

南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト

平成28年度 成果報告書

平成29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28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



図1 「動画でふりかえる3.11」の地図検索画面



図2 「動画でふりかえる3.11」の検索結果の詳細画面

2. 地震・津波被害予測研究

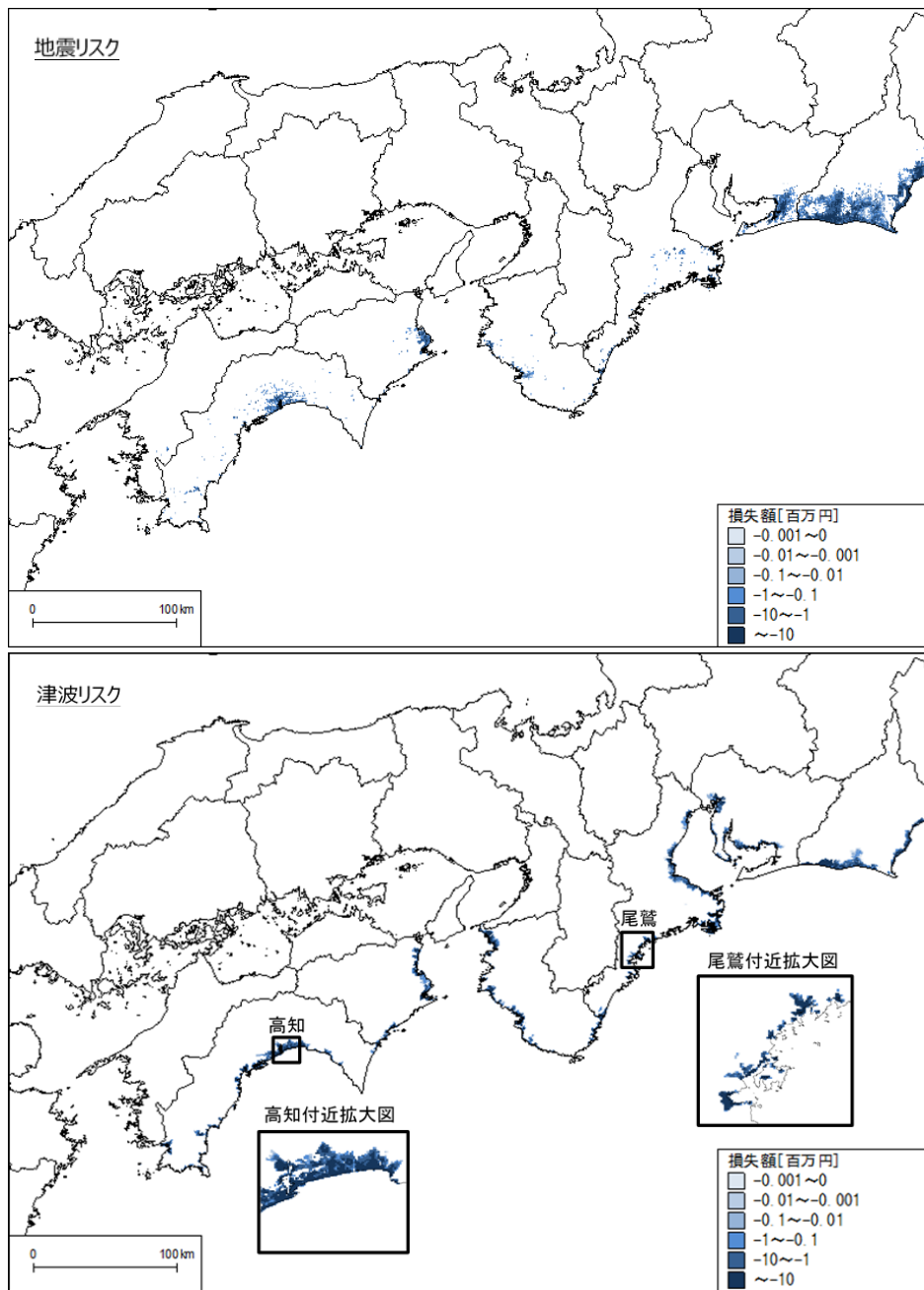


図3 防災対策実施後の2045年時点における南海トラフの地震・津波による建物損失額10年期待値の減少額の分布の試算例。2015年以降に耐震補強や堤防嵩上げを実施した場合の、2045年時点の南海トラフのハザード情報と建物モデルを利用し建物損失額の軽減額の試算例を示した。

3. 防災・減災対策研究



第7回東海地域研究会



第8回東海地域研究会



第7回関西地域研究会



第8回関西地域研究会



第6回四国地域研究会



第6回九州地域研究会



シンポジウム ～昭和南海地震から70年、
今後の南海トラフ地震に如何に備えるのか～



第三回高知減災エンス塾

図4 地域研究会、シンポジウム、イベントの様子

4. 災害対応・復旧復興研究

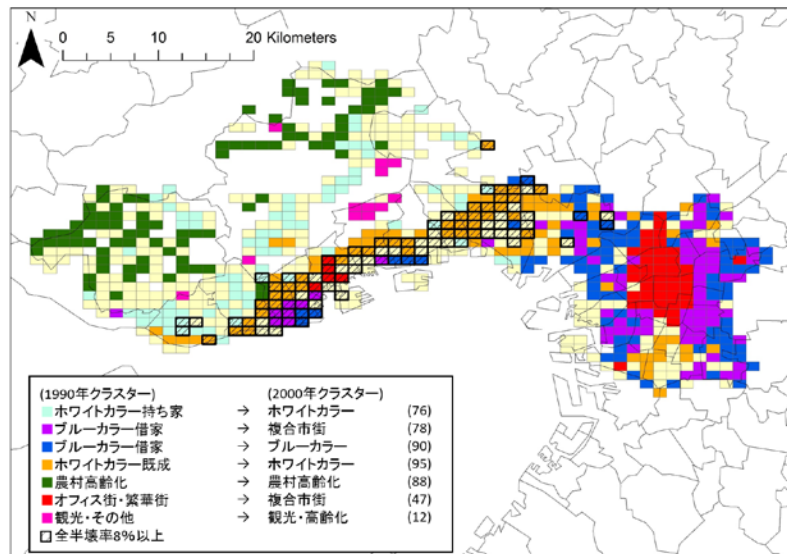


図5 「地域特性評価システム」の高度化：阪神地域クラスター標準推移(1990-2000)



図6 Google Earth を用いたリスク理解促進のためのツール

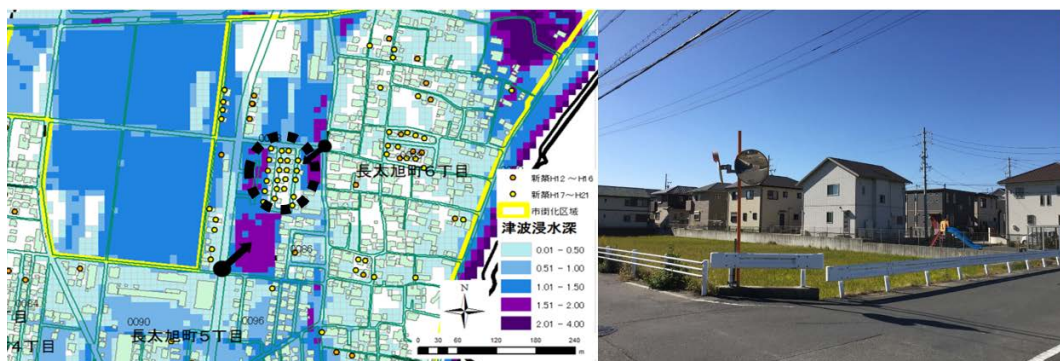


図7 災害の低減に向けた都市計画指針の策定では、三重県における都市構造の変革を事例に、2000以降の宅地化と人口増加に伴う課題を持つ長太地区において、北長太町の新規開発（戸建住宅分譲地）は地盤面より約1m嵩上げすることにより浸水深の想定を0.5m以下に抑えている。

5. 防災・災害情報発信研究

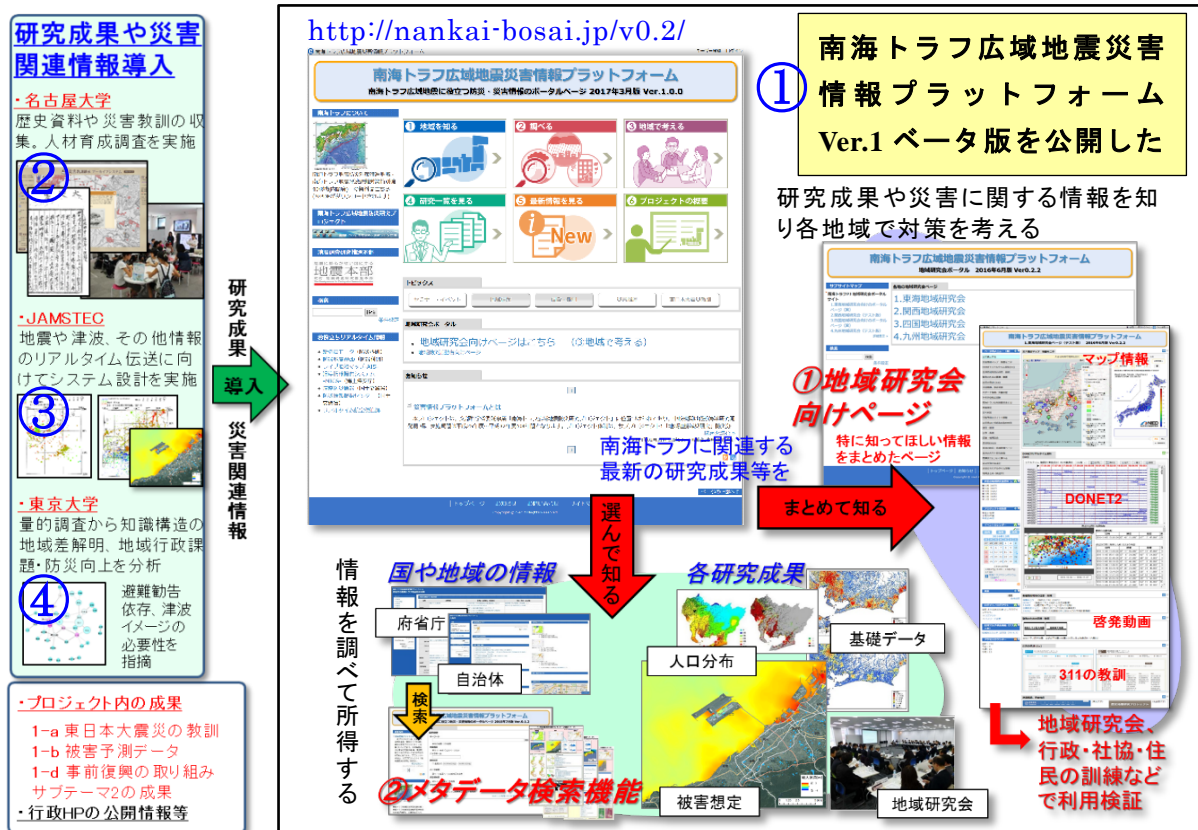


図8 防災・災害情報発信研究のH28年度実施内容

H28年度は、災害情報プラットフォーム Ver.1 ベータ版を公開し試験的運用を開始した。各種利活用システムとの連携について検討すると共に、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った。稠密な量的調査を行い、知識構造の地域差の解明を行うと共に、HUG方式でワークショップを実施し地域人材の育成を試みた。

- ①プロジェクト研究成果を含む情報をプラットフォームに実装し、データベースの構築を継続した。各地で利用検証実施と、以下②～④の1-e研究成果(図の左)と連携し、意見・要望を反映した構造へ改良し、災害情報プラットフォーム Ver.1ベータ版を公開した。
- 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）では、平成26年度開発の自動読み取り機能に、平成27年度構築のDONET2データを導入した。その上で、震源決定した結果を用いて統計情報を求め、Web出力できるよう画像を作成するシステムを構築した。
- 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沼津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ならびに避難所運営訓練の支援を行った。

6. プレート・断層構造研究

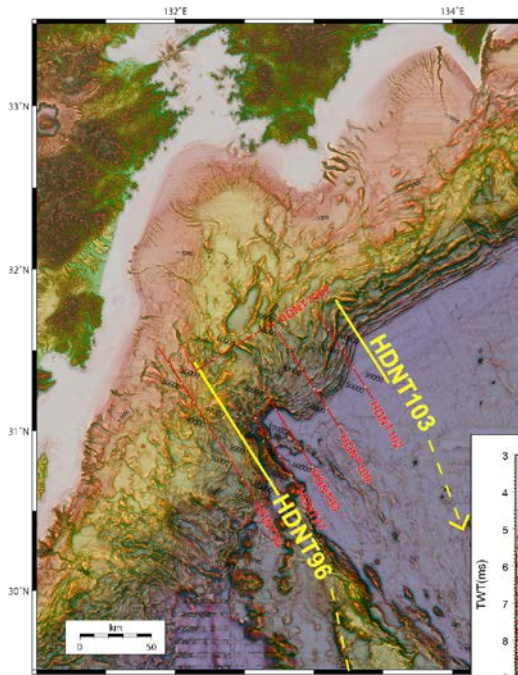
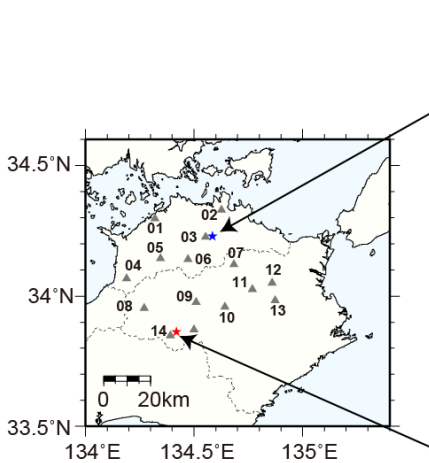
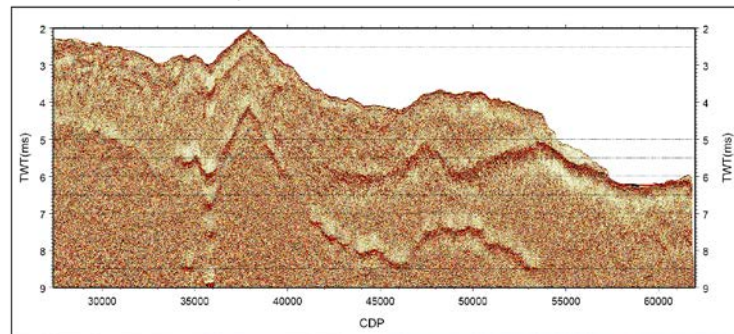
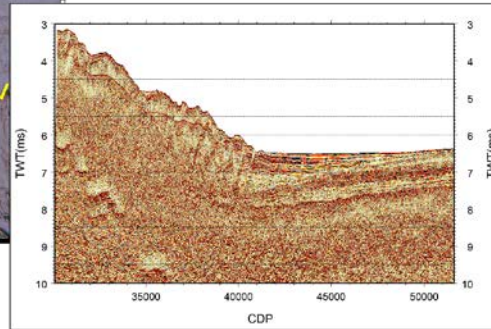


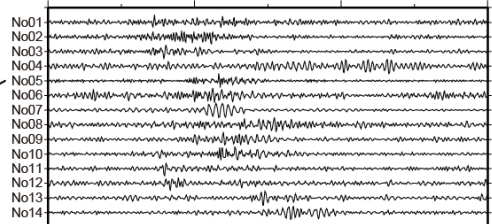
図 9

本プロジェクトで作成した海底地形の凹凸を強調する赤色立体段彩図に重ねた今年度取得した反射法地震探査測線と暫定的な代表的断面

足摺沖の南海トラフと九州パラオ海嶺周辺では沈み込む様式や堆積構造が全く異なっている



Event A (161002.124204), UD, BPF 2-6Hz



Event B (160801.121934), UD, BPF 2-6Hz

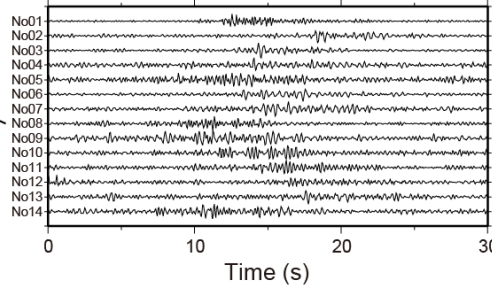


図 10

四国東部臨時機動観測点における深部低周波地震波形例。左地図に観測点の位置を灰色三角で、観測点番号とともに示す。青星印および赤星印は気象庁一元化震源カタログによる低周波地震の震央位置を表し、それぞれの地震に対応する発震時から30秒間の上下動成分の地震波形（2～6 Hzの帯域通過フィルタを適用）を右列上段及び下段に示す。

7. 海陸津波履歴研究

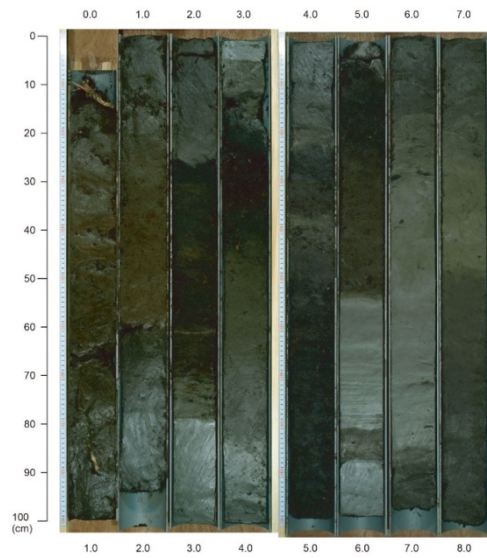
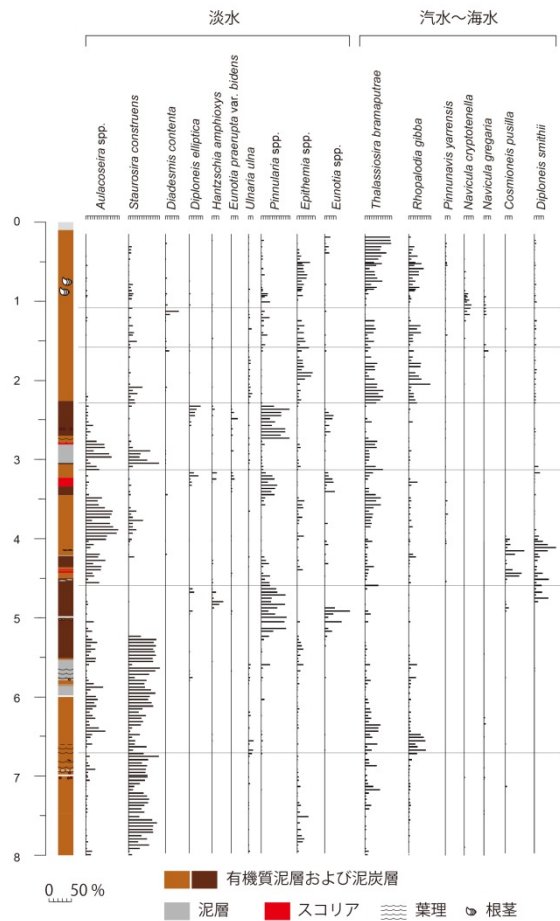


図 11 静岡県浮島ヶ原で得られたボーリングコアの写真（右）と柱状図および珪藻分析結果（左）。およそ3000年間の地層の中に、5回の急激な環境変化（沈水）が検出された。南海トラフ東縁の断層活動による沈降履歴を示している可能性がある。

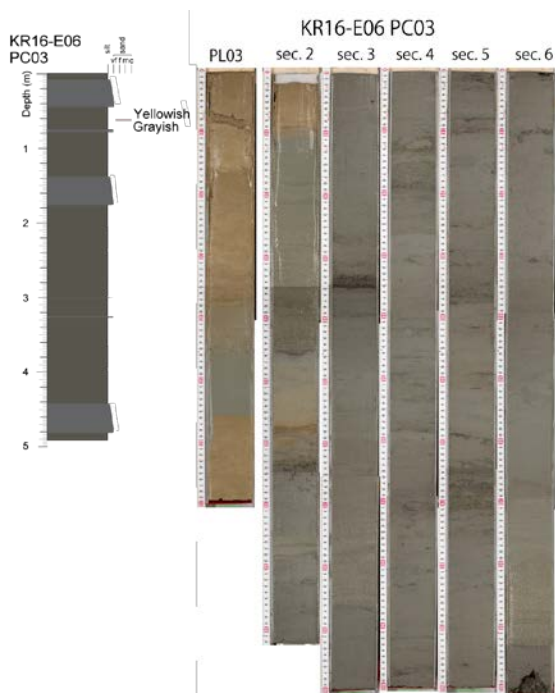


図 12 沖縄石垣島南東前弧域の海盆底から採取された海底堆積物コアの柱状図（右）とコア写真（左）。泥質部分をもつ厚さ40cm程度のタービダイトの挟在が認められる。

8. 広帯域地震活動研究

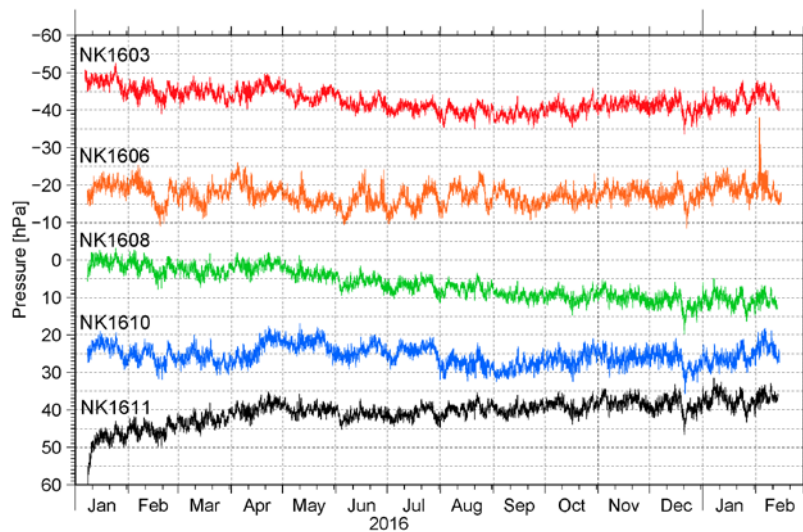


図13 平成27年1月から平成28年2月までの海底圧力計の記録。潮汐は除去されている。

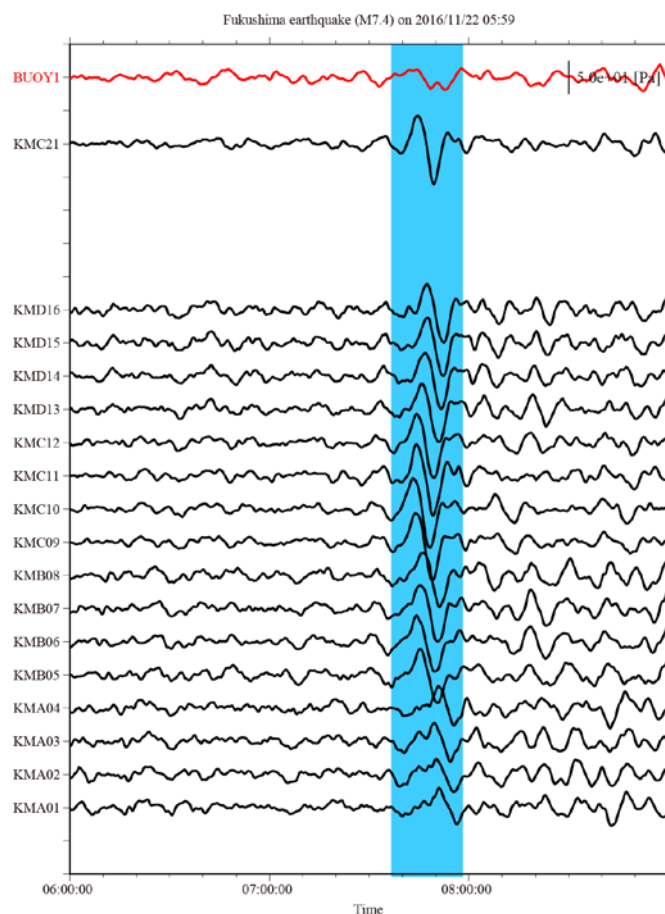


図14 2016年11月22日に発生した福島県沖の地震 ($M_{JMA}7.4$) 発生時前後の圧力計記録。得られた圧力計記録に0.001 ~ 0.005 Hzのバンドパスフィルターかけたものを示す。赤・黒の実線でブイ海底局に設置された圧力計・DONET 1の記録を示す。

9. データ活用予測研究

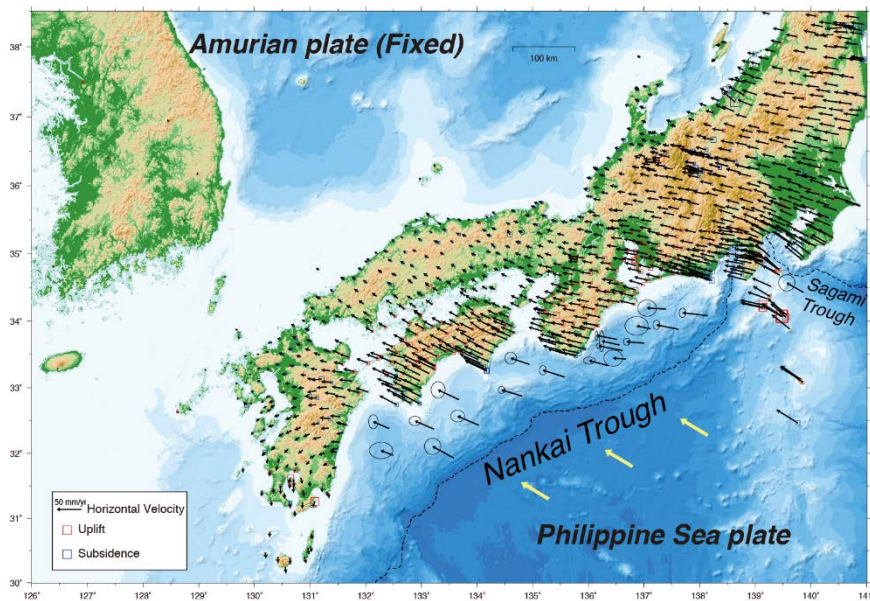


図 15 海陸地殻変動データを統合した西南日本の地震間地殻変動速度。黄色の矢印はプレート運動モデルに基づくフィリピン海プレートの運動方向。

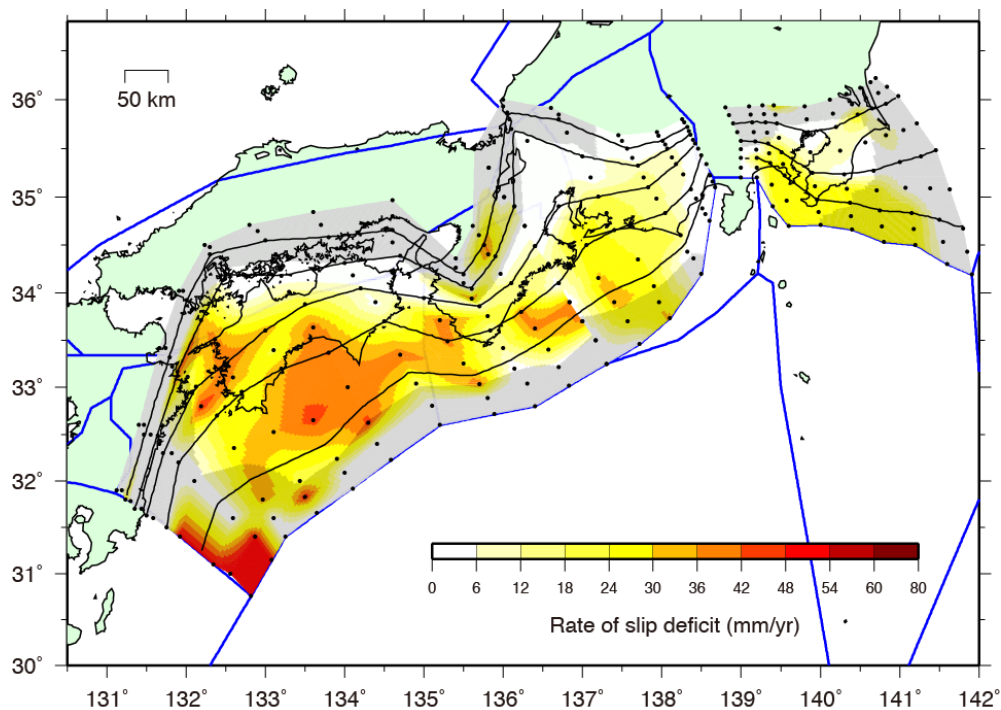


図 16 海陸地殻変動データより推定した南海トラフ及び相模トラフ沿いのすべり欠損速度分布。網掛けの領域は、推定誤差が 20mm/yr 以上の領域。

10. 震源モデル構築・シナリオ研究

◆ Case 1

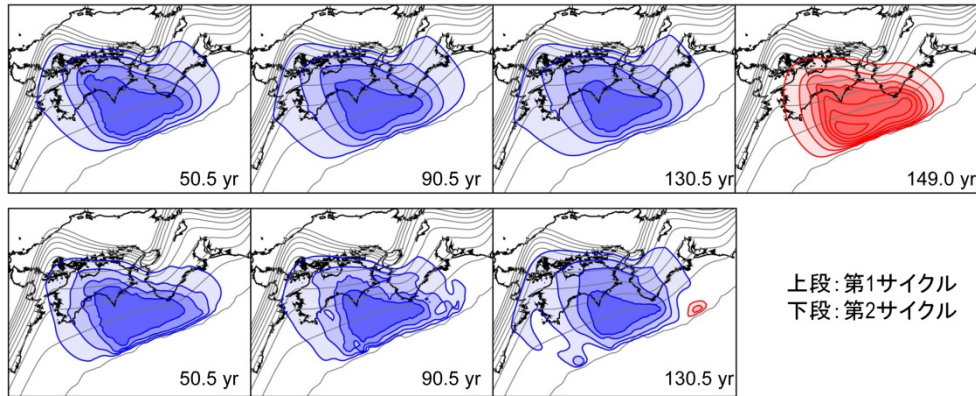


図 17 準静的応力蓄積シミュレーションにより実現した南海東南海域の地震発生サイクル (Case 1)。地震間の青コンターはすべり遅れレート、赤コンターはすべり過ぎレートを表わす (1 cm/yr 間隔)。地震時 (上段最右パネル) の赤コンターは、すべり量を表わす (0.5 m 間隔)。

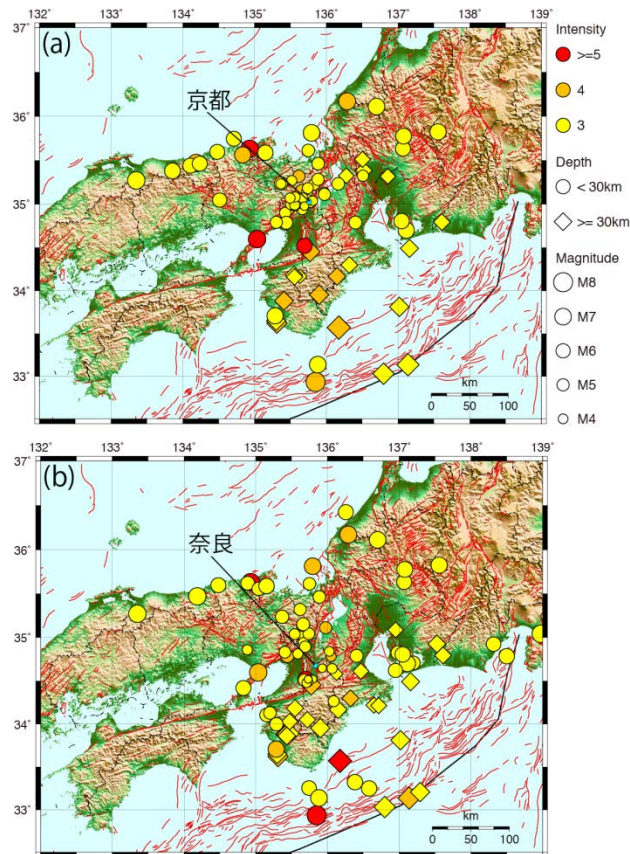


図 18 1923年1月1日～2016年12月31日の期間に京都で震度3以上の揺れをもたらした地震の震央分布(a)、同期間に奈良において震度3以上の揺れをもたらした地震の震央分布(b)。

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	33
3. 1. ③ 復興	37
3. 1. ④ 地震動	40
3. 1. ⑤ 被害	42
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	61
3. 2 地震・津波被害予測研究	69
3. 2. ① 津波被害予測	73
3. 2. ② 地震動	77
3. 2. ③ 地盤被害	85
3. 2. ④ 重要建物を想定した構造・内部空間の被災状況予測	96
3. 2. ⑤ ライフライン	104
3. 2. ⑥ 広域リスク評価	117
3. 2. ⑦ 都市災害と経済被害	127
3. 3 防災・減災対策研究	140
3. 4 災害対応・復旧復興研究	159
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	160
3. 4. ② 関西地方における事前復興計画の策定	169
3. 4. ③ 静岡県における地域特性をふまえた事前復興のあり方の検討	172
3. 4. ④ 地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針の策定とその検証	178
3. 5 防災・災害情報発信研究	182
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	184
3. 5. ② 防災・災害関連データの収集・整備、及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	211
3. 5. ③ DONET を用いたリアルタイム震源決定と統計情報の可視化	218
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	237
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	253
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)	255
3. 6. ② 自然地震・構造探査を用いた構造解析	265
3. 7 海陸津波履歴研究	281
3. 7. ① 海域での津波履歴調査	283
3. 7. ② 陸域での津波履歴調査実施（四国～九州）とサンプルデータ解析	291
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 （駿河湾奥浮島ヶ原）	301
3. 7. ④ 富士川河口域における 1854 年安政東海地震の地殻変動と 断層位置の推定	304
3. 8 広帯域地震活動研究	309
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	311
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	320
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	329
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	331
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	337
3. 9. ③ 予測システムの検証・予測試行実験	343
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	348
3. 10 震源モデル構築・シナリオ研究	362
3. 10. ① 日本列島粘弾性モデル構築とその応用	364
3. 10. ② 地震発生サイクル計算手法の高度化	369
3. 10. ③ 南海トラフ地震発生サイクルの再現・モデル検証	374
3. 10. ④ 地震発生シナリオ評価	381
3. 10. ⑤ 巨大地震の震源モデル及び地殻・地盤モデル開発	384
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	393
3. 10. ⑦ 和歌山県沿岸における安政東海・南海地震の津波痕跡高の再評価	407
4. 全体成果概要	417
5. 成果の論文発表・口頭発表等	423
6. むすび	440
7. 運営委員会	
7. 1 活動報告	441
7. 2 運営委員会構成員	441

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。

① 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。

② 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 保田真理 後藤さつき 森實香純 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 今井健太郎 馬場俊孝
	国立大学法人京都大学	牧紀男 李 瑾
	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 北野哲司 飛田潤 野田利弘 護雅史

		都築充雄 中井健太郎 野中俊宏
	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	名古屋大学減災連携研究センター	福和伸夫 曾根好徳 ◎野田利弘 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 浦谷裕明 野中俊宏 山崎雅人 宮腰淳一
	名古屋大学災害対策室	飛田潤
	名古屋大学工学研究科	中井健太郎
	名古屋大学環境学研究科	平井敬
	名古屋大学地震火山研究センター	山中佳子
	東京大学工学系研究科	廣井悠
	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
	東北大学災害科学国際研究所	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
	東京大学地震研究所	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 堀 高峰 今井 健太郎 中田 令子 大林 涼子 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 曾根 好徳 護 雅史 新井 伸夫 平山 修久 阪本 真由美 都築 充雄 田代 喬 浦谷 裕明 野中 俊宏 山崎 雅人 倉田 和己 平井 敬 飛田 潤 川端 寛文
	国立大学法人京都大学	牧紀男 李 瑾
	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 前田 宜浩 田口 仁 李 泰榮 大角 恒雄 東 宏樹 崔 青林

		水井 良暢
	国立大学法人東北大学	今村 文彦 佐藤 翔輔 保田 真理
	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 防災研究所	◎牧紀男 李 瑾
	国立大学法人東京大学 生産技術研究所	加藤孝明 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 臼田裕一郎 田口仁 李泰榮 東宏樹 崔青林 水井良暢 半田 信之 池田 真幸
	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 中野 優
	国立大学法人名古屋大学	福和伸夫 護雅史 山中佳子 阪本真由美 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 宇田川真之 磯打千雅子 三船恒裕

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 地震津波海域観測研究開発センター	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 新井隆太 石原靖 高橋努 山本揚二郎
	国立研究開発法人防災科学技術研究所 地震津波防災研究部門	汐見勝彦 上野友岳 松澤孝紀 浅野陽一 木村武志 木村尚紀 齊藤竜彦 田中佐千子 松原誠
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 地質情報研究部門	◎池原研 板木拓也 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	宍倉正展 澤井祐紀 行谷佑一 松本弾 谷川晃一朗 藤原 治
	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	金松敏也
	国立大学法人高知大学 教育研究部	岩井雅夫
	法政大学 文学部	前杵英明
	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 生命環境系	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地震研究所	◎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 阿部英二 西本太郎 大塚宏徳 佐伯綾香
	国立大学法人京都大学防災研究所	伊藤喜宏
	国立大学法人東京海洋大学	中東和夫
	国立大学法人京都大学防災研究所	山下裕亮
	国立大学法人東北大学災害科学国際研究所	木戸元之
	国立大学法人東北大学大学院理学研究科	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） (d) データ活用予測研究	国立大学法人東北大学大学院理学研究科	日野亮太 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	◎平原和朗 宮崎真一
	国立大学法人京都大学防災研究所	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	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	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	行谷佑一

	国立大学法人東京大学大学院理学研究科	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	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） (e) 震源モデル構築・シナリオ研究	東京大学地震研究所 災害科学系研究部門	◎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	市村 強
	京都大学 大学院理学研究科	平原和朗
	名古屋大学大学院 環境学研究科	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
	京都大学 防災研究所	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	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 助手 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 保田真理 後藤さつき 森實香純 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	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 特定研究員	牧紀男 李瑾
国立研究開発法人防災科学技術研究所	部門長 地震津波火山ネットワークセンター長 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 寄附研究部門教授 教授 教授 特任教授 寄附研究部門准教授 准教授 寄附研究部門助教	福和伸夫 北野哲司 飛田潤 野田利弘 護雅史 都築充雄 中井健太郎 野中俊宏
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术论文・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）の改良およびユーザー利用評価を行った。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課題の分析・抽出を行った。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」について観測の継続を行うと共にシステムの移設を行った。平成27年度に引き続き、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・手続きを行った。仙台市の上水道の被害状況・復旧状況の分析と今後の対策の提言、免震住宅の被害と建物の強震観測の状況に関する分析と課題の提示、ならびに、地盤や河川堤防の液状化・耐震効果に関

する検証事例整理と課題の提示を行った。東北地方太平洋沖地震における関東平野の長周期地震動の生成要因を地震波形解析と波動伝播シミュレーションにより評価し、震源域直上での表面波の励起と平野への伝播増幅特性が大きく寄与していることを確認した。また、KiK-net 築館で観測された震度7の強震記録を熊本地震におけるKiK-net 益城における強震波形記録と比較し、揺れの継続時間と周期成分の違いから、海溝型巨大地震の強震動の特性と被害に与える影響を検討した。

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28年度業務目的

平成26年度から平成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）について、これらを用いた教訓研修プログラムの開発に向けて、一連のアーカイブシステムについて改良やユーザー利用評価を行う。平成26年度から平成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。収集した地震波形データについて、平成27年度に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。東日本大震災における建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年度に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。

(2) 平成28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28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 27 年度まで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—論文・報告書がしめす震災教訓の検索システム—」と、別プロジェクトにおいて実装した「3.11 からの学びデータベース—IRIDeS からの東日本大震災の教訓空間—」の改良を行うとともに、ユーザー利用評価を行った。また、平成 27 年度まで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—東日本大震災公開動画ファインダー—」を公開した。

(b) 業務の成果

1) 「東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」の基本設計

平成 25 年度に、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。以下、平成 25 年度成果報告書(文部科学省研究開発局・独立行政法人海洋研究開発機構, 2014)からの再掲となるが説明する。

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

a) のような回答をした地域では、すでに南海トラフ広域地震津波について活発な対策活動が行われていた。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。

b) のような回答をした地域は、南海トラフ広域地震津波の対策を徐々に始めているような地域であった。そのような地域では、過去の津波の経験があまりなく、地域住民の意識があまり高くない傾向にあった。行政担当者としては、まず、動画というリアリティのある映像を地域住民に見てもらうことで、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。

c) は、事前の防災・減災施策の具体例として、東日本大震災で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。

