

南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト

平成27年度 成果報告書

平成28年5月

文部科学省 研究開発局

国立研究開発法人 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、国立研究開発
法人海洋研究開発機構が実施した平成27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

国立研究開発法人海洋研究開発機構
国立大学法人東北大学
国立研究開発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
国立研究開発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](#)

📄 [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 巒庭 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) の結果 (速報)	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



図2 大槌町 町方地区カメラ1の観測結果
左：2014年8月14日14時 右：2016年1月21日14時

2. 地震・津波被害予測研究

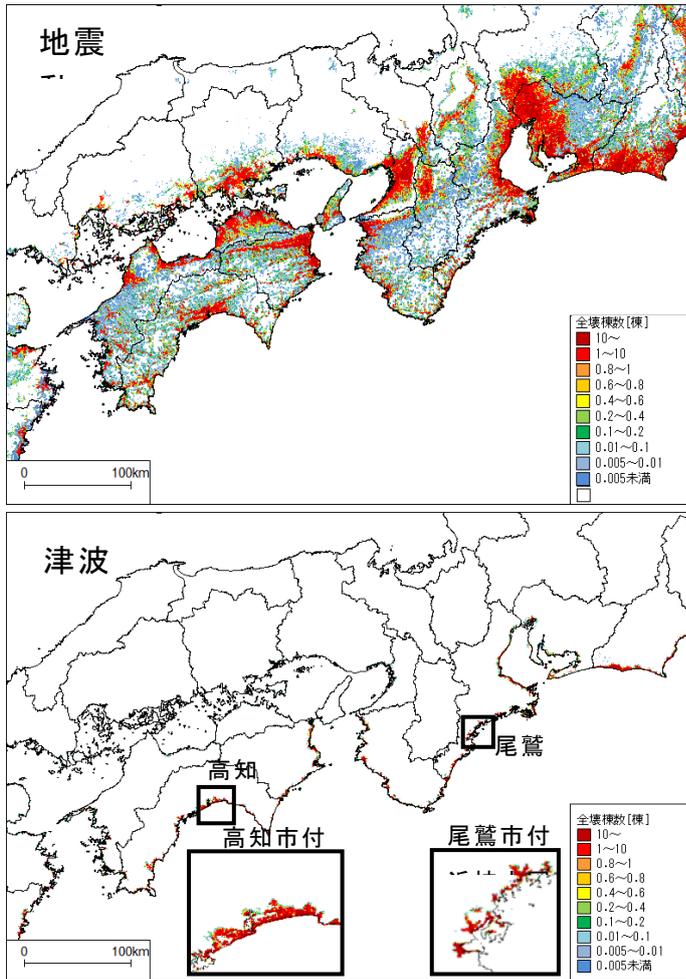


図3 南海トラフの地震による地震動（上段）及び津波（下段）による10年超過確率1%の全壊棟数の分布。地震調査研究推進本部の南海トラフの震源モデルに基づき地震動及び津波の建物被害のリスクカーブを作成し、超過確率と被害の関係を示した。

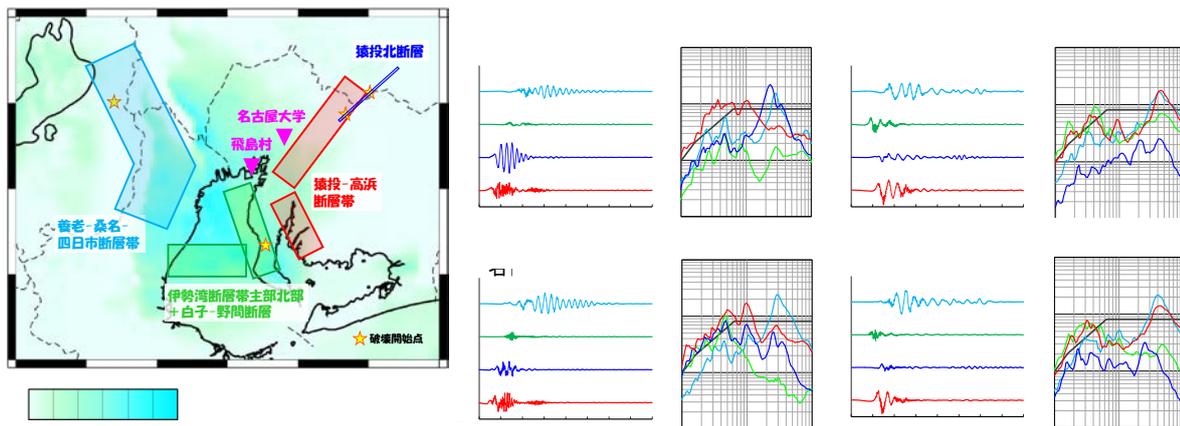


図4 中京地域の地盤構造モデルと周辺の活断層（左）と活断層の地震による名古屋大学・飛島村地点での地震動（右）。グリーン関数の相反定理を利用した計算方法により、震源による地震動の違いを効率的に調べることが可能となった。

3. 防災・減災対策研究



第5回東海地域研究会



第6回東海地域研究会の見学会



第5回関西地域研究会



第6回関西地域研究会



第5回四国地域研究会



第5回九州地域研究会



シンポジウム「南海トラフ地震被害軽減のための研究戦略と課題」



減災エンス塾
「寺田寅彦先生の地球科学観に学ぶ」(高校生の部)

図5 地域研究会、啓発・啓蒙活動の様子

4. 災害対応・復旧復興研究

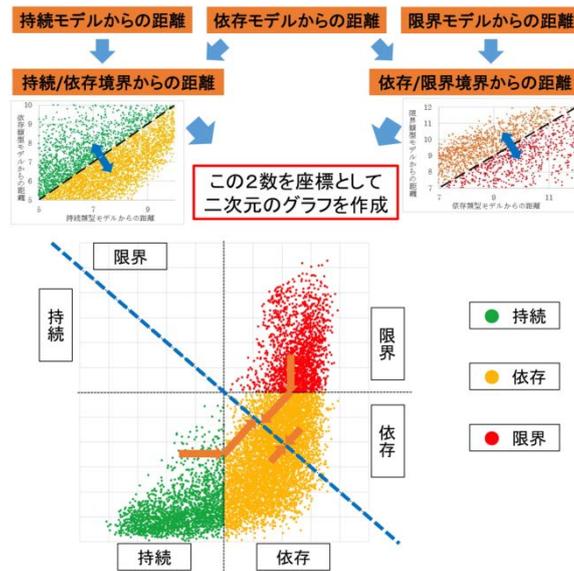


図6 大規模災害による影響を事前に想定するために必要な地域特性の評価手法を改良した。



図7 名古屋市復興イメージトレーニングの様子。復興シナリオ構築手法を開発する一環として、名古屋市が職員対象に開催した復興イメージトレーニングの企画に協力した。

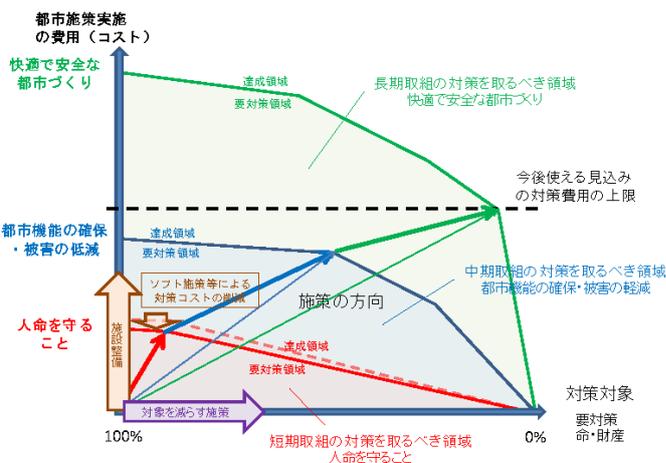


図8 短期・中期・長期的施策と都市施策実施の費用の関係。地震・津波に強い都市づくりの基本的な考え方を整理し、都市施策実施の費用（コスト）に制約がある場合には、中長期的な施策に取り組むことにより、短期的な施策の実施対象を削減しうることを示した。

5. 防災・災害情報発信研究



図9 防災・災害情報発信研究の平成27年度実施内容

平成27年度は、プラットフォームの実装について検討した。データの収集・整備、利活用システム開発を引き続き実施し、防災教育の社会実装実験を始めた。リアルタイム伝送システム開発を継続して実施した。RC・人材育成では、行動を促す知識構造の解明を進めた。

- ①サブテーマ1、2-1、2-2の研究成果を含む情報をプラットフォームへ実装開始し、メタデータの仕様検討を行った。以下の②から④の1-e内研究成果(図の左1.)と、1-c地域研究会(図の右上2.)と連携し、意見・要望を反映した構造へと改良した。
- ② 防災・災害関連データの収集・整備および、利活用システム開発の開始と人材育成・教育のための調査を行った。試作中の教訓アーカイブシステムに新たなデータの追加を行った。高校生や児童を対象としたワークショップや教材開発を実施した。
- ③ 自動震源決定システムの設計を行った。自動読み取り等の解析に影響を及ぼさないように観測点でのゼロレベルのシフトを除くフィルターを作成する必要があるが見出された。
- ④ 住民の防災知識構造と社会構造に関する量的調査を行った。「仕事」を持つ「若い」人を「巻き込む」・「呼び込む」ことが一般性を持つ課題であること、ただし、地域の文化や伝統から解決に向けた指向や働きかける対象者に違いがあることなどが見出された。

6. プレート・断層構造研究

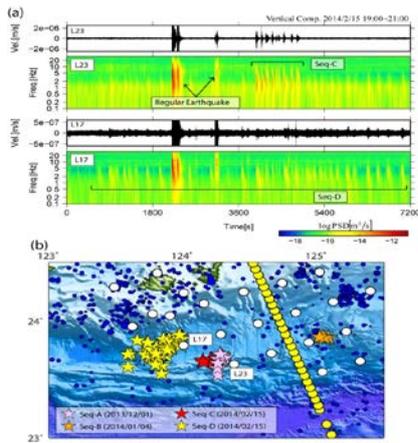


図 10 南西諸島南部での低周波地震活動と沈み込み構造

(a, b) 南西諸島南部のプレート境界で発生する低周波地震活動を検出した。これらの地震活動はプレート境界浅部の津波地震発生域と深部のスロースリップ発生域の間で発生しており、プレート境界全体が固着することなくゆっくりと滑ることを示唆している。

(c, d) 津波地震発生域ではプレート境界からの分岐断層が存在する。また、流体を示唆する反射波の極性反転がプレート境界の複数の箇所を確認された。

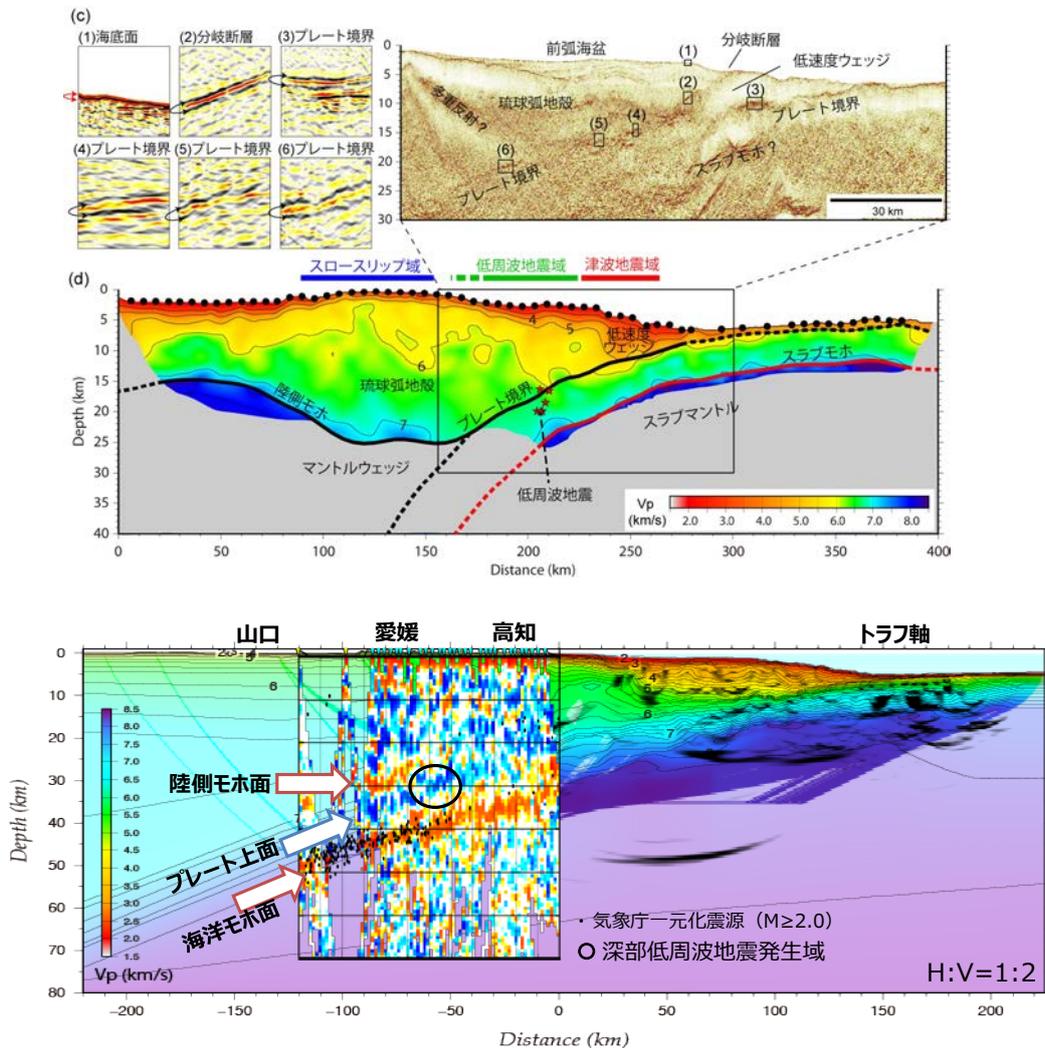


図 11 四国西部で実施した海陸統合地震探査により求められたP波速度構造と陸域自然地震観測結果により求められたレーザ関数イメージの重ね合わせ。トラフ軸から沈み込むフィリピン海プレートと陸側プレートの境界部およびフィリピン海プレート内のモホ面に相当する層について、探査結果の深部延長とレーザ関数の良い一致が見られる。黒丸は深部低周波地震の発生域、黒点はM2.0以上の地震の震源位置を表す。

7. 海陸津波履歴研究

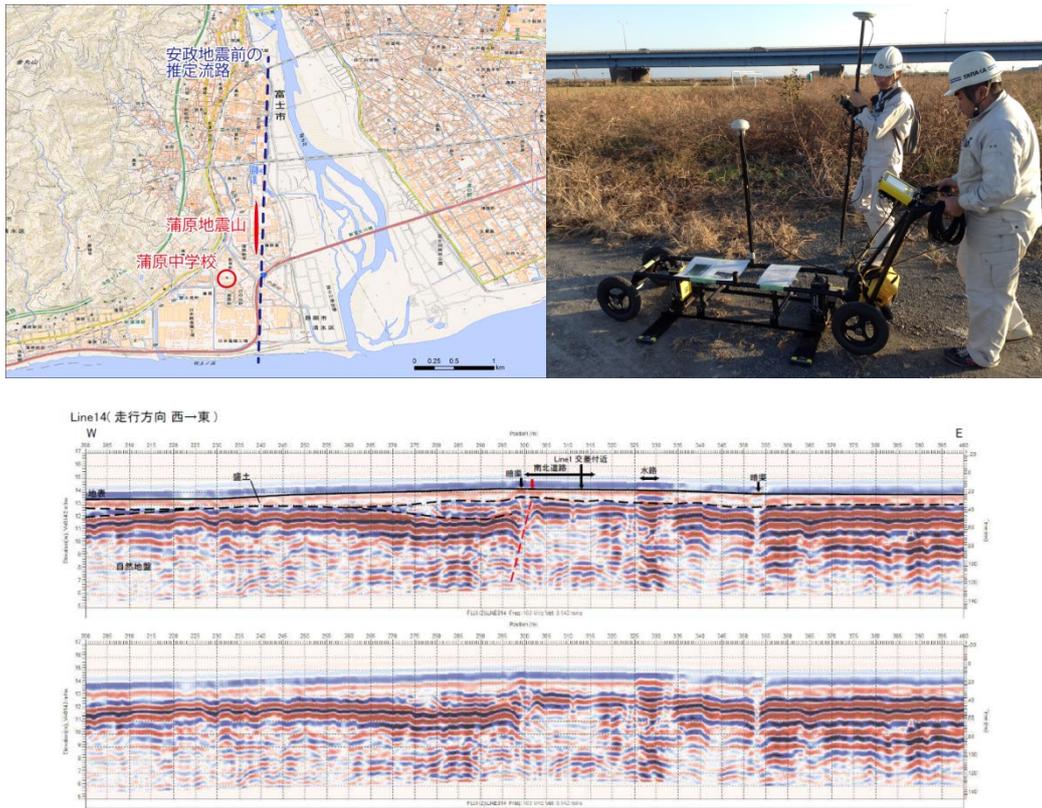


図 1 2 富士川河口域西部において実施した地中レーダー探査（右上）。1854 年安政東海地震で隆起した可能性のある蒲原地震山(左上)周辺を対象に実施。得られた反射断面(下)の上図は解釈図、下図は観測図。赤破線が地層のずれと思われる不連続を示す。

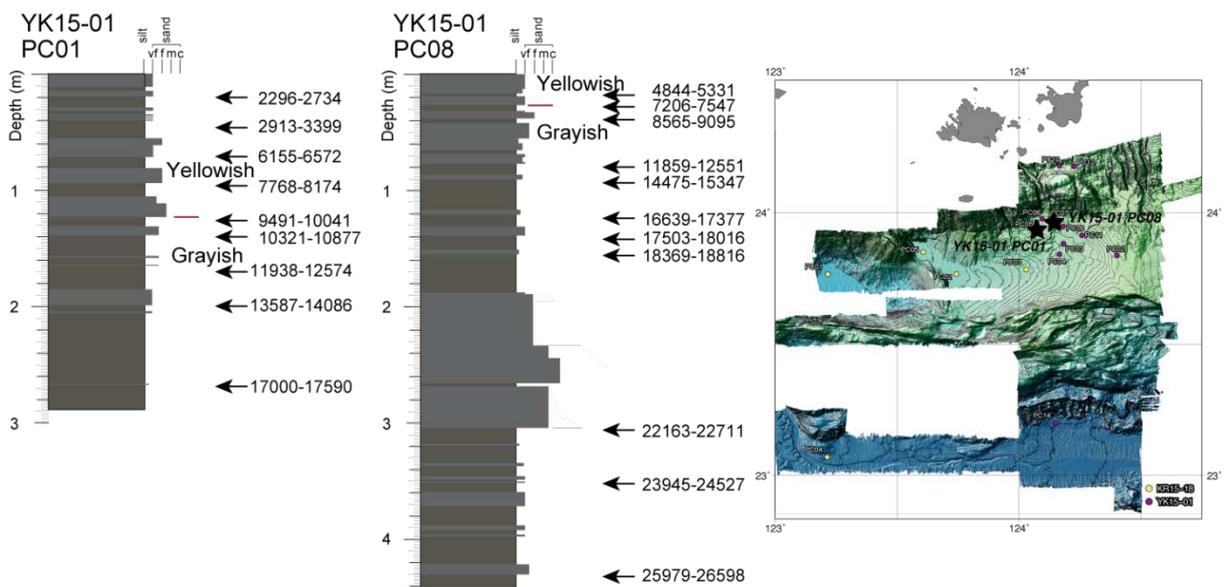


図 1 3 八重山前弧域から採取されたピストンコア試料に挟在するタービダイトの状況と年代測定結果（試料採取位置は右図に示した）。

8. 広帯域地震活動研究



図14 リアルタイム広帯域水圧観測システムにおける観測データを陸上に中継するための海面ブイの投入作業

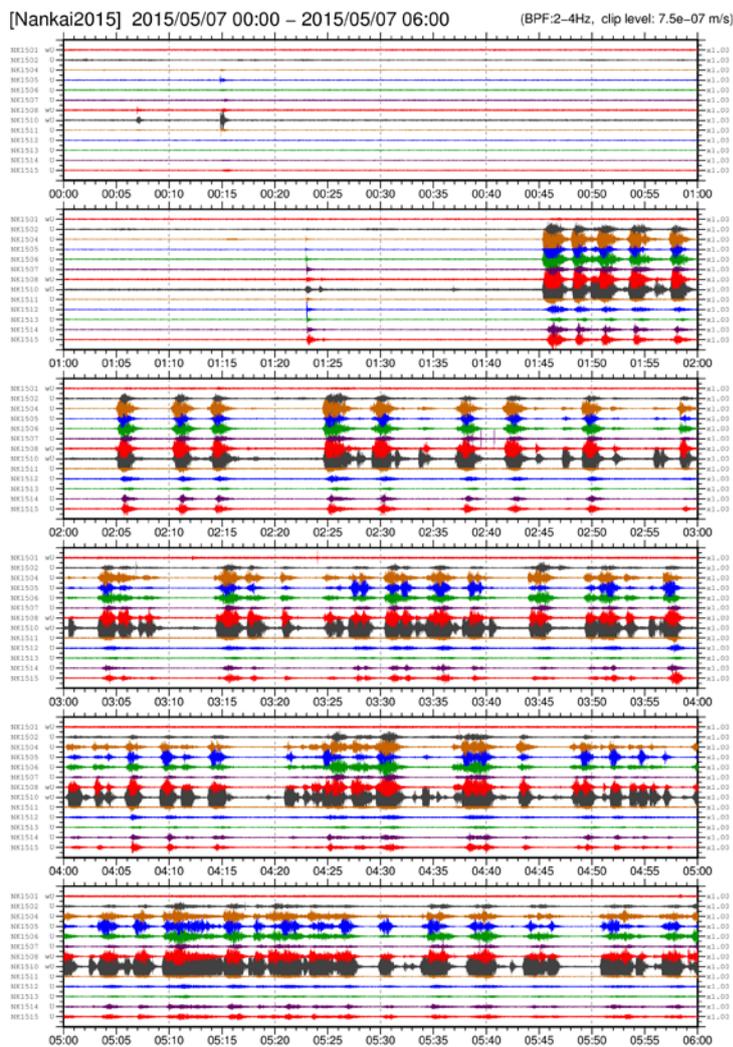


図15 2014年に設置した海底地震計の2015年5月7日00時~06時の波形モニター記録。

2-4Hzのバンドパスフィルターを通した上下動記録の波形で、上から順にNK1501~NK1515まで番号順に並んでおり、横1トレースは1時間分の記録である。記録されているシグナルのほとんどは浅部低周波微動である。2015年5月6日に前駆的な活動が確認されており、5月7日01時45分ごろから活動を本格的に開始した。

9. データ活用予測研究

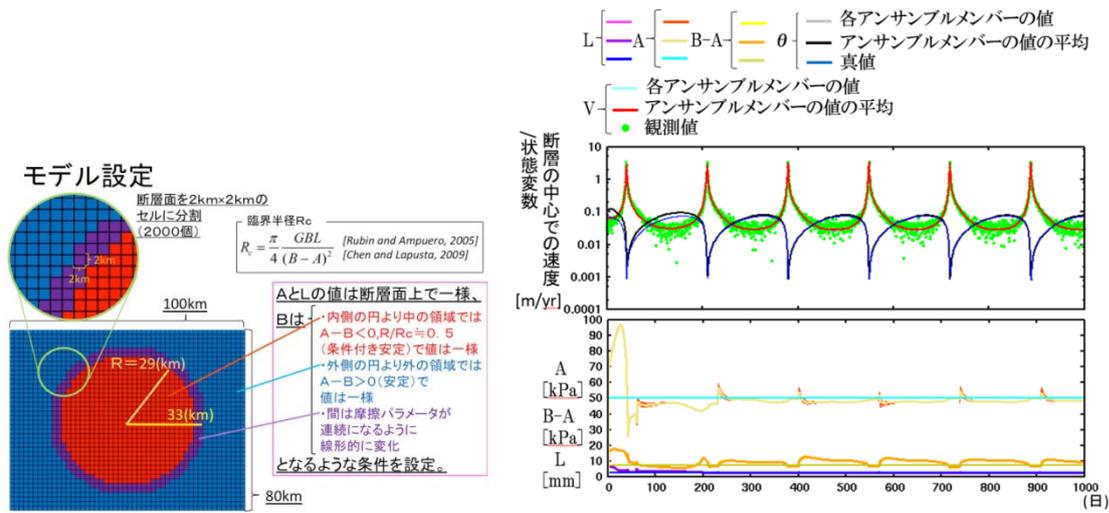


図 1 6 (左) 数値実験のモデル設定 (奥田、2016)。(右上) 断層面の中心での速度(V)/状態変数(θ)。時間が経つに従い真値に近づき、3回目の SSE 以降はほとんど一致する。(右下) A、円の内側での B-A、L。SSE が発生して観測誤差が相対的に小さくなる期間には正しい値が推定出来ている。

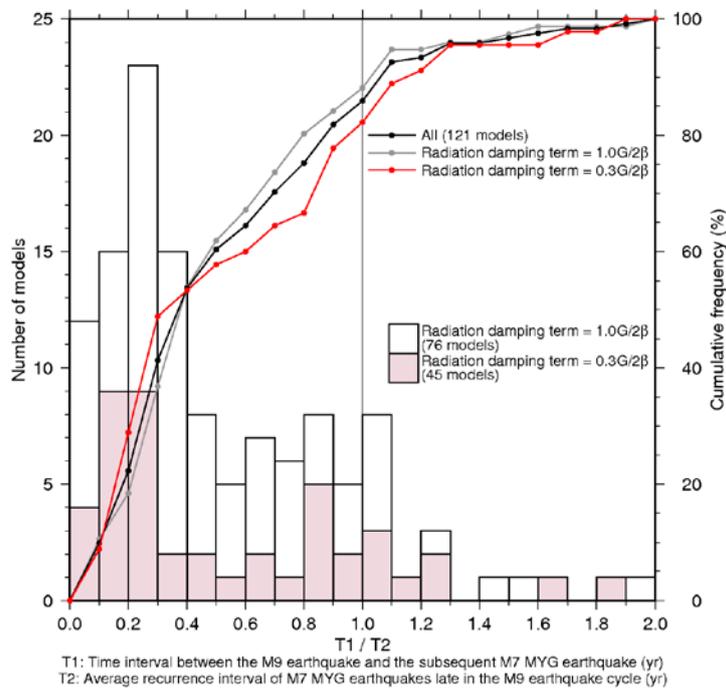


図 1 7 M9クラスの地震前の200年間に発生した宮城県沖地震の平均繰り返し間隔と、M9クラスの地震後の宮城県沖地震発生までの期間の比。棒グラフがモデルの数(個)、折れ線グラフが累積頻度(%)を示す (Nakata et al.,2016)。

10. 震源モデル構築・シナリオ研究

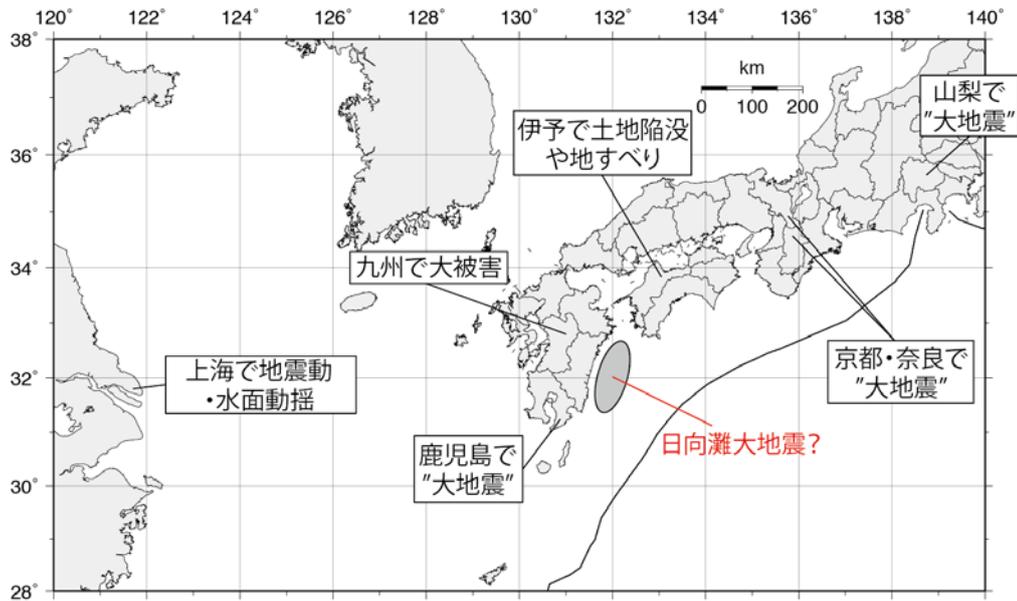


図18 史料の精査による明応七年六月十一日の地震についての特徴まとめ。

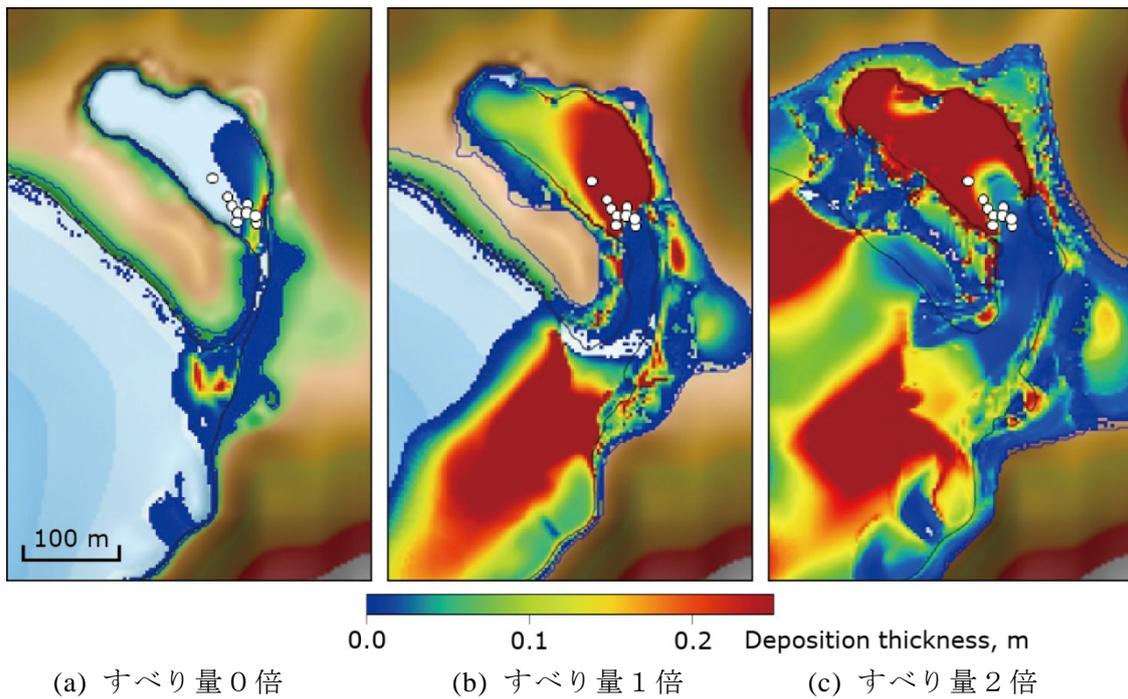


図19 1707年宝栄地震における、日向灘(N5)セグメントのすべり量に応じた、大分県龍神池周辺の土砂堆積分布。

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 28 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	12
3. 1. ① アーカイブシステムの構築・利活用	14
3. 1. ② 震源域情報	27
3. 1. ③ 復興	36
3. 1. ④ 地震動	41
3. 1. ⑤ 被害	43
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	56
3. 2 地震・津波被害予測研究	65
3. 2. ① 津波	68
3. 2. ② 地震動	86
3. 2. ③ 地盤被害	94
3. 2. ④ 建物	103
3. 2. ⑤ ライフライン	115
3. 2. ⑥ 広域リスク評価	126
3. 2. ⑦ 都市災害と経済被害	138
3. 3 防災・減災対策研究	148
3. 4 災害対応・復旧復興研究	160
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	162
3. 4. ② 一般企業のBCP策定に資する共通被害シナリオの構築	165
3. 4. ③ 地域特性をふまえた事前復興のあり方の検討	166
3. 4. ④ 地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針の検討 (三重県の事例研究)	168
3. 5 防災・災害情報発信研究	173
3. 5. ① 南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームの構築	175
3. 5. ② 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	201
3. 5. ③ 自動震源決定システムの設計とリアルタイム伝送	208
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	215
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	226

3. 6. ①	海域におけるプレート・断層構造調査（南西諸島海溝地震発生帯モデルの構築、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）	228
3. 6. ②	自然地震・構造探査を用いた構造解析	238
3. 7	海陸津波履歴研究	255
3. 7. ①	海域での津波履歴調査	257
3. 7. ②	陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析（四国沿岸）	265
3. 7. ③	陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析（紀伊半島南部）	278
3. 7. ④	陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析（駿河湾奥浮島ヶ原）	281
3. 7. ⑤	富士川河口域における 1854 年安政東海地震の隆起量と断層位置の推定	285
3. 8	広帯域地震活動研究	291
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	293
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	298
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	307
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	309
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	316
3. 9. ③	予測システムの検証・予測試行実験	323
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	328
3. 10	震源モデル構築・シナリオ研究	338
3. 10. ①	日本列島粘弾性モデル構築とその応用	340
3. 10. ②	地震発生サイクル計算手法の高度化	344
3. 10. ③	南海トラフ地震発生サイクルの再現・モデル検証	352
3. 10. ④	地震発生シナリオ評価	358
3. 10. ⑤	巨大地震の震源モデル及び地殻・地盤モデル開発	361
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	384
4.	全体成果概要	397
5.	成果の論文発表・口頭発表等	402
6.	むすび	421
7.	運営委員会	
7. 1	活動報告	422

7. 2 運営委員会構成員 422

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、最新の成果を地域の防災減災対策へインプットすることに重点を置き、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。得られた成果は防災・減災対策研究(1-c)、防災・災害情報発信研究(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東日本大震災教訓活用研究(1-a)、地震・津波被害予測研究(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のシミュレーション分野へ受け渡す。

(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。得られた成果は海陸津波履歴研究(2-1-b)や広帯域地震活動研究(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、地震・津波被害予測研究(1-b)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	国立研究開発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 佐藤翔輔 蝦名裕一 菅原大助 保田真理 網田早苗 後藤さつき 早坂真紀 姥浦道生
	国立研究開発法人海洋研究開発機構	金田義行 高橋成実 馬場俊孝 今井健太郎
	国立大学法人京都大学	牧紀男 鈴木進吾 田中傑
	国立研究開発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 先名重樹
	国立大学法人名古屋大学	福和伸夫 野田利弘

		中井健太郎
	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 長江拓也 護雅史 新井伸夫 北野哲司 武村雅之 都築充雄 田代喬 虎谷健司 野中俊宏 山崎雅人 宮腰淳一 飛田潤 中井健太郎 平井敬 山中佳子
	国立研究開発法人海洋研究開発機構	馬場俊孝 今井健太郎 CITAK Seckin Ozgur
	国立大学法人東北大学	今村文彦
	国立研究開発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 前田宜浩 佐伯琢磨 先名重樹 大角恒雄 東宏樹 内山庄一郎

	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） (c)防災・減災対策研究	国立研究開発法人海洋研究開発機構	金田義行 ◎高橋成実 今井 健太郎 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
	国立研究開発法人防災科学技術研究所	藤原広行 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	今村文彦 佐藤翔輔
	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 田中傑
	国立大学法人 東京大学 生産技術研究所	加藤孝明 小田切利栄 ヤスミン・バ タチャリヤ

	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	村山 顕人
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	国立研究開発法人防災科学技術研究所	◎藤原 広行 白田 裕一郎 田口 仁 李 泰榮 東宏 樹 崔青 林 水井 良暢
	国立研究開発法人海洋研究開発機構	金田 義行 高橋 成実 中野 優 今井 健太郎
	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
	国立大学法人東京大学	田中 淳 定池 祐季
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	国立研究開発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	国立研究開発法人海洋研究開発機構	金田 義行 ◎小平 秀一 三浦 誠一 中村 恭之 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
	国立研究開発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	国立研究開発法人産業技術総合研究所	◎池原研 板木拓也 西田尚央 宇佐見和子 穴倉正展 藤原治 澤井祐紀 行谷佑一 松本弾 谷川晃一朗
	国立研究開発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
	国立大学法人東京大学大学院理学系研究科	安藤亮輔
	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 田中伸一 西本太郎
	国立大学法人京都大学	山下裕亮
	国立大学法人神戸大学	中東和夫

	国立大学法人東北大学	木戸元之 日野亮太 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	国立大学法人東京大学	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
	国立研究開発法人産業技術総合研究所	行谷佑一
	国立大学法人東京大学	安藤亮輔
	国立研究開発法人海洋研究開発機構	堀高峰 中田令子 兵藤守 有吉慶介
	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	国立大学法人東京大学
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
国立研究開発法人防災科学技術研究所		福山英一
国立研究開発法人海洋研究開発機構		堀高峰 今井健太郎
国立研究開発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
	関西大学社会安全学部	高橋智幸

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 准教授 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 佐藤翔輔 蝦名裕一 菅原大助 保田真理 網田早苗 後藤さつき 早坂真紀 姥浦道生
国立研究開発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 技術研究員 招聘上席技術研究員	金田義行 高橋成実 今井健太郎 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
国立研究開発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	教授 教授 准教授	福和伸夫 野田利弘 中井健太郎
国立大学法人東京大学 地震研究所	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：

震災教訓文献データベースのシステム利用評価、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試験実装、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）、東北沖海域に発達する断層のうち海溝軸外海側の構造データの収集、復興していく市街地の様子を定点で観測する「復興モニタリングシステム」の管理・改良・運用、東日本（静岡県以北）の自治体の東北地方における地震波形データに関する関係機関と調整・手続き、東日本大震災における液状化被害・河川堤防被害・造成地被害の発生状況の整理、東北地方太平洋沖地震とM7級地震の長周期地震動と比較を行った。

平成28年度：

実装したプロジェクト指向型アーカイブ（プロトタイプ）のユーザー評価やそれにもとづく改良を行い、教訓研修プログラムを検討する。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27年度業務目的

平成26年度に実装したプロジェクト指向型アーカイブ（プロトタイプ）を用いて、南海トラフ地震想定地域について東北各地域との類似タイプの抽出と、「教訓」の整理・体系化を行う。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。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土構造物の被害関連情報の収集・分析準備し、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27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27年度（今年度）は、「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（3層アーカイブモデル）のうち、理論データベースと事例データベースに関する検討を行った。平成26年度（昨年度）に理論データベースの一つとして実装した「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」に対して、アクセスログ解析とユーザー評価を行った。また、平成26年度に事例データベースとして仮実装した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を、「動画でふりかえる3.11ー東日本大震災公開動画フェインダー」として実装した。さらに、アーカイブデータとして、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）を行った。

(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。その結果、主に次の3つのニーズがあることが明らかになった。

- I. 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。
- II. 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。
- III. 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。

I.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が行われていた。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、より即効性が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して、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」を災害が起きる前にすべき備えや、発災時の効果的な対応として調べたいというニーズが高いことが分かった。

II.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おうことで、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。実際に、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。

III.は、事前の防災・減災施策の具体例として、東日本大震災で大津波を経験した被災自治体が現在、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に携わる上での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）の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。

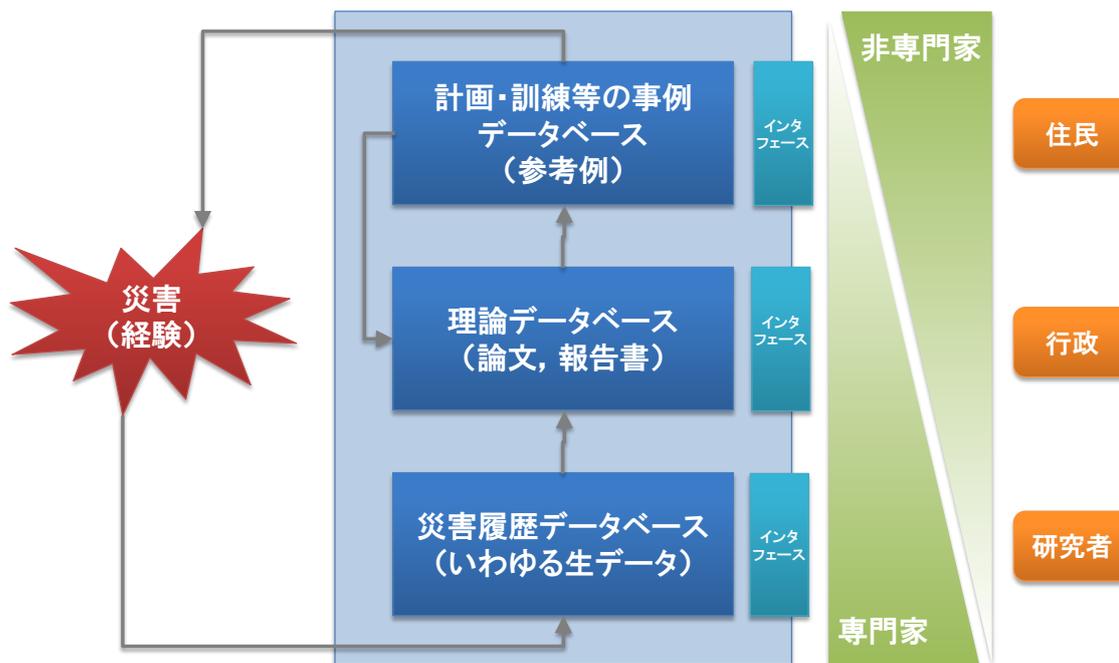


図 3-1-①-1 東日本大震災教訓活用型アーカイブシステムの基本設計
(概念図：3層アーカイブモデル)

東日本大震災の教訓を活用する上で、利用者の業種や専門性によって必要になるアーカイブコンテンツの概念レベルを大きく3種類に分類した(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情報は、a) 生データとしての災害履歴(災害履歴データベース)、b) 学术论文や報告書などで報告された知見としての結論・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)に分けることができる。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・効率的に活用することが可能と考えた。インタビュー調査から分類された3通りのニーズを3層アーカイブモデルに照らし合わせると、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する(上記 I)。災害履歴データベースにおいて、研究者が主にローデータを活用する。津波に関する映像の検索・閲覧は事例データベースから、行政・住民が行う(上記 II)。さらに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(上記 III)といった例が考えられる。

平成26年度(昨年度)は上記のデータベースのうち、「東日本大震災の教訓」を具体的に記述しているため、教訓活用として特に優先度の高い中層の b) 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事例データベースとして、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 年度成果の再掲）及びシステム利用評価

平成 26 年度（昨年度）は、「東日本大震災の教訓」を集約した理論データベース（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。この教訓検索システムには、平成 25 年度（一昨年度）に実施した東日本大震災、その他の地震災害に関する学術論文と報告書の文献調査を行った「東日本大震災ほか災害に関する文献調査」の結果をインポートしている。学術論文は、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、官公庁・研究機関・団体等が発行している成果報告書・機関誌・研究資料・技術報告などを調査主体として収集した。作業手続きは、対象論文のマスターテーブルの作成、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）、内容・分類に関する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・淡路大震災である。なお、平成 27 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た文章のことで、フリーワード（自然語）入力による検索ほか、タグ（統制語）をトップ画面中央下部に表示されているタグクラウドからキーワードとして選択することで、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。

[🏠 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) の結果 (速報)	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 a)「震災教訓文献データベース」のトップ画面
(上から、メニュー、フリーワード検索ボックス、タグクラウド)

図 3-1-①-2 に「震災教訓文献データベース」の a)トップ画面と b)検索結果の例を示す。タグクラウドに表示されたキーワード(タグ)から検索ができる。この画面 a)からある著者名を選択して検索した例が b)である。検索結果一覧には、雑誌名、学会名、災害名、対象なども表示され、それらをキーにして欲しい情報の絞り込みが可能である。

[🏠 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 3-1-①-2 b) 「震災教訓文献データベース」の検索結果の例

図 3-1-①-2 b) の検索結果一覧の中から、一つの行 (ID の割り振られた文献名) を選択して表示した画面例を図 3-1-①-3 に示す。ページのトップに論文中で結語として記述されていた文章を、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://isss.jp.net/isss-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 - 3 「教訓」の表示例

客観的なシステム利用評価として、「震災教訓文献データベース」のアクセスログ分析を行った。アクセスログは、システムを公開した 2015 年 4 月 14 日から 2016 年 3 月 11 日 (現在) までの期間のデータである。

図 3 - 1 - ① - 4 に公開開始からのアクセス件数を月単位に集計したものを示す。上記期間におけるアクセス件数は全部で 192,191 件であり、日平均に換算すると約 578.9 件/日である。最もアクセス件数が多かったのは 2016 年 1 月の 31,425 件であった。ウェブサイトの多くは、公開開始からの時間経過にともなってアクセスが単調に減少するのに対して、「震災教訓文献データベース」は、1 年に渡り一定のアクセスがあるなどの異なった傾向を示している。

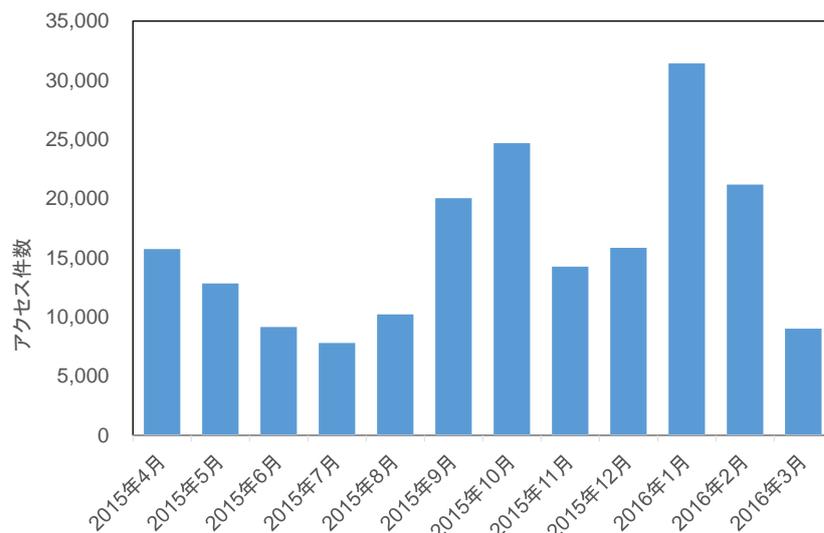


図 3-1-①-4 アクセス件数（月単位）

図 3-1-①-5 に「震災教訓文献データベース」を閲覧する際にフリーワード入力もしくはタグクラウドから選択された上位キーワードを、図 3-1-①-6 にタグクラウドの災害名リストから選択された回数の多い災害イベントを示す。図 3-1-①-5 では、入力・選択された回数の降順、かつ 5 回以上のもを示している。「復興」が 53 回と最も多く、「地域組織」が 49 回、「中山間地」が 43 回、「避難」が 35 回とつづいている。

検索回数が高い結果が得られたキーワードとその要因を考察すると、東日本大震災の特徴として、復興に長期間要することが予想されていることや津波災害であったことから、「復興」「避難」の関心が高まり、これらのキーワードの入力・選択（検索）が多くなった可能性がある。「地域組織」は、図 3-1-①-5 中段の「コミュニティ」とも関連し、防災活動や発災時の共助に関する取組みに関心が高まっているものと推察される。多く検索された災害イベントとして、「東日本大震災」と「新潟県中越地震」が挙げられる（図 3-1-①-6）。図 3-1-①-5 で「中山間地」が上位となったのは、「新潟県中越地震」が多く検索されたことと関連していると考えられる。検索キーワードとして「地域組織」さらに「津波災害」は同一地域で一定の年数を経て再現される災害現象であるため、地域でどのように伝承されるのかについても関心テーマの一つとなり、「災害伝承」も入力・選択の回数が多くなったと考えられる。「防災教育」や「BCP（事業継続計画）」は、災害が起きる前の対策に関するキーワードとして検索回数が高まったものと考えられる。

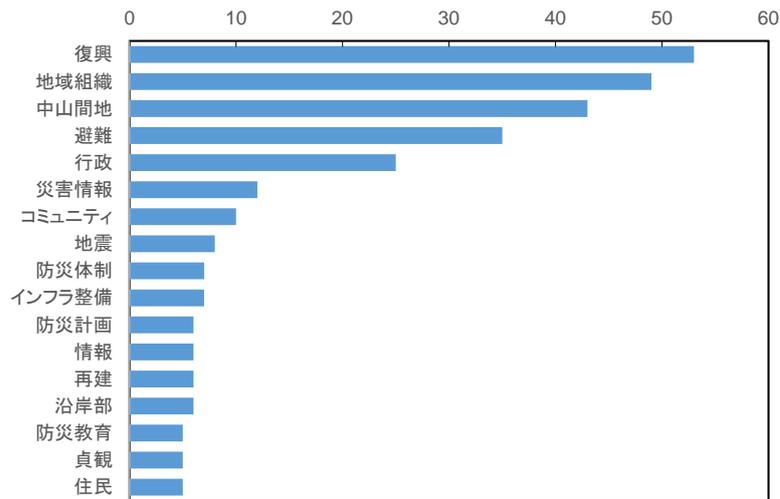


図 3-1-①-5 検索キーワードとその検索回数

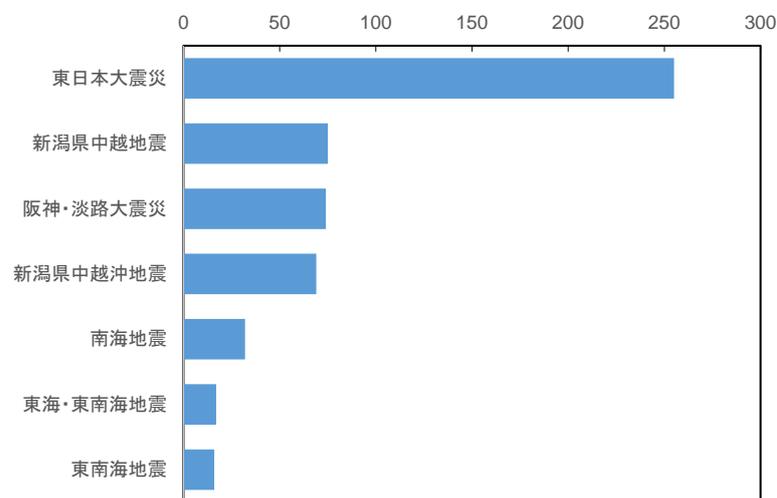


図 3-1-①-6 災害イベントの検索回数

次に、主観的なシステムの利用評価のため、一般ユーザーと専門家の間層である行政の防災担当者を対象にユーザー評価を行った。サンプルユーザーとして、システム設計に先立って行なったインタビュー調査対象の三重県庁（防災対策部防災企画・地域支援課）、御浜町役場（防災課）、紀宝町役場（総務課防災担当）のうち 6 人の協力を得た。2015 年 8 月～9 月に各機関から 30 分程度の試用を行なってもらい、その後、約 1 時間のインタビューによりユーザー評価（感想）を得た。システム設計時のインタビューから、1 年半以上経過していることもあり、一部の担当者は入れ替わっている。

ユーザー評価のうち、高い満足度を示す意見は次の通りである：

- 1) 原典（参考文献）が明記してあるので、詳細な情報にアクセスできるのが良い。
- 2) 資料を集めるのは大変。とても大変な仕事をしてくれた。ここにアクセスすれば簡単に見つけることができる。
- 3) デザインが見やすい。

4) 操作が簡単で使いやすい。

一方、改善を要する点として、次のような意見を得た：

1) 俯瞰する画面（全体傾向）が欲しい。そこから詳細な検索をしたい。

2) 活用促進のために、「こう使うといい」というおすすめの例を紹介するといい。

これを受け、2) への対応として「使い方の例」を示すページを追加し、主に研究者や学生向けに研究レビューの利用例と行政職員や自主防災組織向けに防災に関する計画の検討・作成の利用例を示した（2016年1月対応、図3-1-①-7）。



図3-1-①-7 「震災教訓文献データベース」の使い方ページ

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実装

平成26年度（昨年度）には、東日本大震災の津波の来襲状況や被害について撮影され、既に公開されている動画を検索する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、被害の状況をインターネット上（YouTube）で公開されている映像・動画を調査・整理し、データテーブルとして作成した。

平成27年度（今年度）は、以上のデータテーブルを用いて「動画でふりかえる3.11-東日本大震災公開動画ファインダー」をローカル環境で実装した（図3-1-①-8）。本システムは、位置情報を同定することができた動画について、地図上で検索

できるインタフェースを整備した。



図 3-1-①-8 「動画でふりかえる 3.11」の画面
(上段：集約アイコン、下段：個々の動画リンク)

- 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
平成 27 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（宮城県）を行った。

具体的には、以下の通りである。

まず、宮城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。計画内容は、復興のハード事業に限らず、ソフト事業についても扱っているものがほとんどであるため、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。この点は、昨年度の調査対象である岩手県と共通している。また、ほとんどの自治体が土地利用計画図を付けて計画策定しており、おおまかではあるが、空間計画的側面も有しているといえる。つまり、この段階で基盤整備の基礎的な計画が策定されていたことが分かる。

策定手続きについて、すべての自治体で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である。

表3-1-①-1 宮城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
気仙沼市	気仙沼市震災復興計画	2011/10/7	震災復興の理念と目標、関係主体の責務、目標期間、計画の柱と主要事業、推進方策などを明らかにするために策定。	有	有	有
南三陸町	南三陸町震災復興計画	2011/12/26	「自然・ひと・なりわいが紡ぐ安らぎと賑わいのあるまち」を復興の基本理念としている。	有	無	有
石巻市	石巻市震災復興基本計画	2011/12/22	「災害に強いまちづくり」「産業・経済の再生」「絆と共同の共鳴社会づくり」を基本理念とする。	有	有	有
女川町	女川町復興計画	2011/9	「減災」を基本理念に取り入れて、5つの復興方針を定める。	有	有	有
東松島市	東松島市復興まちづくり計画	2011/12/26	部門ごとに策定する個別計画などの上位計画として位置づけ。まちの将来像に基づき、4つの基本方針を掲げる。	有	有	有
松島町	松島町震災復興計画	2011/12/28	松島町総合計画と連携する計画として位置づけ、「復興」「創造」「貢献」を基本理念とする。	有	無	有
利府町	利府町震災復興計画	2011/12/26	利府町総合計画及び利府町国土利用計画の下位に位置づけ、『未来へつなぐ「絆」～再生から発展へ～』をテーマとして3つの政策目標を掲げる。	有	無	有
塩竈市	塩竈市震災復興計画	2011/12/2	まちの復旧・復興に向けて、目指す目標や取り組むべき施策、事業等を明らかにする。	無	無	有
多賀城市	多賀城市震災復興計画	2011/12/21	第五次多賀城市総合計画を上位計画として、復興の方向性とその取組を定めたもの。	無	無	有
七ヶ浜町	七ヶ浜町震災復興計画【前期】	2011/11/8	3つの復興方針・5つの復興重点施策・復興まちづくりプランにより構成される。	有	無	有
仙台市	仙台市震災復興計画	2011/11/30	復興に向けた施策を体系的に定めて推進することを目的として、2011年度から2015年度までの5年間を対象とする。	有	有	有
名取市	名取市震災復興計画	2011/10	「互いに支え合い、強い絆で結ばれた暮らし」「地域資源と仙台空港を生かして集積・連携する産業」「多様な世代が未来を感じて、安心して暮らせるまち」の3つを柱とする。	有	有	有
岩沼市	岩沼市震災復興計画マスタープラン	2011/9	「愛と希望の復興」を復興ビジョンとして、4つの基本理念に基づき7つのリーディングプロジェクトを設定。	無	無	有
巨理町	巨理町震災復興計画	2011/12/16	①「安全」と「安心」を確保するまちづくり、②「暮らしやすさ」と「巨理らしさ」があふれるまちづくり③「なりわい」と「にぎわい」のまちづくりの3つを基本方針とする。	有	有	有
山元町	山元町震災復興計画	2011/12/26	①災害に強く、安全・安心に暮らせるまちづくり、②だれもが住みたくくなるようなまちづくり、③つながりを大切にするまちづくりの3つを柱とする。	有	有	有

次に、これらの計画のうち東松島市を事例として、その計画策定プロセスについての調査（ヒアリング調査及び文献調査）を行った。東松島市を事例とした理由は、東松島市は震災前からまちづくり協議会が設置されていた為、震災後の復興まちづくりに協議会がどのような影響を与えたかを明らかにするためである。

現段階での調査内容は以下の通りである。

- ・ まちづくり協議会は、震災前は4つの専門部会からなっていたが、2012年8月に復興部門が新設された。復興部門は4つの班（復興班・産業振興班・教育施設班・医療福祉班）で組織されている。
- ・ 震災直後に住民支援を中心に機能し、復興計画案の策定以降は平時の活動に戻っている
- ・ 野蒜まちづくり協議会においては、防集団地移転に伴う新規協議会はこれらの既存協議会と独立して設置されたが、防集団地完成後に解散し、既存協議会に吸収されている。その一方で、ハード面の調整を行うための振興協議会が新たに立ち上げられている（図3-1-①-9）。このような複雑な動きが見られたのは、まちづくり協議会の空間的所掌範囲と被災エリアが異なっていることが主因である。
- ・ 大きな被害を受けた野蒜地区においては既存の協議会が主体となり、活発に復興まちづくりに関する議論を行っているが、既存の協議会と新規協議会がそれぞれ情報を共有しながら同時に議論・提言を行うなど復興に向けた活動を行っている（図3-1-①-10）

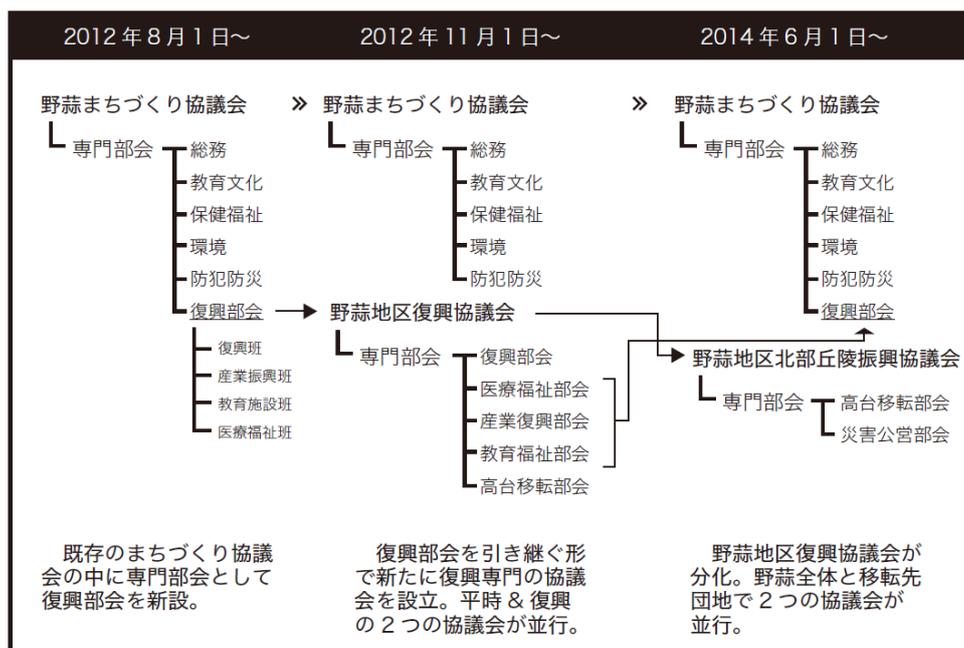


図3-1-①-9 野蒜地区におけるまちづくり協議会の変遷

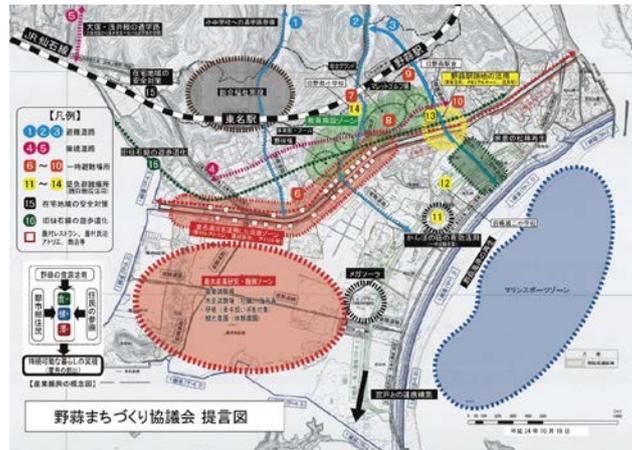


図 3 - 1 - ① - 10 野蒜地区における復興計画の提言書（2012 年 11 月）

(c) 結論ならびに今後の課題

平成 25 年度に行った「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 年度に構築した「東日本大震災の教訓」を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を完成させ、ユーザー評価を行った。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動画を検索できる事例データベースについて改良を行い、動画を地図上で検索できるようにローカル環境に実装し、試験使用した。平成 27 年度は、これまで実装してきた「東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」のユーザー評価やそれにもとづく改良を行った。平成 28 年度にも引き続き、教訓研修プログラムを検討する。これまでに収集した基礎情報をもとに典型自治体を選択し、復興計画及びその策定に関する課題の分析・抽出を行う。

(d) 引用文献

なし

②震源域情報

(a) 業務の要約

今年度は東北沖海域に発達する断層のうち、海溝軸海側（以下、海溝海側）の構造データを収集した。これらのデータを用いて構造的な特徴をまとめた。その結果、すべり分布の北限とされたエリアの海溝海側では堆積層が薄い傾向があることが分かった。また、地震発生後の誘発地震は被災後の生活に影響を与えることを鑑み、20 km 以内で発生する地震の震源情報について整理した。地質的な構造の境界で集中的に発生する傾向が認められた。

(b) 業務の実施方法

JAMSTEC で取得した高精度マルチチャンネル反射法探査データを用いて、海溝海側の音響基盤を読み取り堆積層厚を計測する。この計測結果を空間的にマッピングする。

気象庁一元化震源から震源の深さ 20 km 以浅の情報を取得し、地域を 0.1 度単位で分割し、各エリアの地震の時空間発生パターンを調査した。

(c) 業務の成果

今年度は海溝海側の構造的な特徴を整理し、特に、沈み込む海洋性地殻の堆積層厚の情報を収集した。また、東北地方太平洋沖地震発生後の陸域で発生する誘発地震について時空間分布を整理した。これらの成果の詳細について下記に記載する。

昨年度は、JAMSTEC が取得した高精度マルチチャンネル反射法探査断面から上盤側に発達する断層の空間分布の特徴を整理した。今年度の対象は、海溝海側の沈み込む海洋性地殻の構造とした。JAMSTEC では、海溝海側のエリアにおいて、高精度マルチチャンネル反射法探査システムと海底地震計を用いた構造調査を繰り返し実施している。その結果、海溝海側には海洋性地殻の沈み込みに関連して、正断層に伴う **horst and graben** 構造の発達とそれによる地殻構造の V_p/V_s 比の変化があることがこれまでに分かっている（例えば、Fujie et al., 2013）。本年度は、海溝軸の東隣の海溝海側斜面の堆積層の結果（Nakamura et al., 2015）を収集した。図 3-1-②-1 に、その堆積層厚の空間分布を示す。海溝軸では 450msec 以上の厚さをどこも示しているが、海溝海側斜面では顕著な地域性を示す。北緯 40 度 10 分以上では、斜面上にも厚い堆積層を示す。同じような厚さの堆積層は北緯 38 度 25 分から 40 分の間にもみられる。その間の北緯 38 度 40 分から 55 分の間、北緯 39 度 15 分から 40 分の間では、逆に 200msec 以下の薄い堆積層が広がっている。

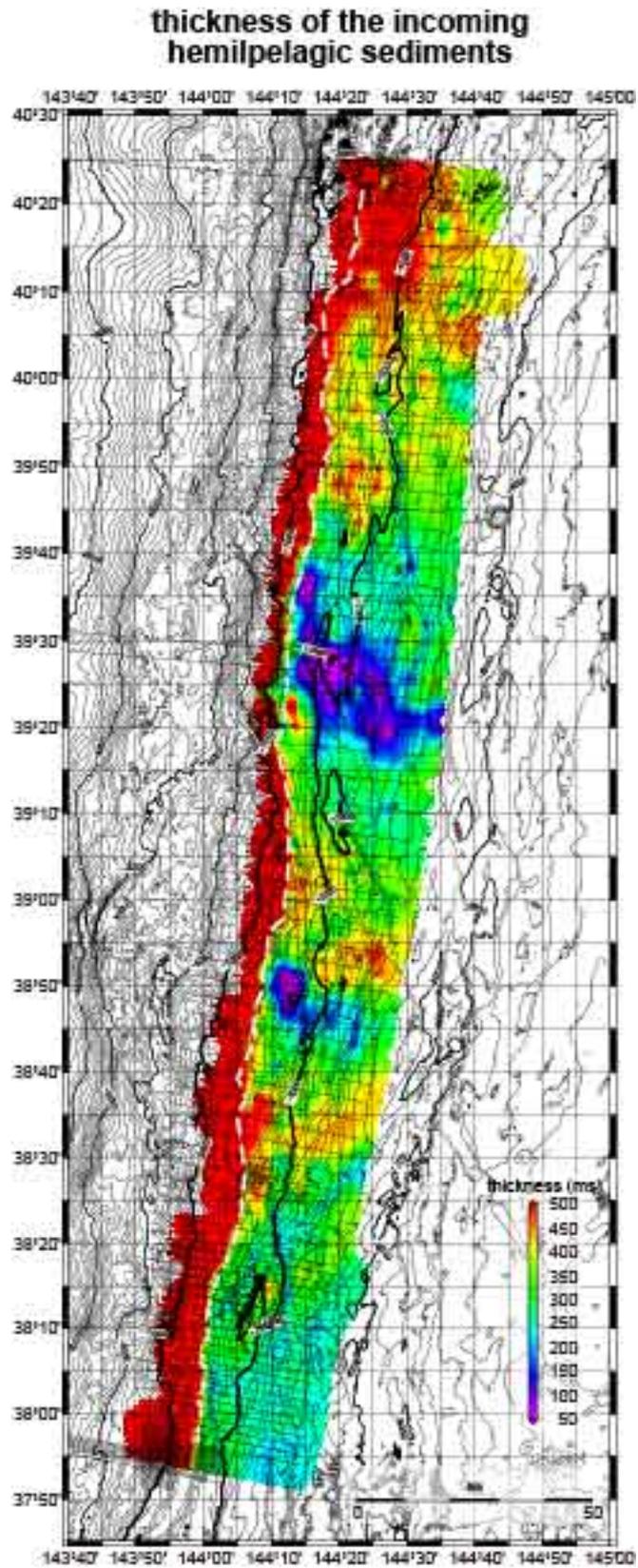


図 3 - 1 - ② - 1 海溝軸海側斜面の堆積層厚分布 (Nakamura et al., 2015)。

また、これらの堆積層厚分布を東北地方太平洋沖地震の破壊域と比較してみると

(図 3-1-②-2)、破壊域の北限は、海溝海側斜面上の堆積層が薄い部分が比較的広いエリアに相当する。また、1896年の明治三陸地震の破壊域は、ちょうど堆積層の薄い部分の間に広がる。今後、これに海溝海側の地殻の断層密度や地殻の含水率などの比較をすることが必要であると考えられる。

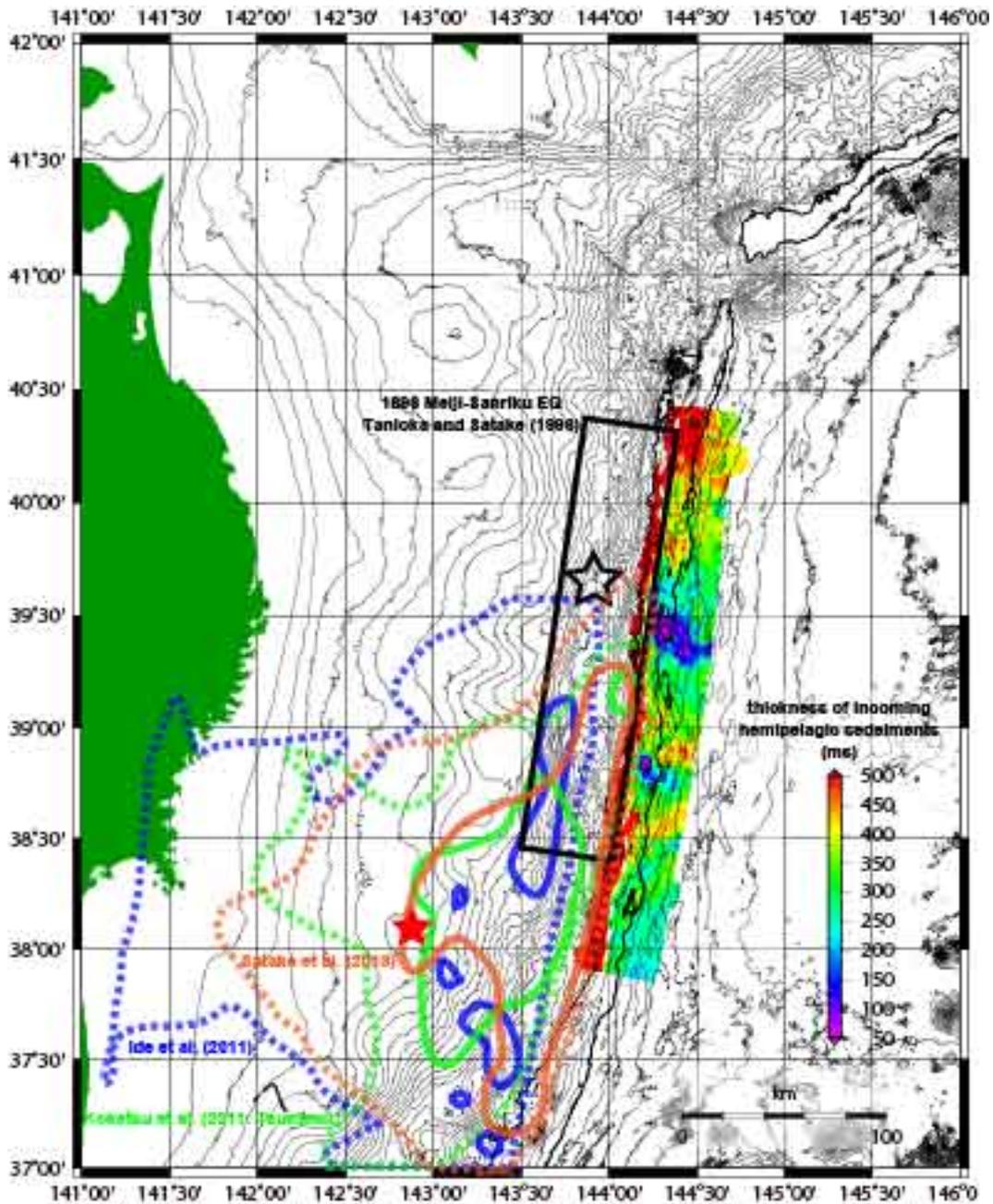


図 3-1-②-2 破壊域との比較。カラーの実線と点線はそれぞれ大小のスリップ量のコンターである（青線 24m, 青点線 10m, Ide et al., 2011; 緑線 25m, 緑点線 10m, Koketsu et al., 2011; 赤線 24m, 赤点線 12m, Satake et al., 2013）

一方、震源分布の地震後の広がりについての整理も行った。東北地方太平洋沖地震の破壊域周辺では低周波地震が発生していることもわかってきた（Ariyoshi et al.,

2014)。これらの知見は、地震断層周辺の現場の振る舞いを把握し今後の変動を予測する観点において非常に重要な知見である。しかし、ここでは巨大地震発生後の住民の生活への影響を鑑みて、陸上の誘発地震に着目した。図3-1-②-3には東北地方横断方向の地殻構造を示す（佐藤, 2004 に加筆）。これによると20km以浅では東北地方の上部地殻の最深部に相当する。そのため、陸上の活断層に特化した断層が抽出できるのではないかと考えた。

20 km 以浅の震源分布を2010年から2012年まで3年間分を抜き出し、まず年ごとに重ねて比較する。図3-1-②-4は2010年と2011年の震源比較、図3-1-②-5は2011年と2012年の震源比較である。2010年と2011年の比較からは、以下のようなことが読み取れる。(1) 2010年は東北地方全体にわたって広く地震が発生していたが、2011年になると震源分布がクラスタ化しており、2010年の震源分布から見えていた新潟県や福島県周辺の北北東-南南西走向の地震の線形分布は見られなくなっている。(2) 北上山地の西側には円弧上の地震の配列が確認できるが、2011年の震源分布では、その円弧上から放射状に配列する地震の列が読み取れる。(3) 海域や福島県いわき周辺では2011年になって活発化している。また、2011年と2012年の震源分布の比較からは、(1) 陸上ではほぼ同じ地域に震源分布が見られ、2011年に活発化したクラスタは2012年にも活動が継続している。(2) 海域を中心に地震発生が収まってきている。図3-1-②-6には、2010年と2012年の比較図を示した。2010年と2011年との比較図でも確認できるが新潟県、福島県、秋田県、岩手県～青森県で2010年には不活発だったエリアで活発化したクラスタが分布する。

ラストの時空間変化を比較するために、緯度方向、経度方向ともに0.1度刻みで地震の発生頻度をグラフ化した（北緯36度～41度、東経138度～142度）。ここではその一部を示す。その結果を図3-1-②-7（緯度36度～41度、経度140.3度～140.6度）と図3-1-②-8（緯度36度～41度、経度140.6度～140.9度）に示す。東経140.3度から140.4度の間は、一部活発化しているものの、エリア全体では東北地方太平洋沖地震発生との相関はあまりない。一方、140.4度から東側では活発化が明確になり、140.5度から東側では活発化した後、地震発生前よりは活発ではあるが地震発生頻度が安定化する傾向がみられる。図3-1-②-8には経度140.6度～140.9度の頻度分布を示す。140.6度～140.7度は、140.5度～140.6度（図3-1-②-7の右下）のプロファイルと似た傾向を示すが、140.7度～140.8度のプロファイルでは静穏化したエリアが分布する。

図3-1-②-9には、今回地震前後での違いが明瞭であった岩手県～秋田県のエリアの震源分布の比較（2010年と2012年）と地質図を示した。震源分布の比較図からは、地震後に活発化した震源が、緑の破線で示したところから放射線状に配列しているように見える。この緑の破線は、地質図でみると、おおむね北上山地と東北脊梁山地との境界付近に相当する。北上山地は衝突した古大陸起源であると示唆されており（箕浦, 1992）、こうした地殻の地質構造の違いが応力集中を地震後に発達させ、そこから放射線状に地震の配列を形成したものと考えられる。南海トラフ域においては、付加体起源の地質構造と花崗岩帯が分布し、中央構造線も発達する。陸域の地質構造

境界のエリアの通常の震源の時空間分布を整理した方がよいと考えられる。

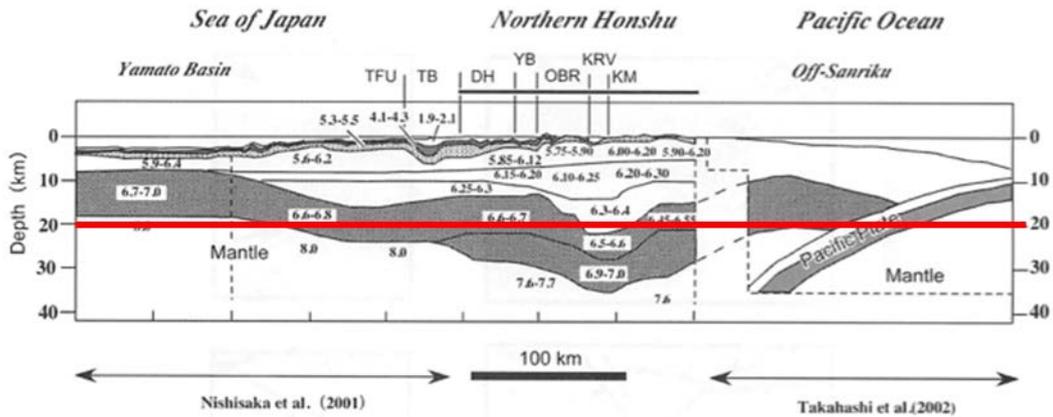


図 3 - 1 - ② - 3 東北地方横断方向の地殻構造 (佐藤, 2004 に加筆)。

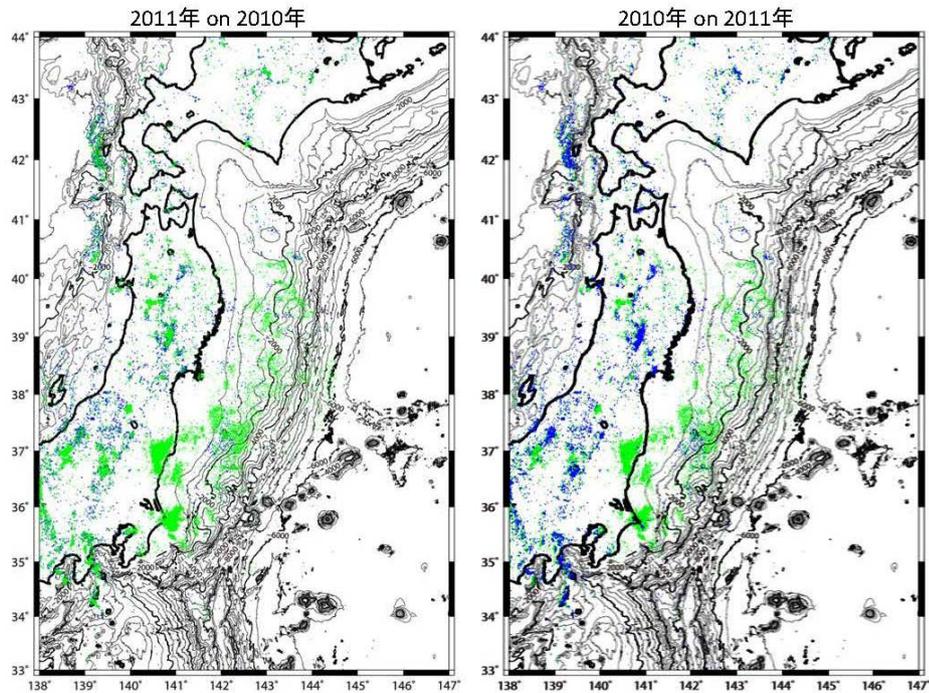


図 3 - 1 - ② - 4 2010 年 (青) と 2011 年 (緑) の震源分布比較。左図は 2010 年の震源分布の上に 2011 年の震源分布を重ねたもの、右図はその逆に重ねたものである。

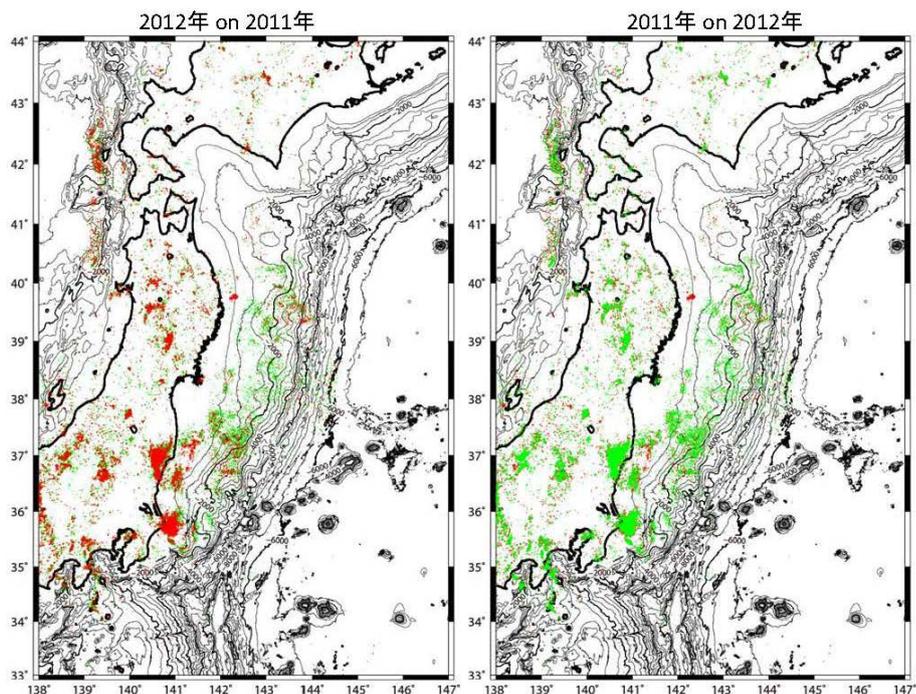


図 3-1-②-5 2011年（緑）と2012年（赤）の震源分布比較。左図は2011年の震源分布の上に2012年の震源分布を重ねたもの、右図はその逆に重ねたものである。

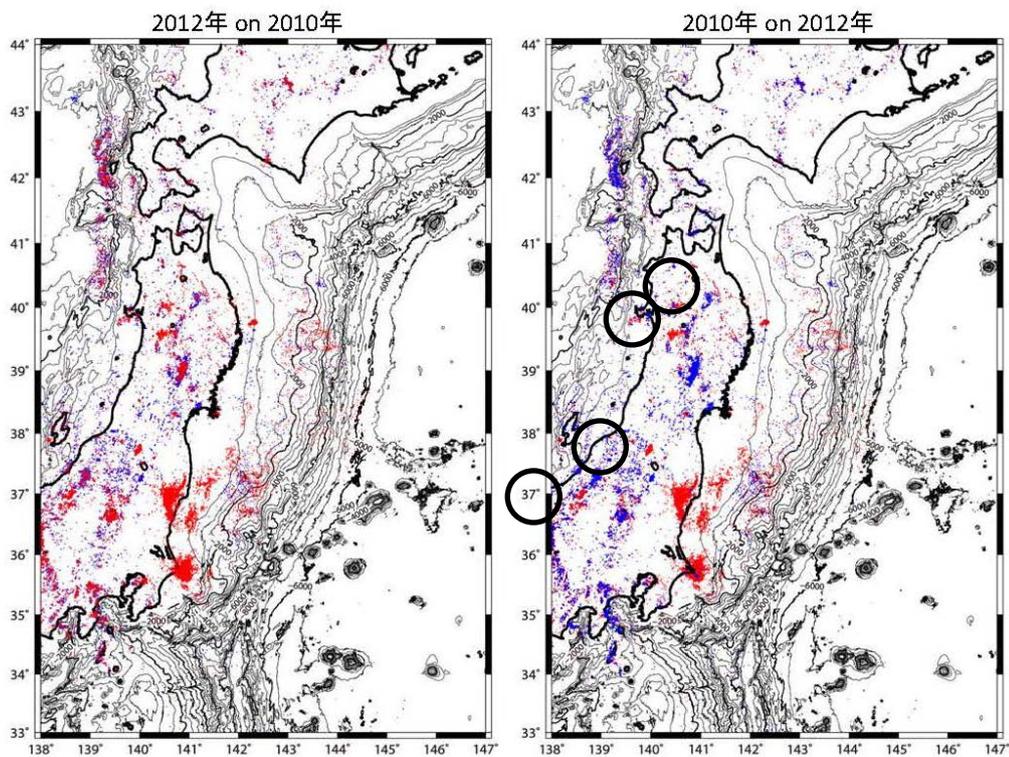


図 3-1-②-6 2010年（青）と2012年（赤）の震源分布比較。左図は2010年の震源分布の上に2012年の震源分布を重ねたもの、右図はその逆に重ねたものである。

ある。丸で囲った部分が明らかに新しく震源のクラスタが発生したところである。

時系列 -140.3-140.6E-

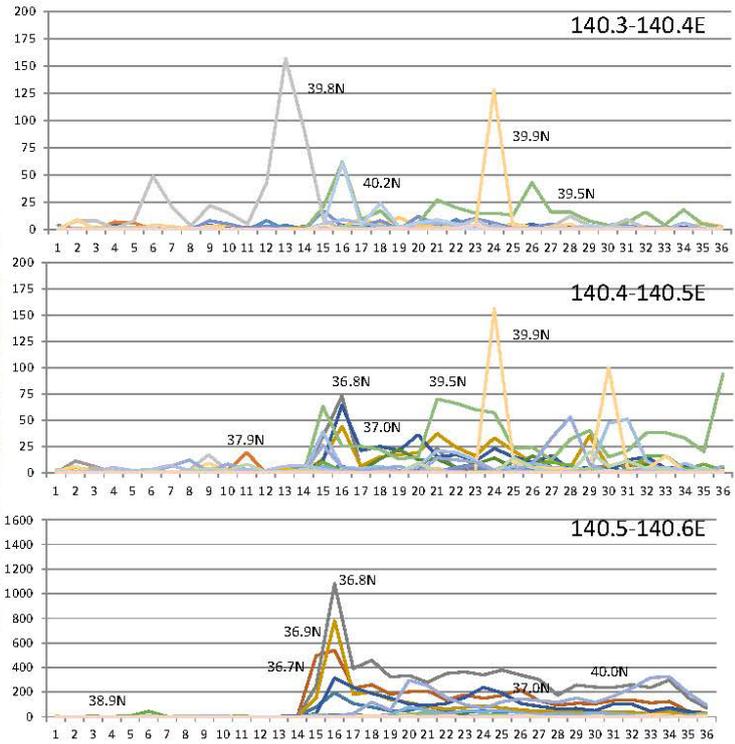
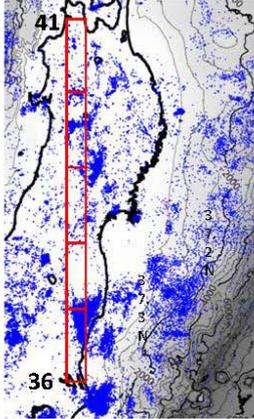


図3-1-②-7 北緯36度～41度、東経140.3度～140.6度までの頻度分布比較。左図の赤い枠線の中の1か月ごとの頻度分布を示している。(右上) 東経140.3度～140.4度までの頻度分布。横軸は2010年1月からの通算月、縦軸は個数。(右中) 東経140.4度～140.5度。(右下) 東経140.5度～140.6度。

時系列 -140.6-140.9E-

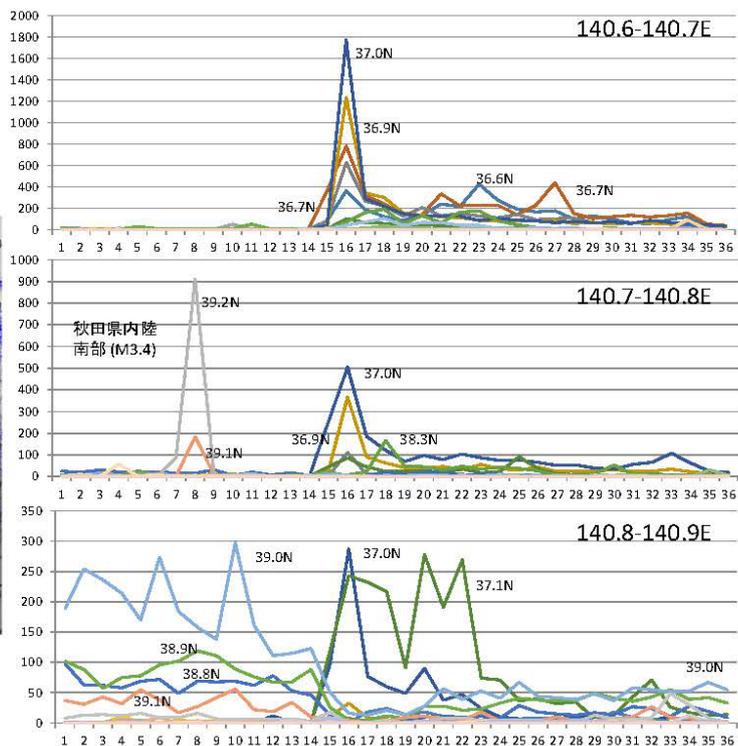
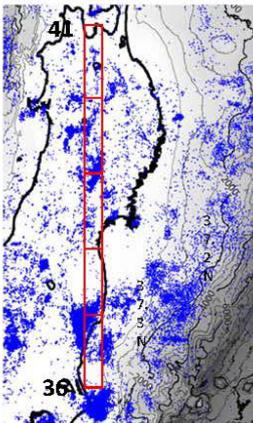


図3-1-②-8 北緯36度～41度、東経140.6度～140.9度までの頻度分布比較。左図の赤い枠線の中の1か月ごとの頻度分布を示している。(右上) 東経140.6度～140.7度までの頻度分布。横軸は2010年1月からの通算月、縦軸は個数。(右中) 東経140.7度～140.8度。(右下) 東経140.8度～140.9度。

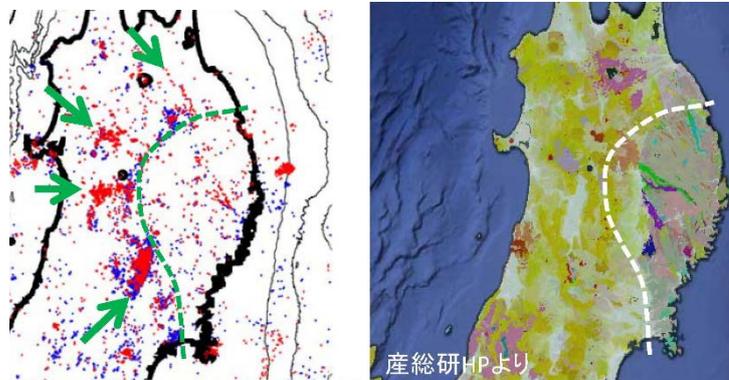


図3-1-②-9 2010年と2012年の震源分布比較(左)と地質図(右、産総研ホームページより引用、加筆)。

(d) 結論ならびに今後の課題

今回、沈み込む海洋性地殻の堆積層厚の空間分布情報を収集、東北地方太平洋沖地震の破壊域との比較を行った。また、陸域の浅い地震活動について、地震前後の地震発生数の変化と地質構造の比較を行い、その地質構造の境界周辺が地震後の地震発生頻度と相関があるらしいことがわかってきた。

これまでの研究で、東北地方太平洋沖地震の破壊域周辺の上盤側の断層分布と下盤側に相当する沈み込む海洋性地殻の堆積層厚分布を整理することができた。今後、沈み込むプレート側の断層分布を整理することが課題の一つである。また、震源分布からは空間分布と地質構造を比較、議論した。今後、南海トラフ域で地質構造の境界周辺と地震発生頻度の整理が必要である。

(e) 引用文献

- Ariyoshi, K., T. Matsuzawa, R. Hino, A. Hasegawa, T. Hori, R. Nakata and Y Kaneda, A trial derivation of seismic plate coupling by focusing on the activity of shallow slow earthquakes, *Earth Planet. Space*, 66, 55, doi:10.1186/1880-5981-66-55, 2014.
- Fujie, G., S. Kodaira, M. Yamashita, T. Sato, T. Takahashi, and N. Takahashi, Systematic changes in the incoming plate structure at the Kuril trench, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 88-93, doi:10.1029/2012GL054340, 2013.
- Ide, S., A. Baltay and G. C. Beroza, Shallow dynamic overshoot and energetic deep rupture in the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki earthquake, *Science*, 332, 1426, doi:10.1126/science.1207020, 2011.
- Koketsu, K., Y. Yokota, N. Nishimura, Y. Yagi, S. Miyazaki, K. Satake, Y. Fujii, H. Miyake, S.

Sakai, Y. Yamanaka and T. Okada, A unified source model for the 2011 Tohoku earthquake, Earth Planet. Sci. Lett., 310, 480-487, 2011.

Nakamura, Y., S. Kodaira, M. Yamashita, S. Miura and G. Fujie, Along strike structural variation in the northern part of the Japan Trench axis region, AGU abstract, T21E-2883, 2015.

Satake, K., Y. Fujii, T. Harada and Y. Namegaya, Time and space distribution of coseismic slip of the 2011 Tohoku earthquake inferred from tsunami waveform data, Bull. Seismol. Soc. Am., 103, doi:10.1785/0230120122, 2013.

佐藤比呂志, 吉田武義, 岩崎貴哉, 佐藤時幸, 池田安隆, 海野徳仁, 後期新生代における東北日本中部背弧域の地殻構造発達 -最近の地殻構造探査を中心として-, 石油技術協会誌, 69, 2, 2004.

③復興

(a) 業務の要約

被災した市街地が復興していく具体的なイメージを記録することは、市民や専門家が今後の大規模な災害発生時に復興のあり方を検討する際の大切な予備情報となり得る。本課題ではこのような問題意識のもと、2013年12月から東日本大震災の被災地にウェブカメラを設置し、復興していく市街地の様子を定点で観測（定点観測カメラによる撮影・FTPによるインターネット経由のアーカイブ化・ウェブ上での一般公開）する「復興モニタリングシステム」の管理・改良・運用を行った。



図3-1-③-1 「復興モニタリングプロジェクト」のウェブ公開状況

URL:<http://recovery.r2ms.co.jp/> (ウェブサイト・トップ画面)

(b) 業務の実施方法

本業務では「みんなの家（陸前高田市）」、「松川横町（東向き）（石巻市）」、「松川横町（西向き）（石巻市）」、「アイトピア商店街（石巻市）」に各1台、計4台のウェブカメラを設置し、常時、観測（撮影・記録）し、その観測に必要なシステム及びアーカイブデータサーバ等の管理を行うとともに、現地の Web カメラ・Web システム等のメンテナンスを実施した。また、「UR 都市機構大槌復興支援事務所（大槌町）」と「大槌町町方復興 CMr カメラ（大槌町）」については、撮影・管理を先方に依頼しており、常時、システム及びアーカイブデータサーバ等の管理をおこなった。

石巻（設定内容）

<p>● camera1 松川横町 東向き FTP: fukkonn004</p>	<p>● Camera2 松川横町 西向き FTP: fukkonn005</p>	<p>● Camera3 アイトピア商店街 FTP: fukkonn006</p>
---------------------------------------------------	---------------------------------------------------	---------------------------------------------------

<設定内容>

- カメラ: ID(admin) Pass(admin)
- IPアドレス
camera1: 192.168.100.101
camera2: 192.168.100.103
camera3: 192.168.1.100X
- スケジュール
10時・15時・20時
ただし、火曜日 1時間毎
- WiFi
(八幡家)
SSID: HWD14_E80888B61E12
暗号化: WPA-PSK
WPAアルゴリズム: TKIP
パスフレーズ: 51dnbdjn28jt3fe

(アイトピア)
SSID: b-mobile4G_WiFi3_5A3EA1
暗号化: WPA-PSK
WPAアルゴリズム: TKIP
パスフレーズ: 49142735

図 3 - 1 - ③ - 2 石巻市におけるモニタリングシステムの概要

アイトピア商店街 設置場所

復興モニタリングプロジェクト

(設置場所) ①アイトピア商店街、②③松川横町・八幡家様

① 今後再開発が複数個所で始まるアイトピア商店街全体を見渡せる大通りから、昼と夜のにぎわいを記録。
②③地域のにぎわいの象徴「松川横町」。歴史的にも川から商店街をつなぐ通り、これから新しい建物が建ちにぎわいを取り戻していく様子を記録。

← 石巻駅

①アイトピア商店街の街境ポール

A

②③松川横町(八幡家様)

B

C

↑ 上記写真の撮影アングル
カメラ設置予定場所
監視カメラ

図 3 - 1 - ③ - 3 石巻市におけるモニタリングカメラの設置場所

みんなの家

<p>● camera1 みんなの家 FTP: fukkonn002</p>	<p><移設計画></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 嵩上げ工事が完了するまで今のまま(2年ほど?) ・ 嵩上げ後の公園敷地へ現在のデザインで移設 ・ カメラはできるだけ現状アングルを維持する位置へ移設予定 → 市へ要望中とのこと <p><みんなの家に係る今後></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2年後に想定される移設への対応 ・ 今後2年間の維持運営費の確保 <ul style="list-style-type: none"> ✓ みんなの家自体がNPOとしていいが難しい状態(菅原さん) ✓ 理由は、運営費を見学者からの寸志(寄付)にたよっており、最近はかなり収入減 <p><研究活動(プロジェクト)></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 維持運営費確保に向けた企業などからの支援強化のためのプロモーション活動 ・ 保存されたデータ(画像)の学術的な分析、発信 ・ 被災者とのイベント企画
------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(みんなの家)
IP: 192.168.1.3
SSID: Pwr-q13b525-1
暗号化: WPA-PSK
WPAアルゴリズム: TKIP
パスフレーズ: g76xb4nh7tkj7

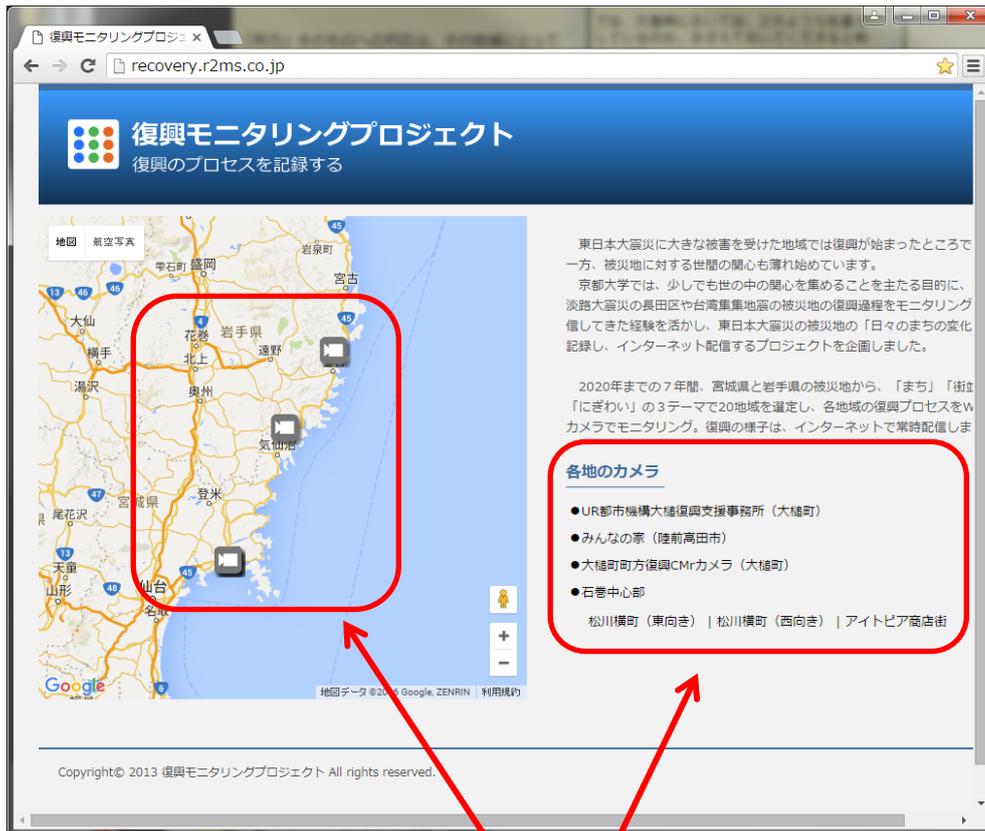
図 3 - 1 - ③ - 4 陸前高田市におけるモニタリングシステムの概要



図 3 - 1 - ③ - 5 陸前高田市におけるモニタリングカメラの設置場所

(c) 業務の成果

今年度は復興状況の記録を続けた一方で、ウェブサイトによる一般公開の改善を行った。具体的には、トップページから各地のモニタリング映像へのリンクが認識されやすくなるようにレイアウトを改良し、また、ウェブの閲覧者が任意に設定した期間の画像を動画にしてダウンロードできる機能を追加した。



トップページデザインの改良

図 3 - 1 - ③ - 6 モニタリングシステムのウェブサイトの改良（トップページ）

自動的に画像をつなげてダウンロードできる機能

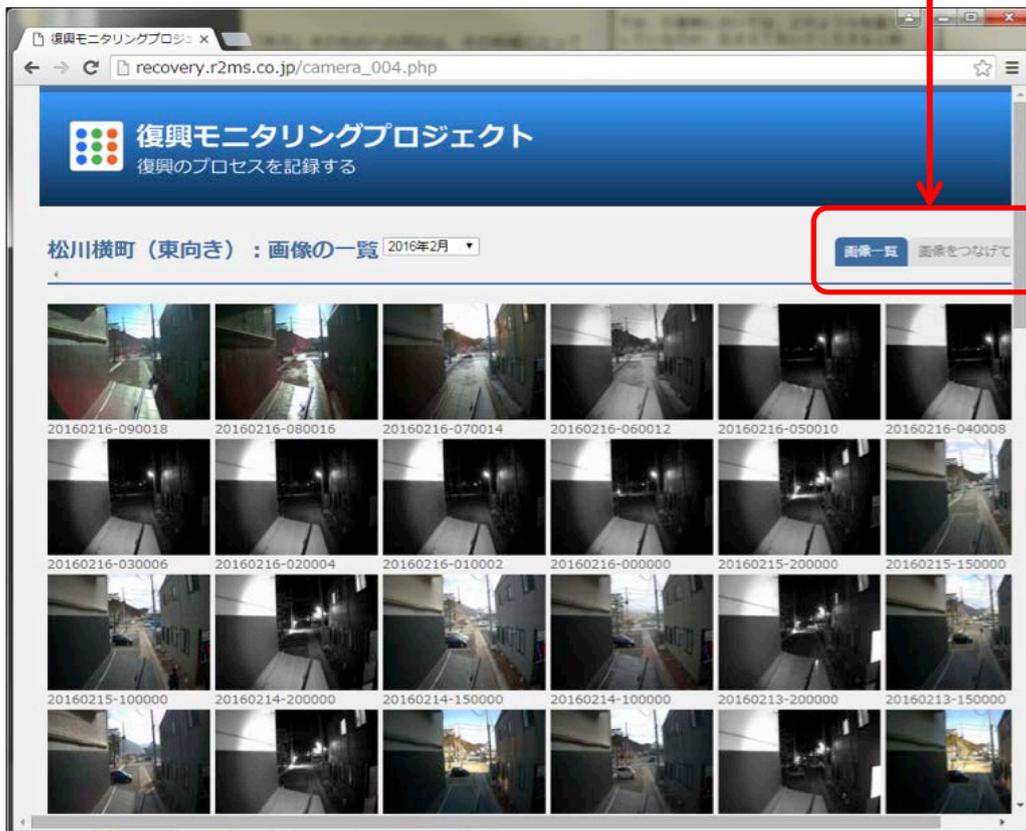


図3-1-③-7 モニタリングシステムのウェブサイトの改良 (連続ダウンロード)

(d) 結論ならびに今後の課題

復興モニタリングの開始以来、2年余りの時間が経過した。被災地ではこれまでの集中復興期間が終了し、新年度より復興・創生期間へと移行することになる。図3-1-③-8に、大槌町町方地区に設置したカメラによって2014年12月と2016年1月に記録された市街地の様子の比較を示した。この図から、社会基盤整備の進捗は新港地区における大槌川水門工事と土地区画整理事業にともなう嵩上げ工事などに見て取れる一方、建築物の再建はほとんど見られない。

今年度は本モニタリング調査の結果を具体的に活用する活動は行わなかったが、昨年度は一般市民の災害過程を調査する際に本モニタリングの成果を活用した。今後は南海トラフ巨大地震の想定被災地における一般市民をまじえた事前復興計画の検討において、各種の復興事業が必要とする時間の長さを理解するよすがとして活用する予定である。



図 3-1-③-8 大槌町 町方地区カメラ 1 の観測結果
 左：2014 年 8 月 14 日 14 時 右：2016 年 1 月 21 日 14 時

(e) 引用文献

なし

④地震動

(a) 業務の要約

平成 25 年度および平成 26 年度に収集した東日本（静岡県以北）の自治体の所有する震度計などの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できるように関係機関と調整・手続きを行った。具体的には、自治体等と協議を行い、研究利用のためのデータ公開に関する依頼文書交付等の手続きを行った。

(b) 業務の成果

本業務において、平成 26 年度までに東日本（静岡県以北）の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（約 95,000 波形）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ている。平成 27 年度は、昨年度までに作成した地震波形のデータベースに登録されている自治体のうち、宮城県、仙台市、福島県、山形県、岩手県、栃木県、群馬県の 6 県 1 市に対し、本研究の参画機関に対する研究利用を目的としたデータの公開についての打診を行い、依頼文書交付等の手続きを行った。依頼文書の手続きの対象となっている自治体と地震観測点数を図 3-1-④-1 および表 3-1-④-1 に、収集した自治体のデータの期間、データ数（波形数）を表 3-1-④-2 にそれぞれ示す。

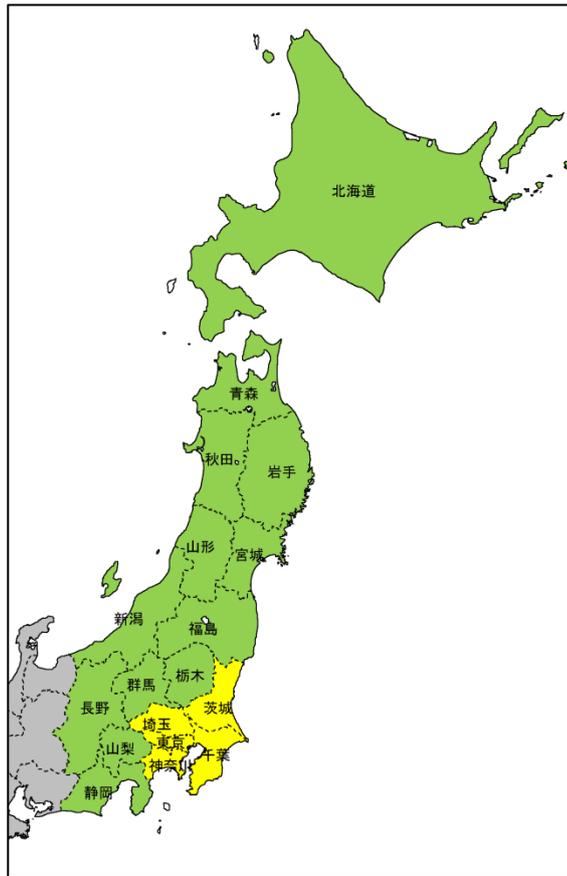


図 3-1-④-1 地震波形のデータベース化を実施した自治体範囲（緑色：自治体から直接収集（公開手続きが必要な自治体）、黄色：SK-net のデータを利用）

表 3-1-④-1 自治体（都道府県・政令指定都市）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

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 年度と平成 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

(c) 結論ならびに今後の課題

本業務では、これまでにフォーマット整理およびデータベース化した、地震波形データについて、本研究プロジェクトの参画機関に対する研究利用を目的としたデータの公開が可能となるよう、全 13 県 2 市のうち、6 県 1 市について自治体等の関係各機関と調整・手続きを行った。残りの 7 県 1 市については、引き続き平成 28 年度に実施する予定である。

(d) 引用文献

なし

⑤被害

(a) 業務の要約

地盤災害といっても、液状化被害、河川堤防・道路盛土・鉄道盛土・造成地・ため池・アースフィルダムなどの土構造物被害、自然斜面被害、災害廃棄物・津波堆積物などの地盤環境問題など、極めて多岐にわたる。東日本大震災における液状化被害、河川堤防被害、造成地被害を対象に、被害状況の分析とそこから得られた教訓について、文献調査を中心として整理した。また、それに加えて、研究分担者を含む研究グループが

見出した新たな知見と課題を指摘した。

(b) 業務の実施方法

学会・研究機関等による調査報告書（地震時における地盤災害の課題と対策～2011年東日本大震災の教訓と提言～、東日本大震災合同調査報告、東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書など）、および学術論文（Soils and Foundations、Journal of JSCE、地盤工学ジャーナルなど）を用いた文献調査を行い、被害発生の傾向や原因・課題について整理・考察を行った。最初に、被害の全体像を組織的に網羅した調査報告書および学術論文の特集号を主として用い、液状化被害、河川堤防被害、造成地被害といった地盤災害ごとに被害の概要をまとめ、東日本大震災を通じて得られた主な知見と課題について整理した。また、東日本大震災以降、これら調査結果では挙げられていない新たな課題も出てきており、調査・研究が実施されている。ここではすべての取り組みを網羅することはできないが、研究分担者の研究を通じて得られた新たな知見と課題を紹介する。

(c) 業務の成果

1) 被害の概要

a) 液状化被害

東北地方太平洋沖地震（2011）においては、図3-1-⑤-1に示すように、東北地方の6県63市区町村および関東地方の1都6県127市区町村の非常に広範囲で液状化被害が発生した（東日本大震災合同調査報告など）。東北地方での液状化被害については、津波によってその痕跡が消えてしまっている箇所が多いため、確認された液状化発生地点が少なくなっていると予想されるが、関東地方においては、東京湾岸、利根川をはじめとする河川流域や霞ヶ浦・北浦の湖岸地域で特に多くの液状化が観測されている。図3-1-⑤-2は、液状化発生地点と微地形区分の関係を示したものである。関東地方では、三角州・海岸低地、埋立地、後背湿地が多い。図3-1-⑤-1を見ると、河川や海岸から離れた内陸部であっても局所的に被害が発生しているが、これらは、旧河道や砂鉄採掘跡の埋戻し地盤など、堆積年代の若い人工改変地となっている。東北地方でも関東地方と同じく、後背湿地、自然堤防、三角州・海岸低地が多い。埋立地の液状化が少ないのは、津波による浸水の影響もあるが、東北地方には埋立地が元々少ないためでもある。

液状化被害は、震源から400km以上も離れた震度5弱程度の地点でも観測されており、地表面への噴砂、建築物の沈下や傾倒、道路の不等沈下、河川堤防の沈下や滑り、地中構造物の浮き上がりといった直接的被害（例：図3-1-⑤-3）だけでなく、電力・ガス・上下水道などのライフライン断絶に伴う間接的被害も発生している。

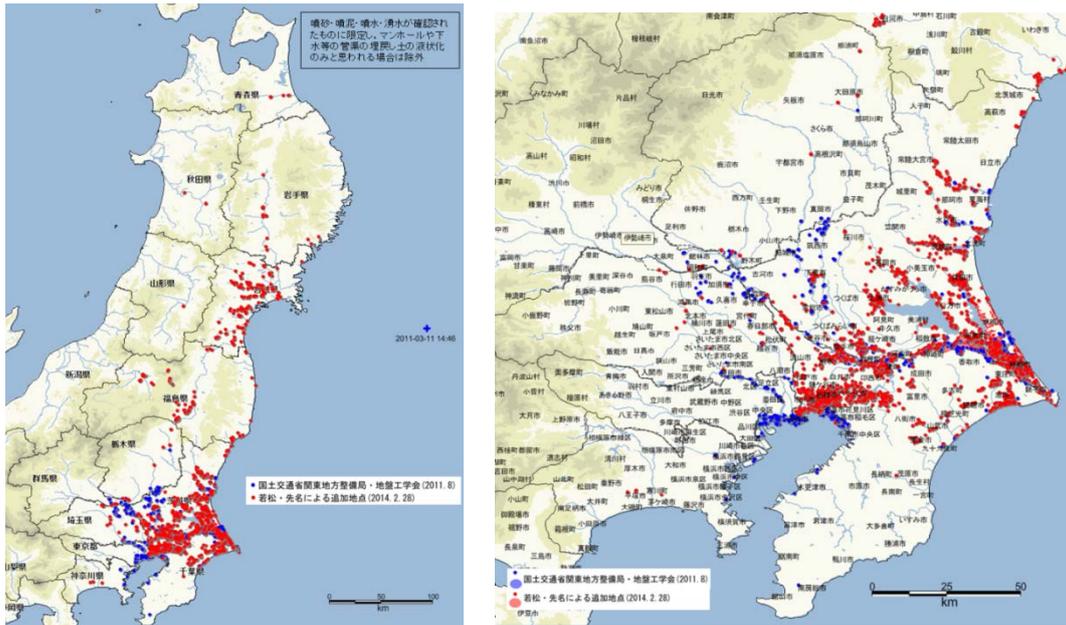


図 3-1-⑤-1 東北地方太平洋沖地震における液状化発生日点
(東日本大震災合同調査報告「共通編 3 地盤災害」より)

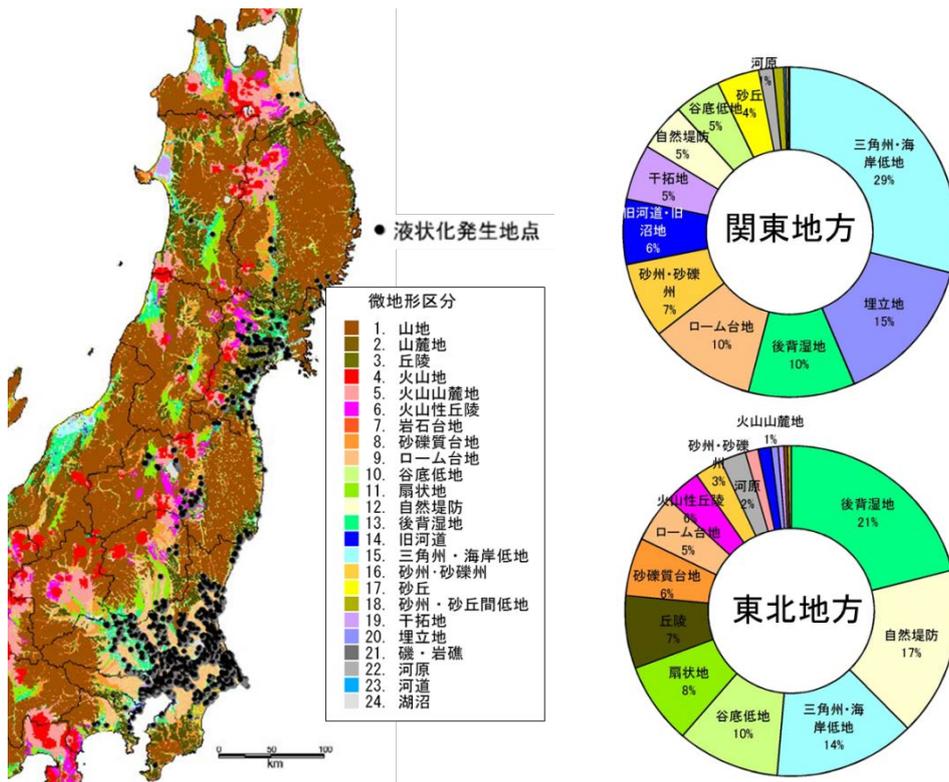


図 3-1-⑤-2 液状化発生と微地形区分の関係
(東日本大震災合同調査報告「共通編 3 地盤災害」より)



(a) 噴砂痕 (浦安市)

金田一広氏(株竹中工務店)撮影



(b) 道路の不等沈下 (香取市)



(c) マンホールの浮き上がり (浦安市)



(d) 液状化による地盤沈下 (我孫子市)

図 3 - 1 - ⑤ - 3 液状化被害の様子

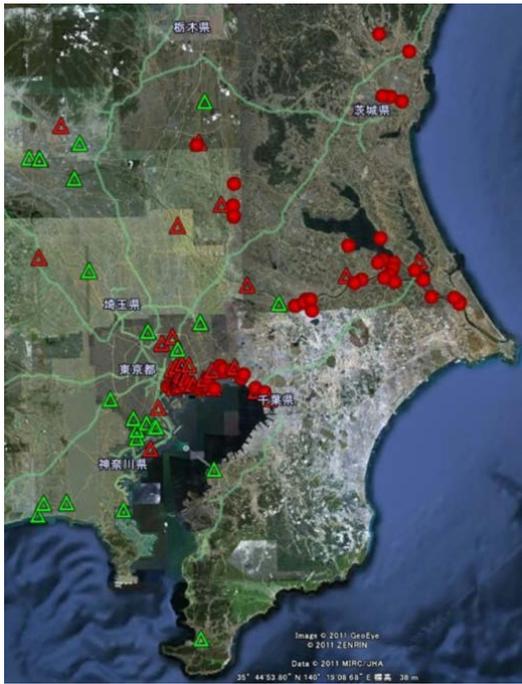
新潟地震（1964）以降、建設技術者の間では地盤の液状化現象は広く認識されるようになった。公共機関などが整備・管理する社会基盤施設に対しては、液状化の予測と対策に関する技術基準が整備され、それに従って設計・施工されている。実際に、東北地方太平洋沖地震における液状化被害発生箇所と非発生箇所の調査(地震時における地盤災害の課題と対策～2011年東日本大震災の教訓と提言～、東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書など)を見ても、広範囲に地盤が液状化した地域であっても、それを想定して対策や地盤改良をしていた道路・鉄道の高架構造物・橋梁、中・高層ビル、共同溝などは、ほとんど無被害であった。また、民間の中・高層ビル（UR等の住宅を含む）や産業施設も同様に、地盤液状化対策として地盤改良を施す地区も増えており、地盤液状化の発生範囲内でも、地盤改良を行って被害を防いだ地区も多くあった。その一方で、一般の木造2階建ての住宅は、液状化を十分に考慮されずに建設されており、宅地造成時と家屋建築時のどちらの時点においても、規制は

不十分であった。このような液状化被害を受けて、「地震時における地盤災害の課題と対策～2011年東日本大震災の教訓と提言～」では、液状化被害に対する今後の課題として、以下を挙げている。

- ・ 建築基準法や宅地造成等規制法の関連法律における規制
- ・ 住宅の品質確保の促進等に関する法律での住宅性能表示事項への、地盤の液状化を含めた地盤の品質説明と品質確認の追加
- ・ 木造建築士の試験内容での地盤の液状化の項目の追加
- ・ 丘陵地の造成宅地の液状化による被害も多いことから、宅地の常時および地震時安定性などの判断もできる「地盤品質判定士」のような資格の制度
- ・ 既設の戸建て住宅に対しては、信頼がおけて低価格な液状化対策法を開発

地盤が液状化するかどうかの判定は、簡易的には微地形区分に基づく概略判定によって、より詳細には道路橋示方書（日本道路協会，2002）などに示される FL 法や PL 法で検討される。微地形とは、現地調査や航空写真から分かる地形的特徴や土地利用から地表の形態を分類したものであり、地下水位の高さや地盤の軟弱さをおおまかに推定することはできるものの、地盤の深度方向の情報および土の物性等の情報は含まれていない。FL 法や PL 法は、検討対象とする地点のボーリングデータをもとに、地表以深 20m までの液状化対象層を抽出して、液状化に対する抵抗力と地震力の強さとを比較して液状化に対する抵抗率を求める手法である。現在もっともよく用いられている液状化判定法であるが、図 3-1-⑤-4 に示すように、東北地方太平洋沖地震によって実際に関東地方で発生した液状化箇所と FL 法による液状化判定結果を比較したところ、非液状化と判定されていた地点が液状化したという見逃しこそなかったものの、液状化と判定されていた地域で非液状化だった地点が 40%ほどを占め、精度の高い予測とはなっていない。国土交通省液状化対策技術検討会議では、液状化判定および予測手法の高度化の必要性を指摘するとともに、今後の課題として、以下を挙げている。

- ・ 地震動の継続時間の長さとし繰り返す回数が液状化に及ぼす影響の定量的評価
- ・ 液状化地点の有効応力解析によるシミュレーション解析
- ・ ボーリング調査の実施とボーリングデータの継続的な収集・整理
- ・ 液状化発生状況と地形的特徴の関係
- ・ 液状化対策工の定量的な評価
- ・ 液状化に及ぼす諸要因（継続時間、細粒分、造成年代 etc）の分析



		被害形態		合計
		液状化 発生箇所	非液状化 箇所	
判定 結果	$F_L \leq 1$ 液状化	● : 53	△ : 35	88
	$F_L > 1$ 非液状化	● : 0	△ : 24	24
合計		53	59	112

図 3-1-⑤-4 液状化箇所と FL 法による液状化判定結果の比較
(「液状化対策技術検討会議」の検討成果より)

b) 河川堤防被害

東北地方太平洋沖地震においては、東北および関東地整の管内の広域にわたって、2,000 か所以上で河川堤防の被害が発生した。被害の程度は、小さなクラック程度の軽微なものから、堤体の沈下や滑りといった甚大なものまであり、震災後の調査によると、大規模な被害の主な原因は、基礎地盤や堤体の液状化であることが明らかにされている (Kazama and Noda, 2012; Oka et al., 2012; Sasaki et al., 2012 など)。液状化が発生すると、側方流動や圧密沈下によって堤防高が低くなる。図 3-1-⑤-5 は、明治以降に日本で発生した地震動による河川堤防の沈下量と堤体初期高さの関係をまとめたものに、東北地方太平洋沖地震の被災データを加えた結果である (国土技術研究センター, 2012)。地震動の種類や規模、地盤の状態がそれぞれ異なるので定量的評価は難しいが、地震による河川堤防の沈下量は最大で初期堤防の高さの 75% にまで達することがわかり、東北地方太平洋沖地震でも同様の沈下被害が観測されている。日本では氾濫原における人口や資産の集積が著しく、堤防はこれらを洪水、高潮等から防御する重要な構造物である。地震によって堤防が被災した場合、平常時の潮位や地震に伴う津波、堤防の復旧までの間に生じる洪水、高潮による水位上昇に伴い、甚大な浸水被害が発生する懸念がある。

続いて、河川堤防の被災要因を検討した結果 (国土技術研究センター, 2012) を図 3-1-⑤-6 に示す。東日本大震災の被災状況を詳細に検討すると、従来から照査されてきた「基礎地盤の液状化」に加えて、これまで着目されてこなかった「堤体の一部 (閉封飽和域) 液状化」や両者の複合によるものが多く確認されている。古くは、粘性土地盤は地震被害が発生しない／考えなくてよいとされることが多かった。しかし、過去の

地震被害を精査していくと、液状化のように地震直後の直接的かつ目に見える被害ではないものの、特に軟弱な粘性土地盤では、地震直後の沈下の加速化や長期にわたって継続する沈下被害が観測されている（Nigorikawa and Asaka, 2015）。

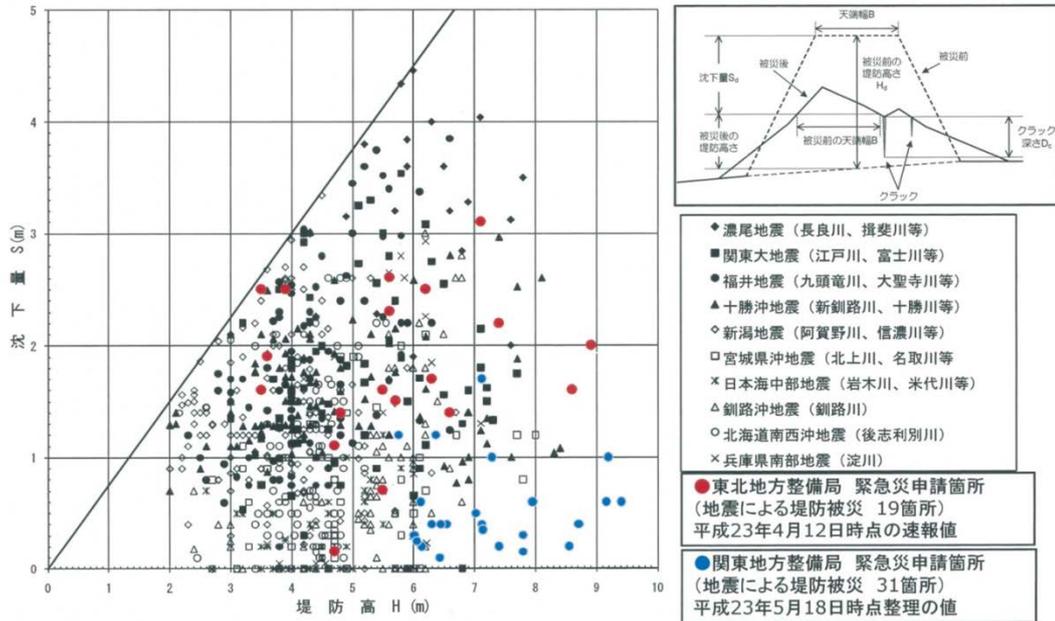


図 3 - 1 - ⑤ - 5 地震動による河川堤防の沈下量と堤体初期高の関係
 (第 2 回河川堤防耐震対策緊急検討委員会資料より)

被災要因	堤体土質構成のイメージ
パターンⅠ 基礎地盤液状化によるもの	砂質土 地下水位
パターンⅡ 堤体の部分液状化によるもの	砂質土 粘性土 堤体内水位
パターンⅠ+Ⅱ 上記の複合によるもの	被覆土 砂質土 粘性土 堤体内水位 地下水位

図 3 - 1 - ⑤ - 6 河川堤防の被災要因と堤体土質構成のイメージ

c) 造成斜面被害

東北地方太平洋沖地震においては、宮城県・福島県を中心として、多数の箇所では丘陵地を切盛りした宅地造成地が被害を受けた。図3-1-⑤-7は、仙台市内宅地開発履歴と被害の関係を示したものである（風間，2012）。図から、①1978年宮城県沖地震で被害を受けた地域は1968年新都市計画法施工前の場所であること、②1978年に被害を受けた場所は東日本大震災でも再び被害を受けている場所が多いこと、③古い造成年代の開発地域ほど被害率が高いこと、などが見て取れる。図3-1-⑤-8は、仙台市内の大規模盛土造成地における宅地被害を切土・盛土分類に重ねたものである（東日本大震災合同調査報告）。平成25年7月31日時点で判明している5,728箇所の宅地被害に対して、その基礎地盤条件は、盛土領域が55.1%、切盛境界領域が31.6%、切土領域が13.3%となっており、明らかに盛土部の方が切土部よりも被害が発生しやすいことがわかる。

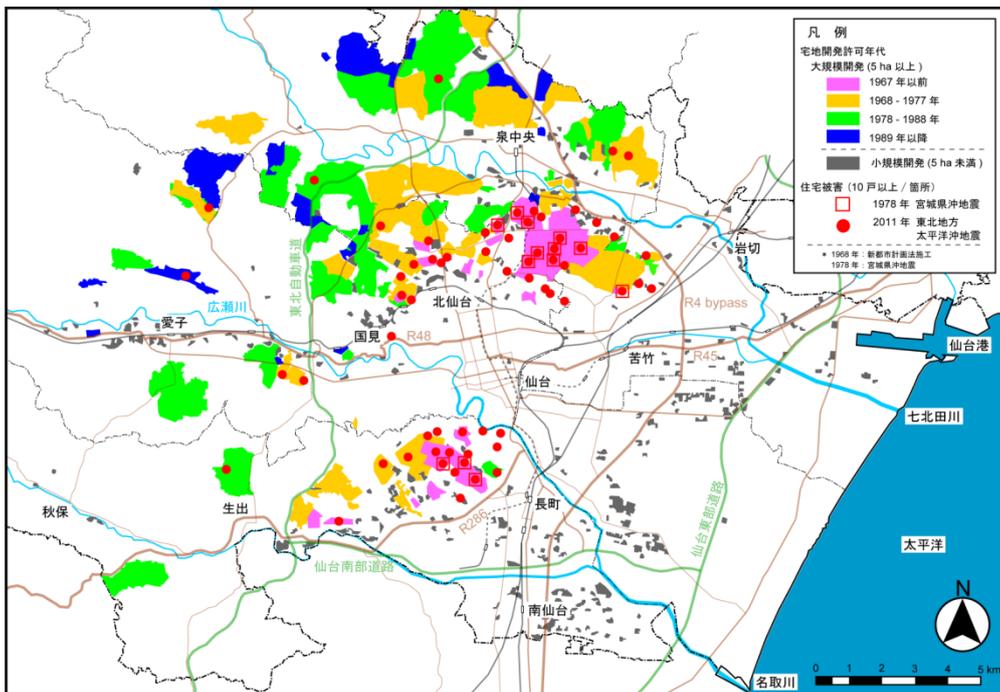


図3-1-⑤-7 仙台市内の宅地開発履歴と地震被害の関係（風間（2012）より）

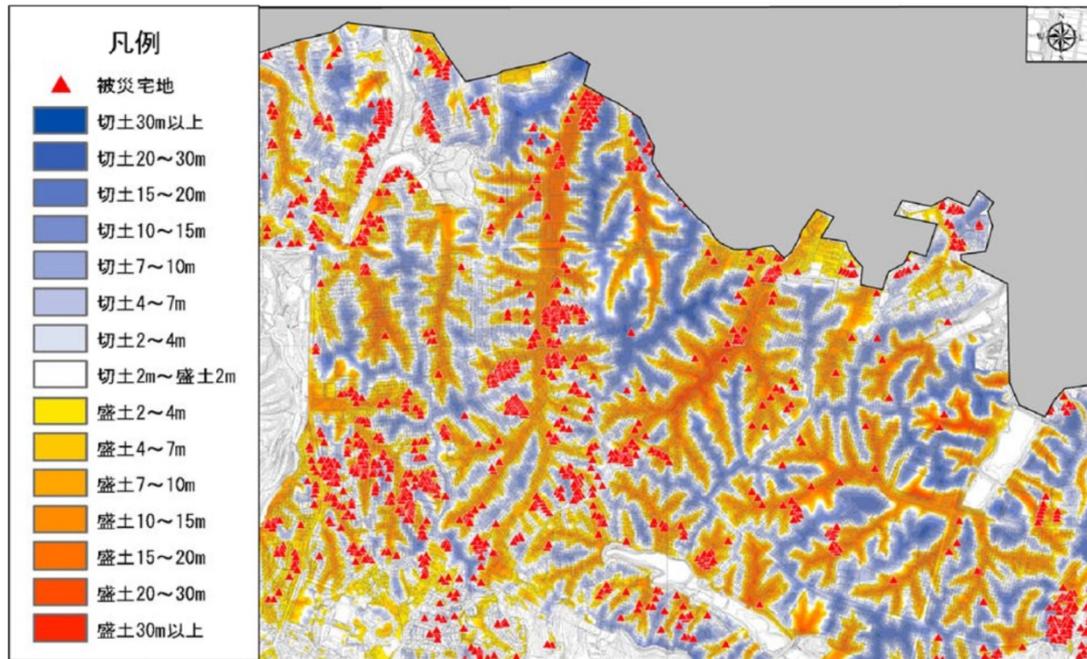


図 3-1-⑤-8 切土・盛土分類と宅地被害の関係
(東日本大震災合同調査報告「共通編 3 地盤災害」より)

東北地方太平洋沖地震における被災状況の分類から、造成年代が新しくなるほど法体系の整備や施工技術の向上等によって被害が小さくなっていること、盛土部に比べると切土部で被害が発生しにくいといった、被災素因に関する知見が深まってきている。また、東北地方太平洋沖地震を含む過去の被災調査から、図 3-1-⑤-9 で示すような盛土造成斜面の破壊形態分類は行われているが、複雑な破壊形態を持つ盛土造成斜面の変状メカニズムには、未だに不明なことが多い。つまり、過去の被害報告をもとに設計や対策に関する議論が行われているものの、従来法の検証や、その改良などの経験に基づくものが大半を占めており、現行の設計法や対策が変状メカニズムを十分に反映したものにまでは達していない。今後は、盛土造成斜面の被災メカニズムを解明するとともに、変状メカニズムに基づいた設計・施工法や対策の提案が求められる。

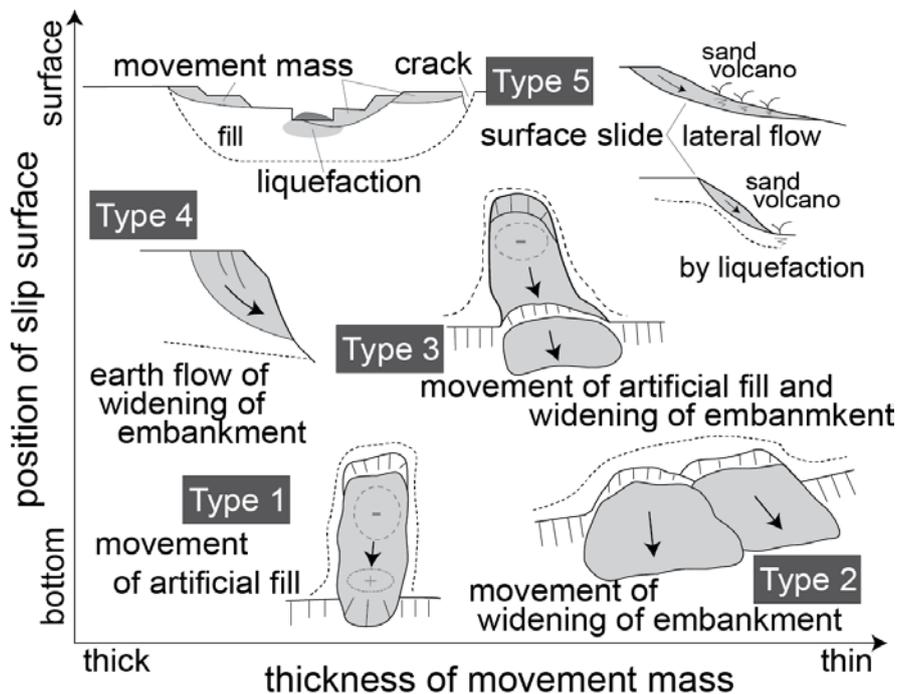


図 3-1-⑤-9 盛土造成斜面の破壊形態分類 (Kamai et al. (2013) より)

2) 研究分担者によって見出された新たな知見と課題

上述の通り、東日本大震災で発生した被害を分析することで、数多くの知見・課題が明らかとなっている。研究分担者を含む研究グループは、それらの既往の分析では述べられていない新たな知見・課題を見出している。以下にその内容を紹介する。

a) 液状化被害

液状化判定・予測の高度化に関する新しい知見・課題を示す。中井ら (2015) は、静的／動的対応の水～土骨格連成有限変形解析コード (Noda et al., 2008) を用いて、地層の不整形性を考慮した二次元地震応答解析を実施し、不整形基盤から生成される表面波 (Rayleigh 波) を数値的に再現・抽出するとともに、表層地盤の液状化被害へおよぼす影響を検討している。その結果、①表面波が伝播すること (図 3-1-⑤-10) によって主要動終了後も比較的強い揺れが継続すること、②一次元解析では表面波生成・伝播の影響を考慮することができないため、基盤の不整形性を考慮した二次元解析の方が、液状化危険度が高まること、③表面波と実体波の干渉 (エッジ効果) によって液状化被害が局所的に甚大化する場所があること、などを示している。

既存の多くの被害予測手法は、実質的に地盤の非線形性を考慮していないだけでなく、鉛直一次元的な評価であるため、不整形な地層・基盤構造による多次元的な効果が考慮されていない。上記研究成果は、表面波の生成・伝播に代表される多次元効果は無視できる程度ではなく、より精緻かつ実情に合った被害予測のためには考慮すべき事項であることを示している。地層構成が起因して揺れが拡大する事例は東日本大震災では述べられていないが、実際には、兵庫県南部地震 (1995) における「震災の帯」に代表されるように、不整形性の卓越した地盤 (盆地地形や岩盤が深く沈みこんだ地下構造) で地震被害が甚大化することは、メキシコ地震 (1985) 以降、数多く報告されている事

項である（大崎ら, 1985）。

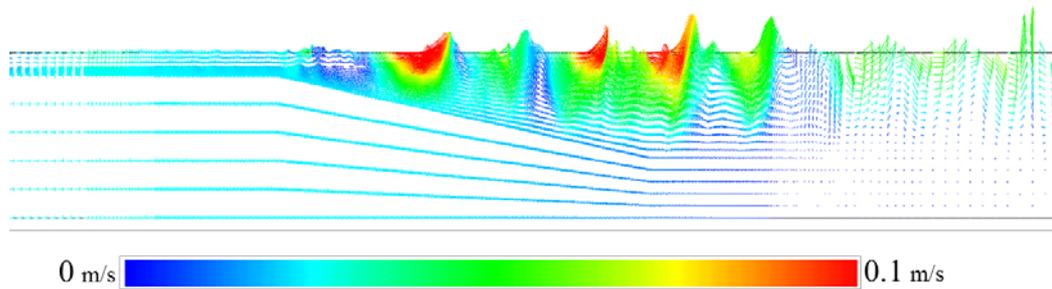


図 3-1-⑤-10 傾斜基端部における Rayleigh 波の生成（中井ら（2015）より）

b) 河川堤防被害

閉封飽和域を有する河川堤防の地震時挙動の解明に関する新しい知見・課題を示す。Yoshikawa et al. (2015) は、静的／動的対応の空気～水～土骨格連成有限変形解析コード（Noda and Yashikawa, 2015）を用いて浸透条件下での二次元地震応答解析を実施し、堤体の圧密沈下に伴う閉封飽和域の形成過程の再現とともに、地震前～地震後の浸潤面の変動について検討している。その結果、①地震後に盛土内の水位が上昇するため、元々の地下水位が高いと盛土内に浸潤線が現れること（図 3-1-⑤-11）、②一度上昇した水位は、地表面および盛土表面に設定した全水頭境界によって地震後 1～2 年で元の位置に戻ることを示している。

東日本大震災において被災後に実施された河川堤防の調査から、被災断面の堤体下部に地下水面が存在しているのに対して、無被災断面の堤体下部には地下水面が存在しないことが随所で確認されている。例えば、図 3-1-⑤-12 は、被災した下中ノ目上流地区鳴瀬川左岸 30.3k の断面図（国土交通省東北地方整備局北上川等堤防復旧技術検討会, 2012）から一部を描き改めた図である。ここに、「堤体下部に地下水面が存在している」とは、図 3-1-⑤-11 に示すように、地震後に上に凸型の地下水面が堤体内に観測されたことを意味する。この堤体内地下水面は、地震前から存在していたと考えられており、このような上に凸型の浸潤線の再現性向上を目的とした研究も行われているが、実降雨を用いた浸透流解析ではその再現が難しいとされている（土木学会 地盤工学委員会 堤防小委員会, 2013（WG2：堤体内浸潤線の再現））。したがって、上記研究成果は、被災後堤体内に見られた上に凸の浸潤面については、従来の考え方のように地震前にその状態にあったのではなく、地震動によってこのような分布が現れた可能性を示唆している。

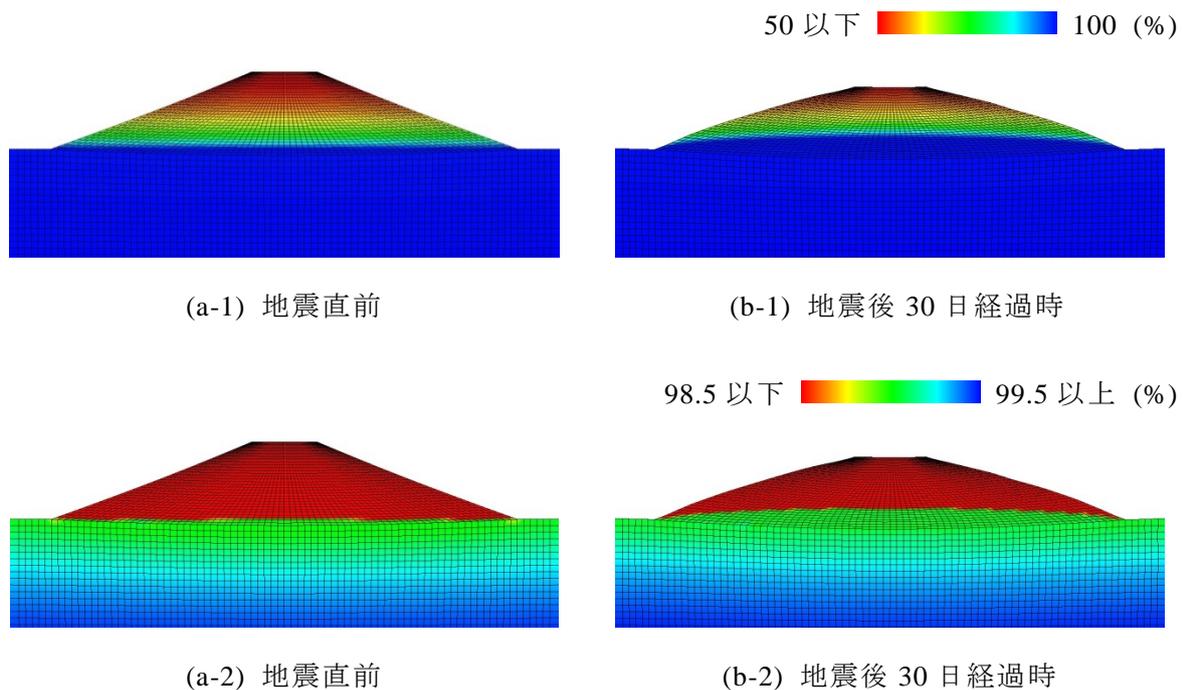


図 3-1-⑤-11 地震後の水位上昇を示す飽和度分布：堤体内に浸潤線が形成される（地下水位 = GL-0m の場合，Yoshikawa et al. (2015) より）

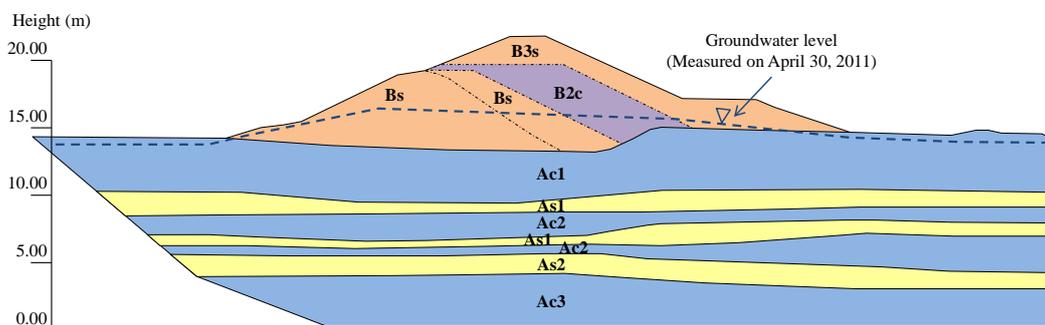


図 3-1-⑤-12 被災した下中ノ目上流地区鳴瀬川左岸 30.3k の断面図（国土交通省東北地方整備局北上川等堤防復旧技術検討会から一部を描き改めた図）

(d) 結論ならびに今後の課題

東日本大震災における土構造物を含む地盤災害の被害状況と教訓について、文献調査を中心として整理した。

- ・ 液状化被害は、微地形区分での三角州・海岸低地、埋立地、後背湿地といった地形に加え、堆積年代の若い人工改変地で多く発生した。しかし、広範囲に地盤が液状化した地域であっても、それを想定して対策や地盤改良をしていた場所ではほとんど無被害であった。今後は、東日本大震災でも被害の多かった一般家屋への規制や安価な液状化対策法の開発が求められる。
- ・ 地震による河川堤防の沈下量は最大で初期堤防高の 75%にまで達する。東日本大震

災では、従来から照査されてきた「基礎地盤の液状化」に加えて、これまで着目されてこなかった「堤体の一部（閉封飽和域）液状化」や両者の複合によるものが多く確認された。今後は、このような閉封飽和域を有する河川堤防の耐震性やその被災メカニズムの解明が求められる。

- ・ 造成斜面被害は、造成年代が古いほど多く発生していた。これは、造成年代が新しいほど、法体系が整備され、施工技術も向上したためである。また、盛土部に比べると切土部で被害が発生しにくいこともわかっている。今後は、盛土造成斜面の被災メカニズムを解明するとともに、変状メカニズムに基づいた設計・施工法や対策の提案が求められる。

上記に加えて、東日本大震災以降、研究分担者を含む研究グループが見出した新たな知見と課題として、以下のことを指摘した。

- ・ 従来の多くの液状化予測は、鉛直一次元的な評価であるが、表面波の生成・伝播に代表される多次元効果は無視できる程度ではなく、より精緻かつ実情に合った被害予測のためには考慮すべき事項である。
- ・ 被災断面の堤体下部に地下水面が存在しているのに対して、無被災断面の堤体下部には地下水面が存在しないことが随所で確認されているが、被災後堤体内に見られた上に凸の浸潤面については、地震前にその状態にあったのではなく、地震動によってこのような分布が現れた可能性を示唆した。

今後は、今回対象とした液状化被害、河川堤防被害、造成地被害以外の地盤災害についても同様に調査・考察していく。

(e) 引用文献

- 1) Journal of JSCE, Special Topic - 2011 Great East Japan Earthquake.
- 2) Soils and Foundations, Special Issue on Geotechnical Aspects of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake.
- 3) 地盤工学ジャーナル, 東北地方太平洋沖地震特集号 (第1号, 第2号) .
- 4) Kamai, T., Ohta, H., Ban, Y. and Murao, H.: Landslides in urban residential slopes induced by 2011 off Pacific coast of Tohoku Earthquake, Studies on the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (Natural Disaster Science and Mitigation Engineering: DPRI reports), Springer, pp. 103-122, 2013.
- 5) Kazama, M. and Noda, T.: Damage statistics (Summary of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake damage), Soils and Foundations, Vol.52, No.5, pp. 780-792, 2012.
- 6) Nigorikawa, N. and Asaka, Y.: Leveling of long-term settlement of Holocene clay ground induced by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Soils and Foundations Vol.55, No.5, pp.1319-1326, 2015.
- 7) Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M.: 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.
- 8) Noda, T. and Yoshikawa, T.: Soil-water-air coupled finite deformation analysis based on a

rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, Soils and Foundations, Vol.55, No.1, pp. 45-62, 2015.

