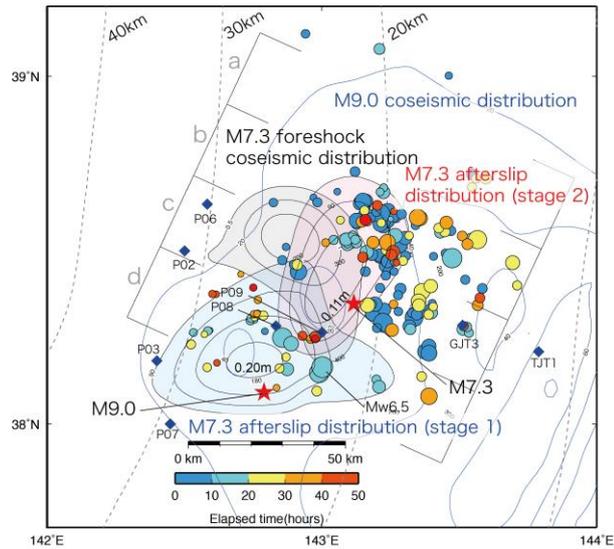


図 3-9-②-4 2011 年 3 月 9 日三陸沖地震 (2011 年東北地方太平洋沖地震の最大前震) の地震時すべりおよび地震後余効すべり分布。灰色で塗りつぶしたコンターが地震時すべりを示し、薄青色で塗りつぶしたコンターが前震発生から、前震の最大余震である M6.5 の地震までの余効すべり、桃色コンターが M6.5 の余震から東北地方太平洋沖地震本震までの余効すべりを示す。青色コンターは海陸測地データから推定された東北地方太平洋沖地震時の地震時すべり分布 (Inuma et al., 2012)。色付きの丸印は前震から本震の間の余震活動を、前震からの経過時間で色付けして示す。

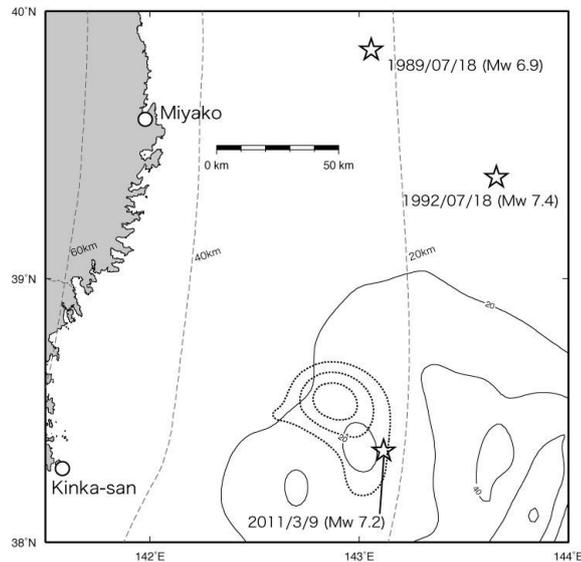


図 3-9-②-5 1989 年、1992 年、および 2011 年の各三陸沖地震の震央位置を示す。陸上の丸印は解析に用いた宮古観測点(4成分伸縮計)および金華山観測点(体積ひずみ計)の位置を示す。図中の破線コンターは 2011 年三陸沖地震の地震時すべり分布 (Ohta et al., 2012)を、実線コンターは 2011 年東北地方太平洋沖地震の地震時すべり分布 (Inuma et al., 2012)をそれぞれ示す。

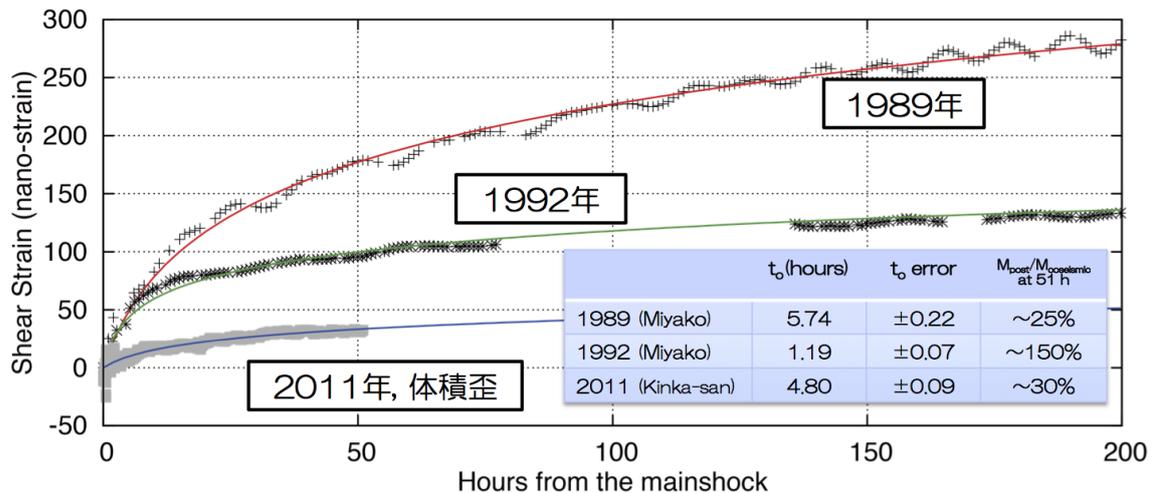


図 3-9-②-6 1989 年、1992 年、2011 年の各三陸沖イベントにおける地震後余効変動時系列を示す。各時系列にはすべり速度・状態依存摩擦構成則に基づく対数関数を当てはめ、得られた時定数( $t_0$ )およびその推定誤差を図中の表に示した。また地震発生から 51 時間後時点におけるひずみ量と地震時に観測されたひずみ量の比も同表中に示す。

(d) 結論ならびに今後の課題

平成 26 年度は、東北地方の海陸地殻変動観測・地震データを用いて、2011 年東北地方太平洋沖の発生以前および以降に発生したプレート間固着強度の時空間ゆらぎの予測実験を継続して進めた。2011 年東北地方太平洋沖地震前後のプレート境界における小地震の時空間変化を詳細に明らかにした。また、2011 年 3 月 9 日に発生した 2011 年東北地方太平洋沖地震前の最大前震について、その地震後余効変動の解析をより詳細に進め、最大前震の最大余震前後でその余効すべりパターンが変化したことを明らかにした。さらに同地域で過去に発生した 1989 年、1992 年の三陸沖地震について、伸縮計記録および体積ひずみ計記録を精査し、その地震後余効すべりが比較的短い時間に大きなモーメント解放をしたことを見出した。

このように東北地方太平洋沖地震前後のプレート間固着強度の時空間ゆらぎ等に関する諸情報の整理は進みつつあり、今後も継続して諸情報の精緻な分析を継続する。一方で 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴って、東北地方等の内陸では誘発地震等が発生している。プレート境界型地震発生後の内陸における地殻応答を知ることは、両者の相互作用を理解する上で極めて重要な課題である。こうした相互作用を考えることは、将来発生が予測されている南海トラフにおける巨大地震後の内陸における地震発生ポテンシャルを評価する上でも極めて重要であり、次年度以降、解析を進める必要があると考える。

(e) 引用文献

- 1) Kato, A., and T. Igarashi, Regional extent of the large coseismic slip zone of the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki earthquake delineated by on-fault aftershocks, Geophys. Res.

- Lett., 39, L15301, doi:10.1029/2012GL052220, 2012.
- 2) 中村航, テンプレート地震を用いた東北日本弧における発震機構の時空間変化の推定, 東北大学修士論文, pp.173, 2013.
  - 3) Ohta, Y., R. Hino, D. Inazu, M. Ohzono, Y. Ito, M. Mishina, T. Iinuma, J. Nakajima, Y. Osada, K. Suzuki, H. Fujimoto, K. Tachibana, T. Demachi, & S. Miura, Geodetic constraints on afterslip characteristics following the March 9, 2011, Sanriku-oki earthquake, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L16304, doi:10.1029/2012GL052430, 2012.
  - 4) Hino, R., D. Inazu, Y. Ohta, Y. Ito, S. Suzuki, T. Iinuma, Y. Osada, M. Kido, H. Fujimoto, and Y. Kaneda, Was the 2011 Tohoku-Oki earthquake preceded by aseismic preslip? Examination of seafloor vertical deformation data near the epicenter, *Mar. Geophys. Res.*, 35, 181-1990, doi:10.1007/s11001-013-9208-2, 2014.
  - 5) Iinuma, T., R. Hino, M. Kido, D. Inazu, Y. Osada, Y. Ito, M. Ohzono, H. Tsushima, S. Suzuki, H. Fujimoto, & S. Miura, Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M9.0) refined by means of seafloor geodetic data, *J. Geophys. Res.*, 117, B07409, doi:10.1029/2012JB009186, 2012.
  - 6) Ide, S., G. C. Beroza, D. R. Shelly, and T. Uchide, A scaling law for slow earthquakes., *Nature*, 447(7140), 76-9, doi:10.1038/nature05780, 2007.
  - 7) Uchida, N., A. Hasegawa, T. Matsuzawa, and T. Igarashi, Pre- and post-seismic slow slip on the plate boundary off Sanriku, NE Japan associated with three interplate earthquakes as estimated from small repeating earthquake data, *Tectonophysics*, 385, 1-15, 2004

### ③予測システムの検証・予測試行実験

#### (a) 業務の要約

豊後水道スロースリップイベントや 2011 年東北地方太平洋沖地震前後のゆっくりすべりに対する予測の試行実験に向けて、観測データのモニタリングと、シミュレーションデータベースの源となるモデルの構築を行った。モデル構築は、シミュレーションによるこれらの現象の再現性や、予測精度向上のための課題を把握するために、地震発生サイクルの数値シミュレーションを行った。南海トラフ地域で用いているものと同様の仮定に基づくモデルを用いて、日本海溝地域において昨年度に引き続きモデルの改良を行い、2011 年東北地方太平洋沖地震前後の観測を、定量的に再現できることが分かった。両地域のモデルにおける課題も明確になった。さらに、1854 年安政東海地震による駿河湾沿岸の地殻変動について既存研究を基にコンパイルした。このような過去の地震の地殻変動と比較するために、動的地震発生シミュレーション手法の高度化を行った。さらに、国内外の学会に参加し、2011 年東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動やゆっくりすべりの観測事例、発生機構に関する海外の研究動向の情報収集を行った。

(b) 業務の実施方法

1) 地殻変動観測データベースのモニタリング

昨年度構築した観測データベースを引き続き最新データを加えて更新し、GEONETの地殻変動データの整理と可視化によるモニタリングを行う。

2) 日本海溝地域の地震発生サイクルシミュレーション

地球シミュレータを用いた地震発生サイクルのフォワード計算を行い、プレート間固着強度の時空間ゆらぎの同化の模擬テストを行うために必要な、シミュレーションデータベースを構築する。フォワード計算では、プレート境界で発生する地震の繰り返しを、プレート相対運動からのずれの蓄積と解放過程としてモデル化する (e.g., Rice, 1993)。準動的仮定に基づくプレートの相対運動に起因するすべりによって生じるせん断応力と、強度の変化に伴うすべりの時空間変化を計算する。プレート境界面の摩擦は、すべり速度・状態依存摩擦則(Dieterich, 1979)に従うと仮定し、断層の構成則は Nakatani (2001)に従うと仮定した。強度の時間発展則には、slowness (aging) law (Dieterich, 1979; Ruina, 1983)を用いた。地震波の放射によるエネルギーの減衰を準動的に近似する項 (ダンピング係数) は、これまでよりも約3分の1小さい値を仮定した (Thomas et al., 2014)。摩擦パラメタ  $A(=a\sigma)$ 、 $B(=b\sigma)$ 、 $L$  (特徴的すべり量) について様々な空間分布を仮定して、フォワード計算を行った。モデル領域は、2011年東北地方太平洋沖地震前後を対象とした日本海溝地域 (宮城県沖-茨城県沖) である。

3) 1854年安政東海地震による駿河湾沿岸の地殻変動

過去の史料や既存研究を基にコンパイルする。

(c) 業務の成果

1) 地殻変動観測データベースのモニタリング

昨年度構築した地殻変動観測データベースのモニタリングを継続し、豊後水道スロースリップイベントが発生したことを早い段階で確認できた (図3-9-③-1)。

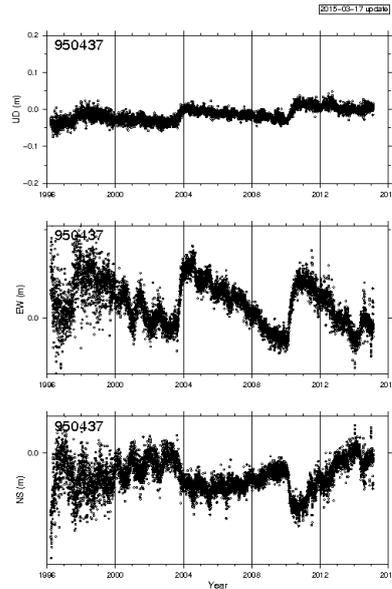


図 3-9-③-1 豊後水道周辺の GEONET 御荘観測点における上下動・東西・南北成分。2014 年の夏ごろから、それまでと反対方向（2003 年や 2010 年スロースリップイベント発生時と同じ方向）の変動が確認できる。

## 2) 日本海溝地域の地震発生サイクルシミュレーション

日本海溝地域について、図 3-9-③-2 に示した摩擦パラメータ分布を仮定して計算を行ったところ、M9 地震（本震）の 5.6 年前に宮城県沖地震（Mw7.2）が発生し、その後浅部でスロースリップイベントが発生し、そのすべりが伝播して、本震の 51 日前に Mw7.4 の地震（前震）が発生した。さらに、その余効すべりが伝播し、Mw9.1 の地震（本震）をトリガーする、というシナリオが得られた（図 3-9-③-3）。ダンプ係数をこれまでよりも小さくすることで、本震時の破壊伝播の速度が速くなり、本震時のすべりが宮城県沖深部へ伝播するのに要する時間が短くなり、より観測値に近づいた（図 3-9-③-4）。このシナリオは、本震前の宮城県沖地震の繰り返し、本震の規模や再来間隔、本震時の宮城県沖での挙動、宮城県沖深部における余効すべり量に関しては観測された事象を定量的に再現していると言える。しかし、スロースリップイベントの継続期間やすべり域、および前震と本震との時間差については、観測値との差がまだ大きい。また、茨城県沖浅部（モデル南東端）での余効すべり量がかかなり大きくなっており、観測と矛盾する。これは、茨城県沖や福島県沖で繰り返す M7 前後の地震をモデルに入れていないためであると思われる。このシナリオでは、M9 地震発生後、これまでの宮城県沖地震の繰り返し間隔よりも短い間隔で、次の宮城県沖地震が発生していた。さらに、複数のパラメータセットで同程度の再現性を示すシナリオが得られ、そのすべてで、本震後の宮城県沖地震発生に関して同様の傾向を示していた。

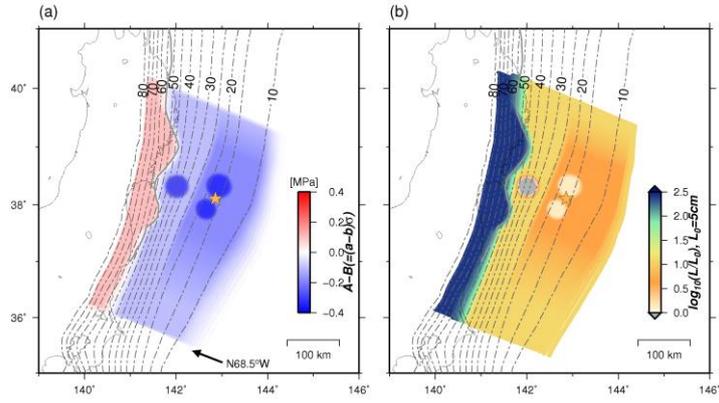


図 3-9-③-2 日本海溝地域のモデルで仮定した摩擦パラメータ分布。橙の星は 2011 年東北地方太平洋沖地震の震央を示す。

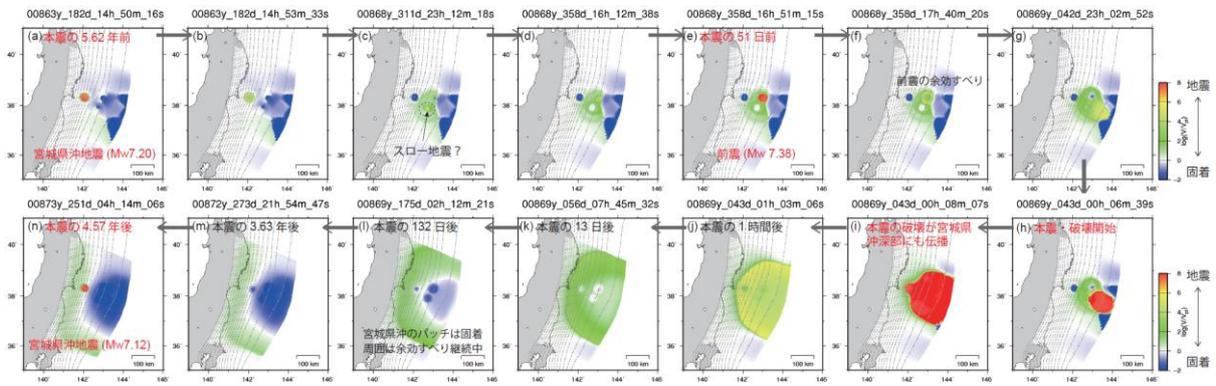


図 3-9-③-3 すべり速度分布のスナップショット。

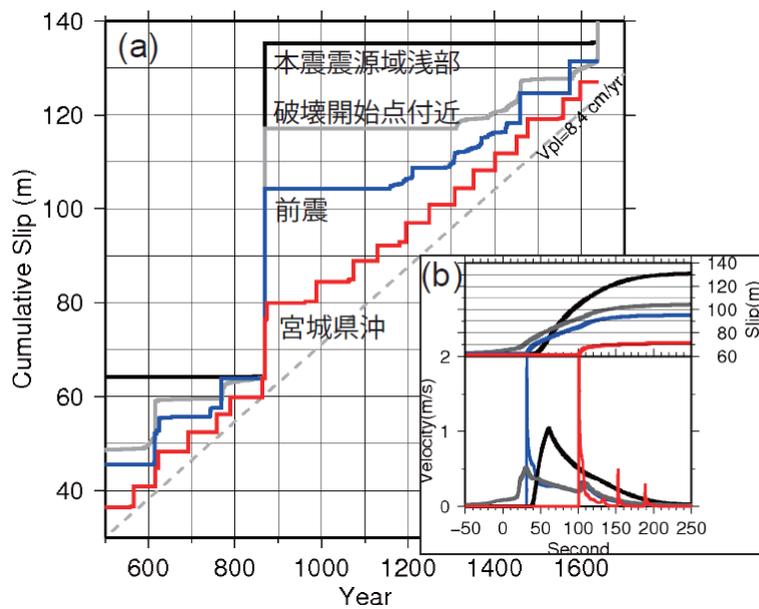


図 3-9-③-4 (a)累積すべりの時間変化。(b)本震時のすべり速度と累積すべりの時間変化。

### 3)1854年安政東海地震による駿河湾沿岸の地殻変動

歴代の東海・東南海地震の中でも、1854年安政東海地震は駿河湾奥まで破壊したことが知られている (Ishibashi, 1981; 相田, 1981)。同地震により駿河湾西岸が隆起したことが主な論拠となっている。例えば、明治26年～27年(1893年～1894年)に静岡県知事が東京大学総長宛に回答した安政東海地震の通信調査の報告書(羽鳥, 1976)に記録された、地震により海底が浅くなって船が入港できない、などといった海面を基準にした描写により、駿河湾西岸で0.9 m～3 m程度の隆起があったことが推定されている(石橋, 1984)。

ところで、駿河湾奥以北には富士川河口断層帯が存在し、安政東海地震時において同断層帯が活動したことが指摘されている(羽田野, 1977)。その理由の一つとして、静岡市清水区の蒲原地震山や富士市の松岡地震山(図3-9-③-5)が挙げられる(たとえば、大森, 1920; 羽田野, 1977)。これらの地域は陸域のため、海面に対する相対変動を用いた隆起量推定ができないが、蒲原地震山では周囲に比べ2～3 m地盤が高まっている(恒石・塩坂, 1981)。

ただし、『新収日本地震史料第5巻別巻5-1』(東京大学地震研究所, 1987)に所収された『富士市史 上』の中にある『乍恐以書付奉歎願上候』には「川ヨリ西側ハ木嶋村下ヨリ蒲原前迄惣テ高ク相成」という記録が残されている。恒石・塩坂(1981)が指摘したように、安政東海地震による隆起は地震山に代表される限定的な変形というよりはむしろ比較的広範囲で隆起が生じたと推定される。



図3-9-③-5 羽田野（1977）および恒石・塩坂（1981）を基にした蒲原地震山、松岡地震山、および木島の位置図。産業技術総合研究所活断層データベース（基図は地理院地図）に加筆。

(d) 結論ならびに今後の課題

地殻変動の観測データベースをモニタリングし、豊後水道のスロースリップイベント発生が現システムで確認できた。観測点同士の比較をしやすいするためにシステムの改善が必要である。シミュレーションデータベース構築に向けて、日本海溝地域において、地震発生サイクルの数値シミュレーションを行った。日本海溝地域については、2011年東北地方太平洋沖地震の前後に観測された、宮城県沖地震発生から本震に至る過程が、複数のパラメタセットで定量的に再現できた。その結果、次の宮城県沖地震が、これまでの再来間隔よりも短い間隔で起きる可能性を示唆していた。福島県沖・茨城県沖で発生している M7 前後の地震もモデルに入れて、余効すべり分布を観測に近づけることが、予測精度の向上に向けた今後の課題である。また、観測に基づく知見と整合するモデルを得るために、パラメタ探索範囲を広げて、摩擦パラメタのチューニングを行うことが必要である。1854年安政東海地震については、過去の史料や富士川の洪水に関する記録を調査することで、隆起の範囲や隆起量をより具体的に推定できないか検討する予定である。また、このような地殻変動量を再現するような震源断層モデルを検討する。

(e) 引用文献

- 1) Dieterich, J. H., Modeling of rock friction, 1. Experimental results and constitutive equations, *J. Geophys. Res.*, 84, B5, 2161-2168, 1979.
- 2) Nakatani, M., Conceptual and physical clarification of rate and state friction: Frictional sliding as a thermally activated rheology, *J. Geophys. Res.*, 106(B7), 13347-13380, 2001.
- 3) Rice, J. R., Spatio-temporal complexity of slip on a fault, *J. Geophys. Res.*, 98 (B6), 9885-9907, 1993.
- 4) Ruina, A., Slip instability and state variable friction laws, *J. Geophys. Res.* 88(B12), 10359-10370, 1983.
- 5) Thomas, M. Y., N. Lapusta, H. Noda, and J.-P. Avouac, Quasi-dynamic versus fully dynamic simulations of earthquakes and aseismic slip with and without enhanced coseismic weakening, *J. Geophys. Res.* 19, 1986–2004, doi:10.1002/2013JB010615, 2014.
- 6) 相田 勇, 東海道沖におこった歴史津波の数値実験, 東京大学地震研究所彙報, 56, 367-390, 1981.
- 7) 羽田野誠一, 大宮・入山瀬断層と蒲原地震山の読図と判読, 地図, 15, 40-41, 1977.
- 8) 羽鳥徳太郎, 安政地震 (1854 年 12 月 23 日) における東海地方の津波・地殻変動の記録—明治 25 年静岡県下 26 カ町村役場の地震報告から—, 東京大学地震研究所彙報, 51, 13-28, 1976.
- 9) Ishibashi, K., Specification of a soon-to-occur seismic faulting in the Tokai district, central Japan, based upon seismotectonics, *Earthquake prediction – An interenational review, Maurice Ewing Series 4*, 297-332, 1981.
- 10) 石橋克彦, 駿河湾地域の地震時地殻上下変動, 第四紀研究, 23, 105-110, 1984.
- 11) 大森房吉, 本邦大地震概表, 震災予防調査会報告, 88, 乙, 1-61, 1920.
- 12) 恒石幸正, 塩坂邦雄, 富士川断層と東海地震, 応用地質, 22, 52-66, 1981.
- 13) 東京大学地震研究所, 新収日本地震史料, 5 別巻 5-1, pp. 1438, 1987.

④余効すべり・過去のゆっくりすべり同化手法の開発

(a) 業務の要約

(1) 余効すべりのデータ同化手法の開発

平成 25 年度に引き続き、Miyazaki et al. (2004) による 2003 年十勝沖地震の余効すべり速度をデータとして、平成 25 年度に開発したアジョイント法により、余効すべり域における摩擦パラメータ分布および初期値を推定し、速度・状態依存の摩擦則および発展則としてスローネス則 (Dieterich,1979) を仮定した場合の摩擦パラメータ、A-B、A、L は 10kPa、10kPa、10mm のオーダー値を得た。

(2) 粘弾性緩和を考慮した余効すべり推定手法の開発

弾性応答のみならず粘弾性緩和を考慮した粘弾性すべり応答関数を用いた、地震時すべりおよび余効すべりを推定する手法を開発し、2011 年東北地方太平洋沖地震時お

よび地震後 2 年半の間に得られた海陸 GPS 時系列データに適用し、地震時および 2.5 年の間の余効すべりを推定した (Yamagiwa et al., 2015)。

### (3) 八重山スロースリップのデータ同化

平成 25 年度に引き続き、南西諸島八重山地域で繰り返し発生しているスロースリップ域での摩擦パラメータのデータ同化手法開発を行なった。今年度は、特に、アンサンブルカルマンフィルタを用いて逐次データ同化する手法の開発を行った。具体的には、速度・状態依存の摩擦則に基づく、スロースリップ発生モデルから模擬すべり速度データを作成し、摩擦パラメータの推定実験を行った。

### (4) GNSS(GPS)によるスロースリップイベント (SSE) 検出手法の開発

AIC を用いて GPS の時系列データのオフセットを自動検出し、スロースリップイベント (SSE) を検出する手法 (Nishimura et al., 2013) を用いて、南西諸島における短期的 SSE の検出を行った (Nishimura, 2014)。

## (b) 業務の実施方法

### (1) 余効すべりのデータ同化手法の開発

2003 年十勝沖地震の GPS 余効変動データから推定された震源周辺域における余効すべり速度 (Miyazaki et al., 2004) をデータとして、平成 25 年度に報告したアジョイント法によるデータ同化により、摩擦パラメータを推定した。その際、余効すべり域の分割方法を少し変え、9 領域に分割した(図 3-9-④-1)。各領域では摩擦パラメータが一定として、各領域における速度・状態依存の摩擦パラメータ A-B、A、L を推定した。

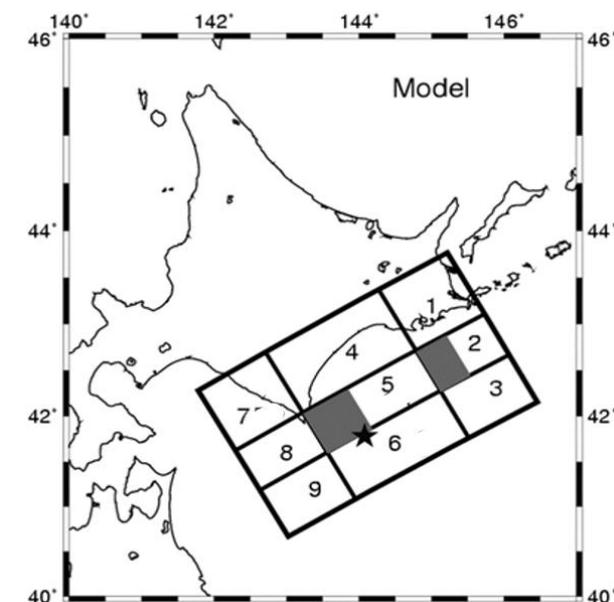


図 3-9-④-1 2003 年十勝沖地震余効すべり域の領域分割 (1-9)。2つの灰色の矩形領域は 2003 年十勝沖地震の地震時すべり域、および 2004 年釧路沖地震地震時

すべり域を示す。星印は 2003 年十勝沖地震の震央を表す。

## (2) 粘弾性緩和を考慮した余効すべり推定手法の開発

間隙流体の移動による変動を無視すると、地震時および地震後の余効変動は、地震時すべりおよび余効すべりへの弾性応答に加え、地震時および余効すべりへの粘弾性緩和により表される。地表  $\mathbf{x}$  での時刻  $t$  における地震時・余効変動  $i$  成分  $d_i$  は、粘弾性すべり応答関数と断層でのすべり速度の履歴積分

$$d_i(\mathbf{x}, t) = \int_{-\infty}^t \int_F G_{ij}(\mathbf{x} - \boldsymbol{\zeta}, t - \tau) v_j(\boldsymbol{\zeta}, \tau) d\boldsymbol{\zeta} d\tau \quad (1)$$

の形で表される（例えば、Fukahata and Matsu'ura (2006)）。ここで、 $G_{ij}$  は震源域  $\boldsymbol{\zeta}$  における  $j$  方向の単位すべりによる地表  $\mathbf{x}$  での変位  $i$  成分を表し、すべり応答関数と呼ばれる。また  $v_j$  は震源域  $\boldsymbol{\zeta}$  におけるすべり速度の  $j$  成分、 $F$  は震源域にわたる積分領域を表す。この震源領域  $F$  を小断層に分割、式 (1) の面積分を離散化し、各小断層域での地震時および余効すべりを地表地殻変動データから最小二乗法を用いて推定する。この際、空間的滑らかさを導入して、ABIC を用いて安定した解を得る、粘弾性緩和を考慮した地震時すべりおよび余効すべりの推定手法の開発を行なった。多くの解析では、余効変動から地震時すべりによる粘弾性緩和を差し引き、弾性解析を行って余効すべりを求めているが、本解析では式 (1) に従う観測方程式を用い、余効すべりによる粘弾性緩和も考慮されているのが特徴である。

粘弾性すべり応答関数は、弾性・マックスウェル粘弾性の 2 成層構造モデルを仮定し、Fukahata and Matsu'ura (2006) のコードにより計算を行った。この際、弾性層は厚さ 50km、剛性率 30GPa、粘弾性層の剛性率 90GPa、粘性率  $9.0 \times 10^{18} \text{Pa} \cdot \text{s}$  の値を用いている。データは、陸域 GPS 観測および海域における GPS/音響観測により得られた、地震時変位と 2011 年 3 月 30 日～2013 年 9 月 10 日までの地震後 2.5 年間の時系列データである。図 3-9-④-2 に余効変動データ（水平・上下動）分布を示す。陸域では地震時変動と同じ東向きの変動が見られるのに対し、大きな地震時すべりが観測された直上の海域 GPS/音響観測点 KAMS、MYGI では逆の西向き余効変動が見られる。

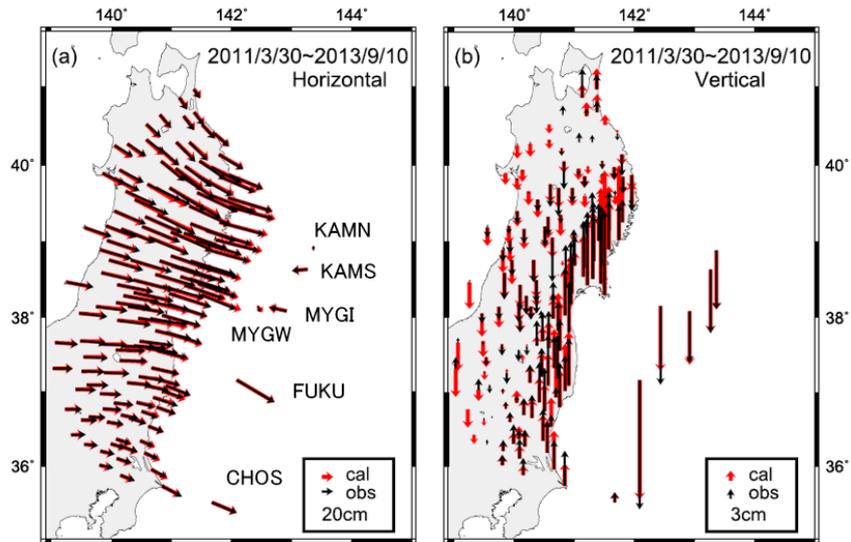


図 3-9-④-2 陸域 GPS 観測、海域 GPS/音響観測により得られた 2011 年 3 月 30 日～2013 年 9 月 10 日までの余効変動分布。左図は水平、右図は上下変動を示す。黒いベクトルは観測値、赤いベクトルは、推定されたモデルでの計算値を示す。KAMN～CHOS は海域における観測点名を表す。

### (3) 八重山スロースリップのデータ同化

まず、平成 25 年度に作成した、摩擦パラメータモデル (図 3-9-④-3 左図: 100x80km の矩形領域で、摩擦パラメータ  $A=50\text{kPa}$ 、 $L=2.5\text{mm}$  とし、その中の半径約 30km の円形パッチの内部で  $B=57.5\text{KPa}$  とし、 $A \cdot B < 0$  の速度弱化摩擦特性で条件付安定すべり特性を与え、外側は  $B=44\text{kPa}$  とし速度強化摩擦特性とした)、観測されているように約半年で繰り返しているスロースリップ (図 3-9-④-3 右図) を計算し、模擬観測データを作成した。具体的には、この摩擦パラメータおよびある状態変数およびすべり速度の初期値から計算されるモデル領域内の各セル内でのすべり速度に 1% の誤差を加え模擬観測値時系列とした。この模擬観測値をデータとして、逐次データ同化手法の一つであるアンサンブルカルマンフィルタ (例えば、中村 (2011) 参照) により、摩擦パラメータおよび初期値が設定した値に求まるかどうか検討した。

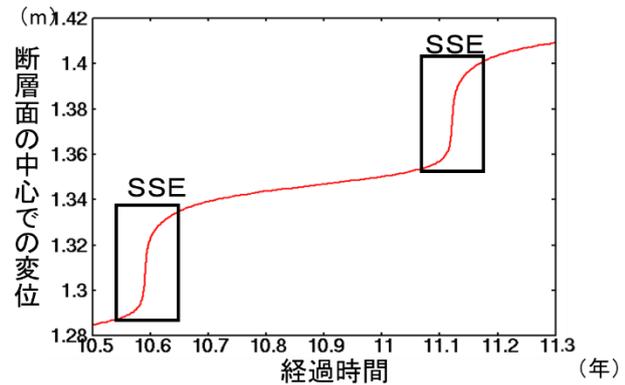
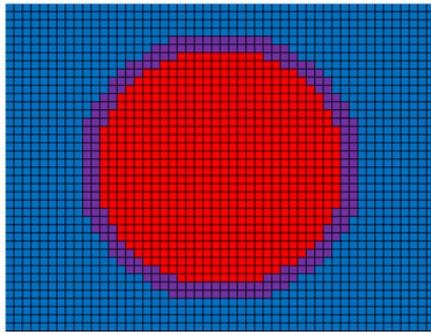


図 3-9-④-3 八重山スロースリップの摩擦モデル（左図）と計算された断層中心での変位の時間変動（右図）。右図で赤は速度弱化 ( $A-B < 0$ )、青は速度強化 ( $A-B > 0$ ) 域を表す。矩形領域は  $100 \times 80 \text{ km}$  のサイズ、各小断層セルは  $2 \times 2 \text{ km}$  のサイズを持つ。

#### (4) GNSS(GPS)によるスロースリップイベント (SSE) 検出手法の開発

AIC を用いて GPS の時系列データのオフセットを自動検出し、スロースリップイベント (SSE) を検出する手法 (Nishimura et al., 2013) を用いて、南西諸島に展開されている GPS 観測点で期間 1997 年 1 月～2013 年 11 月の間に得られたデータを解析して、短期的 SSE の検出を試みた。

#### (c) 業務の成果

##### (1) 余効すべりのデータ同化手法の開発

図 3-9-④-4 に地震後 3 日毎の断層域での余効すべりの時間発展を比較して示す。上図は、Miyazaki et al. (2004) により推定された余効すべり速度分布を示し、本研究で観測値としたものである。中図は、アジョイント法で推定するとき、ある程度真値に近い適当な初期値および摩擦パラメータ値（これを背景値と呼ぶ）を必要とし、フォーワード計算で予め見当をつけておく必要があり、下図のアジョイント法で求める際に用いた初期値および背景値により求められた余効すべりの時間発展を示す。やや上図と異なっている。下図は、中図での初期値および背景値を用いて、アジョイント法により推定された初期値および摩擦パラメータで計算される余効すべりで上図に近づいていることが分かる。

上に述べたように、アジョイント法ではある初期値および背景値を元に時間発展させてデータと比較して、最初に用いた初期値と背景値を更新する手法であるが、パラメータ推定の解像度を図る目安がない。そこで、図 3-9-④-5 に  $A-B$ 、 $A$ 、 $L$  の 3 つの摩擦パラメータのうち 2 つを求めた値に固定し、一つのパラメータを動かしたときに、最小化すべきコスト関数がどのように変動するかを表した図を示す。 $A-B$ 、 $A$ 、 $L$  の値は およそ、 $10 \text{ kPa}$ 、 $10 \text{ kPa}$ 、 $10 \text{ mm}$  のオーダーの値にあることが分かる。

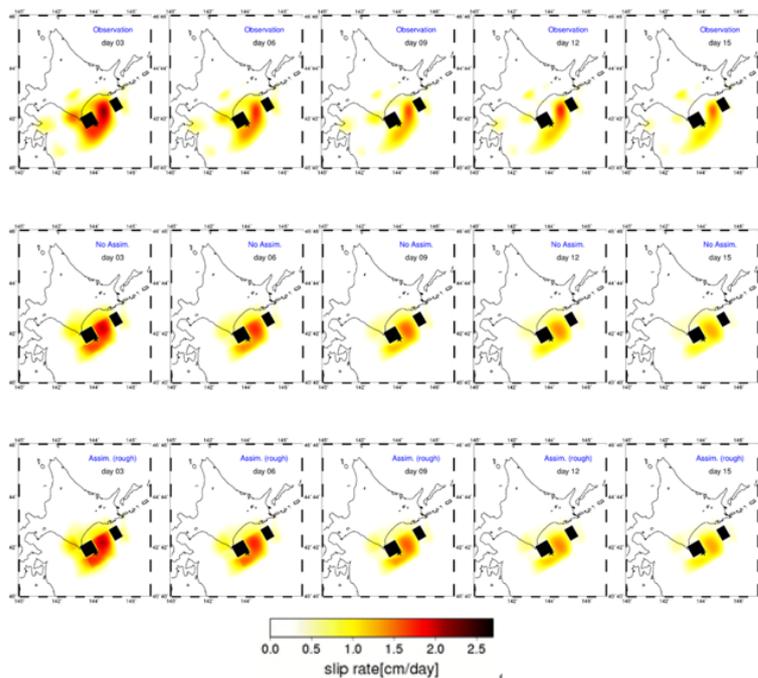


図 3-9-④-4 地震後 3 日間毎の余効すべりの時間発展の比較。上図：観測値 (Miyazaki et al. (2004) による)。中図：ある初期値および背景値を用いた場合の余効すべり。下図：中図の初期値および背景値からアジョイント法を用いて推定した初期値および摩擦パラメータによる余効すべり。

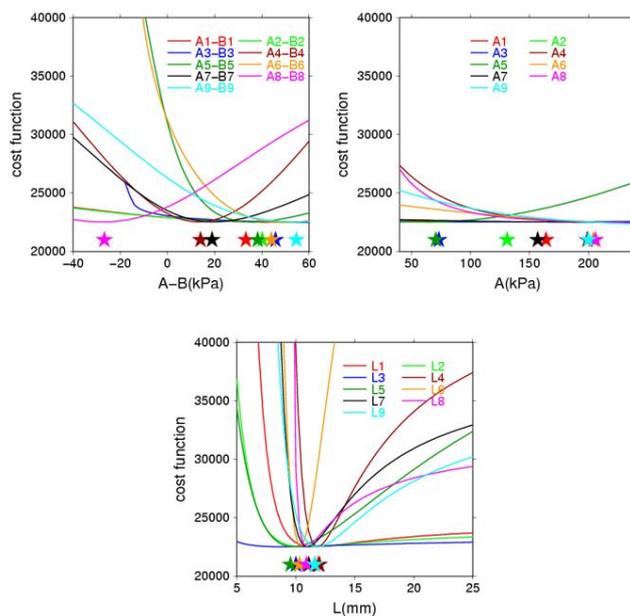


図 3-9-④-5 領域 1-9 の摩擦パラメータ A-B、A、L のうち 2 つを求めた推定値に固定して一つのパラメータを変えたときに最小化するコスト関数の値の変動を表す図。星印の位置は各色に対応する領域の摩擦パラメータについてコスト関数が最小値となる推定値を示す。

(2) 粘弾性緩和を考慮した余効すべり推定手法の開発

図 3-9-④-6 に、推定された地震時すべりおよび地震後 2.5 年間の余効すべり分布を示す。余効すべりは地震時すべりの大きな領域の周辺で発生しており、相補的な分布となっている。図 3-9-④-6 のすべりは逆断層成分を正で表しており、余効すべりは地震時すべりと同じ逆断層すべりを示している。粘弾性緩和による変動を理解するために、図 3-9-④-7 に海底観測点 MYGI、MYGW を通る東西断面における地震時変動および地震後 2.5 年間における余効変動を示す。このように、地震時変動により粘弾性層に大きな下向きおよび西向き変動が生じ、MYGW 観測点では西向き変動をしていることが分かる。

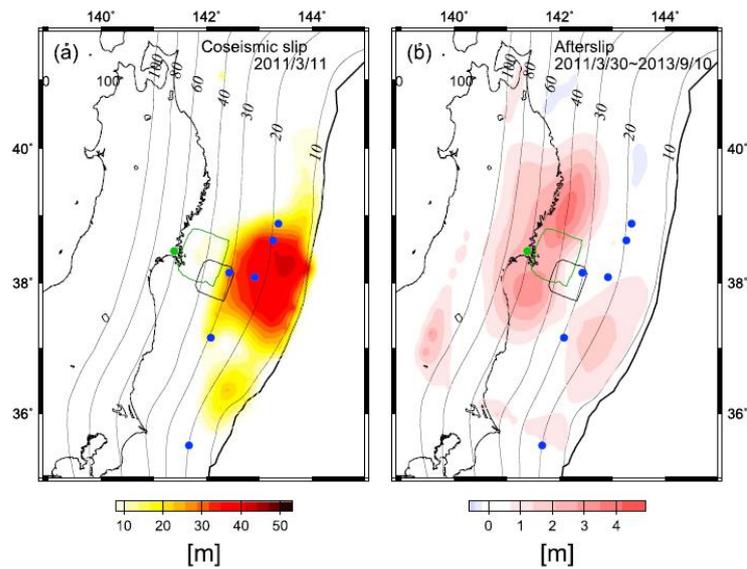


図 3-9-④-6 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の推定した地震時すべり (左図) と 2011 年 3 月 30 日~2013 年 9 月 10 日の間の推定余効すべり分布 (右図) (Yamagiwa et al., 2015)。青丸印は、海底 GPS/音響観測点を、コンターは沈む込む太平洋プレート境界面深さを表している。