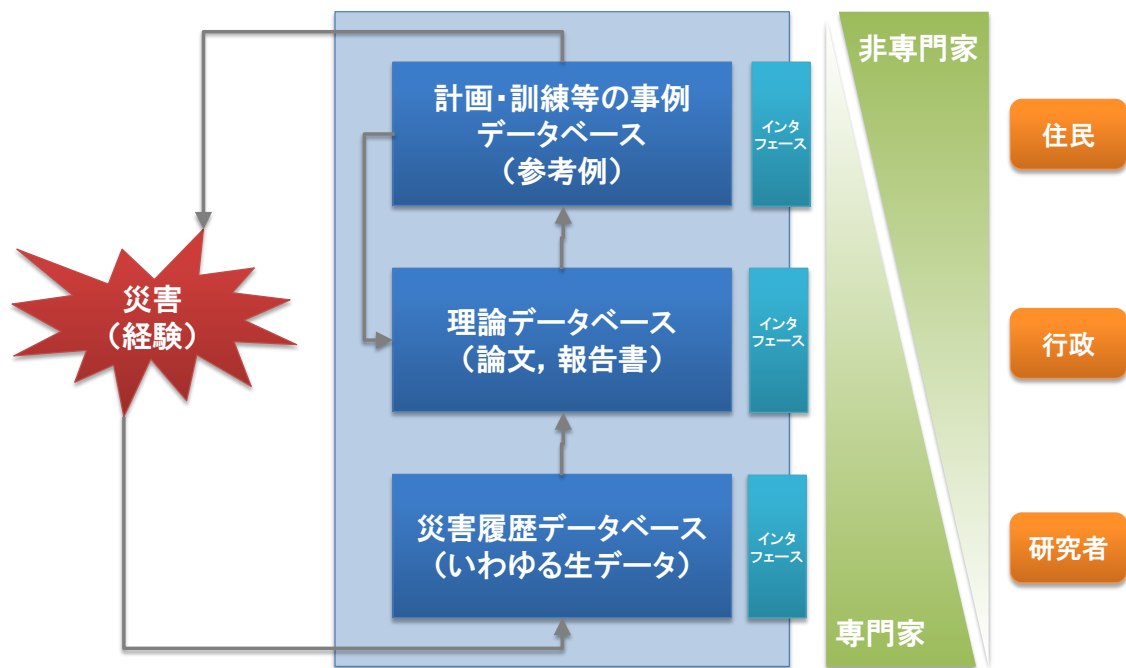


図 3-1-①-1 東日本大震災教訓活用型アーカイブシステムの基本設計
（概念図：3層アーカイブモデル）

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、(1) 生データとしての災害履歴（災害履歴データベース）、(2) 学術論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）、(3) 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 a）。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・閲覧は下層の災害履歴データベースから、行政・住民が行う（上記 b）。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 c）といった例が考えられる。

平成 28 年度は、上記のデータベースのうち、理論データベースと災害履歴データベースについて以下のような検討を行なった。検討のうち、前者 2 つは、理論データベースに関する検討、3 つ目は災害履歴データベースに関する検討である。

- ・「震災教訓文献データベース」の改良（コンテンツ追加とメタデータの再付与）
- ・「3.11 からの学びデータベース」と「震災教訓文献データベース」のユーザー評価調査
- ・「動画でふりかえる 3.11」の公開（映像資料への位置情報の付与）

2) 「震災教訓文献データベース」の改良（コンテンツ追加とメタデータの再付与）

平成 26 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として「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—」を公開した。同システムは、平成 25 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术论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」（文部科学省研究開発局・独立行政法人海洋研究開発機構，2014）の結果をシステムにインポートしたものである。学术论文は、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。

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、学术论文・報告書から結語部分をもとに情報を整理した文章でフリーワード(自然語)入力による検索ほか、タグ(統制語)で、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を選択して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。この画面はある著者名を選択して検索した例が図 3-1-①-2 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。

佐藤 翔輔

🔍 検索

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

■ 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://issv.jp.net/issv-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

図 3-1-①-2b 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、文献 (URL) へのリンクも示している。

平成 28 年度は、平成 27 年度から継続して 1) 同システムに登録する文献 (教訓) を追加するとともに、2) テーマを示すキーワードの再付与を行った。1) は、同システムリリース以降にも、震災に関連する論文は多数発行されているため、開発時点までに発行されている文献を対象に新たに登録作業を行ったものである。2) は、1) に伴って文献が多数増えたことと、従前に付与されていたキーワードが、一部適切でないという利用者評価を受けて行ったものである。

図 3-1-①-4 に、「震災教訓文献データベース」に登録した文献のうち、論文とその結語 (教訓) の数を、各論文が発行された年で時系列変化として示した。同システムの公開後に、2014 年発行分以降を新たに登録した。同業務では、論文で 198 件、教訓 (結語) で 663 件を追加した。東日本大震災をはじめとする震災に関する新たな

論文や教訓は、2012 年をピークに減少傾向にあることが分かる。

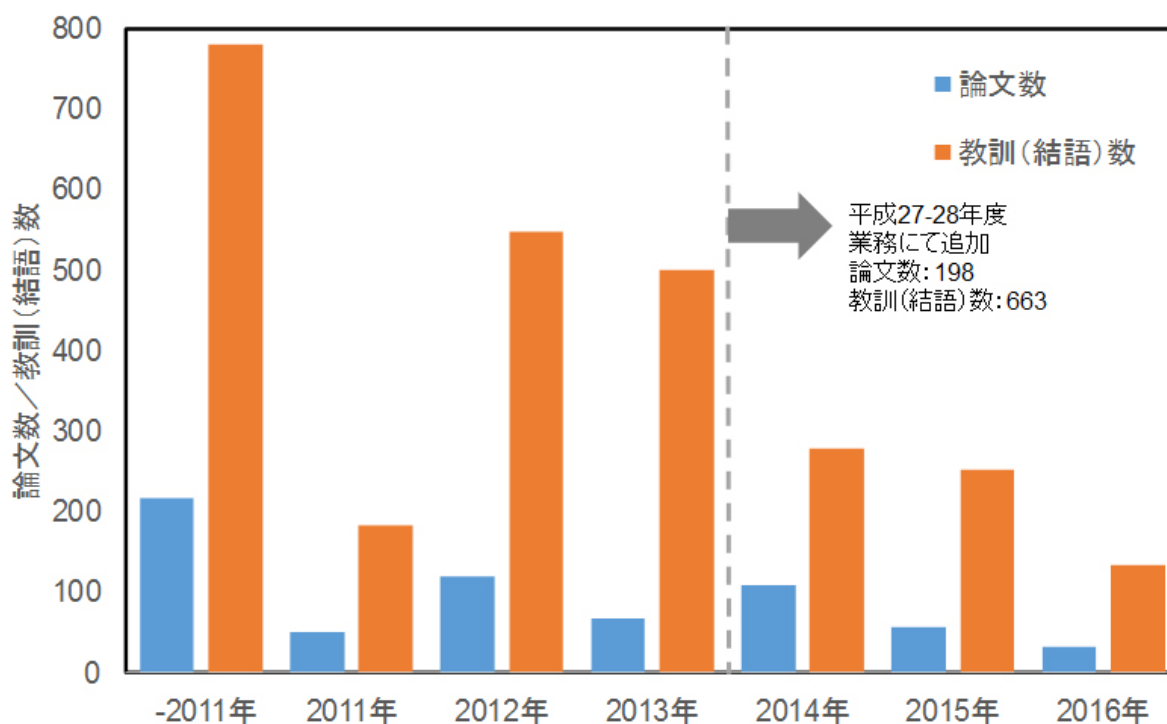


図 3-1-①-4 「震災教訓文献データベース」に登録した文献・教訓(結語)の数

表 3-1-①-1 に、平成 28 年度の業務において改めたキーワード(統制語彙)の体系と、それに対応する教訓(結語)の数を示す。東日本大震災の発生から 5 年以上が経過し、震災発生当初多かった「(津波)避難行動」のほか、「生活再建」「被災者支援」「コミュニティ」といった、復旧・復興期の被災者対応に関するキーワードが概要する教訓が増えている。

表 3-1-①-1 「震災教訓文献データベース」に再付与されたキーワードとそれに対応する教訓（結語）の数

No. キーワード	教訓数	No. キーワード	教訓数	No. キーワード	教訓数
1 生活再建	254	35 交通	34	69 みなし仮設	9
2 避難行動	231	36 防災訓練	34	70 安否確認	9
3 被災者支援	223	37 災害福祉	32	71 栄養・食生活支援	9
4 コミュニティ	137	38 防災体制	32	72 農林業	9
5 情報提供	134	39 防災計画	29	73 災害公営住宅	8
6 地震動	134	40 インフラ	28	74 斜面崩壊	8
7 避難所	124	41 要配慮者支援	28	75 地震	8
8 津波	108	42 原発対応	26	76 雇用対策	7
9 情報共有	104	43 男女共同参画	25	77 見守り支援	6
10 災害情報	100	44 防災施設	24	78 車避難	6
11 情報収集	100	45 災害伝承	23	79 震源	6
12 経済支援	97	46 人口	23	80 応急危険度判定	5
13 まちづくり	91	47 液状化	22	81 漁業	5
14 建物被害	86	48 帰宅困難者	21	82 生活再建支援	5
15 災害対応業務	85	49 災害対策本部	21	83 地域防災計画	5
16 住宅再建	83	50 リスクマネジメント	20	84 備蓄	5
17 人的資源	73	51 ハザードマップ	18	85 子ども・子育て支援	4
18 災害医療	72	52 都市計画	18	86 事業継続計画（BCP）	4
19 ライフライン	70	53 衛星画像	17	87 被災地支援	4
20 地域連携	69	54 国際連携	16	88 災害廃棄物処理	3
21 復興計画	63	55 復興財源	16	89 住宅被害	3
22 耐震化	62	56 復興支援員	16	90 風評被害	3
23 人的被害	56	57 CSR	15	91 リスクアセスメント	2
24 消防	54	58 地盤	15	92 支援体制	2
25 ボランティア	50	59 救命・救助	14	93 水産業	2
26 応急仮設住宅	47	60 こころのケア	13	94 地震被害	2
27 社会福祉施設	46	61 物的支援	13	95 地震保険	2
28 災害法制	45	62 集合住宅	12	96 遺体処理	1
29 受援	42	63 人的支援	12	97 火災対策	1
30 集団移転	41	64 防潮堤	11	98 産業	1
31 防災教育	41	65 健康被害	10	99 地震火災	1
32 広域連携体制	38	66 浸水被害	10	100 地図作成	1
33 シミュレーション	35	67 防火対策	10	101 防災行政無線	1
34 被災証明書	34	68 ICT	9	102 防犯	1

3) 「3.11 からの学びデータベース」と「震災教訓文献データベース」のユーザー評価調査

平成 28 年度は、理論データベースに対して、実際の利用を通じたユーザー評価調査をおこなった。平成 27 年度には、一部の行政職員からのインタビュー調査によって、定性的な利用評価の調査したことに留まっていたため、平成 28 年度は、一定数のユーザーを対象に、実際に利用してもらい、その評価を質問紙調査によって行い、定量的な利用評価の調査を行った。

対象となる理論データベースは、「3.11 からの学びデータベース－IRIDeS から発信する東日本大震災の教訓空間－」（図 3-1-①-5）と「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2つである。後者は、前述したもので、文部科学省・南海トラフ地震防災研究プロジェクトの中で開発したものである。前者は、「科学研究費 基盤研究(S) 「国難」となる最悪の被災シナリオと減災対策」において開発したものである。ここに登録・公開されている各「教訓」は、東北大学災害科学国際研究所の教員が、学術論文などの出典とともに、なるべく平易にわかりやすく解説を行った。2017年3月現在、同データベースには、140件の「教訓」が登録されている（Sato・Imamura, 2016）。



図3-1-①-5 「3.11からの学びデータベース」のトップ画面

表3-1-①-2に、「教訓」に関する2つのデータベースの特徴を示す。「3.11からの学びデータベース」は、研究者とキュレーター（データベース管理者）が、「教訓」の一つ一つを編集して掲載している。そのため、多くの「教訓」をアップロードすることはできない。他方、「震災文献教訓データベース」は、発行されている学術論文や報告書の結語部分を機械的に抽出・整理して、大量の「教訓」を掲載するものである。一方で、一つ一つを機会的に処理するため内容に重複があるものもある。このように、2つのデータベースは、質と量の面の特徴を相互に補完している。「震災教訓文献データベース」のみならず、「3.11からの学びデータベース」も、3層アーカイブモデル概念における「理論データベース」に位置付けられることから、ユーザー利用評価の対象とした。

表 3-1-①-2 「3.11 からの学びデータベース」と「震災教訓文献データベース」の特徴

	対象となる 災害	情報源	質	量
3.11 からの 学びデータベー ス	東日本大震災	研究者によ る登録	○	△
			研究者とキュレーターによ って一つずつ編集	
震災教訓文献 データベース	東日本大震 災、明治・昭 和三陸地震津 波、阪神・淡 路大震災、中 越地震、中越 沖地震	公開されて いる学術論 文・報告書 (結語部分)	△	○
			大量の論文・報告書を機械 的に整理	

ユーザー利用調査は、インターネットモニター調査（株式会社サーベイリサーチセンター）によって行った。調査項目は、1) 全体的な感想、2) 操作性に対する評価、3) 機能に対する評価であり、併せて性別・年齢・居住地・職業も問うている。調査においては、「モニター（ユーザー）が実際にシステムを操作した」上で、評価を行ってもらうために、回答フォームの冒頭で 1) 一定の操作に関する教示を行い、そこに表示される内容について回答を求める問（2問、選択形式、正答選択肢はランダム）を用意したほか、2) 5分程度の利用をお願いする教示を行ったうえで、実際の評価に関する設問に回答してもらった。1) で誤答したモニターは、サンプル対象外とし、2つのデータベースから、それぞれ 200名ずつ（別モニター）から回答を得た。

図 3-1-①-6 に全体的な感想、図 3-1-①-7 に操作性に対する評価、操作性については、図 3-1-①-8 に機能に対する評価の結果を示す。いずれも上側が「3.11 からの学びデータベース」、下側が「震災教訓文献データベース」のユーザー評価結果である。「とてもそう思う」「まあまあそう思う」を合わせた回答を、ポジティブな評価と称する。操作性については 4～6割、機能については 5～6割と多くのユーザーがポジティブな評価を示している。特に、「震災教訓データベース」では、『「災害名」で検索できる」ところは、85%ものユーザーが良い評価を示している。一方で、全体的な感想として問うた、「興味・関心をもって操作した」「自分が知りたいと思ったことを知ることができた」「もっと使ってみたい」「分かりやすい内容であった」「同僚・知人などの利用を勧めたい」は、3～4割のポジティブ評価に留まった。

以上の結果より、操作性や機能については高い評価を得られたものの、内容への関心や利用意欲には、やや課題が残ることが明らかになった。次年度以降は、これらの問題を解決するとともに、人材育成の研修プログラムとしての昇華を試みていく。

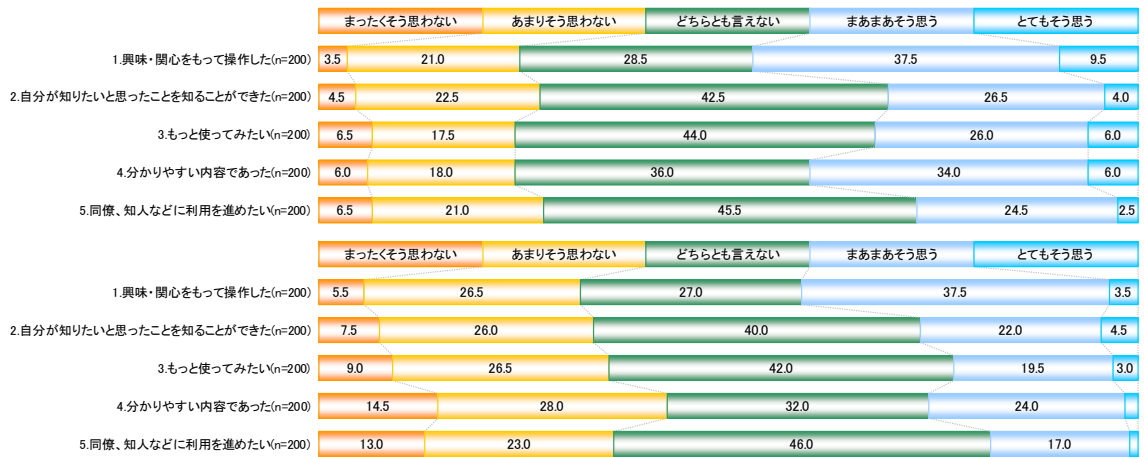


図 3-1-1-①-6 全体的な感想（上側：「3.11からの学びデータベース」、下側：「震災教訓文献データベース」）

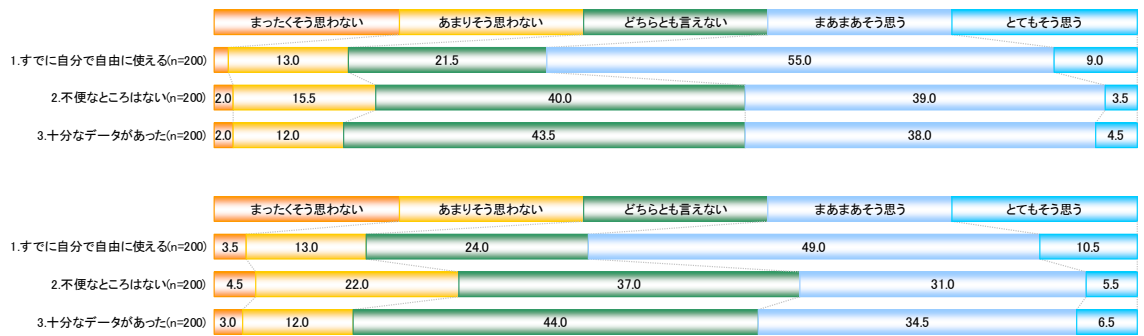


図 3-1-1-①-7 操作性に対する評価（上側：「3.11からの学びデータベース」、下側：「震災教訓文献データベース」）

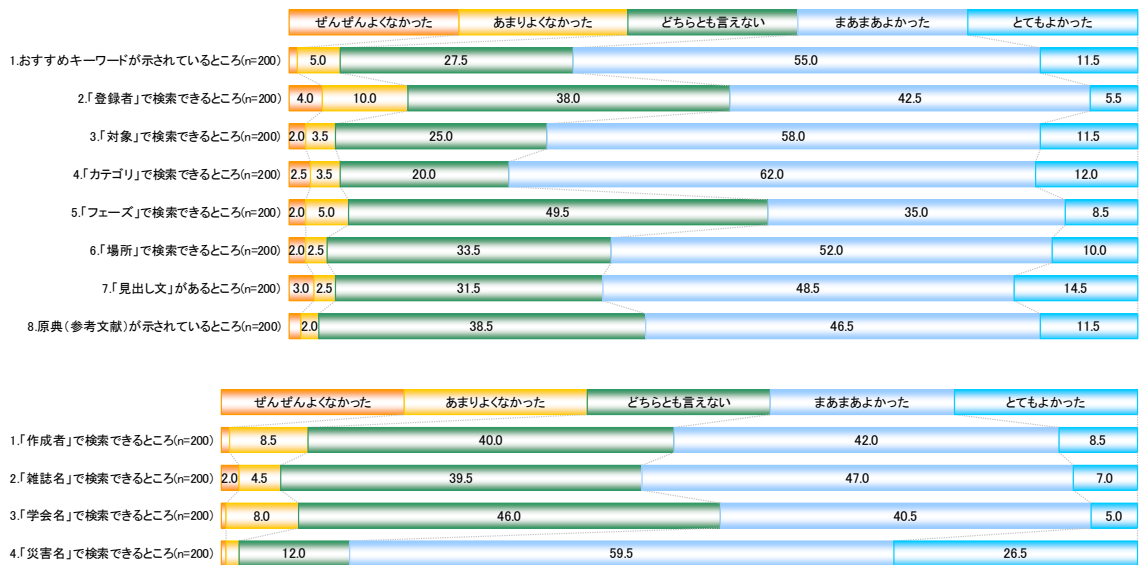


図 3-1-1-①-8 機能に対する評価（上側：「3.11からの学びデータベース」、下側：「震災教訓文献データベース」）

3) 「動画でふりかえる 3.11」の公開（映像資料への位置情報の付与）

平成 28 年度は、平成 27 年度までに仮実装した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「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」の本実装と公開を行った。本システムは、一般の人が当時の様子を動画情報でふりかえり、どこの場所でどのような被害があったのか、被災の状況をイメージしながら津波およびその被害に対する正しい知識や認識を持って、避難行動等を検討するためのツールとして構築した。

本システムでは、東日本大震災の津波に関する情報に特化し、インターネット上（YouTube）で公開されている映像・動画を地図上で検索することができる。現在、YouTube 上に公開されている動画には、位置情報が入っているものはごくわずかしかない。そこで、インターネット上（YouTube）で公開されているすべての動画を目視で確認し、映像に写っている地物を参考に「撮影された場所（位置情報）」を一つずつ探し、同定する作業を行い、各映像に位置情報を付与して、地図上に表示した。

現在、本システムには、1,369 件の「映像・動画」をリンクしている。このうち、元から位置情報が入っているものは数十件で、これ以外は改めて位置を同定したものになる。このうち、位置を正確に、もしくは概ね正確に同定できているものは、あわせて 973 件で全体の 75.8%となった。図 3-1-①-9 に「動画でふりかえる 3.11」のトップページ画面、図 3-1-①-10 に「動画でふりかえる 3.11」の検索結果詳細画面、図 3-1-①-11 に「動画でふりかえる 3.11」の検索結果の詳細画面を示す。

本システムでは、「映像」を地図上に配置、時系列により 3 色に色分けして表示しており、バルーンをクリックするとウェブサイト上で簡単に動画を見ることができる。その他、フリーキーワードを入力して検索する方法、タグクラウドからキーワードを選択して検索する方法の 3 通りの検索方法があり、目的にあった使い方ができる。



図3-1-①-9 「動画でふりかえる3.11」のトップページ画面



図3-1-①-10 「動画でふりかえる3.11」の検索結果詳細画面

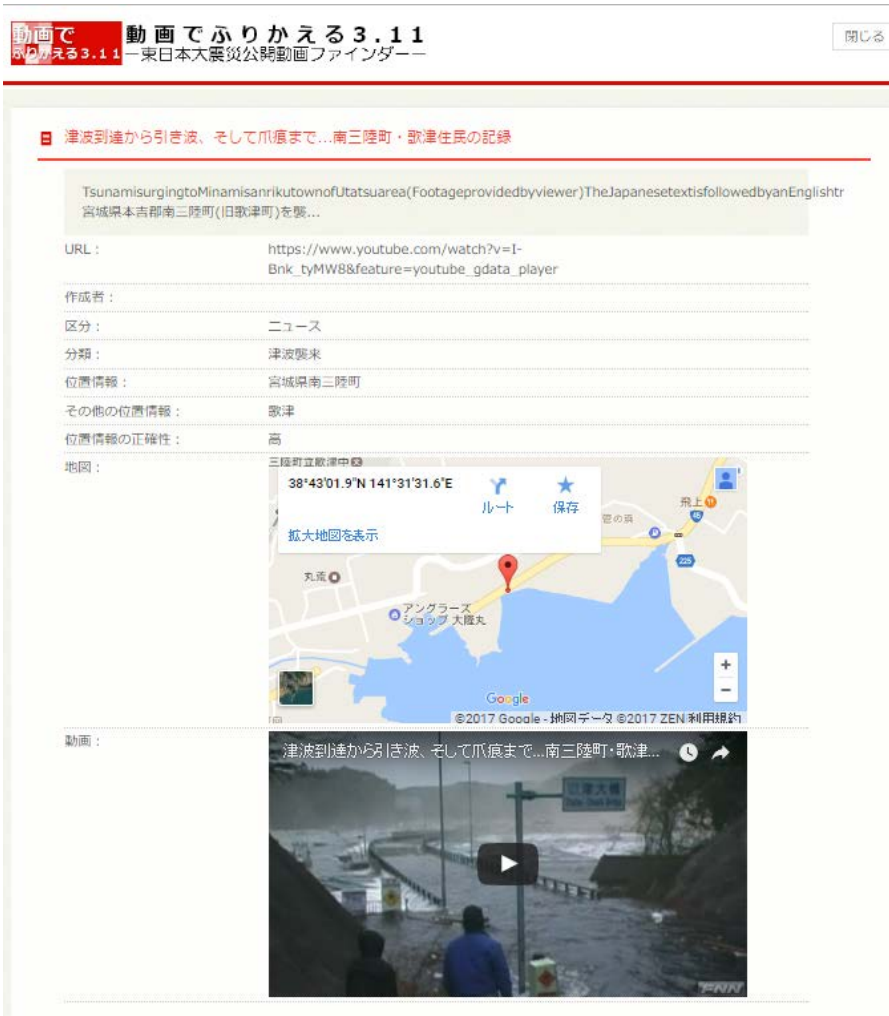


図 3-1-①-11 「動画でふりかえる 3.11」の検索結果の詳細画面

図 3-1-①-12 に「動画でふりかえる 3.11」のアクセス件数の時系列変化を示した。システムの公開は、平成 29 年 2 月 10 日（金）であり、土日にかけて 4～5 万件のアクセスがあった。2 月 12 日（月）は、週末にかけてアクセスが集中したため、一時的にシステムがダウンする事態となり、システムを再起動して運用した。その後も新聞、ラジオ、ネットニュース等による報道や Twitter で投稿されるなどの影響を受けて、アクセスが集中し、2 月 26 日（日）もシステムが一時的に停止した。翌 27 日（月）にシステムの改良を行い、現在は安定的に稼働している。図 3-1-①-12 は前半と、後半の 3 月 10 日（金）～12 日（日）では縦軸のオーダーが 1 桁異なる。東日本大震災の発生から 6 年経過することと、インターネット上で同システムが集中的に紹介されたことを受けて、大幅にアクセス件数が増加した。それまで、2 月 22 日（水）に 67,601 件が最も多かったのに対して、3 月 11 日（土）には、その約 10 倍となる 676,364 件のアクセスがあった。3 月 12 日現在で、累計 1,673,766 件ものアクセスが確認されている。同サイトへの高い関心と利用頻度が確認され、今後は、同システムによる利用モデルや効果について検証を進めていく。

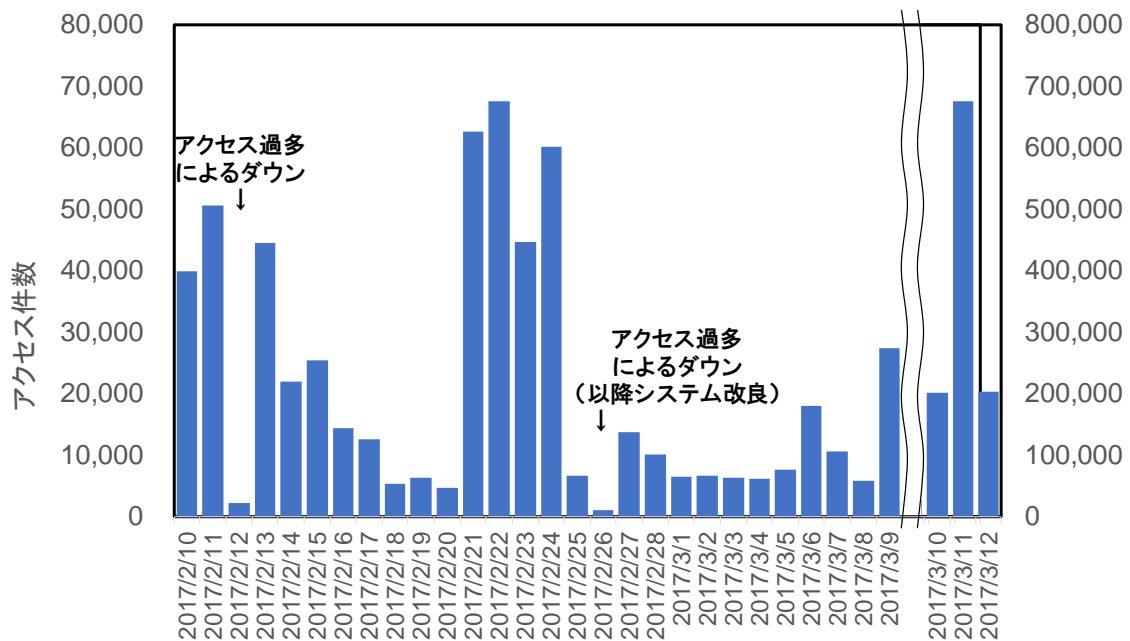


図 3 - 1 - ① - 12 「動画でふりかえる 3.11」のアクセス件数の時系列

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 28 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を収集、被災地の現状と復旧・復興過程を把握した。具体的には、特に復興計画の策定と同時に行われる復興初動期の建築制限の各自治体における運用実態について調査・分析することで、復旧・復興過程の一端を明らかにした。

詳細は以下の通りである。

復興初動期の建築制限としては、建築基準法 84 条に基づく建築規制（以下、「84 条建築制限区域」）と被災市街地復興推進地域指定がある。

このうち、84 条建築制限区域は「市街地に災害のあった場合において都市計画又は土地区画整理法による土地区画整理事業のため必要がある」と認められる場合に特定行政庁が建築制限区域を指定し、発災日から 1 ヶ月間を（期限の延長を行った場合はそれに加えてさらに 1 ヶ月間を）期限として建築の制限、又は禁止ができる制度である。建築制限の内容としては工事作業上や公益上の必要な仮設建築物を許可の要件としているほか、支障がないと特定行政庁が認めた建築物に限って建築が認められる。

また、被災市街地復興推進地域は、被災市街地復興特別措置法に基づき、土地区画整理事業や市街地再開発事業等の各種都市計画に関する事業を実施する必要がある都市計画区域内の区域において発災後最大 2 年間の建築制限が可能になる制度である。規制内容は、概ね通常の都市計画施設等の区域内における建築規制（都市計画法 53 条、54 条）と同等である。

84 条建築制限区域については、気仙沼市、南三陸町、女川町、石巻市、東松島市、名取市、山元町の 4 市 3 町が最大で 2125.4ha の区域を設定し、建築の制限を行った。指定区域の時間的変遷について（図 3 - 1 - ① - 13）、平成 23 年 3 月 11 日の発災後、4 月 8 日に 7 市町のうち、まず山元町を除く 6 市町が 1818.2ha に対して 84 条建築制

限区域の指定を行った。本来であれば、2ヶ月の制限期間の後に都市計画決定を経て、5月11日までに被災市街地復興推進地区を指定するところであるが、被害が深刻であったことから特例法が制定され、84条建築制限の期限が最大発災後8ヶ月まで延長された。この間に、石巻市では区域の追加指定が行われ、気仙沼市や女川町では逆に指定区域の縮小が行われた。最終的に2125.4haの区域指定のうち約58%に当たる1234.8haが被災市街地復興推進地域へと移行した。また、84条建築制限区域のうち約61%に相当する1298.5haが災害危険区域に指定されており、東日本大震災被災地における復興まちづくりが移転及び土地利用の転換型であることが顕著にあらわれたと言える。さらに当該区域での平成28年12月現在における面的整備事業区域面積は、土地区画整理事業が697.9ha、津波復興拠点整備事業が57.7haであり、その他の公園整備や水産加工施設等集積地盤整備事業などは48.5haとなっている。これらを合計すると面的整備がなされた土地面積は804.1haであり、これは84条建築制限区域指定面積の約38%であった。

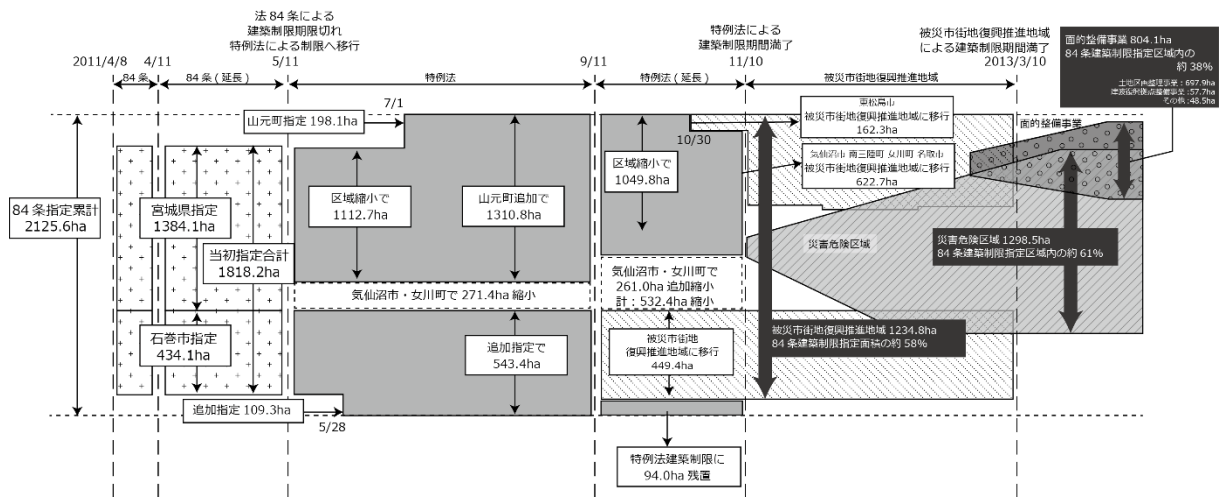


図3-1-①-13 84条建築制限区域の変遷

84条建築制限区域指定に関して、市町に対する指定の背景に関する電話・メールによる担当者へのアンケート調査を行った（表3-1-①-4）。

建築制限を導入した背景として、従後の復興事業の妨げとなる建築行為を防ぐために建築制限導入の判断を行ったといった回答が共通しており、制度趣旨に合致した導入の判断が行われたと言える。

一方で、当該建築制限を導入しなかった自治体からは、復興の方針が定まらない中で土地区画整理の事業区域を絞りこむことは難しいといった意見や、行政が住民との合意もなく一方的に計画を立て建築制限を行うことが適切ではないという意見も見られた。84条建築制限導入自治体においても、区域指定については、被災直後の状況下で市街地の復興について新たに詳細な検討を行うことは時間やマンパワーの不足から難しく、平時からの土地利用規制である用途地域に即して指定する自治体が多かった。

表 3 - 1 - ① - 4 各自治体の 84 条建築制限等の運用状況

	気仙沼市	女川町	石巻市	
			(旧石巻市)	(半島部)
都市計画区域	非線引き用途地域	非線引き用途地域	市街化区域	都市計画区域外
当初指定年月日	2011.4.8	2011.4.8	2011.4.8	2011.5.28
指定面積(最大)	543.4ha	273.6ha	449.4ha	94.0ha
区域変動有無	2回区域縮小	2回区域縮小	1回区域追加	変更なし
指定範囲特性	今後の見通しが立たない中で被害の大きかった都市計画区域内の地区を広くに指定。区域境界は津波による浸水区域を基準として一部等高線やJR線を考慮し指定 その後面整備の見込めない地域(主に農地や住民の復旧が進む地域)を除外した	復興計画の策定も始まる前であり計画の範囲も不明なため、市街化区域全域に建築制限を指定した その後、津波被害を受けていない地区を小字単位で除外したり、官地で建築計画を検討している地区を建築制限解除した	大きな被害を受けた市街地の居住地域のうち、今後都市計画や土地区画整理事業などが必要となる地区を対象とした 具体的にはすでに街区整理が完了していく地区を除外し、字界、道路界、都市計画道路界などを考慮し区域境界を線引き	当該地区は合併前の旧町の中心的な市街地であり、市街地復興にあたり、現位置で再構築する手法として土地区画整理事業等を想定し、都市計画区域の指定を視野に入れた上で、建築制限の区域を指定
被災市街地復興推進地域指定	2回の縮小を経て残った建築制限区域に即して指定	2回の縮小を経て残った建築制限区域に加え、造成予定の高台を一部を指定した後に計画見直しにより区域変更	追加した渡波地区の部分も含め84条建築制限区域に即して復興推進地域を指定	指定なし
災害危険区域指定	建築条件型規制 縮小前:54.4% 縮小後:70.2%	建築条件規制型 縮小前:41.3% 縮小後:69.0%	全面禁止型 45.0%	全面禁止型 98.8%
面的整備事業化	150.7ha ほか低地ゾーン土地利用促進事業、松岩での検討中面整備	199.7ha	195.4ha	
都市計画区域	非線引き用途地域	市街化区域	市街化区域	用途地域なし 都市計画区域
当初指定年月日	2011.4.8	2011.4.8	2011.4.8	2011.7.1
指定面積(最大)	175.7ha	162.7ha	102.7ha	198.1ha
区域変動有無	変更なし	変更なし	変更なし	変更なし
指定範囲特性	用途地域全体を区域指定無秩序な建築行為を防ぐ上で早期に指定する必要があったので用地地域の色が塗られている地域に対して指定したのだと考えられる	大曲浜地区および野蒜地区の市街化区域指定範囲全体を指定 当初から39条による高台への防災集団移転が考えられたが計画策定前であり慎重な対応が必要であったため指定を行った	被害の大きかった飛び市街化区域である岡上地区を市街化区域に即して建築制限区域に指定 下増田土地区画区画整理事業地内は住民が従来の市街地のまま復旧する地区であったため除外	避難指示区域での立ち入り制限が解除された地区のうち建物が連担している部分に対して、復興事業の障害となるような建築活動を防ぐために導入した。JRの復旧の方向性など周辺状況も踏まえながら、土地区画整理事業も含めた復興手法を検討
被災市街地復興推進地域との関連	復興推進地域への移行時に復興事業の計画に基づき建築制限区域とは異なる範囲を指定後に区域変更	建築制限区域に即して指定その後、野蒜地区の高台部分を編入するため区域拡大	建築制限区域に即して指定その後、復興計画に合わせて内陸部分へ区域拡大	指定なし
災害危険区域指定率	全面禁止型 77.4%	ゾーン区分・建築条件型 86.6%	全面禁止型 61.6%	ゾーン区分・建築条件型規制 82.9%
面的整備事業化	90.3ha 一部区域外の整備も含む	51.2ha (大曲浜地区のみ、野蒜の高台団地を含みます)	115.1ha	

84 条建築制限区域の導入の前提は都市計画又は土地区画整理事業の必要が認められることという要件があり、地方の中小規模の自治体においては、事業の計画の経験が乏しく、なおかつ被災直後の混乱した中であっては建築制限導入への技術的難易度が高いと考えられ、これらの点から規制の実施を見送る事例も見られた。一方で規制を実施した自治体では、いったん画一的に用途地域全体を指定したり、浸水区域全体を指定したりする事例が見られた。このような区域指定の場合には、計画的必要性の有無が明らかになった段階で、指定区域を見直し・縮小し、面整備事業実施が見込めない地域を除外していくという運用が行われている（例えば気仙沼市について図 3 - 1 - ① - 14）。

また、84 条建築制限区域から直接災害危険区域の指定へと移行した場合も、低い割合で見られる。災害危険区域の指定を行うためには、津波シミュレーションが必

要とされた場合もあり、一定の時間を要した。そのため、その移行までの現状土地利用凍結のための建築規制として、84条建築制限が活用されたといえる。



図3-1-①-14 気仙沼市における建築制限区域の指定変遷

(c) 結論ならびに今後の課題

「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して開発した「震災教訓文献データベース」と「3.11

からの学びデータベース」の改良を行い、モニターを対象にしたユーザー利用評価調査によって操作性や機能について概ね良好な結果が得られたとともに、「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」を公開し、全国から多数の利用実績が得られた。一方で、理論データベースにおいては、これらのデータベースを利用する意欲を醸成し、利用者への防災教育効果があるかなどは明らかになっていない。今後はこれらの個別のデータベースを利用した人材育成のための研修プログラムを検討していく必要がある。

復興計画の策定及び実施に際して必要となる建築制限の運用実態についても明らかにした。まず、84 条建築制限区域は、面的整備事業の実施前の段階における建築規制としての運用が意図されたが、その区域指定にはさまざまな困難が見られた。その中で、事前の準備や指定後の柔軟な見直しの必要性が明らかになった。

また、84 条建築制限区域は、従来のような面的整備事業等を行うための準備段階としての運用のみならず、災害リスクを有する区域における建築規制（災害危険区域指定）の準備的手段としても用いられたことが明らかになった。この点は、従来の法制度の枠組みを超えるものであり、このような運用を今後も認める場合には、制度改正が求められるといえる。

(d) 引用文献

Sato, S. and F. Imamura, An Attempt of Extraction and Sharing Lessons Learned from Experiences of the 2011 Great East Japan Earthquake Disaster Based on Viewpoints of Experts on Disaster Science: 3.11 Lessons Learned Web Database System, Journal of Disaster Research, Vol. 11, No. 5, pp. 881-888, 2016.