- 9) Oka, F., Tsai, P., Kimoto, S. and Kato, R.: Damage patterns of river embankments due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake and a numerical modeling of the deformation of river embankments with a clayey subsoil layer, Soils and Foundations, Vol.52, No.5, pp. 890-909, 2012.
- 10) Sasaki, Y., Towhata, I., Miyamamoto, K., Shirato, M., Narita, A., Sasaki, T. and Saka, S.: Reconnaissance report on damage in and around river levees caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Soils and Foundations, Vol.52, No.5, pp. 1016-1032, 2012.
- 11) Yoshikawa, T., Noda, T., Kodaka, T. and Takai, T.: Analysis of the effect of groundwater level on the seismic behavior of an unsaturated embankment on clayey ground, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, accepted.
- 12) 「液状化対策技術検討会議」の検討成果, 国土交通省, 2011.
- 13) 大崎順彦, 渡部丹: メキシコ地震を推理する, 建築技術, No.412, pp.59-73, 1985.
- 14) 風間基樹: 2011 年東北太平洋沖地震による地盤災害と復興への地盤工学的課題, 東日本大震災に関する技術講演会論文集, pp.41-66, 2012.
- 15) 関東地方整備局・地盤工学会, 東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明委員会報告書
- 16) 公益社団法人地盤工学会 平成 23 年度学会提言の検証と評価に関する委員会: 地震時における地盤災害の課題と対策 2011 年東日本大震災の教訓と提言, 2012.
- 17) 国土技術研究センター, 第 2 回河川堤防耐震対策緊急検討委員会資料, 2012.
- 18) 国土交通省東北地方整備局北上川等堤防復旧技術検討会: 北上川等堤防復旧技術検討会 報告書 本編, 2012.
- 19) 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編: 社団法人日本道路協会, 2002.
- 20) 土木学会 地盤工学委員会 堤防小委員会: 第 1 回地盤工学から見た堤防技術シンポジウム委員会報告・講演概要集, 2013.
- 21) 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, 2013.
- 22) 中井健太郎, 浅岡顕: 不整形基盤から生成される Rayleigh 波の数値的抽出と液状化被害に及ぼす影響, 第 19 回国際地盤工学会議, 投稿中.
- 23) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会: 東日本大震災合同調査報告, 2014.
- 24) 村尾英彦, 釜井俊孝, 太田英将: 地震による都市域斜面災害 -2011 年東北地方太平洋沖地震を例として-, 応用地質, 第 53 巻, 第 6 号, pp.292-301, 2013.
- 25) 若松加寿江: 日本の液状化履歴マップ 745-2008, 東京大学出版会, 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、日本の主要平野（関東平野及び大阪平野等）で

発生した長周期地震動の特性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、平成 26 年度の研究に引き続き、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観測データを精査し、過去の M7～8 級地震の長周期地震動と比較して、平野の堆積層における長周期地震動の生成要件と再現性を検討した。

平成 27 年度は、東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）において大阪平野（此花地点）で記録された長周期地震動の特性に着目し、2004 年紀伊半島南東沖地震（Mw7.4）、及び 2000 年鳥取県西部地震（Mw6.6）等の M7 級地震の長周期地震動と比較を行った。その結果、3 つの地震において長周期地震動増幅特性はほぼ等しく、震源の位置（日本海溝、南海トラフ、内陸活断層）によらず、観測点直下の堆積層構造のみで特徴づけられる可能性が高くなった。また、地下構造探査で既知の S 波速度構造モデルを用いることで、観測された長周期地震動の増幅特性を良く説明できることも確認できた。

長周期地震動の元となる表面波の強度は、震源の深さに大きく依存し、震源の深さとともに表面波の振幅は急激に小さくなる。観測された表面波の解析と地震波伝播シミュレーションに基づき、東北地方で起きる地震は太平洋プレートが急激に沈み込むために震源が比較的深く、震源直上での表面波の励起が弱く、長周期地震動が生成しにくいことを確認した。

(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、及び近年の M7～8 規模の地震記録を用いて、関東平野と大阪平野の長周期地震動の速度応答スペクトルを調べた。次に、東北地方太平洋沖地震において大阪平野の湾岸地点（此花）で得られた長周期地震動の記録を、2000 年鳥取県西部地震（Mw6.6）、及び 2004 年紀伊半島南東沖地震（Mw7.4）の記録と比較することで、長周期地震動の再現性と、東北地方太平洋沖地震における特異性の有無を検討した。また、大阪平野での長周期地震動の増幅特性を、既知の平野の地下構造（堆積層）モデルを用いて計算し、観測との一致を確認した。震源の深さと長周期地震動の生成過程を確認するために、震央とマグニチュードがほぼ等しく、震源の深さが異なる 2 つの地震について、東北～関東平野にかけての伝播経路に沿って表面波の伝播・増幅特性を調べた。

(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大阪平野での増幅特性

東北地方太平洋沖地震の際に、震源から遠く離れた大阪市内において、高層ビルやマンションを中心にエレベータ内の閉じ込めや壁の亀裂など、長周期地震動による影響と考えられる被害が多発した。特に、大阪市住之江区の湾岸部に建つ大阪府咲洲庁舎の 55 階建て（高さ 256 m）の超高層ビルが最大 1.38 m の振幅で数分間以上にわたって長く揺れた様子が、ビルに設置されていた強震計記録から

わかっており、これがエレベータ内のとじ込めや天井材の落下、壁の損傷の原因であったと推察できる。

大阪平野は、周囲を有馬-高槻構造線や上町断層、中央構造線などの断層に囲まれ、基盤岩が急激に落ち窪んだ盆地構造を形成しており、その上を最大 3000 m になる厚い堆積層が覆っている。このような堆積層構造により、関東平野や濃尾平野と同様に、周期 5～10 秒程度の長周期地震動が強く増幅される特徴がある。

上記の咲洲庁舎に近い、KiK-net 此花観測点 (OSKH02) で記録された地震計記録 (地動速度) を見ると、周期 6 秒前後の長周期地震動が、最大 10 cm/s を超える大きさで、少なくとも強震計の記録が停止するまでの 280 秒以上にわたって長く続いたことが確認できる。この時間を通して、大きな揺れが何波も到来していることから、長い伝播経路の途中で発達した長周期の地震動が、堆積層で増幅されるとともに内部に閉じ込められるように長時間続いたことが窺える。

速度応答スペクトル (水平動、減衰定数=5%の相対応答) を求めると、応答値は固有周期 6 秒で最大 50 cm/s の大きさとなった。此花地点から約 20 km 東に離れた岩盤上の KiK-net 交野観測点 (OSKH04) での応答値は 1/30 程度と小さく、これを基準とすると、此花地点下の堆積層での長周期地震動の増幅は、数十倍の規模となる。

大阪平野では、過去にも長周期地震動が繰り返し発生している。K-NET、KiK-net 強震観測の開始以降に記録された、2000 年鳥取県西部地震 (Mw6.6) と 2004 年紀伊半島南東沖地震 (M7.4) の長周期地震動とその応答スペクトルを求めたところ、東北地方太平洋沖地震時とほぼ同様の周期特性が得られ、此花地点での増幅特性は、地震に拠らず一定であることが確認できた。応答スペクトルには、一次、二次、三次固有周期がそれぞれ 6 秒、3 秒、1.5 秒前後に現れており、高次 (二・三次) モードの応答レベルは基本 (一次) モードの応答の 8 割程度あることから、長周期地震動は単一の周期だけでなく、複数の周期成分が含まれていたことがわかる。咲洲庁舎ビルの固有周期 (周期 6 秒程度と考えられる) での応答スペクトル値は、2004 年紀伊半島南東沖地震の際に記録した値と同程度であったこと、2000 年鳥取県西部地震と比べても 1.5 倍程度であったことを考えると、東北地方太平洋沖地震の長周期地震動は特別大きなものではなく、大阪の周囲で起きる M7 クラスの地震でも頻繁に起きるレベルであったと言える。

なお、東北地方太平洋沖地震の M9 という大きな地震規模に対して、北海道～関東で記録した周期 3～10 秒の周期帯の長周期地震動のレベルは小さく、以前に日本海溝や南海トラフで起きた M8 級の地震 (2003 年十勝沖地震、1944 年東南海地震など) の際に記録したレベルと同程度であったことは以前から指摘されている (Furumura, 2014; 古村, 2014)。

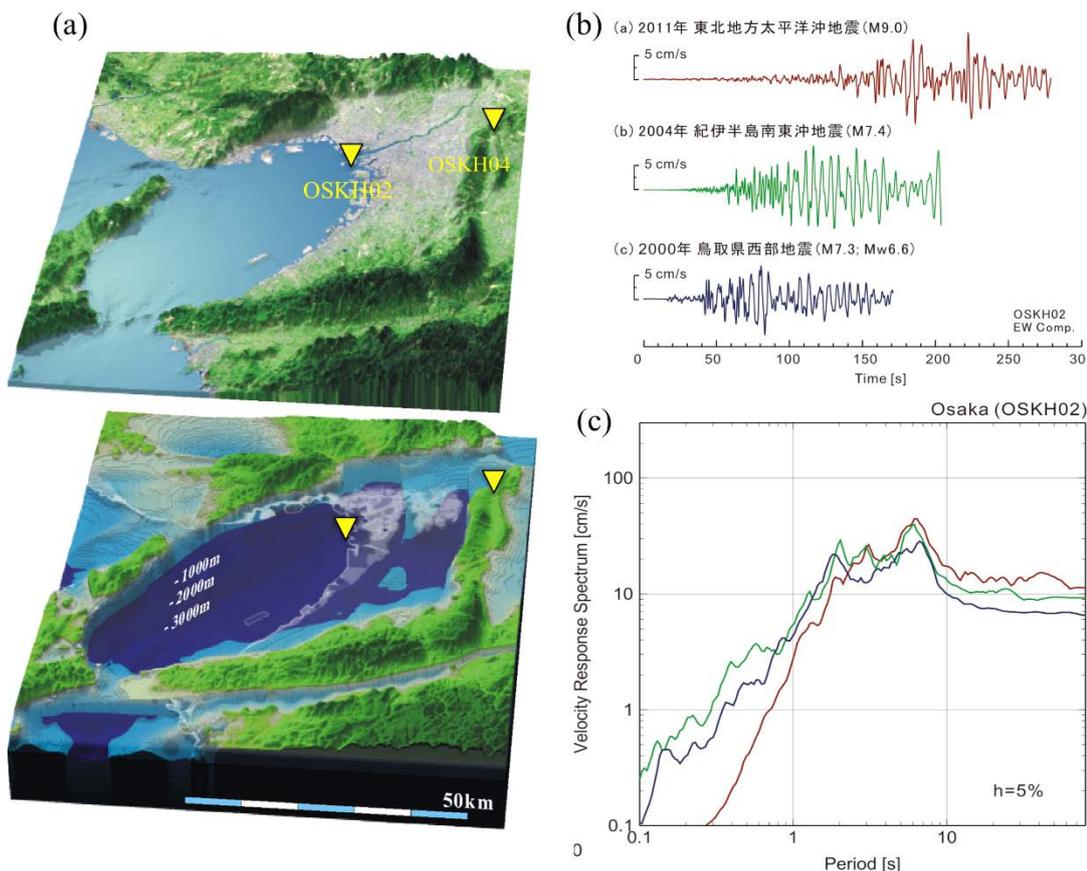


図 3-1-⑥-1 (a) 大阪平野の基盤構造と KiK-net 此花観測点 (OSKH02)、及び交野観測点 (OSKH04) の位置。(b)東北地方太平洋沖地震、紀伊半島南東沖地震、鳥取県西部地震における此花観測点での地震波形 (地動速度、東西成分)。(c) 3つの地震の速度応答スペクトル (水平動 2成分合成、減衰定数 = 5%)。線の色は、(b)の地震波形の色に対応。

大阪湾湾岸での長周期地震動の増幅特性を詳しく見るために、基盤岩が露頭する KiK-net 交野観測点 (OSKH04) の地動を大阪平野の基盤岩への入射波と仮定し、此花観測点直下の堆積層での長周期地震動の増幅を、2観測点の地震波形のフーリエ・スペクトル比から評価した。その結果、紀伊半島南東沖地震、及び東北地方太平洋沖地震の際の地震波形の両方に、周期 6 秒、3 秒、及び 1.5 秒前後の周期帯において、それぞれ 30 倍、30 倍、及び 20 倍程度の増幅が確認でき、本解析からも地震の震源と規模によらない長周期地震動増幅の再現性が確認できた。なお、鳥取県西部地震での増幅特性はやや様子が異なり、周期 6 秒での増幅が小さい (10 倍程度) ことや、高次 (二次・三次) モードが現れる周期帯がやや低周波数側 (2.5 秒と 1.3 秒) にシフトしていることなど、若干の違いが見られるが、これらは震源の方位の違いや、地震の規模が小さく長周期側の地震動のノイズレベルによる誤差と思われる。

次に、此花地点下の堆積層モデルを用いて、S 波地震動の理論増幅特性を求め

た。KiK-net 此花観測点の地下構造堆として、ボーリングと S 波速度検層データを参考にして、500 m 厚の第一層 ($V_s=500$ m/s) と 600 m 厚の第二層 ($V_s=900$ m/s) を基盤岩 ($V_s=2400$ m/s) 上に置いた成層モデルを用意し、KiK-net 交野観測点は露頭した基盤岩の上にあると考えて、透過・反射波理論 (Reflectivity 法) に基づき S 波の増幅特性を計算した (図 3-1-⑥-2、グレー線)。そして、先に示した紀伊半島南東沖地震、及び鳥取県西部地震での堆積層/岩盤観測点のスペクトル比から求めた増幅特性と良く一致することが確認できた。

以上より、東北地方太平洋沖地震における大阪湾岸 (此花地点) での長周期地震動の特性について、次のことが言える：

1) 観測された一次固有周期 6 秒での最大 50 cm/s 程度 の速度応答 (減衰定数 = 5%) レベルは、たとえば石油タンクがスロッシングにより破損した 2003 年十勝沖地震で苫小牧地点において記録された大きな応答レベル (80 cm/s) の 6 割程度という比較的小さなものであった。

2) 2000 年鳥取県西部地震、及び 2004 年紀伊半島南東沖地震でも周期特性が等しく、同レベルの長周期地震動が観測されており、東北地方太平洋沖地震だけに特別な長周期地震動の増幅現象は起きておらず、長周期地震動の増幅特性は地震によらず再現性が良い。

3) ボーリング調査等に基づく既知の地下構造 (S 波速度構造) を用いることで、長周期地震動の増幅特性を良く再現することができる。詳細な地下構造モデルと震源モデルの仮定により、長周期地震動の事前評価が十分可能である。

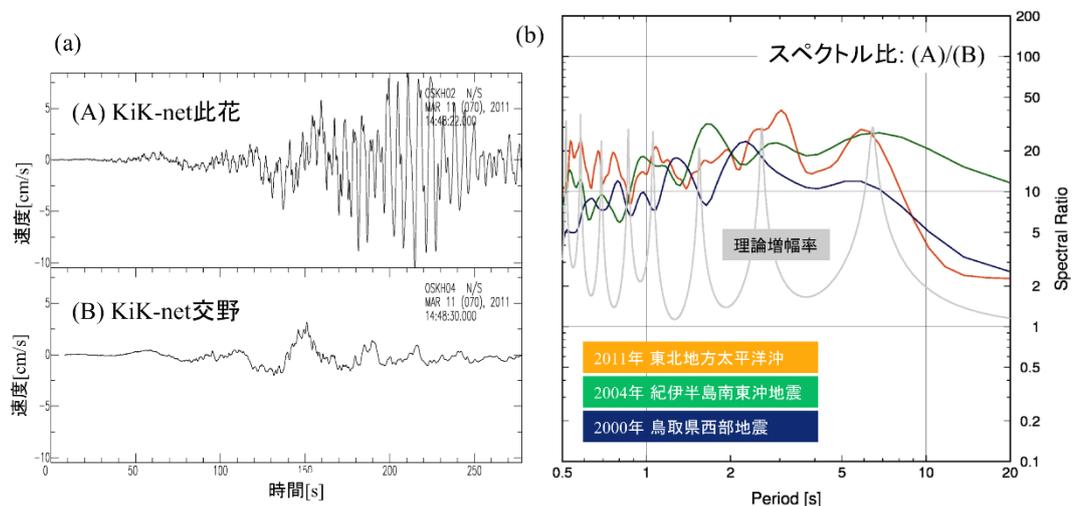


図 3-1-⑥-2 (a) 東北地方太平洋沖地震における大阪平野での長周期地震動 (A) KiK-net 此花観測点 (OSKH02)、(B) KiK-net 交野観測点 (OSKH04)。いずれも地動速度、南北成分を表す。(b)フーリエ・スペクトル比 (此花/交野地点)。東北地方太平洋沖地震 (オレンジ線)、紀伊半島南東沖地震 (グリーン線)、鳥取県西部地震 (青線) 及び、此花観測点下での S 波理論増幅特性。

2) 長周期地震動の生成条件としての震源深さの効果の検証

東北地方太平洋沖地震の際に関東平野で長周期地震動の震幅が比較的小さかった原因として、平成 26 年度の研究では関東平野の基盤構造の方位性の影響を評価し、基盤の傾斜が緩い東北方向から入射する地震波に対して、長周期地震動の増幅が小さくなる可能性を議論した。

平野で強く増幅する長周期地震動は、震源近傍の地表で生成し、地表を伝わる表面波がその起源である。表面波の強度は震源の深さに敏感であり、震源が浅いほど表面波は大きくなる。そこで、東北地方で発生した震源深さの異なる二つの地震を用いて、表面波の発生・伝播特性と関東平野での長周期地震動の成長過程を検討した。

図 3-1-⑥-3 は、地震の規模がほぼ等しい 2008 年岩手宮城内陸地震 ($h=6$ km ; $M6.9$) と、2003 年宮城県沖の地震 ($h=74$ km ; $M7.0$) による東北～中部日本にかけての最大地動速度分布 (PGD) を示したものである。震源が浅い岩手宮城内陸地震は、震源近傍での地動は大きいものの、距離とともに地動が急激に弱まる。新潟平野や関東平野などに入射すると地動が大きく増幅される様子が見られる。一方、震源が深い宮城県沖の地震では、距離減衰が小さく地動が緩やかに減衰する特徴や、地震波が沈み込んだ太平洋プレート内を伝わることで、北海道～中部日本の太平洋岸で揺れが大きい「異常震域」を作り出すものの、新潟や関東平野などでの長周期地震動の生成が小さく地動は小さいことがわかる。

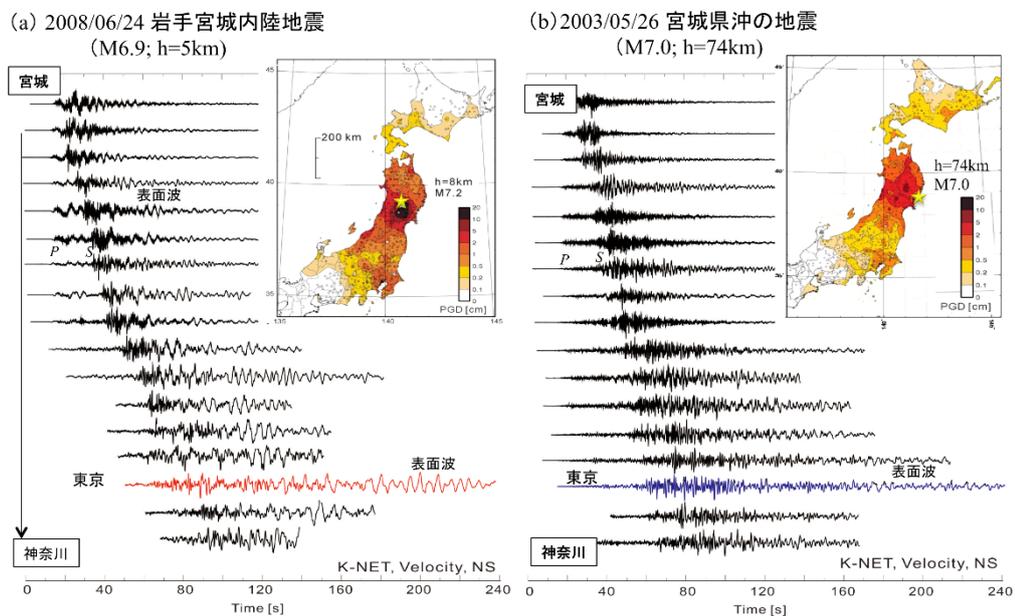


図 3-1-⑥-3 最大地動分布と震源域から関東平野にかけての表面波の生成・伝播特性、(a) 2008 年岩手宮城内陸地震 ($M6.9$; $h=5$ km)、及び (b) 2003 年宮城県沖の地震 ($M7.0$; $h=74$ km)。

こうした、浅い地震と深い地震の揺れの特徴は、地震計記録を震央～関東平野に並べるとよくわかる。浅い地震（2008年岩手宮城内陸地震）では、震源近傍から周期数秒以上の長周期の表面波がS波の後続波として明瞭に見られ、短周期のP波とS波が距離とともに急減するのに対して、長周期の表面波は距離減衰が小さく、伝播するにつれて長い波群へと成長するようすがわかる（図3-1-⑥-3(a)）。関東平野に入射することで、長周期地震動の強い増幅が発生し盆地内に揺れが閉じ込められ、数分を超える長い揺れへと成長している。一方、震源の深い地震（2003年宮城県沖の地震）では、周期1秒以下の短周期の地震動が卓越し、表面波は全く見られない。関東平野に入ると、S波から変換した弱い表面波（盆地生成表面波）が発生し、S波の後続相として小さな震幅の表面波が若干確認できる程度である（図3-1-⑥-3(b)）。

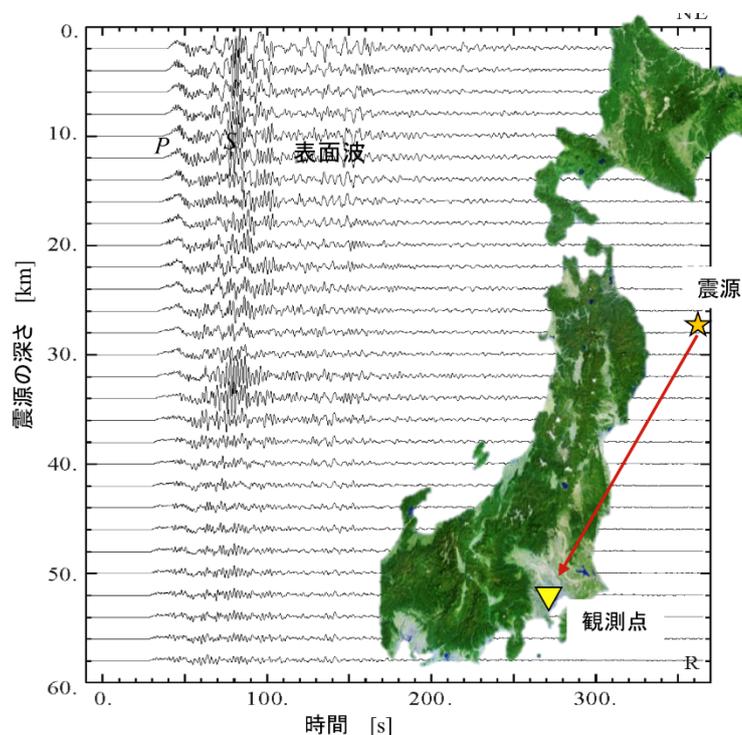


図3-1-⑥-4 震源の深さと、長周期地震動（表面波）の生成強度。宮城県沖の地震に対する関東平野での地震動及び長周期地震動（地動速度、南北成分）を、震源の深さを変えて計算。

次に、震源の深さと表面波そして長周期地震動の生成条件を見るために、東北沖～関東の地下断面をモデル化し、差分法により二次元モデルでの波動伝播を計算した。計算は、相反定理を用いて震源と観測点を入れ替える方法で進めることで、異なる深さの地震に帯する都心の長周期地震動を効率よく一度に評価する計算上の工夫を行った。こうして求められた地震波形（地動速度、南北成分）を見ると、S波に後続する長周期の表面波（Rayleigh波）の震幅が震源の深さととも急激に小さくなり、また表面波の波群も短くなる特徴が再確認できた（図3-1

－⑥－４）。

半無限一様媒質の単純化した地下構造モデルを考えた場合、Rayleigh 波の基本モードの振幅は震源の深さとともに指数関数的に激減し、深さが表面波の波長（例えば、S 波速度が $V_s=3 \text{ km/s}$ の媒質では、周期 6 秒の表面波の波長は 18 km となる）と同程度にまで深くなると、震源が地表にある場合に比べて表面波の振幅は 1/10 の振幅となる。実際には地下構造には不均質性が大きいことを考慮する必要があるが、おおよそ周期 6 秒の長周期地震動の生成には、震源の深さが十数キロ以下であることが一つの必要条件となろう。

東北地方太平洋沖地震において、関東平野での長周期地震動のレベルが小さかった原因は、昨年度検討した関東平野の 3 次元盆地構造と表面波増幅の方位性というメカニズムに加え、日本海溝から急激に沈み込む太平洋プレート上面で起きる地震の震源が深いという要因も大きく関係していると考えられる。

3) 結論ならびに今後の課題

平成 26 年度の研究に引き続き、2011 年東北地方太平洋沖地震による長周期地震動を再評価し、大阪平野や関東平野で観測された長周期地震動のレベルが一般的に考えられているものよりも小さく、過去の M7～8 規模の地震で記録されたレベルと同程度であったことを確認した。特に大阪平野の湾岸部（此花地点）で記録された長周期地震動は、2004 年紀伊半島南東沖地震や 2000 年鳥取県西部地震の観測記録の特性と類似しており、その増幅特性は既知の地下構造（S 波速度構造）を用いることで説明できることが確認できた。

東北地方太平洋沖地震の際に、関東平野や大阪平野で観測された長周期地震動が、地震規模（M9.0）から想定されるレベルよりも小さかった原因として、関東平野の 3 次元基盤構造（盆地構造）による長周期地震動増幅の地震波入射方位依存性というメカニズムに加え、東北沖で起きる地震の震源が深く、表面波の励起が弱いという別の原因も示された。

今後、東北地方太平洋沖地震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ために、引き続き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理解を深めるための研究を継続する。

4) 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.

(3) 平成 28 年度業務計画案

平成 26-27 年度に実装したプロジェクト指向型アーカイブ（プロトタイプ）のユーザー評価やそれにもとづく改良を行い、教訓研修プログラムを検討する。平成 26-27 年度に収集した基礎情報をもとに典型自治体を選択し、復興計画及びその策定に関する課題の分析・抽出を行う。東日本大震災における構造物の被害について、関連情報の追加収集、または震災後の取り組み（対策等）に関する情報の収集を行い、それに基づくとりまとめを行う。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。収集した地震波形データについて、平成 27 年度以降も引き続き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。

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 副センター長・寄附研究部門教授 副センター長・教授 准教授 准教授 特任教授 特任教授 寄附研究部門教授 寄附研究部門教授 寄附研究部門准教授 寄附研究部門准教授 寄附研究部門助教 寄附研究部門助教 寄附研究部門助教 客員准教授	福和伸夫 曾根好徳 野田利弘 廣井悠 長江拓也 護雅史 新井伸夫 北野哲司 武村雅之 都築充雄 田代喬 虎谷健司 野中俊宏 山崎雅人 宮腰淳一
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
国立研究開発法人海洋研究開発機構	招聘上席技術研究員 技術研究員 特任技術研究員	馬場俊孝 今井健太郎 CITAK Seckin Ozgur
東北大学災害科学国際研究所	教授	今村文彦
国立研究開発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 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 佐伯琢磨

	主幹研究員 主幹研究員 契約研究員 契約研究員	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：

直線海岸を有する地域の木造建物被害関数の構築、高精度地震動予測手法の開発とそれによる地震動のデータベース化、防波堤の地震時変形挙動と地盤・建物の動的相互作用を考慮した建物応答予測に関する検討、発災後の電力需給ギャップの想定と電力供給設備対策の現状抽出、開発被害予測手法による巨大地震時の上水道設備の被害と復旧の予測、現在から将来における地震・津波の確率論的ハザード情報を利用した建物被害と人的被害の広域リスク評価、帰宅困難者の移動が地域の避難行動に及ぼす影響の量的把握、および全国 47 都道府県間動的応用一般均衡モデルによる巨大地震時の製油所被災の経済被害の推計を実施した。

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。モデル地区とした徳島市において、これまでに構築した津波被害発生基

準による被害予測を実施する。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。また、地域のハザード・リスク評価に加え、発災時の社会的影響に関する暫定評価を行う。

平成 29 年度：

津波被害軽減に資する対策手法について検討する。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において、当該地域の特性に合わせた津波被害軽減に資する対策の検討を行う。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の効果を数値シミュレーションにより検討する。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 27 年度業務目的

2011 年東北地方太平洋沖地震津波の被害事例における被害発生の影響因子を考慮した被害発生基準の高度化を行う。とくに、直線海岸条件における木造家屋の津波被害に着目し、建築年代や地形条件に応じた被害関数の特徴を定量的に評価する。被害想定対象地域における津波氾濫解析の環境整備を行う。

さらに、現状における広域リスク評価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。地域リスク評価に必要な地盤・建物・ライフラインなどの予測モデルを用いたリスク評価とともに、地域リスク低減のための具体の対策技術を検討する。

(2) 平成 27 年度成果

①津波

(a) 業務の要約

徳島県が整備した津波計算用地形データ、構造物データや国土地理院基盤地図情報よりダウンロードできる地形データ、河川横断測深データなどから、本解析で用いられるように解析用データの整備を行った。

宮城県石巻市から福島県いわき市沿岸における直線海岸を有する地域の木造建物被害関数の構築を行い、その特徴について考察した。それらを踏まえた設計被害関数の構築手法について検討を行った。さらに建築年代別に被害関数を構築し、建築年代別の耐津波性能の違いを明らかにした。

(b) 業務の成果

1) 地形データの整備

南海トラフ巨大地震による被害が極めて広域となることが懸念されているが、すべての地域を対象として津波被害の発生予測を行うことは現実的ではない。そこで、本業務では、被害予測を実施するモデル地域を選定し、その地域における津波被害予測や対応策の効果について検討を行う。

今年度では、徳島市中心市街地をモデル地域と選定し、津波被害予測を行うための基礎データの整備を行った。

a) 徳島市の地形データ

国土地理院基盤地図情報は最小で 5 m 分解能の地形データを提供しているが、全地域をカバーしておらず、欠損している地域もある。徳島県より提供された地形データは、10m 分解能であるが、沿岸部をすべてカバーしている。ここでは、国土地理院基盤地図情報を主として、データが存在しない地域については、徳島県の 10 m メッシュデータから補間することにより、連続的で欠損のない 5 m メッシュでの地形データを生成した。なお、河床の深さも県の地形データや徳島河川国道事務所から入手した河川横断測深データを比較しながら、注意深く作成した（図 3-2-①-1）。

b) 構造物データ・粗度データ

構造物データの作成には徳島県のデータを利用した。徳島県では構造物を 10 m 格子のラインデータとして扱っているが、本解析プログラムではそのような扱いはできないため、線構造を地形の高まりとして、5 m メッシュの地形データに統合した。構造物が健全である場合（破堤無）および破堤する場合（破堤有）の 2 通りの条件を作成した。粗度データも徳島県提供データを利用して作成した。地形データと同様に 10 m メッシュデータをリサンプリングし 5 m メッシュの粗度データを作成した。

c) 開水路、下水路データの整備

来年度実施予定の津波による湛水の排水シミュレーションを行うため、研究対象地域である徳島市沖洲地域と川内地域の開水路、下水路ネットワークデータを整備

した。排水施設と排水機場の排水能力についてもモデル化し、計算の準備を行った
 (図3-2-①-2)。

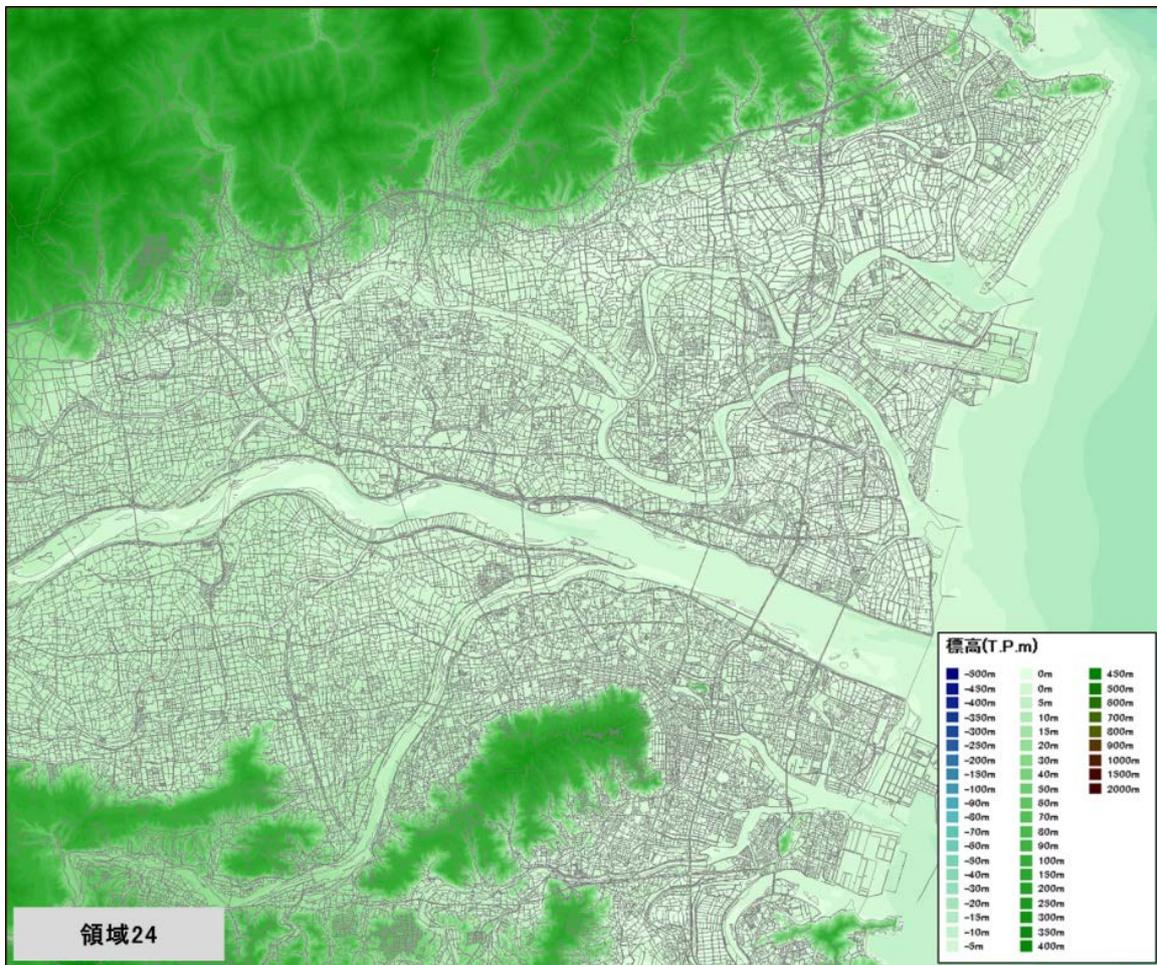


図3-2-①-1 徳島市周辺の地形データ (5m 分解能)

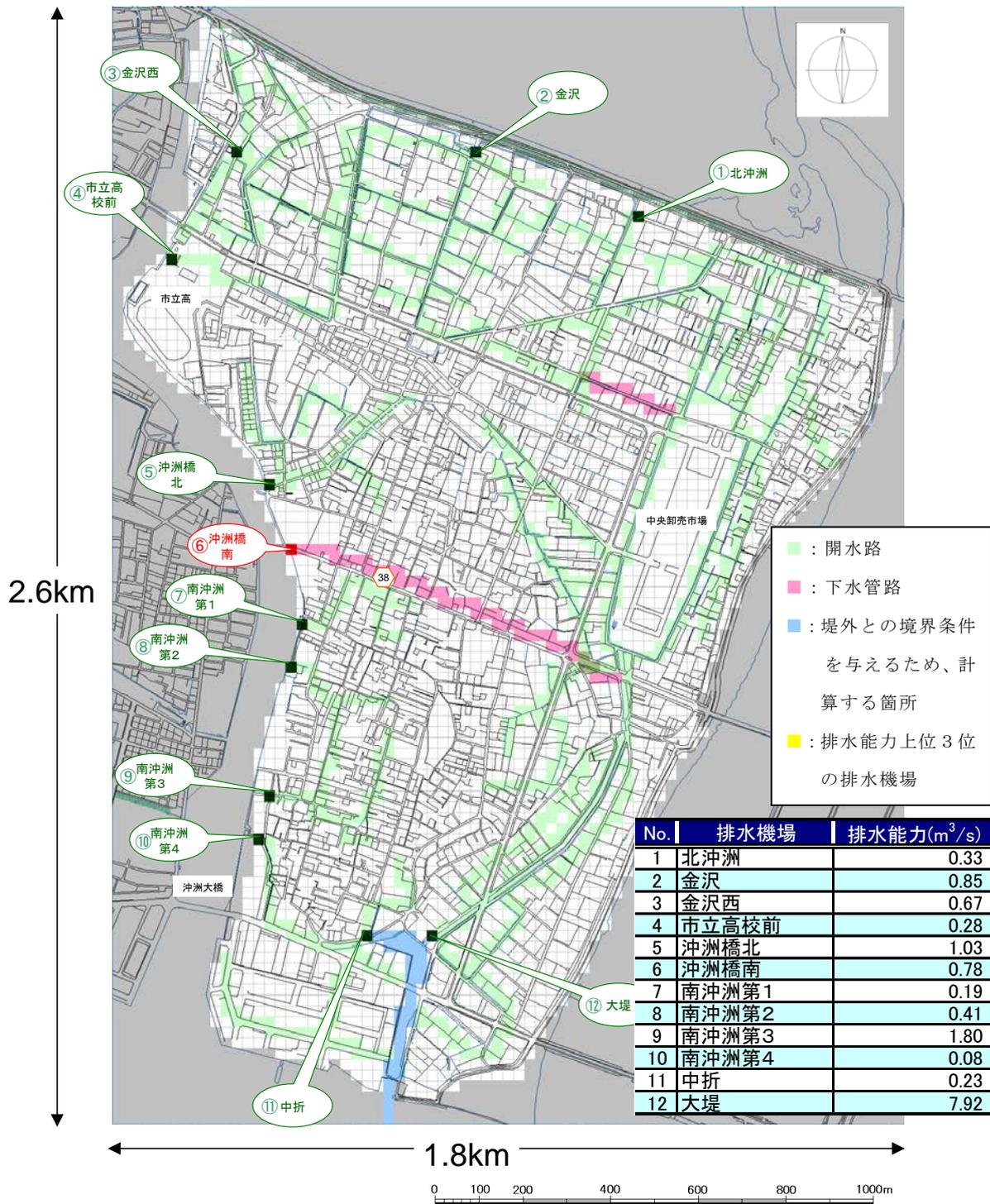


図3-2-①-2 徳島市沖洲地区の排水施設と排水機場の排水能力

2) 直線海岸を有する地域における木造建物の津波被害関数の特徴

津波による建物被害の発生条件は、決定論的アプローチ(松富英夫・首藤伸夫、1994：飯塚秀則・松富英夫、2000)による方法と確率論的アプローチによる方法が提案されている。2004年スマトラ沖地震によるインド洋津波以降、津波による建物被害を確率論的に評価するための被害関数の構築が行われてきた(越村俊一ら、2009)。2011年東北地方太平洋沖地震津波(以下、2011年東北地震津波と記する。)の被害状況をみると、津波流体力のみではなく津波漂流物の衝突による被害も多く存在した。このように、決定論的不確定性の影響を考慮した評価手法が望ましいと考えられる。

地震動による被害関数型に倣い、津波による建物被害関数は正規分布による式(3-2-①-1)で定義される(越村俊一ら、2009)。

$$P_D(x) = \Phi\left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right] = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} dt \quad (3-2-①-1)$$

ここで、 x は外力指標であり、津波浸水深や流体力が選ばれる。 μ 、 σ は x の平均値と標準偏差を示す。

2011年東北地震津波においても、多くの被害関数構築が行われている(例えば、越村俊一・郷右近英臣、2012：Suppasri, A., et al., 2012；Suppasri, A., et al., 2013)。Suppasri A., et al. (2012; 2013)は、2011年東北地震津波による宮城県石巻市の建物被害データに基づき、諸種の建物被害関数を構築し、以下の知見を得た。①建築種別について、被害程度は構造的材質やそのサイズにより被害程度は変化する。RC造と鉄骨造はこれまでの指標よりも被害程度は低く、石造や木造についてはそれらより脆く、そして被害程度についてもバラつきがある。②建物階数については、1・2階建ての構造物より、3階建て以上の構造物の方が明らかに構造物被害程度は低い。③地形的要因として、リアス式海岸と直線海岸の家屋被害状況を比較すると、同じ浸水深でも被害程度はリアス式海岸の方が被害率は高い傾向にある(図3-2-①-3)。④建築年代として、1971～1981年代に建設されたものより、1981年以降に建設されたものの方が若干ではあるが、被害程度が低い傾向がある。ただし、データ数が限定的なことなどから、より詳細な検討が必要となることを示した。

成田裕也・越村俊一(2015)は、湾地形の特徴、建物の分布、海岸保全施設、標高・地形勾配という観点で地域特性を定量的に評価し、主成分分析を用いて、19の湾地域を分類するための6つの主成分を得た。さらに、主成分得点に基づくクラスター分析による類型の結果、湾地域の津波被害関数を6種類に分類できることを示した。ただし、成田・越村(2015)が対象とした地域はリアス海岸であり、直線海岸を有する地域への適用性については検討が必要である。

これらの研究成果を踏まえ、本研究では、宮城県石巻市から福島県いわき市沿岸における直線海岸を有する地域の木造建物被害関数の構築を行い、その特徴について考察し、被害関数の設計手法に関する検討を行う。

a)津波による建物被害データ

本研究では、2011年東北地震津波の建物被害データ(国土交通省都市局、2016)のうち、直線海岸を有する地域のデータを活用した。表3-2-①-1に2011年東北地震津波における宮城県以南における直線海岸を有する地域の建物被害データの諸元を示す。用いた地域として、宮城県では石巻市(石巻平野のみ)、東松島市、多賀城市、仙台市、名取市、岩沼市、亘理町、山元町である。福島県では新地町、相馬市、南相馬市、いわき市である。解析に利用したデータ情報は、家屋被害への影響が確認されている因子(Suppasri, A., et al., 2013)を抽出し、津波浸水深、建築構造情報(RC・コンクリート造、鉄骨造、木造、ブロック造などその他)、建築年代情報、接道情報を利用した。接道条件は、道路沿いに津波が氾濫する様子が確認されていることから、建物被害の条件に大きく寄与していることが推測されるため、詳細な解析を行う際に必要と考えられるが、欠損地域が多かったため本解析には利用しなかった。

代表的な地形勾配として、該当地域の沿岸方向に約0.5~1km区間で分割し、汀線に直交する方向の地形勾配を算出し、その平均を求めた。なお、本研究の対象地域は傾斜区分としては0.01以下の平野地形に区分される(若松加寿江・松岡昌志、2009)。

2011年東北地震津波による建物被害について、国土交通省は6つに分類しており、LV1は小破、LV2は中破、LV3は大破、LV4は部分全壊、LV5は全壊、LV6は流出と定義している。本検討では、復旧可能なLV1-3は解析対象外とし、LV4-5の全壊とLV6の流出を解析対象とした。

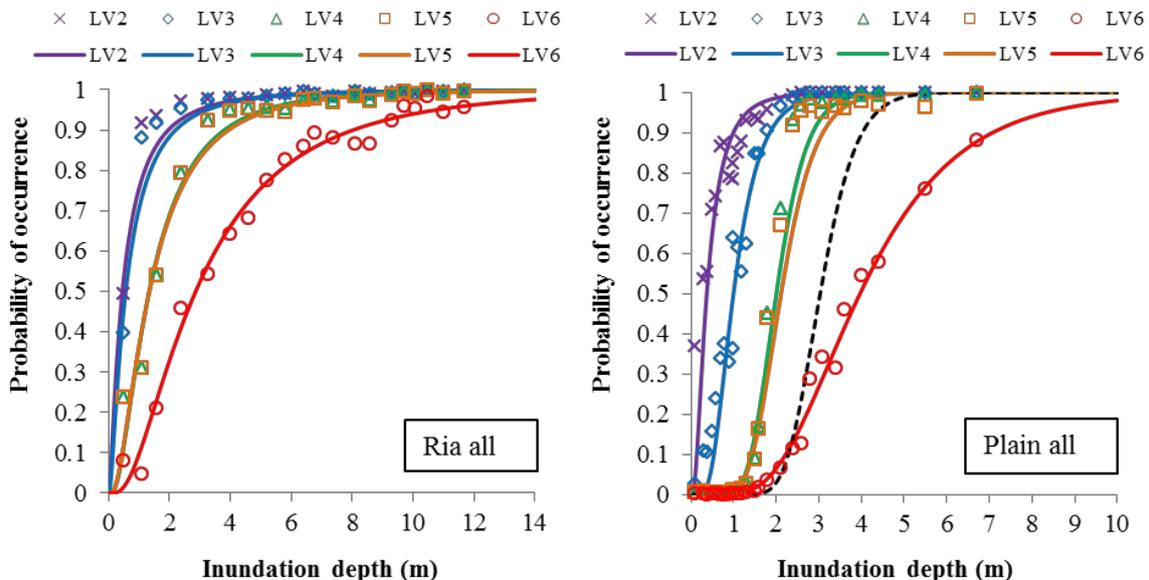


図3-2-①-3 海岸線の違いによる津波被害関数の違い(Suppasri, A., et al., 2012)。左図はリアス海岸地域、右図は直線海岸(平野)地域を示す。被害程度の凡例は国土交通省の定義に従い、LV1は小破、LV2は中破、LV3は大破、LV4は部分全壊、LV5は全壊、LV6は流出を示す。

表 3-2-①-1 2011 年東北地震津波における宮城県以南における直線海岸を有する地域の建物被害データの諸元

地域		浸水域内の全建物数	浸水深情報	建築構造情報	建築年代情報	建物階数情報	接道情報	代表的な地形勾配
宮城県	石巻市	68,596	68,596	53,557	618	32,451	NaN	1.15E-03
	東松島市	24,547	23,525	22,561	13,541	15,242	24,547	1.17E-03
	多賀城市	5,331	5,331	5,331	NaN	5,331	5,304	1.25E-03
	仙台市	11,683	11,486	9,650	8,006	9,575	11,656	1.36E-03
	名取市	5,333	5,333	4,242	2,466	4,242	5,333	7.99E-04
	岩沼市	5,237	4,499	3,069	225	3,069	NaN	4.93E-04
	亶理町	8,833	8,833	5,894	379	1,177	NaN	6.28E-04
	山元町	8,384	8,384	5,877	456	2,934	NaN	1.21E-03
福島県	新地町	1,512	1,512	761	361	498	908	4.71E-03
	相馬市	3,802	3,802	3,422	3,802	3,798	1,593	6.92E-03
	南相馬市	4,553	4,553	2,272	1,284	1,652	1,509	4.47E-03
	いわき市	9,694	9,694	9,694	NaN	7,490	NaN	2.86E-03

b) 各地域における木造建物の被害関数

図3-2-①-4(a)、(b)に各地域における木造建物における全壊被害となる被害関数を示す。全体的な傾向として、浸水深が1m以下であれば、全壊率は10%以下であるが、浸水深がそれを越えると、全壊率は急激に上昇することがわかる。仙台市や相馬市、南相馬市、いわき市では、浸水深は6m以上、その他の地域では浸水深が4mを越えると全壊率が100%となることがわかる。また、被害率の上昇率は地域によって若干ではあるが異なることがわかる。

図3-2-①-5(a)、(b)に各地域における木造建物における流出被害となる被害関数を示す。全体的な傾向として、浸水深が2m以下であれば、流出被害確率は10%以下であるが、浸水深がそれを越えると、流出率は急激に上昇することがわかる。全壊被害と同様に、流出率の上昇率は地域によって若干ではあるが異なることがわかる。

地域の違いによる被害関数が異なる要因を明らかにするために、式(3-2-①-1)中の μ と σ について、各地域における平均地形勾配*i*と堅牢建物混成率 Mr の関係を調べた。ここで、木造建物よりも堅牢となるRC造や鉄骨造を堅牢建物と定義し、浸水域内の全建物中の堅牢建物の割合を Mr と定義した。

図3-2-①-6に地形勾配と各係数の関係を示す。 μ と地形勾配の間には相関は認められないが、 σ については地形勾配が大きくなるにつれて増加する傾向にあることがわかる。また、これらの傾向は全壊・流出被害に関わらず同様であることがわかる。

図3-2-①-7に堅牢建物混成率 Mr と各係数の関係を示す。 μ については、地形勾配と同様に、これらの間には相関は認められないが、 σ については Mr が大きくなるにつれて減少する傾向にあることがわかる。また、これらの傾向については、全壊・流出被害に関わらず同様であることがわかる。

本解析範囲において設計被害関数の構築を試みる。上述から、 μ については地形勾配や Mr の依存性は確認できなかったことから、被害形態毎に一定値を与えることにする。全壊被害の場合には $\mu=2.26\pm 0.51$ とし、安全側での設計を行う場合には、 $\mu=2.26-0.51$ を採用すれば良いであろう。流出被害の場合には、 $\mu=3.57\pm 0.52$ とし、安全側での設計を行う場合には、 $\mu=3.57-0.52$ を採用すれば良いであろう。

σ については、*i*や Mr への依存性が認められたことから、以下の式型で与える。全壊被害の場合には、

$$\sigma = 11.96i^{0.42}Mr^{-0.05} \pm 0.2 \quad (3-2-①-2)$$

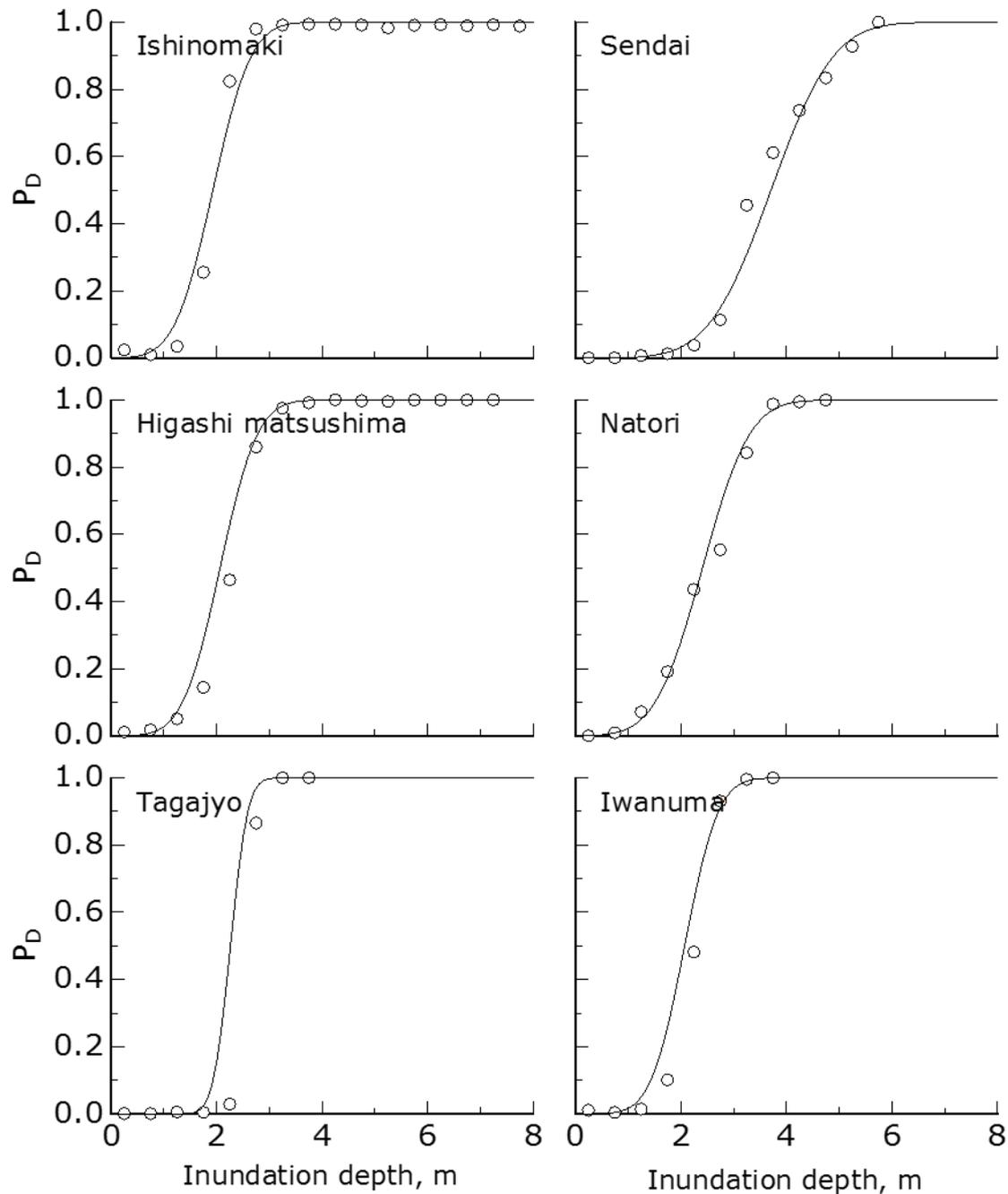
流出被害の場合には、

$$\sigma = 2.45i^{0.14}Mr^{-0.09} \pm 0.2 \quad (3-2-①-3)$$

図3-2-①-8に σ の観測値と計算値の整合性を示す。多少のばらつきはあるものの、おおむね整合していることがわかる。なお、決定係数は全壊被害の場合に0.78、流出被害の場合に0.71である。

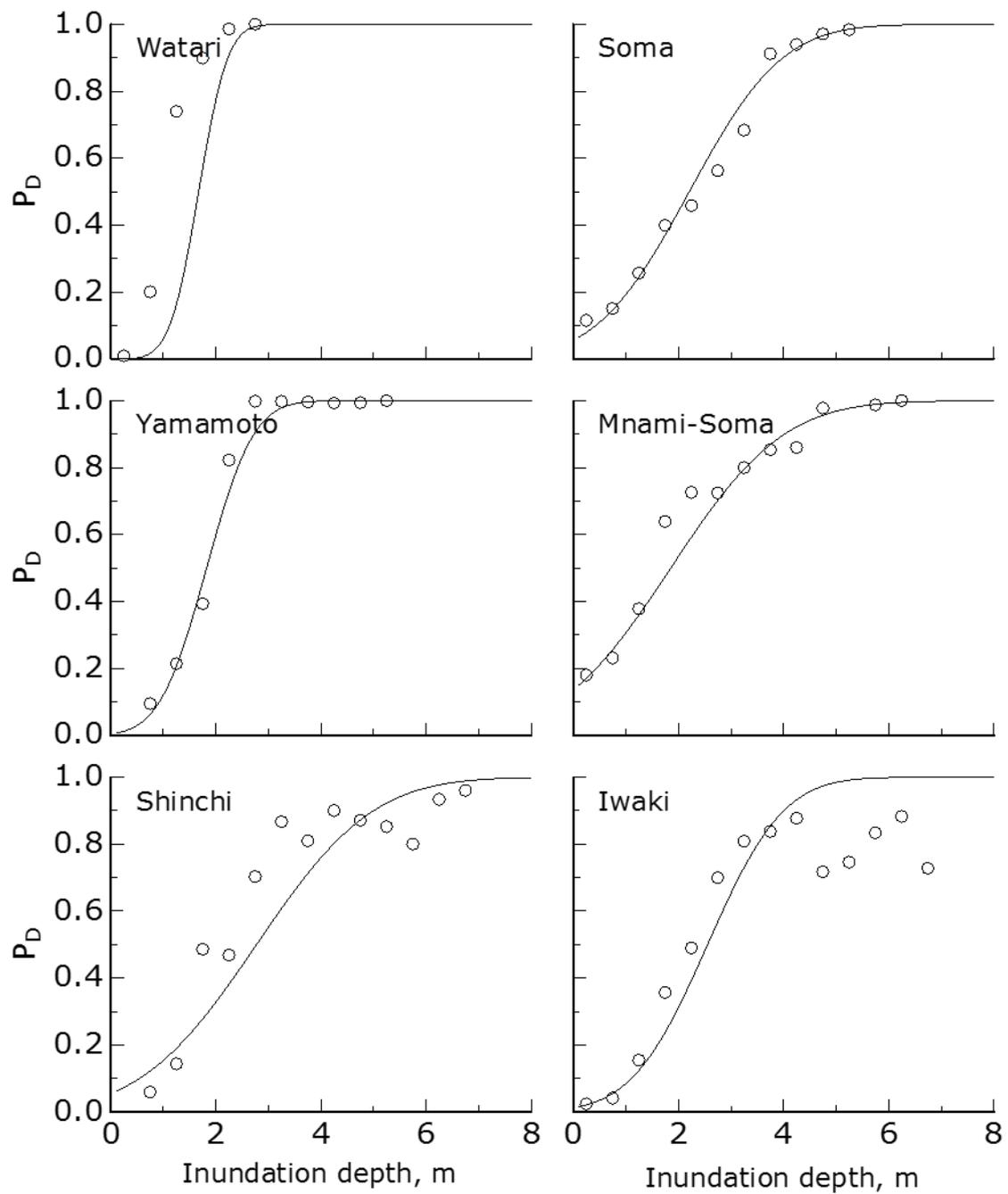
図3-2-①-9に建物流出に関する被害関数と設計被害関数の比較の一例(仙台市)を示す。ここで、図中の1点鎖線は $\mu=3.57$ 、 $\sigma = 2.45i^{0.14}Mr^{-0.09}$ を用いた場合

であり、平均的な流出被害に関する設計被害関数を示す。2点鎖線は $\mu=3.02$ 、 $\sigma=2.45i^{0.14}Mr^{-0.09}+0.2$ を用いた場合であり、より安全側で流出被害に関する設計被害関数である。いずれにせよ、観測に基づいた被害関数に比べて安全側の設計曲線となることがわかる。



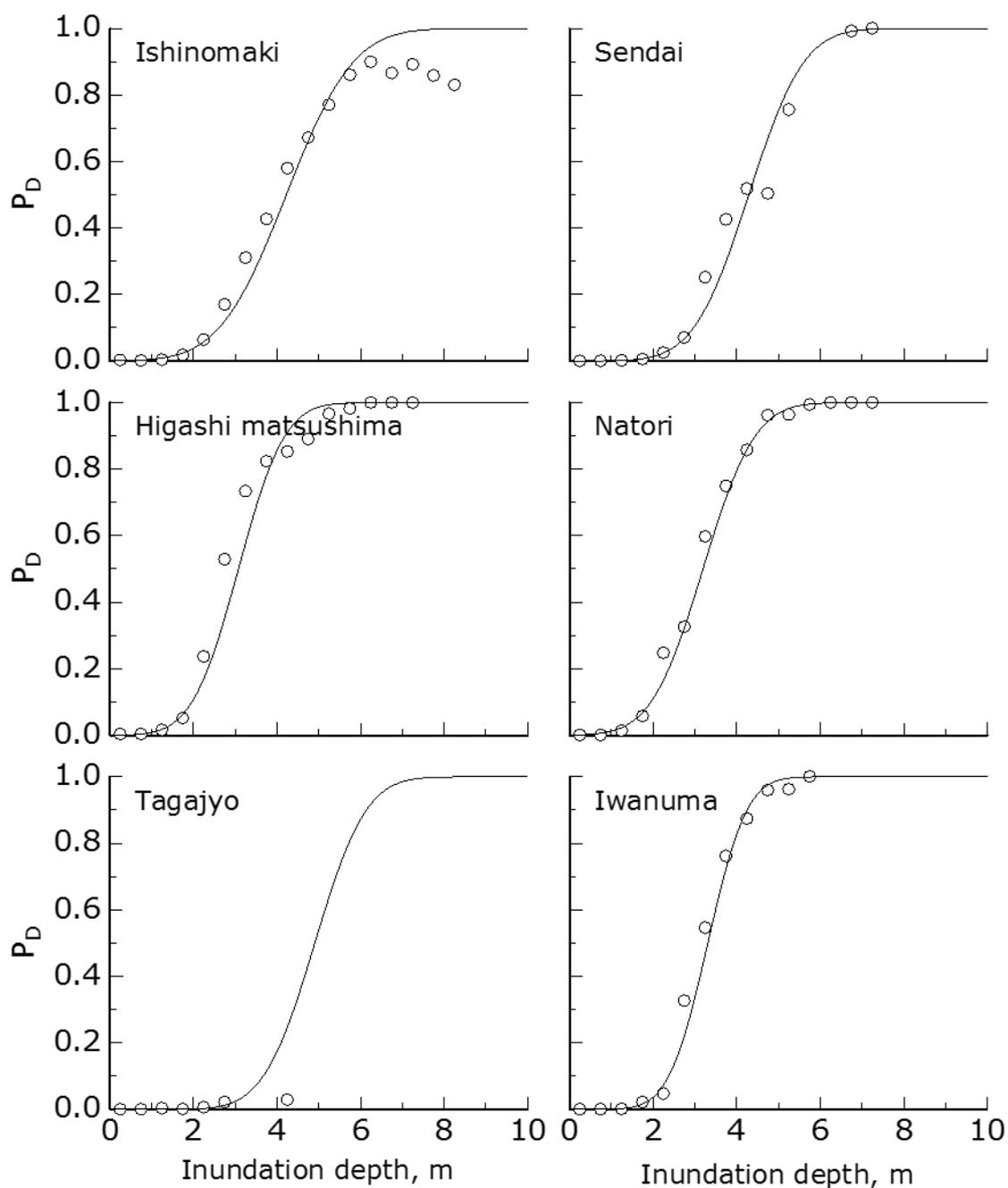
(a) 石巻市、東松島、多賀城、仙台、名取、岩沼

図3-2-①-4 各地域における木造建物の全壊となる被害関数。図中の○は観測値、実線は被害関数曲線を示す。



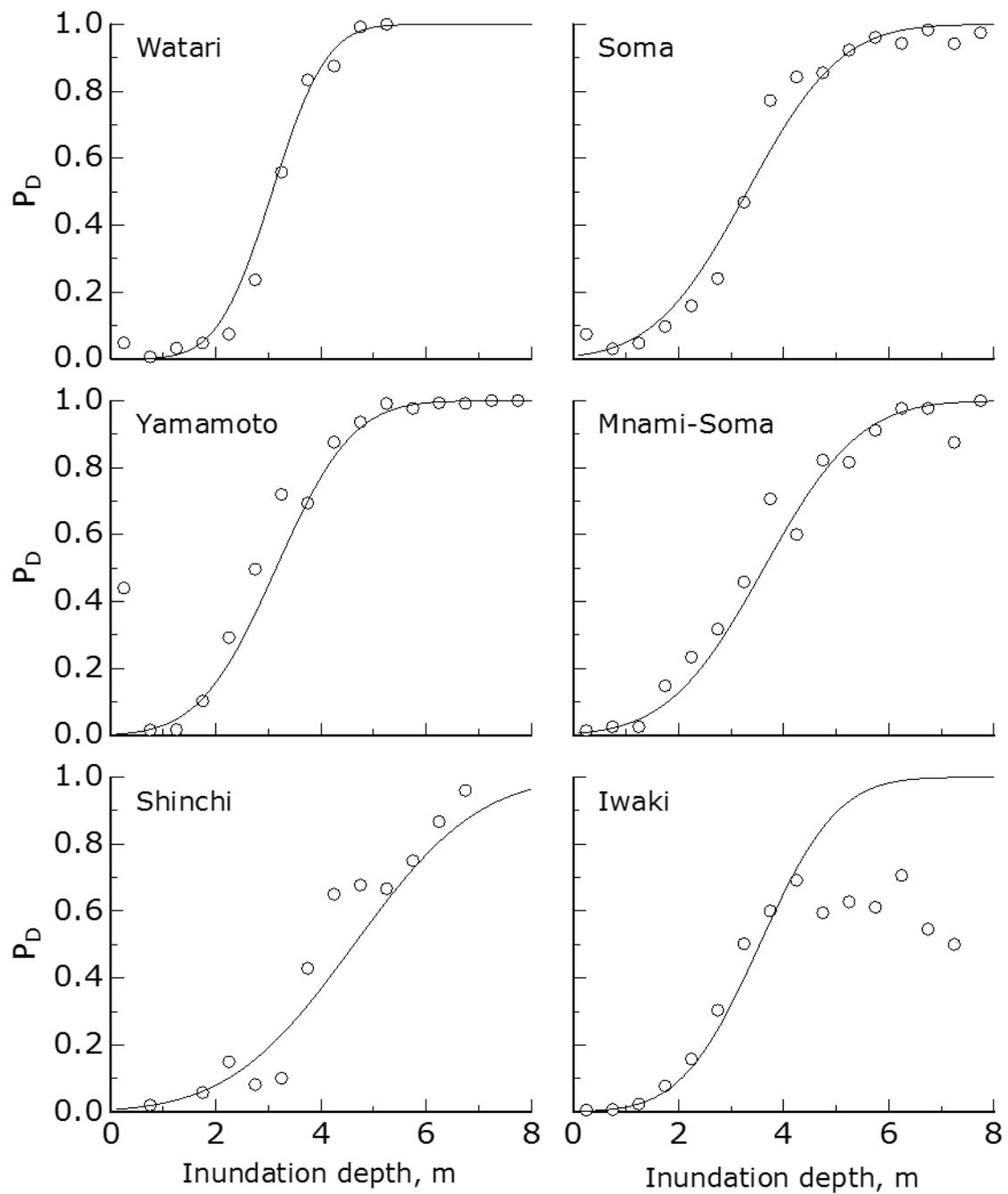
(b) 亘理、山元、新地、相馬、南相馬、いわき

図 3-2-①-4 つづき 各地域における木造建物の全壊被害関数。図中の○は観測値、実線は被害関数曲線を示す。



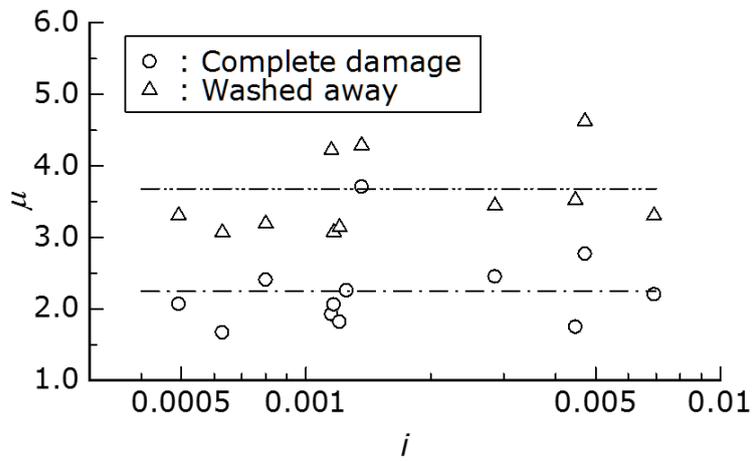
(a) 石巻市、東松島、多賀城、仙台、名取、岩沼

図 3 - 2 - ① - 5 各地域における木造建物の流出被害関数。図中の○は観測値、実線は被害関数曲線を示す。

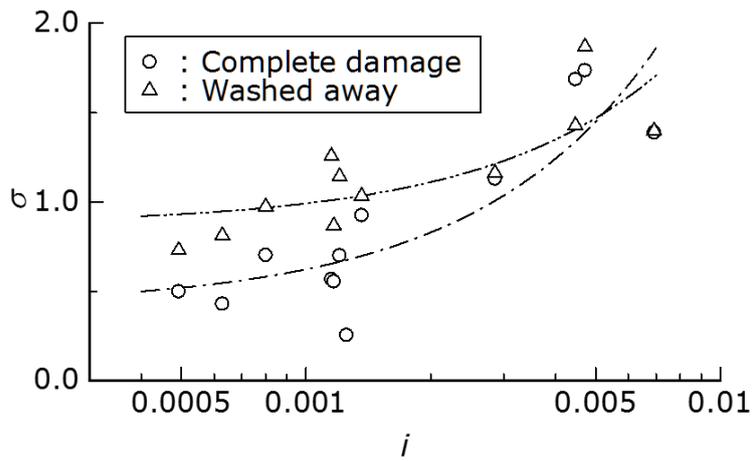


(b) 亘理、山元、新地、相馬、南相馬、いわき

図 3-2-①-5 つづき 各地域における木造建物の流出被害関数。図中の○は観測値、実線は被害関数曲線を示す。

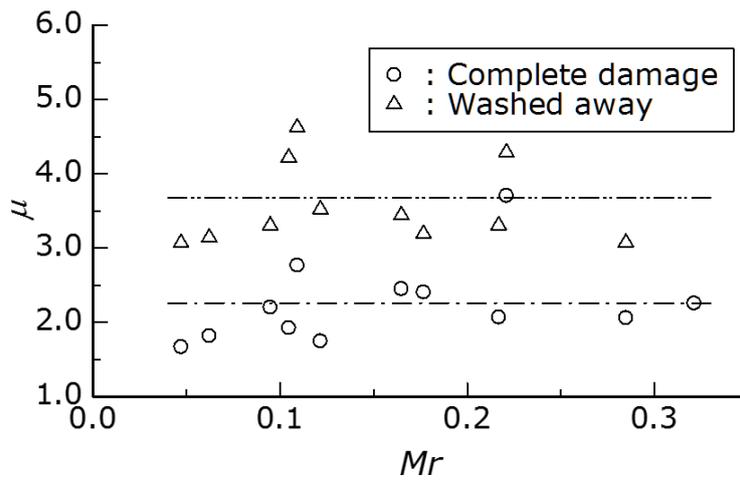


(a) μ

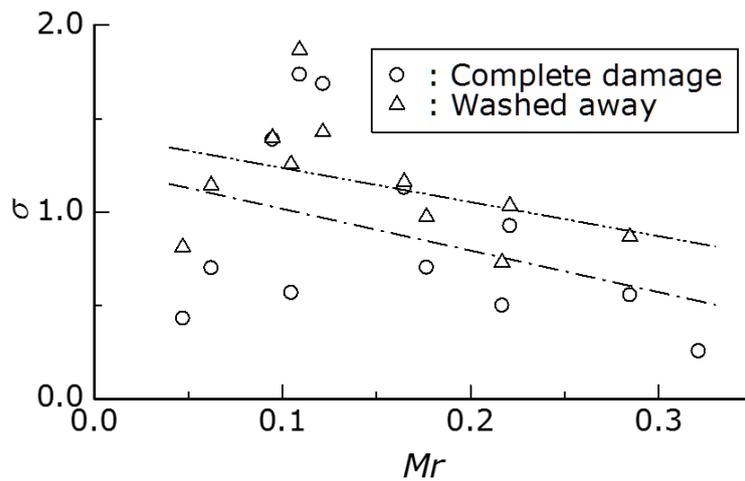


(b) σ

図 3 - 2 - ① - 6 地形勾配と各係数の関係。図中の 1 点鎖線は全壊被害、2 点鎖線は流出被害に関するおおよその傾向を示している。



(a) μ



(b) σ

図 3 - 2 - ① - 7 堅牢建物混成率 Mr と各係数の関係。図中の 1 点鎖線は全壊被害、2 点鎖線は流出被害に関するおおよその傾向を示している。

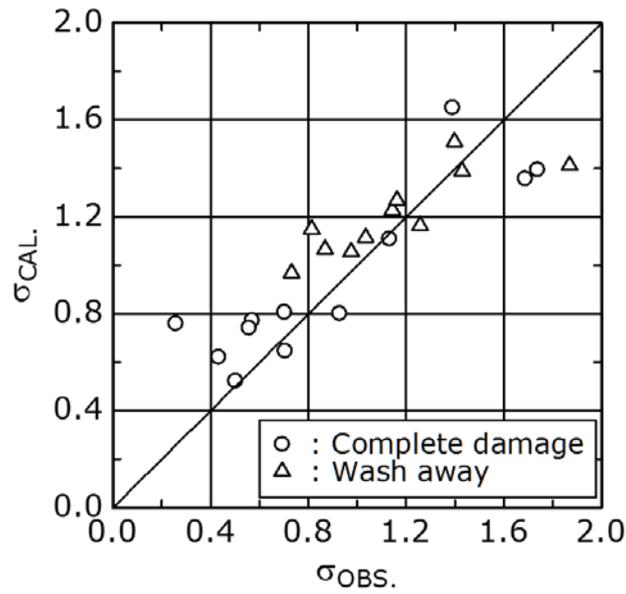


図 3 - 2 - ① - 8 σ の観測値と計算値の整合性

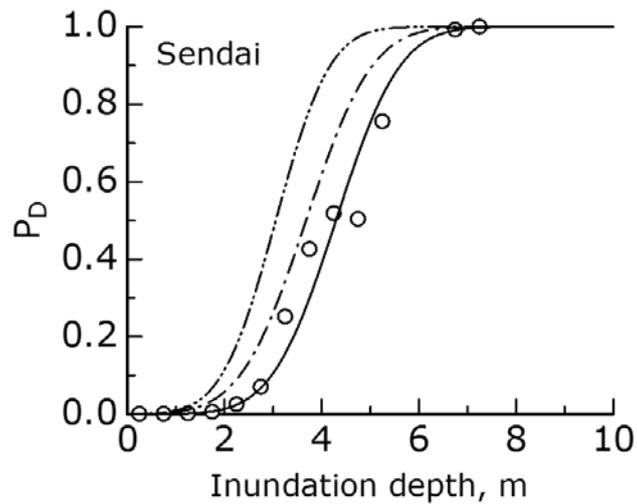


図 3 - 2 - ① - 9 建物流出に関する被害関数と設計被害関数の比較 (仙台市)、図中の○は観測値、実線は観測値に基づく被害関数曲線、1点鎖線は $\mu=3.57$ 、 $\sigma=2.45i^{0.14}Mr^{-0.09}$ を用いた場合、2点鎖線は $\mu=3.02$ 、 $\sigma=2.45i^{0.14}Mr^{-0.09}-0.2$ を用いた場合の被害関数曲線を示す。

c) 建築年代に着目した木造建物の被害関数

木造建物の強度は、経年劣化はもちろんであるが建築基準法による耐力設計の様が大きく影響することは地震動による被害状況からは明白である(村尾修・山崎文雄、2000)。耐震基準の変遷としては、1920年以降、激甚地震被害の発生の度に見直されてきた。特に、1981年の建築基準法の改正により地震動被害は激減した。さらに、2000年の建築基準法解析により柱梁に係る各箇所にあった金物緊結が定められた。これらは、主として耐震のための基準である。そのため、津波耐力に直接結びつく訳ではないが構造強化という意味では影響はあると考えられる。

河野あすみ(2015)は建築年代別にみる施工法の違いや平面計画の特性を調べ、それらの特性を踏まえた木造建物のモデル化に基づく住宅倒壊解析を行い、1995年兵庫県南部地震の事例からその妥当性を検討した。この中で、家屋内の間仕切りの影響が大きいことを指摘している。2000年の建築基準法改正では、家屋内の間仕切り(壁の配置)のバランスが規定された。津波作用力はおもに外壁材に作用するため、この間仕切りが大きく影響することが推察される。

以上から、建築年代の区間分けとしては、1981年以前、1981年～2000年、2000年以降に分けて木造建物の被害関数を構築した。

図3-2-①-10に建築年代に応じた木造建物の全壊被害関数を示す。図中の(a)はすべての年代、(b)は1981年以前、(c)は1981年から2000年の間、(d)は2000年以降を示している。図から浸水深が5 mを越える場合には、すべてのケースで全壊率が100%となることがわかる。5 m以下の場合には(a)の場合に比べて(b)は脆弱な傾向にあり、(c)および(d)の場合は(a)に比べて堅牢となる傾向が確認できる。具体的には津波浸水深が2 m程度の時に(b)では35%程度の全壊率であるのに対し、(d)では17%程度となる。これは柱梁に係る各箇所にあった金物緊結の影響や壁の配置のバランスが大きく影響していると考えられる。

図3-2-①-11に建築年代に応じた木造建物の流出被害関数を示す。流出被害については、(a)、(b)、(c)の傾向は全壊被害の場合と同程度であるが、(d)の場合には、他の場合と比べて耐流出性を確認することができる。具体的には津波浸水深が3 m程度の時に(b)では32%程度の全壊率であるのに対し、(d)では19%程度となる。これは柱梁に係る各箇所にあった金物緊結の影響が大きく影響していると考えられる。

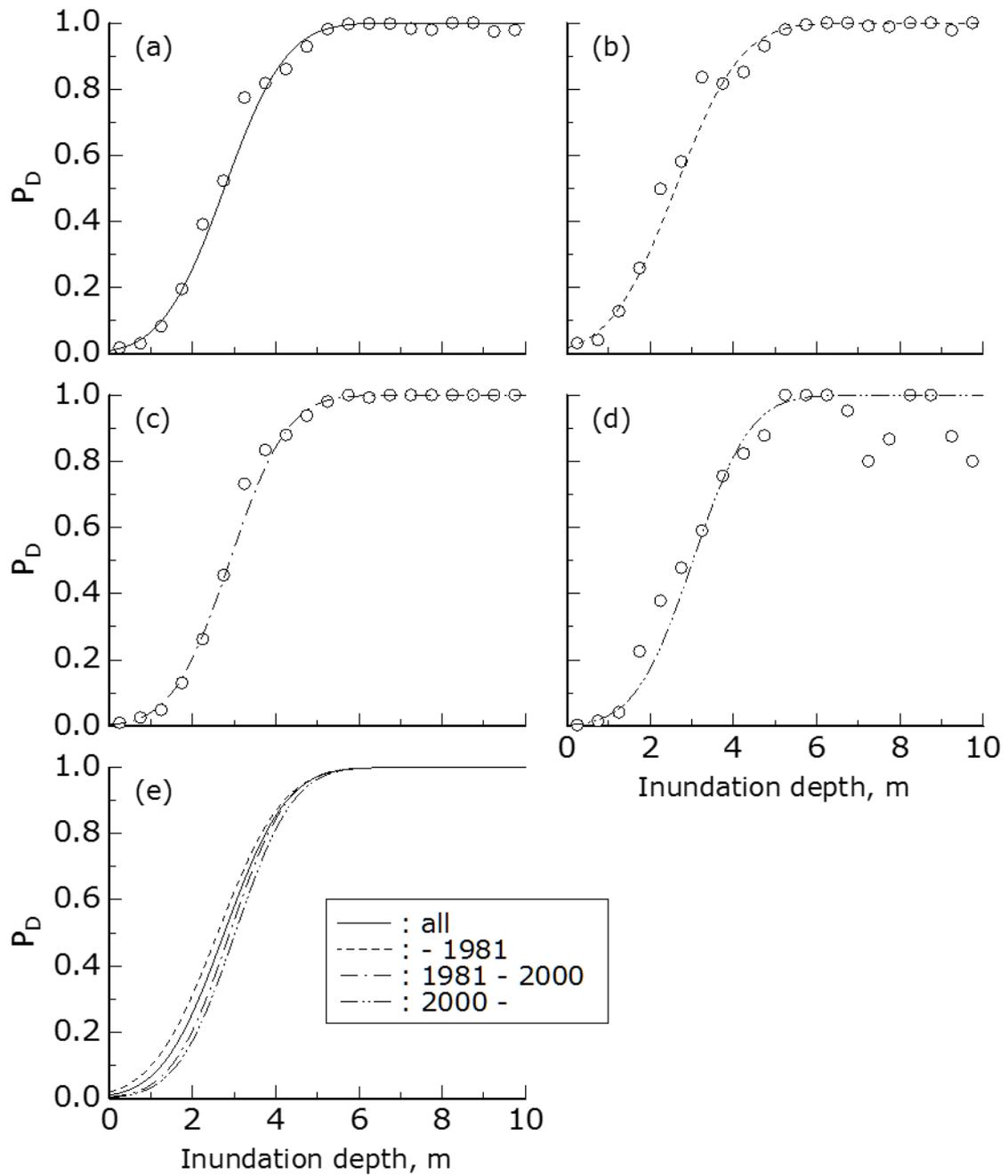


図3-2-①-10 建築年代に応じた木造建物の全壊被害関数。(a)はすべての年代、(b)は1981年以前、(c)は1981年から2000年の間、(d)は2000年以降、(e)は各関数の比較を示す。

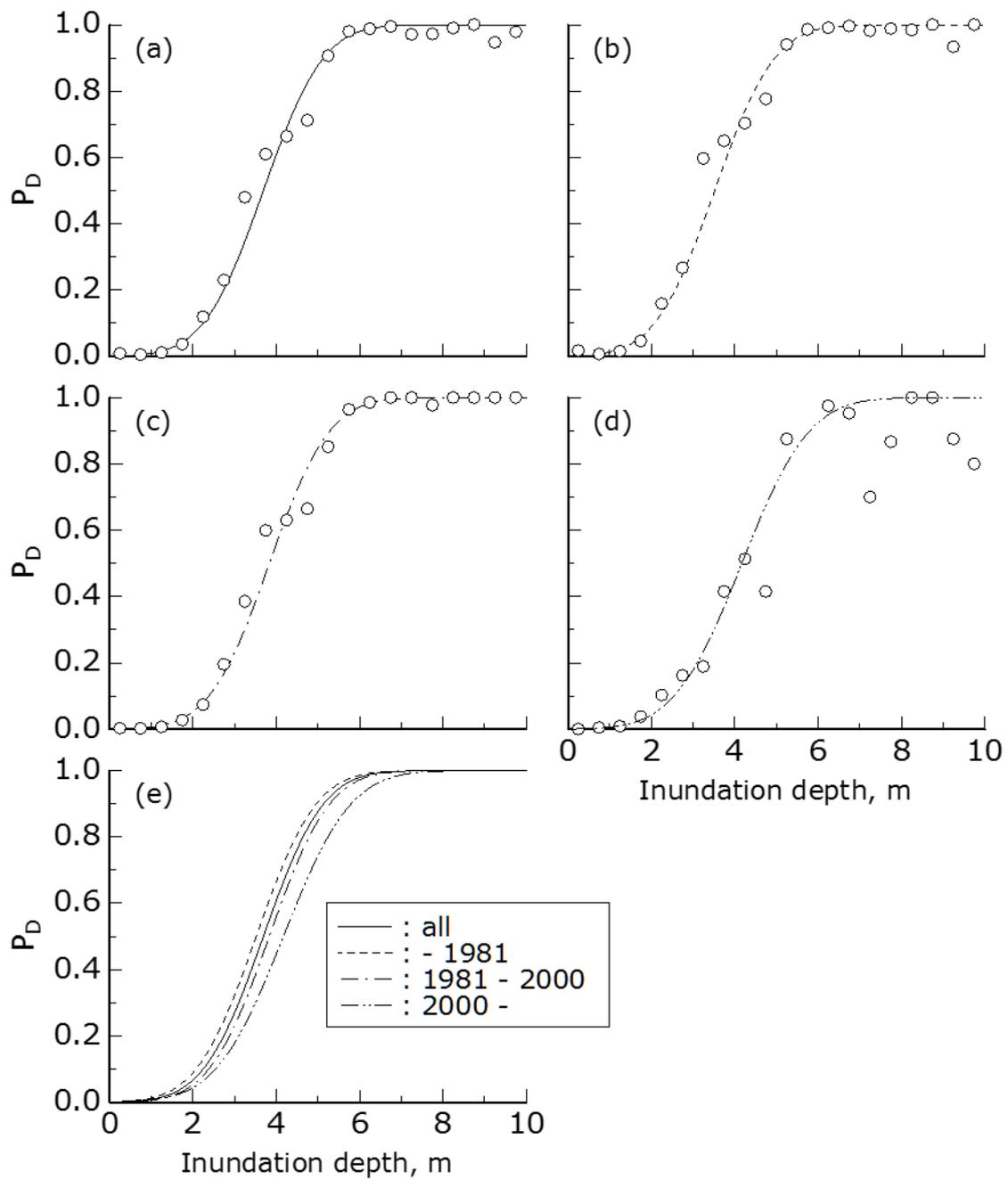


図3-2-①-11 建築年代に応じた木造建物の流出被害関数。(a)はすべての年代、(b)は1981年以前、(c)は1981年から2000年の間、(d)は2000年以降、(e)は各関数の比較を示す。

(c) 結論ならびに今後の課題

津波解析用のデータの整備を行った。いくつかのデータソースをコンパイルすることにより、入力データを整備した。

2011年東北地震津波における直線海岸を有する地域の木造建物に対する被害関数を構築した。さらに、被害関数の地形勾配や堅牢建物混成率の影響について検討を行い、その特性を踏まえた設計被害関数の構築手法について検討を行った。さらに建築年代別に被害関数を構築し、建築年代別の耐津波性能の違いを明らかにした。

本業務では、直線海岸を有する地域のみを対象としたが、既往研究を踏まえつつ湾地形の場合についても検討する必要がある。

来年度はこれらのデータと建物被害関数を用いて、津波被害予測と津波湛水後の排水シミュレーションを実施する予定である。

謝 辞：2011年東北地震津波の建物被害データは国土交通省都市局「東日本大震災津波被災市街地復興支援調査」の成果を利用しました。ここに記して謝意を表します。

(d) 引用文献

- 1) 飯塚秀則・松富英夫、津波氾濫流の被害想定、海岸工学論文集、第47巻、pp.381-385、2000.
- 2) 河野あすみ、建築年代別の家屋特性を考慮した木造家屋モデルを用いた倒壊要因の分析、高知工科大学修士論文、32p、2015.
- 3) 国土交通省都市局、東日本大震災津波被災市街地復興支援調査、<http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/default/about>、参照 2016-3-11.
- 4) 越村俊一・行谷佑一・柳澤英明、津波被害関数の構築、土木学会論文集 B、Vol.65、No.4、320-331、2009.
- 5) 越村俊一・郷右近英臣、2011年東北地方太平洋沖地震津波災害における建物脆弱性と津波被害関数、土木学会論文集 B2(海岸工学)、vol.68、No.2、pp.I 336-I 340、2012.
- 6) 松富英夫・首籐伸夫、津波の浸水深、流速と家屋被害、海岸工学講演会論文集、第41巻、pp.246-250、1994.
- 7) 村尾修・山崎文雄、自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数、日本建築学会構造系論文集、527、189-196、2000.
- 8) 成田裕也・越村俊一、津波被害の地域特性に基づく津波被害関数の類型化、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol. 71、No. 2、I_331—I_336、2015.
- 9) Suppasri, A., K. Imai, F. Imamura, S. Koshimura, Comparison of casualty and building damage between Sanriku ria coast and Sendai plain coast based on the 2011 Great East Japan Tsunami, *Proceedings of Coastal Engineering, JSCE*, 3, 76-80, 2012.
- 10) Suppasri, A., E. Mas, I. Charvet, R. Gunasekera, K. Imai, Y. Fukutani, Y. Abe and F. Imamura : Building damage characteristics based on surveyed data and fragility curves of the 2011 Great East Japan tsunami, *Natural Hazards*, 66 (2), pp.319-341, 2013.

- 11)若松加寿江・松岡昌志、全国を網羅した地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築、第3回シンポジウム「統合化地下構造データベースの構築」予稿集、pp.15-20、2009.

②地震動

(a) 業務の要約

地盤震動の研究の実施方法としては、弾性論に基づくグリーン関数の相反性を利用して、多数の震源による地震動を表すグリーン関数を有限差分法によりデータベース化し、これを重ね合わせることで任意の地震による地震動を合成する方法を提案した。使用例として、濃尾平野の周囲に存在する活断層の地震について、主要な地点での地震動を予測した。

(b) 業務の実施方法

地震によって生じる地震動は以下のように表すことができる。

$$u_i(\mathbf{x}, t) = \sum_{p=1}^3 \sum_{q=1}^3 \int_{-\infty}^t \int_V \frac{\partial G_{ip}(\mathbf{x}, t-\tau; \boldsymbol{\xi}, 0)}{\partial \xi_q} m_{pq}(\boldsymbol{\xi}, \tau) dV d\tau \quad (3-2-②-1)$$

上記は、震源域 V での地震によって生じる観測点 \mathbf{x} における時刻 t での変位の i 成分を表している。 $\boldsymbol{\xi}$ は震源域内での座標、 m_{pq} はモーメントテンソル密度である。

$G_{ip}(\mathbf{x}, t-\tau; \boldsymbol{\xi}, 0)$ は、位置 $\boldsymbol{\xi}$ でのインパルス力によって位置 \mathbf{x} に生じる変位を表す関数であり、グリーン関数と呼ばれる。このグリーン関数について、以下のような相反定理が成立する。

$$G_{ip}(\mathbf{x}, t-\tau; \boldsymbol{\xi}, 0) = G_{pi}(\boldsymbol{\xi}, t-\tau; \mathbf{x}, 0) \quad (3-2-②-2)$$

上記の式 (3-2-②-2) を式 (3-2-②-1) へ代入すると、次式のようになる。

$$u_i(\mathbf{x}, t) = \sum_{p=1}^3 \sum_{q=1}^3 \int_{-\infty}^t \int_V \frac{\partial G_{pi}(\boldsymbol{\xi}, t-\tau; \mathbf{x}, 0)}{\partial \xi_q} m_{pq}(\boldsymbol{\xi}, \tau) dV d\tau \quad (3-2-②-3)$$

この式より、観測点においてインパルス力を加えたときの震源位置での変位勾配テンソル（これはすぐに歪テンソルに変換できる）が、震源位置でのモーメントテンソルの解放による観測点での変位に等しいことが分かる。

有限差分法の特徴として、ひとつの震源による計算領域全体での変位を計算できることが挙げられる。考慮すべき震源が M 種類ある場合、すべての地震による地震動を計算するには、 M 回の計算が必要である。一方、グリーン関数の相反性を利用する場合は、各震源位置から観測点へのグリーン関数のセットを得るために、観測点数を N とすると $3N$ 回の計算が必要である。しかしながら、あらかじめグリーン関数のセットを計算しておけば、任意の震源でのあらゆる断層破壊について、グリーン関数の重ね合わせを行うだけで地震動を評価することが可能となる。これは N が小さく M が大きい場合、例えば

重要建物の建設地点における多くの想定地震による地震動を計算する場合などにおいて特に有用である。

想定する地震の震源断層を小さな要素断層の集合として近似する。 n 個の要素断層からなる震源断層での地震による速度波形は、以下の式で表される。

$$v_i(\mathbf{x}, t) = \sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^3 \sum_{q=1}^3 \int_{-\infty}^t H_{ipq}(\mathbf{x}, t - \tau; \boldsymbol{\xi}_j, 0) \frac{M_{jpq}(\tau)}{d\tau} d\tau \quad (3-2-②-4)$$

ここで $\boldsymbol{\xi}_j$ は j 番目の要素断層の位置、 $M_{jpq}(\tau)$ はモーメントテンソルの累積解放量、 H_{ipq} は次式で定義されるグリーン関数である。

$$H_{ipq}(\mathbf{x}, t - \tau; \boldsymbol{\xi}_j, 0) = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial G_{pi}(\boldsymbol{\xi}, t - \tau; \mathbf{x}, 0)}{\partial \xi_q} + \frac{\partial G_{qi}(\boldsymbol{\xi}, t - \tau; \mathbf{x}, 0)}{\partial \xi_p} \right] \quad (3-2-②-5)$$

震源時間関数には、種々の形式のものが考えられるが、本研究では次式の形を用いた。

$$f(t) = \omega_c^2 t e^{-\omega_c t} \quad (3-2-②-6)$$

式 (3-2-②-6) のスペクトルはいわゆる ω^2 スペクトルの形になる。コーナー振動数の算定方法としては、Boore D. M. (1983) による円形クラックを仮定した統計的グリーン関数のスペクトル作成法を参考に、以下の式を用いた。

$$f_c = 0.49 V_s \left(\frac{\Delta\sigma}{M_0} \right)^{1/3} \quad (3-2-②-7)$$

ここで V_s は要素断層位置の S 波速度、 $\Delta\sigma$ は応力降下量である。

検討に使用した地盤モデルとデータについて説明する。図 3-2-②-1 に、有限差分法によるグリーン関数の計算に使用した地盤構造モデルと地震動予測地点、および計算した地震の震源断層の位置関係を示す。用いた地盤構造モデルは、堀川晴央ら(2008)によるものである。表 3-2-②-1 に地震動予測地点の諸元を示す。濃尾平野内で微地形区分の異なる地点として、飛島村 (愛知県海部郡)、名古屋駅 (名古屋市中村区)、栄 (名古屋市中区)、名古屋大学 (名古屋市千種区) を選んだ。考慮する地震としては、愛知県の地震被害想定(愛知県防災会議地震部会、2003)を参考に、養老・桑名・四日市断層帯の地震、伊勢湾断層帯主部北部と白子・野間断層の地震、猿投山北断層の地震、猿投・高浜断層帯の地震を取り上げる。震源モデルとしては、地震調査研究推進本部による全国地震動予測地図の作成の際に用いられたモデル(地震調査研究推進本部、2014)を使用した。これらの震源断層モデルは、アスペリティの配置や破壊開始点によってケース分けがなされている。本業務では、特に危険視されている養老・桑名・四日市断層帯の地震については 6 ケースすべて、その他の地震については名古屋市域へ向かって断層破壊が進行するものを採用した。すなわち、伊勢湾断層帯主部北部の地震については ケース 2、白子・野間断層および猿投山北断層の地震については ケース分けはなく、猿投・高浜断層帯の地震については ケース 6 を採用した。図 3-2-②-2 にこれらの震源断層のモデル図を示す。この図は地震調査研究推進本部(2014)に掲載の図を転載した

ものである。

本手法は主に長周期地震動を対象とするものであるが、地震動予測の適用例を示すにあたっては、統計的グリーン関数法を用いて短周期成分についても計算を行った。地震動の長周期成分と短周期成分を周期 2 s で接続した。

(c) 業務の成果

本業務の成果について説明する。まず、図 3-2-②-3 に、養老・桑名・四日市断層帯の 6 ケースの地震について、解放工学的基盤面での速度波形と減衰定数 0.05 の擬似相対速度応答スペクトルを示す。おおむねケース 1 での地震動が大きいことが分かる。これは、ケース 1 では養老断層の北端に近い位置から名古屋市域へ向かう方向に断層破壊が進行するためである。ケース 4 も同様に名古屋市域へ向かって断層破壊が進行するが、こちらは名古屋市に近い断層南部の地震モーメントがケース 1 と比較して小さいため、地震動も小さくなっている。応答スペクトルのピークに注目すると、飛島村地点では周期約 4 s、他の地点では周期約 3 s での応答値が大きいことが分かる。この周期の違いは、それぞれの地点直下の基盤の深さに対応していると考えられる。しかし、応答スペクトルのピークの周期は、わずかに変動している。一例として名古屋大学地点の南北成分に着目すると、ケース 1 では周期 2.8 s に最大のピークがあるが、ケース 2、3 ではこのピークは若干低くなり、新たに周期それぞれ 4.1 s、3.3 s にやや小さなピークが現れている。ケース 1、2、3 間のこのような関係は、ケース 4、5、6 間にも同様に見られる。これらは、前述の通り、ケース 1、4 は破壊が名古屋市域へ向かう方向であるのに対し、ケース 2、3、5、6 は破壊が遠ざかる方向に進むために生じたディレクティブティ効果によるものと考えられる。ただし、ケース 2、3、5、6 は、断層全体としては破壊が名古屋市域から遠ざかる方向に進むが、アスペリティの破壊は名古屋市域へ向かう方向（断層深部から浅部へ向かう方向）に進む。そのためケース 2、3、5、6 においても周期 2.8 s のピークは消失せず、より長周期に現れたピークと重なって、周期 3~4 s にかけてのピークがケース 1、4 のものと比較して広帯域化している。

次に、図 3-2-②-4 に養老・桑名・四日市断層帯の地震、伊勢湾断層帯主部北部と白子・野間断層の地震、猿投山北断層の地震、猿投・高浜断層帯の地震による地震動について、解放工学的基盤面での速度波形と減衰定数 0.05 の擬似相対速度応答スペクトルを示す。いずれの地点においても、最大速度値と地震動継続時間の両面で、養老・桑名・四日市断層帯の地震による地震動が大きいことが分かる。飛島村地点においては、猿投・高浜断層帯の地震による地震動も大きい。猿投山北断層の地震による名古屋大学地点での南北方向の揺れは非常に大きなものとなっている。同じ時間帯で、東西方向では短周期の揺れがよく現れているので、南北方向の大きな揺れは主に実体波によるものと考えられる。名古屋大学地点は、横ずれ断層である猿投山北断層の延長上に位置しており、S 波がもっとも強く放射される方向にあたっていることも影響しているであろう。震源からより離れた栄・名古屋駅・飛島村地点においては、名古屋大学地点に大きな揺れをもたらしたと考えられる波群が大きく減衰している一方、表面波によると考えられる後続部の揺れが名古屋大学地点と比べて大きくなっていることから、このことが裏

付けられる。名古屋大学地点においても、養老・桑名・四日市断層帯の地震による地震動では後続部の揺れが大きく現れているが、これは濃尾平野西縁部で発生した表面波が厚い堆積層により分散し、継続時間を伸張させた結果であると考えられる。応答スペクトルを見ると、飛島村地点では周期 4~5 s、その他の地点では周期約 3 s の揺れが卓越していることが分かる。それぞれ、およそ 1 s 程度の幅をもってピーク周期が変動している。この変動幅は、図 3-2-②-3 の応答スペクトルで見られる周期変動よりも大きい。このことから、地震動の特性は震源断層のパラメータや破壊の進み方だけではなく、波動の伝播経路上の複雑な地下構造の影響を受けていることが分かる。

さらに、震源の位置による地震動特性の違いを網羅的に調べた。計算領域を 500 m メッシュに分割し、各メッシュに観測点から見て同じ姿勢になるように震源断層を設定したときの地震動を計算した。図 3-2-②-5 に、飛島村・名古屋駅・栄・名古屋大学地点のラディアル・トランスバース成分それぞれについて、地震動の擬似相対速度応答スペクトルの固有周期 3 s での値の分布を示す。これは、解放工学的基盤での地震動に基づいて計算したものであり、減衰定数は 0.01 としている。図より、震源の位置によって応答スペクトルの値が複雑に変化することが分かる。おおむね応答スペクトルの値は観測点までの距離が伸びるにつれて小さくなるが、震央距離に対して単調に減少するのではなく、増加に転じることもある。また、震央距離が同じであっても、方位によって応答スペクトルの値が変化し、しかもその変化の傾向は方位ごとに一定ではなく、震央距離によって異なっている。また、その空間パターンはトランスバース成分よりもラディアル成分において複雑である。このことから、ラブ波と比較してレイリー波の方が地下構造の不整形による影響を受けやすいことが示唆される。地点間で比較すると、応答スペクトル値の震源位置による変化は飛島村地点での地震動において、もっとも複雑である。これは、飛島村地点は他の地点と比較して地震基盤が深く、堆積盆地の中心部に近いため、長周期の地震波が観測点へ到達するまでに地下構造の不整形の影響を強く受けることを反映していると考えられる。さらに特筆すべきは、名古屋駅地点と栄地点との差である。この 2 地点は東西方向に 2 km 程度しか離れていないが、図 3-2-②-5 の震源位置ごとの応答スペクトル値の分布はかなり異なるものになっている。名古屋駅地点では、栄地点と比較して、北方から到来する地震動のラディアル成分や、北～北東～東方向から到来する地震動のトランスバース成分が大きい。

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務では、弾性論に基づく相反定理を利用して、多数の震源による観測点での地震動を表すグリーン関数を効率的に計算し、これを地震動予測に活用する方法を提案した。これを中京地域の地盤構造モデルと活断層の震源モデルに適用した。さらに、震源位置による地震動の特性の変化を考察するために、あらゆる位置の震源による各地点での地震動を計算し、応答スペクトル値の分布を確認した。これらの検討により、相反定理を利用して多数の震源によるグリーン関数をあらかじめ計算しておくことで、種々の地震による地震動を効率よく予測できることが示された。また、地震動の長周期成分について、震源の距離と方位によって、卓越周期などの特性が変化しうることを示し、その傾

向は地下構造の不整形の影響を強く受ける堆積盆地中心部に近い地点ほど顕著であることが明らかになった。今後は、本手法を南海トラフ巨大地震にも適用し、地震動の変動について検討を行うことが課題である。

(e) 引用文献

- 1) 愛知県防災会議地震部会、愛知県東海地震・東南海地震等被害予測調査報告書－平成14年度版－、2003.3.
- 2) Boore D. M., Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bull. Seism. Soc. Am., 73, pp.1865-1894, 1983.12.
- 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) 地震調査研究推進本部、「全国地震動予測地図」別冊 震源断層を特定した地震動予測地図、2014.12.

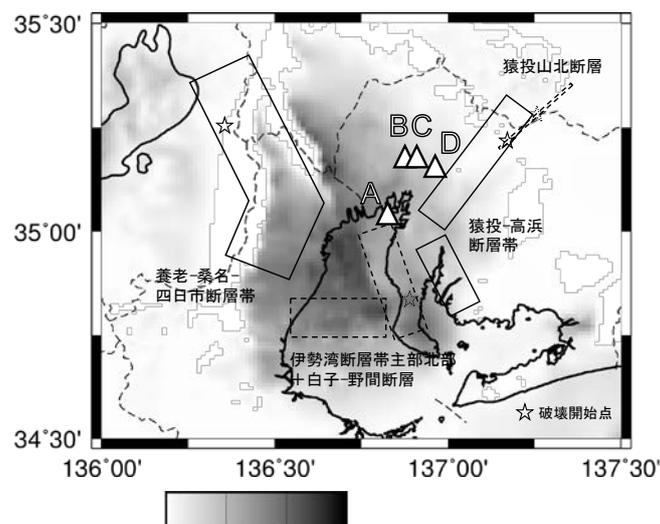
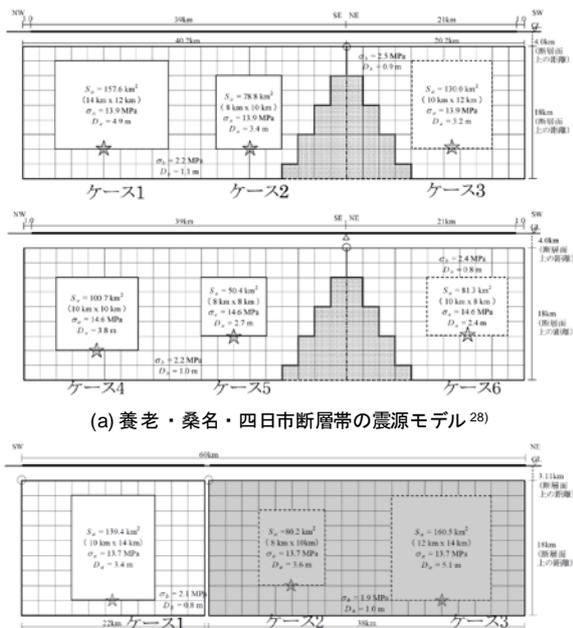


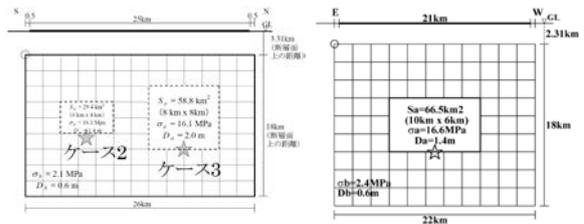
図3-2-②-1 地盤構造モデルと震源断層

表3-2-②-1 地震動予測地点

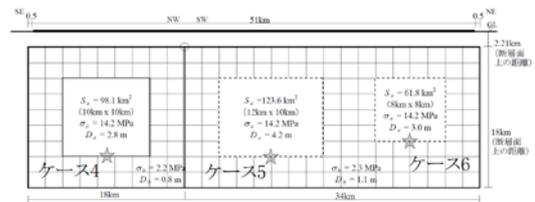
地点名	緯度 / deg	経度 / deg	微地形区分
飛島村 (A)	35.0330	136.8301	埋立地
名古屋駅 (B)	35.1708	136.8816	後背湿地
栄 (C)	35.1686	136.9103	砂礫質台地
名古屋大学 (D)	35.1557	136.9686	丘陵



(a) 養老・桑名・四日市断層帯の震源モデル²⁸⁾
 猿投山北断層部分(左)のみ使用, 恵那山断層部分(右)は不使用
 (c) 猿投山北断層の震源モデル²⁸⁾



破壊開始点はケース2を採用
 (b) 伊勢湾断層主部北部(左)および白子・野間断層(右)の震源モデル²⁸⁾



破壊開始点はケース6を採用
 (d) 猿投・高浜断層帯の震源モデル²⁸⁾

図 3 - 2 - ② - 2 断層モデル(地震調査研究推進本部(2014)より引用)

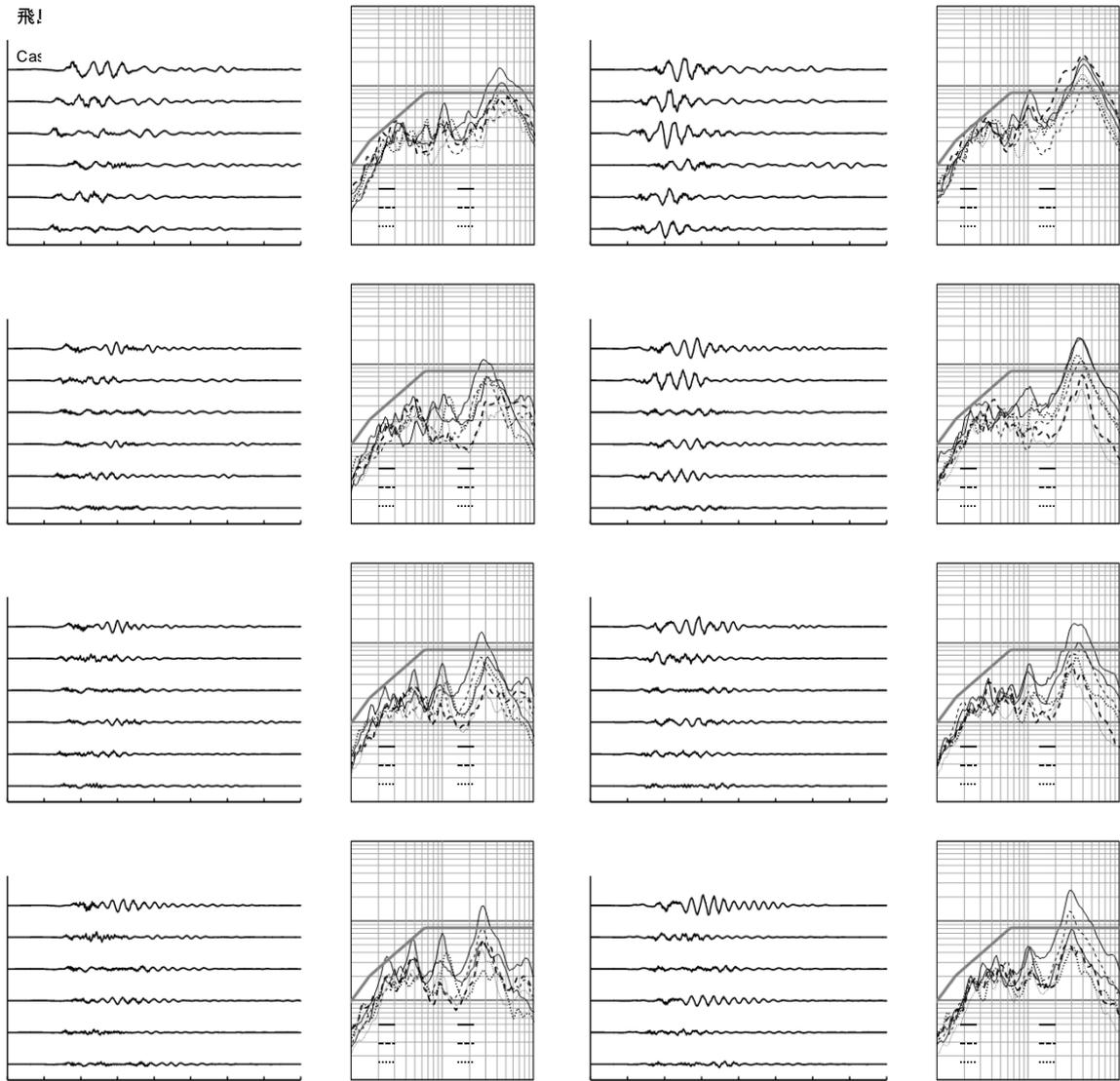


図 3 - 2 - ② - 3 養老・桑名・四日市断層帯の地震による地震動の速度波形と擬似相対速度応答スペクトル (pSV)

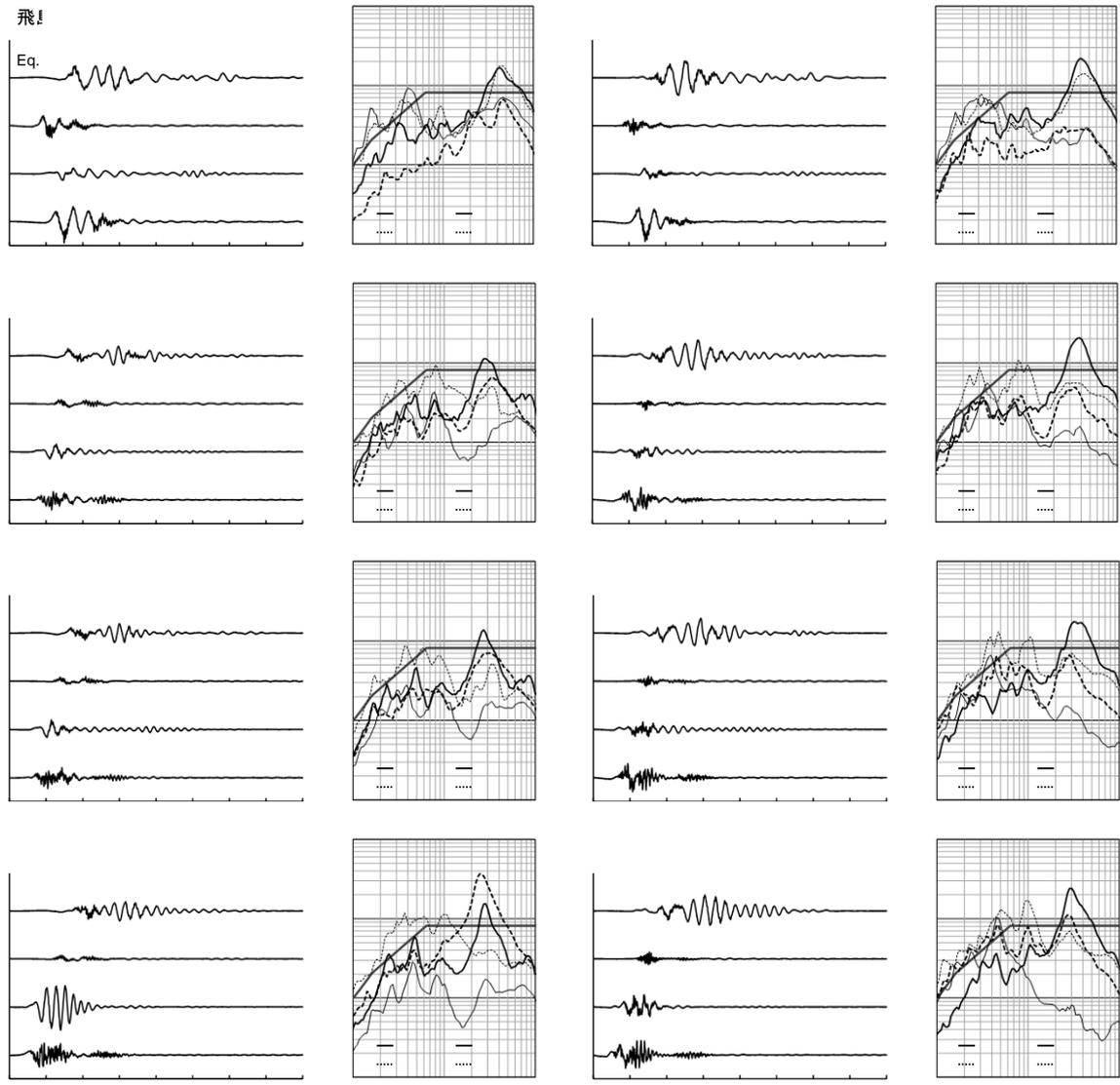


図 3 - 2 - ② - 4 活断層による地震動の速度波形と擬似相対速度応答スペクトル (pSV)

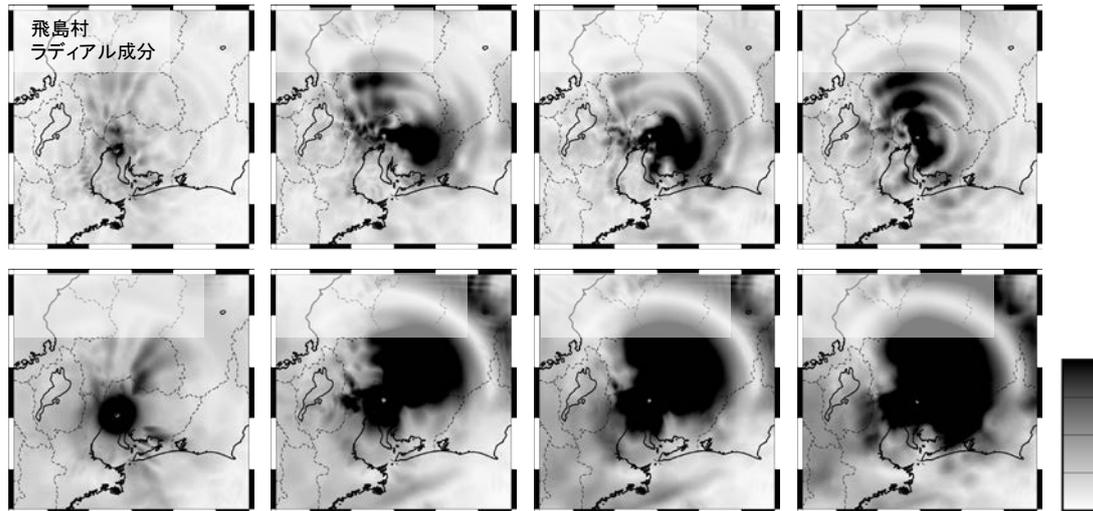


図 3-2-2-5 震源位置による応答スペクトルの値の変化

③地盤被害

(a) 業務の要約

迫る南海トラフ地震に備え、愛知県内に設置された防波堤の地震時変形挙動の把握を試みた。対象とした地盤は、砂質土が卓越する A 地盤、軟弱粘土層が卓越する B 地盤、砂礫と粘性土が互層となっている C 地盤である。地震応答解析による検討の結果、南海トラフ地震のように大きな揺れに見舞われると、砂質土の液状化だけでなく、軟弱粘性土地盤においても著しく剛性が低下し、地震中～地震後にかけて大きな変状が発生し得ることがわかった。

(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、津波被害が甚大であった。南海トラフ地震に備え、既設の防波堤の性能照査が求められている。そこで、愛知県内にある防波堤を対象に地震応答解析を実施し、防波堤の耐震性や地震後の機能維持について検討を行った。用いた解析コードは、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

解析対象とした3地点の地質構成を図3-2-3-1に示す。A地盤は砂質土が卓越している。表層の砂質土のN値は5程度と小さく、地震時の液状化が危惧される。B地盤はN値がほぼ0の軟弱粘性土が20m以上堆積している。従来、粘性土地盤は地震被害が発生しない／考えなくてよいとされることが多かった。しかし、過去の地震被害を精査していくと、液状化のように地震直後の直接的かつ目に見えての被害ではないものの、

特に軟弱な粘性土地盤では、地震直後の沈下の加速化や長期にわたって継続する沈下被害が観測されており、B地盤においても同様の被害が危惧される。C地盤は、砂礫と粘性土が互層となっている。N値は、砂礫層が10程度、粘性土層が0~2と、いずれの層もN値が大きいとは言えない。このように、緩い砂質土層が卓越するA地盤、軟弱粘性土が卓越するB地盤、砂礫と粘性土が互層となっているC地盤の3ケースについて地震応答解析を実施し、地震時の変状を比較考察した。解析に用いた各層の材料定数を表3-2-③-1に示す。材料定数および初期値は、現位置におけるボーリング調査および室内試験結果をもとに決定している。また、物理特性が類似することから、対象地盤が異なっても同一土質の材料定数は等しいと仮定し、N値の値に応じて初期値のみ変更している。なお、Ag層は室内試験が行われていないため、As層と同じ材料定数とした。本解析では、過圧密比と構造の程度は各層内で一様とし、比体積は土被り圧に応じて分布させている。基盤層(M層)については非常に硬い泥岩層を想定しており、下面におけるせん断波速度Vsが700m/sになるよう材料定数を設定した。

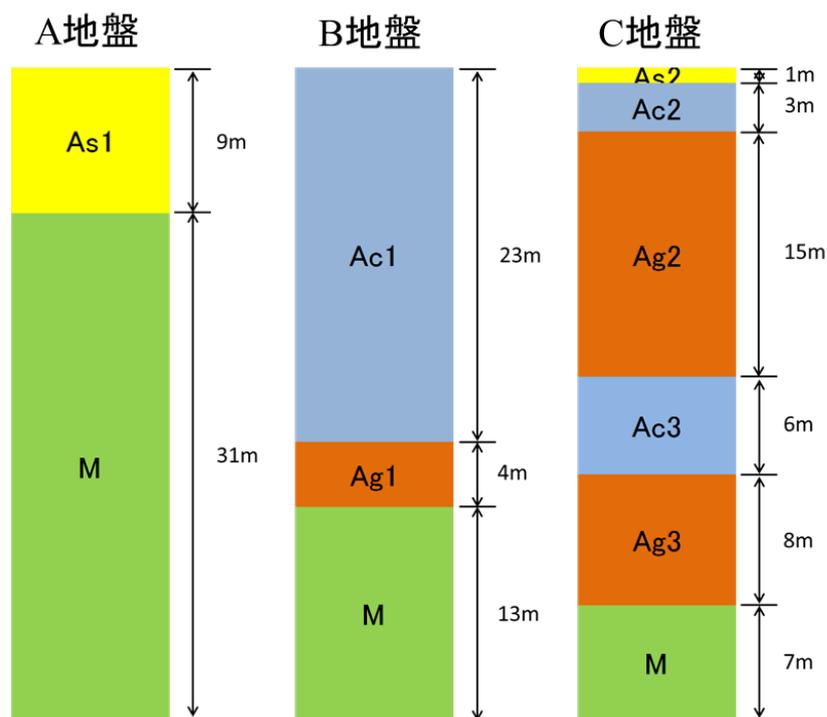


図3-2-③-1 解析対象地盤の地層構成

表 3-2-③-1 解析に用いた弾塑性性状の一覧

層の名前	M	Ac1	Ac2	Ac3	As1	As2	Ag1	Ag2	Ag3	捨石
弾塑性パラメータ										
圧縮指数 λ	0.170	0.176	0.176	0.176	0.0736	0.0736	0.0736	0.0736	0.0736	0.105
膨潤指数 κ	2.1×10^{-4}	0.006	0.006	0.006	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0005
限界状態定数 M	0.600	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.700
NCL の切片 (98.1kPa)N	2.100	2.220	2.220	2.220	1.940	1.940	1.940	1.940	1.940	1.895
ポアソン比 ν	0.300	0.173	0.173	0.173	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.300
発展則パラメータ										
正規圧密土化指数 m	10.00	7.824	7.824	7.824	0.401	0.401	0.401	0.401	0.401	2.000
a	0.010	0.540	0.540	0.540	7.940	7.940	7.940	7.940	7.940	2.000
構造劣化指数 b	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
c	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
c_s	1.000	0.540	0.540	0.540	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	1.000
回転硬化指数 b_r	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	1.000
回転硬化限界定数 m_b	1.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
その他の材料定数										
土粒子密度 (g/cm^3)	2.707	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.593
透水係数 (cm/s)	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-7}	5.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}				
初期値										
初期過圧密	150	2.162	3.094	2.251	26.12	29.11	19.328	26.192	19.517	1000
初期構造の程度	50.0	4.585	3.943	4.504	2.584	2.430	2.999	2.603	2.998	1.000
初期応力比	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.000
初期異方性	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

防波堤建設後の解析領域全体の有限要素メッシュを図 3-2-③-2 に、防波堤周辺の拡大図を図 3-2-③-3 に示す。建設直後の防波堤高さは水面から 6m となっている。今回は A~C 地盤のいずれにおいても同じ形状の防波堤とした。マウンド部は水~土二相系弾塑性体として、ケーソンはコンクリートを想定した一相系弾性体として有限要素を追加していくことで、防波堤の築堤過程を再現した (図 3-2-③-4)。マウンド部の材料定数および初期値は表 3-2-③-1 に示すとおりである。弾性体については、ケーソンはヤング率 $2.2 \times 10^4 \text{MPa}$ 、ポアソン比 0.17、単位体積重量 2.14g/cm^3 、上

部工はヤング率 $3.0 \times 10^4 \text{MPa}$ 、ポアソン比 0.17、単位体積重量 2.30g/cm^3 とした。水理境界については、両側面および下端は非排水境界であり、地表面は排水境界である。地震動は、地盤底面の全有限要素節点の水平方向に、図 3-2-③-5 で示す当該地域で想定される南海トラフ地震を入力した。その際、地盤下端節点は底面粘性境界 ($V_s=700 \text{m/sec}$) 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。

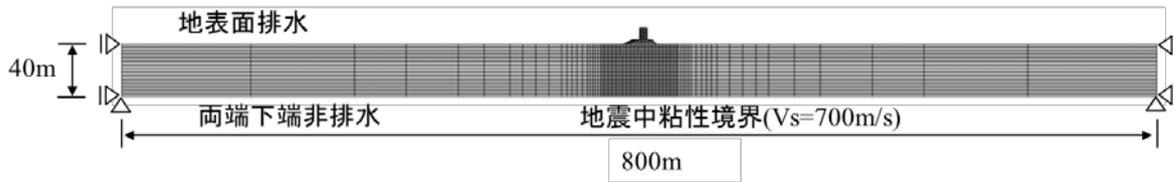


図 3-2-③-2 解析全断面図

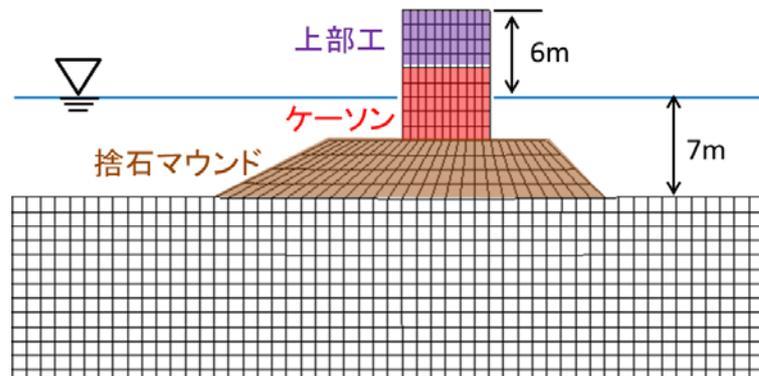


図 3-2-③-3 マウンド部拡大図

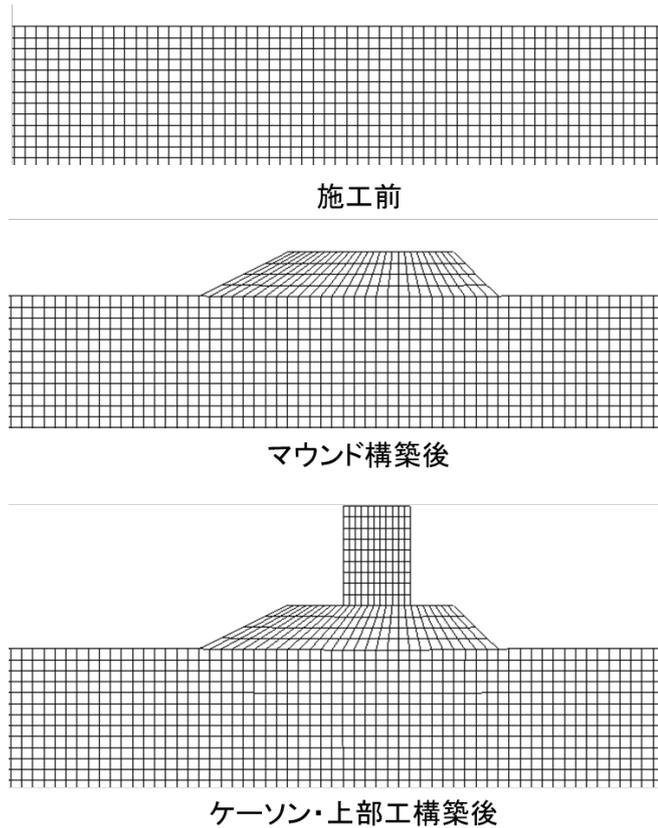


図 3-2-③-4 防波堤の施工過程

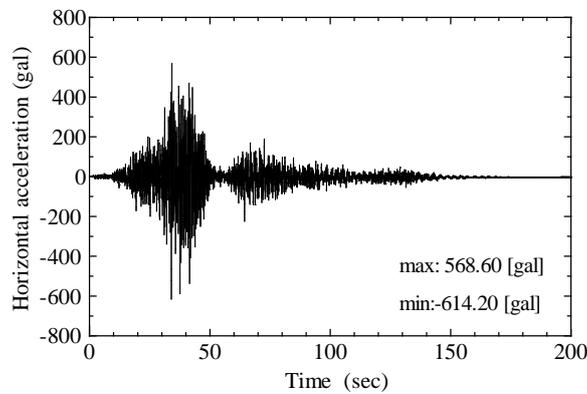


図 3-2-③-5 南海トラフ地震

最初に、A 地盤の結果について述べる。先述の通り A 地盤は緩い砂層が卓越している。図 3-2-③-6 と図 3-2-③-7 に地震入力直前、地震入力後、地震入力から 20 年後における平均有効応力およびせん断ひずみ分布を示す。マウンド直下および防波堤から離れた水平地盤上では、地震動によって砂質土層の平均有効応力がほぼゼロとなって液状化している様子がわかる。せん断ひずみ分布を見ると、護岸直下の砂地盤においてせん断ひずみが卓越している。地盤とマウンドの境目において特に大きく、50%にまで達する。これは、液状化によってマウンド周辺地盤の剛性が低下し、揺すりこみ沈下が生じたためである。図 3-2-③-8 には地表面の変形の様子を、図 3-2-③-9

には防波堤の天端中央における沈下－時間関係を示す。ケーソン直下において地震中に約 1m 沈下し、地震後は地震中に蓄積した過剰間隙水圧の消散に伴ってさらに 10cm 程度沈下する。ただし、砂質土は透水性が大きいため、地震後数時間で沈下は収束する。なお、防波堤の沈下に伴って、マウンド周辺の水平地盤が約 50cm 隆起する。

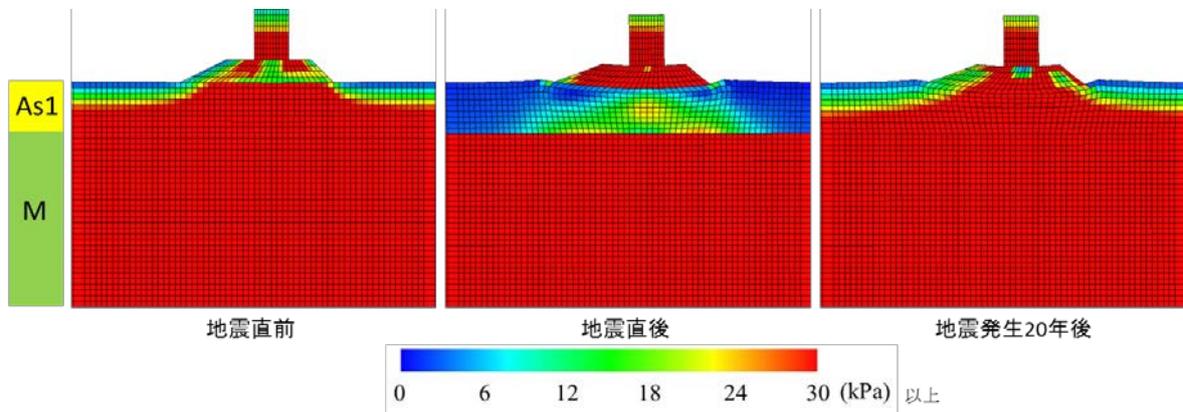


図 3 - 2 - ③ - 6 平均有効応力分布 (A 地盤)

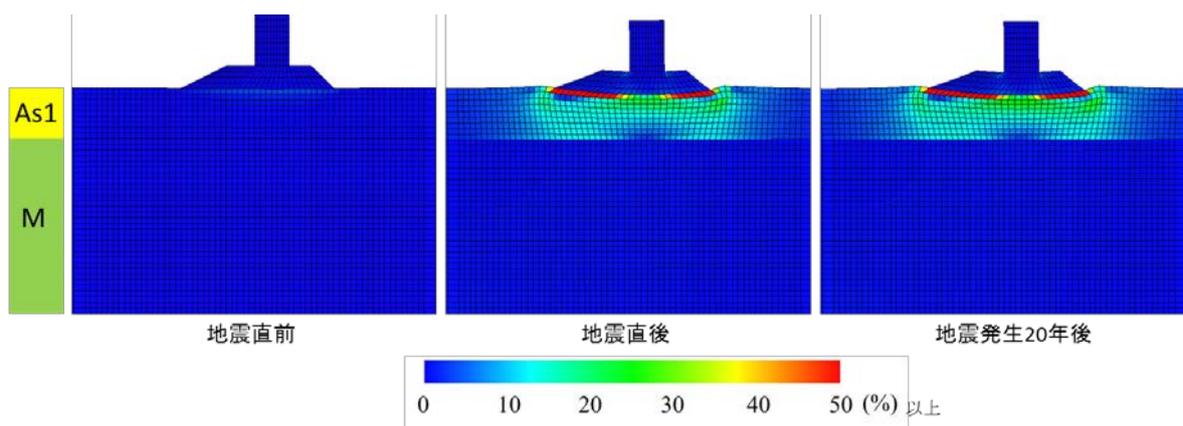


図 3 - 2 - ③ - 7 せん断ひずみ分布 (A 地盤)

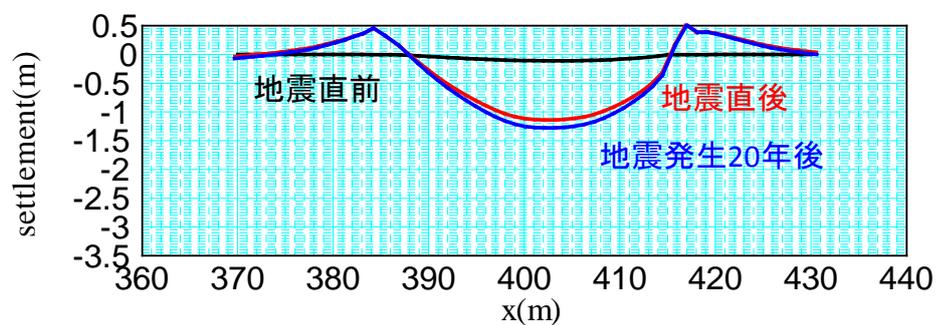


図 3 - 2 - ③ - 8 地盤表面の変状の様子 (A 地盤)

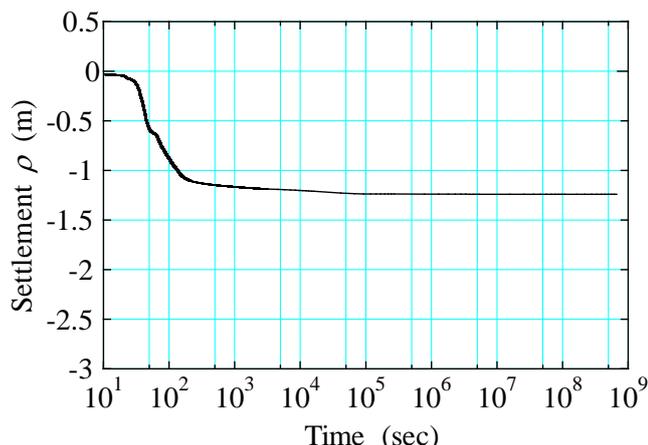


図 3 - 2 - ③ - 9 防波堤天端中央における沈下-時間関係 (A 地盤)

次に、B 地盤の結果について述べる。B 地盤は、軟弱粘土層が厚く堆積しているのが特徴である。図 3 - 2 - ③ - 1 0 と図 3 - 2 - ③ - 1 1 に地震入力直前、地震入力後、地震入力から 1 年後における平均有効応力およびせん断ひずみ分布を示す。A 地盤（砂地盤）と比べるとその低下の程度は小さいが、粘性土地盤であっても地震中に平均有効応力が低下し、剛性を失っていることがわかる。繰返し負荷に伴う地盤の剛性低下により防波堤が沈み込み、大きなせん断ひずみが発生する。地盤 A に比べると、より深部においてもせん断ひずみが発生している。図 3 - 2 - ③ - 1 2 には地表面の変形の様子を、図 3 - 2 - ③ - 1 3 には防波堤の天端中央における沈下-時間関係を示す。粘性土地盤に防波堤を建設すると、建設時にすでに約 80cm の沈下を生じる。地震後の変状に着目すると、B 地盤では、地震中に約 2m 沈下し、地震後も緩やかに沈下量が増大している。粘性土は透水性が小さいので、地震後数年～数十年かけて変状が進展するため、長期にわたっての注意が必要となる。地盤 A と同様に、防波堤の沈下に伴って、マウンド周辺の水平地盤が約 50cm 隆起する。

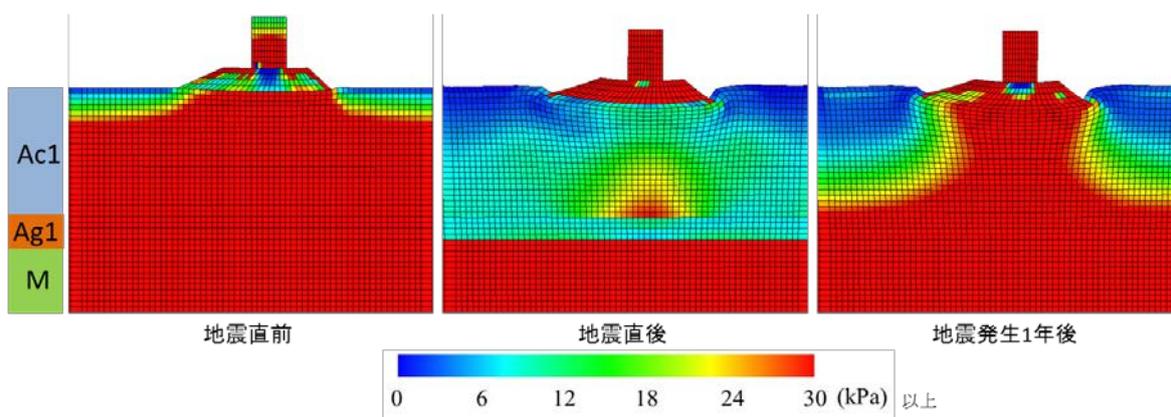


図 3 - 2 - ③ - 1 0 平均有効応力分布 (B 地盤)

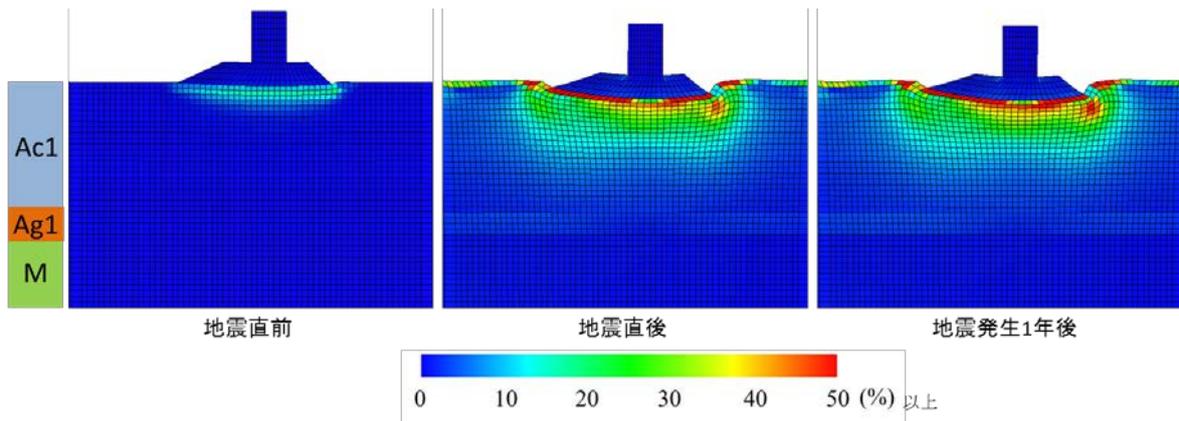


図 3 - 2 - ③ - 1 1 せん断ひずみ分布 (B 地盤)

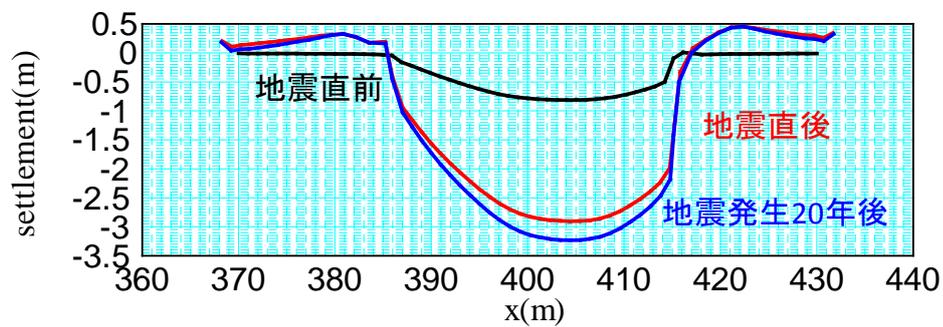


図 3 - 2 - ③ - 1 2 地盤表面の変状の様子 (B 地盤)

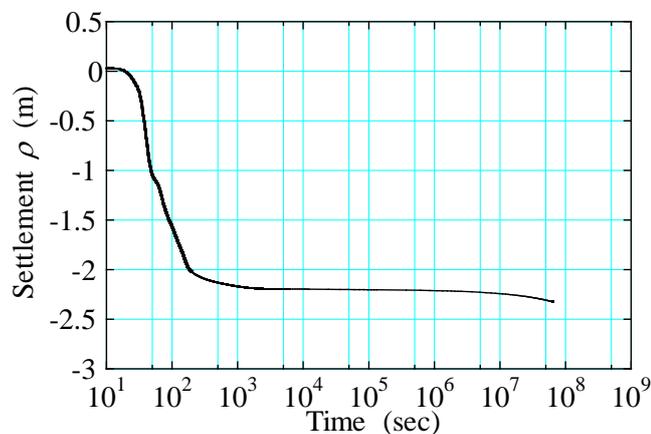


図 3 - 2 - ③ - 1 3 防波堤天端中央における沈下-時間関係 (B 地盤)

最後に、C 地盤の結果について述べる。C 地盤は粘土と砂礫が互層となっている。図 3 - 2 - ③ - 1 4 と図 3 - 2 - ③ - 1 5 に地震入力直前、地震入力後、地震入力から 20 年後における平均有効応力およびせん断ひずみ分布を示す。地盤 B と同様に軟弱粘性土層で平均有効応力の低下が見られるが、それに加えて礫層でも有効応力が大きく減少している。せん断ひずみは浅部で大きく、特に表層付近の粘性土層 Ac2 で顕著である。図 3 - 2 - ③ - 1 6 には地表面の変形の様子を、図 3 - 2 - ③ - 1 7 には防波堤の天端中

中央における沈下-時間関係を示す。C地盤では地震中に約1.5m沈下し、地震後はさらに80cm程度の沈下が発生している。砂礫層は透水性が大きいが、上下を透水性の小さい粘性土層に挟まれているため、沈下収束までには長い時間を要する。

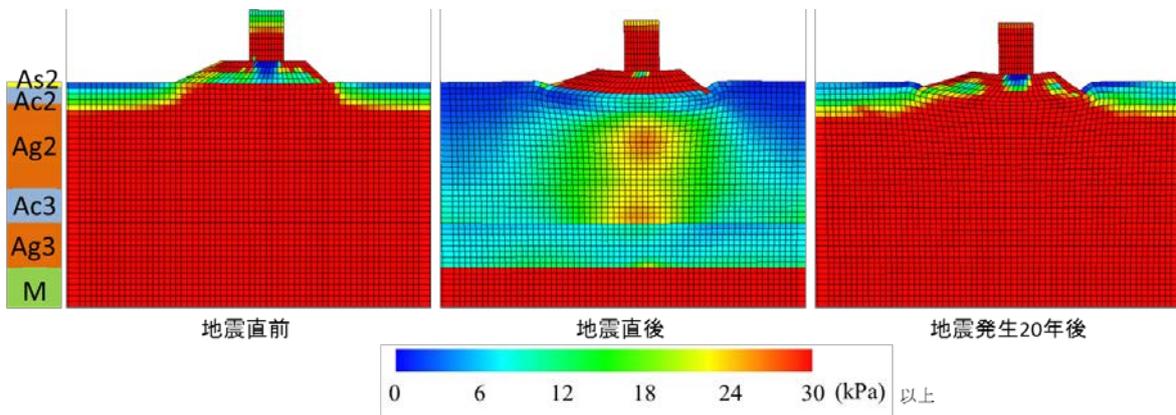


図3-2-③-14 平均有効応力分布 (C地盤)

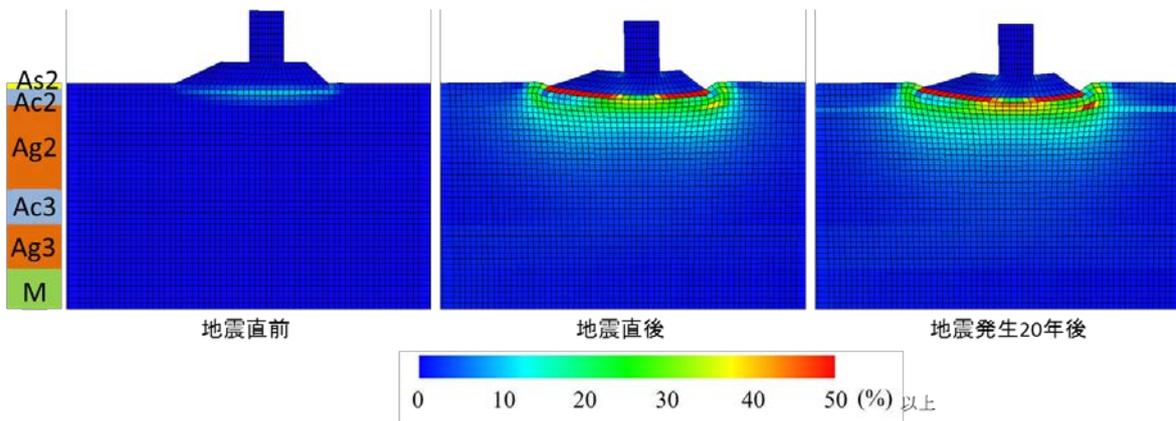


図3-2-③-15 せん断ひずみ分布 (C地盤)

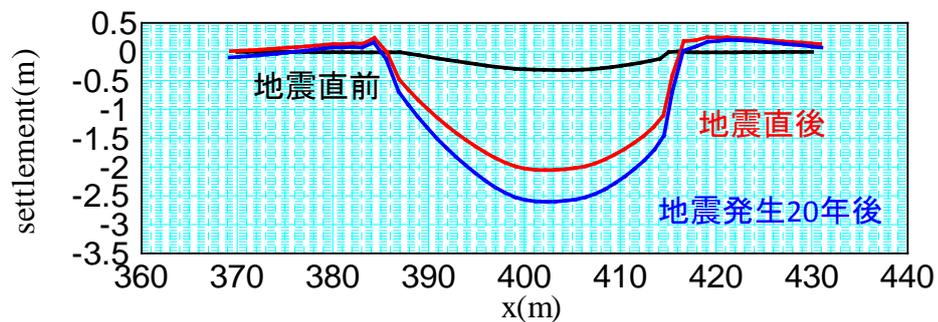


図3-2-③-16 地盤表面の変状の様子 (C地盤)

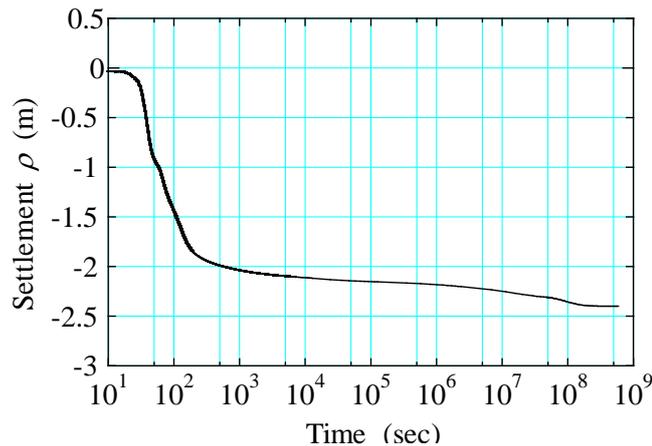


図 3 - 2 - ③ - 1 7 防波堤天端中央における沈下-時間関係 (C 地盤)

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務の結論を述べる。砂質土が卓越する A 地盤では、地震中の液状化（平均有効応力の低下）が原因となって防波堤が約 1.2m 沈下する。粘性土が卓越する B 地盤では、粘性土層が軟弱であるため、粘性土であっても地震中に平均有効応力が低下して剛性を失い、防波堤が 2m 以上沈下する。従来は、粘性土地盤は地震被害が発生しない／考えなくてよいとされることが多かったが、N 値が小さく軟弱である場合は地震による変状が発生することがわかった。また、粘性土は透水性が小さいため、変状が長期にわたって継続する点にも注意が必要である。粘性土と砂礫が互層となっている C 地盤では、防波堤が約 2.3m 沈下した。砂礫層は透水性が大きい、粘性土層で挟まれているため、沈下収束までに長時間を要している。いずれの地盤も N 値が小さく軟弱な状態にあるため、南海トラフ地震のように大きな揺れに見舞われると、防波堤が大きく沈下することがわかった。地震後に来襲する津波高さを考慮して適切な対策や防波堤の嵩上げを検討していくことが重要である。

(e) 引用文献

- 1) 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.
- 2) 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

(a) 業務の要約

建物の被災シナリオ検討・安全性評価に向けて、地盤と建物の動的相互作用を考慮した建物応答予測に関する基礎的検討を行った。主な項目は、強震観測データベースに基づく応答特性の分析、基礎入力動の回転成分の影響、隣接建物間動的相互作用、杭基礎

建物の解析モデル検討である。

(b) 業務の成果

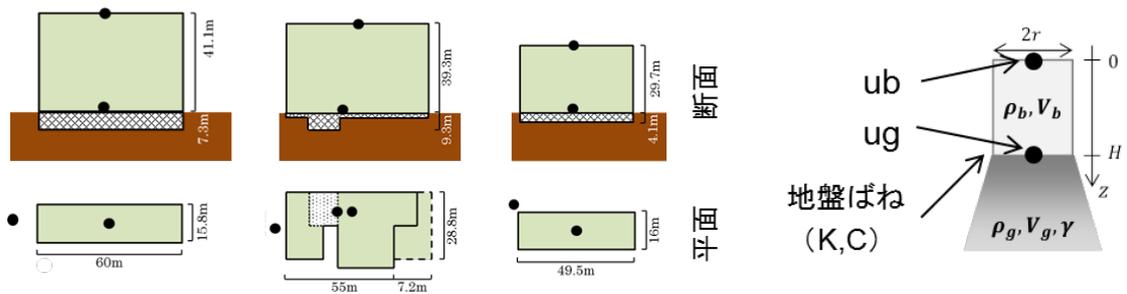
1) 建物強震観測記録の収集・整理と建物応答特性分析

中低層建物の地震観測記録の収集と整理を継続しており、ここではそのデータベースから建物の増幅特性に関する検討を行う。

図3-2-④-1に検討対象の建物を示す。作成したデータベースに建物の地震観測記録が登録されている建物の一部である。建物と地盤の動的相互作用効果を簡易にモデル化するため、図3-2-④-2に示す1次元せん断連続体モデルに置換し、建物増幅度を図中の u_b/u_g で評価する。

図3-2-④-3に建物応答増幅特性の評価方法による比較を示す。図中の○は地震観測記録による建物増幅比（屋上と1階の比）であり、赤は加速度、緑は速度包絡線の比によって求めた。最上段は横軸が各地震の等価卓越振動数になっており、各地震に1つの○が対応する。中段と下段は横軸が地震中の瞬時振動数であり、地震中の変化も示している。一方、図中の線はモデルに基づく値であり、実線は図3-2-④-2のせん断連続体モデルによる応答特性、一点鎖線は A_i 分布による比（周波数に対して一定）を示している。

図3-2-④-3より、1次元せん断連続体モデルによる応答増幅（実線）は、観測記録による加速度最大値の比に近いこと、 A_i の比による増幅比はせん断連続体モデルの最大値より小さく、観測記録の応答増幅比の平均的な値に対応する傾向がある。これにより、図3-2-④-2の相互作用モデルを用いて応答増幅の予測を行う可能性が示された。地震動の周波数特性による影響などは今後の課題とする。