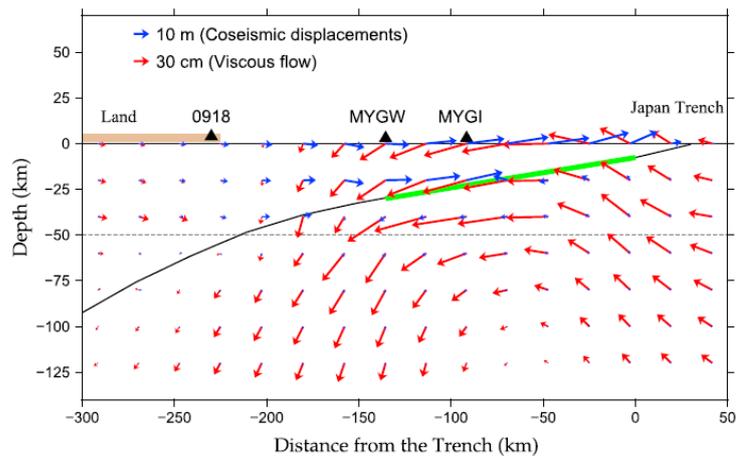


図 3-9-④-7 MYGI、MYGW を通る東西断面における地震時 (青ベクトル) および 2.5 年間の余効変動 (赤ベクトル) 分布。曲線は太平洋プレート境界面、緑は地震時すべりの大きな領域を表す。

(3) 八重山スロースリップのデータ同化

表 3-9-④-1 に、内外の A、B、L の背景値、真値、アンサンブルカルマンフィルタで推定された値を示す。図 3-9-④-8 上図には、時間ステップ毎に更新されていく、内外の摩擦パラメータ解析値の変動を示す。図 3-9-④-8 下図には、モデル中心におけるすべり速度の時系列で、24 時間毎にデータとした観測値（緑点）と更新解析値（赤線）を示す。スロースリップのすべり速度が速くなり始めるタイミング以降で、摩擦パラメータが大きく更新されていく様子が見える。

表 3-9-④-1 摩擦パラメータ値

	背景値	真値	解析値
A(kPa)	52.0	50.0	50.1
B(kPa)(外)	40.0	44.0	41.3
B(kPa)(内)	60.0	57.5	58.8
L(mm)	3.0	2.5	2.71

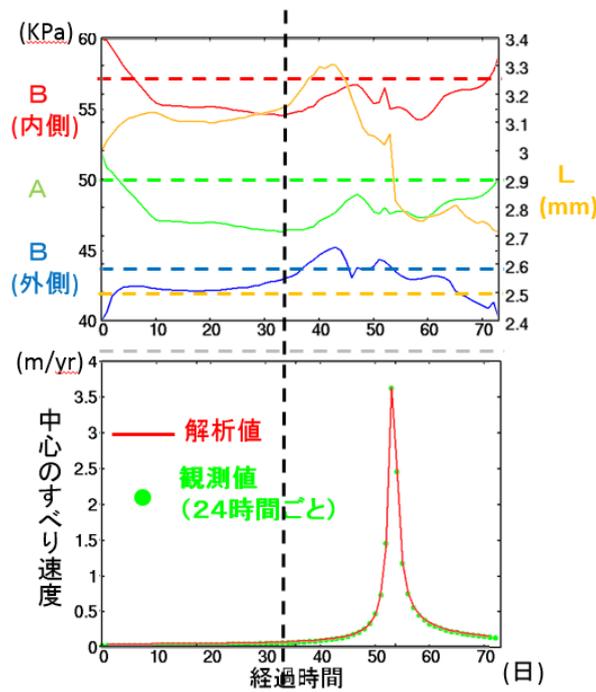


図 3-9-④-8 上図：内外の摩擦パラメータ A、B、L 時間ステップ毎に更新される時系列。実線が更新値、点線はモデルで与えた値（真値）を示す。下図：モデル中心におけるすべり速度の時系列。緑点は、24 時間毎にデータとした観測値、赤線は、更新解析値を示す。

(4) GNSS(GPS)によるスロースリップイベント (SSE) 検出手法の開発

GPS データの解析により、琉球海溝に沿う南西諸島域では、約 17 年間 (1997 年 1 月～2013 年 11 月) にマグニチュード 5.6～6.8 の SSE がおよそ 93～130 個検出された。

図3-9-④-9に、検出された短期的 SSE 断層モデル、累積すべり量、SSE 数を示す。検出された SSE は様々な繰り返し間隔、マグニチュード、継続時間を持ち、低周波地震や、低周波微動を伴わないのが特徴と言える。SSE の分布および発生数は不均質で、ほとんど深さ 10~60km で発生している。南海トラフ沿いでは深さ 20km 以浅の浅い SSE は全く検出されていないのに対し、琉球弧では SSE がしばしば浅い場所で検出されている。これは、浅い部分の固着状態の違いを表していると考えられる。深さ 20~40km で発生する短期的 SSE は四国西部から豊後水道を経て九州中部まで発生しているが、九州—パラオ海嶺が沈み込む辺りで見られなくなる。この四国西部から九州中部で発生する短期的 SSE は低周波地震や低周波微動を伴うが、これは琉球弧とは異なる特徴である。

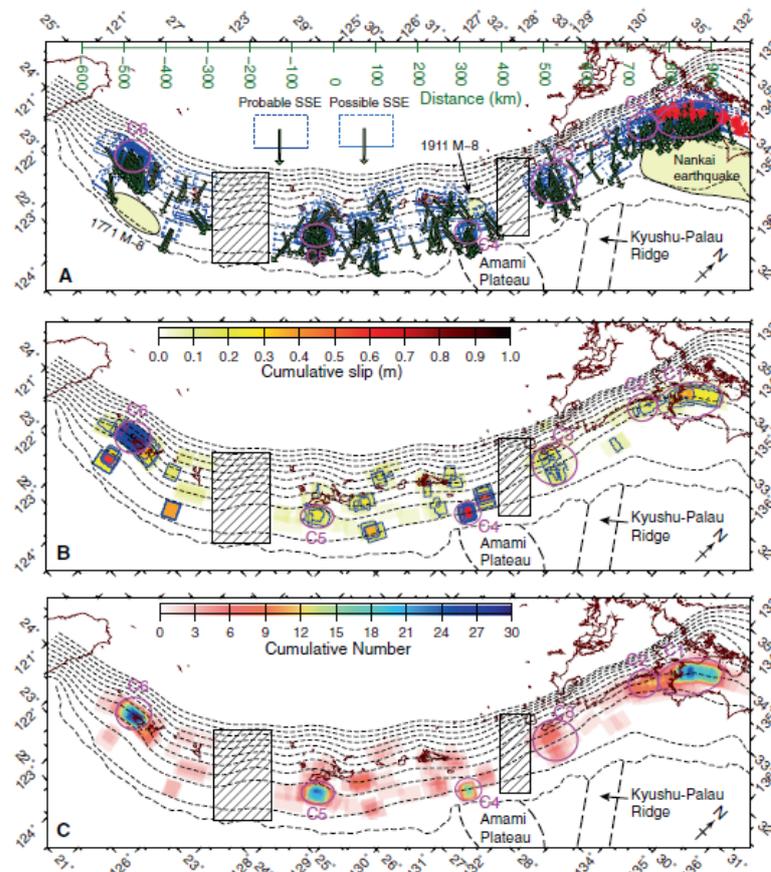


図3-9-④-9 約17年間の間に南西諸島で検出された短期的 SSE 断層モデル (Nishimura, 2014)。ハッチをつけた矩形領域は使用できるデータが少ないので解析領域から外している。(A) 推定した SSE の断層モデル 破線の矩形は推定断層 (実線は断層上端) を示し、緑色ベクトルは推定したすべりを示す。黄色領域は、過去および将来発生する地震の震源域を示す。(B) 短期的 SSE による累積すべり量 青線は 10cm 間隔での累積すべり量を表すコンターである。(C) 短期的 SSE の検出数。

- (d) 結論ならびに今後の課題
- (1) 余効すべりのデータ同化手法の開発

2003 年十勝沖地震の余効変動観測データから断層域でのすべり速度を推定した余効すべり速度 (Miyazaki et al., 2004) を観測値データとして、速度・状態依存の摩擦則に従う、余効すべりの時間発展を拘束条件に、アジョイント法により、領域分割された各震源域における初期すべり速度・状態変数および摩擦パラメータ A-B、A、L の値を推定した。

これまでの双子実験から、摩擦パラメータの決定には、余効すべりデータに加速および減速フェイズが含まれている必要があることが分かっているが、現状のデータでは加速フェイズが含まれていないものが多い。地震直後のデータを含める工夫や、領域を細分化して分解能を上げる工夫が必要であろう。

#### (2) 粘弾性緩和を考慮した余効すべり推定手法の開発

粘弾性緩和を考慮した、地震時および余効すべりを推定する手法を開発した。弾性・粘弾性層から成る 2 成層構造モデルですべり応答関数を作成し、2011 年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の地震時および 2.5 年間の余効すべりの時間発展を推定した。推定された地震時および余効すべり分布は相補的となり住み分けていることが分かった。

現状では、地震時すべりは、地震時変位データのみを用いて推定しており、海域の観測は地震後約 20 日になされており、海域における地震時変位データは外挿している。式 (1) に従って、地震時と余効すべりの同時推定を行う必要がある。また、3 次元粘弾性構造モデルによるすべり応答関数を用いた逆解析を考える必要がある。

#### (3) 八重山スロースリップのデータ同化

八重山スロースリップを再現する摩擦モデルを作成し、断層面上でのすべり発展を計算しノイズを加えて、模擬すべり観測データを計算し、これをデータとして、逐次データ同化の一手法であるアンサンブルカルマンフィルタを用いて、摩擦パラメータの推定実験を行った。スロースリップ発生時に摩擦パラメータ解析値の大きな更新がなされることが分かった。まだ自由度が低いモデルであるが、多自由度のモデルを扱えるように、階層型行列法の適用を図りサイクル計算の省メモリ化・高速化工夫が必要であろう。

#### (4) GNSS(GPS)によるスロースリップイベント (SSE) 検出手法の開発

GNSS (GPS) データの解析により、南西諸島における SSE の検出を行った。四国西部から九州中部にかけての南海トラフ沿いでは深さ 20km より浅部では SSE が発生していないが、南西諸島では深さ 10~60km の範囲で発生していることが分かり、浅部の固着状態に違いがあることが分かった。このように本手法は、南海トラフと琉球海溝におけるプレートの固着状態および巨大地震発生の可能性を探る上で、非常に有効な手法である。今後も継続して SSE 発生状態をモニタリングしていく必要がある。高密度 GPS 観測網が必要であるが、今後は海外の沈み込み帯でのデータ解析が可能かもしれない。

(e) 引用文献

- 1) Dieterich, J. H., Modeling of rock friction: 1. Experimental results and constitutive equations, *J. Geophys. Res.*, 84, 2161-2168, 1979.
- 2) Fukahata, Y., and M. Matsu'ura, Quasi-static internal deformation due to a dislocation source in a multilayered elastic/viscoelastic half-space and an equivalence theorem, *Geophys. J. Int.*, 166, 418-434, doi:10.1111/j.1365-246X.2006.02921.x, 2006.
- 3) Miyazaki, S., P. Segall, J. Fukuda, and T. Kato, Space time distribution of afterslip following the 2003 Tokachi-oki earthquake: Implications for variations in fault zone frictional properties, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L06623, doi:10.1029/2003 GL019410, 2004.
- 4) 中村和幸、データ同化入門（樋口知之編）、5章アンサンブルカルマンフィルタ、pp.78-100、朝倉書店、2011.
- 5) Nishimura, T., Short-term slow slip events along the Ryukyu Trench, southwestern Japan, observed by continuous GNSS, *Progress in Earth and Planetary Science*, 1.1, 1-13, 2014.
- 6) Nishimura, T., Matsuzawa, T., and Obara, K., Detection of short-term slow slip events along the Nankai Trough, southwest Japan, using GNSS data. *J. Geophys. Res.*, 118, 3112-3125, 2013.
- 7) Yamagiwa, S., S. Miyazaki, K. Hirahara, and Y. Fukahata, Afterslip and viscoelastic relaxation following the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw9.0) inferred from inland GPS and seafloor GPS/Acoustic data, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 66-73, doi:10.1002/2014GL061735, 2015

**(3) 平成 27 年度業務計画案**

西南日本のプレート間カップリングの時空間変化を推定する手法の高度化のために、3次元有限要素法を用いた Green 関数の構築を行う。この Green 関数を用いて、プレート間カップリングの時空間変化を推定する。また、横当島での GNSS 観測を継続することで、奄美大島近郊の海溝軸に直交する地殻変動プロファイルを明らかにし、水準測定の測量結果を説明可能な地殻変動モデルを構築することで、奄美大島近郊のプレート間カップリングの推定を行う。

平成 26 年度に引き続き、東北地方の海陸地殻変動観測のデータを用いて、2011 年東北地方太平洋沖地震の発生前後に起こった、プレート間固着強度の時空間ゆらぎ（余効すべりを含むゆっくりすべりイベント、前震活動、余震活動）や内陸における地殻応答等に関する観測データの整理を進める。さらに観測データをシミュレーションデータベースと比較し、データ同化実験に取り込むための手法開発を継続する。さらに、ゆっくりすべりの観測事例や発生機構に関する海外の研究動向の情報収集を実施する。

引き続き、余効すべり・スロースリップのデータ同化手法開発を継続し、2003 年十勝沖地震および 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効すべりおよび八重山・豊後水道スロースリップをデータとして摩擦パラメータを推定する手法を開発する。

### 3.10 震源モデル構築・シナリオ研究

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 「震源モデル構築・シナリオ研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
東京大学情報学環 総合防災情報センター	教授 特任助教	古村孝志 原田智也
東京大学地震研究所 巨大地震津波災害予測研究センター	准教授	市村強
京都大学 大学院理学研究科	教授	平原和朗
名古屋大学大学院 環境学研究科	准教授	橋本千尋
独立行政法人防災科学技術研究所	総括主任研究員	福山英一
独立行政法人海洋研究開発機構	主任研究員	堀高峰
独立行政法人産業技術総合研究所	研究員	安藤亮輔
京都大学 防災研究所	教授 准教授 助教	岩田知孝 関口春子 浅野公之
東北大学 災害科学国際研究所	教授 助教	今村文彦 今井健太郎
関西大学 社会安全学部	教授	高橋智幸

(c) 業務の目的

南海トラフの過去地震の震源再解析に加え、国内外を含む他の地震発生帯での巨大地震の震源解析、並びに地震発生シミュレーションの結果等を参考にして、南海トラフで発生する巨大地震の震源特性と連動様式の一般化（レシピ）を図る。また、津波堆積物や津波石の移動を考慮した津波シミュレーション法を開発し、周辺諸国を含めて古文書等の記録を集めることによりデータが少ない過去地震の震源過程を評価する。

強震動・津波シミュレーション法の大規模並列化を進め、高分解能・広帯域化するとともに、プレート詳細形状・物性モデルと高分解能地殻・堆積層モデルを結合した高分解能地下構造モデルを構築して、巨大地震シナリオの高度なハザード評価を行う。震源や地下構造モデルの不確定性と地震シナリオの不確実性（多様性）に伴う短周期強震動と長周期地震動の予測のバラツキを適切に評価し、防災に資する

ことのできる実用的なハザード評価を行う。南海トラフ地震と南西諸島海溝地震の連動可能性や、相模トラフの地震や日本海溝の地震との最大連動の可能性、こうした地震津波による広域津波について評価も行う。

(d) 8か年の年次実施業務の要約

平成 25～26 年度:

日本列島広域構造モデルを開発し、データに整合するようパラメータを推定した。過去の地震とその後の粘弾性応答を考慮した応力・強度分布の推定手法を構築した。津波に伴う土砂移動を評価できる津波浸水計算コードを開発した。プレート形状と3次元地殻・堆積層構造モデルを整備して、近年の大地震の強震動・長周期地震動生成メカニズムを検証するとともに、地震動・津波シミュレーションの高精度化・広帯域化を行った。

平成 27～28 年度:

広域構造モデルを大地震発生前後の内陸地震の活発化問題に適用する。高精度化・広帯域化した強震動・津波シミュレーションと、震度・地殻変動・津波データにより南海トラフの過去地震の震源過程を再評価するとともに、その結果を考慮した応力・強度分布推定結果にもとづく地震発生サイクルシミュレーションを行い、連動の多様性を含む地震発生シナリオを提案する。上記結果等を用いて南海トラフ地震の震源モデルのレシピ化を行い、平均及び最大クラスの震源モデルを明確化する。トラフ軸付近での地震発生域調査観測研究の結果を用いて、津波地震の発生と超巨大地震化可能性について、発生間隔（確率）を含めた現実的なハザード評価を行う。

平成 29～30 年度:

南西諸島海溝から南海トラフまでの3次元プレートモデルを構築して日本列島広域構造モデルを完成させるとともに、南西諸島海溝の巨大地震の震源モデルを構築する。また、本地域での観測データと強震動・津波シミュレーションに基づき地震津波ハザードを評価する。また、他課題の成果や本研究が提供するシナリオに対するフィードバックに基づいて地震発生シナリオを改訂する。粘弾性を考慮した構造モデルでのデータ同化手法を開発する。

平成 31～32 年度:

本研究により整備された地下構造モデルとシナリオに基づき、南海トラフ地震および西南諸島海溝地震による全国の地震津波ハザード評価を行う。南海トラフ地震と相模トラフ、日本海溝の地震との巨大連動や、西南諸島海溝地震との巨大連動の可能性と、これによる強震動と津波のハザード評価を行う。

(e) 平成 26 年度業務目的

平成 25 年度に引き続き、日本列島広域構造モデルの開発を進め、データに整合するようパラメータを推定する。過去の地震とその後の粘弾性応答を考慮した応力・強度分布の推定手法を構築する。津波に伴う土砂移動を評価できる津波浸水計算コードを継続

開発する。プレート形状と3次元地殻・堆積層構造モデルを整備して、近年の大地震の強震動・長周期地震動生成メカニズムを検証するとともに、地震動・津波シミュレーションの高精度化と広帯域化に向けた、シミュレーションモデルの改良を行う。

## (2) 平成 26 年度成果

### ①日本列島粘弾性モデル構築とその応用

#### (a) 業務の要約

震源シナリオ研究の高度化へ向けて、以下の研究を行った。i) 日本列島規模の大規模地殻・マントル構造モデルにおける弾性・粘弾性応答を解析できるように、昨年度開発した有限要素法コードを拡張した。ii) 既往研究成果を踏まえ、日本列島の3次元的不均質な地殻・マントル構造を考慮した日本列島広域3次元不均質構造1次モデルを構築した。これらを用いて、沈み込み帯における巨大地震に対する広域3次元不均質構造1次モデルの弾性・粘弾性地殻変動解析を行った。

#### (b) 業務の実施方法

本年度の業務の成果を、(a) 業務の要約に示した 1) 及び 2) にあわせて示す。

##### 1) 大規模地殻・マントル構造モデルにおける弾性・粘弾性応答解析手法の構築

海溝型巨大地震の地震後地殻変動は、アセノスフェアの粘弾性緩和に大きく影響を受けると考えられている。たとえば、東北地方太平洋沖地震後3年間の、本震震源域における海底地殻変動の観測結果は、粘弾性緩和の影響の存在を示唆している。いくつかの研究において、解析的なモデルや3次元有限要素法などを使って、粘弾性を考慮した地震後地殻変動のシミュレーションが行われてきた。一方、蓄積されてきた地殻・マントルの形状や物性のデータを用いて現実に近い地殻・マントル構造モデルを構築し、これを用いた3次元有限要素モデルを構築し、地殻変動シミュレーションを行うことは、計算コストの観点から難しいとされてきた(有限要素モデルの自由度のオーダーが $10^9$ - $10^{10}$ となるため)。そこで、まずハイパフォーマンスコンピューティングの技術に基づき、地殻・マントルの形状や物性のデータを詳細に再現した3次元有限要素モデルを構築し、これを用いた弾性・粘弾性応答解析が可能な手法を構築した。

弾性・粘弾性応答解析において、解析コストの大半は、 $10^9$ - $10^{10}$ 自由度の1次方程式の求解に費やされる。この解析コストは使用メモリ量も計算量も膨大であり、通常的手法、計算機環境では対応することが難しい。1億自由度程度の大規模地殻・マントル構造の有限要素モデルを対象とした弾性解析を行った研究として、共有メモリ計算機上で OpenMP 並列計算を用いた弾性地殻変動解析手法の開発があるが、本論文で目的としているような問題はさらに規模が大きいため、共有メモリ計算機単体で解析することは難しい。そのため、一般的な多数コアを持つ CPU ベースの分散メモリ計算機上での計算手法を開発することとした。具体的には、計算機メモリ量及び計算速度双方に配慮し、 $10^{2-4}$ 計算ノード程度の環境で $10^9$ - $10^{10}$ 自由度の有限要素モデルを $10^{3-4}$

回 24 時間程度で解くことを可能とする、分散メモリ計算機上における並列有限要素解析手法と並列計算用有限要素モデルの構築手法を開発した。開発した手法を、 $10^{3-4}$  個の CPU (京コンピュータ : Fujitsu SPARC64 VIIIfx 8 コア 2.0 GHz、16 GB メモリ) の計算機環境に実装し、OpenMP/MPI ハイブリッド並列計算を可能とした。

## 2) 日本列島 1 次モデルの構築及びこれを用いた地殻変動解析

日本列島ほぼ全域を含む  $2944 \times 2752 \times 850$  km の領域において粘弾性まで考慮した高詳細な 1 次モデルを構築した。モデル化対象領域を図 3-10-①-1 に、構築された 3 次元有限要素モデルを図 3-10-①-2 に示す。地表面の標高データには、日本水路協会発刊の日本近海 30 秒 (900m) グリッド分解能の水深データを用い、プレート境界の形状には CAMP スタンダードモデル (「Hashimoto *et al.*, 2004」) を用いた。ただし断層すべりを入力する日本海溝近傍においては、より詳細にデータが整備されている東日本の地下構造データ (「Koketsu *et al.*, 2008」) を用いた。ユーラシアプレート及び北アメリカプレートの厚さ 30km の弾性層の下に、粘弾性マントルウェッジを置き、そこに厚さ 30km のフィリピン海プレートおよび厚さ 80km の太平洋プレートが沈み込むような設定となっている。プレートの下は粘弾性層である。粘弾性は Maxwell モデルにより表現される。最小メッシュサイズを地表面データの分解能とほぼ同等の  $ds=1$ km した場合、モデルの自由度は 100 億程度となった。このように高詳細モデルは多自由度となるため、前述のような大規模並列計算に特化した計算コードによる解析が必要となる。

観測データと計算結果の定性的な比較を行うため、構築した 1 次モデルに、「Yagi and Fukahata, 2011」により推定された東北地方太平洋沖地震の地震時断層すべりを入力して、地震後地殻変動の計算を行っている。観測されているような、陸向きの海底地殻変動と海向きの陸域地殻変動という定性的な特徴は、粘弾性を考慮した高詳細モデルにより再現可能であった。例として、地震時の地殻変動及び地震後 33 か月の累積地殻変動を図 3-10-①-3 と図 3-10-①-4 に示す。一方、太平洋プレート下のマントルの粘性率が海底地殻変動に及ぼす影響や計算された陸向き変位の観測データとの定量的な比較など、今後検討すべき項目も明らかになりつつある。

## (c) 結論ならびに今後の課題

本年度は、高詳細な地殻・マントル構造モデルを用いた弾性・粘弾性地殻変動解析手法を開発した。また既往研究成果を踏まえて粘弾性構造を加味した 3 次元的に不均質な日本列島広域構造の 1 次モデルを構築した。これらを用いて、沈み込み帯における巨大地震に対する弾性・粘弾性地殻変動解析を行った。来年度以降、日本列島広域構造 1 次モデルの信頼性向上とそれを用いた弾性・粘弾性地殻変動解析を行う予定である。また、解析手法の高度化もあわせて行う予定である。

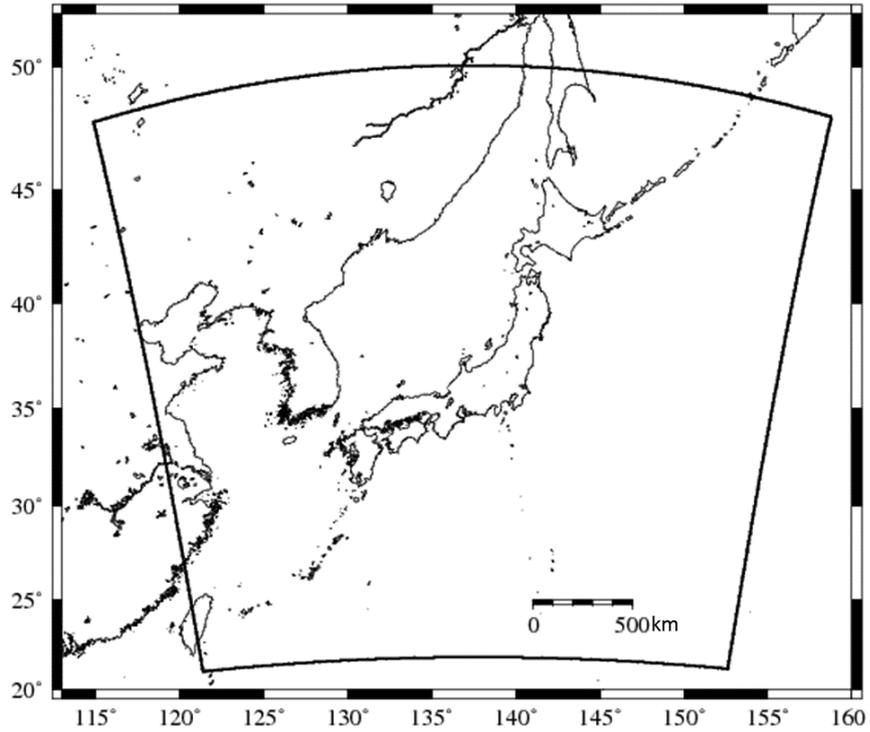


図3-10-①-1 高詳細な日本列島1次モデルの構築領域(黒線)。

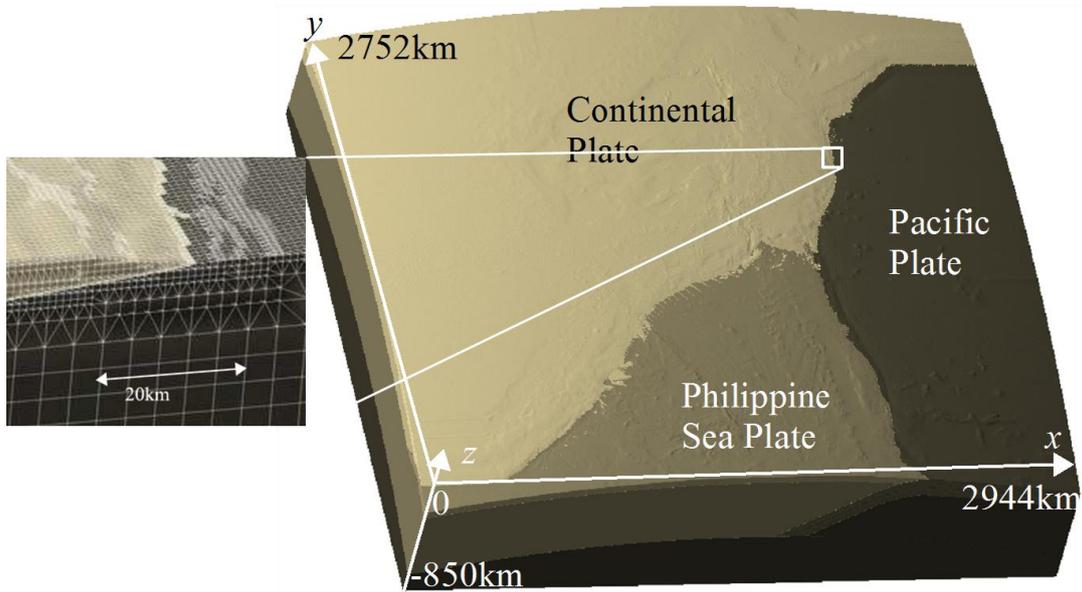


図3-10-①-2 高詳細な日本列島1次モデルの有限要素モデル。全体図(右図)と拡大図(左図)。拡大図では、有限要素モデルの要素も併せて可視化している。

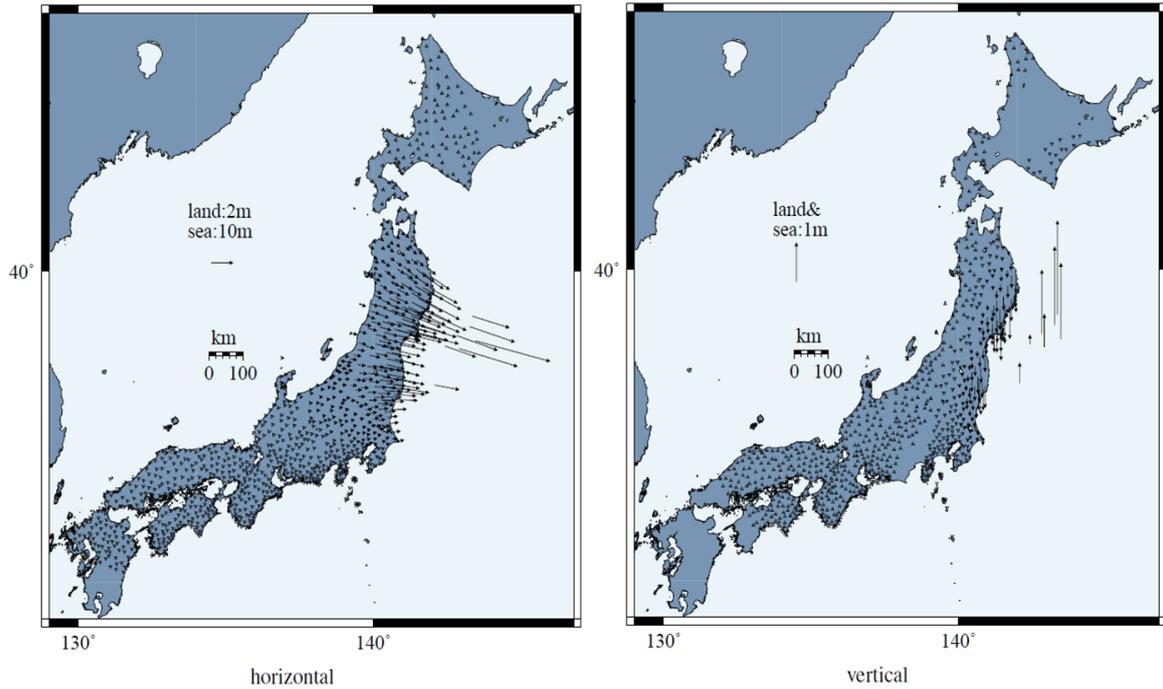


図3-10-①-3 高詳細な日本列島1次モデルを用いた地震直後の地殻変動の解析結果。水平成分図(左図)と上下成分(右図)。

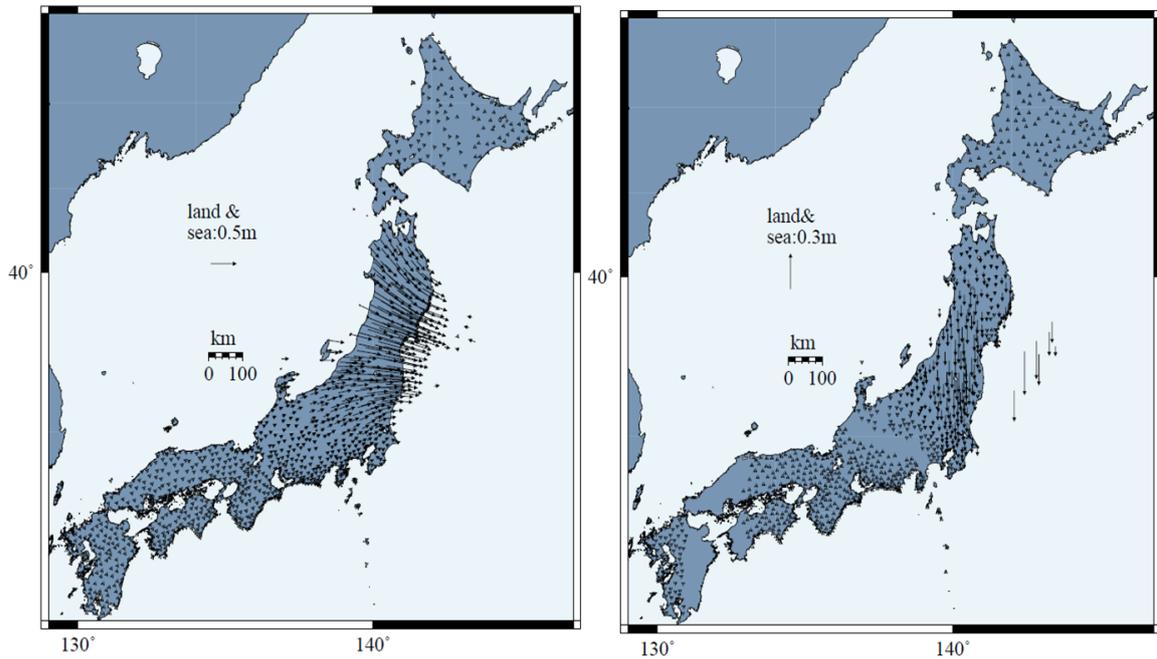


図3-10-①-4 高詳細な日本列島1次モデルを用いた地震後 33 か月間の地殻変動の解析結果。水平成分図(左図)と上下成分(右図)。

(d) 引用文献

- 1) Hashimoto, C., Fukui, K., Matsu'ura, M., 2004. 3-D Modelling of Plate Interfaces and Numerical Simulation of Long-term Crustal Deformation in and around Japan, *Pure and Applied Geophysics*, 161(9-10), 2053-2068.
- 2) Koketsu, K., Miyake, H. Fujiwara, H. and Hashimoto T., 2008. Progress towards a Japan integrated velocity structure model and long-period ground motion hazard map, *Proc. 14th World Conf. Earthq. Eng.*, Paper No.S10-038.
- 3) Yagi, Y. and Fukahata, Y., 2011. Rupture process of the 2011 Tohoku-oki earthquake and absolute elastic strain release, *Geophysical Research Letters*, 38, 1-5.

②地震発生サイクル計算手法の高度化

(a) 業務の要約

1) 非平面形状に起因する法線応力変化を考慮した地震サイクル計算手法の高度化

摩擦力は摩擦係数と有効法線応力の積で表される。熱的加圧などによる間隙流体圧の変化を考えず有効法線応力が一定とした場合、現状の準動的地震サイクル計算では、速度・状態依存の摩擦則に従う摩擦係数の変化だけを考え、地震サイクル計算を行っている。ところが、非平面断層上でのすべりでは法線応力変化が生じて摩擦力が変化する。そこで、本研究ではプレート境界の非平面形状変化に起因する法線応力変化を考慮した準動的地震サイクル計算手法を開発した。非平面形状の効果を調べたところ、比較的長波長のプレート形状、例えばフィリピン海プレートの3次元形状などは特に影響はないが、短波長の凹凸は大きな影響を持つ場合があることが分かった。本年度は、東海地方に沈み込む海嶺列の効果について報告する。

2) 動的破壊過程を含む地震サイクル計算手法の高度化

現状の地震サイクル計算では計算の困難さから多くの単純化がされている。その一つに、動的慣性項の効果を放射減衰項により近似した準動的扱いがある「Rice, 1993」。動的破壊過程を含む地震サイクル計算はこの準動的地震サイクル計算とは異なる結果をもたらすと指摘されている（例えば、「Lapusta *et al.*, 2009」）。また、通常は境界要素法的解法で計算が行われているが、この場合不均質媒質の影響を入れるのが困難である。そこで、高次の有限要素法と言えるスペクトル要素法を用いて、動的破壊過程を含む2次元地震サイクル計算手法の開発を行なっている。平成25年度は、公開されているSEM2DPACK「Ampuero, 2012」を元に、まず動的破壊過程計算に速度・状態依存の摩擦則を組み込み、次に「Kaneko *et al.*, 2011」に従い、準動的地震サイクル計算アルゴリズムを組み込みだ。「Kaneko *et al.*, 2011」では、面外(anti-plane)破壊問題を扱っているが、沈み込み帯の海溝型巨大地震を扱うため、面内(in-plane)問題でのコードを開発した。

(b) 業務の実施方法

- 1) 非平面形状に起因する法線応力変化を考慮した地震サイクル計算手法の高度化  
プレート境界を  $N$  個の小断層セルに分割し、時間  $t$  におけるセル  $i$  でのプレート沈み込み方法のせん断応力成分  $\tau_i^s(t)$  は、

$$\tau_i^s(t) = \sum_{j=1}^N K_{ij}^s (u_j(t) - V_{pl,j}t) - \frac{G}{2c} V_i(t) \quad (1)$$

と与えられる。ここで、 $K_{ij}^s$  はセル  $j$  に単位すべりを与えたときのセル  $i$  におけるせん断応力変化である、せん断応力すべり応答関数、 $V_{pl,j}$ ,  $u_j$ ,  $V_i$  はセル  $j$  におけるプレート収束速度、セル  $i$  における変位、速度、 $G$ ,  $c$  は剛性率、 $S$  波速度を表す。右辺第 2 項は、慣性項を近似した放射減衰項と呼ばれている「Rice, 1993」。セル  $i$  での摩擦力は、

$$\tau_i^F(t) = \mu_i(t)(\sigma_i(t) - P_i) = \mu_i(t)\sigma_i^{eff}(t) \quad (2)$$

と与えられる。ここで、 $\mu_i(t)$ ,  $\sigma_i(t)$ ,  $P$ ,  $\sigma_i^{eff}(t)$  はセル  $i$  における摩擦係数、法線応力、間隙流体圧、有効法線応力である。なお、間隙流体圧は時間によらず一定としている。摩擦係数は、以下の速度・状態依存の摩擦則（例えば、「Ruina, 1983」）に従うと仮定する。

$$\mu_i(t) = \mu_o + a_i \ln(V_i(t)/V_o) + b_i \ln(V_o\theta_i(t)/L_i) \quad (3)$$

ここで、 $a_i$ ,  $b_i$ ,  $L_i$  はセル  $i$  での摩擦パラメータ、また  $\mu_o$  は基準速度  $V_o$  に対応する摩擦係数である。 $\theta_i(t)$  は断層面の状態に関係した状態変数と呼ばれ、以下の Composite law（「Kato and Tullis, 2001」）と呼ばれる発展方程式に従うとする。

$$\frac{d}{dt} \theta_i(t) = \exp\left(\frac{V_i(t)}{V_c}\right) - \frac{V_i(t)\theta_i(t)}{L_i} \quad (4)$$

ここで、 $V_c$  は、カットオフ速度で  $10^{-8}$  m/s と与えられる。準動的地震サイクルでは、式 (1) のせん断応力と式 (2) の摩擦力が等しいとおいた準動的運動方程式と式 (3) (4) とを組み合わせ、時間可変の Runge-Kutta アルゴリズムにより積分し、すべりの時間発展を追う。通常の準動的地震サイクル計算では、熱的加圧等の間隙流体圧を考えない場合、式 (2) におけるセル  $i$  の法線応力は時間的に一定としているが、これは無限媒質中での平面断層による場合のみに許

される仮定である。地表を有する半無限媒質や非平面断層中でのすべりでは、以下のように主として深さのみに依存する項に、すべりに起因する時間変化する法線応力成分が加わる。

$$\sigma_i(t) = \sigma_i^o - P_i + \sum_{j=1}^N K_{ij}^n (u_j(t) - V_{pl,j}t) = \sigma_i^{eff} + \sum_{j=1}^N K_{ij}^n (u_j(t) - V_{pl,j}t) \quad (5)$$

ここで、 $K_{ij}^n$  はセル j での単位すべりによるセル i での法線応力変化で、法線応力すべり応答関数である。

プレートの非平面形状として、沈み込むフィリピン海プレートの長波長形状があるが、これはあまり大きな影響がないことが分かったので、ここでは、東海地方に沈み込む海嶺列に起因する短波長のプレートの凹凸形状が地震サイクル計算に及ぼす影響を調べた。

通常モデルとして、平面プレート境界を走行 ( $Y=0-200\text{km}$ )、傾斜方法 ( $X=0-240\text{km}$ ) に傾斜角  $15^\circ$  に設定する。なお、傾斜角は走行方向には一様とする。図 3-10-②-1 左図にこの通常モデルの断面図を示す。この平面プレートモデルに加え、東海沖に沈み込む 3 つの海嶺列をモデル化した断面図を表す。海嶺は平面プレートから上方に飛び出した凸部 ( $h_1$ ) を持ち、この部分ですべりが発生すると法線応力変化が発生する。この法線応力の時間変化に加えて、この部分と下方へ飛び出した根の部分  $h_2$  における海洋性地殻以外の領域との密度差から生じる浮力  $\Delta P$  による法線応力変化もモデルに含めている。なお、密度は観測されている P 波速度「Kodaira *et al.*, 2004」からバーチの法則「Birch, 1961」により、

$$\Delta\rho_1 = 0.3(6.2 - 5.5) \quad \Delta\rho_2 = 0.3(8.0 - 7.5) \quad (6)$$

と推定している。従って、浮力は

$$\Delta P = \Delta\rho_1 g h_1 + \Delta\rho_2 g h_2 \quad (7)$$

と計算される。なお、簡単のため、走行 X 方向には一様の形状をしていると仮定している。図 3-10-②-2 に、(a) 3 つの海嶺列を模したプレート形状、(b) 摩擦パラメータ a-b 分布、(c) 海嶺列の場合の浮力分布を示す。X=10-160km に速度弱化 ( $a-b < 0$ ) の地震発生域を設定している。式 (5) の時間変化しない有効法線応力の深さ分布は、深さ 0km から静岩圧—静水圧に従って増し、50MPa に達する深さ 2.8km より深部では 50MPa で一定としている。特徴的すべり距離 L は一様とし、0.15m、0.2m、0.3m の場合を調べた。これらの L に対して、震源核形成サイズ  $r_c$  は法線応力が 50MPa の場合、それぞれおよそ 45km、60km、90km である。図 3-10-②-2 (a) から分かるように、海嶺列の波長はおよそ 50km 程度であり、L を変えることによって震源核形成サイズと同程度か小さくなる場合を調べている。なお、 $V_{pl}=3.25\text{cm/年}$  を与えている。

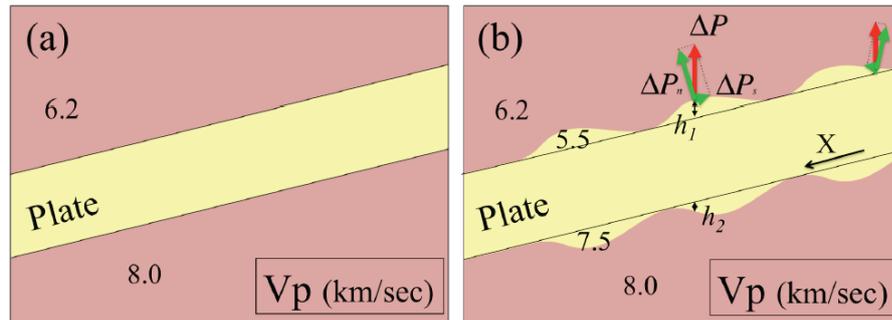


図3-10-②-1 通常のプレート沈み込みモデル（左図）と東海沖に沈みこむ3つの海嶺列を模したモデル（右図） 数字は、観測されているP波速度( $V_p$ )を示す「Kodaira *et al.*, 2004」。 $h_1$ は平面プレート上面から上部に出ている海嶺部分を表し、この凹凸部でのすべりにより法線応力の変化が生じる。 $h_2$ は下面より下部に出ている領域を示して、平面プレートより上部および下部に出ている海洋性地殻領域とそれ以外の領域の密度差（密度はP波速度から推定）による浮力 $\Delta P$ （赤線）を考慮したモデルにおいても地震サイクル計算を行っている。右図からわかるように、左の部分では緑線で示している凸部における断層面に平行な成分（ $\Delta P_s$ ）は、左部ではプレート境界に沿って左向き、右部は右向きといった逆向きの値をとる。