三重県防災対策部（2014）, 「誰が何に困ったのかリスト」, 三重県新地震・津波対策行動計画・資料, <http://www.pref.mie.lg.jp/D1BOUSAI/84149007964.htm>, 2014

文部科学省研究開発局・独立行政法人海洋研究開発機構, 南海トラフ広域地震防災プロジェクト, 平成 25 年度成果報告書, 410p, 2014.

②震源域情報

(a) 業務の要約

これまで平成 23 年の東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波による甚大な被害を踏まえ、このような甚大な被害をもたらす震源や構造に関する知見を収集してきた。昨年度は気象庁一元化震源情報を収集し、地震後に震源が不活発になったところ、逆に活発になったところを抽出し、震源分布の帯状配列が東北地方の大きいスケールの地質構造に反映していること、その構造境界から放射状に震源の列が並ぶことを示した。三河地震をはじめ、海溝型地震の発生で応力が解放された後に、内陸型の地震が発生することは過去にも例があるが、将来南海トラフ域で M9 クラスの地震が発生した場合にも、このような構造境界に沿って内陸地震や群発地震が発生する可能性がある。一方で、海域には陸上と比較できる震源情報は多くない。Shinohara et al. (2012)

は大学や調査機関の海底地震計を用いて集中的に余震観測を実施し、海域に発生している余震の震源位置を精度よく決定し、地殻活動の実態にせまった。但し、地震前にはデータが分布しているのは宮城沖の限定された範囲であったため、陸上観測点による震源分布の時空間変化と同じ議論は難しい。そこで、本プロジェクトが立ち上がったから、震源とともに海域の構造に関する情報を収集し、データの蓄積が進んだ直後に被害分布と収集した構造的特徴との関係を抽出することにしたい。

(b) 業務の実施方法

震源の情報は、気象庁や防災科学技術研究所で継続的に収集されている。今年度は、これらの震源情報に加えて海域の構造的特徴を収集した。平成 23 年の東北地方太平洋沖地震津波のケースでは、局所的に大きなすべりがあることが知られている（例えば Fujii et al., 2011）。Tappin et al. (2014) は、地すべりにその大きなすべりの原因があると議論したが、最近の海底地形調査からはそのような変位がなかったことがわかっている。このような局所的な大きなすべりはプレート境界の特性によるものであれば、堆積物分布の厚さが要因として考えられるかもしれない。Takahashi et al. (2000) は海底地震計データを用いてプレート境界からの反射波を同定し、プレート境界の構造上の低速度層の厚さを議論した。この解析では厚さの空間分布の不均質性を議論することは難しいが、100 メートルオーダーの厚さであることが示唆されている。沈み込む太平洋プレート上には、小さい火山が比較的密に分布している福島沖やそうではない岩手沖など地形と堆積物の厚さ分布の違いがあり、それがプレート間のカップリングに影響を及ぼすかもしれない。そのため、今年度は、JAMSTEC が高密度な測線間隔で継続的に行っている高精度マルチチャンネル反射法探査データを収集し、海域の地質構造の特徴の地域ごととの違いを整理することとした。

(c) 業務の成果

近年、JAMSTEC では日本海溝周辺域での高精度マルチチャンネル反射法探査データの取得をすすめている。これらのデータから、プレート境界のみならず、沈み込む海洋性地殻内に発達する沈み込みに伴って発達する正断層をマッピングすることが目的である。これらの正断層は、1933 年三陸地震の震源断層になり、甚大な津波被害をもたらしたことが知られている。このようリスクを評価するために上記の反射法探査が実施されている。本プロジェクトでのデータベース化は、これらの成果を取り込むことで空間的な断層密度や断層の走向方向の情報を得て、南海トラフでの比較検証の評価の一助にすることである。これらのデータはまだ処理の途上であり、これからの成果を待つ必要があるが、現状で取り込める情報を取り込んだ。

図 3-1-②-1 から図 3-1-②-3 は、これらの日本海溝を横断する方向で取得された高精度マルチチャンネル反射法探査データの一部である。図 3-1-②-1 は宮城南部沖（北緯 37 度 50 分付近）、図 3-1-②-2 は福島中部沖（北緯 37 度 20 分付近）、図 3-1-②-3 は福島南部沖（北緯 36 度 50 分付近）で取得された時間断面である。それぞれ海底から 0.3-0.8 秒下に明瞭な反射面を確認することができる。この

反射面は、ところどころにはっきりとした段差を持つことが分かる。これらの段差が沈み込みに伴って発達する正断層である。この段差をみると、大小さまざまな断層が発達しており、今後、これらの断層の深部イメージングを得て、主断層の判断が必要になるだろう。ここでは、海底から反射面までの間の堆積層に着目する。この反射面は海溝軸から西側（図上の左側）で緩やかに下方に下がっているように見えるが、これがいわゆる巨大地震を発生させるプレート境界に相当する。海溝軸から西側の大陸斜面には、それぞれ西側に高角に傾斜する断層面が確認できる。これがプレート境界から分岐する分岐断層で、高角であるために高い津波を発生させる可能性がある。この分岐断層のマッピングも今後必要になる。宮城南部沖では、この分岐断層が複数条確認できる。福島中部沖でも同じような分岐断層を確認できるが、プレート境界の反射面から低角に海溝軸近辺に露出する断層もあるようである。福島南部沖では、海溝軸近辺ではむしろ付加体が部分的に発生するように見える。これらの特徴を広域にマッピングすることで、全体のリスク評価につなげることができる。図3-1-②-4には、海底からこの反射面までの堆積層の厚さをマッピングした結果を示す。Fuji et al. (2011) によれば、すべりの最も大きいところは北緯 30.0-38.5 の間であり、ここでは 250-300msec の堆積層厚がある場所に相当する。岩手県南部沖や福島県北部沖の海溝軸では、相対的に薄い堆積層厚が分布している。今後、このような理学的知見を増やして、様々な要素から関係性を抽出する研究の土台の一部にしたい。

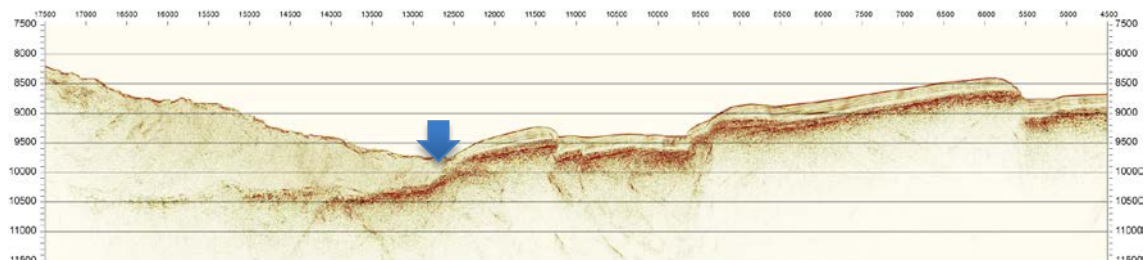


図3-1-②-1 宮城南部沖の反射法探査の時間断面例。矢印は海溝軸。

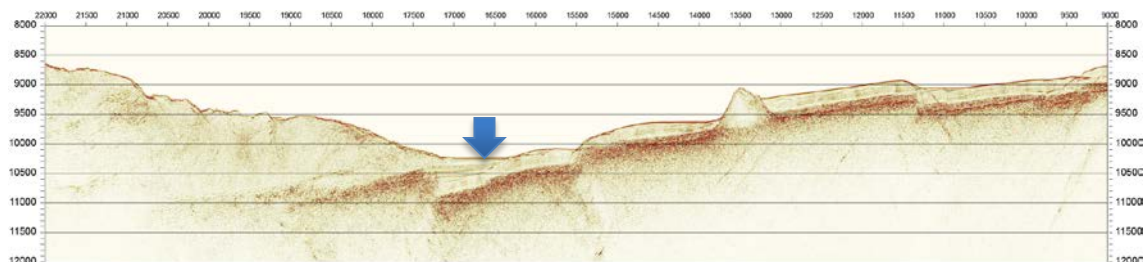


図3-1-②-2 福島県中部沖の反射法探査の時間断面例。矢印は海溝軸。

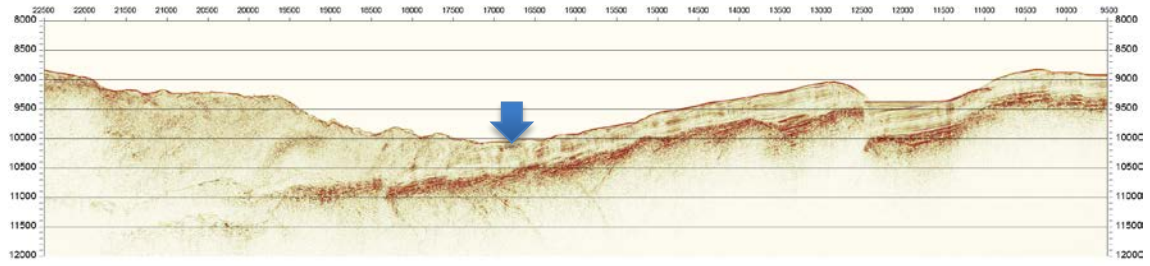


図 3 - 1 - ② - 3 福島県南部沖の反射法探査の時間断面例。矢印は海溝軸。

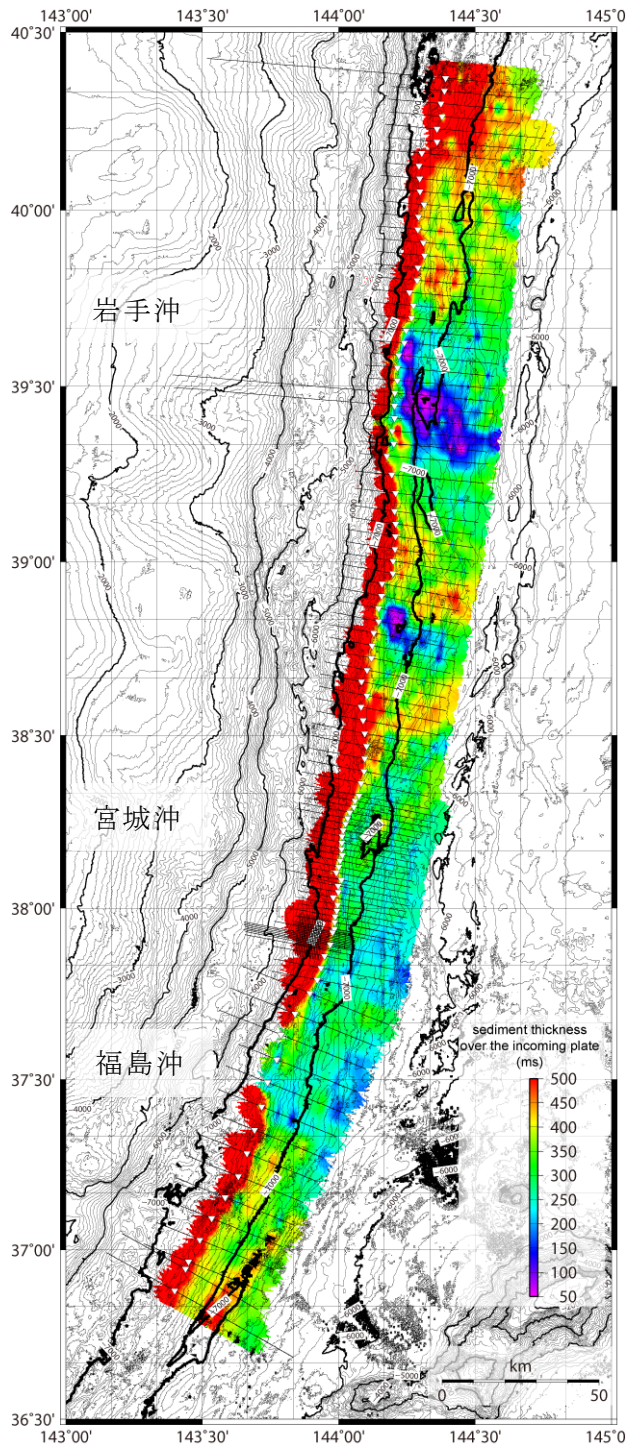


図 3 - 1 - ② - 4 日本海溝域の堆積層の厚さ分布。白三角が海溝軸の位置を示す。

(d) 結論ならびに今後の課題

今年度は海域のデータの収集を行った。JAMSTEC で実施している高精度マルチチャンネル反射法探査の時間断面を収集し、それらのデータによる日本海溝域の堆積層の厚さ分布を得た。これによると、岩手県南部沖や福島県北部沖の海溝軸では、相対的に薄い堆積層厚が分布していることが示されている。

(e) 引用文献

Fujii, Y., K. Satake, S. Sakai, M. Shinohara, T. Kanazawa, Tsunami source of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets Space*, 63, 815–820, 2011.

Shinohara, M., Y. Machida, T. Yamada, K. Nakahigashi, T. Shinbo, K. Mochizuki, Y. Murai, R. Hino, Y. Ito, T. Sato, H. Shiobara, K. Uehira, H. Yakiwara, K. Obana, N. Takahashi, S. Kodaira, K. Hirata, H. Tsushima and T. Iwasaki, Precise aftershock distribution of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake revealed by an ocean-bottom seismometer network, *Earth Planets Space*, 64, 1137-1148, 2012.

Takahashi, N., S. Kodaira, T. Tsuru, J-O. Park, Y. Kaneda, H. Kinoshita, S. Abe, M. Nishino, R. Hino, Detailed plate boundary structure off northeast Japan coast, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 13, 1977-1980, 2000.

Tappin, D. R., S. T. Grilli, J. C. Harris, R. J. Geller, T. Masterlark, J. T. Kirby, F. Shi, G. Ma, K.K.S. Thingbaijam, P. M. Mai, Did a submarine landslide contribute to the 2011 Tohoku tsunami?, *Marine Geology*, 357, 344–361, 2014.

③復興

(a) 業務の要約

大規模災害により被災した市街地の復興を「復興モニタリングシステム」を通じて、定点観測により、アーカイブ化することを引き続き行っている。本年度は、陸前高田市の定点カメラが設置されている場所の解体により、新たな場所を設け、定点カメラの設置場所を移転した。また、阪神淡路大震災における長田区のモニタリングカメラをウェブサイトに取り込み、各地域の復興プロセスをウェブ上で公開しつつ、管理・改良・運用を行った。

(b) 業務の実施方法

「復興モニタリングシステム」のホームページに、新たに阪神淡路大震災の被災地、長田区御蔵地区の復興モニタリングカメラを取り入れた（図 3 - 1 - ③ - 1）。



図 3 - 1 - ③ - 1 ウェブサイトに阪神淡路大震災のカメラを追加

本業務のモニタリングカメラの設置場所の現状と概要を表 3 - 1 - ③ - 1 に示す。

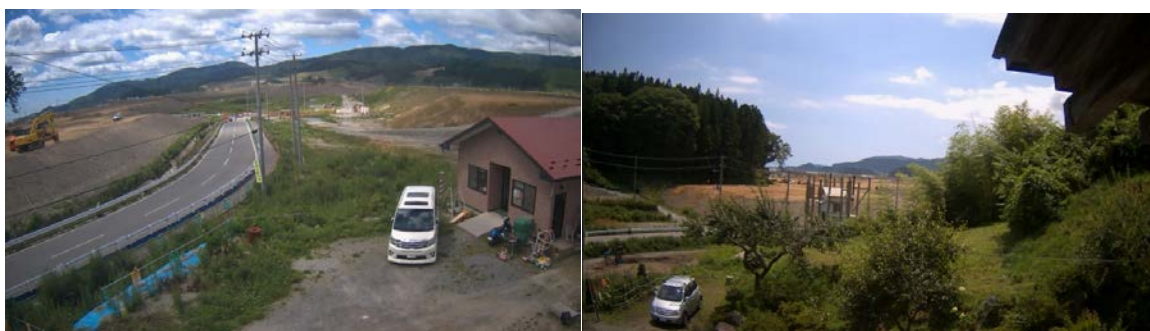
表 3 - 1 - ③ - 1

設置都市	設置先	設置台数	概要
大槌町	UR 都市機構大槌復興支援事務所	1	毎週火曜日：4時～16時 毎時撮影 その他：10～15時 毎時撮影
大槌町	大槌町町方復興CMrカメラ	2	7時30分～19時、30分おきに撮影
陸前高田市	みんなの家	1	土地のかさ上げ工事に伴い、2016年8月16日にみんなの家の解体が決まり、 2016年7月23日にカメラを移設 現在は、毎週火曜日：0時～23時 毎時撮影 その他：10～20時 毎時撮影
石巻	松川横町（東向き）	1	民家に設置 毎週火曜日：0時～23時 毎時撮影 その他：10、15、20時の2つの時間に撮影
	松川横町	1	民家に設置

	(西向き)		毎週火曜日：0時～23時 毎時撮影 その他：10、15、20時の2つの時間に撮影
	アイトピア 商店街	1	今後再開発するアイトピア商店街のにぎわいを街 燈から定点観測 毎週火曜日：0時～23時 毎時撮影 その他：10、15、20時 毎時撮影
神戸 市	長田区御蔵地区	2	毎日10時、14時に撮影

(c) 業務の成果

東日本大震災の復興状況を継続に記録しつつ、阪神淡路大震災の復興について、長田区御蔵地区における2つのカメラモニタリングをウェブサイトに取り込んだ。今後も、より多くの復興過程の変化を提供していく。また、陸前高田市に位置する「みんなの家」の平成28年8月16日の解体に伴い、モニタリングを継続するため、定点観測のカメラ移設を事前に検討し、平成28年7月23日にカメラを新しい場所へ移設し、継続にモニタリングを続けている。



移設前 (みんなの家)

移設後

図3-1-③-2 陸前高田市カメラの移設

(d) 結論ならびに今後の課題

復興モニタリングを開始して3年が経過、カメラが設置されている場所の解体により、モニタリングの終了ではなく、新たな場所へのカメラの移設を行うことにより、継続的に復興事業を記録することができた。

今後は、モニタリングによる復興事業の変化から、想定される南海トラフ地震の被災想定地における事前復興計画を検討する際に、地元住民を交え、復興事業に必要とする時間経過を理解してもらう説明会などに活用していく予定である。

(e) 引用文献

なし

④地震動

(a) 業務の要約

平成 25 年度および平成 26 年度に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できるように、平成 27 年度に引き続き、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完了した。

(b) 業務の成果

本業務において、昨年度までに自治体等の震度計における平成 23 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た。本年度は、平成 26 年度までにデータ収集、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、平成 27 年度にフォーマット整理およびデータベース化を実施した残りの自治体である、北海道、新潟県、青森県、秋田県、静岡県、山梨県、長野県、札幌市の 1 道 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。

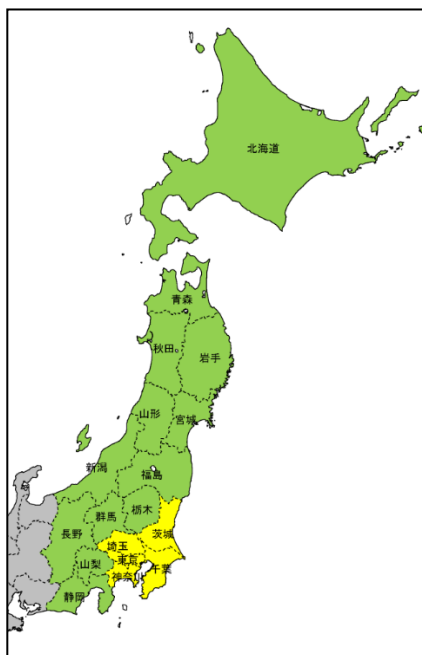


図 3-1-④-1 地震波形のデータベース化を実施した自治体範囲（緑色：自治体から直接収集（公開手続きが必要な自治体）、黄色：SK-net のデータを利用）

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、平成 27 年度と合わせ合計 1 道 12 県 2 市の全自治体等の関係各機関と調整・手続きを完了した。

(d) 引用文献

なし

⑤被害

(a) 業務の要約

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災における構造物の被害状況について、平成 25～27 年度においては本プロジェクトにおいて、1)ライフライン、2)建築構造物および 3)地盤・土構造物を取り上げて整理してきた。ここでは、その後に判明した重要と考えられる補足事項や被害の低減または抑止対策に関する記載事項などを整理した。具体的には次の通りである。

1) ライフラインの被害状況については、平成 25 年度の報告書（文部科学省研究開発局・独立行政法人海洋研究開発機構, 2014）で記載した電気と都市ガスに加えて、新たに上水道に着目した結果、浄水場やポンプ場等の水道施設・水道管の耐震性強化以外に、非常用電源燃料の備蓄増強、水源の多様化が継続的な水供給および早期給水の実現に重要であることを示した。

2) 建築構造物の被害状況については、平成 26 年度の報告書（文部科学省研究開発局・独立行政法人海洋研究開発機構, 2015）でまとめた各種構造や超高層建物に関する被害調査結果に加えて、戸建免震住宅の特徴的な応答に関する事例を示した。また建築構造物の強震観測について文献調査による傾向を示した。

3) 地盤・土構造物の被害状況については、平成 27 年度の報告書（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, 2016）に加えて、地盤の液状化に対する対策効果や、耐震・浸透対策を施していた河川堤防の耐震効果の検証事例を整理するとともに、地盤・土構造物の耐震対策における今後の課題について示した。

(b) 業務の実施方法

1) ライフラインについては、特に上水道における震災の被害状況・復旧および復興に関する学術論文や調査報告書などの文献調査（仙台市水道局 2012；名古屋大学 減災連携研究センター ライフライン地盤防災（東邦ガス）寄附研究部門, 2015；宮城県企業局, 2012）および仙台市水道局へのヒアリング調査結果に基づき、東日本大震災における被害状況を総括するとともに、復旧過程・復興等について概説する。

2) 建築構造物については、近年増加している戸建免震住宅の地震時の挙動について、文献調査（高橋・福和, 2013 など）に基づいて整理する。また建築構造物における強震観測の現状と東北地方太平洋沖地震における観測状況について、文献調査により整理する。

3)地盤・土構造物については、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、東日本大震災を踏まえた今後の河川堤防の耐震対策の進め方について報告など）、および学術雑誌（Soils and Foundations、Journal of JSCE、地盤工学ジャーナルなど）などから文献調査を行い、事前の対策効果について調査するとともに、対策の課題について整理する。

(c) 業務の成果

1) ライフライン（上水道）

a) 東日本大震災における仙台市の上水道の被害状況・復旧および復興

i) 仙台市上水道の概要

仙台市は、宮城県の中部に位置し、同県の県庁所在地であり、政令指定都市である。仙台市は、東北地方最大の都市であり、給水戸数は約45万戸である。自己水源で通常は賄えるが、水源の冗長性に配慮し、広域水道（宮城県仙南仙塩広域用水事業・9受水施設）からも受水している。浄水場9ヶ所は地形的特徴を活かし高台に設置することで、85%が自然流下となっている。

ii) 仙台市水道局における断水戸数

東日本大震災における仙台市の断水戸数は、停電、管路網の被害、宮城県広域水道ネットワークの送水管単線ラインでの大口径鋼管（口径2400mm）被害による受水停止（図3-1-⑤-1参照）等により、最大約23万戸の断水（断水率50%）が発生した。



図3-1-⑤-1 仙台市給水区域（仙台市水道局，2012に筆者加筆 ×印が送水管単線ラインでの大口径鋼管被害が生じた箇所）

iii) 仙台市水道局における送水・配水管の被害状況

仙台市の水道管（送水・配水・給水管、附属設備）の被害箇所数は、約1,060件

発生した。その内、給水管が 522 件と半数を占め、配水管 437 件、空気弁等の付属設備 105 件であった。基幹管路（口径 400mm 以上）の被害としては、口径 800mm の被害を始め、6 か所で管接合部の抜出し等の損傷が発生した。

図 3-1-⑤-2 は、仙台市における被害箇所分布である。被害の特徴としては、地震による宅地被害が多い地区（南光台・緑ヶ丘等）で、水道管でも多くの被害が見られた。全体の被害率の 0.12 件/km に対して、宅地被害が顕著な地区を含む配水ブロックでは 0.5 件/km～1.8 件/km の被害が発生した。

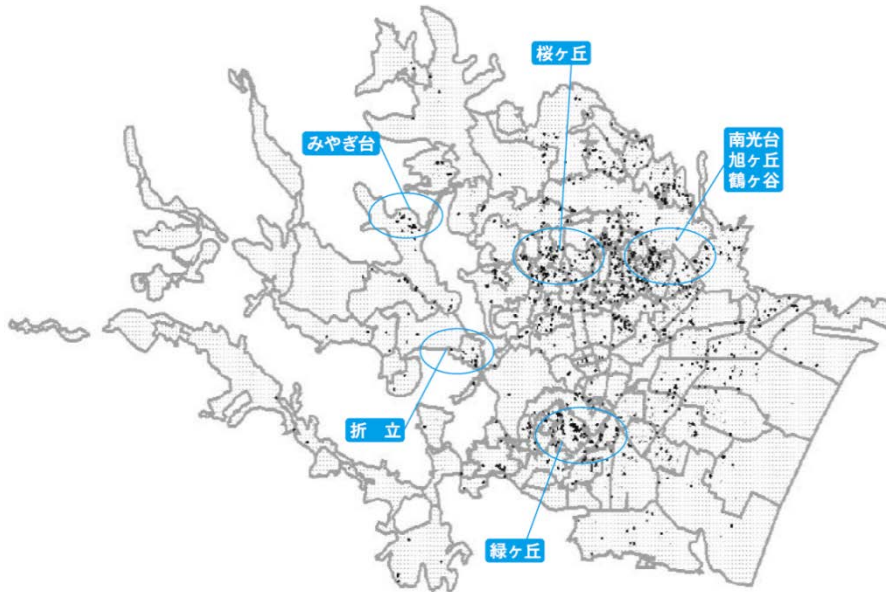


図 3-1-⑤-2 被害箇所分布状況（仙台市水道局，2012）

図 3-1-⑤-3 に、口径別被害発生状況および管種別被害発生状況を示す。口径別被害発生状況では、既往地震と発生傾向は同様で、小口径管で被害発生件数割合・被害率共に高い。管種別の被害発生状況としては、硬質塩化ビニル管（VP）が 68.0%を占めており、次に、ダクタイル鋳鉄管（DIP）が 26.8%となっており、この 2つの管種で全体の 94.8%を占めている。ダクタイル鋳鉄管の被害形態としては、接合部の抜出しが最も多く、次いで管の亀裂であった。なお、耐震継手のダクタイル鋳鉄管には被害は無かった。

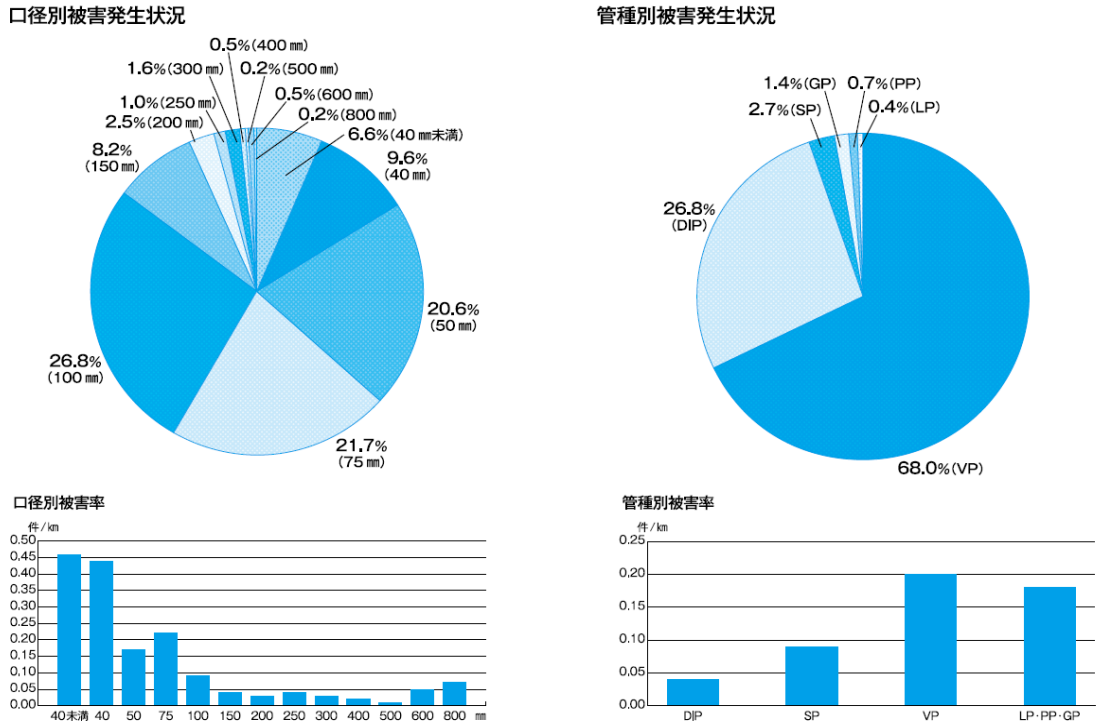


図 3-1-5-3 口径別被害発生状況・管種別被害発生状況(仙台市水道局, 2012)

図 3-1-5-4 は、過去の地震との被害率の比較である。東日本大震災の被害率と昭和 53 年に発生した宮城県沖地震の被害率とは、ほぼ同じで 0.1 件/km であった。また、他の地震における被害率との比較では、東日本大震災の被害率は小さいと言える。このことは、都市ガス管の地震動（液状化地盤での被害数を除く）による被害率も同じ傾向にあることを示す（総合資源エネルギー調査会・都市熱エネルギー部会ガス安全小委員会災害対策ワーキンググループ，2012）。

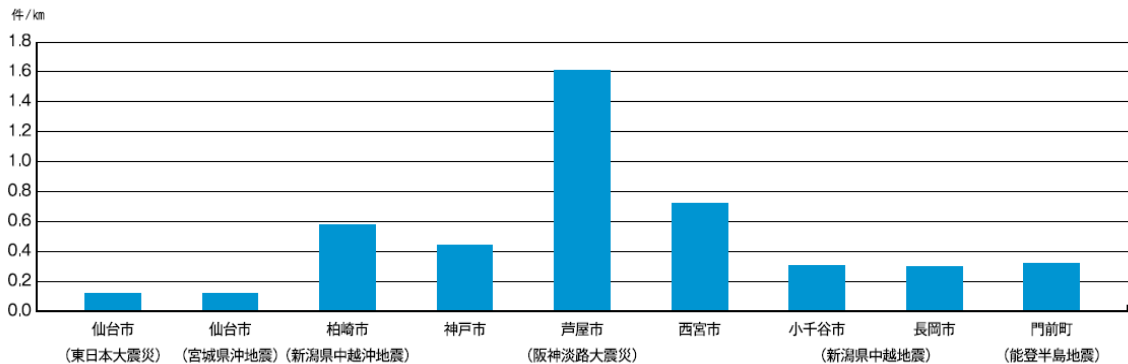


図 3-1-5-4 既往地震での各都市における被害率比較 (仙台市水道局, 2012)

iv) 復旧状況の概要

図 3-1-5-5 は、仙台市水道局の復旧状況の推移である。また、図 3-1-5-6 は、3月11日（発災直後）から3月29日（発災19日目）までの経時断水エリア状況図である。なお、図中の津波浸水による被害が甚大となった沿岸部は、復

旧の対象外としている。

発災直後は、津波浸水、揺れによる水道管被害等により、断水エリアが発生している。発災3日後に断水エリアが拡大しているのは、地震直後に発生した停電が原因である。停電に伴い、浄水場内の非常用発電機を稼働させて電力供給を継続していたが、非常用発電機用燃料が枯渇したために、送水機能が喪失してしまった。発災12日目、自己水源で供給しているエリアは、水道管の修繕に伴い水供給を再開している。広域水道で供給しているエリアは、図3-1-⑤-7に示す通り、広域水道が復旧していないため断水が継続している状況である。発災から19日後の3月29日には、広域水道も復旧し、津波浸水エリアを除いた全エリアで復旧が完了した。

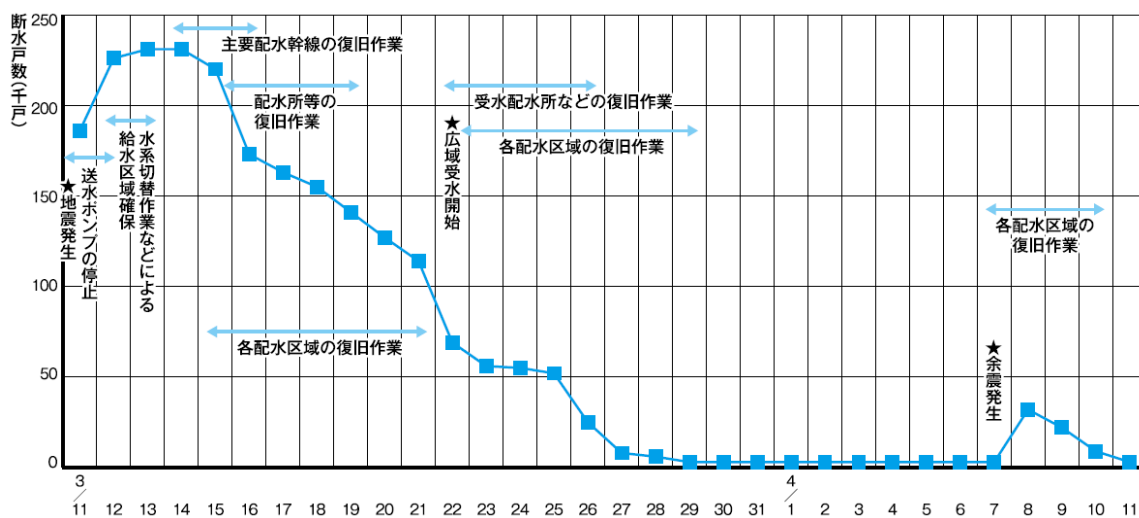


図3-1-⑤-5 仙台市水道の復旧状況の推移 (仙台市水道局, 2012)

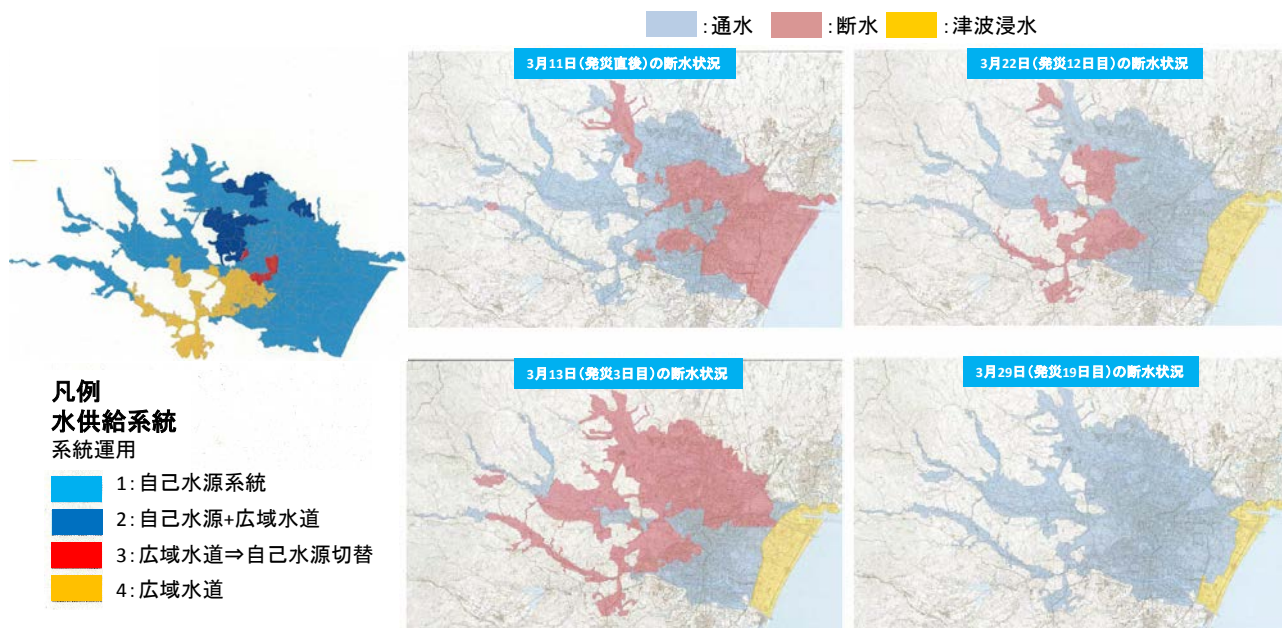


図3-1-⑤-6 断水状況 (仙台市水道局, 2012 ; 名古屋大学 減災連携研究)



図3-1-⑤-7 宮城県広域水道用水供給ネットワークの復旧過程
(宮城県企業局, 2012に筆者加筆)

v) 復興

東日本大震災では、浄水場の被害は軽微であり施設を稼働させて水供給を継続することは可能であったが、地震直後の停電および非常時電源燃料が24時間分の備蓄であったことから、断水エリアが拡大した。そのため、現在、停電対策として、非常用電源燃料の備蓄量増強に取り組んでいる。また、昨今自己水源を廃止する水道事業者が増加しているが、今回の地震で広域水道用水からの受水が停止したこともあり、仙台市水道局では自己水源を今後も維持していく方針である。

広域水道用水事業者においても冗長性を高める取り込みが検討されているが、各市町村の水道事業者は複数の水源を確保することに努めることが望ましい。

b) 今後の展開

上述した調査結果については、今後の水道施設・水道管路の被害予測手法の高度化への反映や検証作業で有効活用していく。

2) 建築構造物

a) 戸建免震住宅の応答特性

東北地方太平洋沖地震においては、長周期成分が卓越した継続時間の長い地震動により、首都圏を含む広域で高層建物や免震建物の大振幅応答や非構造部材等の損傷が報告されている(名古屋大学減災連携研究センターライフライン地盤防災(東邦ガス)寄附研究部門, 2015)。日本における免震建物の総数は約 7000 棟で、その 6 割に当たる 4000 棟以上が戸建免震住宅である。ここでは、それらの中でも多数を占める、すべり支承と小型の超低弾性積層ゴムを併用した免震システムの住宅について、東北地方太平洋沖地震における状況を文献(高橋・福和, 2013)に基づいてまとめる。

このタイプの免震住宅は平成 23 年 3 月時点で約 3800 棟ある。上部構造は 2 階建て在来軸組木造で、平屋や 3 階建てもある。水平抵抗要素は筋違いと厚さ 12mm の構造用合板を釘留めした耐力壁で、木製土台下に鉄骨土台梁を配し、免震装置を介してベタ基礎に支持される。免震装置は、すべり支承が鉛直支持機能と減衰機能を、積層ゴムが弾性剛性機能と減衰機能の一部を担っている。積層ゴムは軸力を負担しないので小型・低弾性で軽量の住宅の長周期化が実現でき、減衰の大部分はすべり支承の摩擦力によるため、安価な免震システムとなっている。免震層変形をすべり支承の可動範囲内に留めるため、リング状のストッパー装置(作動変形は約 33cm)を併設している。

すべり支承は低摩擦 ($\mu=4.5/100$) と高摩擦 ($\mu=6.5/100$) の 2 種類、積層ゴムも天然ゴム系と高減衰ゴム系の 2 種類があり、これらの組み合わせで A~D の 4 種の免震システムとなる。すなわち A: 低摩擦+天然ゴム、B: 低摩擦+高減衰ゴム、C: 高摩擦+天然ゴム、D: 高摩擦+高減衰ゴムであり、浅部地盤の固有周期及び地盤増幅によって建物毎に最適な免震システムを選択する。図 3-1-⑤-8 に周期と等価減衰定数の分布を示す。積層ゴムの弾性剛性と建物重量から求まる接線周期は概ね 3~4 秒で、高減衰積層ゴムの C、D は天然ゴム系の A、B よりも周期が長い。すべり支承の摩擦力を含めた等価周期(免震層変形 20cm 時)は 2~3 秒である。免震層復元力特性から算出した平均的な等価減衰定数は 30%程度である。これまでの地震後調査では、概ね震度 5 弱以上ですべり支承が滑動することが確認されている。