S造 10階建

RC造 10階建

PC造 7階建

図3-2-④-2 建物・地盤系の

図3-2-④-1 検討対象建物

1次元せん断連続体モデル

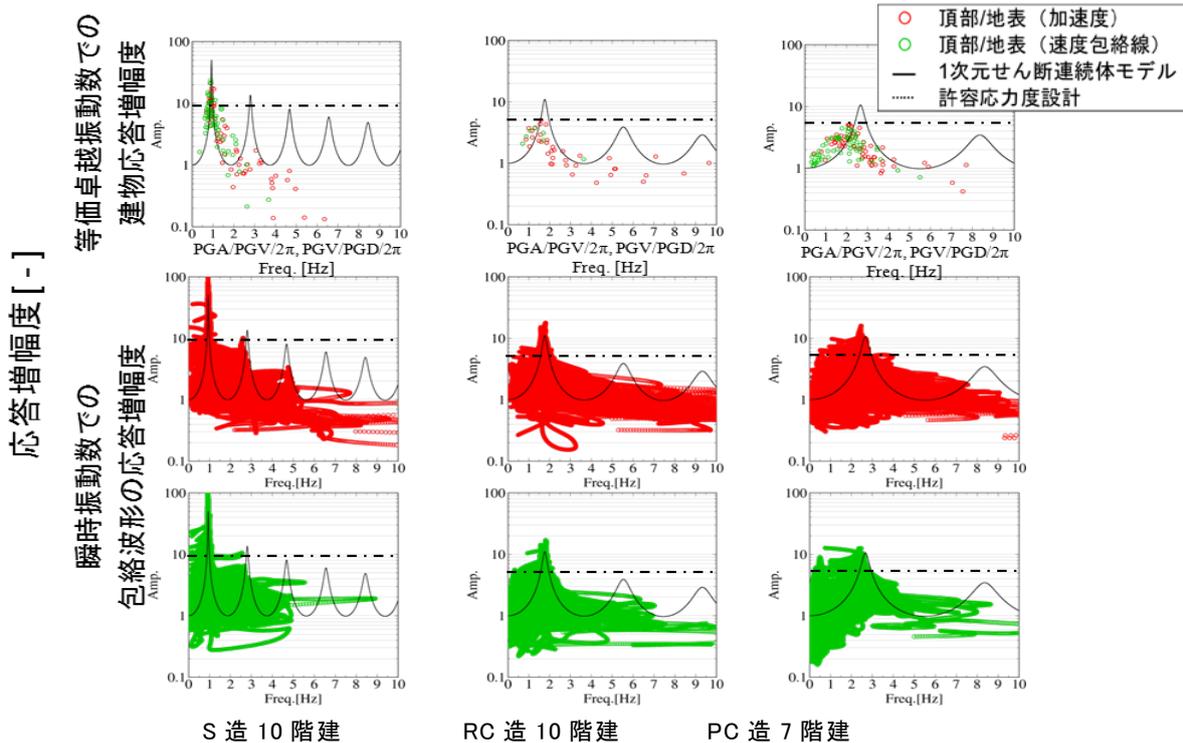


図 3-2-④-3 建物応答の振動数に対する応答特性

2) 基礎入力動の回転成分が上部建物の地震時挙動に与える影響

a) 概要

一般建物の耐震設計において考慮されていない根入れを有する基礎に作用する回転入力動が、上部建物の非線形応答に与える影響について、新たな質点系モデルによる分析を行う。検討では、建物高さと根入れ深さ及び入力地震動を主な検討パラメータとする。解析には地盤ばねを有する2質点系モデルを用いる。地盤ばねは、振動数依存性を考慮できる Wolf J.P. (1994)の手法を、ポアソン比が大きい軟弱な地盤に適用できるように拡張した。

b) 解析手法

応答計算においては、まず理論的に算定された基礎入力動から水平及び回転方向のドライビングフォースを計算し、次にこれらのドライビングフォースを質点系の建物モデルに入力し、時刻歴非線形地震応答解析を実施する。

解析には地盤ばねを有する質点系モデルを用いる。上部建物は等価な1質点系に置換し、これに基礎(剛)を加えた2質点系とする。また、地盤ばねは半無限一様地盤を対象として振動数依存型の水平、回転、水平一回転連成ばねを設定する。解析モデルを図3-2-④-4に示す。振動数依存型の地盤ばねは、付加質量やダッシュポット等で構成しており、各定数はカーブフィッティング法により薄層要素法(Wen, H. 2006)による解析解に適合するように推定した。そして、水平インピーダンス及び約1.5Hz以下における水平一回転連成インピーダンスは概ね対応した結果が得られた。ただし、回転インピーダンスは他に比較して若干精度が低めに推定された。

次に、上記パラメータを用いた質点系モデルの妥当性について、建物応答の観点から検証した。検証では、地表に対する建物頂部の伝達関数を薄層要素法による解析結果と比較した。地盤のせん断波速度は $V_s=100\text{m/s}$ 、上部建物は 5 階建て（基礎固定時の一次固有周期を 0.5 秒）と 10 階建て（基礎固定時の一次固有周期を 1 秒）とし、さらに建物基礎の等価半径 r と根入れ深さ e の比 e/r として、0.0、0.5、0.25、1.0、1.5、2.0 の 6 ケースを設定した。その結果、限られた範囲ではあるが本モデルによる上部建物応答評価の妥当性を確認した。

以上の方法に基づき、ドライビングフォースとして水平入力動と回転入力動の両方を考慮する場合、水平入力動だけを考慮する場合、地表面における水平入力動、すなわち基礎固定と仮定した場合の 3 ケースを想定し、それらの違いが上部構造の地震時非線形挙動に与える影響について検討する。

c) 解析条件

上部建物は等価な 1 質点系に置換する。検討では、階数と根入れ深さ及び最大耐力をパラメータとしている。階数 N は 2 階～30 階建てとし、基礎固定時の固有周期 T_{fix} を $0.1N$ として算定した（図 3-2-④-5）。建築面積は、等価な半径 $r=10\text{m}$ とし、根入れ深さ e は半径 r との比 e/r として、0.0、0.5、1.0、2.0 の 4 ケースを想定した（表 3-2-④-1）。上部建物の復元力特性には完全弾塑性モデルを用い、最大耐力は基礎固定時の最大応答塑性率が指定された値 u_{fix} となるように設定した。ここでは、 u_{fix} として、2、4、6 の 3 ケースを想定した。なお、地盤ばねは線形とした。地震応答解析には、Newmark の β 法 ($\beta=0.25$) 用いた。

地盤は、半無限一様地盤で、せん断波速度が 100m/s 、 200m/s の 2 ケースを想定し、地盤の固さの違いが回転入力動を伴う地震時建物応答に与える影響について分析する。入力地震動には、活断層の地震として 1995 年兵庫県南部地震の葺合での観測記録を、海溝型地震として 2011 年東北地方太平洋沖地震の K-NET 古川 (MYG006) の EW 方向の観測記録を用いた。

d) 回転入力動が建物応答に与える影響

ここでは、1995 年兵庫県南部地震の観測記録に対して、提案した質点系モデルを用いて回転入力動が上部建物の非線形地震応答性状に与える影響を分析した。その主な結果として、限られた範囲ではあるが、軟弱地盤ほど、また根入れが深いほど回転入力動の影響が大きく、基礎固定で想定した塑性率を上回る応答を示す可能性があること、特に長周期建物に対して大きな応答塑性率を設定した場合は、回転入力動の影響により、これを上回る応答が生じる場合があり、大入力に対する応答評価に対しては回転入力動に留意する必要があること、また、根入れが深い $e/r=2$ の場合には、回転入力動を考慮した最大応答塑性率は回転入力動を無視した場合や地表面入力を用いる場合等より 1.5 倍程度大きくなることは注目に値する。一方、地盤が固い場合は根入れが深くても回転入力動の影響が大きくないこと等が明らかとなった。

次に、2011 年東北地方太平洋沖地震の本震の K-NET 古川 (MYG006) における観測記録 (EW 成分) を用いた場合について、地震動特性の違いが応答結果に与える

影響を分析した。その結果、スペクトル特性による違いが現れたが、継続時間や位相の違いによる大きな差異は本検討範囲内では認められなかった。なお、これは1地震波に限られた検討結果であるため、一般性については今後他の地震波を用いた解析を実施して検討する必要がある。以上の結果の概要をまとめて表3-2-④-2に示す。

本検討では、回転入力動が上部建物（直接基礎）の地震時非線形応答に与える影響について、Wolf¹⁾の改良型として、軟弱地盤にも適用できる新たな質点系モデルを提案し、限られた範囲ではあるが、建物高さや根入れ深さをパラメータにした非線形地震応答解析を通じた分析を行った。今後は、多層地盤や杭基礎建物、また都市域等で建物群が隣接する場合における回転入力動の建物応答への影響について検討する予定である。

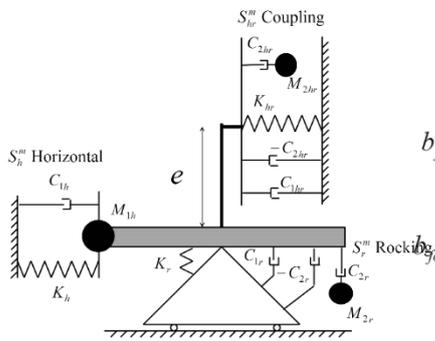


図3-2-④-4

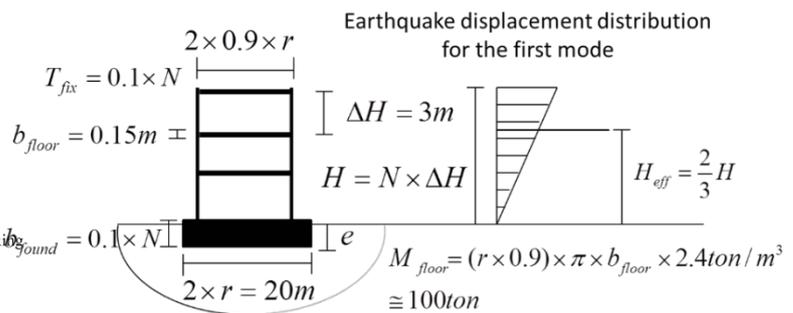


図3-2-④-5 検討に用いた上部建物の諸元

建物—基礎—地盤系モデル

表3-2-④-1 解析モデルのパラメータ

	$e/r=0.00$	$e/r=0.25$	$e/r=0.50$	$e/r=1.00$	$e/r=1.50$	$e/r=2.00$
$Kh_{correct}$	1.000	1.109	1.102	1.050	0.995	0.948
$Kr_{correct}$	1.000	0.886	0.858	0.895	0.898	0.878
$Khr_{correct}$	1.000	0.605	0.936	1.056	1.069	1.057
γ_{1h}	0.608	0.552	0.798	1.064	1.241	1.416
γ_{1r}	0.460	0.450	0.421	0.268	0.019	-0.355
γ_{1hr}	-	1.694	1.224	1.627	1.930	2.168
γ_{2r}	0.413	0.436	0.406	0.381	0.440	0.512
γ_{2hr}	-	-	0.082	0.416	0.514	0.575
μ_{1h}	-	-	0.029	0.050	0.082	0.103
μ_{2r}	0.178	0.190	0.165	0.145	0.194	0.263
μ_{2hr}	-	-	0.007	0.173	0.264	0.330

表3-2-④-2 応答解析結果

	<p>For middle rise buildings → Responses for (a) and (c) are almost equal</p> <p>For low rise buildings → Responses for (a) < (c)</p>
	<p>Responses for (b) smaller than (a)</p> <p>For ↑ μ_{fix} and ↑ e/r → Difference between μ_{fix} and μ_{max} ↑</p>
	<p>For e is shallow (in the case of the study $e/r \leq 1$) → Responses for (a) ≈ Fixed based model</p> <p>For e is deep (in the case of the study $e/r = 2$) → Responses for (a) > Fixed based model</p> <p>Due to small rocking stiffness</p>

3) 直接基礎の根入れ深さに着目した面内方向の隣接建物間動的相互作用

a) 概要

本論では、根入れ基礎を有する建物を対象とした隣接建物間動的相互作用に着目し、隣接する各建物の建物高さや固有周期、根入れ深さ等の違いが建物応答に与える影響について詳細に検討した。

b) 解析モデルと解析手法

上部建物としては、階数の異なる3ケース（5階、10階、20階）を想定し、これに応じて建物高さ、及び建物周期（0.5秒、1秒、2秒；いずれも基礎固定時）を設定する。解析にあたっては、上部建物を等価な1質点系せん断型モデル（曲げ剛性は剛とする）に置換し、質量をそれぞれ、2,500ton、5,000ton、10,000tonとした。

基礎は20m四方とし、質量は500tonとした。根入れ深さは0m、2m、4m、8mの4ケースを想定した。地盤は半無限一様地盤とし、せん断波速度 $V_s=100\text{m/s}$ 、減衰定数は $h_s=3\%$ とした。隣接建物は1棟とし、建物の基礎間隔は3mとした。建物レイアウト及び解析諸元を図3-2-④-6及び図3-2-④-7に示す。

解析では、薄層要素法と有限要素法を考慮した周波数応答解析を採用する。評価指標として、パワースペクトル密度関数の積分値の単独建物と隣接建物がある場合との比（Mean Power Ratio ; MPR）を用いた。また、入力地震動については、用いる評価指標が位相に影響しないことから、振幅値として告示スペクトルと相似形となり、高振動数側で1.0となる基準化フーリエスペクトルを用いた。

c) 解析結果

同一の固有周期の場合、単独の場合より応答が低減されることが確認できた（図3-2-④-8の破線で囲まれた点を参照）。これは、同じ周期の建物が隣接する場合、お互いの基礎の回転動を抑制するためである。一方、異なる固有周期の建物が隣接している場合には、対象建物よりも固有周期が長い高層建物が隣接していると、対象建物の応答が単独の場合より増大することが分かった（図3-2-④-8の実線で囲まれた点を参照）。また、上述の傾向は根入れ深さに大きく依存しないことが明らかとなった。

以上、隣接する各建物の建物高さや固有周期、根入れ深さの違いが建物応答に与える影響について詳細な検討を行った。限られた範囲ではあるが、根入れ深さの組合せにより、設計時に想定する単独建物に比べて応答が増大する可能性があることを明らかにするとともに、その要因について分析した。

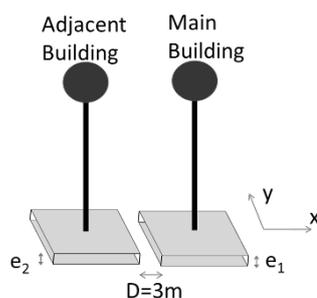


図3-2-④-6 隣接建物の配置

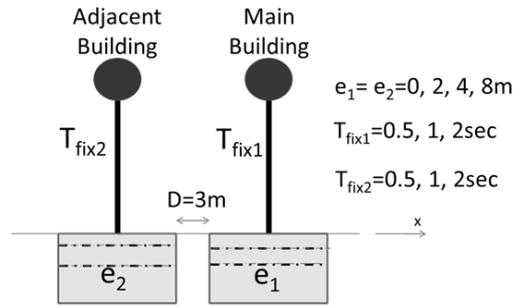
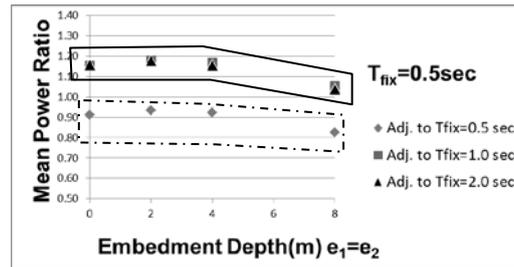
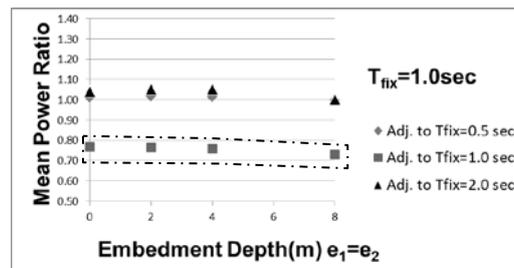


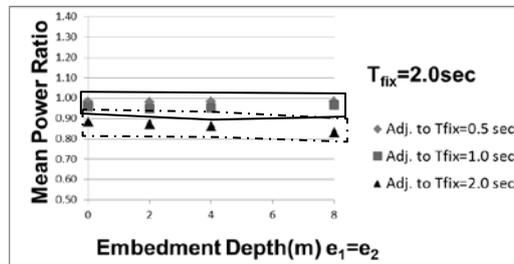
図 3-2-④-7 基礎根入れ深さの異なるケース



(a) 上部建物固有周期 0.5 秒



(b) 上部建物固有周期 1.0 秒



(c) 上部建物固有周期 2.0 秒

図 3-2-④-8

根入れ深さ、隣接建物の固有周期の違いによる上部建物の MPR の比較

4) 動的相互作用を考慮した杭基礎建物の解析的検討

a) 概要

本検討では、杭基礎建物の非線形地震応答解析モデルとして用いられている Penzien モデルのうち、特に杭周地盤ばねモデルの妥当性について、線形領域の解析において有効性が確認されている 3次元薄層要素法による解析結果との比較を行う。

b) 解析モデルと解析手法

検討の対象となる仮想的な杭基礎の構造物のパラメータの概要を示す。図 3-2-④-9 に対象となる仮想的な杭基礎の構造物、解析モデルの概略図および杭の配

置図を示す。対象物は、場所打ち RC 杭で支持された地上 18 階建て RC 造事務所ビルである。基礎固定時の一次固有周期は約 1 秒である。杭は一柱一杭で、杭径 $B=2.2\text{m}$ 、間隔 $S=6.6\text{ m}$ で配置されている。ここでは建物短辺方向について検討する。解析モデルは同図に示すように質点-ばね系モデルとし、地盤ばねとして、水平方向の軸ばね ka とせん断ばね kb でモデル化する。入力地震動としては八戸位相の告示波を使用する。

また、本検討における時刻歴地震応答解析の条件として以下の 6 点を設定した。

- ・ 杭頭条件は回転拘束とする。
- ・ 基礎底面は地盤と非接触とし、建物慣性力は杭を介して地盤に伝達されるものとする。
- ・ 建物・杭の減衰は、連成系の一次固有振動数に対して 3% の瞬間剛性比例型とする。
- ・ 地盤ばねの材料減衰は考慮しない。
- ・ 時刻歴非線形地震応答解析には、Newmark の β 法 ($\beta=1/4$) を用い、非線形解析に伴う不釣り合い力は、各時刻ステップで収束計算を行うことにより解消する。
- ・ 建物と杭は弾性とする。

表 3 に地盤の解析諸元を示す。なお、本検討では杭の支持層を Dmg 層とし、杭は支持層に 1 m の根入れ長を持つと設定した。

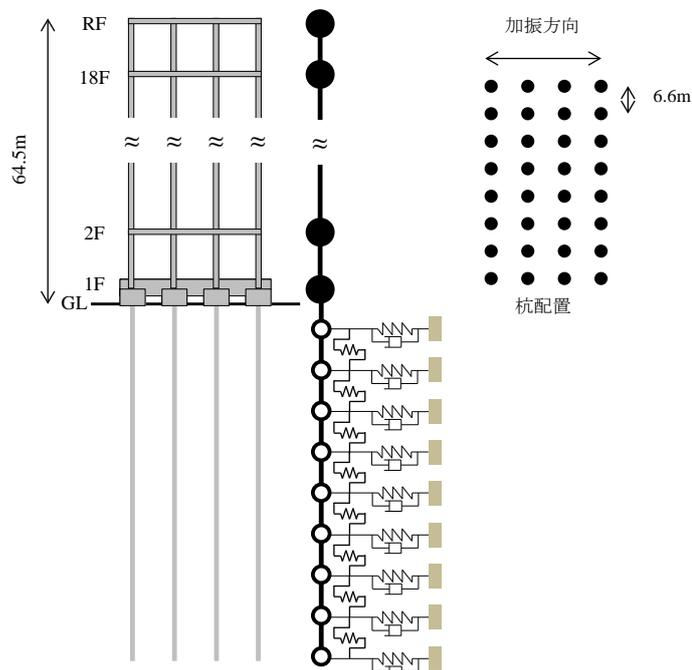


図 3 - 2 - ④ - 9 解析対象の杭支持建物と解析モデル図

表 3-2-④-3 解析に用いた地盤物性値

土質	深さ(m)		湿潤密度 ρ (t/m ³)	S波速度 Vs(m/sec)	初期せん断剛性 Go(kPa)	間隙率 n	有効上載圧 (kPa)	静止土圧係数 Ko	粘着力 c(kPa)	内部摩擦角 Φ (度)	液状化抵抗比 τ/gv	透水係数 (m/sec)	体積圧縮係数 mv(1/kPa)
	上端	下端											
Bs	0.00	3.60	1.80	100.00	18000	0.46	31.78	0.50	0.00	-	-	1.00E-05	-
Bs	3.60	4.60	1.80	120.00	25920	0.46	67.49	0.50	0.00	28.42	0.205	1.00E-05	3.49E-05
Ac1	4.60	7.20	1.80	120.00	25920	0.57	81.62	0.50	43.29	0.00	-	1.00E-08	-
As1	7.20	8.70	1.80	140.00	35280	0.44	97.71	0.50	0.00	27.50	0.169	1.00E-05	3.03E-05
Ac2	8.70	12.50	1.80	120.00	25920	0.57	118.50	0.50	30.04	0.00	-	1.00E-08	-
As2	12.50	14.70	1.80	170.00	52020	0.44	142.05	0.50	0.00	27.50	0.139	1.00E-05	2.63E-05
As2	14.70	17.50	1.80	170.00	52020	0.44	161.67	0.50	0.00	27.50	0.175	1.00E-05	2.50E-05
Ac3	17.50	36.80	1.60	170.00	46240	0.57	229.46	0.50	113.69	0.00	-	1.00E-08	-
Dms1	36.80	41.70	1.90	250.00	118750	0.42	307.89	0.50	0.00	-	-	1.00E-05	-
Dmc	41.70	48.70	1.70	240.00	97920	0.52	353.55	0.50	126.32	-	-	1.00E-08	-
Dms2	48.70	59.00	1.90	310.00	182590	0.42	423.06	0.50	0.00	-	-	1.00E-05	-
Dms3	59.00	66.00	1.90	390.00	288990	0.42	499.43	0.50	0.00	-	-	1.00E-05	-
Dmg	66.00	70.00	2.20	430.00	406780	0.42	553.87	0.50	0.00	-	-	1.00E-03	-
Ps	70.00	80.00	2.10	700.00	1029000	-	-	-	-	-	-	-	-

c) 解析結果

薄層要素法と Penzien モデルの解析結果を図 3-2-④-10 に示す。杭頭における加速度応答スペクトルをみると、0.8Hz 付近と 5Hz より高振動数側において薄層要素法と Penzien モデルの応答に多少違いが見られるが、その他の振動数ではよく対応していると考えられる。また、杭頭における加速度波形、深さ方向の最大加速度、せん断応力、曲げモーメント分布をみても両者は良く対応している。このことから、線形領域において杭基礎建物の解析における Penzien モデルの適用性が確認できた。

次に、非線形領域における地盤ばねのサイトノンリニアリティの取り込み方法を検証する。本研究では、地盤ばねの非線形性において杭と杭周辺地盤の相対変位による非線形性（ローカルノンリニアリティ）、自由地盤の非線形性の影響（サイトノンリニアリティ）の 2 種類を考慮している。ここで、軸方向地盤ばねにおけるサイトノンリニアリティは自由地盤に非線形化によって剛性低下が生じた時に、地盤ばねの取り付く位置の上下の層の剛性低下の影響を受けることとなる。その際の剛性低下の考慮の仕方について、上下の層の剛性低下を平均化して取り込む方法と、剛性低下が大きな層の剛性低下を上下層で平均化せず取り込む方法の 2 つの方法のどちらがより適切に地盤ばねのサイトノンリニアリティを表現できるか検証を行う。ここでは、地盤モデルにおける Ac2 層の一部(深さ-11.55m~-12.5m)が剛性低下したと仮定し、その際のサイトノンリニアリティの考慮の仕方の違いが解析結果に及ぼす影響を確認する。解析は線形領域で行い、自由地盤の非線形化は等価剛性的に考慮する。

図 3-2-④-11 に自由地盤の剛性低下とサイトノンリニアリティの考慮の際の等価剛性を S 波速度構造で示す。図 3-2-④-12、3-2-④-13 に薄層要素法と Penzien モデルの解析結果を示す。深さ方向の最大加速度、せん断応力、曲げモーメント分布から、剛性が 1 割まで低下した場合(図 3-2-④-13)は、建物や杭応答に多少違いが生じるものの、サイトノンリニアリティの考慮方法は解析結果にほとんど影響しないことが確認できた。また、剛性が 1 割まで低下した場合の応答をみるとサイトノンリニアリティを平均化して考慮した方が薄層法との対

応が良かった。これは、サイトノンリニアリティを平均化しない場合では地盤ばねの剛性を過小評価していることが考えられる。したがって、本研究におけるサイトノンリニアリティの取り込み方法である、自由地盤の剛性低下を平均化して取り込む方法の適用性が確認できた。

本検討では、杭基礎建物の非線形地震応答解析モデルとして用いられている **Penzien** モデルのうち、特に杭周地盤ばねモデルの妥当性について検討を行い、サイトノンリニアリティについては、地盤ばねの取り付け位置の上下の層の剛性低下率の平均として評価する方法が適切であることが確認できた。

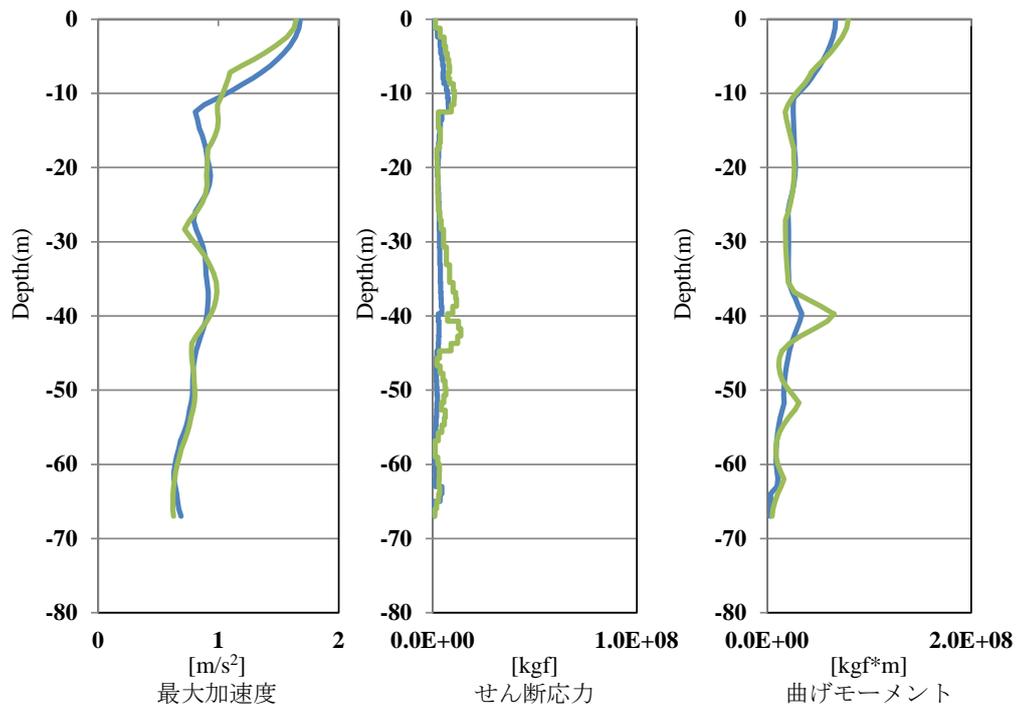
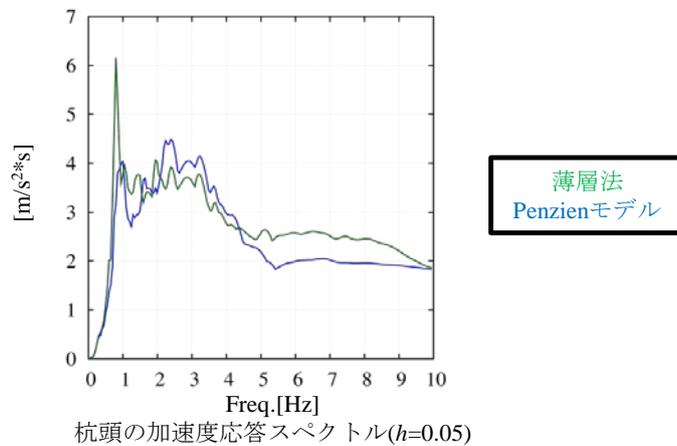
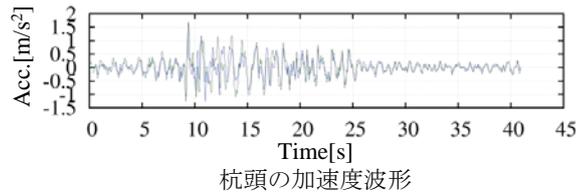


図 3 - 2 - ④ - 1 0 薄層要素法と Penzien モデルの応答結果の比較

自由地盤の剛性低下が $G=0.1G_0$ $G=0.2G_0$ $G=0.5G_0$
 地盤ばねにおいて剛性低下を平均して考慮する $G=0.1G_0$ $G=0.2G_0$ $G=0.5G_0$
 剛性低下を局部的に考慮する $G=0.1G_0$ $G=0.2G_0$ $G=0.5G_0$

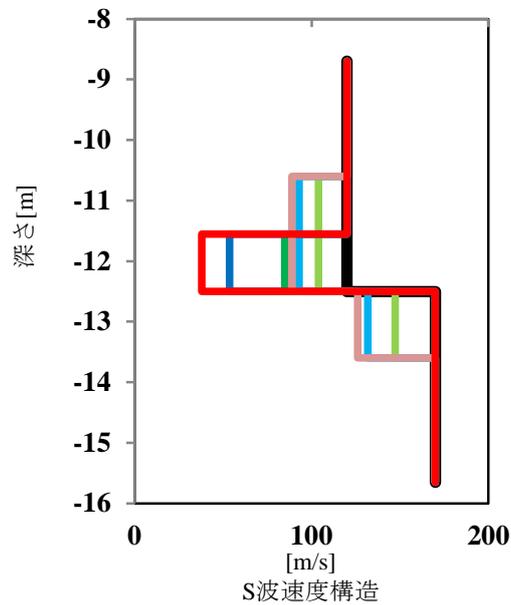


図 3 - 2 - ④ - 1 1 仮定した剛性低下の S 波速度構造

薄層法
 Penzienモデル局所的な剛性低下
 Penzienモデル平均的な剛性低下

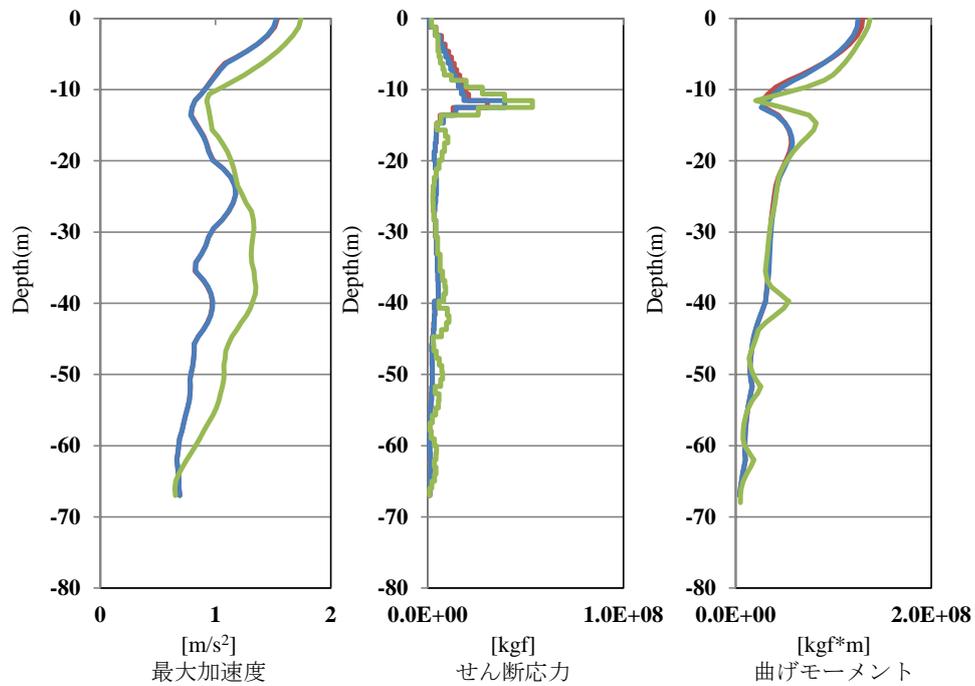


図 3 - 2 - ④ - 1 2 $G=0.5G_0$ における薄層法と Penzien モデルの比較

薄層法
Penzienモデル局所的な剛性低下
Penzienモデル平均的な剛性低下

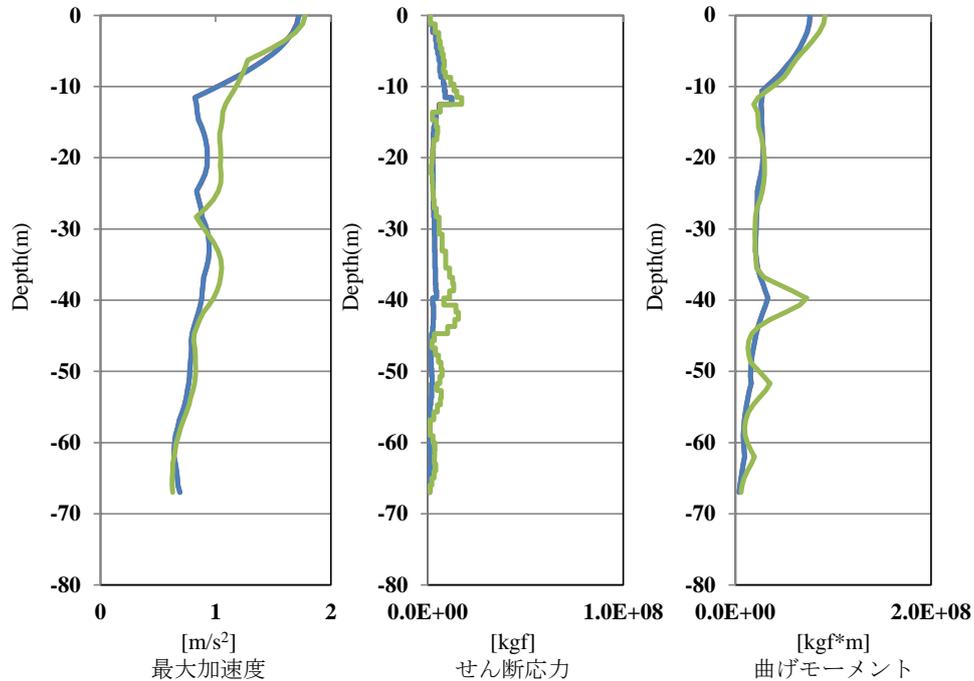


図 3 - 2 - ④ - 1 3 $G=0.1G_0$ における薄層要素法と Penzien モデルの比較

(c) 結論ならびに今後の課題

建物の被災シナリオ検討・安全性評価に向けた基盤情報検討として、特に建物の応答特性に影響を及ぼす地盤と建物の動的相互作用を重視して、観測記録の収集整理と応答解析手法の検討を行った。以下に各項目のまとめを述べる。

中低層建物について強震観測記録のデータベース化を継続するとともに、代表的な中層建物を対象に建物・地盤系を1次元せん断連続体にモデル化し、その応答特性を実測記録や A_i 分布と比較・考察した。このモデル化は簡易であり、建物と地盤の相対的な関係による応答特性を検討する際に適している。

根入れを有する基礎について、基礎入力動の回転成分が上部構造の非線形応答に与える影響を質点系モデルで検討を行い、条件の相違による特性を検討した。これは従来あまり考慮されてこなかった点であるが、軟弱地盤でかつ根入れが深い場合などに影響が無視できないことが確認された。

また、根入れ基礎を対象とした隣接建物感動的相互作用について薄層要素法と有限要素法を用いた解析法で検討し、単独建物に比べて応答が増大する場合などについて検討した。設計は単独建物として行われるが、都市域などでは密集して多数の建物があり、それらの影響が無視できない場合があることを示した。

最後に杭基礎建物の動的相互作用を考慮した質点系モデルについて、特に杭周地盤ば

ねの設定に関する検討を行った。杭基礎のモデル化は多様な提案があるが、比較的簡易な質点モデルにより設計や被害想定に十分な精度を可能にすることが重要である。

以上の成果に基づき、多様な建物に関して、地盤条件を十分に評価したうえで被害予測から被災シナリオや安全性検討に結び付けることが重要な課題といえる。

(d) 引用文献

- 1) Wen, H., An analytical study on effects of foundation type, Foundation Shape and Adjacent Building on Dynamic Soil Structure Interaction. Diss. Nagoya University, 2006.
- 2) Wolf JP., Foundation vibration analysis using simple physical models. Pearson Education, 1994.

⑤ ライフライン

(a) 業務の要約

平成 27 年度は、南海トラフ巨大地震発災時の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電力需給ギャップの想定と電力供給設備対策の現状を抽出した。また、上水道については、高度化した被害予測手法を用いて、南海トラフ巨大地震時の上水道設備の被害予測および復旧予測を実施した。

(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被害予測の課題抽出や、その課題を克服する新たな被害予測手法の開発を行った。

電力については発災後の電力需給ギャップの想定と電力供給設備対策の現状を抽出した。また、上水道については、愛知県内のある一市町村を対象として、水供給システムの特徴等を反映した、高度化した被害予測手法を用いて上水道設備の被害予測および復旧予測を行い、愛知県が公表する被害想定結果と比較した。

(c) 業務の成果

1) 電力

a) 電力の被害予測と需給シミュレーション

南海トラフ地震発災時における電力の被害予測には、時系列の電力需給シミュレーションが不可欠である。前報までの考察から、南海トラフ地震については、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、需要予測においては、実績データに基づく現状のシミュレーション手法では、特にレベル 2 において根拠となる人的・物的直接被害に関する被害関数やサプライチェーンなどの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ことが解った。また、供給予測においても、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新たに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ことが解った。

一方、東日本大震災後の東北電力管内の電力需給状況を見ると、需要側供給側双方に大きな被害はあったが、仮設電源の早期立ち上げ・電力融通などの供給力対策や全国的な需要抑制策など需要側供給側それぞれの立場で努力を継続した結果、需要と供給のバランスを維持することに成功しており、被害予測としての需給シミュレーションの精度如何にかかわらず、震災後の電力需給の安定を担保する道筋に示唆を与えている。

b) 南海トラフ地震による電力需給ギャップに関する試算例

需給シミュレーションの重要性は電力行政・事業者にも十分認識されており、今年度は発災後の電力需給ギャップの試算例が公表されているため、これに関して考察を加える。

経済産業省産電気設備自然災害等対策ワーキンググループでは、平成 26 年 6 月の中間報告書(経済産業省、2014)に基づき、具体的な供給支障量等を把握し、今後の復旧迅速化策や中長期を視野とした設備形成面の検討につなげる目的で、自然災害による様々な被災ケースを想定した電力需給シミュレーションを実施した。中央防災会議から公表されている南海トラフ地震の被災ケースから、被災後の供給力と災害時潜在需要を推計し、電力需給バランスを評価している。その結果、西日本 60Hz エリアの電力会社(関西電力株、中部電力株、北陸電力株、中国電力株、四国電力株、九州電力株)の総計では、ピークとボトムの中間的な需要に対応した供給力は確保されていることが確認されたとともに、電力需要の大きい夏季に発災した場合のピーク需要に対しても、復旧迅速化等の設備保安面の対策に加え、異周波数地域からの融通(120 万 kW)、ピークシフト等を通じた需要家への節電要請等(東日本大震災時には、▲15%を要請)を加味すれば、1,100 万 kW 程度の需給ギャップは発災後 2 週間後には解消できる可能性があることが明らかになった。(図 3-2-⑤-1 南海トラフ(三連動)地震 需給バランス評価結果)

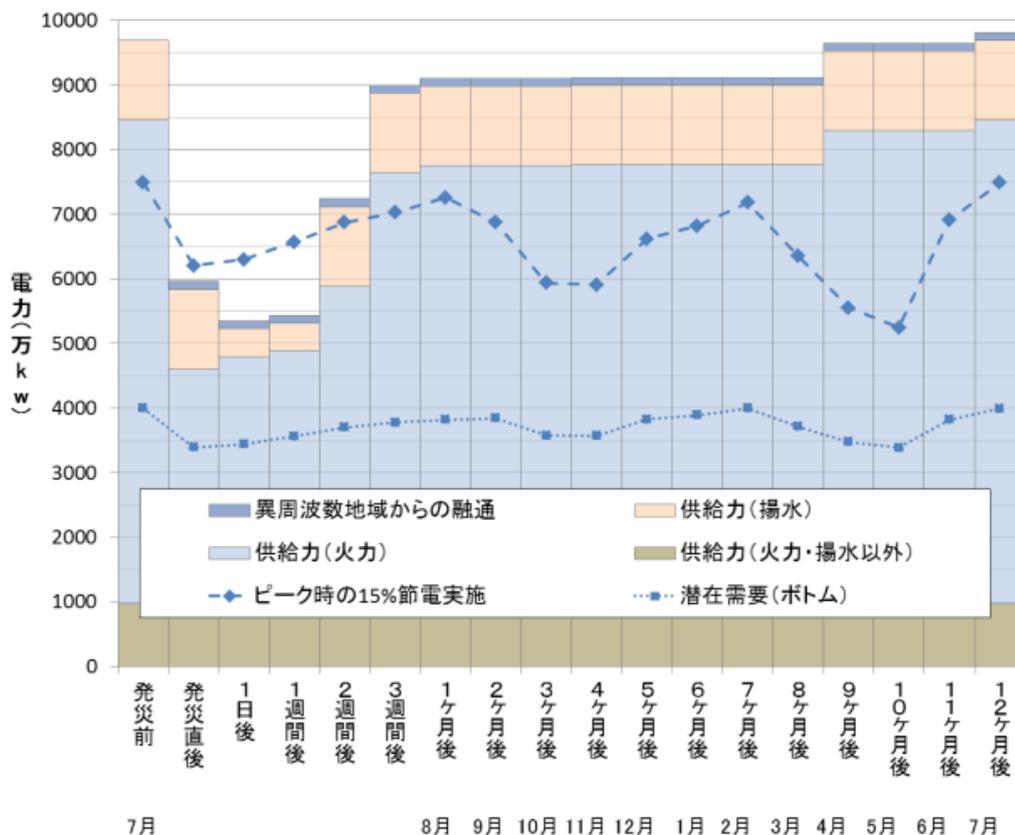


図3-2-⑤-1 南海トラフ(三連動)地震 需給バランス評価結果¹⁾

(夏季発災・西6社・設備保安面での復旧迅速化策及び15%の節電が共に実施された対応後ケース)

これらの検討は、南海トラフ地震における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・津波が想定されており、レベル2については公表されていない。また、電力需給を安定化させる方策として、需要側供給側双方の対応について言及されていることに注目する必要がある。

一方、中部電力(株)は南海トラフ地震などの大規模地震や津波災害に備えた新たな対策をまとめ8月に公表した(日本経済新聞、2015; 電気新聞、2015)。大規模地震・津波対策は、南海トラフ地震におけるレベル1に対しては早期供給力確保の観点で必要な設備対策や被災後の復旧計画の策定、レベル2に対しては設備損壊等により公衆保安を侵害しないという観点で必要な対策を講じることとしており、レベル1における対策の効果の判断材料として、発災後の時系列の需給ギャップを試算している。この試算は事業者が実施したものであり、電力供給設備の位置や需要量の地域分布などの基礎データの精度は高いものであると考えられる。その結果は、対策後も伊勢湾周辺の火力発電所のある程度の被災は避けられず、他地域からの応援融通を考慮しても、春秋の低需要期で約2週間、夏季のピーク時では1カ月程度は需給に一定のギャップが生じる可能性があるとして想定している。またその対応として、10~20%の節電やピーク時間帯の需要抑制など、需要家の協力を要請する可能性にも言及されている。

以上の試算例から、南海トラフ地震における電力被害は、レベル1において、季節・時間帯によって2週間から1か月程度の電力需給ギャップが生じることを想定しておく必要があり、その間は需要側供給側双方がギャップを出来る限り抑制するための対応が必要になると認識しておくことが大切である。また、以上の2例はレベル2における需給シミュレーションは含まれないが、これは、前述の需給シミュレーションそのものの精度の問題とともに、各自治体の地震・津波対策の基本方針のレベル1への対応を行うことを重要としレベル2への備えはその延長線上にあるとする考え方と軌を一にするものであると言える。

図3-2-⑤-2に電力需給ギャップ解消の方策の模式図を示す。被災後の電力需給ギャップを解消するためには、供給の観点からは非常時供給力の確保と供給力の復旧迅速化、需要の観点からは非常時の需要抑制への理解の三点について平常時から準備し合意しておくことが重要である。

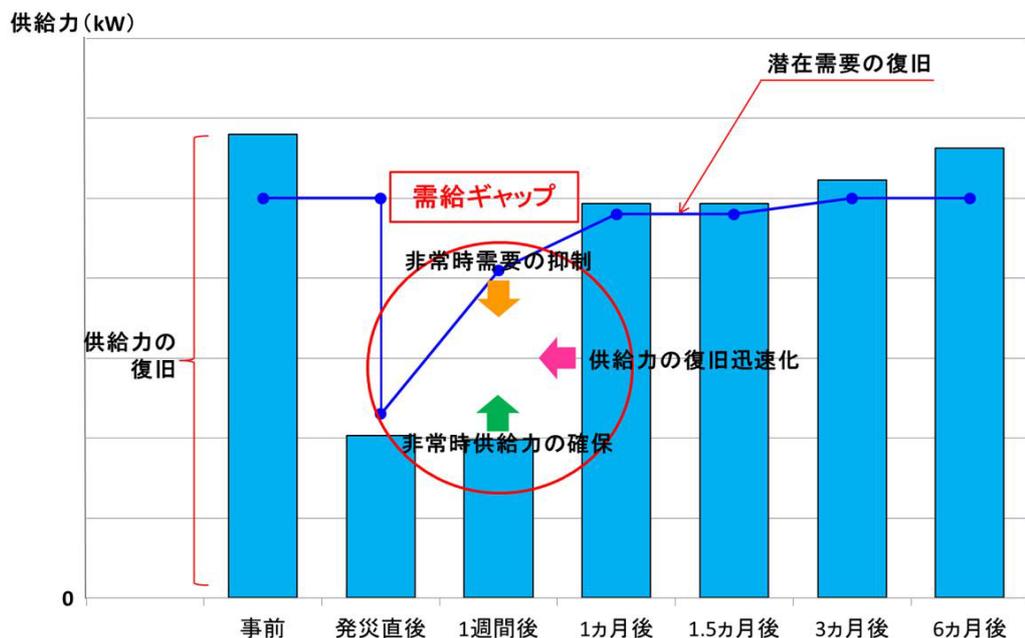


図3-2-⑤-2 電力需給ギャップ解消の方策

c) 需給ギャップ解消のための地域連携の取組み

社会全体が相互に依存している中で電力システムの復旧迅速化を進めるに当たっては、復旧資機材や要員の参集に関わる道路、発電所を稼働させるために必要な工業用水、発電量燃料を受け入れる港湾の設備等の周辺のインフラ復旧状況が大きく影響するが、これらを総合的に評価する知見や取組はこれまで存在していなかった。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が、その先行的取組として、西三河地域9市1町の防災担当部署による西三河防災減災連携研究会において、国土交通省、愛知県、電力会社ほか地域企業も参加して、道路インフラの現状と課題に関するワークショップを実施した。

内容の一例として、愛知県西三河地域の緊急輸送道路の指定の現状を図3-2-⑤-3に示す。図の赤線は1次緊急輸送道路、青線は2次緊急輸送道路、黄線は3次緊急輸送道路を示す。赤・青線の1次・2次緊急輸送道路は国・県が指定するものであるため、市境を超えて地域全体の移動・輸送に配慮されているが、各基礎自治体が指定する3次緊急輸送道路は、隣接市町との連絡が配慮されておらず、広域的な道路運用を阻害することが解った。道路は被災後の電力システムの復旧迅速化を進める最重要インフラであるが、このような課題を共有し連携して対処することにより、復旧迅速化をより確実なものにすることができる。また、このような取組のテーマとして、電力需給ギャップを取り上げることにより、企業や行政、一般市民など地域社会全体で大規模地震時の電力需給ギャップに関する理解を深め、発災後には社会全体が電力需給ギャップの解消に協力するスキームを構築することで地域防災力を向上させることができる。

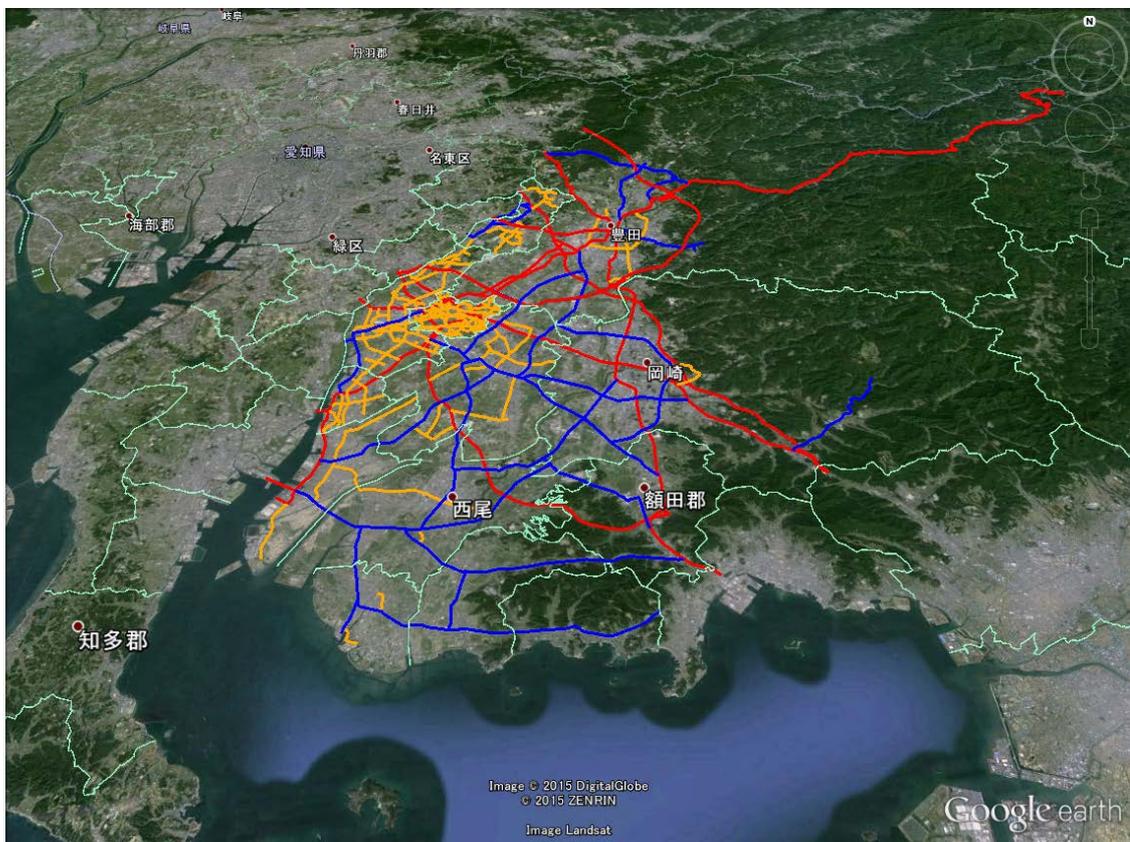


図3-2-⑤-3 愛知県西三河地域の緊急輸送道路 (赤:1次、青:2次、黄:3次)

2) 上水道

a) はじめに

「南海トラフ巨大地震対策検討WG」の最終報告(内閣府、2013)における、上水道の被害想定手法は、津波の影響(浄水場の停止)、停電の影響(浄水場の停止)が東日本大震災の教訓として考慮されているものの、簡易的な予測に留まっている。水供給システムの被害想定を考える場合、水供給システムの特徴である連続性(取水～浄水～送配水に関わる施設・管路等の全ての設備が無被害で供給可能)や、ネ

ットワーク（隣接市町村や他系統からのバックアップ等）等を考慮する必要があるが、国および自治体の上水道被害想定手法ではこれらの項目が取り込まれていない。平成 25、26 年度では、上述した内容を含む、国および自治体の上水道被害想定手法が抱える課題を明らかにし、それらを克服する高度化した被害想定手法の構築を試みた。平成 27 年度は、構築した被害想定手法を用いて、愛知県内のある市町村を対象に、南海トラフ巨大地震時における上水道設備の被害想定および復旧予測を実施した。

b) 被害想定手法

表 3-2-⑤-1 に、国および自治体の上水道被害予測手法における課題と高度化に向けた改善策を示す。概ね昨年度までに完了しており、今年度は新たに水管橋の被害予測手法の構築、水道用水供給事業の管路も対象に含めることや、各市町村が有する自己水源を考慮することで、水供給システムの持つ特性を被害想定手法に反映した。

表 3-2-⑤-1 国および自治体の被害予測における課題とその改善策

施設被害			
	課題	改善策	状況
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	H26 年度完了
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等）	H26 年度完了
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	H26 年度完了
管路被害			
	課題	改善策	状況
④	建物棟数に応じて管路属性値をメッシュ配分	GIS データを基に管路属性値をメッシュ配分	H26 年度完了
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た上流から下流への水供給および自己水源の有無を考慮し、水供給システムが持つ特性を反映	H27 年度完了
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	未検討
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	H27 年度完了

①、②、③、⑦の項目については、東日本大震災での被害事例を踏まえて、個々の設備の被害状況および応急復旧日数を予測するフローを作成した。図3-2-⑤-4、3-2-⑤-5に全体フローおよび復旧日数想定フローを示す。(各項目の照査フローの掲載は省略する。)なお、予測フローに用いるデータは、地表面加速度、浸水深、微地形区分等、比較的入手が容易なもので検討可能となるよう配慮した。このフローで求まる被害状況は、「被害想定(予測)」であり、耐震診断では無い。つまり、無被害という結果は、設備の耐震性を保証するものでは無いことを注記しておく。

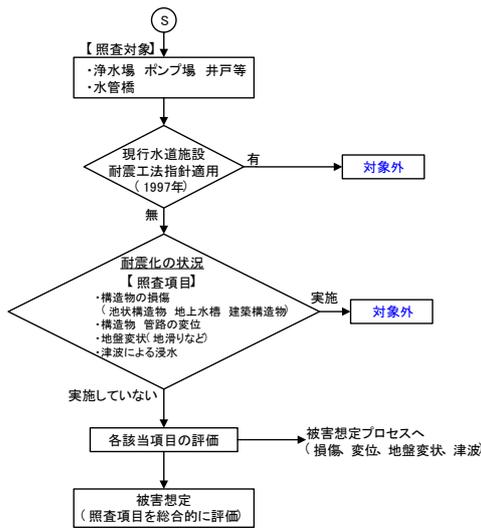


図3-2-⑤-4 全体フロー

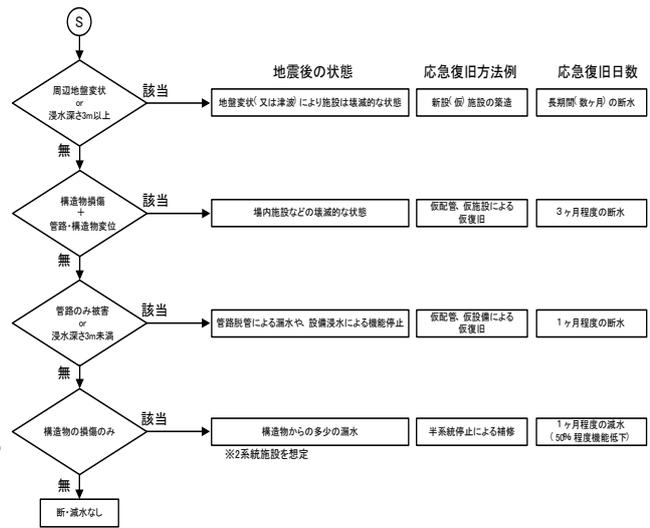


図3-2-⑤-5 復旧日数想定フロー

c) 復旧想定手法

上水道設備が地震による被害を受けた直後から、通常の状態に復旧するまでのプロセスに関する想定手法を提案した。

設備の応急復旧については、実際の応急復旧の流れを正確に再現するため、上流設備から下流設備に復旧が進む過程(取水場→導水管→浄水場→送水管→配水場→配水管)を組み込んだ。

最終的なアウトプットとして、国および自治体の復旧予測では、地震発生からの断水率(断水人口)の推移を算出するに留まっているが、本研究における復旧想定手法では、給水形態(通常給水、仮設給水栓、運搬給水)の推移を新たに算出することとした。

また、地震発生からの日数に応じて設定される目標水量に対する、実際の給水量の割合である、「給水達成率」を指標として算出することで、断水による需要者への影響を定量的に評価する枠組みを構築した。

d) ケーススタディ

前述した、被害想定手法および復旧想定手法を用いて、愛知県内のある市町村を対象にケーススタディを実施し、愛知県防災会議地震部会から公表されている被害

想定結果(愛知県防災会議地震部会、2014)と比較した。

当該市町村は愛知県営水道から水道用水供給を受けている。愛知県営水道では、「愛知県営水道・工業用水道地震防災対策調査業務委託報告書」(愛知県企業庁、2014)において、想定地震に基づいて、県営水道に発生が想定される被害等を取りまとめている。今回のケーススタディでは、県営水道の被害については同報告書で想定されている被害状況を反映する。想定地震は、愛知県防災会議地震部会が公表している「過去地震最大モデル」(愛知県防災会議地震部会、2014)である。

表3-2-⑤-2に、上水道設備の被害について、愛知県被害想定結果と今回のケーススタディ結果を比較したものを示す。

表3-2-⑤-2 上水道設備の被害想定結果

項目	愛知県被害想定結果	ケーススタディの結果
地震動による 建造物の被害	検討無	5 施設
変位による被害	検討無	1 施設
地盤変状による 建造物の被害	検討無	2 施設
津波による 建造物の被害	浸水あり：1 施設	同左
二次被害（停電 等）による構造 物の被害	停電あり：2 施設 (停電率が 50%を上回る「2 日 後」まで断水)	同左に加えて、ポンプ場等
管路の被害件数	配水管の被害件数：9,805 件	配水管の被害件数：3,169 件

建造物の被害に関わる想定結果の違いは、想定手法自体の違いによるもので、当然の結果であるが、管路の被害件数では、両結果で用いている想定式が同一であるにも関わらず大きな差異が生じている。ケーススタディでは、管路属性値を GIS データに基づいてメッシュに正確に割り当てているのに対して、愛知県被害想定では、建物棟数に応じて全体管路延長を各メッシュに配分している。そのため、被害が生じやすいメッシュに対して、実際の敷設管路延長より多くの延長を配分したために、被害件数が多く生じている可能性がある。

図3-2-⑤-6に、断水人口の推移について、愛知県被害想定結果と今回のケーススタディ結果を比較したものを示す。

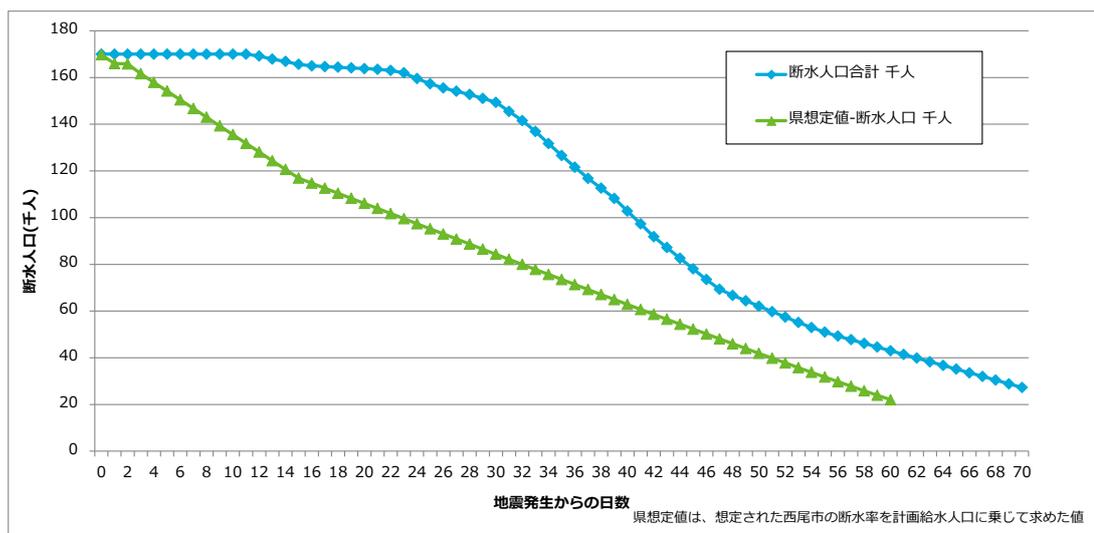


図 3 - 2 - ⑤ - 6 地震発生からの断水人口の推移

愛知県被害想定では、地震発生直後から断水人口がほぼ一定に減少を始めているのに対して、ケーススタディの結果では発生後 20 日間程度は断水人口の減少が鈍く、30 日後以降に減少が顕著になっている。

これは、愛知県被害想定が地震被害を受ける施設を浄水場のみに限定しているのに対して、本検討では、全ての施設(水源・浄水場・配水池)に対しての被害状況を評価しているためである。実際の地震被害からの復旧に際しては、上流側施設からの順次復旧が必要であり、上流側の施設が復旧したのちに管路復旧に着手し、断水人口の減少が生じ始めると考えられる。

愛知県被害想定では、断水人口の推移を算出するに留まっているが、ケーススタディにおいては、断水による需要者の影響を定量的に評価するため、「給水形態の推移」、「給水達成率」の推移を算出している。それぞれ図 3 - 2 - ⑤ - 7、3 - 2 - ⑤ - 8 に示す。なお、給水達成率は以下の式で定義する。

給水達成率 (%) = 目標水量以上の給水が可能な人口の割合 ÷ 設定目標水量

(設定目標水量 : 0~3 日目→300/人・日、4~14 日目→200/人・日、
15 日~28 日→1000/人・日、29 日目~→2500/人・日)

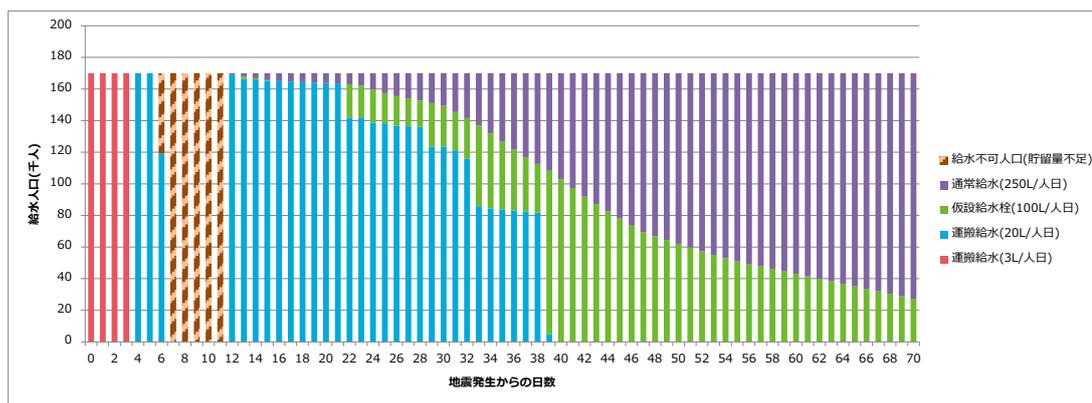


図 3 - 2 - ⑤ - 7 地震発生からの給水形態の推移

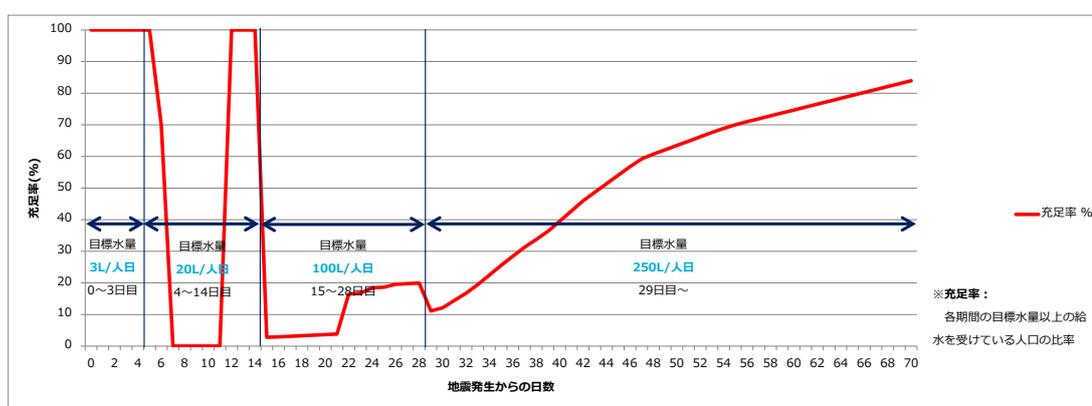


図 3 - 2 - ⑤ - 8 地震発生からの給水達成率の推移

設備の応急復旧の進捗に伴って、需要者への応急給水量は拡大し、運搬給水から仮設給水栓による給水、管路からの通常通水へと変化する。図 3 - 2 - ⑤ - 7 が示すように、今回のケーススタディの条件下では上流側施設の復旧に長期間を要するため、運搬給水による供給が長期間継続することになる。また、運搬給水に用いることができる確保水量は、県営水道を含めた水源が復旧するより早期に枯渇することとなり、給水が不可能になる期間が生じることも示された。

このように、給水形態の経時変化を予測することで、地震発生後の行動計画等の策定に活用することができると考えられる。

次に、図 3 - 2 - ⑤ - 8 から、給水達成率について考察する。7~11 日に水源が枯渇する期間と、目標水量が 1000/人・日に増加する 15 日以降で、給水達成率が長期間に渡り低い値を示すことが分かった。同指標を用いることで、経時的に目標水量の充足度を視覚的にも理解することができる。さらに、各種の減災対策効果を定量的に評価する指標としても有効であると考えられる。

(d) 結論ならびに今後の課題

1) 電力について

南海トラフ地震発災時における時系列の電力需給シミュレーション事例について調

査した結果、季節・時間帯によって2週間から1か月程度の電力需給ギャップが生じることを想定しておく必要があり、その間は需要側供給側双方がギャップを出来る限り抑制するための対応が必要になることが解った。

また、需給ギャップ解消のための地域連携の取組み事例として、西三河防災減災連携研究会において道路インフラの現状と課題に関するワークショップを実施した。その結果、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構築の重要性が把握できた。

2) 上水道について

国および自治体の被害予測における課題を克服する、高度化した被害想定手法および復旧想定手法を構築した。また、愛知県内の市町村を対象としてケーススタディを行い、愛知県被害想定結果と比較した。構築した被害想定手法では、上水道設備のより正確な被害予測が可能であるとともに、復旧想定手法では、給水形態および給水充足率の推移が新たなアウトプット項目として加わることによって、断水による需要者の影響を定量的に評価することを可能とした。

今後は、設備の耐震化、復旧班の適正配置、需要者の自助による対策（備蓄水）等による、防災・減災対策効果を、構築した手法を用いて定量的に評価する。また、上水道設備の被害や断水に伴う、社会的影響評価の検討に着手する。ここでは、上水道設備の被害による水道事業者の経済的損失額や、長期断水による需要者の機会損失額等の経済的指標を用いた評価の実施を予定している。

(e) 引用文献

- 1) 愛知県企業庁，愛知県営水道・工業用水道地震防災対策調査（その1）業務委託報告書，平成26年6月
- 2) 愛知県防災会議地震部会，平成23年度～25年度 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，平成26年5月
- 3) 電気新聞「中部電力BCP（事業継続計画）特集」2015年11月11日，7.
- 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中間報告書，平成26年6月24日，
http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/denryoku_anzen/denki_setsubi_wg/report_01.html
- 5) 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（第8回） - 議事要旨，平成27年7月10日，
http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/denryoku_anzen/denki_setsubi_wg/008_giji.html
- 6) 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，2013.
- 7) 日本経済新聞「中部電、防災計画を刷新」2015年8月29日付朝刊，39.

⑥ 広域リスク評価

(a) 業務の要約

本業務では、現在から将来における南海トラフで発生する地震・津波の確率論的ハザード情報を利用し、建物被害及び人的被害の広域リスク評価を実施した。地震リスク評価は 10 年確率に基づく評価を行った。津波リスク評価は、南海トラフで発生する津波の多様性を反映したハザードに基づいて行った。これら地震・津波の広域リスク評価結果から特徴的なシナリオを抽出し、災害シナリオを試作した。

(b) 業務の成果

1) 地震リスク評価

a) 評価手法

平成 25 年度に構築した人口・建物モデルや平成 25・26 年度の地震（揺れ）による被害予測手法の検討結果に基づき、10 年確率の地震による建物被害・人的被害のリスク評価を行った。図 3-2-⑥-1 に地震リスク評価の流れを示す。また、地震リスク評価を実施する際の諸条件を以下に示す。

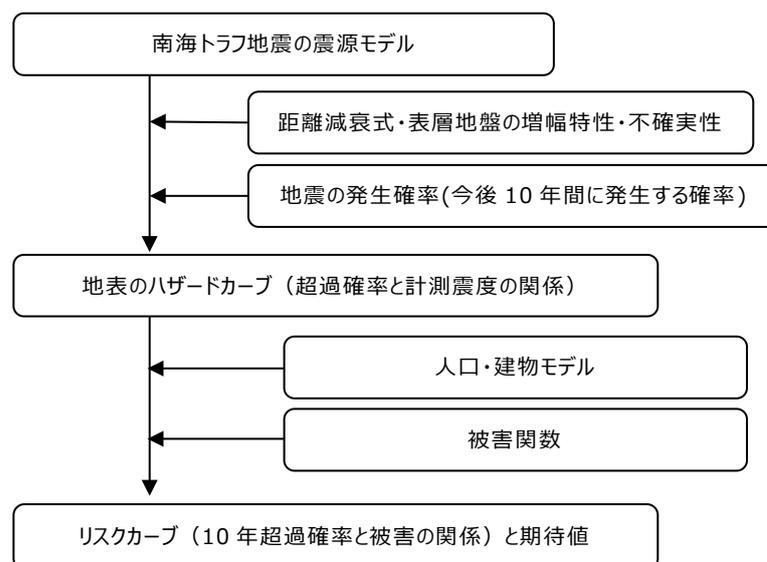


図 3-2-⑥-1 地震リスク評価の流れ

i) ハザード情報

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)に基づく地表の震度ハザードカーブを用いた。ただし、発生確率は今後 10 年間に発生する確率を用いた。リスク評価の基準年は、2015 年・2025 年・2035 年・2045 年・2065 年とした。

ii) 人口・建物モデル

平成 25 年度に作成した人口・建物モデル(中村洋光・他,2014)を利用した。

iii) 被害関数

- 建物被害(建物全壊)

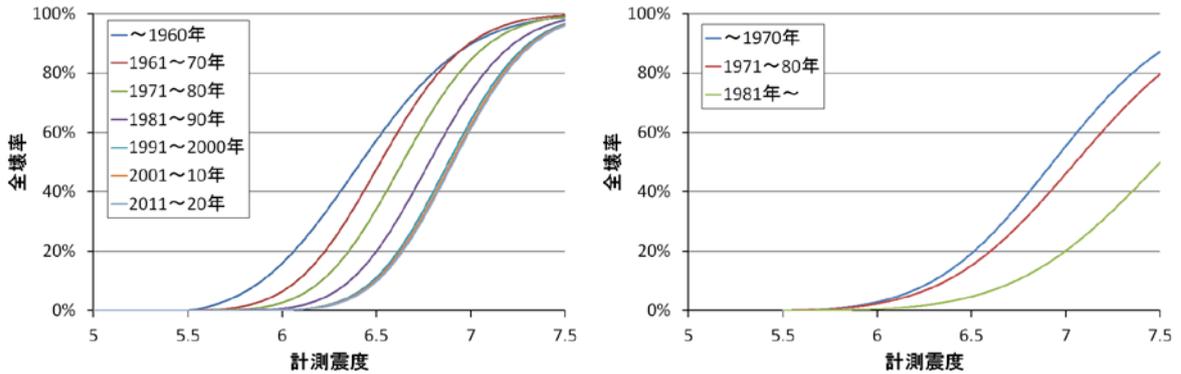
- ・木造：中嶋唯貴・岡田成幸(2008)の損傷度 0.6 以上の被害率と震度の関係
 なお、木造建物の経年劣化の影響は老朽化得点 F と経過年 t' の関係式(中嶋唯貴・岡田成幸,2008)で評価しこれを被害関数に反映させた。

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

- ・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

● 人的被害(死者数)

- ・平成 26 年度に検討した福島誠志・他(1997)による経験式を補正し、高齢化による影響を反映できるようにした手法



(a) 木造建物(2015年時点)

(b) 非木造

図 3 - 2 - ⑥ - 2 建物被害関数

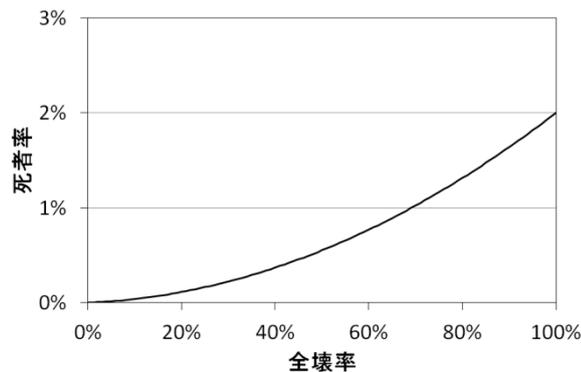


図 3 - 2 - ⑥ - 3 人的被害関数

b) 評価結果

本年度実施した 10 年確率を用いた地震リスク評価の試算結果では、2015 年時点における建物全壊棟数の 10 年期待値は約 11 万棟、死者は約 1.7 千人と推定された。都道府県別集計値では、静岡県が最も大きく全壊約 3.4 万棟、死者約 7 百人、次いで愛知県の全壊約 2.0 万棟、死者約 3 百人、三重県の全壊約 0.8 万棟、死者約 1 百人という結果になった。リスク評価基準年の推移による 10 年期待値の変化をみると、30 年期待値の場合と異なり、建物全壊棟数は 2035 年時点でピークを迎え、その後、徐々に減少する結果となった。また、建物全壊率は年々上昇する結果となった。これは、10 年確率の場合、2015 年時点の発生確率が約 23%と低く、時間の経過にと

もなう発生確率の上昇余地が30年確率と比べて大きい。このため、発生確率の上昇が、時間の経過に伴う建物の建替えによる耐震性能の向上を上回り、結果として建物全壊率が上昇し続けたものと考えられる。死者数の10年期待値は、2045年にピークを迎え、その後は減少するが、死者率は2065年まで上昇し続ける結果となった。死者数(率)の増加要因には、建物全壊と比べて高齢化率の上昇が加わるため、地震発生確率の上昇の影響が強く出現する傾向がある。

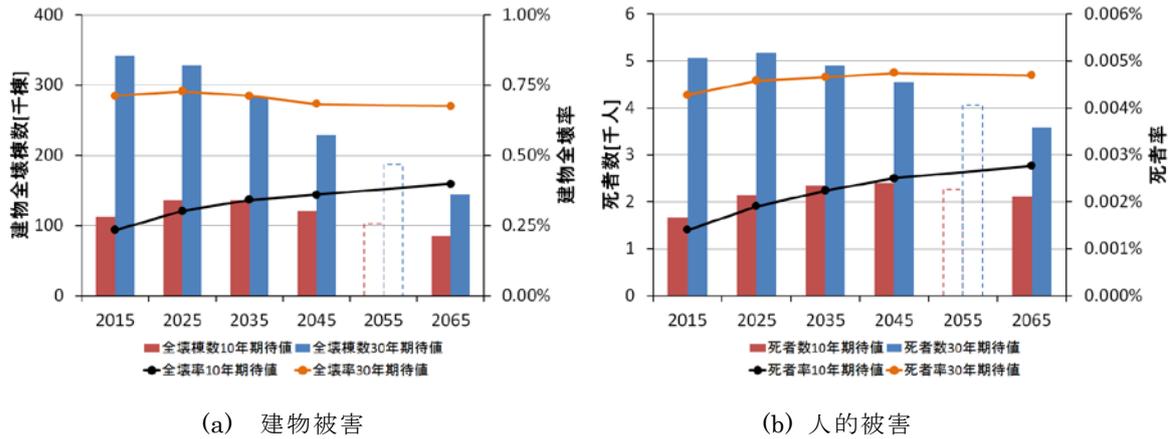


図3-2-⑥-4 地震リスクの10年・30年期待値の推移
(2055年は2045年と2065年の平均値)

2) 津波リスク評価

a) 評価手法

平田賢治・他(2015)による南海トラフで発生する津波の確率論的津波ハザード情報を利用して、現在～将来における津波による建物被害・人的被害のリスクを試算した。図3-2-⑥-5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。

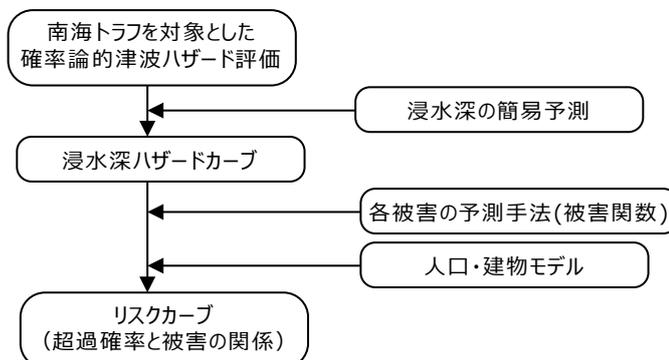


図3-2-⑥-5 津波リスクの試算の流れ

i) ハザード情報

南海トラフで発生する津波波源の多様性を考慮した確率論的津波ハザード評価(平田賢治・他, 2015)の汀線メッシュにおける最大津波波高のハザードカーブを用いた。この最大津波波高に浸水深の簡易予測法(清水智・若浦雅嗣,2012)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)を作成した。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。発生確率は今後10年間および30年間に発生する確率を用いた。リスク評価の基準年は、2015年・2025年・2035年・2045年・2065年とした。

ii) 人口・建物モデル

平成25年度に作成した人口・建物モデル(中村洋光・他,2014)を利用した。

iii) 被害関数(被害予測手法)

● 建物被害(建物全壊)

津波による建物被害関数は中央防災会議(2012)を用いた(図3-2-⑥-6参照)。

● 人的被害(死者数)

平成26年度に検討した中央防災会議(2006)に避難未完了率の補正や年齢別補正を加えた手法を使用した(図3-2-⑥-7参照)。

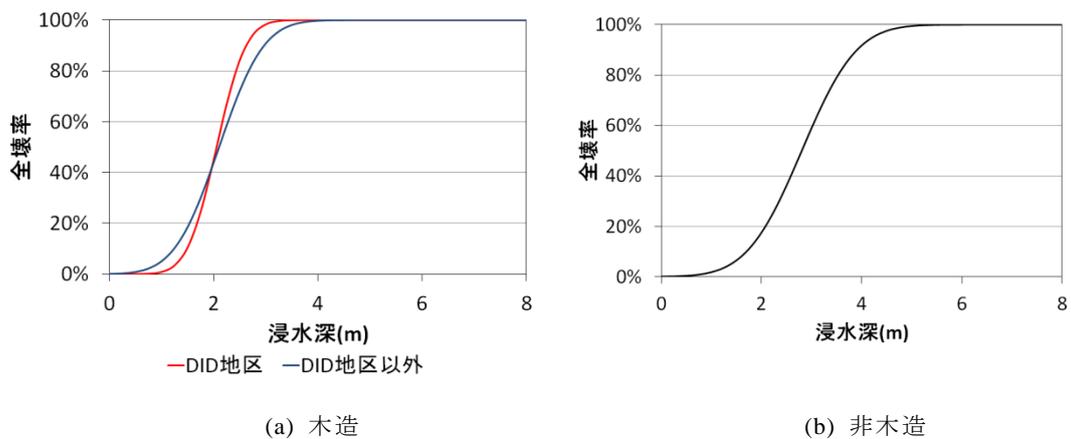


図3-2-⑥-6 建物被害関数

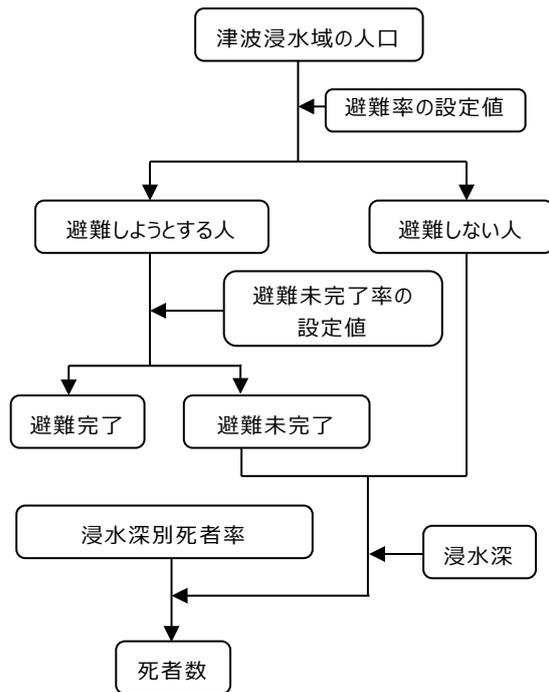


図 3-2-⑥-7
津波による死者数予測の流れ

表 3-2-⑥-1 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

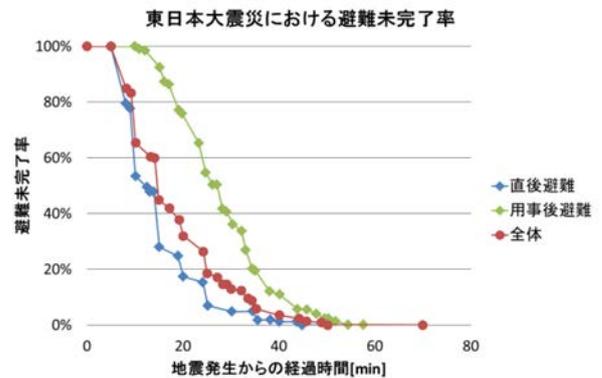


図 3-2-⑥-8
避難未完了率の設定

b) 評価結果

本年度、堤防がない条件下で、南海トラフの震源の多様性を考慮した津波ハザード評価に基づく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10年期待値は全国集計値で約2.0万棟と推定された。発生パターン別にみた場合、東海・東南海・南海領域が震源域となる発生パターンが約1万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5千棟、次いで三重県・静岡県約4千棟という結果になった。

評価基準年の推移による期待値の変化をみると、全壊棟数の10年期待値では2035年がピークに、30年期待値では2025年がピークとなり、その後は減少する結果となった。一方、全壊率では10年期待値は年々上昇し、30年期待値は2035年にピークを迎え、2045年もほぼ同水準を保つ結果となった。本試算結果による津波による建物全壊リスクの推移は、地震の場合と比較すると、ピークの出現が遅い傾向がある。この原因は、地震とは異なり建物を建替えても津波に対する脆弱性は変化せず、時間の経過による地震発生確率の上昇がリスク量の増加に直結するためと考えられる。

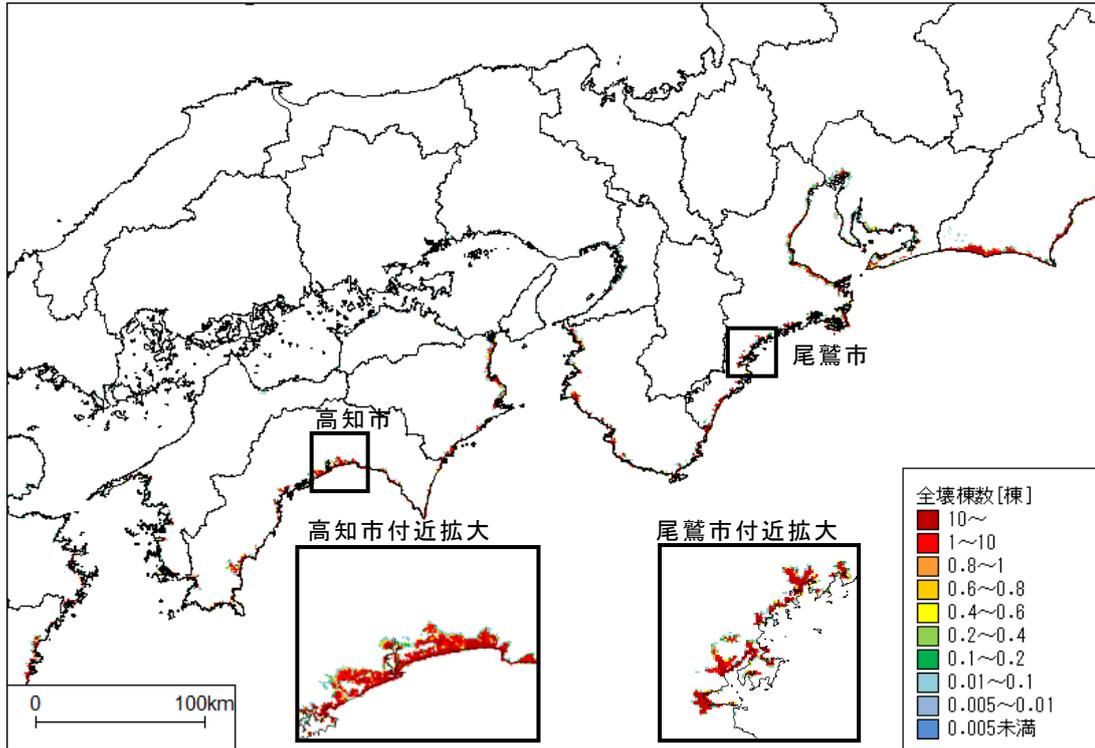
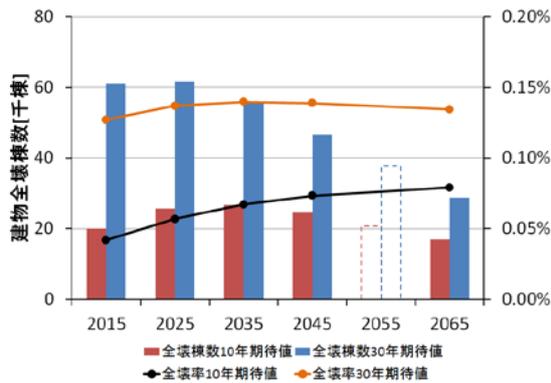


図3-2-⑥-9 津波リスク評価の試算結果(10年超過確率1%の建物全壊棟数)

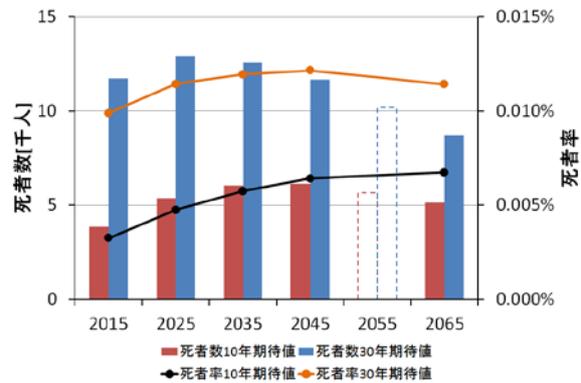
ii) 人的被害

2015年時点における死者数の10年期待値は全国集計値で約4千人と推定された。発生パターン別にみた場合、建物全壊と同様に東海・東南海・南海領域が震源域となる発生パターンが約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静岡県が最も大きく約1.4千人、次いで高知県の約8百人、三重県の約6百人という結果が得られた。

評価基準年の推移による期待値の変化をみると、死者数の10年期待値では2045年にピークを、30年期待値では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、死者率では10年期待値は年々上昇し、30年期待値は2045年にピークを迎える結果となった。これら変化の要因は、浸水域と浸水域外の人口分布や高齢者率の上昇などが原因と考えられる。



(a) 建物被害



(b) 人的被害

図 3-2-⑥-10 津波リスクの 10 年・30 年期待値の推移
(2055 年は 2045 年と 2065 年の平均値)

iii) 地震・津波のリスク評価結果からみえる地域の特徴

本年度に試算した 10 年確率の地震リスク・津波リスク評価結果を利用して、現在～将来におけるリスク量の推移について地域の特徴をみるために静岡県・三重県を例に比較した。この結果、建物全壊棟数は両県とも地震（揺れ）による被害が多数を占めるが、逆に、死者数は津波による被害が多い。10 年期待値の推移に着目すると、全壊率・死者率ともに、三重県よりも静岡県のほうが上昇幅は大きい。特に、三重県では、津波による建物全壊率・死者率ともに 2045 年以降はほぼ頭打ちとなっている。三重県の地形的特徴を考えた場合、伊勢湾内よりも紀伊半島に面した地域のほうが津波のリスクは高い。しかし、将来、人口減少が進み、結果として、三重県の人口分布の重心が現在よりも北に移っていくため、三重県の津波リスクは頭打ちとなるものと考えられる。図 3-2-⑥-11 に示した通り、広域的に見た場合、津波のリスクは沿岸域に限定されており、沿岸域の人口分布を変化させることにより、南海トラフで発生する津波によるリスクを抑制できる可能性を示唆していると考えられる。

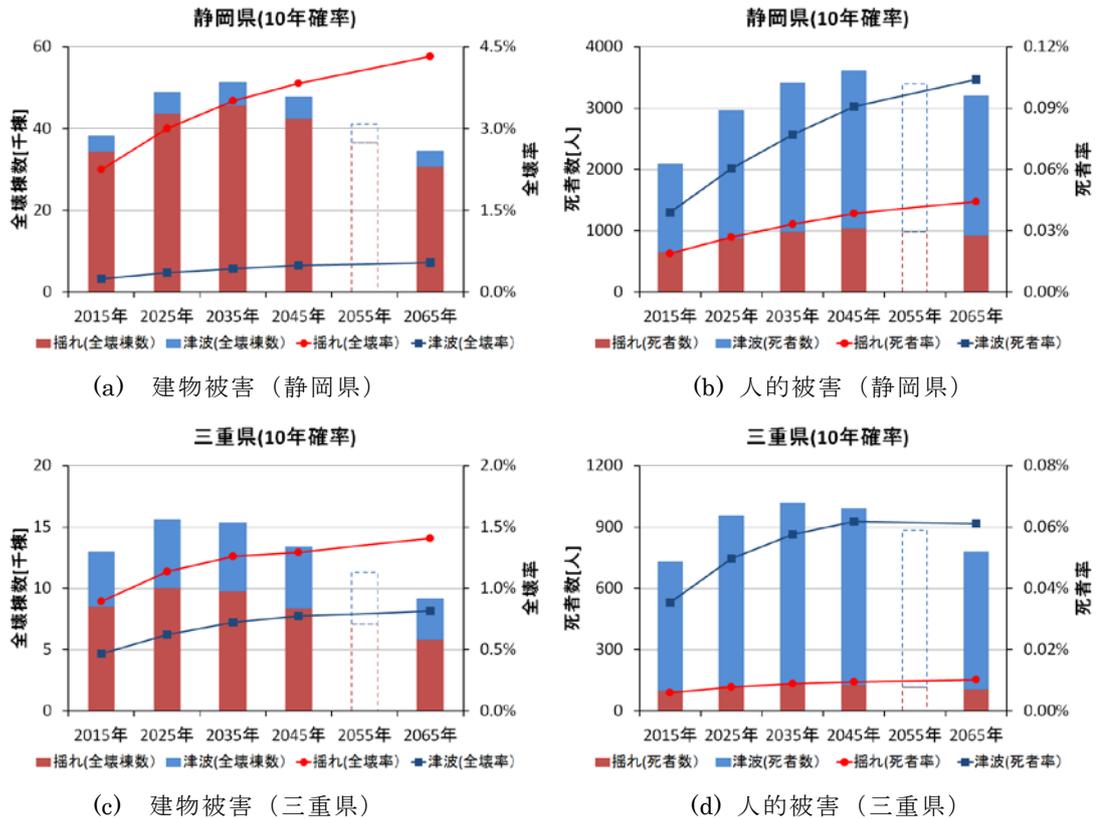


図 3-2-⑥-11 静岡県・三重県の津波リスクの推移
(2055年は2045年と2065年の平均値)

3) 災害シナリオの試作

a) シナリオ地震の設定方法

地震・津波の広域リスク評価結果から災害シナリオ作成するための基準を検討した。確率論的リスク評価から災害シナリオを作成するためには、シナリオ地震を選定する必要がある。リスクカーブからシナリオ地震を作成するためには確率または被害に対して作成しようとするシナリオ地震のレベルを設定する必要がある。そこで、本業務では過去の被害地震における住家全壊被害を調査した（図3-2-⑥-12参照）。この結果、「大震災」と命名される地震は住家全壊棟数10万棟以上であったことから、住家全壊棟数10万棟レベルの被害を「レベル2」とし、1オーダー大きな100万棟レベルの被害を「レベル3」、1オーダー小さな1万棟レベルの被害を「レベル1」と設定し、それぞれのレベルに対応したシナリオ地震を抽出した。

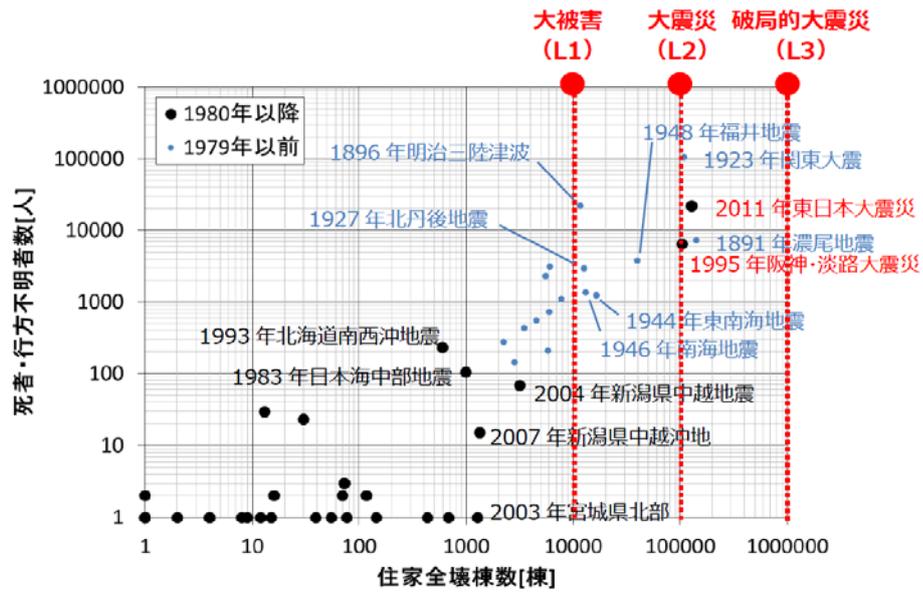


図 3-2-⑥-1 2 過去の被害地震の住家全壊棟数と死者数

2015 年を評価基準年とした広域リスク評価結果から、設定した 3 つのレベルに対応するシナリオ地震を抽出する際は、初めに、地震調査研究推進本部の 15 の地震の発生パターン別に、建物全壊棟数のリスクカーブを作成した（図 3-2-⑥-1 3 参照）。次に、作成したリスクカーブから、各被害レベル（例えば「レベル 3」であれば、住家全壊棟数 100 万棟）に対応した 30 年超過確率が最も高い発生パターンを各レベルで最も起こりやすい特徴的な地震とした。最後に、各レベルで選択した発生パターンのリスクカーブにおいて、各被害レベルに対応した 30 年超過確率の地震・津波のハザードをシナリオ地震のハザードとした。リスクカーブからシナリオ地震を抽出する方法を図 3-2-⑥-1 3 に示す。

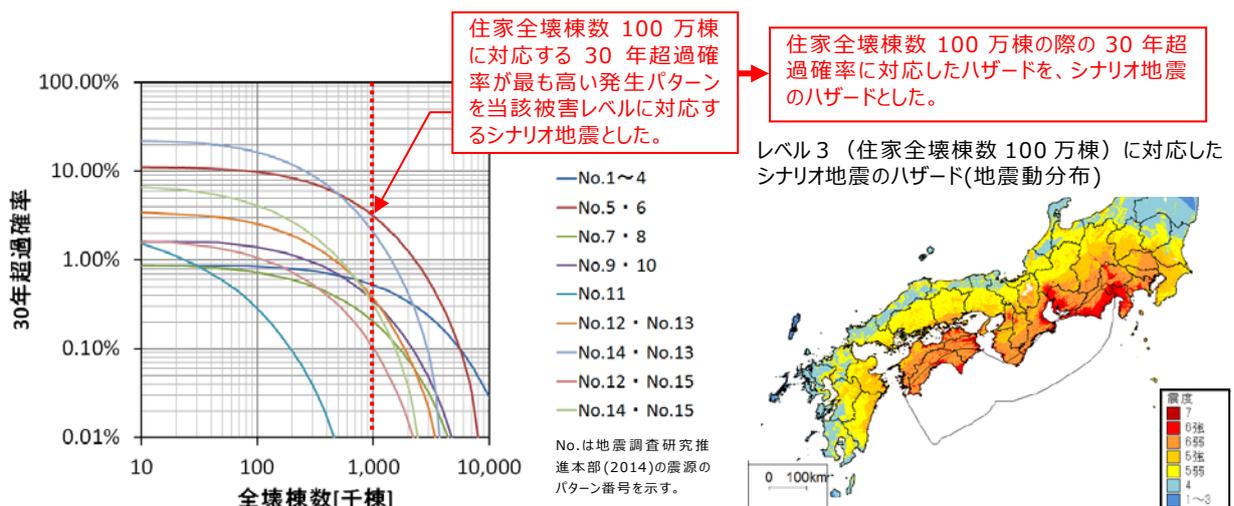


図 3-2-⑥-1 3 リスクカーブシナリオ地震を抽出する方法（レベル 3）

b) 災害シナリオの試作

設定した3つレベルに対応したシナリオ地震のハザード情報を利用して、被害の様相やその後の復旧・復興状況について考えるため災害シナリオを試作した。災害シナリオの試作にあたっては、シナリオ地震のハザードを利用して、ライフライン等の被害や復旧状況、これらに基づく避難者数等を広域的に評価した上で、災害シナリオを作成した。災害シナリオは、被災者の生活を再建するのに重要な要素となる「住宅」を中心に作成した。災害シナリオの作成に先立ち、本業務では阪神・淡路大震災や東日本大震災における応急仮設住宅を中心に被災者の住宅確保等について既往文献等を調査した。この結果、被災者の住宅事情について以下の問題点が明らかとなった。

- 民間賃貸住宅市場が未発達な地域では賃貸借り上げ住宅の比率が低い。
- 経済的に余裕のある世帯では、生活環境の向上のため、震災後の比較的早い時期から自力で賃貸住宅に入居する傾向がある。逆に、避難所やプレハブ応急仮設住宅に長期間居住する世帯は高齢者を中心とした経済力のない世帯である。
- 仮住まいが長期間となると、就職・進学等の様々な問題から世帯分離が進む。若年層や子育て世代は被災地から遠方に転居する傾向がある。

また、被災後の復旧・復興状況を考えるにあたり、東日本大震災の被災後の住宅再建状況と住宅建設作業員数の検討を行った。この結果、2013年以降、岩手県・宮城県・福島県の住宅建設作業員の稼働状況はほぼ100%に近い状況で、その結果として、3県の住宅着工延床面積が2010年の約4～6割増しで推移していることを確認した。この検討結果から、南海トラフ地震による被災地で住宅建設作業員が100%稼働した場合の被災地の住宅再建期間を3つのレベル毎に試算した。

上記の検討結果や広域リスク評価から算出された定量評価結果を踏まえ、レベル毎に災害シナリオを試作した。図3-2-⑥-14にレベル3の場合の災害シナリオを示す。

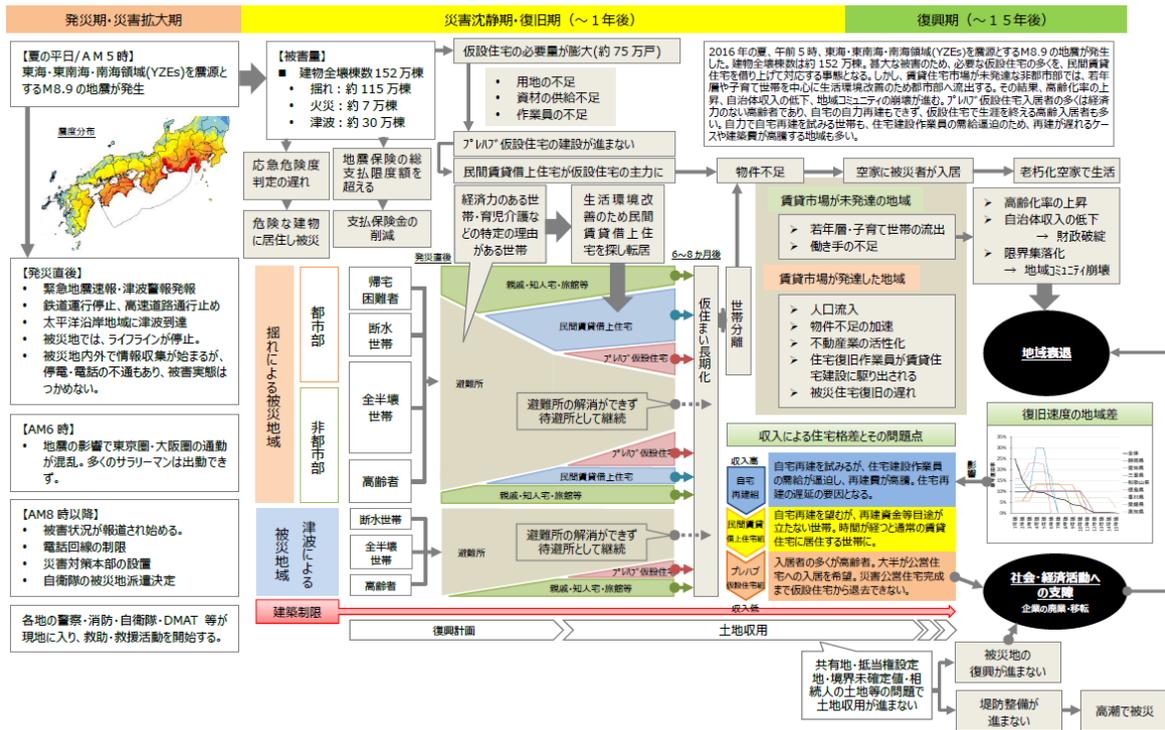


図 3-2-⑥-1 4 レベル 3 (住家全壊棟数 100 万棟レベル) の災害シナリオ

(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地震・津波の広域リスク評価を実施した。広域リスク評価から災害シナリオを作成するための基準を検討するとともに、設定した各被害レベルに対応した災害シナリオを試作した。得られた知見と今後の課題を示すと以下の通りである。

- 1) 10 年確率を利用した地震の揺れによる建物被害・人的被害の広域リスク評価を実施した。この結果、2015 年時点の全壊棟数 10 年期待値は約 11 万棟と推定された。30 年期待値とは異なり、全壊棟数は 2035 年まで増加し、全壊率は 2065 年まで増加し続ける結果となった。これは、建物の建て替えによって耐震性能は向上するものの、10 年確率の場合は時間の経過に伴って発生確率が大きく上昇するためである。また、死者数のピークは建物全壊棟数のピークよりも遅く出現するが、これは高齢化率の上昇が寄与していると考えられる。
- 2) 南海トラフで発生する津波波源の多様性を考慮した津波ハザードモデルを利用し、堤防なしの条件で、建物被害・人的被害の広域リスク評価を実施した。この結果、2015 年時点の全壊棟数 10 年期待値は約 2.0 万棟と推定された。地震と同様に全壊棟数は 2035 年にピークを迎え、全壊率は 2065 年まで上昇し続ける結果となった。死者数の 10 年期待値は 2045 年にピークを迎え、死者率は上昇し続ける結果となった。
- 3) 本業務で実施した地震・津波の広域リスク評価を県単位で集計し比較した。静岡県・三重県を例に地域の特徴に着目すると、建物全壊棟数は地震（揺れ）によるも

の多いが、死者数は津波によるものが多数を占める結果となった。また、将来、三重県では発生確率や高齢化率が上昇するにも関わらず津波による死者率の 10 年期待値が頭打ちとなるケースがみられた。この結果から、沿岸域の人口分布を変化させることにより津波リスクを抑制できる可能性があることが示唆された。

- 4) 過去の被害地震の住家全壊棟数から災害シナリオを作成するための被害レベルを 3 段階設定した。設定した各被害レベルに応じたシナリオ地震を、広域リスク評価から得られた各発生パターンのリスクカーブから選定した。さらに、選定したシナリオ地震から想定される災害シナリオをレベル毎に作成した。作成した災害シナリオからは、住宅復旧に地域差が発生することや、被害が甚大な場合は被災地から若年層・子育て世帯の流出が加速し、地域衰退が加速することを示した。

次年度以降、対策効果の定量的評価方法の検討を行い地震・津波に対する防災戦略を立案するとともに、立案した防災戦略を実施した場合の広域リスク評価を実施し、対策前のリスク評価結果から対策効果を評価する予定である。

(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) 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/siryou1.pdf, 2006.
- 3) 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, 2012.
- 4) 福島誠志・河田恵昭・西村明儒・林春男・田中聡、E D A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.
- 5) 平田賢治・藤原広行・中村洋光・長田正樹・森川信之・河合伸一・大角恒雄・青井真・山本直孝・松山尚典・遠山信彦・鬼頭直・村嶋陽一・村田泰洋・井上拓也・斉藤龍・高山淳平・秋山伸一・是永眞理子・阿部雄太・橋本紀彦，南海トラフにおける確率論的津波ハザード評価－(1)地震調査委員会(2013)が例示した 15 想定震源域に基づく評価の試作版，日本地震学会講演予稿集 2015 年度秋季大会，2015.
- 6) 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, 2014.
- 7) 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.
- 8) 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.

9) 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、2015年度は前年度までに開発した大都市災害時移動シミュレーションに市街地火災からの広域避難行動を追加し「大都市複合災害時避難シミュレーション」としたうえで、帰宅困難者の移動が地域の避難行動に与える影響を量的に把握した。この結果、検証したケースにおいては、帰宅困難者の一斉帰宅が地域の避難行動を阻害することがシミュレーション上でも再現された。

経済被害について、2015年度は全国47都道府県間動的応用一般均衡モデルを用いて、南海トラフ巨大地震による製油所被災の経済被害を、日本全国を対象に推計した。製油所を対象とした事例研究であるが、サプライチェーンの寸断が巨大地震の経済被害を拡大させる重要な要因であるとの認識に立ち、各地域や各産業への波及的影響を考察した。

(b) 業務の実施方法

1) 都市災害

2015年度は、2014年度までに作成した大都市災害時移動シミュレーションの妥当性を、東日本大震災時に得られたビックデータで検証したのち、地域の避難行動を新たに考慮することで、上記のシミュレーションを複合災害からの避難行動に拡張した。

2) 経済被害

2015年度は、2014年度に開発した全国47都道府県間動的応用一般均衡モデルを用いて、南海トラフ巨大地震による製油所被災の経済被害を、日本全国を対象に推計した。労働と資本の代替の弾力性および地域間交易の代替の弾力性の値を、東日本大震災の経済被害の再現を通しカリブレートした点が2015年度の応用一般均衡モデルの改良点である。同モデルを用いて、南海トラフ巨大地震による製油所の被災が日本の実質GDPや各産業の生産額に与える影響を分析した。すなわち東日本大震災による経済被害を一定の範囲で再現できる応用一般均衡モデルにより、将来発生が懸念される南海トラフ巨大地震の製油所被災の経済被害を推計した。

(c) 業務の成果

1) 都市災害

2014年度までに構築したシミュレーションでは、道路交通センサスの区間別非混雑時旅行速度を基本として帰宅車両の移動速度を設定しているが、帰宅車両の集中により車両密度(帰宅車両の通行台数に道路交通センサスの14時台の交通量を加えたもの)が上昇した際には、式(3-2-⑦-1)に従うよう速度制限の影響を受け、さらに歩道の混雑度が0.5人/m²以上の場合は歩行者による車両交通への影響を考慮してより厳しい速度制限をかけるために式(3-2-⑦-2)を適用することで、混雑が車両の

移動速度に与える影響を表現している。

$$\rho_{car} = 1000V_{car}^{-1.0} \quad (3-2-⑦-1)$$

$$\rho'_{car} = 750V_{car}^{-1.3} \quad (3-2-⑦-2)$$

しかしながら、この仮定はあくまで平常時の旅行速度を根拠としたものであり、必ずしも災害時の旅行速度がこの制約に当てはまるものとは限らない。このため、前年度に行ったアンケート調査データに基づく歩道におけるシミュレーションの検証と同じく、車道においても道路混雑と移動速度の関係を検証する必要がある。ここでは東日本大震災発生時の携帯端末による経路探索サイト（NAVITIME、株式会社ナビタイムジャパン）利用者のプローブデータ（東京 23 区内、トリップ移動距離 1km 以上、震災直後から 6 時間後までの移動で抽出：サンプル数 81 区間）をもとに、シミュレーションケース 1（東日本大震災を再現したもの）の区間別移動速度の比較検証を行った。この結果が図 3-2-⑦-1 である。プローブデータと計算結果の区間別移動速度の関係は線形近似の傾き 0.89（計算結果のほうがやや遅い）で相関係数 0.52 という結果となり、おおむねシミュレーション結果は東日本大震災の実態を表しているものと解釈できる。今後は、さらに様々なプローブデータとの比較検証を行うことで、混雑と移動速度の関係の簡易モデルの改善検討を行っていく予定である。

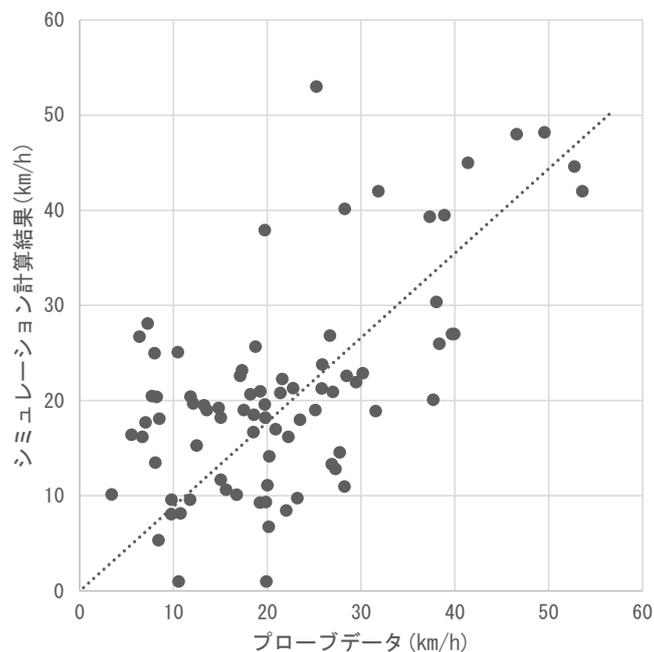


図 3-2-⑦-1 プローブデータとシミュレーションケース1の区間別移動速度の関係 (N=81)

続いて、市街地火災からの避難シミュレーションを考慮する。計算量の関係から、ここでは延焼危険性の高い墨田区北部を対象に、対象地域内の平日昼間での滞在者（PT 調査により算出し、総計 4.5 万人）が各建物から指定広域避難場所へ移動するようシミュレーションを設定し、広域シミュレーションで対象とした幹線道路のみならず、細街路（歩行者通行幅は 4m とし、車は通行しないものとする）も避難行動に用いることとした（図 3-2-⑦-2）。このもとで、上記ケース 2 に従って帰宅困難者が一斉帰宅するものとし、道路閉塞する場合は閉塞確率を細街路に限り 1 リンクあたり 5% と設定し、様々なケースの下で避難完了時間分布を計算した結果が図 3-2-⑦-3 である。Case A（図 3-2-⑦-4）は混雑の影響がなく、かつ道路が閉塞しない場合である。このケースは平常時に避難場所へ任意の住民が建物から移動することを想定したもので、この状況下では 99% 以上が 30 分以内に避難を完了することができる。Case B（図 3-2-⑦-5）は混雑を考慮しないが道路閉塞があるパターンを示したものである。ここでは、Case A と比べてやや避難完了時間が遅くなるが、それでも 97% 以上が一時間以内での避難が可能である。Case C（図 3-2-⑦-6）は、道路閉塞したうえで、震災直後に地域住民全員が避難を開始するケースである。この状況下では、30 分以内に避難を完了できる人が 49.5% であり、1 時間以内は 71.2%、2 時間以内でも 89.7% しか避難場所に到達できない。Case D（図 3-2-⑦-7）は、道路閉塞したうえで、震災から 2 時間後に地域住民全員が避難を開始するケースである。ここでは震災直後に帰宅困難者が一斉帰宅するものとしているため、帰宅困難者の移動と市街地火災からの避難者が錯綜して大混雑を起こすケースを検証するもので、30 分以内に避難を完了できる人は 46.9%、1 時間以内は 65.9%、2 時間以内でも 80.3% しか避難場所に到達できない。すなわち細街路の閉塞はもちろん、帰宅困難者の一斉帰宅が地域の避難行動を阻害することがシミュレーション上でも再現されたことになる。本研究は市街地火災からの避難を念頭に置いたが、津波避難においてもこの傾向は同様であると考えられ、大都市内で迅速な避難を実現するためには、帰宅困難者による混雑発生も踏まえた避難開始時間の設定や、避難計画からみた一斉帰宅抑制の効果検証など、大都市特有の避難計画の策定技術が必要と考えられる。



図 3 - 2 - ⑦ - 2 対象地域と通行不能箇所（墨田区北部）

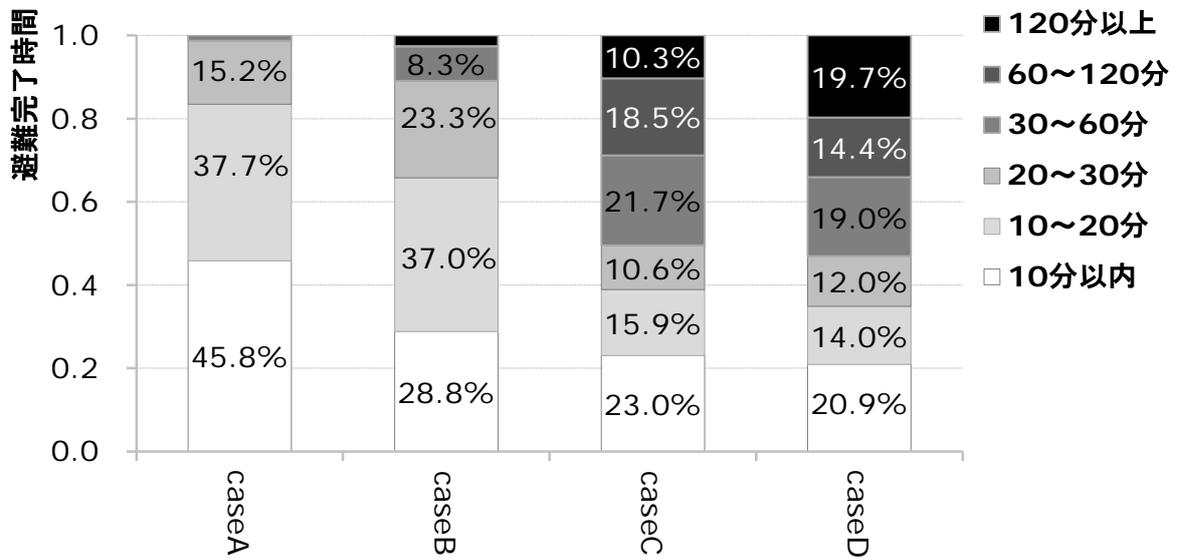


図 3 - 2 - ⑦ - 3 それぞれのケースにおける避難完了時間

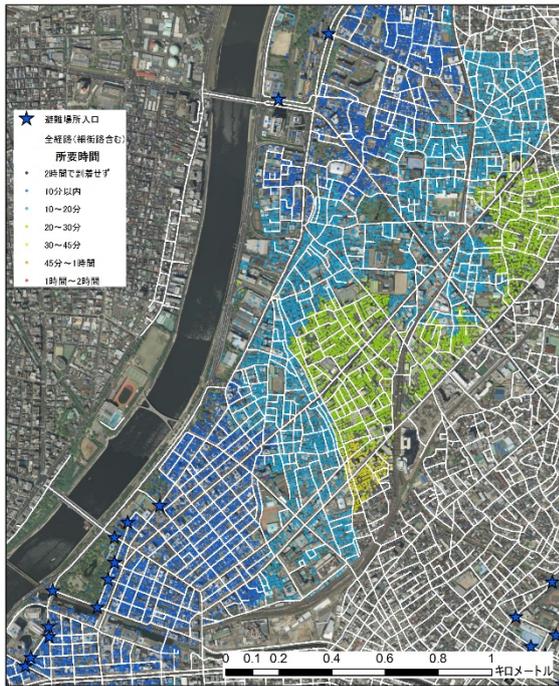


図 3-2-⑦-4 : caseA (混雑なし+閉塞なし+帰宅者なし) の避難時間分布

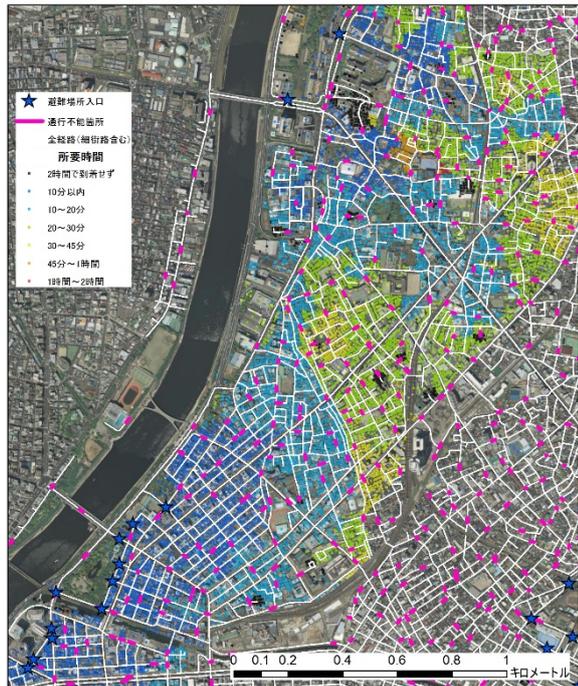


図 3-2-⑦-5 : caseB (混雑なし+閉塞あり+帰宅者なし) の避難時間分布

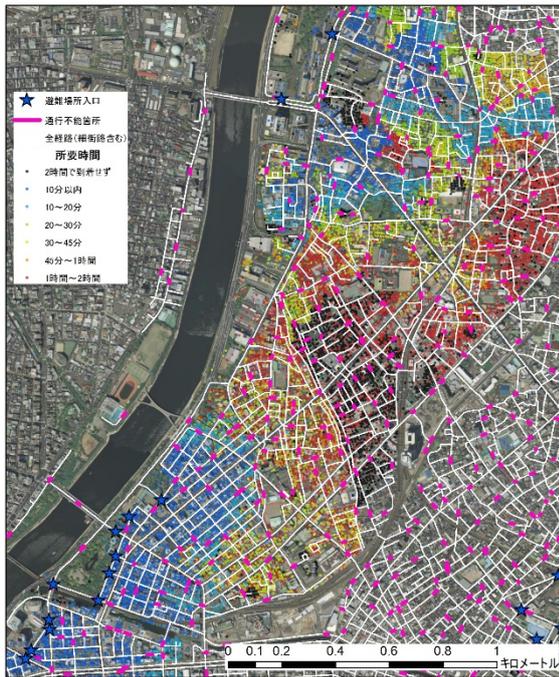


図 3-2-⑦-6 : caseC (混雑あり+閉塞あり+帰宅者なし) の避難時間分布

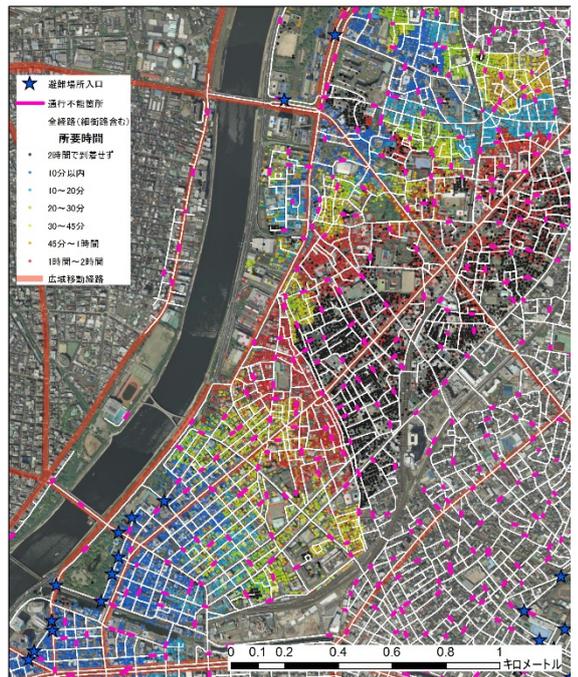


図 3-2-⑦-7 : caseD (混雑あり+閉塞あり+帰宅者あり) の避難時間分布

2) 経済被害

巨大地震の経済被害は、被災地域にとどまらず、地震の影響を直接に受けていない地域へもサプライチェーンを通して波及する。本研究ではサプライチェーンの寸断が巨大地震の経済被害を拡大させる重要な要因であるとの認識に立ち、全国47都道府県間動的応用一般均衡モデルを用いて、南海トラフ巨大地震による製油所被災の経済被害推計を試みた。本研究は経済被害推計を1ヶ月単位でシミュレーションする。地域間交易の代替の弾力性等の値を、短期の時間で場合に全国47都道府県間で推計した事例はない。そのため本研究では、東日本大震災の全国への経済被害をモデル上で再現することを通し、資本と労働の間の代替の弾力性および地域間交易の代替の弾力性の値をカリブレートした。

近い将来発生が懸念される南海トラフ巨大地震では、地震動や津波、地盤の液状化により、沿岸部に立地する製油所が深刻な被害を受けることが懸念される。石油連盟資料（2016）によれば、南海トラフ巨大地震による地震動や津波浸水、地盤液状化の被害を受ける可能性が高い上記の製油所の処理能力合計は日量120万1千バレルである。日本全国の製油処理能力の約30%が南海トラフ巨大地震の発生により何らかの被害を受ける可能性がある。

石油製品は燃料や化学製品の原料として利用され、産業活動に必要不可欠である。それゆえ製油所が被災した場合の経済被害を、サプライチェーンも含めて包括的に推計することは、被害額を勘案した合理的な防災対策を検討する上で重要な材料を提供する事になる。製油所の被災シナリオについて、本研究では表3-2-⑦-1の通りに設定した。シナリオ設定に際して、政府の南海トラフ巨大地震における津波浸水想定を主として参考としたが、地震動や地盤の液状化も製油所の施設に深刻な被害をもたらす。また製油所ごとに実施されている地震対策のレベルも異なる。これらを全て考慮し被災シナリオを構築する事は困難である。そのため本研究で設定したシナリオは想定可能な複数の被災シナリオの1つである事に注意していただきたい。

表3-2-⑦-1 製油所の被災シナリオ

立地箇所	処理能力	被災シナリオ
愛知県知多市	17万5千バレル/日	一月程度で復旧する軽微な被害
三重県四日市市	38万7千バレル/日	復旧に1年以上を要する甚大な被害
大阪府堺市	37万1千バレル/日	一月程度で復旧する軽微な被害
和歌山県有田市	13万2千バレル/日	復旧に1年以上を要する甚大な被害
大分県大分市	13万6千バレル/日	復旧に1年以上を要する甚大な被害

表3-2-⑦-1の製油所被災シナリオに基づき、1期間を1ヶ月と設定した動的シミュレーションを実施した。シミュレーション結果に基づけば、日本全国の実質国内総生産（GDP）の損失額は年間22兆620億円に達する。上記の損失額には被災した製油所が生み出していた付加価値の損失に加え、石油製品の供給が減少したこと

よる他産業での付加価値の損失も含まれる。また代替生産で追加された付加価値も含まれるため上記の実質 GDP 年間損失額は純損失額である。図 3-2-⑦-8 は実質 GDP 損失額の月単位での推移である。地震発生から約 2 ヶ月間は、被災が軽微であった製油所の復旧が不十分であること、被災していない製油所での代替生産の体制が不十分であったため実質 GDP の損失額が大きい。なおモデルでは被災した製油所の復旧は毀損資本ストックへの新規投資という形で表現される。代替生産は資本ストックへの新規投資および労働での代替という形で表現される。代替生産が増加することで損失額は減少するが、三重県四日市市、和歌山県有田市、大分県大分市に立地する製油所が少なくとも 1 年間は復旧しないとシナリオで仮定しているため、それを主たる原因とする経済被害が発生し続ける。

図 3-2-⑦-9 は各都道府県の実質域内総生産（GRP）の年間損失額の分布である。青色が濃いほど損失額が大きい。愛知県や三重県で特に損失額が大きい。これは製油所の被災の影響のみならず石油製品の供給が減少したことで化学産業や自動車産業等の他の産業の生産も減少したことも原因である。製油所が立地しない地域でも実質 GRP が減少しているが、これは石油製品の供給減少に由来する生産活動の低下および実質 GDP の落ち込みによる全国レベルでの消費の低下の影響である。赤色の地域は実質 GRP が地震発生前より増加した地域である。実質 GRP が増加する要因は代替生産である。代替生産は石油製品のみならず、石油製品を利用する様々な生産物について、全国的な不足を解消するために行われる。

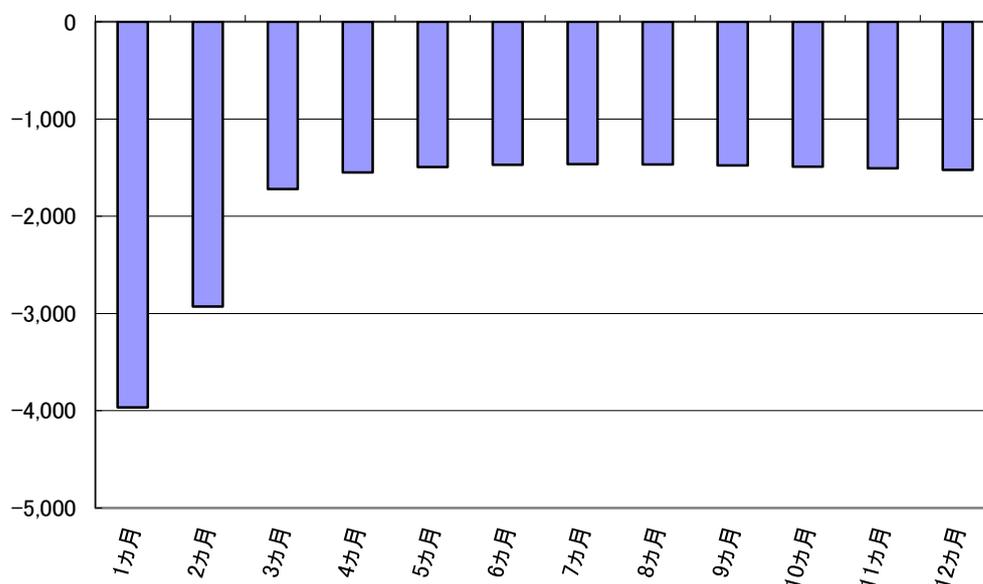


図 3-2-⑦-8 実質年間 GDP 損失の推移 (10 億円)

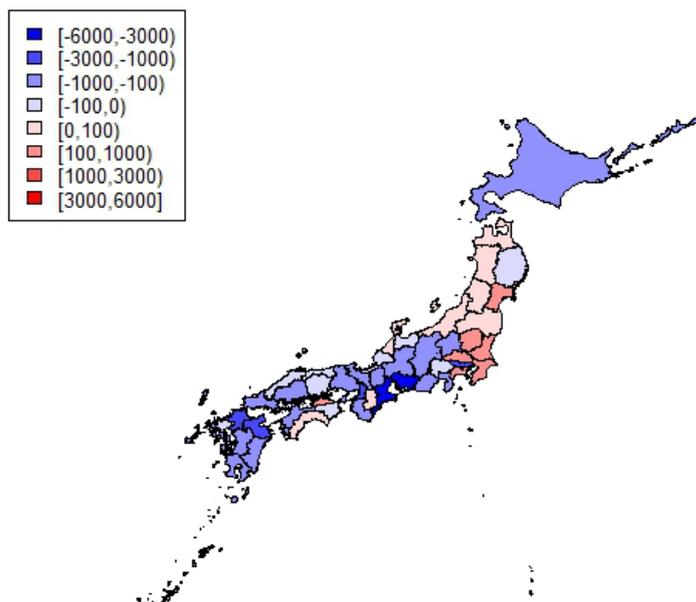


図 3-2-⑦-9 実質年間 GRP 損失の分布 (単位 10 億円)

以下では、製油所被災の他産業への波及的影響を、化学産業と自動車産業の生産額を見ることで考察する。図 3-2-⑦-10 は製油所の被災に伴う化学産業の年間生産額の変化を示している。被災した製油所の立地した地域だけでなく、関東地方以西で生産額が大きく減少している。主な要因は石油製品の供給減少により化学産業で利用する原材料の調達が困難となったことである。他方で関東地方および東北地方では生産額が増加している地域がある。化学製品の代替生産が生じたためである。実質 GDP の減少は最終消費の減少を意味するため、日本全体として化学製品に対する需要に減少圧力がかかる。しかし代替生産が顕著に行われる地域では生産額が地震発生前を超える場合がある。化学製品は自動車よりも地域間取引の代替の弾力性が高い。石油製品の不足が続く西日本に対し、東日本が化学製品の代替生産を担ったと解釈できる。

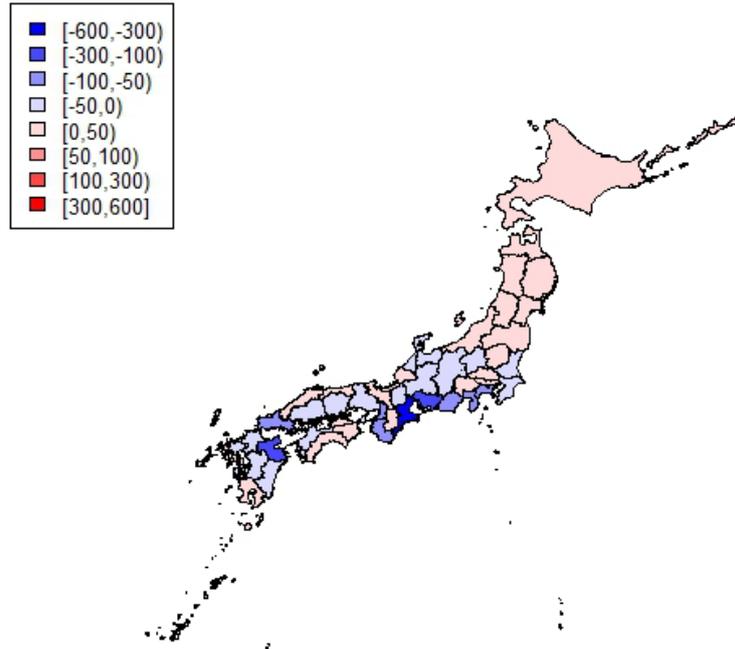


図 3 - 2 - ⑦ - 1 0 化学産業における年間生産額の変化（単位 10 億円）

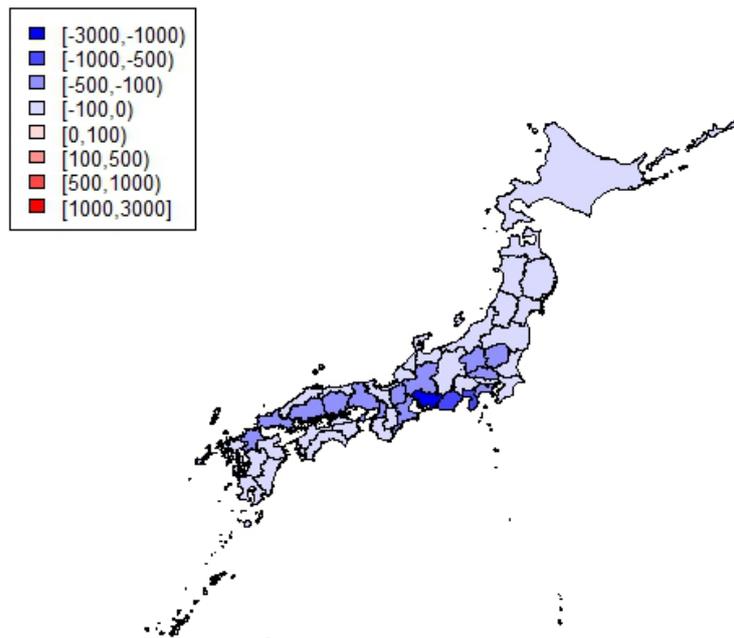


図 3 - 2 - ⑦ - 1 1 自動車産業における年間生産額の変化（単位 10 億円）

図 3 - 2 - ⑦ - 1 1 は製油所の被災に伴う自動車産業の年間生産額の変化を示している。自動車産業の特徴は全国規模でサプライチェーンが展開されていることである。最終組み立て工場や主要部品工場に対して日本全国から各種部品や素材が供給されている。そのため原材料や部品供給が滞れば、全国の自動車や自動車部品の生産に影響が生じる。東日本大震災では茨城県にある半導体部品工場が被災したことにより、全国の最終組み立て工場が稼働停止に追い込まれた。最終組み立て工場が停止した場合、

被災地域外の自動車部品工場も稼働を停止させざるを得ない。シミュレーション結果では、石油製品の供給減少により、全都道府県で自動車および自動車部品の生産額が減少する結果となった。

化学産業では代替生産を行う地域が現れたが、自動車産業では全ての地域で生産額が減少した。これは化学製品の代替の弾力性の値が自動車のそれよりも高いことに由来する。すなわち化学製品の生産技術は被災地域の企業に固有のものではなく、他地域でも同種の製品の生産がある程度可能と仮定したためである。一方で自動車や自動車部品の生産は、他地域の企業には容易に代替できないと仮定している。統計分類上は同じ「自動車産業」に分類されていても、現実に各地域で生産されている製品は質的に大きく異なることを意味している。本研究は南海トラフ巨大地震により製油所のみが被災するシナリオであるが、当然ながら他の産業や道路等のインフラも被災する。今後の研究では、総合的な被災シナリオを考慮し応用一般均衡モデルによる経済被害推計を行う。

(e) 参考文献

- 1) 中央防災会議幹事会、南海トラフ地震における具体的な応急対策活動に関する計画、2015.
- 2) 日経産業新聞、震災で生産活動停滞-7社が5～6割減-、2011年4月26日3面.
- 3) 石油連盟、製油所の所在地と原油処理能力（2015年12月末現在）、2016.