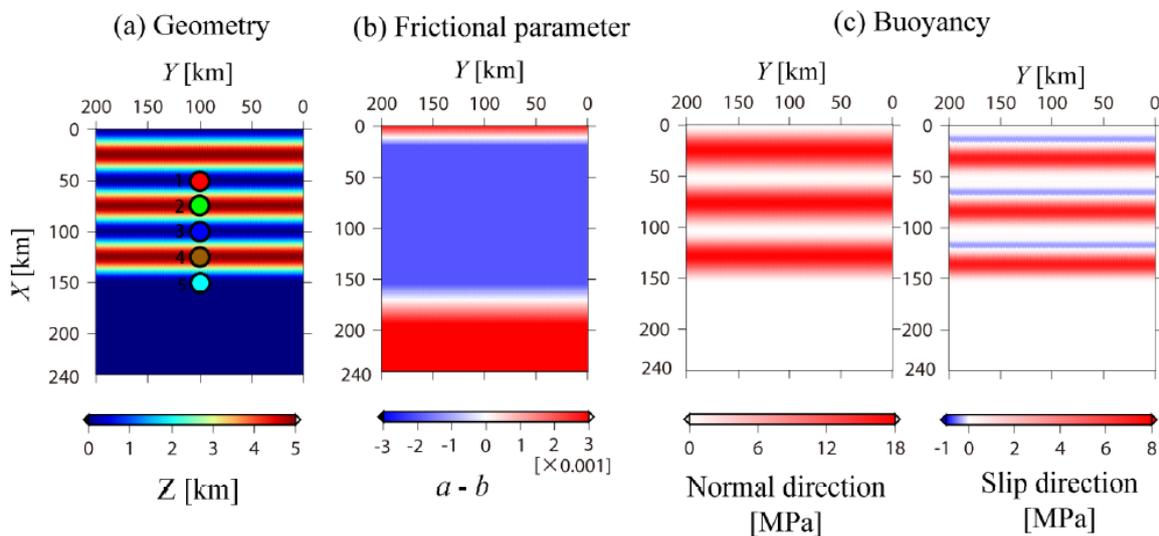


図3-10-②-2 沈み込む3つの海嶺列を模したモデル (a)凹凸を持つプレート形状 Y軸は走行、X軸は平面プレートに沿っての海溝からの沈み込み方向の距離を表す。Z軸は平面プレートに垂直に測った海嶺列を持つプレートの凸部の形状を表す。(b)摩擦パラメータ  $a-b$  分布 (c)浮力分布 左図：凹凸を持つプレート境界面に対する法線方向の浮力成分。右図：面に沿う方向の浮力成分 プレートに沿って傾斜方向を負にとっている。なお、(a)には図3-10-②-1ですべり速度、積算すべり量、法線応力変化を示す観測点1-5が示されている。

## 2) 動的破壊過程を含む地震サイクル計算手法の高度化

まず、「Kaneko *et al.*, 2008」に従い、スペクトル要素法 (SEM) による動的破壊シミュレーションコード SEM2DPACK 「Ampuero, 2012」に速度・状態依存の摩擦則の組み込みを行った。なお、発展則はスローネス則「Dieterich, 1979」を用いている。図 3-10-②-3 左図に示す、17317 個の四角形要素からなる 2011 年東北地方太平洋沖地震 2 次元断面メッシュを作成した。上面は自由境界、他の 3 面は吸収境界条件を課している。断層の傾斜角は  $20^\circ$  で、断層付近の要素サイズは、1.5km で、周囲に行くにつれ大きく取っている。また、簡単のため、ここでは均質弾性体としている。SEM では高次の内挿関数 (ここでは 4 次) を用いているため、要素分解能は高く数百 m である。動的破壊過程を計算するため、図 3-10-②-3 右図に示すように、摩擦パラメータ (a-b) 分布および初期せん断・法線応力および強度分布を設定した。震源に対応する位置に初期高せん断応力を設定し、破壊開始位置としている。特徴的すべり距離  $L$  は断層面上で一様に 0.8m を与えている。

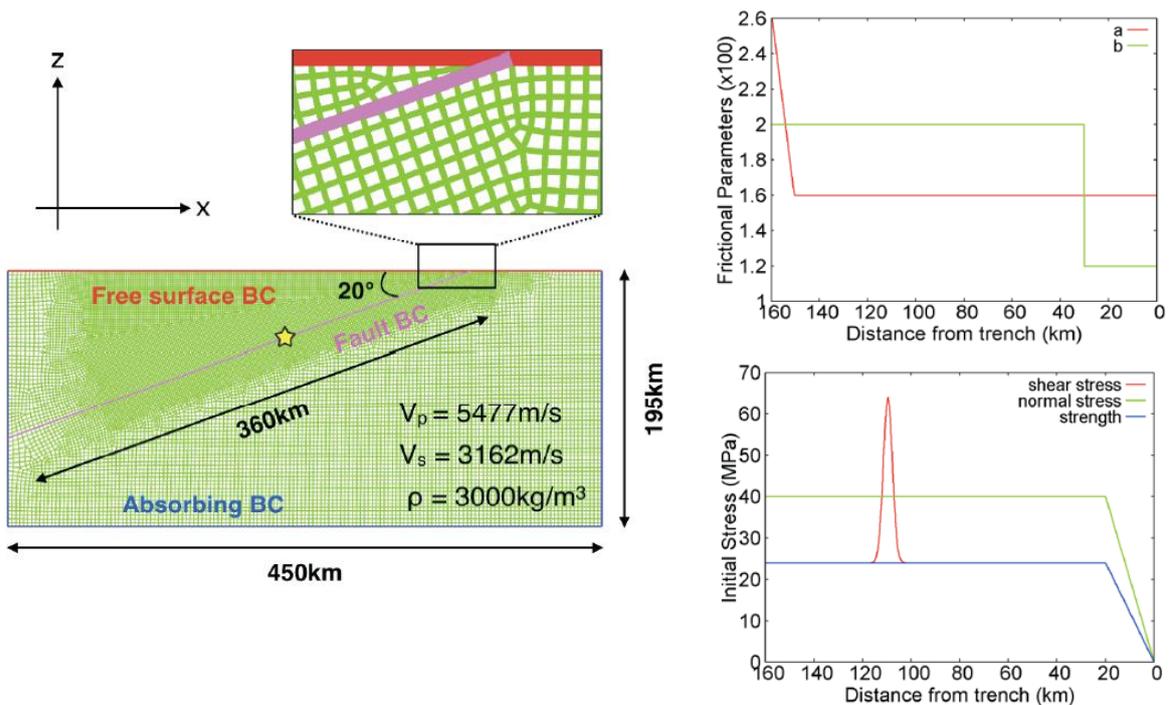


図 3-10-②-3 2011 年東北地方太平洋沖地震 2 次元メッシュモデル (左図) と断層面上における摩擦パラメータ (a: 赤, b: 緑線) (右上図) と初期せん断応力 (赤線)・法線応力 (緑線)・強度分布 (青線) (右下図)

次に、「Kaneko *et al.*, 2011」に従い、準動的な地震サイクル計算アルゴリズムを実装した。ただし、準静的ではなく、「Rice, 1993」による放射減衰項を導入した準動的な地震サイクル計算としている。また、「Kaneko *et al.*, 2011」では面外 (anti-plane) 問題を扱っているため問題とならなかったが、面内 (in-plane) 問題では、断層法線方向の変位を露わに計算する必要があった。まずは、「Kaneko *et al.*, 2011」と同じ問

題設定をして、面内問題として、すべり速度に応じて動的と準動的計算を切り替え、動的破壊過程を含む地震サイクル計算を行った。そのモデルを図3-10-②-4に示す。Z軸上に断層を設定し、中央部-10m~+10mの領域に速度弱化( $a-b < 0$ )域を、その外側-20m~-10m、+10m~+20mの領域に速度強化( $a-b > 0$ )を設定している。更にその外側(-45m~-20m、+20m~+45m)に定常すべり速度  $V_{pl}=2\text{mm/年}$  を与える。また、特徴的すべり距離  $L=64\mu\text{m}$ 、初期法線応力は一様に  $120\text{MPa}$  としている。この場合、地震間における震源核形成過程を計算するために必要な空間サイズである臨界核形成サイズはおよそ  $3.7\text{m}$  である。また動的破壊の際には、cohesive zone サイズ(「Day *et al.*, 2005」)が分解能を決める重要なパラメータとなるが、この値は、およそ  $1.17\text{m}$  となる。モデルは、19200個の四角計要素からなり、要素長は  $0.75\text{m}$  である(図3-10-②-4は分かり易くするため  $1.5\text{m}$  で書いてある)。3次の内挿関数を用いているので、離散化サイズはおよそ、 $0.25\text{m}$  となり、十分な分解能を持っている。

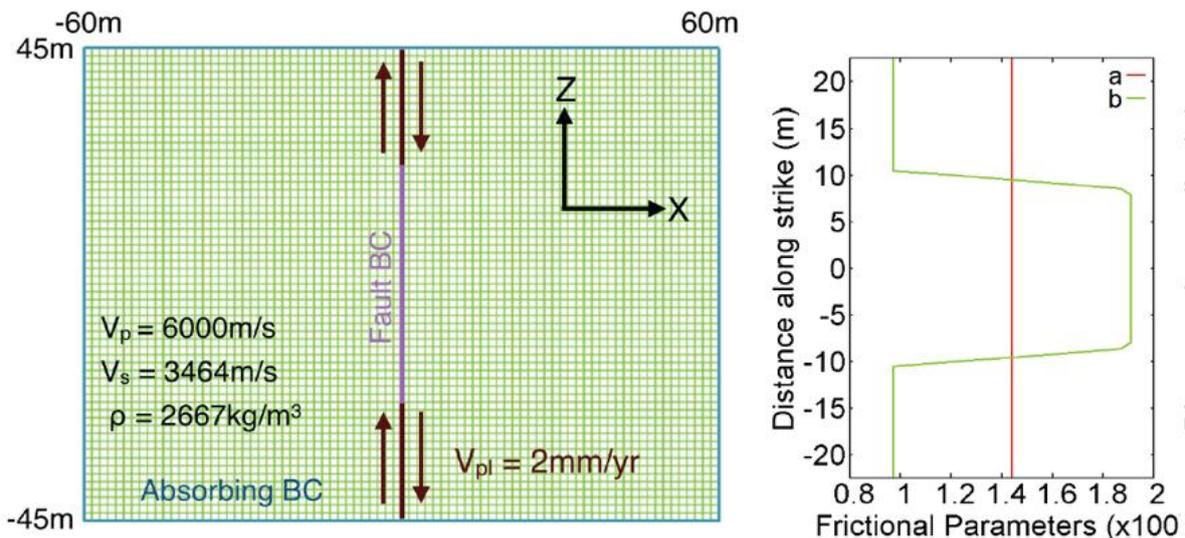


図3-10-②-4 「Kaneko *et al.*, 2011」のモデルで面内問題とした地震サイクルモデル(左図)と断層面上での摩擦パラメータ(a,b)分布

(c) 業務の成果

1) 非平面形状に起因する法線応力変化を考慮した地震サイクル計算手法の高度化

臨界核形成サイズ  $r_c$  と海嶺列サイズ(50km)が同程度となる  $L=0.2\text{m}$  の場合( $r_c=60\text{km}$ )について報告する。図9に、平面断層(モデル1)、海嶺列を考慮した場合(モデル2)、海嶺列に浮力を考慮したモデル(モデル3)について、図3-10-②-2の左図に示した点1-5での地震サイクル中のすべり速度、積算すべり量、法線応力変化を示す。左図から分かるように、平面断層モデル1では通常の地震が繰り返し発生した。一方、凸凹断層面モデル2,3では、地震性のすべりと、断層面上で凹部を中心としたスロースリップが地震間に発生した。右中図から分か

るように、地震間において、断層面上の法線応力の初期値からの差は、連なる凸（点 2， 4）・凹（点 1， 3）部で地震間においてそれぞれ増加・減少し、縞構造を示す。法線応力の増加・減少はその地点の  $|A - B| = |(a-b)(\sigma - P)|$  を増加・減少させ、摩擦力を変化させる。従って、凹部では破壊が始まりやすくなるが、凸部では破壊がしにくくなり、これが地震間のスロースリップ発生の原因と考えられる。一方で、浜名湖下で観測される東海 SSE は海嶺列の凹部分に位置する。長期的スロースリップは豊富な流体による高間隙流体圧により説明されることが多いが、本研究は、これに加え断層面形状が東海 SSE の発生に影響を及ぼしている可能性を示している。

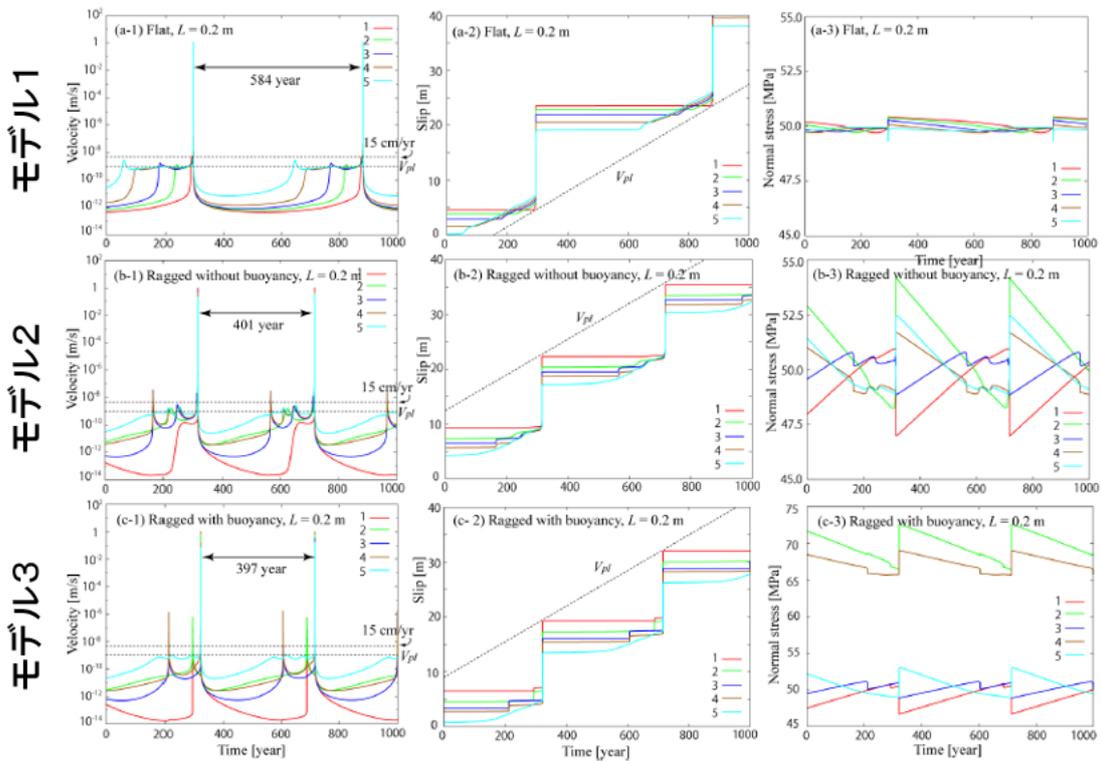


図 3 - 1 0 - ② - 5 L=0.2m の場合の、(a)平面断層(モデル 1)、(b)海嶺列を持つプレート境界 (モデル 2)、(c)海嶺列に加え浮力のある場合 (モデル 3) について、計算された地震サイクル中におけるすべり速度 (左図)、積算すべり量 (中図)、法線応力変化 (右図) 各線 1 - 5 は、図 3 - 1 0 - ② - 2 の左図の点 1 - 5 の場所でのすべり速度、積算すべり量、法線応力の履歴を示している。

## 2) 動的破壊過程を含む地震サイクル計算手法の高度化

図 3 - 1 0 - ② - 3 に示したモデルでの動的破壊時でのすべり速度の時間発展を図 3 - 1 0 - ② - 6 に、すべり量の時間発展を図 3 - 1 0 - ② - 7 に示す。破壊は高初期応力パッチから **bilateral** に進展する。その後、**down-dip** 側では、深部に配

置された速度強化領域で破壊は停止させられる。

一方、**up-dip** 側では地表付近の速度強化領域で破壊先端はエネルギーを失うが、それでも破壊進展は停止せず、地表をブレイクアウトした。それにより、断層上のすべりは自由端反射のような振る舞いをして浅部のすべりを増大させる(図 3-10-②-7)。破壊が地表に到達した後、再び **down-dip** 方向に破壊が伝播するフェーズが、図 3-10-②-6 の約 50 秒以降にも見られる。**Down-dip** 方向へは、複数のフェーズ(A、B、C、D)が伝わる様子見てとれる。海溝から約 60km 以内の部分では破壊は Rayleigh 波速度に近い速度で伝播しているが、海溝付近では破壊先端は分離して P 波速度に近い **supershear** の破壊が生じている(図 3-10-②-6 中矢印 E)。

P 波速度で伝播するフェーズは 2 つ存在し、A はすべり速度を増大させるフェーズ、B はすべり速度を大きく低下させる停止フェーズである(図 3-10-②-6)。A はブレイクアウトにより海溝付近が一気にすべり易くなり、すべり速度を増加させる効果を反映している。B は **supershear** でない破壊が海溝まで到達したのちに海溝から発せられる破壊停止フェーズである。C は破壊が海溝に到達したのちに発生したフェーズと考えられ、応力降下を伴い、すべり速度を増大させている。B により断層の破壊が一度停止したにも関わらず再び破壊した原因として、**supershear** の破壊が生じているため停止フェーズが早く到来し、応力を解放しきれていなかったからであると考えられる。このとき、法線応力も減少していて、停止フェーズによるすべりの不均質から生じる法線応力上昇を解放している。D は 2 度目の破壊停止フェーズであると考えられる。

このように、ブレイクアウト後に複数のフェーズが発生する要因は **supershear** の破壊にあると考えられる。

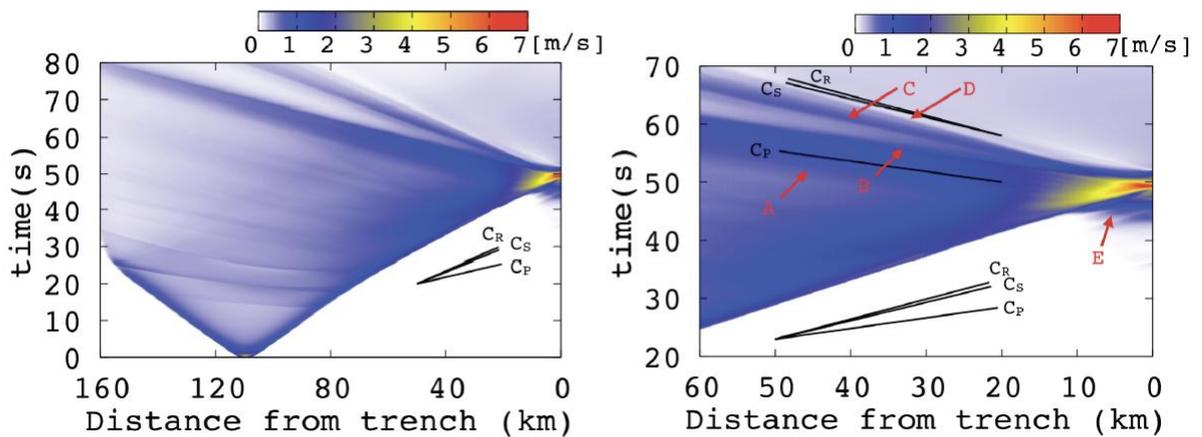


図 3-10-②-6 図 3-10-②-3 に示したモデルでの破壊伝播時の断層面におけるすべり速度の時間発展。横軸は海溝からの距離、縦軸は時間軸を表す。右図は海溝から断層面に沿って 60km の部分を拡大したものを示す。C<sub>p</sub>、C<sub>s</sub>、C<sub>R</sub> は P 波、S 波、レイリー波での伝播速度を示す。

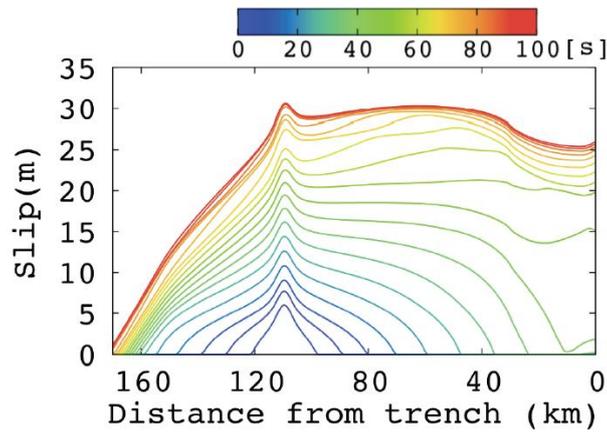


図 3-10-②-7 断層上のすべり量の時間発展 横軸は海溝からの距離、縦軸はすべり量を表す。色付きの各線は破壊開始から 5 秒毎に引かれている。

図 3-10-②-4 に示した面内(in-plane)動的破壊過程を含む地震サイクル中における、Z 軸方向のすべり速度分布を、図 3-10-②-8 に示す。繰り返し間隔 4.02 年の地震サイクル中で、速度弱化域での固着、速度強化域から弱化域へのすべりの侵入を経て、震源核が形成され、動的破壊が生じ、波動が伝播し、余効すべり発生に至る、地震サイクルの全過程が上手く計算されている。図 3-10-②-5 に積算すべり量の時間発展を、準動的地震サイクル計算と比較して示す。「Lapsuta and Liu, 2009」等で指摘されているように、動的破壊過程を含む地震サイクル計算では、準動的計算に比べて、地震時すべり量が大きく、繰り返し間隔が延びることも示されている。

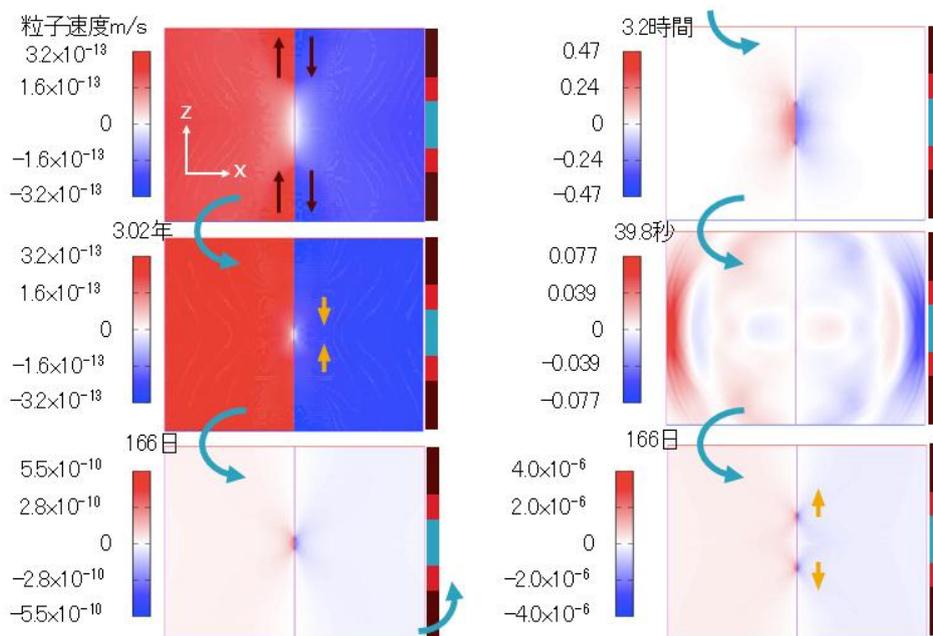


図 3-10-②-8 モデル図 3-10-②-4 での面内 (in-plane) 動的・準動的地震サイクル計算結果 繰り返し間隔 4.02 年の地震サイクル中（地震間、速度弱化域へのすべりの侵入、震源核形成、動的破壊、波動伝播、余効すべり時）での Z 軸方向のすべり速度を示す。

(d) 結論ならびに今後の課題

1) 非平面形状に起因する法線応力変化を考慮した地震サイクル計算手法の高度化

プレートの非平面形状に起因する法線応力変化を考慮した準動的地震サイクル計算手法の高度化を行った。東海地方に沈み込む海嶺列を模した短波長のプレートの凹凸形状の効果により、地震に加えスロースリップが凹部から発生する場合があることが確認された。東海地方でのスロースリップ発生域には高間隙流体圧領域が存在し、スロースリップ発生の要因とされているが、それに加え、海嶺の沈み込みも一要因となりうることを示した。なお、法線応力変化の計算には、せん断応力と同様に、これまで開発した階層型行列法による省メモリ化・高速化が可能であることを付け加えておく。

今後は、短波長のプレート形状として、沈み込む海山と東北地震発生との関連や、東北沖海溝近傍で観測されているホルスト・グラベン構造と津波地震発生との関連などを調べる必要がある。

2) 動的破壊過程を含む地震サイクル計算手法の高度化

スペクトル要素法 (SEM) による、動的破壊過程を含む地震サイクル計算手法の高度化を行った。まず、速度・状態依存の摩擦則を組み込み、2011年東北地方太平洋沖地震の破壊伝播過程を計算した。海溝付近に速度強化域を設定した場合でも、破壊が地表まで達し、ブレークアウトを起こし、大きなすべりが海溝で生じることを示した。更に面内 (in-plane) 問題において、動的破壊過程を含む地震サイクル計算手法の開発を行なった。垂直断層の場合、過去の計算と比較してうまく地震サイクルが計算されていることを確認している。

今後は、不均質弾性構造モデルの破壊伝播計算および傾斜断層での動的破壊伝播過程を含む地震サイクル計算手法の開発を行なう必要がある。

(e) 引用文献

- 1) Ampuero, J.P., SEM2DPACK Use's Guide, [http://web.gps.caltech.edu/~ampuero/soft/users\\_guide\\_sem2dpack.pdf](http://web.gps.caltech.edu/~ampuero/soft/users_guide_sem2dpack.pdf), 2012.
- 2) Birch, F., The velocity of compressional waves in rocks to 10 kilobars: 2., J. Geophys. Res., 66, 2199–2224, 1961.
- 3) Dieterich, J. H., Modeling of rock friction: 1. Experimental results and constitutive equations. J. Geophys. Res., 84, 2161-2168, 1979.
- 4) Kaneko, Y., Lapusta, N., & Ampuero, J. P., Spectral element modeling of spontaneous earthquake rupture on rate and state faults: Effect of velocity-strengthening friction at shallow depths. J. Geophys. Res., 113, 2008.
- 5) Kaneko, Y., Ampuero, J. P., & Lapusta, N., Spectral-element simulations of long-term fault slip: Effect of low-rigidity layers on earthquake-cycle dynamics. J. Geophys. Res., 116, 2011.

- 6) Kato, N., and T. E. Tullis, A composite rate- and state-dependent law for rock friction, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1103–1106, 2001.
- 7) Kodaira, S., T. Iidaka, A. Kato, J. -O. Park, T. Iwasaki, and Y. Kaneda, High pore fluid pressure may cause silent slip in the Nankai trough, *Science*, 304, 1295–1298, 2004.
- 8) Lapusta, N. and Y. Liu, Three-dimensional boundary integral modeling of spontaneous earthquake sequences and aseismic slip, *J. Geophys. Res.*, 114, B09303, 2009.
- 9) Rice, J. R., Spatio-temporal complexity of slip on a fault, *J. Geophys. Res.*, 98, 9885–9907, 1993.
- 10) Ruina, A., Slip instability and state variable friction laws. *J. Geophys. Res.*, 88, 10359–10370, 1983.

### ③南海トラフ地震発生サイクルの再現・モデル検証

#### (a) 業務の要約

南海トラフ地震を対象とした地震発生サイクルの再現及びモデルの検証を目的とする研究を進める上で、数値シミュレーション・システムの大規模化・高解像度化と共に、多様な観測・データ解析を通じたモニタリング情報をシミュレーションに取り込むことが重要である。今年度は、「Hashimoto *et al.*, 2014」の地震発生サイクルシミュレーション・システムを大規模汎用計算機に適用して高解像度・広範囲のモデル領域で実行するため、準静的テクトニックローディングの計算コードのチューニングを進めた。昨年度に高解像度（スプライン関数節点間隔 4 km、計算点間隔 2 km）化を実現したモデルのモデル領域拡張を行ない、南海トラフ沿いの全震源域をカバーする広域（全長約 700 km）を対象とした大規模計算が可能であることを確認した（東京大学情報基盤センターの FX10 を利用）。また、GEONET データから推定したすべり遅れ分布に基づき、南海トラフ域の断層構成関係を設定する試行を行い、準静的テクトニックローディングシミュレーションのテストを実施した。更に、南海トラフ沿いの全震源域をカバーする広域・高解像度モデルを用いて、準静的テクトニックローディングと動的破壊伝播の連成シミュレーションのテスト計算を行った。さらに、backthrust の発生メカニズムに関するシミュレーションを行った（「Xu *et al.*, 2015」）。

#### (b) 業務の実施方法

南海トラフ地震を対象とした地震発生サイクルの再現及びモデルの検証を目的とする研究を進める上で、数値シミュレーション・システムの大規模化・高解像度化と共に、多様な観測・データ解析を通じたモニタリング情報をシミュレーションに取り込むことが重要である。「Hashimoto *et al.*, 2014」は、三次元プレート境界面形状モデルを共通の基盤とした、準静的テクトニックローディングモデルと動的地震破壊伝播モデルから成る地震発生サイクルシミュレーションシステムを開発し、

地殻応力状態の時間発展を再現するための理論的なフレームワークを構築した。地震発生直前の応力状態と断層構成関係が与えられれば、その後の動的破壊伝播が計算され、そこから生じる地震波動も同時に計算できる（「Fukuyama *et al.*, 2009」）。このような考え方に従って、或る時点の応力状態を適切に推定し、次ステップの地震発生シナリオを生成するためには、地殻変動データのインバージョン解析（「Hashimoto *et al.*, 2009; Hashimoto *et al.*, 2012」）等のデータ解析を通してシミュレーション結果を検証することにより、過去のすべり履歴を整合的に再現し得る現実的な断層構成関係を設定することが重要な課題となる。以上を踏まえて、昨年度は、名古屋大学では、準静的テクトニックローディングモデルの高解像度（スプライン関数節点間隔 4 km, 計算点間隔 2 km）化を実現し、更に、名古屋大学と防災科学技術研究所共同で、高解像度モデルを用いて、準静的テクトニックローディングと動的破壊伝播の連成シミュレーションのテスト計算を実施した。

今年度は、名古屋大学では、昨年度に実現した高解像度モデルを用いた地震発生サイクルシミュレーションを南海トラフ沿いの全震源域をカバーする広範囲のモデル領域で実行するため、計算コードのチューニングを進めた。利用可能な計算機環境で広域・高解像度モデルによる準静的テクトニックローディングの数値シミュレーションを実施するためには、計算機性能に対応した計算コードの改良が必要になる。大規模並列計算には、東京大学情報基盤センターの FX10 を利用した。名古屋大学では、次に、プレート境界面の現実的な断層構成関係を設定するための試行として、西南日本の GPS 測地データインバージョンにより推定した南海トラフ域の地震間のすべり遅れレートを再現する断層構成関係の検討を行った。一例として、「Aochi and Matsu'ura, 2002」のすべりと時間に依存する断層構成則を用いたパラメーター設定を行い、南海トラフ沿いの全震源域をカバーする広域・高解像度モデルを用いて、準静的テクトニックローディングのシミュレーションを実施した。防災科学技術研究所では、名古屋大学で計算された地震発生直前の応力分布と構成関係をもとに、動的破壊伝播のシミュレーションのテスト計算を行った。破壊開始点において、破壊強度まで応力を蓄積させる事により破壊を開始し、破壊伝播の計算を行った。さらに、backthrust fault の生成に関する研究を行った。backthrust fault は、その発生頻度は小さいものの、大地震の際にその活動が activate されると、大きな海底変位を生じさせ、津波を増幅させる要因となる。ここでは、backthrust 断層破壊の発生条件をシミュレーションにより精査した。分岐点における破壊伝播速度のみならず、分岐点までの破壊伝播距離もパラメーターとして、backthrust 地震を生じさせるかどうかのテストを行った。

#### (c) 業務の成果

今年度の業務実施の結果、以下の成果を得た。

- 1) 昨年度に高解像度化を実現した地震発生サイクルシミュレーション・システムを  
広範囲のモデル領域で実行するため、準静的テクトニックローディングの計算コードのチューニングを進めた。東京大学情報基盤センターの FX10 を利用して、

高解像度（スプライン関数節点間隔 4 km、計算点間隔 2 km）モデルによる、南海トラフ沿いの全震源域をカバーする広域（全長約 700 km）を対象とした大規模計算が可能であることを確認した。

- 2) 西南日本の GPS 測地データインバージョンにより推定したプレート境界面上のすべり遅れレートの分布に基づき、南海トラフ域の断層構成関係を設定する試行を行なった。一例として、「Aochi and Matsu'ura, 2002」のすべりと時間に依存する断層構成則に基づきパラメータ設定を行った（図 3-10-③-1）。この設定を用いて、準静的テクトニックローディングのシミュレーションを実施した（図 3-10-③-2）。計算した地震間のすべり遅れ分布は、測地データインバージョンにより推定した南海から東南海にかけての震源域のすべり遅れ分布の特徴を再現している（図 3-10-③-3）。これらの結果から、適切な構成関係パラメータの設定により、地震間のすべり遅れ分布の再現が可能であることが明らかとなった。

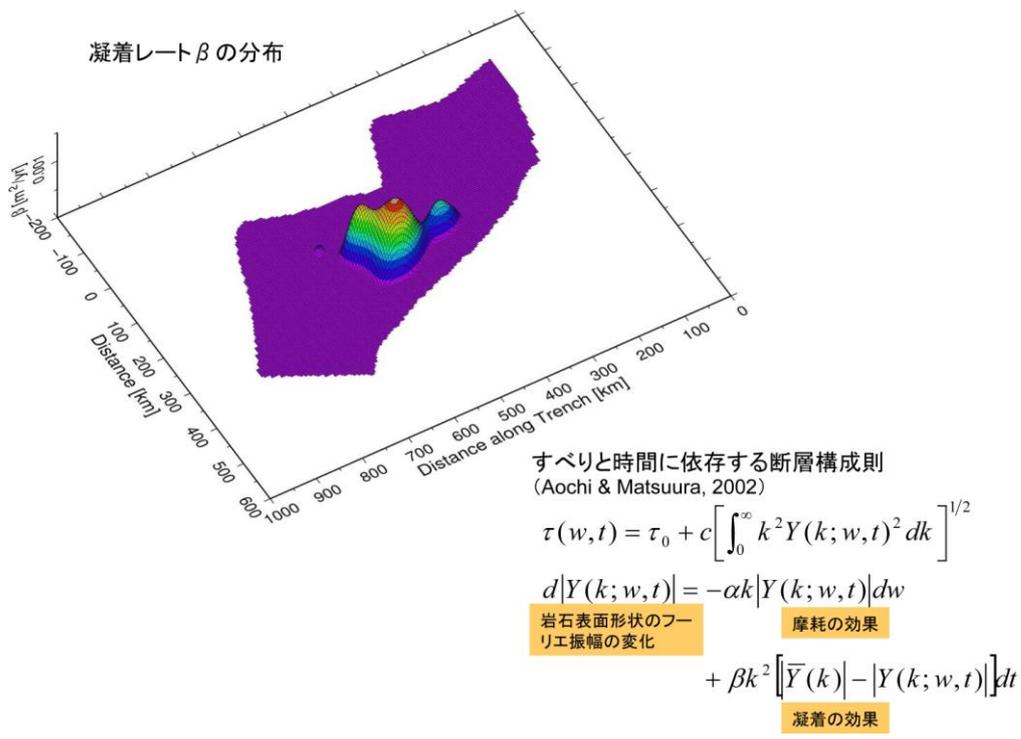
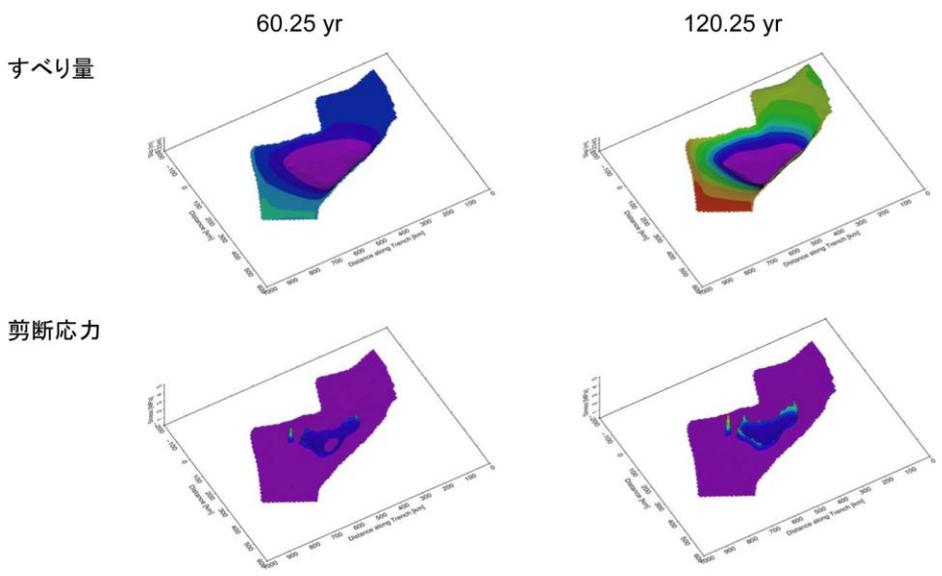


図 3-10-③-1 すべりと時間に依存する断層構成則とパラメータ（凝着レート $\beta$ ）の分布。南海から東南海にかけての震源域に凝着レートの大きい領域を設定した。



Hashimoto (2014)

図 3-10-③-2 現実的な構成関係を用いた準静的テクトニックローディングのシミュレーション例。プレートの沈み込みに伴い、南海地震の震源域に設定した凝着レートの大きい領域ではすべり遅れによる応力蓄積が安定的に進行し、その周辺の凝着レートの小さい領域では定常的なすべりが進行している。

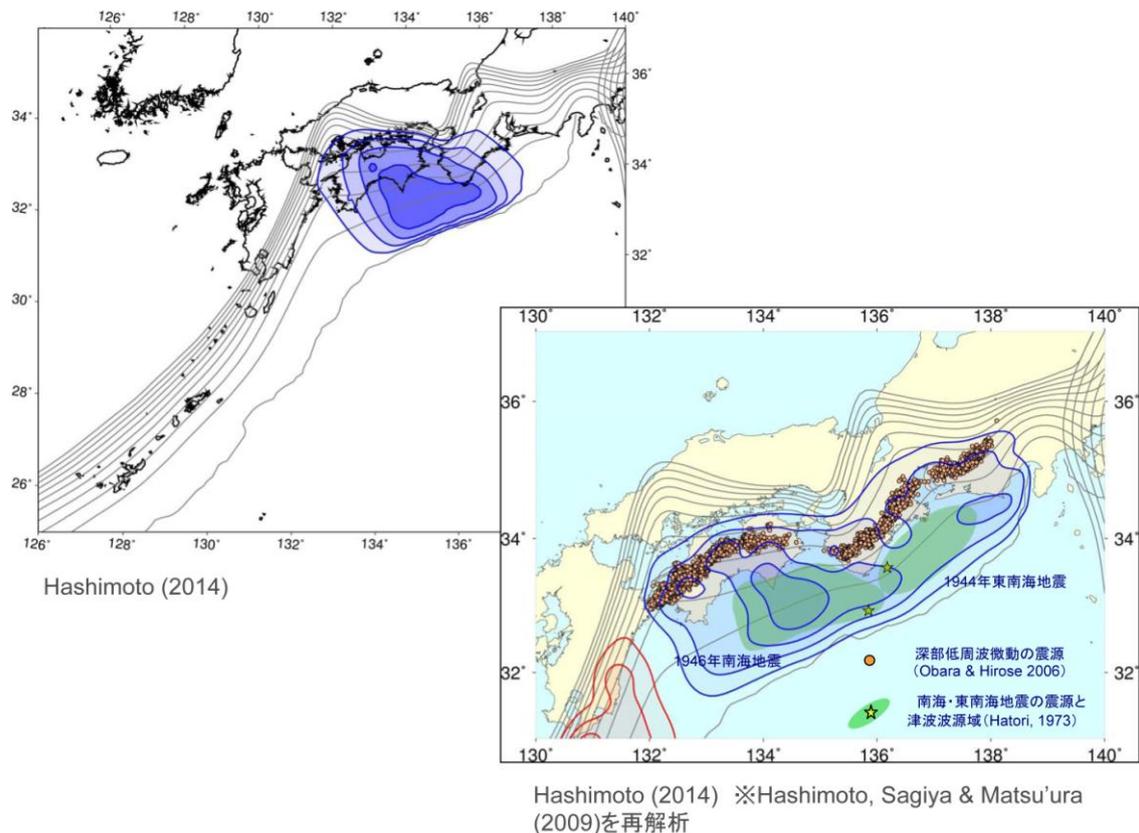


図 3-10-③-3 数値シミュレーションと地殻変動データインバージョンの結果によるすべり遅れレート分布の比較。(左上) 数値シミュレーションによるすべり遅れレート。現実的な構成関係を用いた準静的テクトニックローディングのシミュレーションにより、インバージョン解析から得られた南海地震域のすべり遅れレート分布の特徴が再現されている。(右下) 地殻変動データインバージョンにより推定したすべり遅れレート。

3) 南海トラフ沿いの全震源域をカバーする広域・高解像度モデルを用いた準静的テクトニックローディングのシミュレーションで計算された地震発生直前の応力分布と構成関係をもとに行った動的破壊伝播のシミュレーションのテスト計算(図 3-10-③-4)。破壊は、破壊は、アスペリティ領域の端において開始し、最初はアスペリティ領域の周囲を破壊し、応力集中域を狭めながら、最終的に、アスペリティ全領域の破壊を起こした。三次元プレート境界面形状は、準静的テクトニックローディング・シミュレーションと共通のモデルを用いている。

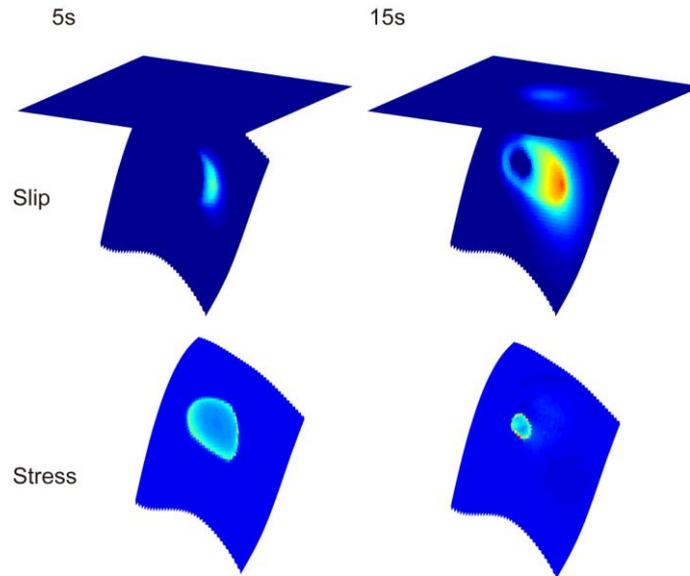


図 3-10-③-4 準静的シミュレーションにより得られた、地震破壊直前の構成関係と応力場を用いて計算を行った、動的破壊過程のスナップショット。すべりがアスペリティの周囲を進行していく(上段)とともに応力集中域が狭まっていき(下段)、最終的にはアスペリティ全域が破壊する。

- 4) backthrust 断層の生成要因に関して、数値シミュレーションにより網羅的に調査した。backthrust 断層は、主断層からの分岐角が  $90^\circ$  以上ある分岐断層であり、その発生頻度は高くないが、一度この断層が破壊すると、地震時の海底面の上下変動に大きく寄与するため、津波を増幅する効果がある。backthrust 地震は、分岐点において、構造上あるいは摩擦の性質など、分岐点において主断層がそのまま伝播しようとする際にバリアとして振る舞う構造が存在する場合に、backthrust 断層が、より生じやすくなる事がわかった(図 3-10-③-5)。

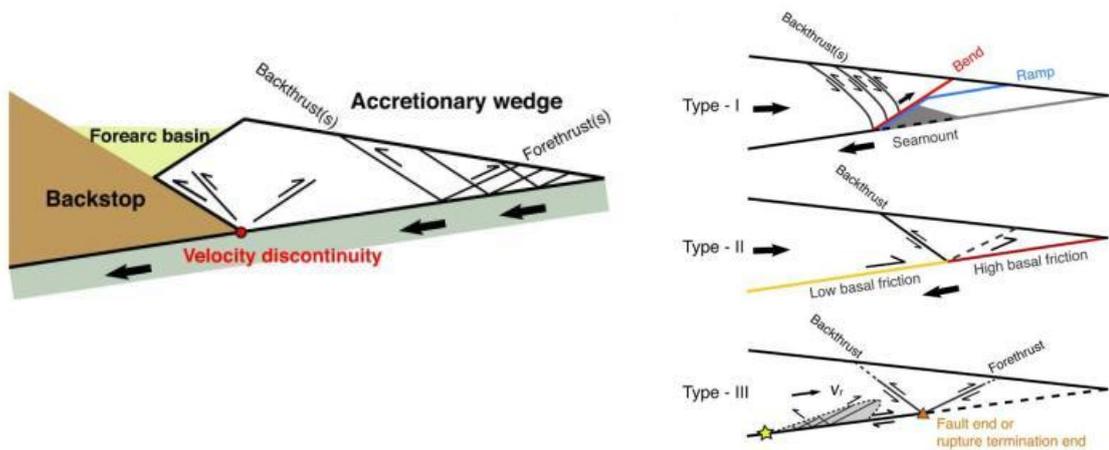


図 3-10-③-5 backthrust 断層の概念図 (左図) backthrust 断層の発生位置図。backthrust 断層は主断層と 90 度以上の角度をなす分岐断層である (右図) backthrust 断層の発生要因。backthrust 断層は、分岐点において、seamount などの幾何学形状の不均質、摩擦の性質の変化、branch fault の存在など、分岐点において主断層がそのまま伝播するにはバリアとして振る舞う構造や断層の性質が存在するときに、発生しやすくなる。

(d) 結論ならびに今後の課題

今年度は、「Hashimoto *et al.*, 2014」の地震発生サイクルシミュレーション・システムを高解像度・広範囲のモデル領域で実行するため、準静的テクトニックローディングの計算コードのチューニングを進め、現在利用可能な計算機環境で、南海トラフ沿いの全震源域をカバーする広域モデル (全長約 700 km) の高解像度 (スプライン関数節点間隔 4 km, 計算点間隔 2 km) 大規模計算が可能であることを確認した。次年度以降の計画に向けては、計算量の増加に伴い、より効率的な計算が必要となるため、計算コードの高速化が課題である。また、西南日本の GPS 測地データインバージョンにより推定したプレート境界面上のすべり遅れレートの分布に基づき、南海トラフ域の断層構成関係を設定する試行を行った結果、適切な構成関係パラメータの設定により、地震間のすべり遅れ分布の再現が可能であることが明らかとなった。今後は、地震間のすべり遅れ分布や過去に発生した大地震の時系列などの多様なデータを検討して、強度分布の制約条件を探求することが重要である。このようにして得られた、現実的な断層構成関係を用いて、南海トラフ域の地震発生サイクル過程の再現と将来の地震発生シナリオの構築を行うことが次の課題となる。

(e) 引用文献

- 1) Aochi, H. and M. Matsu'ura, Slip-and time-dependent fault constitutive law and its significance in earthquake generation cycles, *Pure Appl. Geophys.*, 159, 2029-2046, 2002.
- 2) Fukuyama, E., R. Ando, C. Hashimoto, S. Aoi, and M. Matsu'ura, A physics-based

simulation of the 2003 Tokachi-oki, Japan, earthquake to predict strong ground motions, Bull. Seismol. Soc. Am., 99, 3150-3171, doi:10.1785/0120080040, 2009.