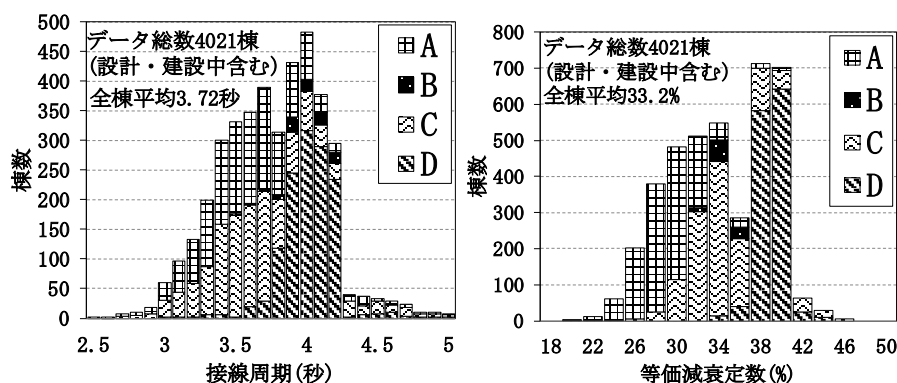


図 3-1-⑤-8 対象とした免震住宅の周期と減衰の分布

図3-1-⑤-9に都道府県別棟数を示す。全国に分布するが、特に東海地域と首都圏が多く、静岡県、愛知県が全体の半数以上を占める。平成23年東北地方太平洋沖地震の発生後に、気象庁発表で震度5弱以上の市町村及びその周辺の854棟に対して現地調査や野書き記録の回収が行われ、調査対象建物の4割にあたる363棟で免震層が滑動した形跡が見られた。多数の余震により本震時の変形や時刻歴を読み取るとは困難ではあるが、最大変形とその方向は本震時のものと考えられる。

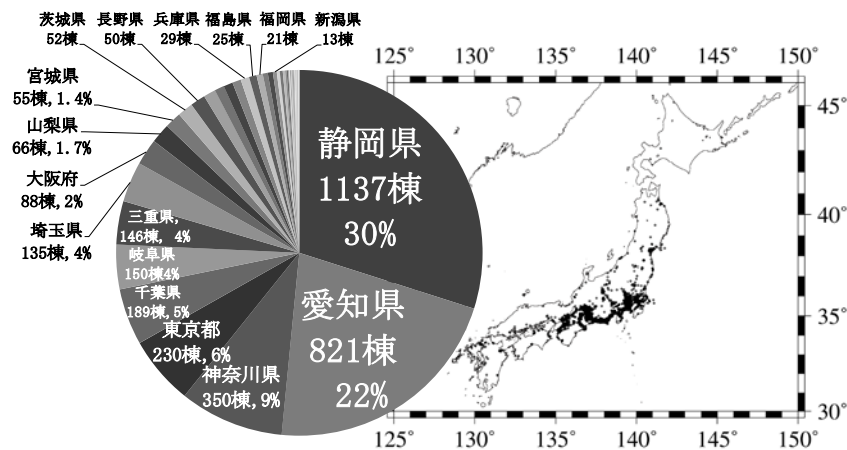


図3-1-⑤-9 対象とした免震住宅の都道府県別棟数と分布

図3-1-⑤-10に震度5弱以上と震度4以下の地域の棟数分布（縦軸左側・棒グラフ）と、免震層変形の最大値が10cm、20cm、30cm以上の棟数（縦軸右側・折れ線グラフ）を示す。青森県から山梨県の広範囲で震度5弱以上の揺れを経験した免震住宅がある。宮城県では55棟のうち50棟が震度5弱以上を経験し、このうち免震層が10cm以上変形した建物は24棟、20cm以上9棟、30cm以上3棟である。そのほかの県では変形の大きな例は少ないが、震源から400km以上離れた神奈川県に集中している点が注目される。しかも県東部の関東平野、中央部の相模平野及び周辺では10cm以上変形した建物はなく、15棟は全て県西部の足柄平野に集中している。そのうち4棟で30cm以上の変形が生じ、1棟を除いた3棟ですべり支承の設計許容変形を超えてリング状のストッパー装置が作動していたことが報告されている。

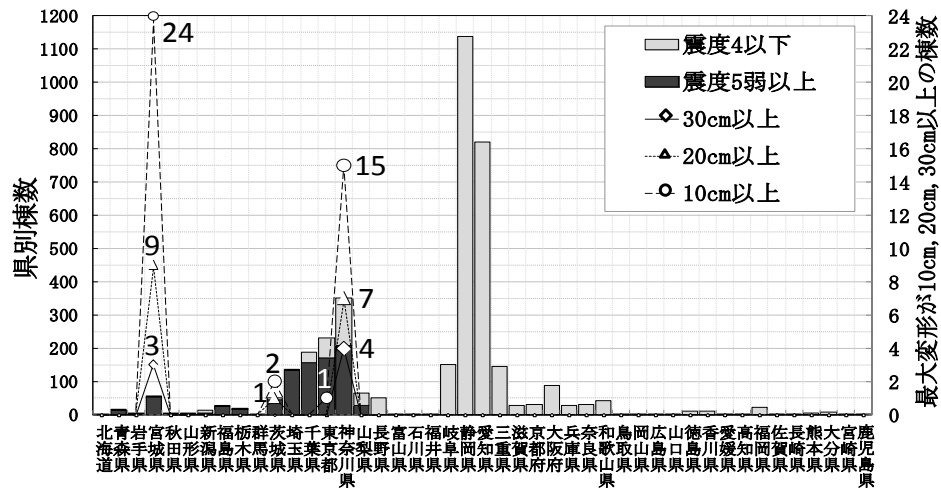


図 3 - 1 - ⑤ - 10 都道府県別・震度別の棟数と免震層変形の関係

足柄平野内で大応答を示した建物について調査したところ、ある地域に集中する傾向がみられる。図 3 - 1 - ⑤ - 11 に示すように、常時微動観測による H/V スペクトルのピーク周期と免震建物の等価周期の関係から、平野のやや深い地盤構造の影響による共振の可能性が示唆されている。この点に関して平野内の地震観測記録の検討、応答解析や実大免震建物の振動台試験などを通して検証が行われた。

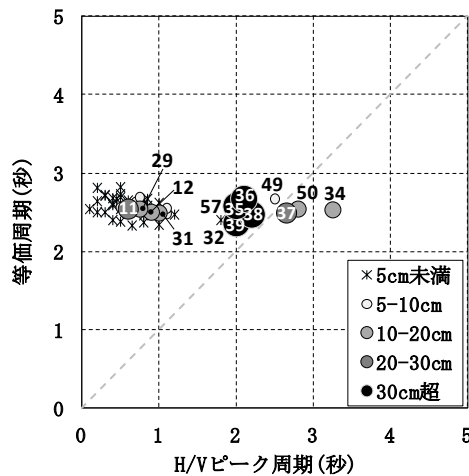


図 3 - 1 - ⑤ - 11 H/V ピーク周期と建物等価周期が免震層変形に及ぼす影響

結果として、地盤震動特性と免震周期が近接した場合には、地動変位 10cm 程度で加速度が 100gal 程度以上では共振の可能性があること、したがって建設地の地盤条件による卓越周期に注意が必要なこと、さらに大規模地震と中小地震の両方を考慮した付加減衰装置が重要になることなどが示されている。今後、さらに普及が見込まれる規格化された免震住宅の設計にあたり、重要な知見と考えられる。

b) 建物の強震観測の現状と東北地方太平洋沖地震の記録

建築構造物の被害状況を的確に検討するために地震観測記録は重要である。入力を

推定するための地盤の地震観測は、平成7年兵庫県南部地震の後に、防災目的の震度計を中心に整備され、現在では気象庁、消防庁（自治体の震度計）、防災科学技術研究所（K-NET、KiK-net など）の組織的な全国展開により5000か所以上となっている。これは10km程度に1か所にあたり、広域の防災のためには高い密度ともいえるし、一方で個々の建物の評価にあたっては微地形などを考慮すると十分とはいえない面もある。

個々の建物における強震観測の多くは新技術の検証や研究が目的であり、大規模・特殊な建物や都市域に限定されてきた。実際、これまでの地震災害においても、特に地方の場合は観測例が少なく、顕著な被災建物の観測例はさらに少なかった。東北地方太平洋沖地震では、ほぼ全国で有感となる大規模地震であったため広域で建物の地震観測記録が得られ、特に首都圏では超高層や免震などを含む多数の観測記録が得られている。震源からはるかに離れた大阪の超高層が共振により大振幅の応答となった記録や、仙台の東北大学工学部で全壊にあたる被害を受けた建物の応答記録など、貴重な例もある。さらに、建物被災時の対応を目的としたモニタリングについて、首都圏の大規模建物で実施例があり、避難対応に有益であったことなどの報告がなされたことから注目を集めている。

以上のような建物の強震観測については、地盤の観測と異なり、全国一律に組織的に実施されてはならず、その全体像は明確ではない。日本建築学会構造委員会振動運営委員会強震観測小委員会では、国内の強震観測状況に関する現状調査を行い、建築学会大会梗概集などの公表論文に基づく強震観測建物の台帳を作成している（飛田・他，2014）。東北地方太平洋沖地震に関連した報告がおおむね出された平成25年までの集計で約500棟弱がリストアップされている。これがすべての観測例を網羅しているとはいえないが、主要な観測例は含まれると考えられる。

図3-1-⑤-12に国内の建物強震観測の傾向を示す。(a)観測建物の地域分布は、関東が半数近くを占めており、その半数が東京、続いて東北・北海道20%、東海15%、以下近畿、中国・四国・九州、北陸の順となっている。東日本大震災の影響で北海道・東北と関東の割合が高く、次に南海トラフ巨大地震に関連する東海地域が多い。(b)建物階数は中低層が3/4近くを占める。低層建物の用途は学校施設、公共施設、ライフライン施設、住宅などが含まれ、最近では多様な用途の建物で観測が行われ、公表されている。(c)構造種別はRC造、SRC造、S造が多く、木造は少ない。(d)免震・制震等の割合は1/3となっている。以前から新技術の確認として免震・制震の観測は多かったが、最近ではより多様な施設で観測が行われ、また東北地方太平洋沖地震の観測結果の公表が増えている。(e)センサ種別は加速度計が約60%で、MEMSなどの簡易なセンサも増えつつある。(f)東北地方太平洋沖地震の記録の有無は、60%以上（約300棟）で東日本大震災の観測記録があることが確認されている。

このような建物の観測記録の公表や利用は今後の課題であるが、将来の耐震設計に活かすというこれまでの目的に加えて、個々の建物の被災度（構造健全度）の評価や長期的なメンテナンスへの応用を目指す構造ヘルスマニタリングや、広域の防災に活用するビッグデータの扱いなど、センサ、システム、ネットワークの技術革新によ

り多様な展開が期待されている。

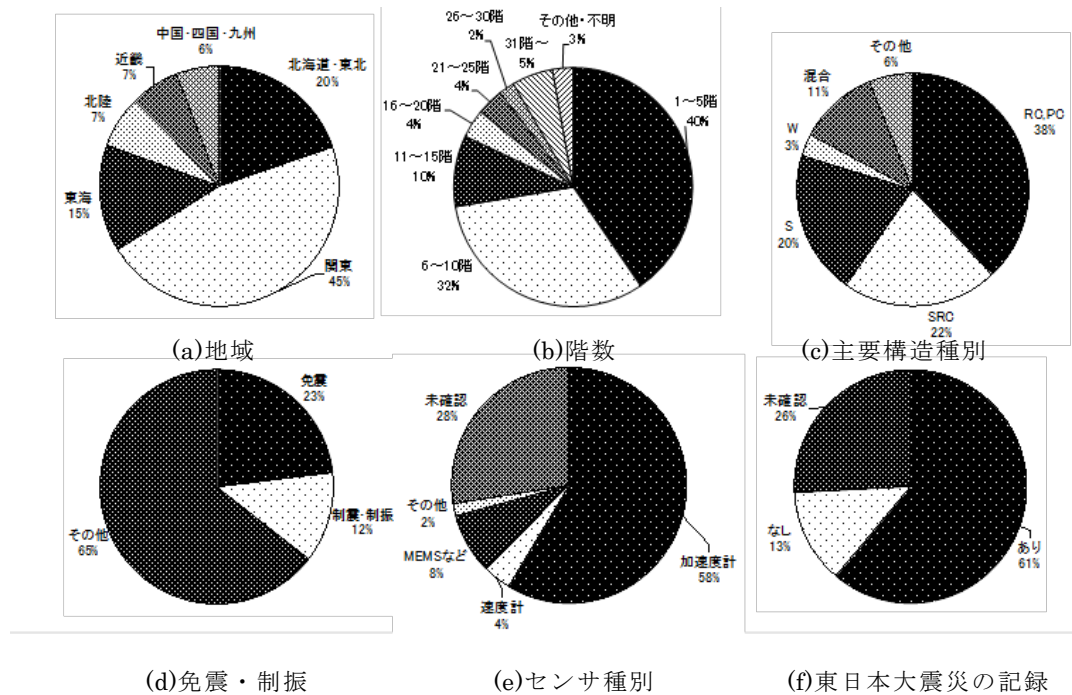


図 3 - 1 - ⑤ - 12 建築物の強震観測の動向

3) 地盤・土構造物

a) 地盤の液状化対策工法の対策効果と今後の課題

公共機関が整備・管理する道路、鉄道、護岸などの社会インフラ施設に対しては、液状化の予測と対策に関する設計基準があり、それにしたがって調査・設計・施工される。図 3 - 1 - ⑤ - 13 は、各種構造物の設計基準に液状化判定が導入された年代を示している（上記には含まれていないが、中高層ビルや産業施設においても、施主とコンサルタント・建設会社等の技術者が、液状化判定および対策の対応を取るのが普通となっている）。液状化に対する設計基準はもともと整備されていなかったが、新潟地震（昭和 39 年）で液状化に伴う道路橋や鉄道橋の落橋、中高層ビルの傾倒・沈下、河川堤防被害が発生して以降、急速に整備されてきた。さらには、兵庫県南部地震（平成 7 年）を契機に、地盤の液状化判定においてもレベル 2 地震動を考慮するようになり、重要構造施設を中心として、地盤液状化対策は入念に行われるようになってきている。

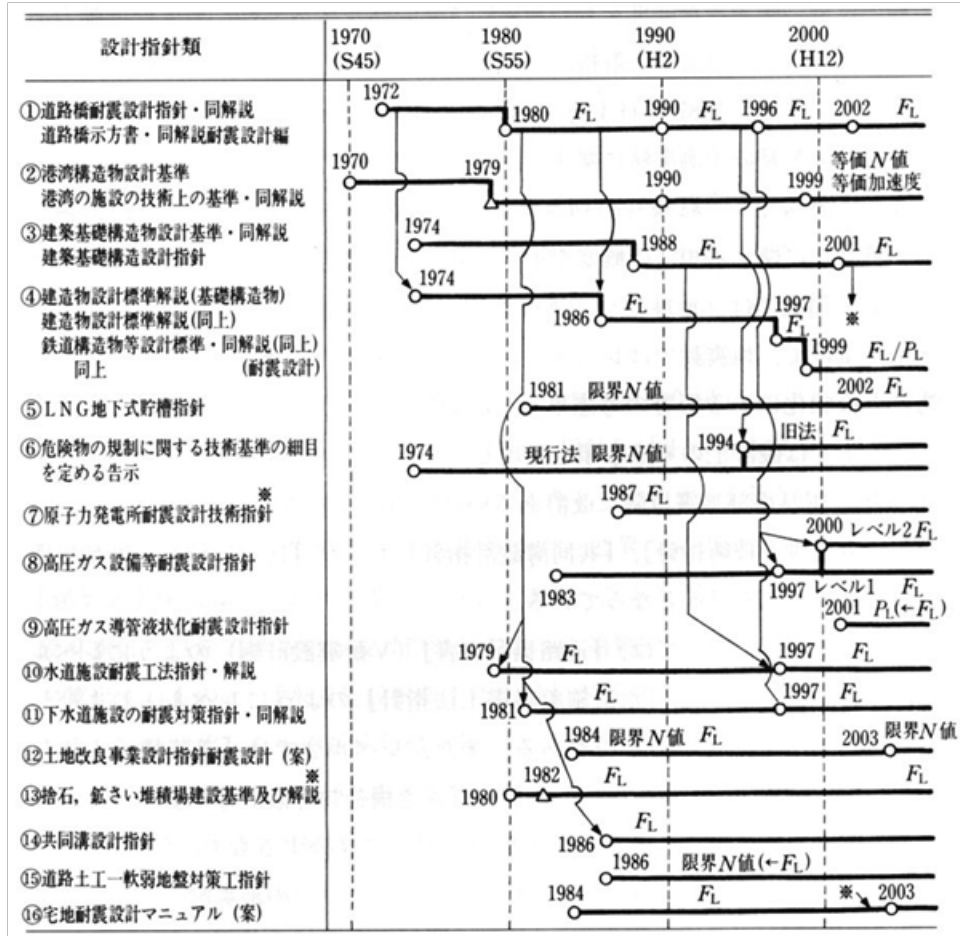


図3-1-⑤-13 各種設計基準に液状化判定が導入された年代
(地盤工学会, 2012)

東北地方太平洋沖地震(平成23年)においては、図3-1-⑤-14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(例えば、地盤工学会・他, 2014)。しかし、液状化被害調査を進めると、調査・設計・施工段階において、液状化危険度の判定を行い、必要に応じて対策を実施していた箇所においては、液状化被害はなかったか軽微であったため、設計基準で用いられている既存の液状化判定手法は有用であった/一定の効果が発揮されたと言える(例えば、浦安市, 2012)。しかし、中・大規模構造物とは異なり、一般の戸建住宅は液状化を考慮されずに建設されたものが多く、宅地造成時と家屋建築時のどちらも規制は不十分な状態であった。そのため、特に東京湾岸部や旧河道などの埋立地において、液状化対策未実施の住宅において、傾倒や沈下などの甚大な液状化被害が発生した。図3-1-⑤-15は浦安市内の液状化による建物被害の様子を示す。両構造物はわずか数10mしか離れていないが、液状化対策の有無によって、被害程度がまったく異なる。

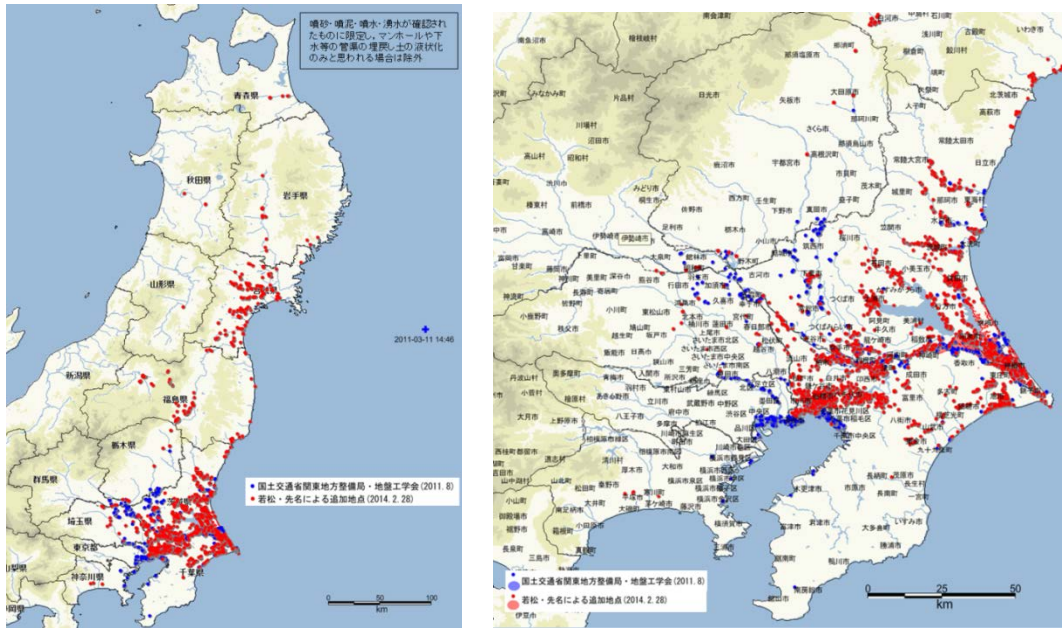


図 3-1-⑤-14 東北地方太平洋沖地震における液状化発生日点
(地盤工学会・他, 2014)



(a) 液状化による構造物の傾倒 (未対策) (b) 液状化対策によって無被害

図 3-1-⑤-15 浦安市内の液状化による建物被害の様子

表 3-1-⑤-1 は、これまでに開発されている液状化を防止する工法の例である。このように多種多様な対策工法が開発され、多くの大型構造物に適用されるようになっていたが、戸建て住宅のように、狭隘な場所で施工できるとともに、個人レベルで実施できるような安価な対策工法の開発には、これまであまり目が向けられていなかった。図 3-1-⑤-16 は各種液状化対策工法の費用と施工用重機等の設置に必要な面積を示す。図からも明らかなように、締固め工法や固結工法などを安価で狭隘な土地でも施工できるように簡易化するか、元々狭隘な場所で施工可能な圧入締固め工法や薬液注入工法を安価にするなどの技術開発が求められている。さらには、①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、②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、③木造建築士の試験内容での地盤の液状化の項目の追加、④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、なども合わせて必要となってくる。

表 3-1-⑤-1 これまで開発されてきた液状化防止対策工法（地盤工学会，2012）

改良原理	工法
密度の増大	サンドコンパクションパイル工法（動的／静的締固め）、振動棒工法（通常型、吸水型）、重錘落下工法、バイブロフローテーション工法、圧入締固め工法（コンパクショングラウチング工法）、バイブロタンパー工法、転圧工法、発破工法、群杭工法、生石灰工法、プレローディング工法
固結	深層混合処理工法、薬液注入工法、事前混合処理工法、高圧噴射攪拌工法
粒度の改良	置換工法
飽和度低下 （地下水位低下）	ディープウェル工法、排水溝工法
間隙水圧抑制・消散	グラベルドレーン工法、人工材料系ドレーン工法、周辺巻き立てドレーン、排水機能付き鋼材
せん断変形抑止	地中連続壁工法

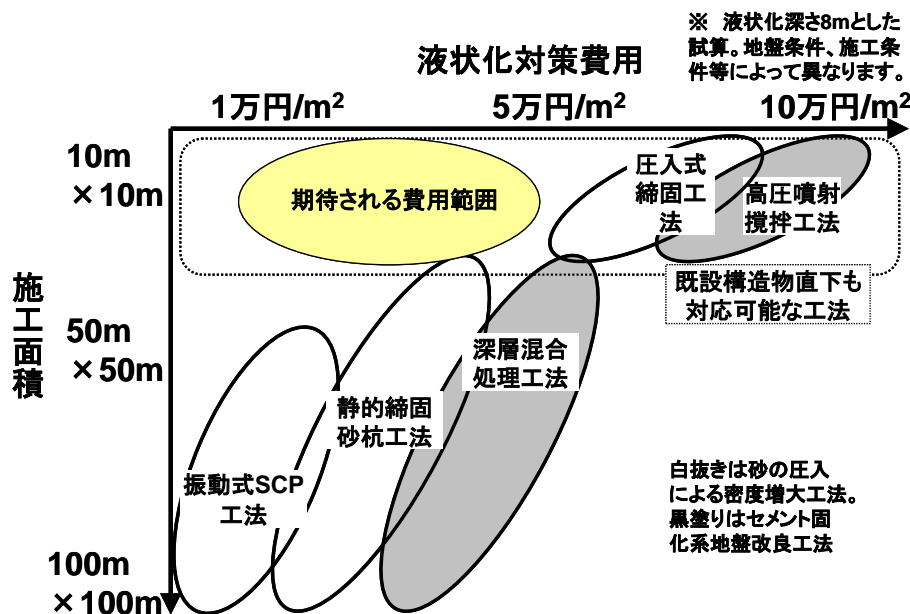


図 3-1-⑤-16 各種液状化対策工法の費用と施工面積（地盤工学会，2012）

b) 河川堤防の対策効果と今後の課題

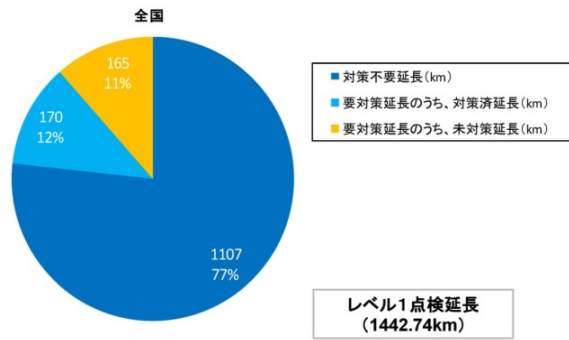
河川堤防の基礎地盤の液状化に対する対策としては、上載圧を増加させる工法や法尻の側方流動を抑制する工法があり（図 3-1-⑤-17）、レベル 1 地震動に対して震

度法に基づいて設計されてきた。その一方、平成 19 年 3 月に現行の「河川構造物の耐震性能照査指針」(国土交通省, 2012) が同案として通知され、レベル 2 地震動を対象とした堤防の耐震性能照査が開始されてきた。ここでは、盛土による堤防(土堤)は、その構造上、地震に対して損傷をまったく許容しないことは不合理であること、一般に、地震による損傷を受けても短期間で修復可能であることから、地震によって堤防に損傷を生じて「照査外水位」に対して越流を生じない機能を保持することを、堤防の耐震性能としており、堤内地盤高が「照査外水位」よりも低い区間を照査対象区間としている。しかし、東日本大震災発災時に、レベル 2 地震動に対する耐震点検は対象延長の半分程度しか進捗していない状況であった(図 3-1-⑤-18)。耐震対策を効率的に進めるためには、まずはレベル 1 地震動に対する対策効果を評価していくことが必要であるため、東北地方太平洋沖地震後に、各種対策箇所における対策効果の調査が行われた。

対策工法		イメージ図
①地盤の上載圧増加	押え盛土工法	
②堤体のり尻の液状化発生の抑制	締固め工法	
	間隙水圧消散工法	
③堤体のり尻の側方変位の抑制	固結工法	
	鋼材を用いた工法	

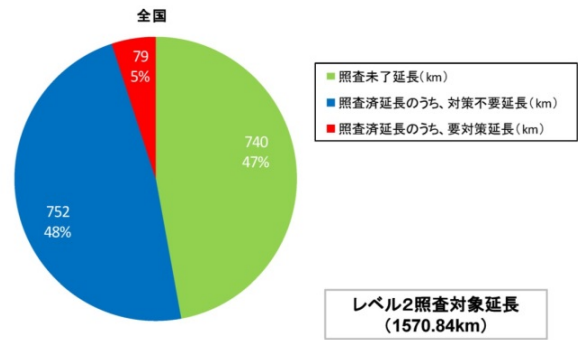
図 3-1-⑤-17 基礎地盤の液状化に対する主な工法
(国土技術研究センター, 2011)

○レベル1耐震対策状況(レベル1点検延長の内訳)



※レベル1耐震点検における優先区間
 ・沈下後堤防高が期望平均満潮位+1.0m以下の区間
 ・背後地の重要度
 ・背後地の氾濫形態
 等によって設定

○レベル2耐震点検状況(レベル2照査対象延長の内訳)



※照査対象延長: 堤内地盤高が照査外水位より低い区間。
 ※照査外水位: 平常時の最高水位。河口部付近では期望平均満潮水位及び波浪の影響を考慮、地震時の津波遡上が予想される場合には津波高を考慮。
 ※平成23年5月7日時点 河川局治水課調べ。

図3-1-⑤-18 レベル2地震動に対する耐震点検実施状況 (平成23年5月時点) (国土技術研究センター, 2011)

図3-1-⑤-19は、東北地方太平洋沖地震後に関東地方整備局および東北地方整備局管内のレベル1耐震対策箇所における耐震効果の調査結果である。東北地方では、レベル1要対策区間のすべてが対策済みで、対策区間において被災がなかったことがわかる。一方の関東地方においても、未対策区間の20%で中規模以上の被災が発生しているものの、レベル1対策区間において中規模以上の被災はないことがわかる。このように、レベル1地震動に対する対策工が施工された堤防は、大規模な変状は確認されなかったことが分かった。

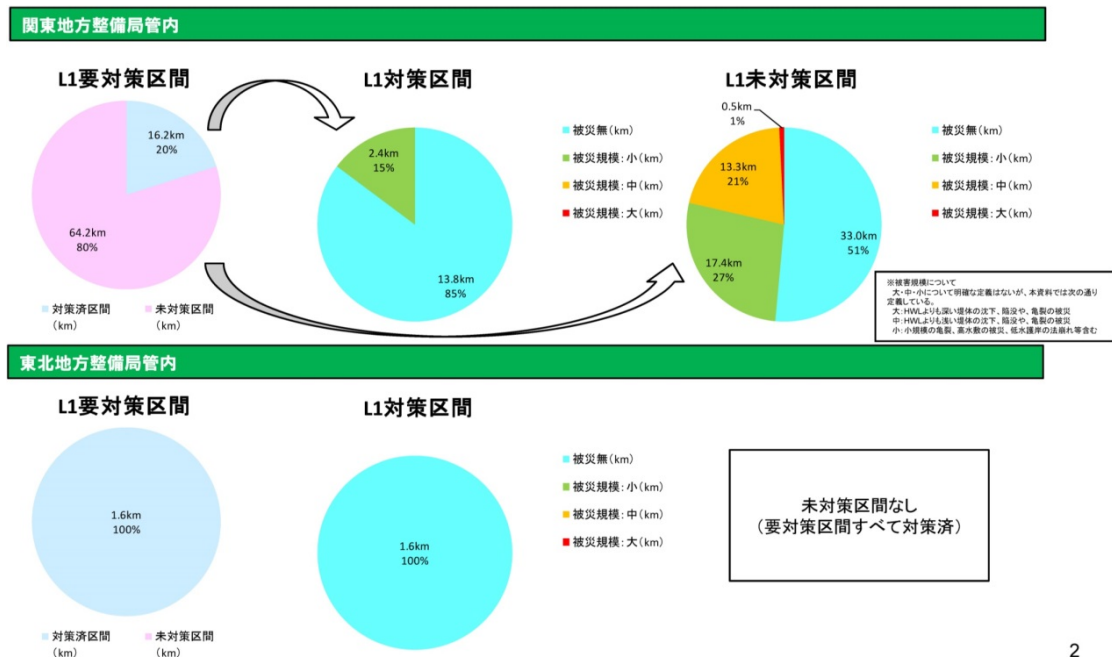


図3-1-⑤-19 レベル1耐震対策箇所における耐震硬化の調査結果 (国土技術研究センター, 2011)

図3-1-⑤-20は、浸透対策実施個所における被災状況である。もともと、浸透対策は耐震対策として実施されたわけではないが、調査結果によるとドレーン工では大規模・中規模被災は認められず、止水矢板においても被災は5%程度にとどまっており、浸透対策が地震時の耐震効果を兼ね添えているように見える。しかし、図3-1-⑤-21からもわかるように、止水矢板施工箇所で被災を受けた場所では、川表側は大きな変状が少ない（亀裂等の軽微な被害はある）。一方、堤防が川裏側に大きく流動し、近接した家屋等に被災が及んだ例もあり、浸透対策が耐震に有効であるかは慎重になる必要がある。

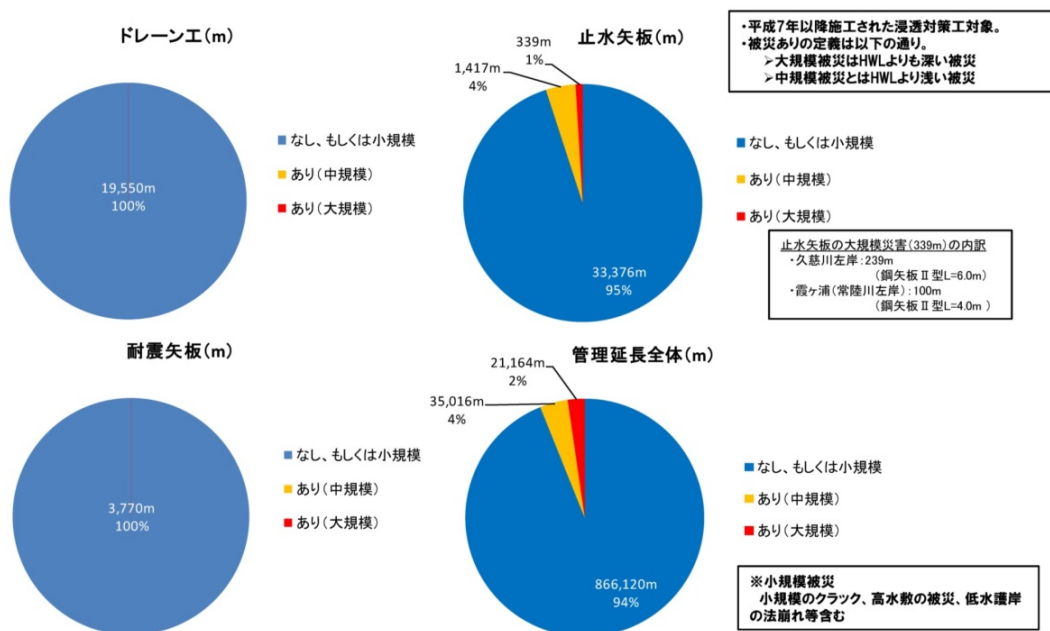
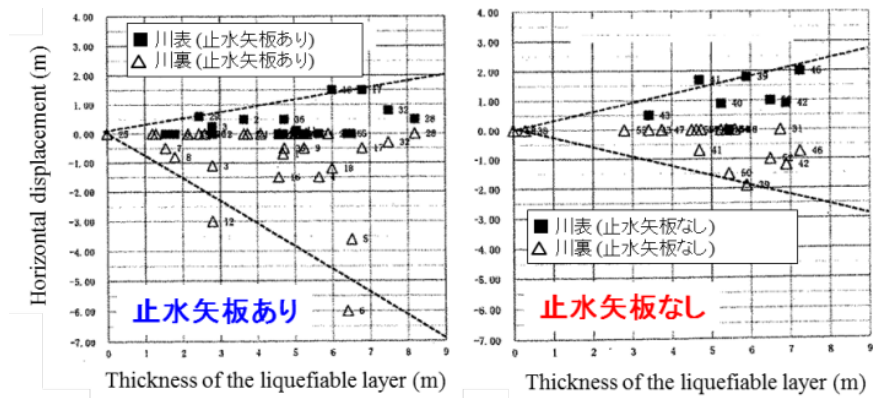
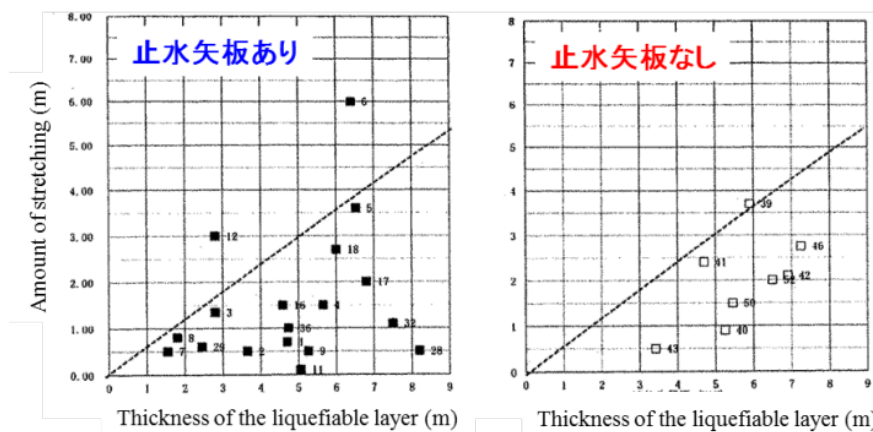


図3-1-⑤-20 浸透対策実施個所における被災状況
(国土技術研究センター, 2011)



(a) 堤防法尻での水平変位



(b) 堤防法尻でのストレッチング量

図 3 - 1 - ⑤ - 21 関東地方の河川堤防法尻部で観測されたストレッチング量
(土木学会地盤工学委員会堤防小委員会, 2013)

なお、研究分担者らは上記に関連して、表層液状化層の下部に軟弱な粘性土が堆積する砂-粘土互層の軟弱地盤上に築造された河川堤防の地震応答解析を実施し、鋼管矢板による補強工法の耐震効果を数値解析的に検討している (Nakai et al., 2017)。その結果、①川表側のみへの矢板打設の場合、根入れが浅いと鋼管矢板先端で粘土層が乱されて川表側への側方流動を抑えることができないこと、②根入れを洪積層まで深くしたとしても、川表側での変形抑止には多大な効果を得ることができるが、逆に住居のある川裏側（堤内地）の水平変位や隆起を促進し、補強が逆効果となる危険性があること、③川表・川裏側両方へ鋼管矢板を打設した場合、川表・川裏ともに根入れが洪積層まで深いと大きな補強効果が得られるが、どちらか一方の根入れが不十分だと、根入れが浅い方で水平変位が発生して補強効果が得られないこと、を指摘し、矢板による補強の際は根入れ長さと合わせて対策実施箇所にも注意が必要であることを指摘している。

(e) 結論ならびに今後の課題

- 1) ライフラインの内、上水道（仙台市）について調査を行った結果、浄水場やポン

プ場等の水道施設・水道管の耐震性強化以外に、非常用電源燃料の備蓄増強、水源の多様化が、地震後の継続的な水供給および給水の早期実現に重要であることが明らかとなった。今後、水道施設の被害予測手法の検証作業を行っていく。

2) 建築構造物については、今後も発展が予想される戸建免震住宅について、被災後の多数の調査結果から特徴的な応答（共振）に至る条件をまとめた例を示した。今後は地盤条件などによるサイトに特有の地震動の考慮が一層重要であり、そのために必須の強震観測の状況についても調査を行って現状をまとめた。

3) 地盤・土構造物については、調査結果から地盤の液状化対策や河川堤防のレベル1耐震対策が効果的であったことを確認した。今後は、狭隘地で施工できる安価な液状化対策の開発やレベル2地震動に対する河川堤防の耐震性能照査が必要となってくる。

(d) 引用文献

- 1) 文部科学省研究開発局・独立行政法人海洋研究開発機構，南海トラフ広域地震防災プロジェクト，平成 25 年度成果報告書，410p，2014.
- 2) 文部科学省研究開発局・独立行政法人海洋研究開発機構，南海トラフ広域地震防災プロジェクト，平成 26 年度成果報告書，428p，2015.
- 3) 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プロジェクト，平成 27 年度成果報告書，423p，2016.
- 4) 仙台市水道局，東日本大震災仙台市水道復旧の記録，2012.
- 5) 総合資源エネルギー調査会・都市熱エネルギー部会ガス安全小委員会災害対策ワーキンググループ，東日本大震災を踏まえた都市ガス供給の災害対策検討報告書，2012.
- 6) 名古屋大学減災連携研究センターライフライン地盤防災（東邦ガス）寄附研究部門調査研究・活動報告書（平成 26 年度），名古屋大学減災連携研究センターライフライン地盤防災（東邦ガス）寄附研究部門，2015.
- 7) 宮城県企業局，宮城県企業局災害復旧の記録，2012.
- 8) 高橋武宏，福和伸夫，2011 年東北地方太平洋沖地震における戸建免震住宅の免震層変形と足柄平野の地盤震動特性との関係，日本建築学会構造系論文集，第 78 巻，第 694 号，pp.2123-2132，2013.
- 9) 飛田潤，鹿嶋俊英，中村充，植竹富一，山村一繁，栗田勝実，神原浩，国内の強震観測建物台帳の作成，日本建築学会技術報告集，第 20 巻，第 46 号，pp.901-904，2014.
- 10) 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.
- 11) 地盤工学会，土木学会，日本建築学会，日本地震工学会，日本機械学会，日本原子力学会，日本地震学会，日本都市計画学会，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「共通編 3 地盤災害，2014.
- 12) 浦安市，浦安市液状化対策技術検討調査報告書，2012.

- 13) 国土交通省，河川構造物の耐震性能照査指針・解説， 2012.
- 14) 国土技術研究センター，河川堤防耐震対策緊急検討委員会，東日本大震災を踏まえた今後の河川堤防の耐震対策の進め方について報告，2011.
- 15) 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，27-35，2013.
- 16) Nakai, K., T. Noda and K. Kato, Seismic assessment of the sheet pile reinforcement effect on river embankments constructed on a soft foundation ground including soft estuarine clay, Canadian Geotechnical Journal, 2017, in printing.