(3) 平成 28 年度業務計画案

被害想定対象地域である徳島市の中心市街地において高分解能な津波氾濫解析を行い、解析結果と津波被害発生基準に基づいて、潜在的な津波被害の発生予測を行う。さらに減災策を考慮した場合の影響を評価する。

対策の有無による広域リスク評価を実施し、その結果を比較することなどにより対策の効果を定量的に評価する。また、地域のハザード・リスク評価に加え、発災時の社会的影響に関する暫定評価を行う。

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
国立研究開発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 技術研究員 招聘上席技術研究員	◎金田 義行 (四国、九州) 高橋 成実 今井 健太郎 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)
国立研究開発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 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関連な議論を通じて、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か年の年次実施業務の要約

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。年次実施業務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した。

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、課題の洗い出しを継続し、地域行政に活かすための課題を整理する。社会実装を進めるために現実的な復旧・復興対策を検討などに着手する。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。

平成 32 年度：

研究成果を実装した後の地域防災の再構築結果を評価し、修正箇所を見直し、地域毎に自律的・継続的に活動できるような体制を整備する。これまでの成果をまとめた1-(e)の情報発信プラットフォームを活用して広く市民参加の防災カフェを開催し、地元メディアとも連携して、防災・減災のための啓発活動を進める。

(e) 平成 27 年度業務目的

27 年度は、26 年度に議論したプロジェクト側研究者や国の機関からの取組みの現状や、

県や民間の取組みの先進事例の状況を踏まえ、復旧復興や情報収集とその活用、また東日本大震災から5年を迎え、その教訓や新たな知見について報告や議論を行った。さらに、26年度から始まっている戦略イノベーションプログラムや各地方自治体が取組みを始めている国土強靱化計画なども考慮しつつ、地域に貢献できる防災・減災研究について情報を共有し、社会実装を進めるために必要な課題の洗い出しを前半4年の最終年度となる28年度を見据えて行った。なお、27年度は、四国と九州の地域研究会は地域のニーズの掘り起こしや地域により特化した情報共有や議論を行うため、大規模な地域研究会は各1回とし、分科会として各県危機管理部門の出席を中心とした研究会を新設し、多用した。

また、27年度も引き続き、成果の社会還元や普及のため、かつ、一般からの意見などを吸い上げるためにシンポジウムを行った。加えて、減災エンス塾といった対話型講演会などのイベントも実施し、地域における防災・減災の意識向上を図る。

(2) 平成27年度成果

(a) 業務の要約

これまで通り、東海地域研究会、関西地域研究会、四国地域研究会、九州地域研究会と4つの地域に分けて国交省地域整備局や地方気象台、海上保安部等の国の機関、自治体やインフラ企業、港湾事業者、経済団体、大学のメンバーが集まり、様々な情報交換を行った。それぞれの幹事が主導してテーマを定め、地域の事情に即したテーマの議論を行った。研究成果の地域実装に向けて、プロジェクト側の成果を報告し、地域の防災対策上のニーズの掘り起こしに努めた。

東海地域では、愛知県、静岡県、岐阜県、三重県のエリアを念頭に置いた地域研究会を、名古屋市内と浜松市内で各1回開催した。浜松での地域研究会では、津波対策の施設見学も実施した。地域側参加メンバーからは、エリア内の県や市などの地方自治体、国土交通省中部地方整備局、第四管区海上保安本部、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、大学などが出席した。

関西地域では、大阪府、兵庫県、和歌山県のエリアを念頭に置いた地域研究会を大阪市内で2回開催した。地域側参加メンバーからは、エリア内の府県などの地方自治体、国土交通省近畿地方整備局、第五管区海上保安本部、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、大学などが出席した。

四国地域では、愛媛県、香川県、高知県、徳島県のエリアを念頭に置いた地域研究会を、高松市内で1回開催した。地域側参加メンバーからは、エリア内の県や市町などの地方自治体、国土交通省四国地方整備局、気象台、四国運輸局、ライフライン事業者、大学などが出席した。地域研究会に先立って、各県危機管理部門の出席を中心とした分科会を各県で開催した（高知県2回、他3県は各1回）。

九州地域では、大分県、鹿児島県、福岡県、宮崎県のエリアを念頭に置いた地域研究会を、宮崎市内で1回開催した。地域側参加メンバーからは、エリア内の県や市町などの地方自治体、国土交通省九州地方整備局、気象台、ライフライン事業者、経済団体、大学などが出席した。地域研究会に先立って、各県危機管理部門の出席を中心とした分科会を各県でそれぞれ1回開催した。

啓発・啓蒙活動としては、一般向けのシンポジウムを学士会館（東京都千代田区）で開催した。また、高知市内で一般と高校生を対象とした対話型講演会として「減災エンス塾」を開催し、海洋研究開発機構 金田義行氏が講演を行った。

(b) 業務の実施方法

1) 東海地域研究会

代表幹事を名古屋大学 福和伸夫氏とし、愛知県、静岡県、岐阜県、三重県のエリアを念頭に研究成果を地域に還元して防災・減災対策に活かし、地域のニーズを吸い上げ、今後とるべき防災・減災対策を洗い出すため、地域研究会を夏季に名古屋市内で冬季に浜松

市内で各1回開催した。地域側参加メンバーは、各県と政令市や中核市などの地方自治体、国土交通省中部地方整備局、第四管区海上保安本部、各地方气象台、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、地域の大学などである。関連する施設などの見学会も状況に応じて実施しており、今年度は、名古屋市内での研究会では名古屋大学減災館、浜松市内での研究会では浜松市内の津波対策施設の見学も実施した。

2) 関西地域研究会

代表幹事を京都大学 牧紀男氏とし、大阪府、兵庫県、和歌山県のエリアを念頭に研究成果を地域に還元して防災・減災対策に活かし、地域のニーズを吸い上げ、今後とるべき防災・減災対策を洗い出すため、地域研究会を夏季と冬季にどちらも大阪市内で各1回開催した。地域側参加メンバーは、各府県と大阪市、和歌山市といった地方自治体、国土交通省近畿地方整備局、第五管区海上保安本部、大阪管区および各地方气象台、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、地域の大学などである。

3) 四国地域研究会

代表幹事を海洋研究開発機構 金田義行氏とし、愛媛県、香川県、高知県、徳島県のエリアを念頭に研究成果を地域に還元して防災・減災対策に活かし、地域のニーズを吸い上げ、今後とるべき防災・減災対策を洗い出すため、地域研究会を冬季に高松市内で1回開催した。地域側参加メンバーは、各県と市町などの地方自治体、国土交通省四国地方整備局、各地方气象台、四国運輸局、ライフライン事業者、経済団体、地域の大学などである。地域研究会に先立って、地域ごとのニーズや特性をより詳しく把握するための分科会を開催した。各県危機管理部局を中心とする関係者の出席を得た。実施回数は必要に応じて対応しており、高知は2回、他3県は各1回であった。

4) 九州地域研究会

代表幹事を海洋研究開発機構 金田義行氏とし、大分県、鹿児島県、福岡県、宮崎県のエリアを念頭に研究成果を地域に還元して防災・減災対策に活かし、地域のニーズを吸い上げ、今後とるべき防災・減災対策を洗い出すため、地域研究会を冬季に宮崎市内で1回開催した。地域側参加メンバーは、各県と市町などの地方自治体、国土交通省九州地方整備局、福岡管区および各地方气象台、ライフライン事業者、経済団体、地域の大学などである。地域研究会に先立って、地域ごとのニーズや特性をより詳しく把握するための分科会を開催した。各県危機管理部局を中心とする関係者の出席を得た。実施回数は必要に応じて対応しており、各1回であった。

5) 啓発・啓蒙活動

一般向けに広く防災・減災対策の現状を知ってもらうために、シンポジウムを毎年開催している。さらに今回は新しい取組みとして、シンポジウム開催前に、プロジェクトに参加する研究者が南海トラフ地震被害軽減に向けて横断的に議論・検討を行い、その内容をシンポジウムで紹介し、さらにパネルディスカッションの議論を一般からの参加者とともに深化させることを目指した。また、一般に地域の防災上の課題を深く共有するための取組みとして、26年度に引き続き高知市内で少人数による対話型の講演会「減災エンス塾」を開催した。新しい試みとして、一般対象だけでなく、高校生を対象としたものも実施した。

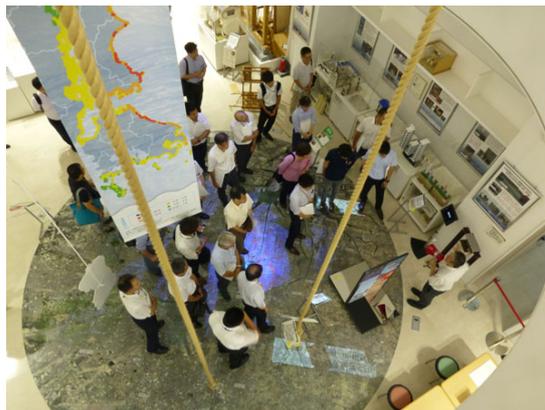
(c) 業務の成果

1) 東海地域研究会

7月22日と1月18日に名古屋市と浜松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まとめる。

7月22日の第5回東海地域研究会は名古屋大学減災館で開催した。出席メンバーは、愛知県、静岡県、三重県、岡崎市、豊田市、豊橋市、名古屋市、名古屋港管理組合、四日市市、第四管区海上保安本部、名古屋地方気象台、国土交通省中部地方整備局、名古屋工業大学、三重大学、日本地震工学会（オブザーバー）、中部経済連合会、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、トヨタ自動車株式会社、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、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）であった。プロジェクト側は、名古屋大学、江戸川大学、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）であった。防災科学技術研究所 先名重樹氏より「微動観測を用いた東海地域の浅部・深部統合地盤モデル構築の取り組み」の紹介が、ユーザーにとってのメリットや必要性に触れながら行われた。次に、名古屋大学 新井伸夫氏が「情報システムやアプリを活用した地域連携、災害対応 -SIP課題7の取り組み-」に関して、特に愛知県の西三河地域で津波浸水予測や液状化危険度などの情報発信と地域側の活用について紹介した。その後、東京大学生産技術研究所 加藤孝明氏が「事前復興とは？・・・復興準備の必要性とその方法論」について、事前復興の意味や必要性と過去の震災の経験に触れながら紹介した。復興イメトレについて、そのやり方や問題点などに多くの時間が割かれた。なお、減災館での研究会に先立って、希望者による減災館の施設見学会を実施した。参加者は名古屋大学 福和伸夫氏らの説明で体験型施設の見学を行った。開催後に収集したアンケートでは、今後のテーマとして情報収集と共有・伝達、自治体やライフラインの応援体制、火災対策、復興準備の課題が挙げられた。また、関係組織や調査研究の最新情報と抱える課題の共有化にも期待を寄せられている。

1月18日の第6回東海地域研究会は浜松市のアクトシティ浜松で開催した。出席メンバーは、愛知県、岐阜県、静岡県、三重県、岡崎市、豊田市、豊橋市、名古屋市、名古屋港管理組合、浜松市、四日市市、静岡地方気象台、中部地方整備局、名古屋工業大学、三重大学、日本地震工学会（オブザーバー）、中部経済連合会、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、トヨタ自動車株式会社、中日本高速道路株式会社、名古屋第二赤十字病院、日本郵便株式会社（オブザーバー）、株式会社一条工務店（オブザーバー）であった。プロジェクト側は、名古屋大学、海洋研究開発機構、江戸川大学、京都大学、国土地理院、東京大学、東北大学、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）であった。一条工務店免震住宅推進部／名古屋大学 高橋武宏氏が「大規模地震に備えた免震建物の耐震安全性向上」について、特にダンパの特性や使い分けに触れながら建物の安全性について紹介した。次に、東北大学 今村文彦氏が「東日本大震災から5年 -教訓と今後の防災・減災の考え方-」について、当時を振り返りつつ得られた教訓やあらたな考え方の一例を紹介した。さらに浜松市 小林正人氏より「浜松市の津波対策について ～津波防災地域づくりの実例～」と題して、公助共助自助をキーワードに午前中に見学した防潮堤整備事業などの津波対策の紹介を行った。なお、浜松市での研究会に先立って、浜松市内の津波対策関連施設の見学会を行った。浜松市沿岸域防潮堤整備事業で整備中の防潮堤工事現場、防潮堤資料室、遠州灘海浜公園津波避難マウンドを静岡県ならびに浜松市の担当に案内いただいた。開催後に収集したアンケートでは、今後のテーマとして自治体の取り組みと課題、液状化、情報収集と共有・伝達、ライフラインの復旧、地域強靱化や地方創生・都市計画、防災教育、事前復興が挙げられ、東日本大震災と東海・南海地域の比較や自治体と研究者のパネルディスカッションといった具体的な提言も頂いた。



第 5 回東海地域研究会の様子（右は希望者参加の減災館見学会の様子）



第 6 回東海地域研究会の様子（右は希望者参加の見学会における防潮堤工事現場の様子）

2) 関西地域研究会

7月30日と1月27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まとめる。

7月30日の第5回関西地域研究会はメルパルク大阪で開催した。出席メンバーは、大阪府、和歌山県、第五管区海上保安本部、大阪管区气象台、神戸地方气象台、和歌山地方气象台、近畿地方整備局、東海・東南海・南海地震津波研究会、日本地震工学会（オブザーバー）、和歌山大学、NTT コミュニケーションズ株式会社、大阪ガス株式会社、関西経済連合会（オブザーバー）、関西電力株式会社、堺・泉北臨海特別防災地区協議会、新日鐵住金株式会社、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）であった。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、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）であった。近畿地方整備局 田中貢氏から「南海トラフ巨大地震に向けた近畿地方整備局の取り組み」に関して、特に、周辺の地方整備局との連携、発災時の対応の優先度や輸送路確保、TEC-FORCEの活動などが紹介された。名古屋大学 長江拓也氏が紹介した「長周期地震動の建築構造物への影響」では、超高層ビルの挙動や免震装置の有用性などについて活発な議論があった。開催後に収集したアンケートでは、今後のテーマとして、巨大地震の履歴調査による今後の発生予測といった理学的なテーマから、地域や組織間の連携や協力体制とその課題、人的対策とBOP対策の前提となる地震波の考え方、高層ビルにおける防災減災の取り組みといった実態に即したテーマまで広く挙げられた。また、E-ディフェンスの実験映像を啓発に活用したい、という要望も頂いた。

1月27日の第6回関西地域研究会は大阪南港 ATC HALL で開催した。出席メンバーは、大阪府、大阪広域水道企業団、兵庫県、和歌山県、第五管区海上保安本部、神戸地方

気象台、和歌山地方気象台、近畿地方整備局、東海・東南海・南海地震津波研究会、日本地震工学会（オブザーバー）、和歌山大学、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、堺・泉北臨海特別防災地区協議会、西日本高速道路株式会社、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）であった。プロジェクト側は、京都大学、海洋研究開発機構、国土地理院、東北大学、名古屋大学、防災科学技術研究所、文部科学省（オブザーバー）であった。名古屋大学 野田利弘氏の「海拔ゼロメートル地帯にある河川堤防の地震時挙動」では、地震動や液状化のリスクとその対策についての考察が示された。次に東北大学 佐藤翔輔氏から「東日本大震災の教訓を活用するために－「伝承」の検証と「伝達」の取り組み－」について、伝承・伝達のための災害科学に基づくデータベース作成に重きを置いた紹介があった。開催後に収集したアンケートでは、今後のテーマとして、復旧復興計画、液状化、長周期地震動、地下街の避難、市町の防災減災への取り組みと抱える課題、防災教育、道路や港湾の復旧方針といった実用的なテーマや、南海トラフの構造調査の最新の知見や津波堆積物、史蹟や古文書調査と現在の浸水想定との関連といった学術的なテーマの希望も頂いた。



関西地域研究会の様子（左：第5回 右：第6回）

3) 四国地域研究会・分科会

分科会は、愛媛分科会を11月10日に松山市で、香川分科会を5月19日に高松市で、高知分科会を5月18日と11月4日に高知市で、徳島分科会を6月2日に徳島市で開催した。地域研究会は1月26日に高松市で開催した。各分科会と地域研究会の事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各分科会と研究会の開催内容をまとめる。

愛媛分科会は、11月10日に松山市の愛媛県庁で開催した。出席メンバーは愛媛県と海洋研究開発機構であった。海洋研究開発機構より DONET 利活用に関する話題提供と意見交換を行った。香川分科会は5月19日に高松市のサンポート合同庁舎で開催した。出席メンバーは香川県、四国地方整備局、香川大学、海洋研究開発機構であった。海洋研究開発機構より DONET 利活用に関する話題提供を行い、四国4県の連携についても議論した。高知分科会は5月18日、11月4日とも高知県庁で開催した。出席メンバーはどちらも高知県と海洋研究開発機構であった。海洋研究開発機構より DONET 利活用に関する話題提供を行い、高知県が検討している避難シミュレーションについても議論した。徳島分科会は6月2日に徳島市の徳島県庁で開催した。出席メンバーは、徳島県と海洋研究開発機構であった。海洋研究開発機構より DONET 利活用に関する話題提供を行い、道路啓開についての議論も行った。

1月26日の第5回四国地域研究会は高松市のかがわ国際会議場で開催した。出席メンバーは、愛媛県、香川県、高知県、徳島県、高知市、海陽町、高松地方気象台、徳島地方気象台、四国運輸局、四国地方整備局、香川大学、株式会社 NTT フィールドテクノ、関西電力株式会社（オブザーバー）、四国ガス株式会社、四国電力株式会社、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）であった。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、国土地理院、徳島大学、防災科学技術研究所、(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) であった。香川大学 白木渡氏から「DIA 支援システムを活用した道路啓開並びに物資搬送戦略の提案」について、高松市内での地域インパクト分析 (District Impact Analysis: DIA) システムを用いた情報の収集や評価手法の構築やその活用の具体例などの紹介があった。続いて香川県 藤澤一仁氏から紹介された「リアルタイム災害情報の共有化について」では、香川県の防災情報システムの整備状況と今後の活用案などの報告があった。その後、徳島県 志摩信昭氏より、徳島全県で災害時情報共有基盤として拡充整備中の「徳島県におけるG空間情報の利活用について」紹介された。開催後に収集したアンケートでは、今後のテーマとして、四国四県連携や関係組織の最新情報や取組み、ビックデータの利活用、発災後の被害情報の収集・共有と情報発信が挙げられ、地域連携の実現を期待している声が多かった。



第5回四国地域研究会の様子



分科会の様子の例 (左：高知分科会 右：徳島分科会)

4) 九州地域研究会・分科会

分科会は、大分分科会を6月12日に大分市で、鹿児島分科会を11月17日に鹿児島市で、宮崎分科会を7月14日に宮崎県都農町で開催した。地域研究会は1月19日に宮崎市で開催した。分科会と地域研究会の事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各分科会と研究会の開催内容をまとめる。

大分分科会は、6月12日に大分市の大分県庁で開催した。出席メンバーは大分県と海洋研究開発機構であった。海洋研究開発機構より DONET 利活用に関する話題提供と意見交換を行った。鹿児島分科会は11月17日に鹿児島市の鹿児島県庁で開催した。出席メン

バーは鹿児島県と海洋研究開発機構であった。海洋研究開発機構より DONET 利活用に関する話題提供と意見交換を行った。宮崎分科会は 7 月 14 日に都農町役場で開催した。出席メンバーは、宮崎県、県内沿岸 10 市町の延岡市、門川町、日向市、都農町、川南町、高鍋町、新富町、宮崎市、日南市、串間市、海洋研究開発機構であった。海洋研究開発機構より南海トラフ巨大地震研究の最新情報について講演を行い、DONET 利活用に関する話題提供を行った。

1 月 19 日の第 5 回九州地域研究会は宮崎市の KITEN ビルコンベンションホールで開催した。出席メンバーは、大分県、鹿児島県、宮崎県、門川町、西都市、日南市、日向市、宮崎市、宮崎地方気象台、九州地方整備局、名古屋工業大学、宮崎大学、日本地震工学会（オブザーバー）、九州経済連合会（オブザーバー）、九州電力株式会社、日本郵便株式会社（オブザーバー）であった。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）であった。なお、荒天による交通機関の混乱から九州地方整備局の一部や東北大学からの出席が急遽取りやめとなった。京都大学 牧紀男氏から「事前復興計画策定のために」と題して、阪神淡路大震災や東日本大震災での事例を踏まえ、九州での取組みの考え方の例が紹介された。続いて宮崎大学 原田隆典氏から「これからの防災戦略」と題して、災害が怖くない社会を目指すための考え方や取組みが紹介された。開催後に収集したアンケートでは、今後のテーマとして、住民・企業・行政の連携やビッグデータの活用といった情報利活用に期待する一方、地震津波対策の先進事例と課題、最新の研究成果や中央防災会議で検討されている情報、事前復興や強靱化の動機づけとなる防災対策費用対効果と限界被害額の定量評価、災害が怖くない社会実現に向けたロードマップ作り、実避難率改善への取り組み事例等、より広く事例を求める姿勢が見られた。



第 5 回九州地域研究会の様子



分科会の様子（左：大分分科会 右：宮崎分科会）

5)啓発・啓蒙活動

8月8日に、シンポジウム「南海トラフ地震被害軽減のための研究戦略と課題」を東京都千代田区の学士会館で開催した。このシンポジウムは、基調講演、午前中に実施した研究者によるワークショップの結果報告、パネルディスカッションという3部構成であった。基調講演は、国土地理院長 越智繁雄氏より「災害に負けない国づくり～幅を持った社会システムの構築を～」と題したお話をいただいた。ワークショップの結果報告は京都大学 牧紀男氏が「街づくり、被害情報の扱い方」、名古屋大学 野田利弘氏が「被害予測に各種知見をどう利用するか」、防災科学技術研究所 藤原広行氏が「備えと発災後の対応のために被害情報をどう発信するか」と題して行った。パネルディスカッションは海洋研究開発機構 金田義行氏の進行で、上述の3名に加え、名古屋大学 福和伸夫氏、東京大学 古村孝志氏、東北大学 今村文彦氏、海洋研究開発機構 小平秀一氏を合わせた8名で行われた。最後に本プロジェクトの運営委員長 本蔵義守氏から総評を頂いた。シンポジウム聴講者は221名で、国や地方自治体の防災関係者、ライフライン事業者、研究者、企業のBCP担当者などが中心であった。報道関係者からの聴講は、朝日新聞、NHK、共同通信、しんぶん赤旗、TBS、日本テレビなどであった。シンポジウムのアンケートからは、基調講演をはじめとする内容が興味深く勉強になった旨の回答やシンポジウムを継続してほしい旨の回答が目立ち、研究に対する決定論的な考えと不確実性の考えが溝を作らず補いながら防災減災力向上を目指してほしいといったコメントもあった。逆に否定的な回答としては、ワークショップの報告は準備不足でわかりにくい、研究プロセスの感想は不要、プロジェクトが社会実装を目指すなら自治体などの受け手の代表を登壇者に含めるべき、具体的かつ最新知見の紹介とそれに基づく議論を期待していたがそうではなかったという旨のコメントがあった。さらには、これまでの議論からあまり進歩していないという旨のコメントも複数あった。プロジェクトへの期待という問いには、理学・工学・社会科学との連携や行政・マスコミとの連携、情報や施策に幅があっても許容される社会づくり、研究の途中経過や成果を多くの市民に伝えてほしい、他の地域や他の国への貢献といったコメントが挙がっていた。

11月23日に、減災エンス塾「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」と題した対話型の講演会を高知市の寺田寅彦記念館で開催した。地元の一般の方々を対象としたものと、地元の高校生を対象としたものの2部構成で行った。演者は海洋研究開発機構 金田義行氏であった。午前の一般の部には24名が参加し、高知市内での長期湛水に関する質問などが寄せられた。また、高知市内の津波浸水シミュレーション結果を可視化して街並みの映像に落とし込んだ動画を見ながらの意見交換が行われた。午後の高校生の部には、高校生13名に加え、地元の高校教員や教育委員会などの関係者4名のオブザーバー参加もあった。地域に根差したするどい質問や各自の将来の夢に関連した質問などが寄せられ盛会であった。高校生も自分が住む町の防災減災に対する意識が向上し具体的なイメージを持てた様子だった。オブザーバー参加の関係者からは来年度以降も同様の対話型講演会の開催要望があった。



シンポジウム「南海トラフ地震被害軽減のための研究戦略と課題」の様子



一般の部



高校生の部

減災エンス塾「寺田寅彦先生の地球科学観に学ぶ」の様子

(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は、地域側のニーズも考慮して、事前復興や液状化、長周期地震動の構造物への影響、地盤データの収集と利活用といった内容であった。地方整備局や地域の自治体の取組みと抱える課題の紹介は、研究会の際に実施しているアンケート結果の要望に応えるものでもあった。また、地域側の大学の取組み紹介や東日本大震災から5年という節目の時期に改めてその教訓や伝承すべきことについて議論できたことも好評であった。さらに、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）との連携も今後必要となるため、SIPの地域連携の取組みも紹介した。

分科会は、ニーズの掘り起こしや地域に特化した情報共有と議論のために、四国と九州の地域研究会を補完する形で開催した。27年度はDONET関連の話題を中心に開催し、疑問や意見などの聞き取りと地域の特性やニーズに合わせた提案や議論を行うことができた。

地域研究会や分科会を重ねることによって見えてきた社会実装に向けた取組みは、DONETの即時津波予測、地盤情報による被害予測、避難訓練のための情報基盤ツール、避難計画のための津波データベース作成や被害シナリオ作成などが、進行中の代表例として挙げられる。また、地域側の希望も大きい津波漂流物評価や長期湛水評価なども、議論をより深めていくべき内容として挙げられる。加えて、地域側からの様々なニーズが寄せられる事前復興や液状化や長周期地震動といった課題は、未だ漠然しており問題も山積されている印象があるため、継続的に議論を重ねる必要がある。

今後、研究成果の地域への実装を考えると、より一層の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これまで以上に必要となる。地域側からは上掲以外にも、例えばビッグデータの活用や火災対策についても議論を求める声もあり、それらを丁寧に関心を持っていかねばならない。さらに、地域との連携をより深化させるためには地域の大学との連携も欠かせない。また、各県の国土強靱化計画や地域防災計画、SIPに絡めた対応も必要であり、様々なレベルの検討会の開催も必要になるであろう。

(e) 引用文献

なし

(3) 平成28年度業務計画案

平成27年度は、前半4年の最終年度となる来年度に向けた社会実装を進めるために必要な課題の洗い出しを行った。平成28年度は引き続き洗い出しを行うとともに実装に向けた具体的な検討に着手する。さらに、地域との連携を深化させるために地域の大学との具体的な連携も強めていく。

地域研究会の開催は、27年度と同様に東海と関西は年2回、四国と九州は年1回とし、四国九州各県ごとの分科会を必要に応じて適宜開催する予定である。また、新たな検討会も必要性が生じれば開催する。加えて、対話型講演会等を通じて南海トラフ巨大地震・津波の啓発活動、啓蒙活動に努める。

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 研究員	牧紀男 田中傑
国立大学法人 東京大学 生産技術研究所	准教授 特任研究員 特任研究員	加藤孝明 小田切利栄 ヤスミン・バタチャリヤ
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・復旧対策の理論的検討に向けて、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、地域特性をふまえた事前復興のあり方、地震・津波被害の低減を目指した都市計画策定指針の検討を行う。

(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となる行政制度、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：

平成 25-26 年度に検討した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」の高度化を行い、連続量として影響評価を可能なシステムの構築を行うとともに、地域研究会における議論を踏まえ一般企業の BCP 策定に資する共通被害シナリオの構築を行った。また事前復興の理論的枠組みの構築を行うため、地域特性をふまえた事前復興のあり方、地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針の検討を行った。

平成 28 年度：

平成 27 年度までに開発した将来の地域特性シミュレーションについて阪神・淡路大震災、新潟県中越地震といった実災害データを用いた検証を行い地域特性評価システムの高度化を行う。また、詳細被害シミュレーションシステム、地域特性シミュレーションシステムを用いた事前復興計画策定プロセスの現地導入試験を実施する。事前復興の理論的枠組みの構築については、復興イメージトレーニング、事前復興のための制度検証を行う。

平成 29 年度：

地域特性評価システムを用いた災害総合影響評価システム、復興イメージトレーニング、事前復興の制度検証といった事前復興の理論的検討結果を踏まえ、事前復興計画の実行計画としてのアクションプランの策定手法の確定を行う。

平成 30 年度：

影響評価、事前計画システムの地域での実装・検証を南海トラフ地震の被災想定地域で、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：

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、システムの問題点の改良を行う。

平成 32 年度：

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 27 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、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実績などを踏まえ、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、一般企業の BCP 策定に資する共通被害シナリオの構築を行う。

また、復興・復旧対策理論的検討に向けて、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、地域特性をふまえた事前復興のあり方の検討、地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針の検討の構築を行う。

(2) 平成 27 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・26 年度に開発した「地域特性評価システム」の問題点（後述）の改善を図った。

(b) 業務の実施方法

サブサブ 1-d 課題では H25～26 年にかけて地域における人口の再生産力に着目した「地域特性評価システム」の開発を試み、阪神・淡路大震災（1995 年）および新潟県中越地震（2004 年）に遭遇した兵庫県および新潟県の地域人口統計（国勢調査のメッシュデータ）が災害発生前の人口トレンド（コーホート法による推計値）から乖離した幅を「災害による影響」とみなし、その「災害による影響」がもたらした両県における地域特性の変容実態を分析した。

その際、地域特性を把握するためのカテゴリー分け（過去の国勢調査地域メッシュ統計）を統合したデータを人口の再生産力に着目してクラスター分析した結果、導出された 3 つの類型すなわち持続類型（人口の再生産力が高い類型）・依存類型（人口の再生産力がそれほど高くなく、今後、さらに衰微する傾向にある類型）・限界類型（人口の再生産力が低い類型）に分けて分析をおこなったが、(1)実態上は大きな違いのある人口ピラミッドを同一の類型と見なさざるを得ないこと（図 3-4-①-1）、(2)仮に「災害による影響」が類型結果に変化をもたらしても地域特性上はさほど大きな変化を生じないケースが存在すること（図 3-4-①-2）が判明した。

そこで今年度は類型化の代わりに連続的な指標（図 3-4-①-3）を用いた地域特性の評価手法を開発した。この指標は図 3 に示したように同一類型に属しながらも個々に対し具体的に異なる地域特性を細かに評価できる点でこれまでの類型化よりも優れている（地域特性評価手法については、曾我部・他(2015)を参照されたい）。

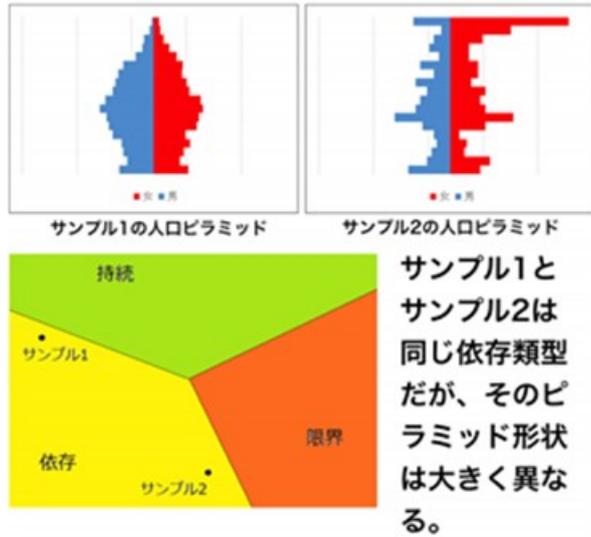


図 3-4-①-1 類型化による評価の問題点 (1)

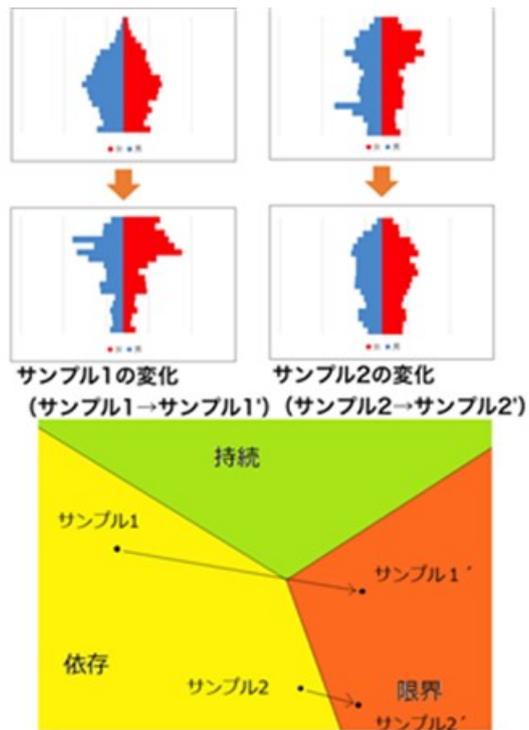


図 3-4-①-2 類型化による評価の問題点 (2)

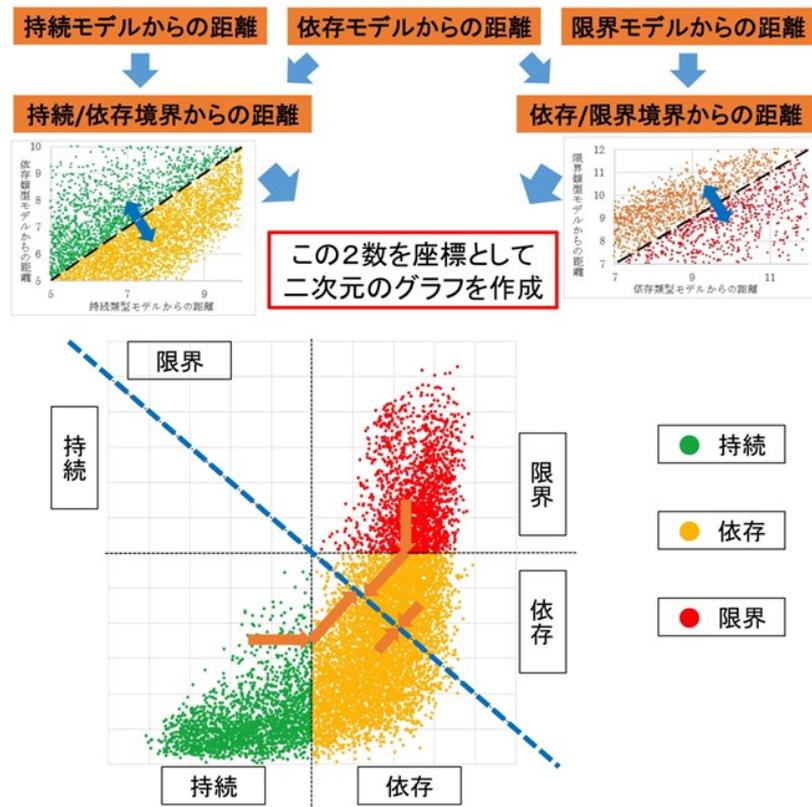


図 3-4-①-3 連続的な災害影響評価

(c) 業務の成果

本作業の結果、大規模災害による影響を事前に想定するために必要な地域特性の評価手法をこれまでのような類型的・不連続的なものから数值的・連続的なものへと改良することが出来た。これにより、地域特性の評価をより直接的に行うことが可能となったことになる。

(d) 結論ならびに今後の課題

今後は(1)日本全国の地域特性を把握するとともに、(2)南海トラフ地震による想定被災エリアにおける事前復興計画の策定に際して勘案すべき地域特性情報や(3)南海トラフ地震後の災害シナリオの検討に対して情報提供を進めることが課題である。

(e) 引用文献

1) 曾我部哲人、田中傑、佐藤慶一、牧紀男 (2015)、災害が社会に与える影響の定量的評価方法の基礎的研究 — 阪神・淡路大震災と新潟県中越地震を対象にして —、地域安全学会 論文集 No.27、pp.95-104、2015年11月

②一般企業の BCP 策定に資する共通被害シナリオの構築

(a) 業務の要約

関西地域研究会への参加インフラ企業とともに一般企業の BCP 策定の参考となる共通被害シナリオを構築した。

(b) 業務の実施方法

関西地域の中で南海トラフ地震による被害が相対的に大きな大阪府および和歌山県の被害想定を底本としながら、本プロジェクトに位置付けられている「関西地域研究会」に参加しているインフラ事業者に対するヒアリング結果を適宜加味して巨大地震発生時の (1)道路、(2)電気、(3)ガス、(4)水道の被害・復旧状況に関する想定データを収集し、それに基づいて被害シナリオを構築した。データの入手可能性と入手データに基づいて策定したシナリオを一般に公開することを考慮し、基本的には公開データを典拠とした。

本業務を実施した作業部会は事務局（京都大学教授 牧紀男、神戸大学特命准教授 紅谷昇平、関西大学准教授 越山健治、宇都宮大学准教授 近藤伸也、京都大学特定研究員 田中傑）と関西地域研究会に参加いただいたインフラ事業者によって構成され、それぞれシナリオの構築方針、必要な情報の収集、仮シナリオの検討、シナリオの確認を目的に4回開催された。この他、田中がインフラ事業者へのヒアリングを実施した（業務の実施方法の詳細については田中・他(2015)を参照）。

(c) 業務の成果

共通被害シナリオが構築（田中，2016）され、一般企業の BCP 構築の参考として提供することが可能になった。また、大阪府と和歌山県との間で被害想定の際の想定する地震規模が異なることや、それらの想定におけるインフラの復旧対象が被災件数から需要家件数を差し引いたものとなっており、インフラ事業者が復旧作業を見通す上では妥当な想定とはいえるが、BCPの策定を検討する一般企業にとっては制約状況が必ずしも明確となっていないことなど、府県の被害想定のある方についても若干の示唆を得ることが出来た。

(d) 結論ならびに今後の課題

本 WG での活動に協力を得たインフラ事業者に、今回構築した共通被害シナリオの問題点・改善点について意見聴取をおこなった上で、今後、関西地域研究会や、より広く一般向けに公開していきたい。

(e) 引用文献

1) 田中傑、牧紀男、金玟淑（2015）、インフラ事業者の復旧想定共有化、地域安全学会梗概集第36号、pp.101-102、2015年5月

2) 田中傑（2016）、南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト 関西地域研究会 共通被害シナリオ構築 WG 平成 26-27 年度活動成果報告書・共通被害シナリオ、私家版、2016年1月

③地域特性をふまえた事前復興のあり方の検討

(a) 業務の要約

①多様な地域特性の丁寧な理解および事前復興の一環である津波防災地域づくり法に基づく推進計画の計画策定の実態把握、②復興評価に関する基礎研究③復興準備手法およびシナリオ構築手法の開発に取り組んだ。

(b) 業務の実施方法

1) 多様な地域特性の丁寧な理解および事前復興の一環である津波防災地域づくり法に基づく推進計画の計画策定の実態把握

a)津波防災地域づくり法：推進計画の策定の参画と観察

磐田市（8/11）、静岡市（4/21、4/22、5/14、6/18、7/29、9/29、11/5、12/18、1/7、3/7）、伊豆市（11/6、1/23、2/10、3/9）の津波防災地域づくり法に基づく推進計画策定に参画し、参与観察を行った。

b)南海トラフ地震による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での行政組織および市民との意見交換

- ・ 沼津市：実地調査および副市長他関連職員との意見交換（8/20）
- ・ 沼津市戸田地区（旧戸田村）：実地調査および地元の方との意見交換（7/13、12/19）
- ・ 焼津市：実地調査および市長他関連職員と意見交換（8/10）
- ・ 大島町（東京都）岡田地区：実地調査および津波避難を考える講演会において意見交換（12/6）

2)復興の評価ツールの構築

復興の評価に関する基礎的研究として、次の2つの研究に取り組んだ。

- ・ マルチ・シミュレーションによる復興シミュレーションに関する研究
- ・ コミュニティベースの復興評価指標の体系に関する研究

3)復興準備手法およびシナリオ構築手法の開発

復興準備手法の開発の一環として、主に自治体職員および都市プランナーを対象として、シンポジウム「未経験の復興状況を前提とした『復興準備』のあり方を考える」を開催した（7/4、於：生産技術研究所）。

また、シナリオ構築手法の開発の一環として、名古屋市が職員対象に開催した復興イメージトレーニングの企画に協力し、参与観察を行った。

本日のプログラム	
・復興状況イメージ・シミュレーションの意義と効果	中村仁 氏(芝浦工業大学教授、生研知 復興研究センター研究員)
・事例報告「復興準備の進捗と課題」	<ul style="list-style-type: none"> ・名古屋 都市整備部都市計画課 田中 勝也氏 ・香川県 都市部 大野木 英夫氏 ・さいたま市 都市整備部 道見 純一氏
・<休憩>	
・パネルディスカッション	
・コーディネーター・加藤孝明	
・パネリスト	<ul style="list-style-type: none"> ・名古屋 都市整備部都市計画課 田中 勝也氏 ・香川県 都市部 大野木 英夫氏 ・さいたま市 都市整備部 道見 純一氏 ・坂橋区 都市整備部 佐伯 和京氏(東京方式で取り組む立場から) ・国土交通省 都市安全課 酒田 晋夫氏(国の立場から) ・NPO 日本都市計画協会 藤倉 清治 副会長(学際的都市プランナーの立場から)

図 3-4-③-1 プログラム



図 3-4-③-2 名古屋市復興イメージトレーニングの様子

(c) 業務の成果

1) 多様な地域特性の丁寧な理解および事前復興の一環である津波防災地域づくり法に基づく推進計画の計画策定の実態把握

地域特性の多様性（多様な自然地形の特性、多様な社会経済特性）について理解が深まるとともに、それに対応する多様なソリューションの方向性があることが改めて理解された。

- ・（地形特性）×（土地利用等の社会経済特性）×（ソリューションの方向性）
- ・ 平野部×工業団地・農村集落×避難タワー等の垂直避難（磐田市）
- ・ 小集落×漁業・過疎×地域振興と両立させた解（戸田地区）
- ・ 小集落×観光・過疎×津波防災×観光維持と市全体の地域創生を両立させた解（伊豆市）
- ・ 中心市街地×基幹産業漁業・地域経済の拠点×地域経済活性化と両立させた解（焼津市）
- ・ 都市機能の拠点（清水）×商業業務・ウォーターフロント観光・港湾×地域経済の増強と両立させた解（静岡市）

2)復興の評価ツールの構築

- ・ マルチ・シミュレーションによる復興シミュレーションに関する研究
 居住地選択シミュレーションの構築とそれによる復興政策の評価が行える

シミュレーションシステムのプロトタイプを構築した。

- ・ コミュニティベースの復興評価指標の体系に関する研究

定性的な評価を含むコミュニティベースの評価フレームと指標の体系化を行った。

3)復興準備手法およびシナリオ構築手法の開発

復興状況イメージトレーニングを主軸とする復興準備に関する経験の共有の場および参与観察を行うことを通して次に取り組むべき課題が明らかになった。

(d) 結論ならびに今後の課題

多様な地域特性の丁寧な理解および事前復興の一環である津波防災地域づくり法に基づく推進計画の計画策定の実態把握に関しては、自然地形、社会経済特性の多様性、それに対応する多様なソリューションの方向性、計画課題があることをふまえることの重要性が明らかとなった。津波防災地域づくり法をはじめとする事前復興の基幹的な制度は、一般に全国一律の技術基準に基づく。しかし、それを実践するにあたっては、国の技術基準に基づくスタンダードをそのまま適用するのではなく、各地域の多様性をふまえて、一定の自由度をもったカスタマイズが不可欠である。各地で議論、検討を通して得られるスタンダードとのギャップ、矛盾点を整理した上で、逆に国に対してフィードバックすることが重要である。復興準備手法の構築、復興準備手法およびシナリオ構築手法の開発に関しては、引き続き検討を行う。

(e) 引用文献

なし

④地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針の検討（三重県の事例研究）

(a) 業務の要約

三重県県土整備部都市政策課と連携し、想定されている南海トラフ広域地震に対する短期（10年以内）・中期（～20年）・長期（～50年）の都市計画分野の対応を検討し、「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針（案）」として整理した。また、三重県鈴鹿市の沿岸部を対象に県及び市職員とのワークショップを開催し、指針（案）を具体的な場所に適用する際の課題を把握した。

(b) 業務の実施方法

三重県都市計画審議会の下に設置された「三重県地震・津波災害対策都市計画指針（仮称）に関する小委員会」に村山が参加し、これまでの研究に基づき指針（案）のアイデアを提案した上で、他の委員（経済・建築・防災分野）の知見や市町及び県庁内各課での検討を踏まえながら、指針（案）をとりまとめた。小委員会は、平成26年度から数えて合計5回開催し、その間にも、綿密な打ち合わせを実施した。三重県鈴鹿市におけるワークショップは、2015年10月2日13:30-16:30に鈴鹿市役所にて開催し、三重県及び鈴鹿市の都市計画系職員と村山及び東京大学・名古屋大学・名古屋まちづくり公社名古屋都市センターの都市計画系専門家合計14名が参加した。

(c) 業務の成果

まず、地震・津波に強い都市づくりの基本的な考え方を整理した。図 3-4-④-1 の通

り、短期的には人命を守るための防災施設（避難路等）の整備や被害想定区域の明示、中期的には都市機能の確保・被害の軽減のための土地利用規制誘導・重要施設等配置、長期的には快適で安全な都市づくりのための都市構造の検討を位置付けたロードマップを作成した。また、図 3-4-④-2 の通り、都市施策実施の費用（コスト）に制約がある場合には、中長期的な施策に取り組むことにより、短期的な施策の実施対象が削減されることを示した。

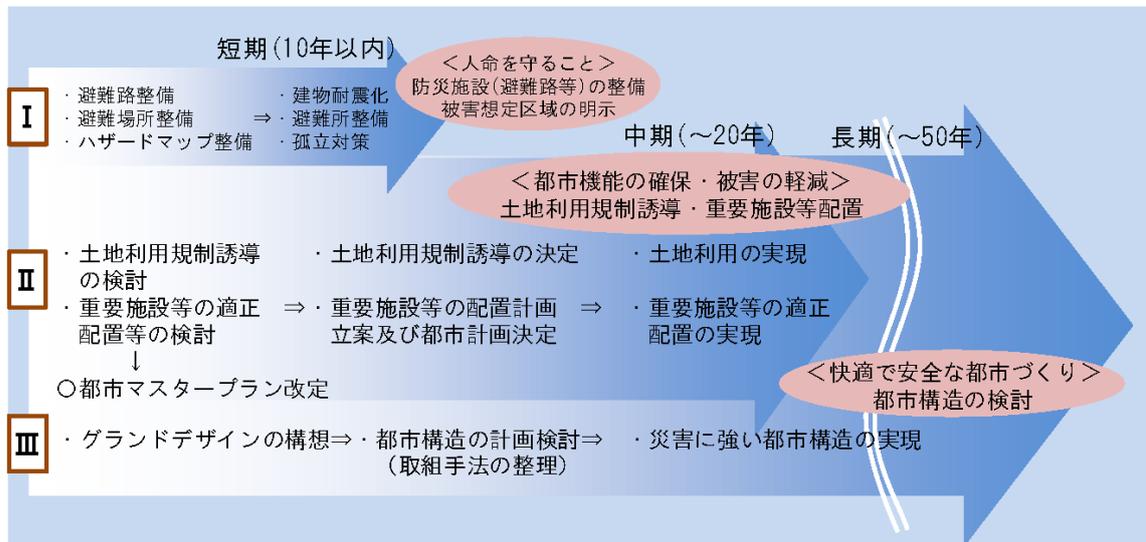


図 3-4-④-1 地震・津波に強い都市づくりのロードマップ（短期・中期・長期的施策）¹⁾

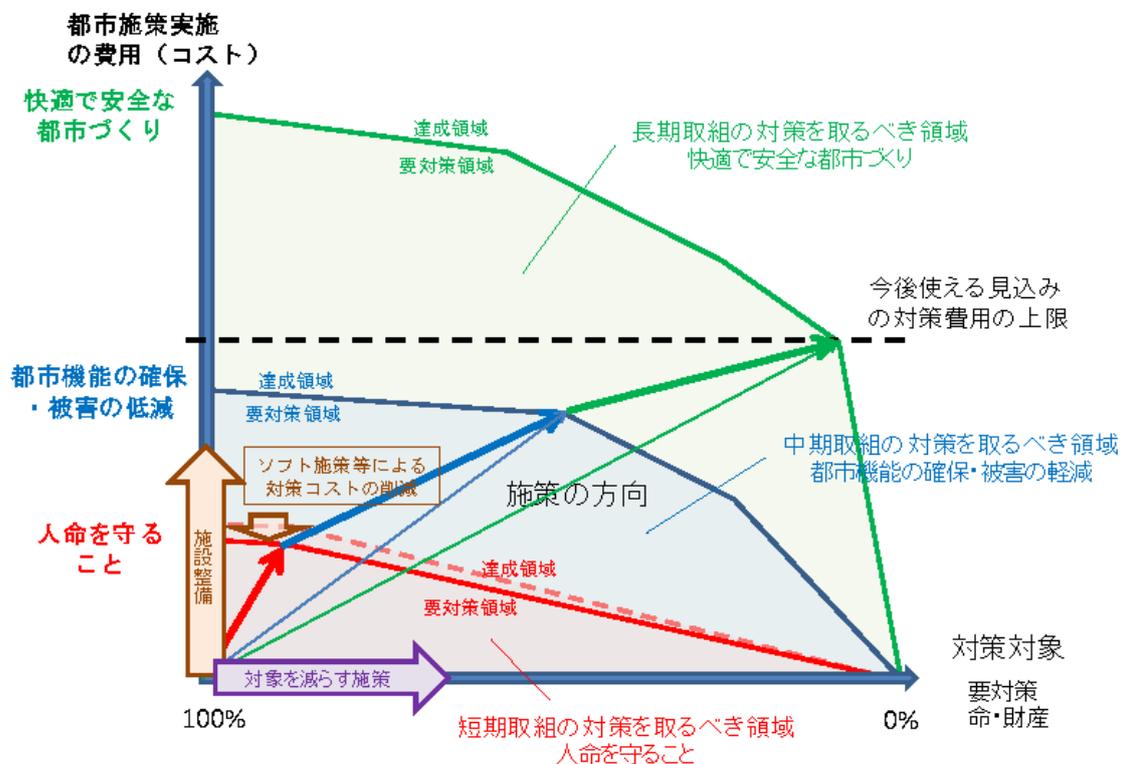


図 3-4-④-2 短期・中期・長期的施策と都市施策実施の費用の関係¹⁾

続いて、表 3-4-④-1 のように土地利用の考え方を提示した。

表 3-4-④-1 土地利用の考え方¹⁾

リスク対応方針	災害リスク対応の方策	対応例(都市計画分野)
回避	<ul style="list-style-type: none"> ・安全な区域への市街地の移転 ・堤防の強化・耐震化(L2対応) ・建築物の耐震化 	<ul style="list-style-type: none"> ・防災集団移転等により完全に地震・津波リスクから回避する — ・建築規制
低減	<ul style="list-style-type: none"> ・堤防の強化・耐震化(L1対応) ・二線堤整備等の多重防御 ・浸水区域の低密度化 ・企業等BCPへの対応 ・重要拠点施設の移転 	<ul style="list-style-type: none"> — — ・土地利用規制・誘導(区域区分、用途地域) ・浸水深に応じた建築構造規定 ・災害時拠点施設の移転
受容	<ul style="list-style-type: none"> ・土地利用の転換 ・復興イメージの構築 ・事前復興計画の作成 	<ul style="list-style-type: none"> ・業務系の土地利用 —(復興将来像の構築) —
転嫁	<ul style="list-style-type: none"> ・地震保険等に自動的に加入 ・財産保障の対応 	—

以上の考え方の下、県や市町が実際に都市計画のマスタープランの改定を行う際の流れを、1) 地震・津波リスク及び施策整備の状況・計画の把握、2) 検討対象区域の設定、3) 対応シナリオの検討、4) シナリオの実現施策の検討、と整理しそれぞれの段階で検討すべき内容の例示を行った。例えば、3) では図 3-4-④-3 のように、将来都市構造のイメージ例(集約型シナリオ、市街地移行型シナリオ、現状維持型シナリオ)を示している。

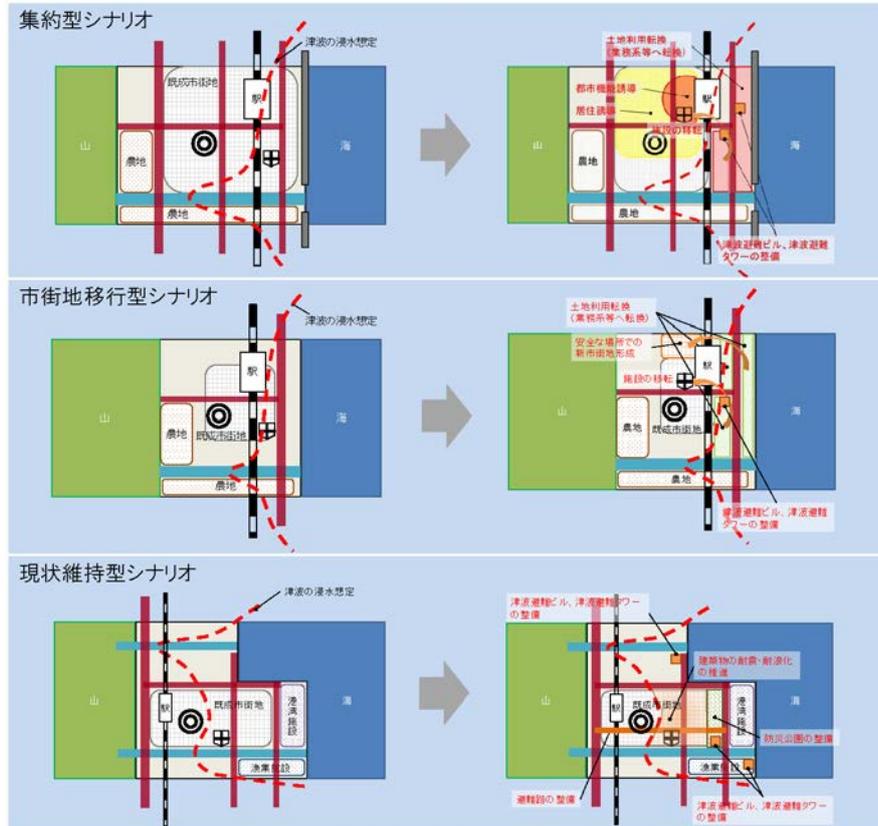


図 3-4-④-3 将来都市構造のイメージ例¹⁾

鈴鹿市の沿岸部を対象とするワークショップでは、以上の内容で構成される指針（案）を具体的な場所に適用する際の課題を図 3-4-④-3 のように、各種地図情報を見ながら抽出した。その結果、特に集約型シナリオや市街地移行型シナリオを検討する際には、既成市街地の開発余地が客観的に分かるデータが必要であることが分かった。また、現場では、イメージ例の 3 シナリオをうまく組み合わせたシナリオが現実的であるとの結論に至り、3 シナリオはあくまでもモデルであることが再認識された。



写真 1 鈴鹿市の沿岸部を対象とするワークショップの様子¹⁾

(d) 結論ならびに今後の課題

これまでの研究に基づき作成した「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針(案)」は、県や市町が都市計画マスタープランの改定を行う際に、南海トラフ広域地震への対応を確実にを行うための有効なツールであると言える。しかし、これはあくまでも土地利用や施設配置の基本的な考え方や対応シナリオのモデルを示したに過ぎず、実際の現場では、具体的な検討のためのデータや手法が必要である。また、地形や市町域の制約等で現状維持シナリオを採用せざるを得ない市町への配慮やより有効な対応が必要であり、これができない限り、指針(案)を三重県都市計画審議会において決定できない状況にある。さらなる研究と検討が必要である。

(e) 引用文献

- 1) 三重県（2015年9月29日）「三重県地震・津波災害対策都市計画指針（仮称）」（第4回「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配布資料）

(3) 平成 28 年度業務計画案

平成 27 年度までに開発した将来の地域特性シミュレーションについて阪神・淡路大震災、新潟県中越地震といった実災害データを用いた検証を行い地域特性評価システムの高度化を行う。また、詳細被害シミュレーションシステム、地域特性シミュレーションシステムを用いた事前復興計画策定プロセスの現地導入試験を実施する。また、事前復興の理論的枠組みの構築については、復興イメージトレーニング、事前復興のための制度検証を行う。

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
国立研究開発法人防災科学技術研究所	領域長 主任研究員 主任研究員 主任研究員 契約研究員 契約研究員 契約研究員	藤原広行 白田裕一郎 田口仁 李泰榮 東宏樹 崔青林 水井良暢
国立研究開発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 技術研究員 技術研究員	金田義行 高橋成実 中野優 今井健太郎
国立大学法人名古屋大学	教授 特任教授 准教授 寄附研究部門教授 寄附研究部門助教 技術職員	福和伸夫 護雅史 山中佳子 武村雅之 倉田和己 川端寛文
国立大学法人東京大学	教授 特任助教	田中淳 定池祐季

(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情報と表示機能について行政関係者への調査やモデル地区での試験的利用を行い検討・反映した。データの収集・整備、利活用システム開発を引き続き実施した。データベースの構築を開始しマルチ検索表示機能の試験ページを試作した。リアルタイム伝送システム開発として、地震の自動検測と震源決定を通して、いち早く地震・津波の状況と観測波形を情報発信する改良を行った。地震波を自動検知し、精緻な即時的な震源決定も必要となるため、海陸の構造モデルを導入し観測点補正と組み合わせることで残差を小さくした。さらにテンプレート地震導入による読み取り精度向上の可能性を検討した。RC・人材育成については、地域特性を考慮した基礎データ、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・提供していくための情報システムを構築した。効果的なリスクコミュニケーション実現のため、知識構造ならびに地域課題をより現実的な場面で深く解明するために、地域防災リーダーを対象とした質的調査の詳細分析を行った。

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。稠密な量的調査を行い、知識構造の地域差の解明と地域防災の向上を中心に分析を行う。

平成 29 年度 :

他の研究課題の成果のデータベース (以下:DB) 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 27 年度業務目的

各種 DB 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、DB の収集・整備に反映する。

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。

(2)平成 27 年度成果

①南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームの構築

(a) 業務の要約

各種 DB およびプラットフォームの実装とメタデータの仕様検討(防災科学技術研究所)

以下の a)から c)の 1-e 内研究成果と、サブテーマ 1 の地域研究会（1-c）およびモデル地域利用検証でのユーザ意見・要望を反映したプラットフォームの構造を検討し改良を行った。当プロジェクト内の成果も反映した各種 DB およびプラットフォームの実装を開始した。メタデータの仕様について検討し、DB の収集・整備に反映した。DB とメタデータ仕様の利用例として、必要とされる災害情報を提示するマルチ検索表示機能(防災カルテ)を試作した。(図 3-5-①-1 内の①に相当する。)

a) 防災・災害関連データの収集・整備および、利活用システム開発開始と人材育成・教育のための調査(名古屋大学)

南海トラフ巨大地震に関わる防災・災害関連データの収集・DB 化。利活用システム整備を SIP と連携して継続的に実施。防災に関わる人材育成・教育のための手法等に関する調査。(図 3-5-①-1 内の②と④に相当する。)

b) 自動震源決定システムの設計(海洋研究開発機構)

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。DONET 設置エリアの微小地震時系列変化の把握のため、P・S 波の自動検知と震源決定のシステム設計。(図 3-5-①-1 内の③に相当する。)

c) 住民の防災知識構造と社会構造に関する量的調査(東京大学)

詳細かつ稠密な量的調査を行うことで、知識構造ならびに社会構造の解明を一

層進めた。地域行政課題についてより広範かつ地域特性に対応した抽出を行った。
 (図3-5-①-1内の⑤に相当する。)

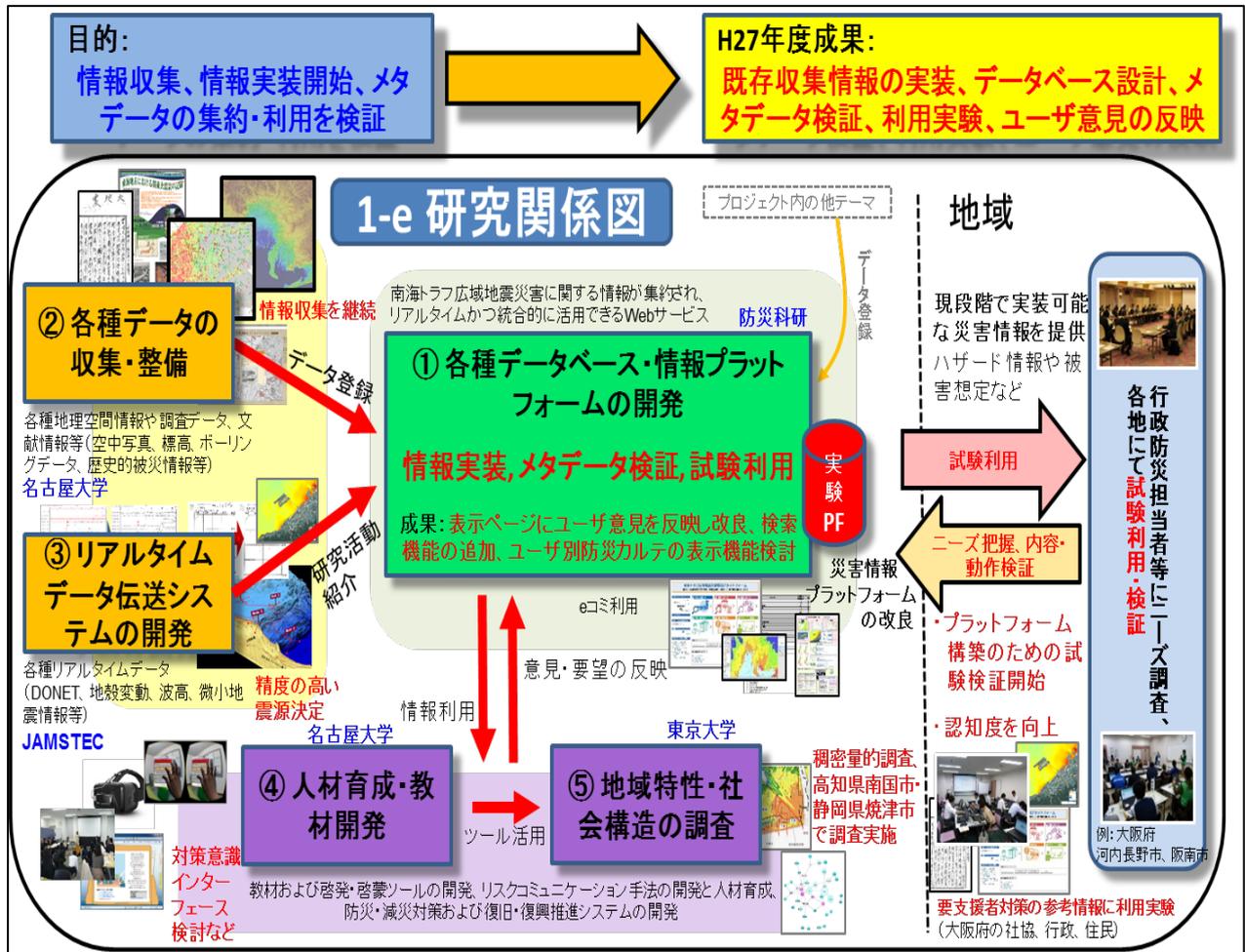


図3-5-①-1 1-e 研究の活動全体イメージ

(b) 業務の実施方法

1) 1-e 研究内の成果を反映

1-e 防災・災害情報発信研究での成果物である災害情報プラットフォームを構築するための初期条件を入手するため、名古屋大学、海洋研究開発機構、東京大学にて研究を実施している以下の成果を、災害情報プラットフォームに反映した。

- ・名古屋大学：各種データの収集・整備と人材育成・教材開発
- ・海洋研究開発機構：リアルタイムデータ伝送システムの開発
- ・東京大学：地域特性・社会構造の調査

2) 災害情報プラットフォーム改良のための意見収集

1-c 地域研究会にすべて参加し、災害情報プラットフォーム構築における、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 DB、利活用方法案の提案など検証項目についてユーザが求めている内容を調査した。

3) 災害情報プラットフォーム改善のための利用検証

災害情報プラットフォーム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もある。そのため、モデル地域のユーザを対象に、災害情報に関するニーズ調査を実施した。対象者は主に自治体防災担当者、社会福祉協議会職員、民生委員、地区長、地域住民である。

4) 災害情報プラットフォームへのデータ導入

アンケートや地域研究会、およびモデル地域での利用検証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、災害情報プラットフォームに導入した。以下が収集対象とした情報である。

- ・ 1-e 防災・災害情報発信研究での成果物、当プロジェクトの研究成果報告書にて公開されているサブテーマ1、サブテーマ2-1、2-2の情報
- ・ 対象地域の自治体ホームページで公開されている南海トラフに関する情報
- ・ 国（府省庁）のホームページで公開されている南海トラフに関する情報
- ・ 広く一般社会の中で公開されている防災・減災に関するメディア記事など

5) 災害情報プラットフォームへの改善項目の反映

アンケート結果や地域研究会、およびモデル地域での利用検証から出された意見、収集した情報の取りまとめ評価から、ユーザ視点の災害情報プラットフォームの構造を再検討し、ページ構成や表示機能の改良を実施した。

6) メタデータ利用のためのDB検討

導入されたデータを、地域（都道府県、市区町村など）、組織・機関（国、自治体、企業、メディアなど）、災害種別（地震、津波、液状化など）の検索キーワードごとに分類し、各データへのタグ付けを試験的に実施した。また、このキーワードとタグ付けルールについて検討を行い、次年度以降の本格的メタデータ利用に向けてDBの試作を行った。

7) メタデータ利用検証のための防災カルテ試作

次年度以降の利用検証を見据えて、必要とされる災害情報を提示する防災担当者向けの「防災カルテ（試作版）」を災害情報プラットフォームにてページ表示する機能を試作開発した。

(c) 業務の成果

1) 1-e 研究内の成果を反映

1-e 防災・災害情報発信研究での成果物である災害情報プラットフォームを構築するための初期条件を入手するため、名古屋大学、海洋研究開発機構、東京大学にて研究を実施している以下の3つの研究成果を、災害情報プラットフォームに反映した。

なお、ここでは概要説明を行い、それぞれの詳細報告は3-5-②から3-5-④の章にて後述する。

- a) 名古屋大学：各種データの収集・整備と人材育成・教材開発
- b) 海洋研究開発機構：リアルタイムデータ伝送システムの開発
- c) 東京大学：地域特性・社会構造の調査

a) 名古屋大学

各種データの収集・整備に関しては、歴史地震に関する調査、情報収集を継続して実施した。「地域版災害教訓アーカイブ（プロトタイプ）」システム構築について、旧版地図や自治体の保有する歴史地震に関する被害写真等と資料収集とデジタル化を行った。

人材育成・教材開発に関しては、SIPの「レジリエントな防災・減災機能の強化」と連携して、ハザード研究成果を可視化できるスマートフォンアプリを開発している。また、実践的な防災学習に関する先進的な取り組み事例研究、親子で活用できる防災学習教材の開発を行った。

災害情報プラットフォームへの成果連携として、これらの情報収集成果と人材育成等の活動記録のうち紹介できる情報を、コンテンツとして災害情報プラットフォームのDBに導入した。



図3-5-①-2 名古屋大学の研究

b) 海洋研究開発機構

DONETによる自動検測と震源決定を通して、いち早く地震・津波の状況と波形の情報を発信することを実施した。

作業内容として、人間の目による読み取りと同等程度の検測技術を開発してきた。

今年度は海陸の構造の違いを導入し、より精度の高い震源決定を目指し、テンプレート導入で高度化を行った。

災害情報プラットフォームへの成果連携として、DONETのデータを活用した沿岸部への津波シミュレーション画像（動画・静止画）を作成し、その浸水イメージ画像を大阪府阪南市の要支援者対策を行う行政および社会福祉協議会職員と閲覧し、今後の計画に役立てられるかを検討した。

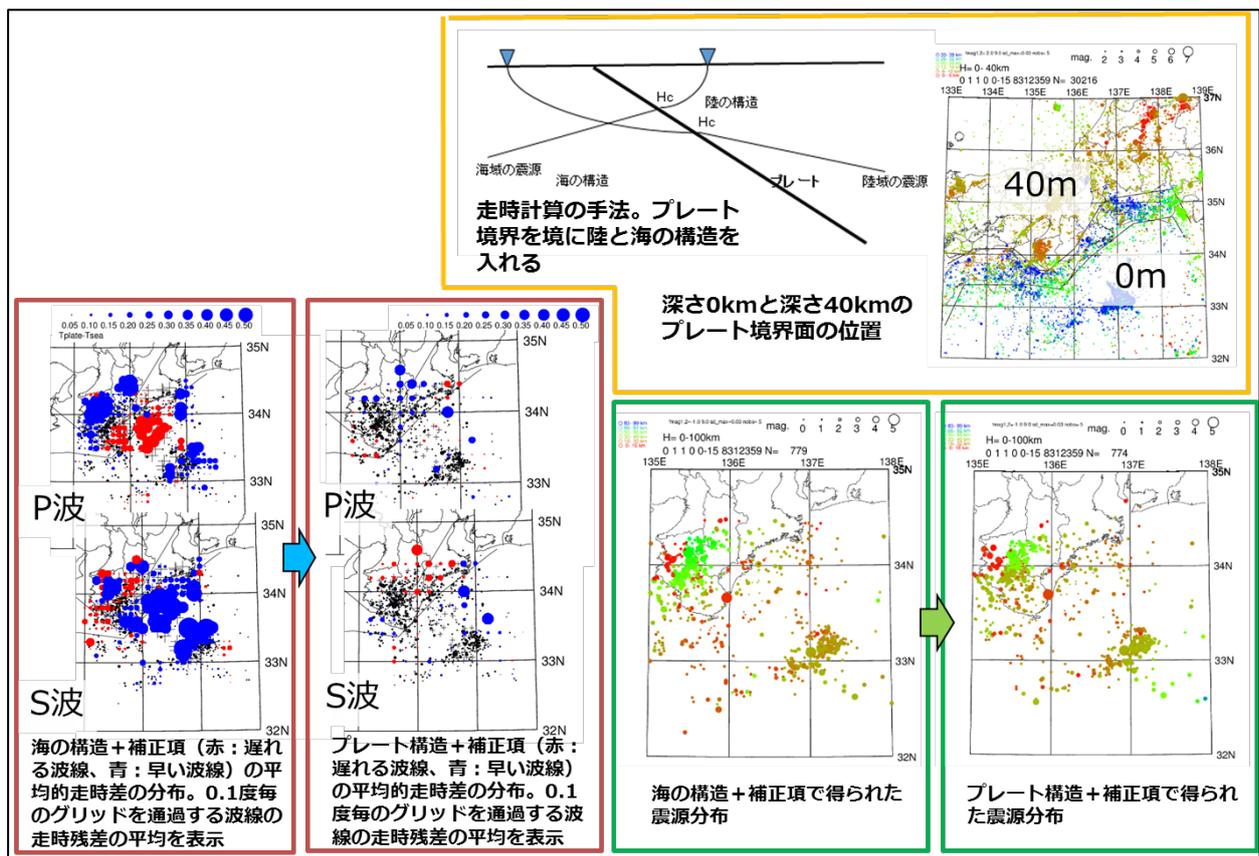


図 3-5-①-3 海洋研究開発機構の研究

c) 東京大学

リスクコミュニケーションを有効に行うためには、どのような層に対して、どのような内容を、どのような経路を通して実施することが良いのかをより明確にするため、平成 27 年度においては、以下の調査研究を行った。

第 1 に、これまで実施してきた知識構造ならびに地域課題をより現実的な場面で深く解明するために、2 地域の地域防災リーダーを対象とした質的調査の詳細分析を行った。第 2 に、安定した構造が得られていない知識構造について、より等質な群で検討を行うため、地域リーダー調査を行った 1 地域である南国市の自主防災会単位の稠密な量的調査を行った。第 3 に、地域課題の抽出に向けて、防災行政担当者への聞き取り調査を実施した。

災害情報プラットフォームへの成果連携として、この調査により、以下の 3 課題が

見出されたため、災害情報プラットフォームの構造や情報内容、および利用検証にて反映を試みた。

- ・避難勧告依存 → ハザード情報を理解し避難の必要性を認識させる（大阪府河内長野市、愛媛県西予市）ことに反映した
- ・設備への信頼とそれを契機とする防災活動活性化 → 沿岸部対策を知る機会を作り地域の設備や地形特性などについて興味を持ってもらう（大阪府阪南市、愛媛県西予市）ことに反映した
- ・津波イメージ具体化 → 自分の町の津波到達シミュレーション画像を見せる（大阪府阪南市）ことに反映した

なお、これらの事前認識や意識付けを行うために必要な情報内容の収集と、検索・表示優先順位に重みづけを行う方針である。

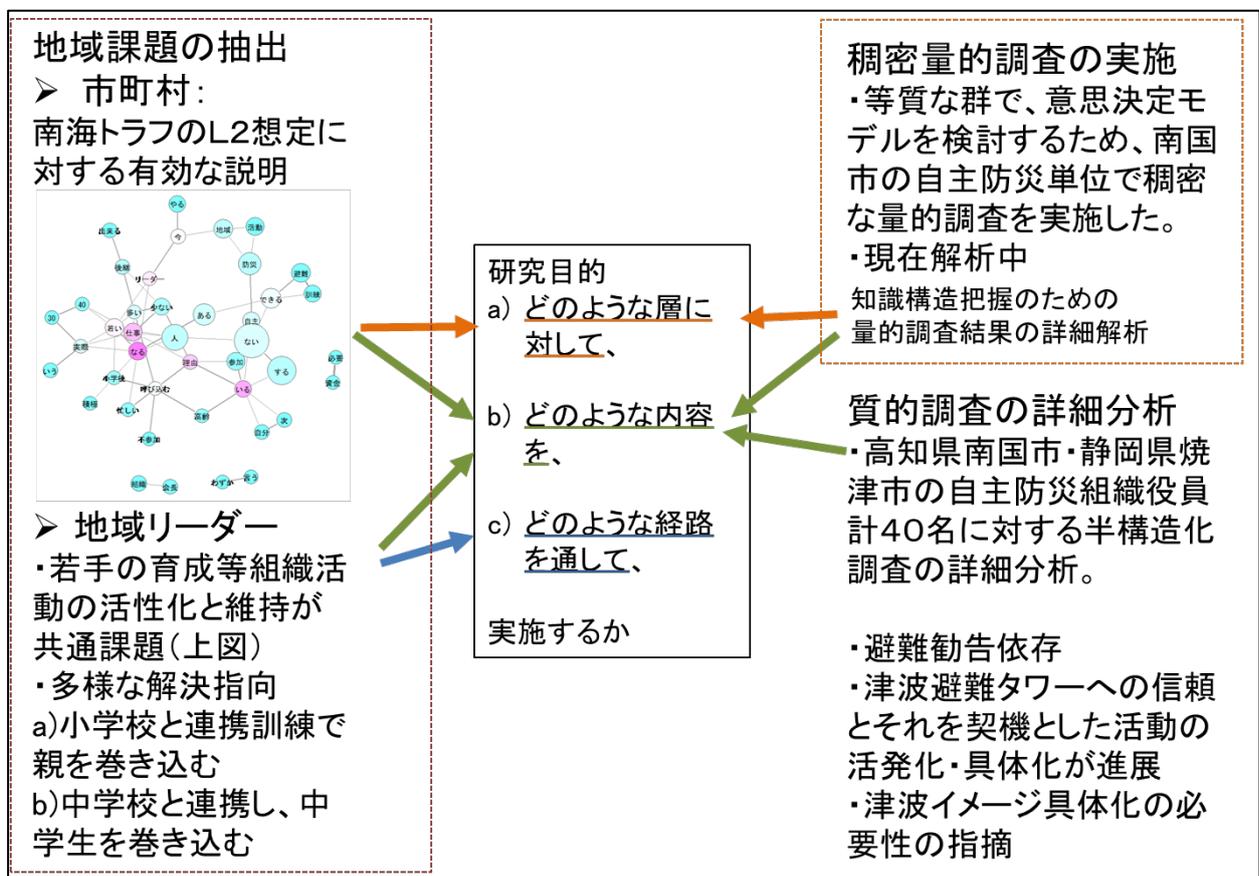


図 3 - 5 - ① - 4 東京大学の研究

2) 災害情報プラットフォーム改良のための意見収集

1 - c 地域研究会にすべて参加し、災害情報プラットフォーム構築における、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 DB、活用方法案の提案など検証項目についてユーザが求めている内容を調査した。

災害情報プラットフォームへの成果連携として、東海・関西・四国・九州の各地域研究会にて行政担当者やライフライン企業からの意見を収集し、防災活動に関して意

識の高い地域での要求や、低い地域での不足項目の対比などを行い、災害情報プラットフォームの構造に反映した。



写真 3-5-①-1 東海地域研究会



写真 3-5-①-2 九州地域研究会



写真 3-5-①-3 四国地域研究会



写真 3-5-①-4 関西地域研究会

3) 災害情報プラットフォーム改善のための利用検証

災害情報プラットフォーム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もある。そのため、モデル地域のユーザを対象に、災害情報に関するニーズ調査を実施した。対象者は主に自治体防災担当者、社会福祉協議会職員、民生委員、地区長、地域住民である。以下の地域で利用検証を実施した。

- ・大阪府全域の社会福祉協議会にて災害情報利用の研修
- ・大阪府阪南市での平常時要支援者対策への事前災害情報の利用検証
- ・大阪府河内長野市の災害ボランティアセンター設置訓練時に事前災害情報の利用
- ・愛媛県西予市での地域支え合いマップ作成事業での事前災害情報の利用検証



写真 3-5-①-5 大阪府内の各社会福祉協議会合同の研修会（会場：大阪府社協）

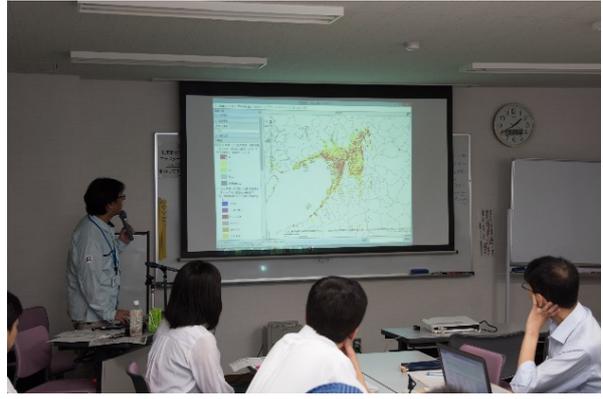


写真 3-5-①-6 大阪地域の液状化マップ説明（会場：同じ）

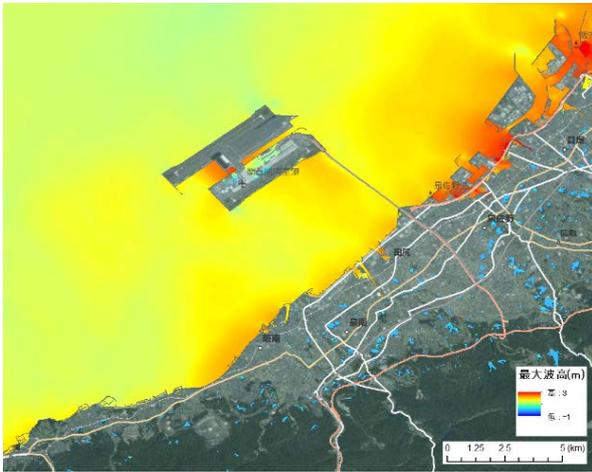


図 3-5-①-5 大阪府阪南市での要支援者対策での利用検討の試み

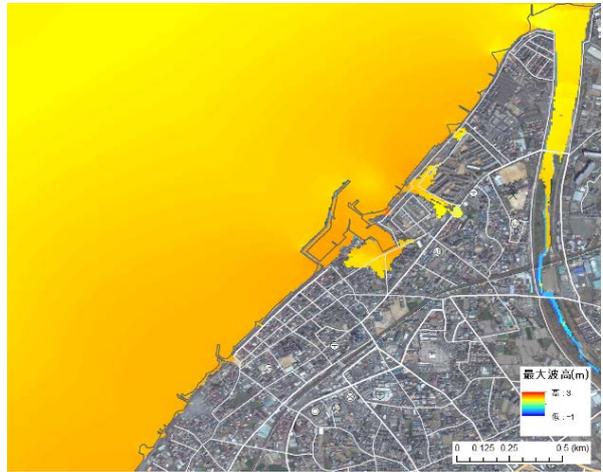


図 3-5-①-6 阪南市周辺を拡大

（大阪府阪南市津波到達シミュレーション動画および静止画：海洋研究開発機構作成）



写真 3-5-①-7 大阪府南部地域での情報利用検証（会場：大阪府河内長野市）



写真 3-5-①-8 災害 VC 運営者研修（会場：同じ）



三瓶地区の津波浸水想定マップ

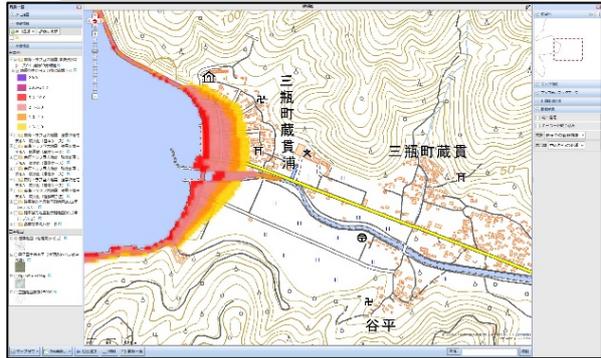


写真 3-5-①-9 愛媛県西予市での要支援者対策での利用検討の試み

図 3-5-①-7 西予市三瓶地区の津波浸水想定マップ

4) 災害情報プラットフォームへのデータ導入

アンケート結果や地域研究会、およびモデル地域での利用検証から導き出された、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、災害情報プラットフォームに導入した。情報としては、前述している当プロジェクト研究成果の情報のほかに、インターネット上で収集可能な南海トラフに関連する情報も別途収集・分類分けし活用している。「対象地域の自治体ホームページで公開されている情報」「国（府省庁）のホームページで公開されている情報」「広く一般社会の中で公開されている防災・減災に関するメディア記事」である。

東海地域などの各種情報

図 3-5-①-4 1980年代の愛知県の人口分布

図 3-5-①-5 南海トラフ巨大地震の想定される震度分布 (内閣府, 2012) と震度分布
図 3-5-①-6 南海トラフ巨大地震で想定される震度分布 (内閣府, 2012) と震度分布

防災教育

高校生と協働した減災ワークショップ

図 4 中道地域の震度分布

図 5 震度 7 の地域の地形的特徴

震度分布と標高の関係

プレート構造 + 補正項
の平均的走時差の分布

P 波
S 波

観測データ、リアルタイム伝送

質的調査の詳細分析

高知県南国市・静岡県焼津市の自主防災組織役員計 40 名に対する半構造化調査の詳細分析。課題は以下。

- ・避難勧告依存
- ・津波避難タワーへの信頼とそれを契機とした活動の活発化・具体化が進展
- ・津波イメージ具体化の必要性の指摘

図 3-5-①-8 導入している 1-e 研究成果の情報コンテンツと課題の一例

1-e 以外のサブテーマ 1 の a) 東日本大震災の教訓活用研究、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・復興・復旧対策研究の成果も連携し導入した。また、サブテーマ 2-1、2-2 を含むプロジェクト全体の報告書の内容も導入した。

以下はデータ導入したプロジェクト研究成果情報の一例である。DB には画像データやテキストデータ、およびリンク先 URL などを登録している。



図 3-5-①-9 3.11 からの学びのデータベース (1-a 研究)

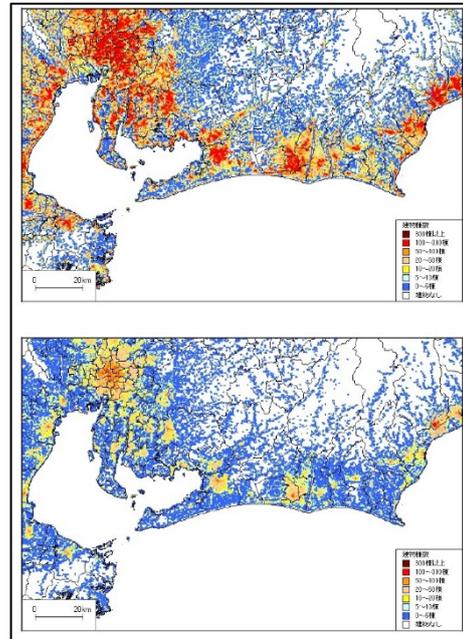


図 3-5-①-10 木造と非木造倒壊率 (1-b 研究)



写真 3-5-①-10 地域研究会の意見・要望 (1-c 研究)

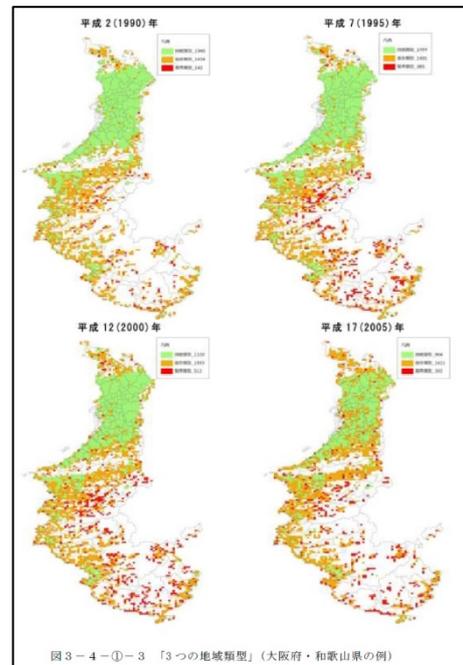


図 3-4-①-3 「3つの地域類型」(大阪府・和歌山県の例)

図 3-5-①-11 地域累計 (大阪、和歌山) (1-d 研究)

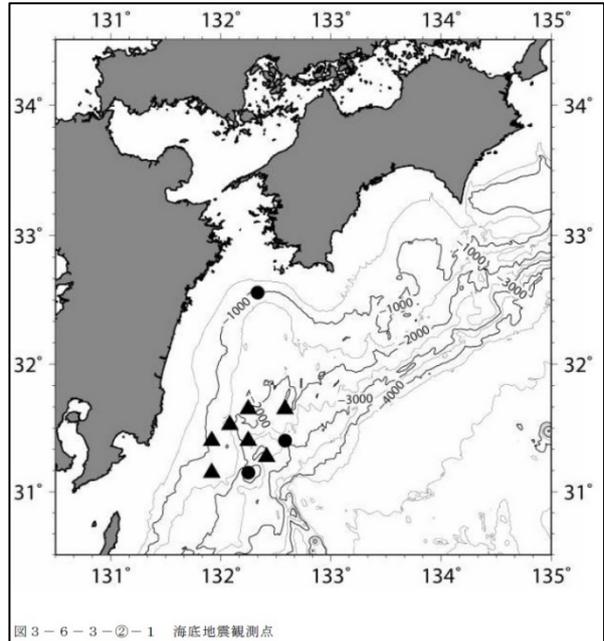
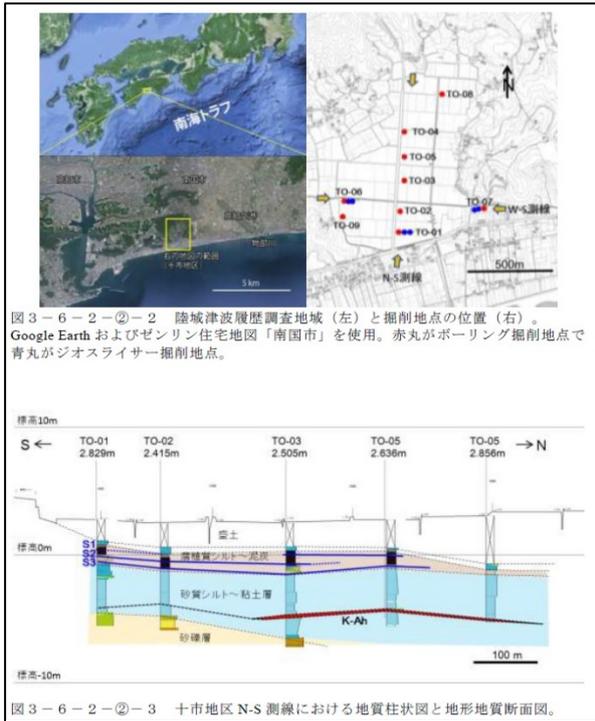


図3-5-①-12 高知市の津波履歴調査(2-1b研究)

図3-5-①-13 日向灘の海底観測(2-1c研究)

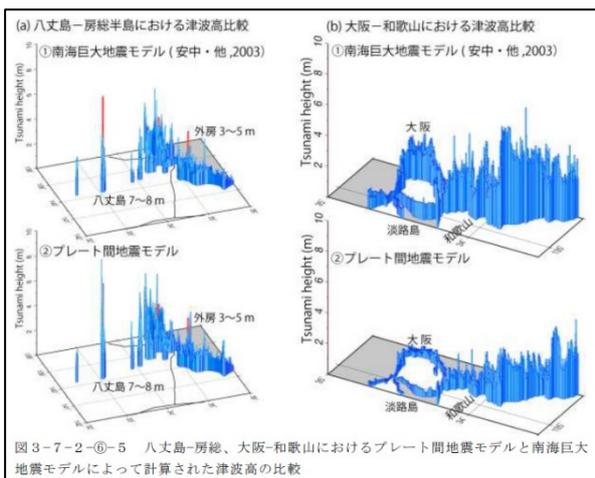


図3-5-①-14 計算された津波高比較(2-2b研究)

図3-5-①-15 シンポジウムの活動紹介

文部科学省 科学技術試験研究委託事業

南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトシンポジウム

～南海トラフ地震被害軽減のための研究戦略と課題～

参加定員 250名 (入場無料)

本事業は、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工・工学・社会科学の連携で実施し、防災・減災対策へ繋げることを目指します。本シンポジウムでは、国土交通省 関東地方整備局 越前東海局長より基調講演をいただくとともに、南海トラフ地震被害軽減に向けて、プロジェクトに参加する研究者間で横断的に議論・検討した結果をご紹介します。

開催日時: 2015年8月8日(土) 14:00～17:30(開場13:00)

プログラム:

- 14:00-14:10 開会挨拶
- 14:10-15:10 基調講演 災害に負けない国づくり ～備え持った社会システムへの構築を～ 国土交通省 関東地方整備局 越前東海局長 越前 智雄
- 15:10-15:30 若づくり、被害情報の扱い方 防災科学技術研究所 教授 牧 紀晴
- 15:30-15:50 被害予測に各種観測をどう利用するか 防災科学技術研究所センター 野田 利弘
- 15:50-16:10 震と津波のつながりから防災システム構築をどう発展させるか 防災科学技術研究所 社会システム研究部 藤原 隆行
- 16:10-16:20 休憩
- 16:20-17:20 パネルディスカッション 一帯南海トラフ地震被害軽減のための研究戦略と課題～ 進行 防災科学技術研究所センター 施設管理 海野 隆行 国土交通省 関東地方整備局 越前東海局長 金田 義行
- 17:20-17:30 閉会挨拶 防災科学技術研究所センター 野田 利弘 国土交通省 関東地方整備局 越前東海局長 小平 秀一

場所: 学士会館(210号室) 東京都千代田区神田神保町3-28

主催: 国立研究開発法人海洋研究開発機構 文部科学省 お問い合わせ先: 国立研究開発法人海洋研究開発機構 地震津波等観測技術研究開発センター企画調整グループ 045-778-5657 E-mail: ceat_info@jamstec.go.jp



図 3-5-①-16 災害情報プラットフォームの DB(図右上)と全体イメージ

図 3-5-①-16 の右上部分がデータ導入を示している(赤色破線内)。また収集データの種別や地域範囲などについては、1) 1-e 研究内の成果を反映、2) 災害情報プラットフォーム改良のための意見収集(図右下オレンジ色部)、3) 災害情報プラットフォーム改善のための利用検証(図右下オレンジ色部)の結果を考慮に入れて選定している。

5) 災害情報プラットフォームへの改善項目の反映

アンケート結果や地域研究会、およびモデル地域での利用検証から出された意見、収集した情報の取りまとめ評価から、ユーザ視点の災害情報プラットフォームの構造を再検討しイメージし、ページ構成や表示機能の改良を実施した。

以下が現在最新版の災害情報プラットフォーム Ver.0.1.2 の Top 画面である。なお表記の URL より公開情報を閲覧することが可能である。



図 3-5-①-17 Top 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.0.1.2

<http://nankai-bosai.jp/v0.1/group.php?gid=10107>

Top ページには目立つように大きな項目別ボタンを新たに設置した（赤色破線内）。①地域から調べる、②災害から調べる、③対策から調べる、④研究一覧を見る、⑤最新情報を見る、⑥プロジェクトの概要の6種類を配置し、ユーザが情報を入手するための最初の判断基準を優先して表記するように改善した。

また、すぐ下位には研究者側として優先的にお知らせしたい情報トピックスを配置し、南海トラフに関係するセミナー・イベント情報や、東日本大震災の教訓（1-a 成果物）などの情報を閲覧できるショートカットボタンを置いた。

表示例として①地域から調べる、にて大阪府を閲覧していく様子を図 3-5-①-18~23

に示す。

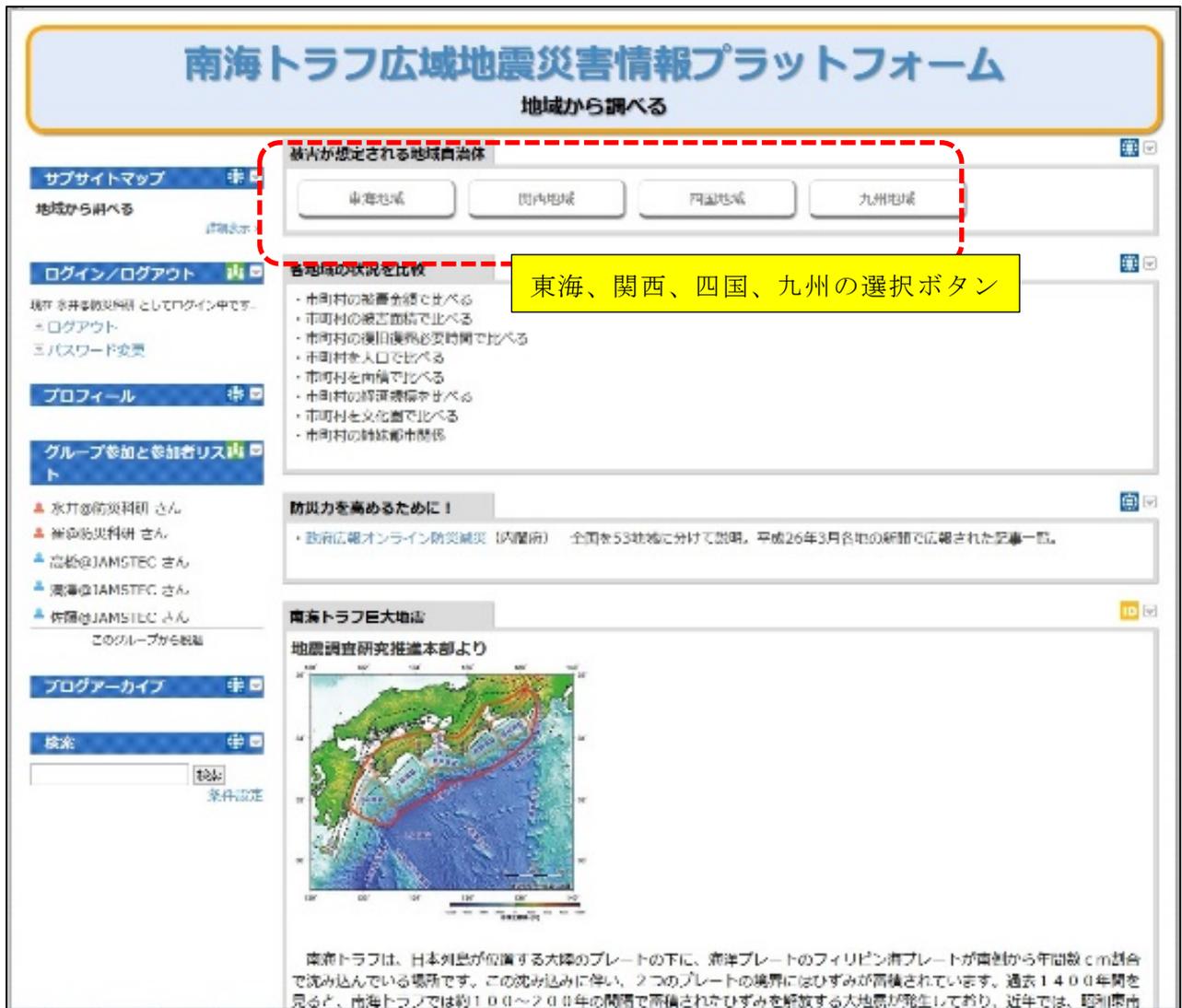


図 3-5-①-18 地域から調べるページ

地域から調べるページでは、東海、関西、四国、九州の選択が可能である（赤色破線内）。今後は地域ごとの対策を対比して表示する機能も追加していく予定である。

また、内閣府の政府広報オンライン防災減災ページや地域の防災情報 2015 年度版、地震調査研究推進本部の南海トラフ巨大地震に関する説明資料などにリンクしており、詳細情報を閲覧することができる。

東海、関西、四国、九州の選択を行うと、図 3-5-①-19 地域選択ページにて府県・市町村を選択可能となる。図 3-5-①-20 大阪府ページでは、大阪府に関する災害情報が表示されるマップや、府が公開しているリアルタイム情報、計画・政策・対策、活動・会議・報道資料、啓発・学習などがサムネイルやテキストで閲覧できる。これらは、ホームページの公開情報やメディア記事を取得し表示している。各情報をクリックするとその情報ページへ飛ぶことができる。

表示されている地図のサムネイルをクリックすると図 3-5-①-21 大阪府の地震

動想定マップのように画像が拡大され、その地域の地震動、津波浸水、液状化などの情報を閲覧することができる。この画像表示では範囲固定の画像でしか閲覧できないが、GIS マップも同時に設置しており、多様情報が内蔵されている災害情報マップを利用することができる。

南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム

南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム
自治体一覧

自治体一覧

東海地域 関西地域 四国地域 九州地域

滋賀県	大阪府	兵庫県	和歌山県
あ 愛荘町	い 池田市	あ 相生市	あ 有田川町
お 近江八幡市	泉大津市	明石市	有田市
大津市	泉佐野市	赤穂市	い 印南町
く 草津市	和泉市	芦屋市	岩出市
こ 甲賀市	茨木市	尼崎市	か 海南市
甲良町	お 大阪狭山市	淡路市	かつらぎ町
湖南市	大阪市	い 伊丹市	上富田町
た 高島市	か 貝塚市	稲美町	き 北山村
多賀町	柏原市	お 小野市	紀の川市
と 豊郷町	交野市	か 加古川市	紀美野町
な 長浜市	門真市	加西市	く 串本町
ひ 東近江市	河南町	加東市	九度山町
彦根市	河内長野市	川西市	こ 高野町
日野町	ぎ 岸和田市	こ 神戸市	古座川町

図 3-5-①-19 地域選択ページ

南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム

南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム
大阪府

概要
8,847,838人
(推計人口、2015年5月1日)
<隣接自治体情報>
京都府、兵庫県、奈良県、和歌山県

メニュー
リアルタイム防災情報

検索

ログイン/ログアウト
メールアドレス
パスワード

各種災害情報マップ

大阪府
作成: 2015/06/19 18:13:57
マップを開く

各種想定マップ画

GIS マップ

自治体 HP やメディア記事

活動・会議・報道資料

- 南海トラフ巨大地震災害対策検討部会
- 南海トラフ巨大地震土木構造物影響対策検討部会
- 新しい被害想定への検討について
- 大阪府地震被害想定(平成19年3月)
- 大阪府津波浸水想定の設定について
- 大阪府の災害備蓄について

啓発・学習

- ハザードマップ
- 地震発生時の心得

防災・減災トピックス

地震動(モデルA_基本ケース)
→ 地震動に関する各地の記事へ
→ 地震動に関する各地の対策を対比

津波浸水エリア(ケース01_浸水03分破壊)
→ 津波に関する各地の記事へ
→ 津波に関する各地の対策を対比

液状化(モデルA_基本ケース)
→ 液状化に関する各地の記事へ
→ 液状化に関する各地の対策を対比
→ そのほかの想定ケースの表示は各種災害情報マップへ

大阪府

図 3-5-①-20 大阪府ページ(例)

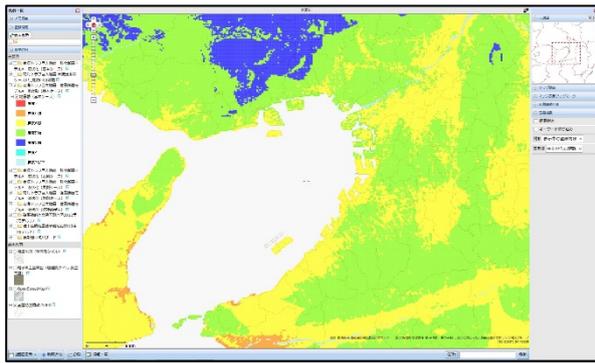


図 3-5-①-21 地震動 (モデル A_基本ケース)

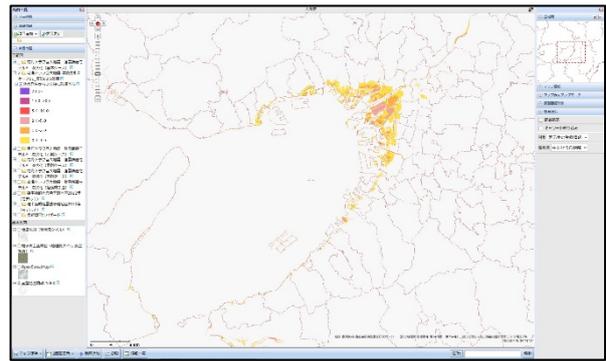


図 3-5-①-22 浸水深 (ケース 01_堤防 3 分破壊)

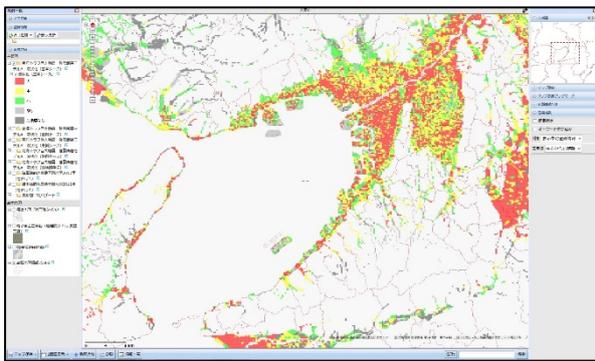


図 3-5-①-23 液状化 (モデル A_基本ケース)

以下に、②災害から調べる、③対策から調べる、④研究一覧を見る、⑤最新情報を見る、のページ画像を紹介する。これらも①地域から調べると同様に各項目のボタン等が配置され、各種情報を閲覧することができる。

その一例として、国の防災対策一覧表を図 3-5-①-28 府省庁の南海トラフ地震防災対策に示す。



図 3-5-①-24 災害から調べる



図 3-5-①-25 対策から調べる

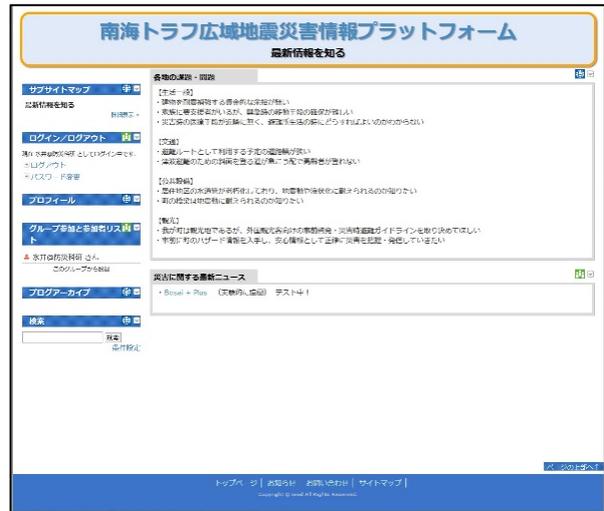


図 3-5-①-26 研究一覧を見る

図 3-5-①-27 最新情報を知る

南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム

府省庁の南海トラフ地震防災対策

機関	対策情報	委員会・会議報告、報道資料	調査・研究・被害想定
内閣府	南海トラフ地震対策	中央防災会議 防災対策推進検討会議の最終報告 (H24.7)	津波断層モデルと津波高・浸水域等について
		南海トラフの巨大地震モデル検討会	南海トラフ巨大地震で想定される被害
		南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ	
		南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会	
国土交通省	国土交通省における南海トラフ巨大地震・首都直下地震対策	南海トラフ巨大地震対策計画中間とりまとめの公表について	
		「国土交通省 南海トラフ巨大地震・首都直下地震対策本部」及び「対策計画 策定ワーキンググループ」の合同会議 (第2回) の開催について	
中部地整	南海トラフ地震対策中部圏戦略会議		
近畿地整	国土交通省 南海トラフ巨大地震対策計画 近畿地方地域対策計画		
四国地整	四国南海トラフ地震対策会議		
九州地整	国土交通省南海トラフ巨大地震対策九州ブロック地域対策計画		
総務省		災害に強い電子自治体に関する研究会	
東海総通	東海地域防災ポータルサイト	衛星携帯電話を用いた通信回復訓練の実施	
		非常災害時の情報伝達手段確保のための取組み	

図 3-5-①-28 府省庁の南海トラフ地震防災対策

6) メタデータ利用のため DB 検討

条件設定として、地域研究会やモデル地区から出された意見・要望を反映し、DB に導入されるデータを、地域 (都道府県、市区町村など)、組織・機関 (国、自治体、

企業、メディアなど)、災害種別(地震、津波、液状化など)の検索されるキーワードごとに分類し、各データにタグ付けを試験的に実施した。また、このキーワードとタグ付けルールについて検討を行い、次年度以降の本格的メタデータ利用に向けてDBの試作を行った。

表3-5-①-1 南海トラフ災害情報プラットフォーム タグ分類(案)

大分類	中分類	小分類
南海トラフ	地域	市区町村
		都道府県
		地方
	機関	国
		自治体
		研究機関
		教育機関
		報道機関
		インフラ企業
		その他
	災害種別	地震
		津波
		液状化
		土砂災害
		火山
		火災
		感染症
		原子力災害
		その他
	その他項目	報道資料
		条例・法律・制度
		公共事業
		イベント
		調査報告
		研究成果
		新聞コラム
		その他

また、ユーザがタグを自由に追加していける仕様(フリーワード機能)の実装も検討した。次年度以降に実装する予定である。

各情報の内部に記載されている内容についてもキーワード検索を実施できるような機能についても検討した。

表3-5-①-2では検討しているキーワードの種別を記す。

表3-5-①-3では現在構築している試作DBの一部を抜粋して記す。リンク先のURLがリンク切れの場合にはその旨を表示できる機能も試験的に実装した。

表3-5-①-2 情報内容についての区分けキーワード(案)

検索 テーマ	対策手法	構造物・建造物による対策(ハード)
		訓練・教育・啓発等による対策(ソフト)
		法令・条例・制度・手段の確立等による対策(ソフト)
	研究・対策の実施主体	公的機関(公助)
		自治組織やボランティア(共助)
		一般家庭や個人(自助)
	研究・対策の対象となるフェーズ	事前
		直前
		直後(初動)
		事後
		回復
	研究・対策の進捗状況	計画中
		実践中
		終了・完了済

表3-5-①-3 コンテンツ整理データベース(一部抜粋)

ID	タイトル	タイプ	値	地域	災害種別	情報元	その他タグ	その他タグ
1	静岡県地震対策推進条例	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	行政資料	
2	静岡県地震対策アクションプログラム2006~東海地震による死者数の半減を目指して~	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	行政資料	
3	静岡県の東海地震対策	link	https://www2.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	行政資料	リンク切れ
4	静岡県が所有する公共建築物の耐震性能と今後の対応	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	行政資料	
5	大規模地震対策「避難計画策定指針」	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	行政資料	
6	今後の地震・津波対策の方向	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	行政資料	
7	静岡県津波対策検討会議	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	行政資料	
8	静岡県自主防災活動推進大会	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	行政資料	リンク切れ
9	静岡県防災関係資料	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	行政資料	
10	災害情報支援システム研究会	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	行政資料	
11	公益信託静岡県災害ボランティア活動ファンド	link	https://www2.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	行政資料	リンク切れ
12	静岡県第3次地震被害想定	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	被害想定・統計資料	
13	静岡県第3次地震被害想定(GIS)	link	http://www.gis.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	被害想定・統計資料	
14	静岡県第4次地震被害想定	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	被害想定・統計資料	
15	静岡県第4次地震被害想定(GIS)	link	http://www.gis.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	被害想定・統計資料	
16	静岡県津波浸水想定	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	被害想定・統計資料	
17	南海トラフの巨大地震による津波浸水域(GIS)	link	http://www.gis.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	被害想定・統計資料	
18	そのときあなたは何?	link	https://www2.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	パンフレット	リンク切れ
19	「命のバスポート」	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	パンフレット	
20	(英語版)県が発行した防災パンフレット	link	https://www2.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	パンフレット	リンク切れ
21	静岡県木造住宅耐震補強ITナビゲーション 耐震ナビ	link	http://www.taishinnavi.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	住民向け情報	
22	住宅の倒壊から生命を守る「防災ベッド」の紹介	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	住民向け情報	
23	海拔表示デザイン	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	住民向け情報	
24	地震保険	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	住民向け情報	
25	家庭内DIG~地震がきても、わが家で暮らす方法~	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	住民向け情報	
26	事業所の地震防災対策2008	link	https://www2.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	住民向け情報	リンク切れ
27	企業防災「巨大地震を生き抜く力」	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	住民向け情報	
28	地震はなぜおきるの? 小学生向き	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	防災教育・訓練	
29	地震はなぜおきるの? 一般向き	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	防災教育・訓練	
30	津波について	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	防災教育・訓練	
31	地震対策情報	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	防災教育・訓練	
32	自主防災組織活動実践事例集	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	防災教育・訓練	
33	事業所の実績事例	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	防災教育・訓練	
34	災害图上訓練DIG	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	防災教育・訓練	
35	避難所HUG	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	防災教育・訓練	
36	防災クイズ	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	防災教育・訓練	
37	静岡県防災コラム	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	防災教育・訓練	
38	ビデオ等及びパネルの貸出しについて	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	防災教育・訓練	
39	自主防災新聞	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	防災教育・訓練	
40	自主防災組織災害対応訓練「イメージJEN」	link	http://www.pref.shizuoka	静岡県	その他	地方公共団体	防災教育・訓練	

7) メタデータ利用検証のための防災カルテ試作

次年度以降の利用検証を見据えて、必要とされる災害情報を提示する防災担当者向けの「防災カルテ（試作版）」を災害情報プラットフォームにてページ表示する機能を試作開発した。

また、この「防災カルテ（試作版）」では、当プロジェクトの研究成果を Push 型でユーザに渡す狙いも有り、簡単な条件設定の流れ操作を行うことにより、研究側が利用者側に提供したいと考えている情報群が表示される。

表示される内容は 4)で導入されたプロジェクト全体（サブテーマ 1、サブテーマ 2-1、2-2）の情報や各地の災害に関するコンテンツである。

表示テーマとして、以下の 3つを考えた。

- ・自分の地域についての災害情報を把握してもらう
- ・近隣地域や似ている地域（規模、地形など）の災害情報や状況を把握してもらう
- ・災害対策への参考情報として国の指針や各地の事例を知ってもらう

条件設定の流れ操作イメージは、図 3-5-①-30 防災カルテの選択手順（案）のように、所属自治体・所属組織と役職・担当業務の流れを検討しており、この基礎条件により表示される地域や情報内容を選定する。次年度は、この機能の利用検証を各地で実施していく予定である。会議等の手持ち資料としても利用できるように A4 もしくは A3 用紙への印刷機能も検討している。なお、図 3-5-①-32 と 33 は完成イメージである。

また、DB 内に「研究者視点の重みづけ値」を追記して、検索後の表示優先順位を決定する機能を与えている。次年度以降は「ユーザ視点」、「ジャーナリスト視点」など別分野の重みづけも追加していく予定である。

図 3-5-①-34 が 2016 年 2 月現在の試作版 Ver.1 の画面である。今後サムネイル表示機能などを追加し改良していく予定である。

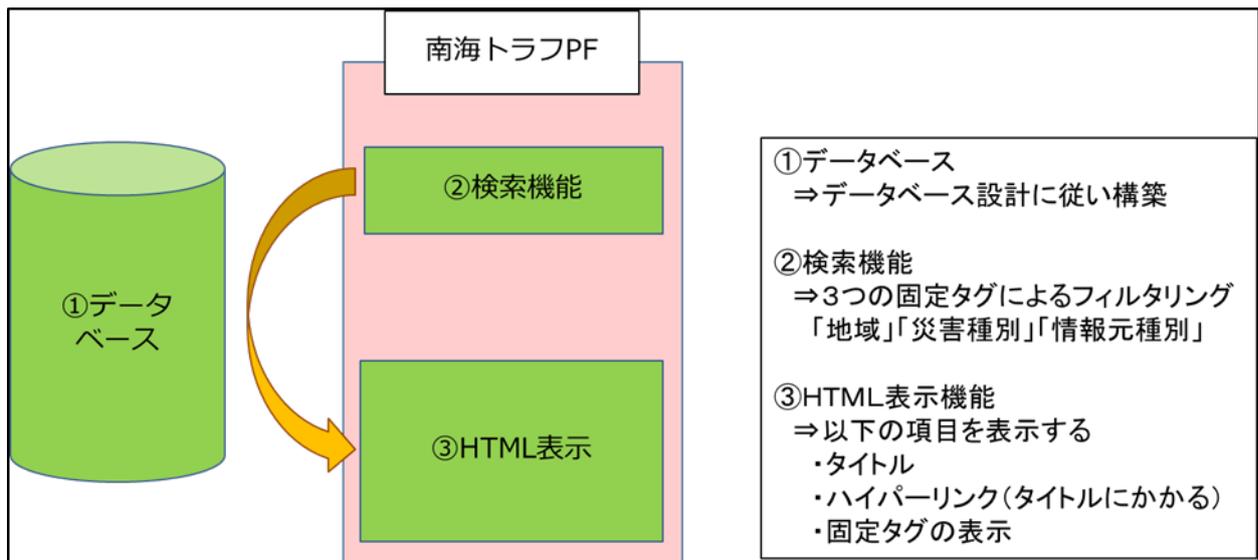


図 3 - 5 - ① - 29 防災カルテ試作版表示の仕組み

ユーザー登録
済みの方は
こちら

所属自治体

↓

所属組織・役職

↓

担当業務

対象地域の範囲設定

あ県A市

範囲設定

対象災害の設定

大 中 小

地震

津波

土砂

液状

洪水

対象地域の被害想定概要

■地震

人的被害	死亡	〇〇人	半壊	〇〇棟	一部壊壊	〇〇棟
家屋被害	全壊	〇〇棟	通信	〇〇	水道	〇〇
社会基盤	交通	〇〇	工業	〇〇円		
産業損害	農業	〇〇円				

対象地域の対策の進捗

■地震

類似地域紹介

社会条件	地理的条件	対策・法整備	近隣
■人口規模	■可住面積	■〇〇対策	あ県B市
<input checked="" type="checkbox"/> あ県B市	<input checked="" type="checkbox"/> あ県B市	<input checked="" type="checkbox"/> あ県B市	い県E市
<input type="checkbox"/> い県C市	■海岸地形	<input type="checkbox"/> い県C市	う県D町
<input type="checkbox"/> う県D町	<input checked="" type="checkbox"/> あ県B市	<input type="checkbox"/> う県D町	あ県F町
■産業構造	■地形起伏	■××法	
<input checked="" type="checkbox"/> あ県B市	<input checked="" type="checkbox"/> あ県B市	<input checked="" type="checkbox"/> あ県B市	

推奨対策紹介

中央省庁	都道府県	他自治体
■〇〇対策	■〇〇対策	■〇〇対策
<input checked="" type="checkbox"/> 1省	<input checked="" type="checkbox"/> あ県	<input checked="" type="checkbox"/> あ県B市
		<input type="checkbox"/> い県C市
		<input type="checkbox"/> う県D町
		■××法
		<input type="checkbox"/> あ県B市

対象地域に被害をもたらした過去の災害

〇〇地震(19xx年)

××地震津波(18xx年)

印刷ボタン カルテを印刷

図 3 - 5 - ① - 30 防災カルテの情報選択手順 (案)

図 3 - 5 - ① - 31 表示内容パターン1案と印刷機能の検討

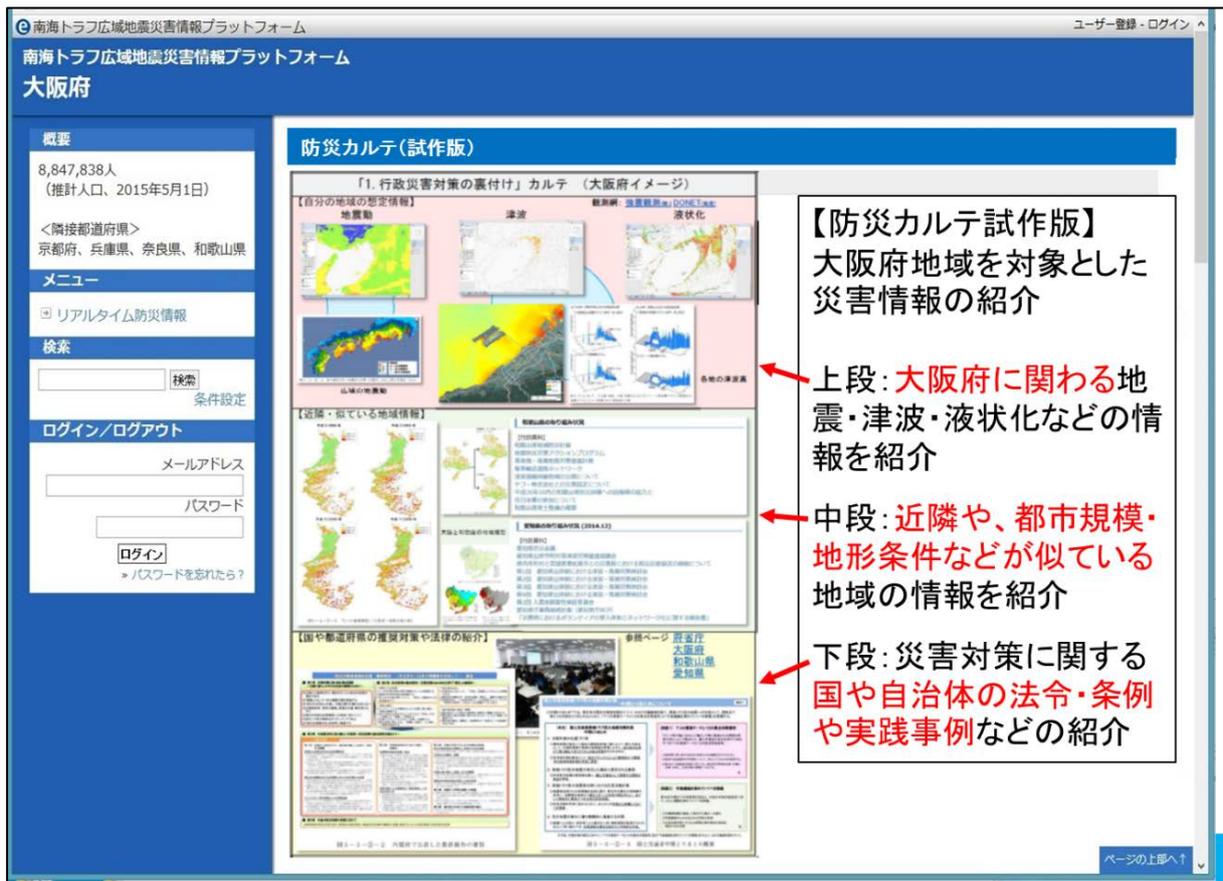
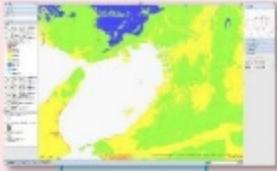


図 3 - 5 - ① - 32 災害情報プラットフォームでの表示イメージ

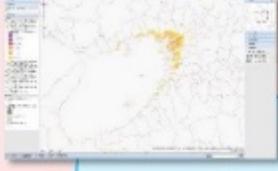
「1. 行政災害対策の裏付け」カルテ（大阪府イノベーション）

【自分の地域の想定情報】

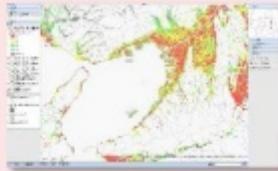
地震動



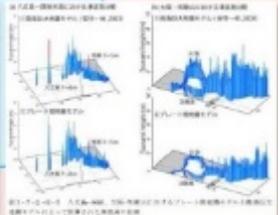
津波



液状化

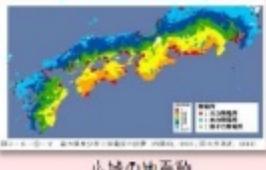


各地の津波高

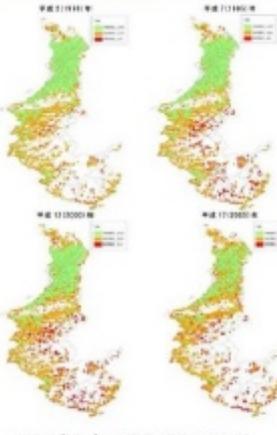


観測網: [強震観測網](#) [DONET](#) [地震](#)

広域の地震動



【近隣・似ている地域情報】



和歌山県の取り組み状況

【行政資料】
和歌山県地域防災計画
地震防災対策アクションプログラム
東南海・南海地震対策推進計画
緊急輸送道路ネットワーク
津波避難困難地域の公開について
ヤフー株式会社との災害協定について
平成26年10月の和歌山県防災訓練への自衛隊の協力を
在日米軍の参加について
和歌山県県土整備の概要

大板と和歌山の地域類型



和歌山県の取り組み状況 (2014.12)

【行政資料】
愛知県防災会議
愛知県沿岸市町村等津波対策推進協議会
市内市町村と東海市松島市との災害時における相互の協定の締結について
第1回 愛知県沿岸部における津波・高潮対策検討会
第2回 愛知県沿岸部における津波・高潮対策検討会
第3回 愛知県沿岸部における津波・高潮対策検討会
第4回 愛知県沿岸部における津波・高潮対策検討会
第2回 入居差別的な被災者支援委員会
愛知県庁業務継続計画（愛知県庁BCP）
【災害時におけるボランティアの受入体制とネットワーク化に関する報告書】

【国や都道府県の推奨対策や法律の紹介】



図 3-3-2-2 内閣府で公表した最終報告の要旨

参照ページ

府省庁
大阪府
和歌山県
愛知県



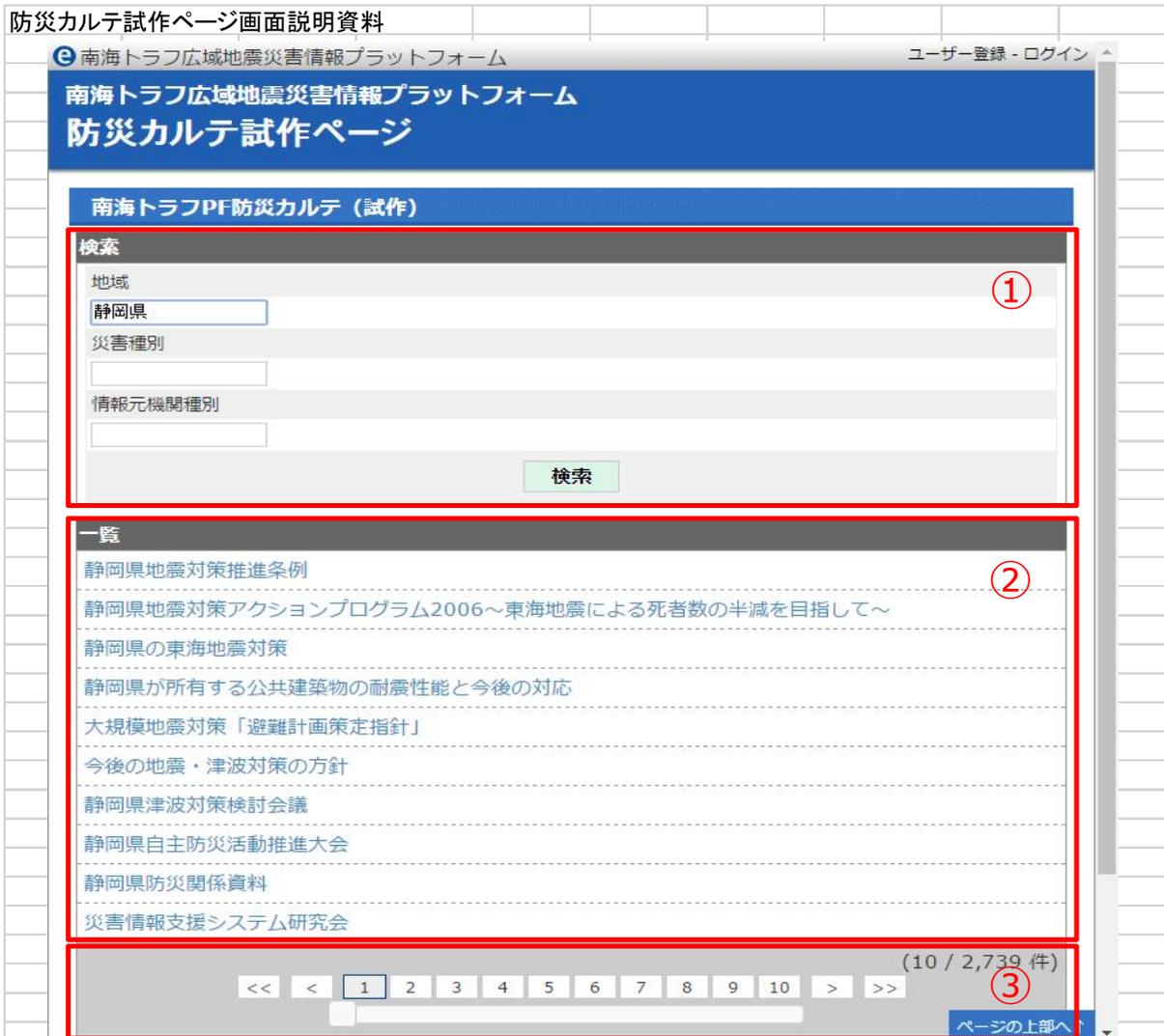
図 3-3-2-3 国土交通省中間とりまとめの概要

自分の地域について

近隣の地域について

国の指針や各地の事例

図 3-5-①-33 A4 版用紙への印刷物イメージ (案)



部分	名前	機能名	説明
①	検索	地域名入力フォーム	地域名を入力して検索可能
		災害種別名入力フォーム	災害種別名を入力して検索可能
		情報元機関種別入力フォーム	情報元機関種別を入力して検索可能
		検索ボタン	クリックすると検索を実行
②	一覧	コンテンツタイトル表示	検索結果のコンテンツ一覧を10件ずつ表示
		コンテンツリンク表示	各コンテンツのリンク
		コンテンツタグ表示	各コンテンツに付加されたタグを表示
③	フッタ	件数表示	検索結果の件数と表示件数を表示
		ページ送り	クリックするとページ送りを実行

図 3 - 5 - ① - 34 防災カルテ試作版 Ver.1 (2016 年 2 月)

(d) 結論ならびに今後の課題

今年度は、各種 DB および災害情報プラットフォームの実装を開始した。メタデータの仕様を検討し、情報の収集・整備に反映した。災害情報プラットフォーム自体の利活用検証も各地で試みた。

その結果、地域研究会やモデル地区でのユーザによる検証により改修希望の意見を入手し、ユーザにとって操作しやすい表示や機能への改良を実施した。

表示や機能については、以下の2つの課題があげられたため、災害情報プラットフォームに下記の①から③の改良を実施した。

- ・行政の防災担当者でも多量の専門データから自分が必要な情報を探し出すのは困難
- ・短い周期で配置換えされる行政・福祉職員は、地域の災害特性や必要な情報内容の把握・選別が困難

- ①行政・福祉職員が必要となる情報にたどり着きやすいよう業務分析を行い、ユーザ側視点で専門情報の分類を行い、その結果に基づく大型ボタンをトップページに配置した。
- ②自らが置かれている状況（リスク）を相対的に把握し、取り組むべき課題が示唆されるような要約的状況把握ページ「防災カルテ」を試作した。
- ③上記①②をシステムにて実現するために必要となるメタデータ項目を検討・設定した。

図3-5-①-35が今年度のプロジェクト内連携と、災害情報プラットフォーム構築・改良、情報収集、利用検証の関係図となる。右下の青色破線で囲われた部分が災害情報プラットフォームの本体である。



図3-5-①-35 平成27年度災害情報プラットフォームの構築作業全体イメージ

次年度は、プロジェクト内の研究課題とさらなる連携を行い、情報導入を行うと同時に、意見収集と利活用検証を1-c地域研究会と協力し各地で実施することにより、よりユーザの意見・要望を取り入れた災害情報プラットフォーム Ver.1 の構築を実施する。

データベースの充実化と防災カルテのような Push 型情報入手機能の充実、操作手法の改良、表示画面の最適化などをさらに推し進めて、試験的な運用である一般公開を行う。

(e) 引用文献

- 1) 田口仁・李泰榮・臼田裕一郎・長坂俊成（2015），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，日本地震工学会論文集, Vol. 15, No. 1, pp. 101-115.
- 2) 防災科学技術研究所（2009），「地域協働・防災活動支援ソフトウェア（e コミウェア）」をGPL公開・無償ダウンロード提供（参照年月日：2013.12.25），
http://www.bosai.go.jp/news/press_release/20091218_01.pdf.
- 3) 山田博幸・古戸孝・浦山利博・角本繁（2004），自治体の地震防災に貢献する防災情報システムの構築に関する研究，地域安全学会論文集, No. 6, pp. 67-74.

②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

南海トラフ巨大地震に関わる防災・災害関連データの収集・DB化を継続して実施する。利活用システム整備をSIPとも連携して継続的に実施するとともに、防災に関わる人材育成・教育のための手法等に関する調査を継続する。具体的には、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やアプリケーションの試作を行う。

2) 防災に関わる人材育成・教育のための調査

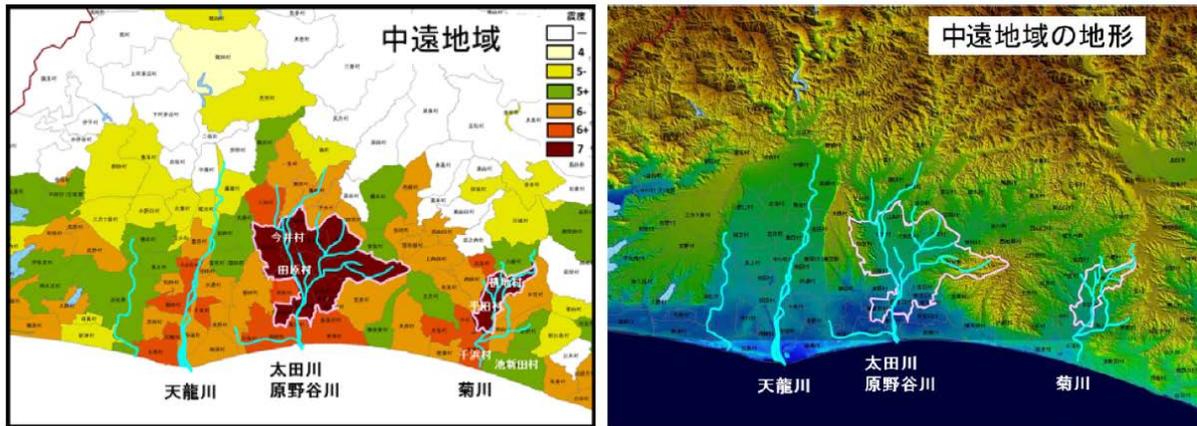
防災教育・啓発に関する「ヒト・コト・モノ・バ」の観点からの整理を行うとともに、その結果に基づいて、対象者毎の現状調査や教材開発を実施する。

(c) 業務の成果

1) 歴史地震に関する調査、情報収集

本研究では、まず昨年度から実施している飯田没事による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を高くするとともに、これを基にした推定震度分布の作成を継続して実施した。さらに、推定震度分布と地形を比較することにより、同一平野内においても地盤条件の違いが微妙に震度に表れていることを明らかにした(図3-5-②-1)。

さらに、1944年東南海地震と非常に関係が深い1945年三河地震についても同様の検討を実施した(中井・武村, 2015)。ここでは、飯田(1985)のデータにおける三河地震の被害として一般的に用いられている数値や1945年1月14日の愛知県警備課による統一的なデータを用いながら各市町村のデータを算出し、震度分布図をGISを用いて作成した(図3-5-②-2)。その結果、沖積低地である岡崎平野や矢作川流域では、被害が大きく、幡豆山地などの丘陵地に属する地域は、被害が小さいことが明らかとなった。また、地盤の違いと震度や被害の関係は、1944年東南海地震に類似していることも分かった(図3-5-②-3)。一方、断層ごく近傍では、全潰家屋数の割合に対し、死者数が特に多い傾向も認められ、断層近傍特有の被害にも注視する必要があるものと考えられる。



(a) 中遠地域の震度分布 (b) 震度7の地域の地形的特徴

図3-5-②-1 1944年東南海地震における中遠地域の推定震度分布と地理的特性

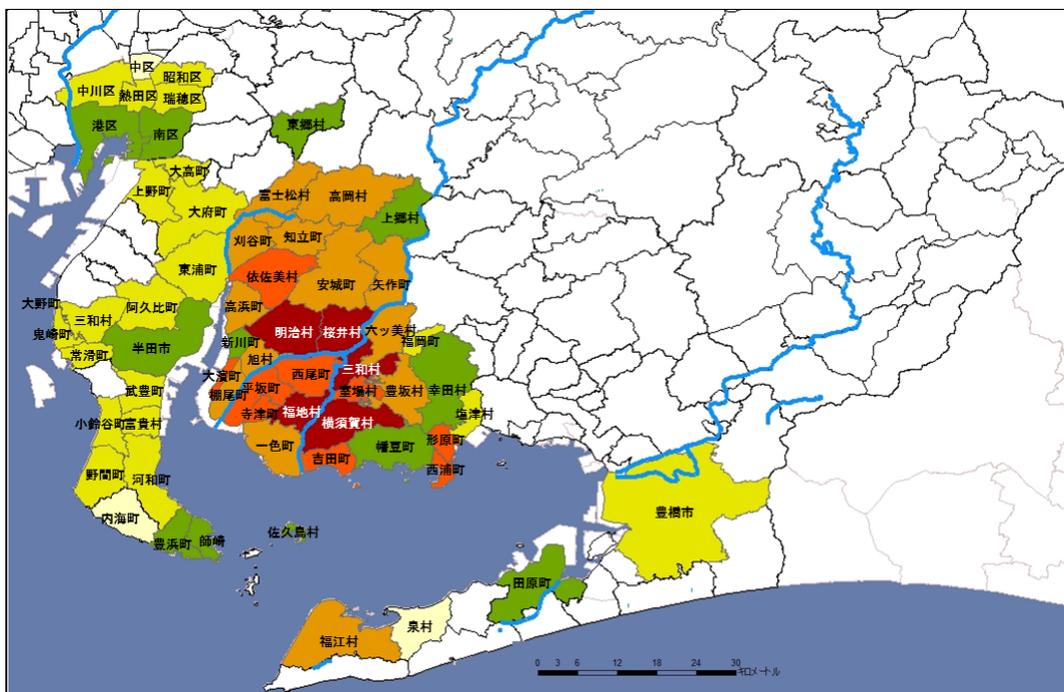


図3-5-②-2 統合飯田データUIと統合警備課データUK(右上)の震度分布図

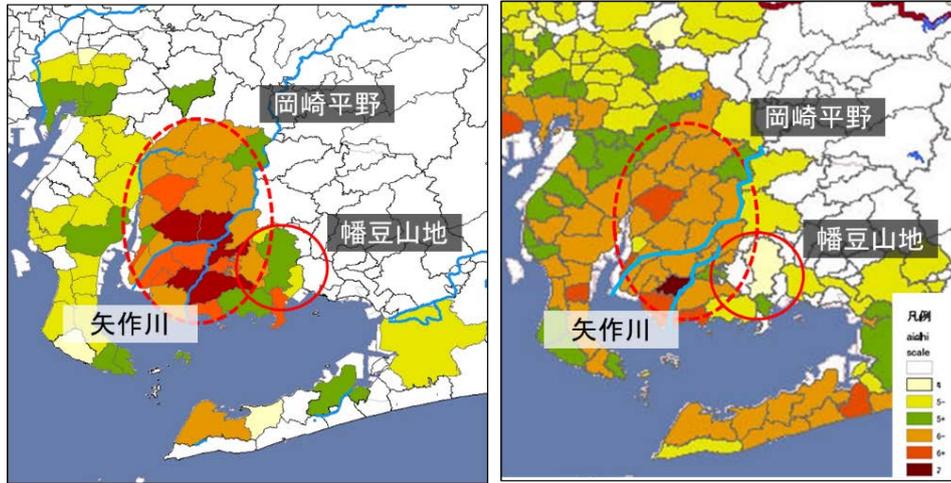


図3-5-②-3 三河地震(左)と武村・虎谷(2015)による東南海地震(右)の震度分布における比較

2) 地域版災害教訓アーカイブ(プロトタイプ)システム構築

ここでは、これまで開発を行ってきた地域版災害教訓アーカイブシステムにデータとして追加することを念頭に、自治体の保有する歴史地震に関する被害写真(図3-5-②-4)等の資料収集や首都圏・大阪圏等の旧版地図(図3-5-②-5)を収集し、それらをデジタル化するとともに、旧版地図については、明治時代の集落(図3-5-②-5)を抽出した。さらに、これらの一部を同システムやGISから表示可能とした。

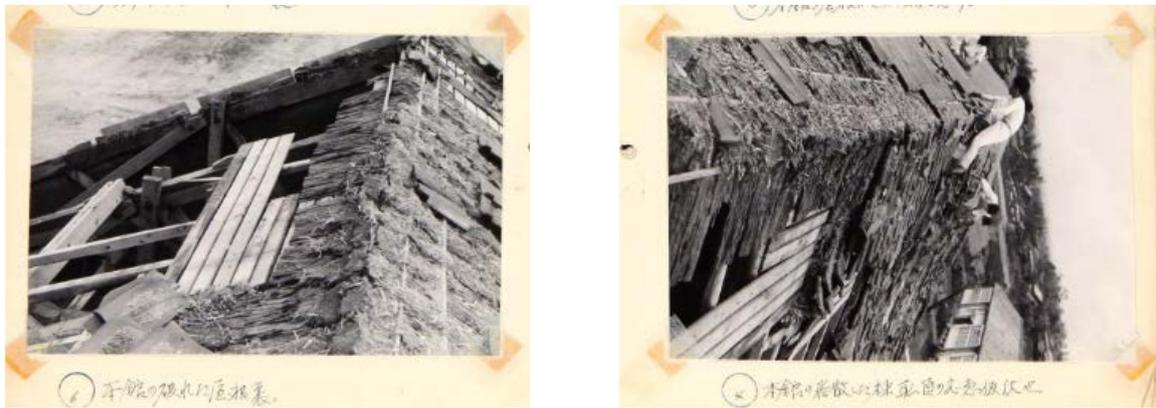


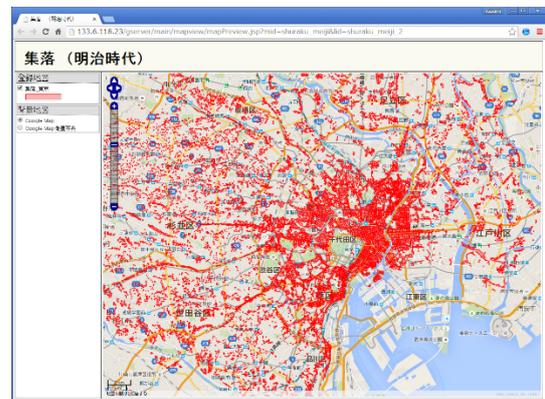
図3-5-②-4 自治体から収集した過去の自然災害に関する資料(一例)



図 3-5-②-5 災害情報アーカイブシステムへの被害写真の表示・リンク



(a)旧版地図 (東京)



(b) 明治時代の集落 (東京)

図 3-5-②-6 3都市圏の災害危険度比較のための首都圏・大阪圏の旧版地図等の収集と GIS への搭載

3) ハザード研究成果を可視化できるスマートフォンアプリ開発

本研究では、地震が起こった際、その場所・その建物で想定される揺れを 3D で再現できるアプリケーション (アプリ) を SIP と連携して開発した。このアプリは、スマートフォンで簡単に任意の場所について、「将来見舞われるかもしれない揺れ」を疑似体験することにより、揺れの大きさや危険性を実感できることを目的としている (倉田・福和, 2015)。

このアプリでは、図 3-5-②-7 に示すように、揺れを知りたい場所を自由に指定できるとともに、波形生成画面上の「建物種別」(建物の種類)と「階数」を選択することにより、木造・非木造と様々な高さの建物の揺れの違いを再現することができる。さらに、室内は 3D モデルで表現されており、リビングとオフィスの二種類を選択できるとともに、それぞれのシチュエーションに合った家具を設定できる。振動が開始されると、揺れの大きさによって部屋全体が揺れ始め、家具や食器がそれぞれ独

立して揺れる。物に衝突したり倒れたりすると衝突音や割れる音も発生され、臨場感のある表現が実現されている（図3-5-②-8）。

また、様々な災害基盤情報が表示可能であることから、GPS機能と連動した防災まち歩きにも活用可能である。さらに、まち歩きで発見した地図には記載が無い危険箇所を写真や音声で登録する機能も有しており（図3-5-②-9）、名古屋市天白区や愛知県津島市等において地区防災計画策定に向けて実施されたまち歩きで実証実験を行った。今後、課題を整理するとともに、順次改良を行う予定である。



図3-5-②-7 木造・非木造と建物高さを指定する画面



図3-5-②-8 室内家具の挙動を示す動画画面



▲ 地図上に情報表示

▲ 表示情報の変更

▲ トラッキング機能搭載

▲ 撮影・音声録音機能

図3-5-②-9 防災まち歩き等で用いることができるアプリ機能

4) 防災に関わる人材育成・教育のための手法等に関する調査

防災教育・人材育成については、初年度実施した「ヒト・コト・モノ・バ」の観点からの整理・分析結果参考に、高校生と協働した減災ワークショップ（写真3-5-②-1）や、親子で使える防災学習教材の開発を行った（図3-5-②-10）。親子で使える防災学習教材は、名古屋大学減災館で開催されたイベントで活用され、好評であった。



写真3-5-②-1 高校生と協働した減災ワークショップの様子

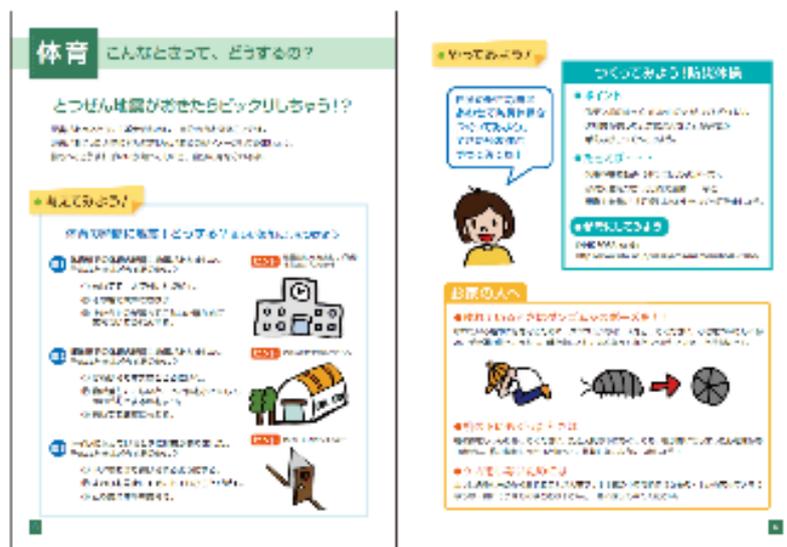


図3-5-②-10 親子で使える防災学習教材(抜粋)

(d) 結論ならびに今後の課題

防災・災害関連データの収集・整備については、昨年度に引き続き、防災・災害関連データの収集を行った。また、④利活用システム開発継続と人材育成・教育のための調査については、より教育的なシステムとして試作を開始している「地域版災害教訓アーカイブシステム」に新たなデータの追加を行った。また、SIPと連携して防災啓発や防災まち歩きに有効なスマートフォンで作動するアプリケーションを開発した。人材育

成・教育については、研究会を実施するとともに、高校生や児童を対象としたワークショップや教材開発を行った。

次年度は、防災・災害関連データの収集・整備については、必要に応じて適宜進める。また、利活用システム改良やアプリ開発は SIP とも連携して実施するとともに、防災に関わる人材育成・教育のための手法等に関する調査・社会実装実験を継続して実施していく。

(e) 引用文献

- 1) 武村雅之、虎谷健二：1944年東南海地震の広域震度分布の再評価と被害の特徴、日本地震工学会論文集、第15巻、第7号、2015年、pp.2-21
- 2) 中井春香、武村雅之：1945年1月13日三河地震の広域震度分布の再評価とその特徴、日本地震工学会論文集、第15巻、第7号、2015年、pp.220-229
- 3) 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) 倉田 和己、福和 伸夫：仮想現実ソフトウェアと震動体感環境の融合による効果的な減災啓発ツールの開発、災害情報学会、pp.92-93、2015.10

③自動震源決定システムの設計とリアルタイム伝送

(a) 業務の要約

DONETによる自動検測と震源決定を通して、いち早く地震・津波の状況と波形を情報発信することを目的とする。一方で、地震と津波の状況を発信するためには、イベントを人間の目による読み取りと同等程度に自動検知し、精緻な即時的な震源決定も必要となる。海陸の構造モデルを導入して観測点補正と組み合わせることで残差を小さくすることに成功した。さらなる震源決定精度向上を目指してテンプレート地震導入による読み取り精度向上の可能性を検討した。

(b) 業務の実施方法

新設されたDONET2を含めて、現状の長時間平均(LTA)と短時間平均(STA)で検知するパラメーターの調整を行い、あらゆるノイズへの対応状況を確認した。その検知能力を用いて、P波とS波に対して自動読み取りを行うことになる。これまでに自動読み取りの状況をマニュアルピッキングの結果との整合性を確認し、この点では既に実装している。そこで、マニュアルピッキングによるJAMSTECに蓄積されたデータを使って、海陸の構造モデルを作成し、自動読み取り手法に導入し観測点補正值と組み合わせて、最適な震源決定のためのパラメーターを調査した。P波とS波の自動検知の場合、長周期の振動ノイズなどにより、ゼロレベルの変化が発生すると自動検知の精度が落ちるため、震源決定の精度が落ちるケースがある。そのため、いくつかの地震のテンプレートを用意し、さらなる震源決定の精度向上を検討した。

(c) 業務の成果

昨年度は、P波とS波の自動読み取りのために特殊な評価関数を導入し、フィルターを設計してマニュアルピッキングに近い自動読み取り機能を開発した。今年度は、このシステムに今年度運用を開始したDONET2のデータを導入し、さらなる展開を図った。

地震検出では、フィルター波形のSTA/LTA(短時間平均と長時間平均との比)を用いて行っているが、ゼロレベルが変化すると、フィルター処理した振幅が大きくなり、イベントとして検出される場合がある。そこで、ゼロレベルの変化で地震を検出しないアルゴリズムを追加した。具体的には、トリガーされたイベントについて、差分を計算し、それが最大となるポイントと最大値を求める。次に、最大値となる時刻から1秒間の差分波形について、その絶対値が、求められた最大値の1/5以上の振幅となる割合を計算し、その割合が15%以下であれば、ゼロレベルのシフトによるトリガーであると判定し、地震検出に利用しないようにした。

自動震源決定システムでは、P波、S波到着時刻を読み取り、そのデータを用いて震源決定を行っている。自動読み取りのデータには、他の地域で発生した地震のP波、S波の読み取りや、ノイズによる読み取りデータが混入することが頻繁に発生することから、読み取りデータを用いて震源決定を行い、走時残差が大きい読み取りデータを削除し、最終的な震源決定を行っている。本自動震源決定では、海底地震計と陸上に設置されたデータを用いていることから、速度構造の不均質性により、読み取りが

正しくても数秒の走時残差が発生する場合がある。そこで、P波とS波の読み取り手法の改良として、地球内部構造の不均質性が原因で、正しい読み取りが削除されないための改良も行った。具体的には、オペレータにより読み取られた到着時刻データを用いて、海と陸との構造モデルで震源決定を行い、観測点補正値を求め、観測点補正値を用いて走時残差を計算するようにした。三次元速度構造の研究から、プレート境界面より陸側と海側の間には、大きな速度構造の違いがあることが知られている。そこで、図3-5-③-1に示すように、深さ35km~40kmの震源分布を用いて、プレート境界面の深さ分布を求めた。海溝軸から沈み込むプレートの傾斜角は、海溝からの距離に従い大きくなる傾向があることを考慮し、深さ20kmのプレートの等深線を仮定した。そして、陸側では、鶴川・他(1984)による速度構造モデル、後述する海側の速度構造モデルを導入し、波線が水平方向には曲がらないとする2次元波線追跡を用いて、走時を計算するようにした。

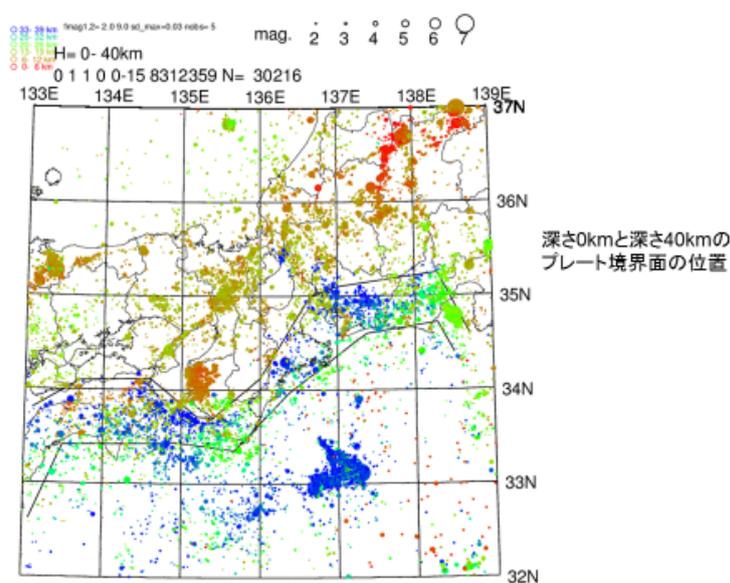


図3-5-③-1 速度構造の計算で仮定したプレートモデル。仮定したプレートモデルの、深さ20kmと40kmの等深線が実線で示されている。

ここで用いている走時計算法は、二次元波線追跡法を用いているため、波線がプレート境界に平行に近い領域を伝播する場合には、三次元波線追跡を行わない影響で、波線の僅かな違いで、走時が空間的に大きく変化することが想定される。そこで、観測点の位置を0.1度間隔のグリッド毎に置いて走時を計算し、海の構造を用いる場合の走時と比較した。その結果、前年度作成したコードでは、観測点と震源を結ぶ波線が2枚以上のプレート境界面を横切る場合に、走時が不連続になることが示された。そこで、図3-5-③-2に示されているように、波線が複数の境界面を横切る場合には、観測点に近い境界面を選ぶことにより、走時の不連続を小さくできることが示された。図3-5-③-3は、P波とS波の二次元波線追跡による走時と、海の構造によるそれとの差であるが、両者の差の大きな不連続は見られない。

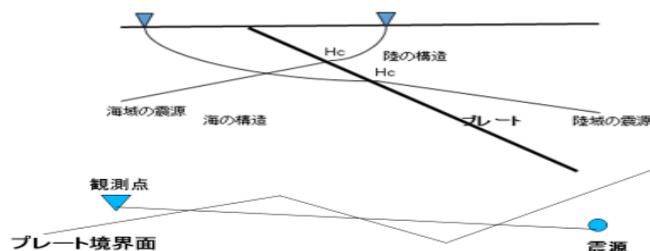


図 3-5-③-2 海と陸の構造モデルを用いた二次元波線追跡法による走時の計算法の改良。走時計算では、波線は水平方向には、曲がらないと仮定し波線とプレート境界面との交点Hcを、走時が最も小さくなるよう、グリッドサーチで求めることにより、走時を計算するようになった。波線が複数の境界面と交差する場合には、観測点に近い境界面の陸側と海側を境界として波線を計算するようになった。

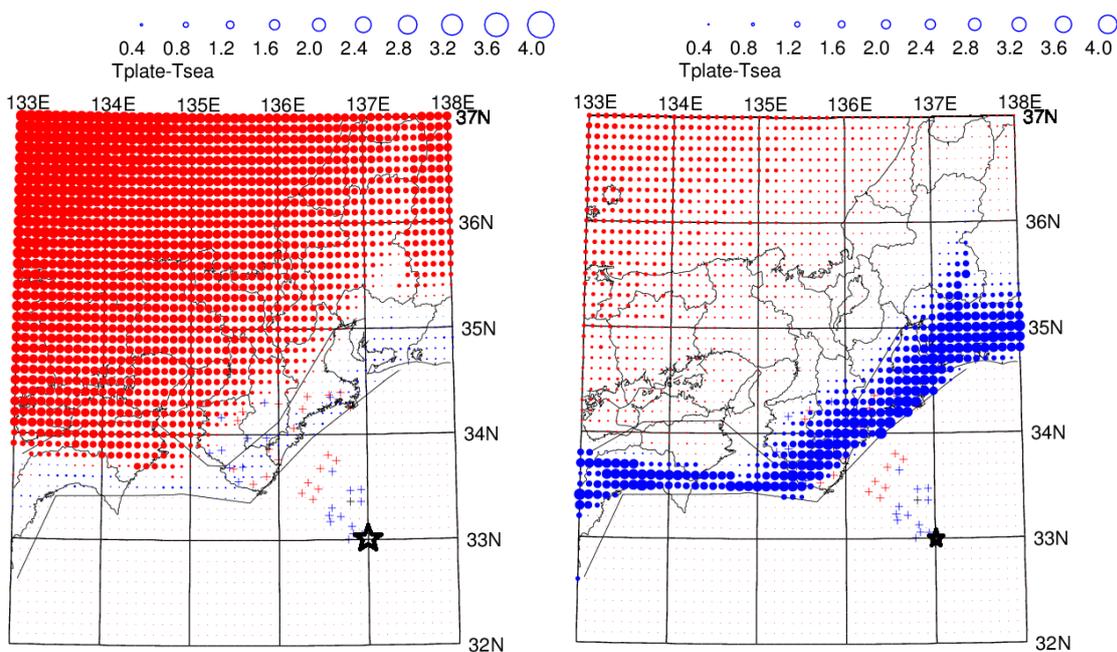


図 3-5-③-3 海の構造を用いた場合と、プレート境界を入れた二次元波線追跡でP波（左）ないしS波（右）の走時を計算した場合と、海の構造モデルで走時を計算した場合の差の分布。赤は、プレートモデルによる走時が大きい。

ここで導入した831個の地震についての、オペレータによるP波、S波到着時刻データ、それぞれ、53,777個、26,550個のデータを用いて、初期モデルで与えられた速度構造モデルで震源決定を行い、観測点毎の走時残差の平均値を求めた。次に、走時残差の平均値を観測点補正值であるとして与え、再震源決定を行った。これを20回繰り返し、観測点補正值を用いる前の走時残差のP波、S波、（P波+S波）の標準偏差は0.6222、1.1095、0.9044秒であった。20回のイタレーションにより求

められた観測点補正值を用いる場合のそれは、それぞれ、0.7018、0.8421、0.7766秒であった。この結果は、与えた初期速度構造モデルでは海と陸の速度構造の違いを説明できないことを示している。そこで、グリッドサーチで海と陸の速度構造モデルを変え、海域に位置する観測点と、陸域に位置する観測点のP波とS波の観測点補正值の平均が0に近くなる構造モデルを求めた。グリッドサーチでは、速度構造の各層の速度を変え、観測点補正值を求める。次に、求められた観測点補正值の平均を求め、それが最も0に近い構造モデルを採用するようにした。グリッドサーチで求められた海と陸の速度構造モデルは、深さ0km、5km、7km、9km、12km、17kmの上面でP波速度とS波速度それぞれ、4.80km/sと1.75km/s、5.00km/sと2.60km/s、5.40km/sと2.85km/s、6.30km/sと3.29km/s、7.30km/sと4.20km/s、8.00km/sと4.50km/sになった。陸の構造モデルは第1層のP波とS波の速度が5.6km/sと3.25km/s、第2層のそれは、7.8km/sと4.41km/sになった。初期速度構造モデルで、観測点補正值を求めた場合の走時残差の標準偏差は0.702秒であったが、速度構造をグリッドサーチで求めた場合のそれは0.575秒であり、海と陸の観測点の、P波、S波の平均的観測点補正值はほぼ0になった。次に、グリッドサーチで求められた速度構造モデルが適切であるか判断するために、震源と観測点補正值を求めた場合の特定の領域を通過する波線についての走時残差の平均値を求めた。図3-5-③-4は、海と陸の速度構造のみを用いて震源決定した場合について調べたものである。緯度、経度について、0.1度毎のメッシュに区切り、そのメッシュを伝播する波線を調べ波線の走時残差の平均値を求めた。赤で示した領域は、このメッシュを伝播するP波が遅れることを、青で示した領域は、P波が速く到着していることを示している。図3-5-③-5は、前述同様に海と陸の速度構造を用いて走時残差を計算したものである。プレートを入れた速度構造モデルを採用する場合には、特定の領域を伝播する場合に、走時が著しくずれるという傾向は、大幅に少なくなっている。図3-5-③-6は、P波とS波の観測点補正值の分布である。陸域での観測点補正值は小さくなっているが、海底地震計の観測点では地域性がある。図3-5-③-7は、プレートを入れた二次元波線追跡で走時を計算し、震源と観測点補正值を求めた場合の、P波とS波の観測点補正值の大きさを示す。

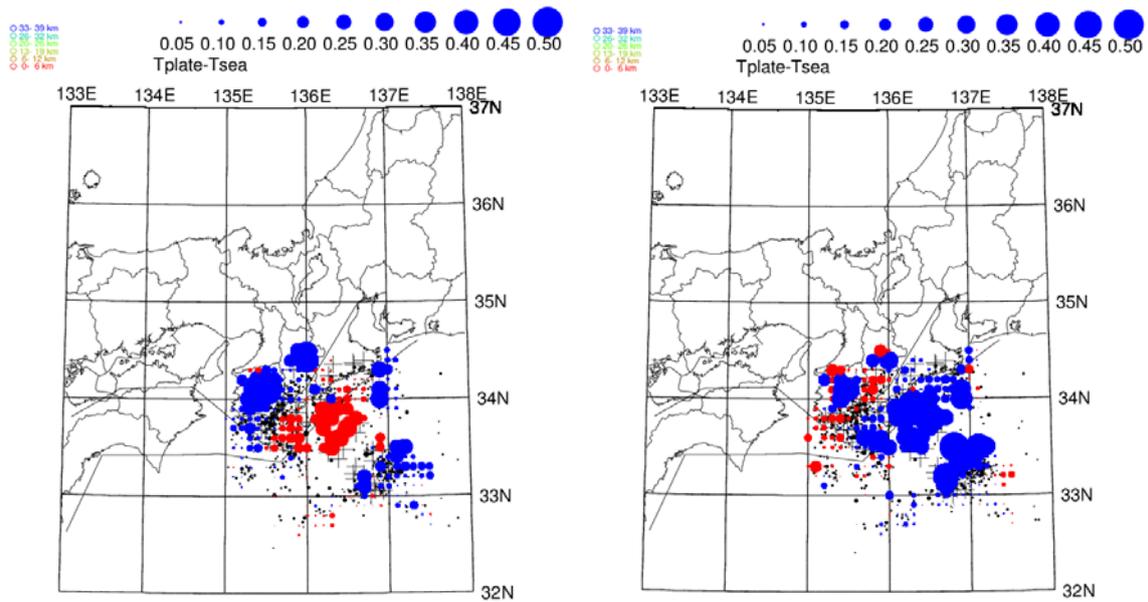


図 3-5-③-4 海の水速度構造を用いた場合のP波（左）とS波（右）の走時が遅れる波線（赤）と早く到着する波線（青）の平均的走時差の分布。0.1度毎のグリッドを通過する波線の走時残差の平均を表示。丸の大きさは走時の平均的ずれを示す。

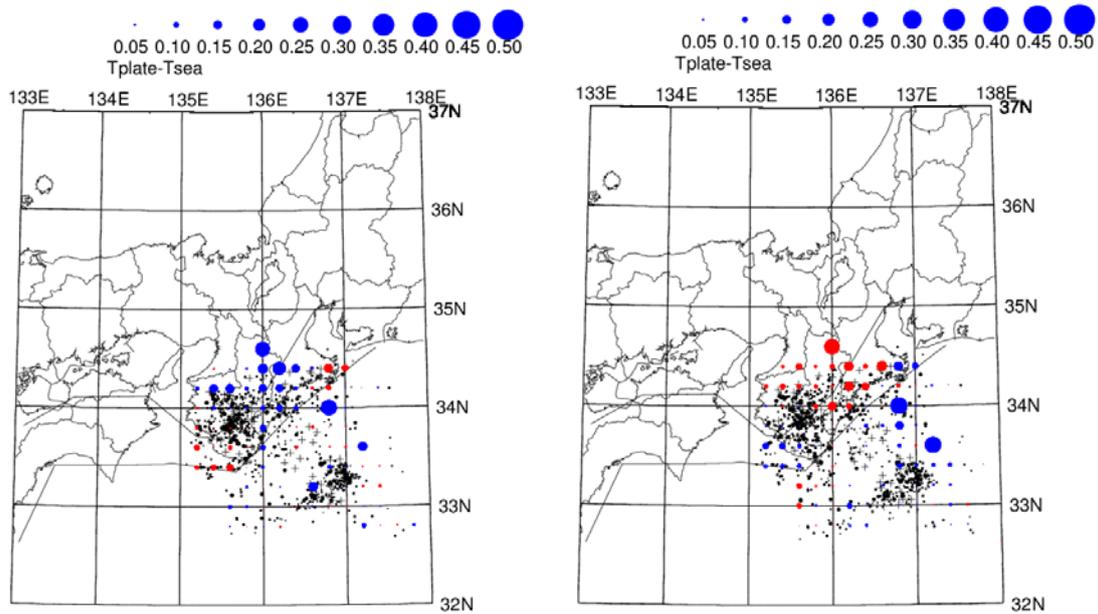


図 3-5-③-5 プレートを入れた二次元波線追跡を用いて走時を計算した場合の、P波（左）とS波（右）の走時が遅れる波線（赤）と早く到着する波線（青）の平均的走時差の分布。0.1度毎のグリッドを通過する波線の走時残差の平均を表示。

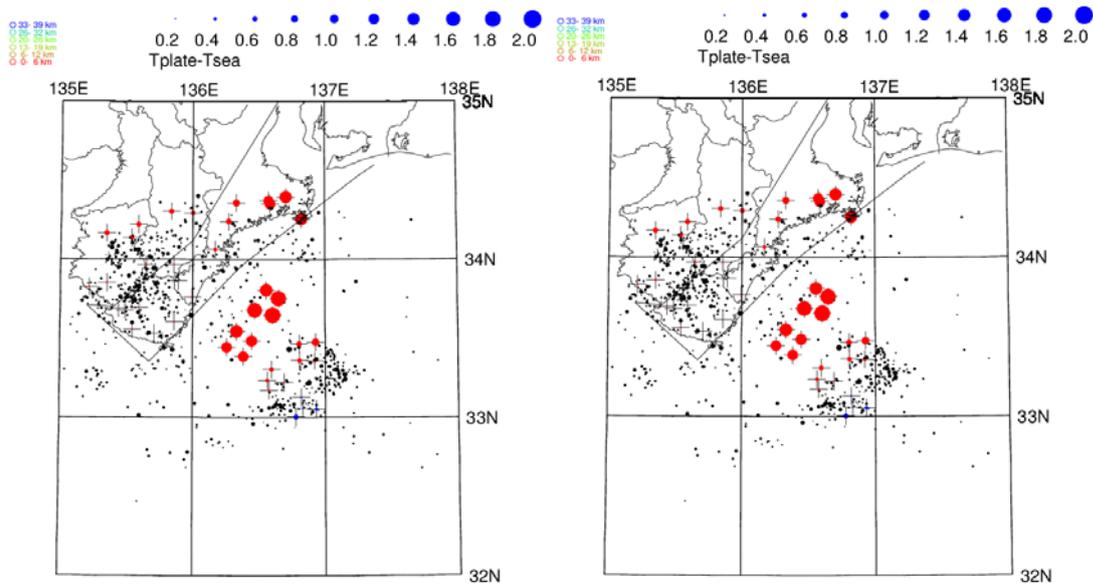


図 3-5-③-6 海の構造を用いて走時を計算し、震源と観測点補正値を求めた場合の、P波（左）とS波（右）の観測点補正値の大きさ。赤：プラス（遅く到着）、青：マイナス（早く到着）。

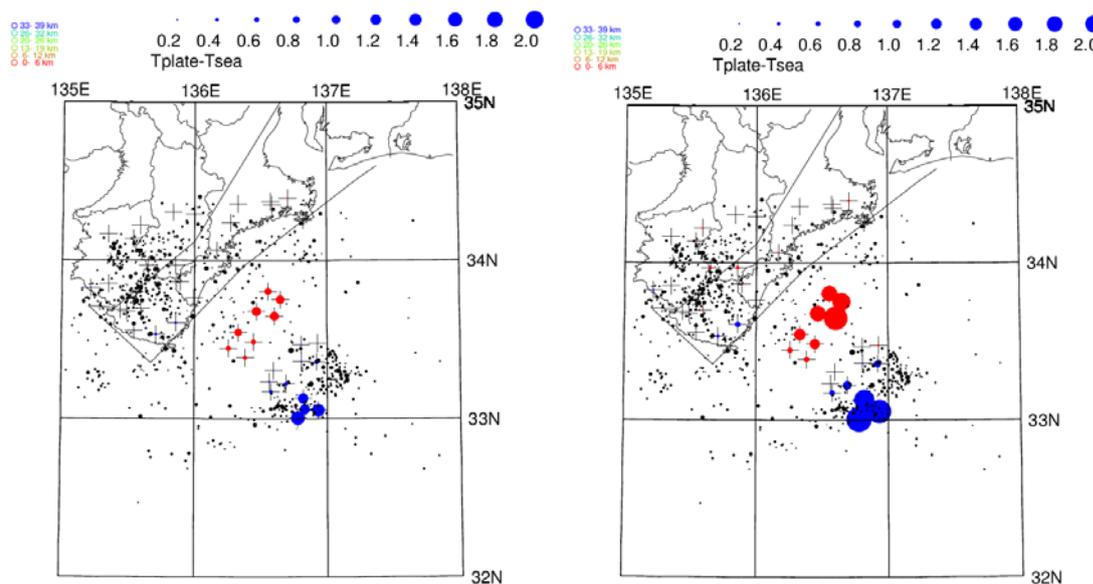


図 3-5-③-7 プレートを入れた二次元波線追跡で走時を計算し、震源と観測点補正値を求めた場合の、P波（左）とS波（右）の観測点補正値の大きさ。赤：プラス（遅く到着）、青：マイナス（早く到着）。

前述のように、ゼロレベルのオフセットのような事象があるため、多数のプレート地震を登録しておき、登録した地震との相関を計算することにより、到着時刻を読み取る方法を検討した（マッチッドフィルター法、Gibboms and Ringdal, 2006; Shelly et al., 2007）。自動震源決定では、膨大な数のイベントについて、相関を計算することは難しいことから、観測点あたりの最大登録数は、100点までとし、相関を計算するためのプレート波形は、P波到着2秒前から、到着後5秒間の、計7秒間とした。しかし、マッチッドフィルター法を用いた

読み取りでは、波形が明瞭でも、相関が低いと読み取れないという問題があり、現実に到着時刻が読み取れていない場合が少なくなかった。このため、評価関数を用いた自動読み取りと相関の両方を用いて到着時刻を読み取るようにした。自動読み取りの、読み取り基準の閾値を下げ、多数の位相の初動を読み取り、その位相とテンプレートとして登録された地震との相関が高い場合には、初動として採用するようになった。また、マッチドフィルター法による読み取りでは、振幅の大きい位相が一致するように、到着時刻の読み取りを行う。ここでは、S波到着時刻のみを、相関と自動読み取りを併用して読み取るようにした。相関による読み取りでは、次式のように相関係数と、相関係数から求められる到着時刻と、自動読み取りによる時刻との差の絶対値との差、 $C(j)$ を用いるようにし、 $C(j)$ の最大値が0.4以上となる場合に、到着時刻を選ぶようにした。

$$C(j) = \text{cor}(j) - \text{abs}(\text{Scor} - \text{Sauto})$$

ここに、 $\text{cor}(j)$ は、テンプレート地震と読み取りを行う波形データとを j 個ずらして相関を計算した場合の相関係数、 Scor は j に対応する S 波到着時刻、 Sauto は自動読み取りによる S 波到着時刻である。図 3-5-③-8 は、DONET 観測網の近傍で発生した 2 個の地震の自動読み取りとマッチドフィルター法を併用した場合の処理結果である。両者を併用した場合の S 波読み取り数は、32 であるが、併用しない場合には 9 個であった。図 3-5-③-9 は、オペレータによる読み取りデータを用いた 2012 年 3 月 1 日～14 日、6 月 1 日の震央(左)と、本業務により自動震源決定されそれとの比較である。本業務による DONET 周辺で発生した震央はオペレータによるそれに比べて、より集中しているように見え、精度良く震源が求められていることを示している。

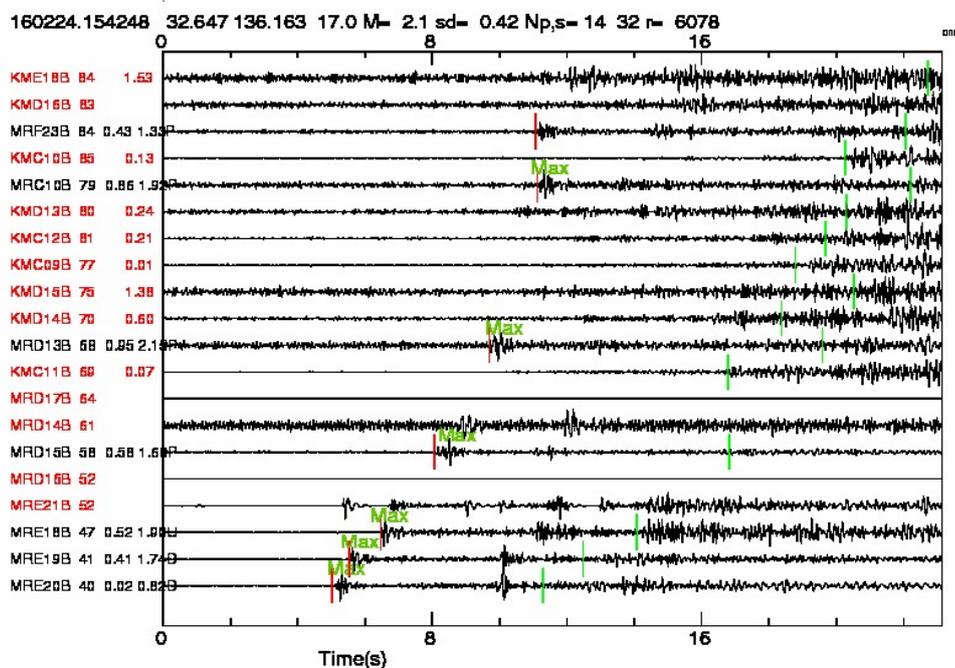


図 3-5-③-8 自動読み取りと相関を併用して読み取りを行った場合のDONET観測網周辺で発生した地震の処理結果の例。S波読み取り数が大幅に増加した。

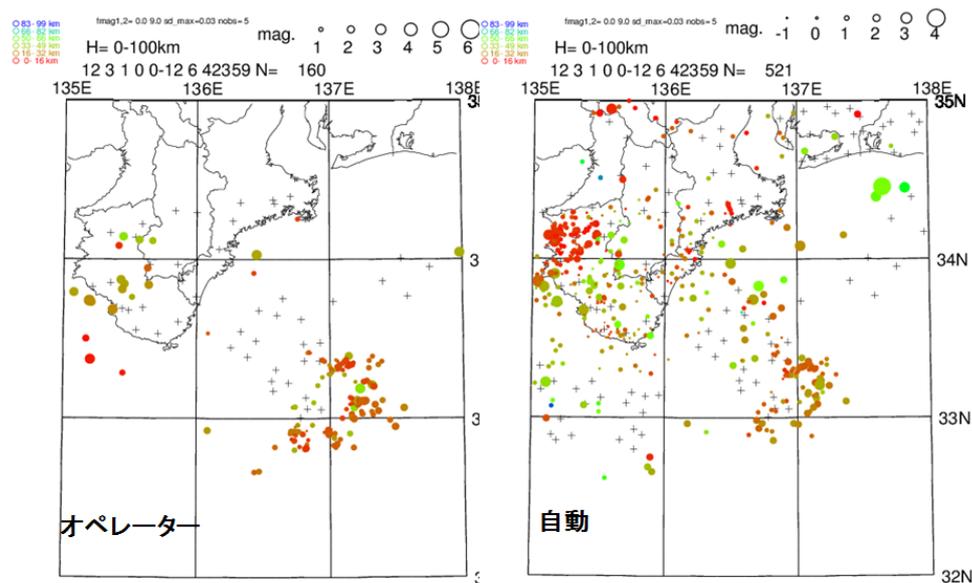


図 3-5-③-9 2012年3月の約2週間のオペレーターによる読み取りによる震央と、本研究による震央との比較。

(d) 結論ならびに今後の課題

新しく追加された観測点では、ゼロレベルのシフトが頻繁に発生し、それが、イベント検出、到着時刻の読み取りを困難にさせている。イベント検出時に、ゼロレベルのシフトをトリガー発生と見なさないようにしたが、これは到着時刻の読み取りの障害になっており、今後、自動的に且つ、自動読み取り等の解析に影響を及ぼさないように除くためのフィルターを作成する必要がある。来年度は、今年度開発した自動読み取りによる震源決定手法を実装して試験運用を目指す。

(e) 引用文献

Gibbons, S. J., and F. Ringdal, 2006, The detection of low magnitude seismic events using array-based waveform correlation: *Geophysical Journal International*, 165, 149–166.