- 3) Hashimoto, C., E. Fukuyama, and M. Matsu'ura, Physics-based 3-D simulation for earthquake generation cycles at plate interfaces in subduction zones, Pure Appl. Geophys., 171, 1705-1728, 2014.
- 4) Hashimoto, C., A. Noda, and M. Matsu'ura, The Mw9.0 northeast Japan earthquake: total rupture of a basement asperity, Geophys. J. Int., 189, 1-5, 2012.
- 5) Hashimoto, C., A. Noda, T. Sagiya, and M. Matsu'ura, Interplate seismogenic zones along the Kuril-Japan trench inferred from GPS data inversion, Nature Geoscience, 2, 141-144, 2009.
- 6) Xu, S., E. Fukuyama, Y. Ben-Zion, J.-P. Ampuero, Dynamic rupture activation of backthrust fault branching, Tectonophys., 644-645, 161-183, 2015.

#### ④地震発生シナリオの評価

##### (a) 業務の要約

様々な条件のもとで、南海トラフ地震発生サイクルの数値シミュレーションを実施し、歴史地震との整合性を有する地震シナリオを導出するとともに、それら整合シナリオの発生メカニズムを解明し、南海トラフ地震の多様性の理解に繋げる。

H26年度は、これまでに実施してきたM8以上の南海トラフ地震のみを対象とした準動的地震発生サイクルの数値シミュレーションに対し、日向灘で発生するM7クラスのプレート境界地震・豊後水道SSEのサイクルを追加することによって、南海トラフ地震の発生サイクルの再来間隔が歴史地震に見られるような、倍半分のばらつきを生じ得ることがわかった。

##### (b) 業務の実施方法

これまでの南海トラフ域を対象とした準動的地震サイクルモデル研究で得られている、南海トラフ地震が熊野灘から開始し、その後、東海・南海セグメントを様々なタイミングで破壊する地震シナリオに対し、Mw7.5の日向灘地震を南海トラフ地震サイクルの様々なタイミングで加え、その後の地震サイクルの変化を調べる。

日向灘地震の発生は、サイクルシミュレーションで得られた日向灘地震シナリオの典型的なすべり分布から計算される応力変化が、南海トラフ地震震源域にステップ的に加わるものとしてモデル化し、その際に断層強度が変化しないと仮定する。この仮定とすべり速度・状態依存摩擦則に従えば、南海トラフ震源域内でのすべり速度と日向灘地震による応力変化から、任意タイミングに対して日向灘地震発生に等価なすべり速度変化を南海トラフ地震サイクルモデルに導入し、その後の時間発展を計算できる。

(c) 業務の成果

「Nakata *et al.*, 2014」による、日向灘地震・豊後水道 SSE・南海地震を含む九州～四国沖を対象にした地震サイクルシミュレーションから、日向灘地震によって南海地震がトリガーされるシナリオの存在が指摘されている。こういったトリガーシナリオが、モデル領域を南海トラフ全域に拡張した場合でも再現されるかを検討するために、「Nakata *et al.*, 2014」のモデル断層を駿河湾まで東に拡張するとともに、紀伊半島下に「Kodaira *et al.*, 2006」で導入された東海・南海地震のセグメント境界に対応する摩擦不均質を追加した地震サイクルモデルを構築した。まず、この地震サイクルモデルに対し、日向灘地震と豊後水道 SSE のパッチを除去し、南海トラフ地震単独の地震サイクル挙動を調べたところ、M8 後半(図 3-10-④-1 左・右)と M8 前半(図 3-10-④-1 中)の 2 種類の南海トラフ地震が繰り返し発生した。この場合、東西セグメントの同時・遅れ発生、地震サイクル毎の規模変化といった歴史地震の特徴は再現されるものの、再来間隔の変化は 150—180 年程の範囲に留まっており、歴史地震に見られるような倍半分の変化は再現されない。

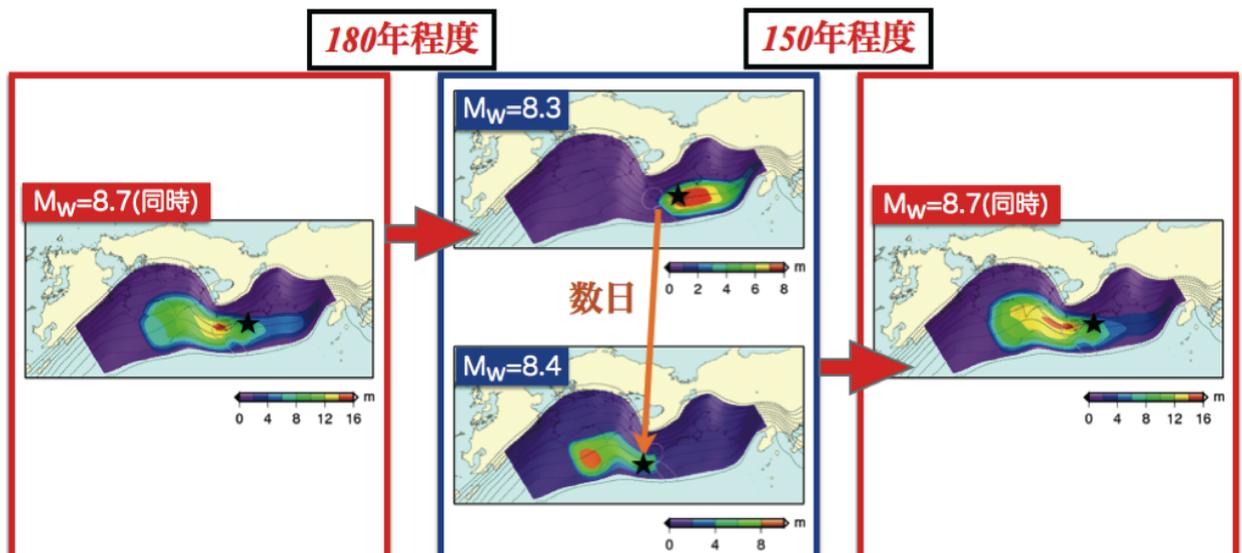


図 3-10-④-1 M8 クラス地震サイクルシミュレーションでの南海トラフ地震発生シナリオの例。(左図)熊野灘から開始し、東海・南海を同時に破壊する地震シナリオ。(中図)熊野灘から開始し、東海地震が発生したのち、数日で南海地震が発生する地震シナリオ。(右図)熊野灘から開始し、東海・南海を同時に破壊する地震シナリオ。

一方、日向灘・豊後水道 SSE を考慮したモデルでの地震サイクルシミュレーションでは、M8 前半の南海トラフ地震(図 3-10-④-2 中)が発生した後、101 年が経過した時点で発生した日向灘地震(図 3-10-④-2 右下)ののち、数年で南海地震・東海地震が引き続き発生するシナリオ(図 3-10-④-2 右上)が得られた。

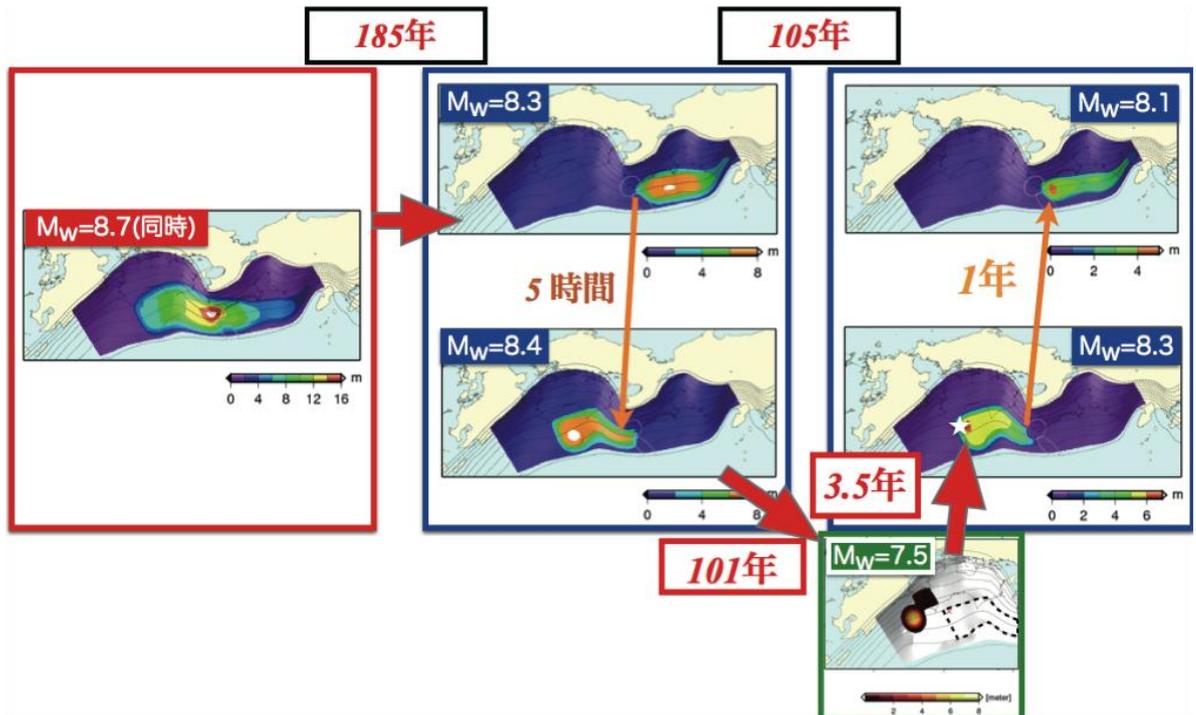


図 3 - 1 0 - ④ - 2 日向灘地震・豊後水道SSEを加えたシミュレーションで見つかった南海トラフ地震の新しいシナリオの例。(左図)熊野灘から開始し、東海・南海を同時に破壊する地震シナリオ。(中図)熊野灘から開始し、東海地震が発生したのち、5時間で南海地震が発生する地震シナリオ。(右下図)Mw7.5の日向灘地震。(右上図)日向灘地震後、3.5年で足摺沖から南海地震が開始し、その一年後に東海地震が破壊する地震シナリオ。

これは、発生間隔だけで言えば、過去の南海トラフ地震における最短の再来間隔である安政南海地震から昭和東南海地震の 90 年間隔に近い発生間隔である。また、昭和イベントでは紀伊半島東側が破壊した後、2年後に南海地震(西側)が発生した。これに対し図 3 - 1 0 - ④ - 2 右上のシナリオ地震でも、破壊の伝搬方向は西から東で逆方向となっているものの、類似した年オーダーの破壊遅れが紀伊半島の東西セグメントで生じている。このことから、南海トラフ域の自発的サイクルは 200 年前後(例えば図 3 - 1 0 - ④ - 1)であって、外部擾乱の影響により、前回サイクルからの間隔が短く・東西セグメントが大きな時間遅れを持って分断発生する地震が起こり得る場である、という仮説が成り立つかもしれない。

この仮説に基づいた場合に発生しうる地震シナリオを検討するため、H26 年度は、トリガーが日向灘地震の場合について、南海トラフ地震サイクルモデル(図 3 - 1 0 - ④ - 1)が、日向灘地震の発生タイミングによって受ける影響を系統的に調査した。具体的には、図 3 - 1 0 - ④ - 1 に示す M8 前半の東海・南海が分かれて発生する地震(図 3 - 1 0 - ④ - 1 中)・M8.7 の同時発生する地震(図 3 - 1 0 - ④ - 1 左・右)以前の地震サイクルの様々なタイミングで日向灘地震による摂動を加え、その後発生するシナリオ地震を調べた。

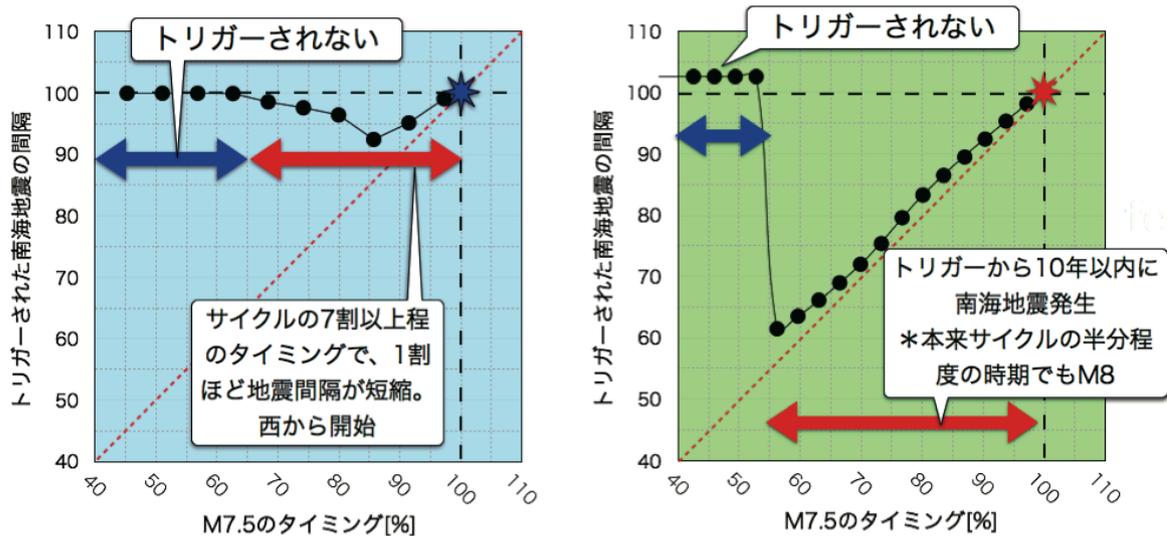


図 3-10-④-3 日向灘地震発生による摂動のタイミングと、その後発生する南海トラフ地震が受ける再来間隔の変化の関係。(左図)M8前半の南海トラフ地震発生前の地震サイクルにM7による応力変化を与えた場合。(右図)M8後半の南海トラフ地震発生前の地震サイクルにM7による応力変化を与えた場合。

図 3-10-④-3 はトリガー後、次に発生する南海トラフ地震と前回地震との繰り返し間隔変化の割合を示している。図 3-10-④-3 左に示すように、M8前半の南海トラフ地震に先行する地震サイクルでは、地震サイクルの8割強が経過した時点でトリガーされた場合に、最大1割程度短縮した地震が発生するに留まった(図 3-10-④-3 左)。これに対し、M8後半の南海トラフ地震に先行する地震サイクルでは、サイクルの5割強が経過した時点以降に対して、トリガーから10年以内で南海地震が発生する結果が得られた(図 3-10-④-3 右)。つまり、最大で地震サイクルが6割程度に短縮され得ることになっている。

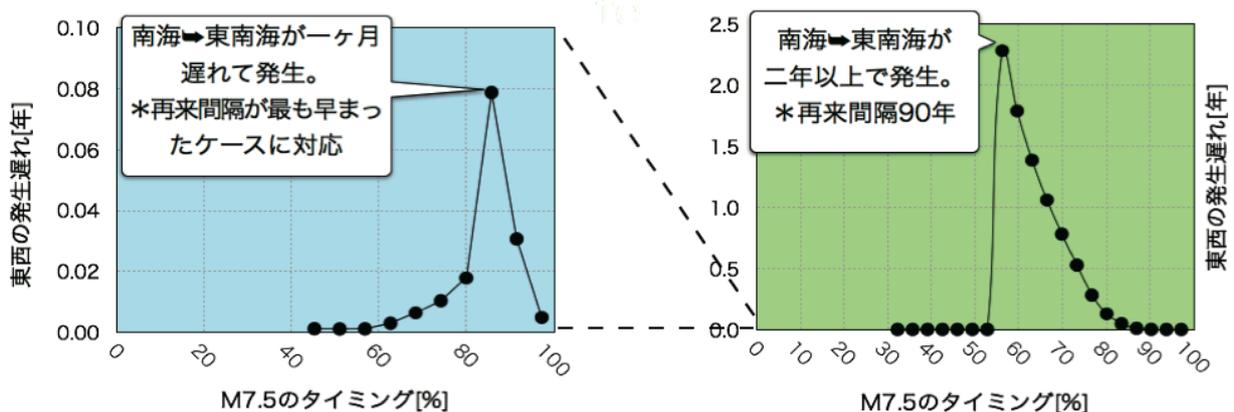


図 3-10-④-4 日向灘地震発生による摂動のタイミングと、その後発生する南海トラフ地震の東西セグメントの破壊遅れの関係。(左図)M8前半の南海トラフ地震前の地震サイクルにM7による応力変化を与えた場合。(右図)M8後半の南海トラフ地震前の地震サイクルにM7による応力変化を与えた場合。

同様に、日向灘地震のタイミングに対し、その後発生する南海トラフ地震での紀伊半島を挟んだ東西セグメントの発生遅れに対する影響を図3-10-④-4に示す。その傾向は図3-10-④-3の再来間隔の短縮と相関し、トリガーにより繰り返し間隔が短縮される場合ほど、東西セグメント間の破壊間隔が大きくなっている。つまり、南海地震がトリガーによって早期発生した場合には、セグメント境界の摩擦不均質が東西破壊に対しバリアとして十分有効であって、セグメント境界を跨ぐ短い時間間隔での破壊を抑制している。これに対し、自発的な南海トラフ地震の繰り返し間隔に近いタイミングでトリガーされる場合、サイクルの進展に伴ってバリアも弱まるため、セグメント境界を跨ぐ破壊が短い時間間隔で発生することとなる。

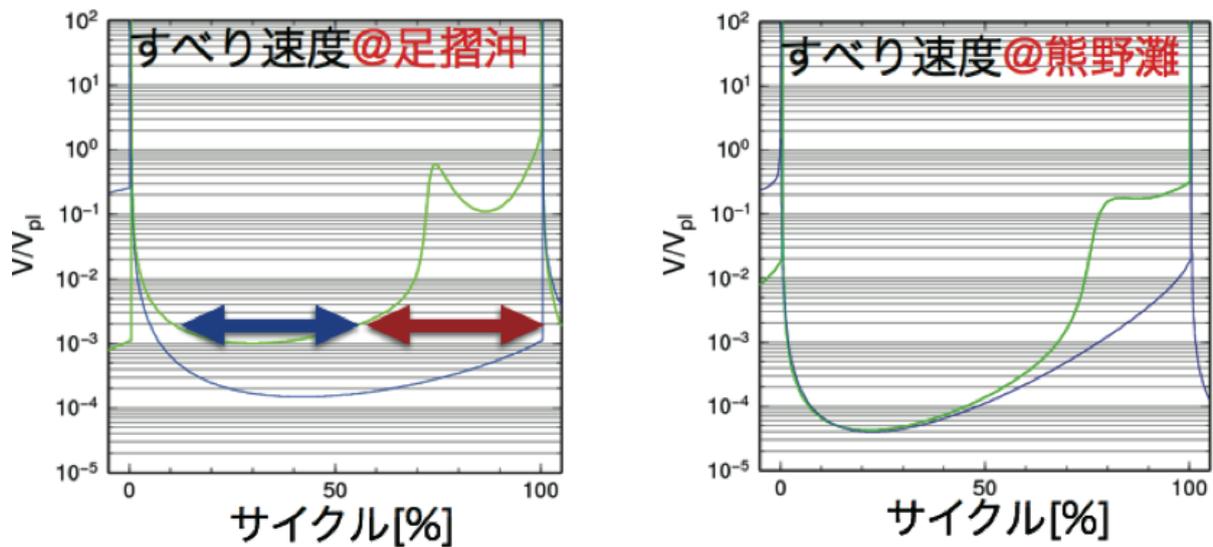


図3-10-④-5 図3-10-④-1のモデルでの南海トラフ地震震源域における、すべり速度の時間変化。緑の線がM8後半の南海トラフ地震発生に先行する地震サイクルでのすべり速度変化であり、青の線がM8前半の地震に先行する地震サイクルでのすべり速度変化を示す。(左図)日向灘地震によってトリガーされる場合に震源となる足摺沖でのすべり速度変化。(右図)図3-10-④-1の自発的な南海トラフ地震サイクルで破壊開始位置となる熊野灘でのすべり速度変化。

また、図3-10-④-5は、図3-10-④-1の地震サイクルでの南海トラフ地震震源域内のすべり速度の変化を示している。図3-10-④-5左は、日向灘地震によってトリガーされる南海地震が開始する足摺沖でのすべり速度の時間変化を示している。図3右、図3-10-④-4右で示したトリガーによって再来間隔・東西遅れが影響を受けやすい、M8後半の地震に先行するタイミング(緑線の場合の赤両矢印で示した部分)では、すべり速度がそれ以前より2桁程度上昇していることが見て取れる。これは、この期間においてプレート間の固着が剥がれつつあり、日向灘地震発生による擾乱によってすべりの加速が起りやすくなっていることを示している。同様に、同じタイミングでの熊野灘でのすべり速度(図3-10-④-5右)を見てみると、足摺沖と同程度にまですべり速度が上昇していることが見て取れる。よって、もし日向灘地震によって足摺沖の南海トラフ震源域が受けるのと同程度の応力変化を被れば、

熊野灘でも誘発破壊が引き起こされることが考えられよう。

今後は、安政から昭和イベントまでの地震発生挙動を理解するためにも、この仮説を検証していく必要がある。

(d) 結論ならびに今後の課題

H26年度は、これまで実施してきたM8以上の南海トラフ地震を対象とした準動的地震発生サイクルの数値シミュレーションに対し、日向灘で発生するM7クラス地震サイクルを追加することにより、南海トラフ地震の発生パターンが受ける影響を検証した。これにより、従来から再現されていた南海トラフ地震が熊野灘から開始するシナリオ以外に、日向灘地震発生後、数年で四国西端から南海地震が発生・東に破壊が伝搬するシナリオ群が見つかった。また、これらのシナリオ群がM8クラス地震のみをモデル化した場合、再現が困難であった南海トラフ地震の繰り返し間隔の倍半分の変化(100-200年程度)を説明し得る可能性があることが明らかとなった。今後は、安政から昭和イベントまでの地震発生挙動を理解するために、熊野灘でも誘発破壊を引き起こすような地震シナリオを検証していく必要がある。

(e) 引用文献

- 1) Nakata, R., Hyodo, M., and Hori, T., Possible slip history scenarios for the Hyuga-nada region and Bungo Channel and their relationship with Nankai earthquakes in southwest Japan based on numerical simulations, *J. Geophys. Res.*, 119, 4787-4801, 2014.
- 2) Kodaira, S., Hori, T., Ito, A., Miura, S., Fujie, G., Park, J.O., Baba, T., Sakaguchi, H., Kaneda, Y., A cause of rupture segmentation and synchronization in the Nankai Trough revealed by seismic imaging and numerical simulation, *J. Geophys. Res.*, 111, B09301-17, 2006.

⑤巨大地震の震源モデル及び地殻・地盤モデル開発

(a) 業務の要約

巨大地震時の強震動予測の高度化には、強震動予測のための巨大地震の震源モデル像の構築と、震源域から強震動予測を行う対象地点を含む地殻・地盤の地震波速度構造モデルの構築が必要である。強震動予測は地震被害の予測や軽減のために行うものであるため、地震被害を受ける構造物の周期帯域を意識する必要がある。近年の構造物の巨大化や複雑化により、広帯域（具体的には周期0.1秒程度から10秒程度）の強震動予測が必要となってきた。この観点に基づいた震源モデルの複雑さや、地下構造モデルの複雑さを取り入れた検討を進めていく必要がある。

政府の地震調査研究推進本部によって進められてきた地震動予測地図作成において、広帯域の時刻歴強震動予測手法とともに、震源モデルや地下構造モデルのプロトタイプが提案されて活用されている。また、個々の研究者によっても、震源モデルのモデル化手法や、大規模堆積盆地モデルのような各地域の地下速度構造モデルにおいて高精度化が行われている。本業務にあたっては、これらの震源モデル、地殻・地盤速度構造モデ

ルに関する既往研究に基づき、それらの広帯域化や信頼性を上げていくための方法論の検討と、改良モデルを提案していくことを目的としている。

(b) 業務の実施方法

2011年東北地方太平洋沖地震を含むプレート境界大～巨大地震の震源特性を踏まえて、広帯域の強震動予測のための震源モデル構築の高度化についての検討を行う。南海トラフの巨大地震時の震源域から都市圏への地震波伝播特性を把握し、地殻の速度構造モデルの高度化に資するため、海域と陸域での地震観測点における連続記録を活用した観測点間グリーン関数の推定を行う。

(c) 業務の成果

1) 強震動予測のための巨大地震震源モデルの構築

2011年東北地方太平洋沖地震を含む過去のプレート境界地震の震源像をベースに、南海トラフ巨大地震等のプレート境界地震の震源モデルの微視的パラメータ設定方法を検討する。東北地方太平洋沖地震については、経験的グリーン関数法を用いた0.1-10 Hzの地震動の震源像（SMGAモデル）を推定する解析が複数実施された（「Asano and Iwata, 2012」、「川辺・釜江, 2013」、「Kurahashi and Irikura, 2013」）。いずれの解析も、強震動予測に必要な0.1-10 Hzの地震動が、数十km四方程度の4～5個のパッチから放射された地震動でほぼ説明し尽くされることを示した。これは、これまでの地震調査研究推進本部や内閣府によるプレート境界巨大地震震源モデルで仮定されてきた、アスペリティに強震動源となるすべりを集中させる方法を支持するものである。また、これもこれまでの地震調査研究推進本部や内閣府によるプレート境界巨大地震震源モデルでも仮定されてきたことだが、東北地方太平洋沖地震で生じたような海溝沿いの長周期が卓越した大すべりは、強震動予測的には無視できることが確認された。上記のSMGA震源モデルは、さらに背景領域のすべりのモデル化も必要ないことを示唆している。

しかし、強震動源となるすべりの集中度は、2011年東北地方太平洋沖地震発生前の地震調査研究推進本部や内閣府のモデルと、東北地方太平洋沖地震ではだいぶ異なっている。南海トラフの地震に対する「地震調査研究推進本部, 2001」の震源モデルで強震動発生域として設定されているアスペリティは断層面積の約30%、「中央防災会議, 2003」の震源モデルのアスペリティは断層面積の20または30%であった。一方、東北地方太平洋沖地震のSMGA総面積は、前述の3つのSMGAモデルを用い、「Suzuki *et al.*, 2011」の設定断層面を全破壊域と仮定すると、断層面積全体の4.7～5.8%、海溝沿いの深さ10 kmまでのいわゆる津波地震発生域を除いた断層面積の6.2～7.6%である（「佐藤, 2012」でもSMGAが推定されているが、解析周波数帯が0.05-10 Hzと異なり、そのため、他のモデルとの違いがやや大きい）。「内閣府, 2012」は、2012年の南海トラフの巨大地震モデルの検討において、SMGAをベースとする微視的パラメータ設定に切り替え、断層面積の10%をSMGAとする設定を行った。以下の検討では、「内閣府, 2012」と同様の問題意識であるが、

より細かい検討を行う。

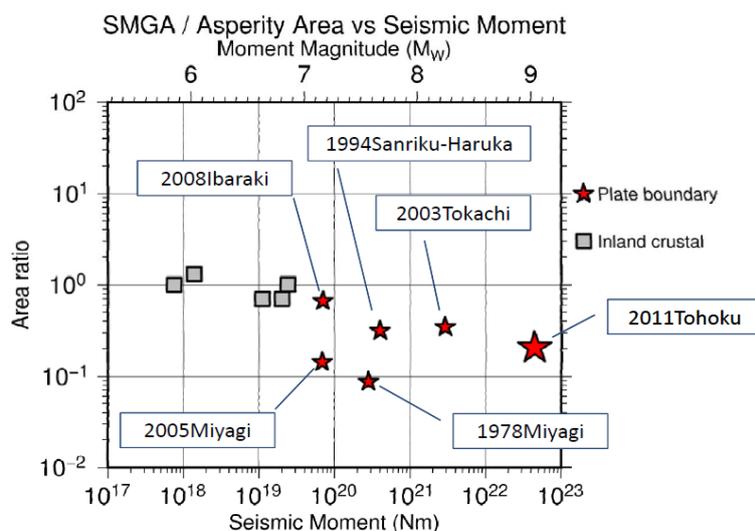


図 3-10-⑤-1 SMGA 総面積とアスペリティ総面積の比の地震モーメントに対する変化「Iwata *et al.*, 2013」

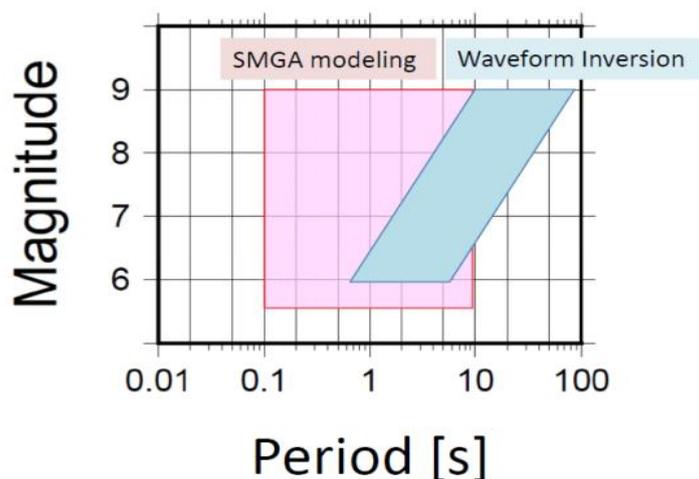


図 3-10-⑤-2 SMGA モデリングと波形インバージョンそれぞれの解析周期帯の地震のマグニチュードによる変化の概念図(Iwata *et al.*, 2013)

内陸地殻内地震については、波形インバージョンのすべり分布モデルから求められる大すべり域（アスペリティ）は、経験的グリーン関数法でモデル化される強震動生成域（SMGA）とほぼ一致することが言われてきた（「Miyake *et al.*, 2003」、「岩田, 2009」）。しかし、プレート境界大～巨大地震については、アスペリティ＝SMGAではない（図 3-10-⑤-1）。海溝沿いの浅い部分で長周期大すべりが発生した東北地方太平洋沖地震を別にしても、SMGA の総面積はアスペリティの総面積の 10～80%である。この原因は、M7 では波形インバージョンと SMGA モデリングにおいて解析周期帯域が重なっているが、そこから規模が大きくなるにつれ両者のずれが大きくなり、M9 クラスではそれらがほとんど重なっていないことから起きて

いると考えられる（図3-10-⑤-2）。地震が大きくなると波形インバージョンと SMGA モデリングの解析周波数帯域がずれてくるのは、インバージョン解析において、0.1 Hz 以下の低周波数の地震動が強調されることから波形インバージョンがこれを取り込むようになることと、波形インバージョンで震源モデルを表現するパラメータの数（例えばサブ断層サイズを対象周波数に対応させてより大きくする）を抑えるため、また広い震源域を対象とした場合にグリーン関数の精度が落ちるために高周波数側を削ることによる。SMGA とアスペリティの関係は、過去の事例を見ると、海溝沿いに長周期大すべり域が生じた 2011 年東北地方太平洋沖地震以外では、SMGA がほぼアスペリティに内包される場合（1994 年三陸はるか沖地震、2003 年十勝沖地震など）が多いようである。この原因には、実質的な周波数による地震波放射域の広がりへの違いはあるだろうが、他に、見る波長による地震波放射域の空間分解能の違い、グリーン関数の精度の違いなどの影響も考えられる。

いずれにせよ、このように SMGA とアスペリティの大きさが異なるプレート境界巨大地震については、強震動予測のための震源のモデル化手法を構築する際には、強震動予測で必要とされる周波数帯に対応した SMGA モデルをベースに考えるべきである。そこで、過去のプレート境界大～超巨大地震の SMGA モデルに基づいて、予測震源モデルで与えるべき SMGA の面積とその個数、応力降下量の設定方法を考える。ここで強震動予測に必要とされる周波数についてであるが、大堀（1997）によると、原子炉建物、木造住宅のような固有周期の短いものから超高層ビルのような固有周期の長いもので、構造物の固有周期は 0.1-10 秒にほぼ納まる。一部の大型貯蔵タンク・長大吊橋で周期 20 秒までのものがあるが、周波数範囲が広がるほど全ての周期で妥当なモデルが作りにくくなるということもあり、対象周期を 0.1-10 秒（対象周波数を 0.1-10 Hz）とする。ただし、以下で用いる過去の地震の SMGA モデルには、低周波数側の限界周波数が 0.2 Hz や 0.3 Hz のものも含まれる。

SMGA の総面積の断層面積に対する比であるが、これを（1）断層面積に対する比を直接計算する方法と（2）アスペリティ総面積に対する比を求めた後に、プレート境界地震のアスペリティ総面積の断層面積に対する比の平均値 22% 「Murotani *et al.*, 2008」を掛けて求める方法とを試す。後者を検討するのは、波形インバージョン解析において、小さいすべり量で決まる断層面積よりもアスペリティ面積の方が、より信頼性があるのではないかという考察による。検討に用いた地震は、1994 年三陸はるか沖地震（SMGA モデル：「宮原・笹谷, 2004」）（波形インバージョン：「永井・他, 2001」、「Nakayama and Takeo, 1997」）と 2003 年十勝沖地震（SMGA モデル：「Kamae and Kawabe, 2004」）（波形インバージョン：「Koketsu *et al.*, 2004」、「Honda *et al.*, 2004」）であり、波形インバージョン結果から導出された断層面およびアスペリティの面積は「Murotani *et al.*, 2008」の値を用いた。東北地方太平洋沖地震は海溝沿いの長周期大すべりにより SMGA を内包するアスペリティが見られず、断層面積とアスペリティ面積の定義が前述の 2 つの地震とずれるため、ひとまず検討から外す。全ての組み合わせで計算すると、（1）の方法では  $6.2 \pm 1.9\%$  となった。（2）の方法では、 $8.5\% \pm 5.1\%$  と、（1）の方が安定して求められた（た

だし、データ数が少なく、優位性は保証されない)。

一方、東北地方太平洋沖地震について、海溝沿いの深さ 10 km までを差し引いた部分を強震動に関わる断層面とみなすと、全破壊域にたいする全 SMGA の比は  $6.8 \pm 0.8\%$  であり、(1) とより調和的である。次に、地震調査研究推進本部や内閣府のモデル作成方法に鑑み、断層面上のセグメント毎に SMGA の数と比率を調べる(比率については(1)の方法で調べる)。東北地方太平洋沖地震は「中央防災会議, 2006」の「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」での領域分けに従うと 6 つの領域にわたって破壊している。北から三陸沖中部領域では個数は 0~1 個で 1 個の場合は比率が 4.0%、宮城県沖(陸側+海溝側)では個数が 2 個で比率が  $13.8 \pm 3.4\%$ 、福島県沖では個数が 1~2 個で比率が  $6.4 \pm 2.6\%$  (1 個の場合 5.6%、2 個の場合  $7.8 \pm 3.1\%$ )、茨城県沖では個数が 1 個で比率は  $6.2 \pm 1.1\%$  となる。日本海溝沿いのプレート境界の領域分けは、南海トラフのセグメントのように幾何形状や海底地形に対応したものとは違う上に、他にも強い根拠が存在しないため、このばらつきをセグメントにおける SMGA の割合のばらつきと結びつけるのは早計であるが、単に SMGA の分布を見ただけでも、宮城県沖で密度が高く断層面の南部・北部で密度が低い様子が見て取れる。SMGA の総面積が決まったとしてそれを何個の SMGA に分割するかという問題に関しては、セグメントを介する方法以外に、個々の SMGA 面積と地震のモーメントの関係(図 3-10-⑤-3)を頼りに設定する方法もあるかもしれない。

図 3-10-⑤-3 は、SMGA モデルがある Mw5.9~9.1 のプレート境界型地震(1994 年三陸はるか沖地震:「宮原・笹谷, 2004」、2002 年宮城沖地震及び 2003-2005 年に千島海溝沿いに起こった 8 個の地震:「Suzuki and Iwata, 2005」、2003 年十勝沖地震:「Kamae and Kawabe, 2004」、2005 年宮城沖地震:「Suzuki and Iwata, 2007」、1982 年および 2008 年茨城県沖地震:「瀧口・他, 2011」、2011 年東北地方太平洋沖地震:「Asano and Iwata, 2012」)のデータを元に作成した。

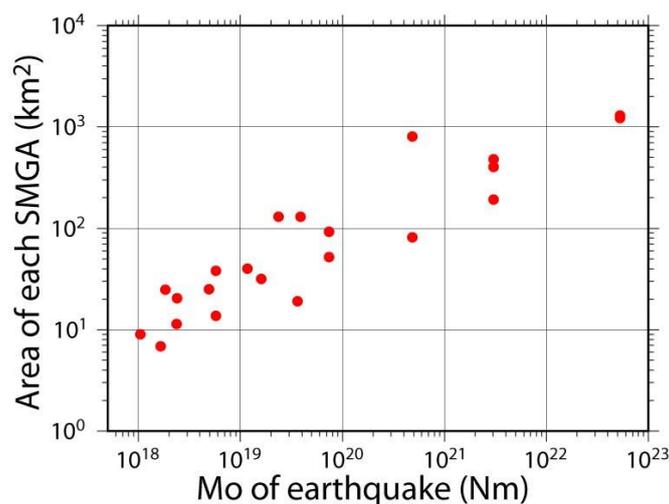


図 3-10-⑤-3 個々の SMGA の面積と地震全体の地震モーメントの関係

SMGA の応力降下量については、前述の SMGA がモデル化された Mw5.9~9.1 の

プレート境界型地震のモデルを用いて特徴を調べたところ、小さい SMGA ではばらつきが大きく、面積が大きくなると応力降下量の変動が小さいことがわかった（図 3-10-⑤-4）。また、解析周波数の下限周波数が大きくなる程変動が大きくなる傾向も見られる。これらのことは、強震動生成する場の不均質性を示しているのかもしれない。SMGA の応力降下量の設定を考える際には、このようなサイズ依存性を考慮する必要がある。巨大地震で想定されるような 400 km<sup>2</sup>以上の SMGA について平均をとると 26.0±14.3 MPa となった。

SMGA の位置は地震動の強さと空間分布を決める最重要なパラメータの 1 つである。現在、地震調査研究推進本部や内閣府のモデル化など多くの想定震源モデルで、過去の地震の解析から強震動を発生したと推定される場所を定常的な強震動生成可能域とする仮定のもとに想定地震の SMGA を設定する方法が採られている。これは、「永井・他, 2001」や「Igarashi *et al.*, 2003」によるアスペリティの繰り返しによっても支持される。しかし、その位置の精度はあまり高くないかもしれない。同じ波群をモデル化したと思われる 2011 年東北地方太平洋沖地震の SMGA について、前述 3 モデルの間で最大 60 km 強の位置の違いが見られる。原因は、S 波速度の仮定、断層面の仮定、用いる観測記録の違い等によるものと考えられる。同様の空間的不確定性は、過去の地震について推定されたアスペリティにもあると考えられる。よって、想定地震の震源モデルの SMGA は、何らかの方法で推定された過去の SMGA 位置を基本にしつつも、位置の変動も考慮したほうがよい。