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、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、関東平野周辺で発生したM7級の地震の強震動・長周期地震動の特性と比較することで、東北地方太平洋沖地震の震源域近傍強震動の特性、及び関東平野における長周期地震動の生成要件を検討した。

東北地方太平洋沖地震における関東平野での長周期地震動のレベルが、平成16年伊半島南東沖地震（Mw7.4）や平成16年新潟県中越地震（Mw6.8）における長周期地震動と比較して小さかった原因を明らかにするために、今年度は、関東平野の「外（震源からの表面波の放射、伝播経路における表面波の伝播特性の違い）」と「中（関東平野の3次元盆地構造と長周期地震動増幅の方位性）」の影響の2つを区別して、関東平野における長周期地震動の生成要因を検討した。

平成16年新潟県中越地震における長周期地震動の生成シミュレーションにおいて、通常地下構造モデルを用いた長周期地震動シミュレーションの結果と、地下構造と計算の工夫により、関東平野の手前で表面波を消去するシミュレーション結果を比較し、関東平野で生成する長周期地震動の強度を比較した。その結果、関東平野での長周期地震動の大部分は震源直上で生成し、伝播の後に平野に入射した表面波が増幅したもの（盆地転換表面波）であると判断された。一方、関東平野端に入射したS波から新たに生成する表面波（盆地生成表面波）は小さく、また短周期化する結果となった。

以上より、東北地方太平洋沖地震を含む、東北の地震で長周期地震動の生成が弱い原因は、これまで検討した関東平野の堆積層構造（基盤構造）の3次元不均質性と地震波の入射方向による増幅特性の影響だけでなく、震源域直上での表面波の生成特性と、震源域から関東平野までの伝播経路における表面波の伝播特性の影響がより大きいと判断された。

また、東北地方太平洋沖地震で震度7を観測した築館地点の強震記録と、平成28

年熊本地震で大きな木造家屋の被害が発生した益城町と西原村の強震記録（震度 7）、及び兵庫県南部地震、新潟県中越地震の震度 7 の強震記録を比較し、木造家屋への被害の観点から強震動の特徴を、速度応答スペクトルを用いて検討した。その結果、東北地方太平洋沖地震の揺れは、継続時間は数分を超える非常に長いものであったが、周期 0.5 秒以下のごく短周期地震動だけが強く、木造家屋の倒壊に結びつく周期 1 ～ 2 秒の地震動レベルは、他の地震に比べて比較的小さかったことが確認された。東北地方太平洋沖地震の震度 7 の強震動は、これまでの内陸活断層地震等とは大きく異なる特性を持っており、南海トラフ巨大地震による震度 7 強の震動による影響評価の参考にする場合には注意が必要である。

(b) 業務の成果

1) 関東平野における長周期地震動の生成条件-伝播経路の影響の評価

東北地方太平洋沖地震の際に関東平野で観測された長周期地震動のレベルは、固有周期 8～10 秒で最大 30 cm/s（減衰定数 = 5 %）であり、長周期構造物への重大な被害は起きなかった。この長周期地震動レベルは、1944 年東南海地震（M7.9）における東京大手町の記録と同程度であり（古村・中村，2006）、2つの地震の震央距離がほぼ同程度であったことを考えると、東北地方太平洋沖地震における関東平野の長周期地震動レベルは、地震規模（M9.0）に比べて小さかったと見ることできる。南海トラフ地震では、東北地方太平洋沖地震を超えるレベルの長周期地震動が発生する可能性が心配される。東北地方太平洋沖地震において長周期地震動レベルが小さかった原因を探るとともに、南海トラフ巨大地震等での長周期地震動の生成要件とその変動要因を明確化することが課題として残されている。

東北地方で発生した地震において、関東平野で長周期地震動の生成レベルが小さくなることは、これまで強震観測データから指摘されてきた（例えば、湯沢・南雲，2012；古村，2014）。図 3-1-⑥-1 は、都心（K-NET007 新宿地点）から震央距離 600 km 以内で発生した、深さ 40 km 以浅の M7 クラスの地震の強震記録の速度応答スペクトルを比較したものである。なお、観測記録からは震源スペクトルと距離減衰を補正し、Mw7.2 相当の地震の震源スペクトル特性と、震源距離 700 km 相当での振幅強度に補正してある。

関東の周辺で M7 クラスの浅い地震が起きると、都心では周期 6～8 秒程度の長周期地震動（表面波）が強く発生する。例えば、平成 16 年新潟県中越地震（Mw6.8）や平成 19 年新潟県中越沖地震（Mw6.8）では、最大 20～30 cm/s 程度の速度応答を持つ長周期地震動が発生し、超高層ビルのエレベータケーブルの軽微な被害や、湾岸の石油コンビナートの浮屋根にスロッシングによる軽微な損傷が発生した。図 3-1-⑥-1 を見ると、これと同レベルの長周期地震動が、2007 年新潟県中越沖地震（Mw6.8）や平成 16 年紀伊半島南東沖地震（Mw7.6）など、内陸や南海トラフ沿いで起きた地震（右図の赤い震源球と右図(a)）において共通することが確認できる。これに対し、東北沖で起きた地震では、スラブ内地震（b）、プレート境界の地震（c）、アウターライズ地震（d）のいずれにおいても、周期 6～

8秒の長周期地震動はほとんど発生しないことが速度応答スペクトルの比較からわかる。

このような関東平野における長周期地震動生成強度の方位性と、東北地方の地震でいつも弱い原因として、本研究ではこれまで関東平野の堆積層構造（基盤構造）の非対称性、たとえば、基盤面の傾斜が緩い東北方向から入射する地震波では長周期地震動の増幅が小さくなる可能性などを検討した。一方、東北沖に沈み込む太平洋プレートの傾斜は大きく、内陸の地震やフィリピン海プレートの地震に比べて震源が深いために表面波の励起が小さいこと（震源特性）、そして、陸に向けての海域を通る伝播経路では表面波の減衰が大きいこと（伝播特性）など、平野に表面波が入射する以前に弱まっていることが、平野での長周期地震動を小さくする原因の可能性も残る。

そこで、平成 28 年度の研究では、平野における長周期地震動の生成要件をより詳細に検討するために、新潟県中越地震の長周期地震動のシミュレーションを通じて、関東平野における長周期地震動の生成要因を検討した。

これまで平野における長周期地震動の成因として、震源直上の地表で生成した表面波が平野へと伝わり、平野の堆積層で強く増幅する「盆地転換表面波」と、平野の盆地端で S 波から表面波が励起する「盆地生成表面波」の 2 つのメカニズムが一般に議論されてきた。本研究では、関東平野の長周期地震動生成における、2 つのメカニズムの寄与を地震波伝播シミュレーションから検討した。

新潟県中越地震のシミュレーションでは、新潟から千葉へと横切る方位の長さ 230 km、深さ 50 km の領域を選び、堆積層モデル（JIVSM モデル；Koketsu et al., 2008）に基づいて地殻・マントル・堆積層構造を設定した。なお、関東平野の手前までの表面波の伝播特性の単純化のために、新潟～関東平野手前までの堆積層の厚さはゼロとした。震源を地表下 5 km の位置に置き、最大周波数 1 Hz の地震波を放射させた。

図 3-1-⑥-2 (a) は、計算から求められた地震波伝播のスナップショット（地震から 7, 14, 21, 28 秒後）と地表における速度波形 Radial 成分である。浅い震源から放射された P 波と S 波が関東平野の方向に伝播する後から、地表に沿って表面波（Rayleigh 波；図中の灰色矢印）が秒速 2.8 km/s 程度の速度でゆっくりと伝わるようすがわかる。表面波が平野に入ると強く増幅されるとともに、波群が分散により長く延びるようすもわかる。計算から求められた平野の地震波の特徴（大振幅の表面波とその卓越周期、長い継続時間など）は、平成 16 年新潟県中越地震の際に都心で発生した長周期地震動の特徴（Furumura and Hayakawa, 2007）をよく説明する。

次に、震源域から関東平野にかけての伝播経路において、表面波を機械的に消去（図 3-1-⑥-2 (b) の 7 秒後のスナップショットの□部分）して P 波と S 波のみが関東平野に入射するように工夫したシミュレーション結果では、都心での周期 6～8 秒程度の長周期地震動の生成が急激に弱まり、周期 3 秒前途の短周期の地震動が卓越した。すなわち、都心での長周期地震動には平野の外からの表

面波の入射（盆地転換表面波）が重要であり、盆地端での S 波から表面波の励起（盆地生成表面波）の寄与は小さいことがわかる。確認のために、伝播経路における地表（自由表面）を剛体の境界条件に置き換えることで表面波（基本モード）の生成を抑制した別の計算結果も同様の結果を示した。

震源における表面波の励起強度には、震源の深さと震源メカニズムが鍵となる。表面波の生成強度は震源の深さとともに指数関数的に弱まる。断層メカニズムの違いにより、関東平野に向けて表面波（Rayleigh 波、Love 波）の放射強度も大きく変化する。東北地方太平洋沖地震を含む、東北地方で起きるプレート境界の地震の特性として、南海トラフの地震に較べて震源が比較的深いこと（30~40km 以深、アウターライズ地震を除く）、断層メカニズム（西北西-東南東圧縮）により関東方向への Rayleigh 波の放射特性が弱いことも、長周期地震動を小さくする原因として考えられる。

また、伝播経路で表面波を強く減衰する原因として、表層付近の堆積層と基盤の大きな速度コントラストによる表面波の分散現象の発生や、表層地盤の小さな Q_s 構造による表面波の強い減衰も考えられる。

本研究により南海トラフ地震等の海溝型巨大地震における長周期地震動の予測には、平野の堆積層構造の高度化に加え、プレート形状（震源域の深さ）や、伝播経路の地下構造、特に表面波伝播に強く寄与する深さ数キロの基盤構造（S 波速度構造、 Q_s ）の適切なモデル化が重要であることが再確認された。

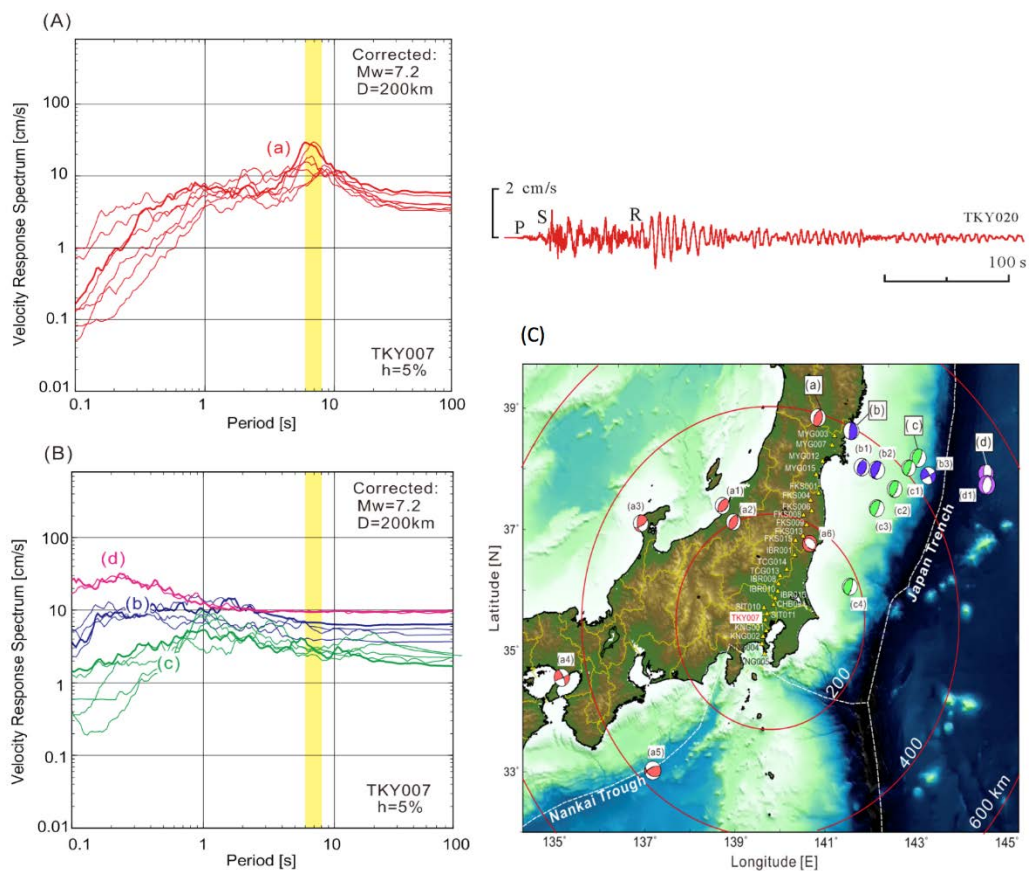


図 3-1-⑥-1 都心（K-NET 新宿 TKY007 地点）で観測される長周期地震

動の比較。(a)内陸地震及び平成 16 年伊半島沖地震 (赤)、(b)東北沖のスラブ内地震 (紫)、(c)東北沖のプレート境界地震 (緑)、(d)東北沖の OUTER ライズ地震 (ピンク)、(A) 内陸地震の速度応答スペクトル、(B)東北沖の地震の速度応答スペクトル。応答スペクトルは、震源距離 200 km で地震規模 Mw7.2 に補正後に比較。右上は、新潟県中越地震における都心の地震動と長周期地震動 (Radial 成分) の例。

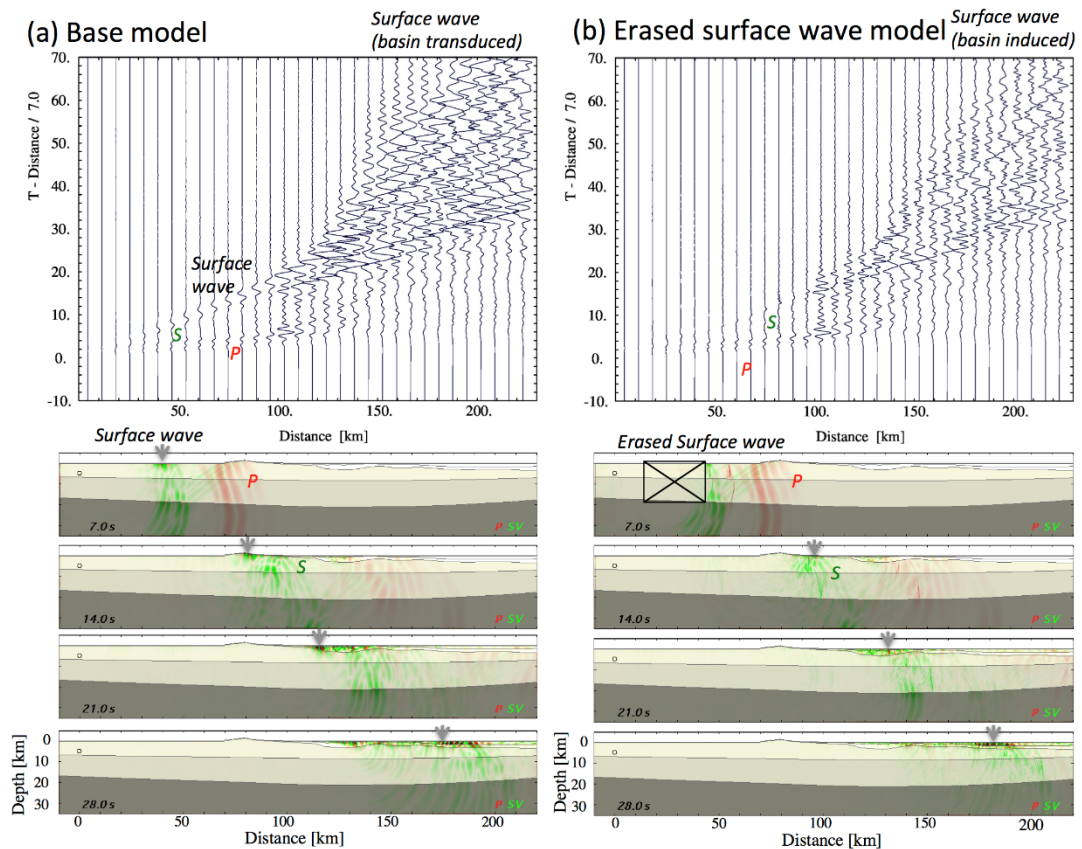


図 3-1-⑥-2 新潟付近の深さ 5 km の地震に対する関東平野にかけての地震波伝播を 2 次元地震波伝播シミュレーションによる評価。(a)基本モデル。表面波の伝播を灰色矢印で示す。(b)表面波の伝播を関東平野の手前で消去 (消去範囲を□で表示) した場合の計算。関東平野に入射する表面波がない場合には、平野で生成する長周期地震動のレベルが小さく、周期 3 秒以下の短周期地震動成分が卓越することが確認できる。

2) 東北地方太平洋沖地震における震度 7 強震動の特性

気象庁の震度階級 (7 段階) は、昭和 23 年福井地震における甚大な被害を受けて、それまでの 6 階級の上に積み増しされた。以降の 69 年間に気象庁により震度 7 が発表されたのは、平成 7 年兵庫県南部地震、平成 16 年新潟県中越地震、平成 23 年東北地方太平洋沖地震、そして平成 28 年熊本地震 (前震と本震の 2 回) の

5回である。

図3-1-⑥-3は、これまでに観測された震度7の強震動（東北地方太平洋沖地震；築館、新潟県中越地震；小千谷、兵庫県南部地震；葺合、熊本地震（本震）；益城町の加速度波形の比較である。なお、本図では東北地方太平洋沖地震の加速度記録の表示を60秒間で切っているが、実際には100 cm/s/s以上の強い加速度を持つ揺れが150秒間以上長く続いた。

熊本地震、兵庫県南部地震、新潟県中越地震はM7規模の内陸地震であり、強い揺れの継続時間は十数秒と短く、揺れの特徴も似ている。しかしながら、速度応答スペクトルを計算すると、これらの強震動に含まる揺れの周期成分の違いは明瞭である。たとえば兵庫県南部地震、新潟県中越地震熊本地震で観測した震度7の強震動には、木造家屋を倒壊させる周期1～2秒の成分が最大380～490 cm/sの強さで含まれていたのに対して、新潟県中越地震ではこの半分の200 cm/s程度の強さであった。新潟県中越地震では周期0.7秒前後のごく短周期地震動成分が強かった（470 cm/s程度）。

東北地方太平洋沖地震の強震動（築館）では、周期1～2秒の速度応答は100 cm/s程度であり、周期0.2秒前後のごく短周期地震動の速度応答レベルが大きい（最大270 cm/s程度）ことが特徴であった。東北地方太平洋沖地震において、土砂崩れや液状化などの地盤災害が大きかったことに対して、木造家屋の倒壊率が比較的小さかった理由は、こうした揺れ成分の強弱の違いによるものと考えられ、同じ震度7の強震動でも被害の特徴は大きく異なる。

昭和の東南海地震、南海地震の際には震度7階級は制定されていなかったが、国の南海トラフ地震の想定では、震源域に沿って地盤が悪い地域に震度7の激しい揺れが起きることが心配されている。東北地方太平洋沖地震の強震動の特徴である、ごく短周期地震動は、太平洋プレートの比較的深い場所からの地震波の強い放射（SMGA；強震動生成域）が原因であり（Furumura, 2014）、この特徴は南海トラフ地震には直接当てはまらない可能性が高い。東北地方太平洋沖地震での地震観測記録を超巨大地震の地震動として一般化したり、他の地震の想定に参考にする場合には注意が必要である。

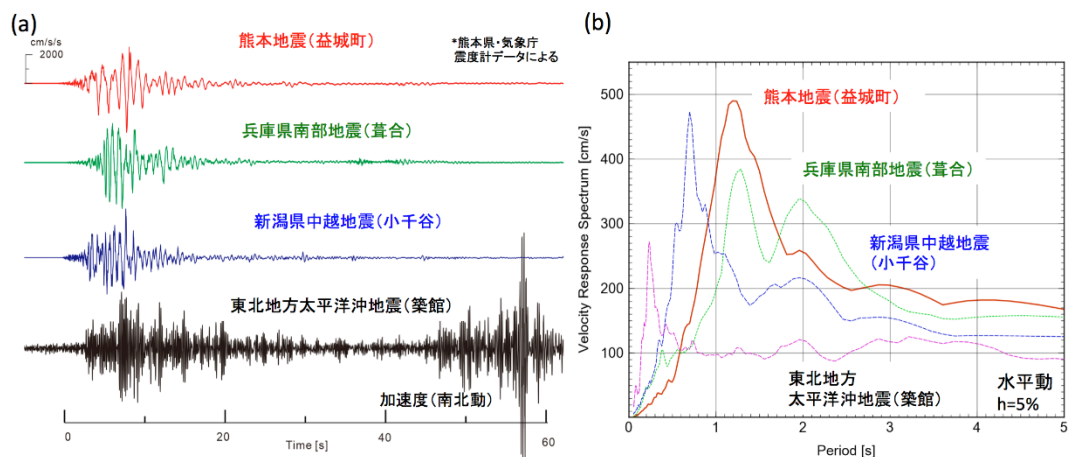


図3-1-⑥-3 震度7の強震波形記録（加速度、南北成分）と、速度応答スペクトル（水平動、減衰定数5%）の比較。2016年熊本地震（益城町）、1995年兵庫県南部地震（葺合）、2004年新潟県中越地震（小千谷）、2011年東北地方太平洋沖地震（築館）。

(c) 結論ならびに今後の課題

平成26年度から平成27年度に引き続き、平成23年東北地方太平洋沖地震において、関東平野で観測された長周期地震動のレベルが小さく、過去に起きたM7～8規模の地震での記録とレベルと同程度であった理由を地震波形解析と地震波伝播シミュレーションから検討した。

平野での長周期地震動の強い生成のメカニズムに立ち戻り、平野の端（盆地端）での表面波の生成（盆地生成表面波）と、震源近傍で発生し平野に入射する表面波の強い増幅（盆地転換表面波）の二つの寄与を地震波伝播シミュレーションにより検討し、関東平野で見られる周期6～8秒の長周期地震動には、盆地転換表面波の寄与が圧倒的に大きいことを確認した。そして、従来から検討してきた関東平野の3次元基盤構造（盆地構造）による長周期地震動増幅の方位性以上に、震源域直上での表面波の励起と、平野への伝播経路における表面波の伝播・減衰特性の違いが長周期地震動の生成を考える上で重要であることがわかった。今後は、東北地方～関東の地下構造と表面波の伝播・減衰特性を詳しく検討し、南海トラフ地震での長周期地震動の伝播特性を評価する。

東北地方太平洋沖地震で震度7を観測した築館地点での強震記録を、これまでに観測された震度7の強震記録と比較し、揺れの成分や継続時間などの特徴を比較した。熊本地震を含む内陸活断層地震の震源近傍強震動と比較して、東北地方太平洋沖地震では、強い加速度を持つ揺れが数分を超える長さで続いたことが特徴であるが、揺れ成分には木造家屋の被害に結びつく周期1～2秒の成分が相対的に小さく、熊本地震や兵庫県南部地震における震度7の強震記録とは大きく異なることを再確認した。

(d) 引用文献

古村孝志, 中村 操, 1944年東南海地震記録の復元と関東の長周期地震動, 物理探査, 第59巻, 4号, pp.337-351, 2006.

Furumura, T. and T. Hayakawa, Anomalous propagation of long-period ground motions recorded in Tokyo during the 23 October 2004 Niigata-ken Chuetsu (Mw6.6) earthquake, Japan, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.97, No. 3, pp.863-880, 2007.

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, pp.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, pp.281-290, 2014.

Koketsu, K., H. Miyake, H. Fujiwara, and T. Hashimoto, Progress towards a Japan integrated velocity structure model and long-period ground motion hazard map, Paper S10-038 presented at the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Int. Assoc. for Earthquake Eng., Beijing,10,12-17, 2008.

湯沢豊，南雲秀樹，長周期地震動の揺れ易さ係数の変動要因とその低減対策：-関東平野を例として-，日本地震工学論文集，12(2)，41-59，2012.

(3) 平成 29 年度業務計画案

- ・ 東北大学

プロジェクト指向型アーカイブ（プロトタイプ）のユーザー評価を踏まえるとともに、熊本地震における教訓を反映することで、南海トラフ地震に対応した同アーカイブの改良を行う。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。

- ・ 京都大学

「復興モニタリングシステム」を通じて、定点観測により、災害復興のアーカイブ化することを引き続き行う。

- ・ 名古屋大学

過年度に実施した構造物被害調査結果を、南海トラフ地震に関する他の研究課題に情報提供し、当該情報の有効性などを精査する。

- ・ 東京大学

東北地方太平洋沖地震の地震波解析から得られた知見を、南海トラフ巨大地震の強震動・長周期地震動予測手法の高度化につなげるために、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を実施し、地下構造・震源モデルの不確定性を含めて幅を含めて予測を進めるとともに、南海トラフ巨大地震における強震動の特色について、東北地方太平洋沖地震との共通性・特異性について、その原因を含めて検討する。

3.2 地震・津波被害予測研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 「地震・津波被害予測研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
名古屋大学減災連携研究センター	センター長・教授 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 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 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 浦谷裕明 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
東京大学工学系研究科	准教授	廣井悠
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	部門長 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
東京大学地震研究所	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等に対しては、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：

徳島市を対象とした長期湛水のモデリング、中京地域の地震動を予測する WEB システムの開発、盛土造成斜面の地震時変状メカニズムの解明、熊本地震で被災し

た建物における地盤・建物の相互作用の影響の検討、基礎滑りを許すことによる建物の耐震性向上に向けた要素実験とその分析、南海トラフ巨大地震時に想定される電力需給ギャップ解消のための需要抑制の可能性の検討、長期断水が経済に及ぼす影響の検討、道路閉塞と帰宅困難者の渋滞、消防運用を考慮した大都市における避難シミュレーションの開発、全国 207 生活圈単位での南海トラフ地震による経済被害予測を実施した。また、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した。

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。発災後の災害シナリオの高度化のため、間接被害の算出方法について検討するとともに、広域での評価に向け一部地域で試算を行う。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。間接被害の算出手法を高度化し広域的に評価を行う。特徴的な災害パターンを類型化するための手法の検討を行い、広域での評価に向け一部地域で類型化を試行する。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。類型化手法を高度化して広域的に評価を行うとともに、類型パターン毎に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 28 年度業務目的

南海トラフ地震被害の予測可能性の評価のために、昭和東南海・南海地震、及び安政東海・南海地震の強震動と津波の再現性について、被害・震度分布、津波高・到達時間、及び地殻変動に関わる史料調査と津波堆積物現地調査に基づき検討する。なお、この部分の成果については、サブテーマ 2 - 2 において取りまとめる。

被害想定対象地域を徳島市として、その中心市街地において高分解能な津波氾濫解析を行い、長期湛水にかかる課題を検討する。

これまで実施した広域でのリスク評価を踏まえ、現在～将来のハザードや人口・

建物の変化を反映した対策効果の評価手法を検討し、対策効果を定量的に評価する。
また、地域のハザード・リスク評価手法の高度化に加え、発災時の社会的影響に関する暫定評価を行う。

(2) 平成 28 年度成果

①津波被害予測

(a) 業務の要約

昭和南海地震では高知市において長期湛水が発生した。長期湛水は高知に限らず、低地に位置する大阪や名古屋といった多くの都市で共通する重要な課題である。徳島市の中心市街地をモデル地域として津波の流入－排水－湛水の一連の過程をシミュレーションした。その結果、当該地域において地震発生後 72 時間経っても陸地に海水が留まり、長期湛水の発生を示唆した。

(b) 業務の実施方法

本業務では、数値計算により長期湛水の発生可能性を検討した。計算は堤外と堤内を分けて行った。堤外の計算は、通常の津波の計算を行い、対象地域の堤外周辺での水位時系列を 12 時間分記録した。潮位は過去 5 年の朔望平均満潮位で固定している。堤内の計算は、この津波波形に朔望平均満潮位を加えた波形を境界条件として行なった。標高は地震による地殻変動量を考慮した高さに直している。津波の高さが堤防高を超えた場合、水を堤内に流入させ、堤内地では地表面、排水路、下水路の三つの流れを考えた。地表面では津波と同様の計算方法を採用し、排水路やマンホールを設定したメッシュで地表面、排水路、下水路のそれぞれの間で水のやり取りを行った。最終的には排水路に存在する排水ポンプで領域外へ排水される（図 3-2-①-1）。

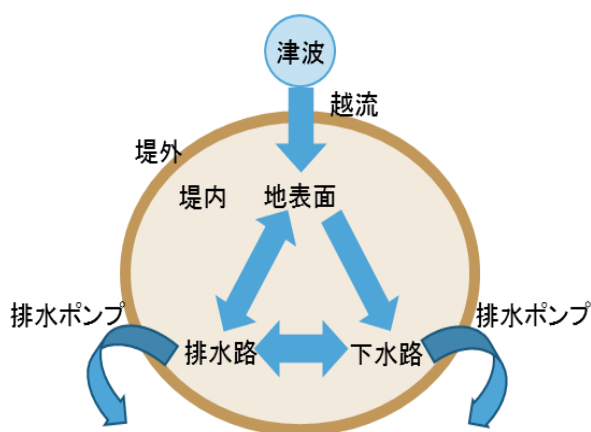


図 3-2-①-1 計算の概要図

(c) 業務の成果

安政南海地震を入力とした場合の研究対象地域のシミュレーション結果を図 3-2-①-2 に示す。これは排水ポンプがすべて稼働する場合と、排水ポンプの排水能力が高いもの上位 3 つを停止した場合の津波による流入水の排水の様子である。この地域では南海地震の場合、地震発生後約 40 分で津波の第一波が南東方向から到着する。その後、堤防の低い南側、西側から水が流入して、土地の低い北側へ流れていく。ポンプがすべて稼働すると仮定した場合は、排水能力の高いポンプは堤防の低い南側と西側にあるため、奥へ水が流れ込む前にいくらか排水でき、北側、東側の堤防沿いに溜まる水の量がポンプの一部を止めた場合より少なくなっている。すべてのポンプが稼働すると仮定した場合、約 16 時間で排水がほぼ完了するが、いくらかは窪地に溜り、現モデルでは排水できなかつた。排水能力上位 3 つのポンプが稼働しないとすると、排水完了まで約 72 時間かかる。上位 3 つのポンプが大きな仕事をしていることがわかる。

次に、内閣府想定（内閣府，2012）のケース3を入力とした場合を図3-2-①-3に示す。1時間後に対象地域の南側から大規模な津波の浸水が確認でき、その後地域全域が浸水する。これは非常に大きな津波であると同時に、地震による地殻変動での沈降量が大きく、一部境界が朔望平均満潮位より低くなることによると考えられる。そのため、津波の計算を終えた12時間後以降は排出した分だけ堤内に水が入ってくるといった結果となり、24時間後の状態がその後も続く。潮汐の変動を考慮していないため、実際にこのようなことが起こるとは言えないが、内閣府想定のような大きな地震が起こると、潮汐の変化に伴い大規模な湛水が起こる可能性を示唆している。

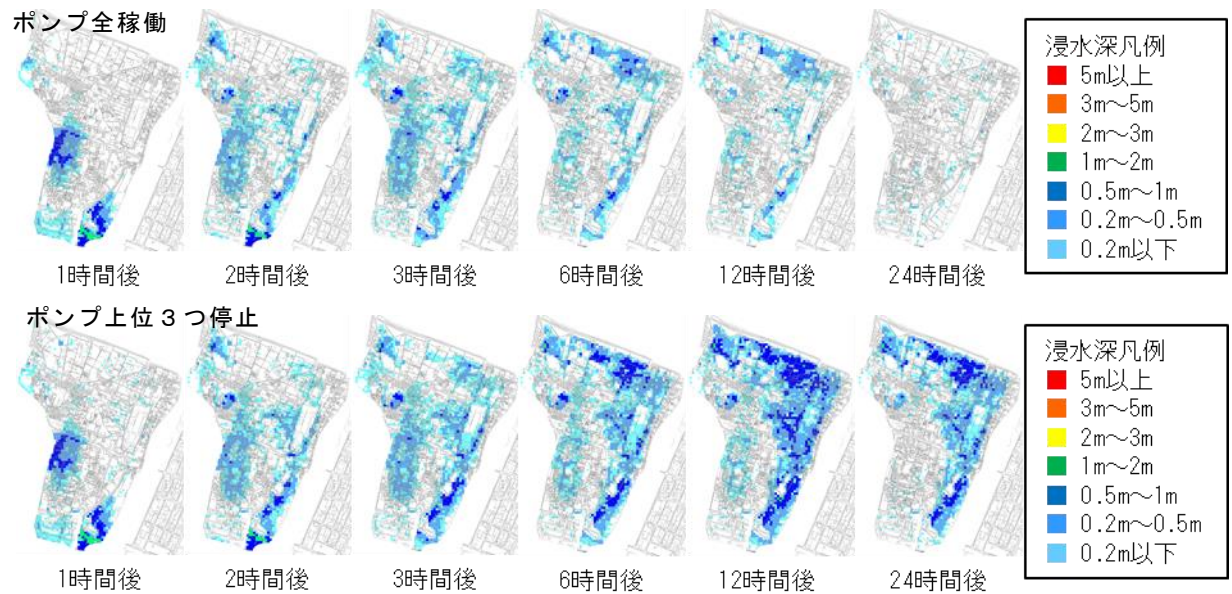


図3-2-①-2 安政南海地震による津波の流入、排水の様子

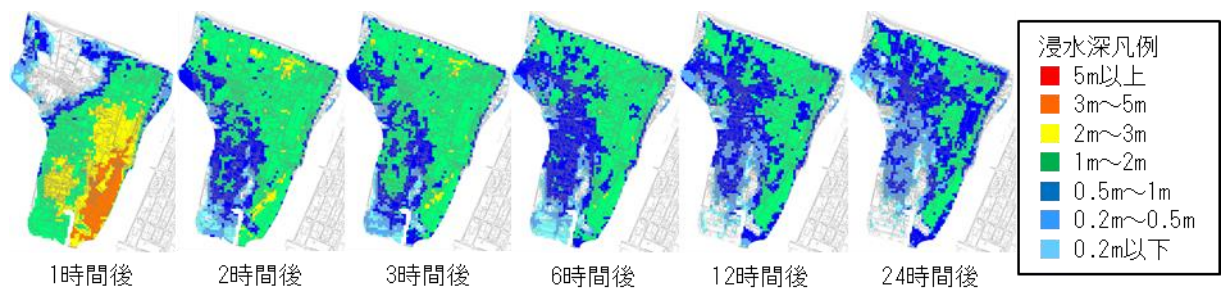


図3-2-①-3 内閣府想定ケース3の南海地震による津波の流入、排水の様子
(ポンプ全稼働)

(d) 結論ならびに今後の課題

徳島市の一部地域を対象として、津波による流入水の排水のシミュレーションを行った。その結果、安政南海地震を入力とした場合、ポンプがすべて稼働するとすると、約16時間、排水能力の高い上位3つのポンプが稼働しないとすると、約72時間排水完了までかかることが分かった。また、内閣府想定の場合3では、地殻変動が大きく、南側の堤防が朔望平均満潮位より低くなってしまい、常に水が流入する結果とな

った。

内閣府想定の場合3において、どのような被害状況で救援・復旧活動を行うことになるのかを木造建物被害予測を行って検討した。被害関数は、今井・他(2016)の木造建物に対する被害関数を利用した。徳島市の代表地形勾配としては、氾濫域における岸沖方向と河岸内陸方向の平均的な値として $i=0.00054$ を採用した。鉄骨造やRC造などの堅牢建物混成割合 Mr は不明であったため、 $Mr=0.1$ とした。これらによる木造建物の設計被害関数を図3-2-①-4に示す。図中、実線は木造建物に対する設計被害関数であり、点線は安全側(1 σ)での関数を示す。本業務では、実線の設計被害関数を用いて被害予測を行った。

図3-2-①-5に最大浸水深分布、図3-2-①-6に木造家屋全壊被害の予測分布を示す。沿岸および河岸近くの地域における木造建物の全壊被害予測値は20%以上となることわかる。最大津波浸水深分布だけでなく、長期湛水分布や家屋被害分布は、効率的な救援・復旧活動の検討への一助となることが考えられる。

今後の課題のひとつとして、潮位の変動を考慮することが挙げられる。これによって、今回の内閣府想定の場合3を入力とした場合のような際に、潮位の変動に応じた堤内の水の流れをシミュレーションできるようになる。他に、瓦礫によって排水路や下水路が詰まってしまった場合の検討や、津波が下水路を遡ってマンホールから水が溢れる現象も考える必要がある。

さらに、これらの排水ポンプは、本来は雨水の排水を対象に作られているため、海水に対しても同様に働くのか、また耐震性や停電時の補助電源の確保などの課題もあると考えられる。今後はそれらも踏まえて調査研究を進めていく。

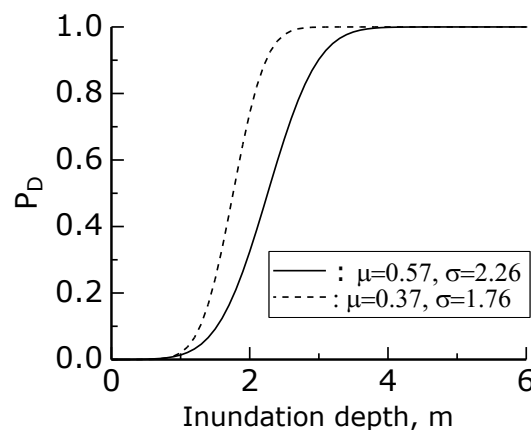


図3-2-①-4 当該地域における木造建物全壊被害に対する設計被害関数
浸水深さ(横軸)に対する全壊被害予測値(縦軸)。1は全壊率100%を示す。



図 3 - 2 - ① - 5 最大浸水深分布

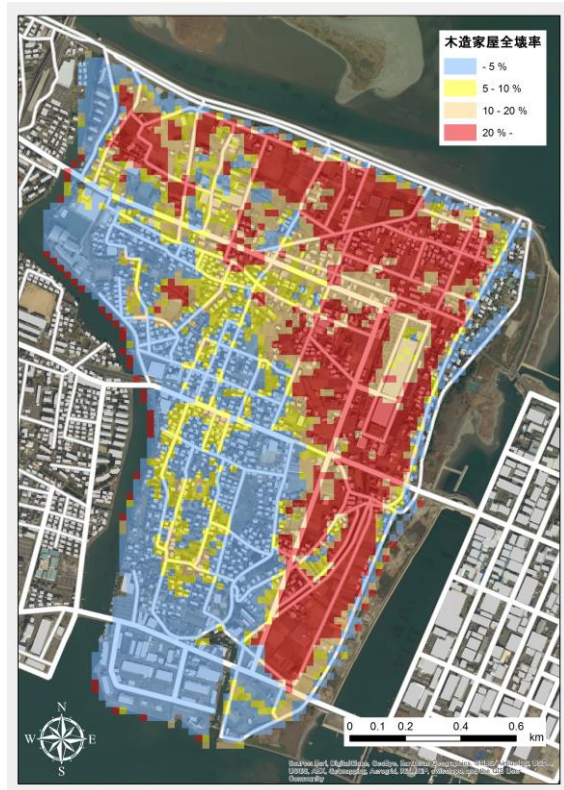


図 3 - 2 - ① - 6 木造家屋全壊被害分布

(e) 引用文献

内閣府，南海トラフの巨大地震モデル検討会，<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/>，2012 参照 2017-8-30.

今井健太郎・大林涼子・甲斐芳郎・行谷佑一・高橋成実，直線海岸を有する沿岸地域における木造建物の津波被害関数の特徴，日本地震工学会第 12 回年次大会梗概集，P2-2，CD-ROM，2016.