Shelly, D. R., G. C. Beroza, S. Ide, 2007, Non-volcanic tremor and low-frequency earthquake swarms. *Nature* 446, 305, doi:10.1038/nature05666.

鵜川元雄, 石田瑞穂, 松村正三, 笠原敬司, 1984, 関東・東海地域地震観測網による震源決定方法について, 国立防災科学技術センター研究速報, 53, 1-88.

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

リスクコミュニケーションを有効に行うためには、どのような層に対して、どのような内容を、どのような経路を通して実施することが良いのかをより明確にするため、平成27年度においては、以下の調査研究を行った。第1に、これまで実施してきた知識構造ならびに地域課題をより現実的な場面で深く解明するために、2地域の地域防災リーダーを対象とした質的調査の詳細分析を行った。その中で、「仕事」を持つ「若い」

人を「巻き込む」・「呼び込む」ことが一般性を持つ課題であること、ただし、その解決には地域の文化や伝統から解決に向けた指向や働きかける対象者に違いがあることなどが見出された。第2に、安定した構造が得られていない知識構造について、より等質な群で検討を行うため、地域リーダー調査を行った南国市の自主防災会単位の稠密な量的調査を行った。第3に、地域課題の抽出に向けて、防災行政担当者への聞き取り調査を実施した。

(b) 業務の実施方法

リスクコミュニケーションを有効に行うためには、どのような層に対して、どのような内容を、どのような経路を通して実施することが良いのかをより明確にするため、平成27年度においては、以下の調査研究を行った。

(c) 業務の成果

1) 地域防災リーダーを対象とした質的調査の詳細分析

これまでの量的調査に基づく避難意図には、津波へのリスク認知や避難することが津波対応行動として有効であるという信念に加えて、避難をすべきという規範が寄与していることが明らかになっている。これらの要因の実態を把握するために、2014年度に実施した自主防災組織等地域コミュニティに関する質的調査の詳細分析を実施した。対象とした地域は、これまで避難意図構造を分析してきた高知県南国市の中から、まず沿岸部の大湊地区と浜改田地区を抽出し、この両地区の自主防災会長等から20名を抽出した。同様に静岡県焼津市では、焼津第1、小川第13、港第14、東益津第17、和田第22、港第23の6自主防災組織を抽出し、それぞれ自主防災会長、防災委員長、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から総計20名を抽出した。

調査手法は、一部の構造化された項目は通常の社会調査法の手順に従って取りまとめ、より詳細な自由記述に関しては、テキスト解析ソフトウェアであるKHcoderを用いて、概要を把握した後に個々の記述を整理・分析した(樋口, 2014)。

まず、規範についてみると、焼津市ではすべての地区の地域リーダー20人が全員(100%)「地震のときには、みんな避難する」という雰囲気があると回答しており(図3-5-④-1)、南国市でも20名中17名(85%)が「そうした雰囲気がある」(図3-5-④-2)としているが、南国市浜改田地区では、「そうした雰囲気は特にない」とした回答者が2名あった。その理由として、「若い人には、高齢者よりも「揺れたらすぐ避難」という心構えはあると思う。一方、高齢者については、昭和南海地震で浜改田地区には被害が少なかったという昔のイメージが残っているため、「揺れたらすぐ避難」という心構えを持っている人が少ない」というコメントが述べられていた。一人の意見ではあるが、「経験の逆機能」としてよく知られている、災害経験が次の災害時に誤った判断に誘導する傾向と一致したコメントであり、防災教育実施時には配慮に値する意見と考えられる。

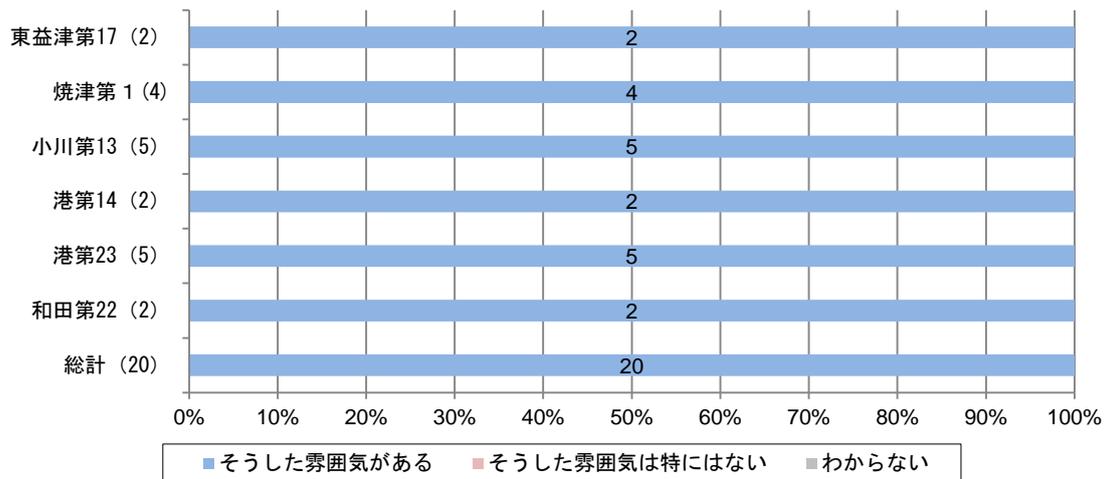


図 3 - 5 - ④ - 1 「地震のときには、みんな避難するんだ」という地域の雰囲気（焼津市）

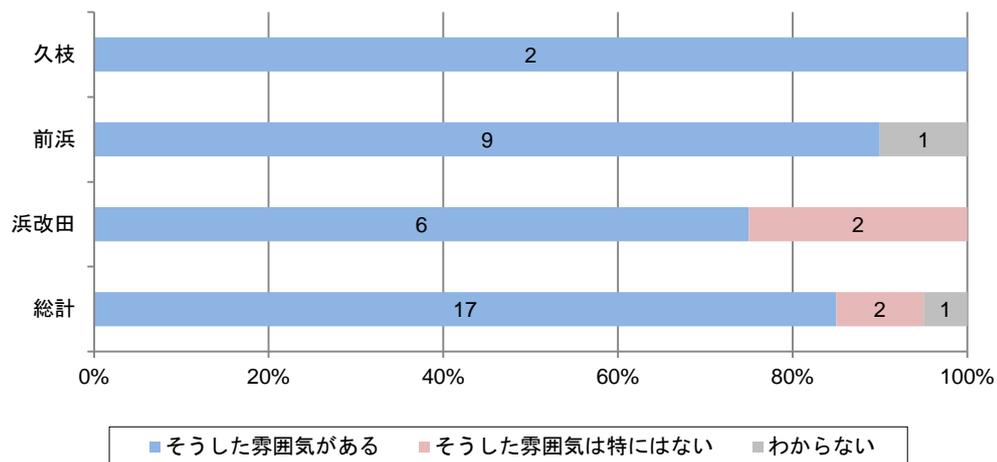


図 3 - 5 - ④ - 2 「地震のときには、みんな避難するんだ」という地域の雰囲気（南国市）

次に、地域におけるリスク認知に関連する津波のイメージについて、焼津市、南国市共に地域によってばらつきがみられる。焼津市では、多くの地域で「自宅が流されてしまう」、津波は「すぐ来る」、「とても高い津波が来る」といった津波による甚大な被害や影響があると感じている（図 3 - 5 - ④ - 3）。一方、南国市では大きな被害や影響があると感じているのは久枝が突出しており、他地域では相対的に少ない（図 3 - 5 - ④ - 4）。具体的なコメントからみても、焼津や南国の久枝では、東日本大震災の津波の映像を見て、「怖い」というイメージを持つようになったことがうかがえる。逆に、南国市前浜では、「津波は来ても、それほど大きな津波は来ないというイメージ」という指摘が目立った。

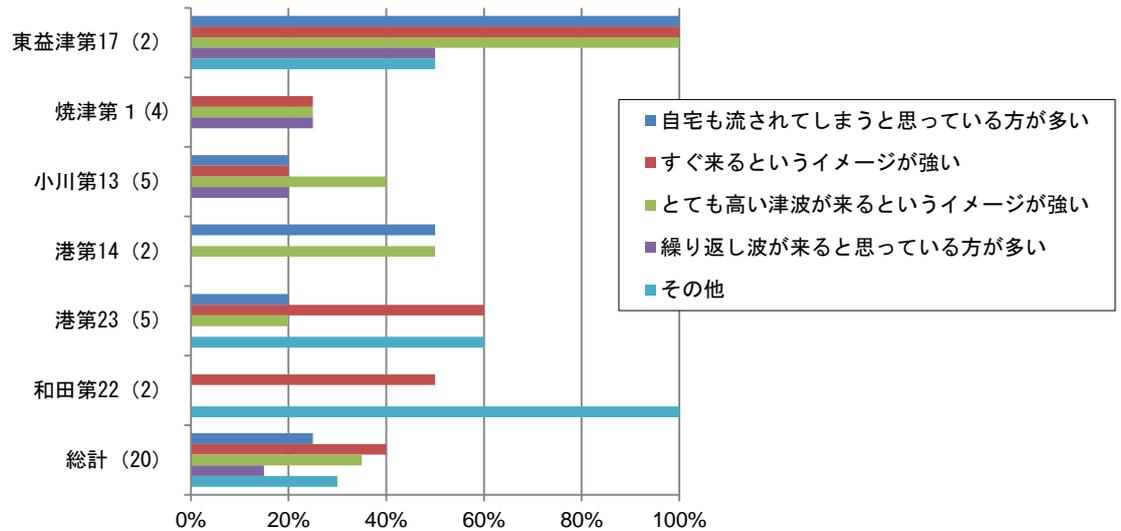


図 3-5-④-3 地域における津波のイメージ（焼津市）

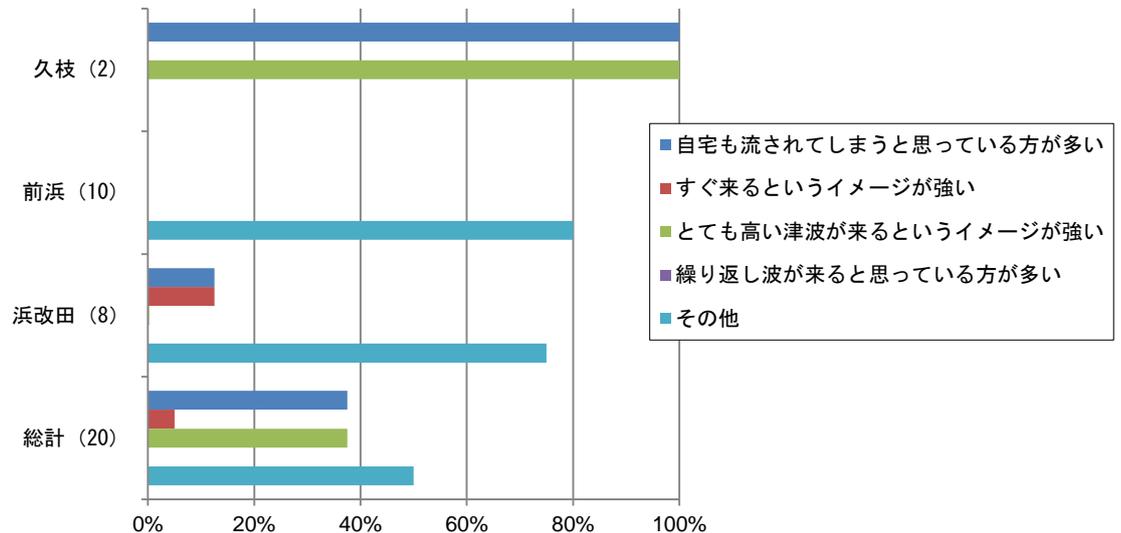


図 3-5-④-4 地域における津波のイメージ（南国市）

さらに、有効性については、いずれの地域とも津波避難タワー等の整備が進んでいることもあり、好意的な受け止め方がなされていた。

また、実行可能性やコスト関連についてみると、避難の躊躇や遅れにつながりそうなことならについて図 3-5-④-5 と図 3-5-④-6 で示したように、回答者により傾向が異なっていた。コメントを見ると、焼津市では身近に高齢者など避難に支援の必要な方がいた場合に、躊躇につながるとの指摘が目立った。一方、南国市では、久枝地区では全員が「みな避難を最優先にする」と回答しているほか、全体的に高齢者の避難を気にする人が多いのではないかという指摘がみられた。

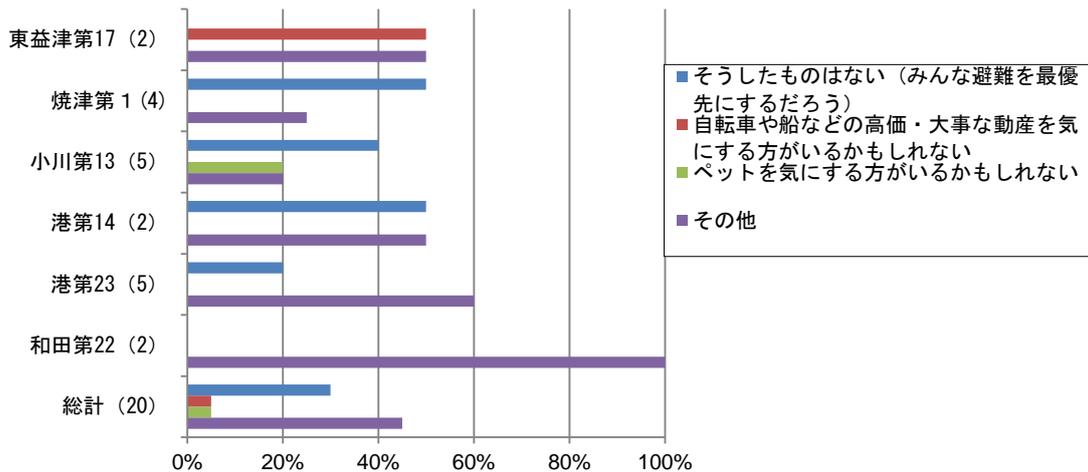


図 3-5-④-5 避難に際して、躊躇や遅れにつながりそうなことから (焼津市)

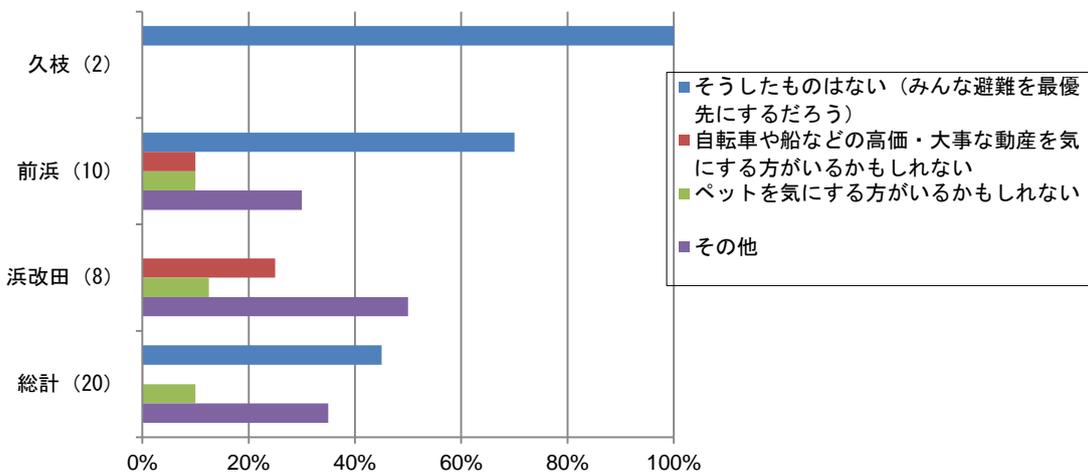


図 3-5-④-6 避難に際して、躊躇や遅れにつながりそうなことから (南国市)

2) 南国市の自主防災会単位の稠密な量的調査

避難意図モデルを含む知識構造について、これまでの量的調査では安定した構造が見出されなかったことから、尺度構成の見直しを行うとともに、より等質な群でモデルの妥当性と知識構造の検討を行うため、アンケート調査を南国市の沿岸部において実施した。2016年1月初旬に、調査票を自主防災会長経由で調査対象とし自主防災会の全世帯に配布し、郵送で回収をした。調査対象者は、各世帯の成人から無作為に1名が抽出されるように設計し、2167票の配布に対して、517票(回収率26%)の有効票を回収した。

設問項目のうち避難意図にあたる従属変数として、i) 強い揺れを感じた時、ii) 長い揺れを感じた時、iii) 大津波警報の発表を入手した時、iv) 避難勧告・指示の発令を入手した時、v) 近所の人々が避難を始めた時の避難意図を5件法での5項目を設定した。それぞれの条件ごとの避難意図を図3-5-④-7に示したが、強い揺れや長い揺れだけで「必ず避難する」とした

人は半数弱に留まった。「たぶん避難する」を含めれば揺れだけでも9割程度となっている。

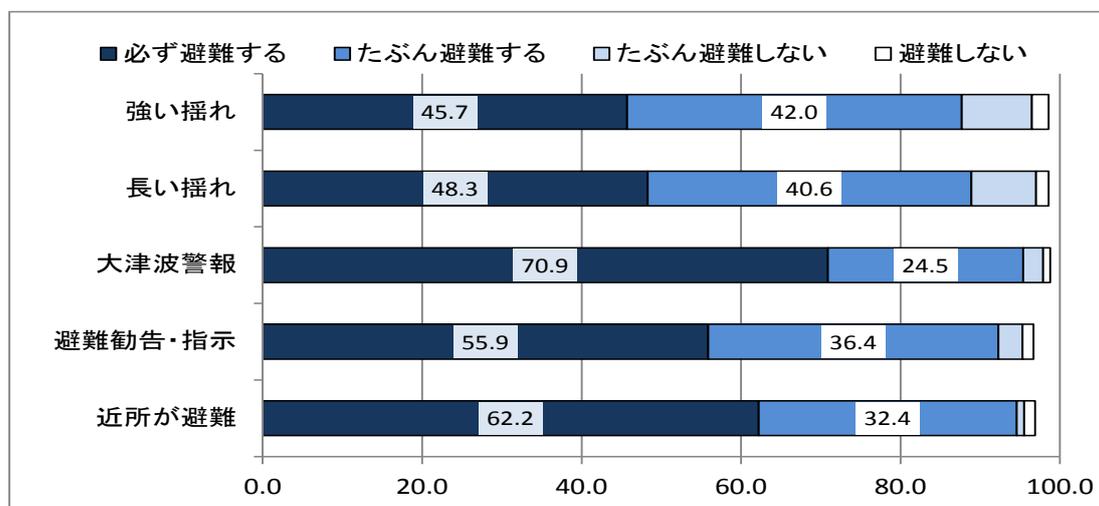


図3-5-④-7 揺れや避難勧告等条件ごとでみた避難意図

その上で、分散を確保するために4つの従属変数を合成し（「近所の人が避難を始めたときの避難意図」に関しては）、19項目の独立変数を因子分析によって少数の因子にまとめ、重回帰分析を行った。

この避難意図の分布を説明する独立変数については、これまでの分析から弁別性の悪い項目や2つ以上の因子に関連していた項目、仮説とは異なる因子が寄与していた項目について見直しを行い、19項目を設定した。個々の項目については、表3-5-④-1に示したが、設定した19項目のうちで「周りの人が避難しようとしていなくうと、自分の考えで避難することを決めると思う」は妥当性が低いことから、除外し、再度因子分析および重回帰分析を実施した。

表3-5-④-1 避難意図を説明する変数の因子構造

項目	第1因子	第2因子	第3因子	第4因子	第5因子
D 命令規範「避難を進められたら避難する」	0.7518	-0.03066	0.0289	-0.0739	-0.08838
C コスト(逆)「津波では避難を優先」	0.75094	0.10332	-0.07352	-0.08889	-0.1621
J 命令規範「危険が無くても警報で避難」	0.58953	-0.13516	0.05303	0.03573	-0.15826
B 記述規範「近所の人は私が避難した方がいいと思っている」	0.56883	0.10395	0.01433	0.2468	0.12182
G 命令規範「津波ではみんなで避難」	0.55398	-0.08704	0.08381	0.16377	-0.13339
O 実行可能性(逆)「無事に避難できる自信がない」	-0.08318	0.85794	-0.00217	0.0055	-0.11684
H 実行可能性(逆)「家から逃げても津波に巻き込まれる」	-0.05108	0.57724	0.13891	-0.01011	-0.05627
A 実行可能性「避難場所にたどりつける」	0.42825	0.55201	-0.03646	0.00256	0.2173
R 有効性「避難場所は安全」	0.02597	-0.04275	0.86862	0.00535	-0.01249
K 有効性(逆)「避難場所は十分ではない」	-0.1282	0.24513	0.5771	0.02868	-0.01421
E 有効性「避難場所まで行けば助かる」	0.25715	0.07242	0.57346	-0.03682	0.05929
N 記述規範「近所の人はすぐに避難すると思う」	0.04788	-0.04912	-0.02679	0.79234	0.04009
L 記述規範「近所の人は、地域の人はみな避難すべき、と思っている」	0.25918	-0.05389	-0.00438	0.60238	0.05039
P 記述規範(逆)「すぐに逃げる人は近所に少ない」	-0.13417	0.19404	0.03887	0.50176	-0.26458
F リスク認知(逆)「自宅にいても危険はない」	-0.23824	-0.01714	0.0608	-0.00192	0.6276
M リスク認知「自宅の建物は危険」	-0.18409	0.19454	0.1283	-0.04532	0.35162
I コスト「ほかに大切なことがある」	-0.03208	-0.12748	-0.10583	0.03745	0.31101
Q コスト「避難場所に行くのは面倒」	-0.26764	-0.22245	-0.08595	-0.0398	0.28843

因子分析の結果、表3-5-④-1に示したように、第1因子から第5位因子までの5因子に分けられた。それぞれ内容から、第1因子は「命令規範」、第2因子は「実行可能性」、第3因子は「有効性」、第4因子は「記述規範」、ならびに第5因子は「リスク認知」と解釈された。このうち第5因子は仮説上の「リスク認知」と「コスト」とが混在している結果となっている。現時点では、リスク認知が高い人、つまり危険性を高く見ている人は命と比べてコストは問題視しないが、リスク認知が低い人、つまり危険性を低く見ている人はコストが浮上すると解釈している。

つぎに、この5因子で避難意図を重回帰分析した結果を表3-5-④-2に示した。図中ハイライトを付けた命令規範、実行可能性およびリスク認知の3因子が避難意図に対して有意であるという結果であり、特に命令規範の影響力が大きい結果であった。これに対して、有効性および記述規範の2因子については有意ではなかった。一般的な社会通念として規範にあたる記述規範については有意ではなく、その場の周辺他者の規範である命令規範は有意であるという結果となっている。現在、これらの有効な因子を規定する変数、たとえば命令規範を規定すると予想される地域凝集性の認知等について分析を進めているところである。この分析を進めることで、地域への働きかけるべき点が明らかになることが期待される。

表3-5-④-2 避難意図に影響する要因の重回帰分析結果

変数	自由度	推定値	標準誤差	t 値	Pr > t	標準推定値
切片	1	0.99123	0.13825	7.17	<.0001	0
命令規範	1	0.62673	0.03546	17.67	<.0001	0.60259
記述規範	1	0.03289	0.02725	1.21	0.228	0.03829
実行可能性	1	0.08459	0.02408	3.51	0.0005	0.11149
有効性	1	-0.00432	0.0236	-0.18	0.8549	-0.00585
リスク認知	1	-0.19647	0.02967	-6.62	<.0001	-0.20452

3) 地域課題に関する行政ヒヤリング

前々項の「①地域防災リーダーを対象とした質的調査の詳細分析」で紹介した自主防災リーダーがみる地域課題を中心に、行政ヒヤリングを実施した。本報告では、このうち焼津市について、質的調査の中から自主防災会リーダーが感じている課題についての結果とその結果に対する市の防災担当者の分析とを紹介する。自主防災リーダーが見る地域課題を概観するために、図3-5-④-8に焼津市について、また比較対象とするために図3-5-④-9に南国市について、それぞれ地域課題として言及された語の関連性を示した。

図3-5-④-8に示した焼津市では、中央から左下に、「若い」、「人」、「防災」、「役員」、「長い」といった課題関連の語群がある。「組織の高齢化が進んでいる。住民に若い人が少ない」や「自主防災に加わる人が高齢化しているので活力のある若い年代の人がいない」といった発言に具体的な内容を見ることができる。南国市でも、図3-5-④-9左側の中央付近に「若い」や「人」、「忙しい」、「防災」、「不参加」といった語からなる固まりが認められる。組織の若返りは両地域に共有の課題であること

が理解される。ただ、南国市では「後継者が育たないので役員の引き継ぎが出来ない」といった後継者問題の言及が多い。2011年の東日本大震災や2012年に発表された南海トラフ巨大地震津波被害想定を受けて地域防災を推進してきた層の世代交代が地域課題としてあげられていることがあたる。

焼津市では、後継者の課題への言及よりも自主防災会長等の任期の短さやそれによる継続性についての指摘が多い。たとえば「役員を長くやってもらいたい。せっかく基盤を作っても継続できない」、「任期が2年では足りない」、「役員が長く続けられない（2年交代）。<交代は（筆者捕捉）>避けたいがなかなかそうはいかない」という具体的な発言にみられるように、任期が短くて活動の継続性を維持できない点への指摘が多い。焼津市の自主防災組織では、「防災の担当者は5～6年以上担当する」という発言に見られるように、会長以外には比較的任期の長い防災委員を設置しており、その課題解決を図っている。その一方で、防災委員長は「長く経験を積むのも大事だが、自分としては多くの人携わって、経験していくことが大切だと思っている」といった住民組織側からの声も見られる。

人材の確保に関しては、焼津市では防災委員以外に2点の特徴を読み取ることができる。そのひとつが中央上部に上げられている「消防」、「OB」、「点検」といった語群である。実際に、「消防OBの組織が活動していて、普段から毎月、機材の点検、置き場所、機材の状態、使用期限等リストを作って点検整備している」、「消防団OBも、毎日、機器の点検もやってくれていて、経験豊富で非常に力強い協力者、組織である」、「消防団OBや一般の人も組織に入ってもらい、町全体として上記のことをクリアするようにやりはじめています」など消防団との連携が有効策であることを期待させる記述となっている。

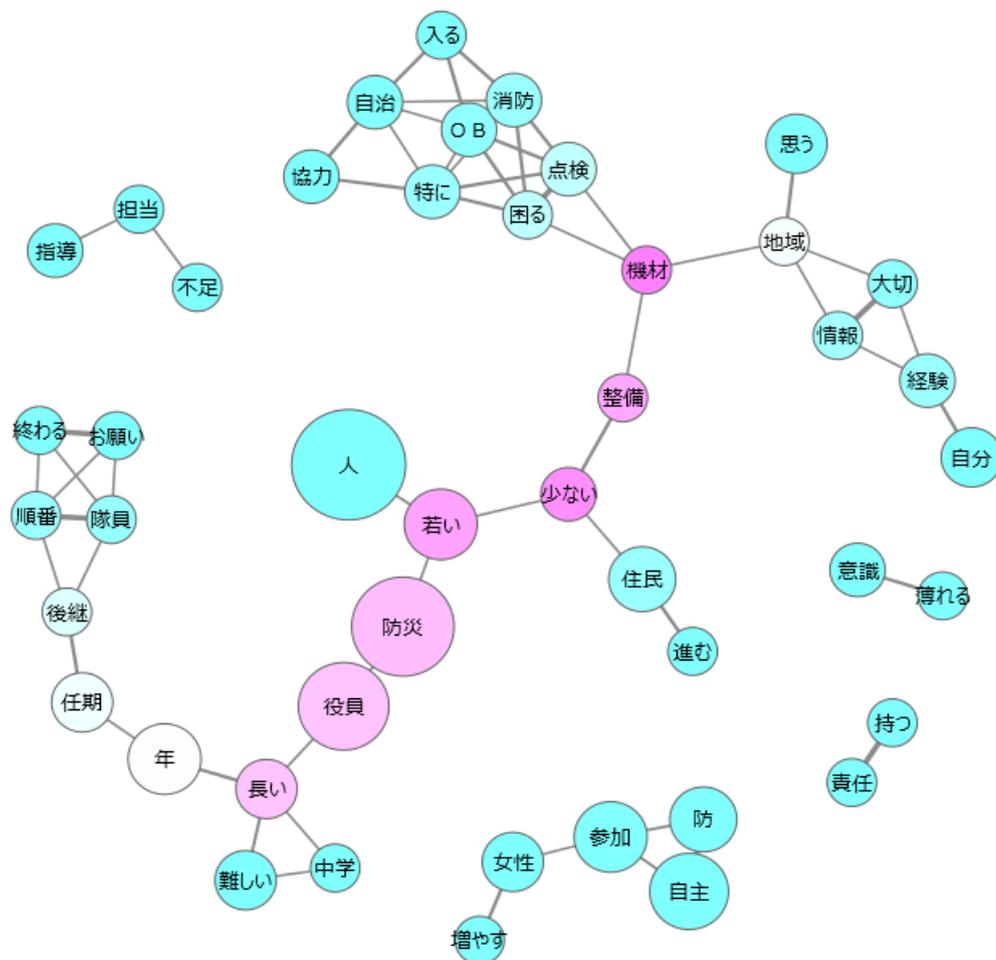


図 3 - 5 - ④ - 8 焼津市の活動の課題

南国市と比べて焼津市に特徴的なもうひとつの点は、下部に「長い」や「難しい」と結びつく形で「中学」が、また下部中央にある「女性」や「増やす」である。前者については、「中学3年生くらいから防災活動に参加させたい」や「小・中学生をどう活かすか？十分に力になってくれると思うし、能力もあると思う」という発言であり、「女性にも防災委員として参加してもらいたい」、「女性の自主防への参加を増やしたい。女性の被災者への対応が必須」など3人が言及していた。この点については、焼津市の担当者によると、中学生については今年度の訓練で参加率が大幅に増えたという実績があるし、女性についても多様な視点から防災を見ることで防災対策の改善をより目指すために、活動への参加を地域に依頼していることの反映だろうとのことだった。

若い世代の担い手をどのように育てるかは南国市においても焼津市においても懸念が表明されている。自由記述の語の関連分析をすることで、南国市では小学校と連携することで児童の親を巻き込もうとしていることが分かる。他方、焼津市では、女性

や中学生を担い手として期待していることが読み取れることになる。このように、組織の若返りや組織の活性化といった共通の課題においても、地域によって具体的な課題や解決方策が異なっている。今後も、地域を緻密に比較分析することで、地域へのコミュニケーションのあり方を規定する要因を分析していく予定である。

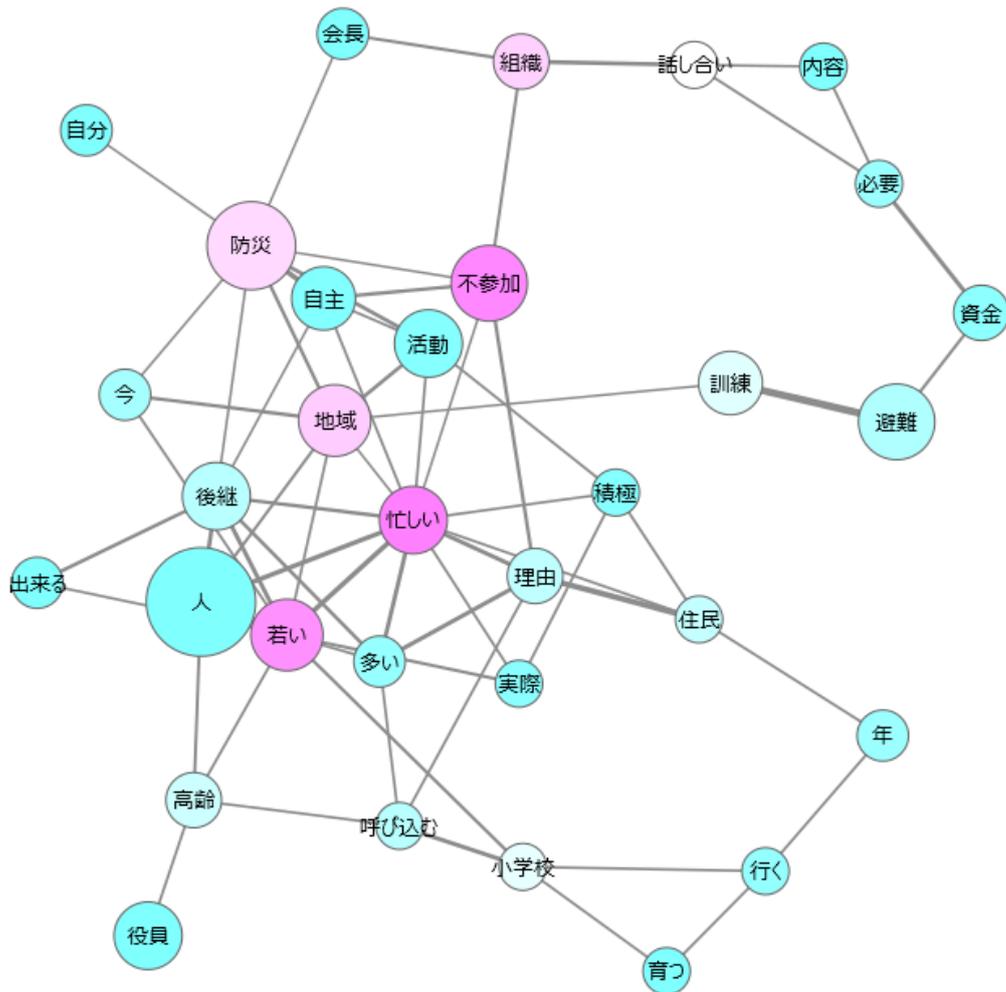


図 3 - 5 - ④ - 9 南国市の活動の課題

(d) 結論ならびに今後の課題

2 地域の地域防災リーダーを対象とした質的調査の詳細分析を行った。その中で、「仕事」を持つ「若い」人を「巻き込む」・「呼び込む」ことが一般性を持つ課題であること、ただし、その解決には地域の文化や伝統から解決に向けた指向や働きかける対象者に違いがあることなどが見出された。

避難勧告依存、設備への信頼とそれを契機に防災活動活性化、津波イメージ具体化などについての課題も見受けられた。

次年度は、災害対応、事前復旧・復興計画策定に向けて、質的調査を実施した地域のうち、津波襲来までの時間が短い静岡を対象に稠密な量的調査を行うことで、知識構造の地域差を解明するとともに、地域行政課題について地域防災の向上を中心に分析を行う。

(e) 引用文献

樋口耕一、『社会調査のための計量テキスト分析』、ナカニシヤ出版、2014

(3) 平成 28 年度業務計画案

①南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームの構築(防災科学技術研究所)

「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」のベータ版 (Ver.1) の公開を行い、試験的な運用を開始する。

②防災・災害関連データの収集・整備(名古屋大学)

南海トラフ巨大地震に関わる防災・災害関連データの収集・DB 化を継続して実施する。

③自動震源決定システムの設計(海洋研究開発機構)

DONET の P 波と S 波の自動検知と精緻な震源決定のシステムを実装して試験運用する。

④利活用システム開発開始と人材育成・教育のための調査(名古屋大学)

利活用システム開発を SIP とも連携しつつ実施するとともに、これまでの成果に基づき防災に関わる人材育成・教育のための調査を継続する。

⑤住民の防災知識構造と社会構造に関する質的調査(東京大学)

災害対応、事前復旧・復興計画策定に向けて、質的調査を実施した地域のうち、津波襲来までの時間が短い静岡を対象に稠密な量的調査を行うことで、知識構造の地域差を解明するとともに、地域行政課題について地域防災の向上を中心に分析を行う

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
国立研究開発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
国立研究開発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プレート構造を得るとともにすべり履歴の解明を図る。

南海トラフから、特に知見の不足する九州、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い、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年を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ため、不足しているデータを取得する。

平成25年度：

南海トラフ（高知沖）の前縁断層イメージと南西諸島海域南部（八重山付近）でのプレート構造イメージを得た。

平成26年度：

南海トラフの前縁断層イメージと地震発生帯の浅部・深部のプレート構造イメージを得た。

平成27年度：

南海トラフの前縁断層構造イメージと地震発生帯の浅部・深部の構造イメージ、南西諸島海域北部（奄美大島北方）のプレート構造イメージを得た。

平成28年度：

南海トラフ西部の前縁断層構造イメージと四国中部の微動発生域のプレート物性情報を得る。

平成29年度：

南海トラフ中部の前縁断層構造イメージ、南西諸島海域中部（沖縄本島南方）のプレート構造イメージを得る。

平成30年度：

南海トラフ中部の前縁断層構造イメージ、トラフ軸近傍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：

南海トラフ東部の前縁断層構造イメージ、南西諸島海域中部（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：

南海トラフ東部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27年度業務目的

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レート形状推定を行うため、平成25年度及び26年度に四国西部で取得した観測データの解析を進める。また、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。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収集し、四国東部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予備的解析を実施する。

(2) 平成27年度成果

①海域におけるプレート・断層構造調査（南西諸島海溝地震発生帯モデルの構築、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）

(a) 業務の要約

平成 27 年度は、知見の不足する九州から南西諸島海域にかけてのプレート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ことを目的として、南西諸島北部にて地殻構造探査を実施した。同時に、平成 26 年度までに実施した南西諸島南部海溝域および四国沖南海トラフより海側での大規模構造探査、四国沖南海トラフ軸近傍の高分解能反射法地震探査、南西諸島南部海溝域での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

知見の不足する九州から南西諸島海域にかけてのプレート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ことを目的として、南西諸島北部（奄美大島北側）において、海洋研究開発機構の深海調査研究船「かいれい」KR15-11 航海 Leg1, 2, 4（2015 年 7 月 22 日～8 月 22 日）にて海底地震計を用いた屈折法探査、KR15-21 航海（2015 年 12 月 27 日～2016 年 1 月 5 日）にて反射法探査を実施した。屈折法探査では海底地震計 60 台を調査海域に設置したが、天候不良のためエアガン発振によるデータ取得を行うことができなかった。反射法探査では海溝軸にほぼ直交する 2 測線（総延長 700 km）において反射法データを取得した（図 3-6-①-1）。総容量 7,800cu.in のチューンドエアガンアレーを深度 10m で曳航し 2000psi の高圧で運用する高周波な音源を制御震源として用い、受振点間隔 12.5 m、チャンネル数 444 のストリーマケーブルを深度 12 m で曳航しデータを取得した。サンプリング間隔 2 ms、記録長は 16 秒である。

反射法探査データは、探鉱器を通して 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 形式に編集された。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。

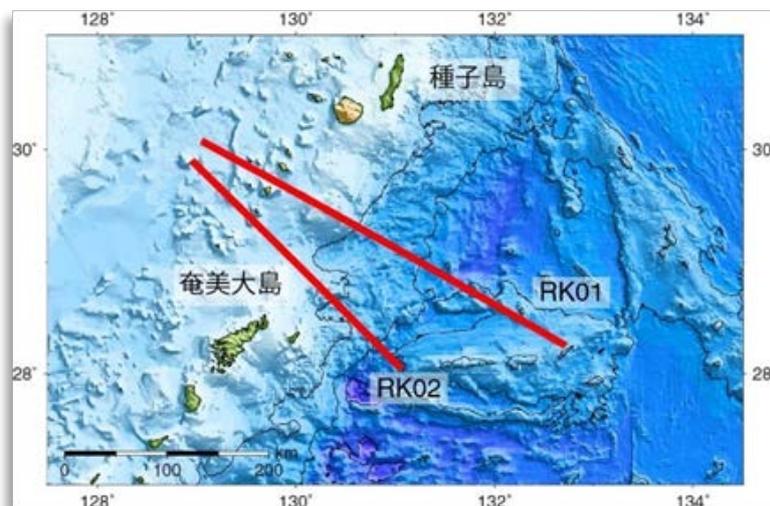


図 3-6-①-1 平成 27 年度に実施した南西諸島北部地殻構造探査の測線図

(c) 業務の成果

1) 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）

南西諸島海溝を横断する 2 測線で実施した反射法探査によって、南西諸島北部に沈み込むフィリピン海プレートの形状イメージを得た（図 3-6-①-2）。プレート境界面は明瞭な反射面としてイメージングされており、特に北側の RK01 測線においては海溝軸から西北西方向にへ約 60km まで連続的に追跡することができる。南側の RK02 測線では、時間断面上でプレート境界面が大きく屈曲しており、プレート形状が大きく変化することが示唆される。また上盤プレート内には陸側に傾斜する反射面が複数認められ、付加体を形成しているものと考えられる。この領域では 1911 年に喜界島地震 (M8) が発生していることから(後藤, 2013)、これらの構造的知見は巨大地震の発生過程を検討する上で重要な結果と考えられる。

同時に、平成 25 年度に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。南西諸島南部（石垣島周辺）での自然地震観測で検出された低周波地震の震源決定を行い、少なくともこれらの地震の一部はプレート境界で発生していることを確認した。この低周波地震の活動領域はプレート境界浅部の津波地震発生域と深部のスロースリップ発生域の間に位置しており、プレート境界全体が固着することなくゆっくりと滑ることを示唆している（図 3-6-①-3）。また南西諸島南部（石垣島東方）測線での反射法探査により、プレート境界からの分岐断層が 1771 年八重山地震津波発生域(Nakamura, 2009)に存在することを確認した（図 3-6-①-4）。また、プレート境界の複数の箇所では反射波の極性反転を観測した。この結果はプレート境界に流体が存在することを示唆する。

また、自然地震観測データを用いて、三次元地震波トモグラフィ解析を実施し、得られた震源のメカニズム解、小繰り返し地震 (Igarashi, 2010)、および速度構造を基に、三次元的なプレート境界モデルを構築した。推定されたプレート境界面形状は、大規模構造探査の結果と整合的であり、測線上では、グローバルな地震解析から推定されている slab1.0 モデル (Hayes et al., 2012) よりも 5 km 程度浅い（図 3-6-①-5）。構造探査から得られている陸側モホ面の深さと速度構造を比較すると、島弧マンタルウェッジの先端部は P 波速度が 7 km/s 以下と低速度となり、蛇紋岩化していることが示唆される。さらにプレート境界形状の空間変化に着目すると、領域東側では起伏に富んだ形状をしているのに対し、西側では比較的スムーズである（図 3-6-①-6）。このような東西方向の違いは地震現象にも表れており、プレート境界や海洋性地殻内における地震活動が西側ではほとんど見られず東側で活発である。特に、プレート間地震と思われる低角逆断層型地震とスロースリップ卓越域 (Nishimura, 2014) が明瞭に棲み分けている様子が見られ、地震発生帯の広がりを検討する上で重要な情報と考えられる。

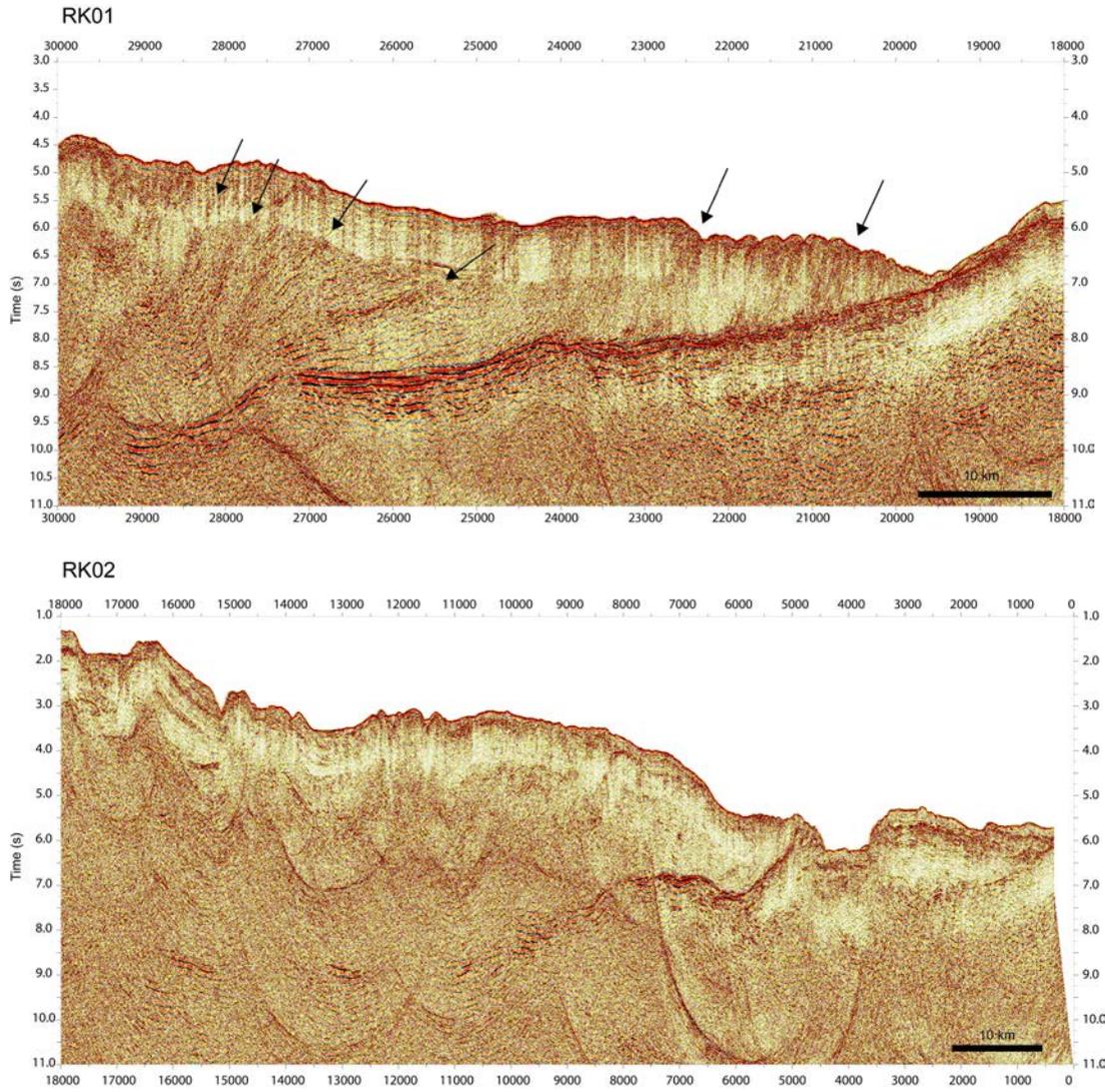


図 3-6-①-2 南西諸島北部地殻構造探査で取得された反射法探査データの例(RK01, RK02)。図中の矢印は陸側に傾斜する反射面を示す。

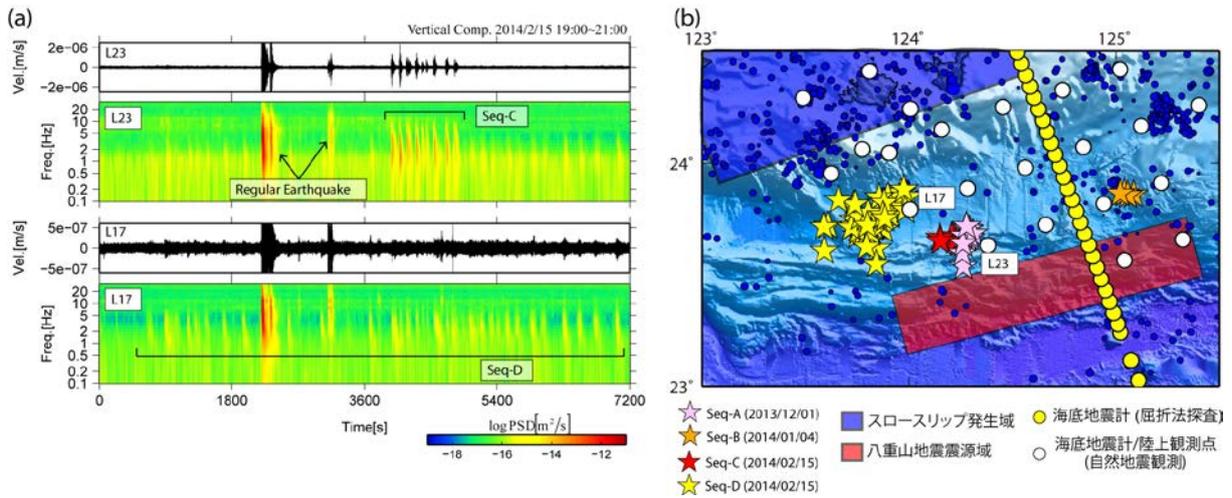


図3-6-①-3 (a)南西諸島南部(石垣島周辺)での自然地震観測で検出されたプレート境界で発生する低周波地震の地震波形記録とランニングスペクトル。(b)この低周波地震活動はプレート境界浅部の津波地震発生域(Nakamura, 2009)と深部のスロースリップ発生域(Nishimura, 2014)の間で発生しており、プレート境界全体が固着することなくゆっくりと滑ることを示唆している。

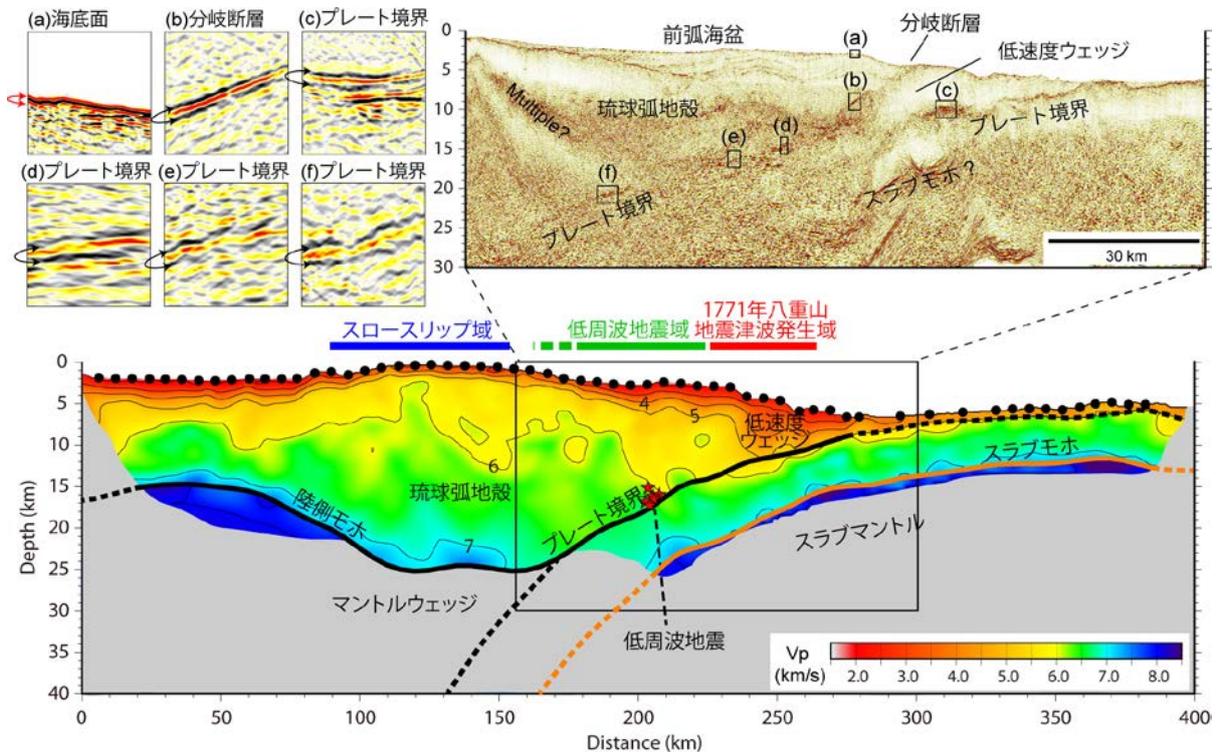


図3-6-①-4 南西諸島南部(石垣島東方)測線での地殻構造探査で明らかとなったフィリピン海プレートの沈み込み構造。(a)反射法探査により、プレート境界からの分岐断層が津波地震発生域に存在することが確認された。また、プレート境界の複数の箇所で見られる反射波の極性反転は、プレート境界に流体が存在することを示唆する。(b)低周波地震の震源はプレート境界の近傍に位置する。

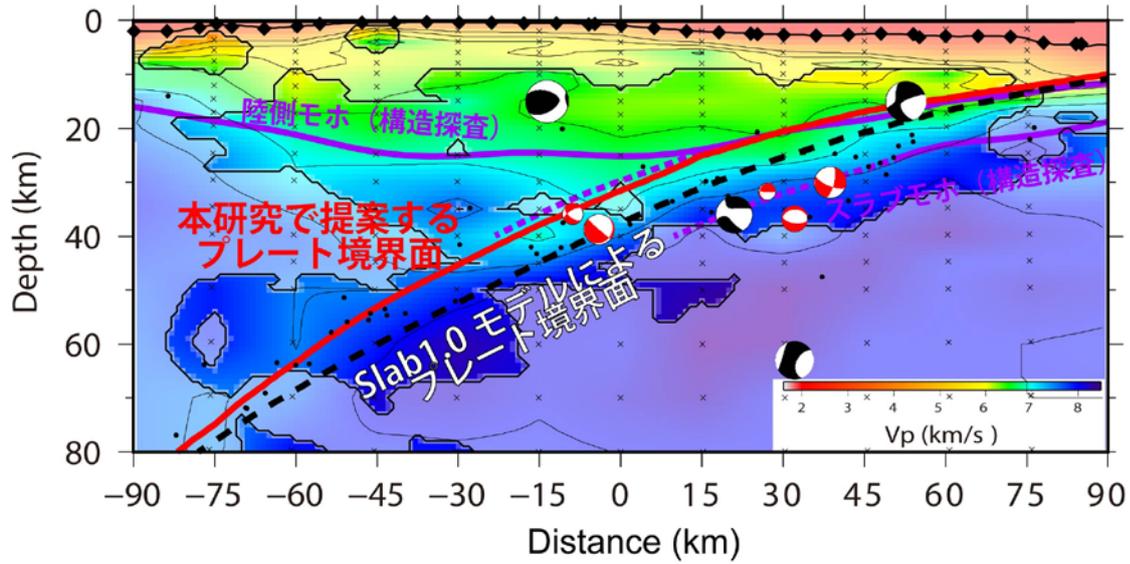


図3-6-①-5 トモグラフィから得られた、構造探査測線に沿ったP波速度構造と推定したプレート境界面形状。本研究で得られた震源メカニズム解を赤、GCMT カタログ (Dziewonski et al., 1981; Ekström et al., 2012) によるものを黒で示す。

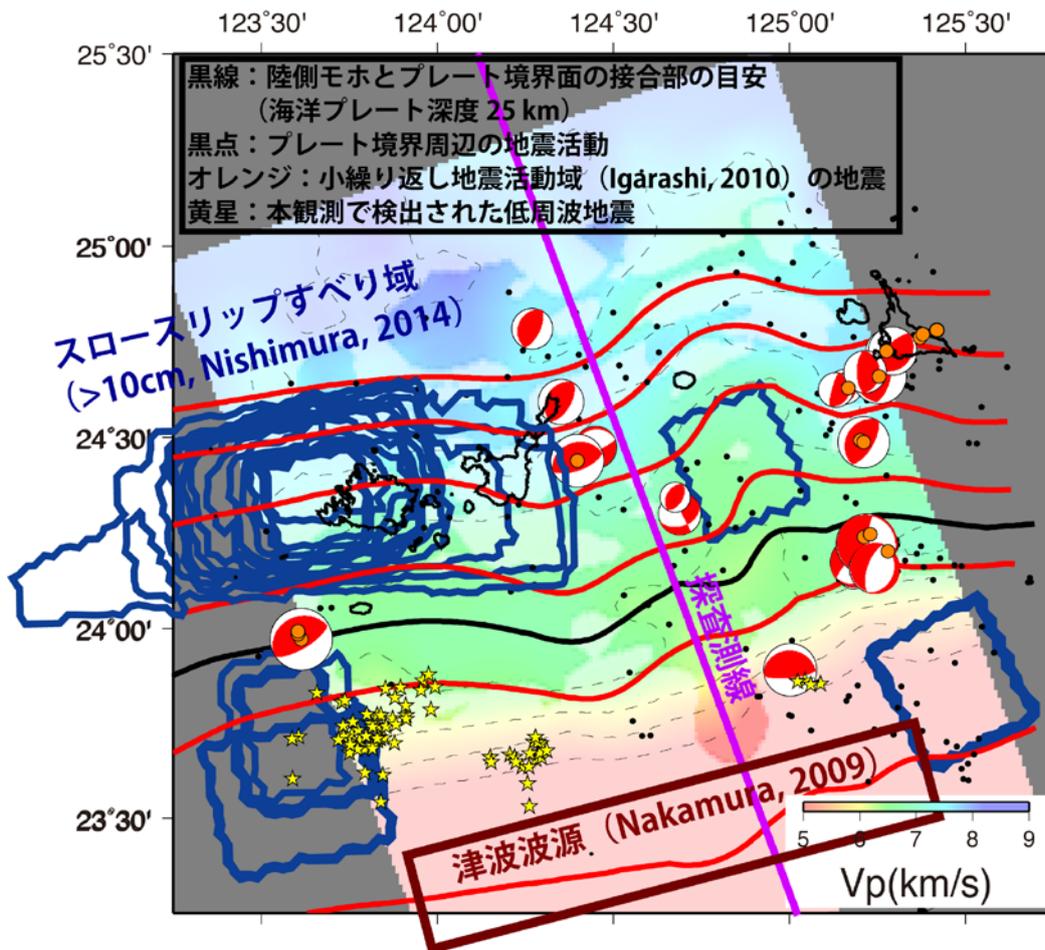


図3-6-①-6 プレート境界から5 km 浅い場所のP波速度構造とプレート境界の等深度線 (赤: 10 km 間隔で深さ10 km から60 km まで)。メカニズム解は本研究によるもの。

2) 南海トラフの拡大想定震源域上限の構造マッピング

平成 26 年度までに得られた室戸岬沖から足摺岬沖にかけての高分解能 MCS データ (図 3-6-①-7) について深度変換を行い、深部のプレート境界すべり面から海底に繋がる前縁断層について反射特性に基づいた断層の累積変位量を抽出した (図 3-6-①-8)。その結果、四国沖では平均 100m を超える変位量が明らかになり (図 3-6-①-9)、さらに 1946 年南海地震に伴う破壊域 (Baba and Cummins, 2005) がトラフ軸まで達している領域に対応する測線 (HDNT113) では断層からの反射面とともに 300m を超える変位が確認された。

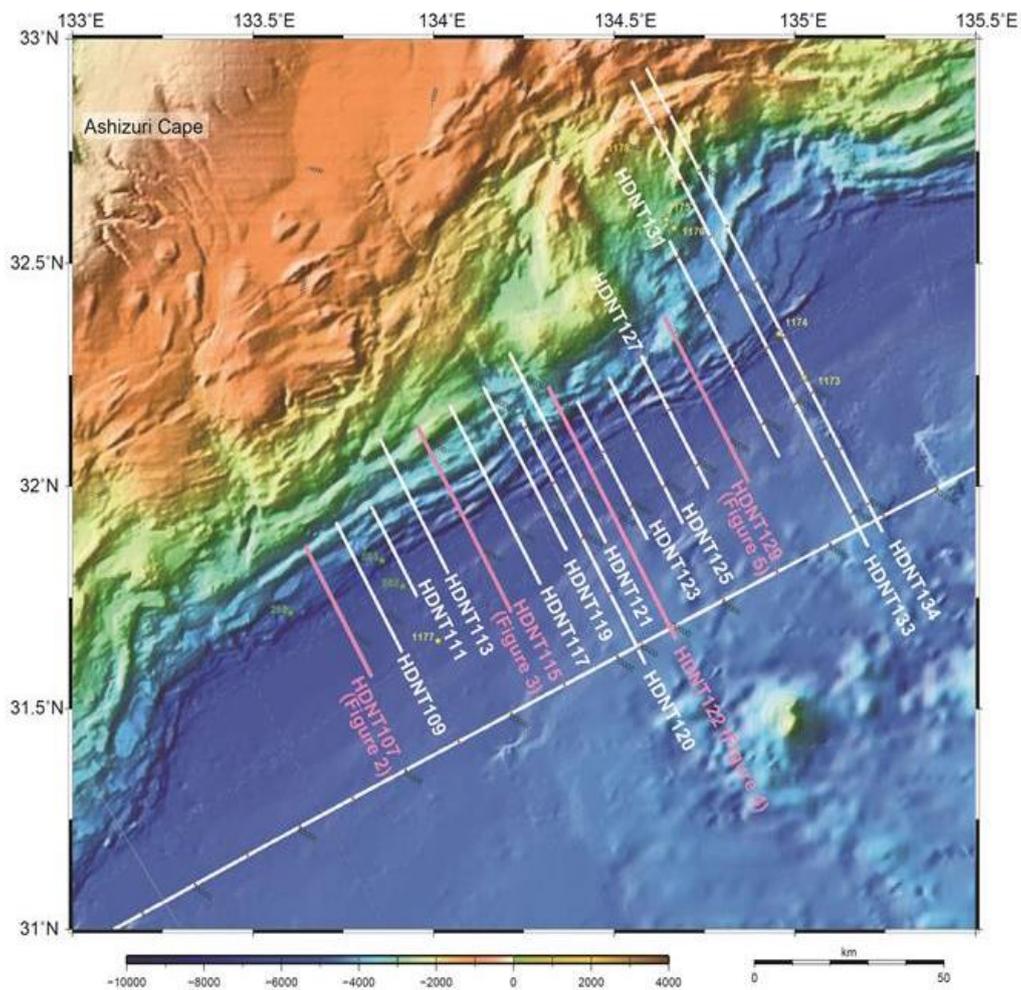


図 3-6-①-7 平成 25 年度・平成 26 年度に取得した南海トラフ・トラフ軸周辺における反射法地震探査の測線図

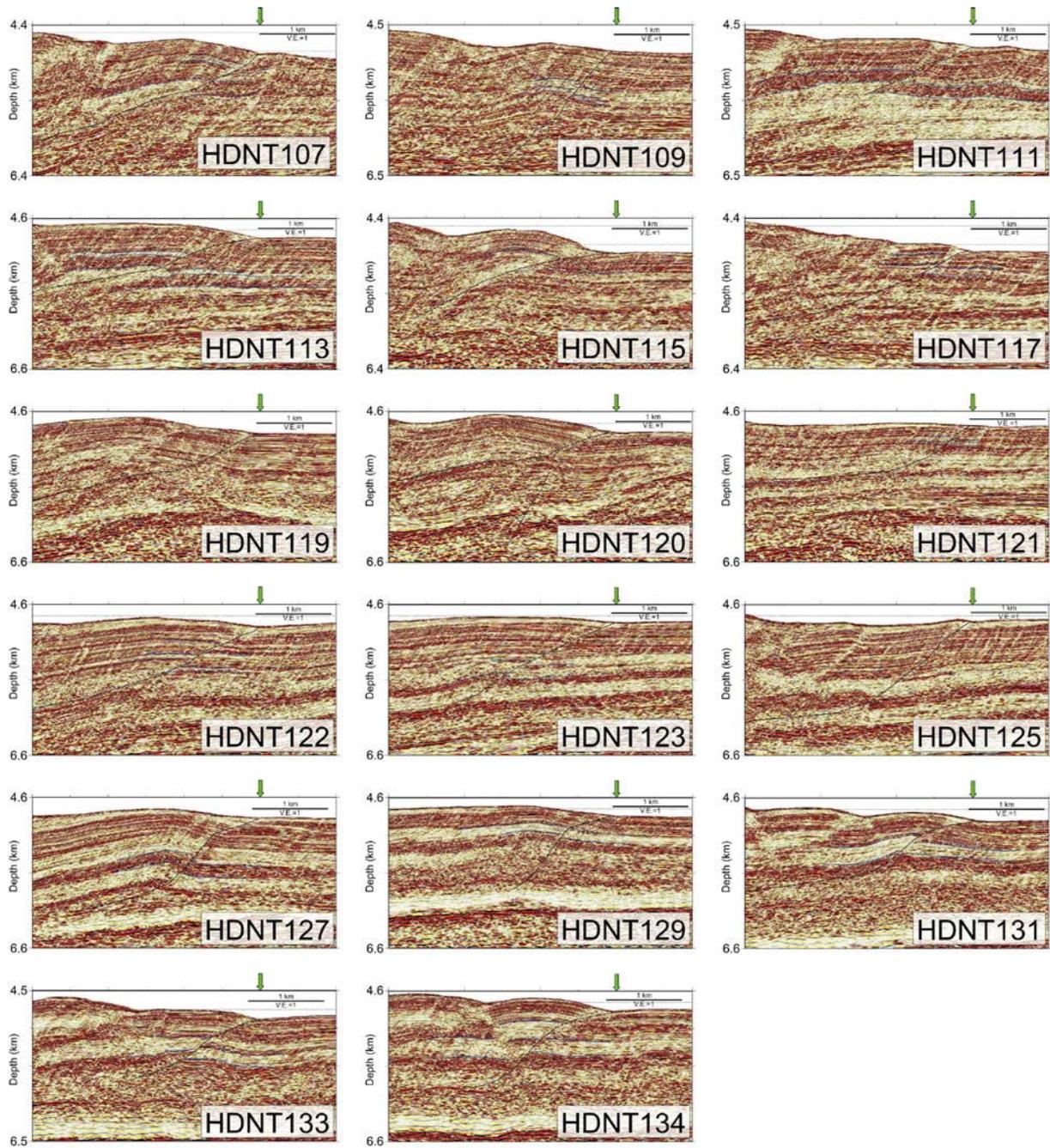


図 3-6-①-8 各測線の前縁断層（緑矢印）周辺を拡大した深度断面（縦横比 1 : 1）

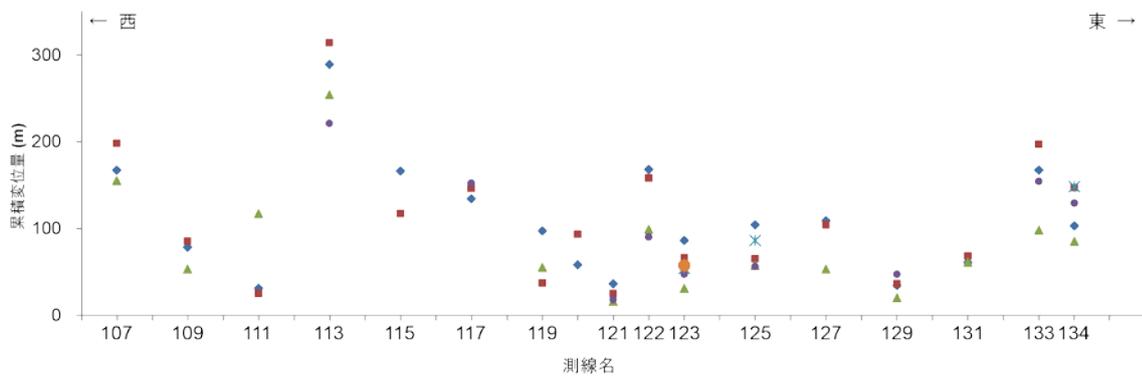


図 3-6-①-9 各測線で得られた前縁断層の累積変位量

3) 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

平成 26 年度までに得られた四国沖南海トラフ海側の四国海盆でトラフに平行な SB01 測線 (図 3-6-①-1 0) について得られた屈折法地震探査データを用いた速度構造解析の結果を時間断面に変換し、高分解能 MCS データに重ね合わせた結果 (図 3-6-①-1 1)、基盤直下の速度変化は、堆積層構造が東西で変化する測線の西端から約 160km 地点で、磁気異常データから推定される四国海盆の形成年代 (沖野, 2015) と比較すると、四国海盆の形成初期から終盤の境界域に対応することが明確になった。基盤直下の速度変化は、四国海盆の形成過程の違いを反映していると考えられる。このような東西に不均質な構造を持つフィリピン海プレートが西南日本の下に沈み込んでいることになる。

さらに、沈み込む前のフィリピン海プレートの持ち込む水の量と関係があると考えられる西南

日本の深部低周波微動とプレート構造の関係を、両者を比較することで考察した。その結果、高分解能 MCS 断面で見られる基盤の凹凸周期と深部低周波微動の活動度の東西変化 (Obara, 2010) の周期が非常によく似ていることがわかった (図 3-6-①-1 2)。

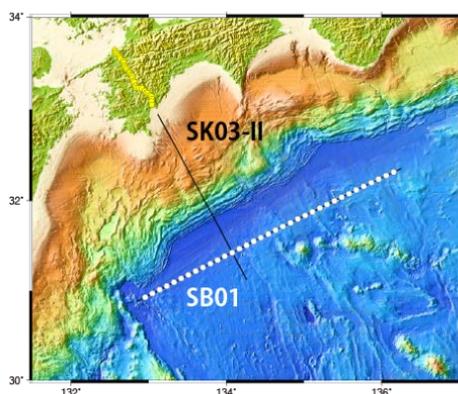


図 3-6-①-1 0

西部南海トラフでの高分解能 MCS 測線、大規模構造調査測線、および海陸統合地震探査測線。

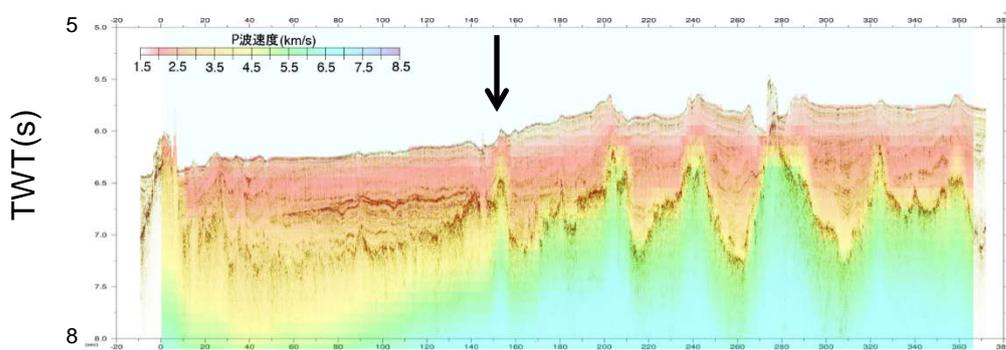


図 3-6-①-1 1 トラフ軸海側四国海盆 SB01 測線における高分解能 MCS 時間断面に、屈折法地震探査データによって得られた P 波速度構造を重ね合わせたもの。矢印の地点で、基盤直下の速度が測線の東西で急激な変化が見られる。

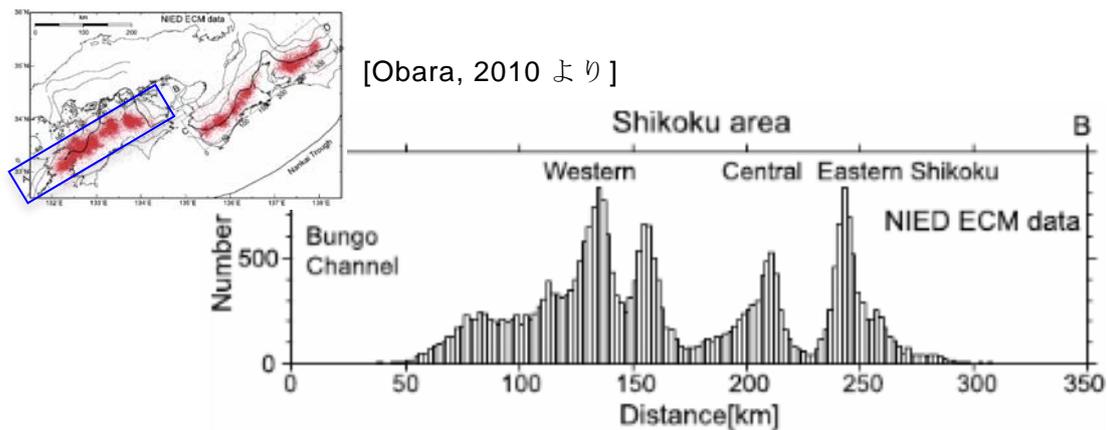


図 3-6-①-1 2 青枠内の四国の深部低周波微動（赤点）の活動度の東西変化。

また、図 3-6-1-①-1 0 中の SK03-II 測線の延長線上の陸上測線で得られた発破記録、延長線上の Hi-net 観測点で取得されたエアガン波形記録を含めた海陸統合解析を進め、P 波速度構造および反射イメージを得た（図 3-6-①-1 3）。

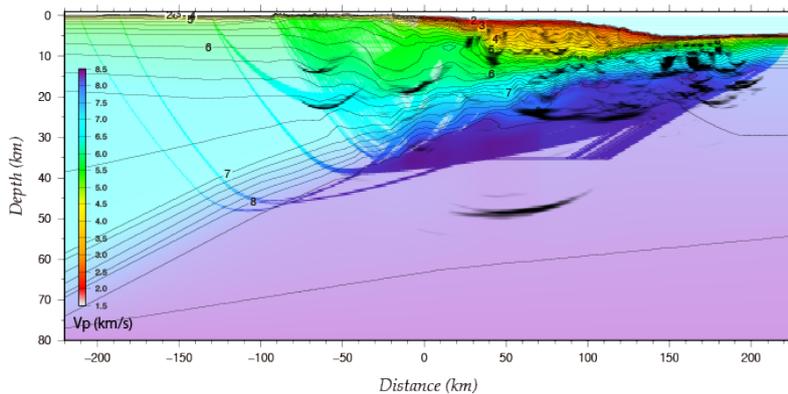


図 3-6-①-1 3

平成 26 年度までの成果に加えて SK03-2 測線陸側延長線上の陸上測線で得られた発破記録、Hi-net 観測点で得られたエアガン波形記録を用いた海陸統合解析より推定された P 波速度構造モデル（等速度線は 0.2km/s 間隔）と反射イメージ。黒色の濃い部分が反射面の存在を示す。

(d) 結論ならびに今後の課題

南西諸島北部（奄美大島北側）において、海底地震計を用いた屈折法探査、反射法探査を実施した。その結果、プレート境界面は明瞭な反射面としてイメージングされ、海溝軸から陸側へ約 70km まで連続的に追跡できたほか、プレート形状の大きな変化を捉えることにも成功した。また、上盤プレート内には陸側に傾斜する反射面が複数認められ、付加体を形成しているものと考えられる。さらに、震源位置が不明な 1911 年に喜界島地震（M8）とプレート周辺の構造との関連を検討する上で重要な結果と考えられる。

平成 26 年度までに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から、南西諸島南部（石垣島周辺）での自然地震観測で検出された低周波地震の一部は、津波地震発生域と深部スロースリップ発生域の間に位置するプレート境界で発生していることを確認した。プレート境界の流体の存在を示す極性反転も

認められた。また、自然地震観測データを用いて、三次元地震波トモグラフィ解析を実施し、得られた震源のメカニズム解、小繰り返し地震 (Igarashi, 2010) 、および速度構造を基に、三次元的なプレート境界モデルを構築した。プレート境界形状およびプレート境界周辺の地震活動度に東西で異なる特徴が見られた。今後、さらに地震発生帯の広がりについて検討を進める。

平成26年度までに実施した四国沖南海トラフ軸域での高分解能反射法地震探査データを用いて、深部のプレート境界すべり面から海底に繋がる前縁断層について反射特性に基づいた断層の累積変位量を抽出した結果、四国沖では平均 100m を超える変位量、特に 1946 年南海地震破壊域では 300m を超える変位量が明らかになった。平成 26 年度までに実施した四国沖南海トラフ海側での構造探査データからは、高分解能 MCS 断面で見られる基盤の凹凸周期と深部低周波微動の活動度の東西変化の周期が類似していることがわかった。今後、さらに前縁断層分布と断層の累積変位量を推定する領域を拡大し、巨大地震発生との関係を検討する。また、構造解析からフィリピン海プレートの流体分布イメージを得て、地震発生との関係について検討を進める。

(e) 引用文献

Baba T, Cummins PR (2005) Contiguous rupture areas of two Nankai Trough earthquakes revealed by high resolution tsunami waveform inversion. *Geophys Res Lett* 32: L08305. doi:10.1029/2004GL022320.

後藤和彦、1911 年に喜界島近海で発生した巨大地震の震源位置の再評価、*地震*、65、231-242 (2013)

Dziewonski, A. M., T.-A. Chou and J. H. Woodhouse, Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity, *J. Geophys. Res.*, 86, 2825-2852, doi:10.1029/JB086iB04p02825. (1981)

Ekström, G., M. Nettles, and A. M. Dziewonski, The global CMT project 2004-2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 200-201, 1-9, doi:10.1016/j.pepi.2012.04.002. (2012)

Hayes, G. P., D. J. Wald, and R. L. Johnson, Slab1.0: A three-dimensional model of global subduction zone geometries, *J. Geophys. Res.*, 117, B01302, doi:10.1029/2011JB008524. (2012)

Igarashi T., Spatial changes of inter-plate coupling inferred from sequence of small repeating earthquakes in Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L20304, doi:10.1029/2010GL04460. (2010)

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)

Nishimura T., Short-term slow slip events along the Ryukyu Trench, southwestern Japan, observed by continuous GNSS, *Progress in Earth and Planetary Science*, 1:22, doi:10.1186/s40645-014-02205. (2014)

Obara K., Phenomenology of deep slow earthquake family in southwest Japan: Spatiotemporal characteristics and segmentation, *J. Geophys. Res.*, 115,

②自然地震・構造探査を用いた構造解析

(a) 業務の要約

四国西部を対象に平成 26 年 12 月に実施した人工地震探査データ及び平成 25 年度から 26 年度に実施した 30 箇所の陸域稠密地震観測による自然地震観測データを解析し、深部低周波微動等の活動域とその周辺におけるプレート境界付近の地下構造の特徴把握や陸域下に沈み込むフィリピン海プレートと深部低周波微動源の相対的位置関係の把握を行った。また、四国東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や陸域の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、観測を開始するとともに、予備的なデータ回収を行った。

(b) 業務の成果

1) 四国西部における人工地震探査データの解析

平成 26 年度に実施した人工地震探査によって得られたデータに反射法解析処理を行うことによりプレート境界からの反射波を捉え、プレート境界の反射強度とすべり特性との関係を調査した。本研究における人工地震探査では、南海トラフに直交する北西-南東方向に長さ約 80 km の探査測線を設定した(図 3-6-②-1)。この探査測線は、短期的 SSE 発生域の累積すべり量 (Nishimura *et al.*, 2013) の大きな領域 (>0.3 m) を通過するように設定した。測線上には薬量 300 kg の発破点を測線の北端に近い場所に 1 点設定した(文部科学省 研究開発局・国立研究開発法人 海洋研究開発機構, 2015)。

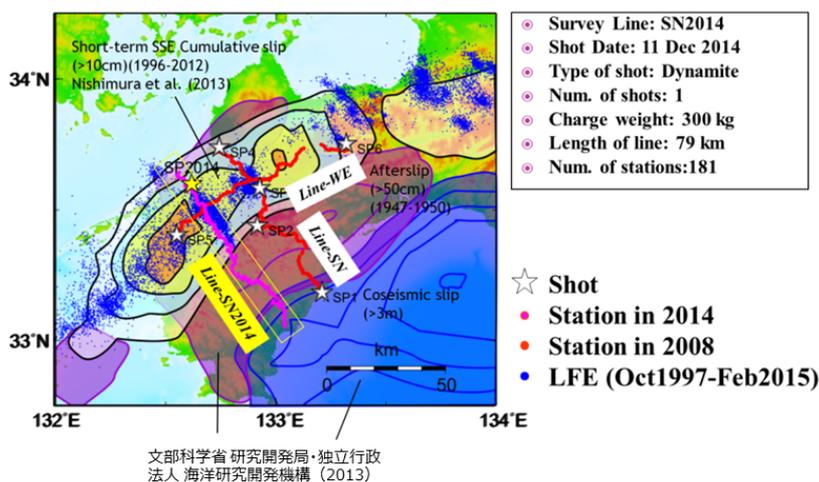


図 3-6-②-1 平成 26 年度に実施した四国西部における人工地震探査測線 (紫点) とショット点 (黄星印)。測線は 1946 年南海地震時すべり域 (青領域)、その後の余効すべり域 (紫領域)、短期的 SSE 発生域 (黒実線コンター) を通る。1997 年 10 月から 2015 年 2 月までの期間に発生した低周波地震を青点で示す。

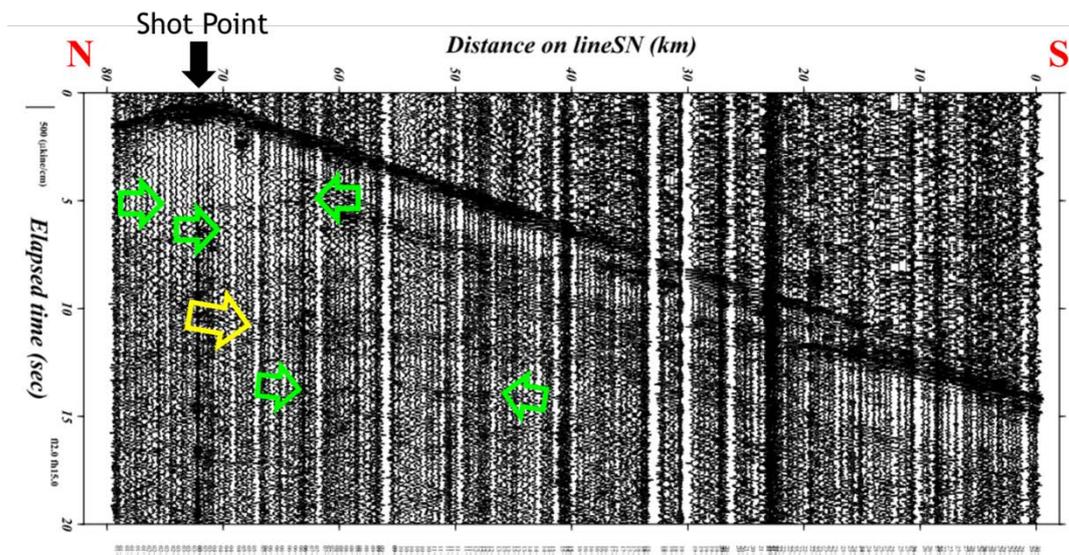


図 3-6-②-2 平成 26 年度実施の人工地震探査でのショット記録。バンドパスフィルタおよび AGC フィルタ処理を行っている。複数の後続波（中色抜き矢印）の到来を確認することが出来る。特に 10 ～ 12 秒のあたりに反射波だと思われる強い振幅をもつ波群（中色抜き黄矢印）が存在する。横軸は、観測点の南端を 0 とした南北距離を表し、黒矢印はショット位置を示す。

人工地震探査で得られたショット記録を図 3-6-②-2 に示す。全観測点で P 波初動の到着を確認することが出来る。また、図 3-6-②-2 に矢印で示すように、複数の後続波を確認することが可能である。特に、10～12 秒付近に振幅の大きな波群を確認することが出来る。この波群は、その到着時間からプレート境界付近からの反射波だと推定される。

この人工地震探査で得られた波形データに対し、反射法解析処理を適用した。処理では、CDP 編集、ミュート、フィルタ処理、静補正、NMO 補正、深度変換の一般的な解析を行った。なお、発破点が 1 点しかないため、CDP 重合処理は行わない、いわゆるシングルソートでの解析を行った。解析によって得られた深度断面図を図 3-6-②-3 に示す。発破点が 1 点であるため、測線の北側半分の深度断面図のみを得た。ショット記録で確認された 10～12 秒付近の波群は、北側に傾斜する反射波としてイメージされ、深さ 29～36km に投影された（図中の黄実線）。Baba *et al.* (2002) によりフィリピン海プレート上面深度が、Shiomi *et al.* (2004) によってフィリピン海プレート内の海洋モホ面深度が推定されている。それらの結果との比較により、この北側に傾斜する反射面をフィリピン海プレート上面のプレート境界と解釈した。新たに検出したプレート境界の深さは、Baba *et al.* (2002) よりも 2～4 km ほど深い。

プレート境界の反射強度を定量的に見積もるためにピックマイグレーション処理および振幅割り当て処理を行った。ピックマイグレーション処理は、重合効果によってイメージの明瞭化が期待できない少ないショット点数のデータの際に有効な手法である（例えば、Henry *et al.*, 2013）。図 3-6-②-4 に処理の概念図を示す。トレースで確認される後続波の位相を読み取り（ピックし）、その等走時曲線をショット点と観測点の座標に基づいて求める。読み取り位相毎に等走時曲線を描き、それらを重ね合わせてその包絡線を引くことによって位相の揃った反射波を反射面としてイメージングが可能となる。今回は反射強度の推定を行

うために、等走時曲線に対して振幅割り当て処理を行った。後続波の位相読み取り時の位相振幅値を用い、震源のマグニチュードと幾何減衰効果を補正した値を等走時曲線に割り当てた。一連の処理の前に後続波の位相読み取りを行わなければならないが、今回は AGC フィルタ処理をしたショット記録から AGC 平均振幅の 1.4 倍を超える位相を自動的に読み取った。また、表面波の影響を除去するため、表面波到着より前のデータはミュート処理をした。

ピックマイグレーション処理および振幅割り当て処理によって得られた深度断面図を図 3-6-②-5 に示す。得られた反射波の振幅強度の値は、推定したプレート境界周辺で大きい。また、フィリピン海プレートのモホ面に位置する場所も大きな値を示す。図の上部にプレート境界に沿った反射強度（青点）と微動エネルギー（赤点：Maeda and Obara, 2009）の空間分布を示す。プレート境界の反射強度は、微動エネルギーのピークよりも深い 10 km 北側で最大となる。今回データが得られた測線北側では、プレート境界の反射強度の大きい領域は短期的 SSE の累積すべり量（Nishimura *et al.*, 2013）の大きな範囲と良い対応を示す。また、より深部では両者とも小さくなっており、プレート境界のすべり特性に対応するように反射強度の変化がみられる。このようなプレート境界の反射強度とすべり特性との対応は、今回の測線の 25 km 東側で実施された 2008 年人工地震探査の結果でも報告されている（武田・他, 2015）。武田・他（2015）は、測線上の 1944 年南海地震時すべり域、アフタースリップ域、短期的 SSE 累積すべり域に対応して、それぞれ非常にシャープな反射面、中強度の反射面、ピーク強度の反射面と、プレート境界の異なる特徴を示した。今回の結果も短期的 SSE 累積すべりが大きい領域で反射強度が大きい傾向を示している。このことは、プレート境界における反射強度を調べることによってプレート境界のすべり特性に関する情報を得ることができる可能性を示している。

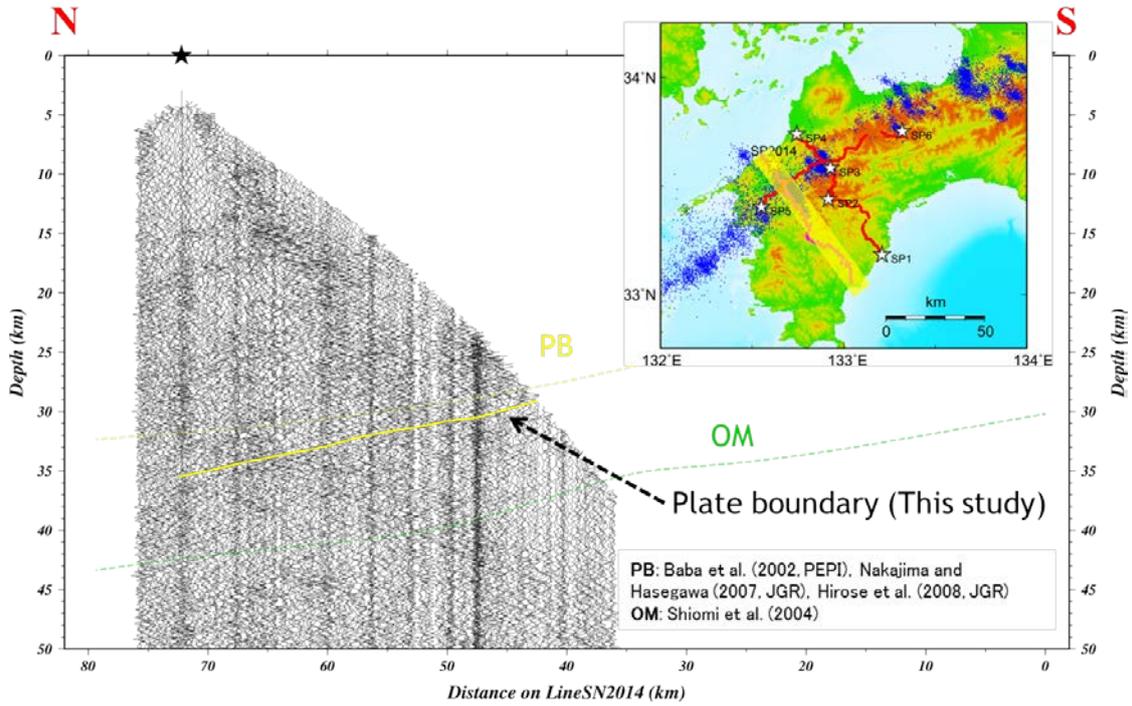


図 3-6-②-3 反射法処理された深度断面図。本研究で解釈したプレート境界を黄実線で示す。PB (黄破線) は Baba *et al.* (2002)、Nakajima and Hasegawa (2007)、Hirose *et al.* (2008) の統合モデルによるプレート境界、OM (緑破線) は Shiomi *et al.* (2004) によるフィリピン海プレート内の海洋モホ面を示す。図 3-6-②-2 で確認された振幅の大きな波群はプレート境界からの反射波だと解釈し、黄実線で示した。

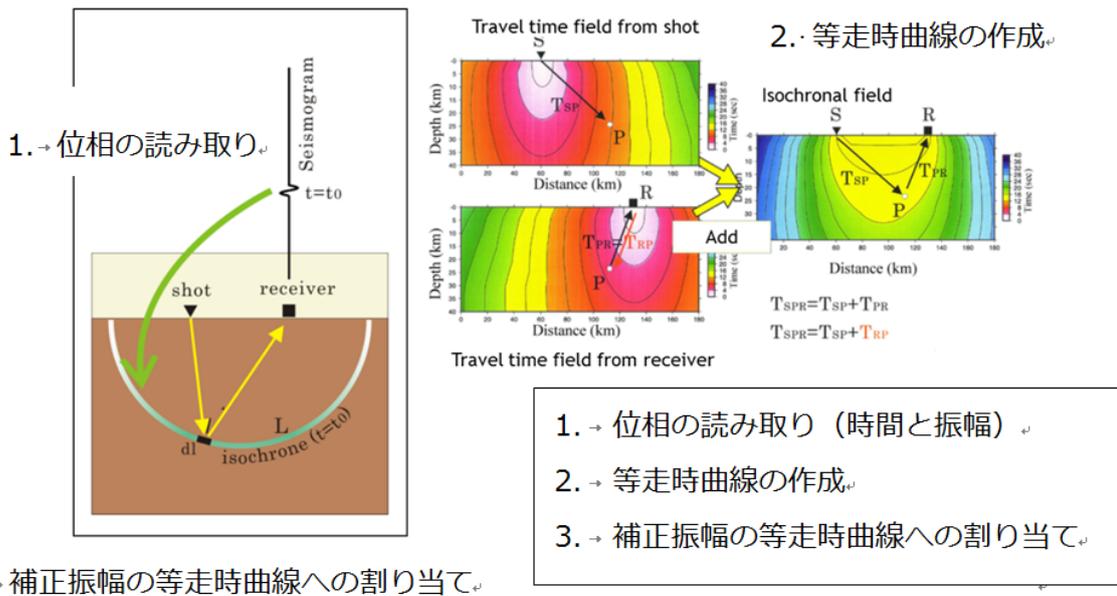


図 3-6-②-4 ピックマイグレーション処理および振幅割り当て処理の概念図。

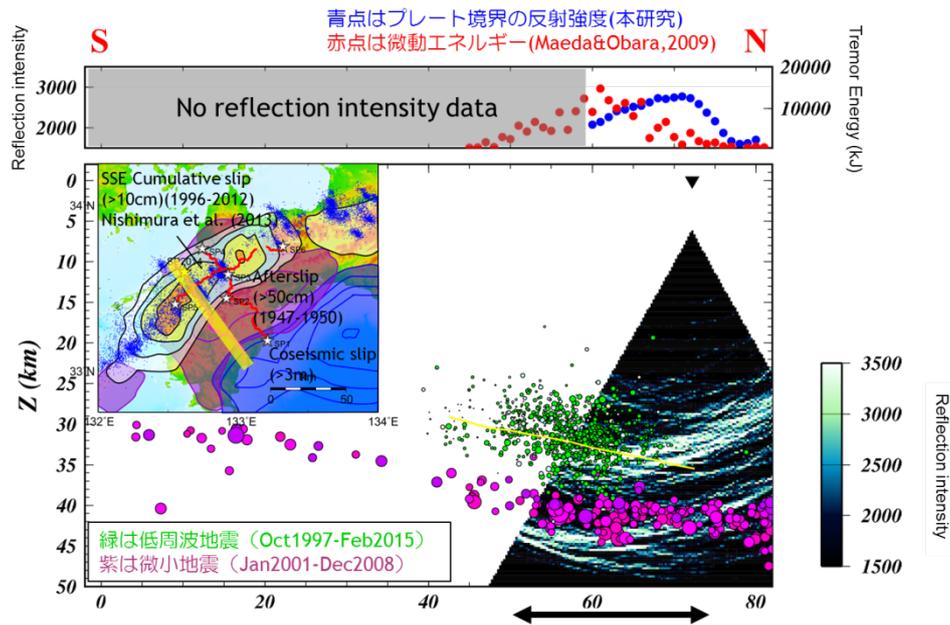


図 3-6-②-5 ピックマイグレーション処理および振幅割り当て処理による深度断面図。低周波地震（緑: 1997年10月～2015年2月）および微小地震（紫: 2001年1月～2008年12月）の分布を合わせて表示している。上部に今回推定されたプレート境界に沿った反射強度と微動エネルギー（Maeda and Obara, 2009）の空間分布を示す。下部に短期的 SSE の累積すべり量（Nishimura *et al.*, 2013）の大きい範囲を両矢印で示す。

2) 四国西部における自然地震観測データの解析

本研究では、平成 26 年 2 月、四国西部の総延長約 80 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、約 1 年間の観測を行った。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、サンプリング周波数 100 Hz で観測データを収録した。本節では、これらの臨時機動観測点に加え、測線近傍に位置する防災科研高感度地震観測網（Hi-net）観測点 7 箇所、防災科研広帯域地震観測網（F-net）観測点 1 箇所、防災科研が運用する臨時観測点 1 箇所で得られた遠地地震データにレーバ関数解析法を適用し、測線下の地震波速度不連続面の位置や形状の推定を行った。観測点及び測線の位置を図 3-6-②-6 に示す。前節の人工地震探査は、この測線上に上下動成分地震計 150 台を一時的に追加して行ったものである。

臨時機動観測点の観測期間は1年間である。解析対象となる観測データ数を増やすため、臨時機動観測点については、震央距離 30°から 90°で発生したマグニチュード (M) 5.5 以上の遠地地震を対象とした。ただし、1 観測点は観測期間を通じて地震計が不調であったため、本解析対象から除外した。一方、Hi-net や F-net 等、数年以上にわたる観測データを蓄積している観測点 (以下、固定点という) については、十分な S/N が得られている記録を優先して採用できるよう、M6.0 以上の地震を対象とした。対象となる地震の選定にあたっては、米国地質調査所 (USGS) が整備するカタログを参照した。観測波形を目視確認し、十分な S/N を有すると判断されるもののみを選択して、以降の解析に使用した。表 3-6-②-1 に、解析に用いた観測点および使用したデータの概要をまとめる。

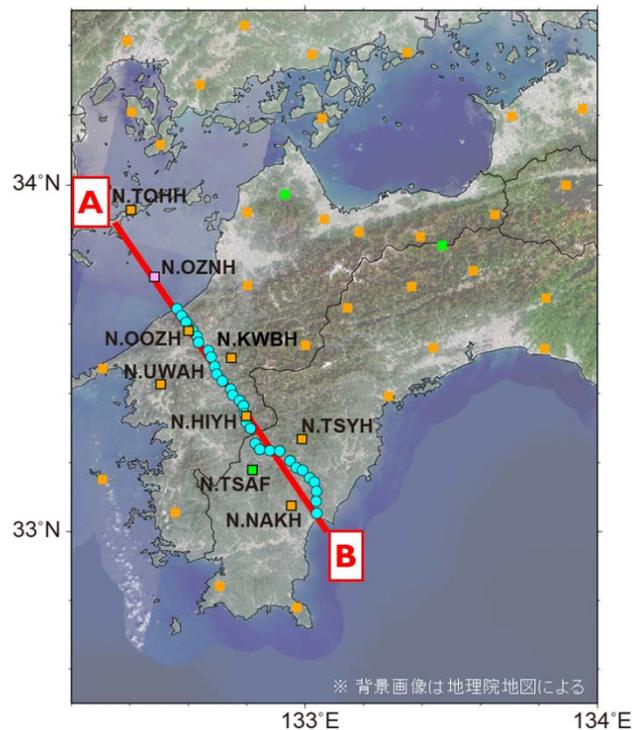


図 3-6-②-6 解析に用いた観測点の分布と測線の位置。水色、橙、緑、桃の各シンボルは、それぞれ本件で整備した臨時機動観測点、Hi-net、F-net、防災科研臨時点の位置を表す。解析に使用した観測点については黒線で輪郭を示すととも臨時機動観測点以外については観測点コードを併記した。

表 3-6-②-1 解析に用いた観測点と観測期間

解析に用いた観測点の概要			解析に用いたデータ	
観測網	地震計種類	観測点数	観測期間	地震規模
臨時機動観測点	短周期地震計 (固有周波数 1Hz)	29	2014/03~2015/03	M≥5.5
高感度地震観測網		7	2000/10~2015/05	M≥6.0
防災科研臨時		1	2007/12~2015/05	
広帯域地震観測網	広帯域地震計	1	2004/02~2015/05	

解析は、Shiomi *et al.* (2008) の方法に準拠して行った。ただし、より詳細な構造の特徴を把握するため、コーナー周波数が 1.0 Hz および 1.5 Hz の 2 種類の低域通過フィルタを適用したレーシーバ関数を計算した。レーシーバ関数の時間軸を深さに変換する際には、Matsubara and Obara (2011) による三次元地震波速度構造を用いた。図 3-6-②-7 に、観測されたレーシーバ関数の一例を示す。臨時機動観測点は、北から順に観測点番号を振っており、図 3-6-②-7 (a) に示した No. 04 観測点は、同図 (b) に示した Hi-net の大洲観測点に最も近い観測点である。大洲観測点の位置は、図 3-6-②-6 に、N.OOZH のラベルを付して示した。各レーシーバ関数について、正の振幅を赤、負の振幅を青で塗色した。動径方向 (radial) 成分のレーシーバ関数後続相に見られる正負の振幅は、それぞれ、深部が浅部よりも高速度あるいは低速度な地震波速度不連続面が存在することに対応する。大洲観測点 (図 3-6-②-7 (b)) では、黒矢印を付記した動径方向成分の約 5 秒に顕著な正の振幅、その直前に負の振幅が到来している。前者は沈み込むフィリピン海プレート内のモホ面、後者はプレート上面で変換した波に相当する。同様の位相は臨時機動観測点 (図 3-6-②-7 (a)) でも確認できるが、Hi-net 観測点ほど明瞭ではない。これは、観測期間が短く、S/N の劣る小規模な地震も解析に用いていること、スタックによる S/N の改善が十分でないことに起因すると考えられる。

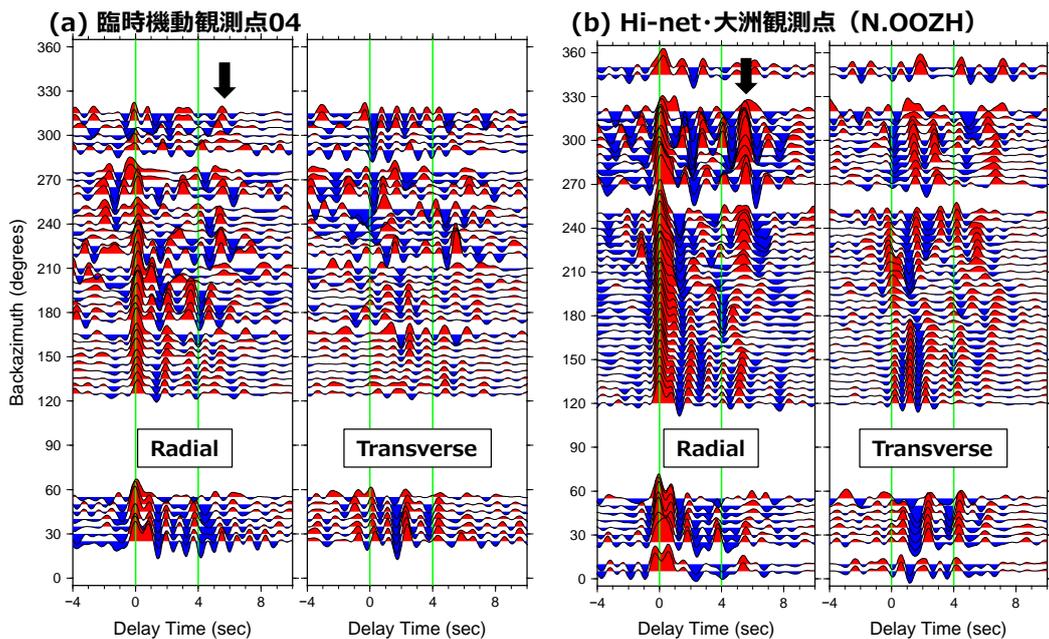


図 3-6-②-7 臨時機動観測点 No. 04 (a) および Hi-net の大洲観測点 (b) で観測されたレーシーバ関数。コーナー周波数 1.5 Hz の低域通過フィルタを適用した結果を示す。各図の左側は動径 (radial) 方向成分、右側はそれに直交する (Transverse) 成分のレーシーバ関数を表す。横軸は直達 P 波着震からの経過時間、縦軸は地震波到来方向を北から時計回りに計測して示す。

得られた各レシーバ関数は、直達P波着震からの時間を表す時系列である。各レシーバ関数から地下構造を推定するため、観測点と震源を結ぶ波線に沿った地震波速度を Matsubara and Obara (2011) による三次元地震波速度構造モデルから抽出し、レシーバ関数の時刻情報を深度に変換した。測線周辺について、水平方向 1.5 km、深さ方向 0.75 km のセルに分割し、波線が通過するセルに、その深さに該当するレシーバ関数の振幅情報を割り当てた。同一のセルを複数の波線が通過する場合は、その平均値を採用した。波線パラメタは、IASP91 モデル (Kennett and Engdahl, 1991) を用いて推定した。図 3-6-②-8 に、得られたレシーバ関数振幅の鉛直断面を適用した周波数ごとに示す。1.0 Hz の低域通過フィルタを適用して求めたレシーバ関数による断面 (図 3-6-②-8 (a)) では、B 点 (太平洋側。距離 0 km) の深さ 30 km 付近から A 点 (瀬戸内海側) に向かって傾斜する赤い帯 (黒矢印を付記) があり、その直上を青い線が同じく A 点側に向かって傾斜している。この赤い帯が沈み込むフィリピン海プレート内の海洋モホ面、青い線がプレート境界を表す。1.0 Hz の帯域を用いた図では、赤い帯が深さ方向に 5 km 以上の幅を持っている。1.5 Hz の低域通過フィルタを適用した図 3-6-②-8 (b) では、(a) における赤い帯の幅は数 km 程度に抑えられるが、色の連続性など、イメージ全体の安定度が低下する。そこで、以降の議論では、両帯域で得られた結果の平均 (図 3-6-②-8 (c)) を用いることとする。この図は、図 3-6-②-8 (b) の図をわずかに平滑化したものと同等である。

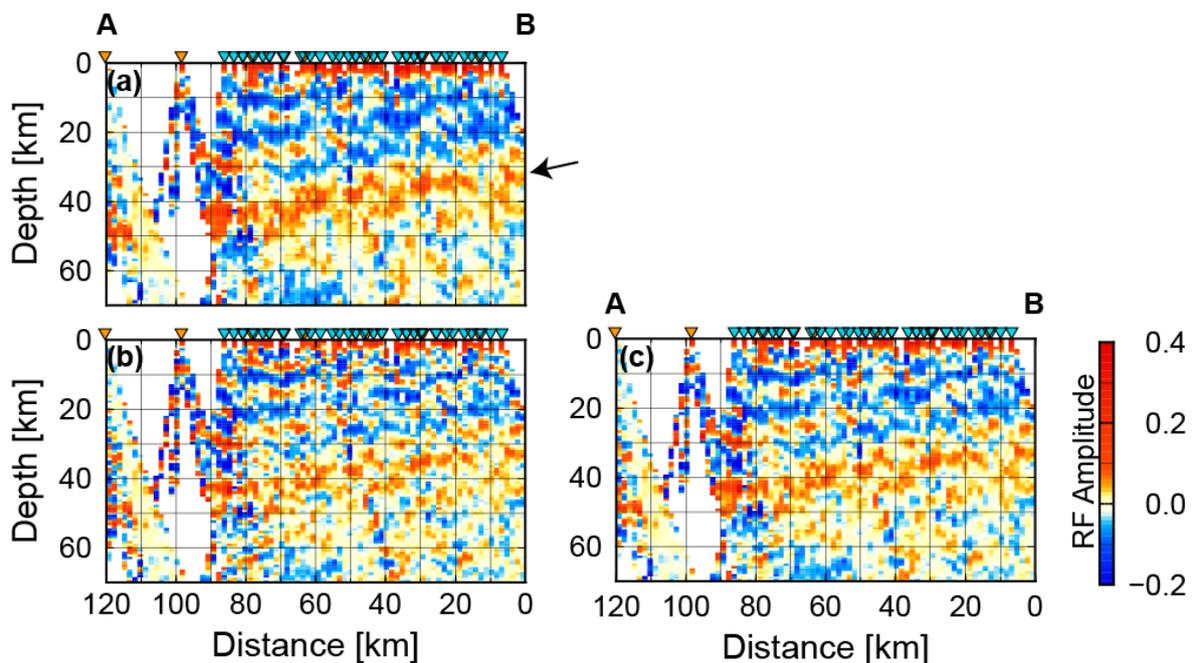


図 3-6-②-8 レシーバ関数振幅の鉛直断面図。コーナー周波数 1.0 Hz (a)、1.5 Hz (b) の低域通過フィルタを適用して推定したレシーバ関数断面、およびその平均値 (c)。各図左 (A) は瀬戸内海側、右 (B) は太平洋側を表す。上部の逆三角は、測線上に投影した観測点の位置を表す。

臨時機動観測データの効果を確認するため、固定点のみを使用して断面図を描いた結果を図3-6-②-9に示す。臨時機動観測点を追加することで波線の通過状況が著しく改善している一方、プレート起源の変換波の明瞭さという点においてはやや劣ることが分かる。これは、固定点ではMの大きな地震のみを選択して利用していること、長期のデータを使用することで地震波到来方向の多様性が確保されていることが原因として考えられる。一方、固定点であっても、図3-6-②-7 (b) に示した Hi-net 大洲観測点の地震波到来方向 150° から 210° のように、方位によっては変換波の振幅が著しく低下する様子を確認できる。一般に、傾斜する地震波速度不連続面の浅い方から地震波が入射する場合、不連続面に対する地震波の入射角度が相対的に小さくなるため、不連続面の深い方から入射する場合と比べて変換波が励起しにくくなる。図3-6-②-10に、今回の解析で用いた地震の震央分布および方位別の頻度分布を示す。今回の測線は、沈み込むフィリピン海プレートの等深度線に直交する方向に設定している。図3-6-②-10 (b) から、解析に使用した地震は今回の測線の南東延長方向に極めて集中している様子が分かるが、この方向はフィリピン海プレートが浅くなる方向に相当する。すなわち、これらの地震による波は、プレート上面あるいはプレート内の海洋モホ面での変換波が励起しにくいことを意味する。

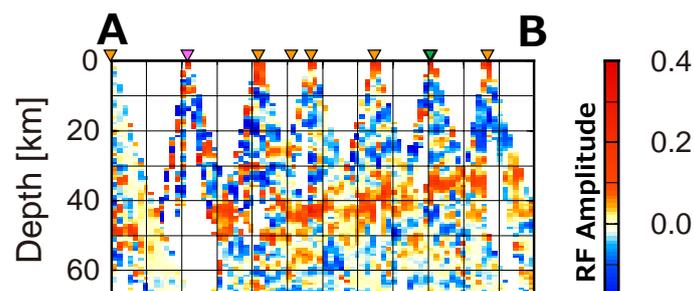


図3-6-②-9 防災科研 Hi-net 等、数年間の観測データを利用できる観測点のみの記録を用いて作成したレシーバ関数振幅の鉛直断面図。

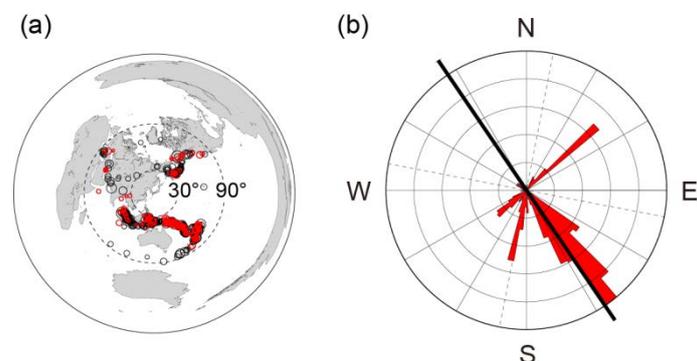


図3-6-②-10 (a) 解析に用いた地震の震央分布。黒丸は固定点、赤丸は本件による臨時機動的観測点で用いた地震の震央位置を表す。(右) 解析に用いた地震の方位別頻度分布。黒線は測線の方向、点線は方位別のグループを分割する境界を表す。

そこで、測線を基準に地震波到来方向を北東 (N11°E~N100°E)、南東 (N101°E~N190°E)、南西 (N191°E~N280°E)、北西 (N281°E~N10°E) の4つに分割し、それぞれの方位に対してレーザ関数断面図を作成した。各領域の境界は、図3-6-②-10 (b) に点線で示した。結果を図3-6-②-11に示す。プレート浅部側 (南東方向) から到来する地震波は全体の64%に達しており、多くの波線が対象とした断面上を広く通過している反面、プレート境界あるいは海洋モホ面に相当する不連続面の描像は明瞭ではない。一方、それ以外の3方向の断面図は、用いたレーザ関数が非常に限られているにもかかわらず、プレート境界ならびに海洋モホ面に対して、きわめて明瞭な速度不連続面を描像していることが分かる。図3-6-②-12に、測線の南西方向に位置する地震を除去した結果を示す。この図から、測線下のフィリピン海プレート周辺の構造について、以下の特徴をあげることが出来る。

- ・フィリピン海プレート内の海洋モホ面は、従来モデル (Shiomi *et al.*, 2008) よりも四国南部で数 km 深い。
- ・陸側モホ面は南に向かって浅くなり、四国中部で不明瞭になる。
- ・フィリピン海プレート内の地震活動は、陸側モホ面が明瞭な場所の下で活発である。
- ・深部低周波地震活動は、陸側モホ面が太平洋側へ浅くなる場所と海洋モホ面の間で活発である。また、活動域の南限付近で海洋モホ面の傾斜がわずかに急になっている。

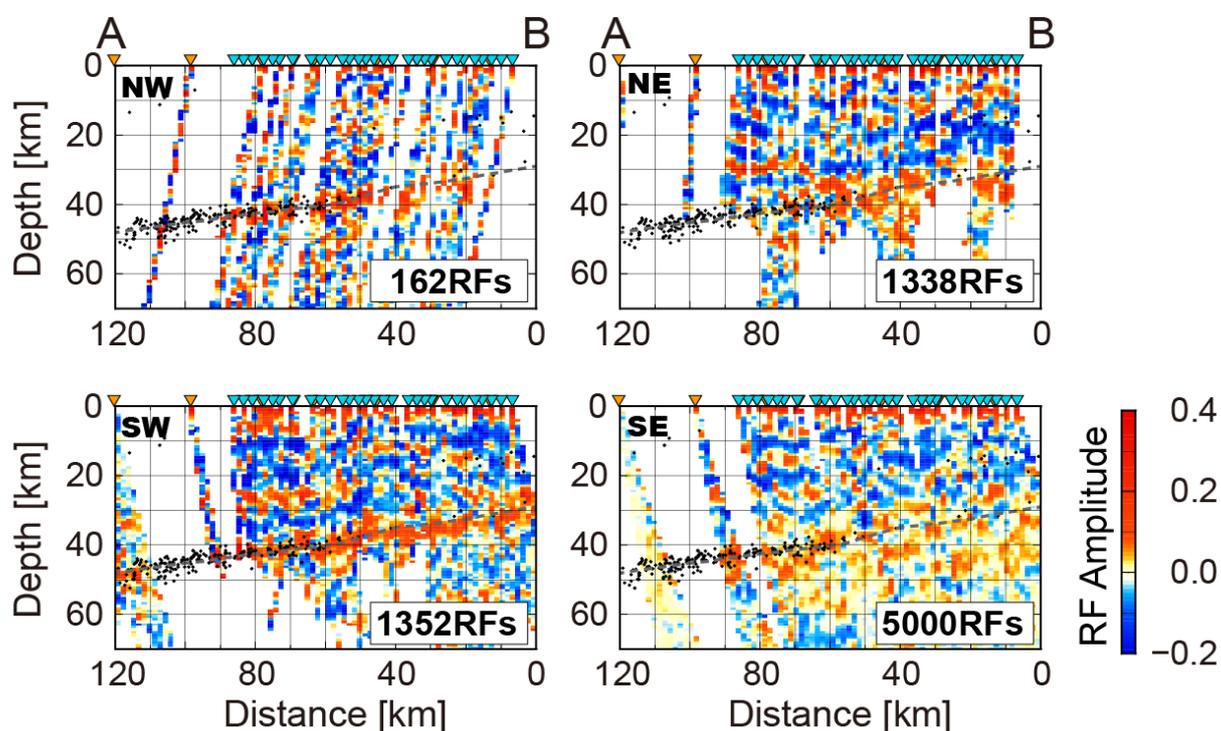


図3-6-②-11 地震波到来方向別のレーザ関数断面図。図中の点線及び黒点は、それぞれ、Shiomi *et al.* (2008)による海洋モホ面の位置、気象庁一元化震源情報による $M \geq 2.0$ の地震の震源位置を表す。

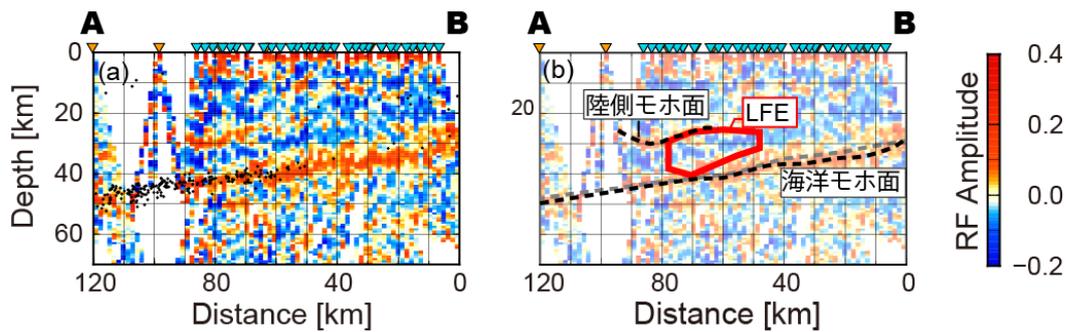


図3-6-②-12 南東方向以外から到来する遠地地震記録から合成したレシーバ関数断面図 (a)とその解釈 (b)。ここで、黒点及び赤枠は、気象庁一元化震源情報において $M \geq 2.0$ 以上として登録されている地震の震源位置、低周波地震として登録されているイベントが多数発生している領域をそれぞれ表す。黒点線は本解析での解釈結果、灰点線は Shiomu *et al.* (2008)による海洋モホ面の深さを表す。

本測線の南東延長上では、平成 26 年 5 月上旬に、海洋研究開発機構によりエアガンの発振が行われた。本件で設置した臨時機動観測点では、このエアガン発振に伴う振動も明瞭に記録している (文部科学省 研究開発局・国立研究開発法人 海洋研究開発機構, 2015)。これらの記録を用いて作成した地震波速度構造断面 (図3-6-①-8) に本件で求めたレシーバ関数断面図を重ねた結果を図3-6-②-13に示す。この図から、沈み込むフィリピン海プレート上面やプレート内海洋モホ面が、両解析結果間で矛盾なく接続していることが分かる。人工震源による構造探査では十分な探査分解能が得られない地下深部において、自然地震解析で補うことができることを示している。

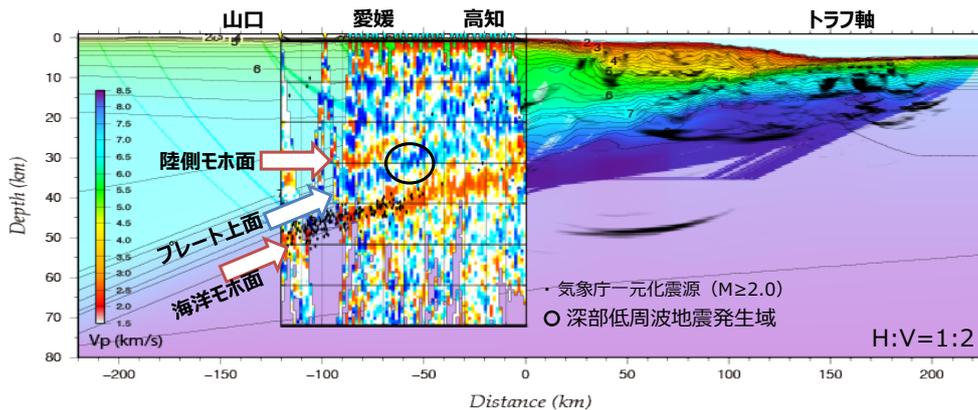


図3-6-②-13 四国西部で実施した海陸統合地震探査により求められたP波速度構造 (図3-6-①-8参照) と陸域自然地震観測結果により求められたレシーバ関数イメージの重ね合わせ。黒丸は深部低周波地震発生域、黒点は $M2.0$ 以上の地震の震源位置を表す。

3) 四国東部における稠密地震観測の実施

南海トラフより沈み込むフィリピン海プレートの構造およびそのプレート境界における物性、巨大地震発生域と深部低周波微動活動との関連を調べるため、平成 27 年度から四国東部において臨時機動観測点を用いた稠密地震観測を開始した。四国東部では、香川県高松市周辺（図 3-6-②-14 中の観測点 2 と 3 の周辺）に微動活動域があるものの、Nishimura *et al.* (2013) による短期的 SSE の累積すべり量は 0.05m 以下であり、その周囲の微動発生域（最大で 0.15 m）と比べると非常に小さい。このような微動発生域内での短期的 SSE によるすべり量の違いは、四国西部と同様にプレート境界付近の反射特性の違い、すなわち地下構造の違いを反映しているのではないかと予想される。そこで、本稠密地震観測では自然地震の観測データを用いてプレート境界付近からの反射波等を検出し、それらの情報に基づきプレート境界構造の特徴を把握することを目指す。

臨時機動観測点は、防災科研 Hi-net を含む定常地震観測点と近接しないよう、また四国東部の微動活動域を面的に覆うように全 15 地点を選定した（図 3-6-②-14、表 3-6-②-2）。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（図 3-6-②-15、左上図）。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コンパクトフラッシュ（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 から信号に基づき、4 時間に 1 回の頻度で時刻校正を行う。基礎のしっかりしたコンクリートがある観測点では、その上に地震計を設置し、石膏を用いて固定した。それ以外の場合は、穴を掘って底部にコンクリート板を水平に敷きその上に地震計を設置した（図 3-6-②-15、右上図）。観測ケースにはデータロガーとバッテリーを入れ（図 3-6-②-15、左下図）、時刻校正用の GPS アンテナを木杭の上に固定して観測を行った（図 3-6-②-15

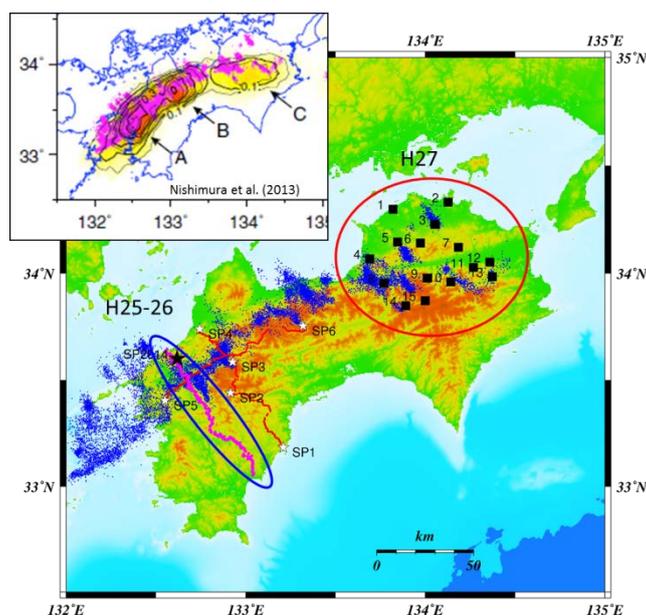


図 3-6-②-14 平成 27 年度に実施した四国東部における稠密地震観測の観測点配置図（黒四角）。青点は深部低周波地震微動活動（Maeda and Obara, 2009, Obara *et al.*, 2010）を示す。左上の図は Nishimura *et al.* (2013) による短期的 SSE の累積すべり量（m）を示す。

表 3-6-②-2 稠密地震観測点リスト

観測点 番号	観測点所在地	観測点座標		
		北緯	東経	標高 (m)
1	香川県丸亀市土器町東	34.297	133.820	90
2	香川県高松市高松町	34.330	134.126	80
3	香川県高松市香川町川内原	34.227	134.053	130
4	香川県観音寺市大野原町井関	34.067	133.690	120
5	香川県仲多度郡まんのう町後山	34.145	133.846	195
6	香川県仲多度郡まんのう町川東	34.141	133.972	390
7	徳島県美馬市脇町字東赤谷名	34.121	134.184	295
8	徳島県三好市池田町川崎	33.954	133.770	460
9	徳島県美馬郡つるぎ町紙屋	33.978	134.009	290
10	徳島県美馬市穴吹町古宮字生子屋敷	33.959	134.142	415
11	徳島県吉野川市美郷字重野尾	34.027	134.268	225
12	徳島県吉野川市鴨島町飯尾字天神	34.052	134.359	85
13	徳島県名西郡神山町神領青井夫	33.984	134.373	170
14	徳島県三好市東祖谷小川	33.848	133.891	735
15	徳島県三好市東祖谷菅生	33.872	133.999	770

右下図)。

平成 27 年 7 月より用地選定を開始し、10 月に地震計を設置した。設置約 1 ヶ月後の 11 月に 1 回目のメンテナンスを実施し、データを回収した。また平成 28 年 3 月には 2 回目のメンテナンスを実施し、データの回収およびバッテリー交換を行った。ハードディスクに回収したデータをコピーした後、データの整理・集約を行った。観測期間中に収録された自然地震の波形記録例を図 3-6-②-16 および図 3-6-②-17 に示す。図 3-6-②-16 は 2015 年 11 月 7 日に室戸半島南方沖のフィリピン海プレート内で発生した地震の記録である。S-P 時間は 10 秒を超えているが、上下成分をみると複数の観測点で P 波と S 波の間に別の位相の到来を確認できる。図 3-6-②-17 は 2015 年 10 月 26 日に徳島県三好市付近で発生した陸側プレート内の地震記録であるが、観測点 10~13 において S 波到着の後方に位相を確認できる一方、他の観測点ではそれほど顕著ではない。図 3-6-②-16 で確認できる位相と合わせて、これらは何らかの構造境界で反射もしくは変換された地震波だと考えられる。特に図 3-6-②-17 の位相は観測点毎の差異が大きいことから、これらのデータの解析から構造境界の地域性の解明を進めることが出来る可能性がある。



図 3-6-②-15 観測点④における稠密地震観測の様子。(左上) 設置に使用した観測機材。(右上) 穴を掘り、底に地震計を設置している様子。(左下) 観測ケース内の状態。(右下) 観測点④における観測風景。

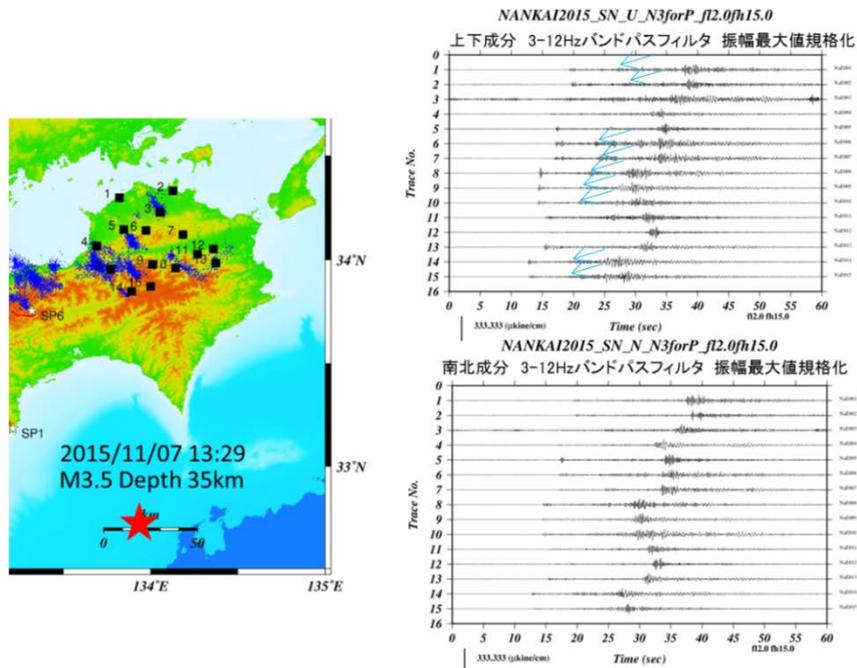


図 3-6-②-16 2015年11月7日に室戸半島南方沖で発生したフィリピン海プレート内の地震時の観測波形。左図は震源(赤星印)と観測点分布(黒四角)を示す。右図は得られた観測点毎の波形を表す。右上図では複数の観測点でP波とS波の間で位相を確認できる(図中矢印)。

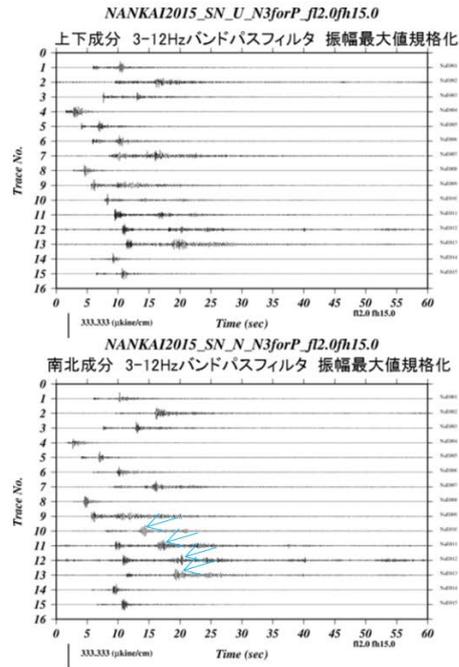
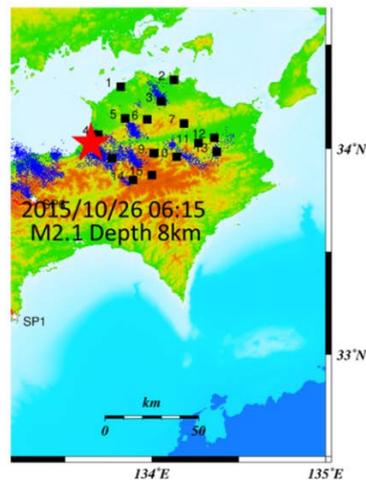


図3-6-②-17 2015年10月26日に徳島県三好市付近で発生した陸側プレート内の地震時の観測波形。左図は震源（赤星印）と観測点分布（黒四角）を示す。右図は得られた観測点毎の波形を表す。右下図では観測点10～13にてS波到着の後方に位相を確認できる（図中矢印）。

(c) 結論ならびに今後の課題

四国西部を対象に平成26年度までに実施した人工地震探査データ及び臨時観測点による自然地震観測データの解析を実施した。人工地震探査データには、沈み込むフィリピン海プレートに起因する反射波が含まれており、その反射強度は、深部低周波微動活動が活発な地域で強いことが明らかになった。また、自然地震観測データからは、深部低周波地震は陸側モホ面と沈み込むスラブが接する場所で発生していること、スラブ内地震は陸側モホ面が明瞭な場所の下で活発であることを確認した。一方、平成27年度は、四国東部域の15地点に臨時機動観測点を展開し、観測を開始した。四国中部から東部は、四国西部に比べて深部低周波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。今後は、四国東部に設置した臨時機動観測点及び基盤的地震観測点で観測された微動を含む自然地震データの解析を実施し、微動の活動度と地下構造の関係等について、四国西部との比較検討を行う予定である。

(d) 引用文献

- 1) Baba, T., Y. Tanioka, P. R. Cummins, and K. Uhira, The slip distribution of the 1946 Nankai earthquake estimated from tsunami inversion using a new plate model, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 132, 59-73, 2002.
- 2) Henrys, S., A. Wech, R. Sutherland, T. Stern, M. Savage, H. Sato, K. Mochizuki, T. Iwasaki, D. Okaya, A. Seward, B. Tozer, J. Townend, E. Kurashimo, T. Iidaka, and T. Ishiyama, SAHKE geophysical transect reveals crustal and subduction zone structure at the southern Hikurangi

- margin, New Zealand, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 14, 2063-2083, doi:10.1002/ggge.20136, 2013.
- 3) Hirose, F., J. Nakajima, and A. Hasegawa, Three-dimensional seismic velocity structure and configuration of the Philippine Sea slab in southwestern Japan estimated by double-difference tomography, *J. Geophys. Res.*, 113, B09315, doi:10.1029/2007JB005274, 2008.
 - 4) Kennett, B.L.N. and E.R. Engdahl, Traveltimes for global earthquake location and phase identification, *Geophys. J. Int.*, 105, 429-465, 1991.
 - 5) Maeda, T., and K. Obara, Spatio-temporal distribution of seismic energy radiation from low-frequency tremor in western Shikoku, Japan, *J. Geophys. Res.*, 114, B00A09, doi:10.1029/2008JB006043, 2009.
 - 6) 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.
 - 7) 文部科学省 研究開発局・独立行政法人 海洋研究開発機構, 東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト 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 (平成 20~24 年度) 成果報告書, 平成 25 年 5 月, 2013.
 - 8) 文部科学省 研究開発局・国立研究開発法人 海洋研究開発機構, 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, 2015.
 - 9) Nakajima, J., and A. Hasegawa, Subduction of the Philippine Sea plate beneath southwestern Japan: Slab geometry and its relationship to arc magmatism, *J. Geophys. Res.*, 112, B08306, doi:10.1029/2006JB004770, 2007.
 - 10) Nishimura, T., T. Matsuzawa, and K. Obara, Detection of short-term slow slip events along the Nankai Trough, southwest Japan using GNSS data, *J. Geophys. Res.*, 118, 3112-3125, doi:10.1002/jgrb.50222, 2013.
 - 11) Obara, K., S. Tanaka, T. Maeda, and T. Matsuzawa, Depth-dependent activity of non-volcanic tremor in southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L13306, doi:10.1029/2010GL043679, 2010.
 - 12) Shiomi, K., H. Sato, K. Obara and M. Ohtake, Configuration of subducting Philippine Sea plate beneath southwest Japan revealed from receiver function analysis based on the multivariate autoregressive model, *J. Geophys. Res.*, 109, B04308, doi:10.1029/2003JB002774, 2004.
 - 13) 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, 2008.
 - 14) 武田哲也・汐見勝彦・上野友岳, 四国西部でのスローイベント域における人工地震探査, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, S-CG62-12, 2015.