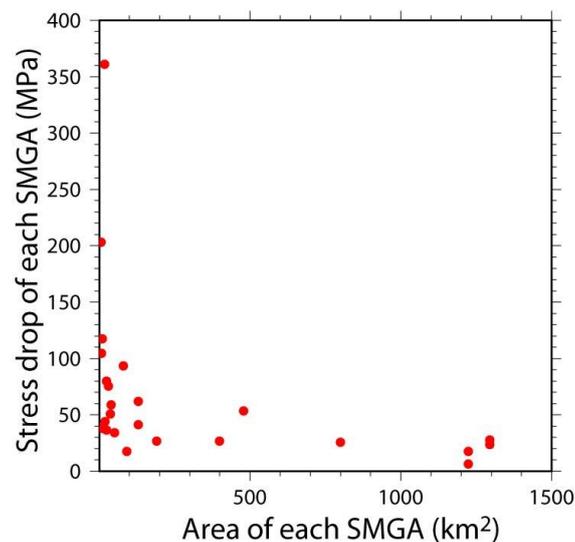


図 3-10-⑤-4 個々の SMGA の面積とその応力降下量の関係

今後は、上記の検討内容を整理して、SMGA ベースの震源モデル作成方法の明快なルールを作り、さらに、実際の地震動予測に用いる計算手法に即した設定方法の模索を行う必要がある。面的な地震動予測を行うには、現状、長周期側については差分法等で理論的地震動計算を行い、短周期側については統計的グリーン関数法で計算し、両者をハイブリッドする方法が現実的である。この方法で、経験的グリーン関数法でモデル化された SMGA の地震動と同様の性質を備えた地震動がモデル

化する必要がある。「川辺，2013」は、「川辺・釜江，2013」の SMGA モデルに「中村・宮武，2000」のすべり速度時間関数を使った震源モデルを入力として差分法で 4~10 秒のモデリングを行い観測の説明に成功しているが、0.1-10 Hz の広帯域での実用性の確認が必要である。

## 2) 海陸地震波干渉法による伝播経路地殻構造モデルの検証・高度化

微動や脈動記録を対象に、任意の 2 観測点間での微動・脈動記録の相互相関関数を計算し、2 観測点間のグリーン関数に関する情報を得る手法である地震波干渉法の適用が、地震学や物理探査学において、さまざまな地域、空間スケールで進んでいる。本業務では、南海トラフ巨大地震による長周期地震動の生成・伝播特性に重要な役割を担う、震源域から陸域における伝播経路モデル化の高度化に資する情報を得るため、海域の観測点と陸域の観測点を組み合わせた 2 点間グリーン関数の抽出を行う。海洋プレート上面の上に位置する付加体が長周期地震動の増幅特性に大きく寄与していることは、2004 年紀伊半島沖地震の観測記録の分析や地震動シミュレーションからも指摘されており（「Yamada and Iwata, 2005」、「Furumura *et al.*, 2008」）、震源域と陸域の間に位置する付加体の地震波速度構造を高度化することは、南海トラフ巨大地震の地震動シミュレーション研究の高精度化のためには不可欠であると考えられる。今年度は、大阪堆積盆地を含む西南日本域と東南海地震の震源域である熊野海盆の間の地殻構造に注目し、解析に必要なデータの収集・整理を行った。

熊野海盆周辺海域において地震・津波観測監視システム（DONET1）を運用する独立行政法人海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター海底観測技術開発グループの関係者と DONET1 広帯域地震波形データの使用に関する協議を行った。本年度は 2013 年 1 月 15 日から 2014 年 9 月 2 日までの約 1.6 年分について、広帯域地震計 20 点の連続波形データの提供を受けた。DONET1 は 5 つのノードに各 4 つの観測点が接続されている。各観測点には、Guralp 社製広帯域地震計 CMG-3T が設置され、3 成分の地動速度記録がサンプリング周波数 200 Hz で収録されている。

陸側の観測点については、上記 DONET1 のデータ提供期間に対応する期間の記録について、独立行政法人防災科学技術研究所の広帯域地震観測網（F-net）及び京都大学防災研究所の広帯域地震計（STS-1、STS-2 または STS-2.5 のいずれか 3 成分が設置されている）の連続記録を収集した。連続記録を収集した広帯域地震観測点を図 3-10-⑤-5 の地図に示す。

海域及び陸域の連続記録ともに、東京大学地震研究所の策定した WIN 形式のファイルフォーマットで提供を受けているので、これらを整理し、本業務の解析に使用できるようファイルフォーマットの変換作業を実施した。海域、陸域いずれも連続記録を取り扱う必要があるため、データ量が膨大であり、記録のコピーやフォーマット変換作業におのおの数ヶ月オーダーの時間を要した。平成 27 年度は本格的な解析を実施する。まず、熊野海盆から紀伊半島南部をターゲットに、解析可能周

波数範囲などを吟味しながら、熊野海盆—紀伊半島南部の観測点間グリーン関数の抽出を試みる。

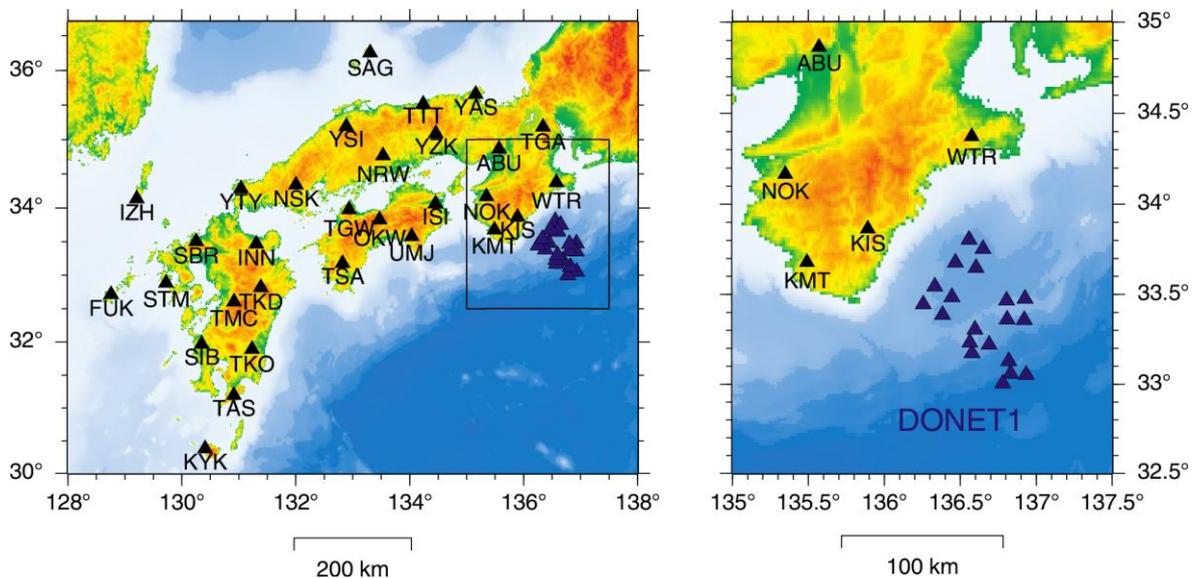


図 3-10-⑤-5 連続記録を収集した広帯域地震観測点。(左) 西南日本全体、(右) 熊野海盆から紀伊半島に書けての領域(左図の矩形領域)を拡大したもの。

(d) 結論ならびに今後の課題

広帯域強震動予測のための震源モデル構築手法に関して、SMGA(強震動生成域)モデルに基づき、2011年東北地方太平洋沖地震を含むプレート境界大～巨大地震のSMGAパラメータの特徴について整理を行い、震源モデル設定方法についての考え方をまとめた。ここでの提案に基づいて方法論の検証を実記録に適用して確認する必要がある。

南海トラフでの巨大地震に対して、震源域から都市圏に至る地震波伝播経路の波動伝播特性把握と既往の地殻速度構造モデルの検証のため、海域と陸域の地震観測点間のグリーン関数の推定を開始した。膨大なデータ容量のハンドリングが必要であったため、観測点間グリーン関数の構築は来年度に行う。

(e) 引用文献

- 1) Asano, K. and T. Iwata, Source model for strong ground motion generation in the frequency range 0.1–10 Hz during the 2011 Tohoku earthquake, Earth Planets Space, 64, 1111-1123, 2012.
- 2) 中央防災会議, 東南海、南海地震等に関する専門調査会(第16回)資料3, 2003.
- 3) 中央防災会議, 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会報告, 2006.
- 4) Furumura, T., T. Hayakawa, M. Nakamura, K. Koketsu, and T. Baba, Development of long-period ground motions from the Nankai Trough, Japan, earthquakes: Observations

- and computer simulation of the 1944 Tonankai ( $M_w$  8.1) and the 2004 SE Off-Kii Peninsula ( $M_w$  7.4) earthquakes, *Pure Appl. Geophys.*, 165, 587–607, 2008.
- 5) Honda, R., S. Aoi, N. Morikawa, H. Sekiguchi, T. Kunugi and H. Fujiwara, Ground motion and rupture process of the 2003 Tokachi-oki earthquake obtained from strong motion data of K-NET and KiK-net, *Earth Planets Space*, 56, 317-322, 2004.
  - 6) Igarashi, T., T. Matsuzawa and A. Hasegawa, Repeating earthquakes and interplate aseismic slip in the northeastern Japan subduction zone, *J. Geophys. Res.*, 108(B5), doi:10.1029/2002JB001920, 2003.
  - 7) 岩田知孝, 強震動予測のための特性化震源モデル, *地震第 2 輯*, 61, S425-S431, 2009.
  - 8) Iwata, T., K. Asano, and H. Kubo, Construction of Source Model of Huge Subduction Earthquakes for Strong Ground Motion Prediction, AGU 2013 Fall Meeting, S43A-2470, December 2013.
  - 9) 地震調査研究推進本部地震調査委員会強震動評価部会, 南海トラフの地震を想定した強震動評価手法について (中間報告), 2001.
  - 10) Kamae, K. and H. Kawabe, Source model composed of asperities for the 2003 Tokachi-oki, Japan, earthquake ( $M_{JMA}=8.0$ ) estimated by the empirical Green's function method, *Earth Planets Space*, 56, 323-327, 2004.
  - 11) 川辺秀憲・釜江克宏, 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源のモデル化, *日本地震工学会論文集*, 13(2), 2013.
  - 12) 川辺秀憲, 2011 年東北地方太平洋沖地震( $M9.0$ )の強震動の検証と広域長周期地震動シミュレーション, 第 41 回地盤震動シンポジウム, 2013.
  - 13) Koketsu, K., K. Hikima, S. Miyazaki and S. Ide, Joint inversion of strong motion and geodetic data for the source process of the 2003 Tokachi-oki, Hokkaido, earthquake, *Earth Planets Space*, 56, 329-334, 2004.
  - 14) Kurahashi, S. and K. Irikura, Short-Period Source Model of the 2011 Mw 9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 103(2B), 1373-1393, 2013.
  - 15) 宮原昌一・笹谷努, 経験的グリーン関数法を用いた 1994 年三陸はるか沖地震の震源過程の推定, *北海道大学地球物理学研究報告*, 67, 197-212, 2004.
  - 16) Miyake, H., T. Iwata, and K. Irikura, Source Characterization for Broadband Ground-Motion Simulation: Kinematic Heterogeneous Source Model and Strong Motion Generation Area, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93, 2531-2545, 2003.
  - 17) Murotani, S., H. Miyake and K. Koketsu, Scaling of characterized slip models for plate-boundary earthquakes, *Earth Planets Space*, 60, 987-991, 2008.
  - 18) 内閣府, 南海トラフの巨大地震モデル検討会 (第二次報告) 強震断層モデル編, 2012.
  - 19) 永井理子・菊池正幸・山中佳子, 三陸沖における再来大地震の震源過程の比較研究—1968 年十勝沖地震と 1994 年三陸はるか沖地震の比較—, *地震 (第 2 輯)*, 54,

267-280, 2001.

- 20) 中村洋光・宮武隆, 断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式, 地震 (第 2 輯), 53, 1-9, 2000.
- 21) Nakayama, W., and M. Takeo, Slip history of the 1994 Sanriku-Haruka-Oki, Japan, earthquake deduced from strong-motion data, Bull. Seismol. Soc. Am., 87(4), 918-931, 1997.
- 22) 大堀道広, 強震動地震学基礎講座一強震動予測で対象となる周期範囲, 日本地震学会ニュースレター, 9(1), 1997.
- 23) 佐藤智美, 経験的グリーン関数法に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源モデルプレート境界地震の短周期レベルに着目して一, 日本建築学会構造系論文集, 77(675), 695-704, 2012.
- 24) Suzuki, W. and T. Iwata, Source Characteristics of Interplate Earthquakes in Northeast Japan Inferred From the Analysis of Broadband Strong-Motion Records, American Geophysical Union, Fall Meeting 2005, abstract #S43A-1040, 2005.
- 25) Suzuki, W. and T. Iwata, Source model of the 2005 Miyagi-Oki, Japan, earthquake estimated from broadband strong motions, Earth Planets Space, 59, 1155-1171, 2007.
- 26) Suzuki, W., S. Aoi, H. Sekiguchi and T. Kunugi, Rupture process of the 2011 Tohoku-Oki mega-thrust earthquake (M9.0) inverted from strong-motion data, Geophys. Res. Lett., 38, doi:10.1029/2011GL049136, 2011.
- 27) 瀧口正治・浅野公之・岩田知孝, 近地強震記録を用いた海溝型繰り返し地震の震源過程の推定と比較一茨城県沖で 1982 年と 2008 年に発生した M7 の地震を対象として一, 地震 (第 2 輯), 63(4), 223-242, 2011.
- 28) Yamada, N. and T. Iwata, Long-period ground motion simulation in the Kinki area during the M<sub>J</sub> 7.1 foreshock of the 2004 off the Kii peninsula earthquakes, Earth Planets Space, 57, 197-202, 2005.

#### ⑥ シミュレーションに基づく南海トラフ地震津波の検証・評価

##### (a) 業務の要約

平成 26 年度は、まず、1944 年東南海地震・1946 年南海地震と 1854 年安政東海地震・南海地震との震源象の比較を行った。そのために、1944 年東南海地震と 1946 年南海地震の直後に実施されたアンケート調査の再解析を行い、それぞれの地震の改訂メルカリ震度階による震度分布と、1946 年南海地震については詳細な被害分布を得た。さらに、三重県内における歴史資料の調査し、1954 年安政東海地震の震源域の南西端が 1944 年東南海地震のそれまで及んでいたのかどうか検討した。また、三重県度会郡南伊勢町の五ヶ所湾にて歴史資料の調査と津波痕跡調査を行った。次に、前年度に引き続き 1600 年代の南海トラフ沿いの巨大地震の再検討を行った。まず、前年度に本プロジェクトで指摘した 1605 年慶長津波地震が伊豆-小笠原海溝沿いの巨大地震であった可能性を確かめるために、小笠原諸島の父島・母島と周辺の属島において津波痕跡調

査を行った。また、1605年慶長津波地震に代わる南海巨大地震と指摘されている（「石橋・原田，2013」，「石橋，2014」）、1614年11月26日（慶長十九年十月廿五日）の地震について、四国地方と九州地方における歴史資料の調査を行った。内閣府の想定したM9クラスの南海超巨大地震による西太平洋・東シナ海の津波の伝播シミュレーションを行った。南海トラフの巨大地震と比較するために、千島海溝沿いで発生した大地震・巨大地震の破壊様式の研究を行った。

(b) 業務の成果

1) 1944年東南海地震・1946年南海地震の直後に行われたアンケート調査の再解析による被害・震度分布

1944年東南海地震について、地震直後に東京帝国大学地震研究所と理学部地球物理学教室により、主に震度に関する大規模なアンケート調査が行われたが、その集計・解析結果は公表されていない（「津村・他，2010」）。そこで、本研究でアンケート調査の再集計と分析を行った。地震研究所に残されていた、完全でない震度の集計資料に記載されていた改正メルカリ震度（以下、「MM震度」）と、アンケート調査の回答から推定し直したMM震度から、この地震の震度分布図を作成した（図3-10-⑥-1）。集計資料の震度データは12県における99点、再推定された震度データは27都府県における139点である。その結果、震度5範囲が和歌山県の南西部から神奈川県、長野県まで広範囲に広がっていることが分かった。特に、長野県の諏訪湖付近、滋賀県の琵琶湖北岸付近、滋賀県南部（現甲賀市水口）や福井平野でもMM震度が大きく、9～10のMM震度（旧気象庁震度の6程度）が推定された場所もあることが分かった。

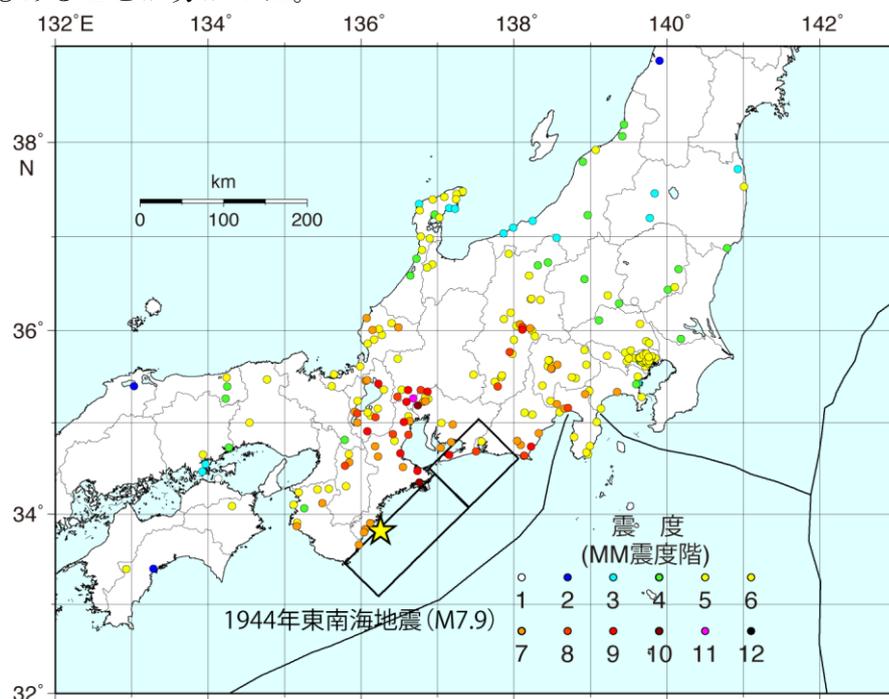


図3-10-⑥-1 地震直後に行われたアンケート調査結果による1944年東南海地震の震度分布（MM震度階）。星印と矩形は、それぞれ、1944年東南海地震の震源と震源域を示している。

震の震央と「相田，1979」による震源域。

観測点数は139点と少ないが、木造家屋・土蔵の被害などのアンケートによる被害状況が分かっているので、同じ地点における、歴史資料による1854年安政東海地震、1707年宝永地震の被害状況と直接比較することによって、それぞれの地点における地震動の強さを比較することが期待できると考えられる。今後、「中村・他，2014」、「香川・他，2014」のようにアンケートの震度に関する質問項目と気象庁震度の推定に使用される体感・被害状況との比較により、気象庁震度の推定を行う。そして、観測点数は少ないが、震度インバージョン（「神田・他，2004」）によって、短周期地震波の発生源の推定を試みる。

次に、1946年南海地震については、アンケート震度の集計資料とアンケート調査票と考えられる2種類の葉書を用いて、この地震の詳細なMM震度分布図の作成を行った。アンケート回答数は1034で、そのうち1014地点におけるMM震度が得られた。

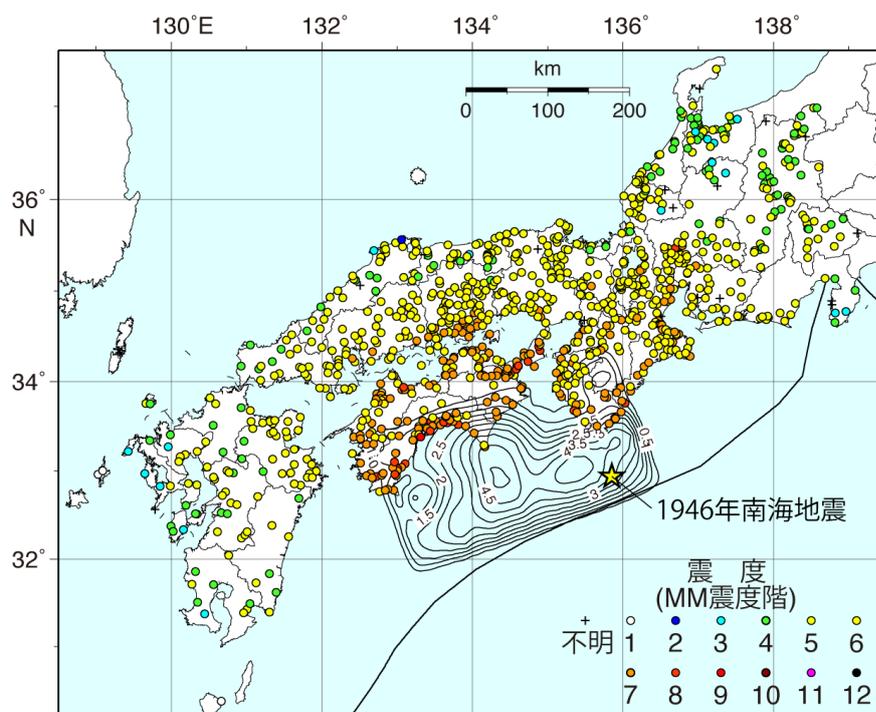


図3-10-⑥-2 地震直後に行われたアンケート調査結果による1946年南海地震の震度分布 (MM震度階、平均値)。星印とコンターは、それぞれ、1946年南海地震の震央と「Murotani, 2007」によるすべり量分布。

さらに、アンケート調査より明らかになった、地震動による人々や周囲の状況、建物や公共物の被害状況の分布図も作成した。アンケート葉書の震度に関する28の質問項目それぞれについて、MM震度が求められており、本研究では、それらの平均値をその観測点の震度とした。図3-10-⑥-2に得られた震度分布 (平均値) を示す。この平均MM震度の最大は、高知県内で9 (旧気象庁震度階の震度6程度)

である。四国地方、近畿地方、中国地方の瀬戸内側では、旧気象庁震度の震度5程度に対応するMM震度7、8が広範囲に分布している。この平均震度の分布は、中央気象台による震度分布（「中央気象台，1953」）とおおよそ一致している。しかしながら、28件の質問項目によるMM震度の最大値の分布（図3-10-⑥-3）については、旧気象庁震度の7に対応するMM震度10～12が、四国全域、兵庫県・岡山県・広島県の瀬戸内海側、和歌山県と三重県の太平洋側に分布しており、「中央気象台，1953」の震度分布（四国地方の太平洋側、瀬戸内海周辺、三重県の太平洋側の7点で震度6）と比べると、明らかに大きなMM震度が広範囲に分布している。10以上のMM震度は、家屋の被害、橋梁や堤防、岸壁などの被害に関する質問項目から推定されているが、これらの被害状況に対応するMM震度が過大である可能性も考えられるので、今後、さらなる検討が必要である。

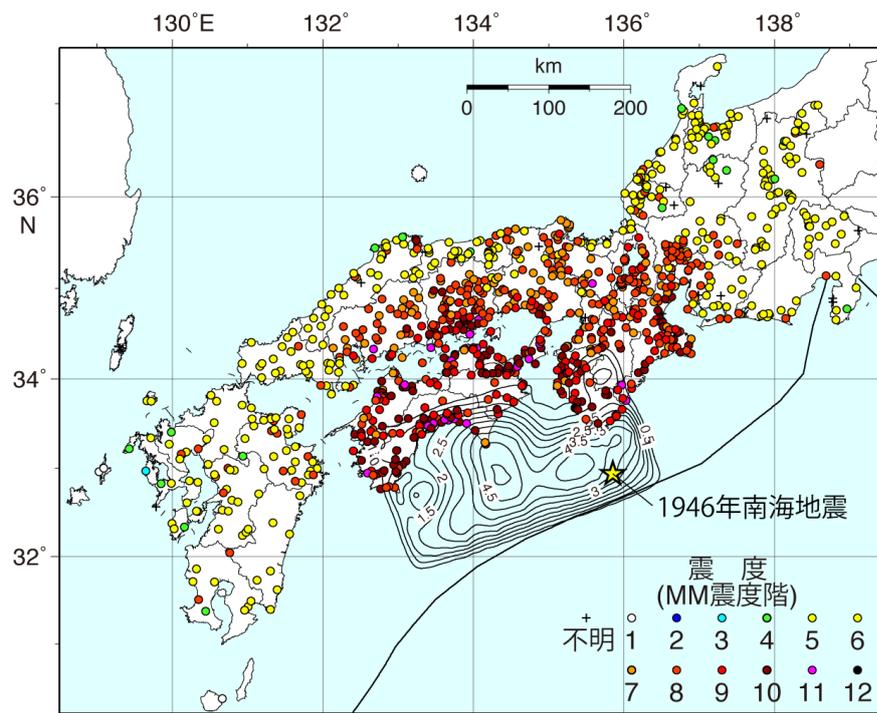


図3-10-⑥-3 地震直後に行われたアンケート調査結果による1946年南海地震の震度分布（MM震度階、最大値）。星印とコンターは、それぞれ、1946年南海地震の震央と「Mutotani, 2007」によるすべり量分布。

また、アンケート調査の木造家屋の被害状況に関する質問から、南海地震による西日本の木造家屋の被害状況が明らかになった（図3-10-⑥-4）。それによると、濃尾平野、琵琶湖周辺の平野、松江付近の平野部でも、壊れやすい家屋は倒れるものがあった。さらに、中国地方から近畿地方の山間部、四国地方の山間部では「被害がほとんどなし」であるのに対して、震源域からかなり遠くの静岡県平野部、濃尾平野周辺、琵琶湖周辺の平野部、福井平野付近、山陰地方の平野部における木造家屋は「かなり傷む」と回答されており、地盤の影響が家屋の被害に大きく影響を与えていることが分かる。木造家屋の被害状況から推定されるMM震度の分

布から、MM 震度 10（気象庁震度 6 に相当する）が非常に広範囲に広がっており、高知県においては、気象庁震度 7 に相当する MM 震度 11 が存在する。これは、「中央気象台，1953」による震度分布では、震度 6 を記録した地点が四国地方の太平洋側、瀬戸内海周辺、三重県の太平洋側の 7 点であるのに対して、顕著に大きい。また、煉瓦造り・石造りの家屋の被害も、木造家屋の被害の程度と調和的であった。

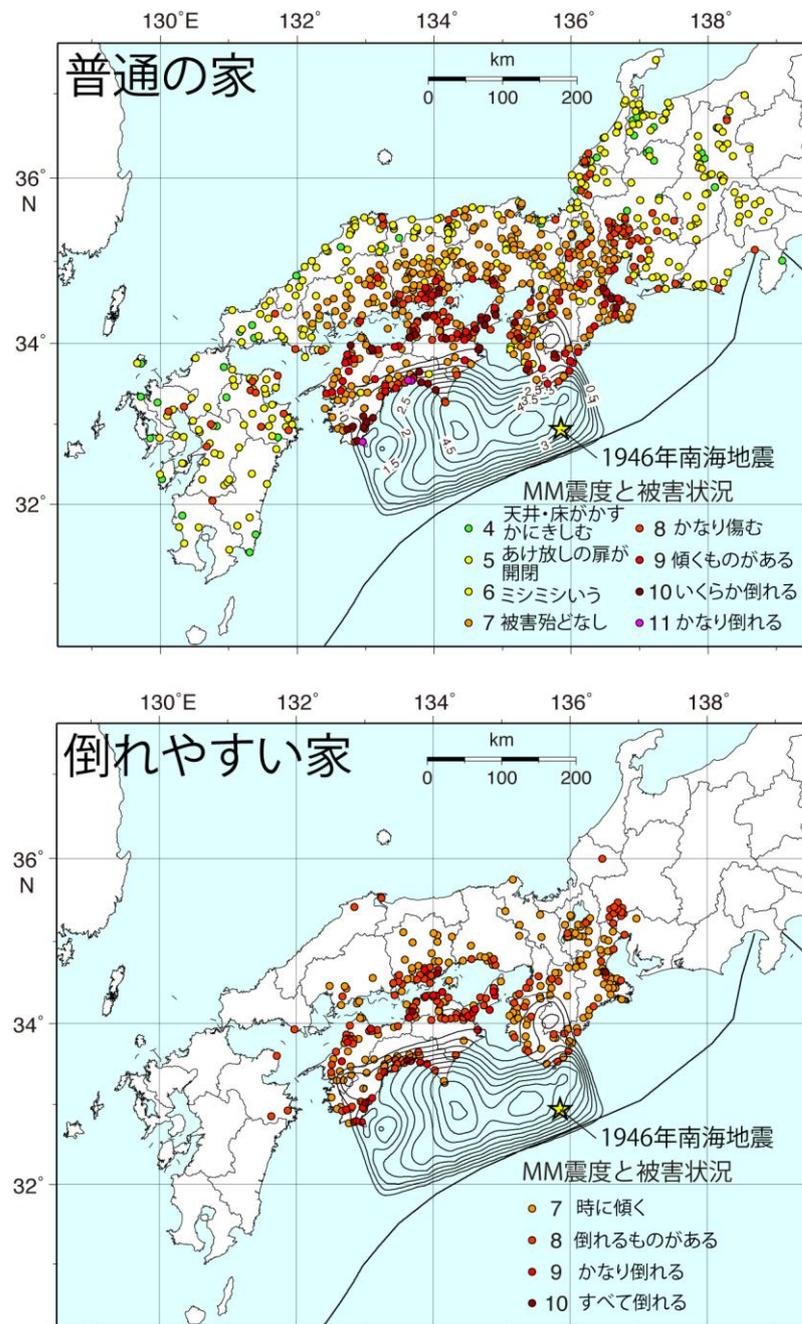


図 3-10-④-4 地震直後に行われたアンケート調査結果による、1946 年南海地震による木造家屋の被害分布。MM 震度が 7 以上では、“普通の家”と“倒れやすい家”とで質問が異なる。星印とコンターは、それぞれ、1946 年南海地震の震央と「Murotani, 2007」によるすべり量分布。

さらに、MM 震度の推定には使われていないが「低湿地に土砂を噴き出す」というアンケート回答の選択肢は、軟弱地盤の液状化による噴砂を表していると思われるが、震源域からかなり離れた三重県北部や、瀬戸内海周辺でも噴砂の回答があった。

今後、「中村・他，2014」、「香川・他，2014」が行ったように、MM 震度への換算を前提として作成された 28 のアンケート項目から、それらに対応する気象庁震度を評価することによって、アンケート結果から現行の気象庁震度を推定する予定である。そして、震度インバージョン（「神田・他，2004」）によって、短周期地震波の発生源の推定を試みる。また、木造家屋や土蔵などの被害分布と、被害の状況が比較的詳しく分かっている 1707 年宝永地震や 1854 年安政南海地の被害分布との比較も行う。

## 2) 史料調査による 1854 年安政東海地震の津波波源城南西端の再検討

1944 年東南海地震の津波波源域は和歌山県の潮岬付近まで達していたが（例えば、「羽鳥，1974」、「Baba and Cummins，2005」）、1854 年安政東海地震の津波波源域が、1944 年と同じく潮岬付近まで達していたのか、あるいは尾鷲市沖以北までしか達していないのか、意見が分かれている（例えば、「瀬野，2012」、「石橋，2014」）。この問題は、過去の南海トラフ沿いの巨大地震の破壊様式と繰り返しに関する解釈について、さらには次の南海トラフ沿いの巨大地震の長期予測に関しても、非常に重要な問題である。そこで、本研究では、1854 年安政東海地震の津波波源域の南西端がどこまで達していたのかを、歴史資料に書かれている地震発生時刻と津波襲来時刻に関する記述から再検討した。

再検討では、『日本地震史料』「武者，1951」、『新収日本地震史料（第五巻別巻五-一，補遺別巻，続補遺別巻）』「東京大学地震研究所，1987，1989，1994」、『日本の歴史地震史料（拾遺\_別巻，拾遺二，拾遺三，拾遺四ノ上，拾遺五ノ下）』「宇佐美，1999，2002，2005，2008，2012」より、三重県津市付近から和歌山県串本町付近にかけての沿岸における、地震の発生時刻と津波の襲来時刻に関する 136 の記述を抜き出した。これらの記述は、安政東海地震後に書かれた手紙や文章の他、明治以降の各市町村による調査報告、市町村史や郷土誌も含まれる。今後、元史料の信頼性などからこれらの記述を取捨選択する必要があるが、本研究では全ての記述を使用した。

地震発生時の時刻に関しては、辰下刻や五ッ半時、午前 9 時頃のような具体的な時刻の記述が多いが、津波来襲の時刻に関しては、具体的な時刻の記述の他、「半刻後」や「30 分後」などの相対時間の記述、「直ぐ様」、「引き続き」、「地震動揺之間ハ煙草三ふく位の内なり、ゆりやんで煙草五ふく位の間ありて大津波となり」など多岐にわたる。これらの記述から具体的な時刻のみを抜き出すと、図 3-10-⑥-5 のようになる。

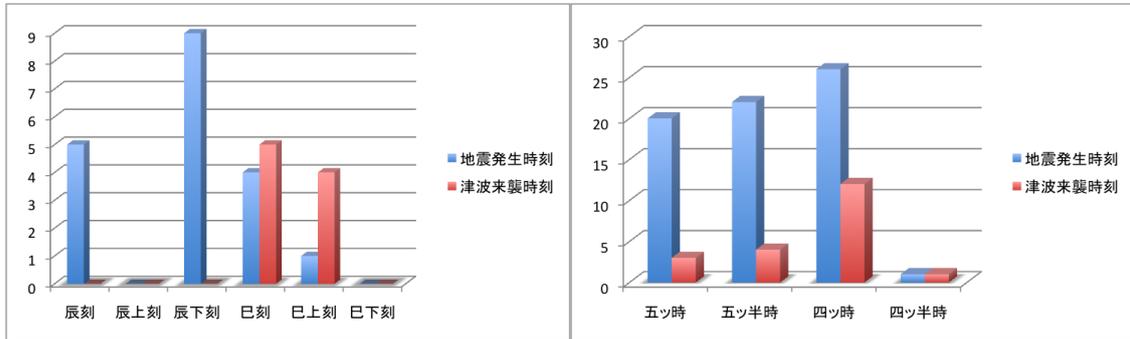


図3-10-⑥-5 136の記述から抜き出した、地震発生時刻と津浪襲来時刻。

地震の発生時刻に関しては、朝五ッ時（午前8:48～9:36：冬至、以下同じ）が20、朝五ッ半時（午前9:36～10:24）が22、朝四ッ時（午前10:24～11:12）が26、朝四ッ半時（午前11:12～12:00）が1、辰刻（午前8:00～9:36）が5、辰下刻（午前8:48～9:36）が9、巳刻（午前9:36～11:12）が4、巳上刻（午前9:36～10:24）が1であった（三重県周辺の安政東海地震前後の記述において“中刻”が出てこなかったため、辰刻を辰上刻と辰下刻に、巳刻を巳上刻と巳下刻に分けた）。津波の来襲時刻に関しては、朝五ッ時が3、朝五ッ半時が4、朝四ッ時が12、朝四ッ半時が1、巳刻が5、巳上刻が4であった。

地震発生時刻は、四ッ時・巳下刻は26と最も多いが、現三重県北牟婁郡紀北町における記述が13と多く、これらの記述の大本の史料に遡った検討が必要であるので除くと、朝五ッ半時が最も多くなり、三重県外の地域でも記述されている地震発生時刻と一致する。また、津波の襲来時刻は四ッ時・巳上刻が12と最も多い。ただし、時間間隔が長い辰刻、巳刻と書かれた記述は含めていない。よって、地震発生時刻と津波来襲時刻との時間差は、半時（約1時間）程度かそれ以上あったと推測される。

次に、より信頼度を高めるために、地震発生時刻と津波の来襲時刻の双方が書かれている史料のみから記述に注目すると、図3-10-⑥-6のようになる。

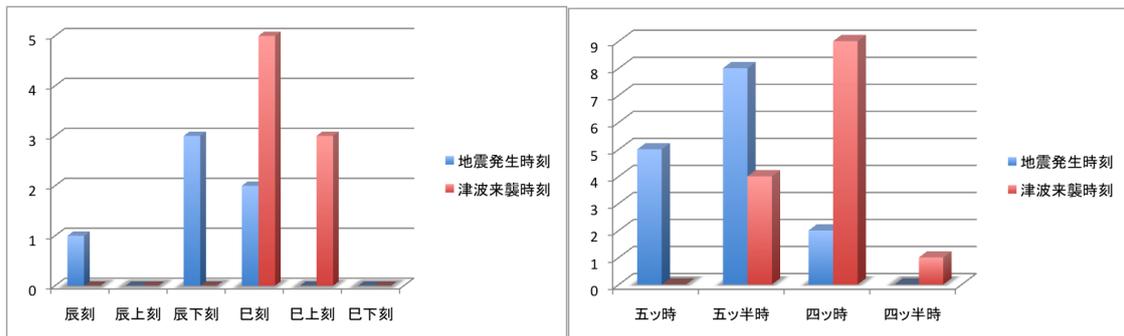


図3-10-⑥-6 地震発生時刻と津浪襲来時刻の双方が書かれている記述から抜き出した、地震発生時刻と津浪襲来時刻。

地震発生時刻に関しては、朝五ッ時が5、朝五ッ半時が8、朝四ッ時が2、辰刻が1、辰下刻が3、巳刻が2であり、津波の来襲時刻に関しては、朝五ッ半時が4、朝

四ッ時が9、朝四ッ半時が1、巳刻が5、巳上刻が3であった。よって、地震発生時刻と津波来襲時刻との時間差は、同じく、半時（約1時間）程度かそれ以上あったと推測される。

また、時刻の記述以外では、「同時」、「一時後」、「半時後」、「約1時間後」、「約30分後」がそれぞれ、1、6、6、7であった（図3-10-⑥-7）。したがって、これらの記述からも、地震発生時刻から津波来襲時刻まで、しばらく時間があつたであろうと思われる。しかしながら、当該地域のほぼ全域にわたって、「直様」、「即刻」、「間無」といった、地震発生時刻と津波来襲時刻との差がほとんど無かったことを示す記述も多く（23記述）、逆に、「暫くして」という地震発生時刻と津波来襲時刻との差があまりなかったことを示す記述は8つと少なかった。

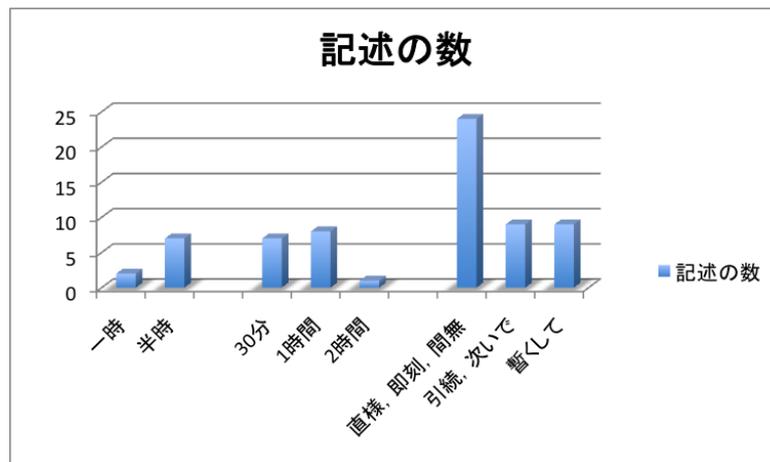


図3-10-⑥-7 136の記述から抜き出した、地震発生時刻と津波来襲時刻との差に関する記述。

以上の再検討から、1854年安政東海の地震発生から津波来襲までの時間差は、「青島・他、2008」による1944年東南海地震の地震発生時刻と津波来襲時刻との差のアンケート調査結果の約13~31分と比べると長いと考えられる。しかしながら、安政東海地震の地震発生と津波来襲との時刻の差は、伊勢湾内の津市、志摩半島先端の鳥羽市、三重県最南部の熊野市でも同じであり、不定時法による時刻の分解能では三重県内の沿岸における両者の時間差の変化を表すことが出来ないことが分かった。また、津波の来襲時について、「直様」、「間無」、「即刻」といった記述が、「暫くして」といった記述に対して約3倍多く、尾鷲市においても、「直ニ」、「地震之内直様」、「程無」といった記述がみられる。

さらに、津波逆伝搬図を作成すると、地震と津波の時間差が30分であっても、三重県の海岸に来襲した津波の波源は、静岡県御前崎付近になってしまうので（図3-10-⑥-8）、「半時」、「約1時間」という時間差は、安政東海地震の震源域の外側から津波が来たことになってしまう。したがって、この「半時」、「約1時間」という時間差は、後続の最大波の来襲時刻、目撃者の時間感覚の問題、不定時法の分解能の問題によって実際よりも長時間になって伝わっていると思われる。

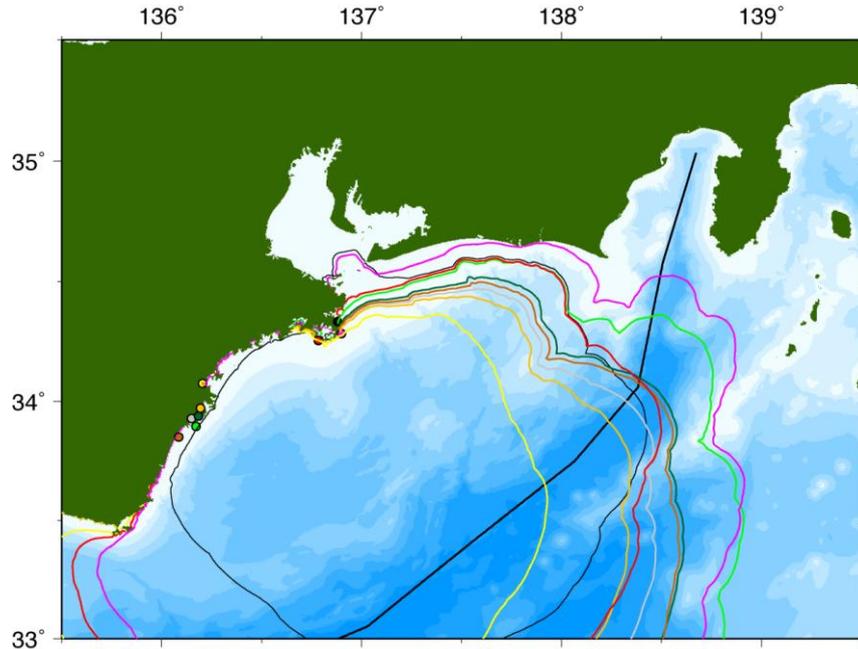


図 3-10-⑥-8 地震発生時刻と津波襲来時刻との時間差の記述がある地点における、津波伝播時間 30 分の津波逆伝播図。コンターの色と地点の色が対応している。

実際、「青島・他，2008」によれば、アンケートによる 1944 年の地震と津波との時間差も、シミュレーションによるそれよりも遅くなっている地域がある。したがって、史料内の地震発生時刻と津波来襲時刻のみの記述から、1854 年安政東海地震の津波波源域の南西端を確定的に決めることは、今のところ、非常に困難であることが分かった。尾鷲市における「直ニ」、「地震之内直様」、「程無」などの記述を信用すると、尾鷲沖まで波源域が伸びていた可能性は否定できない。なお、「羽鳥，1974」では、『日本地震史料』（「武者，1951」）の P. 255 における、現三重県熊野市新鹿町での「嘉永七年十一月四日五つ時大地震に次いで津浪あり、津浪は七八回起りたる高浪は三回なりき。」という記述から、当地における地震発生時刻と津波到着時刻との時間差を 10 分と推定して、安政東海地震の津波波源域の南西端を決めている。したがって、この推定が妥当であるのかどうか再検討が必要である。

今後、愛知県、静岡県においても 1854 年安政東海地震の地震発生時刻と津波来襲時刻の記述を調査し、安政東海地震の津波波源域全体におい波源の推定精度の検討を行う。

### 3) 三重県度会郡南伊勢町の五ヶ所湾周辺における津波堆積物津調査と歴史資料の調査

昨年度に引き続き、三重県度会郡南伊勢町神田曾区、宿区において、簡易掘削機を用いて 4ヶ所の掘削を行った。また、五ヶ所湾地域における 1854 年安政東海地震津波による被害規模と分布を調べるため、4つの未刊行史料を含む合計 27 の史料を収集し（表 1）、このうち具体的な被害記載のある 16 点について検討した。近代以前の地