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、平成 27 年度に構築したグリーン関数の相反性を利用した長周期地震動の計算法を発展させ、グリーン関数をデータベース化して、任意の震源と観測点について地震動を作成する Web システムを構築した。

(b) 業務の実施方法

弾性波動論に基づくと、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の累積解放量である。

$G_{ip}(\mathbf{x}, t - \tau; \boldsymbol{\xi}, 0)$ 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。モーメントテンソル密度は媒質内で生じる非線形性を線形弾性論の枠組みで取り扱う際に使用されるものであるが、断層運動に対するモーメントテンソルは以下のように表される。

$$m_{pq} dV = (n_p \nu_q + n_q \nu_p) \mu D dS \quad (3-2-②-2)$$

ここで n と ν はそれぞれ断層の単位法線ベクトルと単位すべりベクトルの成分を表す。 μ は剛性率、 D はすべり量、 dS は断層の微小要素の面積である。式 (3-2-②-2) を式 (3-2-②-1) へ代入し、さらに断層を有限の大きさを持つ要素断層の集合として近似すると、以下の式が得られる。

$$u_i(\mathbf{x}, t) = \sum_{p=1}^3 \sum_{q=1}^3 \sum_{j=1}^{N_e} \int_{-\infty}^t \frac{\partial G_{ip}(\mathbf{x}, t - \tau; \boldsymbol{\xi}_j, 0)}{\partial \xi_q} M_{jpq}(\tau) d\tau \quad (3-2-②-3)$$

ここで N_e は要素断層の数、 M_{jpq} は要素断層 j のモーメントテンソルの累積解放量である。ところで、グリーン関数は以下のような相反性を有する。

$$G_{ip}(\mathbf{x}, t - \tau; \boldsymbol{\xi}, 0) = G_{pi}(\boldsymbol{\xi}, t - \tau; \mathbf{x}, 0) \quad (3-2-②-4)$$

式 (3-2-②-4) を式 (3-2-②-3) へ代入すると、次式のようになる。

$$u_i(\mathbf{x}, t) = \sum_{p=1}^3 \sum_{q=1}^3 \sum_{j=1}^{N_e} \int_{-\infty}^t \frac{\partial G_{pi}(\boldsymbol{\xi}_j, t - \tau; \mathbf{x}, 0)}{\partial \xi_q} M_{jpq}(\tau) d\tau \quad (3-2-②-5)$$

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。

本業務では、長周期地震動を計算するためのグリーン関数を算出するにあたり、有限差

分法を使用した。有限差分法は、媒質全体を格子の集合として近似し、運動方程式を逐次解くことにより地震波の伝播を追跡するものである。そのため、震源は1種類のものしか想定できないものの、それによる変位は媒質内のすべての点で計算することができる。この特徴は、ある想定地震についてのハザードマップを作成するときなどは有利に働くが、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は不利に働く。しかし、グリーン関数の相反性を利用すると、ひとつの観測点に対する媒質内のあらゆる位置の震源による地震動のグリーン関数を得ることができる。このことを利用して、いくつかの地点における媒質内の多数の位置の震源による地震動のグリーン関数をデータベース化し、必要に応じてこれを重ね合わせることで観測点における地震動を作成するシステムを作成した。

式(3-2-②-5)では震源位置での変位勾配テンソルを用いることになっているが、有限差分法では変位勾配テンソルは得られず、代わりに応力テンソルが得られる。本研究では、以下の式により応力テンソルから歪みテンソルを計算した。

$$\begin{pmatrix} \tau_{xx} \\ \tau_{yy} \\ \tau_{zz} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \\ \tau_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda+2\mu & \lambda & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda+2\mu & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda & \lambda+2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2\mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2\mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2\mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} \\ \varepsilon_{xy} \end{pmatrix} \quad (3-2-②-6)$$

ここで τ は応力テンソル、 ε は歪みテンソル、 λ と μ はその位置におけるラメの定数である。式(3-2-②-5)に現れるモーメントテンソルは対称テンソルであり、変位勾配テンソルは常に対角成分が組になって現れるため、その和のみが重要となる。そこで、式(3-2-②-5)を以下のように書き換える。

$$u_i(\mathbf{x}, t) = \sum_{p=1}^3 \sum_{q=1}^3 \sum_{j=1}^{N_s} \int_{-\infty}^t H_{ipq}(\mathbf{x}, t-\tau; \xi_j, 0) M_{jpq}(\tau) d\tau \quad (3-2-②-7)$$

ここで、新たなグリーン関数 H_{ipq} の定義は次式の通りである。

$$H_{ipq}(\mathbf{x}, t-\tau; \xi_j, 0) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\partial G_{pi}(\xi_j, t-\tau; \mathbf{x}, 0)}{\partial \xi_q} + \frac{\partial G_{qi}(\xi_j, t-\tau; \mathbf{x}, 0)}{\partial \xi_p} \right\} = \varepsilon_{pq}(\xi_j, t-\tau; \mathbf{x}, 0) \quad (3-2-②-8)$$

式(3-2-②-8)の ε_{pq} は、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歪みテンソルである。本研究で作成したグリーン関数データベースとは、この ε_{pq} の時系列データを複数の観測点と多くの震源位置について計算したものの集合である。

(c) 業務の成果

本業務の成果について説明する。まず、図3-2-②-1に地震動作成システムの流れ図を示す。観測点情報・震源断層の情報・その他の情報(計算のパラメータなど)をユーザーがWebインターフェイス上で設定し、内部動作で震源断層を要素断層に分割する。その後、観測点と要素断層位置との関係から、グリーン関数データベースを参照して、適切

なグリーン関数の時系列データを取得しながら、波形合成を行う。以下に、グリーン関数データベースの緒元、震源断層を要素断層に分割する方法、震源時間関数の設定方法、グリーン関数の時系列データの取得について、詳細を記述する。

グリーン関数データベースの緒元として、まず設定可能な観測点を表 3-2-②-1 に示す。観測点としては、名古屋市の各区の代表点、その他いくつかの地点、および大阪堆積平野上の 5 地点とした。次に、有限差分法によるグリーン関数の計算にあたり、使用した地下構造モデル¹⁾を表 3-2-②-2 に示す。本来、このモデルは 23 層で構成されているが、本研究においては最上層の物性値を第 2 層と同じものとした為、表 3-2-②-2 は 22 層になっている。Q 値については、田中・他²⁾を参考に、m/s 単位の S 波速度と同じ値とした。また、グリーン関数データベースを作成したモデル範囲と観測点・想定震源位置の分布を図 3-2-②-2 に示す。任意の地震に対して地震動を合成するためには、想定震源位置を密に配置することが望ましい。しかし、同時にグリーン関数データベースの容量が大きくなるという問題が生じる。本システムでは、水平方向には 10 km 間隔、上下方向には 5 km 間隔で想定震源位置を配置した。上下方向の間隔を小さくしているのは、地下構造は水平方向よりも上下方向に大きく変動するためである。

震源断層を要素断層に分割する方法については、まず、ユーザーが入力する震源情報は、断層セグメント（複数可）の位置・走向・傾斜・すべり角・長さ・幅・すべり量・応力降下量である。各断層セグメント内に強震動生成域を複数設定することも可能であり、それぞれにやはり位置・長さ・幅・すべり量・応力降下量を設定する。本システムでは、ひとつの長方形の断層セグメントをおよそ 100 の要素断層に分割する。これは、経験的グリーン関数法などの波形合成法により地震動予測を行う際に、やはり断層をおよそ 100 程度の要素に分割することが多いため、それを踏襲したものである。具体的には、以下のように要素断層の長さ・幅を設定する。

$$\Delta L = \frac{L}{\text{round}[L/\Delta L']}, \quad \Delta W = \frac{W}{\text{round}[W/\Delta W']} \quad (3-2-②-9)$$

$$\text{ただし } \Delta L' = \Delta W' = \sqrt{\frac{LW}{100}}$$

ここで L , W , ΔL , ΔW はそれぞれ断層セグメントの長さ、幅、要素断層の長さ、幅である。 round は小数点以下を四捨五入することを表す。このように生成された要素断層は、おおむね断層セグメントの 1/100 程度の面積で、正方形に近い形状となる。

震源時間関数については、本システムでは、要素断層の震源時間関数の形状をユーザーが選択できるようになっている。選択肢としては、一般に地震動予測で用いられることの多い代表的なものとして、 ω^2 スペクトル型、矩形波型、三角波型、ベル型、中村・宮武型³⁾を用意した。なお、ここで ω^2 スペクトル型とは

$$f(t) = \omega_c^2 t e^{-\omega_c t} \quad (3-2-②-10)$$

の式で表される震源時間関数であり、そのフーリエスペクトルは厳密に ω^2 スペクトルの形状となる。上式で ω_c はコーナー振動数の 2π 倍である。

グリーン関数データベースからのグリーン関数時系列データの取得方法としては、各要素断層の中心位置からもっとも近い位置で定義されたグリーン関数データを採用すること

とした。ただし、想定震源位置は水平方向で 10 km 間隔であるため、S 波速度を 3~4 km/s とすると、要素断層の中心と想定震源位置との関係によって最大で 2 s 程度の走時のずれが生じる可能性がある。そのため、グリーン関数を重ね合わせる際、破壊伝播に伴う要素断層の破壊の遅れに加えて、次式で定義する時間 t_d をさらに加えることにより、グリーン関数の走時のずれを補正することとした。

$$t_d = R_e/V_s - R_b/V_s \quad (3-2-②-11)$$

ここで R_e は要素断層と観測点との距離、 R_b は採用したグリーン関数の震源位置と観測点との距離、 V_s は S 波速度である。本来、有限差分法によって計算されたグリーン関数は S 波の成分のみではなく、P 波や表面波の寄与も含んでいる。そのため、式 (3-2-②-11) による走時の補正は必ずしも万全のものではない。しかしながら、波動の種類ごとに走時を補正することは不可能であるため、通常もっとも振幅が大きくなる S 波を基準に走時の補正を行うこととした。

図 3-2-②-3 に地震動作成システムの操作画面を示す。このシステムは Web 上に公開されており、URL: <http://133.6.118.22/map/map/?cid=1&gid=0&mid=44> より誰でも利用することが可能である。

表 3 - 2 - ② - 1 観測点一覧

地点名	緯度 /deg	経度 /deg
大阪阿倍野	34.6458	135.5142
名古屋大学減災館	35.1563	136.9669
碧南	34.8848	136.9933
東大阪	34.6794	135.602
名古屋金山	35.1429	136.901
刈谷	34.9879	136.999
名古屋港	35.0488	136.5803
K-NET 四日市	34.9704	136.6357
名古屋市熱田区	35.1285	136.911
名古屋市千種区	35.1665	136.948
名古屋市東区	35.1793	136.9269
名古屋市北区	35.1943	136.9151
名古屋市名東区	35.1759	137.0107
名古屋市緑区	35.0709	136.9531
名古屋市南区	35.0952	136.9332
名古屋市港区	35.1077	136.8859
名古屋市瑞穂区	35.1316	136.9355
名古屋市守山区	35.2032	136.9786
名古屋市中区	35.1687	136.9155
名古屋市中川区	35.1416	136.8558
名古屋市中村区	35.1687	136.8731
名古屋市西区	35.1891	136.8904
名古屋市昭和区	35.1502	136.9346
名古屋市天白区	35.1225	136.9752
名古屋名駅	35.1709	136.8819
大阪難波	34.6647	135.5012
大阪梅田	34.7024	135.4971
大阪咲洲	34.6381	135.4164

表 3 - 2 - ② - 2

層番号	P 波速度 / km s ⁻¹	S 波速度 / km s ⁻¹	密度 / 10 ³ kg m ⁻³
1	1.8	0.5	1.95
2	2.0	0.6	2.00
3	2.1	0.7	2.05
4	2.2	0.8	2.07
5	2.3	0.9	2.10
6	2.4	1.0	2.15
7	2.7	1.3	2.20
8	3.0	1.5	2.25
9	3.2	1.7	2.30
10	3.5	2.0	2.35
11	4.2	2.4	2.45
12	5.0	2.9	2.60
13	5.5	3.2	2.65
14	5.8	3.4	2.70
15	6.4	3.8	2.80
16	7.5	4.5	3.20
17	5.0	2.9	2.40
18	6.8	4.0	2.90
19	8.0	4.7	3.20
20	5.4	2.8	2.60
21	6.5	3.5	2.80
22	8.1	4.6	3.40

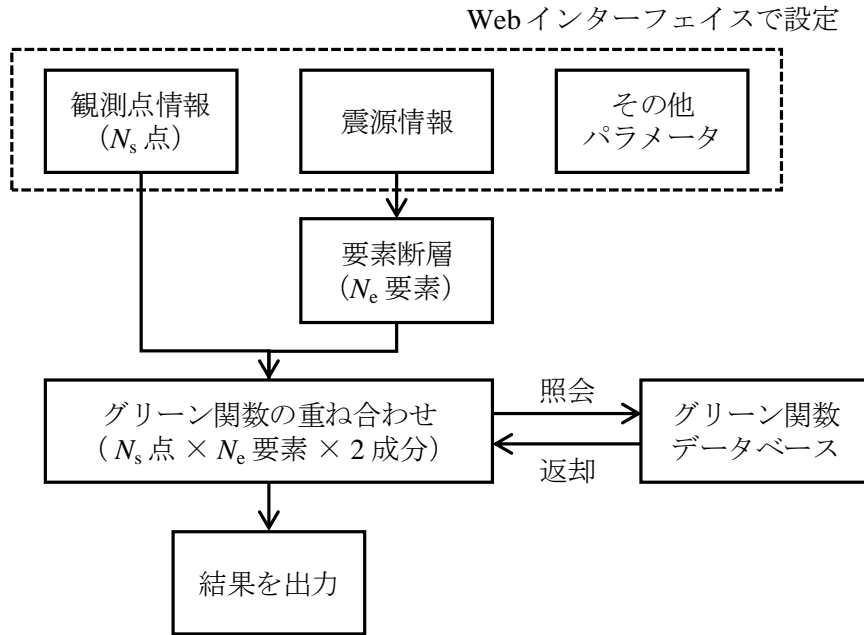


図 3-2-②-1 地震動作成システムの流れ図

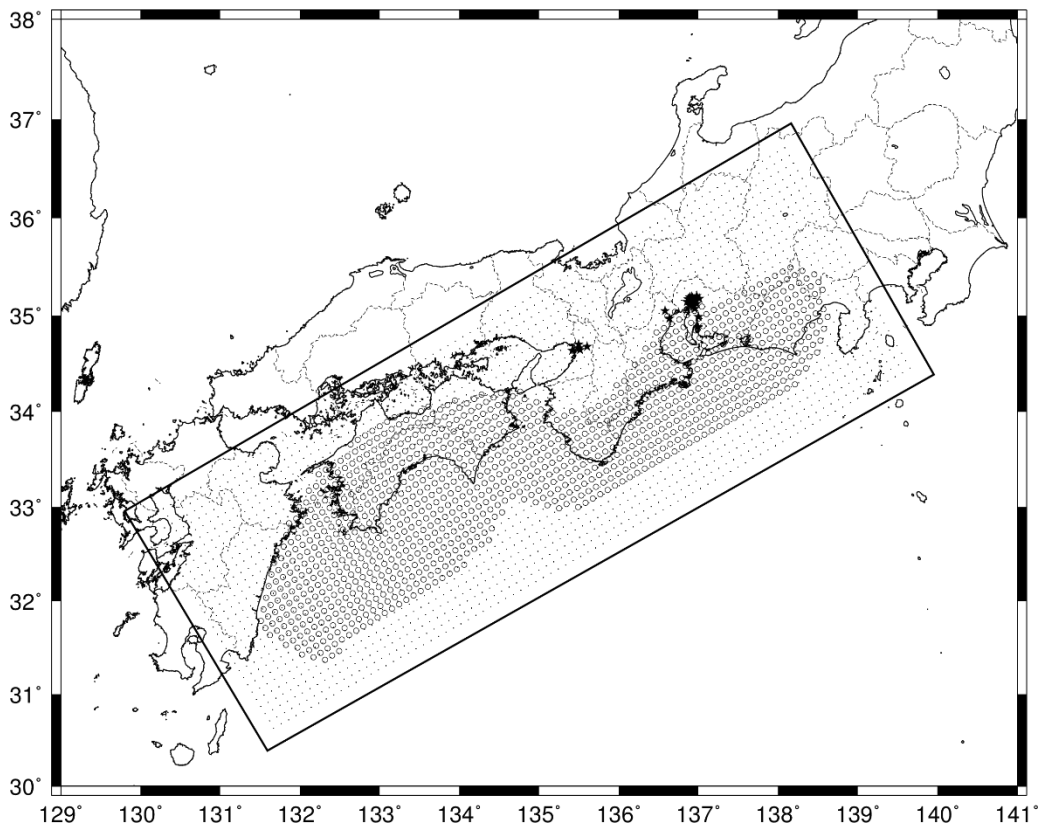


図 3-2-②-2 グリーン関数データベースを作成した範囲

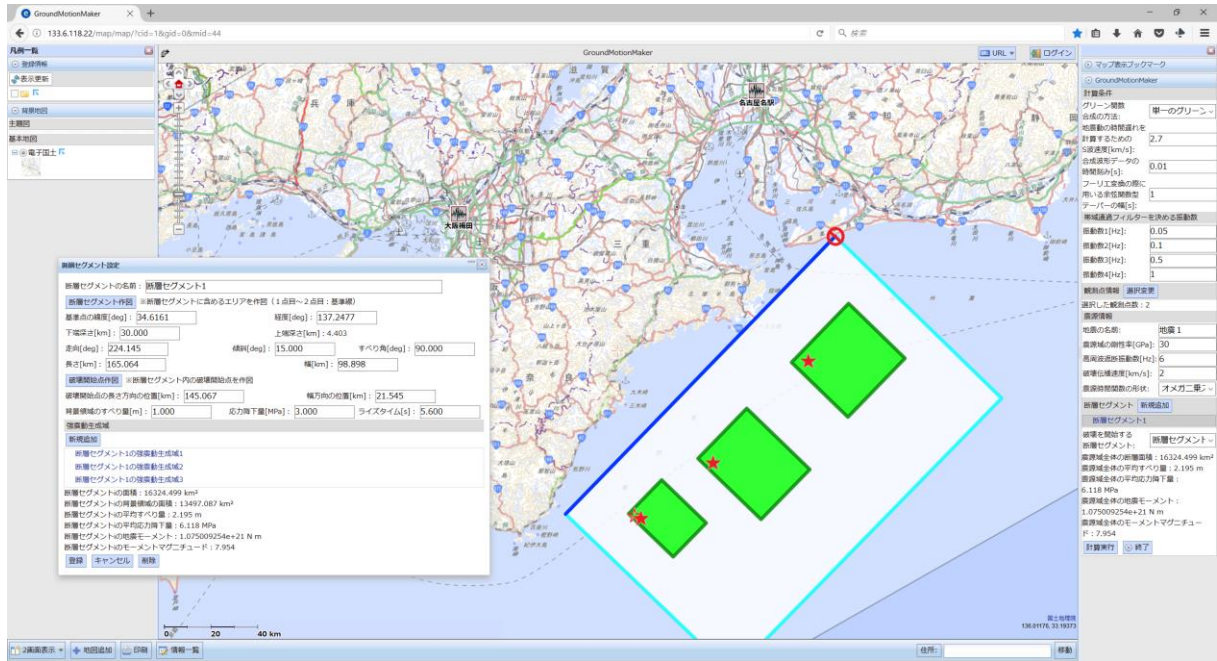


図 3-2-②-3 地震動作成システムの操作画面

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務での結論ならびに今後の課題について述べる。本業務では、平成 27 年度に構築したグリーン関数の相反性を利用した長周期地震動の計算法を発展させ、グリーン関数をデータベース化して、任意の震源と観測点について地震動を作成する Web システムを構築した。名古屋近辺と大阪堆積平野上の数点について、南海トラフ巨大地震の震源域を含む範囲の地盤構造モデルからグリーン関数データベースを作成し、地震動作成システムから利用できるようにした。今後は、グリーン関数データベースの拡充を図っていくことが課題となる。また、本システムは有限差分法によって計算されたグリーン関数を用いているため、長周期地震動のみの予測にとどまる。今後は、統計的グリーン関数法などと組み合わせることで、広帯域の地震動を予測することができるシステムとする必要がある。

(e) 引用文献

- 1) 地震調査研究推進本部：「長周期地震動予測地図」2012 年試作版 付録 2. 全国 1 次地下構造モデル（暫定版），2012
- 2) 田中紳太郎，川辺秀憲，宮本裕司：大阪平野における長周期地震動の特性（その 2）単会トラフにおける海溝型地震の長周期地震動予測，日本建築学会大会学術講演梗概集構造 II，pp.1239-1240，2016
- 3) 中村洋光，宮武隆：断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式，地震 2，53，pp.1-9，2000

③地盤被害

(a) 業務の要約

地震時における盛土造成斜面の変状メカニズム解明の一環として、盛土造成斜面の共振、すなわち固有振動数と入力振動数の関係に着目した 1G 場振動台模型実験を実施した。その結果、盛土造成斜面の地震時安定性は、単に入力加速度の大ききさで決まるのではなく、盛土造成斜面の固有振動数と入力振動数の関係に強く依存することがわかった。

(b) 業務の実施方法

日本は、国土の約 73%を山地が占めており、平坦地に限りがある。そのため、丘陵地の丘部分を切土し、その際に発生した土砂を盛土材に転用して、周辺の谷部や窪地を盛土する造成手法が、効率的かつ経済的な手法として多用されてきた。この手法で造成された斜面は、道路、鉄道等の線状構造物に加えて、都市部周辺の住宅地に供用されており、都市の発展等に寄与してきた。一方で、大地震においては、盛土造成斜面の変状に伴う被害が多数報告されている。例えば、近年発生した地震に対する報告として、1995 年兵庫県南部地震 (Kamai, 1995)、2004 年中越地震 (Mid Niigata Prefecture Earthquake research committee, 2007)、2007 年能登半島地震 (Tameshige et al., 2009)、2011 年東北地方太平洋沖地震 (Kamai et al., 2013, Murao et al., 2013)、および 2016 年熊本地震 (Mukunoki et al., 2016) などがある。被害は、プレート間地震や内陸地殻内地震などの、震源が浅くマグニチュードの大きい地震の際に発生することがわかっており、盛土造成斜面が大地震に対して脆弱であり、地盤工学的な危険因子であることは明らかである。地震時に変状しにくい盛土斜面の造成手法としては厳しい盛土の締固め管理が、また対策工としては地すべり対策工法の適用が提案されており、これらの手法は経験的に有効であると考えられている。一方で、2007 年能登半島地震においては、高品質で十分に締固められていた有料道路内の盛土造成斜面において、大規模な地すべりが発生したことが報告されている。また、2011 年東北地方太平洋沖地震においては、同時期に地すべり対策工 (杭工、地下水排除工) が施工された盛土造成斜面であっても、対策が有効であった場所もあれば、そのすぐ近傍において地すべりが発生したという報告もある。これらの被害事例から、現行の設計法や対策工は、経験に頼る部分が大きく、被害を防ぐためには十分ではないとすることができる。ここでは、地震時における盛土造成斜面の変状メカニズム解明の一環として、盛土造成斜面の共振、すなわち固有振動数と入力振動数の関係に着目した 1G 場振動台模型実験結果を示す。

模型は、図 3-2-③-1 に示すように、ステンレス製の土槽内に、基盤部分と盛土部分からなる盛土造成斜面を模した模型地盤を作成した。実際の盛土造成斜面は、長さ 120m 未満のものが大半であることから、約 1/100 スケールの模型である。土槽の前後部分は水槽で、模型地盤の浸潤、および飽和に供する。土槽の側面はアクリル板で、変形の観察が可能となっており、実験条件は、平面ひずみ状態である。模型地盤内には、図 3-2-③-2 に示すように、加速度計 7 個、間隙水圧計 7 個を盛土部分

作成時に埋め込み、入力振動計測のための加速度計を、土槽底部に設置した。

基盤部分は、三河珪砂（4, 5, 5.6, 6, 7号）にセメント系固化剤を $150\text{kg}/\text{m}^3$ の割合で添加して作製した。基盤作製にあたっては、含水比 15% で突き固め、28 日養生を経た後に階段状に整形した。また、基盤と盛土の境界を階段状にして抵抗を大きくすることで、境界面ですべりが発生しないようにした。盛土部分は、三河珪砂（4, 5, 6, 7号）、DL クレー、および青色粘土の混合試料を用いている。含水比を 12% に調整し、乾燥密度 $\rho_d=1.72\text{ g}/\text{cm}^3$ （締固め度 $D_c=90\%$ ）となるよう密度管理を行いながら、水平成層となるように 15 層（1 層 2cm）に分けて突き固めた。模型地盤完成後、30 時間かけて段階的に浸潤面を上昇させ、模型地盤が水浸状態となってから 10 時間放置した後で、所定の形状の斜面となるように盛土部を掘削・整形した。

入力加速度は振動数一定の正弦波とし、 $0.2\text{ m}/\text{s}^2$ 段階的に $0.5\text{ m}/\text{s}^2$ 刻みで加速度を大きくする加振を行った。各段階の加振時間は 60 秒である。各段階間で、次の加振準備のために 240 秒のインターバルを設けたが、インターバル中に間隙水圧の変動はほぼ見られず連続的な加振とみなした。また、いずれの段階においても、入力開始から約 1.5 秒で所定の加速度に達するよう制御している。模型斜面の固有振動数の決定方法については後述するが、固有振動数と入力振動数の関係に着目して盛土造成斜面の変状メカニズムを明らかとするため、次の 3 ケースについて検討した。

Case1：入力振動数が 50Hz の場合（模型斜面の固有振動数にほぼ等しい）

Case2：入力振動数が 20Hz の場合（模型斜面の固有振動数より小さい）

Case3：入力振動数が 80Hz の場合（模型斜面の固有振動数より大きい）

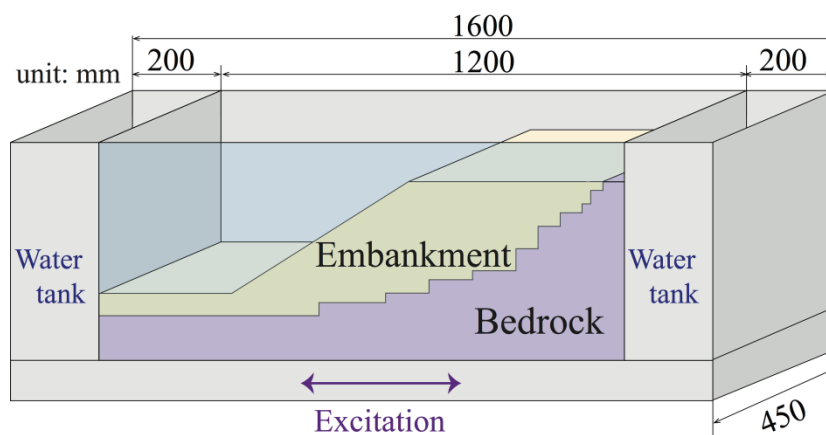


図 3 - 2 - ③ - 1 模型土槽の概要

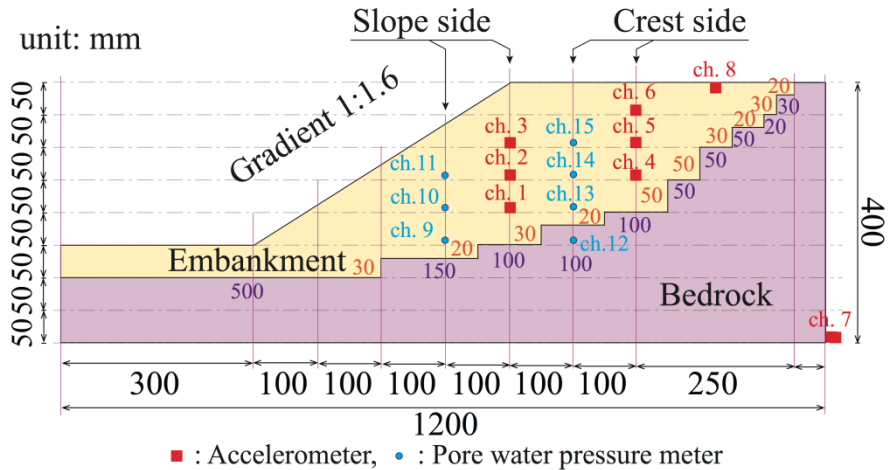


図 3 - 2 - ③ - 2 計測器の配置

(c) 業務の成果

振動数に着目した検討を行うにあたって、模型斜面の固有振動数を把握するために、掃引試験を実施した。掃引波は、加速度振幅 0.2m/s^2 一定の正弦波形とし、振動数を $10\sim 60\text{ Hz}$ まで上昇させて、盛土部の天端に設置した加速度計 (ch.8) によって加速度増幅を計測した。図 3 - 2 - ③ - 3 は、掃引試験の入力加速度 (ch.7) と、天端での計測加速度を示す。(b) は振動数 40Hz 周辺、(c) は天端での計測加速度がピーク付近の振動数 53 Hz 周辺、(d) は振動数 55Hz 周辺の拡大図を示す。(a) において、入力振動数の変化に伴い、天端の計測加速度が、時刻 390s 周辺までは増幅し、その後、減衰していることから、最も増幅が大きかった時点の入力振動数が模型斜面の固有振動数であることがわかる。詳しく見ると、入力振動数 40Hz 周辺では、ほとんど増幅がみられない。一方で、入力振動数 53Hz 周辺では、約 4 倍の増幅がみられ、入力振動数 55 Hz 周辺では、約 3 倍の増幅がみられる。これらの結果より、模型斜面の固有振動数は $50\sim 60\text{Hz}$ 間にあり、 50Hz 寄りであることから、実験においては、固有振動数に近い入力振動数として、 50Hz の振動を入力することとした。

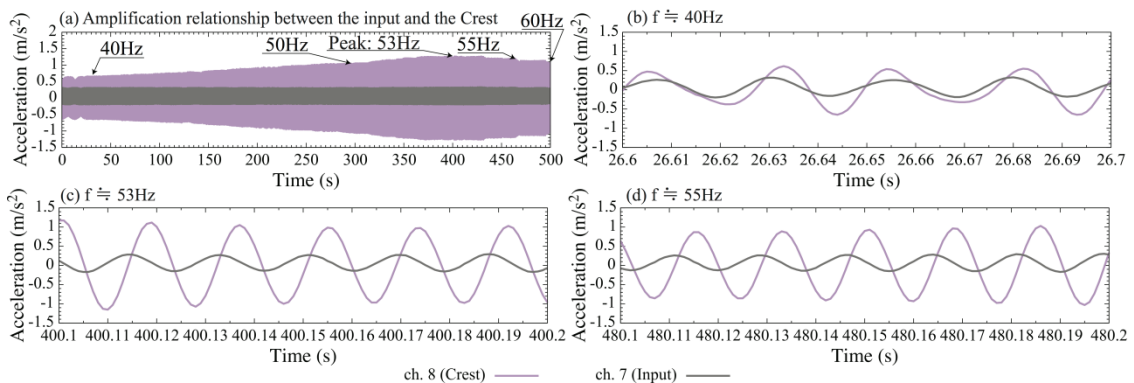


図 3 - 2 - ③ - 3 固有振動数の探索結果

【Case1：入力振動数が 50Hz の場合（模型斜面の固有振動数とほぼ等しい）】

図 3-2-③-4 は計測加速度とその増幅率の変化を、図 3-2-③-5 は過剰間隙水圧比の変化を示す。なお、加速度増幅率（以下、増幅率と記す）を、入力加速度に対する増幅加速度の比として式(1)で求めている。

$$\text{加速度増幅率} = \frac{\text{増幅加速度}}{\text{入力加速度}} \quad (1)$$

写真 3-2-③-1 は加振前と 11 段階目（入力加速度 5.2 m/s²）の、模型側面の状況を示す。写真 3-2-③-1 内の 2 つのすべり面は、側面に設置したマーカーの変位と、後述する増幅率変化、および間隙水圧挙動から判定したものである。

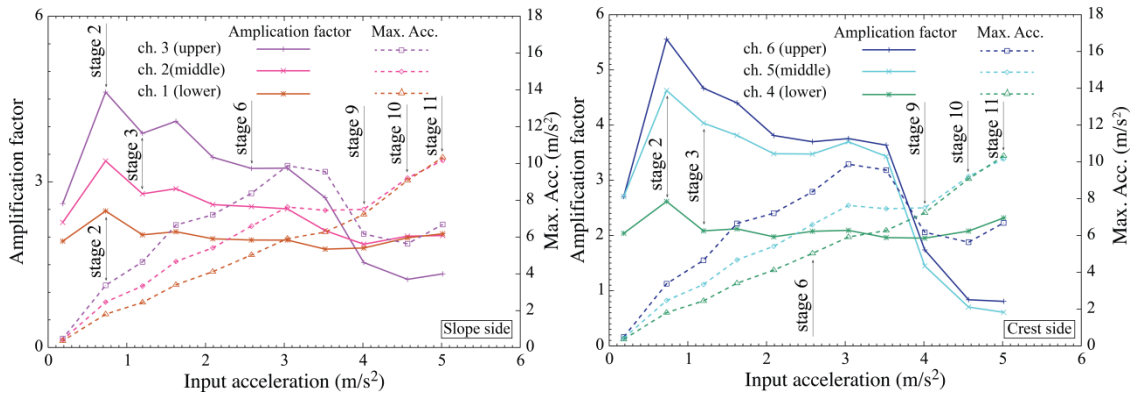


図 3-2-③-4 計測加速度と増幅率変化 (Case1)

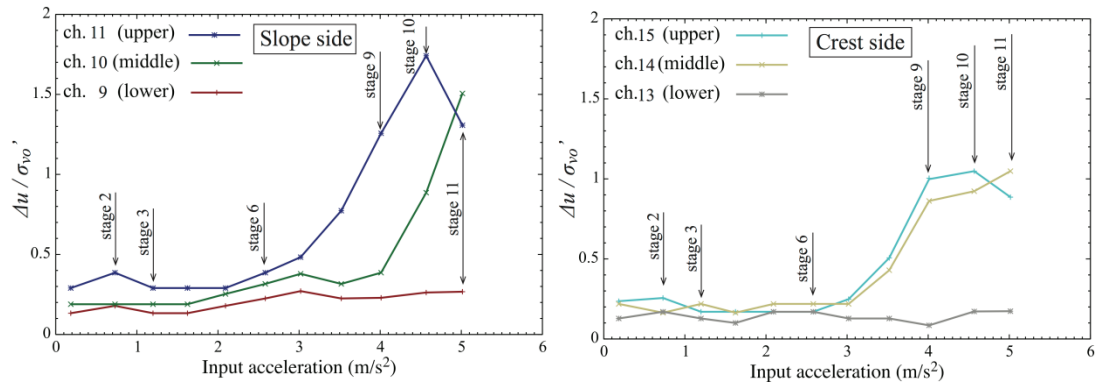


図 3-2-③-5 過剰間隙水圧変化 (Case1)

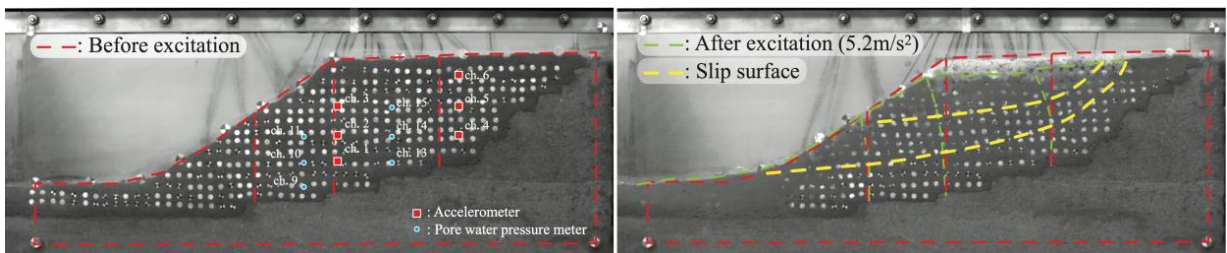


写真 3-2-③-1 初期および 11 段階目の加振後の側面の様子 (Case1)

1 段階目～2 段階目「共振過程」

図 3-2-③-4 より、深度方向の増幅率を比較すると、初期段階では盛土内で地表に近い箇所ほど増幅率が大きく、以下のような関係となる。

法面側：ch.1(lower) < ch.2(middle) < ch.3(upper)

天端側：ch.4(lower) < ch.5(middle) < ch.6(upper)

いずれの深度においても、増幅率は 2 段階目（入力加速度 0.7m/s^2 ）で最大となる。これは、入力振動数が模型斜面の固有振動数に近いので共振が生じているためであり、深部に比べて浅部ほど揺れが大きい。この段階では共振が生じているので、入力加速度が小さくても盛土部では大きな揺れが生じている。

3 段階目～8 段階目「系としての固有振動数低下過程」

さらに入力加速度を大きくすると（3～8 段階目）、どの計測点においても加速度は増加しつつも、深度方向の増幅率の大小関係を保ったまま、盛土浅部～中央部の増幅率が減少に転じる。この 3 段階目（入力加速度 1.2m/s^2 ）以降における増幅率の減少は、加振に伴う微小な塑性変形が蓄積して共振しなくなったためだと考えられる。また、模型斜面に明確な変状は見られないが、3 段階目の加振以降、地表面からの水の湧き出しが確認できるようになった。3 段階目以降の増幅率の減少が、浅部ほど大きいことから、拘束圧が小さい法肩や法面付近ほど塑性変形の蓄積量が大きくなっていると考えられる。水の湧き出しは、上述の模型斜面内の間隙水圧の上昇に伴う透水の結果であることを意味する。すなわち、一番浅部に設置された水圧計であっても間隙水圧計の値に上昇がみられないが、それよりも浅部で間隙水圧が上昇したために、水の湧き出しが発生したと考えられる。

9 段階目～10 段階目「浅部のすべり発生過程」

9 段階目（入力加速度 4.2m/s^2 ）になると、写真 3-2-③-2 に示すように、表層における開口亀裂が発生し、流動的な浅部のすべりが明瞭となる。この段階では、法面浅部の増幅率（ch.3）が著しく低下し、深度方向の増幅率の大小関係は、以下のように反転する。

法面側：ch.3(upper) < ch.1(lower) < ch.2(middle)

天端側：ch.5(middle) < ch.4(lower) < ch.6(upper)

図 3-2-③-6 は、9 段階目（入力加速度 4.2m/s^2 ）の加振における法面側の過剰間隙水圧比と加速度波形を示す。加振終盤では、法面浅部の過剰間隙水圧比（ch.11）が加振中に徐々に増加して 1.0 を超え、剛性・強度が低下するとともに、加速度（ch.3）は 10m/s^2 でピークを迎えた後、徐々に減衰している。

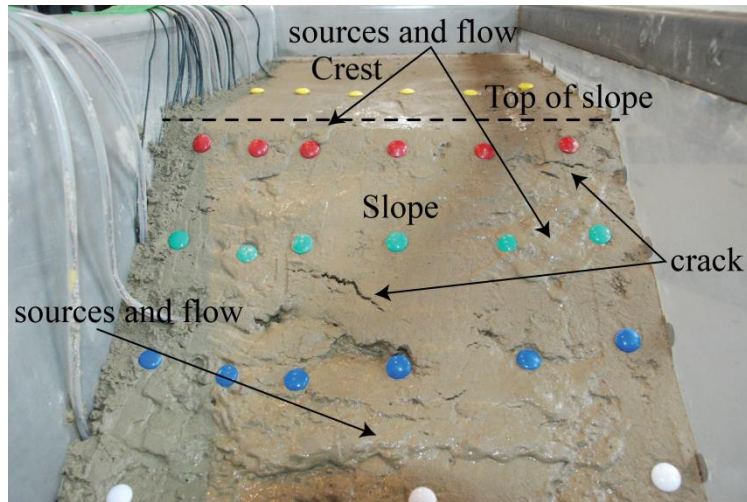


写真 3 - 2 - ③ - 2 9段階目の加振後の法面の様子 (Case1)

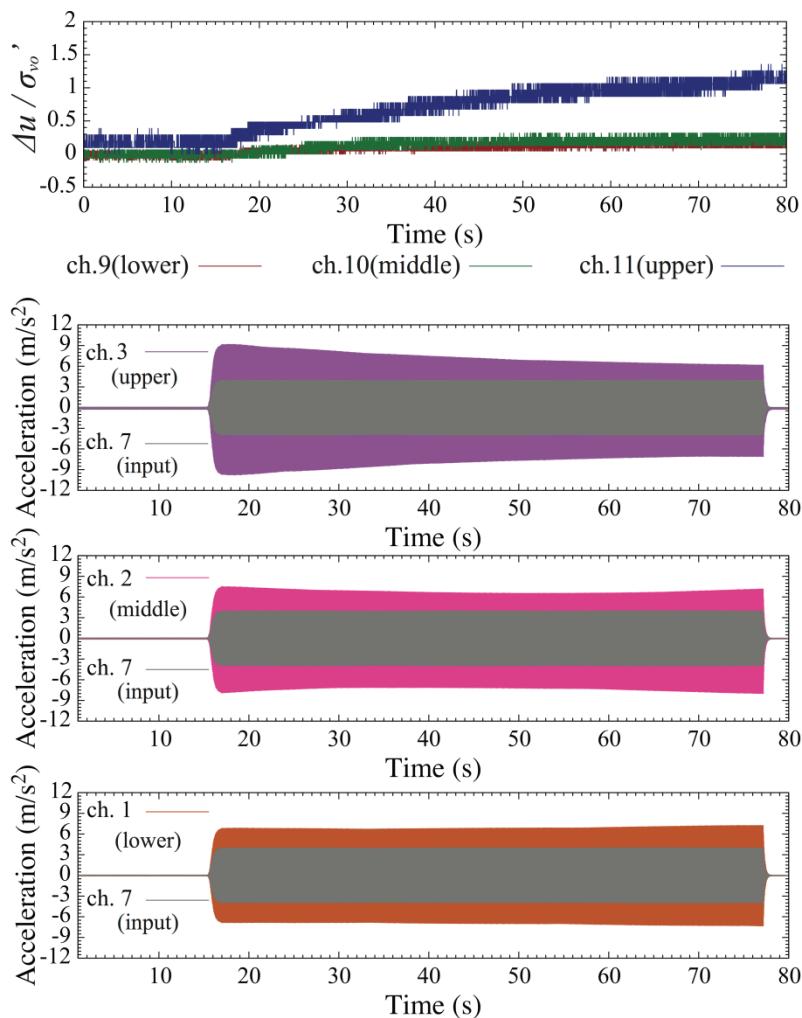


図 3 - 2 - ③ - 6 9段階目の加振中の過剰間隙水圧比と加速度波形 (Case1, 法面側)