(3) 平成28年度業務計画案

南海トラフ軸周辺において高分解能反射法地震探査を実施し、プレート境界断層の海底面近傍における特徴や将来破壊を起こすと思われるトラフ内の微細構造を明らかにする。南西諸島北部では、地下構造や定常的な地震活動の実態解明のため、海底地震計と陸上の

臨時観測点による自然地震観測を実施し，その観測記録の解析を行う．これらおよび平成27年度までに取得した観測記録を用い，プレート形状やその周辺の詳細な地下構造を把握するための解析を進める。

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レート形状推定を目的として平成27年度に設置した陸域稠密地震観測点の運用を継続する。これらの観測点及び周辺の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収集し、四国東部における深部低周波微動活動状況や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。期末までに陸域稠密地震観測点を撤収し、原状回復を行う。

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
国立研究開発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 主任研究員 研究員 特別研究員	池原 研 板木拓也 西田尚央 宇佐見和子
国立研究開発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 上級主任研究員 主任研究員 研究員 研究員	宍倉正展 藤原 治 澤井祐紀 行谷佑一 松本 弾 谷川晃一朗
国立研究開発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	前杢英明
国立大学法人東京大学大学院理学系研究科	准教授	安藤亮輔
一般財団法人地域地盤環境研究所	主任研究員	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を得た。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：

陸域では前年度までの四国沿岸における掘削調査試料および紀伊半島沿岸と駿河湾奥における既存の掘削試料の解析、さらに駿河湾奥での歴史記録調査と地中レーダー探査から津波浸水や地殻変動の履歴を、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た。

平成 28 年度：

陸域では九州沿岸や南西諸島での掘削調査等とこれまでの掘削調査で得られた試料の分析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：

陸域では九州沿岸や南西諸島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 27 年度業務目的

陸域ではおもに四国沿岸や紀伊半島南部沿岸、駿河湾奥沿岸で採取された地層サンプルについて、年代測定や微化石分析、火山灰分析等を実施し、津波浸水履歴について解明することと駿河湾奥の富士川河口周辺で歴史地震の隆起履歴を解明することを目標とする。また南海トラフ沿い各沿岸および南西諸島沿岸において、津波堆積物および生物遺骸群集や離水海岸地形などの隆起痕跡につ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を識別し、その時空間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 27 年度成果

① 海域での津波履歴調査

(a) 業務の要約

琉球海溝沿いで発生する地震・津波に伴って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～沖縄島沖海域で平成 26 年度に採取された海底堆積物試料の分析と追加の海底堆積物の採取と解析を行った。平成 26 年度に石垣島南方前弧域の海底扇状地上から採取したピストンコア試料について年代測定を行った結果、この扇状地上への浅海性の石灰質生物源粒子からなるタービダイトの堆積間隔はおよそ 400～1000 年間隔であることが見積もられた。これは八重山諸島域の地震・津波の再来間隔を示している可能性がある。八重山～沖縄島沖海域でのより広範囲でのタービダイト記録を得るため海洋研究開発機構の調査船「かいらい」による KR15-18 航海で沖縄石垣島南方前弧域、琉球海溝域、沖縄島東方前弧域で堆積物試料の採取を行った。その結果、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。このうち、八重山前弧海域西方や琉球海溝底では昨年度の琉球海溝底での結果と同様に台湾を給源とするタービダイトの堆積の可能性があり、今後の粒子供給源を特定する研究が重要であることが示された。

(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、平成 26 年度に実施された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採取された海底堆積物コアの年代分析を行った。また、八重山～沖縄島沖海域のより広範囲でのタービダイトの時空間分布を把握するため同機構の調査船「かいらい」の KR15-18 航海を実施し、主に石垣～西表島南方沖海域において海底地形、表層地層構造探査とピストンコア試料の採取を行った。調査航海では、YK15-01 航海の調査海域の西側の前弧域でピストンコア 4 本、琉球海溝底でピストンコア 1 本を採取し、また沖縄島西方前弧域で 1 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コア試料の堆積構造やタービダイトの堆積間隔、堆積過程の比較検討を実施した。

(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に、海底堆積物中の地震・津波起源のタービダイトからこの海域における地震・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。

平成 26 年度に「よこすか」の YK15-01 航海で沖縄八重山沖前弧域の海底扇状地上から採取された 5 本のピストンコア試料 (YK15-01 PC01、PC05、PC06、PC07、PC08 : 図 3-7-①-1) には多数の砂質堆積物の挟在が確認され、下面が明瞭かつ侵食的で、上方へ細粒化する構造などから、混濁流から形成されたタービダイトと解釈された。本年度の採取試料の帯磁率測定結果は、通常の砂質堆積物で帯磁率が高くなるパターン (例えば、Abdeldayem et al., 2004) とは反対に、砂質堆積物層準で帯磁率が明瞭に低くなることを示した (図 3-7-①-2)。これはこれらの砂質堆積物が主に磁化の低い石灰質生物源粒子からなるためと解釈できる。帯磁率がこの海域の浅海からのイベント層の認定に有効であることが確認された。Ujiie et al. (1997) は、これらのタービダイトが過去のこの海域における巨大地震に対応すると考え、およそ 1000 年のタービダイトの堆積間隔は過去の地震の発生間隔を示すと考えた。しかし、昨年度の本受託研究による海底コア採取結果はこの扇状地上で時間とともにタービダイトの堆積中心が移動することが示唆されている。すなわち、一つの海底扇状地上で多数のタービダイトがたまる場所が時間とともに変化しているのである。タービダイトは重力流堆積物で、地形的な凹地に堆積しやすいので、海底扇状地上の微地形の発達度合いによって堆積中心が移動することは容易に考えられる。このため一つの海底扇状地上でより正確なタービダイトの堆積間隔を求めるには、海底扇状地上での採取場所を変えた複数のコアでの解析が必須となる。このためコア深度方向へのタービダイトの挟在状況の異なる 2 本のコア試料 (YK15-01 PC01 及び PC08 : 図 3-7-①-3) について、タービダイト間の通常時の堆積物 (半遠洋性泥) 中に含まれる浮遊性有孔虫を用いた放射性炭素年代測定を実施した (PC01 について 10 層準、PC08 について 15 層準)。半遠洋性泥中には下位の堆積層やタービダイトから生物擾乱によってもたらされた浮遊性有孔虫殻が含まれる恐れがあるため、得られた年代測定結果から年代の逆転しているものを削除し、堆積年代モデルを作成し、これから年代測定層準間の半遠洋性泥の堆積速度が一定でタービダイト堆積時に下位の半遠洋性泥の侵食はないものと仮定して、各タービダイトの堆積年代を求めた (表 3-7-①-1)。タービダイトの間隔は大きくばらつくものの、1 本のタービダイトがすべての地震・津波を記録していない可能性が高いこと (池原, 2001

など)を踏まえれば、ここでのタービダイトの堆積間隔はおよそ400~1000年程度と推定される。これは Araoka et al. (2013) による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に基づく八重山地方における津波の再来間隔である150~400年よりも長い。しかし、石垣島の遡上型津波堆積物の堆積間隔の検討が別途進められており、これら陸上のデータと海域のデータを統合的に解釈することを今後、進められねばならない。

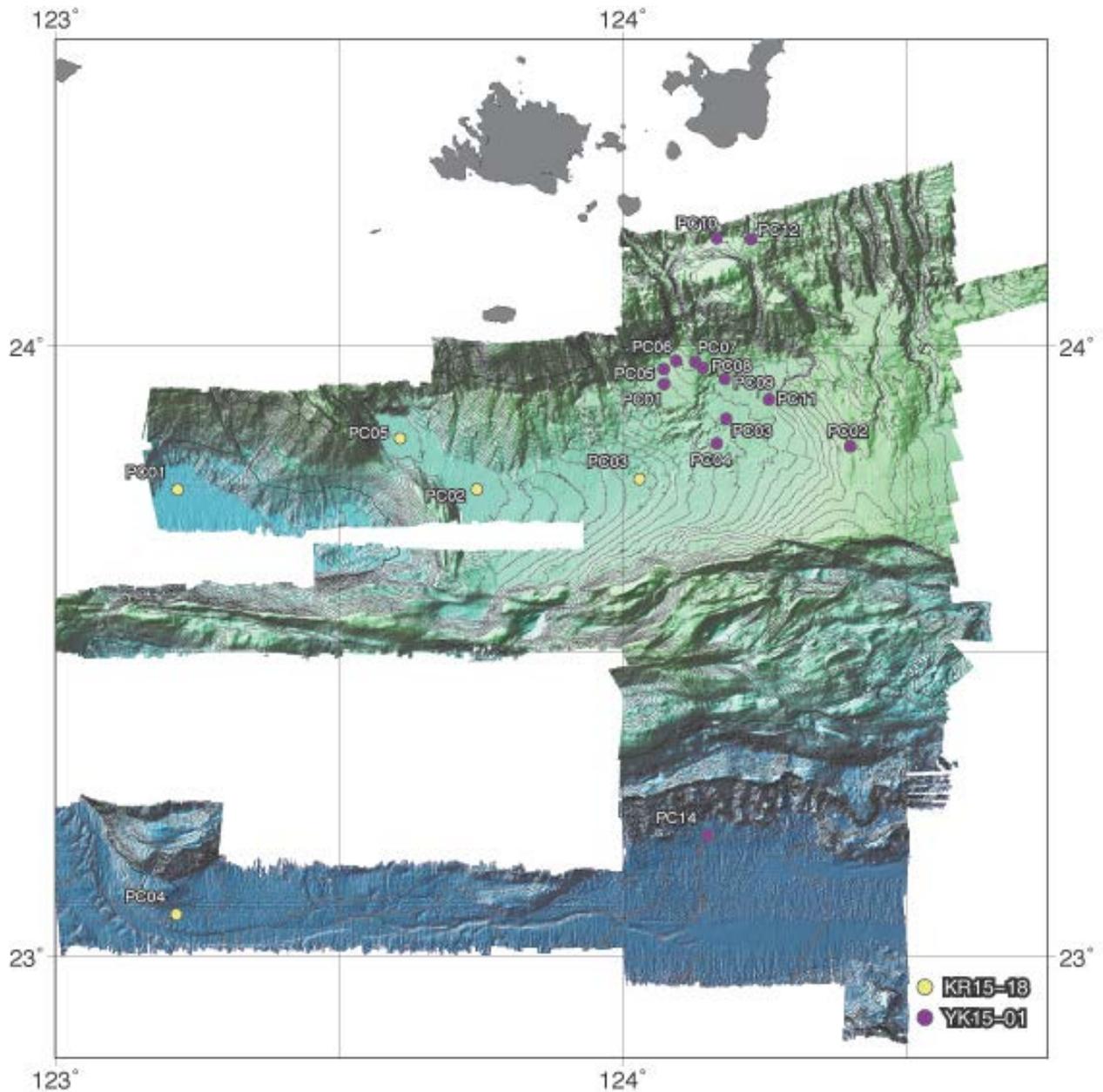


図3-7-①-1 「よこすか」YK15-01航海及び「かいいい」KR15-18航海による八重山前弧域で得られた海底地形と両航海での採泥点位置

紫の丸がYK15-01航海、黄色の丸がKR15-18航海でのピストンコアラーによる採泥点。

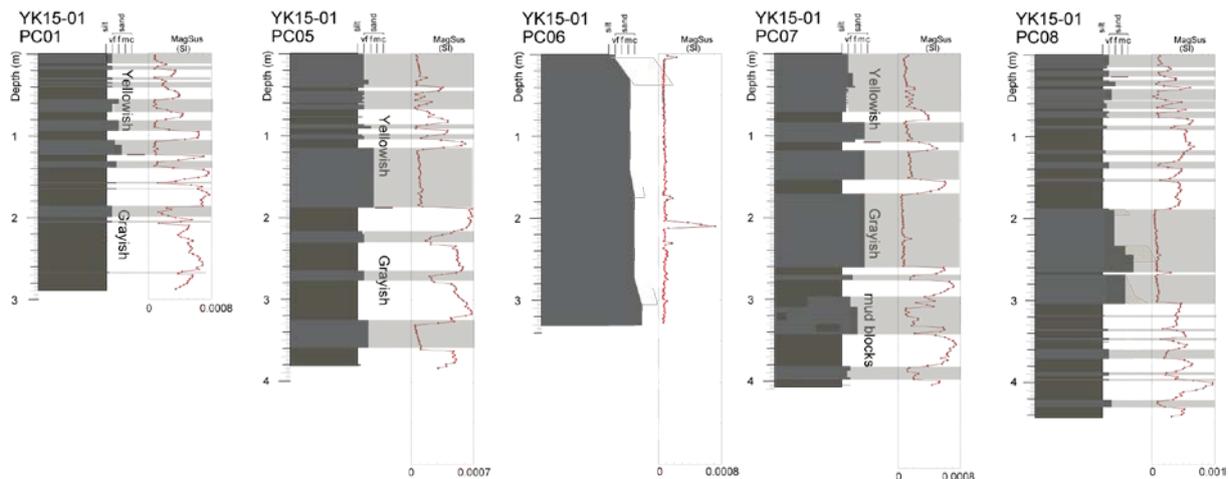


図 3-7-①-2 「よこすか」 YK15-01 航海で八重山沖前弧域の海底扇状地上から採取されたコアの岩相と帯磁率プロファイル

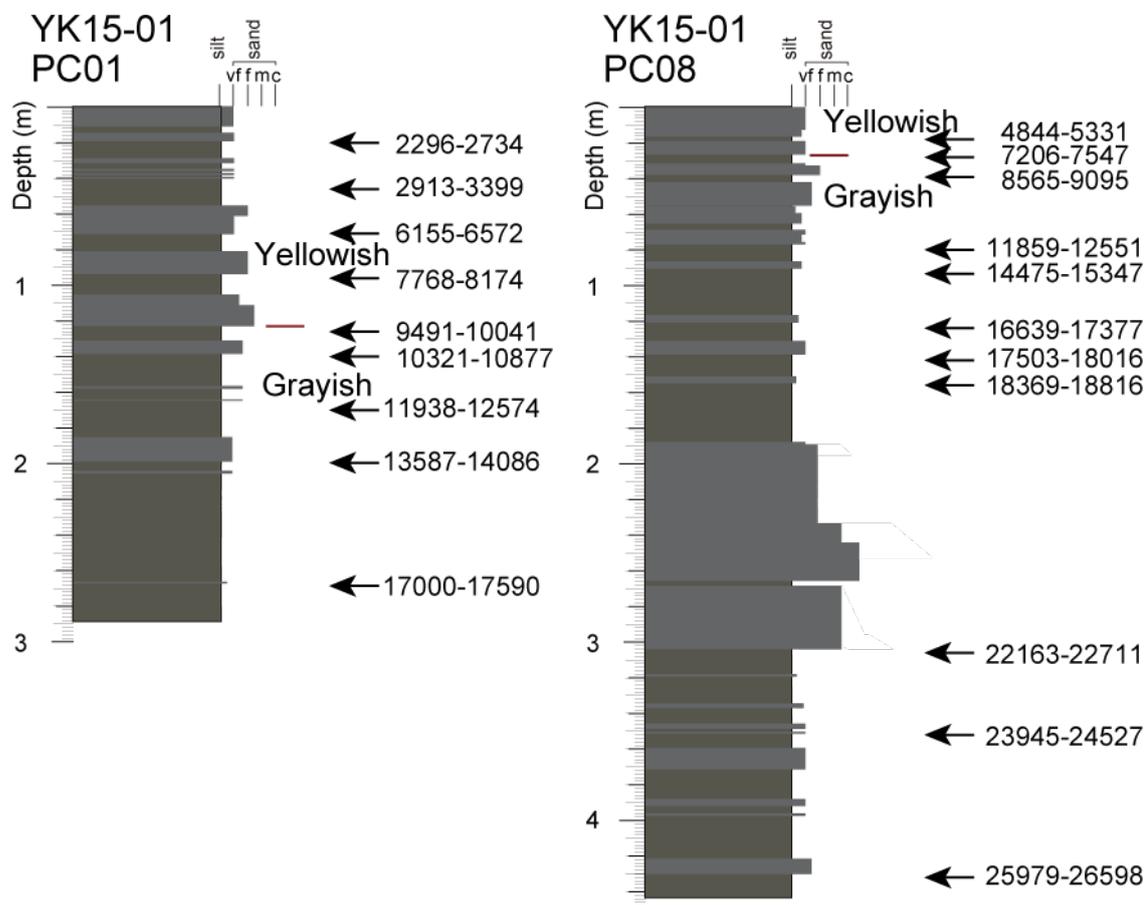


図 3-7-①-3 「よこすか」 YK15-01 航海で八重山沖前弧域の海底扇状地上から採取された 2 本のコア (YK15-01 PC01 と PC08) の岩相と年代測定結果

表 3-7-①-1 コア YK15-01 PC01 と PC08 のタービダイトの堆積年代と堆積間隔

Core	Turbidite No.	Depositional Age (median probability) cal. BP	Interval	Core	Turbidite No.	Depositional Age (median probability) cal. BP	Interval
YK15-01	PC01-T1	0		YK15-01	PC08-T1	0	
PC01	PC01-T2	1678	1678	PC08	PC08-T2	6015	6015
	PC01-T3	2745	1067		PC08-T3	8516	2501
	PC01-T4	2867	122		PC08-T4	9803	1287
	PC01-T5	2913	46		PC08-T5	11086	1283
	PC01-T6	2958	45		PC08-T6	11567	481
	PC01-T7	5732	2774		PC08-T7	14392	2825
	PC01-T8	7700	1968		PC08-T8	16866	2474
	PC01-T9	9419	1719		PC08-T9	17634	768
	PC01-T10	10383	964		PC08-T10	18470	836
	PC01-T11	11599	1216		PC08-T11	21958	3488
	PC01-T12	11963	364		PC08-T12	22224	266
	PC01-T13	13709	1746		PC08-T13	22985	761
	PC01-T14	14052	343		PC08-T14	23670	685
	PC01-T15	17199	3147		PC08-T15	24082	412
					PC08-T16	24160	78
					PC08-T17	24490	330
					PC08-T18	25119	629
					PC08-T19	25172	53
					PC08-T20	26187	1015

一方、八重山前弧域には明瞭な前弧海盆が発達しており、重力的に流れ下る混濁流の末端相が海盆を埋積している可能性がある。末端相は一般に細粒であり、下位の堆積層を侵食する程度が小さいと考えられるので、タービダイトの堆積年代を推定する上で好ましい試料が得られることが期待される（池原，2015）。このため、平成 27 年度は海洋研究開発機構の「かいいい」の KR15-18 航海において八重山沖前弧海盆域から 4 本、八重山沖琉球海溝底から 1 本、沖縄島東方の前弧海盆から 1 本のピストンコアを採取した（図 3-7-①-1 と表 3-7-①-2）。得られたコア試料の岩相は図 3-7-①-4 にまとめた。

表 3-7-①-2 KR15-18 航海におけるピストンコア採取地点の位置と水深

Cruise	Core	Latitude	Longitude	Water Depth (m)
KR15-18	PC01	23 45.97	123 12.96	4577
	PC02	23 46.00	123 44.62	3476
	PC03	23 47.01	124 1.81	3181
	PC04	23 4.19	123 12.83	6147
	PC05	23 51.01	123 36.48	3510
	PC06	26 13.00	128 36.00	2631

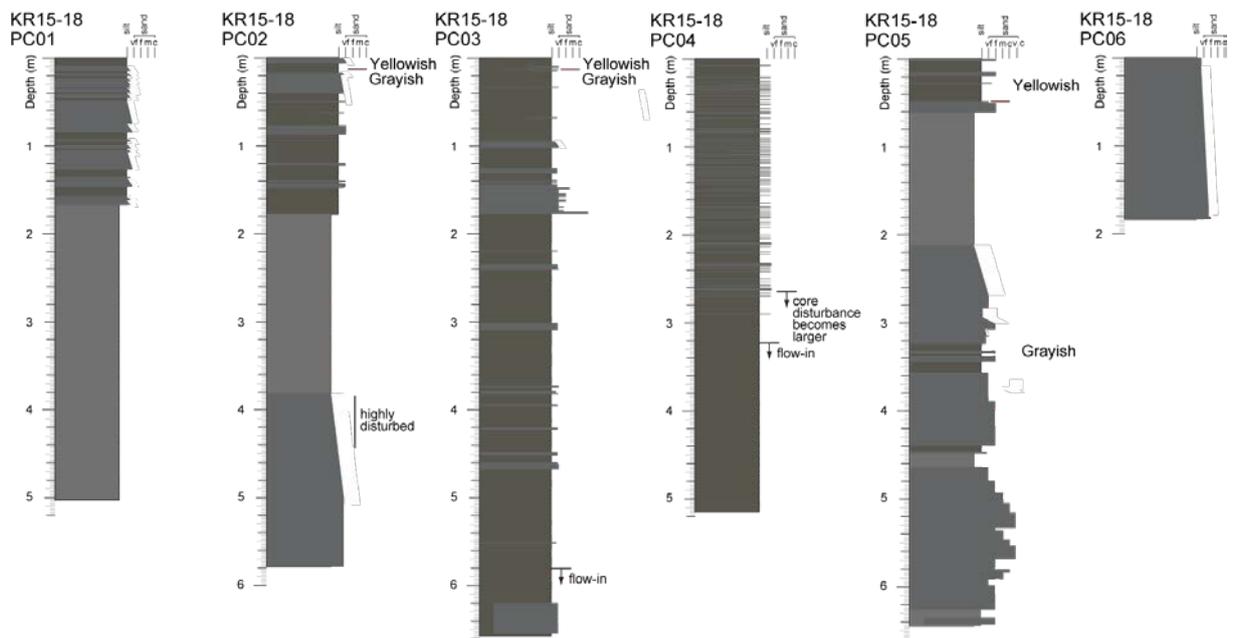


図 3-7-①-4 KR15-18 航海で採取されたピストンコア試料
 コア試料の採取位置は、図 3-7-①-1、表 3-7-①-2 を参照。

西表島南西沖に北北西-南南東方向に伸びる高まりを隔てて隣接する 2 つの前弧海盆から採取されたコア試料はそれぞれ特徴的な岩相を示す。西側のより水深の深い前弧海盆から採取されたコア (KR15-18 PC01) は灰色の粗粒シルトが基底の侵食面上に存在し、上位に向かって細粒化して塊状の粘土に移行する細粒タービダイト層が生物擾乱を受けたシルト質粘土層中に多数挟在する層相を示す。コアの深度 167cm 以深はすべて灰色の塊状の粘土からなる。この厚い塊状の粘土は上位の粗粒シルトから連続する塊状の粘土と特徴が似ることから、この厚い塊状の粘土の下位には粗粒層が存在する可能性が高い。採泥点を横切る表層地層探査記録では厚い透明層の累重が確認でき、これらの透明層は厚い塊状の粘土層に対応するものと推定される。すなわち、この海盆は厚い塊状の粘土を持つ細粒タービダイトで埋積されていると考えられる。この海盆は地形的には台湾側から徐々に深くなる末端の最深部となっているので、これらの細粒タービダイトの起源は台湾側にあると推定される。これに対して、この海盆から高まりを隔てて東に位置する海盆はやや異なる岩相の堆積物が採取されている。高まりを隔ててすぐの海盆底から採取されたコア (KR15-18 PC02) では、コア上部の深度約 180cm までは石灰質生物源粒子を含む極細粒砂から粗粒シルトの粗粒層が生物擾乱を持つシルトの間に挟在する層相を示し、粗粒層の基底面が明瞭で侵食的であり、上方に細粒化する構造を持つことなどからタービダイトと判断される。それより下位は最下部の極細粒砂から始まって上部に細粒化し、塊状の粘土に移行する厚さ 4m 以上の細粒タービダイトの層相を示す。この下部の細粒タービダイトは西側の海盆の細粒タービダイトと岩相が類似するので、西側から海底の高まりを乗り越えて東側の海盆に堆積したものの可能性が高い。さらに東側の海盆の東の縁から採取されたコア (KR15-18 PC03) ではコア KR15-18 PC02 の上部を構成する石灰質生物源粒子を含む極細粒砂から粗粒シルトが生物擾乱を受けたシルト中に挟在する層相を示す。このことは、コ

ア KR15-18 PC02 上部の石灰質粒子を含むタービダイトは東側から供給された可能性を示唆する。これに対してこの海盆の北西側の最深部から採取されたコア (KR15-18 PC05) は上部の約 60cm までは石灰質生物源粒子を含む極細粒砂層が生物擾乱を受けたシルト中に挟在する層相を示し、その下位に極細粒砂から始まって上方に塊状の粘土に移行する細粒タービダイトが存在するところまではコア KR15-18 PC02 と同様の層序を示す。しかしコア深度約 285cm 以下ではサンゴ片などの石灰質生物源粒子の細粒～極粗粒砂からなる層が厚く挟在し、これらの一部は上方に粗粒化したり、固まり状の構造が不明瞭ながら認められる。これらのことはこれらの粗粒層が混濁流よりも密度の高い重力流として流下したことを示唆する。この地点の北側は八重山諸島の浅海につながる急斜面となっており、浅海域から生物源粒子が供給された可能性もある。今後、これらの粗粒粒子の構成物を検討することで、その給源水深や場所を特定することが重要である。

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., 2015 など)。Nakamura (2009) は 1771 年明和津波の波源として琉球海溝下部斜面域を考慮しており、これが正しければその痕跡が海溝下部斜面から海溝底に海底地すべりやその堆積物として残っている可能性がある。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。平成 26 年度の 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) を得ているが、これが琉球海溝底の堆積物を代表するものかは不明のままである。「かいいい」の KR15-18 航海では、コア YK15-01 PC14 の採取地点より西側の海溝底でコア採取を行った (KR15-18 PC04)。採取地点は海溝底に認められる海底谷の作る自然堤防の外側にあたる。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 3-7-①-4)。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、コア YK15-01 PC14 のタービダイトに似た特徴を持つ。海底谷から溢れ出た混濁流が形成した堆積層と考えられる。海底谷の上流は台湾沖に続くので、粒子の供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。

沖縄島東方前弧域から採取されたコア (KR15-18 PC06 : 図 3-7-①-4) の最下部 (コアキャッチャー) は貝殻片混じりの細粒砂から始まり、上方に細粒化する構造を持ち、1 枚のタービダイトと考えられるが、通常時の堆積物が確認されていないため、このコアからイベントの発生時期を特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、平成 26 年度に「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挟在する多数の地震性と考えられるタービダイトの堆積間隔は 400～1000 年程度であることがわかった。また、海底扇状地上でタービダイトの堆積中心が時間とともに変化したことも確認できた。このことは一つの海底扇状地から 1 本のコアの解析のみではその場所のタービダイトの堆積間隔を正確に見積もれないことを意味している。一方、得られた間隔は石垣島などの沿岸に存在する津波石の形成年代から見

積もられている津波の再来間隔（150～400年：Araoka et al., 2013）よりも有意に長い。タービダイトを堆積させる地震・津波イベントと津波石を形成する津波イベントが同じ規模や特徴でない可能性もあるので、両者の比較検討が必要である。しかし、今回タービダイトの堆積間隔を得たピストンコア試料では試料採取時に堆積物の最表層部を吹き飛ばして、Araoka et al.（2013）により検討された若い時代の記録を正確に残していない恐れがある。津波石記録とタービダイト記録の正確な比較には、同じ海底扇状地から採取された非擾乱の表層堆積物コアの分析が重要である。特に、1771年明和津波に対応するタービダイトの有無の確認が必要である。今後、YK15-01 航海で採取されたマルチプルコアラ試料の年代決定を行うことで比較が可能になると期待される。また、「かいいい」のKR15-18 航海では西表島南西方から宮古島南方までの海域での調査を予定していたが、海況の悪化により石垣島～宮古島南方前弧域の調査ができなかった。現在、タービダイトの堆積間隔のデータが得られているのは石垣島と西表島間の前弧域の一つの海底谷-海底扇状地のみであり、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。そして、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。

(e) 引用文献

- Abdeldayem, A.L., K. Ikehara and T. Yamazaki, Flow path of the 1993 Hokkaido-Nansei-oki earthquake seismurbidite, southern margin of the Japan sea north basin, inferred from anisotropy of magnetic susceptibility, *Geophysical Journal International*, **157**, 15-24, 2004.
- 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., 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.
- 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*, **110**, 471-478, 2001.
- 池原 研, ターミナル小海盆: タービダイト古地震学の一つのターゲット, *第四紀研究*, **54**, 345-358, 2015.
- 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**, 120-127, 2014.
- Nakamura, M., Fault model of the 1771 Yaeyama earthquake along the Eyukyu Trench estimated from the devastating tsunami, *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L19307, 2009.
- Patton, J.R., C. Goldfinger, A.E. Morey, K. Ikehara, C. Romos, J. Stoner, Y. Djadjadihardja, Udrek, S. Ardhyastuti, E.Z. Gaffar and A. Viscaino, A 6500 year earthquake history in the region of the 2004 Sumatra-Andaman subduction zone earthquake, *Geosphere*, **11**, 2067-2129, 2015.
- 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.

②陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析 (四国沿岸)

(a) 業務の要約

陸域津波履歴調査では高知県東洋町・南国市・四万十町・黒潮町において、ボーリングおよびジオスライサーにより採取した堆積物の年代測定や微化石分析を実施した。また徳島県阿南市伊島において採取された既存の柱状堆積物試料について検討した

南国市では約 4900~2300 年前に堆積した明瞭な 4 層のイベント砂層が確認され、約 2300~900 年前にはイベント砂層は見られない。これらのイベント砂層には海棲の微化石がほとんど含まれていないが、調査地点の環境を考慮すると洪水によりイベント砂層が堆積した可能性は低く、その成因は津波や高潮などの海からの遡上流の可能性が高いと考えられる。東洋町・南国市・四万十町・黒潮町での年代測定により、それぞれの地点でのイベント砂層の堆積年代が明らかになりつつあるが、地域間で明確に対比できるイベントは現時点では見つかっていない。

阿南市伊島では 3200 年前から 1800 年前の間に約 75 cm/1000 年の速さで堆積していることが明らかになった。

(b) 業務の実施方法

平成 25 年度および 26 年度に高知県東洋町・南国市・四万十町・黒潮町の海岸低地でボーリングおよびジオスライサーを用いた掘削調査を実施した（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。本年度はこれらの掘削調査により採取した堆積物試料の層相の観察、放射性炭素年代測定、珪藻化石および有孔虫化石の分析を実施し、堆積年代や過去の堆積環境、イベント堆積物の給源の推定を行った。

徳島県阿南市では、宍倉・他（2011）によって伊島地域の湿原堆積物が検討されており（図 3-7-②-1）、それによれば厚さ 3 m の泥炭層の中に 6~7 層の薄い砂層（あるいは礫層）が認められている。これらのイベント砂礫層の年代を決定するため、放射性炭素年代測定を行った。



図 3-7-②-1 陸域津波履歴調査地域（四国沿岸）。国土地理院地図を使用。

(c) 業務の成果

東洋町生見では、平成 26 年度に海岸から約 300m 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~粘土層および泥炭層からなり、それより下位は基盤の砂礫層となる。

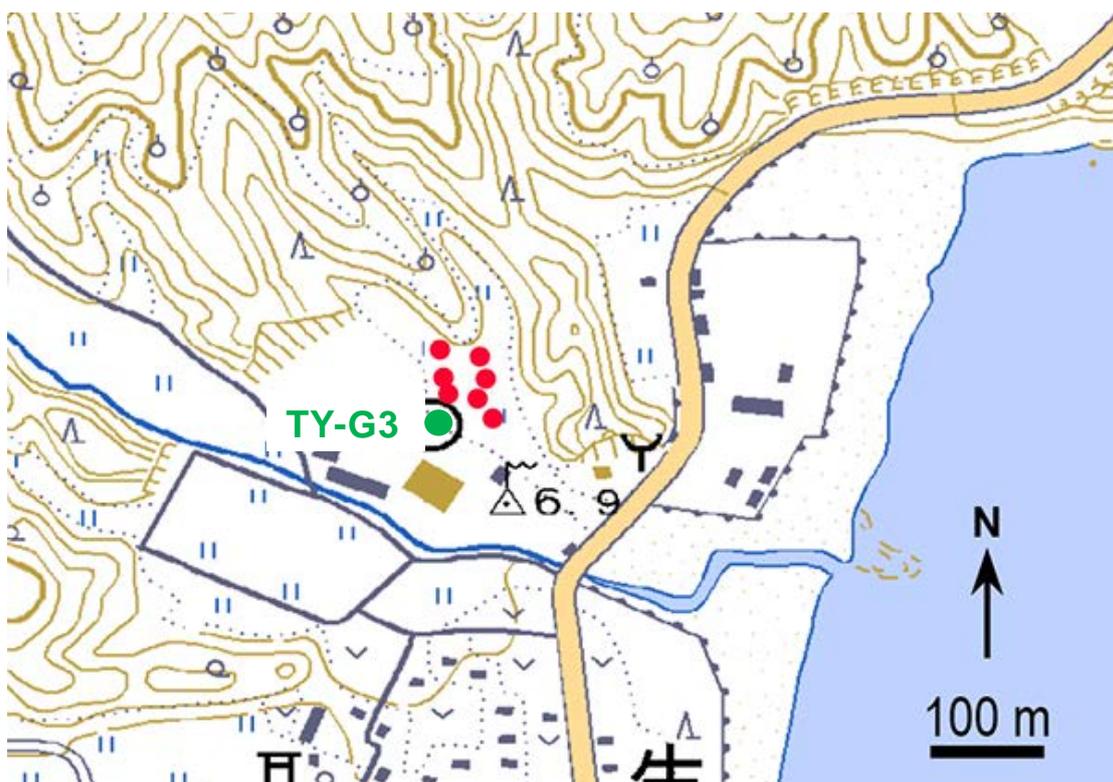


図 3-7-②-2 東洋町生見の掘削地点。国土地理院 1:25,000 地形図「甲浦」を使用。

本年度はジオスライサーTY-G3（図 2）の堆積物の層相観察と年代測定を実施した。TY-G3 の地質は深さ約 4.2 m まで主にシルトおよび粘土層からなる（図 3-7-②-3）。深さ 1.5 m 以深は暗褐色の有機質粘土層と灰色の粘土層の互層となり、両者の地層境界は明瞭である。採取された堆積物の上端および下端の種と葉の放射性炭素年代測定より、これらの地層は約 340～7160 年前までの 6820 年間に堆積したと推定される。このシルト～粘土層中には 6 つのイベント砂が層状およびパッチ状に挟在する。最も上位のイベント砂層は石英を含む中粒砂を主体とし、層厚は約 50 cm で非常に厚い。また、下位の有機質粘土層との境界は明瞭な浸食面でマッドクラストを含む（図 3）。それ以外の下位の 5 つのイベント砂は石英をほとんど含まず灰色がかった黄土色を呈しており、最上位の砂層と層相が異なる。最上位のイベント砂層は、砂層の直上および直下から採取した種の放射性炭素年代測定より約 680～2730 年前に堆積したとみられる。この 2 つの年代値は隔たりが大きいので、イベント砂層が下位の有機質粘土層を侵食して堆積したことが示唆されるが、他地点の同層準の試料の年代測定などを行いさらに検討を進める必要がある。

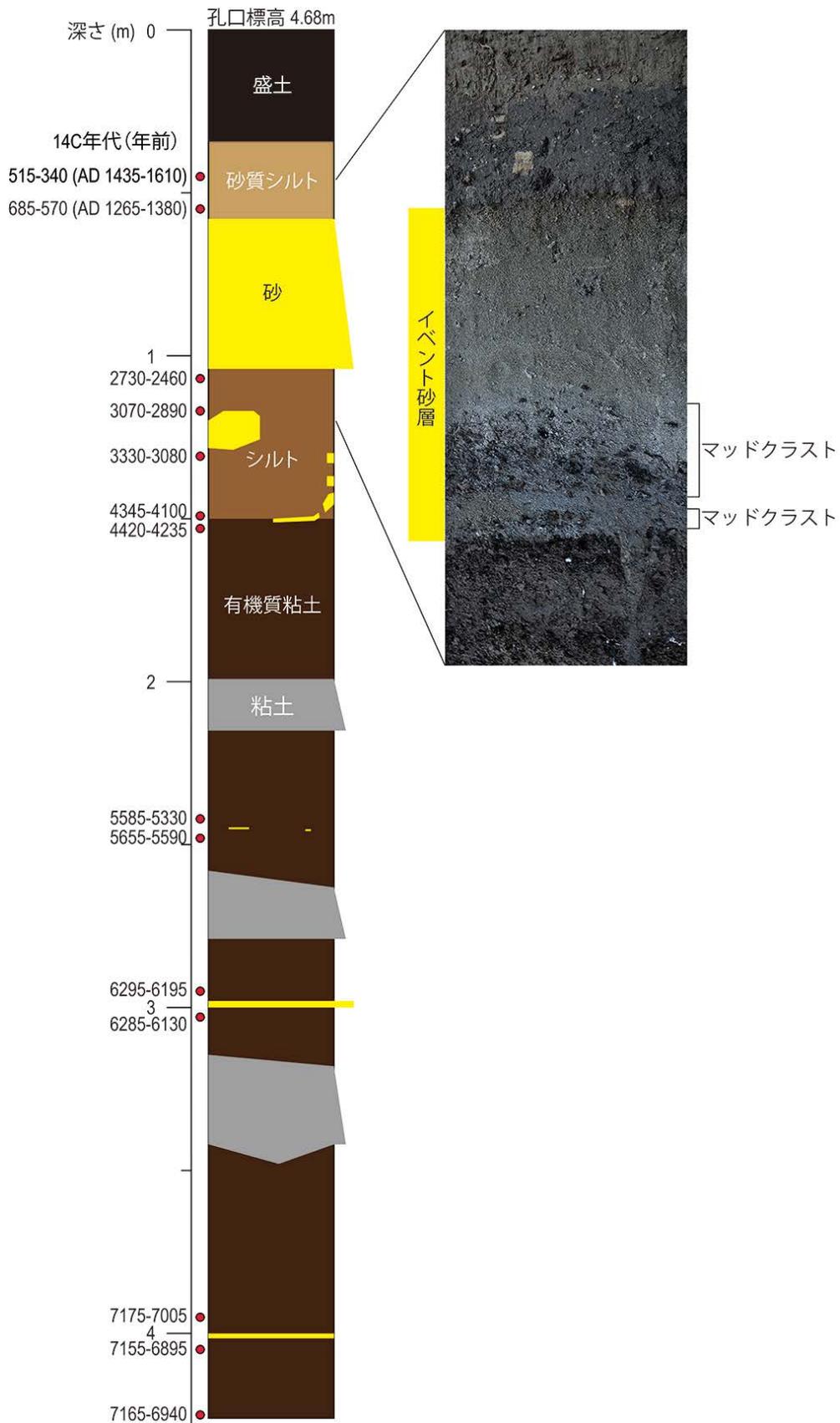


図 3 - 7 - ② - 3 TY-G3 の柱状図と放射性炭素年代、最上位のイベント砂層の写真

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 (図 3-7-②-4)。本年度は昨年度に引き続き、ボーリングコアの層相観察や放射性炭素年代測定、珪藻化石および有孔虫化石の分析を行った。

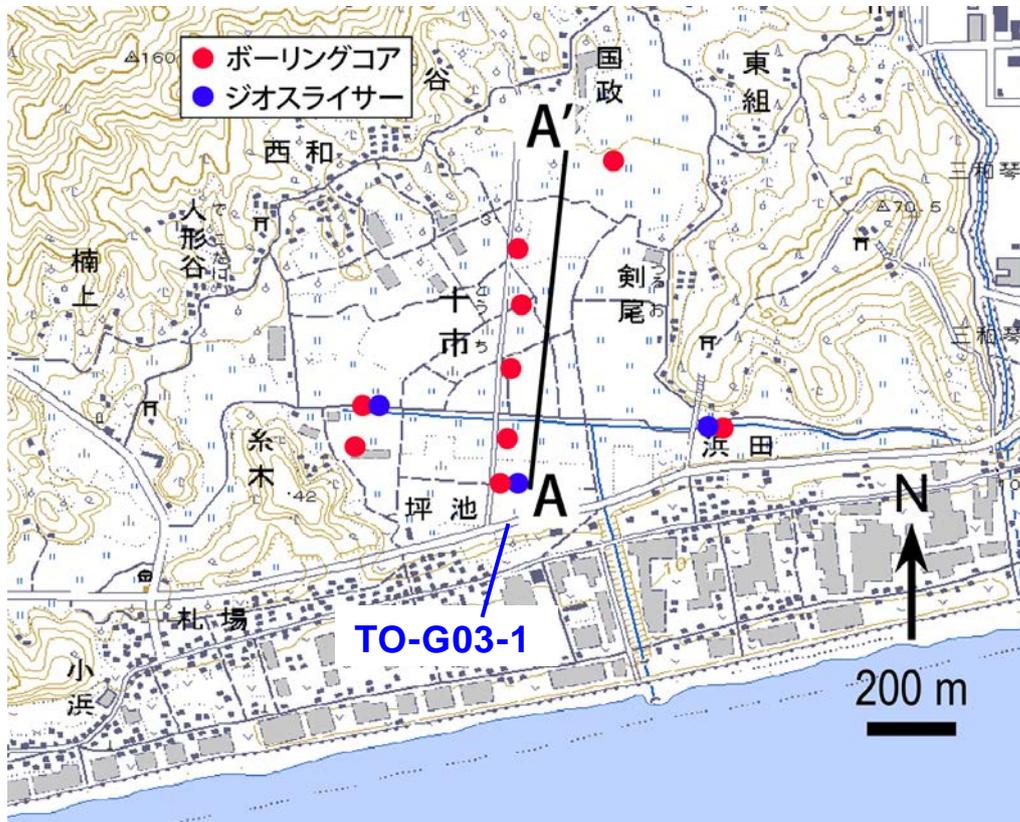


図 3-7-②-4 南国市十市の掘削地点。国土地理院 1:25,000 地形図「後免」を使用。

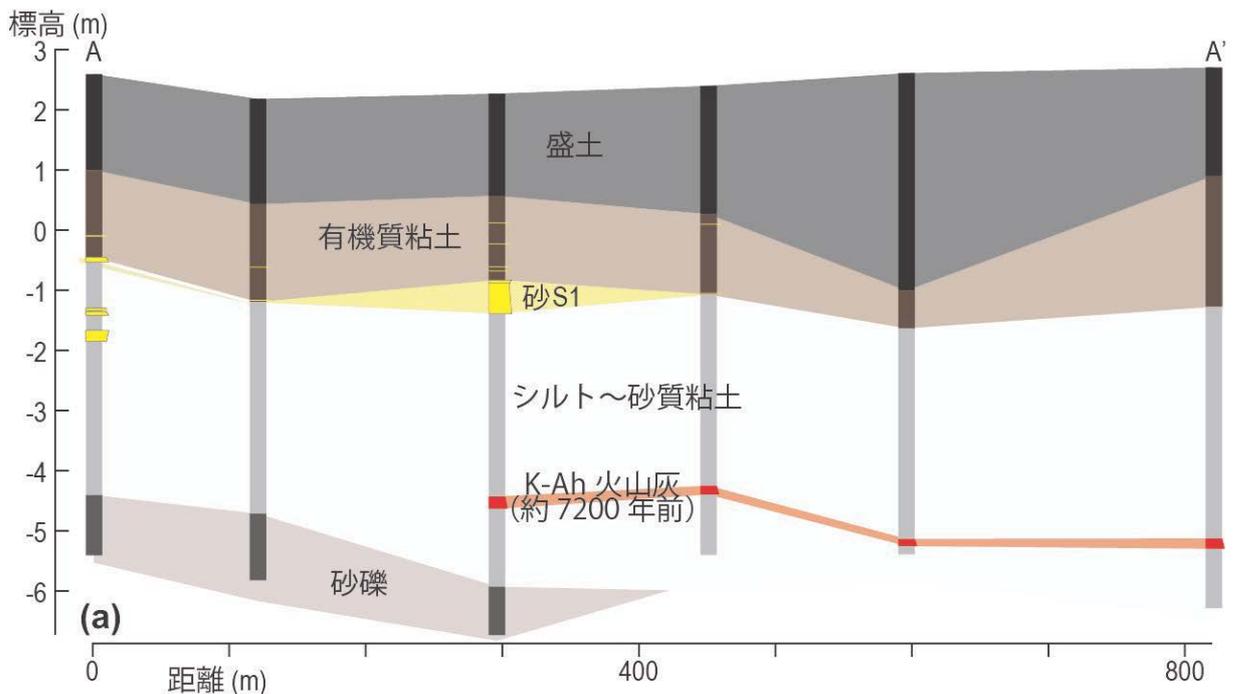


図 3-7-②-5 ボーリングコアに基づく A-A' 測線の地質断面図。

低地地下の地質は主に標高約 1 ~ -1 m に分布する有機質粘土層、標高約 -1 ~ -6 m に分布するシルト～砂質粘土層、標高約 -4.5m 以深に分布する砂礫層からなる（図 3-7-②-5）。標高約 -4~-5m には約 7200 年前に降下した鬼界アカホヤ火山灰がみられる。有機質粘土層中には最大 4 層のイベント砂層が挟在する。有機質粘土層と砂質粘土層の境界は比較的明瞭で海側の地点では境界部にイベント砂層 S1 をともなう。S1 は最も海側の地点から約 400m 内陸まで連続して堆積しているとみられる。最も海側のジオスライサー TO-G03-1 では、有機質粘土層とシルト質粘土層の境界に厚さ約 10 cm のイベント砂層 S1 が見られる（図 3-7-②-6）。S1 は細礫を含む中粒～粗粒砂を主体とし、下位の砂質粘土層とは明瞭な地層境界で接する。放射性炭素年代測定から S1 の堆積年代は約 4800~5600 年前と推定される。また、約 900~2300 年前の地層中には明瞭なイベント砂層が見られない。

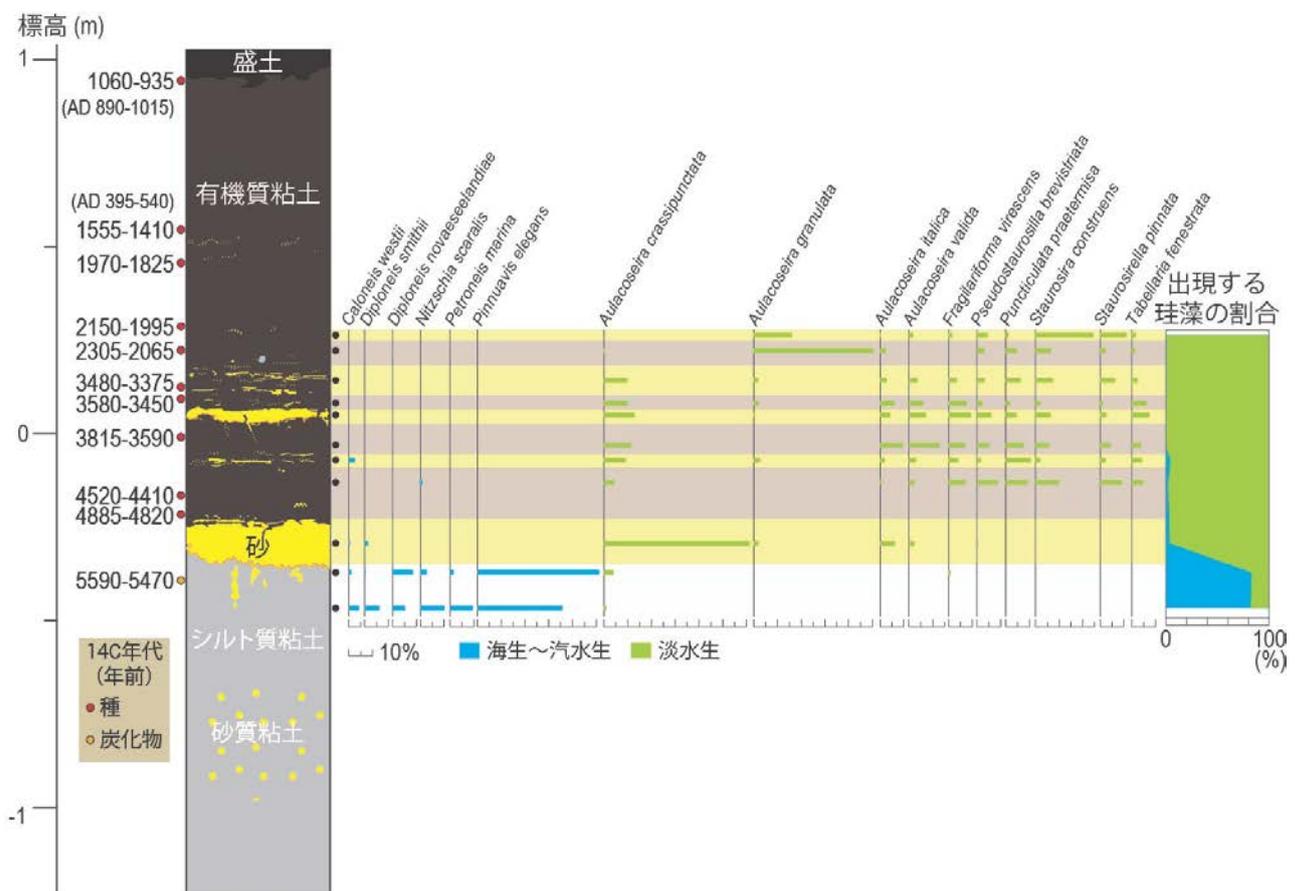


図 3-7-②-6 TO-G03-1 の柱状図および放射性炭素年代、珪藻化石群集

TO-G03-1 の標高約 +0.5~-0.5 m にかけての 11 層準で珪藻化石分析を行った（図 3-7-②-6）。産出した珪藻化石群集から、上位の有機質粘土層は淡水環境で、下位の砂質粘土層は海水～汽水環境で堆積したと考えられる。有機質粘土層中では湖沼で一般的にみられる淡水生珪藻が優先することから、湿地や沼地などの環境が約 2900 年間継続していたと考えられる。このことは、ヒシの実が多く含まれていることから支持される。イベント砂層の有孔虫分析も実施したが、全ての試料で有孔虫は検出されな

った。有機質粘土層中にはイベント砂が数枚挟在するが（明瞭な層として認識できるものは4層）、イベント砂層中にも有機質粘土層と同様に淡水性珪藻がほぼ100%を占め、構成種もS1を除きほとんど変化しない。

本低地には小規模な河川しか存在せず、周囲を丘陵に囲まれた閉鎖環境であることから、イベント砂層は海からの遡上流により堆積した可能性がより高いと考えられる。しかし、S1も含めイベント砂層中には海～汽水生珪藻がほとんど含まれないことから、これらのイベント砂層が洪水によりもたらされた可能性も否定できない。なお、東北地方太平洋沖地震の津波堆積物中に海生珪藻がほとんど含まれないという報告もあり（Szczuciński et al., 2012; Takashimizu et al., 2012）、イベント砂層に海～汽水生珪藻が含まれないことはイベント砂層が海から運ばれた可能性を否定するものではない。仮にこれらのイベント砂層が海から運ばれたものと仮定した場合、その成因には津波と高潮の2つの可能性がある。高潮堆積物の遡上範囲は一般的に津波堆積物より狭く、その多くが海岸から数百メートルの範囲であることが知られている。本低地のある程度広い範囲で確認されるS1は、低地内に約400m連続して、現海岸線から内陸約1kmの地点まで分布する。しかし、S1は海～汽水成粘土層を覆って堆積しており、S1堆積時にTO-G03-1の採取地点より内陸に海岸線が位置していた可能性もある。よって、S1が津波堆積物であると特定することはできない。他のイベント砂層は分布範囲がS1よりも狭く、S1と同様に分布範囲から成因を特定することは困難である。

四万十町興津では平成26年度に標高1～1.5m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20mまで掘削を行った（図3-7-②-7）。本低地は南北を海に囲まれ、掘削地点から約1.3km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13～17m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。



図 3-7-②-7 四万十町興津の掘削地点。国土地理院 1:25,000 地形図「窪川・興津浦」を使用。

本年度はジオスライサーSM-G1 (図 3-7-②-7) の堆積物の層相観察と年代測定を実施した。SM-G1 の堆積物は深さ 4 m まで主にシルトおよび粘土層からなる (図 3-7-②-8)。深さ約 2 m 以深の粘土層中には多くの貝化石がみられ、この粘土層が海水の影響下で堆積したと考えられる。採取された堆積物の上端および下端の種の放射性炭素年代測定より、これらの地層は約 300~1900 年前までの 1600 年間に堆積したと推測される。この粘土層中には 2 層のイベント砂層が挟在する。上位のイベント砂層は石英を含む中粒~粗粒砂を主体とし、層厚は約 40cm で非常に厚い。下位のイベント砂層は石英を含む細粒~中粒砂からなり、層厚は約 1 cm と薄い。両イベント砂層の間はシルト質細粒砂層、有機質シルト層、粘土層により構成される。有機質シルト層中には細粒砂の薄層が多く見られ、全体的に斜交層理が発達する。上位の砂層の直上および下位の砂層の直下の葉の放射性炭素年代測定からこれら 2 つのイベント砂層は約 1400~1550 年前に堆積したと考えられる。得られた 2 つの年代値が同じ値を示すことや両砂層間の層相から、これらのイベント砂層は一連のイベントにより堆積した可能性もある。

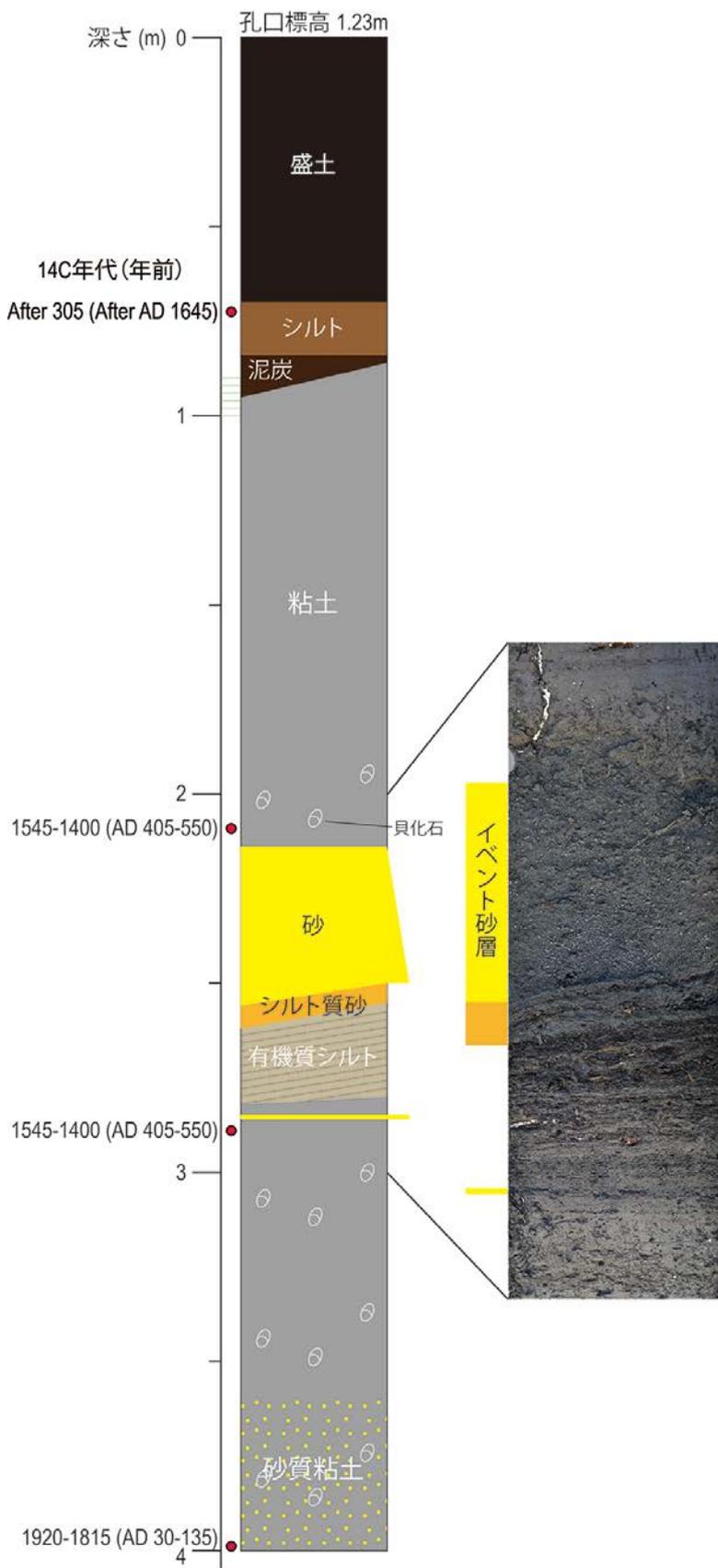


図 3 - 7 - ② - 8 SM-G1 の柱状図および放射性炭素年代、イベント砂層の写真

黒潮町では平成 26 年度に海岸から約 500m 内陸（入野）と約 1.8km 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 3-7-②-9）。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。



図 3-7-②-9 黒潮町入野と下田の口の掘削地点。国土地理院 1:25,000「土佐佐賀、蕨岡」を使用。

本年度は下田の口の低地で掘削したジオスライサーKS-G1（図 3-7-②-9）の堆積物の層相観察と年代測定を実施した。KS-G1 の堆積物は深さ約 3 m まで主にシルトおよび固くしまった粘土層からなる（図 3-7-②-10）。これらのシルト～粘土層中には 3 層のイベント砂層が挟在する。最上位のイベント砂層は細粒砂を主体とし、厚さは約 10cm である。上下のシルトおよび粘土層と色合いが変わらないため見分けがつきにくい、下限は明瞭な地層境界である。砂層の直上および直下の種の放射性炭素年代測定から、この砂層の堆積年代は約 300 年前以降とみられる。最上位のイベント砂層は盛土に非常に近く、砂層から砂層の下位の粘土層にかけて根痕が見られる。また、得られた年代値も若い。そのため、盛土される以前の耕作など人為的擾乱の影響も考慮する必要があり、このイベント砂層が自然に堆積したものであるかどうかは現時点では不明である。下位の 2 層のイベント砂層も細粒砂を主体とし、約 1350 年前以前に堆積したとみられ

る。

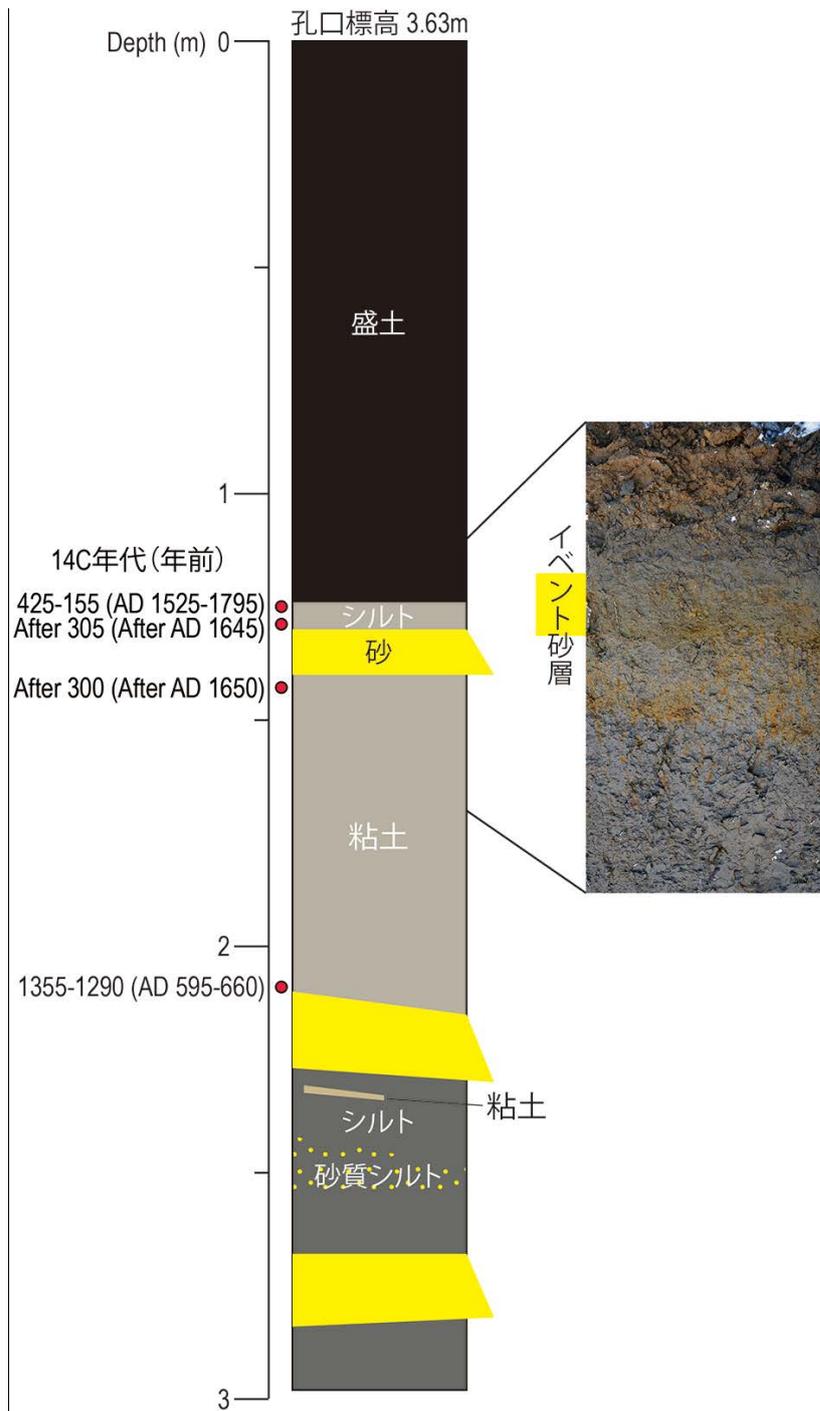


図 3 - 7 - ② - 10 KS-G1 の柱状図および放射性炭素年代値、イベント砂層の写真

徳島県阿南市伊島において採取された既存の柱状堆積物試料について放射性炭素年代測定を行った結果、3200 年前から 1800 年前の間に約 75 cm/1000 年の速さで堆積していることが明らかになった (図 3 - 7 - ② - 11、12、13)。



図 3 - 7 - ② - 11. 徳島県阿南市伊島における調査地点（宍倉・他 2011 より）。国土地理院 1:25,000 地形図「伊島」使用。

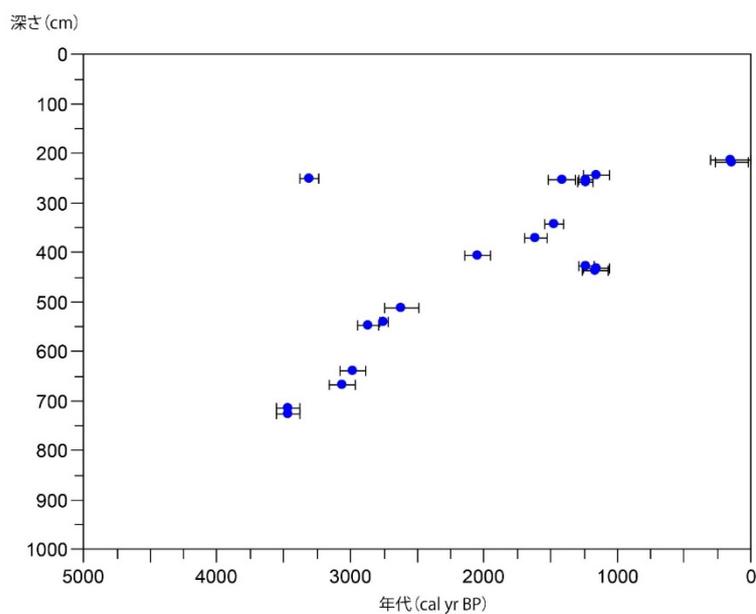


図 3 - 7 - ② - 12. 伊島で得られた放射性炭素年代測定結果その 1。横軸が放射性炭素年代測定値 (cal yr BP) で縦軸は年代が得られた深さ (cm)。

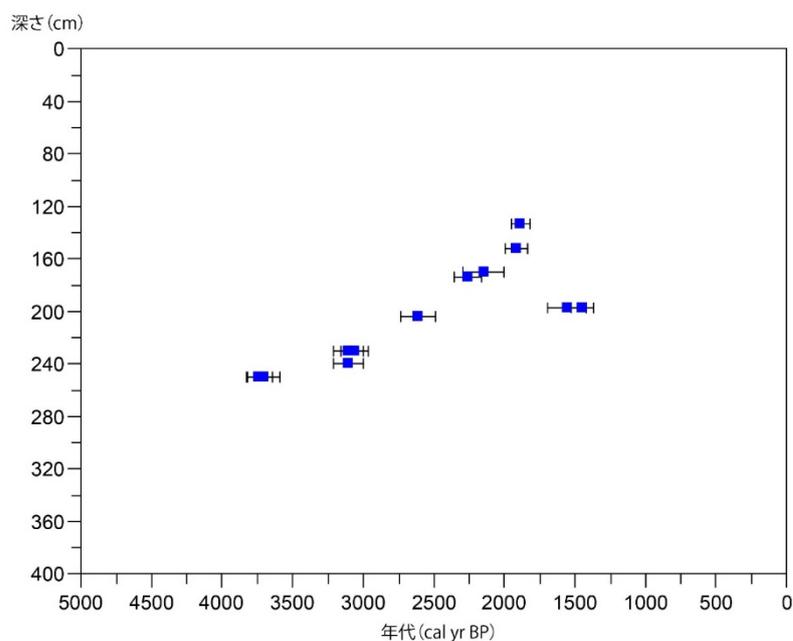


図3-7-②-13. 伊島で得られた放射性炭素年代測定結果その2。横軸は放射性炭素年代測定値 (cal yr BP)。縦軸は年代が得られた深さ (cm)。

(d) 結論ならびに今後の課題

高知県東洋町・南国市・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。本年度は、東洋町・四万十町・黒潮町で採取した試料の放射性炭素年代測定、南国市で採取した試料の放射性炭素年代測定および珪藻化石と有孔虫化石の分析を行った。

各地域で得られた放射性炭素年代からイベント砂層の堆積年代を推定したが、地域間で明確に対応すると考えられるイベントは現時点では見つかっていない。今後はさらに年代測定を進め、すべてのイベント堆積物の堆積年代を明らかにするとともに、微化石分析を実施しイベント砂層の成因を明らかにする必要がある。

高知県南国市で採取したジオスライサー試料の放射性炭素年代測定および珪藻化石分析から、上位の有機質粘土層は約4900～900年前に淡水環境で堆積し、下位のシルト～砂質粘土層は約5600年前以前に海～汽水環境で堆積したことが明らかになった。有機質粘土層中に挟在するイベント砂層に含まれる珪藻は、有機質粘土層と同様にほぼ全てを淡水生珪藻が占める。また、有孔虫化石も含まれていないことから、イベント砂層から海棲の微化石はほとんど産出しない。しかし、本低地には大きな河川がないため、洪水によりイベント砂層が堆積する可能性は低く、津波や高潮などの海からの遡上流によりイベント砂層が堆積した可能性が高いとみられる。イベント砂層 S1 の分布する最も内陸の地点は現海岸線から約1 km 内陸に位置するが、S1 の堆積時に当時の海岸線が現在よりも内陸に位置していた可能性があるため、堆積物の分布範囲から S1 の成因を特定することはできない。今後はさらに放射性炭素年代測定および珪藻化石分析を密に行い、S1 以外のイベント砂層の分布を確認するとともに、より詳細な古環境を明らかにする。それらの情報を基にイベント砂層の成因の解明を目指す。

(e) 引用文献

- 1) 宍倉正展・澤井祐紀・藤野滋弘・行谷佑一, 海溝型地震履歴解明の研究. 平成 22 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告 (脇田浩二・牧野雅彦 編) 独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター, 189-204, 2011
- 2) Szczuciński, W., Kokociński, M., Rzeszewski, M., Chagué-Goff, C., Cachão, M., Goto, K., and Sugawara, D, Sediment sources and sedimentation processes of 2011 Tohoku-oki tsunami deposits on the Sendai Plain, Japan – Insights from diatoms, nannoliths and grain size distribution, *Sedimentary Geology*, 282, 40-56. [http://doi.org/10.1016/j.sedgeo, 2012.](http://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2012)
- 3) Takashimizu, Y., Urabe, A., Suzuki, K., & Sato, Y, Deposition by the 2011 Tohoku-oki tsunami on coastal lowland controlled by beach ridges near Sendai, Japan, *Sedimentary Geology*, 282, 124-141. [http://doi.org/10.1016/j.sedgeo, 2012.](http://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2012)

③陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析 (紀伊半島南部)

(a) 業務の要約

紀伊半島南部の笠嶋遺跡では、宍倉・他 (2014) によって 6 本のボーリングコア試料が得られており、そこから複数のイベント堆積物が検出されているが、まだイベントの年代は詳しく分析されていない。そこで本業務ではこれらのうち特に上位の 2 層について年代を決定するため、年代測定用のサンプルを抽出し、放射性炭素同位体年代測定を行った。

(b) 業務の実施方法

紀伊半島南端・潮岬に近い和歌山県串本町の和歌山県立串本古座高等学校串本校舎周辺は、弥生～庄内期の笠嶋遺跡に指定されている (図 3-7-③-1)。1960 年に実施された発掘調査から、津波が襲来した痕跡があることが指摘されている (安井・編, 1969) ことから、宍倉・他 (2014) はボーリング掘削調査を実施している。本業務ではそこで得られたボーリングコア試料について、イベント堆積物を認定し、その年代を明らかにするため、放射性炭素同位体年代測定を実施した。作業手順は、イベント堆積物の直上および直下と、2 層のイベント堆積物の間の層準にある泥炭質シルトについて、垂直方向に 1～2 cm 間隔でコアを切り出し、250 μm のメッシュで水洗した後、実体顕微鏡下で大型植物遺体を拾い出して、状態の良いものを年代測定用の試料とした。

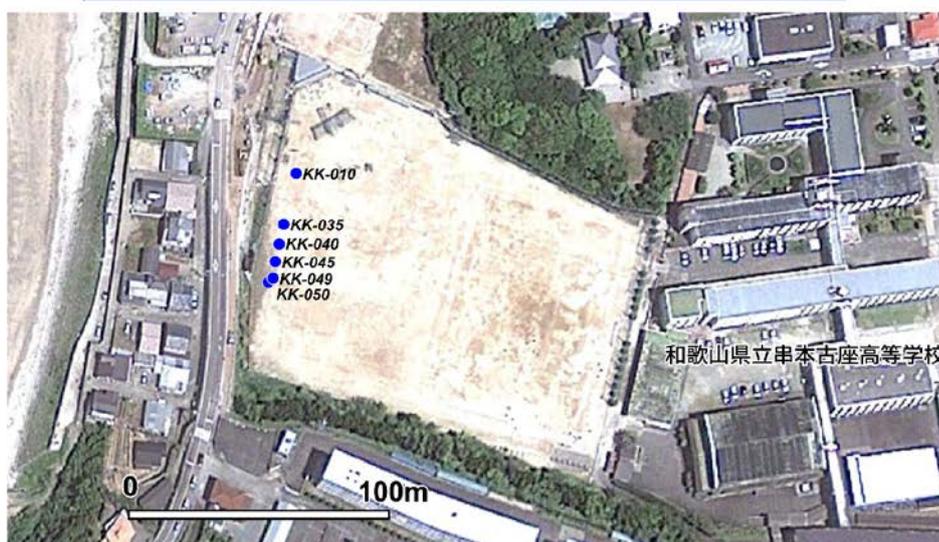


図 3-7-③-1 紀伊半島南部・笠嶋遺跡の位置(上)とボーリングコア採取地点(下)。

(c) 業務の成果

ボーリングコア試料は、和歌山県立串本古座高等学校串本校舎の西端に当たる野球グラウンドで南北 40 m の間で 6 本が採取されている (図 3-7-③-1)。そのうち最も北側の 1 本を除く 5 本のコアは、湿地性の泥炭質シルトを基本とする堆積物からなり、その中には少なくとも 9~10 ユニットのイベント堆積物が確認されている (図 3-7-③-2) (宍倉・他, 2014)。特に最も南側のコアでは深度 7.3 m 付近に鬼界アカホヤテ

フラが検出され、過去約 7500 年分の地層が観察できる。イベント堆積物は基本的に淘汰の良い細礫混じりの粗粒～中粒砂からなり、上方細粒化している。周囲に流れ込む河川がないことから、これらの砂礫は津波または高潮で海浜から運ばれたものと考えられる。本業務では、宍倉・他（2014）で確認されたイベント堆積物のうち、上位の 2 層に注目して年代測定を行った。年代測定用のサンプルはイベント堆積物の直上および直下の層準から重点的に抽出したが、2 層のイベント堆積物の間にある泥炭質シルトについてもほぼ連続的に年代測定を実施し、侵食等による年代のギャップが生じていないかどうか確認した。

年代測定の結果、最上位のイベント堆積物はおおよそ 2～4 世紀頃の年代を示すことが明らかになった（(図 3-7-③-3)）。これは笠嶋遺跡の集落跡が砂礫層で埋積されてとされる庄内期（3 世紀頃）と一致する。またその 1 回前のイベントは 2800～2500 cal yBP 頃と推定された。2 つのイベントともに宍倉・他（2008）が紀伊半島南部で報告している隆起痕跡の年代とも一致することから、紀伊半島南部はこれらの時期に起きた地震によって津波と隆起を伴ったと推定される。また 2 つのイベントの間の泥炭質シルトは、大幅な年代のギャップはなく、ほぼ連続的に堆積していることがわかった（図 3-7-③-3）。したがってここでのイベントの発生間隔は 1000 年程度であり、この期間に地層に記録されるような津波は生じていなかった可能性が高い。

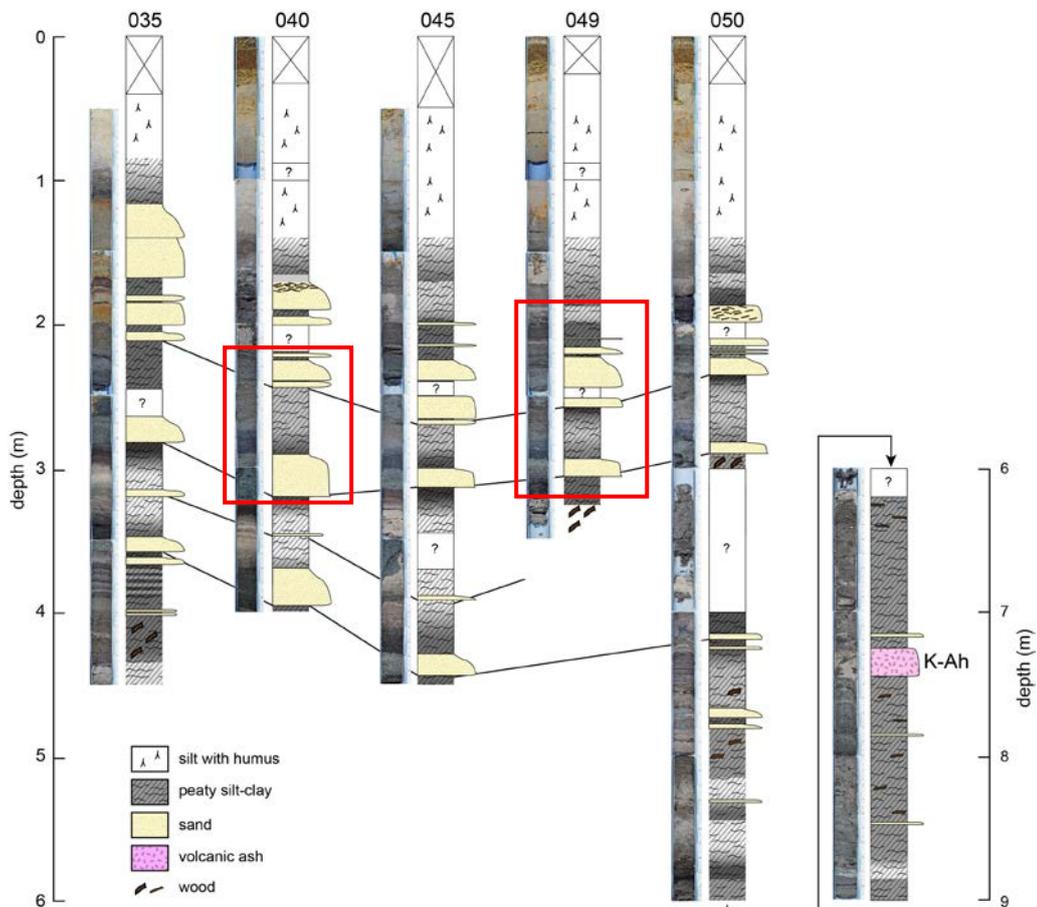


図 3-7-③-2 笠嶋遺跡での掘削で得られたコアの地質柱状図。宍倉・他（2014）。

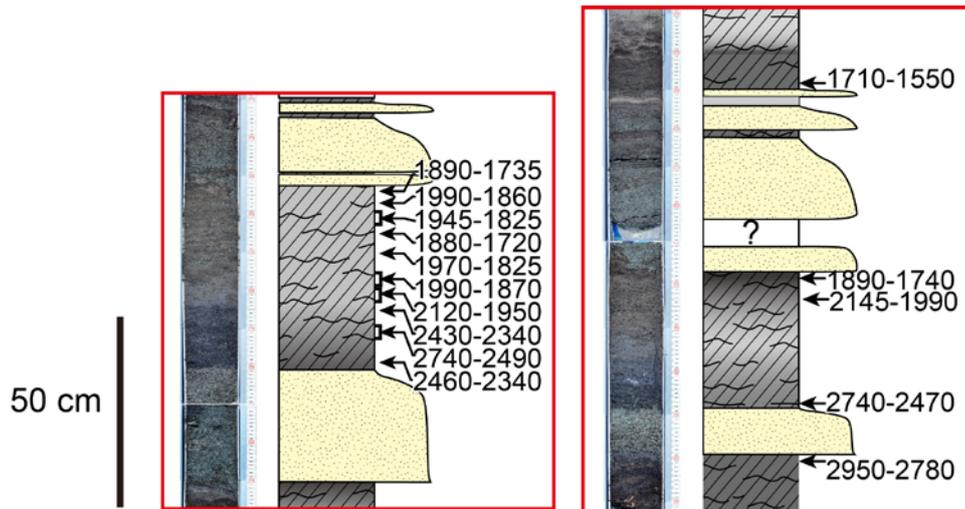


図3-7-③-3 笠嶋遺跡における放射性炭素年代測定結果。図3-7-③-2の赤枠の部分を拡大している。数字は cal yBP を示す。

(d) 結論ならびに今後の課題

紀伊半島南部・笠嶋遺跡のボーリングコア試料の解析からは、2～4世紀頃（おそらく3世紀）と2800～2500 cal yBP 頃にイベントがあったことがわかった。特に2～4世紀頃のイベントは、笠嶋遺跡の集落跡が埋積された時期と一致する。さらにこれら2層の間の時期は約1000年にわたり、ほぼ連続的に泥炭質シルトが堆積していたことが明らかになった。今後はさらに古い下位のイベント堆積物についても年代測定を実施し、過去7500年間にわたるイベントの履歴を復元して再来間隔を明らかにする必要がある。

(e) 引用文献

- 1) 宍倉正展・前杵英明・越後智雄・石山達也，紀伊半島南部沿岸に分布する隆起生物遺骸群集の高度と年代—南海トラフ沿いの連動型地震の履歴復元—，活断層・古地震研究報告，No.8（2008年），267-280，産業技術総合研究所地質調査総合センター，2008.
- 2) 宍倉正展・行谷佑一・前杵英明・越後智雄，紀伊半島南部における古津波調査，巨大地震による複合的地質災害に関する調査・研究報告書，地質調査総合センター速報，66，55-60，2014.
- 3) 安井良三・編，南紀串本笠嶋遺跡：発掘調査報告，笠嶋遺跡発掘調査報告書刊行会，1969.

④陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析（駿河湾奥浮島ヶ原）

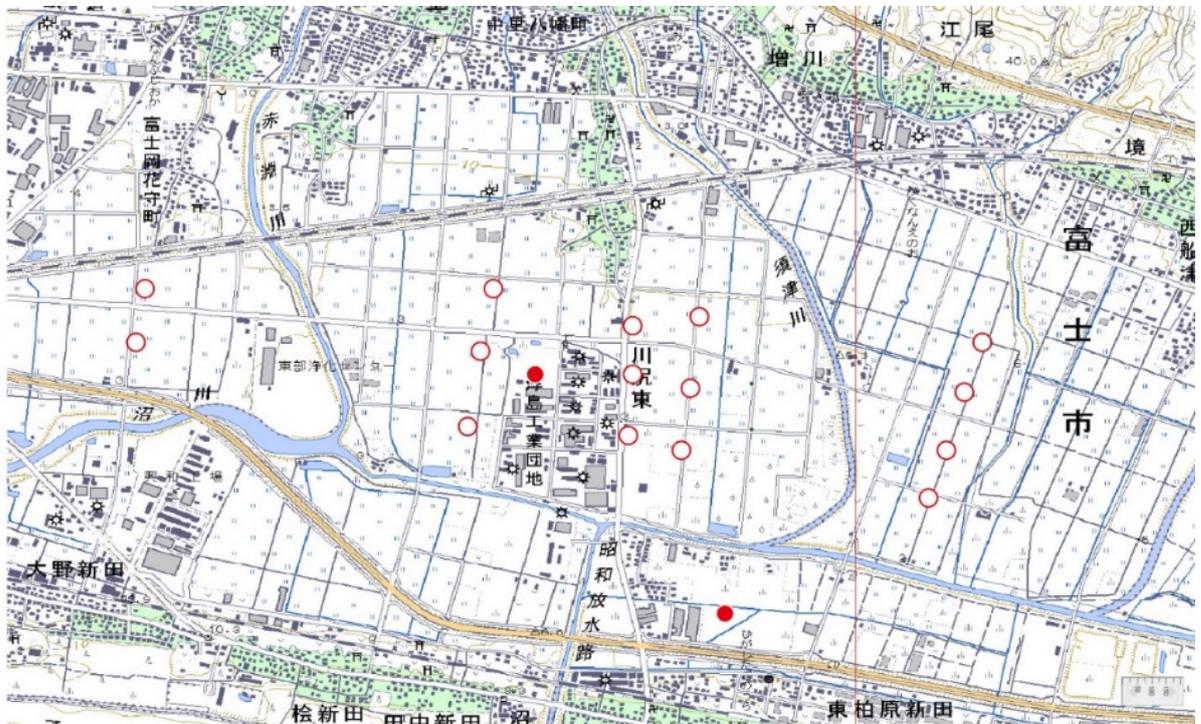
(a) 業務の要約

静岡県富士市の浮島ヶ原低地において採取された既存の柱状堆積物試料について、その堆積速度を決定するために放射性炭素年代測定を行った。その結果、同地域における堆積物は、3500年前から1000年前の間に約200 cm/1000年の速さで堆積しているこ

とが明らかになった。

(b) 業務の実施方法

静岡県富士川市の浮島ヶ原の湿原堆積物を記載した Fujiwara et al. (2016)によれば、南海トラフ東端（駿河トラフ）に面した同地域の堆積物には、過去の東海地震に関連した地殻変動の繰り返しが沈水イベントというかたちで記録されている。このイベントについては、その認定について詳しく考察されているにもかかわらず、歴史地震との対比は必ずしもうまくいっていない。この問題を解決するため、浮島ヶ原で採取された既存のボーリングコア試料（図3-7-④-1, 2）の堆積年代の推定を再検討した。具体的には、① 2010年度～2012年度に産業技術総合研究所によって採取されたボーリングコアを2 cm間隔で分割し、② そのサブサンプルを250 μ mのメッシュで水洗した後、③ 実体顕微鏡下で大型植物遺体を拾い出して、④ 状態の良い大型植物遺体のみを選び出して放射性炭素年代測定を行った。



オールコア掘削, 86 mm以上, 外径116mm程度で掘削 ○ 2012年採取 ● 2010年-2011年採取

図3-7-④-1 2010年度～2012年度にボーリング調査が行われた場所（藤原・澤井 2014 を改変）（静岡県富士市。国土地理院発行 1:25000 地形図「吉原」「沼津」を使用）

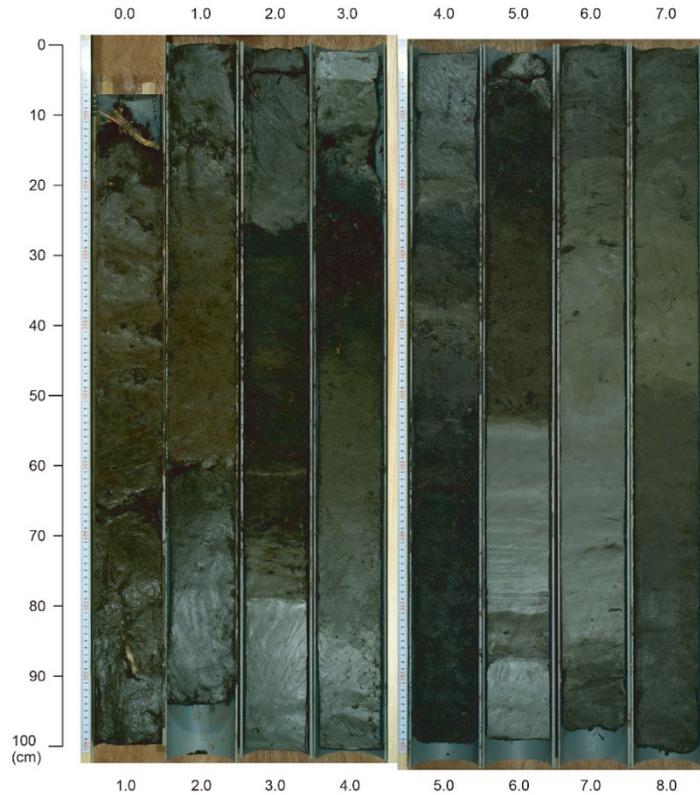


図 3 - 7 - ④ - 2 . 検討を行った堆積物試料の写真

(c) 業務の成果

静岡県富士市の浮島ヶ原低地において採取された既存の柱状堆積物試料について放射性炭素年代測定を行った結果、同地域における堆積物は、3500 年前から 1000 年前の間に約 200 cm/1000 年の速さで堆積していることが明らかになった (図 3 - 7 - ④ - 3)。また、徳島県阿南市伊島において採取された既存の柱状堆積物試料について放射性炭素年代測定を行った結果、3200 年前から 1800 年前の間に約 75 cm/1000 年の速さで堆積していることが明らかになった (図 3 - 7 - ④ - 4)。

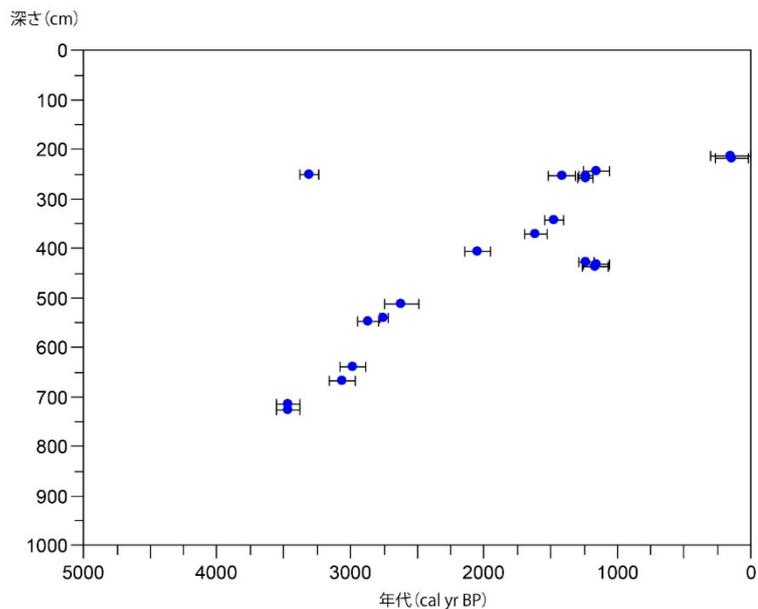


図 3-7-④-3. 浮島ヶ原における放射性炭素年代測定結果その 1。横軸が放射性炭素年代測定値 (cal yr BP) で縦軸が年代が得られた深さ (cm)。

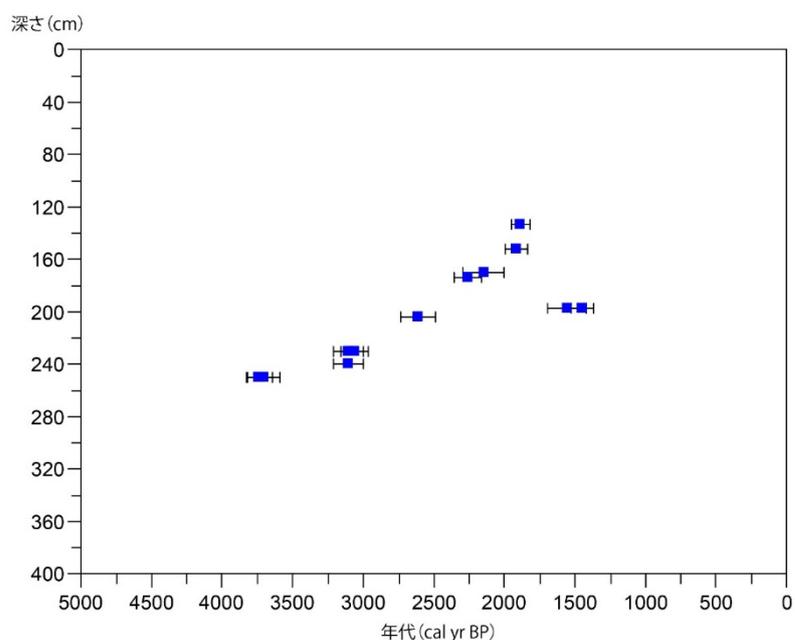


図 3-7-④-4. 浮島ヶ原における放射性炭素年代測定結果その 2。横軸が放射性炭素年代測定値 (cal yr BP) で縦軸は年代が得られた深さ (cm)。

(d) 結論ならびに今後の課題

静岡県富士市の浮島ヶ原低地において採取された既存の柱状堆積物試料について放射性炭素年代測定を行った結果、堆積速度を求めることができた。今後は、イベントそのものの認定について、珪藻化石や大型植物化石を組み合わせ高精度に行っていく必要がある。また、年代測定の件数を増やすことにより、イベント年代の高精度な復元を

行っていく必要がある。イベントそのものの認定と年代の決定を高精度化することにより、歴史記録との対応が詳しく分かり、歴史および先史時代における東海地震の履歴が解明されていくと考えられる。

(e) 引用文献

- 1) 藤原 治・澤井祐紀, 静岡県沿岸の古地震・津波堆積物調査. 巨大地震による複合的地質災害に関する調査・研究報告(地質分野研究企画室 編) 独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター, 39-48, 2014
- 2) Fujiwara, O., Fujino, S., Komatsubara, J., Morita, Y., Namegaya, Y., Paleocological evidence for coastal subsidence during five great earthquakes in the past 1500 years along the northern onshore continuation of the Nankai subduction zone, *Quaternary International*, in press, 2016

⑤富士川河口域における 1854 年安政東海地震の隆起量と断層位置の推定

(a) 業務の要約

歴史記録を利用して富士川の流路の変遷をまとめ、1854 年安政東海地震(以下、安政地震)による富士川河口域の地変について検討を行った。この結果、安政地震よりも前の富士川の主流は現在の流路よりも西側を流れており安政地震後に現在の流路となったことから同地震により富士川河口域西岸部が広域的に隆起した可能性が高いことがわかった。そこで地中レーダー(Ground Penetrating Radar, GPR) 探査を行い、富士川河口断層帯の一部である入山瀬断層周辺の地表付近で地層のずれや撓みが存在しないか調査を行った。この結果、海岸から 2 km 程度内陸までの範囲で、反射面に地層のずれと解釈される層序の不連続が存在することがわかった。これらのうち一部の不連続の位置は地震調査研究推進本部が設定した入山瀬断層の位置とさほど離れていない。さらに、本地域における隆起が断層運動で生成されるかを破壊伝播シミュレーションにより検討するために、暫定的な 3D 断層形状モデルを構築した。

(b) 業務の実施方法

西暦 1854 年安政東海地震は駿河湾西岸部に隆起をもたらした(例えば、羽鳥, 1976 や石橋, 1984)。このことは安政地震による破壊が駿河トラフにまで及んだことを意味する。駿河トラフの北端には富士川河口断層帯が存在し、安政地震時にこの断層帯が変動したか否かを知ることは、今後の地震時の変位や規模を予測する上で重要な知見となる。さらには、プレート間地震と活断層との関係を知る上でも重要な知見となる。そこで次の三点について検討を行った。

一点目は安政地震による富士川河口域(図 3-7-⑤-1)の地変についてである。同河口域は、「蒲原地震山」や「松岡地震山」といった安政地震に関連すると伝えられる地形の高まりが知られている(例えば、羽田野, 1997)。例えば、蒲原地震山は河口から 2 km 程度の西岸部に位置しその大きさは南北 660 m 程度、東西 50 m 程度で安政地震時に地盤が 1~3 m 程度隆起して生じたと考えられている(羽田野, 1997)。

しかし、この変形の範囲は断層運動によるものにしては局所的であり、この情報をもって地震による隆起量を推定することは慎重になるべきである。仮に富士川河口域が安政地震時に局所的ではなく広範囲に隆起したとすれば、安政地震の前後で富士川の流路が変遷した可能性がある（例えば、大森，1920；恒石・塩坂，1981）。そこで、本研究ではおもに『蒲原町史』（蒲原町史編纂委員会，1968）や、静岡市清水区蒲原の木屋江戸資料館が所蔵する資料をもとに、富士川の流路の変遷を調査した。



図 3-7-⑤-1 安政地震前の富士川の推定流路（青破線）。推定流路の位置はおおよそのものであり、暫定的なものである。国土地理院による地理院地図に加筆。

二点目は電磁波を利用した GPR 探査（図 3-7-⑤-2）である。電磁波は真空中や空气中を伝播するのには長じているが、固体を媒質とした場合には波動減衰が著しい。堅固な岩盤などではあまり減衰しないが、水を多く含んだ粘土などでは減衰が顕著である。GPR によるプロファイルは、個々のデータのトレースを順に並べたもので、強い反射は濃色（赤あるいは青）で表され、弱い反射は白で表現される。プロファイル上ではリアルラインと呼ばれる線状の反射で表現されることが多いが、リアルラインの形状は地層境界そのものや、密度（締固めの度合）の違いから生じる境界面を表す。仮に地表面に断層面が存在する場合、このリアルラインの連続性が途切れて表示されることになる。この不連続は自然の断層である可能性がある一方で、人口改変（掘削や舗装跡）による可能性もある。本研究ではこの不連続が観測面の下側に見られない場合を人工改変によるものとし、観測面の下側に続いている場合を自然の断層として扱った。



図 3 - 7 - ⑤ - 2 GPR 探査の様子 (2016 年 1 月 4 日撮影)

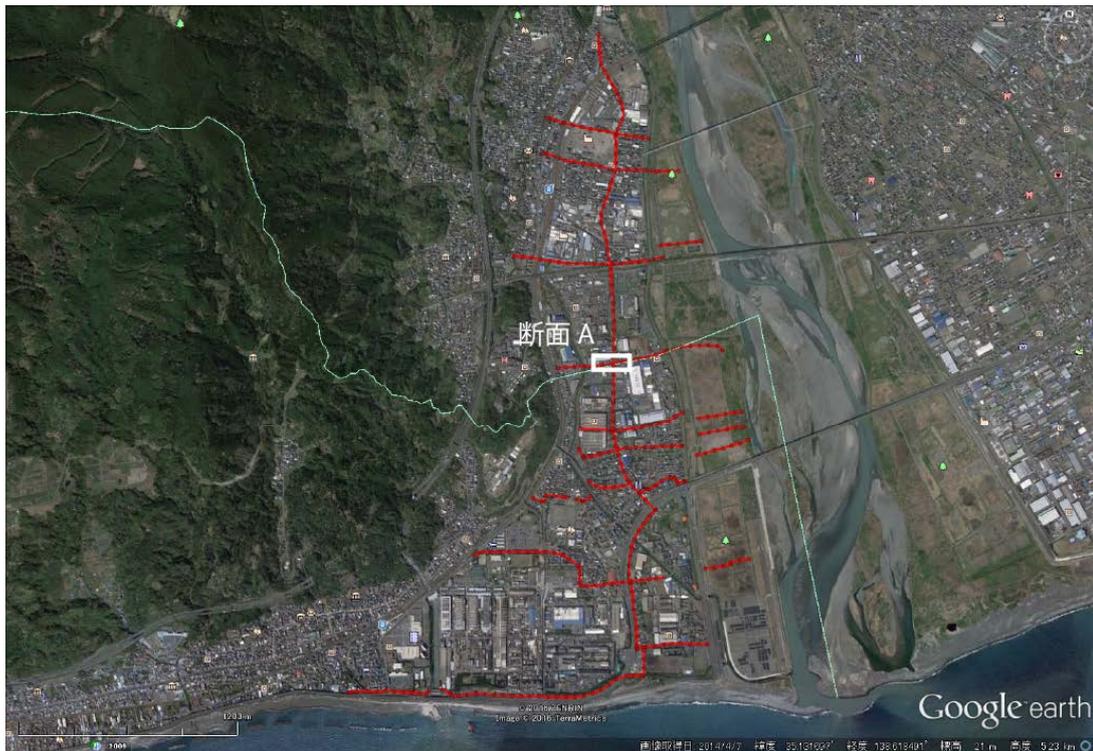


図 3 - 7 - ⑤ - 3 測線の位置 (赤線)。Google Earth の画像を利用し加筆。

GPR 探査は 2016 年 1 月 4 日から 8 日にかけて富士川河口域西岸部において行った。入山瀬断層は南北方向の走向を持つと考えられるので (例えば、地震調査研究推進本

部、2010)、ほとんどの測線についてそれに横切るように東西方向に設定した(図3-7-⑤-3)。総測線長は13 km程度に及び、その中には地震山周辺を含んでいる。使用機器はSensors & Software社製pulseEKKO Proであり、中心周波数100 MHzのアンテナを使用した。同時に測線上の地形の変化を解析結果に反映させるために、VRS機器による標高測量も行った。

三点目は富士川河口断層帯の3D断層形状モデル構築である。まずは富士川河口断層帯をプレート境界から上盤に分岐する断層として解釈した。プレート形状は、地震調査研究推進本部による全国1次地下構造モデル(暫定版)を利用し、富士川河口断層帯の形状は都市圏活断層図(大宮)に示された地表トレースと、浅部と深部との地震波探査(伊藤・他、2013;伊藤・他、2014)の東西断面から推定した。ただし、今年度行ったGPR探査による調査結果はまだ反映させていない。

(c) 業務の成果

一点目の安政地震による富士川河口の流路の変遷について、まず安政地震前の流路を検討した。『蒲原町史』によれば、少なくとも天明六年(1786)からの40年間に10度の洪水が発生し、富士川河口域西側の蒲原に被害が発生したことが記録されている。また、静岡市清水区蒲原の木屋江戸資料館に所蔵されている『海面浅深御取調絵図』(嘉永二年、1849)などには、安政地震(1854)直前の富士川の流路が、現在の蒲原中学校の東側に存在した堤の東側を流れていたことが記録されている。この堤の位置は、現在の富士川の位置よりも1 m程度西に位置している。洪水があった事実と絵図等の情報とから、安政地震よりも前の富士川河口部は現在の流路よりも西に位置していた可能性が高い(図3-7-⑤-1)。さらに安政地震よりも後には蒲原地域に洪水が発生しなくなり(『蒲原町史(1968)』)、現在の流路になったと推定される。この流路の変遷は、安政地震によって蒲原地域が広域に隆起したために生じたと考えられる。

二点目のGPR探査については、測線からおおむね8 m程度下部までの連続的な反射面を得ることができた。測線の一部である図3-7-⑤-3の断面AにおけるGPRの反射面を図3-7-⑤-4に示す。この図のように区画Aでは地層のずれと解釈される層序の不連続が見られた。不連続は盛土と思われる層の直下まで存在し、比較的新しい地層まで切っている可能性がある。このような不連続は他にも複数箇所見つかっておりそのうちの一部は地震調査研究推進本部が設定した入山瀬断層の位置とさほど離れていない。すなわち、ここで発見した不連続が入山瀬断層の一部である可能性がある。ただし、現段階ではこの不連続が安政地震時に活動したか否かについては明らかではない。

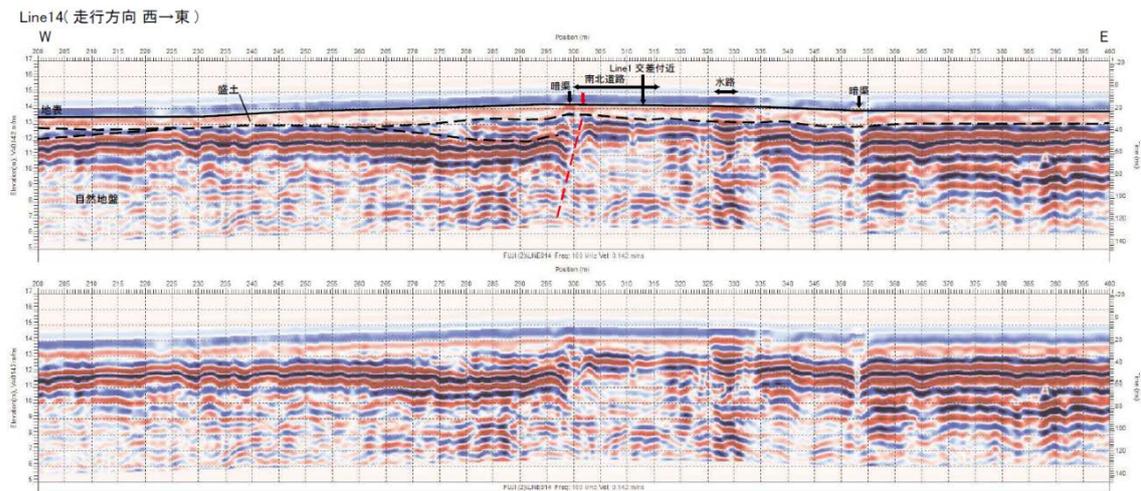


図 3-7-⑤-4 断面 A (図 3-7-⑤-3) における GPR 探査による反射断面。上図は解釈図。下図は観測図。赤破線が地層のずれと思われる不連続を示す。

三点目の富士川河口断層帯の 3D 断層形状モデルについては、モデル中に入山瀬断層、大宮断層、および芝川断層を第 0 近似的に組み込んだ。このさい、伊藤・他 (2013) により報告されている地下 1 km 以下の各断層の傾斜角や、伊藤・他 (2014) により報告されている地下数百 m 程度までの入山瀬断層の傾斜角も反映させて構築した。また、今後 3D 境界要素法を用いた数値解析ができるように、断層形状モデルを非構造的な三角形要素により離散化した。

(d) 結論ならびに今後の課題

本研究では富士川河口域における安政地震による地変について歴史記録に基づいて富士川の流路の変遷を明らかにし、安政地震時に現富士川河口域西側において比較的広域的に隆起があった可能性を指摘した。これは安政地震時に富士川河口断層帯のとくに入山瀬断層が活動した可能性があることを意味する。そこで、入山瀬断層の位置を把握する目的で GPR 探査により地層の不連続を調査した。この結果、断層のずれと解釈される地層の不連続を複数箇所存在することがわかった。これらのずれの一部は地震調査研究推進本部による入山瀬断層に近く、このずれが入山瀬断層である可能性がある。ただし、この断層が安政地震時に変異したか否かについては本研究結果からはわからない。

今後、GPR 探査で判明した不連続の位置周辺においてボーリング調査等を行うことで、この入山瀬断層が安政地震時に活動したか否かについて検討する予定である。さらに本研究で構築している 3D 断層形状モデルについて、地表付近の形状を GPR 探査結果を反映させて高精度化し、安政地震時の地変の再現、あるいは駿河トラフでのプレート境界型地震に伴う入山瀬断層の活動性について検討を行う予定である。

(e) 引用文献

- 1) 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.

- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 伊藤忍・山口和雄・入谷良平, 富士川河口域における反射法地震探査, 平成25年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 59-64, 2014.
- 5) 伊藤谷生・他, 富士川河口断層帯—糸魚川静岡構造線横断地下構造探査(FIST)報告(2), 日本地球惑星科学連合2013年大会予稿, SCG68-12, 2013.
- 6) 中田 高・東郷正美・池田安隆・今泉俊文・宇根 寛(2000), 1:25,000, 都市圏活断層図「富士宮」 国土地理院技術資料 D1-No.375.
- 7) 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.
- 8) 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.

(3) 平成28年度業務計画案

陸域津波履歴調査においては、引き続き四国沿岸と紀伊半島南部、駿河湾奥・浮島ヶ原のボーリングコア試料の解析を進めるとともに、九州東部沿岸等において津波堆積物調査を実施する。また駿河湾奥・富士川河口域では、既存のボーリングデータを整理し、今年度のGPR探査で明らかになった地層の不連続位置周辺における地質データを確認する。その上で可能な範囲で新たにボーリング調査等を行い、断層の活動時期を検討する。さらに3D断層形状モデルについてもより高精度化することを目指す。

海域津波履歴調査では、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、既存試料の分析を進める。さらに、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、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との密接な連携のとも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
	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
国立大学法人京都大学防災研究所	助教	山下 裕亮
国立大学法人東北大学災害科学国際研究所	教授	木戸 元之
国立大学法人東北大学大学院理学研究科	教授	日野 亮太
	准教授	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、地震動だけでなく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、海底地震圧力計を回収し、10 台を設置した。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および 13 台の設置を実施した。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した。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た。

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 27 年度業務目的

南海トラフから南西諸島海溝の領域において、長期観測型海底地震計を用いた長期海底地震観測を継続して実施する。また、海底地震計のデータ解析を行うとともに、国内外の学会において成果公表・情報収集を行う。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 27 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

昨年度、チリで発生したイキケ地震による遠地津波を観測し、システムの基本的なデータ取得設計に問題ないことを示した。このシステムは、水圧計からの出力値をダブルパルスの時間差で表現し、そのダブルパルスを音響通信により、ブイから 1000m 下の吊下局に伝送、吊下局からワイヤーラインでブイに伝送し、イリジウム通信により陸上局に伝送する仕組みを採用している。今年度は、水圧データのサンプリングを音響通信の時間間隔に合わせてチューニングした。本システムでは、ブイに設置してあるブイ局がシステムの中核として、陸上局との通信や吊下局とのコミュニケーション、時刻や位置の管理を担当する。観測の長期化と安定化のために、ブイ局の動きを見直して太陽光発電による運用が可能になるように省電力化した。また、これまで、ブイの回転によるライン断線の可能性があったため、電磁モデムによる通信の冗長化を実装した。平成 27 年 12 月から紀伊半島南東沖の熊野灘において海域試験を開始し、海底水圧データが準リアルタイムで取得されている。

(b) 業務の成果

本受託事業でリアルタイム広帯域水圧観測に用いる観測システムは、海底で水圧

を観測する海底局装置と、観測データを陸上に中継するための海面ブイ装置から構成される。海底局装置は、センサーで得られた水圧の観測値を音響ダブルパルス信号の送信時間差に変換し、そのダブルパルス信号は、海面ブイ装置から 1000m 下に吊下された吊下局装置に伝送される。吊下局装置では、受信したダブルパルス信号の時間差を水圧データに逆変換し、それがワイヤーラインおよび電磁モデム通信によりブイ局に伝送される。海上のブイは、吊下局から受け取ったデータをイリジウム衛星を用いて陸上局に伝送する（図 3-8-①-1）。今年度は、こうしたデータ伝送システムに最適な水圧計データの処理方法に関する検討と、観測システムの長期的な安定性を担保することを目的として、海面ブイ装置内でのデータ処理手順のチューニングによる低消費電力化を図ることによって、太陽光パネルによる発電のみで運用可能にした。以下、その詳細を記載する。

これまで、海底局装置で得られる水圧データの信頼性確認のために 1Hz サンプルングでデータ取得して海底局内のロガーに蓄積していたが、今年度は音響通信による水圧データ伝送の速度に適合するようにデータのサンプルング周波数のチューニングを実施した。海底局から吊下局への音響通信は、津波モード時は 15 秒間隔、通常モードでは 1 分間隔である。これまでは、1 秒間隔で観測したデータを海底局内のロガーに蓄積し、その中から 15 秒に 1 回のデータを抜き出して伝送していたが、近地地震時など大振幅の高周波の水圧変動が生じるような場合には、単純なデータ間引きを行うと、エイリアシングが生じてしまう可能性がある。そこで、地震発生時を想定した動作である津波モード時の 15 秒間隔で送信させる水圧データ上でエイリアシングを避けるために、水圧計のデータに 0.023Hz のローパスフィルターをかけた後で、15 秒間隔でデータをサンプルングするように修正するとともに、音響通信用に変換したデータを海底局内のロガーに保存するようにした。エイリアシング防止のためのフィルターの性能を確認するため、昨年試験観測において海底局のデータロガーで、1Hz サンプルングで取得されたチリ・イキケ地震の津波データに対して、0.001-0.023Hz のバンドパスフィルターをかけて津波信号データへの影響がないことを確認した（図 3-8-①-2）。

吊下局において海底局から受信した水圧データを海面にあるブイ局へ中継する際には、水圧データに刻時情報（タイムスタンプ）が付与される。このタイムスタンプは、ブイ局から提供される高精度時刻信号に準拠したものである。ブイ局へデータ中継は、津波モード時には海底局から受信次第行われ、海底局からの音響通信と同じ 15 秒間隔でブイ局にデータが送信される。一方、通常モード時におけるデータ中継は 1 時間おきで、海底局から受信した 1 分間隔のデータは吊下局において 1 時間分が一時的に保持され、一度の中継で 1 時間分をまとめてブイ局へ送信している。吊下局とブイ局間の通信は、ワイヤーラインと電磁モデム通信の 2 系統を実装した。そのほか、これまでの海域試験で経験した係留したブイへの漁具による損傷や、ブイの回転によるワイヤーラインへのダメージへの対策を施した。

ブイ局は、海底で観測された水圧を陸上局へ中継するだけでなく、ブイにおいて得られる海底水圧以外の諸観測データを付加して送信する機能も有する。ブイ局は、ブイの精密な 3 次元的位置と姿勢角を捉えるために、2 系統の衛星測位システムを備えてお

り、これにより得られる測位データはブイ局内のデータロガーに保存されるとともに、陸上局へ、海底圧力データとともに送信される。また、測位システムから提供される高精度時刻情報によって、吊下局を含めた装置群の時刻管理が行われる。

ブイ局は、沖合に設置された観測システム全体の動作を統括する中枢で、陸上局からの指令への対応を司るほか、ブイの係留状況をモニタリングする機能を有する。係留環境の把握のために、温度、湿度、気圧、潮流、ブイの方位などのデータを取得するとともに、ブイに設置しているバッテリーの電源をモニターして、太陽光パネルによる発電量と消費電力の関係の監視も行っている。特に、電源の管理は長期安定した運用を行うためにはもっとも重要な機能であるが、そのためにブイ局で行われる情報収集や構成機器の動作制御を省電力化することも同時に必要である。そこで、今年度はブイ局における機器制御の手順を見直すことにより、消費電力を低減し、ブイ局を太陽光発電のみで連続運用できるような改造を実施した。

このような機能向上を行った観測システムを、今年度の12月に設置して試験観測を開始した。設置場所は紀伊半島南東沖の熊野灘で、平成28年10月までの間、連続観測を実施する予定である(図3-8-①-3)。現在、音響および衛星通信を介したデータ伝送により陸上局において取得されている水圧データを図3-8-①-4に示す。図中、青色シンボルでプロットされているのは、海底局から所定のタイミング(通常モードでは1分ごと、津波モードでは15秒ごと)で取得された海底圧力の観測値である。音響通信時のエラーに伴う符号の1ビットずれが発生しており、それによって観測時系列に「とび」がみられるが、その頻度は低く、全体としては海洋潮汐による海底水圧の変動が正しく観測されていることがわかる。また、ビットずれによる異常値も、頻度が低いので後処理により正常値に置き換えることは可能であると期待される。これまで、海底や海面からの反射波の混入があったが、吊下局での相関のパラメーターを変更することで混入を抑えたことを確認できた。このように、全体としてデータ伝送のエラー率を低く抑えることに成功した。

図3-8-①-4に橙色のシンボルで示したデータは、所定のタイミング以外の時刻情報をもつデータである。所定のタイミング以外には海底局からの音響通信は行われることがないため、こうしたデータは吊下局がノイズを海底局からの通信信号と誤検知したために生じたものと考えられる。誤検知が発生する要因としては、吊下局で音響通信信号をノイズから弁別するときの閾値が適切でないことが考えられる。誤検知の発生状況と、観測データとともに取得されるブイの環境環境の情報とを比較すると、強潮流によりブイが引っ張られているときには、誤検知が発生しない傾向にあることがわかってきた。このことから、誤検知は、ブイ係留の緊張が低い状態のときに吊下局装置が海水中で振動することで発生する、受信部側での音響ノイズが原因で発生していると考えられる。現在の試験観測で用いている吊下局では、定期的に音響環境を把握するためにデータを保存しており、回収後にこれらのデータを再生して、こうした誤検知の発生原因の特定と、それを回避するための適切な閾値設定に関する検討を進める予定である。

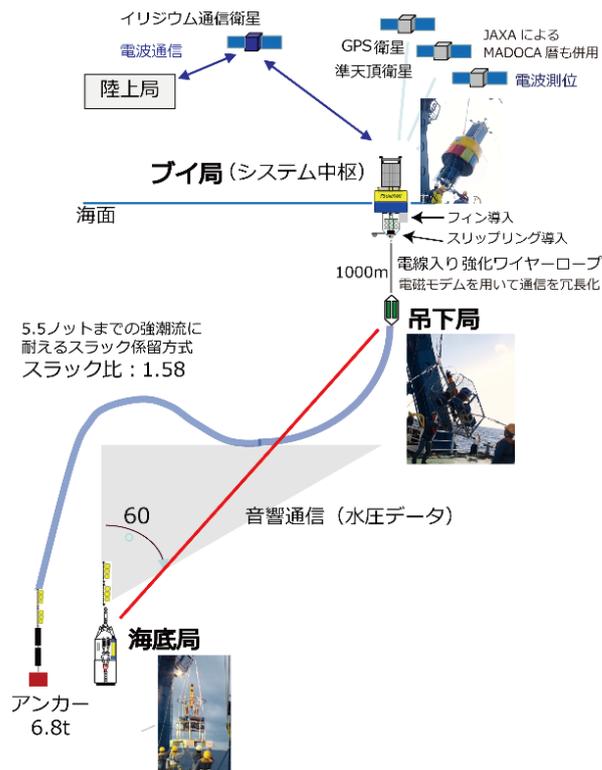


図 3-8-①-1 システム概略図。

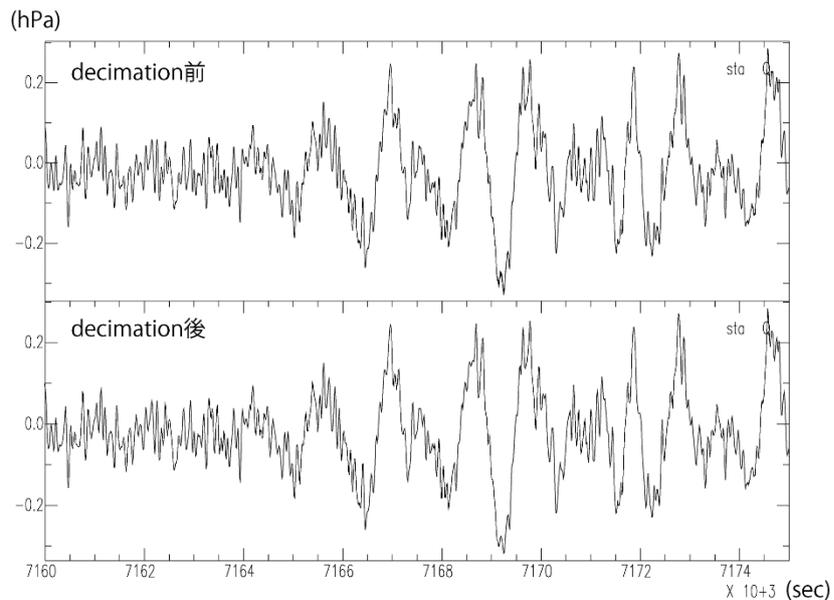


図 3-8-①-2 デシメーション前後の波形の比較。チリ・イキケ地震による津波データから 0.001-0.023Hz のバンドパスフィルターをかけて (上)、そのデータを 15 秒間隔にデシメーションした (下)。

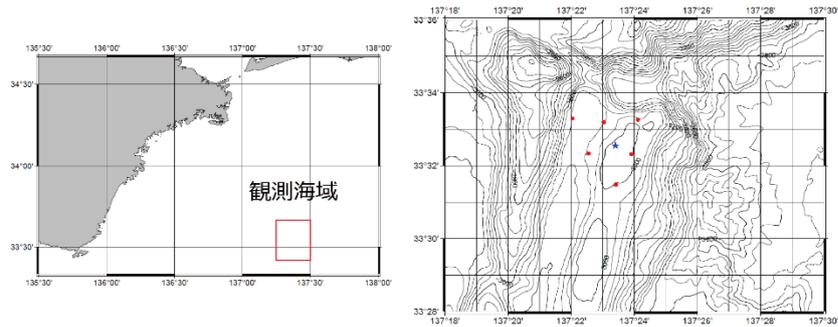


図 3-8-①-3 海域試験海域図。左図は観測概略図、右図は設置点を示す。青星印が海底局設置点、赤丸は地殻変動観測点を示す。

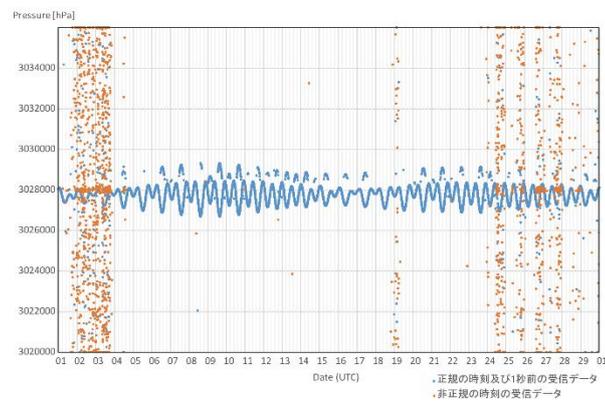


図 3-8-①-4 2月に得られた水圧データ。青丸は吊下局で所定のタイミングで取得されたデータ、橙丸はそれ以外のタイミングで通信時の誤検知のより生じた異常データ。

(c) 結論ならびに今後の課題

今年度、観測データのサンプリング間隔の最適化とブイ局での低消費電力化の検討を行い、その結果を実装した観測システムを紀伊半島南東沖の熊野灘に設置し、試験観測の開始に成功した。海底での水圧を安定して観測し、そのデータをブイ局経由で陸上局までリアルタイムで伝送されていることが確認された。一方で、ブイ局下の吊下局からのワイヤーラインによるデータ伝送系に障害が発生したほか、頻度は高くないが音響通信の際にデータ伝送エラーが発生していることが認知されている。音響通信のエラー発生率は、前述したように吊下局に保存している音響データを再生し、適切な閾値を設定することで、改善されることが期待される。現在、吊下局とブイ局間の通信は電磁モデム通信により確保されているが、ワイヤーラインによる通信は通信路の冗長性を確保する上で必要であり、それが断線した原因は、海域試験終了後に装置を回収して検討を行わなくてはならない。

(d) 引用文献

- 1) Takahashi, N., Y. Ishihara, T. Fukuda, H. Ochi, J. Tahara, T. Mori, M. Deguchi, M. Kido,

Y. Ohta, R. Hino, K. Mutoh, G. Hashimoto, O. Motohashi, Y. Kaneda, Buoy platform development for observation of tsunami and crustal deformation. In: IAG Symposia Series, Springer, doi: 10.1007/1345_2015_114, 2015.

- 2) 高橋成実・石原靖久・福田達也・越智寛・田原淳一郎・森尚仁・出口充康・木戸元之・太田雄策・日野亮太・武藤勝彦・橋本剛正・本橋修・小平秀一, オンデマンド地殻変動観測, プイシステムの開発と現状の課題, 日本地球惑星科学連合, 幕張, 2015年5月.

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

スロースリップイベント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、スロースリップイベント前後を含めたモニタリングを行い、スロースリップイベントの発生様式を明らかにする。また、このスロースリップイベント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イベント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搭載の広帯域型海底地震計と、日向灘から足摺沖にかけて設置した長期観測型海底地震計を回収し、新たに海底圧力計3台を含む9台を再設置した。回収された海底地震計から、良好な波形データを取得できた。観測期間中の2015年5月～7月にかけて、日向灘から足摺沖の領域において浅部低周波微動と超低周波地震活動が活発化したが、この一連の活動についてもデータを取得することができた。

(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イベント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1台を設置して観測を継続し、陸上地震・測地観測網と併せてスロースリップイベント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、スロースリップイベント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、浅部超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、このような浅部超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た (Yamashita *et al.*, 2015)。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、スロースリップイベント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浅部低周波微動活動域に計 12 点の長期観測型海底地震計を前年度に設置し、低周波微動・超低周波地震活動の時空間分布を明らかにすることを目的としている。特に、足摺沖への観測網拡大により、豊後水道域のスロースリップイベントと同期発生する浅部スロー地震活動を捉えることが可能となった。また、これらの 12 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を形成する。

今年度は、前年度に設置した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、浅部低周波微動活動域の直上に海底地震計・海底圧力計・圧力計搭載型の広帯域海底地震計による観測網を再構築し、観測を継続する。

(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、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長期観測型海底地震計を回収した（図 3-8-②-1、図 3-8-②-4、表 3-8-②-1）。また、海底測地観測をより強化するため、前年度の継続となる長期観測型海底地震計と圧力計搭載の広帯域型海底地震計の観測網に加え、本年度から海底圧力計を新たに設置し、計 9 台の観測網を浅部低周波微動活動域に構築し、観測を継続した（図 3-8-②-2、図 3-8-②-5、表 3-8-②-2）。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三開洋丸（2016 年 1 月 6 日宮崎港出港、同年同月 10 日高知港帰港）を利用した（図 3-8-②-3）。回収された海底地震計は良好なデータを取得できており、このうち 2015 年 5 月～7 月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）。特に、これまで海底での直上観測でデータが取得されていなかった足摺沖の活動のデータが得られたことで、日向灘から足摺沖の浅部低周波微動・超低周波地震活動域を高精度で推定できる。現在、これらのデータについては解析を進めている。

昨年度回収した第 1 期観測のデータの解析を進め、通常地震について海底地震観測網でのみ捉えられる小さな地震まで含めてイベント検出と震源決定を行った結果、気象庁によって求められている地震の他には、浅部低周波微動・超低周波地震震源域においては、ほとんど通常地震が発生していない事が明らかとなった（図 3-8-②-7）。このことは、プレート境界面上において、浅部低周波微動・超低周波地震が起こる領域と、通常地震が起こる領域とが相補的に分布していることを示唆しており、両者の境界である深さ 15 km 付近において摩擦特性が変化していると考えられる。

豊後水道域においては 2014 年夏頃から小規模なスロースリップイベントの発生が確認されていたが、その後ほぼ停滞状態となっていたが、2016 年初めより再び小規模なスロースリップイベントが確認されている。一方で、約 6 年周期で発生してきた大規模なスロースリップイベントはまだ発生していない。今年度観測期間中には前回

2010年の活動から6年が経過し、豊後水道域のスロースリップイベントがいつ発生してもおかしくないと考えられ、この活動と同期して日向灘プレート境界浅部でも浅部スロー地震活動が発生することが期待されている。これまでの観測で、浅部低周波微動と超低周波地震は捉えられているが、スロースリップイベントは海底観測によって直接捉えられておらず、浅部スロー地震活動に伴うモーメント解放量などプレート境界におけるひずみ蓄積過程の理解につながる重要な情報はまだ得られていない。今年度は5台の圧力計アレイを想定されるスロースリップイベント発生域に構築し、海底地殻変動観測を強化しスロースリップイベントの直接観測を目標に観測を継続中である（図3-8-②-2、図3-8-②-5、表3-8-②-2）。

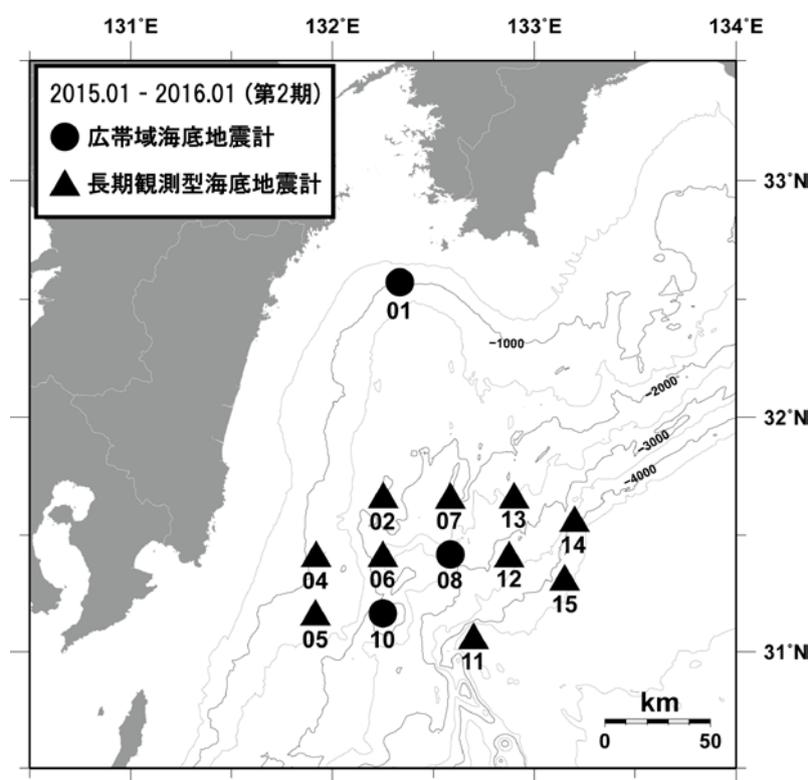


図3-8-②-1 海底地震観測点（2015年設置）

2014年度に設置を行った長期観測型海底地震計と広帯域海底地震計の位置。

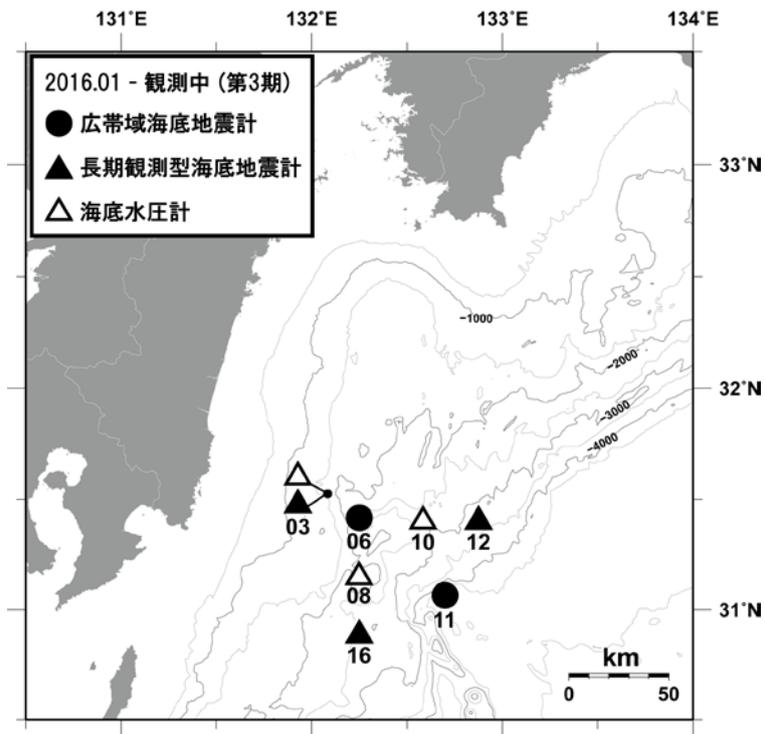


図 3-8-②-2 海底地震観測点 (2016 年設置)

本年度設置を行った長期観測型海底地震計、広帯域型海底地震計、海底圧力計の位置。
03 には長期観測型海底地震計と海底圧力計を設置している。



図 3-8-②-3 海洋エンジニアリング株式会社所属 第三開洋丸 (497.7t)



図 3-8-②-4 本年度回収した海底地震計

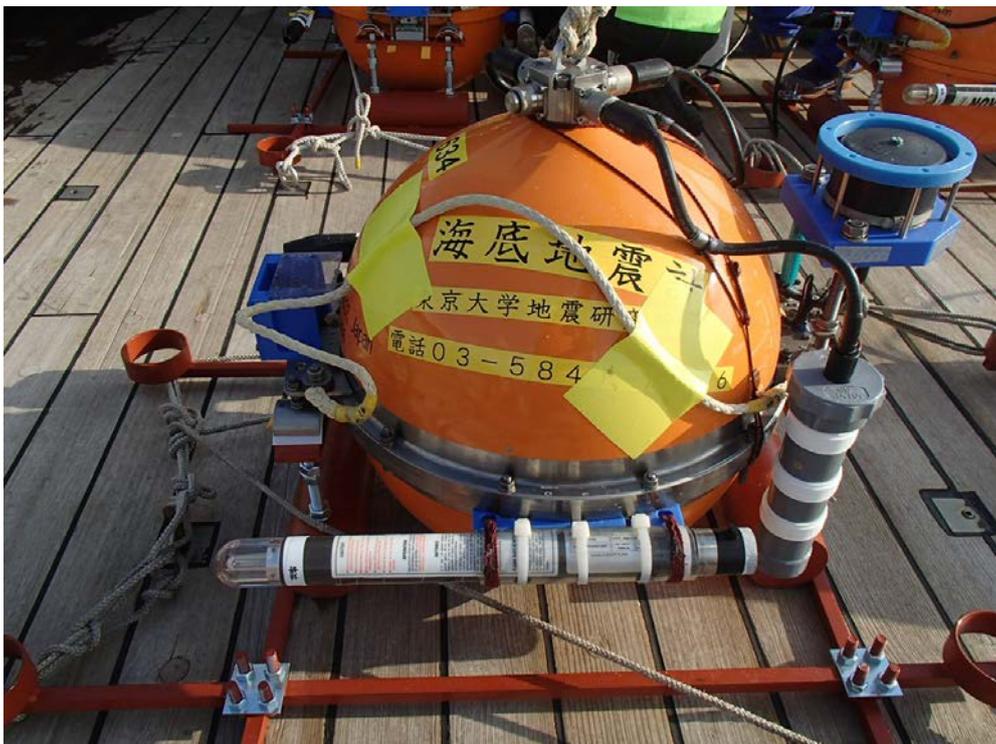


図 3-8-②-5 本年度投入した海底圧力計

長期観測型海底地震計と同じ 50cm の耐圧チタン球を使用しており、外見は長期観測型海底地震計とほとんど変わらない。トランスポンダー（写真右）を取り付ける金具に圧力計を抱かせている（灰色の塩ビケース内に圧力計が入っている）。

[Nankai2015] 2015/05/07 00:00 – 2015/05/07 06:00

(BPF:2-4Hz, clip level: 7.5e-07 m/s)

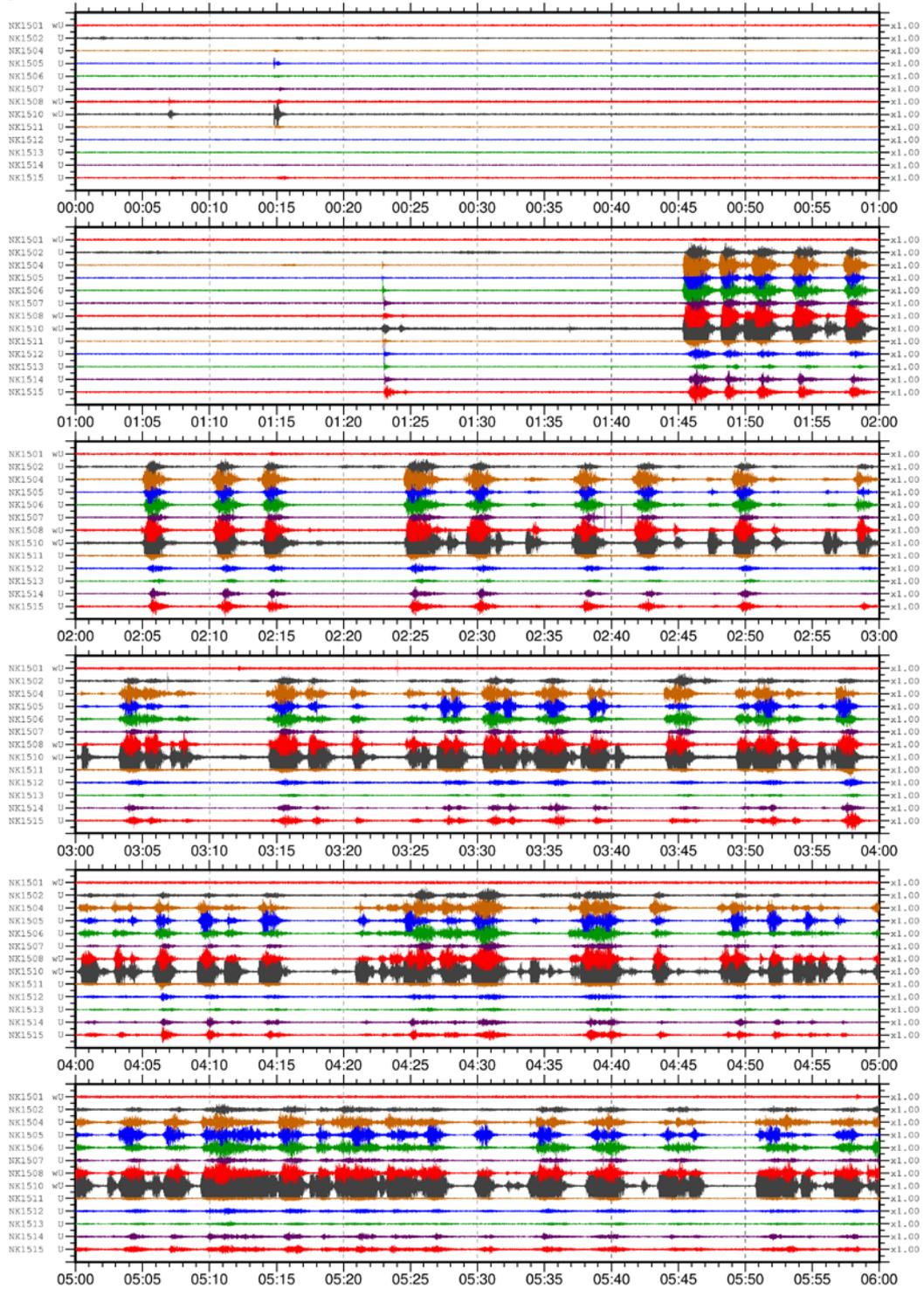


図3-8-②-6 2015年5月7日00時～06時の波形モニター記録
 2-4Hz のバンドパスフィルターを通した上下動記録の波形で、上から順に NK1501～
 NK1515 まで番号順に並んでおり、横 1 トレースは 1 時間分の記録である。記録されてい
 るシグナルのほとんどは浅部低周波微動である。2015年5月6日に前駆的な活動が確認さ
 れており、5月7日01時45分ごろから活動を本格的に開始した。

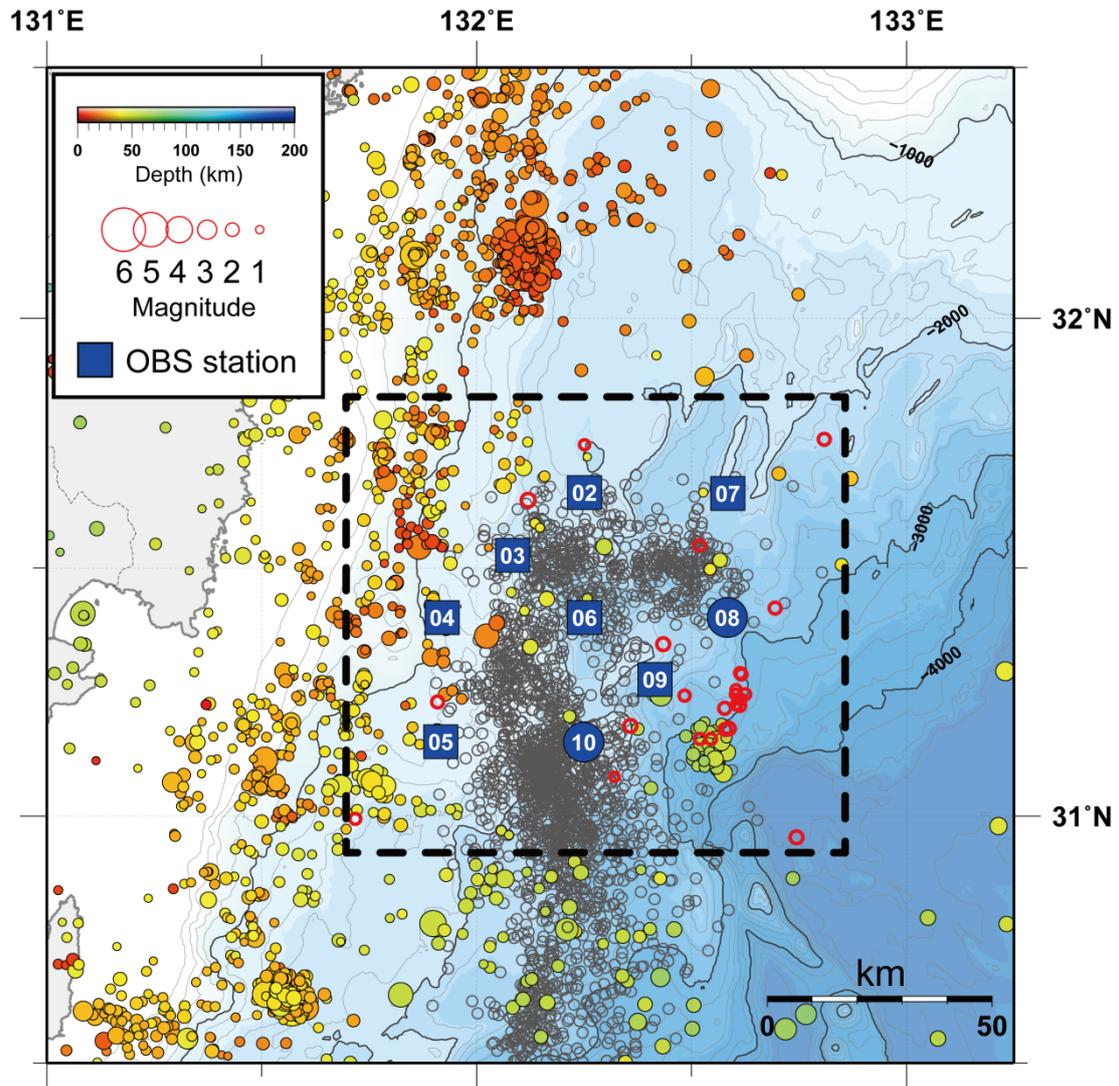


図 3-8-②-7 第 1 期観測期間中の地震活動

赤丸は観測網周辺（黒の点線内）において海底地震計のみで決定された地震、色つきの丸は気象庁により一元化震源として求められている震源（色は深さを示す）。グレーの丸は 2013 年の浅部低周波微動活動（Yamashita et al., 2015）。浅部低周波微動活動域では通常の地震活動が非常に低調であることが分かる。

表 3-8-②-1 2015 年に設置した海底地震計の設置位置

観測点名	Trコード	緯度		経度		水深 m
		度	分	度	分	
NK1501	674	32	33.4032	132	20.0023	1,064
NK1502	620	31	39.0998	132	15.0989	1,891
NK1504	729	31	24.0123	131	55.1958	1,154
NK1505	561	31	09.0010	131	54.9984	1,250
NK1506	720	31	24.0031	132	14.9989	2,489
NK1507	787	31	38.9984	132	35.0912	2,294
NK1508	710	31	24.0020	132	34.9956	2,811
NK1510	708	31	08.9913	132	14.8876	1,696
NK1511	562	31	02.9912	132	41.9894	4,800
NK1512	718	31	24.0010	132	52.4932	3,185
NK1513	670	31	39.0074	132	54.0017	2,389
NK1514	559	31	32.9991	133	11.9889	3,845
NK1515	763	31	17.9987	133	08.9941	4,269

* 斜字は広帯域海底地震・圧力計

表 3-8-②-2 本年度に設置した海底地震計投入点位置と設置日時

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
NK1603	794	31	31.4718	132	05.0401	1,577	2016/01/06	17:27:05
NK1603P	638	31	31.5000	132	05.0583	1,587	2016/01/06	17:19:22
NK1606	558	31	23.9730	132	14.9723	2,491	2016/01/06	19:15:25
NK1608P	634	31	23.9457	132	34.9994	2,813	2016/01/08	02:32:40
NK1610	632	31	09.0430	132	14.9768	1,690	2016/01/07	18:22:54
NK1611	556	31	03.0127	132	42.0071	4,817	2016/01/08	06:22:32
NK1612	798	31	24.0235	132	52.5464	3,192	2016/01/08	17:30:40
NK1616	795	30	53.9989	132	14.9887	2,866	2016/01/07	15:30:17

* 斜字は広帯域海底地震・圧力計

** P の添え字は海底圧力計

(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、圧力計を搭載した広帯域型地震計を含め、長期観測型海底地震計の回収を行った。また、今年度は海底測地観測を強化するため、海底圧力計、圧力計搭載型の広帯域海底地震計、長期観測型海底地震計を設置し、観測を継続した。

今年度回収した海底地震計では、良好な波形データを取得することができており、2015年5月～7月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。特に、足摺沖の活動について、海底観測によるデータ取得が初めて行われたことにより、日向灘から足摺沖におけるスロー地震発生域を高精度で推定できると期待される。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/NNGEO1466, 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, Y. Asano, H. Shimizu, K. Uchida, S. Hirao, K. Umakoshi, H. Miyamachi, M. Nakamoto, M. Fukui, M. Kamizono, H. Kanehara, T. Yamada, M. Shinohara, and K. Obara, Migrating tremor off southern Kyushu as evidence for slow slip of a shallow subduction interface, *Science*, 348 (6235), 676-679, doi:10.1126/science.aaa4242, 2015.