方社会における筆記史料ということもあり各史料の数値にばらつきがあるため、まずなるべく正確な数値を選別するための基準を設け、それに則って選別した3点の史料を元に具体的な被害数値をまとめた。特に基準とした史料『南嶋津浪被害覚』は新出の史料である。その結果、五ヶ所湾地域における被害状況とその分布に関して以下のことが分かった。

表3-10-⑥-1 収集資料一覧

ID	史料			筆者		成立年		対象地域	備考
	文書名	タイトル	出版物	筆者名	筆者データ	グレゴリオ暦	和暦		
A1	徳田家蔵文書	『為地震津浪心得謹世残』	東京大学地震研究所(1987)『新収日本地震史料 第5巻 別巻5-1』, 1438pp.	徳田専吉		1862/12/1	文久2年10月10日	神津佐村	「しょんがい口説」(盆踊りの音頭)
A2	南勢町『安政地震』史料控	『大地震・大津浪見舞控』	東京大学地震研究所(1987)『新収日本地震史料 第5巻 別巻5-1』, 1438pp.	西濱定吉				五ヶ所浦	
A3	正泉寺文書	『嘉永七寅十一月大地震津浪控』	東京大学地震研究所(1987)『新収日本地震史料 第5巻 別巻5-1』, 1438pp.	森岡萬吉	五ヶ所浦浦方庄屋			五ヶ所浦浦方	
A4	正泉寺文書	『大地しんあらし・大津なみ扣置』	未刊行	岡本庄兵衛		1855/3/3	安政2年正月15日	五ヶ所浦	
A5	南勢町『安政地震』史料控	『万覚帳』	東京大学地震研究所(1987)『新収日本地震史料 第5巻 別巻5-1』, 1438pp.	源兵衛・惣兵衛・庄左衛門				五ヶ所浦	
A6	正泉寺文書	『正泉寺過去帳』	東京大学地震研究所(1987)『新収日本地震史料 第5巻 別巻5-1』, 1438pp.					五ヶ所浦	
A8	正泉寺文書	『南 秋平家過去帳』	東京大学地震研究所(1987)『新収日本地震史料 第5巻 別巻5-1』, 1438pp.					五ヶ所浦	五ヶ所浦山方・南 秋平家の過去帳
A9	正泉寺文書	『覚』	未刊行(一部が東京大学地震研究所(1987)に掲載)	栗原惣三郎				船越村	
A13	正泉寺文書	『神津佐 法泉寺過去帳』	東京大学地震研究所(1987)『新収日本地震史料 第5巻 別巻5-1』, 1438pp.					神津佐村	
A18	正泉寺文書	『桂雲寺過去帳』	南勢町史編さん委員会(1985)『南勢町誌』, 1103pp.	小西行山	桂雲寺住職			相賀浦	
A21	田曾浦文書	『津波二付流失半流家名前帳』	東京大学地震研究所(1987)『新収日本地震史料 第5巻 別巻5-1』, 1438pp.	林右衛門・北村三右衛門	田曾浦肝煎・田曾浦庄屋	1854	安政元年11月	田曾浦	
A23	南張文書	『大地震津波実記控帳』	東京大学地震研究所(1987)『新収日本地震史料 第5巻 別巻5-1』, 1438pp.	市兵衛	南張村庄屋			五ヶ所浦, 神津佐村, 木谷村, 宿浦, 田曾浦	志摩国英虞郡鵜方組南張村は, 田曾浦の東隣
A24	『鵜倉村誌』	『嘉永七年ノ地震高浪二付南島地方ノ被害』	東京大学地震研究所(1987)『新収日本地震史料 第5巻 別巻5-1』, 1438pp.	向井善十郎	鵜柄組大庄屋	1854	安政元年11月	鵜柄組	
A25	田丸城文書	『南嶋津浪被害覚』	未刊行			1854/12/28?	安政元年?11月9日	鵜柄組	田丸城(田丸代官所)に伝わっていた文書
A26	中村山土井家文庫	『雑記』	宇佐美龍夫編(2008)『日本の歴史地震史料』拾遺 四ノ上』, 1132pp.	竹川竹斎	松阪の豪商・篤農家			津・山田・紀州領伊勢国南方浦々	
A27		『嘉永七年十一月四日地震ノ記』	東京大学地震研究所(1987)『新収日本地震史料 第5巻 別巻5-1』, 1438pp.					紀州領伊勢国南方浦々	竹川竹斎の著を写したものの

人的被害は湾最奥部の神津佐および東岸湾口部の田曾浦が各3人で最大であった。これは従来の報告よりも多い結果である。湾最奥部の五ヶ所浦、東岸湾口部の宿浦が各1人でこれに続く(図3-10-⑥-9)。

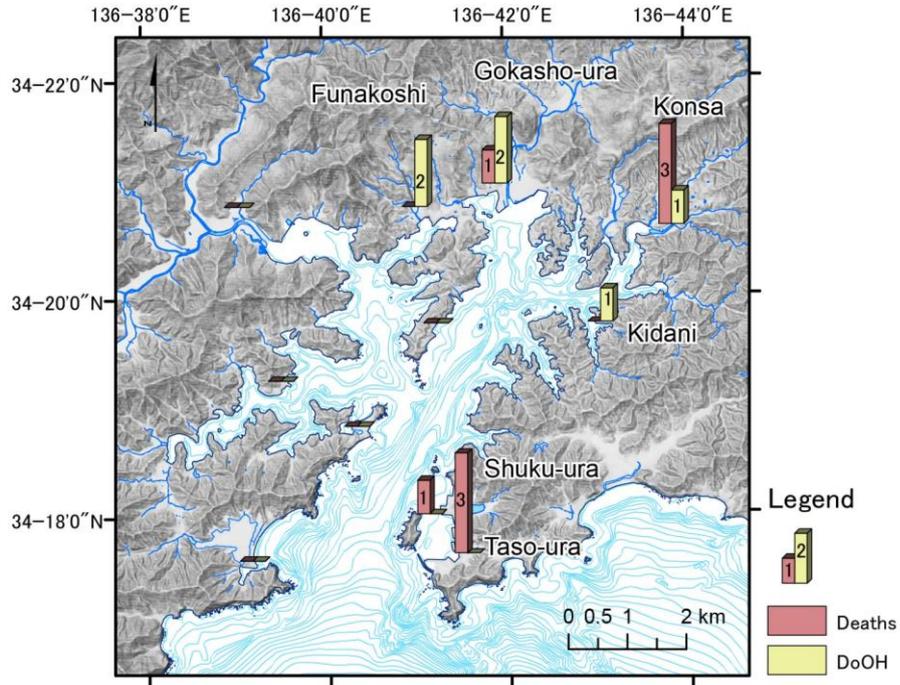


図 3 - 1 0 - ⑥ - 9 1854 年安政東海地震の津波による死傷者と家畜の死亡頭数。

流失率・全潰率（図 3 - 1 0 - ⑥ - 1 0）は湾最奥部の五ヶ所浦、神津佐村で最大となった。東岸湾奥部の下津浦でも流失率・全潰率が比較的高い。死者数同様、東岸湾口部の宿浦，田曾浦でも全壊率が比較的高い。田曾浦の流失数は五ヶ所浦、神津佐村に次ぐ 8 軒であった。

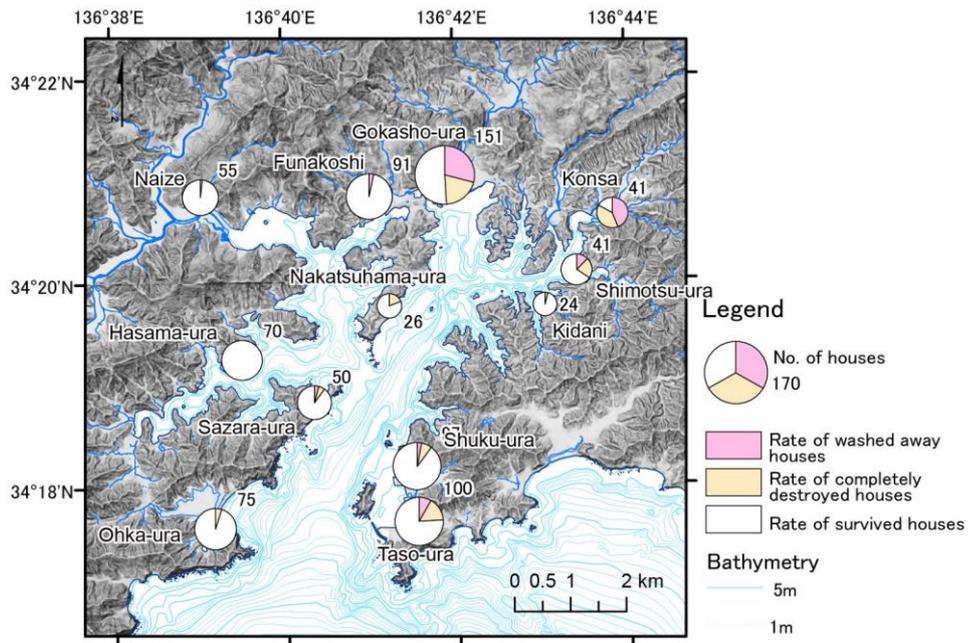


図 3 - 1 0 - ⑥ - 1 0 1854 年安政東海地震の津波による家屋の全壊率と流失率。

主屋（おもや）の浸水率（図 3 - 1 0 - ⑥ - 1 1）は、湾中央の海底谷地形に沿っ

た集落がそれ以外よりも著しく高い。それらの村落のうち最奥部の2村、および西岸湾口部の田曾浦は建物の損壊率の割合が高く、逆に湾中部～湾口部（田曾浦を除く）では潮入率が高くなっており、これらは湾内での津波の挙動と強さの変化が明瞭に反映されたものであろうと考えられるので、今後、詳細な津波ミュレーションで確かめる。

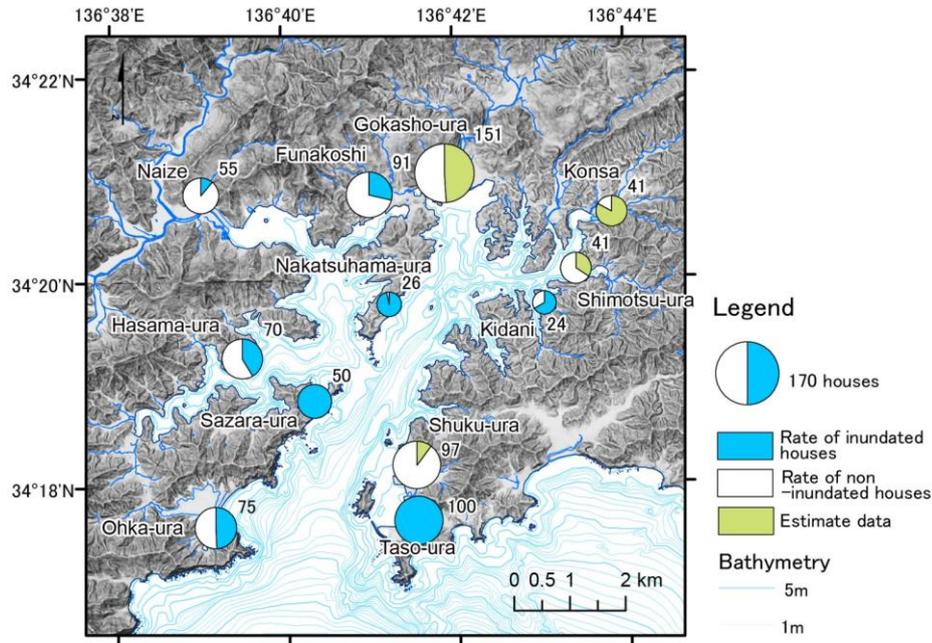


図3-10-⑥-11 1854年安政東海地震の津波による母屋の浸水率。

#### 4) 小笠原諸島父島・母島における津波堆積物調査

伊豆-小笠原海溝沿いの沈み込み帯は、プレート間（巨大）地震がほとんど発生しない“マリアナ型沈み込み帯”だと考えられてきた。しかしながら、「石橋・原田，2013」は、史料の再検討から、南海トラフ沿いの津波地震と考えられている1605年慶長地震が、伊豆-小笠原海溝沿いの巨大地震だったのではないかという仮説を提唱した。さらに、本プロジェクトの昨年度の研究では、伊豆-小笠原海溝沿いにプレート間地震とアウターライズ地震の断層モデルを仮定した津波シミュレーションによって、1605年慶長津波地震の津波高がほぼ説明できると結論した。しかし、この伊豆-小笠原海溝沿いの巨大地震は仮説であり、この仮説の検討には、伊豆小笠原諸島での津波痕跡調査が重要であると考えられる。

そこで、筆者らは、日本学術振興会の科学研究費助成事業による助成金（若手研究(B) 26750129「伊豆-小笠原海溝の巨大地震発生履歴の解明に向けた小笠原諸島での津波痕跡調査」）を取得し、小笠原諸島における津波痕跡調査を行った。昨年7月13日～18日と8月26日～9月4日の2回にわたって、父島と母島、そして、周辺の属島である南島、兄島、弟島、姉島、姪島、嫁島において津波堆積物調査を行った。調査箇所は23箇所である（図3-10-⑥-12）。



図3-10-⑥-12 父島・母島と園周辺の属島における津波痕跡調査の調査地点。

調査の結果、父島西岸の境浦の海岸沿いの露頭面から少なくとも3つのイベント堆積物が検出された。八瀬川流域（図3-10-⑥-13、写真3-10-⑥-1）では、イベント層が腐植物層を伴い数層検出された。

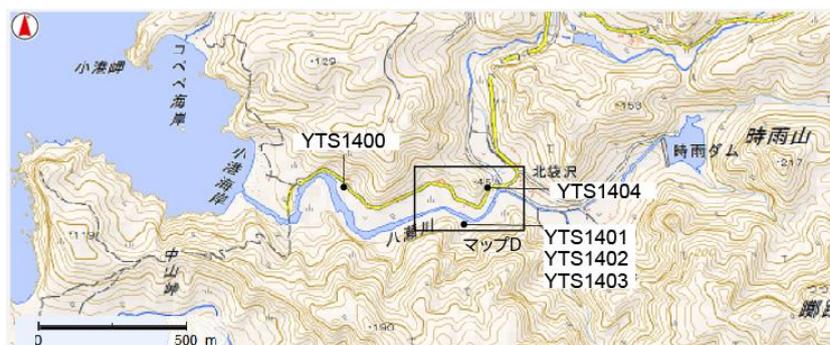


図3-10-⑥-13 父島の八瀬川流域における調査地点。



写真3-10-⑥-1 父島の八瀬川流域における調査地点の様子。

今後、八瀬川流域内のイベント層分布および、堆積年代決定のために掘削調査を行い、これまでの結果と含めて再考察する。また、既存のボーリング試料の層相を確認するなどして、さらなる調査地の選定し、そこでの掘削調査を行う。

#### 5) 1614年（慶長十九年）の地震についての四国地方と九州地方における歴史資料の調査

1614年11月26日（慶長十九年十月廿五日）の地震については、被害記録が西日本から関東に記録されているにもかかわらず、その実体は未だに不明である。この地震は、越後高田で津波被害の記録があり、従来“高田領大地震”あるいは“高田地震”と胡椒されてきたが、「山本・他，1982」によって否定され、京都付近のM6.5程度の地震だとされた。しかしながら、「石橋・原田，2013」、「石橋，2014」は、複数の同時代日記にこの地震による余震の記事がいっさいないことから、京都付近の地震だった可能性はなく、この地震による西日本から関東にかけての広範囲の被害記録を説明できる地震像として、南海トラフ沿いのプレート間地震が考えられるとした。しかし、この地震に関する史料の不足は否めないとしている。

したがって、本年度では、まず、九州地方と四国地方におけるこの地震に関する史料の確認と調査を行った。大分県と宮崎県における歴史資料調査では、1662年寛文日向灘の地震による被害の記録が多く、それ以前の記録を見つけ出すことができなかった。今後も、この地域での歴史資料調査を進めていく予定である。また、四国地方では、愛媛県伊予西条市において津波被害の記録が残されているので、その歴史資料の確認を行った。この地震による津波記録は、大正二年に書かれた『多賀村郷土史』に記されているが、この『多賀村郷土史』の原本は、伊予西条市にある鶴岡八幡神社にしか存在しないので、鶴岡八幡神社におもむき調査を行った。調査により、『多賀村郷土史』における津波被害記録は『周布誌』という文献の引用である事が分かったが、『周布誌』の存在が不明なために、それ以上たどることは出来なかった。しかし、鶴岡八幡神社の宮司の案内で、津波のために移転した巖島神社の位置を確認することができた。今後、九州・四国地方以外の記録についても調査する予定である。

6) 南海トラフ沿いで想定された M9 の超巨大地震による西太平洋・東シナ海の津波伝播シミュレーション

南海トラフで発生する最大クラスの巨大地震による津波が外洋において、どういった振る舞いをするのか、あるいは、周辺諸国の沿岸をどれくらいの津波が襲うのか見積もるために、内閣府に設置された「南海トラフの巨大地震モデル検討会」が想定した、南海トラフ沿いにおける M9 クラスのプレート間超巨大地震（「内閣府，2012」）による西太平洋・東シナ海の津波の伝播シミュレーションを行った。そして、中国東岸、フィリピン諸島東岸、ニューギニア島北岸における津波高分布を調べた。

断層モデルは、「内閣府，2012」による 11 種類の断層モデル（Case 1～11）を用いた。また、11 種類の断層モデルによる津波シミュレーション結果と比較するために、「Ando, 1975」、「相田，1981a」、「相田，1981b」、「安中・他，2003」による 1707 年宝永地震の断層モデルによる津波シミュレーションも行った。津波の伝播計算は、コリオリ力と海底摩擦を考慮した極座標系の非線形長波式「Satake, 1995」を用いた。海底地形は GEBCO の 30 秒グリッドデータを用いた。計算領域は東経 115°～155°、南緯 8°～北緯 40° で、地震発生から 24 時間分の津波シミュレーションを行った。

図 3-10-⑥-14 に算領域全体における津波の本震後 24 時間内の最大波高分布を示す。11 ケースによる最大津波高分布は、1707 年宝永地震の分布よりも広範囲に高くなる。四国沖～日向灘に大すべり域・巨大すべり域を設定した Case 4、Case 5、Case 11 では、東シナ海における津波高分布が顕著に高くなることが分かった。

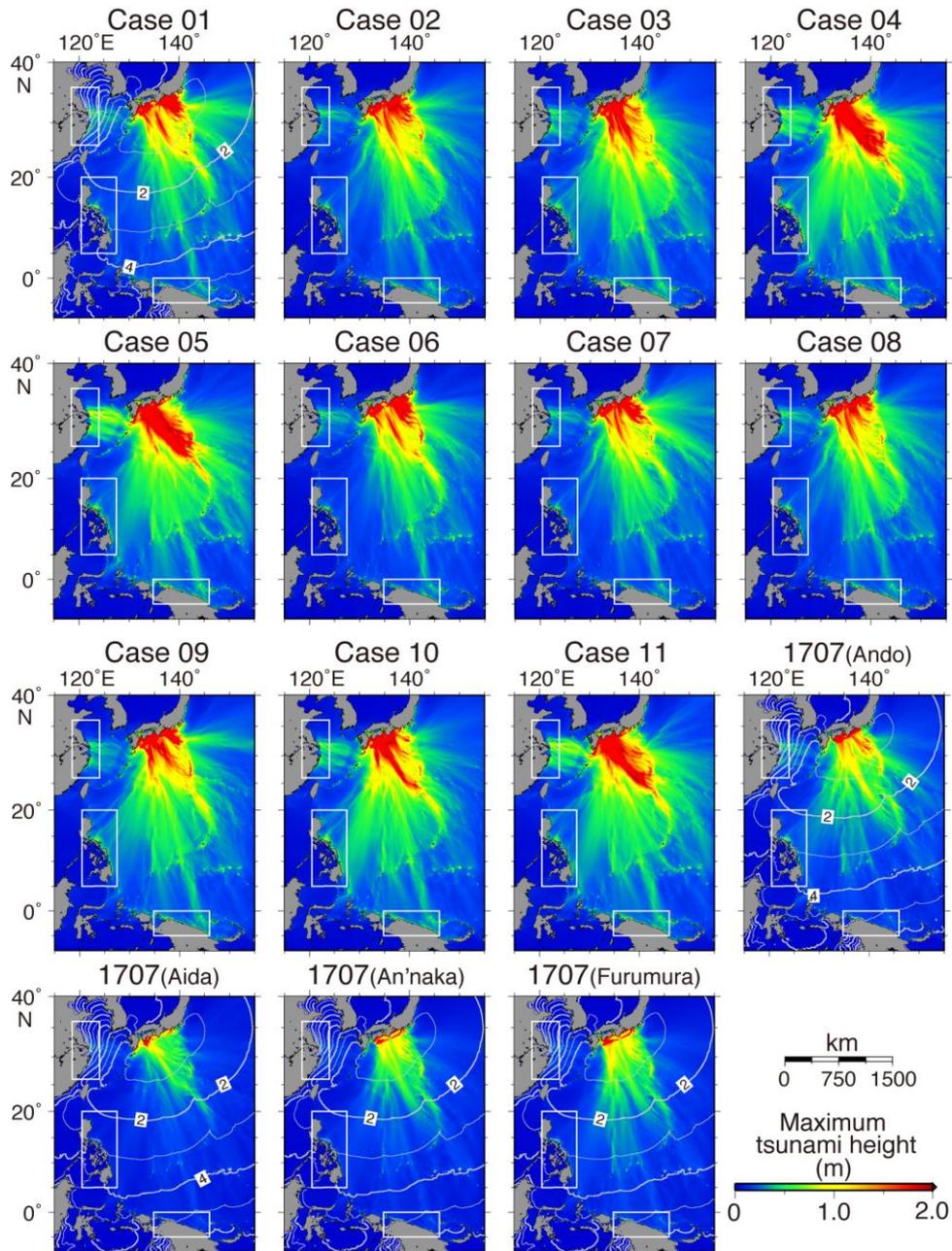


図 3-10-⑥-14 計算範囲全体における本震後 24 時間内の最大津波高分布。  
白矩形は、図 3-10-⑥-15 の範囲を示す。

図 3-10-⑥-15 に中国東岸(a)、フィリピン諸島東岸(b)、ニューギニア島北岸(c)における本震後 24 時間内の最大津波高分布を示す。

中国東岸においては、1707 年宝永地震の最大津波高は、「Ando, 1975」のよる断層モデルであっても最大 1.0 m を越えることはない。しかし、Case 1～11 のいずれにおいても多くの地点で 1.0 m を越えるが、最大でも 1.5 m 程度にとどまる(使用した海底地形が粗いので、詳細な海底地形を使用すると結果は異なると考えられる)。中国東岸における最大津波高分布は、駿河湾～三重県沖に大すべり域・巨大すべり域を設定したケースよりも、四国沖～日向灘に大すべり域・巨大すべり域を設定した Case 4、Case

5、Case11 で全体的に高くなる。したがって、この地域における津波高は、断層モデルに依存する（四国沖よりも西に大すべり域・巨大すべり域が存在するか否かに依存する）ことが分かる。

フィリピン諸島東岸では、1707 年宝永地震の最大津波高は、「Ando, 1975」による断層モデルでは 4.0 m を越えるところがあるが、多くの地点で 2.0 m を越えることはない。Case 1～11 では、多くの地点で 3.0～4.0 m を越え、Case11 では、最も高いところで 8.0 m を越える。しかし、各 Case による最大津波高分布の系統的な違いはあまりみられない。この地域における最大津波高も、局所的に大きなすべりよりも断層面全体の平均的なすべりの大きさに依存するからだと考えられる。

ニューギニア島北岸において、1707 年宝永地震の最大津波高は、「Ando, 1975」による断層モデルにおいて最も高いところで 3.0 m 程度になるが、ほとんどの地点で 2.0 m を越えることはない。しかしながら、Case 1～11 のいずれにおいても最大津波高が 2.0～3.0 m を越え、最も高いところで 5.0 m 程度になる。しかし、各 Case による最大津波高分布の系統的な違いはあまりみられない。この地域における最大津波高は、局所的に大きなすべりよりも断層面全体の平均的なすべりの大きさに依存するからだと考えられる。

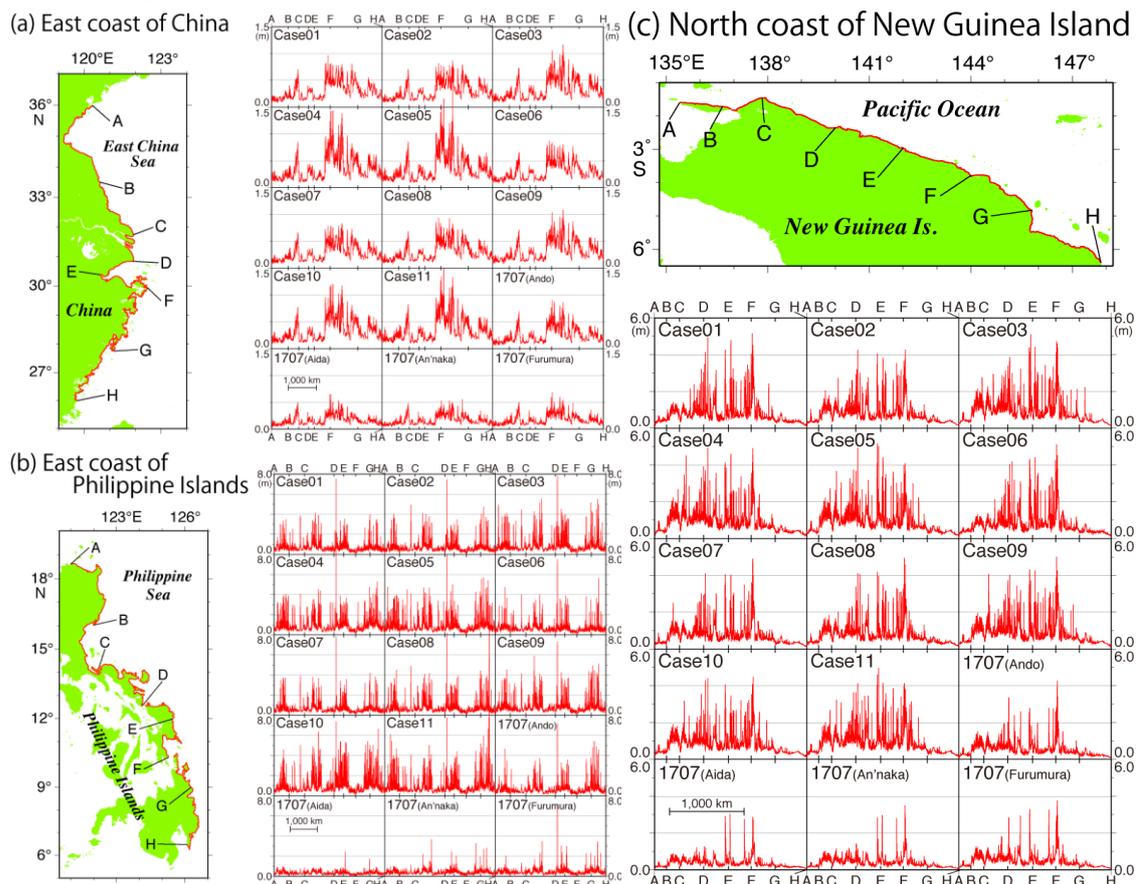


図 3-10-⑥-15 中国東岸、フィリピン諸島東岸、ニューギニア島北岸における本震後 24 時間内の最大津波高の分布。地図上の赤線における津波高を示している。

7) 日本海溝北部～千島海溝で発生した  $M>7.5$  の地震の顕著な前震活動

南海トラフの巨大地震と比較するために、千島海溝沿いで発生した大地震・巨大地震の破壊様式の研究を行った。本年度では、この地域で発生した  $M>7.5$  の地震に対して、顕著な前震活動に関する研究を行った。顕著な前震活動を伴った  $M>7.5$  の地震は、2006年シムシル島沖のプレート間地震 ( $M_w8.3$ ) とそれに続く2007年のアウターライズ地震 ( $M_w8.1$ )、1963年エトロフ沖地震 ( $M_w8.6$ )、1991ウルップ島沖の地震 ( $M_w7.6$ )、1995年択捉島沖の地震 ( $M_w7.9$ )、1978年択捉島沖の地震 ( $M_w7.8$ )、1969年北海道東方沖地震 ( $M_w8.2$ )、1989年岩手沖の地震 ( $M_w7.4$ ) である。

その結果、顕著な前震活動は、マグニチュードの大きな前震とその余震によって構成され、本震直前における活発化や静穏化などは見られなかった。そして、顕著な前震活動は、時間と共に一定の方向へ広がる傾向にあった。しかしながら、拡大の方向は地震により様々であり、本震直前に拡大速度が顕著に変化することもなかった。前震活動域は本震のすべりが大きかった領域とは棲み分けているようである (図3-10-⑥-16)。

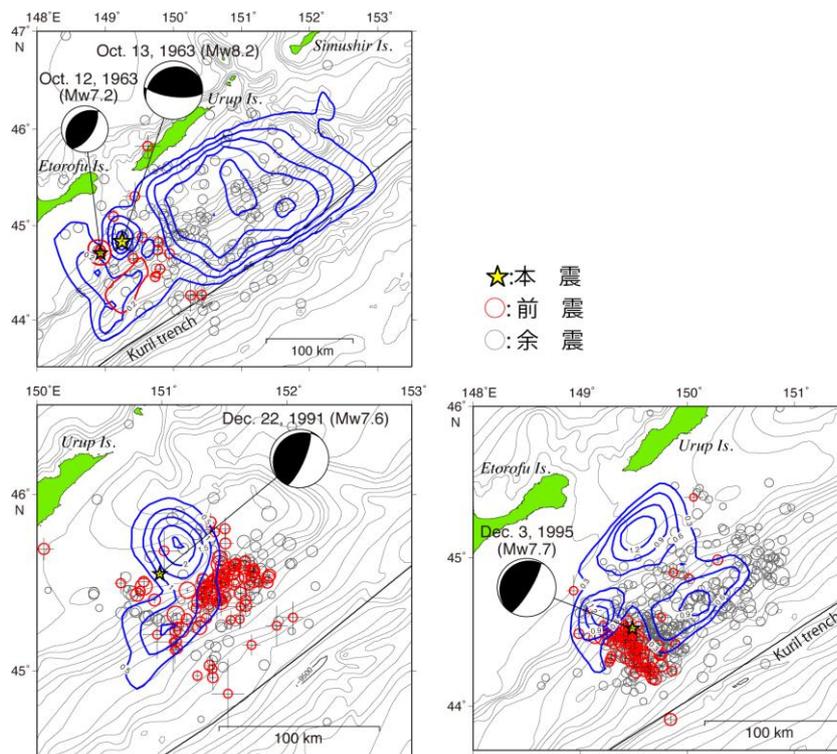


図3-10-⑥-16 1963年エトロフ沖地震 ( $M_w8.6$ )、1991ウルップ島沖の地震 ( $M_w7.6$ )、1995年択捉島沖の地震 ( $M_w7.9$ ) の前震分布と余震分布、すべり量分布の比較。星印、赤丸、灰丸は、それぞれ、本震、前震、余震の震央である。青コンターは、1963年エトロフ沖地震、1991ウルップ島沖の地震、1995年択捉島沖の地震のすべり量分布を、赤コンターは、1963年エトロフ地震の最大前震のすべり量分布を示す。

(c) 結論ならびに今後の課題

1) 1944 年東南海地震・1946 年南海地震の直後に行われたアンケート調査の再解析による被害・震度分布

1944 年東南海地震について、地震研究所に残されていた、完全でない震度の集計資料に記載されていた MM 震度と、アンケート調査の回答から推定し直した MM 震度から、この地震の震度分布図を作成した。その結果、震度 5 範囲が和歌山県の南西部から神奈川県、長野県まで広範囲に広がっていることが分った。特に、長野県の諏訪湖付近、滋賀県の琵琶湖北岸付近、滋賀県南部（現甲賀市水口）や福井平野でも MM 震度が大きく、9～10 の MM 震度（旧気象庁震度の 6 程度）が推定された場所もあることが分かった。

1946 年南海地震については、アンケート震度の集計資料と調査票と考えられる 2 種類の葉書を用いて、この地震の詳細な MM 震度分布図の作成を行った。アンケート回答数は 1034 で、そのうち 1014 地点における MM 震度が得られた。各地点において、それぞれのアンケートに対する震度の平均値の分布は、中央气象台による震度分布（「中央气象台，1953」）による震度分布とおおよそ一致している。しかしながら、最大値の分布は、旧気象庁震度の 7 と対応する MM 震度 10～12 が、四国全域、兵庫県・岡山県・広島県の瀬戸内海側、和歌山県と三重県の太平洋側に分布しており、「中央气象台，1953」の震度分布（四国地方の太平洋側、瀬戸内海周辺、三重県の太平洋側の 7 点で震度 6）と比べると、明らかに大きな MM 震度が広範囲に分布していることが分かった。

さらに、アンケート調査より明らかになった、地震動による人々や周囲の状況、建物や公共物の被害状況の分布図も作成した。木造家屋の被害状況に関する質問から、地盤の影響が家屋の被害に大きく影響を与えていることが分かった。木造家屋の被害状況から推定される震度分布も、「中央气象台，1953」による震度分布に対して、顕著に大きい。

今後、28 のアンケート項目から、それらに対応する気象庁震度を評価することによって、アンケート結果から現行の気象庁震度を推定する予定である。そして、震度インバージョンによって、短周期地震波の発生源の推定を試みる。また、木造家屋や土蔵などの被害分布と、被害の状況が比較的詳しく分かっている 1707 年宝永地震や 1854 年安政南海地震の被害分布との比較を行う。

2) 史料調査による 1854 年安政東海地震の津波波源域南西端の再検討

1854 年安政東海地震の津波波源域の南西端がどこまで達していたのかを、歴史資料に書かれている記述から再検討した。再検討では、三重県津市付近から和歌山県串本町付近にかけての沿岸における、地震の発生時刻と津波の襲来時刻に関する 136 の記述を抜き出した。

地震の発生時刻に関しては、朝五時半時が最も多くなり、津波の襲来時刻は四ッ時・巳上刻が 12 と最も多い。よって、地震発生時刻と津波来襲時刻との時間差は、半時（約 1 時間）程度かそれ以上あったと推測される。また、時刻の記述以外では、

「同時」、「一時後」、「半時後」、「約 1 時間後」、「約 30 分後」がそれぞれ、1、6、6、7 であった。したがって、これらの記述からも、地震発生時刻から津浪襲来時刻まで、しばらく時間があつたであろうと思われる。しかしながら、当該地域のほぼ全域にわたって、「直様」、「即刻」、「間無」といった、地震発生時刻と津波来襲時刻との差がほとんど無かつたことを示す記述も多く（23 記述）、逆に、「暫くして」という地震発生時刻と津波来襲時刻との差があまりなかつたことを示す記述は 8 つと少なかつた。

再検討から、1854 年安政東海の地震発生から津波襲来までの時間差は、「青島・他、2008」による 1944 年東南海地震の地震発生時刻と津波来襲時刻との差のアンケート調査結果の約 13～31 分と比べると長いと考えられる。不定時法による時刻の分解能が低く、三重県内の沿岸における両者の時間差を表現できないことが分かつた。さらに、津波逆伝搬図から、「半時」、「約 1 時間」という時間差は、安政東海地震の震源域の外側から津波が来たことになるので、この「半時」、「約 1 時間」という時間差は、後続の最大波の来襲時刻、目撃者の時間感覚の問題、不定時法の分解能の問題によって実際よりも長くなって伝わっていると思われる。今後、愛知県、静岡県においても 1854 年安政東海地震の地震発生時刻と津波来襲時刻の記述を調査し、安政東海地震の津波波源域全体におい波源の推定精度の検討を行う。

### 3) 三重県度会郡南伊勢町の五ヶ所湾周辺における津波堆積物津調査と歴史資料の調査

昨年度に引き続き、三重県度会郡南伊勢町神田曾区、宿区において、簡易掘削機を用いて 4ヶ所の掘削を行った。また、五ヶ所湾地域における 1854 年安政東海地震津波による被害規模と分布を調べるため、4つの未刊行史料を含む合計 27 の史料を収集し、このうち具体的な被害記載のある 16 点について検討した。

人的被害は湾最奥部の神津佐および東岸湾口部の田曾浦が各 3 人で最大であった。これは従来の報告よりも多い結果である。湾最奥部の五ヶ所浦、東岸湾口部の宿浦が各 1 人でこれに続く。流失率・全潰率は湾最奥部の五ヶ所浦、神津佐村で最大となった。東岸湾奥部の下津浦でも流失率・全潰率が比較的高い。死者数同様、東岸湾口部の宿浦、田曾浦でも全壊率が比較的高い。田曾浦の流失数は五ヶ所浦、神津佐村に次ぐ 8 軒であった。主屋（おもや）の浸水率は、湾中央の海底谷地形に沿った集落がそれ以外よりも著しく高い。それらの村落のうち最奥部の 2 村、および西岸湾口部の田曾浦は建物の損壊率の割合が高く、逆に湾中部～湾口部（田曾浦を除く）では潮入率が高くなっており、これらは湾内での津波の挙動と強さの変化が明瞭に反映されたものであろうと考えられるので、今後、詳細な津波ミュレーションで確かめる。

### 4) 小笠原諸島父島・母島における津波堆積物調査

日本学術振興会の科学研究費助成事業による助成金（若手研究(B) 26750129「伊豆-小笠原海溝の巨大地震発生履歴の解明に向けた小笠原諸島での津波痕跡調査」）を取得し、小笠原諸島における津波痕跡調査を行った。父島と母島、そして、周辺

の属島である南島、兄島、弟島、姉島、姪島、嫁島において津波堆積物調査を行った。

調査の結果、父島西岸の境浦の海岸沿いの露頭面から少なくとも3つのイベント堆積物が検出された。八瀬川流域では、イベント層が腐植物層を伴い数層検出された。今後、八瀬川流域内のイベント層分布および、堆積年代決定のために掘削調査を行い、これまでの結果と含めて再考察する。また、既存のボーリング試料の層相を確認するなどして、さらなる調査地の選定し、そこでの掘削調査を行う。

#### 5) 1614年（慶長十九年）の地震についての四国地方と九州地方における歴史資料の調査

1614年11月26日（慶長十九年十月廿五日）の地震については、被害記録が西日本から関東に記録されているにもかかわらず、その実体は未だに不明である。「石橋・原田，2013」、「石橋，2014」は、この地震による西日本から関東にかけての広範囲の被害記録を説明できる地震像として、南海トラフ沿いのプレート間地震が考えられるとした。

本年度では、まず、九州地方と四国地方におけるこの地震に関する史料の確認と調査を行った。大分県と宮崎県における歴史資料調査では、1662年寛文日向灘の地震による被害の記録が多く、それ以前の記録を見つけ出すことができなかった。四国地方では、愛媛県伊予西条市の鶴岡八幡神社において、歴史資料調査を行った。今後、九州・四国地方以外の記録についても調査する予定である。

#### 6) 南海トラフ沿いで想定された M9 の超巨大地震による西太平洋・東シナ海の津波伝播シミュレーション

「内閣府，2012」による M9 クラスの南海超巨大地震の 11 種類の断層モデルによる西太平洋・東シナ海における津波伝播シミュレーションを行った。また、11 種類の断層モデルによる津波シミュレーション結果と比較するために、「Ando, 1975」、「相田，1981a」、「相田，1981b」、「安中・他，2003」による 1707 年宝永地震の断層モデルによる津波シミュレーションも行った。11 ケースによる最大津波高分布は、1707 年宝永地震の分布よりも広範囲に高くなる。四国沖～日向灘に大すべり域・巨大すべり域を設定した Case 4、Case 5、Case 11 では、東シナ海における津波高分布が顕著に高くなることが分かった。

中国東岸における最大津波高分布は、駿河湾～三重県沖に大すべり域・巨大すべり域を設定したケースよりも、四国沖～日向灘に大すべり域・巨大すべり域を設定したモデルで全体的に高くなる。したがって、この地域における津波高は、断層モデルに依存する（四国沖よりも西に大すべり域・巨大すべり域が存在するか否かに依存する）ことが分かる。フィリピン諸島東岸、ニューギニア島北岸では、各 Case による最大津波高分布の系統的な違いはあまりみられない。この地域における最大津波高も、局所的に大きなすべりよりも断層面全体の平均的なすべりの大きさに依存するからだと考えられる。

## 7) 日本海溝北部～千島海溝で発生した $M>7.5$ の地震の顕著な前震活動

南海トラフの巨大地震と比較するために、千島海溝沿いで発生した大地震・巨大地震の破壊様式の研究を行った。本年度では、この地域で発生した  $M>7.5$  の地震に対して、顕著な前震活動に関する研究を行った結果、顕著な前震活動は、マグニチュードの大きな前震とその余震によって構成され、本震直前における活発化や静穏化などは見られなかった。そして、顕著な前震活動は、時間と共に一定の方向へ広がる傾向にあった。しかしながら、拡大の方向は地震により様々であり、本震直前に拡大速度が顕著に変化することもなかった。前震活動域は本震のすべりが大きかった領域とは棲み分けていることが分かった。今後、他の沈み込み帯においても、同様の比較研究を行う。

### (d) 引用文献

- 1) 相田勇, 1944年東南海地震津波の波源モデル, 地震研究所彙報, 54, 329-341, 1979.
- 2) 相田勇, 東海道沖におこった歴史津波の数値実験, 地震研究所彙報, 56, 367-390, 1981a.
- 3) 相田勇, 1981b, 南海沖の津波の数値実験, 地震研究所彙報, 56, 713-130, 1981b.
- 4) 青島晃・土屋光永・野嶋宏二・松井孝友・中野幸子, アンケート調査から推定した1944年東南海地震による三重県南部の津波到達時間, 歴史地震, 23, 33-41, 2008.
- 5) Ando, M., Source mechanisms and tectonic significance of historical earthquakes along the Nankai Trough, Japan, Tectonophysics, 27, 119-140, 1975.
- 6) 安中正・稲垣和男・田中寛好・柳沢賢, 津波数値シミュレーションに基づく南海トラフ沿いの大地震の特徴, 土木学会地震工学論文集, CD-ROM, 2003.
- 7) Baba, T. and P. R. Cummins, Contiguous rupture areas of two Nankai trough earthquakes revealed by high-resolution tsunami waveform inversion, Geophys. Res. Lett., 32, L08305, doi:10.1029/2004GL022320, 2005.
- 8) 中央气象台, 南海道地震, 気象要覧, 568, 23-45, 1953.
- 9) 羽鳥徳太郎, 東海・南海道沖における大津波の波源－1944年東南海, 1946年南海道津波波源の再検討と宝永・安政大津波の規模と波源域の推定－, 地震, 27, 10-24, 1974.
- 10) 石橋克彦, 『南海トラフ巨大地震 歴史・科学・社会』, 叢書 震災と社会, 岩波書店, 250 pp, 2014.
- 11) 石橋克彦・原田智也, 1605（慶長九）年伊豆-小笠原海溝巨大地震と1614（慶長十九）年南海トラフ地震という作業仮説, 日本地震学会2013年度秋季大会, D21-03, 2013.