11段階目～「深部のすべり発生過程」

11段階目 (入力加速度 5.2m/s^2) になると、盛土天端から法尻へと向かう深いすべ

りが発生した。この段階では、法面中央部の増幅率 (ch.2) が著しく低下し、深度方向の増幅率の大小関係は、以下のようにさらに反転する。

法面側 : ch.3(upper) < ch.2(middle) < ch.1(lower)

図 3-2-③-7 は、11 段階目 (入力加速度 5.2 m/s^2) の加振における法面側の過剰間隙水圧比と加速度波形を示す。先に示した加振 9 段階目の浅部と同様、法面中央部の過剰間隙水圧比 (ch.10) が 1.0 を超えるとともに、中央部の加速度 (ch.2) は 7.5 m/s^2 でピークを迎えた後、徐々に減衰している。9 段階目で発生した表層付近の流動的すべりとは別に、11 段階目では深部ですべりが発生した。このすべりの発生は、浅部のすべりと同様のメカニズムで、すなわち、(発生するすべり面より上の土塊の) 慣性力の増大とともに、共振を含む繰返し負荷過程での、塑性変形の蓄積に伴う剛性と強度の低下に起因すると考えられる。

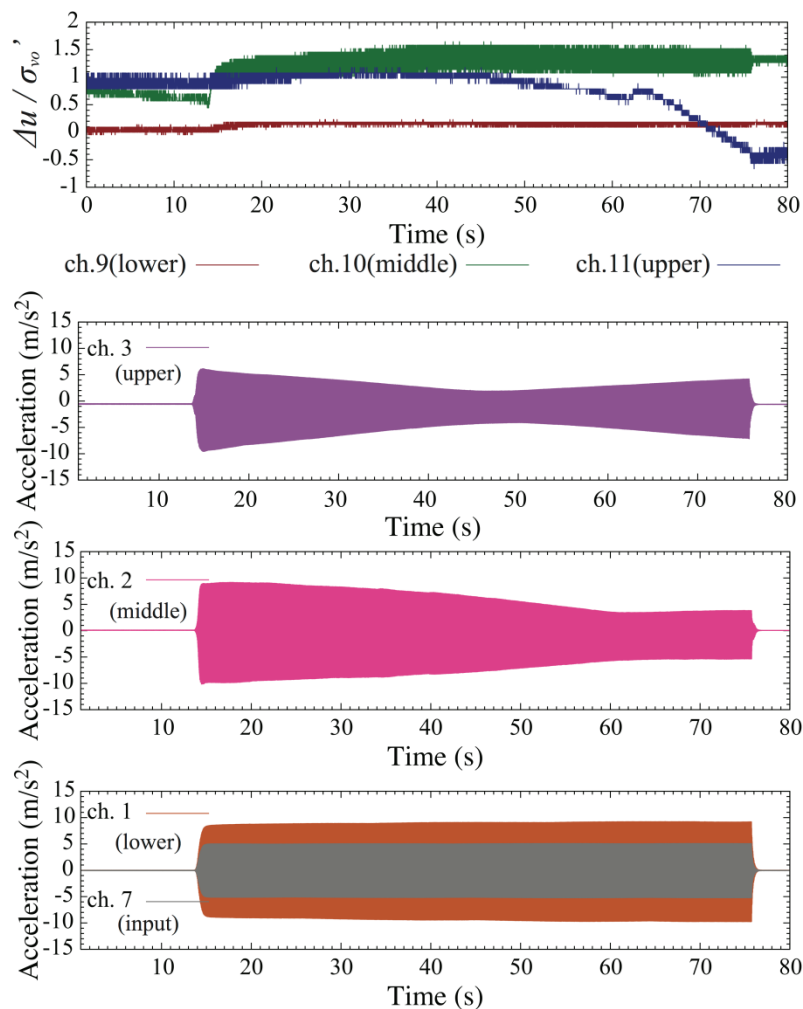


図 3-2-③-7 11 段階目の加振中の過剰間隙水圧比と加速度波形 (Case1, 法面側)

以上まとめると、入力振動数が固有振動数とほぼ等しい場合は、加振初期段階から共振が生じて加速度が増幅する。塑性変形の蓄積とともに平均有効応力は減少して、やがて拘束圧の小さい盛土浅部において局所的に剛性や強度が低下する。同時に、浅

部の加速度は増加率が減少するものの大きさは増大して慣性力が増大するため、浅部ですべりが発生する。さらに、入力加速度が大きくなると、今度は深部においても同様のメカニズムですべりが発生する。

【Case2：入力振動数が 20Hz の場合（模型斜面の固有振動数より小さい）】

図 3-2-③-8 は計測加速度とその増幅率の変化を、図 3-2-③-9 は過剰間隙水圧比の変化を示す。写真 3-2-③-3 は加振前と 12 段階目（入力加速度 5.7m/s²）の模型側面の状況を示す。なお、写真 3-2-③-3 中のすべり面は、側面に設置したマーカーの変位と、後述する加速度増幅、および間隙水圧挙動から判定したものである。

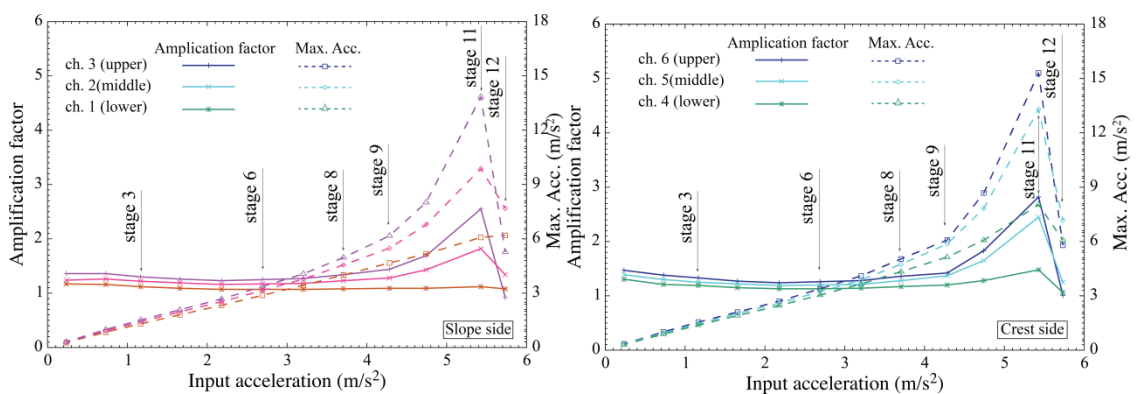


図 3-2-③-8 計測加速度と増幅率変化 (Case2)

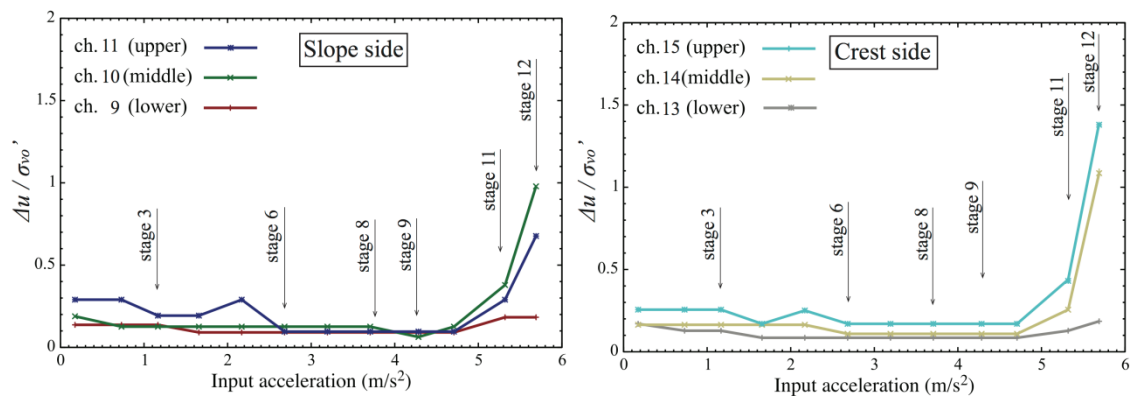


図 3-2-③-9 過剰間隙水圧変化 (Case2)

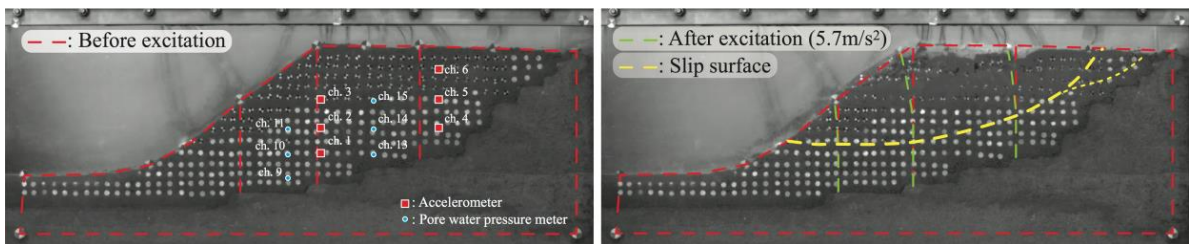


写真 3-2-③-3 初期および 12 段階目の加振後の側面の様子 (Case2)

1 段階目～8 段階目「非共振過程」

図 3-2-③-8 より、増幅率は地表面に近いほど大きい傾向において Case1 と同様である。しかし、その値は小さく、模型斜面は共振せずに、ほぼ一様に揺れていることがわかる。

9 段階目～11 段階目「系としての固有振動数増加過程」

9 段階目（入力加速度 4.7m/s^2 ）になると、深度方向の増幅率の大小関係を保ちながら、盛土浅部～中央部において加速度とともにその増幅率が徐々に増加しはじめる。同時に、過剰間隙水圧比も上昇し、表層で水の湧き出しが見え始めるが、Case1 でも説明したように、加振によって塑性変形が蓄積して平均有効応力が減少したためである。平均有効応力減少とともに剛性が低下し、系としての固有振動数は減少する。加振初期の固有振動数は、入力振動数（20Hz）と離れていたため、共振は生じずに揺れは小さかったが、固有振動数が次第に減少して入力振動数に近づくため、共振が生じて増幅率は増加する。図 3-2-③-8、図 3-2-③-9 からわかるように、11 段階目（入力加速度 5.2 m/s^2 ）から間隙水圧の上昇がピークを迎える。

12 段階目「上部・中央部一体のすべり発生過程」

12 段階目では、盛土浅部と中央部の増幅率が減少して、深度方向の増幅率の大小関係は、以下のように反転する。

法面側：ch.3(upper) < ch.2(middle) < ch.1(lower)

天端側：ch.6(upper) < ch.5(middle) < ch.4(lower)

この段階では、上部と中央部の計測加速度が増大して慣性力も増大するとともに、盛土浅部と中央部の過剰間隙水圧比が 1.0 を超えて剛性と強度が低下し、盛土中央部を貫くすべりが急に発生した。亀裂が地表面に発生し、側面からの目視観察においても、明瞭な変形が確認できた。共振が発生した時点で入力加速度が大きいことが原因で盛土浅部から中央部が同時に剛性を失ったため、Case1 のように表層から深部へとすべりが段階的に進展するのではなく、盛土中央部から一気にすべりが発生したと考えられる。

以上まとめると、入力振動数が盛土斜面の初期の固有振動数より小さい場合、加振初期段階は共振が生じないため安定を保つ。しかし、入力加速度が大きくなるにつれて塑性変形が蓄積すると、模型斜面の固有振動数が徐々に減少し、やがて入力振動数に近づくと共振が生じ、盛土部の揺れが非常に大きくなる。Case1 と同じメカニズムで、すなわち、盛土斜面の慣性力の増加とともに、盛土浅部と中央部において平均有効応力が減少して剛性・強度が低下し、盛土中央部を貫くすべりが発生する。共振が発生した時点で入力加速度が大きいため、Case1 のように表層から深部へとすべりが段階的に進展するのではなく、盛土中央部から一気にすべりが発生した。

【Case3：入力振動数が 80Hz の場合（模型斜面の固有振動数より大きい）】

図 3-2-③-10 は、過剰間隙水圧比の変化を示す。写真 3-2-③-4 は、加振前と 15 段階目（入力加速度 7.7m/s^2 ）の模型側面の状況を示す。

Case 3 では、Case 1、2 と異なり、15 段階目までの加振を行っても、目視で観測可能な変形が生じなかった。入力振動数が加速度計の許容応答振動数を超えるため、増幅率に関する議論はできない。しかし、間隙水圧挙動としては、図 3-2-③-10 に示すように、15 段階目までの加振において、過剰間隙水圧比の増加は見られない。Case1、2 と同様に、入力加速度の増加とともに塑性変形が蓄積し、系としての固有振動数は減少していると考えられるが、入力振動数から遠ざかる一方であるため、共振による加速度増幅は発生せず安定を保ったと考えられる。なお、11 段階目（入力加速度 5.2 m/s^2 ）以降の加振では、法肩と天端周辺のみから徐々に水の湧き出しが確認され、15 段階目の加振では明瞭となるが、すべりの発生にまでは至っていない。

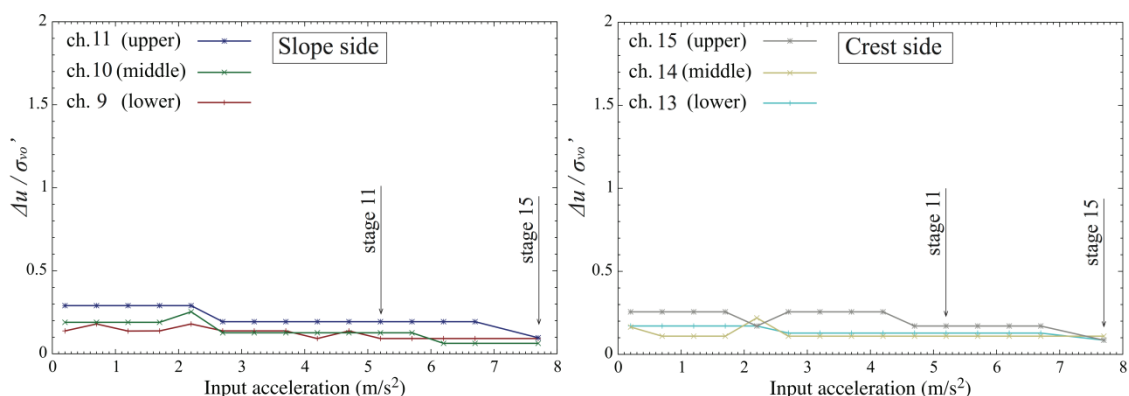


図 3-2-③-10 過剰間隙水圧変化 (Case3)

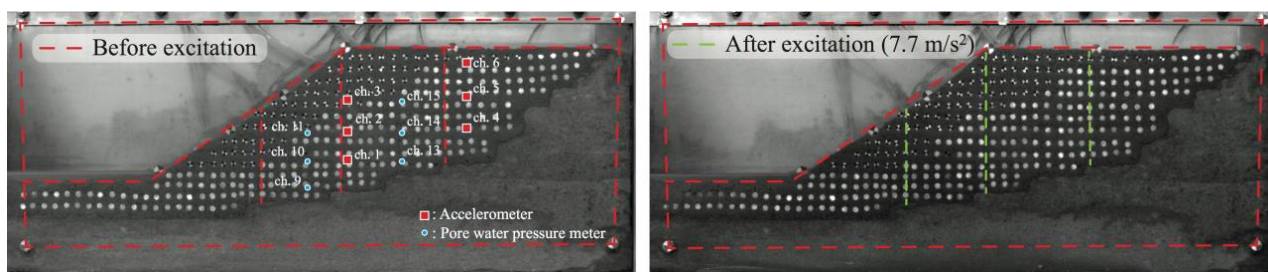


写真 3-2-③-4 初期および 15 段階目の加振後の側面の様子 (Case3)

以上まとめると、入力振動数が盛土斜面の初期の固有振動数より大きい場合、塑性変形の蓄積によって模型斜面の固有振動数が変化（減少）しても、入力振動数から遠ざかるため、共振せずに安定を保つことができた。

(d) 結論ならびに今後の課題

実験結果から、盛土造成斜面の地震時安定性評価は、単に地震波の加速度の大きさで決まるのではなく、盛土造成斜面の固有振動数と入力地震動の卓越振動数の関係に強く依存することがわかった。盛土の耐震対策工法は様々にあるが、単に補強・対策すればよいというものではなく、対象とする盛土造成斜面の振動特性を把握し、現地で想定される地震動の卓越振動数を考慮に入れた対策を行わないと、共振によって、

反って被害を増大させてしまう危険性があることを示唆している。

(e) 引用文献

- 1) Kamai, T., Landslides in the Hanshin urban region caused by the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, *Japan Landslide News* 9, 12-13, 1995.
- 2) Kamai, T., Ohta, H., Ban, Y. and Murao, H.: Landslides in urban residential slopes induced by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, *Studies on the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake*, Springer, 103 -122, 2013.
- 3) Mid Niigata Prefecture Earthquake research committee, Mid Niigata Prefecture Earthquake research committee report, *The Japanese geotechnical society*, 228-302, 2007.
- 4) Mukunoki, T., Kasama, K., Murakami, S., Ikemi, H., Ishikura, R., Fujikawa, T., Yasufuku, N., and Kitazono, Y.: Reconnaissance report on geotechnical damage caused by an earthquake with JMA seismic intensity 7 twice in 28 h, Kumamoto, Japan, *Soils and Foundations*, 56(6): 947–964, 2016.
- 5) Murao, H., Kamai, T. and Ohta, H., Slope disaster in urban residential region by earthquake - Take the 2011 off the pacific coast of Tohoku earthquake as an example -, *Journal of the Japan Society of Engineering Geology* 53(6), 292-301, 2013.
- 6) Tameshige, M., Kawamura, K., Komada, S., Miyamura, M., Haibara, T. and Mouri, T., Noto peninsula earthquake damage to Noto toll road and its restoration - Embankment damage and countermeasure work -, *Japanese Geotechnical Journal* 4(4), 289-305, 2009.

④重要建物を想定した構造・内部空間の被災状況予測

(a) 業務の要約

大規模地震災害時に特に影響の大きい重要構造物として、超高層建物と庁舎建物があげられる。ここでは、前者について特に室内耐震対策を促進する振動可視化による啓発ツールの開発、後者について2016年熊本地震で被災した低層RC造庁舎建物の常時微動計測に基づく地震時挙動の分析を行った。また、東海地域の被害予測・被災時対応に向けて、2016年4月1日に発生した三重県南東沖地震の観測記録の収集・分析を行った。

(b) 業務の実施方法

1) 長周期地震動を考慮した超高層建物の被害軽減にむけた振動体感ツールの開発

南海トラフ地震を想定して特定地点、特定建物、指定階の床応答を予測し、室内家具の挙動を計算したうえで、バーチャルリアリティ技術で揺れと被害を体感するツールを試作する。

2) 2016年熊本地震におけるRC造3階建て杭基礎建物の地震時挙動

熊本地震で被災した低層RC造庁舎を対象に、建物・地盤で常時微動観測を実施し、相互作用特性を含む振動特性の検討を行う。

3) 2016年三重県南東沖の地震における東海地域の地震観測記録

三重県南東沖地震の観測記録を、東海地域を中心に多数の期間の協力を得て収集・整理し、特に地盤振動特性について分析を行う。

(c) 業務の成果

1) 長周期地震動を考慮した超高層建物の被害軽減にむけた振動体感ツールの開発

a) 背景と目的

2011年の東北地方太平洋沖地震では、長周期地震動の発生により首都圏や震源から遠く離れた大阪府の超高層建物が大きな影響を受け、共振現象が問題になった。地表の揺れが小さな場合でも超高層建物の上層階では増幅され、長時間・大振幅の揺れとなる。長周期地震動に関して、気象庁は2013年、通常の震度階級とは別に長周期地震動階級を導入した。また内閣府は2015年に「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」をまとめ、250mメッシュでの揺れの予測を行った。これによれば、三大都市圏では長周期成分が卓越した継続時間の長い地震動となり、超高層建物が大応答となる可能性は高い。国土交通省は2016年に「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策について（技術的助言）」をまとめ、三大都市圏と静岡地方で長周期地震動を考慮した設計用入力地震動を設定するなどの対策を打ち出した。

以上を踏まえて、南海トラフ地震を想定して、超高層建物の応答評価と、それに基づく揺れや室内被害の体感環境を構築し、超高層建物の耐震対策にむけた意識啓発ツールの開発を行った。

b) 地震時の建物応答可視化ツールの開発

超高層建物の揺れの体験は、長周期・大振幅応答の正確な再現に困難がある。研究機関で特殊な振動台などの装置を開発した例や、単純な装置で啓発目的に特化したものなどがある。ここではバーチャルリアリティ（仮想現実、以下 VR）により室内の揺れと被害を体験する方法を用いることとし、安全性や手軽さとリアリティの両立を検討した。代表的な VR 装置としてヘッドマウントディスプレイ（以下 HMD）がある。ここでは将来的にこの種の装置を使用することを想定しつつ、より手軽なスマートフォンと立体視レンズを用いた簡易 HMD による地震体験アプリケーションを試作する。

まず、任意の場所・建物に対応した揺れの想定を行う。入力は、内閣府による「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」により、3 次メッシュごとに作成された地震動を用いる。建物は階数、固有周期、減衰定数を設定し、逆三角形一次モードを仮定して任意階の応答を計算する。一般向けには、固有周期と減衰定数の代わりに構造種別（S 造または RC 造）を入力する。以上のアプリケーションとサーバによるシステム概要を図 3-2-④-1 に、室内の揺れ映像の例を図 3-2-④-2 に示す。通信技術を活用して、手軽なスマートフォン等の端末と能力の高いサーバによるシステムとすることで、将来の柔軟な展開が可能となる。簡易な搭乗型振動台（図 3-2-④-3）との連動によるリアリティの高い体験も検討中である。

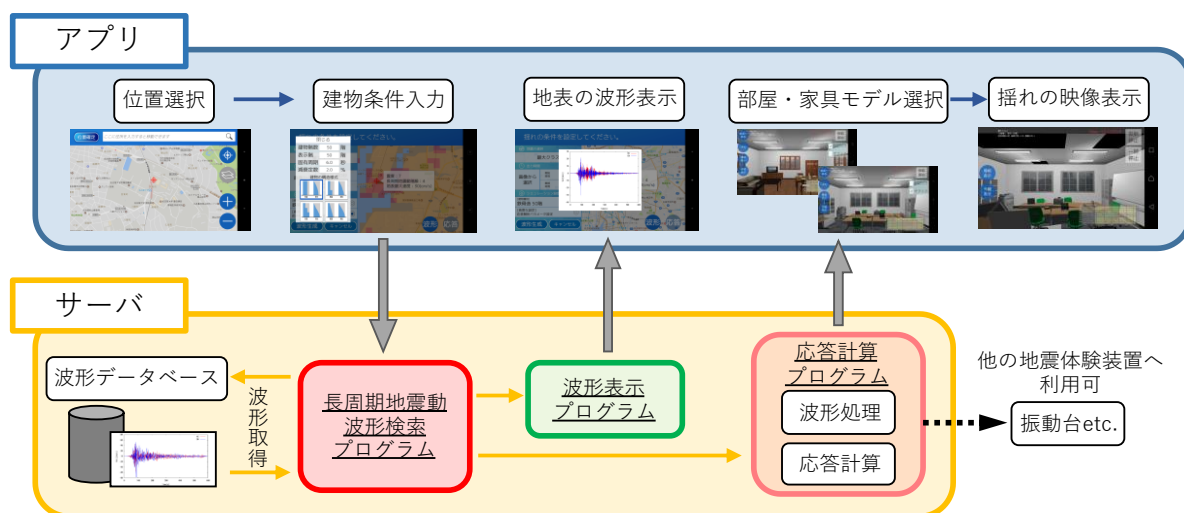


図 3-2-④-1 任意地点・任意建物の振動体験用システムの構成

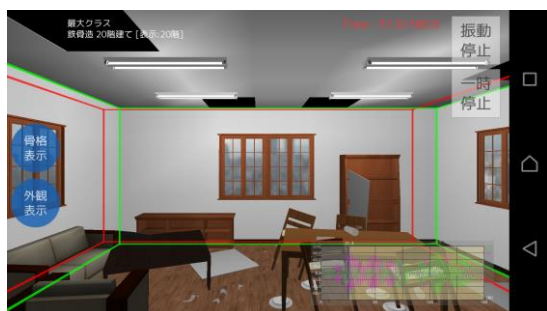


図 3-2-④-2 室内の揺れ映像の例



図 3-2-④-3 大振幅振動台「パレットぶるる」

2) 2016年熊本地震におけるRC造3階建て杭基礎建物の地震時挙動

a) 背景と目的

2016年熊本地震においては、益城町役場庁舎（以下本建物）に設置された震度計で2度にわたり震度7が記録された。益城町では、古い木造家屋などで甚大な被害が発生したが、耐震補強が実施されていた本建物やRC造4階建ての町営住宅では、外観上で顕著な損傷は認められなかった。ここでは、著者らが実施した本建物の常時微動計測結果に基づき、被災後の建物振動特性の分析を行う。

b) 地盤と建物の常時微動計測結果

2016年9月に当該建物およびその周辺地盤において常時微動計測を実施した。常時微動計（白山工業製JU210）を3台使用し、ケース1：建物南側地表観測点、本建物近傍の地表及び建物1階（震度計位置）、ケース2：建物近傍の地表、建物1階及び建物3階、ケース3：建物1階、建物2階及び建物3階の各ケースで実施した。図3-2-④-4に各ケースの常時微動計の配置図と、建物1階の設置状況を示す。建物南側観測点は建物近傍地盤に比べて低いレベルにあるため、以下では前者を地表（低いレベル）、後者を地表（高いレベル）と表す。計測時間は各ケース30分間とした。



図3-2-④-4 常時微動計測の配置図と建物1階の設置状況

図3-2-④-5に水平2方向の伝達関数とコヒーレンスを示す。いずれの方向でも1F/地表、3F/地表の結果から、連成系のピークは2Hz強にあり、3Hz以上の振動数では入力損失が明確に表れている。一方、3階/1階の結果から上部構造のピークは4Hz前後にある。以上の特性は、他の杭基礎庁舎建物で得られた結果¹⁾と類似している。

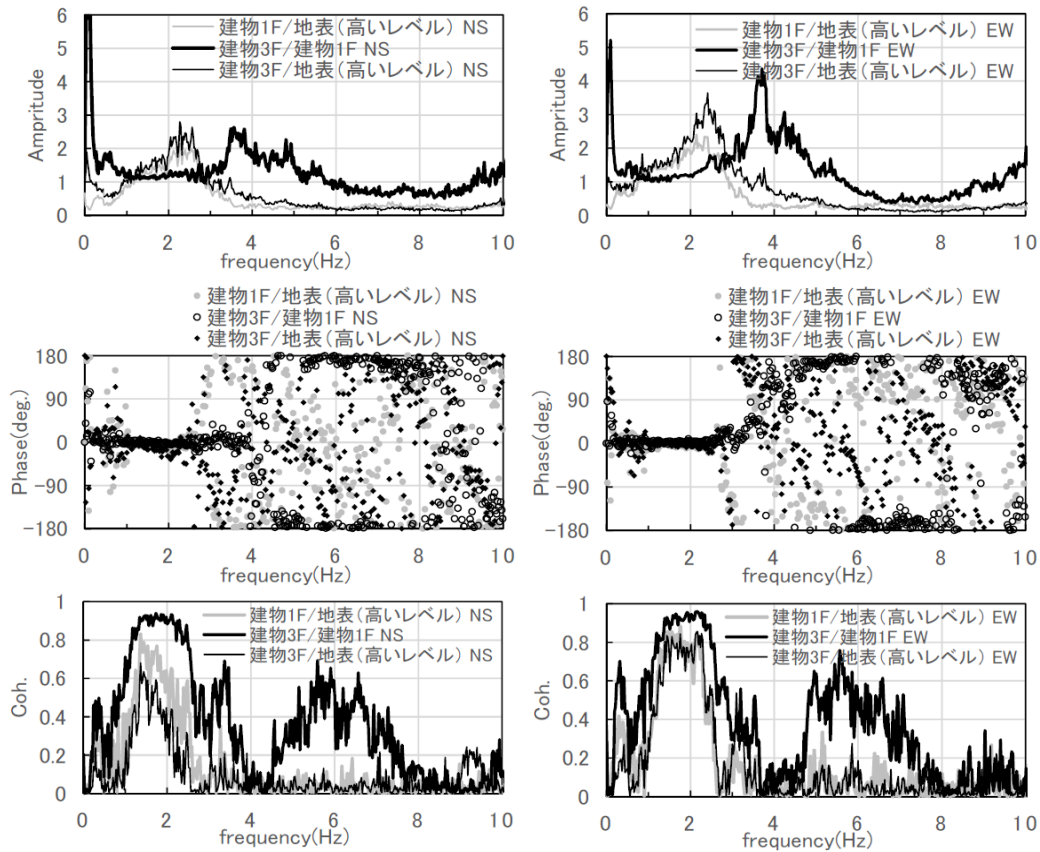


図3-2-④-5 常時微動計測による伝達関数（左：NS方向、右：EW方向）

図3-2-④-6に常時微動計測について、地盤と1階のフーリエスペクトル比を示す。常時微動では建物南側観測点に相当する地表（低いレベル）と、建物近傍の地表（高いレベル）の両方を用いているが、NS、EWのいずれもほぼ同様の傾向を示している。

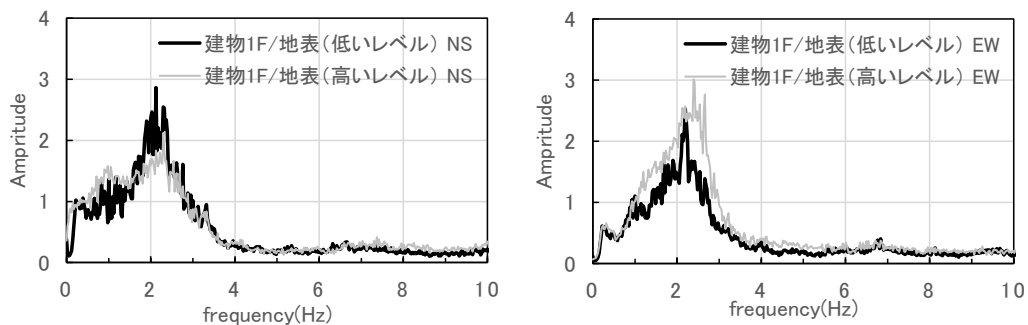


図3-2-④-6 常時微動計測における地表と建物1階のスペクトル比

3) 2016年三重県南東沖の地震における東海地域の地震観測記録

a) 背景と目的

2016年4月1日に発生した三重県南東沖の地震（M6.1）では、東海から近畿、四国に至る広域で最大震度4の揺れとなった。この地震は震源位置が中央防災会議で想定された南海トラフ巨大地震の破壊開始点の近傍であり、メカニズムも類似であることから、観測波形は将来の南海トラフ地震の地震動予測において重要と考えられている。

東海地域では自治体、ライフライン企業、研究機関などで観測された地震記録を一元化する試み²⁾が行われてきたが、今回の地震の重要性を考慮して、改めて多くの強震観測を行う機関に協力を依頼し、観測記録の収集・整理を行った。結果として約670地点の記録が得られている。ここではそれらの分析について述べる。

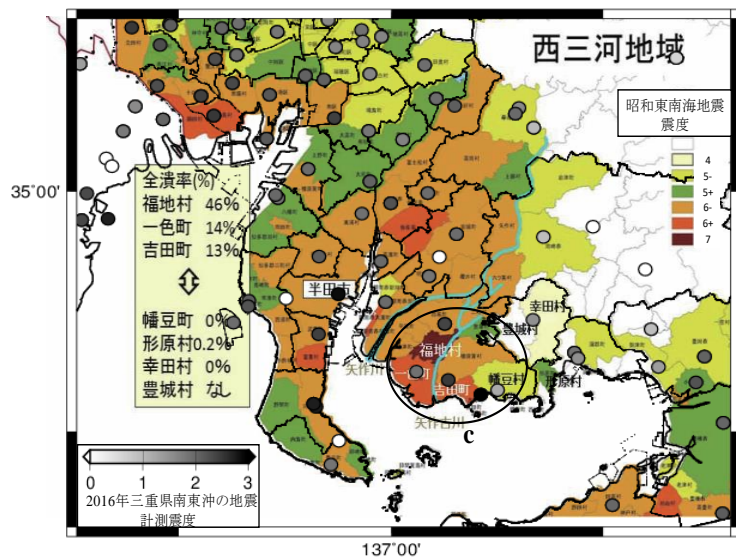
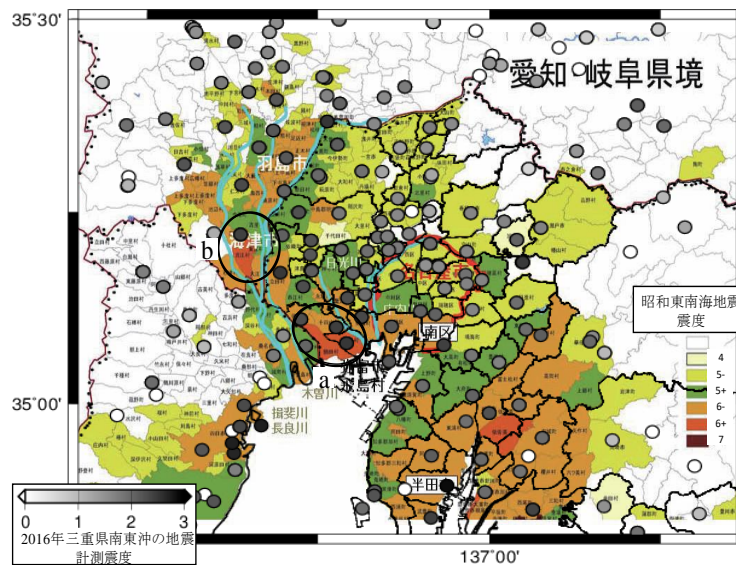


図3-2-④-7 2016年三重県南東沖の地震と1944年東南海地震の震度分布
(背景地図の色が東南海地震、丸印の色の濃さが今回の地震の震度を表す)

b) 1944 年東南海地震との比較

図 3-2-④-7 に 2016 年三重県南東沖の地震の計測震度分布と、武村³⁾によって算出された 1944 年東南海地震の震度分布を示す。東南海地震で被害の大きかった a、b、c の地域（図中の円で囲まれた地域）は三重県南東沖の地震でも相対的に計測震度が大きくなり、類似の分布傾向が読み取れる。特に c の西三河地域を境に東西で震度の差が大きい傾向が、どちらの地震でも見られることが分かる。

c) 特定の地域における強震観測記録の特徴

図 3-2-④-8 に名古屋市周辺、図 3-2-④-9 に西三河地域の観測点について、速度応答スペクトル（減衰定数 0.05）と地震基盤深さを重ねて示す。名古屋市周辺では地点による振幅や卓越周期の差が大きい。特に濃尾平野に位置する a の地域で長周期域のピークが大きくなっている。名古屋駅付近の b の地域では周期 4 秒弱、三の丸付近の c の地域では 3 秒弱で顕著なピークが見られ、いずれも深部地盤深さと対応した分布傾向となっている。図 3-2-④-9 では、豊田市西側の d の地域で周期 0.7 秒付近にピークが見られる。三河湾沿いの e の地点では周期 0.7 秒で大きな応答値を示している。

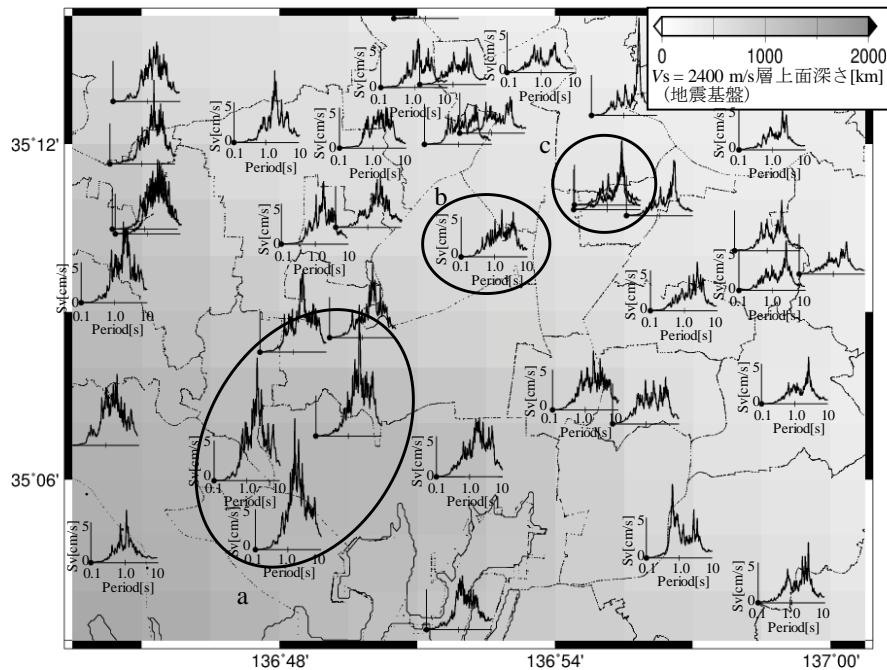


図 3-2-④-8 名古屋市周辺の速度応答スペクトルと深部地盤深さ

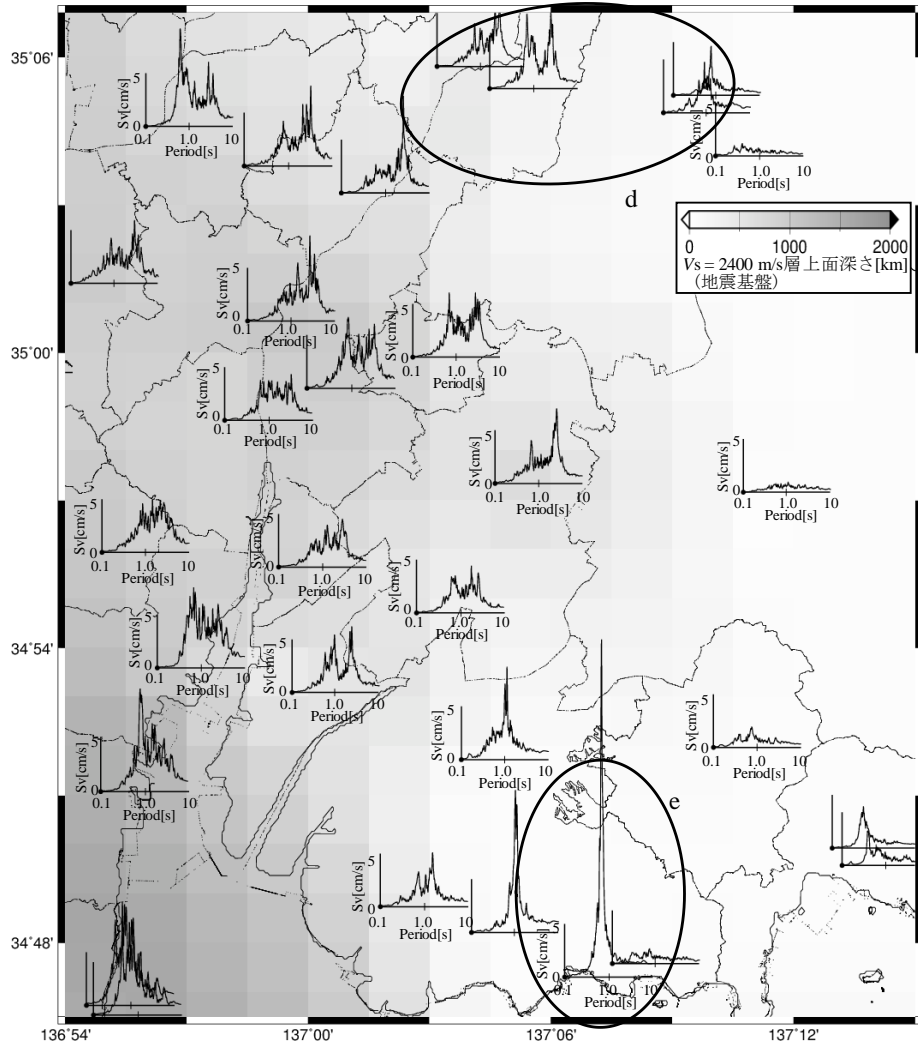


図3-2-④-9 西三河周辺の速度応答スペクトルと深部地盤深さ

(d) 結論ならびに今後の課題

建物の被災シナリオの検討と安全性評価のために、特に影響が大きい重要構造物として超高層建物と中低層庁舎建物を想定した検討を行うとともに、観測記録の蓄積を進めた。以下に各項目のまとめを述べる。