(3) 平成 28 年度業務計画案

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 28 年度は、これまで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 27 年度に設置した海底地震計と海底圧力計を回収し、データ解析を実施する。また、長期型海底地震計、広帯域型海底地震計、もしくは圧力計 10 台程度を南海トラフ西部の領域に再設置し、長期海底地震観測を継続して実施する。

ブイと水圧計を用いた広帯域観測については、平成 28 年 10 月までは海域試験を通じて、システムの脆弱性や安定性を評価する。10 月には、ブイシステムとともに海底局を回収し、イリジウム通信を通じて得た記録と海底局のロガーに記録されたデータを比較、データの安定性を評価する。

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 准教授	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
国立研究開発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
国立研究開発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 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。

(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 年度 :

東北地方太平洋沖地震前後のデータ整備・解析を進め、シミュレーションデータベースを構築した。地震前後のすべりに対する予測の試行実験に向けて、観測データのある程度定量的に再現するシミュレーションモデルを構築した。このようにして得られたモデルによるシナリオでは、日本海溝における M9 クラスの地震発生後から次の宮城県沖地震発生までの間隔が、M9 地震発生以前の繰り返し間隔よりも短くなる傾向が見られた。また、西南日本および南西諸島における地殻変動データの整備・解析を進め、プレート沈み込みおよびゆっくり地震の解析を行った。更に、プレート境界におけるすべり発展予測システム構築に向けてモデルパラメータを逐次更新するデータ同化手法の開発に着手した。

平成 28 年度 :

前年度に引き続き、東北地方太平洋沖地震前後のデータを解析し、シミュレーションデータベースを増強し、データ同化手法の模擬テストを行う。更に西南日本および南西諸島における、地殻変動データ解析を継続し、ゆっくりすべりやプレート間固着といったすべりの時空間発展予測システム構築に向けて、モデルパラメー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 27 年度業務目的

昨年に引き続き、余効すべり・ゆっくり滑りデータ同化手法を開発し、八重山や豊後水道ゆっくり滑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データを用いた 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）の再現性を向上させるとともに、予測実験の試行を進める。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 27 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

西南日本の南海トラフ沿いの過去の大地震に起因する余効変動は定性的には地震後の余効すべりに起因する地殻変動と、主に上部マントルで生じる粘弾性緩和がある。これらの余効変動を解析することで、上部マントルの粘性率等の情報を取得することができる。西南日本の過去の地殻変動を評価するために、有限要素法により三次元地下構造を表現し、粘弾性応答に起因する情報を引き出し、上部マントルの粘性率等について評価した。

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、測地学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、海溝型地震の長期評価もされていない。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 GPS 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した。さらに、この領域の二次元断面を有限要素法によりモデル化し、長期間の地殻変動時系列再現することで、喜界島の海岸段丘の定量的な評価を実施し、過去の大地震の発生履歴について評価した。

(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おり、地震時には日本列島が東向きに変動した。地震後の変動は陸上の観測点では東向きの変動であるが、「宮城沖1」などの海底地殻変動観測点では西向きの変動を示している。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する。粘弾性応答関数は、三次元的なプレートの沈み込みの形状や地殻・マントルなどの物性値を考慮した上で有限要素法を用いて作成した。本研究では東日本の $2600 \times 1500 \times 400\text{km}$ の領域をモデル化し、上部マントルの粘性率は Ohzono et al. (2012) を参考に $4.0 \times 10^{18}\text{Pa} \cdot \text{s}$ を採用した。

2) 地殻変動データの整備

a) 西南日本

長期的地殻変動には1944年東南海地震・1946年南海地震の余効変動が含まれており、定性的には余効すべりと上部マントルの粘弾性応答で説明できる。しかしながら、これらの解析は成層構造を持つ一次元地下構造を仮定しており、海洋プレートが沈み込む複雑な地形や地下構造は反映されていない。そのため、地形、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、モホ面形状、地球の曲率、地震波トモグラフィによる3次元不均質弾性パラメータ等を考慮した三次元有限要素モデルを作成し(図3-9-①-1、図3-9-①-2)、1944年東南海地震と1946年南海地震に伴う余効変動について解析を行った。

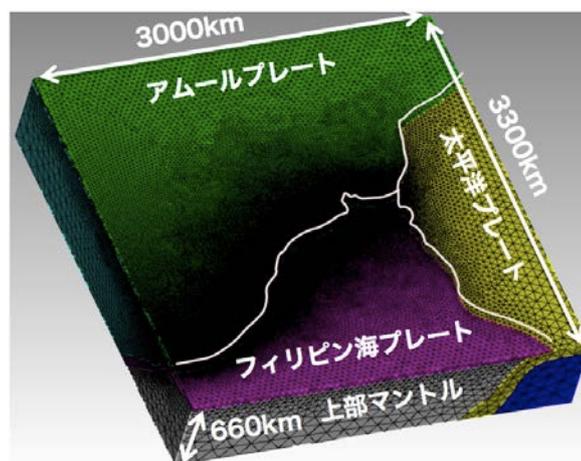


図 3-9-①-1 三次元有限要素法により表現された日本列島近郊のメッシュ図。

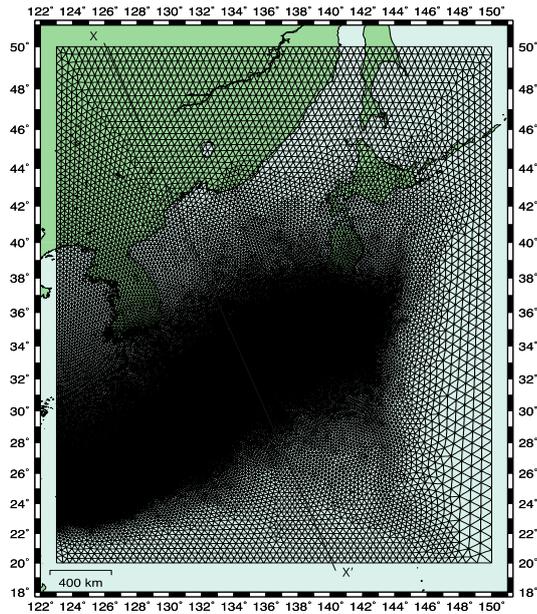


図 3-9-①-2 有限要素メッシュを作成した領域

1944年東南海・1946年南海地震の滑り分布には Sagiya and Thatcher (1999)を採用し、それらの弾性・粘弾性応答を有限要素法にて計算した(図 3-9-①-3、図 3-9-①-4)。地震発生域の近傍で大きな粘弾性応答が得られたが、太平洋側の沈み込み帯の近傍は余効すべりや固着の回復に伴う地殻変動の影響が大きいことから、これらの分離には詳細なモデル化が必要となる。一方、日本海側と瀬戸内海地域では余効すべりや固着に伴う地殻変動の影響は小さく、弾性応答は 1 mm/yr 以下であることを確認した。よって、日本海側と瀬戸内海地域に現れる地殻変動パターンは粘弾性応答であると仮定して、地下の粘性構造を推定した。しかし、日本海側の地殻変動は小さいことから検潮データを用いた長期的な地殻変動と比較すると、温暖化に伴う海水面変動を考慮する必要がある。

これらの補正には、Kato and Tsumura (1979)の手法に加えて、海水面の温度から海水面変動量を推定して補正する必要がある。ここで、海水の膨張係数(α)と海水面温度(ΔT)から下記のように海水面変動量(H_s)を推定した。

$$H_s = \alpha \beta D \Delta T$$

ここで、 β は全球の海水面温度と 700 m 以浅の表層海水温度の観測データから海水の温度効率で、 D は水深である。これらの計算の結果、海水温変化に伴う日本海側の海水面変動は約 2.0 mm/yr の海面上昇があると推定された。それらの値により地殻変動の補正を行い、有限要素法により推定された地殻変動時系列と比較をすることで、地下のレオロジーに関する情報を引き出すことを行った。

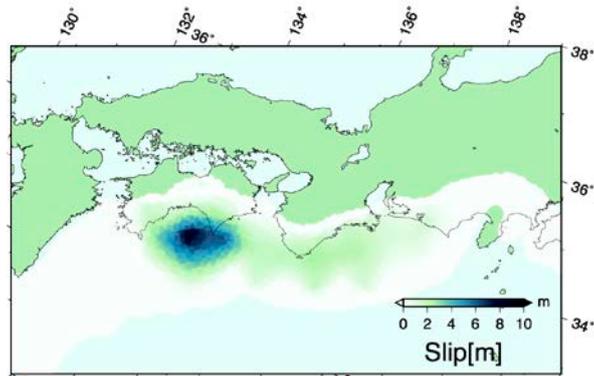


図 3-9-①-3 本研究で用いた南海・東南海地震のすべり分布

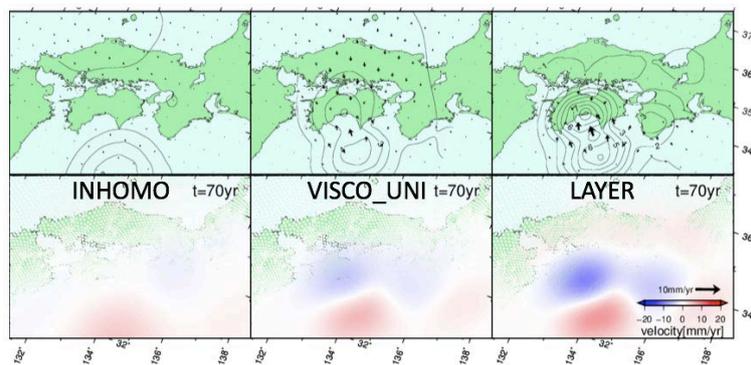


図 3-9-①-4 地震後 70 年後の粘弾性応答速度。上段：水平速度、下段：上下動速度。左コラム：不均質構造、中コラム：粘性率一定、右コラム：層構造

b)南西諸島

2013 年 9 月から横当島（無人島）にて GNSS 観測点を設置し、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込みの影響を観測する。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 3-9-①-5）。これらの観測結果により奄美大島の近海におけるプレート間カップリングを推定し、それらの情報をもとに二次元有限要素法を用いてプレートの沈み込みを表現し、長期的地殻変動を再現した。それらの結果から、海岸段丘を説明できるモデルを作成し、海岸段丘からプレートの固着の情報やプレートの形状に関する情報などについて考察を行った。

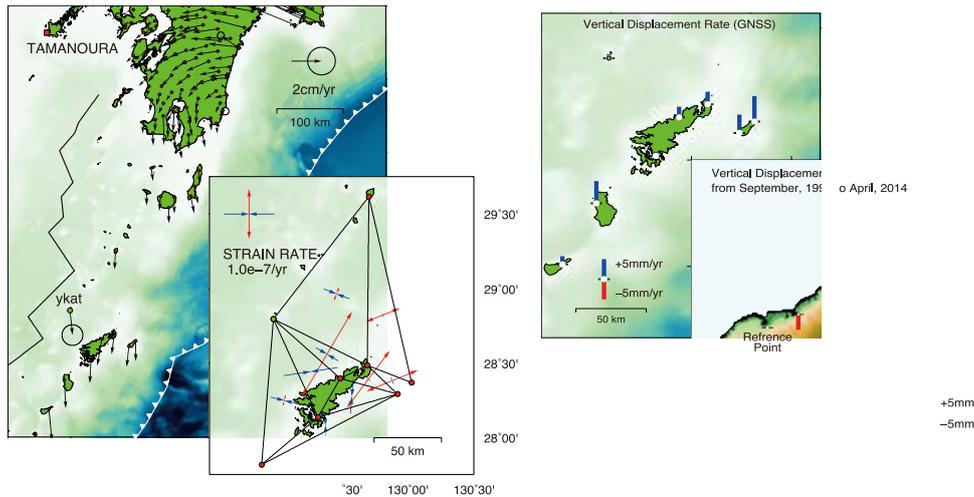


図 3-9-①-5 GNSS 観測・水準測量によって得られた地殻変動速度分布。左上：広域的な水平変動（固定点は玉之浦）。左下：喜界島周辺の歪分布。右上：奄美大島近郊の GNSS 観測結果。右下：喜界島内の水準測量結果。

(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結果を用いた。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。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。

2) 地殻変動データの整備

a) 西南日本

有限要素法により複数の地下構造を設定し、レオロ

表 3-9-①-1 本研究で検討した構造モデル

モデル	スラブ	粘性率	地形	弾性パラメタ
INHOMO	○	不均質	DEM	不均質
VISCO_UNI	○	一様	DEM	不均質
LAYER	—	一様	平面	一様

表 3-9-①-2 各モデルで設定した弾性パラメタ

INHOMO・VISCO_UNI		
深さ	地震波速度構造	密度
0 ~ 410km	日本列島下の三次元地震波速度構造 (Matsubara and Obara [2011])	ガードナーの式 $\rho = 0.31V_p^{0.25}$ (Gardner <i>et al.</i> [1974])
410 ~ 660km	PREM (Preliminary Reference Earth Model) (Deziewonski and Anderson [1981])	
LAYER		
0 ~ 660km	$V_p = 8100 \text{ m/s}$ $V_s = 4500 \text{ m/s}$	3000 kg/m^3

ジーモデルの検討を実施した（表 3-9-①-1、表 3-9-①-2）。INHOMO、モデルは粘性率（ η ）が深さ（ z ）に依存するレオロジーモデルを採用しており、表層から 410 km までは下記の関係式より粘性率を設定した。

$$\eta = \eta_0 \exp(z/b),$$

$$b=60, \eta_0=1 \times 10^{20}$$

ここで、 b と η_0 は Karato and Jung (2003) の岩石実験結果を採用している。

これらのモデルによる粘弾性応答と検潮の観測を比較した結果を図 3-9-①-6 に示す。これらの結果から、3つのモデルの中では LAYER モデルが最も観測データを説明できず、上下動の極性が一致しないという結果が得られた。一方、プレート形状を考慮したモデル（INHOMO, VISCO_UNI）は観測データをよく説明するが、2つのモデルにおいて観測データとの残差には優位な差は見られなかったため、粘性率の深さ依存モデルの優位性を確認するためには、上下変動だけでなく水平変動について検討する必要がある。

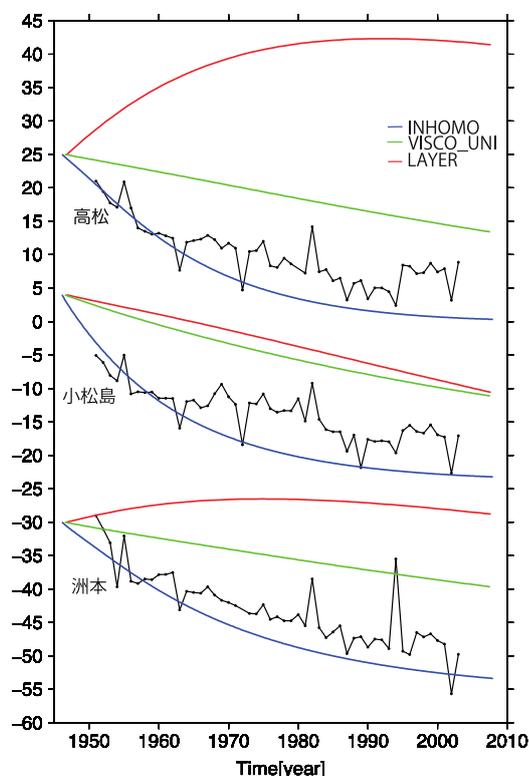


図 3-9-①-6 有限要素法の各モデルによって推定された粘弾性応答と瀬戸内海地域の海水面変動から推定された上下動変動（黒色）。色のついた実線は有限要素法によって推定された粘弾性応答。縦軸のスケールはセンチメートル。

b) 南西諸島

南西諸島の横当島・奄美諸島・喜界島近辺でのプレート間カップリングレートは小さく、最大で 2 cm/yr であり、平均的には 5 mm/yr 程度であった。これらの情報をもとに、有限要素法により過去 8000 年の地殻変動を再現し、喜界島内の海岸段丘を再現する地殻変動時系列の生成に成功した（図 3-9-①-7、図 3-9-①-8）。これらの地殻変動解析結

果により、粘弾性応答が海岸段丘の生成に重要な役割を果たしていることが明らかになった。このことは、海岸段丘から過去の地震の痕跡を調査する際には、粘弾性応答を考慮する必要があることを示唆している。

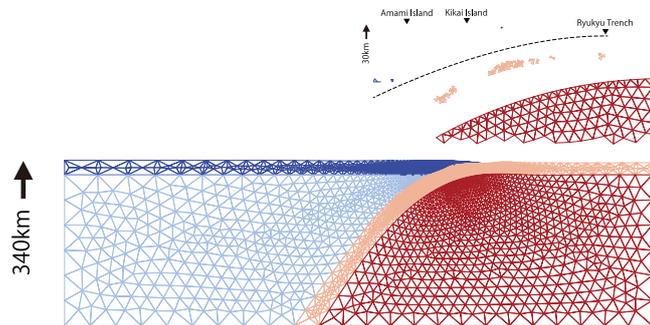


図 3-9-①-7 奄美大島近辺の有限要素モデル。

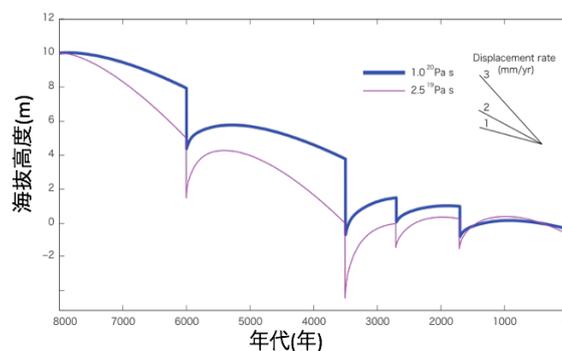


図 3-9-①-8 有限要素法により過去 8000 年の地殻変動時系列を生成し喜界島内の海岸段丘と比較した。

(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、三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大きな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、「宮城沖 1」などの海底地殻変動観測点によって観測された西向き海底地殻変動も説明可能である。しかし、まだレオロジー構造の選択などの課題は残っており、今後の課題である。

2) 地殻変動データの整備

a) 西南日本

広域の有限要素モデルを構築し、1944 年と 1946 年の南海トラフ沿い地震に対する粘弾性応答を見積もりレイヤー構造では検潮データを説明できないことを示した。今後は、水平変動の観測データを用いて検証していく必要がある。

b) 南西諸島

奄美大島近郊の地殻変動を調査し、それらの結果から弱いカップリングが確認でき

た。それらの結果を用いて、二次元の有限要素モデルを構築し、過去 8000 年の地殻変動時系列を生成した。その結果、喜界島内の河岸段丘は過去の地震によって生成できることを示した。また、それらの解析結果から過去の地震において河岸段丘の生成に粘弾性応答が重要な役割を果たしていることがわかった。今後、河岸段丘の精査により、この地域のレオロジー特性について新たな知見を得る可能性があると言える。

(e) 引用文献

- 1) Ohzono, M., Ohta, Y., Iinuma, T., Miura, S., Muto, J., (2012). Geodetic evidence of viscoelastic relaxation after the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, *Earth Planets and Space*, 64 (9), 759–764.
- 2) Sagiya, T., and W. Thatcher (1999), Coseismic slip resolution along a plate boundary megathrust: The Nankai Trough, southwest Japan, *J. Geophys. Res.*, 104, 1111–1129.
- 3) Kato, T., and K. Tsumura (1979), Vertical land movement in Japan as deduced from tidal records (1951-1978), (Japanese with English abstract), *Bull. Earthquake Res. Inst.*, 54, 559-628
- 4) Karato and Jung (2003), Effects of pressure on high-temperature dislocation creep in olivine, *Philosophical Magazine*, 83 (3), 401-414
- 5) Matsubara, M. and K. Obara (2011), 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
- 6) Gardner, G.H.F. et al. (1974). Formation velocity and density -- the diagnostic basics for stratigraphic traps, *Geophysics*, 39: 770–780.
- 7) Dziewonski, A. M. and D. L. Anderson (1981) Preliminary Reference Earth Model, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 25, 297-356

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行うとともに、東北地方太平洋沖地震に伴う内陸地殻応答についての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の 10 年スケールでの固着のゆるみを GPS のみならず小繰り返し地震から確実に存在することを確認した。さらに、東北沖地震の震源域でのメカニズムタイプ別の発生割合の時間変化を調べ、その時間変化と b 値の時間変化に良い対応があることを見出した。また、長期間における小繰り返し地震および GPS データの解析により、東北日本のプレート境界での非地震性すべり（スロースリップ）に、1～6 年周期の揺らぎがあることを見出した。さらに、2011 年東北地方太平洋沖地震直後の余効変動による内陸地殻応答の時空間変化をキネマティック GPS データの再解析によって明らかにし、それらが内陸地殻の構造不均質に起

困していることを示した。また、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前後の地殻変動現象の整理として、東北沖地震前の長期的なプレート間固着の時空間変化の推定および地震前後のメカニズム解の変化とその b 値との関係の調査を行った。また、昨年度に課題として挙げた東北地方太平洋沖地震に伴う内陸における地殻応答について調査を進めた。さらに、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切かの検討を進めた。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) 東北沖地震前の長期的なプレート間固着のゆるみの推定

GPS データと小繰り返し地震の両方を用いて、東北沖地震のすべり域周辺での 1996 年から 2011 年間のプレート間固着の時間変化を調べた(図 3-9-②-1)。この領域では、すでに GPS データ解析により、東北沖地震前に 10 年スケールでの固着のゆるみがあったことが指摘されている(Yokota and Koketsu, 2015; Mavrommatis et al., 2014)。本研究では、小繰り返し地震を新たに解析し、茨城県から宮城県沖の領域に関して、この期間、発生間隔が単調減少している小繰り返し地震グループが多く存在することがわかった。これは、プレート境界での非地震性すべりの加速を示す独立なデータであり、前述のように GPS データから指摘されていた非地震性すべりの加速が確実にあったことを示す。また、GPS と小繰り返し地震の両方のデータを用いた加速の空間分布の推定により、沖合での空間解像度が改善され、加速が 2011 年東北地方太平洋沖地震のすべり域を縁取るように起きていたことがわかった。

2) メカニズム解の時間変化と b 値の関係の調査

2011 年東北沖地震前後の震源域周辺での b 値の時間変化と、同地域でのメカニズムタイプの時間変化の関係を調べた(図 3-9-②-2)。東北沖地震後、震源域周辺では正断層型地震が卓越するようになっており、逆断層型地震が卓越していた東北地方太平洋沖地震前と大きく異なる。東北沖地震後の b 値の時間変化から、東北沖地震のすべり域がすでに地震前の状況に戻っていると Tormann et al. (2015) による報告もあるが、地震の発生場所が時間的に変化していることもあり、 b 値の時間変化を応力変化と結びつけるのは、現段階では慎重になる必要があると考えられる。東北日本では、メカニズムタイプごとに b 値が異なる傾向があり、メカニズムタイプによる b 値の違いと、その割合の時間変化で、震源域での b 値の時間変化の一部は説明可能である。また、粘弾性緩和と余効すべりおよび定常プレート運動を考えたモデルによると、大すべり域での応力増加は地震後 3 年間で 0.5 MPa 程度であり、地震時の応力降下量に比べて大幅に小さい。したがって、この本震直後 3 年間の応力レベルの増加割合はその後と比べれば大きいですが、

東北沖地震前の応力レベルに戻るには数百年を要すると考えられる。

3) 周期的スロースリップの発見

北海道―関東地方の沖合のプレート境界断層の広い範囲で、準周期的な非地震性すべり（スロースリップ）が発生していることを地震および GPS データから発見した。これまで北海道・東北地方の太平洋側では広域にわたる周期的スロースリップの発生は知られていなかった。今回発見されたスロースリップは地域によって異なり、1～6年の発生間隔を持つ（図 3-9-②-3）。その発生に同期してその地域での M5 以上の規模の大きな地震の活動が活発化しており、東北地方太平洋沖地震が発生した時期にも、三陸沖ではスロースリップが発生していた。このように周期的なスロースリップを地震・地殻変動観測でモニタリングし、データ同化することで、シミュレーションを通じた地震発生予測の高度化への貢献が期待できる。

4) 東北地方太平洋沖地震にともなう地震直後の内陸地殻応答の特徴抽出

2011 年東北地方太平洋沖地震直後の余効変動による内陸地殻応答の時空間変化をキネマティック GPS データの再解析によって明らかにした。これまで、Ohzono et al. (2012) によって、地震時における東北日本域における内陸地殻不均質が見出されていたが、地震直後の余効変動に対して内陸地殻がどのように応答していたかについては、明らかではなかった。具体的には地震直後 18 時間分の GEONET GPS データを最適な対流圏遅延パラメータを用いてキネマティック精密単独測位法により再解析し、さらにそれらの時系列に対して主成分分析を適用することで空間相関を持つ誤差を効果的に低減することで、高精度な変位時系列を得た（図 3-9-②-4）。これらを用いて 1 時間毎の面積ひずみを計算した。地震直後の余効変動は本来であれば東北地域全体に大きな東西伸長ひずみ（面積ひずみでは膨張）を与えることが予想される。しかし、得られた面積ひずみ分布には、地震直後の余効変動から予想される長波長の膨張ひずみに重畳して、空間的に短波長の周囲よりも面積ひずみが卓越する領域が存在し、それらの多くが火山の位置とよく一致することが明らかになった（図 3-9-②-5）。さらに、それらとは独立した情報である地震波トモグラフィーの結果と比較すると、膨張ひずみが周囲よりも卓越する領域では、地震波速度もおおむね周囲よりも遅いことが明らかになった（図 3-9-②-5）。これらの領域では周囲よりも弾性定数が低いため、地震後の余効変動による東西変位に対して、周囲よりも大きく伸長したことが考えられる。

こうした結果は今後、地震後の余効変動をモデリングする上で、内陸地殻の応答不均質を一定程度、考慮する必要性を示唆していると考えている。

(d) 結論ならびに今後の課題

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。GPS と小繰り返し地震の両方を用いて、東北沖地震のすべり域周辺での 1996 年から 2011 年の間のプレート間固着の時間変化を明らかにした。また、2011 年東

北地方太平洋沖地震前後の震源域周辺での b 値の時間変化と、同地域でのメカニズムタイプの時間変化の関係を調べ、茨城県から宮城県沖の領域に関して、この期間、発生間隔が単調減少している小繰り返し地震グループが数多く存在することを明らかにした。また、北海道—関東地方の沖合のプレート境界断層の広い範囲で、周期的なスロースリップが発生していることを地震および GPS データからはじめて発見した。さらに、2011 年東北地方太平洋沖地震直後の余効変動による内陸地殻応答の時空間変化をキネマティック GPS データの再解析によって明らかにし、それらが内陸地殻の構造不均質に起因していることを示した。

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および、プレート境界型地震発生後の内陸における地殻応答に関する整理は進みつつある。次年度以降もこれらの情報整理を進め、そうした知見を、シミュレーションを通じた地震発生予測の高度化に結びつける作業を継続して実施する必要があると考える。

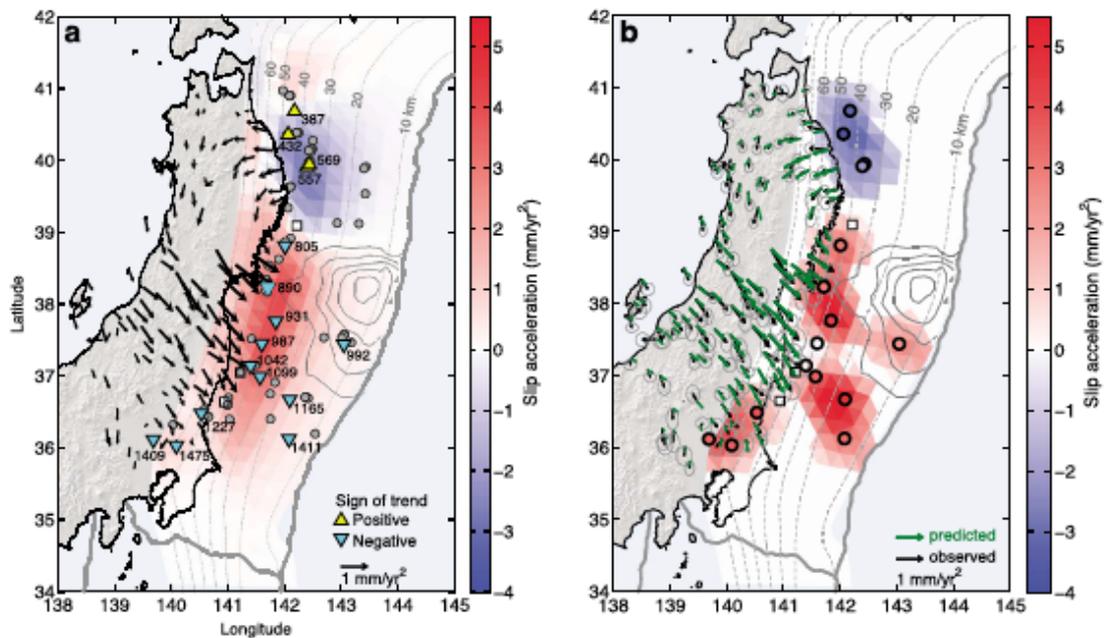


図 3-9-②-1 1996 年 3 月 21 日から 2011 年 2 月 6 日の期間のプレート間すべり速度の加速（赤）と減速（青）。(a) GPS 水平成分のみを用いた結果。(b) GPS に加え、発生間隔が単調増加あるいは単調減少している小繰り返し地震系列（丸印）を加えた結果(Mavrommatis et al., 2015)。

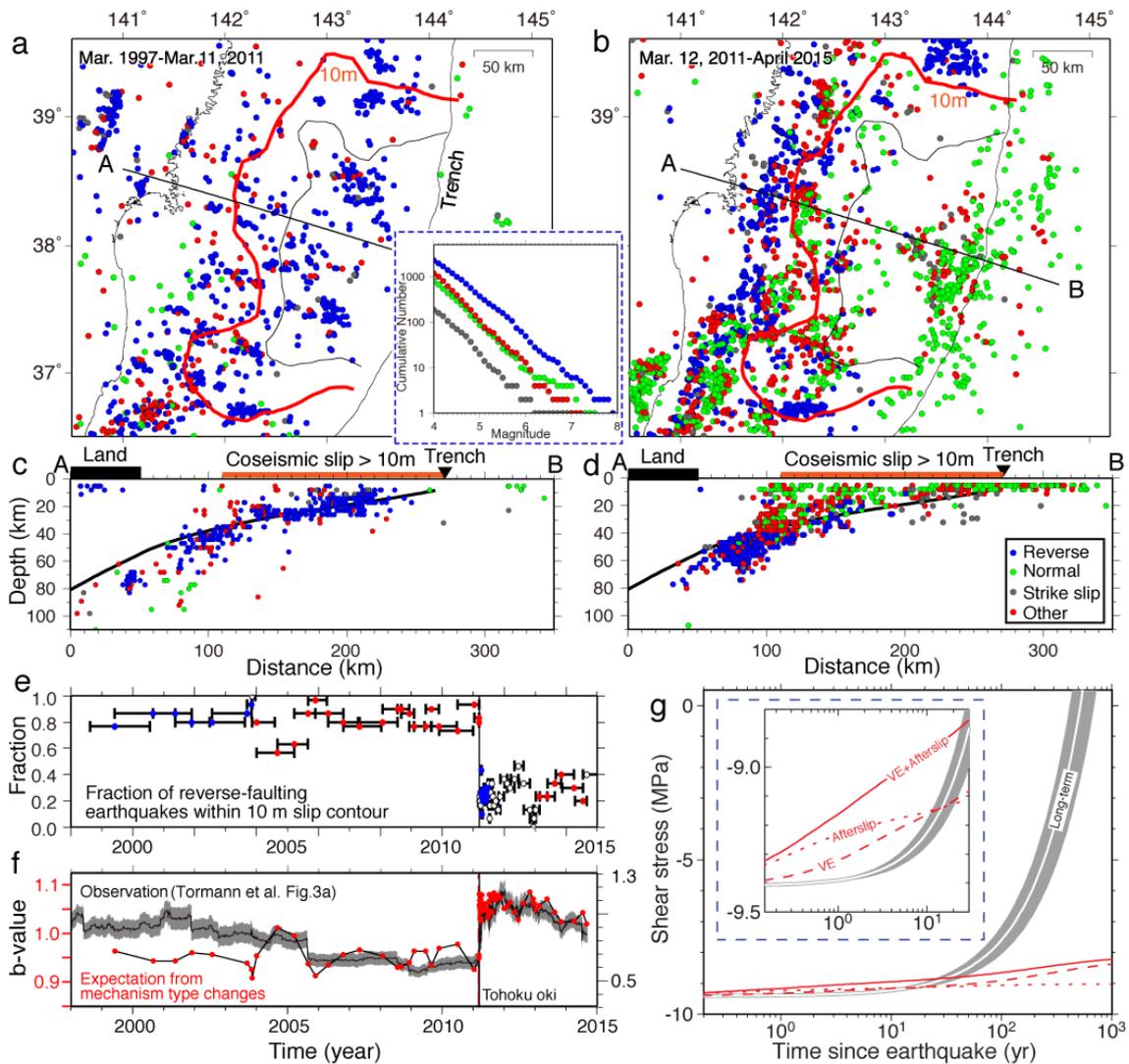
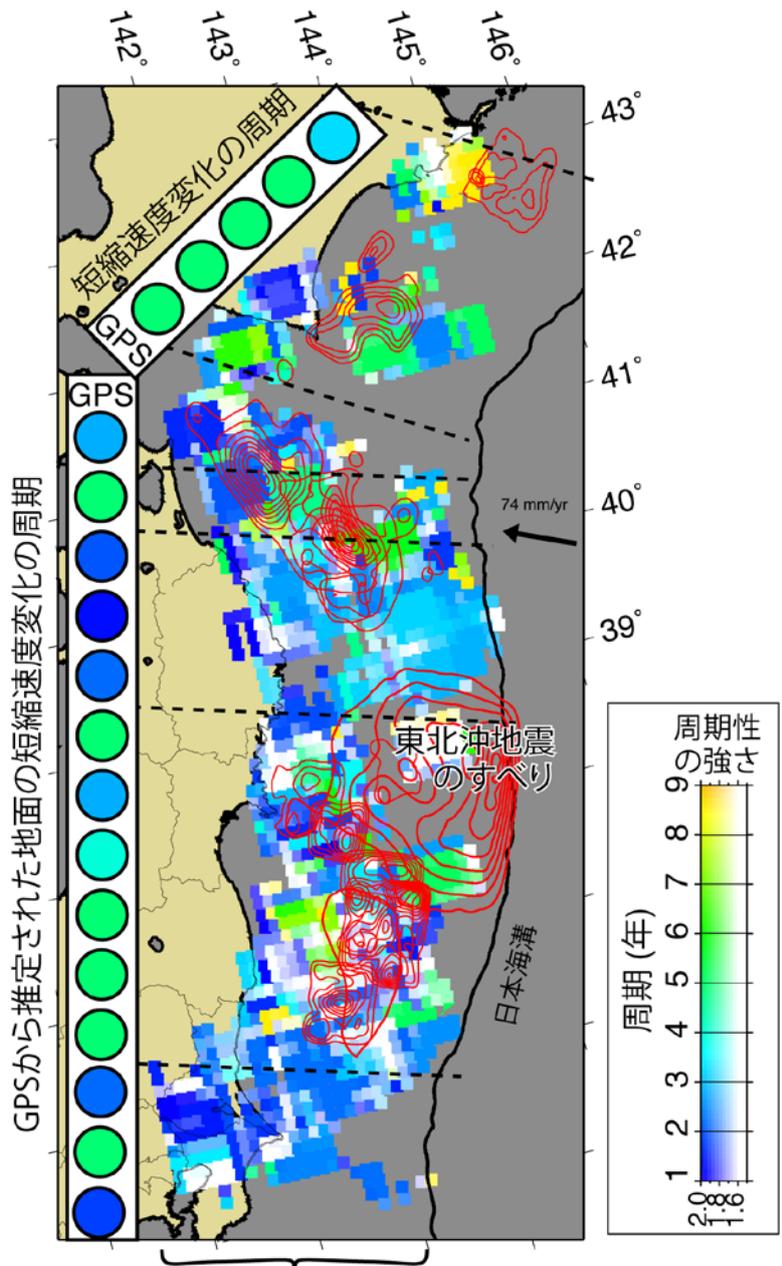


図 3-9-②-2 2011 年東北地方太平洋沖地震発生前後の宮城県沖の地震発生状況と、すべり域でのせん断応力の推移予測(Burgmann et al., 2016)。(a-d) 地震分布の平面図および断面図。色は F-net メカニズム解データにもとづく断層タイプの違いを示す。コンターは Yagi and Fukahata (2011)による地震時すべり量を示す。挿入図は、メカニズムタイプごとの規模別頻度分布で、正断層とその他のタイプの地震の b 値が大きいことがわかる。(e)地震時すべり 10 m 以上の場所での逆断層型地震の割合の時間変化。(f) Tormann et al. (2015)による地震時すべりが 10 m 以上の場所での b 値の時間変化 (灰色) と、メカニズムタイプごとに b 値が異なると仮定して、各タイプの地震の割合と b 値から合成した b 値の時間変化(赤丸)。(g)地震時すべり域内での剪断応力の時間変化の予測。Hu et al. (2016) のモデルによる粘弾性緩和・余効すべりによる予測値、定常プレート運動の寄与を示す。



相似地震から推定された
プレート境界でのスロースリップの周期

図 3-9-②-3 小繰り返し地震データから推定されたプレート境界でのスロースリップの周期およびその強さの分布（沖合の色およびその強度、Uchida et al., 2016）。丸は、陸上 GPS データにより推定された沈み込み方向の地面の短縮速度の周期を示す。赤い線は、宮城県から茨城県の沖合にわたる東北沖地震のすべり域および他の大地震のすべり域を示す。

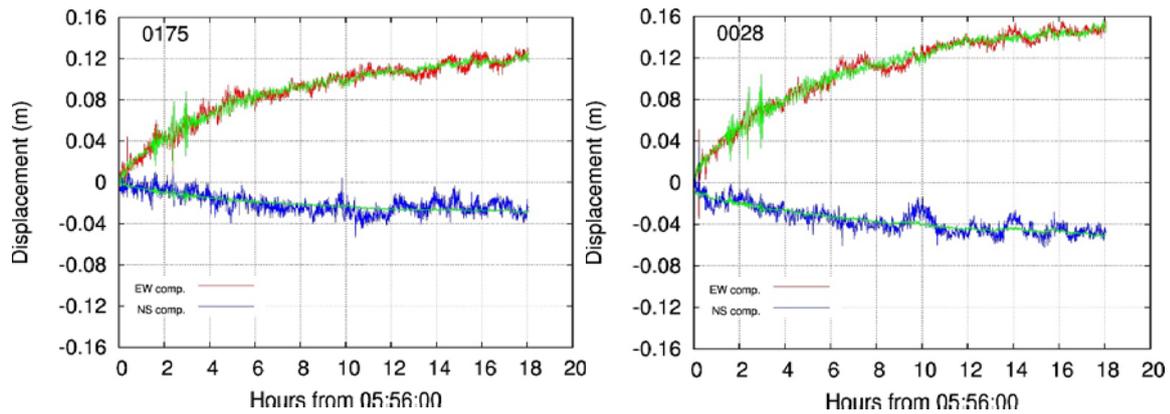


図 3-9-②-4 2011 年東北地方太平洋沖地震直後から 18 時間分の地震後余効変動時系列。キネマティック GNSS 解析によって推定した時系列（赤：東西成分、青：南北成分）および主成分分析によってノイズ成分と考えられる成分を除去した時系列（各時系列に重畳している緑の時系列）。（左図）：GEONET 0175 観測点（宮城県志津川町）における変位時系列。（右図）：GEONET 0028 観測点（岩手県宮古市）における変位時系列。

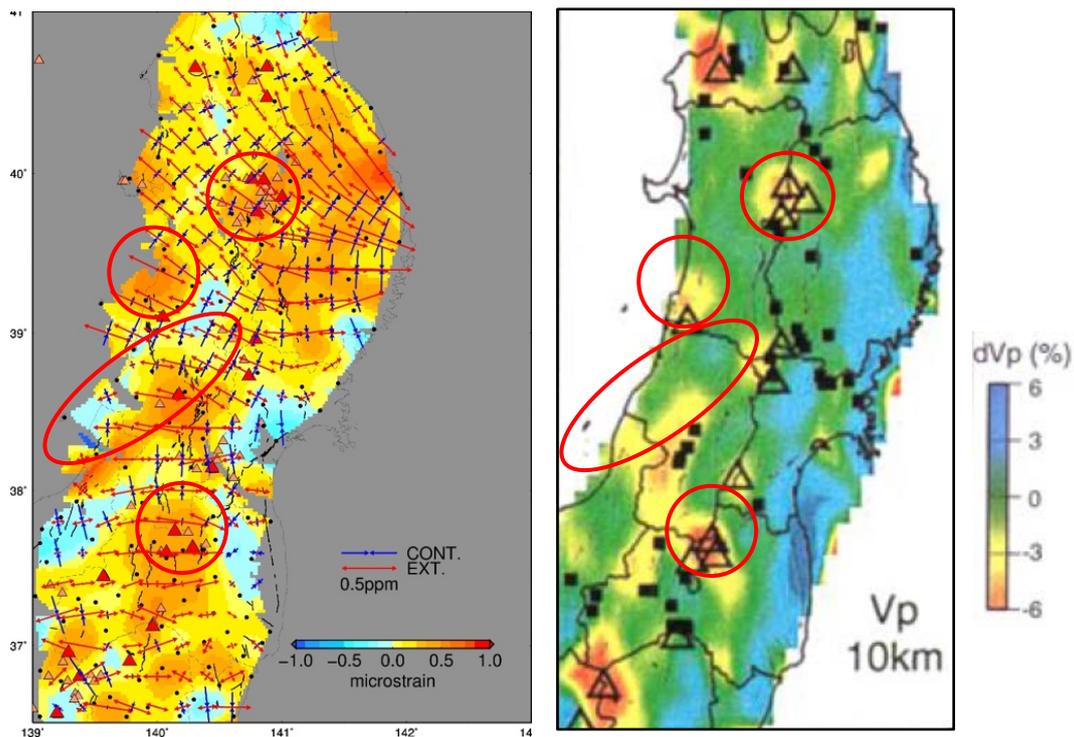


図 3-9-②-5 （左図）：2011 年東北地方太平洋沖地震後 9 時間における面積ひずみ分布とその主軸の方向を示す。暖色系が膨張ひずみ、寒色系が収縮ひずみをそれぞれ示す。周囲よりも膨張量が大きい領域が点在している（図中赤線で囲んだ部分）。（右図）：Nakajima et al. (2001) による 10 km の深さにおける P 波速度異常。地震後余効変動で周囲よりも大きな膨張ひずみを示した領域と、P 波速度が周囲よりも低い領域がよい一致を示す。

(e) 引用文献

- 1) Burgmann, R., N. Uchida, Y. Hu, and T. Matsuzawa, Tohoku rupture reloaded?, *Nature Geoscience*, 9, 183-184, 2016.
- 2) Hu, Y., R. Bürgmann, N. Uchida, P. Banerjee, and J. T. Freymueller, Stress-driven relaxation of heterogeneous upper mantle and time-dependent afterslip following the 2011 Tohoku earthquake, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121(1), 2015JB012508, doi:10.1002/2015JB012508, 2016.
- 3) Mavrommatis, A. P., P. Segall, and K. M. Johnson, A decadal-scale deformation transient prior to the 2011 Mw 9.0 Tohoku-oki earthquake, *Geophysical Research Letters*, 41(13), 4486-4494, doi:10.1002/2014gl060139, 2014.
- 4) Mavrommatis, A., P. Segall, N. Uchida, and K. M. Johnson, Long-term acceleration of aseismic slip preceding the Mw 9 Tohoku-oki earthquake: constraints from repeating earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 9717-9725, doi:10.1002/2015GL066069, 2015.
- 5) Nakajima J., T. Matsuzawa, A. Hasegawa and D. Zhao, Three-dimensional structure of Vp, Vs, and Vp/Vs beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids, *J. Geophys. Res.*, 106, 21843-21857, 2001.
- 6) Ohzono, M., Y. Yabe, T. Inuma, Y. Ohta, and S. Miura, Strain anomalies induced by the 2011 Tohoku Earthquake (Mw 9.0) as observed by a dense GPS network in northeastern Japan, *Earth, Planets and Space*, 64(12), 1231-1238, doi:10.5047/eps.2012.05.015, 2012.
- 7) Tormann, T., B. Enescu, J. Woessner, and S. Wiemer, Randomness of megathrust earthquakes implied by rapid stress recovery after the Japan earthquake, *Nature Geosci*, 8(2), 152-158, doi:10.1038/ngeo2343, 2015.
- 8) Uchida, N., T. Inuma, R. M. Nadeau, R. Bürgmann, and R. Hino, Periodic slow slip triggers megathrust zone earthquakes in northeastern Japan, *Science*, 351(6272), 488-492, doi:10.1126/science.aad3108, 2016.
- 9) Yagi, Y., and Y. Fukahata, Rupture process of the 2011 Tohoku-oki earthquake and absolute elastic strain release, *Geophys. Res. Lett.*, 38(19), L19307, doi:10.1029/2011gl048701, 2011.
- 10) Yokota, Y., and K. Koketsu, A very long-term transient event preceding the 2011 Tohoku earthquake, *Nat Commun*, 6, doi:10.1038/ncomms6934, 2015.

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すべりに対する予測の試行実験に向けて、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、ある程度定量的に再現することができた。そのようなシナリオでは、日本海溝におけるM9クラスの地震発生後から次の宮城県沖地震発生までの間隔が、M9地震発生以前の繰り返し間隔よりも短くなる傾向が見られた。

(b) 業務の実施方法

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。これは、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によって行う。

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)。プレートの相対運動に起因するすべりによって生じる準動的近似でのせん断応力変化と、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)。Ohtani et al. (2014)による先行研究や昨年度構築したモデルを基に、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。

さらに、ゆっくりすべりの観測事例や発生機構に関する国内外の研究動向の情報収集を行うために、学会等に参加する。

(c) 業務の成果

図 3-9-③-1 は、日本海溝地域について仮定した摩擦パラメタ分布の一例である。これは、昨年度構築したモデルに対し、福島県沖と茨城県沖で発生するM7クラスの地震も再現できるように不安定条件を持つパッチを2つ追加したモデルである。その結果、M9クラスの地震 (本震) の13日前にMw7.4の地震 (前震) が浅部で発生した。そして前震の余効すべりが南に伝播し、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 3-9-③-2、図 3-9-③-3)。ダンピング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および福島県沖へ伝播するのに要する時間が数分程度まで短くなり、より観測値に近づいた (図 3-9-③-3)。さらに、本震の27日後に茨城県沖でMw7.0の余震が発生した。このシナリオは、前震の発生から本震をトリガーする過程、本震の規模・再来間隔・すべり域、本震時の宮城県沖や福島県沖への破壊伝播時間、茨城県沖での余震発生、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概ね定量的に再現していると言える。また、宮城県沖・福島県沖・茨城県沖でM7前後の規模の地

震が繰り返すことも、再現できた（図 3-9-③-4）。しかし、前震と本震、本震と余震との時間差については、観測値との差がやや大きい。このシナリオでは、M9クラスの地震発生後、約 18 年後に、次の宮城県沖地震が発生していた（図 3-9-③-3 h）。これは、M9クラスの地震前 230 年間の宮城県沖地震の繰り返し間隔 54 年よりも短い間隔であった。このような分布を用いて 45 モデルで計算を行ったところ、複数のパラメタセットで同程度の再現性を示すシナリオが得られ、その多く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 3-9-③-5 赤）。2次元モデルを用いた先行研究（Kato and Yoshida, 2011）でも、同様の傾向が見られている。

さらに、名古屋市で開催されたスロー地震研究集会（2015 年 9 月）へ参加し、南海トラフと類似した条件の沈み込み帯である北米のカスカディア地域等で発生しているゆっくりすべりの観測事例や発生機構に関する国内外の研究動向の情報収集を行った。

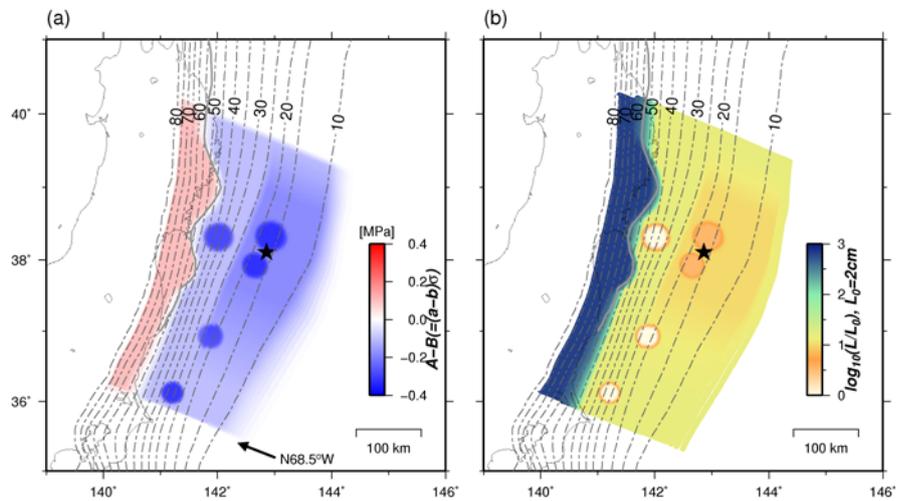


図 3-9-③-1 日本海溝地域のモデルで仮定した摩擦パラメタ分布。(a)A-B。(b)L。

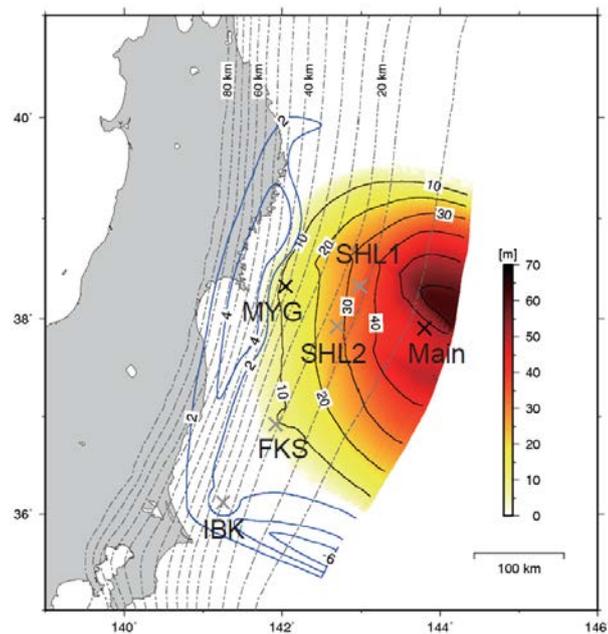


図 3-9-③-2 図 3-9-③-1 の摩擦パラメタ分布を用いて得られた、Mw9.1 のすべり分布（カラー）と、その後3年間の余効すべり分布（青コンター）。

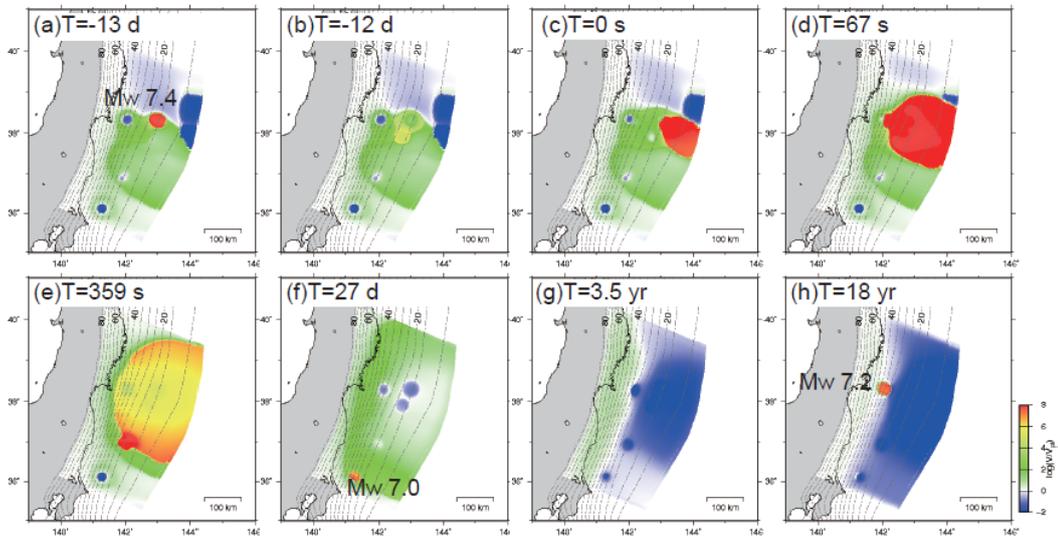


図 3-9-③-3 すべり速度分布のスナップショット。

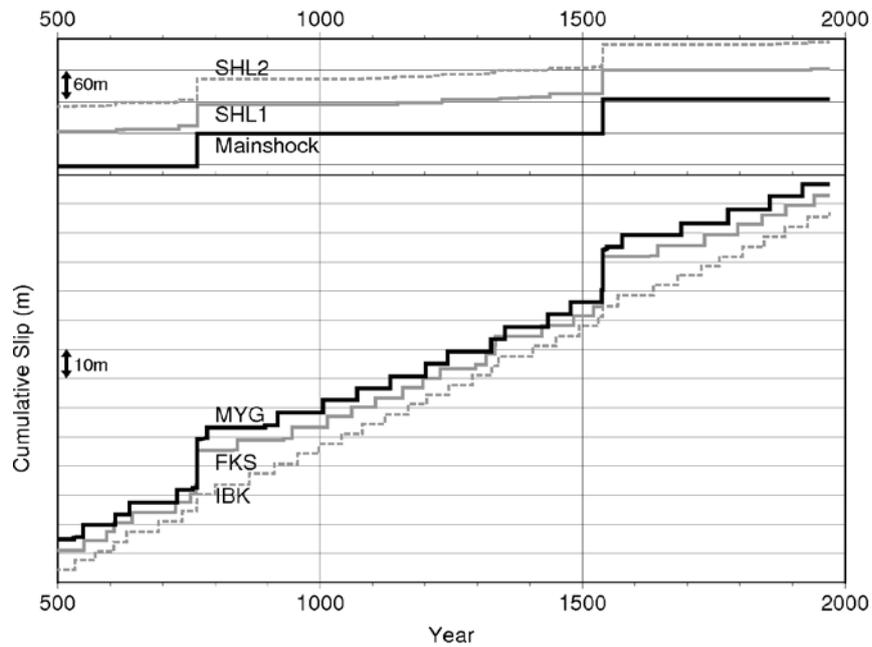


図 3-9-③-4 図 3-9-③-2×印における、累積すべりの時間変化。

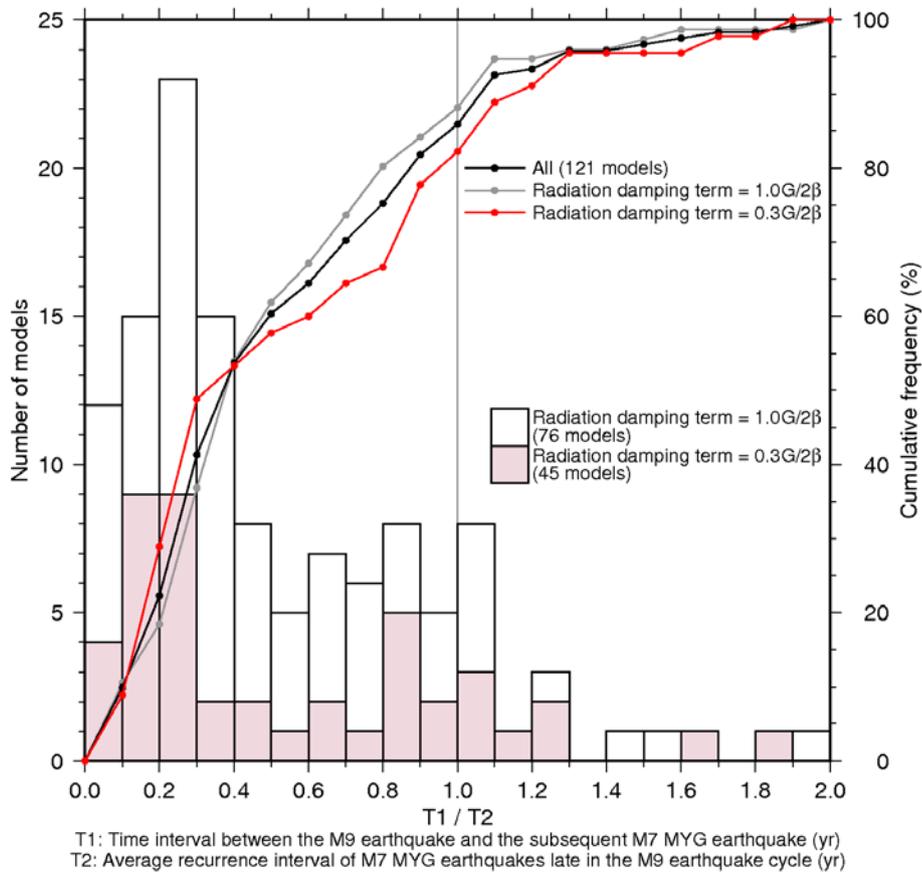


図 3-9-③-5 M9クラスの地震前の200年間に発生した宮城県沖地震の平均繰り返し間隔と、M9クラスの地震後の宮城県沖地震発生までの期間の比。棒グラフがモデルの数(個)、折れ線グラフが累積頻度(%)を示す。

(d) 結論ならびに今後の課題

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、さらに本震・余震・余効すべりに至る過程が、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。さらに多くのモデルで計算してシミュレーションデータベースを増やすとともに、多数のシナリオにもとづいた今後の地震発生についての確率評価方法を検討することが、今後の課題の一つである。また、観測に基づく知見とより整合するモデルを得るために、本「データ活用予測研究」課題で整理された観測データおよび開発された逐次データ同化手法を取り入れながら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。

(e) 引用文献

- 1) Rice, J. R., Spatio-temporal complexity of slip on a fault, J. Geophys. Res., 98

(B6), 9885-9907, 1993.

- 2) Dieterich, J. H., Modeling of rock friction, 1. Experimental results and constitutive equations, *J. Geophys. Res.*, 84, B5, 2161-2168, 1979.
- 3) 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.
- 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) Ohtani M., K. Hirahara, T. Hori, and M. Hyodo, Observed change in plate coupling close to the rupture initiation area before the occurrence of the 2011 Tohoku earthquake: Implications from an earthquake cycle model, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 1899-1906, doi:10.1002/2013GL058751, 2014.
- 7) Kato, N., and S. Yoshida, A shallow strong patch model for the 2011 great Tohoku - oki earthquake: A numerical simulation, *Geophys. Res. Lett.*, 38, doi:10.1029/2011GL048565, 2011.

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

昨年度に引き続き、アジョイント法により速度・状態依存摩擦則(Dietrich,1979)に基づく余効すべり域における摩擦パラメータを推定する手法の開発および実データへの適用を行った。本年度は、摩擦パラメータが空間的に不均質である場合にも適用可能な手法に拡張し、2003年十勝沖地震後に GNSS 観測データから推定された地震後 15 日間の余効すべり速度に適用した。余効すべり発生域を、摩擦パラメータが一樣となる領域として 30 km 四方に分割した断層モデルを構築し、摩擦パラメータの空間分布を推定し、さらに得られた摩擦パラメータの空間分布を用いて、その後 15 日間の余効すべりの時空間発展を予測した(Kano et al., 2015)。

2) 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イベント (SSE) 震源域でのすべり発展および摩擦パラメータ推定法の開発

昨年度に引き続き、アンサンブルカルマンフィルタによる同化手法を SSE に対して適用することを念頭においた数値実験を実施した。まず、半年の繰り返し間隔で SSE 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及び地表観測点での変位速度を計算し、ノイズを加えて模擬すべり速度および変位速度観測データを計算し、これら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、すべり発展および摩擦パラメータの推定のために必要な観測点配置を調べた。

3) 2010～2014年に琉球弧南西部で発生したSSEの地殻変動解析

琉球弧南西部（八重山地方、宮古島地方）では、SSEが発生していることが報告されている(Heki and Kataoka,2008)。使用するGNSS観測点を従来の8点から13点に増やし解析した結果、2010年～2014年に発生したSSEは8回であることが分かった。次に、SSE発生時のプレート境界面上ですべり分布を求めたところ、先行研究で報告されている西表島周辺領域に加えて、多くのSSE発生時に、西表島南方沖の深さ約15kmの領域にもすべりが推定された。また、SSEが発生していない期間の変動速度から固着分布の推定を行った結果、西表島周辺に強い固着域と石垣島及び多良間島南方沖に弱い固着域が推定された。

4) 短期的SSE検出手法の高度化

昨年度に引き続き、短期的SSEの解析手法の高度化として、GNSS単独でのSSE検出手法の改良と実データへの適用に取り組んだ。短期的SSEの継続時間を推定するために、地殻変動スタッキング手法（宮岡・横田，2012）を応用して時系列データのS/N比を向上させて、短期的SSEの継続時間の推定を行った。

(b) 業務の実施方法

短期的SSE検出手法の高度化のため、余効すべりのデータ同化手法の開発、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イベント（SSE）震源域でのすべり発展および摩擦パラメータ推定法の開発、2010～2014年に琉球弧南西部で発生したSSEの地殻変動解析、短期的SSE検出手法の高度化を行う。

(c) 業務の成果

1) 余効すべりのデータ同化手法の開発

余効すべり発生域を60～100km四方程度の9つの領域に分割し、各小領域内では摩擦パラメータが一様であると仮定した断層モデル（coarse-mesh model）を設定した。このモデルに開発した手法を適用したところ、空間分割の恣意性に伴う不自然なすべり速度分布が推定された。そこで、摩擦パラメータが一様となる領域を30km四方に分割した新たな断層モデル（fine-mesh model）を構築した。この領域サイズはGNSSデータに基づくプレート境界面のすべり速度の空間分解能と同程度と考えられる。新たな断層モデルに対して推定した摩擦パラメータの空間分布を図3-9-④-1に示す。余効すべり域で速度弱化（ $A-B < 0$ ）となる値が得られている領域があるが、ここでは余効すべりが小さい領域にあたっており、推定精度に問題がある可能性がある。さらに、得られた摩擦パラメータ分布を用いて、その後15日間の余効すべりの時空間発展を予測した。予測された時空間発展を、実際に観測データから推定されたすべり速度と比較すると、同化しない場合に比べて予測精度が向上することが分かった（図3-9-④-2）。また、fine-mesh modelを用いた場合のすべり速度の予測が、coarse-mesh modelを用い

た場合に比べて大幅に改善されていることが分かった。

2) 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イベント (SSE) 震源域でのすべり発展および摩擦パラメータ推定法の開発

図 3-9-④-3 に示したモデル設定 (傾斜角 15° のプレート境界面上で深さ 20~40 km に設定した半径約 30km の SSE アスペリティ) で、半年の再来間隔で SSE を繰り返すように設定した摩擦パラメータの真値を用いて三次元地震サイクルシミュレーションを行った。これを「真の結果」と呼ぶ。得られた結果から、断層面上のすべり速度、地表面の変位速度を求め、これらを観測値としてアンサンブルカルマンフィルタ (淡路・他,2009) によるデータ同化を実施した。サンプル数は以下のすべての実験において 60 個としている。

まず観測値として断層面のすべり速度を用い、観測点が断層面に一様にあるとして実験を行った (実験 1)。摩擦パラメータは状態ベクトルに含め、ランダムウォークに従い確率論的に時間発展させた。

データを同化して更新された状態から次の予測ステップに移る際にシステムノイズを与えないと、更新された値がばらつかず一つの値に収束する、縮退という現象が起こる。この際真の値ではない値に縮退することが多い。これを防ぐにはシステムノイズを加える必要があるが、場合によっては数値発散を引き起こすことがある。これを避けるため、予測分布の平均からの距離によってシステムノイズの振幅を小さくしたところ、数値発散の問題はかなり抑えられた。その結果、図 3-9-④-4 のように、3 回目の SSE 発生中に摩擦パラメータが真の値に近づき、4 回目の SSE 以降もイベント中は真の値に近い推定値が得られた。また、イベント発生中のすべり速度と状態変数も真の結果とよく一致した。その一方、イベント終了後は直後に摩擦パラメータ A の分散がやや大きくなることも確認された。

次に、断層面上の観測点を、SSE 発生域の中心を通り走向方向に 4 km ごとに直線状に観測点がある場合に対して同様の実験を行ったところ (実験 2)、実験 1 とほぼ同じ結果が得られた。

次に地表面に、断層直上の範囲で観測点を配置し、そこでの変位速度を観測値として実験を行った (実験 3)。その結果、実験 1 と同様の結果を得るためには $8 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ ごとに合計 100 点が必要で、かつ、その観測網で 3 回以上の SSE を観測することが必要であることが分かった。この結果から、当初想定した南西諸島八重山で発生している SSE 域では観測点が少なく適用が困難であるが、豊後水道や東海で発生している長期的 SSE に適用できる可能性が示唆された。

3) 2010~2014 年に琉球弧南西部で発生した SSE の地殻変動解析

Heki and Kataoka(2008)で使用された GEONET 観測点 8 点に加え、海上保安庁観測点 1 点、および京都大学が独自に設置した観測点 4 点を解析に使用した。なお、解析期間は京都大学が観測を開始した 2010 年から 2014 年である。図 3-9-④-5 左図に伊良部島観測点に対する波照間島観測点の変動を示す。13 点のこれらの変動から、経年変動、

SSE による変動および地震による変動を推定したところ、繰り返し間隔約 7 ヶ月で、8 回の SSE を観測した。右図に 2011 年 3 月 9 日に発生した SSE による水平変動分布 (Ref:伊良部島に対する) を示す。

図 3-9-④-6 に SSE 非発生時における固着分布と SSE による平均的なすべり速度分布を示す。領域 A は先行研究により推定されていた SSE 領域で、SSE 発生時による固着が SSE によりほぼ解消されているのが分かる。これに対し、推定精度ぎりぎりの話であるが、浅部領域 B、C の固着は SSE により解消されず一部は蓄積されている可能性がある。

4) 短期的 SSE 検出手法の高度化

これまで GNSS データを用いて短期的 SSE の検出を試みてきた(Nishimura, 2014)。ところが、従来の SSE 検出手法では短期的 SSE の継続時間が推定できなかった。そこで、短期的 SSE の継続時間を推定するために、極性を補整して地殻変動 (ひずみ計) データをスタッキングすることによって S/N 比を改善する手法 (宮岡・横田, 2012) を、GNSS 時系列データに応用してデータの S/N 比を向上させて、短期的 SSE の継続時間の推定を行った。その結果得られた南海トラフ沿いの短期的 SSE の継続時間分布を図 3-9-④-7 に示す。1996 年 6 月から 2015 年 2 月の間に発生した 91 個の短期的 SSE の継続時間を円の色で表している。図から分かるように、継続期間の短い場所は、四国西部・四国中東部・紀伊半島東部・愛知県、継続期間の長い場所は、豊後水道・四国中部・紀伊半島西部に分布し、地域性が見られる。

(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

開発したアジョイント法を用いた余効すべり域の摩擦パラメータ推定法を、2003 年十勝沖地震の余効すべりデータに適用し、不均質摩擦パラメータ分布を求めることに成功した。今後の課題として、現在は地表観測データからあらかじめ推定された断層面上の余効すべり時系列をデータとしているが、実際に地表で観測された GNSS データを観測データとして、速度状態依存摩擦則に従うすべりの発展と摩擦パラメータを直接データ同化して推定する必要がある。

2) 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イベント (SSE) 震源域でのすべり発展および摩擦パラメータ推定法の開発

半年間隔で繰り返す SSE を再現する摩擦パラメータを設定し、断層面上のすべり速度および地表観測点における変位速度を模擬データとして作成し、アンサンブルカルマンフィルタを用いて SSE 震源域におけるすべり発展・摩擦パラメータを推定する数値実験を行った。その結果、SSE 発生前における SSE 震源域へのすべりの浸透、および発生後のすべりの広がりをつめる観測点配置が摩擦パラメータの推定には必要であることが分かった。今後の課題として、まず豊後水道や東海 SSE 発生域における観測点配置を想定した数値実験を行い、摩擦パラメータ推定可能性を調べる必要がある。

3) 2010~2014年に琉球弧南西部で発生したSSEの地殻変動解析

従来の解析より観測点を追加して、2010~2014年に琉球弧南西部で発生したSSEの地殻変動解析を行った結果、SSE非発生時の固着分布とSSEによる平均的なすべり速度分布を得た。先行研究によって推定されていた深部SSE域では、固着がSSEによりほぼ解消されているのに対し、浅部にも弱い固着が見られ、その一部はSSEにより解消されず蓄積されている可能性が示された。浅部に推定された1771年八重山津波地震断層の位置と比較して注目すべき固着域である。ただ、浅部域の推定値は解像度が低く、その値も推定誤差と同程度といった問題が残されている。今後の課題として、海底地殻変動等の観測により固着状態を調べる必要がある

4) 短期的SSE検出手法の高度化

地殻変動スタッキング手法をGNSS時系列データに応用してデータのS/N比を向上させることにより短期的SSEの継続時間の推定を行ない、南海トラフ沿いの短期的SSEの継続時間に地域性が見られることが分かった。今後の課題としては、現在の解析では、短期的SSEと長期的SSEの間の中間的な時定数を持つSSEが存在するよう見えるが、短期的SSEの移動現象を考慮した時定数の推定法等の改善を図る必要がある。

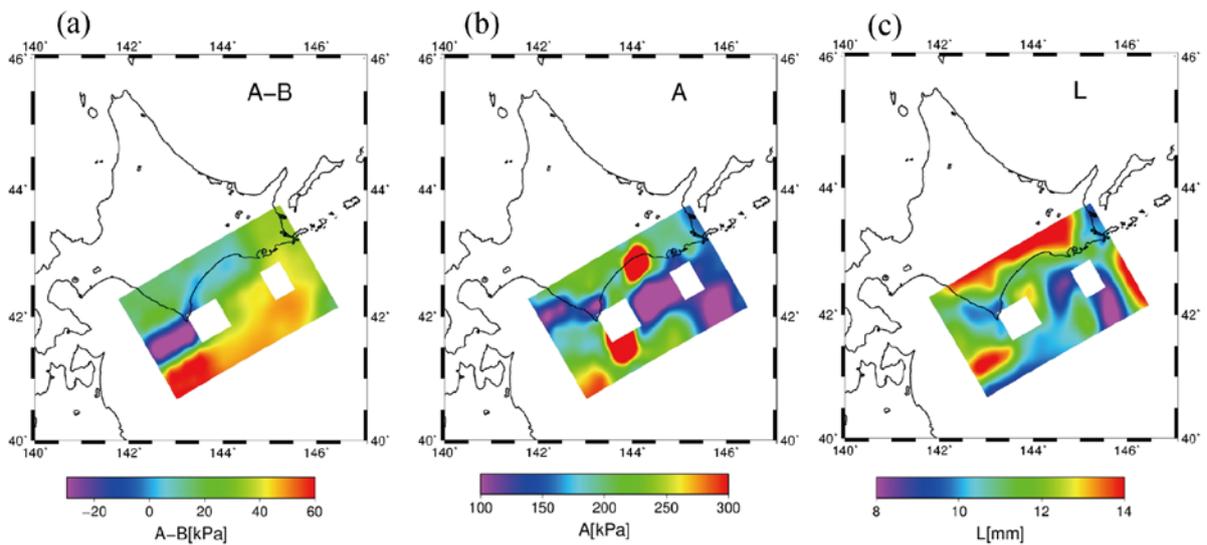


図 3-9-④-1 アジョイント法によって推定された十勝沖地震余効すべり域の摩擦パラメータ分布。(a) A-B。(b) A。(c) L。白抜き部分は地震発生域のため推定していない。(Kano et al., 2015)

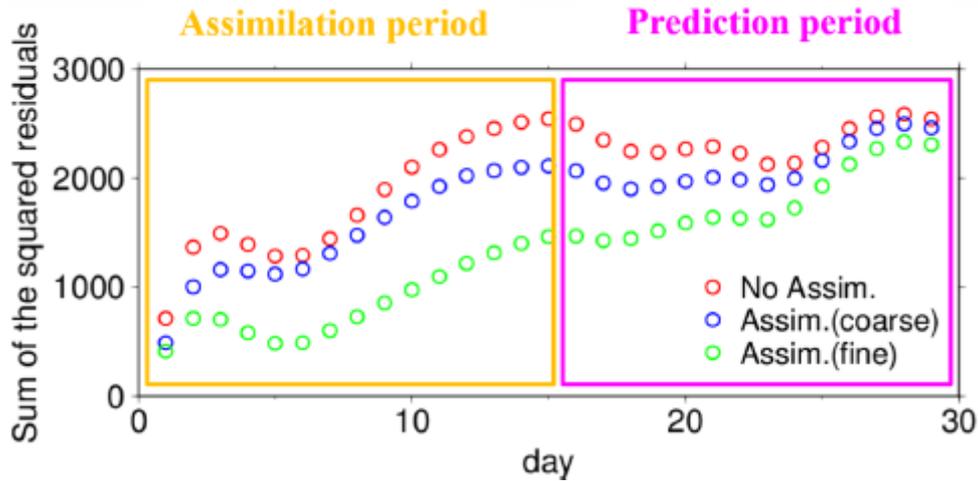


図 3-9-④-2 観測値に対する残差二乗和。赤丸は同化しない場合、青丸は粗い摩擦パラメータの空間分布を与えた場合、緑丸は細かい摩擦パラメータ分布を与えた場合。細かい分布の方がモデルの自由度が高く、観測値をよく再現する結果が得られている。(Kanot et al, 2015)

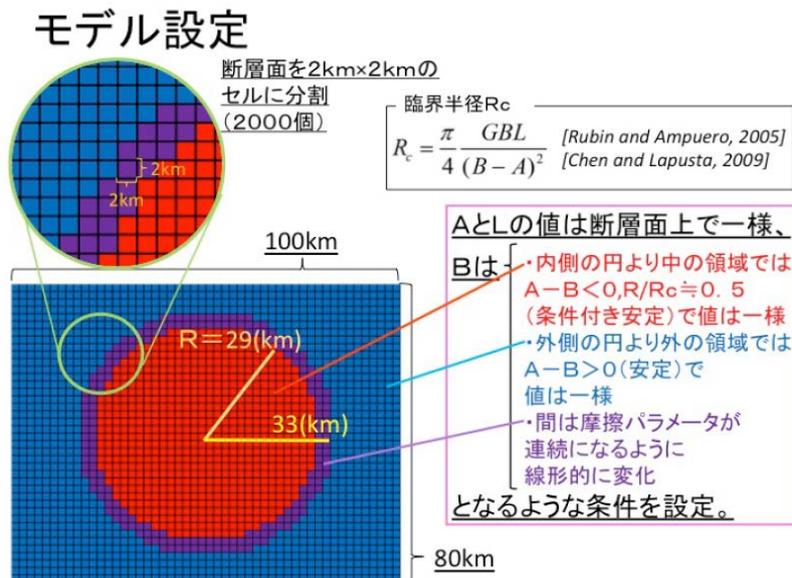


図 3-9-④-3 実施した数値実験のモデル設定。断層面の中央に半径 29km の条件付き不安定領域を設定し、そこから 4 km を遷移層、さらにその外を安定領域とした。断層面は 2 km 四方の合計 2000 個のセルに分割した。この断層面で、12.5cm/yr の沈み込みを与え、すべりは dip slip のみとして数値実験を行った。(奥田、2016)

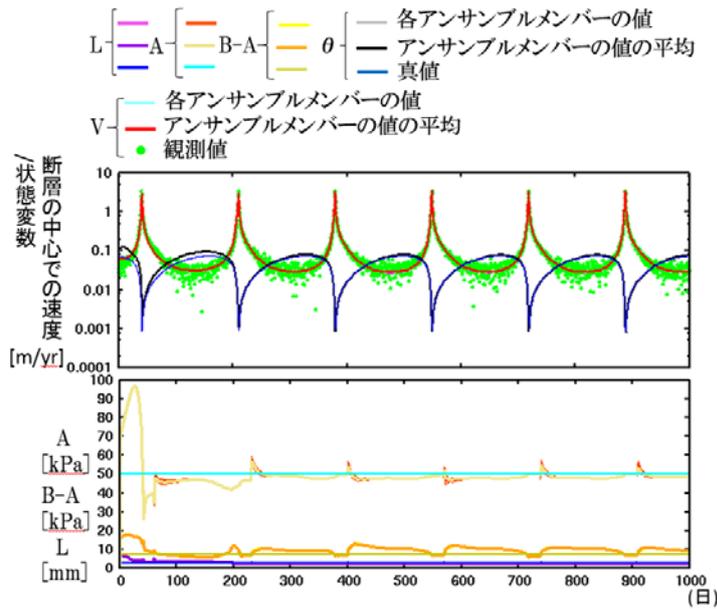


図 3-9-④-4 観測点は断層面上の 2000セルの 2×2 のセルの右上のセル(20×25=500 個)に存在するものとした(実験 1) 場合。(上図) 断層面の中心での速度(V)/状態変数(θ)。時間が経つに従い真値に近づき、3 回目の SSE 以降はほとんど一致する。(下図) A、円の内側での B-A、L。速度が小さく、観測誤差が相対的に大きくなり、システムノイズも大きくなる期間は A、B-A が外れているが、SSE が発生して観測誤差が相対的に小さくなる期間には正しい値が推定出来ている。(奥田、2016)

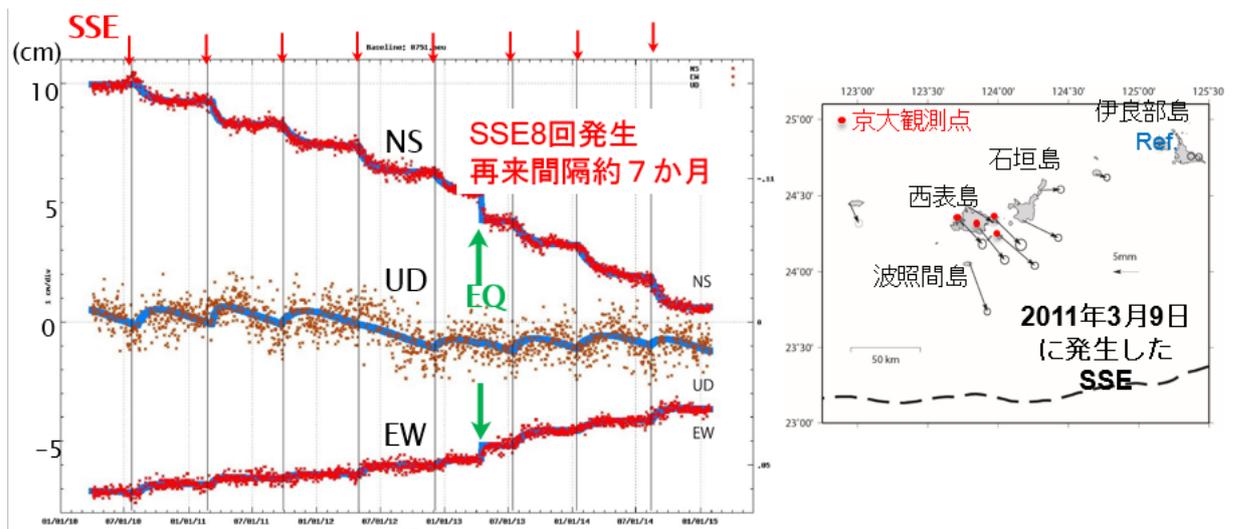


図 3-9-④-5 (左図) 2010 年 4 月～2015 年 1 月までの伊良部島(右図の Ref) に対する波照間島での変動(南北 NS・上下 UD・東西 EW 成分)。赤矢印は SSE 発生時を示す。緑の EQ は地震によるとびを示す。(右図) 2011 年 3 月 9 日に発生した SSE に伴う地殻変動。赤丸印は京都大学観測点を示す。点線は琉球海溝を示す。(小池、2016)

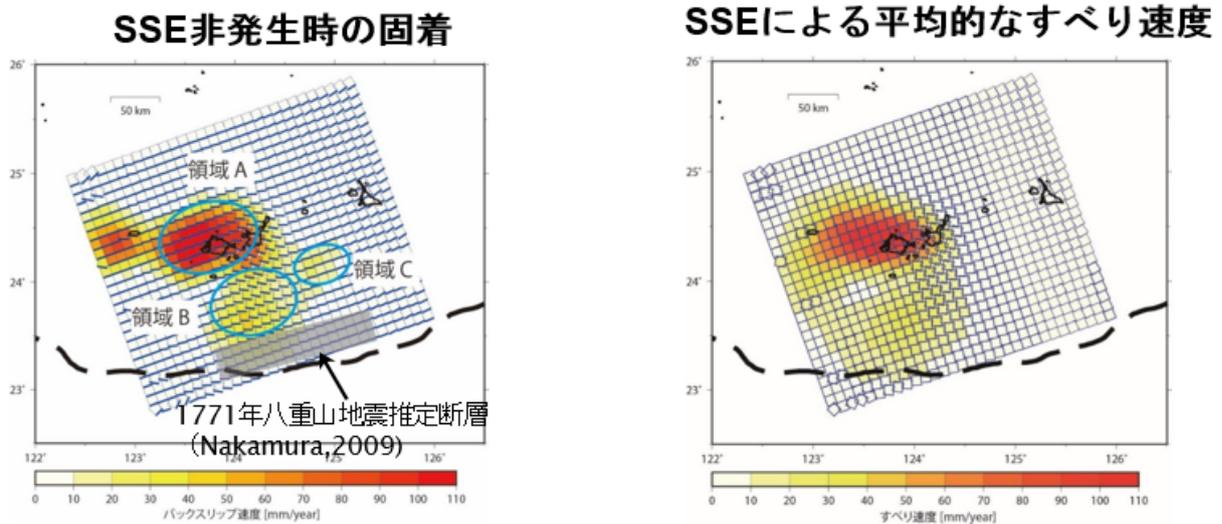


図 3-9-④-6 (左図) SSE が発生していない時の推定された固着分布。琉球海溝近傍の矩形領域は Nakamura(2009)により推定された 1771 年八重山津波地震断層位置を示す。先行研究によって推定されていた SSE 領域 A に加え、浅部領域 B、C あたりでも固着が見られる。(右) 8 回の SSE 時のすべりから得られた SSE による平均的なすべり速度分布。(小池、2016)

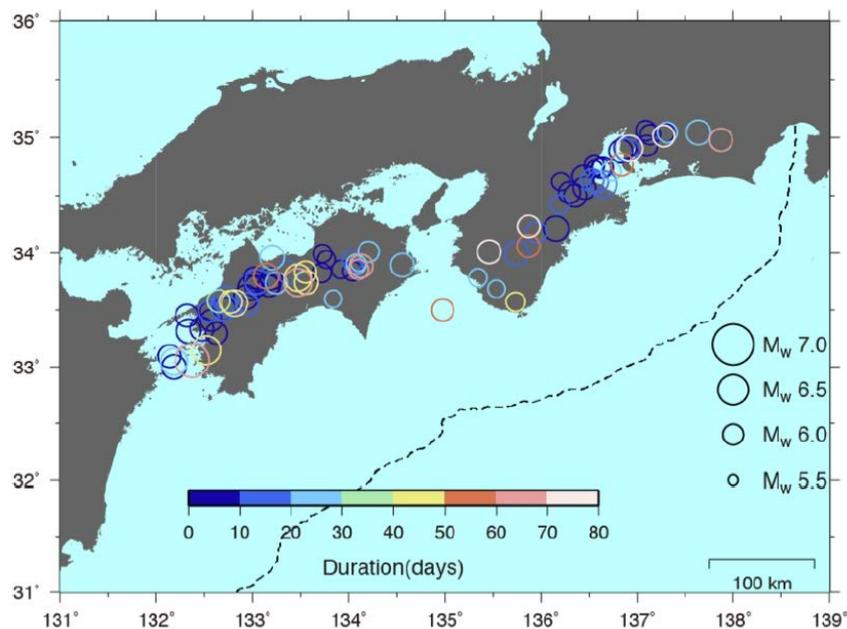


図 3-9-④-7 GNSS データより推定した南海トラフ沿いの短期的 SSE の継続時間。1996 年 6 月から 2015 年 2 月の間に発生した 91 個の短期的 SSE の継続時間を円の色で表す。

(e)引用文献

- 1) 淡路敏之・蒲地政文・池田元美・石川洋一、データ同化観測・実験とモデルを融合するイノベーション、京都大学学術出版会、284 pp, 2009.

- 2) Chen, T., and N. Lapusta, Scaling of small repeating earthquakes explained by interaction of seismic and aseismic slip in a rate and state fault model, *J. Geophys. Res.*, 114, B01311, doi:10.1029/2008JB005749, 2009.
- 3) Dieterich, J. H., Modeling of rock friction: 1. Experimental results and constitutive equations, *J. Geophys. Res.*, 84, 2161-2168, 1979.
- 4) Heki, K., and T. Kataoka, On the biannually repeating slow-slip events at the Ryukyu Trench, southwestern Japan, *J. Geophys. Res.*, 113, B11402, 2008.
- 5) Kano, M., S. Miyazaki, K. Ito, and K. Hirahara, An adjoint data assimilation method for optimizing frictional parameters on the afterslip area, *Earth Planets Space*, 65, 1575–1580, 2013.
- 6) Kano, M., S. Miyazaki, Y. Ishikawa, Y. Hiyoshi, K. Ito and K. Hirahara, Real data assimilation for optimization of frictional parameters and prediction of afterslip in the 2003 Tokachi-oki earthquake inferred from slip velocity by an adjoint method, *Geophys. J. Int.*, 203, 646–663, 2015.
- 7) 小池俊貴、2010-2014年に琉球弧南西部で発生したSSEの地殻変動解析、京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻修士論文、2016.
- 8) 宮岡一樹・横田崇、地殻変動検出のためのスタッキング手法の開発ー東海地域のひずみ計データによるプレート境界すべり早期検知への適用ー、*地震* 2,65,205-218、2012.
- 9) 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.
- 10) Nakamura, M., Aseismic crustal movement in southern Ryukyu Trench, southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L20312, 2009.
- 11) Nishimura T., Short-term slow slip events along the Ryukyu Trench, southwestern Japan, observed by continuous GNSS, *Progress Earth Planet. Sci.*, 1, 22, 2014.
- 12) 奥田亮介、スロースリップを起こす断層面上の摩擦パラメータ推定法ーアンサンブルカルマンフィルタを用いてー、京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻修士論文、2016.
- 13) Rubin, A. M., and J.-P. Ampuero, Earthquake nucleation on (aging) rate and state faults, *J. Geophys. Res.*, 110, B11312, doi:10.1029/2005JB003686, 2005.

(3) 平成 28 年度業務計画案

東北地方太平洋沖地震の余効変動解析を行い、レオロジー構造の選択などについて検討する。西南日本で構築した広域の有限要素モデルについて、1944年と1946年の南海トラフ沿い地震に対する粘弾性応答を見積もり、水平変動の観測データを用いて検証していく。喜界島内の河岸段丘を精査する。

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、および巨大地震にともなう内陸地殻応答に関する海外の研究動向の情報収集を実施する。

さらに多くのモデルで計算して、日本海溝沿いの地域におけるシミュレーションデータベースを増やす。本課題でまとめられた観測データおよび開発中のデータ同化手法を取り入れながら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も行う。

余効すべり・ゆっくり地震のデータ同化手法の開発を継続し、実際的な観測配置を用いた模擬データおよび実観測データへの適用に関する問題点を検討する。

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
国立研究開発法人防災科学技術研究所	総括主任研究員	福山英一
国立研究開発法人海洋研究開発機構	主任研究員 研究員	堀高峰 今井健太郎
国立研究開発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 准教授	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	今村文彦
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実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の評価も行う。

(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。プレート形状と三次元地殻・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:

平成 27 年度には、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ため、日本列島規模の模地殻粘弾性モデルの整備と、三次元有限要素法に基づく大規模並列シミュレーションコードを開発した。堆積層の精緻化により高精度化・広帯域化した強震動・津波シミュレーションと、昭和東南海・南海地震及び安政東海・南海地震の史料詳細解析から推定した震度・地殻変動・津波データに基づいて、南海トラフの過去地震の震源過程の再評価を進めた。連動の多様性を含む地震発生シナリオを提案するために、動的破壊過程を含めた地震発生サイクルシミュレーション手法を整備した。これらの成果に基づき、最大クラスを含む震源モデルのレシピ化と、日向灘地震等による誘発条件を検討した。超巨大地震の発生可能性の検討に向け、津波堆積物シミュレーションを用いたトラフ軸付近を含む過去の超巨大地震の波源推定の有効性を示した。

平成 28 年度には、高度化された日本列島規模の大規模地殻モデルの、大地震発生前後の内陸地震の活発化問題への適用を始める。強震動・津波シミュレーションと、史料・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の再評価を継続実施するとともに、応力・強度分布の推定結果を用いた地震発生サイクルシミュレーション結果に基づいて、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。トラフ軸付近での津波地震及び超巨大地震の発生可能性について、調査観測研究等の結果に基づいて、発生間隔（確率）を含めた現実的なハザード評価の実現性を検討する。

平成 29～30 年度:

南西諸島海溝から南海トラフまでの三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、南西諸島海溝にも適用できる南海トラフ巨大地震の震源モデルを構築する。また、本地域での過去地震の史料や地震・津波・地殻変動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、連動条件や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地震の推移予測のため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に資する地震シナリオ及び巨大地震の震源モデルの一般化を図る。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 27 年度業務目的

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ために、日本列島規模の粘性モデルの高度化をはかる。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の再評価を開始するとともに、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、平均及び最大クラスを含む南海トラフ巨大地震の震源モデルのレシピ化を進める。トラフ軸付近での地震について、発生間隔（確率）を含めた現実的なハザード評価に向け、津波堆積物等の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検討する。

(2) 平成 27 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、i)日本列島規模の大規模地殻モデルにおける弾性・粘弾性応答の解析に向けて昨年度開発した有限要素法コードの改良をさらに行い、100 億自由度の地殻変動解析を行った。ii)既往研究成果を踏まえ、日本列島の三次元的な不均質な地殻・マントル構造を考慮した日本列島広域三次元不均質構造モデルの改良を行った。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三次元不均質構造における地震時（coseismic）と地震後（postseismic）の地殻変動解析を行った。

(b) 業務の成果

本年度の業務の成果を、(a) 業務の要約に示した i)及び ii)にあわせて示す。

i) 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。水平成層構造を仮定した検討が多く行われている一方で、地殻・マントルの形状や物性の不均質性が及ぼす影響が大きいとの指摘もあり、三次元有限要素

法などを使って、地殻・マンツルの形状や物性の不均質性及び粘弾性を考慮した地震時・地震後地殻変動のシミュレーションが行われはじめた段階にある。一方、蓄積されてきた地殻・マンツルの形状や物性のデータを用いて現実に近い地殻・マンツル構造モデルを構築し、これを用いた三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} となるため）。そこで、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・マンツルの形状や物性のデータを詳細に再現した三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の構築をすすめている。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} 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実現が難しいとされていたが、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の開発に昨年度成功した。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} 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構築手法を開発した。開発手法を、 10^{3-4} 個の CPU 計算機環境(京コンピュータ：Fujitsu SPARC64 VIIIfx 8 コア 2.0 GHz、16 GB メモリ)へ実装し、OpenMP/MPI ハイブリッド並列計算を可能にしている。

このような大規模解析において、その数値解の精度保証（数値検証）を行うことは、計算コストの観点から非常に難しい問題となるが、数値解を用いた詳細な検討を進める上で不可避の課題である。そこで、昨年度構築した日本列島ほぼ全域を含む $2944 \times 2752 \times 850$ km の領域における地殻構造モデル（図 3-10-①-1、図 3-10-①-2 参照）を用いて有限要素モデルを構築し、また、昨年度開発した弾性・粘弾性応答解析を拡張した手法を用いて、数値解のメッシュサイズ依存性の確認を行った。その結果、最大で約 100 億自由度の有限要素モデルまでを用いることで、本研究で行っている数値解の精度が十分に保証されていることを示すことができた。

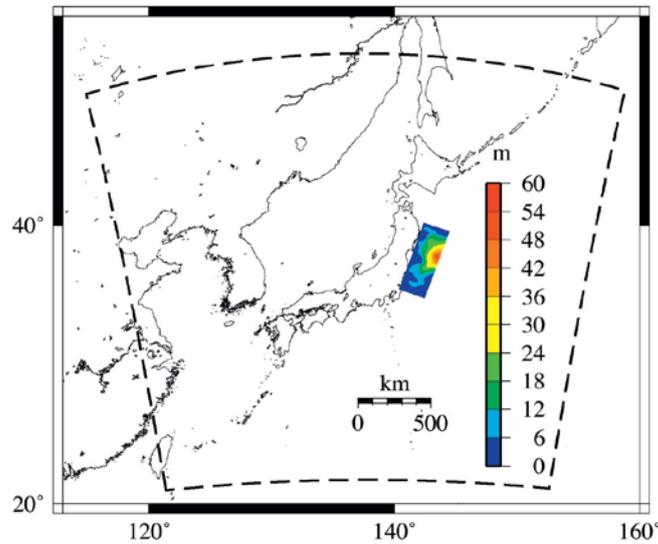


図 3-10-①-1、数値検証に用いた日本列島モデルのモデル化範囲(破線内)及びその入力となる断層すべり分布。

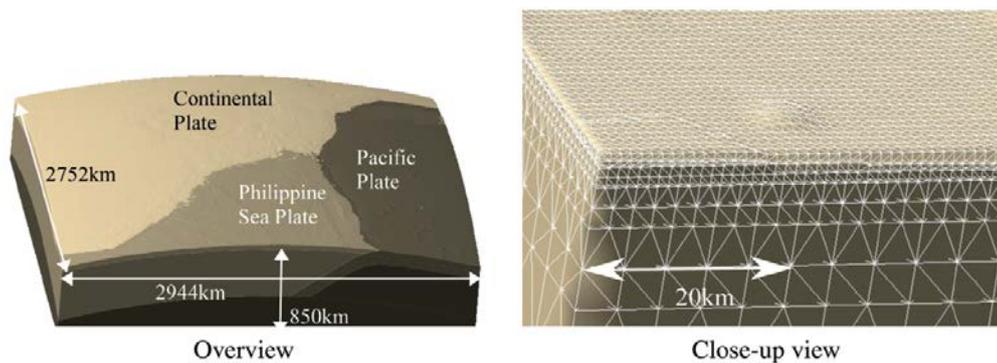


図 3-10-①-2、数値検証に用いた日本列島有限要素モデル(図 3-10-①-1 の破線内をモデル化)。

ii) 日本列島モデルの改良手法の構築

日本列島の地震時・地震後の挙動推定の信頼性を向上する上で、弾性・粘弾性応答解析手法の構築とともに、日本列島モデルの改良も重要となる。そのため、改良手法構築を行うとともに、実問題への適用によりその有効性を示した。具体的には、地震時・地震後の地殻変動データから、アセノスフェア粘性率と断層すべりを同時推定する手法の構築を行っている。東北地方を対象として、真値となる地殻構造、アセノスフェア粘性率、断層すべりから人工的な地殻変動データを作成し、この地殻変動データからアセノスフェア粘性率、断層すべりを同時推定する手法の基礎検討を行った(解析に用いた地殻構造モデルを図 3-10-①-3 に示す)。具体的には、粘弾性層を 4 層、地震時すべりを 53 個の小断層の重ね合わせで表現し、これらのパ

ラメータを地殻変動データから推定することとなる。合計 90 回の順解析を行うことで、57 個の未知パラメータは真値へと収束し、本改良手法が列島モデルの改良に適用可能なことが示された（解析結果例を図 3-10-①-4 に示す）。なお、地殻・マントルの形状や物性の不均質性が及ぼす影響を考慮するため、順解析には有限要素法を用いており、その解析コスト自体も膨大となり、解析時間が長くなるため推定実行が不可能となる。そのため、開発をすすめている弾性・粘弾性応答解析手法を適用することで、解析時間の短縮を図っている。

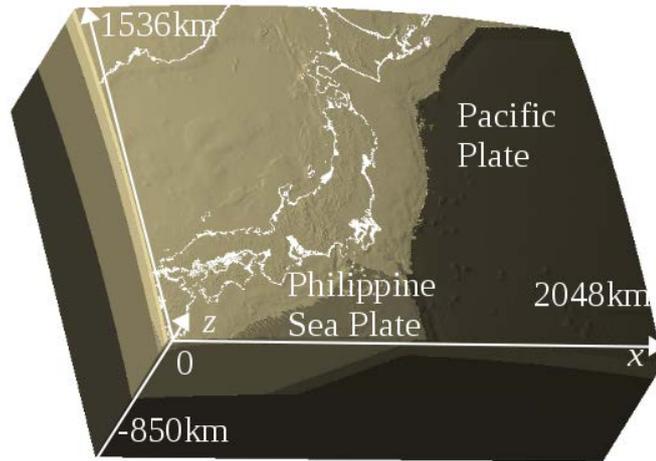


図 3-10-①-3、粘性率と断層すべりの同時推定に用いた高詳細な日本列島有限要素モデル。

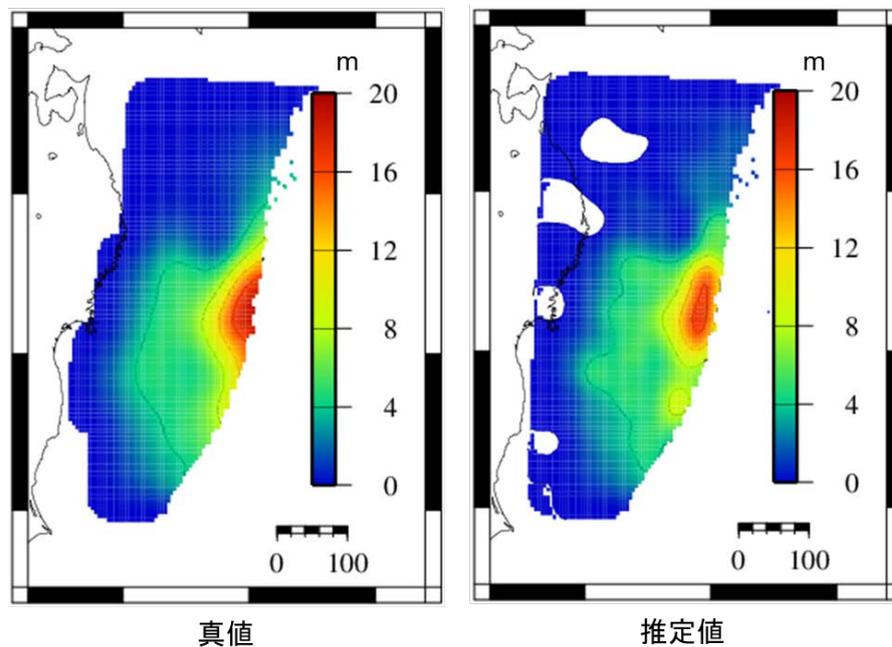


図 3-10-①-4、高詳細な日本列島有限要素モデルを用いた粘性率・断層すべり同時推定の推定結果例。断層すべり真値（右図）と推定値（左図）。

(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の開発をすすめるとともに、日本列島モデルの改良手法の検討もすすめた。また、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三次元不均質構造における地震時地震後の地殻変動解析を行うことで、地殻・マントルの形状や物性の不均質性が及ぼす影響を考慮可能なこれらの手法の有効性を示した。来年度以降、弾性・粘弾性地殻変動解析の開発を進めるとともに、日本列島広域構造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。

(d) 引用文献

なし

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。昨年度は比較的長波長のプレート形状や海嶺列の沈み込みの効果を調べたが、今年度は、沈み込む孤立した海山の影響を調べたので報告する。

(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」。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二次元地震サイクル計算手法の開発を行なっている。昨年度は、公開されている SEM2DPACK 「Amuero, 2012」を元に、「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んだ。「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。今年度は、地表を含む垂直断層について地震サイクルシミュレーションを行ない、メッシュサイズの影響を調べた。

(b) 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

東北地方太平洋沖地震の震源域に存在する沈み込む海山の影響で海溝近傍での大きな地震すべりをもたらした可能性が、動的破壊シミュレーションから示唆されている（「Duan, 2012」, 「Fukuyama and Hok, 2013」）。動的破壊シミュレーションでは、動的破壊過程は正しくシミュレーションできているが、破壊前の初期条件を設

定する必要があり、その設定が必ずしも地震サイクル中に蓄積された応力状態を設定できているとは限らない。そこで、こういった沈み込むプレート境界の起伏の影響が地震サイクルにどのように影響するのか、昨年度開発した H 行列による省メモリ・高速化に加え「Ohtani *et al.*, 2011」、法線応力の変化を考慮した地震サイクルシミュレーションコード「Ohtani, 2015」を用いて得られた結果について報告する。

図 3-10-②-1 のように、 $a-b < 0$ となる円形速度弱化領域（アスペリティ）内に 2 種類の形状（球・台形モデル）で海山を模し（凸部高さを h_s 、円の半径を r_s とする）、凸部境界でのすべりに起因する法線応力変化を考慮した地震サイクルを実行した。凸部のないフラットな場合をモデル 1、球モデルで $r_s=25\text{km}$ 、 $h_s=2\text{km}$ をモデル 2、 $r_s=16.6\text{km}$ 、 $h_s=2\text{km}$ をモデル 3、台形モデルで $r_s=28\text{km}$ 、 $h_s=2\text{km}$ をモデル 4 と呼ぶ。各モデルについて、地震サイクルシミュレーションを行なった。なお、速度状態依存摩擦則の発展則として、Composite law「Kato and Tullis, 2001」を用いている。

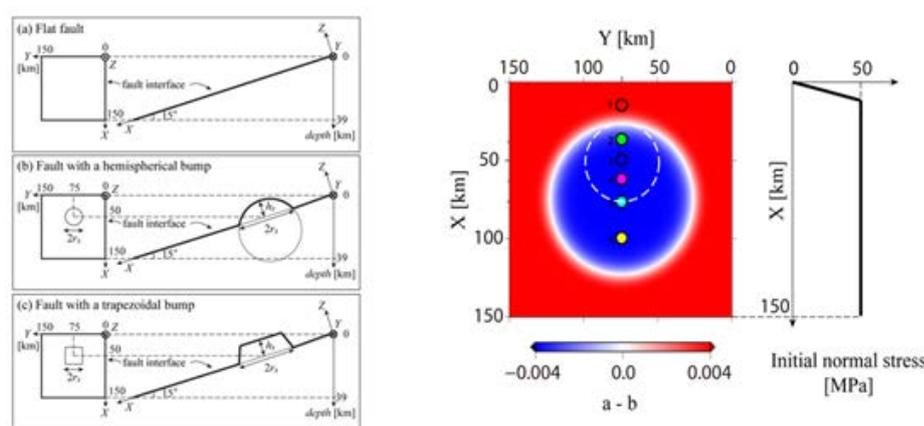


図 3-10-②-1、(左図) プレート境界形状の表現。(a) フラットなプレート境界、(b) 球状の一部で模した海山、(c) 台形の形で模した海山 ((b), (c) で凸部高さ h_s 、円の半径 r_s)。 (右図) 摩擦パラメータ $a-b$ の分布と初期法線応力の深度分布。

各モデルに対して、法線応力変化を含む準動的な地震サイクル計算を行ったところ、モデル 1 - 4 の地震の再来間隔は、それぞれ 96.24、93.75、86.53、77.71 年と異なり、プレート境界がフラットな標準モデルに比べ、海山を含むプレート形状モデルの方がその再来間隔が短くなることが分かった。地震サイクル中の地震発生直前と直後のすべり速度と初期応力からの法線応力の変動分布を図 3-10-②-2 に示す。

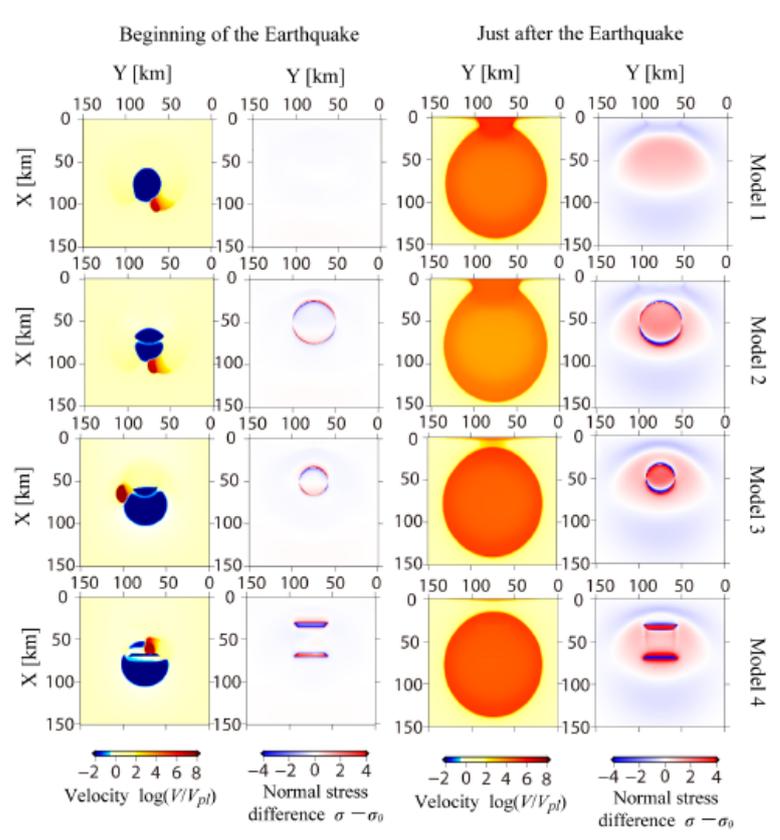


図 3-10-②-2、モデル 1 – 4 について、地震サイクルにおける地震発生前と発生直後におけるすべり速度と法線応力を示す。フラットモデル 1 を除き、凸部のうちに大きな法線応力変化が見られる「Ohtani, 2015」。

フラットモデル 1 では法線応力変化は少ないが、モデル 2 – 4 では凸部のエッジ部に大きな法線応力変化が現れる。アスペリティ内で地震すべりが発生するとすべり域深部を除き法線応力が上昇する。一方、地震間ではアスペリティは固着し、法線応力は逆に浅部で下がり深部で上昇する。フラットモデル 1 では、はっきりとこのパターンが現れるが、モデル 2 – 4 では凸部のまわりでやや複雑になる。図 3-10-②-2 に見られるように、凸部内の浅部と深部では地震サイクルを通じて法線応力が逆のセンスで変動する。地震発生により凸部内浅部では法線応力が上がり深部では下がるが、地震後の地震間では逆になる。形状の違いによる法線応力変化について、モデル 2 と 3 は同じ球モデルであるが、3 の方が曲率が大きいため、法線応力変化が大きい。台形モデル 4 では上部と下部のエッジ部分に集中的に変動が現れる。法線応力が下がると摩擦が下がるため、弱部となり破壊し易くなるが、上がると強部となり破壊のバリア部となる。全てのモデルで法線応力の低下した部分で非地震性すべりが発生し、地震すべりに発展する。モデル 1 – 4 の順に法線応力低下が増し、強度が下がり破壊しやすくなる。その結果繰り返し間隔が短くなる。

動的破壊過程を含む地震サイクル計算手法の高度化
 昨年度開発した面内 (in-plane) 二次元スペクトル要素法 (SEM) コードを用いた動

的・準動的地震サイクルによる、地表を含む垂直断層モデルでの地震サイクル計算を行った。ここで用いるモデルは、「Lapusta *et al.*, 2000」の anti-plane 問題のモデルと同様のジオメトリである (図 3-10-②-3)。

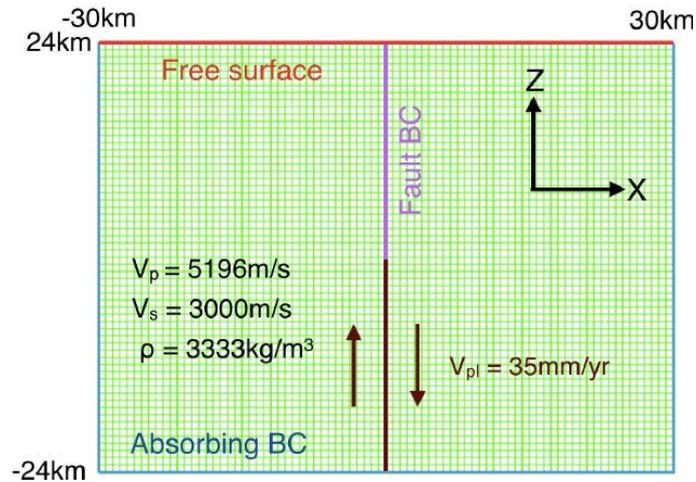


図 3-10-②-3、地表を含んだ二次元垂直断層モデル。「Lapusta *et al.*, 2000」と同じジオメトリであるが、in-plane 問題を扱っている。地表(Free Surface)以外の周囲の境界は吸収境界(Absorbing BC)である。矢印で示すように、断層下部にローディング速度 V_{pl} として 35mm/年を与えている。断層部分に図 3-10-②-4 の摩擦パラメータ分布を与えている「清水, 2015」。

解析に用いたメッシュの要素長 (h) は 500m であり、要素数は 11520 個、自由度は約 40 万である。プレートローディング (V_{pl}) は 35mm/年で、断層上深部部分にのみ課している (図 3-10-②-3 の矢印)。速度状態依存摩擦則「Dietrich, 1979」の摩擦パラメータ (a 、 b 、 L 、初期法線・せん断応) 分布を図 3-10-②-4 に示す。

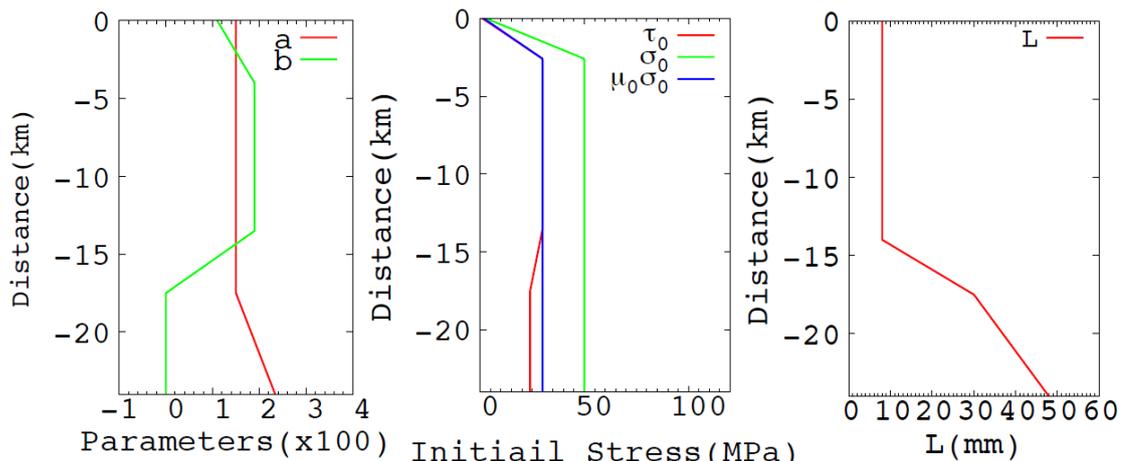


図 3-10-②-4、シミュレーションに用いた断層パラメータの空間分布。縦軸に dip 方向の距離、横軸にパラメータ。左図は速度・状態依存摩擦則の a および b の値である。中心の図は初期剪断応力 (赤色)、初期法線応力 (緑色)、初期断層強度 (青色破線) を示している。右図は特徴的すべり距離 L に分布を示す「清水, 2015」。

地表付近は速度強化 ($a-b>0$) となっている。補間多項式の次数は4次、準動的から動的への切り替え速度 (VQD) は 3.0mm/秒、動的から準動的への切り替え速度 (VDQ) は 1.5mm/秒を用いている。図 3-10-②-5 に、計算された5サイクルにおける断層面上の累積変位の深さ分布を示す。地表を考慮しても、計算自体は破綻することがなく計算できている。ところが、図 3-10-②-5 から再来間隔や破壊開始点が安定していないことが分かる。これは、空間的な離散化サイズ Δx が大きすぎるときの典型的な不安定であると思われる。

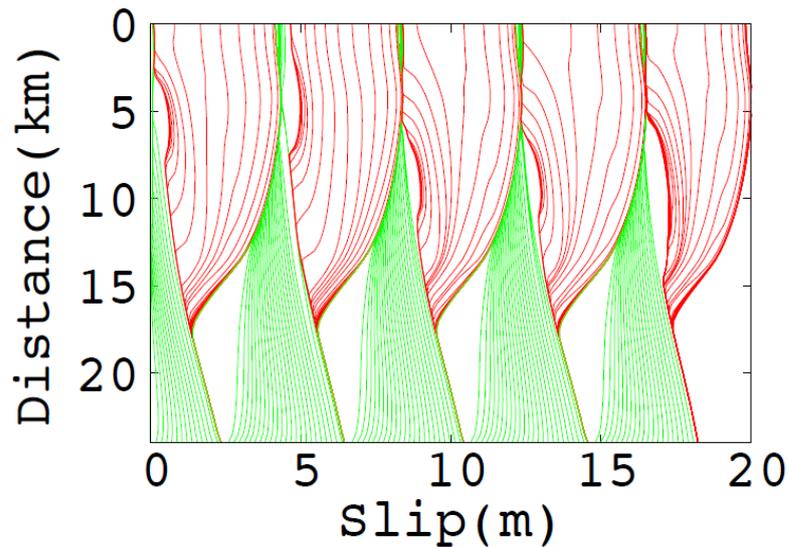


図 3-10-②-5、断層における累積すべり量の深さ分布。赤線はすべり速度が 1mm/sec を超えた時点から、1秒毎に引いている。緑線はすべり速度が 1mm/sec より遅いときに5年毎に引かれている。メッシュサイズ $h=500m$ 「清水, 2015」。

速度状態依存摩擦則に従う断層では、速度弱化 ($a-b<0$) 領域の長さが臨界核形成サイズ h^* を上回るときのみ、地震性のすべりが生じる。二次元問題における臨界核形成サイズは、

$$h_{RR}^* = \frac{\pi}{4} \frac{\mu^* L}{(b-a)\sigma}$$

$$h_{RA}^* = \frac{2}{\pi} \frac{\mu^* b L}{(b-a)^2 \sigma}$$

である。ここで、 a 、 b 、 L は速度状態依存摩擦則の摩擦パラメータ、 σ は法線応力を示す。ただし、 h_{RR}^* は「Rice and Ruina, 1983」における線形化安定解析で求められた h^* であり、 h_{RA}^* は「Rubin and Ampuero, 2005」によって $a/b>0.5$ の場合において、準静的なクラックの進展に対するエネルギーバランスから求められた値である。このとき、 μ^* は anti-plane 問題の場合は $\mu^*=\mu$ 、in-plane 問題の場合は $\mu^*=\mu/(1-\nu)$

である。ただし、 μ は剛性率、 ν はポアソン比である。 h^*_{RR} は準静的にすべっている断層面において、1 つの離散化セルのみで不安定なすべりを起こさないための長さスケールであり、地震間及び核形成をコントロールする重要なパラメータである。離散化セルサイズ h が h^*_{RR} より大きいと、数値計算による人工的な破壊が生じる。また、動的破壊の際には、cohesive zone サイズ（「Palmer and Rice, 1973」, 「Day *et al.*, 2005」）が分解能を決める重要なパラメータとなる。cohesive zone サイズは破壊フロントにおいて剪断応力がピーク値から残留値まで降下する空間の長さスケールである。破壊伝播速度 $c=0+$ のときの cohesive zone サイズの大きさを Λ_0 と表記すると、速度・状態依存摩擦則を使用する場合の Λ_0 は、

$$\Lambda_0 = C_1 \frac{\mu^* L}{b\sigma}$$

と表される（「Palmer and Rice, 1973」, 「Day *et al.*, 2005」）。ただし、 C_1 は定数であり、cohesive zone 内の応力分布が線形である場合は $9\pi/32$ である。 $c>0$ のときは cohesive zone サイズは Λ_0 よりも小さくなる。三次元動的破壊シミュレーション結果から、動的破壊過程の分解能としては $\Lambda_0/\Delta x=3 \sim 5$ が必要であるとされる「Day *et al.*, 2005」。速度弱領域では、 h^*_{RR} は 1.26km、 h^*_{RA} は 4.844km、 Λ_0 はおおよそ 0.125km であり、内挿関数の次数が 4 であることを考えると、このモデルの離散化サイズ $\Delta x=0.125$ km となり、必ずしも十分小さいとは言えない。

そこで、 $h=250$ m、 $\Delta x=0.063$ km となるようにメッシュの細分化を行ってサイクル計算を行った。図 3-10-②-6 に図 3-10-②-5 と同じフォーマットで結果を示す。まだ、 Δx は Λ_0 の半分程度で必ずしも十分とは言えないが、図 3-10-②-6 の 3 サイクル後の破壊開始点は図 3-10-②-5 と比べてかなり安定してきたのが分かる。このように、地表を含む垂直断層での地震サイクルを準動的・動的スイッチを行いながら計算することに成功している。

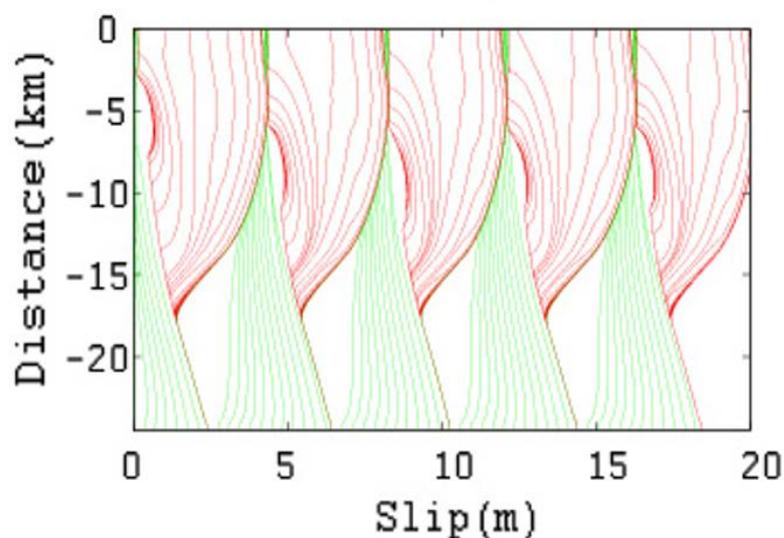


図 3-10-②-6、 図 3-10-②-5 と同じ断層における累積すべり量の深さ分布であるが、メッシュサイズ $h=250\text{m}$ 。図 3-10-②-5 に比べて、破壊開始点の位置が 3 サイクル以降安定してきたのが分かる。

(c) 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。今年度は沈み込む海山の影響を調べたところ、従来考えられているように単純に破壊を止めるバリアとして振舞うわけではないことが分かった。

ただし、このシミュレーションは海山を模した凸部面上にすべりが生じるときの法線応力の変化を考慮した計算で、海山そのものが沈み込んでいく効果を含んでいない。「Hori *et al.*, 2000」は、有限要素法により海山が移動しながら沈み込んでいく効果を調べている。今後の課題として、この影響も地震サイクル計算に組み込む必要があると考えている。

(2) 動的破壊過程を含む地震サイクル計算手法の高度化

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。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。地表を含む垂直断層の場合について、メッシュサイズの影響を調べ、メッシュサイズを小さくしたところ、安定した結果が得られ、垂直断層においては計算が可能であることを確認した。

今後の課題として、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。

(d) 引用文献

- 1) Ampero, 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) Day, S. M., L. A. Dalguer, N. Lapusta, and Y. Liu, Comparison of finite difference and boundary integral solutions to three-dimensional spontaneous rupture. *Journal of Geophysical Research*, 110, 2005.
- 3) Dieterich, J. H., Modeling of rock friction: 1. Experimental results and constitutive equations. *J. Geophys. Res.*, 84, 2161-2168, 1979.
- 4) Duan, B., Dynamic rupture of the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki earthquake: Roles of a possible subducting seamount, *J. Geophys. Res.*, 117, B05311, 2012.
- 5) Fukuyama, E. and S. Hok, Dynamic overshoot near trench caused by large asperity break at depth, *Pure Appl. Geophys.*, 1–9, 2013.
- 6) Hori, T., T. Baba, P. R. Cummins, and Y. Kaneda, Effects of subducted seamounts on the source process of the 1946 Nankai earthquake, SW Japan, Extended Abstract On-Line, 2nd ACES (APEC Cooperation for Earthquake Simulation) Workshop in Japan, Section III, 2000.
- 7) Kaneko, Y., Ampuero, J. P., and Lapusta, N., Spectral-element simulations of long-term fault slip: Effect of low-rigidity layers on earthquake-cycle dynamics. *J. Geophys. Res.*, 116, 2011.
- 8) Kato, N., and T. E. Tullis, A composite rate- and state-dependent law for rock friction, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1103–1106, 2001.
- 9) Lapusta, N., Rice, J. R., Ben-Zion, Y., and Zheng, G., Elastodynamic analysis for slow tectonic loading with spontaneous rupture episodes on faults with rate- and state-dependent friction. *Journal of Geophysical Research*, 105, 23765-23789, 2000.
- 10) Ohtani, M., Large-scale quasi-dynamic earthquake cycle simulations with Hierarchical Matrices Method, Ph.D. thesis, Graduate School Science, Kyoto University, pp.102, 2015.
- 11) Ohtani, M., K. Hirahara, Y. Takahashi, T. Hori, M. Hyodo, H. Nakashima, and T. Iwashita, Fast computation of quasi-dynamic earthquake cycle simulation with Hierarchical Matrices, *Procedia Computer Science*, 4, 1456–1465, 2011.
- 12) Palmer, A. C., and J. R. Rice, The growth of slip surfaces in the progressive failure of over-consolidated clay. *Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences*, 332, 527-548, 1973.
- 13) Rice, J. R., Spatio-temporal complexity of slip on a fault, *J. Geophys. Res.*, 98, 9885–9907, 1993.
- 14) Rice, J. R., and A.L. Ruina, Stability of steady frictional slipping. *Journal of applied mechanics*, 50, 343-349, 1983.

- 15) Rubin, A. M., and J. P. Ampuero, Earthquake nucleation on (aging) rate and state faults. *Journal of Geophysical Research*, 11, 2005.
- 16) 清水宏幸、スペクトル要素法を用いた 2 次元地震サイクルシミュレーション手法の開発、京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻修士論文, pp.62, 2015.

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

「C. Hashimoto *et al.*, 2014」が開発した地震発生サイクルシミュレーションシステムは、地震発生の物理に基づき地殻応力状態の時間発展を再現するための基本的なフレームワークである。これに従って、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、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。構成関係パラメーターの設定に制約を与えるには、地震間のすべり遅れ分布、過去の地震の開始点や伝播範囲、大地震の発生間隔、及びスロースリップの発生などの多様な情報を通して数値シミュレーション結果を検討する必要がある。今年度は、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）大規模計算により、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すべり遅れレートを再現するための現実的な断層構成関係の検討を進めた。地震発生領域のピーク強度の違う複数のモデルを設定して、準静的テクトニックローディングシミュレーションにより実現するすべり遅れ分布の検討を行ない、構成関係の設定に制約条件を与え得る可能性を示した。また、初期クラックサイズを適切に評価し、動的破壊が進行するかどうかの評価を行うことで、構成関係パラメーターの設定に制約を与えることが出来るかの考察を行った。

(b) 業務の実施方法

「C. 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示した。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（「E. 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、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。構成関係パラメーターの設定に制約を与えるには、地殻変動データのインバージョン解析による地震間のすべり遅れ分布（「C. Hashimoto *et al.*, 2009; C. Hashimoto *et al.*, 2012」）、過去の地震の開始点や伝播範囲、大地震の発生間隔、及びスロースリップの発生などの多様な情報を通して数値シミュレーション結果を検討する必要がある。以上を踏まえて、名大では昨年度に、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）・高解像度（スプライン関数節点間隔 4 km、計算点

間隔 2 km) シミュレーションを実現するための計算コードの最適化を完了した。さらに、この広域・高解像度準静的テクトニックローディングモデルを用いて、南海トラフ域の断層構成関係を設定する試行を行い、GEONET データから推定したすべり遅れ分布を数値シミュレーションにより再現することが可能であることを示した。更に、名大と防災科研共同で、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大規模なテスト計算を行った。

今年度は、名大では、昨年度の成果に基づき、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、南海トラフ域の断層構成関係の検討を行った。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。準静的テクトニックローディングシミュレーションでは、「H. Aochi and M. Matsu'ura, 2002」のすべりと時間に依存する断層構成則のパラメーターである α , β , c の分布によりプレート境界面上に地震発生領域を設定する。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現実的な断層構成関係を検討するため、地震発生領域に於けるピーク強度の違う複数のモデルを設定して、数値シミュレーションにより実現するすべり遅れ分布の時間発展を調べた。

防災科研では、名大で計算された広域高解像度モデルの結果を用いて動的破壊伝播の計算を行い、準静的テクトニックローディングによる歪蓄積が動的破壊伝播へと遷移し得るかどうかの評価を行った。破壊伝播し得るかどうかの評価を行うにあたっては、初期クラックの大きさを静的破壊エネルギーの概念を用いて評価した後、その初期クラックサイズを用いて、破壊を開始させ、破壊伝播の計算を行った。

(c) 業務の成果

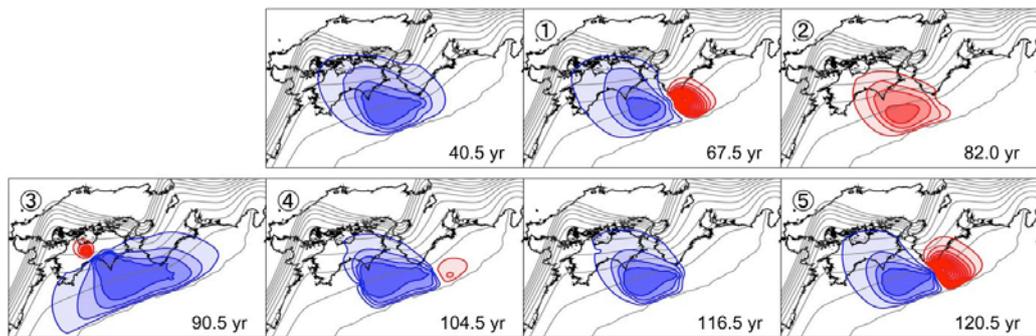
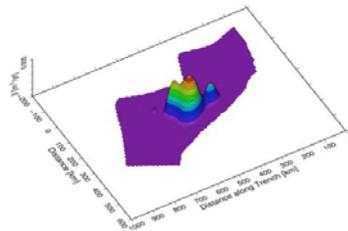
今年度の業務実施の結果、以下の成果を得た。

(1) 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を再現する現実的な構成関係パラメーター分布を検討するために、「H. Aochi and M. Matsu'ura, 2002」のすべりと時間に依存する断層構成則に基づき、パラメーター α , β , c の設定を行なった。パラメーター分布の異なる複数のモデルを構築し、各モデルにつ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。シミュレーション例を以下に示す。

例 1) 地震発生領域のピーク強度が ~ 0.5 MPa となるように設定した場合には、多様なすべりの様態が実現するが、地震の繰り返し周期は 100 年に及ばない。

構成則パラメーター β (最大値 $0.005\text{m}^2/\text{yr}$) 分布による地震発生域の設定(右図)

他のパラメーター設定: $\alpha = 0.5, c = 10^6$



①③-⑤スロースリップ ②地震(南海震源域):最大すべり量約2.5 m

図 3-10-③-1、シミュレーション例 1。ピーク強度を低く設定した場合に、数値シミュレーションにより実現した地震発生サイクル。

例 2) 南海地震発生領域のピーク強度が ~ 2 MPa 程度となるように設定した場合には、GPS データから推定したすべり遅れ分布のパターンを再現することができる。しかし、紀伊半島南端域では、ピーク強度を低く(~ 1 MPa) 設定したため、地震発生サイクルの早い段階で、すべり遅れが蓄積しなくなる。このことは、設定した強度レベルでは、GEONET データから推定された紀伊半島南端域のすべり遅れパターンを説明できないことを意味する。

構成則パラメーター c (最大値 4×10^6) の分布による地震発生域の設定(右図)

他のパラメーター設定: $\alpha = 0.5, \beta = 0.005\text{m}^2/\text{yr}$

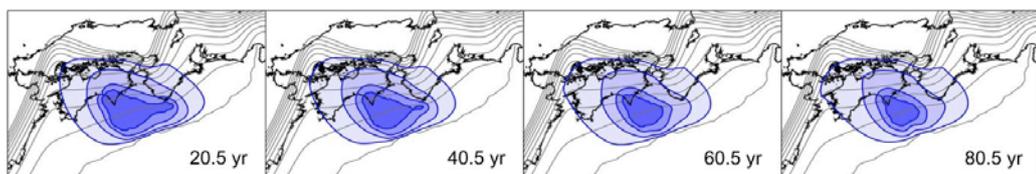
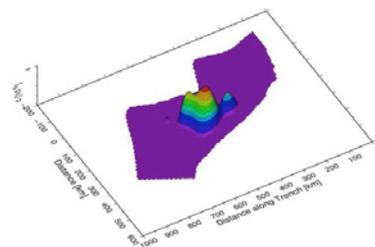


図 3-10-③-2、シミュレーション例 2。数値シミュレーションにより実現したすべり遅れ分布。

例 3) 南海地震発生領域のピーク強度が ~ 2 MPa 程度となるように設定した場合には、GPS データから推定したすべり遅れ分布のパターンを再現することができる。紀伊半島南端域では、ピーク強度をやや高く (~ 2 MPa) 設定したため、地震間の 100 年以上に亘り、すべり遅れのパターンが維持される。この値は、GEONET データから推定されるすべり遅れパターンを説明するための構成則パラメーター設定に制限を与える。

構成則パラメーター c (最大値 4×10^6) の分布による地震発生域の設定 (右図)

他のパラメーター設定: $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.005 \text{ m}^2/\text{yr}$

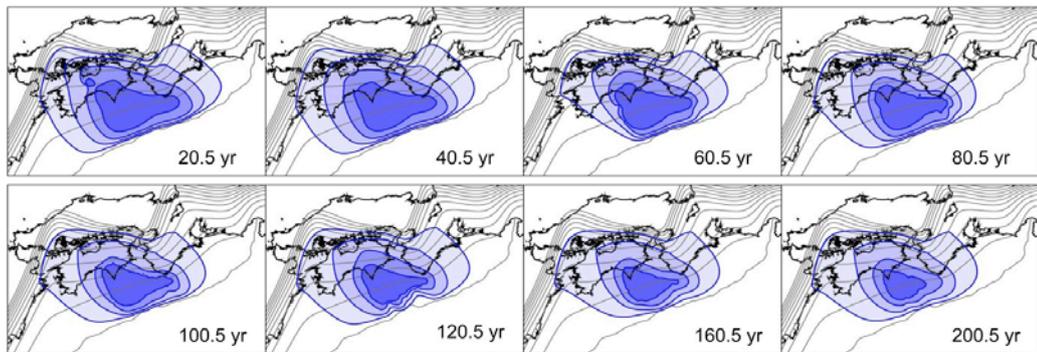
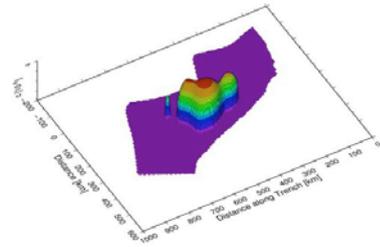


図 3-10-③-3、シミュレーション例 3。数値シミュレーションにより実現したすべり遅れ分布。

(2) 例2と例3のケースについて、地震発生サイクル過程の中で実現するピーク強度とすべり遅れ分布を比較した。

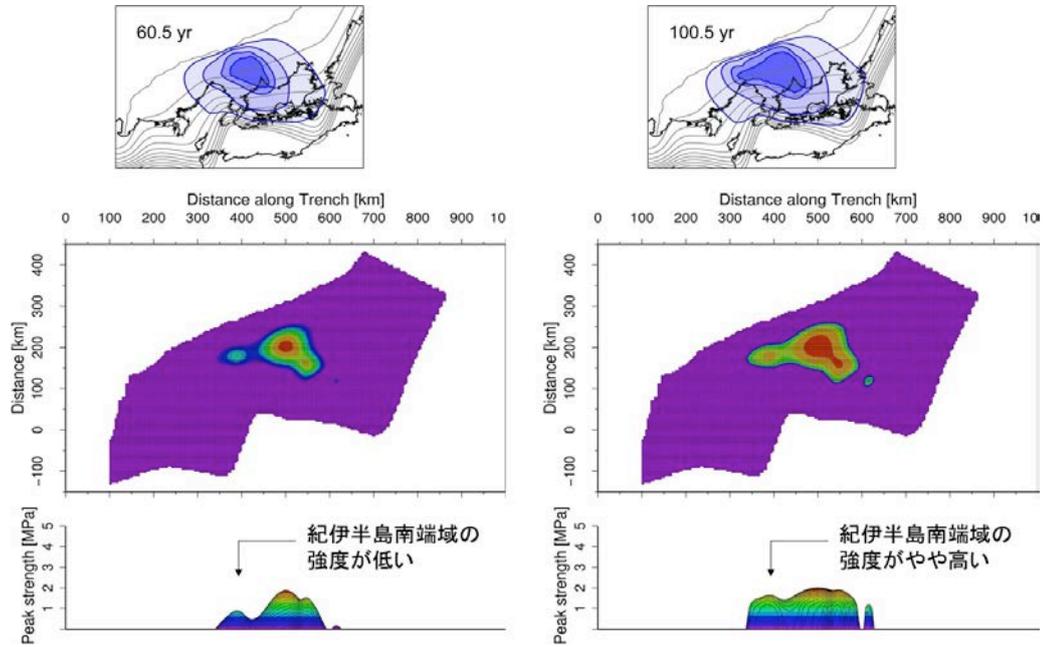


図 3-10-③-4、ピーク強度とすべり遅れ分布の比較。左列と右列のパネルは、それぞれ、シミュレーション例2と例3を示す。(上段)地震発生サイクル過程の中で実現したプレート境界面上のすべり遅れ分布。(中段、下段)プレート境界面上のピーク強度分布。マップ上の位置は上段の図に対応。

(3)例1のケースについて、動的破壊への破壊モードの移行が起こるかどうかを調べるために、初期クラックの大きさを推定した後、その初期クラック内部においては、動的破壊伝播開始時に一斉に破壊すると仮定して、破壊伝播の計算を行った。経過時間が短く、すべり遅れによる歪の蓄積が十分でない場合は、動的破壊伝播を開始させてもすぐに破壊が停止してしまうが、すべり遅れ分布が十分成長し、歪が十分に蓄積されている場合には、破壊が動的に進展し、破壊はすべり遅れ領域(歪蓄積領域)全体に広がることを確認した。

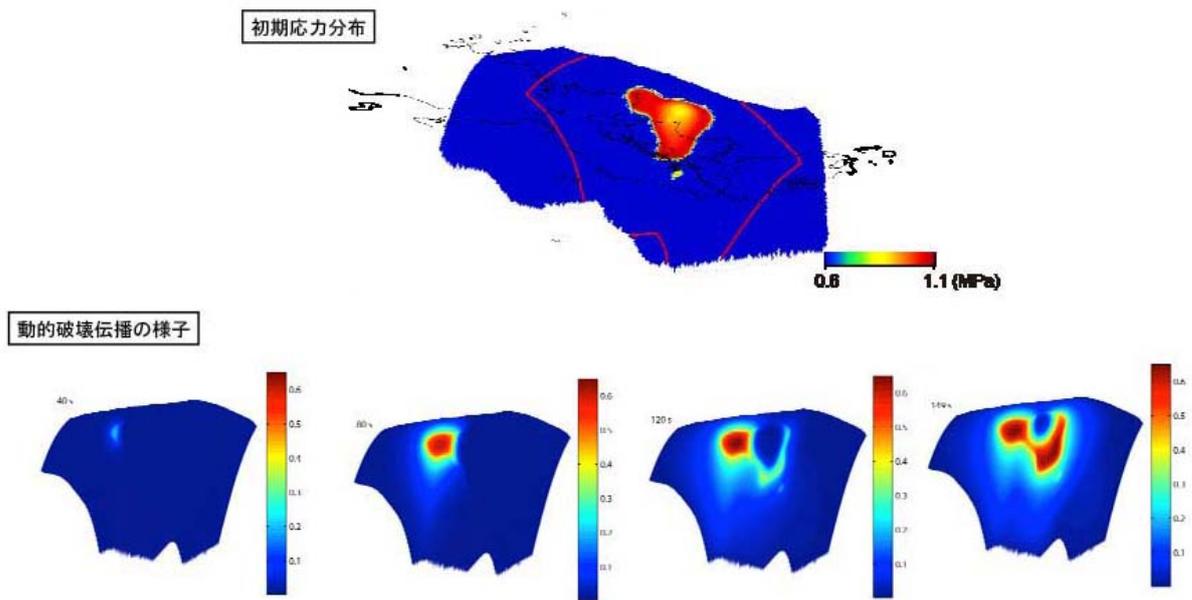


図 3-10-③-5、動的破壊伝播の計算例 上図：準静的テクトニックローディングのシミュレーションによって計算された初期剪断応力の分布。赤枠内の領域を動的破壊伝播の計算領域として設定し、計算を行った。下図：動的破壊伝播のスナップショット。紀伊半島南部から開始した破壊は、四国南東部の応力蓄積領域を壊しながら伝播し、四国西部に回り込んだ後、最終的には、全領域に及んだ。

(d) 結論ならびに今後の課題

今年度は、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）大規模計算により、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すべり遅れレートを再現するための現実的な断層構成関係の検討を進めた。地震発生領域のピーク強度の違う複数のモデルを設定して、準静的テクトニックローディングシミュレーションにより実現するすべり遅れ分布の検討を行ない、構成関係の設定に制約条件を与え得る可能性を示した。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、引き続き計算コードの高速化が課題である。また、

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開始点や伝播範囲、及び時系列などの多様なデータを検討して、構成関係設定のより詳細な制約条件を探索すると共に、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.

④地震発生シナリオ評価

(a) 業務の要約

平成 26 年度の南海トラフの地震発生サイクルシミュレーションの結果、M7 クラス地震の誘発によって、南海地震の規模が小さくなったり、再来間隔が数十年短くなったりすることがわかった。その結果を受けて、南海トラフの過去の地震発生履歴を、誘発現象による規模と再来間隔の変化という観点で検討した。南海地震は、規模大（M8.5 以上）の繰り返しの中で、規模小（M8.5 未満）が 1 回あるいは複数回発生しており、複数回の場合には規模大が先送りしたという解釈になる。その場合、1946 年の規模小で次の規模大が先送りされているのが現状ということになり、今後日向灘地震のような誘発原因があれば、再び規模小が比較的短期間に発生することになり、誘発原因がなければ、規模大がより長期間、間をおいて発生することになる。今後はさらに、東海を起点とする地震の発生とそれによる誘発を考慮に入れた南海トラフの地震発生繰り返しシナリオの検討が必要である。

(b) 業務の実施方法

平成 26 年度、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、M7.5 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た結果、南海地震の発生間隔が数十年短縮されて規模が比較的小さくなり、次の規模大の地震の発生時期が遅れることが見られた。このことを踏まえて、誘発による地震の規模や発生間隔の変化を考慮して、南海トラフの地震発生系列を見直した。

(c) 業務の成果

比較的大規模の大きな (M8.5 以上の) 地震と小さな (M8.5 未満の) 地震とが交互に繰り返す南海トラフの地震発生サイクルの繰り返しシミュレーションのセッティングで、次に比較的大きな地震が起こるタイミングで M7.5 の日向灘地震を発生させると、サイクルの 1/2 から 3/4 程度の範囲では、規模小の南海地震がまず誘発され、次に起こるはずだった規模大の地震が先送りされるということが見られた (Hyodo et al., 2016)。このことは、誘発現象によって地震発生の規模や繰り返し間隔が大きく影響を受けることを示しており、過去の南海トラフの地震の多様性の原因を考慮する際に、誘発現象を柱に検討することの必要性を示唆している。特に、規模大の地震の発生間隔が、規模小の地震が誘発されることによる先送りの有無によって大幅に変化するとともに、再来間隔が長い場合には、その間に規模小が複数繰り返すことになる。

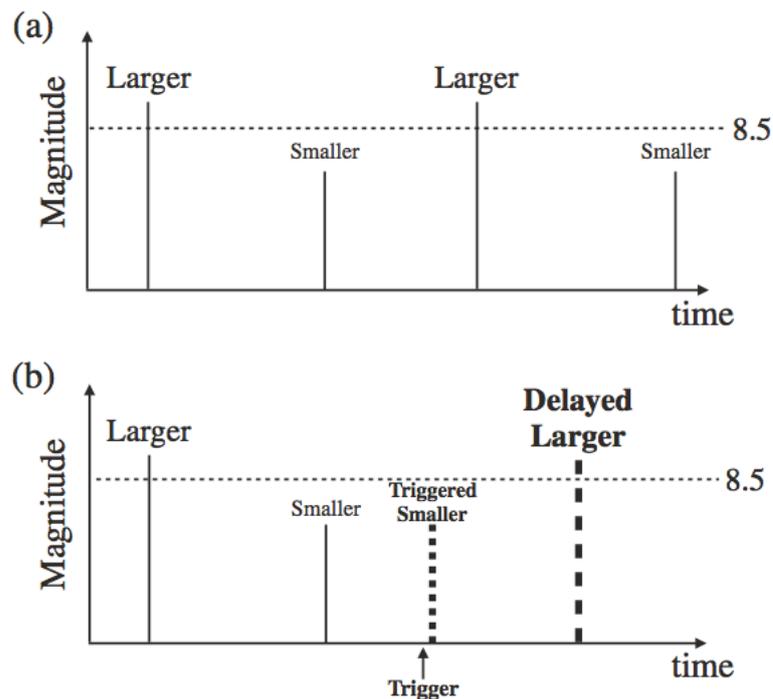


図 3-10-④-1 (a)誘発が起きない場合の地震発生サイクル。比較的大規模の大きな地震 (M8.5 以上) と小さな地震 (M8.5 未満) が交互に発生する。(b)次に規模大の地震が起こるタイミングで、誘発により地震発生を早める影響が与えられると、比較的大規模の小さい地震がまず発生し、次に起こるはずだった規模大の地震の発生は遅れる (Hyodo et al., 2016)。

そこで、過去の南海トラフの地震発生繰り返しを、規模大の南海地震発生を軸に検討することを試みた。その結果を図 3-10-④-2 に示す。規模大の地震としては、1707 年、1361 年、887 年が挙げられる。その場合、1707 年の後の起こり方は、1854 年が規模小、次の 1946 年が再び規模小なので、これが何らかの原因による誘発で、その次の規模大が先送りされた状態にあるというのが 1 つのシナリオとして考えられる。また、1361 年と 1707 年の間については、1498 年が規模小（ただし、これは南海地震についてであって、東海地震はむしろ規模が大きめ）で、その間の 1605 年は津波地震あるいは伊豆小笠原の地震と仮定しカウントしないとすると、規模大の地震の再来間隔は 346 年という解釈となる。その場合、887 年まで遡ると、再来間隔が 474 年と非常に長くなるが、歴史的に知られている地震はその間に 1099 年の 1 回のみであり、従来からも言われているように、記録に残っていない地震が存在する可能性がある。これは単純に同程度の繰り返しで地震が発生するというのではなく、プレートが一定速度で着実に沈み込み、さらに上盤と固着して歪を着実に蓄積していく以上、ある程度の再来間隔で M8 クラスの地震を起こさないと、歪の蓄積・解放の収支が合わなくなるということである。もちろんゆっくりしたすべりでの解放の可能性も無いとは言えない。

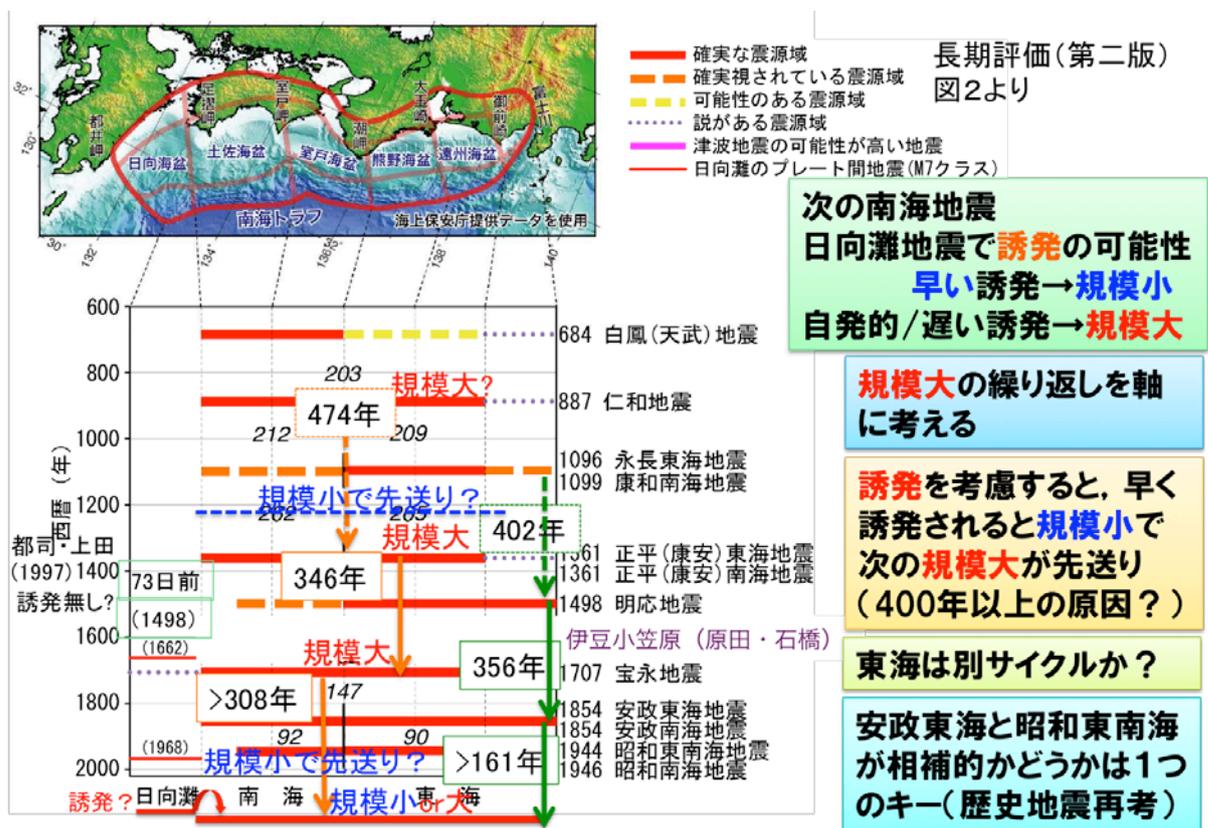


図 3-10-④-2 南海トラフの地震の規模・再来間隔変化の原因についての検討結果

一方、東海地震について、駿河湾内まで震源域が延びる地震が毎回ではなく、その可能性が高いのが 1854 年、1498 年、1096 年であることを考慮する（瀬野,2012 など）と、その繰り返しは、南海の規模大と同程度で 356 年や 402 年となる。これまでの我々のシ

ミュレーションでは、紀伊半島を起点とする地震の起こり方を中心に扱ってきたが、東海を起点とする地震の繰り返しがあるという観点（瀬野, 2012 に近い）に立つと、南海地震の繰り返しの規模や再来間隔の変化が東海を起点とした地震による誘発によっても生じているということになる。

(d) 結論ならびに今後の課題

誘発による規模や再来間隔の変化の観点で、南海トラフの地震発生の繰り返しを検討した。南海トラフでの地震は規模大の繰り返しの中で、規模小が1回あるいは複数回発生しており、複数回の場合には規模大が先送りしたという解釈になる。その場合、1946年の規模小で次の規模大が先送りされているのが現状ということになり、今後日向灘地震のような誘発原因があれば、再び規模小が比較的短期間に発生することになり、誘発原因がなければ、規模大がより長期間、間をおいて発生することになる。

今後は、東海を起点とする地震の発生とそれによる誘発を考慮に入れた南海トラフの地震発生繰り返しシナリオの検討が必要である。

(e) 引用文献

Hyodo, M., T. Hori, and Y. Kaneda, A possible scenario for earlier occurrence of the next Nankai earthquake due to triggering by an earthquake at Hyuga-nada, off southwest Japan. *Earth Planet Space*, 68,6, DOI 10.1186/s40623-016-0384-6, 2016.

瀬野徹三, 南海トラフ巨大地震-その破壊の様態とシリーズについての新たな考え-地震, 64, 97-116, 2012.