- 12) 香川敬生・中村真理子・野口竜也・西田良平, 1943年鳥取地震直後のアンケートから推定される気象庁震度およびそれに基づく震源象, 第31回歴史地震研究会(名古屋大会)講演要旨集, 47, 2014.
- 13) 神田克久・武村雅之・宇佐美龍夫, 震度インバージョン解析による南海トラフ巨大地震の短周期地震波発生域, 地震, 57, 153-170, 2004.
- 14) Murotani, S., Source process of the 1946 Nankai earthquake estimated from seismic waveforms and leveling data, Ph.D. Thesis, University of Tokyo, 112 pp, 2007.
- 15) 武者金吉, 『日本地震史料』, 毎日新聞社, 350 pp, 1951.
- 16) 内閣府, 南海トラフ巨大地震の被害想定(第二次報告)について,  
[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough\\_info.html](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html), 2012.
- 17) 中村真理子・香川敬生・野口竜也・西田良平, 1943年鳥取地震直後に実施されたアンケートから導かれる気象庁震度分布, 日本地球惑星科学連合2014年大会, SSS23-23, 2014.
- 18) Satake K., Linear and nonlinear computations of the 1992 Nikaragua earthquake tsunami, Pure and applied Geophysics, 144, 455-470, 1995.
- 19) 瀬野徹三, 南海トラフ巨大地震ーその破壊の様態とシリーズについての新たな考えー, 地震, 64, 97-116, 2012.
- 20) 津村健四朗・野口和子・鷹野澄, 地震研究所に保管されている鳥取・東南海・三河・南海福井地震のアンケート調査資料, 歴史地震, 25, 106-107, 2010.
- 21) 東京大学地震研究所, 『新収日本地震史料 第五巻 別巻五-一・五-二』, 東京大学地震研究所, 2528 pp, 1987.
- 22) 東京大学地震研究所, 『新収日本地震史料 補遺 別巻』, 日本電気協会, 992 pp, 1989.
- 23) 東京大学地震研究所, 『新収日本地震史料 続補遺 別巻』, 東京大学地震研究所, 1228 pp, 1994.
- 24) 宇佐美龍夫, 『日本の歴史地震史料 拾遺 別巻』, 日本電気協会, 1045 pp, 1999.
- 25) 宇佐美龍夫, 『日本の歴史地震史料 拾遺 二』, 日本電気協会, 583 pp, 2002.
- 26) 宇佐美龍夫, 『日本の歴史地震史料 拾遺 三』, 日本電気協会, 814 pp, 2005.
- 27) 宇佐美龍夫, 『日本の歴史地震史料 拾遺 四ノ上・四ノ下』, 日本電気協会, 1874 pp, 2008.
- 28) 宇佐美龍夫, 『日本の歴史地震史料 拾遺 五ノ上・五ノ下』, 日本電気協会, 1526 pp, 2012.
- 29) 山本武夫・大長昭雄・萩原尊禮, 慶長19年の越後高田地震-京都付近の内陸地震か, 萩原尊禮編著, 『古地震-歴史資料と活断層からさぐる』, 東京大学出版会, 186-202, 1982.

## ⑦実用的な津波土砂移動シミュレーション手法の開発

### (a)業務の要約

実用的な津波土砂移動シミュレーション手法の開発を目指し、既往数値モデル「高橋・他, 1999」のモデルの改良を行い、改良前後での土砂解析の安定性について宮城県石巻市鮫浦地区で検討を行った。さらに、改良モデルを宮城県気仙沼湾に適用し、観測データの整合性から、モデルの妥当性について検討を行った。

### (b)業務の成果

#### 1) 津波による土砂移動モデルの改良とその整合性に関する検討

津波による土砂移動モデル「高橋・他, 1999」の計算フローを図3-10-⑦-1に示す。図中の上段は非線形長波理論による流水の連続式と運動方程式であり、 $\eta$ は波高、 $D$ は全水深、 $M (=UD)$  および  $N (=VD)$  は流量フラックス、 $U$  および  $V$  は断面水深平均流速、 $g$  は重力加速度、 $n$  はマンニングの粗度係数である。下段は土砂輸送に関する連続式と流砂量・浮遊砂量交換式であり、 $C$  は水深平均された浮遊砂濃度、 $q_B$  は流砂量、 $d$  は砂の粒径、 $s$  は砂の比重、 $\tau_*$  は無次元掃流力(シールズ数)、 $w_{ex}$  は掃流層と浮遊層間の交換砂量である。

ここでは、「高橋・他, 1999」の土砂移動モデルを基に以下の点について検討し、数値解析手法の再検討を実施した。

リアス海岸の様な急峻な地形での波流れ場での流水計算の不安定化とともに、土砂移動計算においても不安定となる場合があった。従来モデルでは、浮遊砂移流の計算は中心差分を用いていたが、より実用的な土砂移動モデルを鑑み、精度は劣ることになるが安定性を考慮して一次精度風上差分を採用した。

流砂量式については、従来モデルでは、式(4)の係数  $a (=21)$ 、および式(5)の係数  $b (=0.012)$  は粒径にかかわらず水理実験結果によって決定されていた、高橋ら(2011)<sup>2)</sup>は係数  $a$ 、 $b$  が粒径依存することを実験的に示し、その実験式を提案している。そこで、本モデルにおいても、「高橋・他, 2011」が提案している掃流砂量および浮遊砂量算定式を使用した。

飽和浮遊砂濃度について、従来モデルでは河川流を対象とした無次元層流力の小さい室内実験に基づき、一定濃度(2%濃度)以上には打ち切り、それ以上は巻き上がらない仮定を導入していたが、改良モデルでは、「成瀬・他, 2014」および「van Rijn, 2007」を参考に、平均流によるエネルギー供給と土砂輸送に伴うエネルギー散逸の収支を考慮した簡易的な予測式「菅原・他, 2014)<sup>5)</sup>を導入した。飽和濃度は流況に応じて動的に変化するため、計算中、浮遊砂濃度が飽和濃度以上に達した場合、新たな巻き上げが生じないようにした。

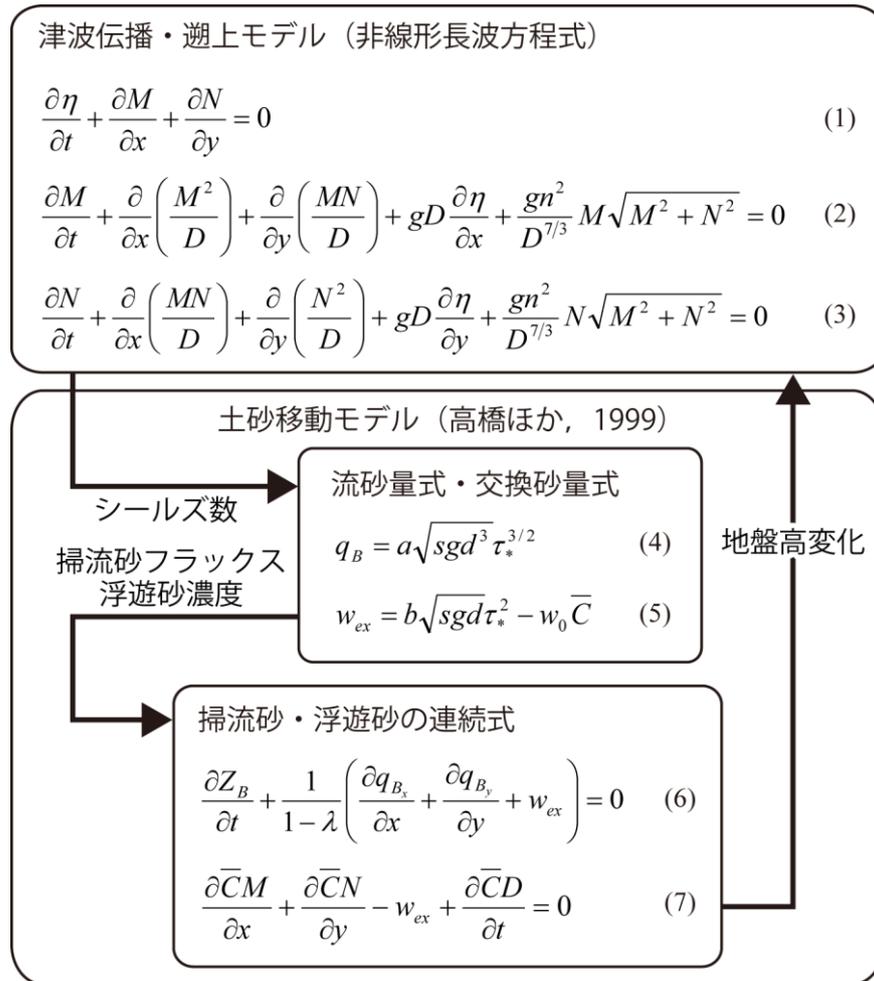
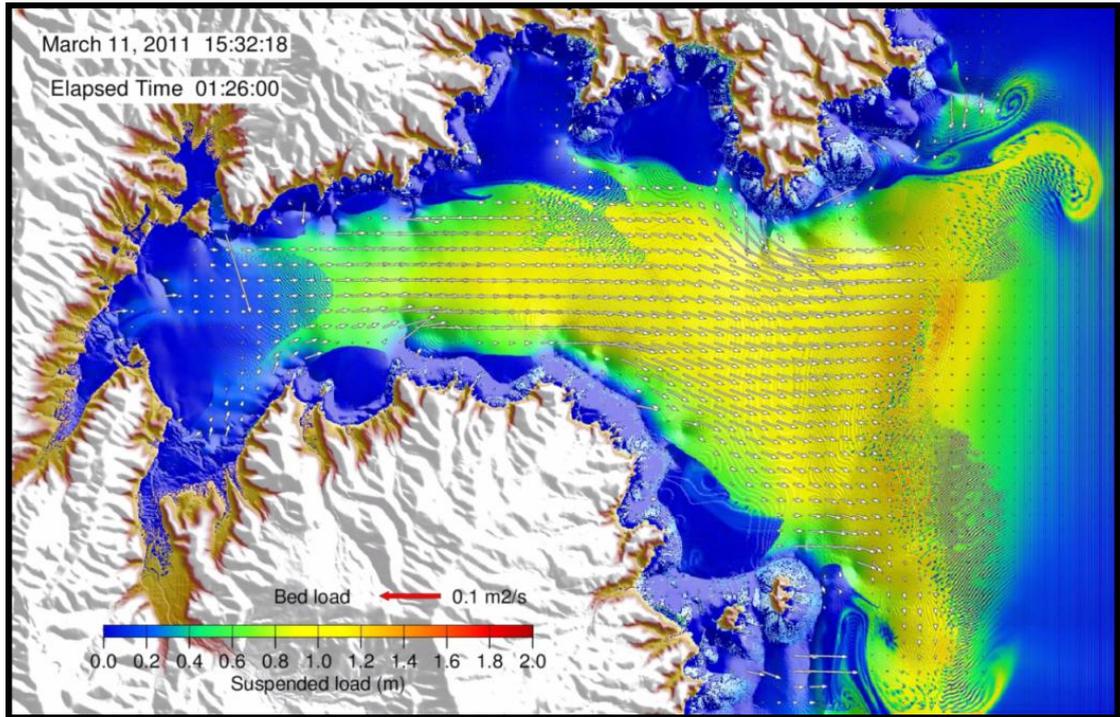
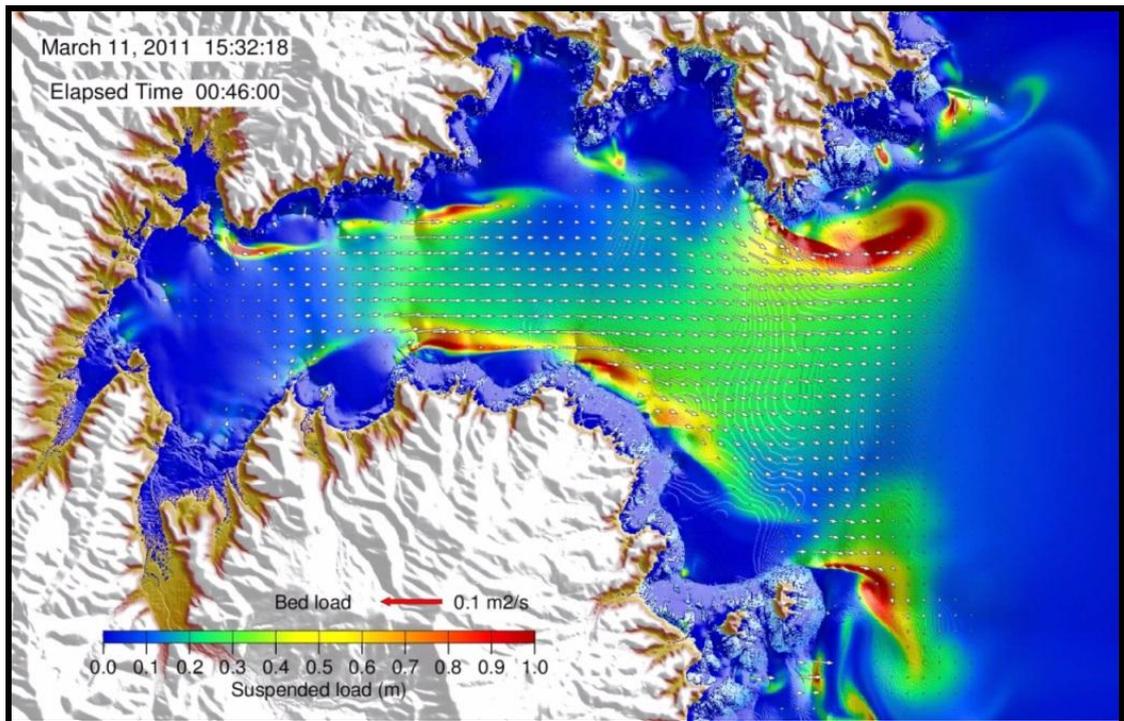


図 3-10-⑦-1 津波による土砂移動モデルの計算フロー。

粒子沈降速度の変化については、浮遊砂濃度の増大に伴う沈降速度の低下を考慮した。ここでは浮遊砂の鉛直分布を考慮して底面付近の濃度を求め、この濃度に対して干渉効果を考慮して沈降速度を補正し、浮遊砂の沈降量・交換砂量を決定した。「van Rijn, 2007」では、干渉効果を考慮すると浮遊土砂の過飽和状態が出現することが指摘されている。そこで、浮遊砂の移流による集中が顕著な場合など、浮遊砂濃度が予測式で求めた飽和濃度以上になることを許容した。上記の改良点を解析モデルに実装し、テスト解析を行った。対象イベントとしては、2011年東北地方太平洋沖地震津波（以降、2011年東北津波と称する）とし、対象領域は宮城県石巻市鮫浦とした。対象領域における津波土砂移動解析のスナップショットを図3-10-⑦-2に示す。



(a) 従来モデル（高橋ら，1999）による解析例



(b) 改良モデルの解析例

図 3-10-⑦-2 宮城県石巻市鮫浦における津波土砂移動解析例

対象領域における空間格子間隔は 5 m である。土砂移動モデルの改良点以外はすべて同一であり、流水モデルは非線形長波に基づき、マンニングの粗度係数は  $0.025 \text{ m}^{-1/3\text{s}}$  を採用している。図 45(a)から、従来モデルでは、浮遊砂濃度の濃淡があま

り生じておらず、湾口部では湾側からの引波と沖側かからの押波が重なりあい、流れ場に若干の不安定性が生じているとともに、浮遊砂移流についても不安定性が生じ、湾口部でノイズが発生していることがわかる。これは、中心差分であるためと考えられる。一方で、改良モデルでは、浮遊砂濃度に濃淡が生じていることや、湾口部でのノイズも抑制されていることがわかる。飽和濃度は流況に応じて動的に変化するモデルを導入したために、浮遊砂濃度の濃淡が生じたものと考えられる。

宮城県石巻市鮫浦では、津波前後の地形情報は計測されていないため、改良モデルによる土砂移動量に関する妥当性評価を行うことができない。そこで、解析領域として宮城県気仙沼市気仙沼湾を対象とした。当該地域では、2010年3月22日と2011年3月29日に湾低の地形変化に関する測量が実施されている（「原口・他，2012」）。このデータは2011年東北津波による地形変化を捉えており、解析モデルの検証に利用することができる。ただし、気仙沼湾低における土砂の諸元は不明なため、「高橋・他，2011」による粒径依存性を考慮した実験評価による式(8)および(9)を本解析で用いた。

$$q_B = a\sqrt{agd^3\tau_*^2}^{\frac{3}{2}} \quad (8)$$

$$a = 5.6 \quad (d = 0.166 \text{ mm})$$

$$a = 4.0 \quad (d = 0.267 \text{ mm})$$

$$a = 2.6 \quad (d = 0.394 \text{ mm})$$

$$w_{ex} = b\sqrt{agd\tau_*^2} - w_0\bar{C} \quad (9)$$

$$b = 7.0 \times 10^{-5} \quad (d = 0.166 \text{ mm})$$

$$b = 4.4 \times 10^{-5} \quad (d = 0.267 \text{ mm})$$

$$b = 1.6 \times 10^{-5} \quad (d = 0.394 \text{ mm})$$

なお、土砂移動解析に用いた波源は観測波形を良好に説明できるモデルの1つである「Satake *et al.*, 2013」のモデルを用いて気仙沼湾港内での土砂移動解析を行った。本モデルによる計算値と実測値の整合について、 $K$ 、 $\kappa$ 「Aida, 1978」を用いて評価すると、浸水高の場合は  $K=0.86$ 、 $\kappa=1.48$ 、遡上高の場合、 $K$ は浸水高と同程度であるが、 $\kappa=3.0$  となり、陸上部での再現は低いようである。

図3-10-⑦-3に気仙沼湾における土砂移動解析における浮遊砂濃度のスナップショットを示す。浮遊砂濃度を厚さに変換して可視化している。スナップショットは地震発生からおおよそ45分後であり、気仙沼湾の狭窄部に高速流が発生し、それに伴って浮遊砂濃度が高くなっている状況である。図から、粒径にかかわらず、浮遊砂濃度のトレンドはおおむね一致しており、流況や遡上範囲に大差はないが、仮定した土砂粒径が大きくなるに従って、浮遊砂の巻き上げ量が小さくなっていることがわかる。なお、解析を通して図3-10-⑦-2(a)でみられた不安定は生じておらず、安定的に解析することが可能であった。

図3-10-⑦-4に土砂移動解析による気仙沼湾の最終地形変化を示す。粒径により、浸食・堆積厚さに変化が生じるが、その傾向において、大きな変化は生じていないことがわかる。以降では、土砂粒径  $d=0.267$  mm のケースで実測との比較を行う。

図3-10-⑦-5に2011年東北津波による気仙沼湾の地形変化を示す。表1に実測値と計算値の比較を示す。実測値から算定した浸食量は  $654,610$  m<sup>3</sup>、堆積量は  $900,888$  m<sup>3</sup> である。堆積・浸食比率は138%で、堆積がやや優勢である。空間的な浸食・堆積の特徴をみると、港内の狭窄部（蜂ヶ崎）に5~7 mの浸食がみられるほか、狭窄部より北側では西側の護岸に沿った1 m以上の滞筋状浸食域がみられ、逆に東側は1 m以上の堆積が認められる。狭窄部より南にも、湾軸に沿って深さ1 m以上の滞筋状浸食域がみられる。

再現計算では、浸食量は  $505,802$  m<sup>3</sup>、堆積量は  $620,522$  m<sup>3</sup> となった。堆積・浸食比は123%で、実測と同様に堆積がやや優勢である。狭窄部を中心に、実測と同じく5 m以上の浸食域が生じている。しかし、実測データで狭窄部北西の護岸沿い、南東の湾軸沿いにみられた滞筋状の浸食域は再現されていない。浸食・堆積の面積の比較では、浸食は過小、堆積は過大となる傾向にあるが、倍半分程度の精度は有していることがわかる。

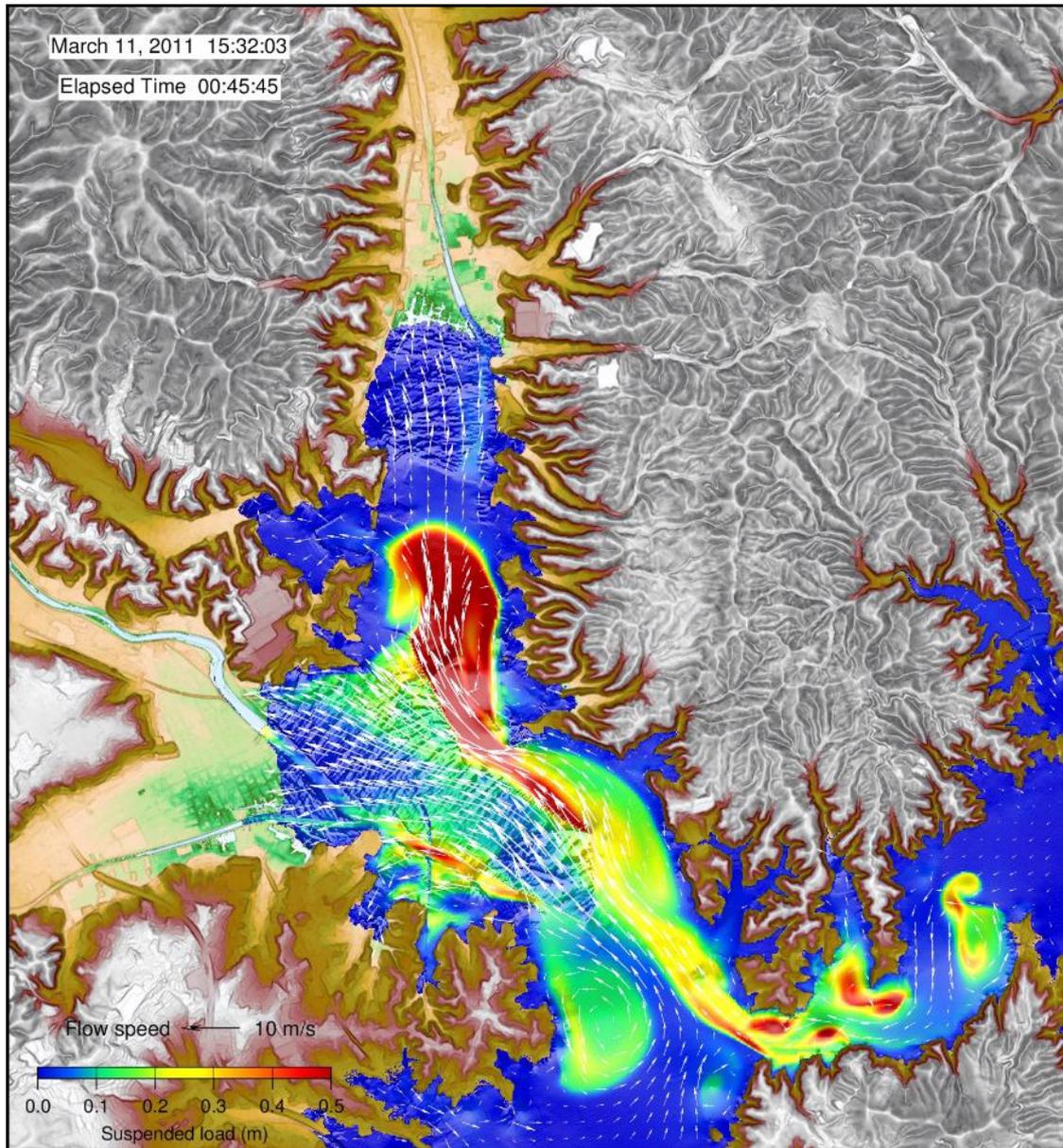


図 3-10-⑦-3(a) 気仙沼湾における土砂移動解析における浮遊砂濃度のスナップショット ( $d=0.166$  mm)

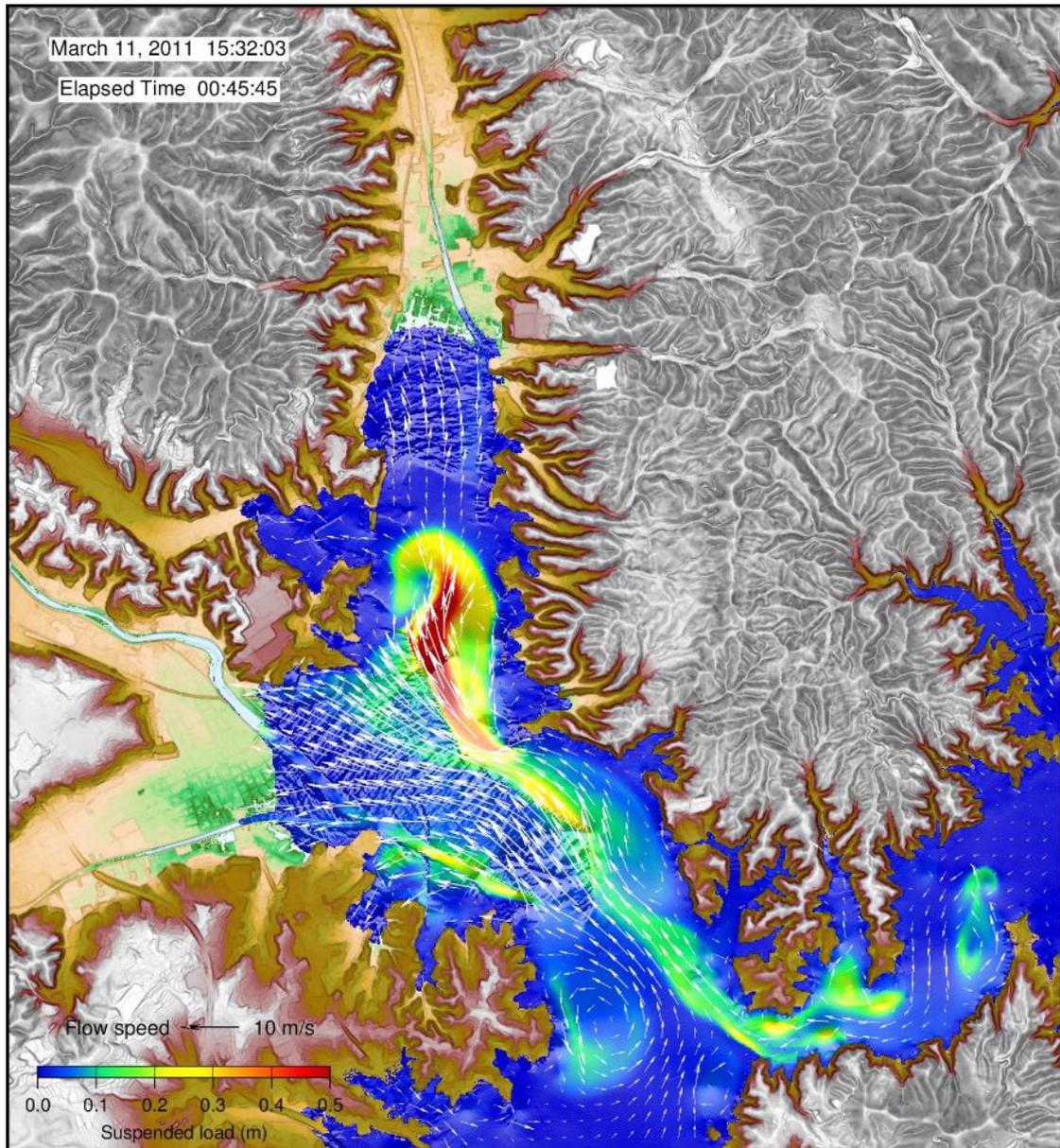


図 3-10-⑦-3 (b) 気仙沼湾における土砂移動解析における浮遊砂濃度のスナップショット ( $d=0.267$  mm)

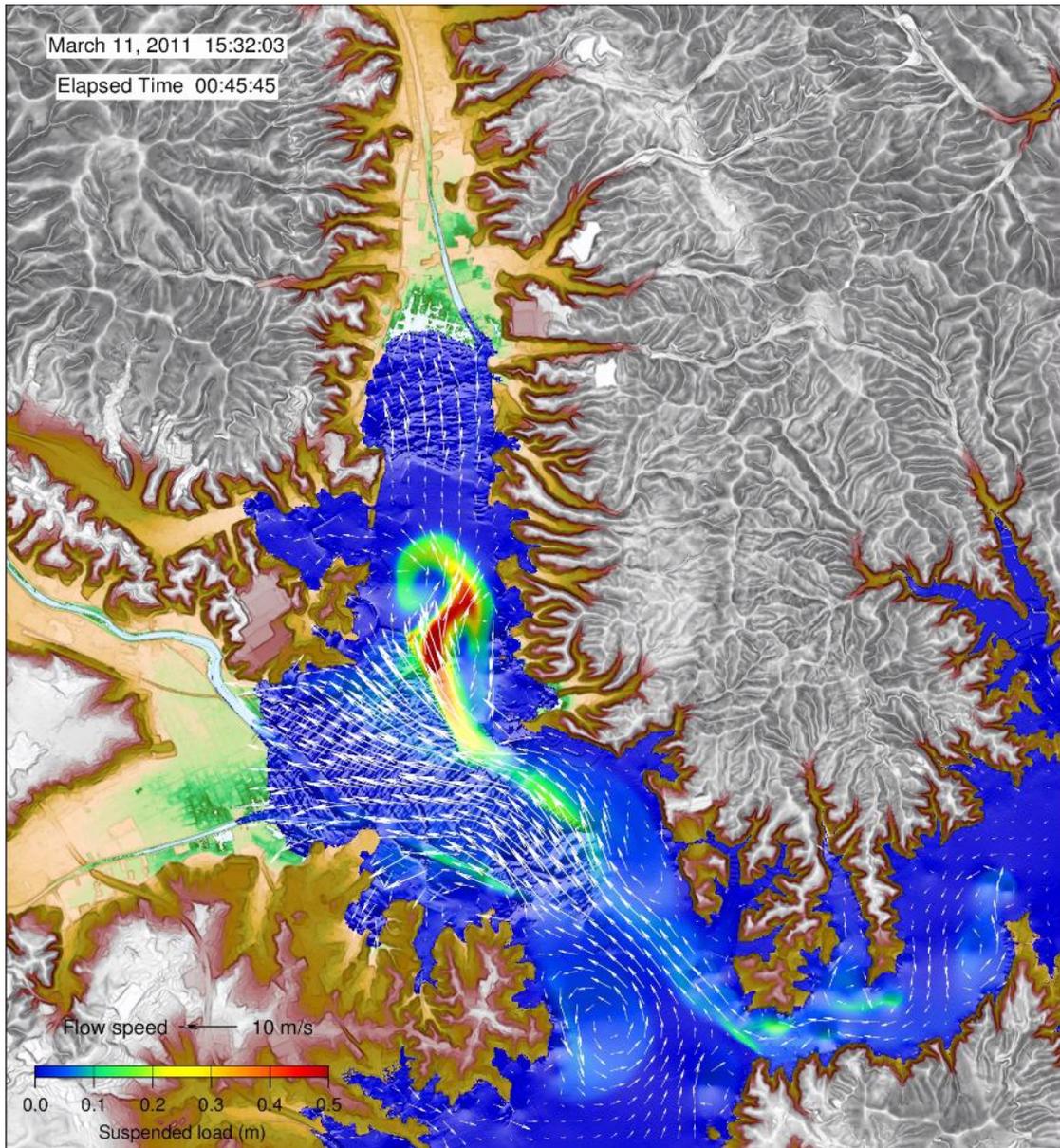


図 3-10-⑦-3(c) 気仙沼湾における土砂移動解析における浮遊砂濃度のスナップショット ( $d=0.394$  mm)

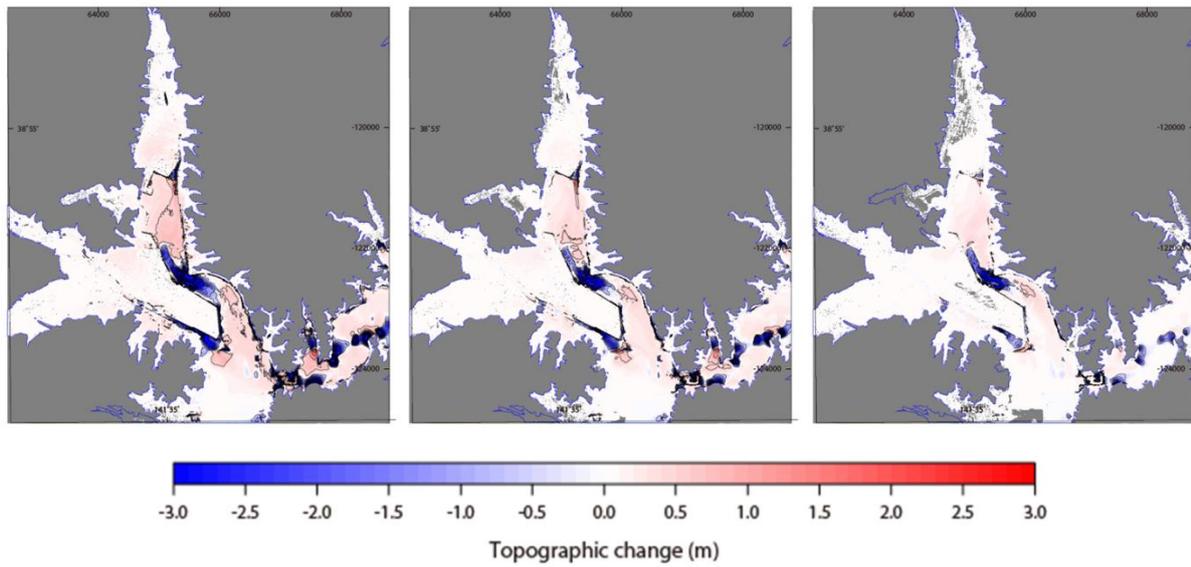


図 3-10-⑦-4 土砂移動解析による気仙沼湾の最終地形変化。左から  $d=0.166\text{ mm}$ 、 $0.267\text{ mm}$ 、 $0.394\text{ mm}$  の場合を示す。

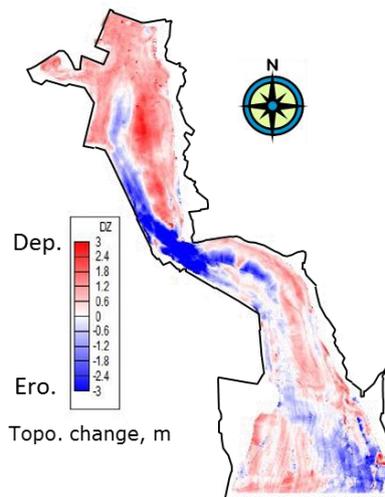


図 3-10-⑦-5 観測による気仙沼湾の地形変化。

表 2 実測値と計算値の比較

	Erosion			Deposit		
	Obs.	Com.	Com. / Obs.	Obs.	Com.	Com. / Obs.
Area (m <sup>2</sup> )	518,125	261,150	0.50	1,073,025	1,438,675	1.34
Volume (m <sup>3</sup> )	654,610	505,802	0.77	900,888	620,522	0.69
Volume / Area	1.26	1.94	0.51	0.84	0.43	0.51

## 2) 北上川河口部における津波氾濫解析

2011年東北津波により、宮城県石巻市北上川河口部における長面地区では、大規模な地形変化が生じた。この地形変化の再現を実施するために、平成25年度業務では、詳細な地形データの作成を行った。ここでは、津波氾濫解析の結果を示す。津波の波源は「Satake *et al.*, 2013」の波源モデル、氾濫解析は非線形長波方程式を用いた。北上川河口部を含む解析対象領域の空間格子間隔は5mとした。この領域では、土地利用に応じた相当粗度を土地利用条件として反映させている。また、津波数値解析の継続時間は地震発生から24時間とした。図3-10-⑦-6に北上川河口部周辺における最大浸水深分布、図3-10-⑦-7に最大流速分布を示す。長面地区では、最大浸水深が10m以上となり、実測データとの整合性はよい。最大流速は長面地区で5~10m/s程度生じており、これらの流況により大規模な洗掘を受けたものと考えられる、詳細な検討については、土砂移動解析を含めて検討する必要がある。

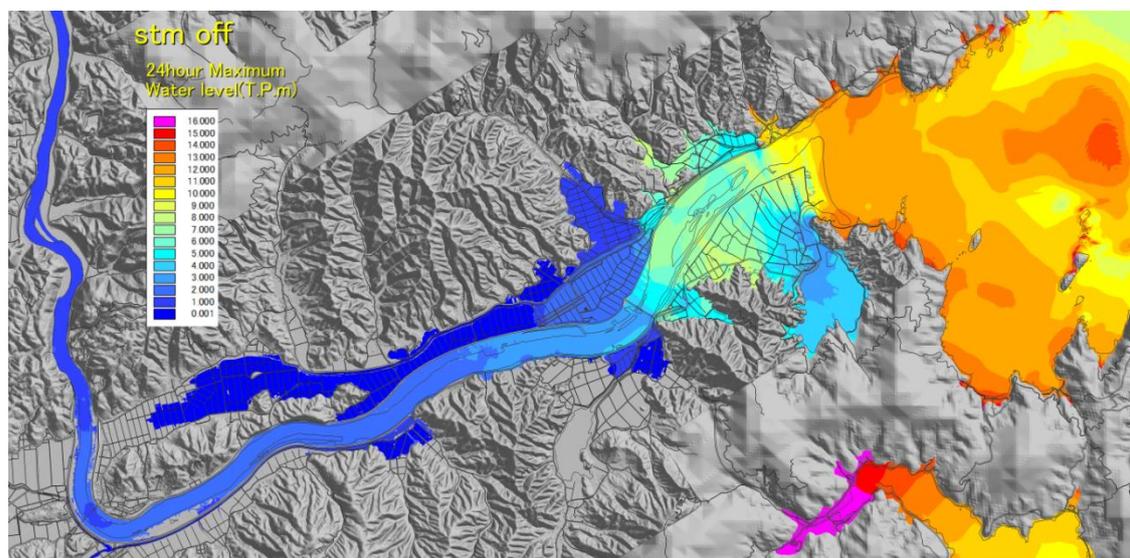


図3-10-⑦-6 北上川河口部周辺における最大浸水深分布

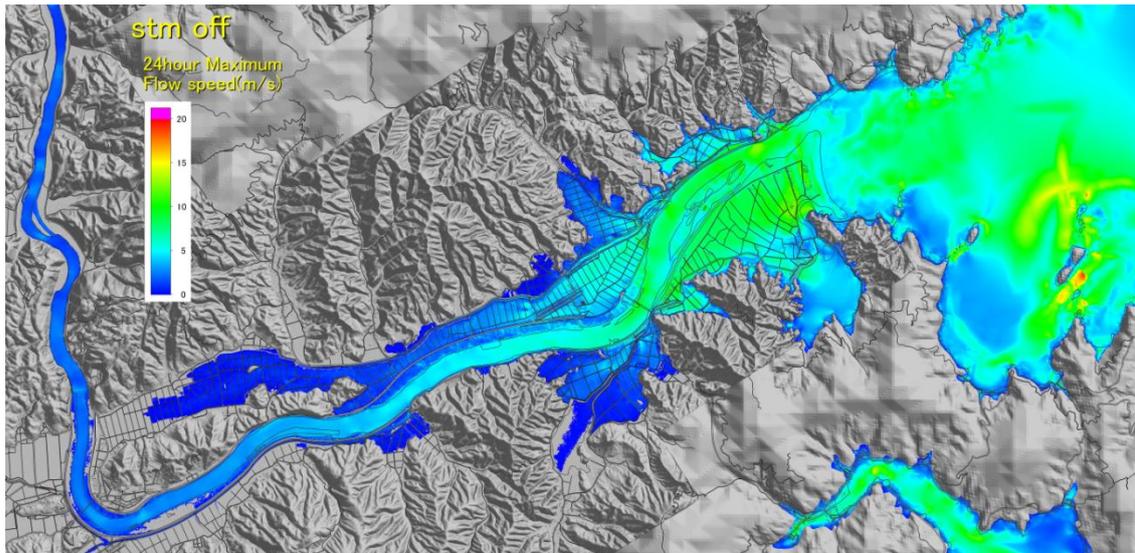


図 3 - 1 0 - ⑦ - 7 北上川河口部周辺における最大流速分布

### 3) 歴史津波における湖沼津波堆積物の再現に関する検討

津波の観測体制の整備が進む以前に来襲した大昔の津波、いわゆる歴史津波に関する資料は極めて少なく、散在している古文書や記念碑、言い伝えなどに頼らざるを得ない。しかし津波防災を考える上で歴史津波に関する諸情報は非常に重要であり、今回の東日本大震災を受けて、内閣府中央防災会議の「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告」などでは、地震・津波の発生メカニズムの解明のために、歴史津波まで目を向けた幅広い研究が必要であると説明されている。その中で津波堆積物は歴史津波来襲の数少ない物的証拠であり、歴史津波の発生頻度や来襲状況を知る手がかりの一つとして注目されている。

歴史津波の堆積物に関する調査は 1980 年代から始まった「箕浦・他, 1987」。歴史津波に関しては、同じように土砂移動させる可能性がある高波や洪水の堆積物と区別するため、対象の堆積物が津波起源であることを認定する必要がある。認定の方法として、現代の津波堆積物の特徴と比較して経験的に行われる場合や、分布地点の標高や海岸からの距離を根拠にする場合がある。一方で、水理学的な実験による検討は少ないのが現状であり、今後の課題の一つとして挙げられる「首藤・他, 2007」。

津波堆積物を用いた歴史津波の評価は、津波による堆積物の認定や、堆積物の平面的な分布から当時のおおよその浸水域の推定ができること、などの利点から、平野部を中心に行われることが多い。代表的な研究例として、仙台平野における貞観津波の津波堆積物がある。例えば「澤井・他, 2007」は、869 年の貞観地震に伴った津波による津波堆積物の詳細な現地調査より、当時の浸水域の復元に成功している。他にも、平野部の掘削調査より、数百年～数千年前の地震による津波堆積物が確認された事例は、日本のみならず世界中で報告されている。

平野部のみならず、地震による地殻変動に伴った沈降域で形成される沿岸湖沼にも、重要な津波堆積物が残されることが多い。「岡村・松岡, 2012」は、大分県、

徳島県、高知県の沿岸に分布する沿岸湖沼を対象としたコアリング調査から、多くの津波堆積物を発見している。

沿岸湖沼では、平野部よりも静穏な環境が安定して保たれている場合が多く、湖底への粒子の堆積速度は平野部の泥炭層より速い。よってその速い堆積速度を利用して巨大津波の再来間隔を高時間分解能で議論することができ、平野部では検出不可可能な小さなイベントを細かく分離できる可能性がある「澤井, 2012」。また西南日本の海岸付近などのように、多くの土地が田畑や住宅など人間の手によって利用されており、沿岸湖沼でしか津波堆積物を得ることができない地域もある。以上より、沿岸湖沼の地形学的条件や湖底の浸食・堆積状況、および堆積物の層厚と津波外力の関係が明らかになれば、沿岸湖沼の津波堆積物の調査から歴史津波の規模を推定することが可能となり、歴史津波の諸相をより明確にすることが期待できるといえる。

大分県佐伯市米水津龍神池は、典型的なポケットビーチ、海域と湖沼の間には規模の小さい水道とラグーンが形成されている。「岡村・松岡, 2012」は龍神池にてコアリング調査を行い、1707年宝永地震を含む津波堆積物を見いだした。これらのデータを有効活用することにより、1707年宝永地震以前の南海トラフ巨大地震の規模の一端を評価することが可能になると考えられるが、湖沼の突入する津波の水理学的特性や、湖沼における土砂の浸食・堆積に関する知見は少ない（例えば、「松富・他, 2001」）。

歴史津波における津波土砂移動解析を実施するにあたり、考慮すべき、あるいは重要であるにも関わらず、考慮することができない事項について列挙する。今後は以下の点について留意しながら検討を進めることにする。

#### a) 地形の問題

現況地形は高度な土地利用のため、また、高頻度な自然災害からの防災のために、歴史時代の地形と大きく異なる場合が多い。特に、沿岸部では特別な理由がない限り、護岸整備が展開されている。この点は歴史津波の解析に共通する部分でもあるが、高分解能な津波氾濫・土砂移動解析を行う際には、対象とした歴史津波と同時期の絵図や大きな土地改変は少ないと考えられる明治時代の地形図を参考として地形復元が必要となる。また、沿岸湖沼の場合はその水深についても重要となるが、この点を復元することは難しいため、解析に含まれる不確実性のひとつとしてパラメータスタディを行う必要がある。

#### b) 粒径の問題

前述の通り、土砂移動量には砂の中央粒径が大きく依存する。このため津波堆積物の中央粒径を明らかにしておく必要がある。今後実施するコアリング調査では、この点を留意することができるが、既往のコアリング調査では、中央粒径が不明な場合も多い。この点についても解析に含まれる不確実性のひとつとしてパラメータスタディを行う必要がある。

#### c) 波源の問題

津波堆積物は特定の地点において重点的に調査されることが多い。一方で、津波波源の推定には、津波痕跡の広域分布が重要となる「今井・他, 2013」。日本においては江戸期前後であれば、史料による痕跡と津波堆積物の情報から相互を補完しつつ検討を進めることができるが、先史時代の古津波については、史料による津波痕跡情報が得られないため、津波堆積物情報に頼らざるを得ない。また、波源推定には空間的な分布特性が重要となるため、特定地点の重点調査はもちろん、空間的な分布特性についても踏まえることが重要となる。

#### d) 数値解析モデルの問題

実用的な津波伝播・氾濫解析には、水深積分型の運動方程式が用いられる。このモデルでは、地形条件により流れ場が急変するような流況を詳細に再現することは難しいと考えられる。この点については、水理実験と数値実験からその適用範囲を検証する必要があるだろう。

#### (c) 結論ならびに今後の課題

実用的な津波土砂移動モデルの構築を目指し、土砂移動に関わる数値モデルの離散化手法や、新たな流砂量式の適用や浮遊砂濃度に関する構成則を適用した。急峻な海底地形における流れ場においても安定的に解析を行うことを確認し、気仙沼湾における洗掘・堆積量から実測と計算の整合性を検討し、おおむね倍半分程度で整合することを確認した。さらに北上川河口部での解析や歴史津波への適用に関する問題点を抽出した。

#### (d) 引用文献

- 1) Aida, I., Reliability of a tsunami source model derived from fault parameters. *Journal of Physics of the Earth* 26, 57-73, 1978.
- 2) 原口 強・高橋智幸・久松力人・森下 祐・佐々木いたる, 2010 年チリ中部地震津波および 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による気仙沼湾での地形変化に関する現地調査. *土木学会論文集 B2 (海岸工学)* 68, 231-235, 2012.
- 3) 今井健太郎・堀内滋人・今村文彦, 波源推定における津波痕跡高分布の依存性に関する検討, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, 69-2, 431-435, 2013.
- 4) 松富英夫・穂積拓哉・今井健太郎, 砂嘴植生域を越える津波の基礎水理, *海岸工学論文集*, 48, 316-320, 2001.
- 5) 箕浦幸治・中谷周・佐藤裕, 湖沼底質堆積物中に記録された地震津波の痕跡 -青森県市浦村十三付近の湖沼系の例-, *地震* 2, 40, 183-196, 1987.
- 6) 成瀬元・後藤和久・菅原大助, 津波堆積物はなぜ薄いのか? -流れの浮遊砂キャパシティ問題再考-, *日本堆積学会 2014 年山口大会講演要旨集*, 2014.
- 7) 岡村眞・松岡裕美, 津波堆積物からわかる南海地震の繰り返し, *科学*, 82, 2, 182-191, 2012.
- 8) Satake, K., Y. Fujii, T. Harada, Y. Namegaya, 2013, Time and Space Distribution of Coseismic Slip of the 2011 Tohoku Earthquake as Inferred from Tsunami Waveform Data,

Bulletin of the Seismological Society of America 103, 1473-1492, 2013.