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。

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、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に関する研究も行われている。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) 業務の成果

1) 強震動予測のための巨大地震震源モデルの構築

昨年度、本業務では、プレート境界地震では波形インバージョンで得られるアスペリティ(大すべり域)と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)が大きくずれることを示した。そして、強震動予測のためのプレート境界地震震源モデルは、強震動予測の対象周波数(0.1-10Hz)で定義されるSMGAをベースに構築するという方針を立て、2011年東北地方太平洋沖地震、2003年十勝沖地震、1994年三陸はるか沖地震をはじめとする、過去のプレート境界地震のSMGAモデルを収集し、大きさ、応力降下量、絶対位置等のパラメータについて経験則を模索した。

その中で、SMGAの面積と応力降下量の関係を調べたところ、面積の小さいSMGAでは応力降下量のばらつきが大きく、面積が大きくなると変動が小さくなることがわかった(図3-10-⑤-1)。これは、強震動生成する場の不均質性を示している可能性があると考えられる。地震のSMGAを求める際には、経験的グリーン関数法や統計的グリーン関数法で破壊の様々な不均質性による高周波数の放射が要素震源に含まれているため、SMGA内の不均質を敢えて求めることはしないことが多いが、SMGA内の破壊過程は複雑であることが推定される。また、SMGAに対応すると考えられる場所と同様な場所で、特に強い短周期パルスを発生する小領域が、1978年宮城県沖地震「松島・川瀬, 2006」や、2011年東北地方太平洋沖地震(「野津, 2012」、「Kurahashi and Irikura, 2013」)で見ついている。本年度は、SMGAの面積-応力降下量の関係を手がかりに、地震が起きればSMGAになるような場の応力降下量分布のモデル化を試みた。

応力降下量の不均質分布は、空間的には、 k^{-1} の波数スペクトル形状を持つフラクタル分布を仮定し、確率分布には対数正規分布を仮定した。応力降下量分布の k^{-1} 波数スペクトル分布は、地震発生の際は自己相似な不均質性を持つという推測のもと、ブロードバンドで複雑な観測波形を再現するものとして提案されてきたものであり(「Frankel, 1991」、「Herrero and Bernard, 1994」など)、波形インバージョンで得られるすべり分布の k^{-2} 分布(「Somerville *et al.*, 1999」、「Mai and Beroza, 2002」)と対応している。確率分布が対数正規分布というのは、すべり量の確率分布から推定されている「Gusev, 2011」。

応力降下量の不均質分布のモデルは、上述のような仮定で、その k^{-1} 分布のコーナー波数、および、対数正規分布の形状(平均や分散に当たるもの)を変えて生成した。その応力降下量分布モデルから、様々な面積を切り出してその内部の平均応力降下量を計算し、面積-平均応力降下量の分布を得、これが昨年度に整理したSMGAの面積-応力降下量の関係を模倣するようにパラメータを調節した。こうして得られた応力降下量の不均質分布を図3-10-⑤-2に、再現された面積-応力降下量の関係を図3-10-⑤-3に示す。

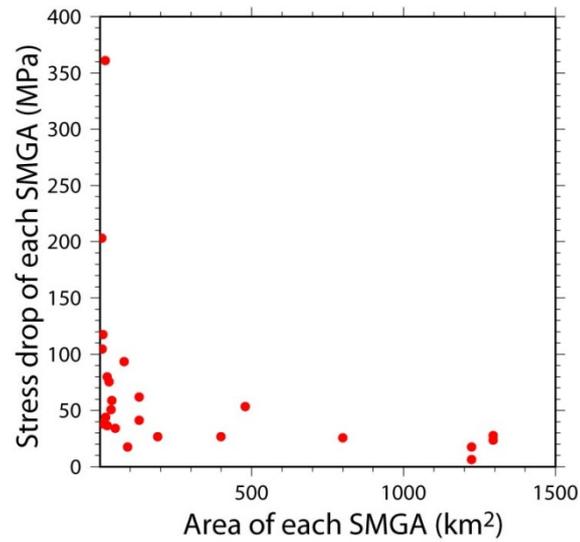


図 3-10-⑤-1、プレート境界地震の個々の SMGA の面積とその応力降下量の関係

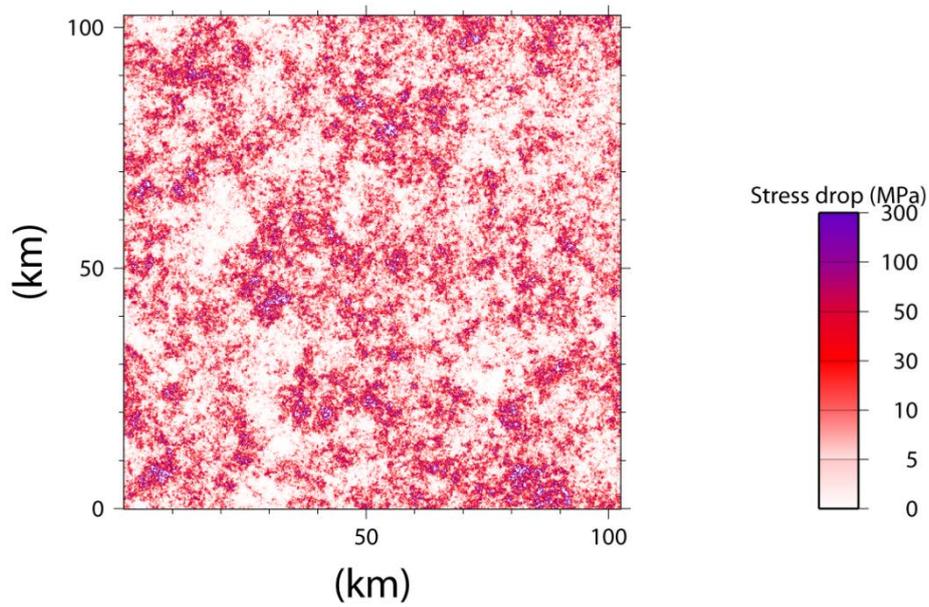


図 3-10-⑤-2、SMGA の面積と応力降下量の関係とフラクタル分布の仮定からモデル化した、SMGA になり得る場の応力降下量分布

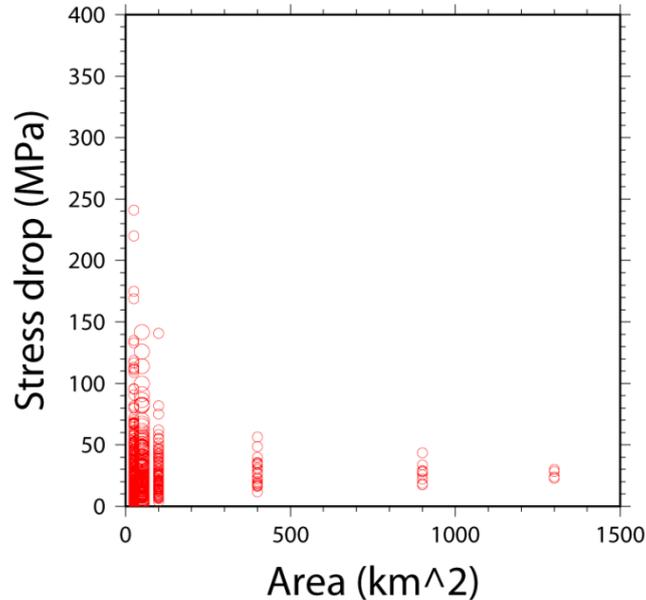


図 3-10-⑤-3、応力降下量分布モデルから再現された SMGA の面積と応力降下量の関係

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観測点間の相互相関関数に基づいて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点間相互相関関数の解析を行う。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に基づいて、先行研究（例えば、「Yamada and Iwata, 2005」、「Furumura *et al.*, 2008」、「Nakamura *et al.*, 2014」）でも指摘されており、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、紀伊半島～四国地方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、地震波干渉法解析に基づく観測点間相互相関関数を抽出するためのデータ解析を実施した。

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）を運用する国立研究開発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より、昨年度にDONET1の広帯域地震計20点の連続波形データ約1.6年分（2013年1月15日～2014年9月2日）の提供を受け、データフォーマットの変換作業を実施した。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 200Hz 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、国立研究開発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、同様にデータフォーマットの変換作業を実施した。

昨年度に整備したデータセットを用い、今年度は観測点間の相互相関関数を抽出するためのデータ解析を進めた。解析対象の広帯域地震観測点地図を図 3-10-⑤-4 に示す。解析手順は地震波干渉法の標準的手続きとしてによって提案されている解析手法「Bensen *et al.*, 2007」に従った。以下にその概略を述べる。

まず、連続記録を 1 時間毎のセグメントに分割し、DONET1 地震計の設置方位情報 (「中野・他, 2012」) をもとに水平成分の波形データの座標変換を行った。次に、記録のオフセットを補正した後に、0.025Hz から 2 Hz の帯域通過フィルターを適用した。非定常信号 (地震、ノイズ等) の影響を抑制するため、時間領域において、Running Absolute Mean 法「Bensen *et al.*, 2007」による正規化を行ったのち、Fourier 変換を行った。周波数領域でスペクトルホワイトニング操作を行い、2 点間のクロススペクトルを成分ペア (3 成分×3 成分=9 通り) 毎に計算した。これらのクロススペクトルを Fourier 逆変換して、時間領域に戻した。これをすべての連続記録に対して行い、それらを時間領域でスタックして、最終的な相互相関関数とした。スタッキングにより得られた相互相関関数を座標変換して、Vertical、Radial、Transverse 成分を作成し、グリーンテンソルの Z-Z、Z-R、Z-T、R-Z、R-R、R-T、T-Z、T-R、T-T に対応する 9 つの相互相関関数の組を得た。以上の計算を、すべての観測点ペアに対して実施した。今年度解析した観測点は、DONET1 が 20 地点、F-net が 11 地点である。海域-陸域のペアは $20 \times 11 = 220$ ペア、海域-海域のペアは 190 ペアである。

図 3-10-⑤-5 に得られた相互相関関数に 0.1-0.2Hz の帯域通過フィルターを適用した結果の例を示す。この図では、DONET1 の KMD15 観測点と F-net の KIS (紀和) 観測点の間の相互相関関数を示している。時間軸で causal (時刻が正) の部分が KMD15 から KIS に向かって伝播する信号、anti-causal (時刻が負) の部分が KIS から KMD15 に向かって伝播する信号に対応する。時間原点に対してほぼ左右対称な信号が得られていることがわかる。

微動 (脈動) 源の季節変化の影響を見るために、1 ヶ月毎にスタックした結果を例示したものが図 3-10-⑤-6 である。同図の左は、図 3-10-⑤-5 にと同様に、KMD15-KIS の観測点ペアである。この図では $(ZR-RZ) / 2$ によって得られた R-R 成分を示している。右図は、KMD15-KMD04 のペアである。このペアは DONET1 の観測点同士のペアであるので、熊野海盆内部を伝播するグリーン関数の表面波成分 (Rayleigh 波成分) に対応する信号が見られている。この図から、季節によって微動震源に含まれる周波数成分の微妙な違いによるピーク時刻の見かけの違いは少しあるものの、各月の位相はお互いに非常によくあっており、本解析対象領域において微動の季節変化の影響は顕著ではなく、年間を通して安定した結果が得られているといえる。

図 3-10-⑤-7 に、KMD15 観測点を基準として、DONET1 及び F-net の各観測点に対する相互相関関数を距離に従ってプロットしたものである。左図が Z-Z 成分、右図が T-T 成分に対応する。それぞれ、Rayleigh 波、Love 波に対応すると考えられる信号が距離に沿って伝播している様子を見ることができた。海域－陸域のペアに比べ、海域－海域（DONET1 観測点同士）のペアでは、表面波の伝播速度が遅くなっているように見える。

平成 28 年度は、今年度準備した全観測点ペアの相互相関関数のデータを用い、熊野海盆から紀伊半島にかけての領域において、周期別の群速度の空間マッピングを行い、既存の三次元地下構造モデルの検証を進める計画である。

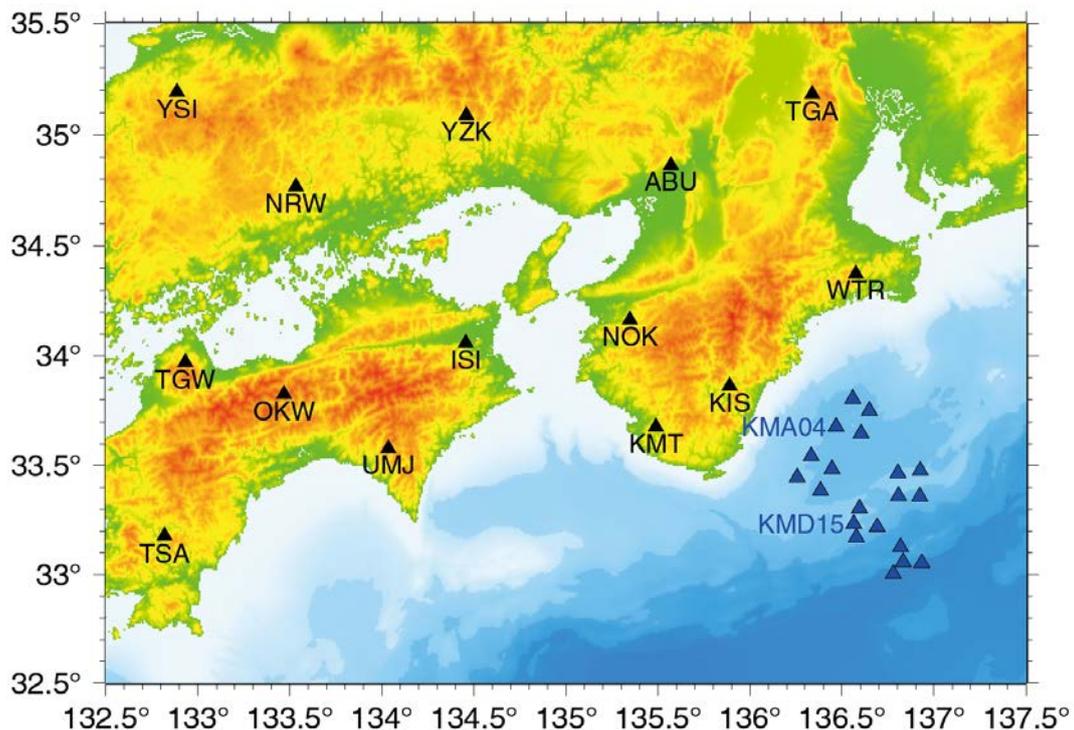


図 3-10-⑤-4、解析対象の広帯域地震観測点。黒色三角印が F-net 観測点、青色三角印が DONET1 観測点の位置を表す。標高及び水深は一般財団法人日本水路協会海洋情報研究センター刊行の日本近海 30 秒グリッド水深データ第二版を使用した。

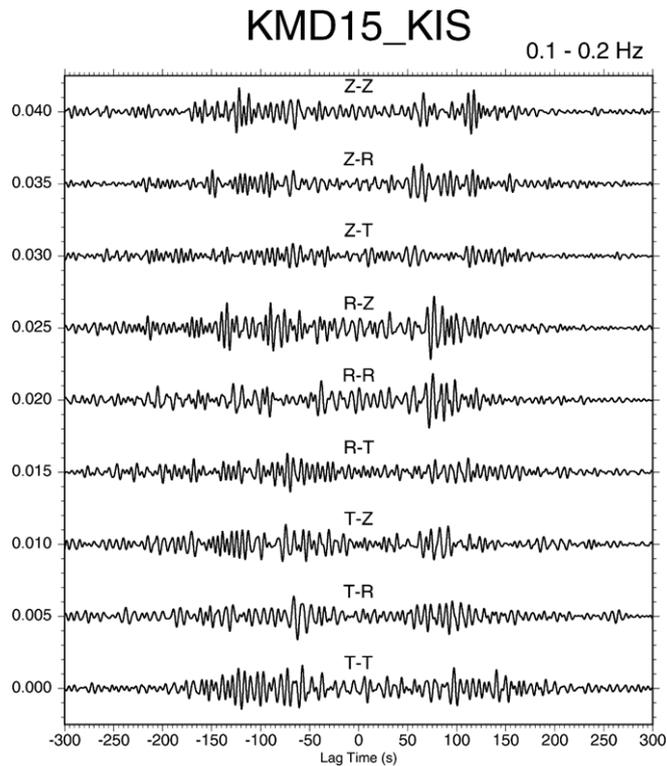


図 3-10-⑤-5、地震波干渉法解析によって得られた 2 点間相互相関関数の例。

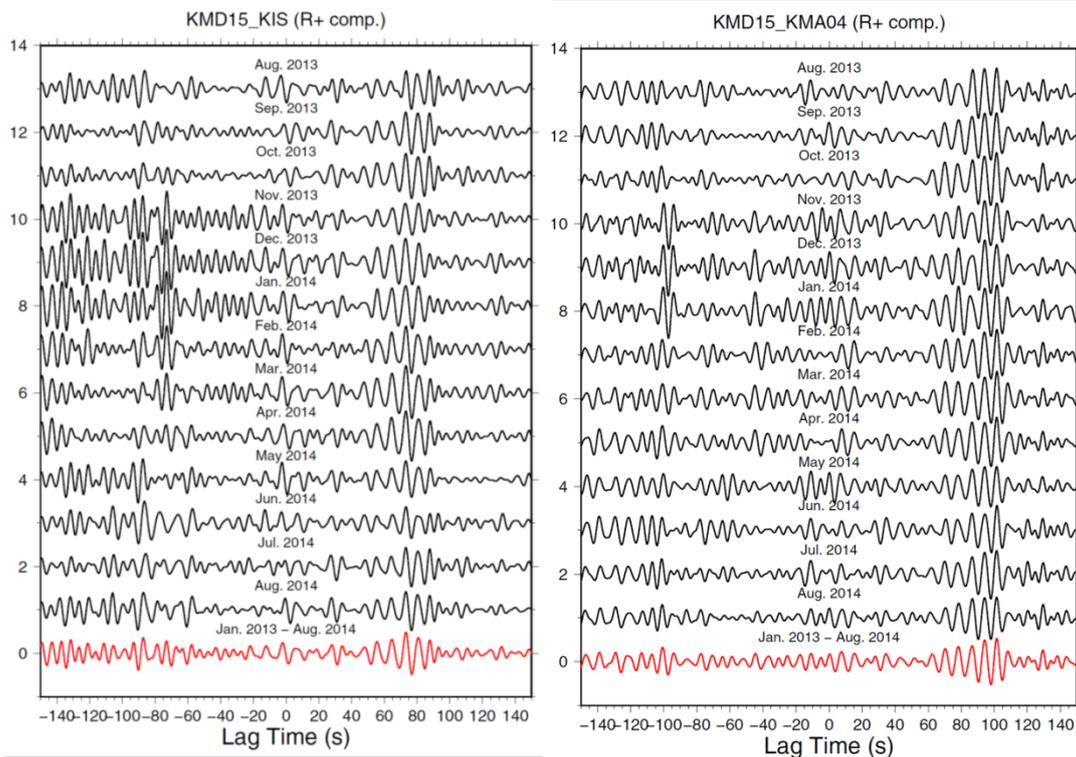


図 3-10-⑤-6、2 点間相互相関関数の季節変化の例。0.1-0.2Hz の R-R 成分を例として示す。左：海域－陸域（KMD15－KIS）、右：海域－海城（KMD15－KMA04）のペア。

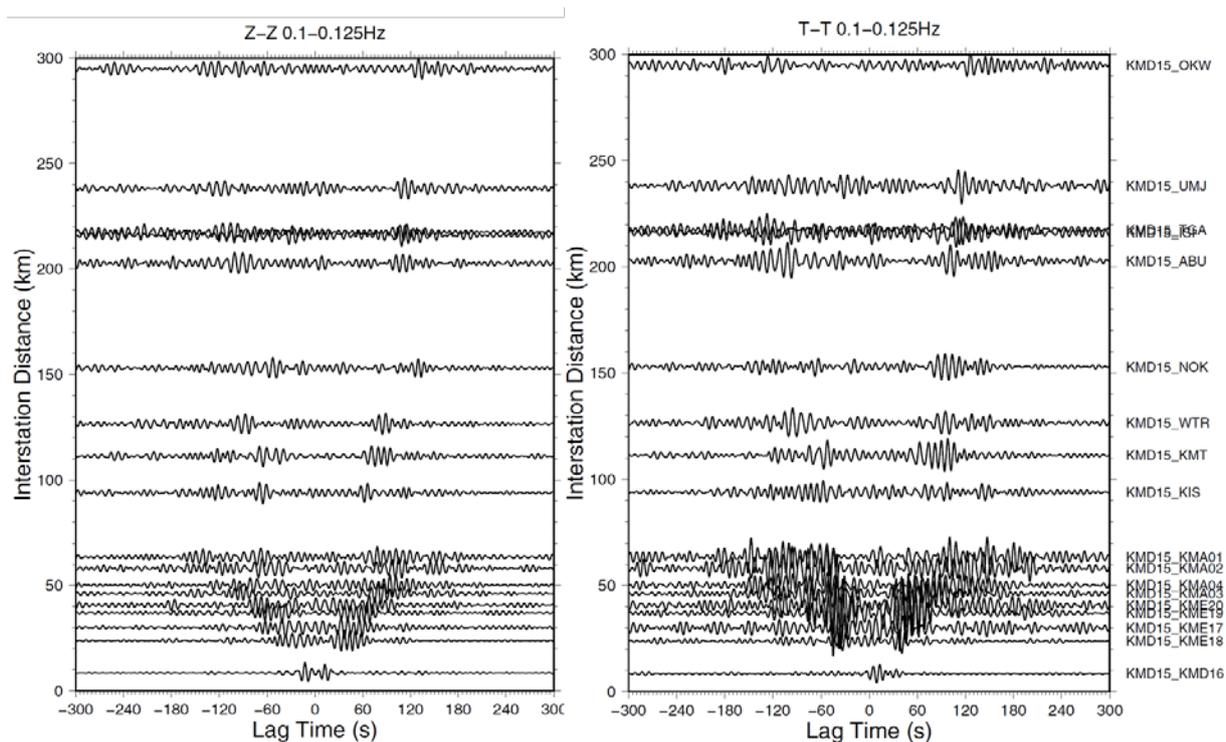


図 3-10-⑤-7、KMD15 観測点を基準としたペーストアップ。左図：R-R 成分、右図：T-T 成分。

(c) 結論ならびに今後の課題

震源のモデル化に関して、既往研究の SMGA の応力降下量の特徴を踏まえ、その特性を表す不均質モデルの提案を行った。今後、モデル化された応力降下量分布を仮定した SMGA モデルを用いて地震波形を合成し、観測された地震動の特徴と比べて妥当性を検討していく。なお、今回はすべり分布もしくは応力降下量分布のモデル化を行ったが、同時に破壊伝播の不均質の設定が重要であり、波形合成と観測記録等との比較を通じてその検討も行う。

伝播経路構造モデルの高度化を目的として、DONET1 と F-net の固体域地震計連続記録を用い、海域－陸域、海域－海域ペアの 2 点間相互相関関数を計算し、Rayleigh 波及び Love 波の伝播に対応すると考えられる信号を抽出した。今後は、今年度準備した全観測点ペアの相互相関関数のデータを用い、熊野海盆から紀伊半島にかけての領域において、周期別の群速度の空間マッピングを行い、既存の三次元地下構造モデルの検証を進めていく必要がある。

(d) 引用文献

- 1) Bensen, G. D., M. H. Ritzwoller, M. P. Barmin, A. L. Levshin, F. Lin, M. P. Moschetti, N.M. Shapiro, and Y. Yang, Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements, *Geophys. J. Int.*, **169**, 1239-1260, 2007.

- 2) Frankel, A., High-frequency spectral falloff of earthquakes, fractal dimension of complex rupture, b value and the scaling of strength on faults, *J. Geophys. Res.*, **96**(B4), 6291-6302, 1991.
- 3) 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.
- 4) Gusev, A., Broadband kinematic stochastic simulation of an earthquake source: a refined procedure for application in seismic hazard studies, *Pure Appl. Geophys.*, **168**, 155-200, 2011.
- 5) Herrero, A. and P. Bernard, A kinematic self-similar rupture process for earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.* **84**, 1216-1228, 1994.
- 6) Kurahasi, S. and K. Irikura, Short-period source model of the 2011 Mw 9.0 Off the Pacific coast of Tohoku earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **103**(2B), 1373-1393, 2013.
- 7) Mai, P.M. and G. Beroza, A spatial random field model to characterize complexity in earthquake slip, *J. Geophys. Res.*, **107**(B22), DOI: 10.1029/2001JB000588, 2002.
- 8) 松島信一・川瀬博, 海溝性地震におけるスーパーアスペリティモデルの提案, 月刊地球, 号外 **55**, 98-102, 2006.
- 9) Nakamura, T., M. Nakano, N. Hayashimoto, N. Takahashi, H. Takenaka, T. Okamoto, E. Araki, Y. Kaneda, Anomalously large seismic amplifications in the seafloor area off the Kii peninsula, *Marine Geophysical Research*, 2014, **35**(3), 255-270, 2014.
- 10) 中野優・利根川貴志・金田義行, 地震動波形から推定した DONET 地震計の方位, *JAMSTEC Report of Research and Development*, **15**, 77-89, 2012.
- 11) 野津厚, 2011 年東北地方太平洋沖地震を対象としたスーパーアスペリティモデルの提案, *日本地震工学会論文集*, **12**, 21-40, 2012.
- 12) Somerville, P.G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y., Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada: Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, *Seism. Res. Lett.*, **70**, 59-80, 1999.
- 13) Yamada, N. and T. Iwata, Long-period ground motion simulation in the Kinki area during the M_j 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 27 年度では、従来日向灘における大地震、あるいは明応七年八月廿五日（ユリウス暦 1498 年 6 月 30 日）の明応東海地震に先行する明応南海地震と考えられてきた、明応七年六月十一日（ユリウス暦 1498 年 6 月 30 日）について史料の見直しを行い、その地震像の再検討を行った。また、1854 年安政東海地震と 1946 年昭和東南海地震の同一地域における津波高・被害規模の稠密な比較を行う事により、それぞれの

地震の津波波源域・震源モデルの違いの検討を行った。検討のために、1854年安政東海地震の津波被害記録の収集と整理、1946年東南海地震による津波被害の聞き取りと推測される津波高の測定を行った。さらに、昨年度に引き続き、近代以前の南海トラフ沿いの巨大地震の被害分布と推定された震度と、1944年東南海地震・1946年南海地震の被害分布と震度とを直接比較し、これらの震源モデル間の違い・共通点を調べるために、地震直後に行われたアンケート調査による1944年東南海地震・1946年南海地震の被害分布とそれらから推定された震度の再分析を行った。また、アンケート調査による1945年三河地震の被害分布と震度の再分析も行った。

(b) 業務の成果

1) 史料調査による明応七年六月十一日（ユリウス暦1498年6月30日）の地震の再検討

平成27年度では、慶長九年（1605年）に発生した南海トラフ沿いの津波地震の震源域の見直しに続き（図3-10-⑥-1）、この地震の1つ前の南海トラフ沿い巨大地震である明応七年（1498年）の巨大地震について再検討を行った。この地震については、明応七年八月廿五日（ユリウス暦1498年9月11日）の明応東海地震の存在は知られているが、この地震に対応する南海地震がいつ発生したのかが、未だ未解決である（図3-10-⑥-1）。これまで、明応東海地震に先行した南海地震の候補として、明応七年六月十一日（ユリウス暦1498年6月30日）の地震が上げられていた（「都司・上田，1997」、「都司，1999」）。また、「宇佐美，1987」は、応七年六月十一日に京都およびその以東で申の刻（午後3時～5時）に記録された地震と、『九州軍記』という江戸時代初期に成立した軍記物語に記述された同日巳の刻（午前9時～11時）の地震とを別々の地震と考え、巳の刻の地震の震央を、震央の精度は100km程度としながらも、日向灘に推定した（M7.0～7.5）。「宇佐美，1987」以降、この地震については、『理科年表』にも「1948年明応日向灘地震」として記され、多くの地震学者に受け入れられている。本年度は、この明応七年六月十一日（ユリウス暦1498年6月30日）の地震に対して、その地震像の見直しを行った。

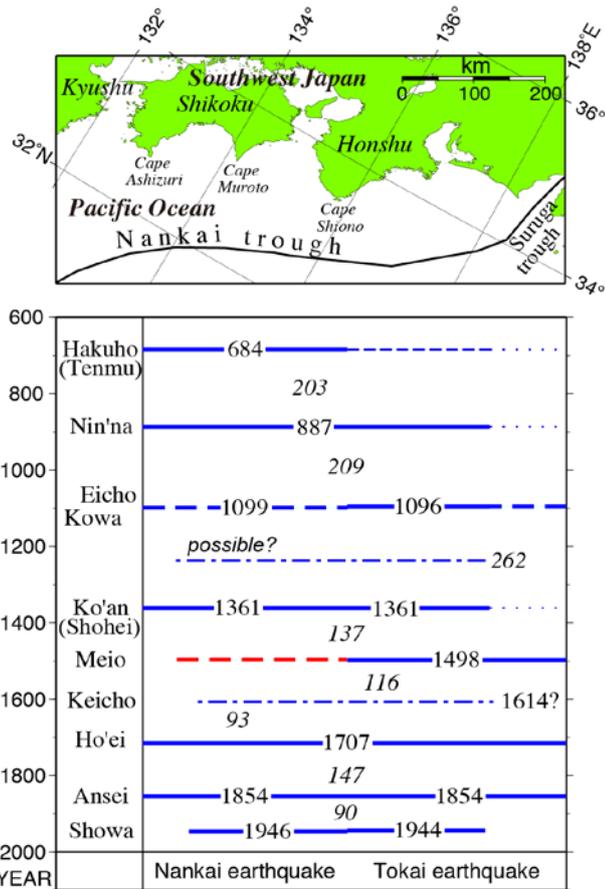


図 3-10-⑥-1、過去の南海トラフ沿いの巨大地震の時空間分布

a) 明応七年六月十一日（ユリウス暦 1498 年 6 月 30 日）の地震の特徴

明応七年六月十一日（ユリウス暦 1498 年 6 月 30 日）の地震の特徴として、以下がある（図 3-10-⑥-2）

- ①京都・奈良で“大地震”（“大地震（おおじしん）”は現在でいうところの大地震（Large earthquake）ではなく、地震による大きな揺れを表す。被害の記述が無いことから、震度 4～5 弱程度の揺れであると考えられる。）の記事が存在するが、明応七年八月廿五日（ユリウス暦 1498 年 9 月 11 日）の明応東海地震と比べると、6 月 30 日の地震の揺れその半分であるという記述がある（『言国卿記』《十一日》{(明応七年六月)}、(中略) 八下剋大地神也；『親長卿記』《十一日》{(明応七年六月)} 日晴、地震(大動)；『実隆公記』《十一日》{(明応七年六月)}、(中略) 今日地震以外也；『御湯殿上日記』《十一日》{(明応七年六月)}、(中略) ひるほとにおひたたしくちしんゆる；『後法興院記』《廿五日》{(明応七年八月)}、(己 | 丑、) (中略) 辰時大地震、去六月十一日地震一《陪》{(ママ)} 事也。
- ②江戸時代に編纂された史料では、鹿児島県から山梨県にかけて大地震が記録されている（『高白斎記』{(明応七年)} 六月十一日大地震；『続本朝通鑑』《丙子》{(明応七年六月十一日)}、諸國大地震；『田代之宝光寺古年代記』 戊午明應七 四月十一日ヨリ五月廿日迄大旱、同六月大地震）。

- ③九州において甚大な被害の記録があるが、被害の記述は『九州軍記』のみ（「・・・山崩テハ海川ニ入り地裂テハ泥湧出ル神社仏閣ノ鳥居石碑過半ハ顛倒セリ民屋ハ一字モ全カラス・・・」）。
- ④愛媛県新居浜市の黒島神社における『明治二十年五月黒島神社御年祭主旨書』には、土地陥没や地すべりの記述があるが、日付が無い（「・・・明応七年の震災に、大地大に潰崩し、島の六七歩ハ流失し、此度二三の遺島（ママ）となれり、是によりて居民四方に散乱して行方不知、・・・」）。
- ⑤中国の上海周辺で同日に地震動、水面動揺の記録がある（「謝・薬，1983-1987」；〔弘治〕十一年六月十一日、各邑の河川、水路、湖沼、井戸、泉がことごとく震動し、数尺も湧き上がるが、ややしばらくして静まる。）」

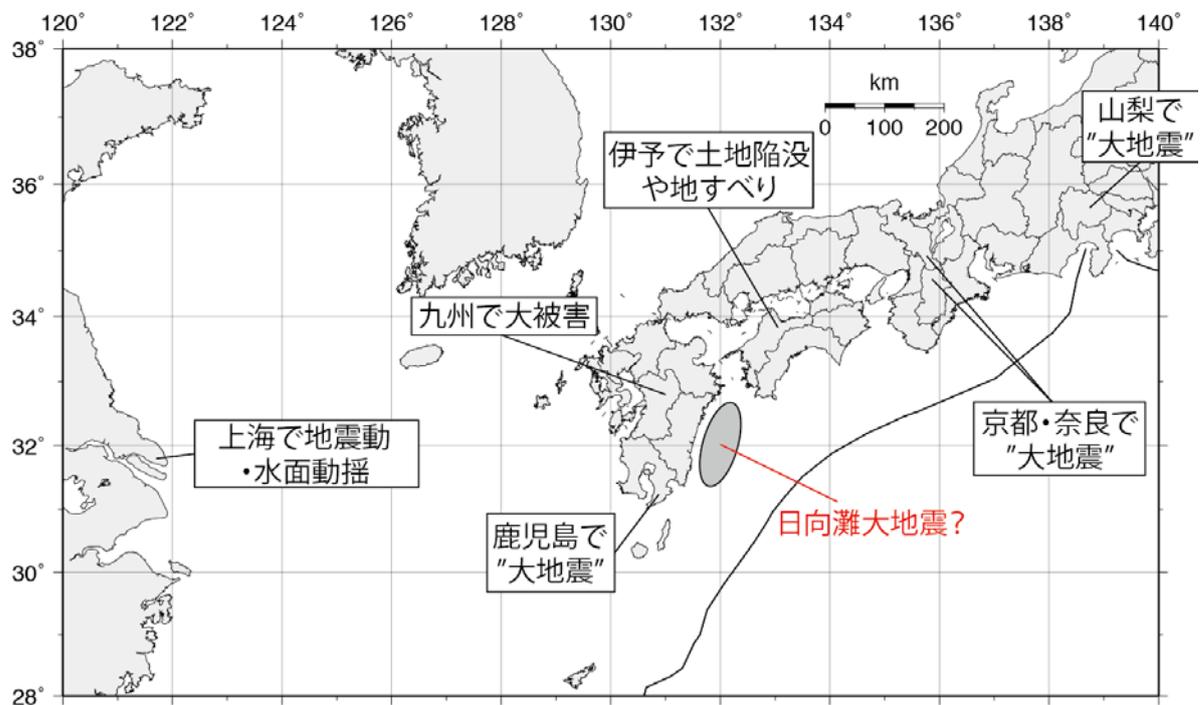


図 3-10-⑥-2、明応七年六月十一日の地震についての特徴

b) 『九州軍記』における被害記述の検討

明応七年六月十一日の地震についての以上の特徴から、「都司・上田，1997」、「都司，1999」は、同年八月廿五日（9月11日）に発生した明応東海地震に先行した南海地震であると主張していたが、「石橋，1998」、「石橋，2002」、「石橋，2014」は、『九州軍記』の記述と上海の水面動揺を津波とする解釈には無理があることを指摘し、さらに他の史料の精査により、六月十一日の地震は南海地震でありえないとした。なお、「石橋，1998」、「石橋，2002」、「石橋，2014」は、この地震が、1909年宮崎県西部の地震（M7.6）のような、九州下のスラブ内大地震である可能性もあるとしている。「宇佐美，1987」は、『九州軍記』における記述の信頼性は低いとしながらも、京都およびその以東で申の刻（午後3時～5時）に記録された地震と、

『九州軍記』に記述された巳の刻(午前9時～11時)の地震とを別々の地震と考え、巳の刻の地震の震央を日向灘に推定した(M7.0～7.5)。ただし、震央の精度は100km程度としている。

しかしながら、明応七年六月十一日の地震が日向灘付近の地震であったとする根拠である九州の大被害の記録は、明応七年六月十一日の地震から100年以上後に書かれた文学作品である『九州軍記』に書かれた記述のみである。それにもかかわらず、この九州における地震被害の記述は、多くの地震学者に無批判で受け入れられ、この地震の震源を推定するための情報として重要視されてきた。したがって、本年度では、『九州軍記』に記された、明応七年六月十一日の地震による九州大被害の記述を、『九州軍記』の成立過程を含めて再検討した。

i) 『九州軍記』成立過程の検討

まず、『九州軍記』の成立過程の検討を行った。検討には、『九州軍記』第一巻にある、僧了圓による序文が役に立った。序文から、以下のことが分かった。

①『九州軍記』は、『九州鑑』の改訂本であり、『九州鑑』の著者は、烏笑軒浄念(大蔵姓深江種治)である。

②烏笑軒浄念は、「肥前之州草野之邑」(現福岡県久留米市草野)の寺で『九州鑑』全12巻をまとめた。

③この『九州鑑』は、烏笑軒浄念の死(文禄四年(1593年))後、火災に遭い焼失した。

④烏笑軒浄念の友であった草野入道玄厚が、浄念から聞いた内容を思い出して再びまとめ、12巻の『九州軍記』として慶長六年(1602年)に完成した。

⑤『九州軍記』は、『九州鑑』からの脱落が少なからずある。

⑥序文は僧了圓によって、慶長十二年四月に書かれた。

また、『九州軍記』の完成から約250年後の史料であるが、帆足万里・岡弘道重による『橘山遺事』によると、「因取二玄厚舊本一 緹二其紕謬一 補輯傳二於世一」とあり、僧了圓も『九州軍記』の修正と補筆を行っていたようである。したがって、『九州軍記』は、烏笑軒浄念の『九州鑑』の複製本として、文禄四年(1593年)以降に草野入道玄厚書かれたが、複製の際に記述の脱落が多く、それが了圓によって補筆されたことが分かった。また、『九州軍記』が書かれた年代から、執筆者の玄厚(と了圓)は文禄五年(1596年)の慶長豊後地震を近くで体験していると考えられ、その体験や情報が軍記の記述に影響した可能性も考えられる。

ii) 『九州軍記』における地震被害記述が記された背景についての検討

次に、明応七年六月十一日の地震による九州大被害の記述が、文学作品である『九州軍記』に記された背景について検討をおこなった。大地震の記述がある『九州軍記』第2巻の目次をみると、「2-10 將軍義村卿周防下向事、2-11 九州大地震付大旱飢饉事、2-12 菊池義宗没落并大友勢入肥後国事(各章の番号は本研究で記載)」とある。この「九州大地震付大旱飢饉事」章に、九州大被害の記述があ

るのであるが、この章の前の章「將軍義村卿周防下向事」は、明応七年（1498年）で終わっており、後の章「菊池義宗没落并大友勢入肥後国事」は、永正二年（1505年）から始まっている。したがって、「九州大地震付大旱飢饉事」の章は、序文にある『九州鑑』からの脱落の1つ（7年分）を補うために補筆されたのではないかと考えられる。

iii) 『九州軍記』における「九州大地震付大旱飢饉事」章の検討

最後に、九州大被害の記述の背景とその信頼性をより詳しくみるために、「九州大地震付大旱飢饉事」章の検討をおこない、以下のことが分かった。

- ① 被害場所の地名がなく、地震による一般的な被害が書かれているようだ「・・・山崩テハ海川ニ入り、地裂テハ泥湧出ル、神社仏閣ノ鳥居石碑過半ハ顛倒セリ、民屋ハ一字モ全カラス・・・」。特に、「山崩テハ海川ニ入り、地裂テハ泥湧出ル、」は『方丈記』、『平家物語』、『太平記』にも酷似した記述があり、『九州軍記』作者がこれらを参照した可能性が極めて高い。
- ② 被害記述後に、「旧記ヲ考ルニ、文治二年（1185年元暦地震（元暦二年の間違い）・正嘉元年（1257年正嘉（関東）地震）・永仁元年（1293年永仁鎌倉地震）・応永十八年（1411年5月6日の地震）・文安六年（1449年文安京都地震）・文正元年（1466年5月20日京都・奈良の地震）地震アリ・・・」と過去の大地震が列挙されているが、このことから『九州軍記』の作者は、作者が過去の大地震を調べることができたことが分かる。よって、明応七年六月十一日の地震も、年代記等から調べられた可能性がある。
- ③ 『九州軍記』の作者が、六月十一日の地震と八月廿五日の明応東海地震とを混同していた、あるいは、混同して記された史料に基づいて、六月十一日の地震を描写した可能性がある。『九州軍記』では、六月十一日の地震の発生時が「卯ノ中刻ヨリ、九国ノ大地震隙ナク震フ、巳ノ刻ニ至テハ、天大ニ鳴渡リ地夥ク、弥増ニ震フ」とあるが、これは、明応東海地震の発生時刻（辰の刻（午前7時～9時））に近く、同時代史料には、明応東海地震の発生時刻が巳の刻（午前9時～11時）のものもある（〔親長卿記〕《廿五日》{（明応七年）}日、晴、巳剋許大地震、以外事也；〔塔寺八幡宮長帳〕明應七年（中略）同八月廿五日巳剋ニ大地震アリ、）。したがって、六月十一日の地震と明応東海地震とが混同されているとすれば、過度の誇張と考えられていた「今度ノ地震ハ九国ノミニ不限、四国・中国・畿内・東海・北国・奥州ノ果迄モ残ル所ナシ、」という記述も、不自然でなくなる。
- ④ 「九州大地震付大旱飢饉事」章では、明応七年六月十一日の地震とその大被害に加えて、「文龜三年癸亥天下大ニ旱魃ス、殊更九国ノ内孟夏三月雨ナクシテ青苗空ク枯ヌ、井水乾キ河水流サレハ、諸民喉ヲ濡シカタシ、サレハ飢饉モ打続テ餓死路頭ニ満ツ」と文龜三年（1503年）の大飢饉の記述が続く。さらにこの章の最後には、「去ル応仁ヨリ五畿七道乱世ノ上、斯ル災打添ケレハ、今度ソ世ノ失果ソトナケカヌ人ハ無リケリ」と、度重なる災害による人々の

苦しみが記されている。したがって、この「九州大地震付大旱飢饉事」章は、この章の前後の7年間の脱落を補うだけでなく、後に続く物語の舞台設定の性格が強く、地震被害も物語を盛り上げるための創作である可能性が考えられる。

以上の検討から、『九州軍記』における明応七年六月十一日の地震による九州の大被害に関する記述の信頼性はまったく無いと結論される。九州における、明応七年六月十一日の地震についての記述は、『田代之宝光寺古年代記』における「戊午明應七 四月十一日ヨリ五月廿日迄大旱、同六月大地震」のみであり、被害の記録は無い（あるいは、見つかっていない）。

しかしながら、『田代之宝光寺古年代記』における記述も、「戊午明應七 四月十一日ヨリ五月廿日迄大旱」は日付があるのに対して、「同六月大地震」には日付がなく十一日に発生した地震について書かれているのどうかは分からない。そもそも、他の年代記と同様に『田代之宝光寺古年代記』には、鹿児島県田代にある宝光寺周辺で発生したと推測される記事と「丁酉天喜五 頼儀於奥州合戦誅頼時」や「戊戌慶長三 太閤様死去」のように、他の地域や日本全体の歴史に関する記述が同列に列挙されているので、「同六月大地震」が、鹿児島県田代の宝光寺において感じられた“大地震”であるかどうかは不明である。以上の事から、明応七年六月十一日の地震によって九州で大被害が生じた可能性は極めて低く、また、鹿児島県田代で“大地震”が感じられたのかも疑わしい。したがって、六月十一日の日向灘における大地震は存在しないと考えられる。

c) 愛媛県黒島付近における明応七年の震災による土地陥没や地すべり記録の検討

愛媛県新居浜市に鎮座する黒島神社の『明治二十年五月黒島神社御年祭主旨書』には、「明応七年の震災に、大地大に潰崩し、島の六七歩ハ流失し、此度二三の遣島（ママ）となれり、是によりて居民四方に散乱して行方不知、其内阿波国三好郡中ノ庄村に、往古の氏子其子孫貳拾余戸今尚存セリ、皆黒嶋を以て産土とす、」とあるが、この主旨書の記述には“明応七年の震災”の日付がない。さらに、この主旨書の原典は失われており（発見されておらず）、原典に戻ることができないので、この被害の有無ならびに信頼性の検討と評価ができない。

また、六月十一日の地震と八月廿五日の明応東海地震との間の、明応七年七月十四日（ユリウス暦 1498 年 8 月 1 日）には、台風の記録（『後法興院記』の「{七月}十四日（申 | 戌）降雨、自巳刻大風吹、終日不止、」、『御湯殿上日記』の「{七月}十四日 風雨おとろおとろしうふく。」、『大乘院寺社雑事記』の「十四日 雨下、大雨風也、」など）があるが、「大地大に潰崩し、島の六七歩ハ流失し、」も台風による被害とも解釈ができる。いずれにせよ、『明治二十年五月黒島神社御年祭主旨書』は、原典をたどることができない低質な文書であり、この地において他の被害史料も発見されていないので、信頼できる被害の記録としては扱わない。

d) 明応七年六月十一日“申の刻”の地震の候補

本年度の研究で、九州に大被害を与えたと考えられてきた明応七年六月十一日“巳の刻”の日向灘地震は存在しないことが分かった。しかし、少なくとも京都・奈良では、この地震によって“大地震”を感じたことは確実であり、さらに、中国の上海付近においても同日“申の刻”に地震動、水面動揺の記録がある（「謝・葉，1983-1987」）。

「石橋，1998」、「石橋，2002」、「石橋，2014」は、この地震が、1909年11月11日の宮崎県西部の地震（M7.6）のような、九州下のスラブ内大地震である可能性もあるとしている。図3-10-⑥-3は、1909年宮崎県西部の地震の気象庁震度分布であるが、このタイプの地震であると九州地方から関東地方にかけて西日本全体で地震動を感じる事が分かる。しかしながら、「謝・葉，1983-1987」によると、この地震発生日に中国における地震動などの記録は無いようである。

また、1911年6月15日に発生した奄美大島近海の巨大地震（M8.0）のような地震も、明応七年六月十一日の地震の候補として考えられる。図3-10-⑥-4は、この地震による気象庁震度分布図であるが、奈良・京都で震度2であり、さらに、神奈川や千葉でも揺れが記録されている。したがって、奄美大島近海において、震源域が海溝軸に沿ってもう少し北東に移動するか、地震のマグニチュードが大きくなると、西日本全体で大きな揺れを感じると考えられる。さらに、「謝・葉，1983-1987」によると、この地震の発生日に中国の上海で地震動の記録「十九日夜十時半、上海がすさまじい地震に見舞われたとのこと。揺れは十秒から十二秒も続き、その後、遠くで獅子が吠えているかのような轟音が響いたが、次第に音は波が岸を洗う程度にかすかになり、徐々に弱まり鳴り止んだ。吊下げた灯りは大きく振動し、揺れ幅は本来の吊下げ位置から優に一尺に達したが、二分ほどでおさまった。（原文は中国語で、和訳した）」がある。したがって、明応七年六月十一日の地震は、琉球海溝沿いで発生した巨大地震であった可能性もあると考えられる。しかしながら、奈良・京都以外の地域における“大地震”の記録は、『三州堀切靈松山常光寺年代記』など後世に編纂された史料に記述されているので、史料の信頼性は低く、今後、九州・四国の史料と同じく再検討を行う予定である。

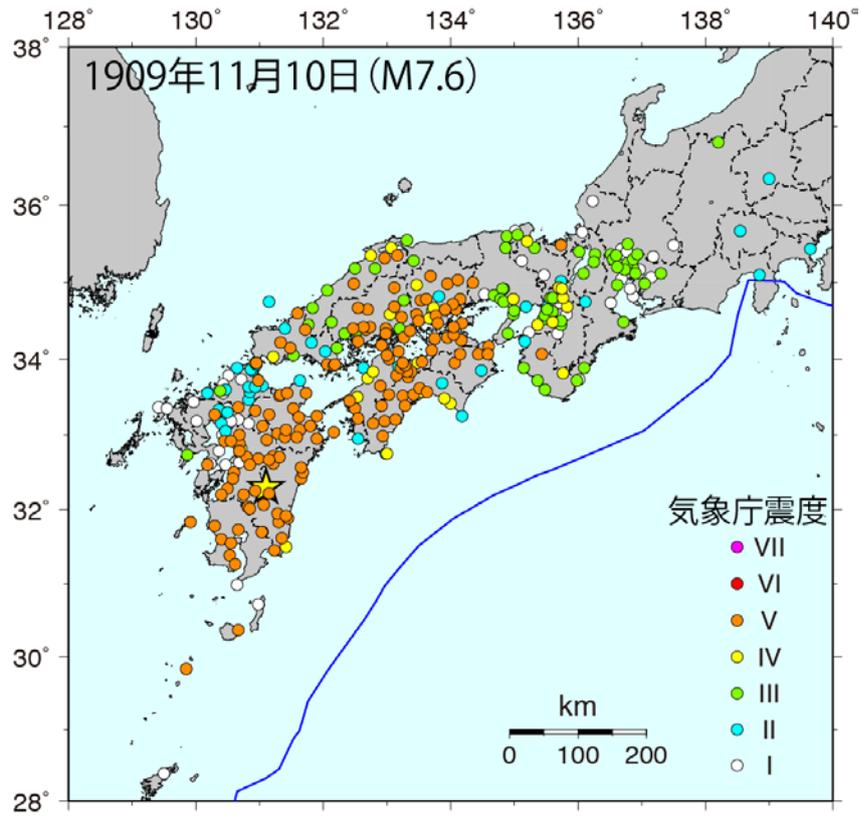


図 3-10-⑥-3、1909 年 11 月 11 日の宮崎県西部の地震 (M7.6) の気象庁震度分布図。

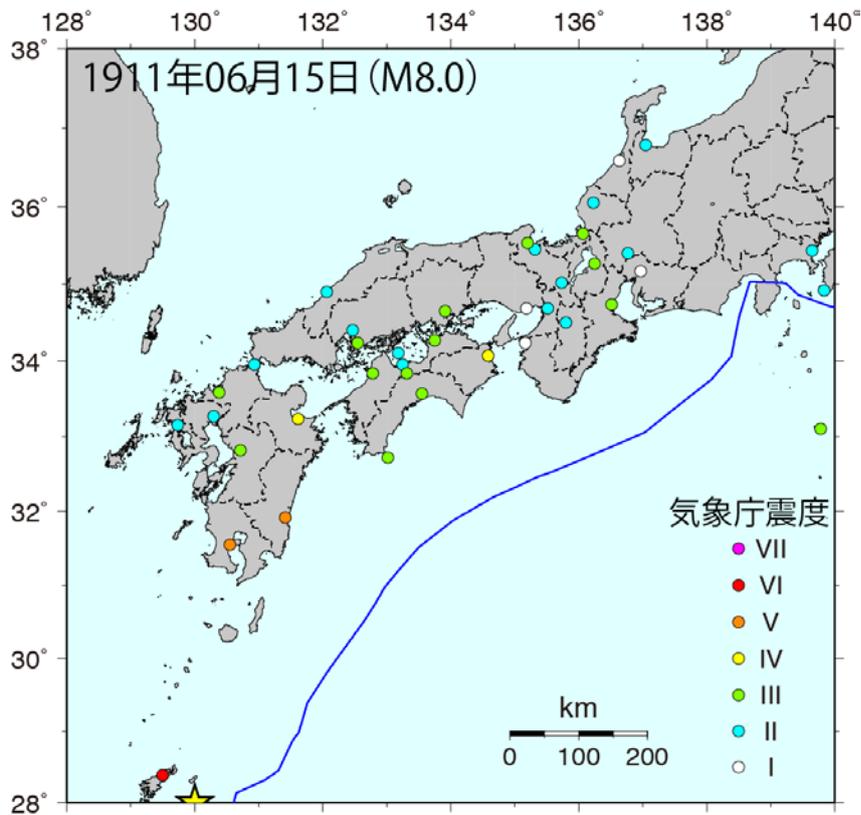


図 3-10-⑥-4、1911 年 6 月 15 日の奄美大島近海地震 (M8.0) の気象庁震度分布図。

2) 1854 年安政東海地震津波の津波高・被害規模の検討

a) 文献史料調査

松阪市の射和文庫において 1854 年安政東海地震津波に関する史料調査を行い、竹川竹斎著述の該当記録を見出し複写収集した。同時代史料であり、度会郡槌柄組（現・南伊勢町とほぼ同じ領域）に所属する各村落について被害規模がまとめられたものであり、その精度も含め非常に貴重な史料である（写真 3-10-⑥-1）。

また、三重県立博物館において旧・南島町地域に関する古地図の調査を行い、明治初期の地籍地図を撮影記録した。同時代に関東地方について作成された迅速測図ほどの精度は無いとはいえ、近代的な測量のもとに作成された三重県下の地図としては最古級のものである。

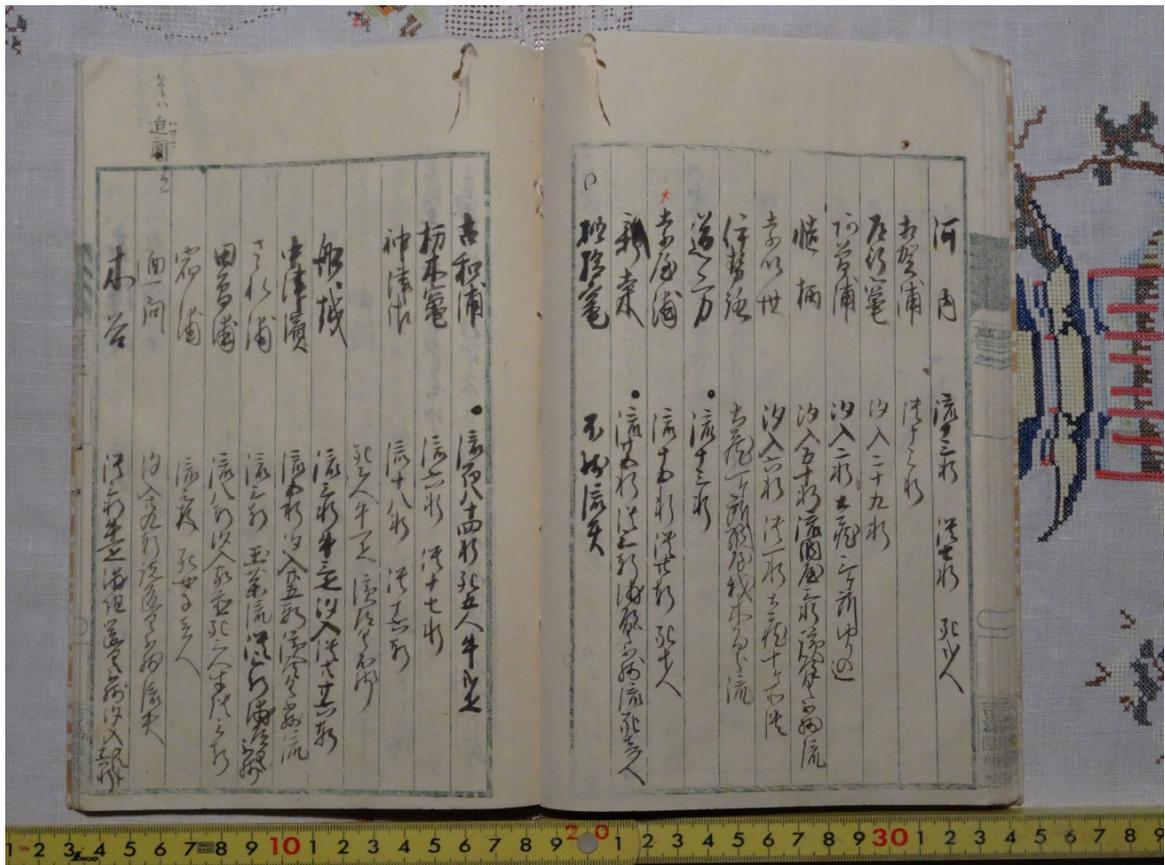


写真 3-10-⑥-1、『嘉永七年十一月四日地震ノ記』

b) 1854 年安政東海地震津波による被害規模の研究

三重県旧南島町（現・三重県度会郡南伊勢町西部地域）に関して、安政東海地震津波における被害規模を、村落ごとに各種津波被害の分布状態を整理し、検討を行った。

南伊勢地域は紀伊半島中部に位置し、南海トラフに直面する形となっている。東部の旧南勢町と、西部の旧南島町に大きく区分することができ、熊野灘沿岸地域には典型的なリアス式・溺れ谷地形が発達する。旧南勢町は湾口部が狭い閉塞的な五ヶ所湾を中心とした地域であり、それに対し旧南島町には比較的湾口部が広いラッ

パ状の入江が発達し、両者の沿岸地形は相違がみられる。旧南島町は槌柄（たしから）組に属し「中田，1991」、そのうち中組、下島組に相当する。下島組、中組はそれぞれ10の行政集落単位「村」「浦」「竈」から成っていた。

南伊勢地域西部における安政東海地震津波の被害状況を記録した文書史料14点を収集した。特に玉城町教育委員会所蔵の『南嶋津浪被害覚』は田丸代官所があった田丸城に伝わっていた史料であり、成立年は不明であるが「十一月九日」記述の記載から津波被害直後に記録されたと報告書であると考えられ、最も高精度の情報を有すると考えられる。よって、本研究では『南嶋津浪被害覚』のデータを最優先した。

各種被害はいずれも旧南島町西部に位置する下島組の被害が圧倒的に多かった（図3-10-⑥-5）。人的被害は、下島組では全10ヶ村中6ヶ村で死者が出ているのに対し、中組では奈屋浦のみに過ぎない。家畜の被害分布も人同様、ほとんどが下島組で、中組は東宮村の牛2頭のみである。主屋の流失率および全壊率も下島組で圧倒的に高かった。特に、新桑竈、棚橋竈、古和浦、赤崎竈、および中組の贅浦は村落全体が完全に破壊され、赤崎竈に至っては被災後廃村とされた。中組における主屋の被害は下島組と比較すると著しく軽微であり（図3-10-⑥-6）、奈屋浦、贅浦以外はほぼ浸水したのみであった。以上のような被害分布の地域的偏りは、特に主要な湾と海底谷のトレンドが大きく影響すると考えられる。今後は各浦村の被害記録を充当させるとともに、津波高の計測、津波シミュレーションを通じて波の挙動の対比等を行うことが課題といえる。

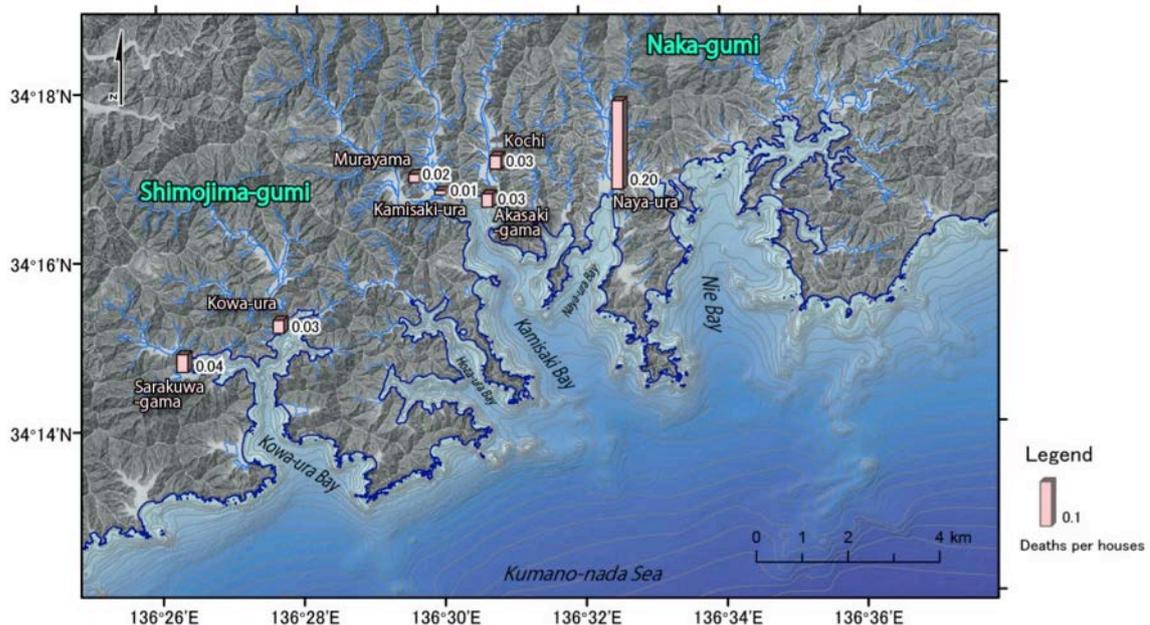


図3-10-⑥-5、南伊勢地域西部（旧南島町）における安政東海地震津波による、死者／戸数の分布。国土地理院10mメッシュDEMを使用。

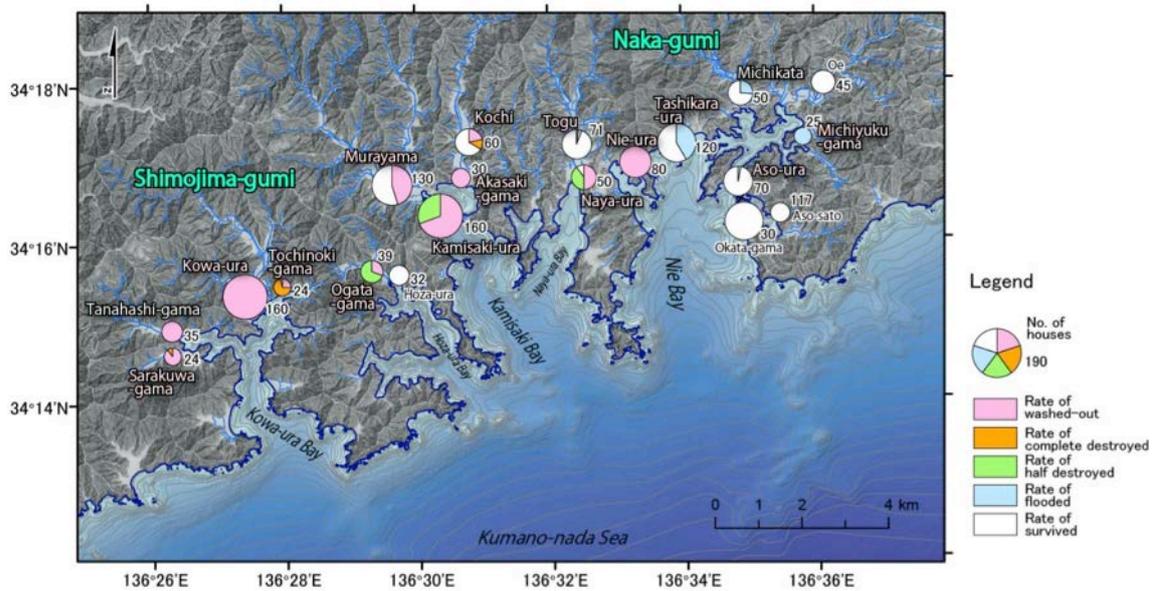


図 3-10-⑥-6、南伊勢地域西部（旧南島町）における安政東海地震津波による、主屋の損壊および潮入率の分布。国土地理院 10m メッシュ DEM を使用。

c) 昭和東南海地震津波の津波高調査

安政東海地震津波と昭和東南海地震津波の波高の稠密な比較を行う事により、それぞれの地震の津波波源域の違いの検討を行うために、三重県度会郡南伊勢町五ヶ所浦区および船越区において、レーザー距離計を用い、昭和東南海地震津波による津波高を測定した。

準拠史料としたのは、『東南海・南海地震誌』『南勢町教育委員会，2005』および口碑である。昭和東南海地震発生から本年度までは 70 余年であり、当地域には 80～90 代の直接経験者がいまだ多数存命する。そのため聞き取り調査によって比較的高精度の浸水高・遡上高が得られると考えられる。

測定地点の水準計測については、2500 分の 1 地形図記載の標高点を基準とし、レーザー距離計 TruPulse360 を用いて測定した。浸水高決定法に関しては、「行谷・都司，2005」を参考にした。調査の結果、五ヶ所湾地域において計 18 地点の津波高が得られた。そのうち 4 地点は遡上高である。五ヶ所浦区市街の浸水高は、ほぼ 3 m 程度であった。今後さらに測定地点を増やすとともに、五ヶ所湾全体の津波高分布をまとめる予定である。

3) 地震直後に行われてアンケート調査の再検討による 1944 年東南海地震・1945 年三河地震・1946 年南海地震の震度・被害分布の類型化

昨年度に引き続き、近代以前の南海トラフ沿いの巨大地震の被害分布と推定された震度と、1944 年東南海地震・1946 年南海地震の被害分布と震度とを直接比較し、これらの震源モデル間の違い・共通点を調べるために、地震直後に行われたアンケート調査による 1944 年東南海地震・1946 年南海地震の被害分布とそれらから推定された震度の再分析を行った。また、アンケート調査による 1945 年三河地震の被害分布

と震度の再分析も行った。

a) 各観測点における適切な震度代表値の算出法の検討

アンケート調査では、それぞれの観測点において 20～30 程度の質問項目があり、それぞれの質問に対応する震度（項目震度）が得られるが、複数の項目震度から各観測点における震度の代表値（地点震度）推定の検討を行った。これまで、全項目震度の平均値が用いられており（例えば、「Sato, 1948」, 「Sato, 1955」, 「茅野・小牧, 1977」, 「茅野, 1990」）、昨年度の研究でも平均値を地点震度として用いてきたが、推定される地点震度に頭打ちが見られることが分かり（図 3-10-⑥-7 (a)）、震度インバージョン等に使用できないことが分かった。そこで、本年度では頭打ちが起こらないように、全項目震度の平均値を使用せず、項目震度中の大きな震度から幾つかの項目震度を取り出したものの平均を地点震度とした（図 3-10-⑥-7 (b)）。これにより、頭打ちの問題は解消された。

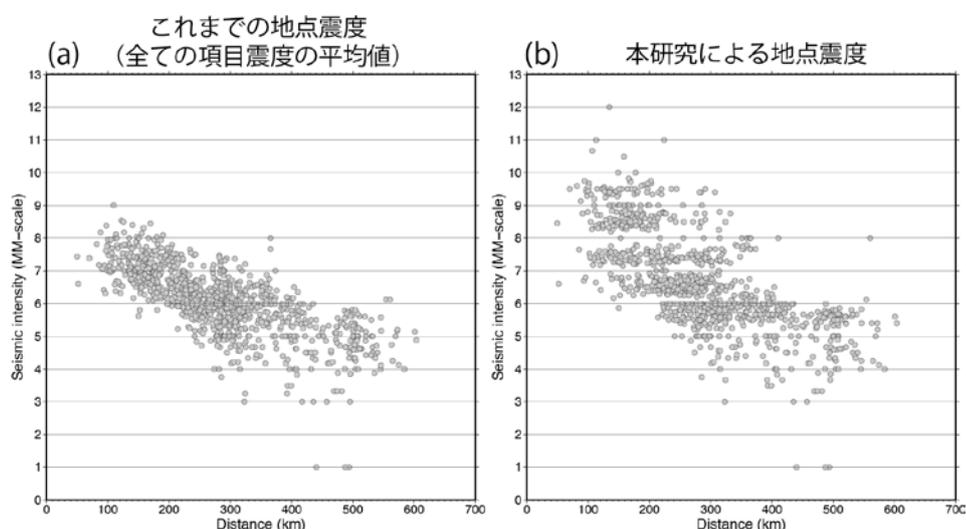


図 3-10-⑥-7、これまでの求められてきた地点震度と本研究で求めた地点震度との比較。

b) 1945 年三河地震（M6.8）のアンケート震度の再検討

1944 年東南海地震の震度分布と比較し、過去に発生した南海トラフ巨大地震に誘発された内陸地震の被害状況との違いと類似性を調べるために、1945 年三河地震（M6.8）のアンケート調査による被害分布・震度分布の再検討を行った。

1945 年三河地震（M6.8）については、鳥取県から神奈川県までの 15 県における 173 枚のアンケート調査票の再検討により、この地震の震度分布図の作成を行った。調査票の再検討の中で、震度に関する回答がない調査票（地震発生が深夜だったために、回答者が気付かなかった可能性も考えられる）や、集計の段階で一部が欠損した調査票が 28 枚存在することが分かり、最終的に 145 点の震度が推定された。

図 3-10-⑥-8 に愛知県内の各地点におけるアンケート回答による最大震度の分布を示す。三河地震の震源断層直上の愛知県宝飯郡形原町（現在は蒲郡市の一部）、幡豆郡（現在は西尾市の一部）においては、9～12 の非常に大きな改訂メルカリ震

度（気象庁震度の5強～7におおよそ相当）が回答されている。

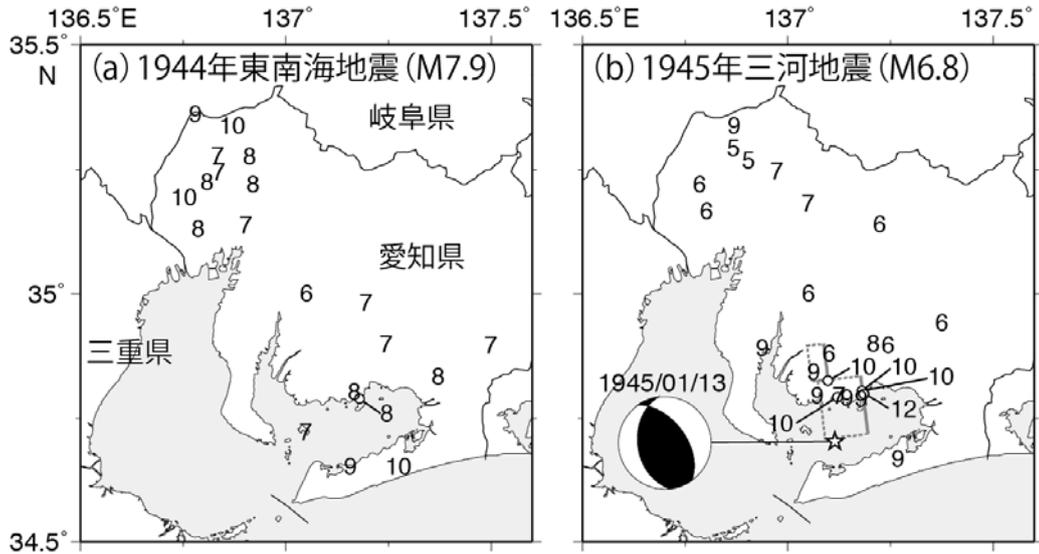


図 3-10-⑥-8、1944 年東南海地震 (a) と 1945 年三河地震 (b) の愛知県内におけるアンケートの最大震度分布。図 (b) の星印は、三河地震の震央で、メカニズム解と断層面の地表投影を表す矩形（実線は断層面上端）は、「高野・木股，2009」による断層モデル。

(c) 結論ならびに今後の課題

平成 27 年度では、従来日向灘における大地震、あるいは明応七年八月廿五日（ユリウス暦 1498 年 6 月 30 日）の明応東海地震に先行する明応南海地震と考えられてきた、明応七年六月十一日（ユリウス暦 1498 年 6 月 30 日）について史料の見直しを行い、その地震像の再検討を行った。その結果、明応七年六月十一日の地震によって九州で大被害が生じた可能性は極めて低く、六月十一日“巳の刻”の日向灘における大地震は存在しないと考えられる。さらに、明応七年六月十一日“申の刻”の地震の候補として、1911 年 6 月 15 日に発生した奄美大島近海の巨大地震（M8.0）のような、琉球海溝沿いで発生した巨大地震であった可能性もあると考えられる。しかしながら、奈良・京都以外の地域における“大地震”の記録は、『三州堀切靈松山常光寺年代記』など後世に編纂された史料に記述されているので、史料の信頼性は低く、今後、九州・四国の史料と同じく再検討を行う予定である。さらに今後、1498 年明応東海地震の震源域の再検討と、明応東海地震と対をなす明応南海地震の存在の検討を、明応東海地震の連動破壊の可能性も含めて検討する予定である。

次に、1854 年安政東海地震と 1946 年昭和東南海地震の同一地域における津波高・被害規模の稠密な比較を行う事により、それぞれの地震の津波波源域・震源モデルの違いの検討を行った。検討のために、1854 年安政東海地震の津波被害記録の収集と整理、1946 年東南海地震による津波被害の聞き取りと推測される津波高の測定を行った。

その結果、1854 年安政東海地震の被害分布には地域的な偏りがみられ、この偏りは特に主要な湾と海底谷のトレンドが大きく影響すると考えられる。今後は各浦村の

被害記録を充当させるとともに、津波高の計測、津波シミュレーションを通じて波の挙動の対比等を行うことが課題といえる。また、1946年南海地震による18地点の津波高が得られた。特に五ヶ所浦区市街の浸水高は、ほぼ3 m程度であった。今後さらに測定地点を増やすとともに、五ヶ所湾全体の津波高分布をまとめる予定である。

さらに、昨年度に引き続き、近代以前の南海トラフ沿いの巨大地震の被害分布と推定された震度と、1944年東南海地震・1946年南海地震の被害分布と震度とを直接比較し、これらの震源モデル間の違い・共通点を調べるために、地震直後に行われたアンケート調査による1944年東南海地震・1946年南海地震の被害分布とそれらから推定された震度の再分析を行った。また、アンケート調査による1945年三河地震の被害分布と震度の再分析も行った。その結果、項目震度の平均値を地点震度として用いてきた場合の地点震度の頭打ちが解消され、妥当な震度分布が得られた。今後、得られた1944年東南海地震・1946年三河地震・1946年南海地震の被害分布・震度分布とこれらの地震よりも過去に発生した南海トラフ沿いの巨大地震による被害分布との比較により、それぞれの地震の違いと共通点の検討を行う予定である。

(d) 引用文献

- 1) 石橋克彦, 1498年7月9日の西日本の地震は本当に明応南海巨大地震か?, 地球惑星関連学会1998年合同大会予稿集, 313, 1998.
- 2) 石橋克彦, フィリピン海スラブ沈み込みの境界条件としての東海・南海巨大地震-史料地震学による概要-, 京都大学防災研究所研究集会13K-7報告書, 1-9, 2002.
- 3) 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, 東京, 250pp, 2014.
- 4) 茅野一郎・小牧昭三, 関東地方及びその周辺に発生した主な被害地震の通信調査資料の総合整理, 自然災害資料解析, 4, 46-60, 1977.
- 5) 茅野一郎, 地震に伴った諸現象・被害・震度等のグループ法による通信調査, 地震研究所彙報, 65, 463-519, 1990.
- 6) 国立天文台, 理科年表平成27年版, 丸善書店, 東京, 1092pp, 2014.
- 7) 南勢町教育委員会, 東南海・南海地震誌, 2005.
- 8) Sato Y., Relation between Seismic Intensity and Epicentral Distance (1), *Bull. Earthq. Res. Intst.*, 26, 91-93, 1948.
- 9) Sato Y., Relation between Seismic Intensity and Epicentral Distance (2), *Bull. Earthq. Res. Intst.*, 33, 211-220, 1955.
- 10) 謝毓寿・蔡美彪 (主編), 中国地震歴史資料彙編, 全5巻 (7分冊), 科学出版社, 北京, 227pp, 949pp, 1427pp, 540pp, 729pp, 258pp, 782pp, 1983-1987.
- 11) 高野和友・木股文昭, 1945年三河地震 ($M=6.8$) に伴う地殻変動と震源断層モデルの再検討, 地震, 第2輯, 85-96, 2009.
- 12) 中田四朗, 三重県漁村災害史の研究・下 -安政の津波その2-, 年報・海と人間, 19, 鳥羽・海の博物館, 1-127, 1991.
- 13) 都司嘉宣・上田和枝, 明応 (1498) 南海地震の存在とその日付について, 地球惑

星科学関連学会 1997 年合同大会予稿集, 169, 1997.

14) 都司嘉宣, 南海地震とそれに伴う津波, 月刊地球, 号外, 24, 36-49, 1999.

15) 宇佐美龍夫, 新編日本被害地震総覧, 東京大学出版会, 434pp, 1987.

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

北上川河口部およびその流域を対象として津波土砂移動解析を実施し、現地調査から得られた情報と組み合わせて当該地域における大規模な洗掘・堆積の物理過程の素因を明らかにすることを目的とする。さらに津波土砂移動解析の歴史時代における津波堆積物解析への適用性を検討するために、過去の南海トラフ巨大地震である 1707 年宝永地震を対象に、大分県龍神池における津波堆積物形成過程に関する数値実験を行い、観測による土砂堆積の状況を踏まえて、波源の制約条件について検討することを目的とする。

(b) 業務の成果

1) 津波土砂移動解析による津波堆積物の再現に関する検討

2011年東北地方太平洋沖地震津波（以下、「今次津波」）によって、宮城県石巻市北上川河口部の長面地区は激甚被害を受けた。海岸林はすべてなぎ倒され、長面地区の大部分が消失した。この津波は北上川を約50 km遡上し、河口部だけでなく、流域の集落にも甚大な被害をもたらした。北上川河口から8.6 km地点における福地観測所では、地震発生から約5時間にわたり津波の河川遡上による3 mを越える水位の高まりが観測された。

「福島・他, 2013」は当該流域における遡上津波の挙動把握を目的として、津波前後の地形条件による大規模な水理実験を実施し、河道内地形が津波の河川遡上特性に及ぼす影響について議論した。ただし、地形は固定床条件であり、北上川河口部における動的な地形変化が津波挙動に及ぼす影響については未解明である。

日本沿岸において、河口部に土地利用が展開されている地域は多い。津波に起因した地盤洗掘や土砂による埋没は復旧・復興の進展に大きく影響を及ぼすため、今次津波の事例による地形の洗掘・堆積の物理過程を検証し、その素因を明らかにすることは重要である。

ここでは、北上川河口部およびその流域を対象として津波土砂移動解析（「高橋・他, 1999」、「菅原・他, 2014」）を実施し、現地調査から得られた情報と組み合わせて当該地域における大規模な洗掘・堆積の物理過程の素因を明らかにすることを目的とする。

i) 北上川河口部周辺における津波痕跡高と土砂堆積・浸食状況

北上川河口部周辺における津波遡上高は 12～18 m 程度であり。長面浦東部と西部では津波被害状況が異なり、西部集落では地盤とともにほぼ流出していた。このために、西部集落における津波高は不明である。一方、東岸における集落では大部分が家屋流出は免れていた。ここでの浸水高は 4.0 m 程度であった。

北上川河岸周辺において、上流に向かうにつれて津波高は減衰していく傾向にあった。なお、2010年に完成した河川堤防により、河口部より約8km上流に位置する福地地区は浸水を免れ、全くの無被害であった。

写真 3-10-⑦-1 に当該地域における今次津波前後の空中写真を示す。(a)は今次津波以前、(b)は津波後に撮影されたものである。両写真を比較すると、北上川河口部に位置していた長面地区における海岸林や家屋は津波により消失し、その背後右岸にある耕作地のほとんどは水没していることが確認できる。

写真 3-10-⑦-2 に長面地区周辺における土砂堆積状況を示す。撮影位置や方向については写真 3-10-⑦-1 (b)中の記号に対応している。写真 3-10-⑦-2 (a)から海岸林や家屋はすべて消失し、地面は水没していることが確認できる。これは、地殻変動による地盤沈降もあるが津波による流出と洗掘が主な原因と考えられる。3-10-⑦-2 (b)は長面浦東岸集落の様子である。山筋の陰に位置しているためか家屋の流出は免れているが、土砂が一面に堆積していた。写真 3-10-⑦-2 (c)においては、耕作農地に土砂が堆積し、低木の枝下高さまで達していることが確認できる。写真 3-10-⑦-2 (d)をみると、被害家屋内の土砂は河道から山裾に向かって堆積し、その堆積厚は局所的に1mを越えていることがわかる。

図 3-10-⑦-1 に宮城県によって測量された当該地域における耕作農地の地盤高変化量を示す。河口部砂州中腹では3mを越える地盤沈下が生じていることや山裾付近では0.5m程度の土砂堆積を確認することができる。



(a) 2011年東北津波以前（2010年6月25日撮影） (b) 2011年東北津波後（2011年4月6日撮影）

写真 3-10-⑦-1、津波前後の北上川流域の空中写真（Google earth による）



(a) 消失した長面の集落

(b) 長面浦東岸集落における土砂堆積状況



(c) 長面地区における農地の堆積土砂

(d) 長面浦西岸山裾の家屋周辺に堆積した土砂

写真 3-10-⑦-2、長面地区における土砂の堆積状況

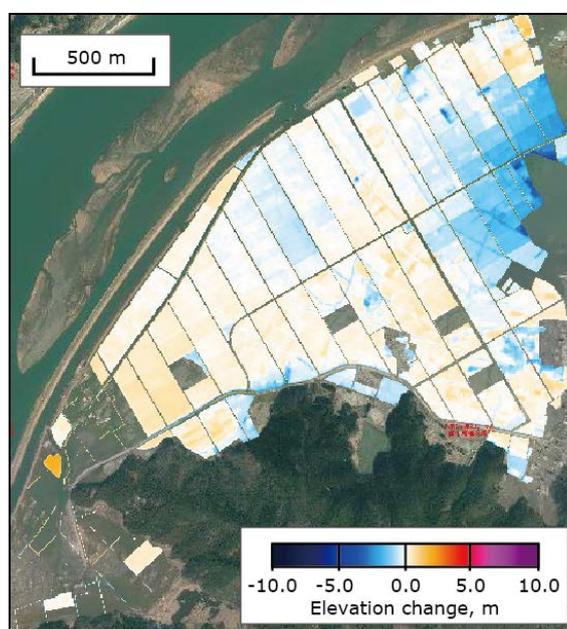


図 3-10-⑦-1、耕作農地の地盤高変化

ii) 津波土砂移動解析

当該地域で生じた大規模な地形変化の素因を探るために津波土砂移動解析を実施した。

本研究において、「森下・高橋, 2014」の知見と簡便性を考えて、「高橋・他, 1999」解析モデルに基づき、無次元掃流力は従来のマニング則に基づく算定方法を用い、流砂量式・交換砂量式は「高橋・他, 2011」による粒径依存型を用いた。飽和浮遊砂濃度については、「菅原・他, 2014」による流況により変化するとした飽和浮遊砂濃度式を導入した。「van Rijn, 2013」によると、土砂の浮遊状態が維持されることで散逸する単位時間あたりのエネルギー E_p は式(1)で与えられる。

$$E_s = (\rho_s - \rho_w)gh(C_s/\rho_s)w_s \quad (1)$$

ここで、 C_s は飽和土砂濃度(kg/m³)、 ρ_s は土砂の密度(kg/m³)、 ρ_w は水の密度(kg/m³)、 g は重力加速度(m/s²)、 h は水深(m)、 w_s は土砂沈降速度(m/s)である。土砂を含む断面平均流速を u (m/s)とし、 u から供給される単位時間あたりのエネルギー E_d は式(2)で表現される。

$$E_d = \epsilon_s(\tau_b u) \quad (2)$$

ここで、 ϵ_s は土砂の巻き上げ効率、 τ_b は底面剪断力である。 E_s と E_d が等価と仮定し、底面剪断力を Manning 則で表現すると、 C_s は式(3)で表現することができる。

$$C_s = \frac{\rho_s \theta_w}{\rho_s - \rho_w} \left(\frac{n^4 w_s}{c_s n^2 u^3} - 1 \right)^{-1} \quad (3)$$

ここで、 n は Manning の粗度係数 (m^{-1/3}・s) である。

図3-10-⑦-2に砂粒径 $d=0.25$ mmで w_s を評価した場合の流速と水深に応じた飽和土砂濃度の変化特性を示す。浅い流れの場合に流速が与える飽和土砂濃度への影響は大きく、その変動は大きいことがわかる。

「菅原・他, 2014」は今次津波による仙台平野の土砂堆積分布について、式(3)を実装した土砂移動解析を実施し、実測と解析による浸水深と砂層厚の関係を比較し、その分布型は飽和浮遊砂濃度が一定とした場合よりも類似する結果を得た。本研究においても式(3)による飽和土砂濃度を実装して解析を行った。

2011年東北地震津波の波源については「Satake *et al.*, 2013」モデルを用いた。波源を含む領域から対象領域まではネスティング接続を行い、1215 mから5 mまで段階的に空間分解能を変化させた。最小領域については北上川河口沖から上流約20 kmを含む領域とし、陸上地形モデルは国土地理院による2009年計測のDEMデータを用い、水域および河道内の一部は国土交通省による2005年に計測された深淺測量データを用いた。

土砂移動解析モデルを適用した領域は最小領域のみとし、今次津波以前の空中写真から地目分類を行い、アスファルトやコンクリートによって被覆保護された地形については、地形変動はないとして固定床条件とし、堆積のみを許容した。その他の地目については移動床条件とした。対象粒径について、当該地域の代表的な土砂粒径は不明なため、「高橋・他, 2011」による土砂粒径 $d=0.166$ mm、 0.267 mm、 0.394 mmの3ケースを実施した。なお、土砂移動による津波挙動の影響を確認するために、全域固定床の氾濫解析についても実施した。なお、本解析においては海岸クロ

マツ、河川流や堤防破堤の影響は考慮していない。より精緻な解析には重要であると考えられるため、今後の課題とする。

iii) 解析結果

図 3-10-⑦-3 に福地観測所における津波振幅の時刻歴を示す。図中の NLSW は固定床による解析結果、NLSW with STM は津波土砂移動モデルによる解析結果を示し、砂粒径は $d=0.267$ mm の場合である。なお、観測値は 10 分間隔データである。観測と計算の比較から、大局的には最大波の生じる時刻や水位の減衰過程ともにおおむね整合している。一方、到達時刻は観測値の方が 15 分程度早く到達していることや地震発生から 6 時間以降では観測の方が水位の減衰は早い傾向にあることがわかる。固定床と移動床での比較においては、地震発生から 4 時間までは固定床の方が移動床による解析値より水位は若干ではあるが高い傾向にある。この原因としては津波波源モデルの影響、堤防破損などの影響、河川流の影響や侵食や堆積による通水断面変化の影響が考えられる。

図 3-10-⑦-4 に土砂移動解析による洗掘・堆積過程に関するスナップショットを示す。図 3-10-⑦-4 (a) から北上河口部に来襲した津波は、河口部砂州の地盤を洗掘しながら北上川を遡上し、長面地区背後の耕作農地に土砂が再堆積していることが確認できる。この時、長面地区周辺の流速は 8 m/s に及んでいたようである。図 3-10-⑦-4 (b) のように押し波から引き波へ流向が変化する時には河口部海側での洗掘域が拡大している様子が確認できる。さらに引き波が卓越するようになると砂州はさらに洗掘を受けていることがわかる (図 3-10-⑦-4 (c))。その後、戻り流れは河口部の流路に集中し、その周囲を洗掘しながら沖に流出する様子が確認できる (図 3-10-⑦-4 (d))。

3-10-⑦-5 に各砂粒径における北上川河口周辺の最大地形変化量分布を示す。河口部水域北部や長面地区では大規模な洗掘、河口部水域南部や長面地区より内陸の北上川右岸では土砂の大規模な堆積が生じていることがわかる。各粒径においては、土砂が細粒になるほど、洗掘深やその分布範囲は深く、あるいは広くなる傾向にあることがわかる。図 3-10-⑦-1 や写真 3-10-⑦-2 の状況と解析結果を比較すると、定性的には $d=0.267$ mm との整合性は良さそうである。ただし、より詳細な再現性の評価を行うためには、当該地域の砂粒径や構造物被害の影響を考慮することが必要であり、今後の課題とする。

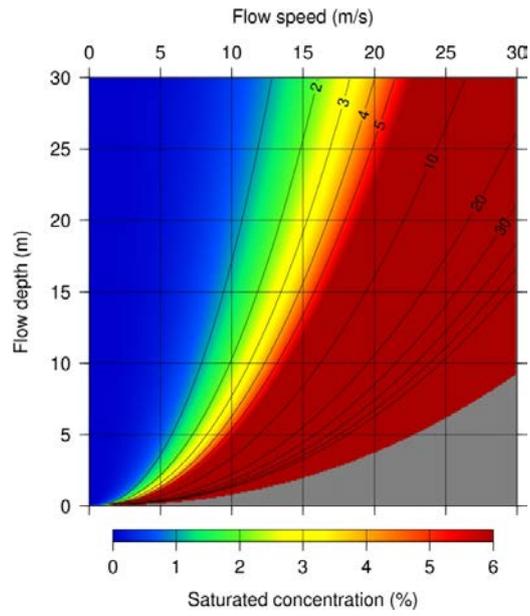


図 3-10-⑦-2、流速と水深に応じた飽和土砂濃度の変化特性

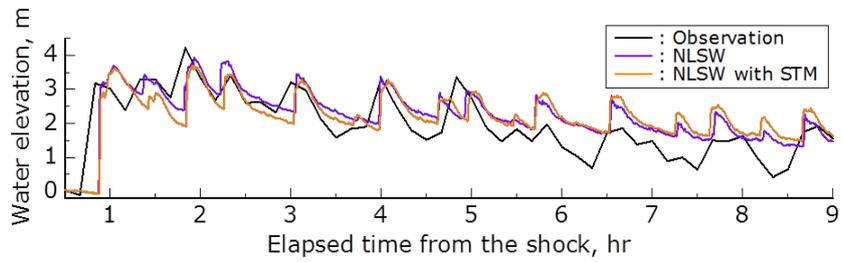
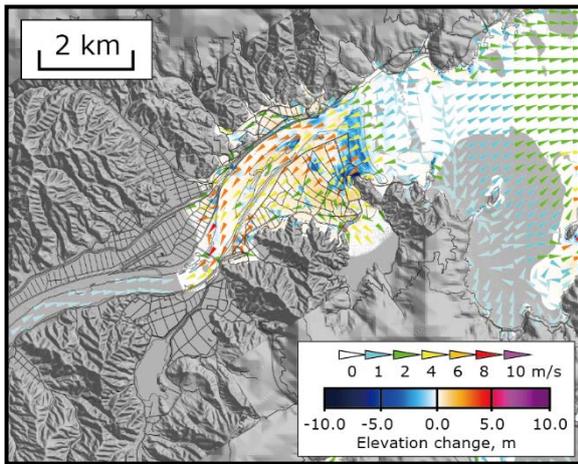
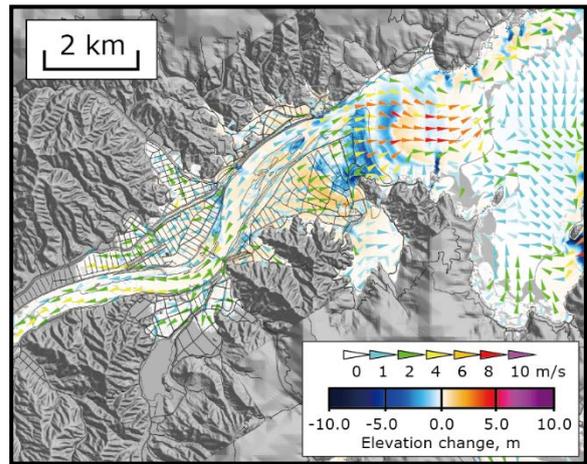


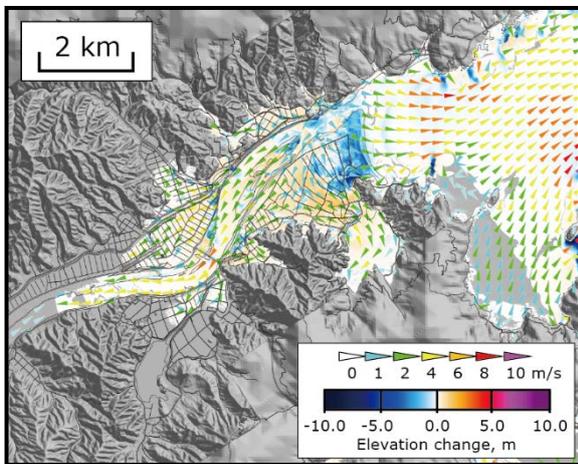
図 3-10-⑦-3、福地観測所における津波振幅の時刻歴 ($d=0.267$ mm)



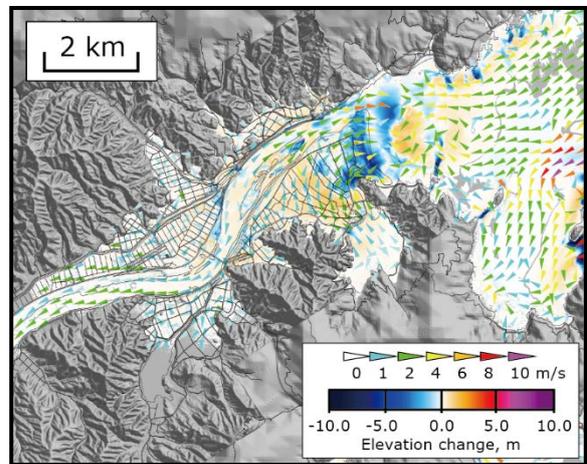
(a) 地震発生から 45 分後



(c) 地震発生から 55 分後

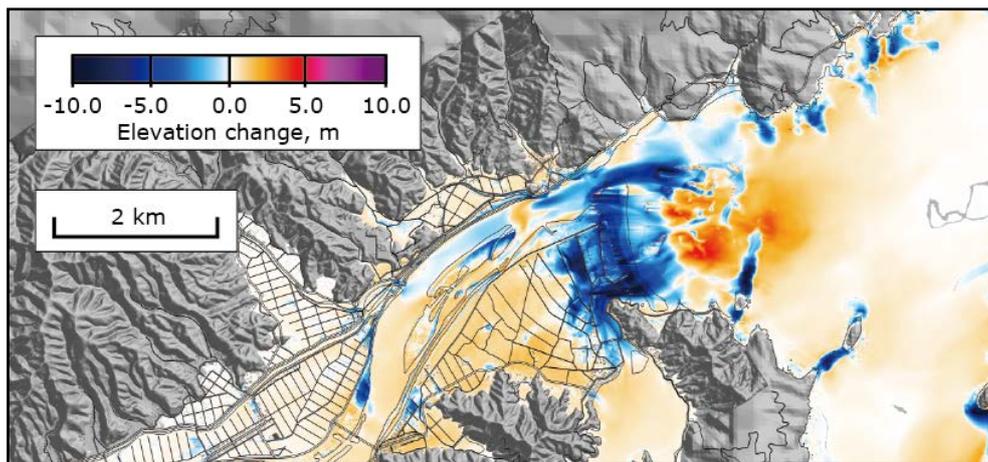


(b) 地震発生から 50 分後

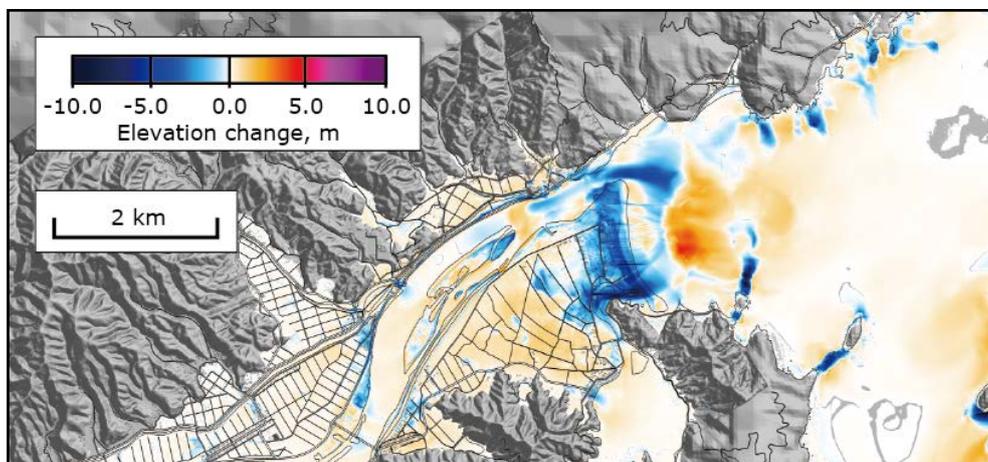


(d) 地震発生から 60 分後

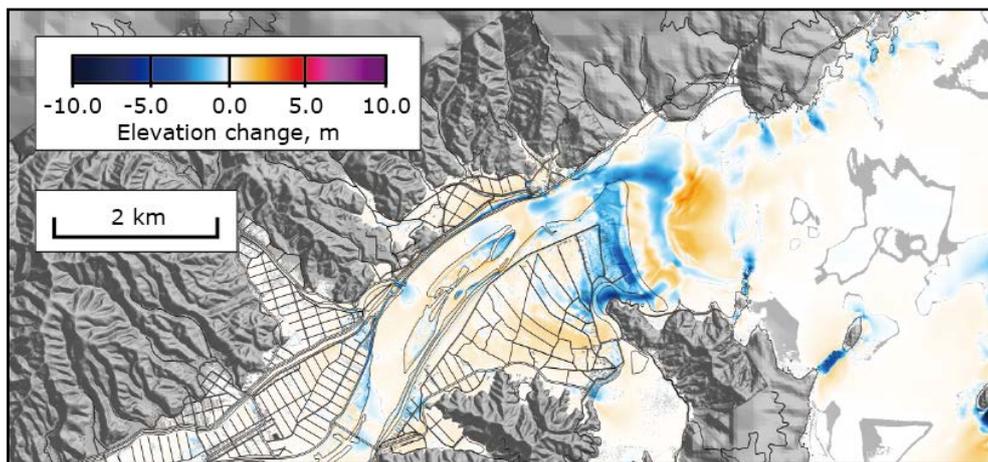
図 3-10-⑦-4、土砂移動解析による洗掘・堆積過程 ($d=0.267$ mm)



(a) $d=0.166$ mm



(b) $d=0.267$ mm



(c) $d=0.394$ mm

図 3-10-⑦-5、各砂粒径における北上川河口部周辺における最大地形変化量分布

2) 津波堆積物形成に関する数値的検討

津波は浅海域や陸上で大きな掃流力や乱れを発生させるとともに土砂を輸送し、陸上部や沿岸湖沼に津波堆積物を形成する。特に、沿岸湖沼では保存状態の良い津波堆

積物が形成されることが多い。「岡村・松岡，2012」は南海トラフ沿いの日本列島太平洋沿岸部の湖沼における掘削調査から、多くの津波堆積物を発見し、大分県佐伯市米水津湾に位置する龍神池（図 3-10-⑦-6）では、過去 8 回の南海トラフ巨大地震による津波堆積物が同定されている。

沿岸湖沼では平野などの地形条件よりも静穏な環境が安定して保たれており、津波堆積物の保存状態も良い場合が多い。そのために巨大津波の再来間隔を高い時間分解能で議論できる可能性があり、平野部では検出不可能な小さなイベントを細かく分離できる可能性が指摘されている「澤井，2012」。沿岸湖沼の地形学的条件を踏まえ、湖底の浸食・堆積過程と津波外力の関係を利用した古津波の諸相の解明が期待されている。

「Furumura *et al.*, 2011」は、「岡村・松岡，2012」の観測結果と整合するように龍神池に津波堆積物が残されるための津波水理量を踏まえ、日向灘の震源域として N5 セグメントを新たに考慮した 1707 年宝永地震の波源モデルを提案した。ただし、龍神池の津波堆積物形成に関する議論は今後の課題として残されていた。

ここでは、1707 年宝永地震による大分県龍神池の津波堆積物の形成過程とその条件について、前節と同様の津波土砂移動解析を実施する。さらに、「岡村・松岡，2012」による観測と数値解析による土砂堆積の状況を踏まえて、波源の制約条件について検討することを目的とする。

i)解析手法

1707 年宝永地震の波源モデルは「Furumura *et al.*, 2011」を用いた（図 3-10-⑦-6）。津波の伝播解析は非線形長波方程式に基づき、波源を含む領域から龍神池を含む最小領域までネスティング接続を行い、270 m から 3.3 m まで段階的に空間分解能を変化させた。最小領域における地形復元について、伊能図により 19 世紀初頭における当該地域の海岸線形状を確認することはできたが、地震当時の土地利用状況については不明であった。そのために、龍神池周辺の人工構造物や埋め立て区域については可能な限り当時に近い状況となるように明治期の地形図（1/25000）を参考に復元を行った。

土砂移動解析モデルを適用した領域は最小領域のみとし、最小領域全体を移動床条件とした。土砂移動に関する対象粒径について、当該地域における当時の代表的な土砂粒径 d についても不明であったため、 $d=0.166$ mm とした。

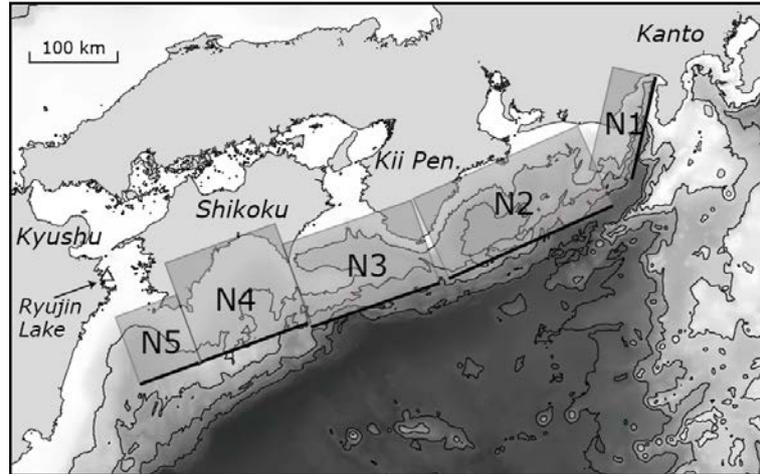
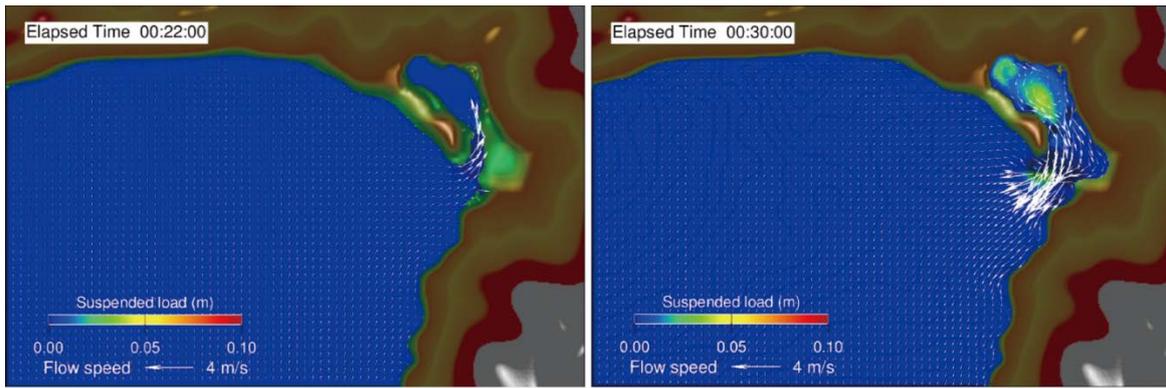


図 3-10-⑦-6、南海トラフ巨大地震（1707 年宝永地震）の震源域と龍神池の位置

ii) 龍神池における津波堆積物の形成過程

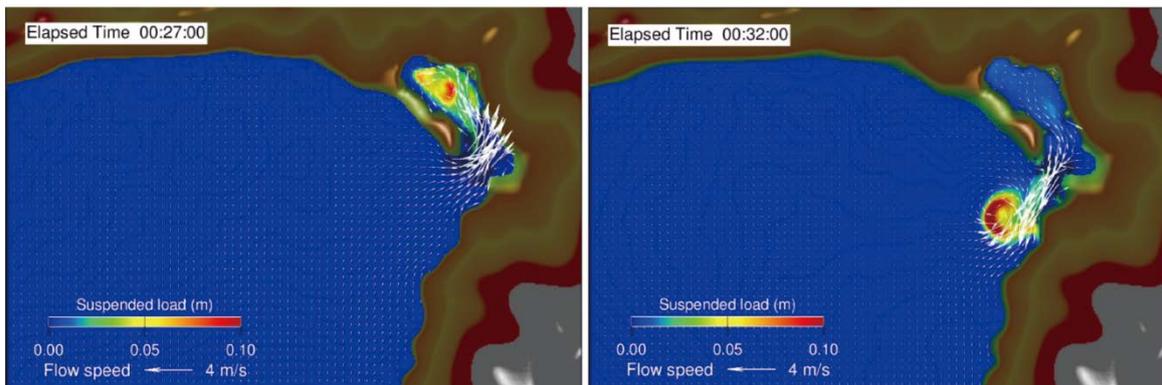
図 3-10-⑦-7 に 1707 年宝永地震モデルによる龍神池周辺での流速及び浮遊砂濃度の経時変化例を示す。地震発生から 22 min 頃には、押し波により浜堤切れ目の水路周辺で比較的速い流れが生じていることがわかる。地震発生から 27 min 頃には、水路周辺で生じる高速流により大きな掃流力が生じ、浮遊砂が湖沼の陸側に輸送されている様子がわかる。湖沼内の津波は引き波による海域の水位低下とともに流出を始め、水路周辺では海域に向かう高速流が発生する（地震発生から 30 min 頃）。水路周辺では再び大きな掃流力が生じ、海域に土砂が輸送されていることがわかる（地震発生から 32 min）。

以上から、沿岸湖沼の津波堆積物形成過程としては、押し波により沿岸近くの土砂が湖沼内に輸送され堆積し、引き波では湖沼内の土砂の浸食量は少なく、海域への土砂流出は沿岸部の浸食によることがわかった。



(a) 地震発生から 22 min

(c) 地震発生から 30 min



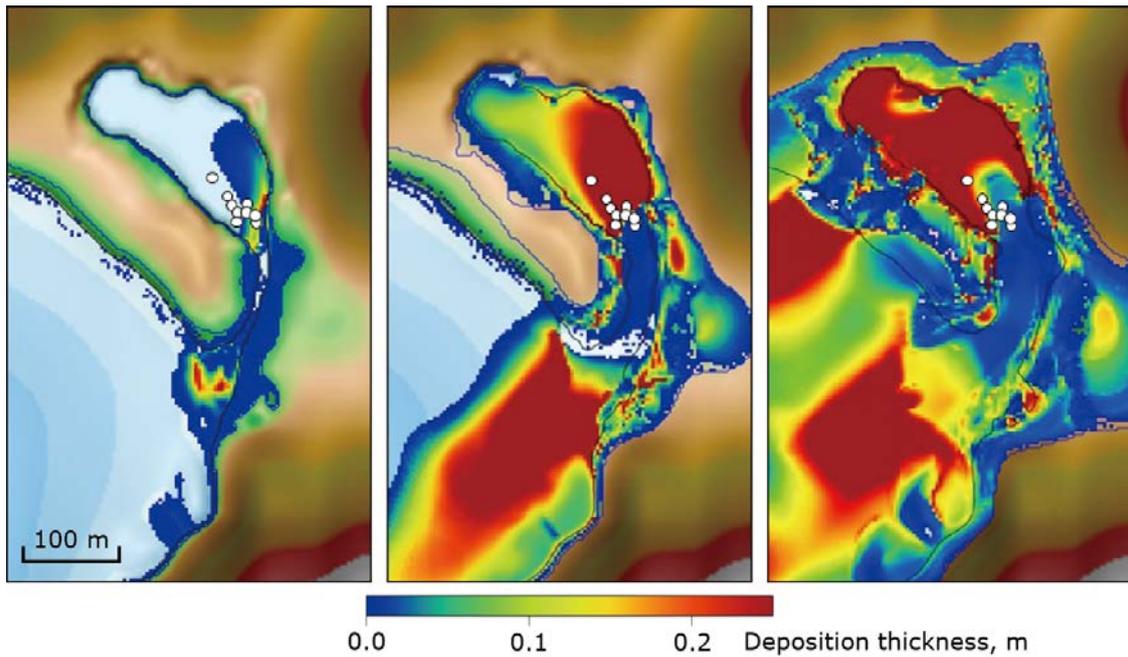
(b) 地震発生から 27 min

(d) 地震発生から 32 min

図 3-10-⑦-7、流速及び浮遊砂濃度の経時変化例（1707 年宝永地震モデル）

iii) 波源の制約条件に関する検討

津波堆積物の有無や分布状況が波源規模の制約条件になり得るかどうかを検討するために、N5 セグメントのすべり量（津波外力）に対応した龍神池の土砂堆積分布を評価した。図 3-10-⑦-8 に N5 セグメントのすべり量に応じた龍神池周辺の土砂堆積分布を示す。図中の白丸は 1707 年宝永地震の津波堆積物が確認されている掘削ポイントである「岡村・松岡，2012」。図から、(a) の場合、津波による龍神池内の土砂堆積量は極めて少なく、掘削ポイントの半分以上に土砂堆積が生じていない。(b) では龍神池内の広域に土砂堆積が生じていることがわかる。また、海域から陸側に向かって堆積厚の薄層化も確認することができ、定性的な傾向は観測結果と整合する。(c) においては津波外力が大きいため、津波は浜堤切れ目の水路からの流入だけでなく、浜堤を越流して流入するため、土砂堆積の分布も (b) の場合と大きく異なり、観測で見られるような陸域への堆積厚の薄層化が形成されづらくなる。これらの結果から、「Furumura *et al.*, 2011」による波源モデルは龍神池の津波堆積物を定性的に再現し得ることを示しているといえる。



(a) すべり量 0 倍 (b) すべり量 1 倍 (c) すべり量 2 倍
 図 3-10-⑦-8、N5 セグメントのすべり量に応じた龍神池周辺の土砂堆積分布

(c) 結論ならびに今後の課題

北上川河口部やその周辺地域を対象として、津波土砂移動解析を実施した。本解析から当該地域における大規模な洗掘・堆積の物理過程の素因を明らかにした。河口砂州の洗掘は押し波と引波時に生じ、耕作地への堆積は押し波時に生じていた可能性を示した。さらに、河口部沖側の洗掘は引き波時に生じていた可能性を示した。

南海トラフ巨大地震の一つである1707年宝永地震における龍神池の津波堆積物の形成過程について、津波土砂移動モデルからその解釈を行い、津波堆積物による波源の制約条件について検討を行った。これらの結果は、土砂移動量に密接に関わる土砂粒径や地震当時の地形や土地利用状況が不明な点で、定性的な傾向を探る程度のものである。しかし、湖沼内の津波堆積物分布と津波土砂移動解析を組み合わせることで解析を行うことにより、波源規模の制約条件として利用できることを示すことができた。今後は津波外力に応じた堆積厚さの変化や湖沼や周辺地形の影響を踏まえて検討し、波源規模に関する制約条件の高度化に向けた課題の抽出を行う必要がある。

(d) 引用文献

- 1) 福島雅紀, 松浦達郎, 服部敦: 河川津波の特性把握に関する実験的検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), vol.69, No.2, pp.261-265, 2013.
- 2) Furumura, T., K. Imai, and T. Maeda, A revised tsunami source model for the 1707 Hiei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan. , J. Geophys. Res., v116, B02308, doi:10.1029/2010JB007918, 2011.
- 3) 森下祐, 高橋智幸: 2011年東北地方太平洋沖地震津波来襲時の気仙沼湾を対象とした津波移動床モデルの再現性向上, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), vol.70, No.2, pp.491-495, 2014.

- 4) 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, vol.82, No.2, pp.182-191, 2012.
- 5) Satake, K., Y. Fujii, T. Harada, Y. Namegaya : Time and space distribution of coseismic slip of the 2011 Tohoku Earthquake as inferred from tsunami waveform data, Bull. seism. Soc. Am., 103, 1473-1492, 2013.
- 6) 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, pp.535-558, 2012.
- 7) 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, 日本堆積学会講演要旨, O27, 2014.
- 8) 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, 第 46 巻, pp.606-610, 1999.
- 9) 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), vol.67, No.2, pp.231-235, 2011.
- 10) 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 28 年度業務計画案

昨年度に引き続き、広域地下構造モデルを用いて南海トラフ地震の誘発・連動、及び大地震発生前後の内陸地震の活発化問題の過去事例の評価と発生可能性を検討する。強震動・津波シミュレーションモデルの高精度化を進めるとともに、震度・地殻変動・津波データ等の多様な観測データを活用して南海トラフ過去地震の震源過程を詳しく評価し、連動の多様性を含む地震発生シナリオを提示する。上記結果等に基づき南海トラフ地震（既往最大・平均クラス）及び最大クラスの地震の震源モデルのレシピ化を進め、これを用いて強震動・津波シミュレーションを実施して最大クラス地震と平均クラスの強震動・津波の違いを明確化する。南海トラフ軸付近での調査観測研究の結果を受けて、トラフ軸付近のゆっくり滑りによる津波地震と高速・大すべりによる超巨大地震の発生可能性を検討し、これらの発生間隔を含めた現実的なハザード評価を行う。

4. 全体成果概要

平成 27 年度は「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の 3 年度目として、平成 26 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「震災教訓文献データベース」の構築を行い、プロジェクトの成果を防災減災に活用するための「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」の構築を目指している。そして、引き続き地域研究会の活用や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。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」のシステム利用評価を行った。
- ②東北沖海域に発達する断層の海溝海側の構造データを収集し、構造的な特徴としてすべり分布の北限とされたエリアの海溝海側では堆積層が薄い傾向があることが分かった。
- ③東日本大震災の被災地にウェブカメラを設置し、復興していく市街地の様子を定点で観測する「復興モニタリングシステム」の管理・改良・運用を行った。
- ④平成 25 年度および平成 26 年度に収集した東日本（静岡県以北）の自治体の所有する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できるように関係機関と調整・手続きを行った。
- ⑤東日本大震災における土構造物を含む地盤災害の被害状況と教訓について、液状化、河川堤防沈下、造成斜面被害などの文献調査を中心に整理した。液状化や堤防沈下について、新たな知見や課題を指摘した。
- ⑥東北地方太平洋沖地震による長周期地震動を再評価し、大阪平野や関東平野で観測された長周期地震動のレベルが一般的に考えられているものよりも小さく、過去の M7～8 規模の地震で記録されたレベルと同程度であったことを確認した。

(b) 地震・津波被害予測研究

- ①徳島市中心市街地をモデル地域と選定し、津波計算用地形データ、構造物データや国土地理院の地形データ、河川横断測深データなどから、解析用データの整備を行った。

東北沿岸部の木造建物被害関数の構築とその特徴の考察を行った。

- ②弾性論に基づくグリーン関数の相反性を利用して、多数の震源による地震動を表すグリーン関数を有限差分法によりデータベース化し、これを重ね合わせることで任意地震による地震動を合成する方法を提案した。
- ③防波堤の地震時変形挙動の把握を試み、南海トラフ地震のように大きな揺れに見舞われると、砂質土の液状化だけでなく、軟弱粘性土地盤においても著しく剛性が低下し、地震中～地震後にかけて大きな変状が発生し得ることがわかった。
- ④地盤と建物の動的相互作用を考慮した建物応答予測に関する基礎的検討を行った。
- ⑤南海トラフ巨大地震発災時のライフラインの被害予測の実効性向上を目的として、電力は発災後の電力需給ギャップの想定と電力供給設備対策の現状を抽出した。上水道は、南海トラフ巨大地震時の上水道設備の被害予測および復旧予測を実施した。
- ⑥建物被害及び人的被害の広域リスク評価を実施した。地震リスク評価は 10 年確率に基づく評価、津波リスク評価は発生する津波の多様性を反映したハザードに基づいて行った。これらから特徴的なシナリオを抽出し、災害シナリオを試作した。
- ⑦「大都市複合災害時避難シミュレーション」を行い、帰宅困難者の移動が地域の避難行動に与える影響を量的に把握した。経済被害については、全国 47 都道府県間動的応用一般均衡モデルを用いて、南海トラフ巨大地震による製油所被災の経済被害を、日本全国を対象に推計した。

(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した。四国・九州地域では、地域研究会に先だって、各県危機管理部門の出席を中心とした分科会を行った。また、啓発活動として、一般向けシンポジウムや、高校生を対象とした対話型講演会を実施した。

(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、阪神・淡路大震災、新潟県中越地震に遭遇した兵庫県および新潟県の地域人口統計などから、その「災害による影響」がもたらした両県における地域特性の変容実態を分析し、「地域特性評価システム」の高度化、問題点の改善を図った。
- ②関西地域研究会への参加インフラ企業とともに一般企業の BCP 策定の参考となる共通被害シナリオを構築した。
- ③地域特性をふまえた事前復興のあり方の検討として、復興準備手法およびシナリオ構築手法の開発などに取り組んだ。
- ④三重県の都市計画分野における南海トラフ地震への対応について、「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針（案）」が、基本的な考え方や対応シナリオのモデルとして有効であることが分かった。

(e) 防災・災害情報発信研究

- ①南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームを構築中。メタデータの仕様について検討し、必要とされる災害情報を提示する防災カルテ表示機能を試作した。南海トラフ巨大地震に関わる防災・災害関連データの収集・DB化を継続して実施した。
- ②歴史的資料をはじめとする防災・災害関連データの取集を実施した。防災啓発や防災まち歩きに有効なスマートフォンで作動するアプリケーションを開発した。高校生や児童を対象としたワークショップや教材開発を行った。
- ③リアルタイム伝送（自動震源決定システムの設計）について、平成 26 年度に開発した自動読み取り機能に、平成 27 年度に構築された DONET 2 のデータを導入して更なる展開を図った。
- ④知識構造ならびに地域課題をより現実的な場面で深く解明するために、地域防災リーダーを対象とした質的調査の詳細分析、過去に地域リーダー調査を行った南国市の自主防災会単位の稠密な量的調査、防災行政担当者への聞き取り調査を実施した。

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南西諸島海溝地震発生帯モデルの構築、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・物性を決定した。
- ②四国西部を対象とした 30 箇所の陸域稠密地震観測による自然地震観測データを解析し、深部低周波微動等の活動域とその周辺におけるプレート境界付近の地下構造の特徴把握や陸域下に沈み込むフィリピン海プレートと深部低周波微動源の相対的位置関係を把握した。

(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解析から、タービダイトの堆積間隔はおよそ 400～1000 年間隔であることを見積もった。八重山諸島域の地震・津波の再来間隔を示している可能性がある。

- ②高知県東洋町・四万十町・黒潮町で採取した堆積物の年代測定や微化石分析を実施し、イベント砂層は海からの遡上流の可能性が示唆され、その年代や堆積速度などが明らかになりつつある。
- ③紀伊半島南部・笠嶋遺跡のボーリングコア試料の解析から、2～4世紀頃（おそらく3世紀）と2800～2500 cal yBP頃にイベントがあったことがわかった。
- ④静岡県富士市の浮島ヶ原低地において採取された既存の柱状堆積物試料の放射性炭素年代測定を行った結果、堆積速度を求めることができた。
- ⑤安政地震時に富士川河口断層帯の特に入山瀬断層が活動した可能性を示し、GPR探査により地層の不連続を調査した。この結果、断層のずれと解釈される地層の不連続が複数箇所存在することがわかった。

(c) 広帯域地震活動研究

- ①水圧データのサンプリングを音響通信の時間間隔に合わせたチューニング、観測の長期化と安定化のための省電力化、電磁モデムによる通信の冗長化を実装した。平成27年12月から熊野灘にて海域試験中で、海底水圧データが準リアルタイムで取得されている。
- ②平成26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と、日向灘から足摺沖にかけて設置した長期観測型海底地震計を回収し、良好な波形データが取得できた。観測期間中の2015年5月～7月にかけて、日向灘から足摺沖において浅部低周波微動と超低周波地震活動が活発化したが、この一連の活動もデータ取得できた。

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年東北地方太平洋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、余震活動や粘弾性の影響を評価した。西南日本において、1944年と1946年の南海トラフ地震に対する粘弾性応答を見積もり、レイヤー構造では検潮データを説明できないことを示した。南西諸島では、地殻変動調査から2次元の有限要素モデルを構築して解析した結果、過去の地震において河岸段丘の生成に粘弾性応答が重要な役割を果たしていることがわかった。
- ②2011年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の予測実験を継続し、東北地方太平洋沖地震前の10年スケールでの固着のゆるみを、繰り返し地震からも確実に存在することを確かめた。また、長期間の繰り返し地震およびGPSデータの解析により、東北日本のプレート境界での非地震性すべり（スロースリップ）に、1～6年周期の揺らぎがあることを見出した。
- ③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すべりに対する予測の試行実験に向けて、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。
- ④余効すべりのデータ同化手法の開発、スロースリップイベント（SSE）震源域でのす

べり発展および摩擦パラメータ推定法の開発、2010～2014年に琉球弧南西部で発生したSSEの地殻変動解析、短期的SSEの解析手法の高度化として、GNSS単独でのSSE検出手法の改良と実データへの適用を行った。

(e) 震源モデル構築・シナリオ研究

- ①有限要素法コードのさらなる改良で100億自由度の地殻変動解析、ならびに日本列島の三次元的な不均質を持つ地殻・マントル構造を考慮した日本列島広域三次元不均質構造モデル改良版を用い、沈み込み帯における巨大地震に対する広域三次元不均質構造における地震時と地震後の地殻変動解析を行った。
- 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の高度化、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い、沈み込む孤立した海山の影響や地表を含む垂直断層についての地震サイクルシミュレーションのメッシュサイズの影響を調べた。
- ③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）の高解像度大規模計算を行い、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すべり遅れレートを再現するための現実的な断層構成関係の検討を進めた。
- ④南海トラフの過去の地震発生履歴を、誘発現象による規模と再来間隔の変化という観点で検討した。今後、日向灘地震のような誘発原因があれば、規模の小さい（M8.5未満）地震が比較的短期間に発生するパターンとなり、誘発原因がなければ、規模の大きい地震（M8.5以上）がより長期間をおいて発生するパターンに至るという解釈が得られた。
- ⑤プレート境界地震の震源のモデル化に関して、既往研究の強震動生成域（SMGA）の応力降下量の特徴を踏まえ、その特性を表す不均質モデルの提案を行った。
- ⑥従来日向灘における大地震、あるいは明応七年八月廿五日（ユリウス暦1498年6月30日）の明応東海地震に先行する明応南海地震と考えられてきた明応七年六月十一日（ユリウス暦1498年6月30日）について史料の見直しを行い、その地震像の再検討を行った。
- ⑦北上川河口部やその周辺地域を対象とした津波土砂移動解析から、大規模な洗掘・堆積の物理過程の素因を明らかにした。河口砂州の洗掘は押波と引波時に生じ、耕作地への堆積は押し波時に生じていた可能性を示した。また、河口部沖側の洗掘は引き波時に生じていた可能性を示した。

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、前期4年の最終年度となる来年度は、後期4年を見据え、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, 阿部紀代子, 大塚友子, 中川政治, 皆川満洋, 岩崎雅宏, 今村文彦	来街者の津波避難誘導をねらいにした避難行動・誘導実験とその分析－石巻市中心市街地における事例－	土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.71, No.2, I_1639-I_1644,	2015年11月
佐藤翔輔, 平間雄, 渡辺英明, 今村文彦	学校・地域・行政の連携による全町一斉学校避難訓練手法の設計・実践－宮城県亘理町における試み－	土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.71, No.2, I_1633-I_1638	2015年11月
佐藤翔輔, 永村美奈, 今村文彦	中小規模の災害対応組織の活動過程に対する体系的な記録手法の提案－東日本大震災における七ヶ浜町ボランティアセンターの災害対応を例にして－	自然災害科学, Vol.34, No.3, pp.225-241	2015年11月
Shosuke Sato, Yuta Hirakawa, Makoto Okumura, Fumihiko Imamura	An Evaluation of Tsunami Tradition Media for Human Casualties Reduction - Case of Iwate and Miyagi Prefectures on the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami	Proceedings of The 6th Conference of the International Society for Integrated Disaster Risk Management (IDRiM)2015	2015年10月
Shosuke SATO, Masaharu NAKAGAWA, Masahiro IWASAKI, Fumihiko IMAMURA	A Survey on the Audible Quality of Outdoor Public Address Speakers for the Disaster Reduction Broadcasting System in the Central Area of Ishinomaki City	IEICE Transactions on Communications, Special Section on Information and Communication Systems for Safe and Secure Life, Vol.E98-A, No.8, pp.1671-1673	2015年8月
中川政治, 尾形和昭, 佐藤翔輔, 佐藤茂久,	ICTを活用した仮想体験型震災学習プログラムの開発－東日本大震災で被災した石巻市における「防災ま	地域安全学会論文集, No.26, pp.37-44	2015年9月

藤間千尋	ちあるき」実践事例ー		
Motoaki Sugiura, Shosuke Sato, Rui Nouchi, Akio Honda, Tsuneyuki Abe, Toshiaki Muramoto, Fumihiko Imamura	Power to live with disasters: Eight personal characteristics suggested by the survivors of the 2011 Tohoku Earthquake	PLOS ONE, 10(7), e0130349	2015年7月
佐藤翔輔	発生から50年を迎えた「災害の記憶」の現状把握と災害・防災教育の試みー1964年新潟地震をテーマにした小学生対象の出前事業からー	自然災害科学, Vol. 35, No. 1, 印刷中	印刷中
平川雄太, 佐藤翔輔, 鹿島七洋, 今村文彦	宮城県沿岸部の津波由来地名と3.11津波浸水域との対応関係	平成27年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集	2016年3月.
戸川直希, 佐藤翔輔, 今村文彦	津波避難訓練における繰り返しと参加者の多層化の効果ー宮城県亘理町の事例ー	平成27年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集	2016年3月.
佐藤翔輔, 今村文彦	地震津波と大雨にともなう複合災害対応の事例分析ー2015年9月チリの地震にともなう津波と大雨に対する石巻市役所の参与観察ー	平成27年度東北地域災害科学研究集会	2016年1月
小林奈津子, 根本晴美, 佐藤翔輔, 菊地紗耶, 本多奈美, 松岡洋夫, 富田博秋	災害時の妊産褥婦の心理的反応と母子保健・支援活動	第12回日本周産期メンタルヘルス学会学術集会	2015年10月
佐藤翔輔, 今村文彦	東日本大震災の経験を踏まえた「教訓」のオンライン発信ーその1:研究者の見解にもとづく教訓抽出・共有の試みー	地域安全学会東日本大震災特別論文集, No. 4, pp. 75-78	2015年10月
佐藤翔輔, 今村文彦	被災地大学での講義を通じた復興人材育成の試みー石巻専修大学講義科目の2015年度「復興の社会学」ー	日本災害復興学会2015年度東京大会予稿集, pp. 60-61	2015年9月

佐藤翔輔, 平川雄太, 鹿島七洋, 奥村誠, 今村文彦	津波伝承知メディアが人的被害の軽減に及ぼす影響に関する一次的分析－津波碑と津波由来地名に着目した東日本大震災の事例検討－ ※平成 27 年度学術優秀発表賞	第 34 回日本自然災害学会年次学術講演会講演概要集, pp. 125-126	2015 年 9 月
佐藤翔輔, 野内類, 今村文彦	災害対応における UTM グリッド地図情報の定量的効－多賀城市総合防災訓練における情報処理訓練を事例にして－	2015 年電子情報通信学会ソサエティ大会	2015 年 9 月
佐藤翔輔, 今村文彦, 古関良行	東日本大震災の発生から 4 年間における生活復興過程の評価－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－	地域安全学会梗概集, No. 36, pp. 45-46	2015 年 5 月
松本英里, 姥浦道生	東日本大震災後の災害危険区域の指定に関する研究	日本都市計画学会学術論文集, 50-3, pp. 1266-1272	2015 年 11 月
姥浦道生	被災地の「鍼治療」による再生	地域開発, Vol. 607, pp. 31-35	2015 年 4 月
Micho Ubaura	Present Situation and Problems of Reconstructions after the Great East Japan Earthquake	JAPANESE-PHILIPPINE CONFERENCE FOR URBAN REDEVELOPMENT OF TACLOBAN CITY, Tacloban city, Philippine	2015 年 8 月
姥浦道生	復興まちづくりにおける土地区画整理事業	区画整理, pp. 6-11	2015 年 11 月
姥浦道生	東日本大震災からの復興と土地利用	新建築, 2016 年 1 月号, pp. 94-95,	2016 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

(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
平井敬・福和伸夫	地盤構造モデルに基づく伝達関数を用いた任意震源による長周期地震動の予	日本建築学会構造系論文集、第	2015 年 8 月

	測手法	80 卷、1227-1237	
山田沙代・平井敬・福和伸夫	地震動観測記録の表面波部の震源位置依存性	日本建築学会 2015 年度大会 (関東)学術講演 梗概集 構造Ⅱ、 42-50	2015 年 9 月
平井敬・千賀英樹・福和伸夫	中京地域におけるグリーン関数データベースの作成と詳細な地震動予測 その 1 地震動予測	日本建築学会 2015 年度大会 (関東)学術講演 梗概集 構造 Ⅱ、137-138	2015 年 9 月
千賀英樹・平井敬・福和伸夫	中京地域におけるグリーン関数データベースの作成と詳細な地震動予測 その 2 予測地震動による建物応答	日本建築学会 2015 年度大会 (関東)学術講演 梗概集 構造 Ⅱ、139-140	2015 年 9 月
Ocut O. C., M. Mori and N. Fukuwa	Effect of rocking foundation input motion on the inelastic behavior of structures	日本建築学会構 造系論文集、第 81 卷、第 721 号、 447-458	2016 年 3 月
河合伸一・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現在から将来における地震リスクの評価	日本地震工学会・大会-2015, 4-23	2015 年 11 月 20 日
山崎雅人・曾根好徳・小池淳司	南海トラフ巨大地震による製油所被災の経済被害評価	化学経済, Vol. 62, No. 13, 72-77	2015 年 11 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
曾我部哲人、田中傑、佐藤慶一、牧紀男	災害が社会に与える影響の定量的評価方法の基礎的研究 — 阪神・淡路大震災と新潟県中越地震を対象にして —	地域安全学会 論文集 No. 27、 pp. 95-104	2015年11月
田中傑、牧紀男、金玟淑	インフラ事業者の復旧想定 of 共有化	地域安全学会梗概集第36号、 pp. 101-102	2015年5月
塩崎由人・加藤孝明・菅田寛	自然災害に対する都市システムのレジリエンスに関する概念整理	土木学会論文集	2015年7月
Yasmin BHATTACHARYA and Takaaki KATO	Development of a Post-disaster Recovery Simulation Model using a Multi-agent System Framework	生産研究	2015年9月
Yasmin BHATTACHARYA and Takaaki KATO	DEVELOPMENT OF A VOLUNTARY DECISION-MAKING MODEL FOR RESIDENTS DURING POST-DISASTER RECOVERY	CODE2015	2015年11月
澤寄裕樹・村山頭人	人口増減と複合災害の情報を用いた長期的土地利用計画の検討 - 東海4県における減災都市計画の展開に向けて -	都市計画報告集, No. 1, pp. 16-21	2015年5月

(b) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定
なし

(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
宇田川真之・田中淳・三船恒之・磯打千雅子・定池祐季・黄欣悦	「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— (その2)」	日本災害情報学会第17回研究発表大会	2015年10月24日

(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
Nakanishi A., Yamamoto Y., Yamashita M., Iwamaru H., Fujie G., Miura S., Kodaira S., Kaneda Y.	Heterogeneous Structure in the incoming Philippine Sea plate along the Nankai Trough	日本地球惑星科 学連合 2015 年大 会	2015 年 5 月 24 日
Arai, R., Kaiho, Y., Takahashi, T., Nakanishi, A., Fujie, G., Nakamura, Y., Miura, S., Kodaira, S., Kaneda, Y.	Plate geometry, splay fault and tsunamigenic earthquake in the southernmost Ryukyu trench	日本地球惑星科 学連合 2015 年大 会	2015 年 5 月 25 日
高橋努・石原靖・ 三浦誠一・小平秀 一・金田義行	南部琉球弧で発生した超低周波地震に 伴う低周波地震活動	日本地球惑星科 学連合 2015 年大 会	2015 年 5 月 25 日
山本揚二郎・高橋 努・海宝由佳・石 原靖・新井隆太・ 仲西理子・尾鼻浩 一郎・三浦誠一・ 小平秀一・金田義 行	琉球海溝南部の地震学的構造	日本地球惑星科 学連合 2015 年大 会	2015 年 5 月 27 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	南海トラフ・トラフ軸に着目した高分解 能反射構造イメージングから見えてき た変形構造	日本地球惑星科 学連合 2015 年大 会	2015 年 5 月 28 日
Nakanishi A.,	Three-dimensional plate geometry and	12 th Annual	2015 年 8 月

Takahashi N., Yamamoto Y., Takahashi Y., Citak S. O., Nakamura T., Obana K., Kodaira S., Kaneda Y.	velocity model for the Nankai Trough subduction seismogenic zone based on structural studies	Meeting Asia Oceania Geosciences Society	7日
新井隆太・海宝由 佳・高橋努・仲西 理子・藤江剛・中 村恭之・三浦誠 一・小平秀一・金 田義行	南西諸島海溝南部における前弧ウェッ ジ構造とプレート境界特性	日本地質学会第 122年学術大会	2015年9月 13日
山下幹也・中村恭 之・仲西理子・三 浦誠一・小平秀 一・金田義行	高分解能反射構造イメージングから得 られた南海トラフ沈み込み帯の特徴	日本地質学会第 122年学術大会	2015年9月 13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	高分解能反射イメージングから得られ た南海トラフ前縁断層形状	日本地震学会 2015年度秋季大 会	2015年10 月28日
新井隆太・海宝由 佳・高橋努・仲西 理子・藤江剛・中 村恭之・三浦誠 一・小平秀一・金 田義行	沖縄トラフの背弧リフト構造	日本地震学会 2015年度秋季大 会	2015年10 月28日
高橋努・海宝由 佳・石原靖・山本 揚二郎・尾鼻浩一 郎・三浦誠一・小 平秀一・金田義行	宮古・八重山諸島周辺におけるランダ ム速度不均質構造	日本地震学会 2015年度秋季大 会	2015年10 月28日
山本揚二郎・高橋 努・海宝由佳・石 原靖・新井隆太・ 仲西理子・尾鼻浩 一郎・三浦誠一・	自然地震および人工地震データによる 琉球海溝南部の地震波速度構造	日本地震学会 2015年度秋季大 会	2015年10 月28日

小平秀一・金田義行			
Arai, R., Kaiho, Y., Takahashi, T., Nakanishi, A., Fujie, G., Nakamura, Y., Miura, S., Kodaira, S., Kaneda, Y.	Nature of Subduction Megathrust Faults at the Ryukyu Subduction Zone	AGU Fall Meeting 2015	2015年12月14日
新井隆太・高橋努・小平秀一・海宝由佳・仲西理子・藤江剛・中村恭之・山本揚二郎・石原靖・三浦誠一・金田義行	大規模地殻構造探査と自然地震観測による南西諸島海溝の地震発生帯モデルと沖縄トラフの背弧リフト構造	ブルーアース2016	2016年3月9日
高橋努・新井隆太・野徹雄・三浦誠一・小平秀一・金田義行	南西諸島北部における地殻構造探査	ブルーアース2016	2016年3月9日
山本揚二郎・高橋努・石原靖・海宝由佳・新井隆太・仲西理子・尾鼻浩一郎・三浦誠一・小平秀一・金田義行	自然地震観測から推定した琉球海溝南部のプレート境界形状	ブルーアース2016	2016年3月9日
武田哲也・汐見勝彦・上野友岳	四国西部でのスローイベント域における人工地震探査	日本地球惑星科学連合2015年大会	2015年5月27日
汐見勝彦・武田哲也・上野友岳	四国西部稠密機動的地震観測データを用いた高分解能レーザー関数イメージの構築	日本地震学会2015年度秋季大会	2015年10月27日
Shiomi, K., T. Takeda, and T. Ueno	High-resolution image of the subducting Philippine Sea plate beneath western Shikoku, southwest Japan	AGU Fall Meeting 2015	2015年12月15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
池原 研	ターミナル小海盆：タービダイト古地震学の一つのターゲット	第四紀研究, 54, 345-358	2015年12月1日
Patton, J., Goldfinger, C., Morey, A.E., Ikehara, K., Romsos, C., Stoner, J., Djadjadihardia, Y., Udrek, Ardhyastuti, S., Gaffer, E.Z. and Viscaino, A.	A 6500 year earthquake history in the region of the 2004 Sumatra-Andaman subduction zone earthquake	Geosphere, 11, 2067-2129	2015年12月
Kitahashi, T., Watanabe, H., Ikehara, K., Jenkins, R.G., Kojima, S. and Shimanaga, M.	Deep-sea meiofauna off the Pacific coast of Tohoku and other trench slopes around Japan: a comparative study before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake	Journal of Oceanography, 72, 129-139	2016年2月
Yamada, K., Takemura, K., Kuwae, M., Ikehara, K. and Yamamoto, M.	Basin filling related to the Philippine Sea Plate motion in Beppu Bay, southwest Japan	Journal of Asian Earth Sciences, 117, 13-22	2016年3月
池原 研・金松敏也・味岡 拓	石垣島南方前弧～海溝域のタービダイト	日本堆積学会 2015年つくば大会（つくば市）	2015年4月25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津波堆積物との対比から探る過去4500年の巨大地震発生履歴	日本堆積学会2015年つくば大会（つくば市）	2015年4月26日

Strasser, M., Fink, H., Ikehara, K., Kanamatsu, T., Nagahashi, Y. and Wefer, G.	Chemical fingerprints of earthquake event deposits in the Japan Trench	日本地球惑星科学連合 2015 年大会 (千葉市)	2015 年 5 月 25 日
McHugh, C., Kanamatsu, T., Seeber, L., Cormier, M.-H., Bopp, R., Ikehara, K. and Usami, K.	Spatial extent of sedimentation triggered by the 2011 Tohoku earthquake from short-lived radioisotope data, Japan Trench	日本地球惑星科学連合 2015 年大会 (千葉市)	2015 年 5 月 26 日
宇佐見和子・池原研・金松敏也・McHugh, C.	日本海溝下部陸側斜面における地震性タービダイトの堆積過程と堆積間隔	日本地球惑星科学連合 2015 年大会 (千葉市)	2015 年 5 月 26 日
池原 研・宇佐見和子	三陸沖の 2011 年東北沖地震・津波イベント堆積物の経年変化	日本地球惑星科学連合 2015 年大会 (千葉市)	2015 年 5 月 26 日
Usami, K., Ikehara, K., Kanamatsu, T. and McHugh, C.	Seismo-turbidites in the Japan Trench inner slope	Submarine Paleoseismology Workshop (チューリッヒ)	2015 年 7 月 16 日
Ikehara, K., Kanamatsu, T., Usami, K. and Strasser, M.	Turbidite paleoseismology along the Japan Trench	Submarine Paleoseismology Workshop (チューリッヒ)	2015 年 7 月 17 日
Ikehara, K., Usami, K. and Kanamatsu, T.	Deep-sea turbidite evidence on the recurrence of large earthquakes along the northern Japan Trench	XIX INQUA Congress (名古屋市)	2015 年 7 月 31 日
Ikehara, K.	Preservation potential of deep-sea event deposits along the northern Japan Trench	Arthur Holmes Meeting 2015: Tsunami Hazards and Risks: Using the Geological Record (ロンドン)	2015 年 9 月 25 日
Ikehara, K.,	Japan Trench paleoseismology:	8 th	2015 年 10

Usami, K., Kanamatsu, T. and Strasser, M.	Turbidite paleoseismology along the Japan Trench	International Conference on Asian Marine Geology (済州島)	月 26 日
池原 研・宇佐見 和子・金松敏也・ Strasser, M.	日本海溝周辺のテクトニック変動の地 層記録	日本地震学会 2015 年秋季大会 (神戸市)	2015 年 10 月 28 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にみ る地震発生履歴	日本地震学会 2015 年秋季大会 (神戸市)	2015 年 10 月 28 日
Ikehara, K., Kanamatsu, T., Usami, K., Arai, K., Yamaguchi, A. and Fukuchi, R.	Sediment lithology variability along the Japan Trench: For using deep-sea turbidites to reconstruct the past large earthquake history along the Japan Trench	Symposium on Subduction zone earthquakes in Nankai Trough & Japan Trench (東 京都)	2016 年 2 月 12 日
Usami, K., Ikehara, K., Kanamatsu, T. and McHugh, C.	Seismo-turbidite stratigraphy along the mid-slope terrace in the Japan Trench inner slope and its correlation with onshore tsunami deposits along the Sanriku coast	Symposium on Subduction zone earthquakes in Nankai Trough & Japan Trench (東 京都)	2016 年 2 月 12 日
Ikehara, K., Kanamatsu, T. and Usami, K.	Effective transport of event sediments from shelf to deep-sea through submarine canyon: Examples from the Japan and Ryukyu trench forearc	2016 Ocean Sciences Meeting (ニュー オーリンズ)	2016 年 2 月 24 日
池原 研・宇佐見 和子・金松敏也・ 新井和乃・中村恭 之・小平秀一・ Strasser, M.	日本海溝域の海底斜面崩壊とその地層 記録	日本堆積学会 2016 年福岡大会 (福岡市)	2016 年 3 月 6 日
宇佐見和子・池原 研・金松敏也・宮 崎征行・熊 衍 昕・味岡 拓	南部琉球、八重山前弧～琉球海溝域の堆 積作用とイベント層	ブルーアースシ ンポジウム 2016 (東京都)	2016 年 3 月 9 日
金松敏也・池原 研・宇佐見和	琉球海溝域海域津波履歴研究	ブルーアースシ ンポジウム 2016	2016 年 3 月 9 日

子・味岡 拓・宮崎征行・熊 行 昕		(東京都)	
谷川晃一郎・宍倉正展・藤原 治・行谷佑一・松本 弾	高知県南国市における津波堆積物調査	日本地球惑星科学連合 2015 年大会 (千葉市)	2015 年 5 月 24 日
Tanigawa, K., Shishikura M., Fujiwara, O., Namegaya, Y. and Matsumoto, D.	Geological study on tsunami deposits in Kochi Prefecture, western Japan	XIX INQUA Congress (名古屋市)	2015 年 7 月 31 日
Shishikura, M., Maemoku, H., Echigo, T. and Namegaya, Y.	History of past great earthquakes along the Nankai Trough, deduced from various geological records in the southern part of the Kii Peninsula, Japan	XIX INQUA Congress (名古屋市)	2015 年 7 月 31 日
宍倉正展・前杢英明・越後智雄・行谷佑一	紀伊半島南部串本周辺における古地震・古津波痕跡について	第 32 回歴史地震研究会 (京丹後市)	2015 年 9 月 21 日
宍倉正展・前杢英明・越後智雄・行谷佑一	紀伊半島南部沿岸の隆起・津波痕跡が示す南海トラフ巨大地震履歴	日本地震学会 2015 年度秋季大会 (神戸市)	2015 年 10 月 27 日
行谷佑一・安藤亮輔・宍倉正展	富士川の流路の変遷から推定される 1854 年安政東海地震による地変	日本地震学会 2015 年度秋季大会 (神戸市)	2015 年 10 月 27 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
Yamashita, Y., H. Yakiwara, Y. Asano, H. Shimizu, K.	Migrating tremor off southern Kyushu as evidence for slow slip	Science, 348 (6235), 676-679, doi:10.1126/science.aaa4242	2015 年 5 月 8 日

Uchida, S. Hirao, K. Umakoshi, H. Miyamachi, M. Nakamoto, M. Fukui, M. Kamizono, H. Kanehara, T. Yamada, M. Shinohara, and K. Obara	of a shallow subduction interface		
山下裕亮, 篠原雅尚, 山田知朗, 中東和夫, 塩原肇, 望月公廣, 前田拓人, 小原一成	日向灘における海底地震・圧力計を用いたプレート境界浅部スロー地震の長期モニタリング	日本地球惑星科学連合 2015 年大会, SCG62-P06	2015 年 5 月 27 日
高橋成実・石原靖久・福田達也・越智寛・田原淳一郎・森尚仁・出口充康・木戸元之・太田雄策・日野亮太・武藤勝彦・橋本剛正・本橋修・小平秀一	オンデマンド地殻変動観測システムの開発と現状の課題	日本地球惑星科学連合 2015 年大会, S-CG64-42	2015 年 5 月 28 日
Yamashita. Y., M. Shinohara, T. Yamada, K. Nakahigashi, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Maeda, and K. Obara	Long-term ocean bottom monitoring for shallow slow earthquakes in the Hyuga-nada, western part of the Nankai Trough	26th IUGG General Assembly 2015, S01ap-291	2015 年 6 月 30 日
山下裕亮, 篠原雅尚, 山田知朗, 中東和夫, 塩原肇, 望月公廣, 前田拓人, 小原一成	日向灘における海底地震計・圧力計を用いたプレート境界浅部スロー地震の長期モニタリング(2)	日本地震学会 2015 年秋季大会, S09-P15	2015 年 10 月 26 日
Yamashita. Y., M. Shinohara, T. Yamada, K. Nakahigashi, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Maeda, and K. Obara	Long-term Ocean Bottom Monitoring for Shallow Slow Earthquakes in the Hyuga-nada, Nankai Subduction Zone	AGU fall meeting 2015, T51D-2924	2015 年 12 月 18 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
伊藤武男・古本宗充・鷺谷威・堀川信一郎・奥田隆・松廣健二郎・野村晋一・横井大輝・大間俊樹・伊藤和也	喜界島周辺の地殻変動	日本地球惑星科学連合 2015 年大会, SSS31-P03	2015 年 5 月 25 日
伊藤武男・大間俊樹・篠島僚平	3次元有限要素法による不均質構造を考慮した西南日本における地震時と地震後の地殻変動	日本地震学会 2015 年秋季大会, S03-P13	2015 年 10 月 26 日
伊藤武男・古本宗充・奥田隆・松廣健二郎・大間俊樹	有限要素法による喜界島の高速隆起の再現とドローンによる微小海岸段丘の調査	日本地震学会 2015 年秋季大会, S03-18	2015 年 10 月 26 日
Oma, T., T. Ito, and R. Sasajima	A Simulation of crustal deformation around southwest Japan using 3D Finite Element Method	AGU 2015 Fall Meeting	2015 年 12 月 15 日
平田雄一郎	キネマティック GNSS データによる 2011 年東北地方太平洋沖地震直後の余効変動に関する研究	東北大学修士論文	2016 年 2 月 1 日
平田雄一郎・太田雄策・日野亮太	キネマティック PPP 再解析データから抽出した 2011 年東北地方太平洋地震直後の余効変動の時空間的特徴	日本測地学会第 124 回講演会	2015 年 10 月 16 日
Mavrommatis, A., P. Segall,	Long-term acceleration of aseismic slip preceding the	Geophys. Res. Lett., 42, 9717-9725,	2015 年 11 月 19 日

N. Uchida, and K. M. Johnson	Mw 9 Tohoku-oki earthquake: constraints from repeating earthquakes	doi:10.1002/2015GL066069, 2015	
Burgmann, R., N. Uchida, Y. Hu, and T. Matsuzawa	Tohoku rupture reloaded?	Nature Geoscience, 9, 183-184, 2016.	2016 年 3 月 1 日
Uchida, N., T. Iinuma, R. M. Nadeau, R. Bürgmann, and R. Hino	Periodic slow slip triggers megathrust zone earthquakes in northeastern Japan	Science, 351(6272), 488-492, doi:10.1126/science.aad310, 2016	2016 年 1 月 29 日
Yabe Y., J. Muto, M. Ohzono, Y. Ohta, and T. Iinuma	Rheological Structure beneath the NE Japan Inferred from Coseismic Strain Anomalies Associated with the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw9.0)	International Association of Geodesy Symposia, doi:10.1007/1345_2015_135	2015 年 6 月 20 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 (その 2)	日本地球惑星科学連合 2015 年 大会, SSS30-P14	2015 年 5 月 25 日
Nakata, R., T. Kuwatani, M. Okada, and T. Hori	Improvement in reproducibility of spatial distribution of afterslip in geodetic data inversion	Asia Oceania Geoscience Society 12th Annual Meeting, IG20-A012	2015 年 8 月 6 日
Kano, M., S. Miyazaki, Y. Ishikawa, Y. Hiyoshi, K. Ito, and K. Hirahara,	Real data assimilation for optimization of frictional parameters and prediction of afterslip in the 2003 Tokachi-oki earthquake inferred from slip velocity by an adjoint method	Geophysical Journal International, 203, 646-663, doi: 10.1093/gji/ggv289	2015 年 7 月
西村卓也・松澤 孝紀・木村武 志・小原一成	GNSS データのスタッキング 手法を用いた西南日本の短期 的 SSE の継続時間推定の試み	東濃地震科学研究所報告	2016 年 3 月

奥田亮介・平原和朗・宮崎真一・加納将行・大谷真紀子	EnKFを用いたスロースリップ断層面上の摩擦パラメータの推定	日本地球惑星科学連合 2015 年大会, SCG62-P14	2015 年 5 月 27 日
Okuda, R., K. Hirahara, S. Miyazaki, M. Kano and M. Ohtani	Estimation of parictional parameters on the SSE fault through Ensemble Kalman Filter	Asia Oseania Geoscienses Socitey 12 th Annual meeting, IG20-A0005	2015 年 8 月 6 日
小池俊貴・西村卓也・宮崎真一	GNSS データから推定された琉球弧南西部の地殻変動	日本地球惑星科学連合 2015 年大会, SSS31-P02	2015 年 5 月 25 日
西村卓也・松澤孝紀・木村武志・小原一成	GNSS データのスタッキング手法を用いた西南日本の短期的 SSE の継続時間推定の試み	日本地球惑星科学連合 2015 年大会, SCG62-04	2015 年 5 月 27 日
小池俊貴・西村卓也・宮崎真一	2010-2014 年に琉球弧南西部で発生した SSE の地殻変動解析	日本測地学会第 124 回講演会	2015 年 10 月 14 日
T. Nishimura	Short-term Slow Slip Events in the Kanto Region, Central Japan Detected From GNSS Data	AGU Chapman Conference on the Slow Slip Phenomena, Invited talk	2016 年 2 月 22 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, C. Hashimoto, M. Hori	Numerical Verification Criteria for Coseismic and Postseismic Crustal Deformation Analysis with Large-scale High-fidelity Model	Procedia Computer Science, 51, 1534-1544	2015 年 6 月

R. Agata, T. Ichimura, T. Horii, K. Hirahara, C. Hashimoto, M. Horii	Simultaneous Inverse Analysis Method of Fault Slip and Asthenosphere Viscosity Using Large Scale Finite Element Simulation of Postseismic Deformation	AGU Fall Meeting, San Francisco, the U.S.	2015年12月
縣亮一郎, 市村強, 堀高峰, 平原和朗, 橋本千尋, 堀宗朗	高詳細な地殻変動解析手法を用いたアセノスフェア粘性率推定手法の検討	応用力学シンポジウム	2015年5月
縣亮一郎, 市村強, 平原和朗, 兵藤守, 中野優, 堀高峰, 堀宗朗	高詳細な地殻変動シミュレーションに基づいた津波波高推定のための基礎的研究	計算工学講演会	2015年5月
縣亮一郎, 市村強, 堀高峰, 平原和朗, 橋本千尋, 堀宗朗	余効変動の高詳細有限要素シミュレーションを用いたアセノスフェア粘性率・断層すべり同時推定手法の開発	日本地震学会秋季大会	2015年11月
Ohtani, M. and K. Hirahara	Effect of the Earth's surface topography on the quasi-dynamic earthquake cycles	Geophysical Journal International, 203, 384-398	2015年4月
Ida, A., T. Iwashita, M. Ohtani and K. Hirahara	Improvement of Hierarchical Matrices with Adaptive Cross Approximation for large-scale simulation	Journal of Information Processing, 23, 366-372	2015年5月
Shimizu, H., Y. Kaneko and K. Hirahara	2D fully dynamic SEM earthquake cycle simulation for on-plane shear fault	IUGG General Assembly 2015, Prague, Czech	2015年6月28日
Ohtani, M. and K. Hirahara	Earthquake cycles on the bumpy plate interface assuming subducting ridge chain: generation of SSE	IUGG General Assembly 2015, Prague, Czech	2015年6月28日
清水宏幸・Kaneko Yoshihiro・平原和朗	スペクトル要素法を用いた動的効果を含む2次元 in-plane 地震サイクルシミュレーション手法の開発	日本地球惑星連合2015年大会	2015年5月25日
大谷真紀子・平原和朗	H行列法を適用した大規模準動的地震発	日本地球惑星連合2015年大会	2015年5月

和朗	生サイクルシミュレーション	合 2015 年大会	24 日
平原和朗	固着すべり振動子の周期外力への応答 —悪魔の階段—	日本地震学会 2015 年秋季大 会、S08-33	2015 年 10 月 27 日
Fukuyama, E. and Hok, S.	Dynamic overshoot near trench caused by large asperity break at depth	Pure and Applied Geophys.	2015 年 8 月
原田智也, 室谷智 子, 佐竹健治, 古 村孝志	アンケート調査に基づく 1946 年南海地 震の震度分布・被害分布	日本地球惑星連 合 2015 年大会	2015 年 5 月 27 日
Tomoya Harada, Satoko Murotani, Kenji Satake, and Takashi Furumura	Damage and seismic intensity distributions of the 1946 Nankai earthquake revealed by the reanalysis of questionnaire survey immediate the earthquake	26th IUGG, 2015	2015 年 6 月 27 日
原田智也・室谷智 子・佐竹健治・古 村孝志	地震直後に行われたアンケート調査に よる 1944 年東南海地震・1945 年三河地 震の震度分布	第 32 回歴史地震 研究会	2015 年 9 月 21 日
原田智也・室谷智 子・佐竹健治・古 村孝志	地震直後に行われたアンケート調査の 再検討による 1944 年東南海地震・1945 年三河地震の震度分布	日本地震学会 2015 年度秋季大 会	2015 年 10 月 27 日
鳴橋竜太郎・原田 智也・佐竹健治	安政東海地震津波（1854）における南 伊勢地域西部の被害	日本地震学会 2015 年度秋季大 会	2015 年 10 月 28 日
Tomoya Harada, Kenji Satake, and Takashi Furumura	Re-examination of the original questionnaire documents for the 1944 Tonankai, 1945 Mikawa, and 1946 Nanaki earthquakes	EGU2016	2016 年 4 月 22 日
原田智也・西山昭 仁・佐竹健治・古 村孝志	明応七年六月十一月（ユリウス暦 1498 年 6 月 30 日）の大地震に関する『九州 軍記』の被害記述の検討	日本地球惑星連 合 2016 年大会	2016 年 5 月 23 日
今井健太郎・菅原 大助・高橋智幸・ 岩間俊二・田中仁	2011 年東北津波における北上川河口部 の大規模洗掘・堆積に関する数値的検討	土木学会論文集 B2（海岸工学）, 71-2, 247-252	2015 年 11 月
今井健太郎・菅原 大助・高橋智幸	大分県龍神池の津波堆積物形成過程に 関する数値的検討	日本自然災害学 会平成 27 年度年 次講演会	2015 年 9 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 27 年度においては、8 年計画の 3 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自治体、地元ライフライン企業、地元大学、経済界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27年 6月19日（金） 13:00～17:00

場所：静岡県地震防災センター

（静岡市葵区駒形通5丁目9番1号）

見学会：静岡県地震防災センター施設見学（13:00～14:00）

議題：（14:00～17:00）

（1）平成27年度研究計画について（今年度の展望とトピックの紹介）

・地域連携減災研究

・調査観測分野

・シミュレーション分野

（2）総合討論

（3）その他

(2) 第2回運営委員会

日時：平成28年3月1日（火） 14:00～17:00

場所：国立研究開発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 名誉教授
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	米澤 健	総務省 消防庁 国民保護・防災部 防災課長
委員	加藤 慎也	愛知県 防災局長
委員	黒石 康夫	徳島県 危機管理部長
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 企画部 地理空間情報国際標準分析官
委員	平井 秀輝	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 巨大地震津波災害予測研究センター 教授
委員	室伏きみ子	国立大学法人お茶の水女子大学 学長
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 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 地震・噴火予知研究観測センター長 教授