- 9) 澤井祐紀・宍倉正展・岡村行信・高田圭太・松浦旅人・Than Tin Aung・小松原純子・藤井雄士郎・藤原治・佐竹健治・鎌滝孝信・佐藤伸枝, ハンディジオスライサーを用いた宮城県仙台平野(仙台市・名取市・岩沼市・亘理町・山元町)における古津波痕跡調査, 活断層・古地震研究報告, 7, 47-80, 2007.
- 10) 澤井祐紀, 地層中に存在する古津波堆積物の調査, 地質学雑誌, 118, 9, 535-558, 2012
- 11) 菅原大助・成瀬元・後藤和久, 堆積粒子の巻き上げに伴うエネルギー散逸を考慮した津波土砂移動の計算と検証, 日本堆積学会 2014 年山口大会講演要旨集, 2014.
- 12) 首藤伸夫・今村文彦・越村俊一・佐竹健治・松富英夫, 津波の事典, 朝倉出版, 47-55, 2007.
- 13) 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大輔, 掃流砂層・浮遊砂層の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発. 海岸工学論文集 46, 606-610, 1999.
- 14) 高橋智幸・黒川貴博・藤田将孝・島田広昭, 津波による土砂移動の粒径依存性に関する水理実験. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 67, 231-235, 2011.
- 15) van Rijn, L.C., Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves. II: Suspended Transport. Journal of hydraulic Engineering 133, 668-689, 2007.

### (3)平成 27 年度業務計画案

広域地下構造モデルの精緻化をはかり、プレート境界での地震繰り返し発生だけでなく、大地震発生前後の内陸地震の活発化問題にも適用する。京コンピュータ等の高速計算機を用いて高精度化・広帯域化した強震動・津波シミュレーション法を用いて、震度・地殻変動・津波データを解析することにより、南海トラフの過去地震の震源過程を再評価する。また、その結果を考慮した応力・強度分布推定結果を用いた地震発生サイクルシミュレーションを行い、連動の多様性や外的擾乱の影響を考慮した地震発生シナリオを提案する。上記結果や、近年、諸外国で発生した巨大地震のデータを集めて等南海トラフ巨大地震の震源モデルのスケーリングとレシピ化を行い、南海トラフ沿いで起きる地震の平均及び最大クラスの震源モデルを明確化する。トラフ軸付近での地震発生域調査観測研究の結果を参考にして、津波地震の発生可能性と超巨大地震化可能性について、発生間隔(確率)を含めた現実的なハザード評価を行う。

## 4. 全体成果概要

今年度は「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の2年度目として、昨年度に引き続き各サブテーマ内の研究課題の進捗を重点的に行った。以下に各サブテーマの成果の概要を示す。

### 4.1 サブテーマ1：地域連携減災研究

2011年東日本大震災の教訓を活かし、南海トラフ巨大地震大津波の被害軽減への対応、将来の南海トラフ巨大地震の復旧復興、高分解能な地域リスク評価も併せて実施する。また、情報発信や情報の共有化の観点から、地域研究会の活用や「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を構築し、減災の啓発活動を実施、人材育成にも努める。

本サブテーマは、(a)東日本大震災教訓活用研究、(b)地震・津波被害予測研究、(c)防災・減災対策研究、(d)災害対応・復旧復興研究、(e)防災・災害情報発信研究の研究課題で構成されている。

下記にサブテーマ内の各研究課題の成果の概要を示す。

#### (a) 東日本大震災教訓活用研究の成果

- ①「東日本大震災の教訓」を具体的に記述している理論データベース（教訓検索システム）を公開するウェブシステムと、津波の流況やシミュレーション、被害の実態に関する公開映像を検索できるシステムの実装
- ②マルチチャンネル反射法探査による反射記録断面の解釈結果を収集し比較等を行うことで断層分布に関する新たな知見を取得
- ③被災地を長期的にモニタリングし、その復興過程を理解するシステムの運用・管理と、今後に向けた課題等を抽出
- ④昨年度作成した東北地方太平洋沖地震および余震時等の地震波形データに関するデータベースを充実させるとともに、追加観測記録の情報を統一的に整理

#### (b) 地震・津波被害予測研究

- ①各種津波漂流物に関連する産業種類の分類と相対危険度の評価を行うとともに、並木の津波漂流物捕捉機能を定量的に明らかにする評価手法を検討
- ②任意の震源による地震動を推定する手法を提案し、想定東南海地震等の震源モデルに適用・検証
- ③液状化被害のメカニズムについて、建物高さに着目してその被害形態を解明するとともに、隣接家屋の影響による建物傾斜のメカニズムに関する有効応力を解析
- ④建物被害予測モデルの構築に向けた、様々な建物の地震応答評価や地震時室内被害予測
- ⑤発災後の電力需給シミュレーションの現状と課題抽出、上水道の内閣府被害想定課題の抽出とその改善策の提案
- ⑥地震・津波を対象としたリスク評価手法を検討し、現在～将来における地震による建

物被害・人的被害の暫定的な広域リスク評価を実施するとともに、津波シミュレーション結果を利用した、建物被害・人的被害のリスクを試算

- ⑦大都市災害時移動シミュレーションモデルを開発するとともに、東海圏のサプライチェーンネットワークの災害脆弱性に関する基礎的解析と経済被害予測モデルを開発

(c) 防災・減災対策研究

- ①前年度に議論した各地方自治体の防災・減災対策の状況を踏まえ、プロジェクト側研究者や国の機関からの取り組みの現状の報告に主眼を置いて、東海、関西、四国、九州で地域研究会を開催
- ②府省連絡会では、南海トラフ地震に対する各府省の取り組みに関する調査を行い、課題を抽出

(d) 災害対応・復旧復興研究

- ①災害による地域への影響シナリオを構築するため、昨年度に開発した「地域特性評価システム」の拡張し、システムを高度化・精緻化
- ②静岡県吉田町及び三重県尾鷲市中心部を対象に、長期的な土地利用計画を検討する際のベースとなり得る市街地移転シナリオを検討
- ③関西地方における事前復興計画を策定するためのケーススタディを実施するとともに、「津波被害シミュレーションの GUI」を開発
- ④関西地方の府県等、各所で編まれた被害・復旧想定をひとつのシナリオへと再構築するための準備

(e) 防災・災害情報発信研究

- ①各種データベースおよびプラットフォームの詳細設計に着手、テスト運用を通じて追加開発・設計
- ②DONET のデータを用いた自動震源決定システムの機能向上
- ③ハザード評価やリスク評価、及びこれらの予測精度を向上させるための地域特性を考慮した基礎データの収集・整理
- ④南海トラフ巨大地震で津波被害が想定される地域で、住民の防災知識構造を明らかにするための質的調査の実施及び東日本大震災の事例収集・比較

#### 4.2 サブテーマ 2：巨大地震発生域調査観測研究

南海トラフ、南西諸島域の調査観測による震源域の実態解明とそれらの成果に基づくシミュレーションによる発生予測、被害予測研究の推進を目的とする。

これらの研究成果を、サブテーマ 1 の地域連携減災研究に確実に活用し、南海トラフ広域地震防災・減災を図るものである。

本サブテーマは、調査観測分野とシミュレーション分野で構成されており、各分野に研究課題が設定されている。

調査観測課題では、(a)プレート・断層構造研究、(b)海陸津波履歴研究、(c)広帯域地震活

動研究、シミュレーション課題では、(d) データ活用予測研究、(e)震源モデル構築・シナリオ研究の課題がある。

下記にサブテーマ内の各研究課題の成果の概要を示す。

#### 4.2.1 巨大地震発生域調査観測研究（調査観測分野）

##### (a)プレート・断層構造研究

- ①日向灘～西部南海トラフでの高分解能反射法探査、大規模構造調査や海陸統合調査
- ②四国西部を対象に 30 箇所の臨時観測点からなる自然地震観測を行うとともに、計 180 箇所の臨時観測点による人工地震探査

##### (b)海陸津波履歴研究

- ①沖縄八重山～沖縄島沖海域の海底堆積物の採取・解析を実施し、タービダイトの挟在を確認
- ②高知県東洋町・四万十町・黒潮町において津波堆積物調査を実施し、イベント砂層の堆積状況を確認

##### (c)広帯域地震活動研究

- ①熊野灘に設置したブイシステムによって得られた海底水圧データの精度評価及び耐障害性を向上させるための機能向上
- ②豊後水道ならびに足摺沖から日向灘にかけての海域において長期観測型海底地震計による観測を継続するとともに、足摺沖における観測網を強化

#### 4.2.2 巨大地震発生域調査観測研究（シミュレーション分野）

##### (d) データ活用予測研究

- ①2011 年東北沖地震の余効変動の観測結果から、3次元構造・アセノスフェアの粘弾性応答を考慮して余効すべりの時空間分布を把握
- ②東北地方の海陸地殻変動観測・地震データを用いて、2011 年東北沖地震の発生以前および以降に発生したプレート間固着強度の時空間ゆらぎの予測実験を継続
- ③地殻変動の観測データベースのモニタリングにより豊後水道のスロースリップイベント発生を確認するとともに、日本海溝地域において地震発生サイクルの数値シミュレーションを実施
- ④粘弾性緩和を考慮した地震時および余効すべりを推定する手法及びスロースリップイベント検出手法の開発

##### (e) 震源モデル構築・シナリオ研究

- ①高詳細な地殻・マントル構造モデルを用いた弾性・粘弾性地殻変動解析手法を開発し、既往研究成果を踏まえて粘弾性構造を加味した 3 次元的に不均質な日本列島広域構造の 1 次モデルを構築
- ②非平面形状に起因する法線応力変化を考慮した準動的地震サイクル計算手法及びス

ペクトル要素法による動的破壊過程を含む地震サイクル計算手法の高度化

- ③南海トラフ沿いの全震源域をカバーする広域モデルの高解像度大規模計算の実施可能性を確認
- ④これまで実施してきた準動的地震発生サイクルの数値シミュレーションに対し、新たな地震サイクルを追加することにより、南海トラフ地震の発生パターンが受ける影響を検証
- ⑤SMGA（強震動生成域）モデルに基づき、2011年東北地方太平洋沖地震を含むプレート境界大～巨大地震のSMGAパラメータの特徴について整理を行い、震源モデル設定方法についての考え方を提案
- ⑥アンケート調査の再解析、歴史史料調査、津波堆積物調査等による南海トラフ地震津波の検証・評価
- ⑦実用的な津波土砂移動モデルの構築を目指した、数値モデルの離散化手法等の検討を行うとともに、北上川河口部での解析や歴史津波への適用に関する問題点を抽出

以上が今年度の成果の概要である。

引き続き、本プロジェクト前期は、サブテーマ内の研究課題の推進・連携を最優先として、後期4年はサブテーマ間の連携を強化することで本プロジェクトの目的である、南海トラフ広域地震防災研究を推進する。

## 5. 成果の論文発表・口頭発表等

### (1) 東日本大震災教訓研究

#### (a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
佐藤翔輔, 今村文彦	東日本大震災における「見える復興」を目指した復興広報活動に関する実態調査・分析－宮城県内の被災自治体を対象にして－【査読有り】	地域安全学会論文集, No.24, pp.171-181,	2014年11月
佐藤翔輔, 今井健太郎, 大野晋, 齋正幸, 板原大明, 松尾敏彦, 今村文彦	徒歩と自動車を組み合わせた津波避難計画の策定－宮城県亘理町での実践－【査読有り】	土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No. 2, I_1371-I_1375	2014年11月
佐藤翔輔, 杉浦元亮, 野内類, 邑本俊亮, 阿部恒之, 本多明生, 岩崎雅宏, 今村文彦	災害時の「生きる力」に関する探索的研究－東日本大震災の被災経験者の証言から－【査読有り】	地域安全学会論文集, No.23, pp.65-73	2014年7月
佐藤翔輔, 今村文彦	東日本大震災の発生から3年間の被災者の心情－宮城県の被災者を対象にした東北大・河北新報合同継続調査から－【査読無し】	平成26年度東北地域災害科学研究集会	2015年1月
佐藤翔輔, Elizabeth MALY, 櫻井敬佑, 日置友智, Leo J.CHE, 柴山明寛, 今村文彦	震災アーカイブコンテンツの英語化と震災学習の両立をねらいにしたワークショップ手法の設計と試行【査読無し】	日本災害情報学会・日本災害復興学会合同大会 in 長岡, pp.116-117	2014年10月
中川政治, 尾形和昭, 宇田川真之, 阪本真由美, 佐藤翔輔, 山崎麻里子	被災地の震災伝承におけるAR技術活用の取り組み－石巻市における「防災まちあるき」実践事例－【査読無し】※日本災害情報学会・河田賞	日本災害情報学会・日本災害復興学会合同大会 in 長岡, pp.86-87	2014年10月
佐藤翔輔, 今村文彦, 川島秀一, 今井健太郎, 首藤伸	わが国における災害伝承に関する量的分析の試み【査読無し】	第33回日本自然災害学会年次学術講演会講演概	2014年9月

夫		要集, pp.1-2	
永村美奈, 佐藤翔輔, 今村文彦	中小規模の災害対応プロジェクトに対する活動過程の体系的な記録手法の開発ー七ヶ浜町ボランティアセンターの活動を事例としてー【査読無し】	第33回日本自然災害学会年次学術講演会講演概要集, pp.xx-xx	2014年9月
佐藤翔輔, 坪田亜由子, 今村文彦	東日本大震災復興交付金事業に関する分析ー発災から3年間に岩手県・宮城県の沿岸市町村に適用された事業についてー【査読無し】	津波工学研究報告, Vol.31, pp.379-389	2014年8月
Nakamura, Y., S. Kodaira, M. Yamashita, S. Miura, G. Fujie, M. Strasser, K. Ikehara, T. Kanamatsu, K. Usami	Incoming sediments and its deformation observed on high resolution seismic profiles in the northern Japan Trench axis region	AGU Fall meeting 2014	2014年12月
東田光裕, 牧紀男, 竹本加良子, 西野隆博	復興過程の可視化に向けた研究ー復興モニタリングプロジェクトの紹介ー	地域安全学会梗概集, No.34, pp.91-94	2014年11月
Furumura, T.	Radiation and development of short- and long-period ground motions from the 2011 Off Tohoku, Japan, Mw9.0 earthquake, Journal of Disaster Research	Journal of Disaster Research, Vol.9 No.3, 281-290	2014年1月
古村孝志	東京の地下構造と長周期地震動リスク	地学雑誌 Vol123(No4), 434-450	2014年2月
古村孝志	京で挑む, 地震の強い揺れの再現そして予測	HPCI 戦略分野3, 地震津波ワークショップ	2015年2月13日

(b) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

震災教訓文献データベースー論文・報告書がしめす震災教訓の検索システムー  
<http://edbunken.irides.tohoku.ac.jp/TopPage?0>

## (2) 地震・津波被害予測研究

### (a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
寺島芳洋, 平井敬, 福和伸夫	堆積盆地構造が地震動の周期特性に及ぼす影響 3次元有限差分法を用いた検討	日本建築学会構造系論文集 第80巻, 第708号, 219-230	2015年2月
平井敬, 福和伸夫	地震観測記録と地盤構造モデルに基づく伝達関数を用いた任意の震源による地震動予測手法の検討	日本建築学会2014年度大会(近畿)学術講演梗概集 構造II, 305-306	2014年9月
寺島芳洋, 平井敬, 福和伸夫	堆積盆地構造が地震動の周期特性に与える影響 - 3次元有限差分法を用いた検討 -	日本建築学会2014年度大会(近畿)学術講演梗概集 構造II, 421-422	2014年9月
大庭拓也・野田利弘・中井健太郎・竹内秀	隣接家屋の影響を受ける戸建て住宅の液状化被害メカニズムの解明	土木学会第69回年次学術講演会 堤防小委員会, pp. 79-82	2014年9月
中村洋光・藤原広行・森川信之・清水智・若浦雅嗣・小丸安史・早川譲	南海トラフ地震を対象とした広域リスク評価のための将来建物・人口モデルの構築	第14回日本地震工学シンポジウム, pp.1195-1204	2014年12月4日
山崎雅人・曾根好徳	「中部圏応用一般均衡モデル」による巨大地震の経済被害評価 - 「中部圏地域間産業連関表(2005年版)」に準拠して -	中部圏研究, Vol.188, pp.80-95	2014年9月
山崎雅人	巨大地震の「経済被害」をどう読むか	安全工学, Vol.53, No.2, pp.94-99	2014年4月

(b) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定  
なし

## (3) 減災・防災対策研究

### (a) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(b) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

なし

#### (4) 災害対応・復旧復興研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
澤 寄 裕 樹, 村 山 顕 人, 清 水 裕 之	ニューオーリンズ市統合計画 (UNOP) の策定に見る復興計画策定技法	日本建築学会技術報告集第 45 号, pp.735-740	2014 年 6 月
Keiichi SATO, Norio MAKI and Masaru TANAKA	Geographic Influence of Prior Local Demographics Trends on Earthquake Disaster Reconstruction	3rd International Conference on Urban Disaster Reduction	2014 年 9 月
佐 藤 慶 一, 牧 紀 男, 堀 田 綾 子, 岸 田 暁 郎, 田 中 傑	被災前の人口トレンドが被災地の地域人口構造へ与える影響－阪神・淡路大震災と新潟県中越地震を対象として－	地域安全学会論文集 No.24, pp.293-302	2014 年 11 月
村 山 顕 人	防災・減災施策と空間形成 (パネルディスカッション資料)	国土交通省中部地方整備局, 地震・津波災害に強いまちづくりフォーラム, 名古屋国際センター別棟ホール	2015 年 3 月 6 日

(b) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 地域特性評価システムの高度化

2) 津波被害シミュレーションの GUI の開発

#### (5) 防災・災害情報発信研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
倉 田 和 己, 船 越 恵 美, 福 和 伸 夫	旧版地図を活用した時代別災害危険度の評価手法の開発 (その 1: データと手法の概要)	日本建築学会大会	2014 年 9 月
倉 田 和 己, 曾 根 好	災害教訓を活用した防災・減災支援	日本災害情報	2014 年 10

徳	システムの研究開発	学会	月
水井良暢	災害時の自助・共助と災害情報プラットフォーム	自治体職員と考える防災情報システムの活用と社会への展開 合同会議	2014年10月
黄 欣悦, 田中淳, 磯打千雅子, 宇田川 真之, 三船恒裕	災害時のリスクコミュニケーションに関する研究－南海トラフ巨大地震想定地域を対象に－	社会情報学会	2014年9月
田中 淳・宇田川真之・三船恒之・磯打千雅子・地引泰人・黄欣悦	南海トラフ沿岸住民調査にみる避難意図の規定要因	日本災害情報学会	2014年10月
堀内茂木, 堀内優子, 飯尾能久, 澤田義博, 関根秀太郎, 中山貴史, 平原 聡, 河野俊夫, 長谷川 昭, 小原一成, 加藤愛太郎, 中野 優, 高橋成実, 小笠原宏, Denver Birch, Artur Cichowicz, Ali Pinar, Mustafa Erdik	人間以上に高精度の地震波自動読み取り システムの開発 (その7) ー理論エンベロープ波形と観測波形との比較による解析結果の評価ー	地震学会	2014年11月
田口仁, 李泰榮, 白田裕一郎, 長坂俊成	効果的な災害対応を支援する地理情報システムの一提案: 東北地方太平洋沖地震の被災地情報支援を事例として	日本地震工学会	2015年1月

(b) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定なし

(6) プレート・断層構造研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
高橋努・海宝由佳・石原靖・山本揚二郎・仲西理子・尾鼻浩一郎・小平秀一・金田義行	宮古・八重山諸島周辺における構造探査および自然地震観測	日本地球惑星科学連合2014年大会	2014年4月29日
山下幹也・仲西理子・中村恭之・三浦誠一・小平秀一・金田義行	高知沖から紀伊半島沖における高分解能反射構造イメージング	日本地震学会2014年度秋季大会	2014年11月25日
高橋努・海宝由佳・石原靖・山本揚二郎・仲西理子・尾鼻浩一郎・小平秀一・金田義行	宮古・八重山諸島周辺における地震活動とランダム速度不均質構造	日本地震学会2014年度秋季大会	2014年11月25日
新井隆太・海宝由佳・高橋努・仲西理子・藤江剛・小平秀一・金田義行	琉球海溝最南端におけるフィリピン海プレートの沈み込み構造と地震テクトニクス	日本地震学会2014年度秋季大会	2014年11月26日
仲西理子・山本揚二郎・山下幹也・井和丸光・藤江剛・小平秀一・金田義行	四国沖から紀伊水道沖におけるフィリピン海プレートの構造	日本地震学会2014年度秋季大会	2014年11月26日
Nakanishi, A., Yamamoto, Y., Yamashita, M., Iwamaru, H., Fujie, G.,	Structural variation in the incoming Philippine Sea plate along the Nankai Trough	AGU Fall Meeting 2014	2014年12月19日

Kodaira, S., Kaneda, Y.			
Arai, R., Kaiho, Y., Takahashi, T., Nakanishi, A., Fujie, G., Kodaira, S., Kaneda, Y.	Back-arc rifting at a continental margin: A case study from the Okinawa trough	AGU Fall Meeting 2014	2014年12月19日
仲西理子・山下幹也・山本揚二郎・中村恭之・藤江剛・三浦誠一・小平秀一・金田義行	四国沖から紀伊水道沖における南海トラフ周辺の構造調査 -KR14-05, KY14-07 航海報告-	ブルーアース 2015	2015年3月20日
新井隆太・海宝由佳・高橋努・仲西理子・藤江剛・三浦誠一・小平秀一・金田義行	南西諸島南部における反射法・屈折法構造調査	ブルーアース 2015	2015年3月20日
高橋努・海宝由佳・石原靖・山本揚二郎・仲西理子・尾鼻浩一郎・小平秀一・金田義行	南部琉球弧における地震活動とランダム速度不均質構造	ブルーアース 2015	2015年3月20日

(b) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定なし

## (7)海陸津波履歴研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
Ashi, J., Sawada, R.,	Accumulation of an earthquake-induced	Earth Planets and Space, 66, 51	2014年6月

Omura, A. and Ikehara, K.	extremely turbid layer in a terminal basin of the Nankai accretionary prism		
宇佐見和子・池原 研・ジェンキンズ・ロバート・芦寿一郎	底生有孔虫群集に基づくイベント堆積物の粒子給源の推定:2011年東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波による堆積物の例	堆積学研究, 73, 37-43	2014年9月4日
Kanamatsu, T., Kawamura, K., Strasser, M., Novak, B. and Kitamura, Y.	Flow dynamics of Nankai Trough submarine landslide inferred from internal deformation using magnetic fabric	Geochem. Geophys. Geosyst, 15, 4079-4092	2014年10月1日
Goto, K., Ikehara, K., Goff, J., Chague-Goff, C. and Jaffe, B.	The 2011 Tohoku-oki tsunami-Three years on	Marine Geology, 358, 2-11	2014年12月
宇佐見和子・池原 研・McHugh, C.・金松敏也	日本海溝下部陸側斜面のタービダイト-NT13-19次航海の成果から	日本地球惑星科学連合2014年大会	2014年4月29日
池原 研・宇佐見和子・西田尚央	細粒タービダイトの堆積と保存	日本地球惑星科学連合2014年大会	2014年4月30日
Ikehara, K., Kanamatsu, T., Usami, K., Strasser, M., Fink, H., Nagahashi, Y., Kodaira, S., Nakamura, Y., Tamura, T. and Ito, K.	Turbidite paleoseismology along the Japan Trench: Can we find the recurrence of the past large earthquakes using the Japan Trench sediments?	Asian Margins Evolution and Western Pacific Drilling Meeting	2014年5月19日
Ashi, J., Omura, A., Ikehara, K. and	Estimation of slip history of active faults in deep sea and some	11 <sup>th</sup> Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience	2014年8月1日

Murayama, M.	problems: Application of remotely operated vehicle in the Nankai subduction zone	Society	
Ikehara, K., Usami, K., Iriho, T., Jenkins, R. and Ashi, J.	Deposition and preservation of the offshore event deposits by the 2011 Tohoku-oki earthquake and its related tsunami	11 <sup>th</sup> Annual Meeting, Asia Oceania Geoscience Society	2014年8月1日
Ikehara, K., Kanamatsu, T. and Iwai, M.	Depositional system in the western Muroto Trough, a forearc basin along the Nankai Trough, Japan, and its influence to estimate recurrence intervals of Nankai earthquakes using the deep-sea turbidites	19 <sup>th</sup> International Sedimentological Congress	2014年8月18日
Ikehara, K., Iriho, T., Usami, K., Jenkins, R.G., Ashi, J., Tamura, T. and Sawai, Y.	Shallow marine sediment deformation, erosion, resuspension and redeposition by the 2011 Tohoku-oki earthquake and its related tsunami along the Tohoku coast	19 <sup>th</sup> International Sedimentological Congress	2014年8月18日
宇佐見和子・池原 研・金松敏也・McHugh, C.	日本海溝陸側斜面のタービダイト堆積年代	日本地質学会第121年学術大会	2014年9月14日
Usami, K., Ikehara, K., Kanamatsu, T. and McHugh, C.	Seismo-turbidites in the Japan Trench inner slope	American Geophysical Union 2014 Fall Meeting	2014年12月18日
宇佐見和子・池原 研・金松敏也・McHugh, C.	日本海溝陸側斜面のタービダイトとして記録された巨大地震発生履歴	ブルーアースシンポジウム2015	2015年3月20日

(b) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

なし

**(8) 広帯域地震観測研究**

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
山下裕亮, 八木原寛, 清水洋, 内田和也, 平野舟一郎, 馬越孝道, 宮町宏樹, 中元真美, 福井海世, 神菌めぐみ, 兼原壽生, 山田知朗, 篠原雅尚, 小原一成	Migration episode of shallow low-frequency tremor at the Nankai Trough subduction zone	スロー地震研究会	2014年9月8日
山下裕亮, 八木原寛, 清水洋, 内田和也, 平野舟一郎, 馬越孝道, 宮町宏樹, 中元真美, 福井海世, 神菌めぐみ, 兼原壽生, 山田知朗, 篠原雅尚, 小原一成	日向灘における浅部低周波微動のマイグレーションに見られる特徴	日本地震学会 2014年秋季大会, S09-P07	2014年11月25日
Yamashita Y., H. Yakiwara, H. Shimizu, K. Uchida, S. Hirano, K. Umakoshi, H. Miyamachi, M. Nakamoto, M. Fukui, M. Kamizono, H. Kanehara, T. Yamada, M. Shinohara, and K. Obara	Migration Episode of Shallow Low-frequency Tremor at the Nankai Trough Subduction Zone: Seismological Evidence for Episodic Slow Slip Event Occurring at the Shallow Transition Zone	2014 AGU Fall Meeting, S53C-4528	2014年12月19日

(b) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

なし

**(9) データ活用予測研究**

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
鈴木翔太・伊藤武男・里嘉千茂・兵藤守	粘弾性応答を考慮した 2011 年東北沖地震の余効すべりの時空間分布	日本地球惑星科学連合 2014 年大会	2014 年 4 月 30 日
Uchida, N., K.	Postseismic response of	J. Geophys. Res., 120,	2015 年 1

Shimamura, T. Matsuzawa, and T. Okada	repeating earthquakes around the 2011 Tohoku-oki earthquake: Moment increases due to the fast loading rate	259-274, doi:10.1002/2013JB010933	月 22 日
藤本博己, 日 野亮太, 木戸 元之, 伊藤喜 宏, 太田雄策, 飯沼卓史, 長 田幸仁, 稲津 大祐, 鈴木秀 市, 佐藤俊也, 立花憲司, 出 町知嗣, 三浦 哲	海陸統合測地観測に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震 に関する研究	測地学会誌, 60(1), 1-22, 2014	2014 年 5 月 3 日
Satriano, C., V. Dionicio, H. Miyake, N. Uchida, J.-P. Vilotte, and P. Bernard	Structural and thermal control of seismic activity and megathrust rupture dynamics in subduction zones: Lessons from the Mw 9.0, 2011 Tohoku earthquake	Earth Planet. Sci. Lett. 403, 287-298, doi:10.1016/j.epsl.2014.06.03 7	2014 年 7 月 26 日
Ohta Y., R. Hino, K. Ariyoshi, D. Inazu, K. Tachibana, T. Demachi, S. Miura	Geodetic characteristic of the postseismic deformation following the interplate large earthquake in and around the Sanriku-Oki region, Japan	GENAH2014, 松島	2014 年 7 月 23 日
Shirzaei, M., R. Burgmann, N. Uchida, Y. Hu, F. Pollitz, and T. Matsuzawa	Seismic versus aseismic slip: Probing mechanical properties of the northeast Japan subduction zone	Earth Planet. Sci. Lett., 406, 7-13, doi:10.1016/j.epsl.2014.08.03 5	2014 年 9 月 26 日
Nakata, R., M. Hyodo, and T. Hori	Possible slip history scenarios for the Hyuga-nada region and Bungo channel and their relationship with Nankai earthquakes in southwest Japan	J. Geophys. Res.	2014 年 5 月

	based on numerical simulations		
中田令子・有吉慶介・兵藤守・堀高峰	2011年東北地方太平洋沖地震の前に発生したスロースリップイベントの数値シミュレーション	地球惑星科学連合 2014年大会, SCG64-20	2014年4月30日
中田令子・有吉慶介・兵藤守・堀高峰	数値シミュレーションから推定される2011年東北地方太平洋沖地震後の宮城県沖地震の発生間隔	日本地震学会 2014年秋季大会, S08-P06	2014年11月25日
Nakata, R., K. Ariyoshi, M. Hyodo, and T. Hori	Numerical Simulation of Earthquake Generation Cycles before and after the 2011 Tohoku-Oki Earthquake in Northeast Japan	American Geophysical Union Fall Meeting, G43B-0514	2014年12月18日
安藤亮輔	3次元非平面断層に適用可能な動的境界積分方程式法の高速化	日本地震学会 2014年秋季大会	2014年11月26日
Ryosuke Ando	New Efficient Dynamic 3-D Boundary Integral Equation Method applicable to Non-Planar Fault Geometry Dipping in Elastic Half Space	American Geophysical Union 2014 Fall Meeting	2014年12月16日
Nishimura, T.	Short-term slow slip events along the Ryukyu Trench, southwestern Japan, observed by continuous GNSS	Progress in Earth and Planetary Science, 1.1, 1-13	2014年9月
Yamagiwa, S., S. Miyazaki, K. Hirahara, and Y. Fukahata	Afterslip and viscoelastic relaxation following the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw9.0) inferred from inland GPS and seafloor GPS/Acoustic data	Geophys. Res., Lett., 42, 66-73, doi:10.1002/2014GL061735	2015年1月
加納将行・宮崎真一・石川洋一・日吉善久・伊藤耕介・平原和朗	GPSデータの同化による余効すべり域の摩擦パラメータの推定:2003年十勝沖地震への適用	日本地球惑星科学連合 2014年大会, SSS33-P06	2014年4月30日
奥田亮介・平原和朗・宮崎真一・加納将行・大谷真紀子	八重山スロースリップの時空間発展シミュレーション	日本地球惑星科学連合 2014年大会, SCG64-P05	2014年4月30日

奥田亮介・平原和朗・宮崎真一・大谷真紀子・加納将行	アンサンブルカルマンフィルタを用いたスロースリップを引き起こす断層面上の摩擦パラメータ推定についての数値実験	日本測地学会第122回講演会	2014年11月6日
加納将行・宮崎真一・平原和朗・石川洋一・日吉善久・伊藤耕介	すべり速度の同化による2003年十勝沖地震余効すべり域の摩擦パラメータの推定	日本測地学会第122回講演会	2014年11月6日
奥田亮介・平原和朗・宮崎真一・加納将行・大谷真紀子	アンサンブルカルマンフィルタを用いたスロースリップを引き起こす断層面上の摩擦パラメータ推定についての数値実験	日本地震学会2014年秋季大会、A31-110	2014年11月25日

(b) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定  
なし

#### (10) 震源モデル構築・シナリオ研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
R. Agata, T. Ichimura, K. Hirahara, M. Hyodo, T. Hori, M. Hori,	Several Hundred Finite Element Analyses of an Inversion of Earthquake Fault Slip Distribution using a High-fidelity Model of the Crustal Structure	Procedia Computer Science	2014年6月
R. Agata, T. Ichimura, K. Hirahara, M. Hyodo, T. Hori, M. Hori,	Basic Study on Physics-Based Fault Scenario- Estimation of Coseismic Slip Distribution Using Enhanced Inversion Analysis Method with Three-Dimensional High-Fidelity Model of Crustal Structure	The 1st International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems	2014年4月

R. Agata, T. Ichimura, K. Hirahara, M. Hyodo, T. Hori, M. Hori	Large-scale finite element simulation of coseismic and postseismic crustal deformation using a high-fidelity model	Asia Oceania Geosciences Society	2014年7月
縣亮一郎, 市村強, 平原和朗, 兵藤守, 中野優, 堀高峰, 堀宗朗	津波波源推定高度化を目指した高詳細地殻変動解析に関する基礎的研究	地震工学研究発表会	2014年10月
縣亮一郎, 市村強, 平原和朗, 兵藤守, 堀高峰, 橋本千尋, 堀宗朗	高詳細モデルを用いた余効変動の大規模粘弾性有限要素シミュレーション	日本地震学会秋季大会	2014年11月
縣亮一郎, 市村強, 平原和朗, 兵藤守, 堀高峰, 堀宗朗	地殻構造の高詳細有限要素モデルの導入が津波解析にもたらす影響の考察	土木学会第69回年次学術講演会	2014年9月
縣亮一郎, 市村強, 平原和朗, 兵藤守, 堀高峰, 堀宗朗	高詳細モデルを用いた地震時・地震後地殻変動の大規模有限要素シミュレーション	日本地球惑星連合大会	2014年5月
縣亮一郎, 市村強, 平原和朗, 兵藤守, 堀高峰, 堀宗朗	地殻構造の高詳細な有限要素モデルを用いた震源断層すべりによる海底面鉛直変位推定手法について	日本地震工学シンポジウム	2014年12月
平原和朗, 大谷真紀	列島規模海溝型地震サイクルシミュレーション	日本地震学会 2014年秋季大会、A31-11	2014年11月26日
清水宏幸, 平原和朗	2011年東北地方太平洋沖地震サイクルの動的効果を含む2次元スペクトル要素法シミュレーション	日本地震学会 2014年秋季大会、S08-P04	2014年11月25日
Ohtani, M. and K. Hirahara	Effect of the Earth's surface topography on the quasi-dynamic	AGU2014 Fault Meeting, S33B-4532	2014年12月

	earthquake cycl		
Shimiu, H. and K. Hirahara	Two-dimensional spectral-element simulations of earthquake cycle at subduction zones	AGU2014 Fault Meeting, S33B-4515	2014年12月
Hashimoto, C., E. Fukuyama, and M. Matsu'ura	Physics-based 3-D simulation for earthquake generation cycles at plate interfaces in subduction zones	Pure Appl. Geophys.	2014年9月 (Online first は 2013年11月)
Xu, S., E. Fukuyama, Y. Ben-Zion and J. P. Ampuero	Dynamic rupture activation of backthrust fault branching	Tectonophys.	2015年2月
兵藤守, 堀高峰, 金田義行	近傍での地震発生が南海トラフ巨大地震発生に及ぼす影響	日本地震学会 2014年秋季大会、C22-11	2014年11月25日
原田智也・佐竹健治・古村孝志	南海トラフ沿いで想定された最大クラスの巨大地震による西太平洋・東シナ海の津波伝播シミュレーション	日本地球惑星科学連合 2014年大会	2014年5月
鳴橋竜太郎・佐竹健治	五ヶ所湾における安政東海地震津波 (1854) の津波高	日本地球惑星科学連合 2014年大会	2014年5月
Harada T., K. Satake, and T. Furumura	Tsunami simulation in the Western Pacific Ocean and East China Sea from the assumed M9 earthquakes along the Nankai trough	AOGS Annual Meeting 2014	2014年8月
Naruhashi R. and K. Satake	Distributions of Tsunami Heights of the 1854 Ansei-Tokai Earthquake Tsunami along the Coast of Gokasho Bay, Mie Prefecture, Central Japan.	AOGS Annual Meeting 2014	2014年8月
原田智也・室谷智子・佐竹健	1944年東南海地震・1946年南海地震のアンケート	第31回歴史地震研究会 (名古屋大会)	2014年9月

治・古村孝志	調査による震度分布		
鳴橋龍太郎・原田智也・佐竹健治	安政東海地震津波（1854）における五ヶ所湾地域の被害状況	第 31 回歴史地震研究会（名古屋大会）	2014 年 9 月
原田智也・室谷智子・佐竹健治・古村孝志	1944 年東南海地震のアンケート調査による震度分布	日本地震学会 2013 年度秋季大会	2014 年 11 月
鳴橋龍太郎・原田智也・佐竹健治	宝永地震津波（1707）における五ヶ所湾地域の被害状況	日本地震学会 2013 年度秋季大会	2014 年 11 月
Harada T., S. Yokoi, and K. Satake	Significant foreshock activities of M>7.5 earthquakes in the Kuril subduction zone	AGU 2014 Fall Meeting	2014 年 12 月
Naruhashi R., K. Satake, M. Heidarzadeh, and T. Harada	Comparison between Observed Tsunami Heights and Numerical Simulation of the 1854 Ansei-Tokai Earthquake Tsunami in Gokasho Bay, central Japan	AGU 2014 Fall Meeting	2014 年 12 月

(b) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定  
なし

## 6. むすび

平成 26 年度においては、8 年計画の 2 年目として、地域減災研究（サブテーマ 1）、巨大地震発生域調査観測研究（調査観測分野 サブテーマ 2-1）及び巨大地震発生域調査観測研究（シミュレーション分野 サブテーマ 2-2）の各テーマにおいて研究計画に沿った研究を着実に進め、それらの成果が出はじめたところである。

引き続き、地域研究会等の場を通じた地元ライフライン企業等との連携を進めながら、各地域の特性等に照らした防災・減災対策に資する成果の還元を目指し、研究を着実に進めて行くこととする。

## 7.運営委員会

### 7.1 活動報告

#### (1) 第1回運営委員会

日時：平成26年6月30日（月）13：30～16：45

場所：国立大学法人名古屋大学減災連携研究センター  
（名古屋市千種区不老町 減災館 2F）

議事：1）平成26年度研究計画について（トピックの紹介と今年度の展望）  
2）現状の南海トラフ巨大地震像について  
3）総合討論  
4）その他

#### (2) 第2回運営委員会

日時：平成27年2月23日（月）13：00～17：40

場所：独立行政法人海洋研究開発機構 東京事務所 共用会議室 A/B  
（東京都千代田区内幸町2-2-2 富国生命ビル 23階）

議題：1）プロジェクト全体の状況について（今年度の成果と次年度の研究計画等）  
2）総合討論  
3）その他

### 7.2 運営委員会構成員

委員長	本蔵 義守	国立大学法人東京工業大学（火山流体研究センター） 特任教授
委員	中島 正愛	国立大学法人京都大学防災研究所 教授
委員	名波 義昭	内閣府政策統括官（防災担当）付参事官（調査・企画担当）
委員	植松 浩二	総務省 消防庁 国民保護・防災部 防災課長
委員	小林 壯行	愛知県 防災局長
委員	北川 尚	高知県 理事
委員	関田 康雄	気象庁 地震火山部長
委員	今給黎哲郎	国土交通省 国土地理院 地理地殻活動センター長
委員	石橋 良啓	国土交通省 水管理・国土保全局 防災課長
委員	西澤あずさ	海上保安庁 海洋情報部 技術・国際課 海洋研究室長
委員	中川 和之	時事通信社 解説委員
委員	村田 昌彦	人と防災未来センター 研究部長
委員	堀 宗朗	国立大学法人東京大学地震研究所

- |    |       |  |
|----|-------|--|
| 委員 | 室伏きみ子 | 巨大地震津波災害予測研究センター 教授<br>国立大学法人お茶の水女子大学<br>ヒューマンウェルフェアサイエンス究教育寄附研究部門<br>教授 |
| 委員 | 清水 洋  | 国立大学法人九州大学大学院理学研究院附属<br>地震火山観測研究センター長 教授                                 |
| 委員 | 松澤 暢  | 国立大学法人東北大学大学院理学研究科理学部附属<br>地震・噴火予知研究観測センター長 教授                           |