まず、超高層建物の応答については、南海トラフ巨大地震を想定して、特定の地点・建物に関する応答予測を行い、それに対応した室内の揺れと被害についてVRにより体感する環境を構築した。特に、応答予測を行うサーバとVR表示を行う端末（ここではスマートフォン+立体視レンズ）の組み合わせにより、柔軟で発展性のあるシステム構築を行った点に特徴がある。今後は、より現実的な体感を目指し、建物や地盤情報の詳細化、統計的グリーン関数法による地震動予測と建物高次モードの考慮による短周期応答の表現などを目指す予定である。

中低層庁舎建築の地震応答に関しては、熊本地震で被災した益城町庁舎に関して被災建物と周辺地盤の常時微動計測を行い、被災後の建物振動特性と被害の関係について動的相互作用特性を含めて考察した。

以上の分析の基本となる広域・詳細かつ実際的な地震動予測に向けて、南海トラフ地震と類似の震源位置や破壊メカニズムを持つ地震（2016年三重県南東沖）の記録収集を行い、広域の地震動特性を検討するとともに、1944年東南海地震の震度分布との比較を行った。

以上の成果に基づいて、より実際的な入力地震動を用いた設計や防災対策に向けて検討していく必要がある。

(e) 引用文献

- 1) 山下善也、護雅史、福和伸夫、飛田潤、井上波彦、高密度常時微動計測に基づく軟弱地盤に立地する杭基礎中層 RC 造建物の振動特性と動的相互作用効果、日本建築学会技術報告集、Vol.20 No.46、pp.895-899、2014
- 2) 飛田潤、福和伸夫、中野優、山岡耕春オンライン強震波形データ収集システムの構築と既存強震計・震度のネットワークシステム化、日本建築学会技術報告集、No.13、pp.49-52、2001.7
- 3) 武村雅之、1944年東南海地震の被害と教訓、第22号日本地震工学会誌、pp.2-7、2014

⑤ ライフライン

(a) 業務の要約

平成 28 年度は、南海トラフ巨大地震によるライフライン被害が社会に及ぼす影響評価を目的として、電力については熊本地震の事例調査と西三河防災減災連携研究会における被災後の電力復旧のための道路確保に関するワークショップを実施した。また、上水道については、仮想評価法（CVM）を用いて、南海トラフ巨大地震時の生活用水の減断水による影響評価を試みた。

(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電力需要抑制の方策の検討と長期断水が経済に及ぼす影響についての検討を行った。

電力については熊本地震の事例調査と西三河防災減災連携研究会における被災後の電力復旧のための道路確保に関するワークショップを実施し、地域を限定したプラットフォームの有効性を検証した。また、上水道については、名古屋大学減災館で開催されている一般市民向け講演会等の場を活用し、仮想評価（CVM）に基づくアンケート調査を実施することで、大規模震災時の生活用水の減断水に伴う水道利用者の被害額を算出することを試みた。

(c) 業務の成果

1) 電力

a) 南海トラフ地震による電力需給ギャップ対策の方向性

前報までの考察により、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地域連携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。

b) 平成 28 年（2016 年）熊本地震による電力の被害と復旧

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するための有益な実例として、平成 28 年（2016 年）熊本地震による電力の被害と復旧について調査を実施した。

平成 28 年（2016 年）熊本地震は、4 月 14 日の地震発生の約 28 時間後に、より大きな 4 月 16 日の地震が発生したことが特徴として挙げられる。4 月 14 日の地震では、熊本県益城町で震度 7、熊本市他で震度 6 弱が観測され、16.7 千戸が停電した。九州電力は直ちに非常災害体制に入り、設備被害の確認・復旧作業を行い、15 日（金）23 時 00 分に高圧配電線への送電を完了した。その直後、4 月 16 日の地震が発

生し、益城町、西原村で震度 7、南阿蘇村他で震度 6 強が観測され、最大で 476.6 千戸が停電した。

この平成 28 年（2016 年）熊本地震によって、水力設備 9 発電所、送電設備 27 線路、変電設備 10 変電所、配電設備 259 回線に被害が生じた。特に 4 月 16 日の地震では、阿蘇市、高森町、南阿蘇村地区に電力供給している 6 万 6 千ボルト送電線の周辺で大規模な土砂崩れや地割れが発生し、これに伴い傾斜・変形した鉄塔はその後の余震や降雨等と考慮すると倒壊のリスクがあるため、新たな送電ルートによる仮復旧工事を実施することとしたが、工事完了までの間、同地区への電力供給は高圧発電機車に頼ることとなった。九州電力は全国の電力会社へ、高圧発電機車、高所作業車、要員等の応援を要請し、これらを合わせ、最終的には総数 162 台の高圧発電機車が同地区に投入され、20 日 19 時 10 分までに、がけ崩れや道路の損壊等により復旧が困難な箇所を除き、高圧配電線への送電を完了した。その後、高圧発電機車からの送電の長期化に伴い、燃料および燃料運搬車等が不足したが、他電力会社の応援だけでなく石油連盟等の支援もあって、燃料およびタンクローリー等の燃料運搬車を確保し、高圧発電機車への安定的な給油が維持されるとともに送電が継続された。その後 27 日の新たな送電ルートによる仮復旧工事の完了を受けて、順次商用電源に切り替え、28 日 21 時 36 分にすべての高圧発電機車の切り離しが完了した。（図 3-2-⑤-1, 2）

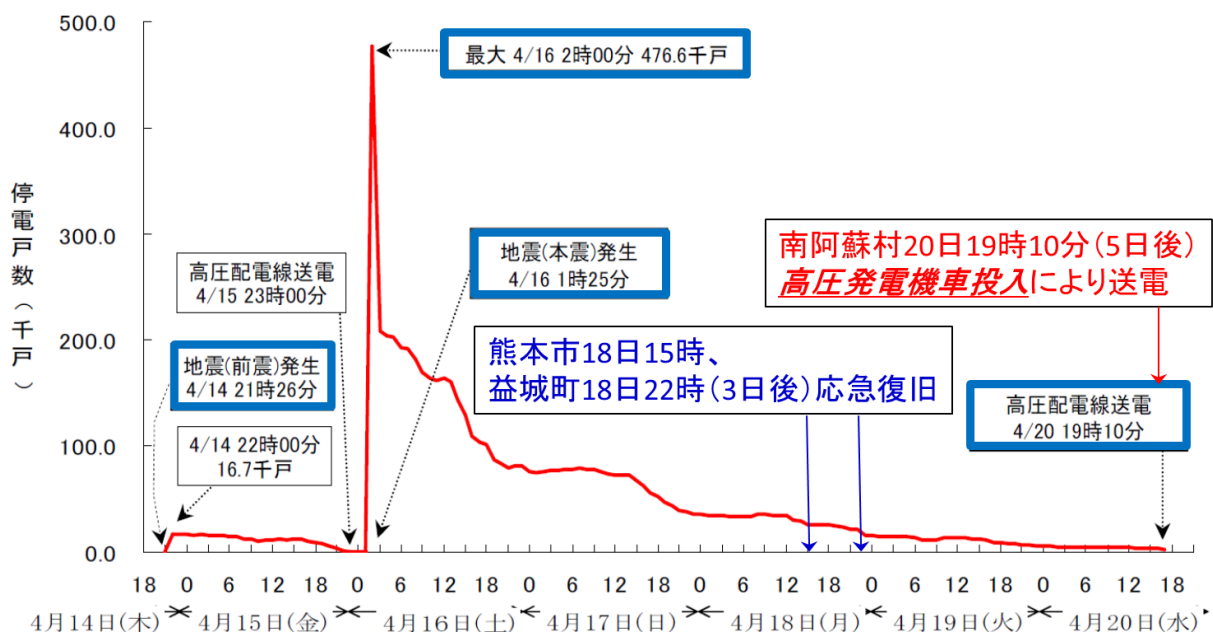


図 3-2-⑤-1 停電状況と復旧過程（九州電力¹⁾に一部加筆）

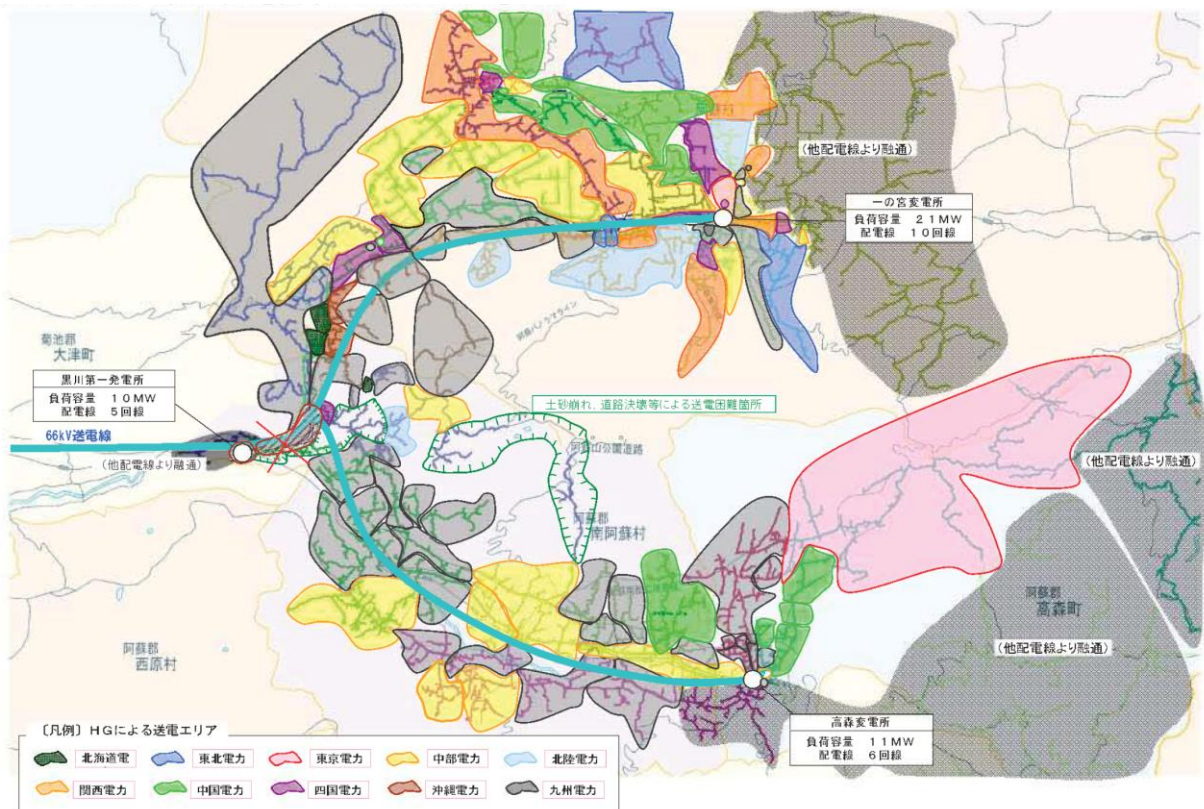


図 3-2-⑤-2 阿蘇地区における高圧発電機車による応急送電状況（九州電力¹より）

以上の平成 28 年（2016 年）熊本地震における電力の被害と復旧対応事例から、南海トラフ巨大地震の発生が危惧されている東海圏の災害対応に生かすべき教訓と課題を整理しておく。

流通設備被害の復旧に要した時間を見ると、送電ルートが遮断された阿蘇市・高森町・南阿蘇村地区において、20 日 19 時 10 分（5 日後）に高圧発電機車による送電、28 日 21 時 36 分（13 日後）には新たな送電ルートによる送電が完了（仮送電工事は 27 日に完了）しており、短期間で電力供給が再開された。それ以外の地域は、熊本市内では 18 日 15 時（3 日後）、震度 7 が 2 回観測された益城町でも 18 日 22 時（3 日後）には応急復旧が完了しており、非常に短期間で電力供給が再開されていたことが分かる。これは、地震により大きな揺れに見舞われた地域が局地的であり、電力設備被害総量が比較的小さかったことも大きな要因であると考えられる。配電柱の被害量（折損・流出・傾斜・転倒）を見ると 300 本以下であり、熊本県全体の電柱約 410 千本の 0.06%に満たない。この程度の被害量であれば、復旧に関わる人材・資材を集中して投入できる環境さえあれば、仮設も含め電力供給再開は早期に実現できることが分かる。

南海トラフ巨大地震における愛知県の被害想定では、電柱被害は約 4,200 本(0.4%)となっている。被害率は大きくはないが、広域災害であるため、被害の絶対数は大きい、平成 27 年 8 月に公表された中部電力の大規模地震対策では、「およそ 2 週間

以内に一部浸水エリアを除き応急復旧を完了させることとしている。従って、中でも甚大な被害が想定される地域では、この約 2 週間を目安に対応を考慮しておく必要がある。また広域災害時には、道路啓開などの電力復旧の環境をどのように整えるかの調整が急務である。なお、熊本では一部電源を除き大きな発電所は被災していないが、南海トラフ巨大地震において火力発電所が被災した場合には、1 か月程度の電力不足に対応するための準備が必要になる。

送電ルートが遮断された阿蘇市・高森町・南阿蘇村地区には、全電力会社から集めた 162 台（使用は 148 台）の高圧発電機車を投入して、早期に電力供給を再開した。高圧発電機車のサポート体制と燃料補給体制が確保できれば、有効な電力供給手段であることが証明された。一方、投入された高圧発電機車は全電力会社保有台数の 4 割を超えており、南海トラフ巨大地震のような広域災害においては、高圧発電機車のみで電力供給を頼ることは不可能である。従って、災害拠点病院・救急救命センター・防災拠点・県庁・市区役所・町村役場・消防・警察・自衛隊・ライフライン・鉄道施設・金融機関・空港などの重要施設の内、供給対象としてどこに優先して使用するかを議論しておく必要があるとともに、各施設の非常用電源の準備が重要になる。

c) 需給ギャップ解消のための地域連携の取組みの展開

以上、電力供給に関する熊本地震からの教訓と課題を整理したが、電力復旧に関わる人材・資材を集中して投入できる環境・高圧発電機車のサポート体制・燃料補給体制の構築のためには、道路啓開が非常に重要であることが容易に理解できる。これらを踏まえ、昨年度に引き続き、西三河防災減災連携研究会において、自治体防災・道路管理担当部長と電力を含む地元企業の総務部長が参加して、被災後の道路確保に関するワークショップを実施した。

その結果、人員・物資の提供や情報の共有の面で現実的な産官連携の可能性が確認されたものの、具体的手順を明確化し数量や時間軸を調整する必要があることから、地域として力を結集するために今後更なる情報交換をして行くこととなった。

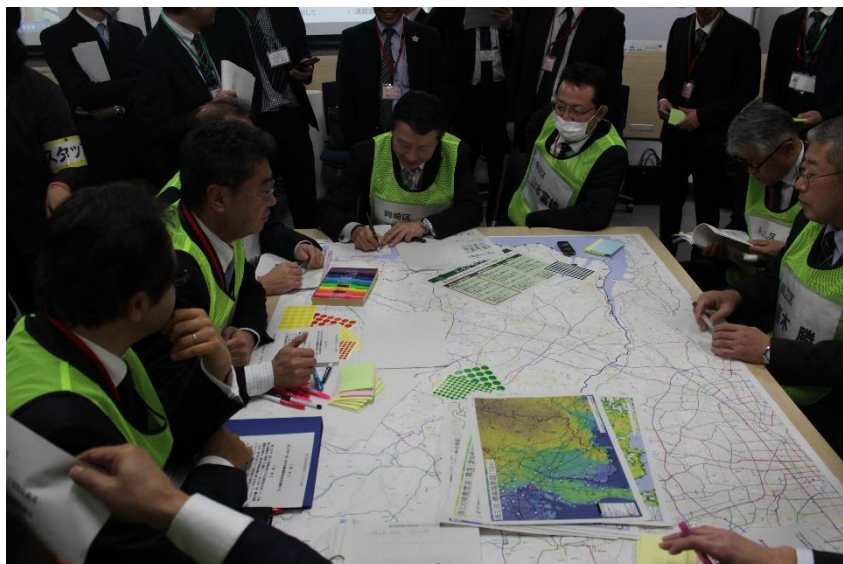


図 3-2-⑤-3 2017年1月20日ワークショップ実施状況

電力システムの復旧迅速化を進めるに当たり復旧資機材や要員の参集に関わる道路の確保は重要であるが、そのためには、産官連携の枠組みが必要である。ワークショップにより、地域を限定して具体的な対象と目標を共有し、協働して課題解決を考えるプラットフォームが非常に有効であることが解った。また、企業や行政、一般市民など地域社会全体での産官学民連携の枠組みに展開した上で、電力の供給先として、災害拠点病院・救急救命センター・防災拠点・県庁・市区役所・町村役場・消防・警察・自衛隊・ライフライン・鉄道施設・金融機関・空港などの重要施設の内、供給対象としてどこに優先して供給するかを、地域毎に議論しておくことが非常に有益であると考えられる。

2) 上水道

a) はじめに

近い将来発生が予想されている南海トラフ巨大地震では、兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）、東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）、熊本地震などの近年発生した巨大地震における被害の様相と比較して、より広域的で甚大な被害や被災が予測されている。

平成 25 年度～27 年度の取り組みでは、大規模地震時における上水道事業などの水供給システムの被害予測手法を構築してきたが、水供給システムがライフラインであることを踏まえると、その結果（時系列的な断水人口や給水形態や給水達成率等の直接的な被害様相の定量的把握）を活用した社会的影響の評価も必要であるといえる。

水道利用者の視点で考えてみる。自治体等が公表する被害予測結果では、地震時における生活用水の減断水が一ヶ月以上の長期間となる可能性が高い。阪神・淡路大震災時の神戸市水道局災害対策本部に寄せられた電話による「市民の声」にもとづいて、生活用水の使用者の意識の変化を分析した事例²⁾によると、震災から 3～4 週間目（社会生活復帰開始、社会経済活動仮復旧）になると「いらだち」「不公平感」が増大し、「運搬給水が困難」となり、1ヶ月以降（通常生活復旧開始）になると「我慢の限界」「怒り」と感情面での変化も現れている。

そこで平成 28 年度の取り組みでは、社会的影響の評価指標として、他のライフラインも含めた社会システム全体での評価における共通指標として用いられる「被害額」を算出して「被害原単位」の推定を試みた。特に水道利用者の被害額に着目して、生活用水の減断水による被害原単位の推定について考察した。

b) 社会的影響の考え方

水供給システムの被害により、施設や管路の破損などの直接的な被害だけでなく、社会経済活動への影響（機会損失額など）、震災時重要施設（救急病院など）への影響、住民生活の復旧速度への影響（水道が復旧しないので、避難所から自宅に戻れないなど）、消火活動への影響（消火用水の確保・供給）などの社会的影響も考えられる。

ここで、水供給システムの減断水などの被害による社会的影響とその評価について、その考え方などを整理する。水供給システムの被害による影響は、以下のように大別できる。

- 水道事業者の直接的な影響と間接的な影響

- 水道利用者（受益者）の直接的な影響と間接的な影響

それぞれの社会的影響の評価法は、表 3-2-⑤-1 に示すように整理できる。

水道事業者の直接的な影響について、たとえば、機会損失額は被害がなければ供給により得られた料金収入として、断水量×供給単価により定量的に算出でき、復旧費用は被害想定結果に基づいて、費用関数などにより算出することができる。

一方、水道利用者の直接的な影響については、水道利用者別の被害額を算出することになる。「水道事業の費用対効果分析マニュアル（厚生労働省健康局水道課）」

において、生活用は代替物・サービスの購入費用を積み上げる手法、業務・営業用、工場用は、産業連関表等を用いた機会損失額の算定方法が示されている。

なお、間接的な影響（波及する影響 二次被害 表 3-2-⑤-1 網掛け部）については、被害状況の定量的な把握が困難であることから、ここでは評価対象外とする。

表 3-2-⑤-1 水供給システムの被害による影響

	水道事業者	水道利用者
直接的な影響	施設や管路などの損傷 ■ 水道事業者の機会損失額 ■ 水道事業者の復旧費用 ■ 応急給水活動にかかる費用負担	減断水とそれによる応急給水 水道利用者別の被害額 ■ 生活用→代替物などの確保費用 ■ 業務・営業用→機会損失額 ■ 工場用→機会損失額
間接的な影響 (波及する影響)	施設などの損傷による二次被害 たとえば、管路破損による漏水による影響（補償）	減断水などによる二次被害 たとえば、住民が避難所から戻れないことによる影響や消火活動の停滞や病院での救命活動への影響

c) 生活用水の減断水による影響評価の検討

i) 地震時の生活用水の減断水による影響の考え方

前述のとおり、生活用水の減断水の長期化が、生活用水の利用者の感情面に影響を及ぼすことから、多くの事業者の地域防災計画等でも、応急給水の目標（期間、水量、運搬距離）が示されている。そこには、地震発生からの時間の経過に伴い水量を段階的に増加させ、運搬距離も段階的に短くすることで、概ね 1 ヶ月以内の復旧を目指すことが謳われている。

しかし、「水道事業の費用対効果分析マニュアル」で示された生活用水の被害額の算出方法では、減断水が長期間に及ぶことによる生活用水の利用者の感情の変化や復旧に合わせた段階的な水量の確保が考慮されていないことから、これらを考慮できるような被害原単位が必要であると考えた。

そこで、利用者の被害額を、長期間の減断水による様々な影響を受け入れるために必要となる補償額であると考えて、環境評価などに用いられる仮想評価法（CVM：Contingent Valuation Method）を用いて想定することとした。この仮想評価法では、震災時の状況やそれによるリスクを提示したうえで、環境の変化に対応（改善）するために支払っても構わない金額（支払意思金額）、もしくは環境の変化（悪化）を受け入れるために必要な金額（受入補償額）を尋ねることによって、環境（震災後も水が供給される状況）の持つ価値を金額として評価する手法である。

今回は、生活用水の使用者の受入補償額を明らかにし、被害原単位を検討することとした。

ii) CVM の実施

【アンケート内容】

利用者の受入補償額は、仮想評価法（CVM）により推定するが、受入補償額の聞き出し方は質問形式のアンケートで行った。今回は、一般的に標本数が少なくても比較的良好な推定結果が得られるといわれている「二肢選択形式（ダブルバウンド方式）」を採用し、以下の説明文を提示して質問した。

（アンケートの一例）

質問（1） 大規模震災時、皆さんの街で水道施設の被害により長期間の減・断水が予想されています。あなたがイメージした7日目の生活を受け入れる（我慢する）ために、1人1日当たり1,000円の補償額が支払われたとすると、この額で充分だと思いますか？どちらかに○印をつけてください。

1. はい（この額で充分）→質問（2）へ
2. いいえ（この額では足りない）→質問（3）へ

質問（2） 「1. はい（この額で充分）」と答えた人にお尋ねします。ではさらに低い金額ではいかがでしょうか？1人1日当たり500円の補償額で充分だと思いますか？どちらかに○印をつけてください。

1. はい（この額で充分）
2. いいえ（この額では足りない）

質問（3） 「2. いいえ（この額では足りない）」と答えた人にお尋ねします。ではさらに高い金額ではいかがでしょうか？1人1日当たり2,500円の補償額で充分だと思いますか？一つに○印をつけてください。

1. はい（この額で充分）
2. いいえ（この額では足りない）

（金額設定パターン）

	質問（1）	質問（2）	質問（3）
パターン1	500円	100円	1,000円
パターン2	1,000円	500円	2,500円
パターン3	2,500円	1,000円	5,000円
パターン4	5,000円	2,500円	7,500円
パターン5	7,500円	5,000円	10,000円
パターン6	10,000円	7,500円	12,500円

また、震災時の状況やそれによるリスクについては、回答者が状況を自由に想定できるように、「被災後7日目以降」「電気は復旧、水道とガスは未復旧」のみを提示し、さらに、その時にどこで生活しているかについて「自宅避難」「避難所」

「被災地外へ避難」「その他」を選択させることで、被災者の様々な状況を包含した平均的な受入補償額（被害原単位）が算出されるように配慮した。

アンケートの概要と回答者の諸元などは、表3-2-⑤-2に示す通りである。

表3-2-⑤-2 アンケートの諸元

調査題目	防災・減災に関するアンケート（上水道）
調査時期	2016年10～12月（7回）
調査方法	名古屋大学減災館のギャラリートーク（公開講座）などで配付 写真-1参照
有効回答	222通
回答者の諸元など	<p>【性別】 男性：53%、女性：40%、未回答：7%</p> <p>【世代】 10～20代：35%、30～50代：31%、60代以上：34%</p> <p>【職業】 学生：31%、民間企業：31%、無職：17%、ボランティア団体：9%、その他：12%</p> <p>【世帯人員】 1人：18%、2人：17%、3人：24%、4人：21%、5人：9%、その他：11%</p> <p>【住所】 愛知県（名古屋市除く）：44%、名古屋市：29%、三重県：15%、岐阜県：4%、その他：8%</p> <p>【7日目以降の生活場所】 自宅：71%、避難所：14%、被災地外：9%、その他：6%</p> <p>※その他には未回答も含む</p>

アンケートの実施は名古屋大学減災館で行われている「※ギャラリートーク」の場を主に活用した。アンケート実施状況を図3-2-⑤-4に示す。

（※名古屋大学減災連携研究センター教員が日替わりで講師を務め、一般市民向けに専門分野の内容を分かり易く伝える講演会）



図3-2-⑤-4 CVMアンケートの実施状況（ギャラリートーク）

【アンケート結果にもとづく被害原単位】

仮想評価法（CVM）による二肢選択形式の分析手法は、大きくノンパラメトリック法とパラメトリック法に分けることができる。ノンパラメトリック法は、推定を行う際に関数形を仮定しないのに対し、パラメトリック法は何らかの関数形（対数線形ロジットモデル、ワイブル生存分析）を仮定する方法である³⁾。

受入補償額の推定結果（中央値）は、以下に示すとおりであり、パラメトリック法では概ね1人1日当たり4,000円程度となった。

- ノンパラメトリック生存分析：5,000～7,500円/人/日
- 対数線形ロジットモデル（パラメトリック法）：4,255円/人/日
- ワイブル生存分析：（パラメトリック法）：4,470円/人/日

【CVMの結果の考察】

ここで、回答者属性などにもとづいて、受入補償額の推定に関する分析を行う。

（属性による違い）

回答者の男女比は、前述のとおり男性が約55%で女性が約40%であった。図3-2-⑤-5に示すように世代別割合を考慮すると、男性のうち50～60代以上が約半分を占め、女性のうち10～20代が約半分を占める。図3-2-⑤-6に示すように職業別割合を考慮すると、男性のうち民間企業が約半分を占め、女性のうち学生が約半分を占める。

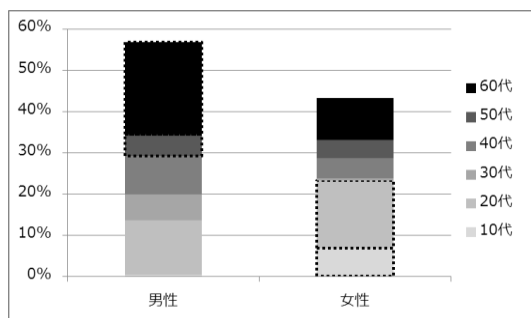


図3-2-⑤-5
回答者の男女別世代別割合図

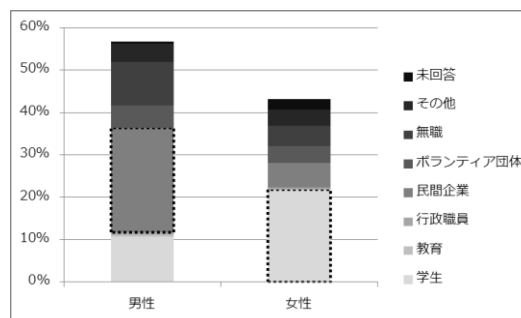


図3-2-⑤-6
回答者の男女別職業別割合

ここで、男性と女性とそれぞれで受入補償額を推定した結果（パラメトリック法ワイブル生存分析）は、以下に示すとおり大きな違いが生じる結果となった。

- 男性：8,132円/人/日
- 女性：3,292円/人/日

さらに、世代別、職業別も考慮した受入補償額を推定した結果（パラメトリック法ワイブル生存分析）は、表3-2-⑤-3に示すとおり世代・職業を問わず女性の受入補償額が安価、男女を問わず世代が上がると受入補償額が高価という結果となった。

これは、男性と女性の水の確保（水の運搬）に対する意識の違いが大きく影響しているものと考えられ、つまり、男性は水を運搬するという労働に対する対価と考え、女性は生活に不可欠な水の確保を家事の一環（対価はなくてもしなければならぬ）と考えたことから、受入補償額に違いが生じたものと考えられる。また、若年者に比べて高齢者の受入補償額が高くなったことについては、水を運搬するという行為に対する負荷の相違であると想定される。

表 3 - 2 - ⑤ - 3 男女別、世代別・職業別の受入補償額

	10～20代	30～50代	60代～
男性	3,089円/人/日	8,558円/人/日	15,615円/人/日
女性	2,386円/人/日	-	4,495円/人/日
	学生	民間企業	ボランティア、無職
男性	4,078円/人/日	6,449円/人/日	10,808円/人/日
女性	2,519円/人/日	-	7,143円/人/日

(7日目以降の生活場所による違い)

回答者の7日目以降の生活場所について、表3-2-⑤-8に示したとおり自宅が被災せずに電気が復旧していれば、約70%は自宅での生活を選択し、避難所も含めると約85%が被災地域内で生活することという結果となった。図3-2-⑤-7に示すように、男女別でも同様の比率であったが、図3-2-⑤-8に示すように、被災地域外に避難することを選択した多くが、10～20代(学生)であった。

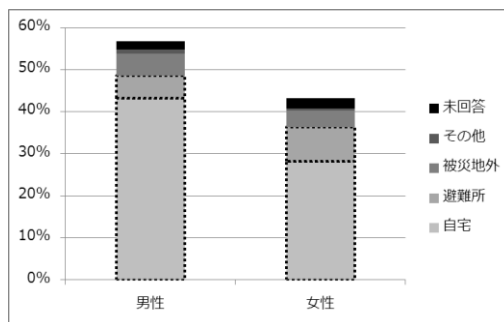


図 3 - 2 - ⑤ - 7
男女別生活場所の割合

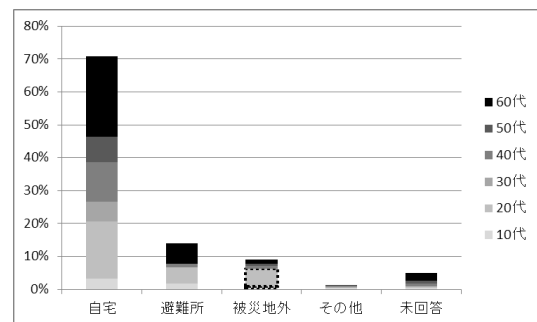


図 3 - 2 - ⑤ - 8
世代別生活場所の割合

ここで、7日目以降の生活場所で受入補償額を推定した結果(パラメトリック法ワイブル生存分析)は、以下に示すとおり違いが生じる結果となった。

●自宅避難：5,586円/人/日(男性：9,950円/人/日、女性：3,552円/人/日)
(10～20代：3,116円/人/日、30～50代：6,269円/人/日、60代以上：11,613円/人/日)

●避難所：4,611円/人/日

●被災地外：911円/人/日

自宅避難に比べ避難所の方が安価となるのは、避難所は比較的近い距離で確実に応急給水が受けられる可能性が高いことが考慮されたためと考えられる。また、自宅避難を選択した回答者の属性を見た場合、前述と同様の傾向(女性より男性、高齢者が高価)になっていることが確認できる。

(居住地域による違い)

回答者の居住地域について、表 3-2-⑤-2 に示したとおり愛知県（名古屋市含まず）、名古屋市、三重県の占める割合が高かった。ここで、居住地域別で受入補償額を推定した結果（パラメトリック法ワイブル生存分析）は、以下に示すとおり違いが生じる結果となった。ただし、愛知県と比較して三重県の回答数が少ないため、参考値とする。

●愛知県（名古屋市含まず）：4,248 円/人/日

●名古屋市：3,896 円/人/日

●三重県：7,836 円/人/日

都道府県別の平成 27 年度基幹管路の耐震化状況（厚生労働省 平成 28 年 12 月 22 日発表）は、以下のとおりであり、受入補償額は基幹管路の耐震化率の低い三重県が高価となっていることから、管路の耐震化の進捗状況やそれに伴う減断水の発生及び長期化の可能性と受入補償額の関係性が見られた。

●愛知県 耐震適合率：58.4%、耐震化率：39.5%

●名古屋市 耐震適合率：75.2%、耐震化率：32.6%

●三重県 耐震適合率：27.3%、耐震化率：14.2%

(受入補償額と支払意思額)

CVM による価値の金額化において、支払意思額と受入補償額には乖離が生じることが確認されている。これは、様々なバイアスによるものであり、「提供されるサービスの現在価値とそれがなくなった場合につけられる価値の差」「現状が回答者の判断に決定的な影響を与える」などで説明されてきた。

本検討では、地震による減断水に対する受入補償額を推定したが、既往調査⁴⁾において、耐震化事業（現状のサービス水準の維持 震災時においても供給を確保）に対する支払意思額が推定されている。耐震化事業に対する支払意思額としては、約 700 円/人/月という推定結果であり、単純には比較できないが、受入補償額である 4,000 円/人/日と比較すると、受入補償額が約 6 倍となった。これは、より多くの料金を支払って水の供給を確保するよりも、水の供給が受けられないことによる損失をより高く評価している、つまり、減断水により水の供給が受けられないことや水の確保に労力を要することは受け入れがたい（生活において水は非常に重要である）ということが示されているといえる。

(d) 結論ならびに今後の課題

1) 電力について

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するための有益な実例として、平成 28 年（2016 年）熊本地震による電力の被害と復旧について調査を実施し、電力復旧に関わる人材・資材を集中して投入できる環境・高圧発電機車のサポート体制・燃料補給体制の構築のためには、道路啓開

が非常に重要であることが改めて確認された。

そこで昨年度に引き続き、西三河防災減災連携研究会において、自治体防災・道路管理担当部長と電力を含む地元企業の総務部長が参加して、被災後の道路確保に関するワークショップを実施した。その結果、地域を限定して具体的な対象と目標を共有し、協働して課題解決を考えるプラットフォームが非常に有効であることが解った。これを、企業や行政、一般市民など地域社会全体での産官学民連携に展開して行くことが今後重要である。

2) 上水道について

本検討では、これまでに構築した被害予測手法の結果を活用した社会的影響の評価として、減断水による生活用水の被害原単位の推定を行うとともに、アンケート結果を用いて推定結果の考察を行った。

222 件のアンケート結果にもとづく減断水による被害原単位の推定結果としては、4,000 円/人/日程度であったが、以下に示す課題も示された。今後はこれら課題を克服すべく追加調査や分析を実施していく。

(回答数の妥当性)

母集団の設定にもよるが、例えば愛知県内全域を対象とする場合に、最低限の精度を確保するためには回答数が不足している。

(回答者属性の偏り)

男女別(受入補償額が男性>女性)、世代別(受入補償額が若年層<高齢者層)で推定結果に差が生じているが、特に女性の高齢者層の回答数が少なく、推定結果に影響を与えている可能性がある。

(e) 引用文献

- 1) 九州電力株式会社, 「平成 28 年熊本地震」における電力施設被害状況について, 平成 28 年 5 月 31 日, 土木学会西部支部「2016 年熊本地震」地震被害調査報告会～緊急災害調査と応急復旧の取組み～, 2016.
- 2) 関西水道事業研究会, 市民の視点に立った水道地震被害予測及び災害時用連絡管整備に関する一考察, pp.6-16, 1996.
- 3) 栗山浩一, Excel でできる CVM 第 3.2 版 環境経済学ワーキングペーパー#11-01, 2011. (平成 27 年 10 月 26 日アクセス).
<http://kkuri.eco.coocan.jp/workingpaper.html>
- 4) 谷口靖博, 宮島昌克, 源田裕希, 大規模水道事業体の震災対策事業認知と事業投資額に関する住民意識調査—大阪市におけるケーススタディー, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.65, No.1(地震工学論文集第 30 巻), pp.717-726, 2009.

⑥広域リスク評価

(a) 業務の要約

本業務では、現在～将来における南海トラフの確率論的地震・津波ハザード情報や平成 25 年度に作成した現在～将来の人口・建物モデルを用いた広域リスク評価を踏まえ、耐震補強や堤防嵩上げ等の防災対策を実施した場合の費用対効果の評価手法を検討した。加えて、手法のケーススタディとして防災対策を実施した場合のリスク量の変化や費用対効果の検討結果を示した。

(b) 業務の実施方法

本業務では地震リスク低減のための防災戦略として、1980 年以前に建てられた木造建物の耐震補強、津波リスク低減のための防災戦略として、既存堤防の嵩上げや低地への建物の新築規制を実施した場合の費用対効果の算出方法を検討した。検討により得られた算出方法を利用し、費用対効果の試算を行った。

(c) 業務の成果

1) 地震リスクについて

本業務では、地震リスク低減のための防災戦略として、1980 年以前に建てられた木造建物の耐震補強を実施した場合の費用対効果の評価手法の検討を行うとともに、ケーススタディとして、耐震補強を行った場合の費用対効果の試算結果を示した。

a) 評価手法

評価手法については、以下の 2 項目の検討を行った。

- 耐震補強後の建物被害関数
- 耐震補強による費用対効果

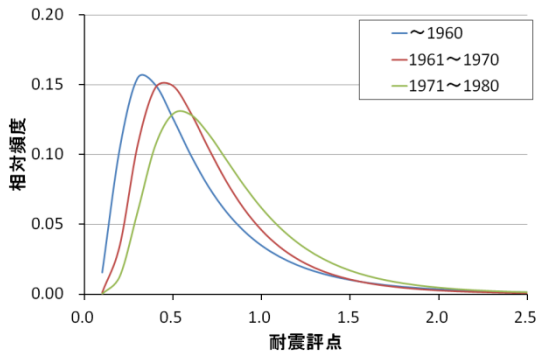
i) 耐震補強後の建物被害関数

平成 26 年から平成 27 年度に実施した広域リスク評価では、木造建物の被害関数は中嶋・岡田(2008)を利用した。これは、耐震評点分布、損傷度関数、被害関数がリンクしており、評点分布の変化を容易に被害関数に反映させることが可能なためである。中嶋・岡田(2008)の耐震評点分布は、日本木造住宅耐震補強事業者協同組合の旧耐震診断による耐震評点分布である（図 3-2-⑥-1 (a)参照）。本業務では、耐震補強により耐震評点分布を変化させ、補強後の建物被害関数を構築することとした。

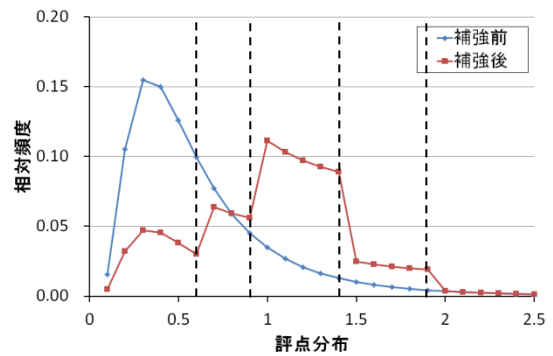
木造建物の耐震補強工事前後における耐震評点の変化は狩谷・他 (2005)の結果を利用した（表 3-2-⑥-1 参照）。具体的には、2.0 未満の補強後評点（ y ）を 4 つのゾーンに区分し、表 3-2-⑥-1 に示した割合で補強前評点（ x ）の各ゾーンの耐震評点を移動させた（図 3-2-⑥-1 (b) 参照）。その上で、移動後の耐震評点分布を正規分布の累積分布関数で表現できるものとして回帰分析を行い、補強後の耐震評点分布をパラメトリックに示した（図 3-2-⑥-1 (c)参照）。この補強後の耐震評点分布と中嶋・岡田(2008)の損傷度関数から、耐震補強後の建物被害関数を作成した（図 3-2-⑥-1 (d)参照）。

表 3-2-⑥-1 設定した耐震補強前後の評点の変化

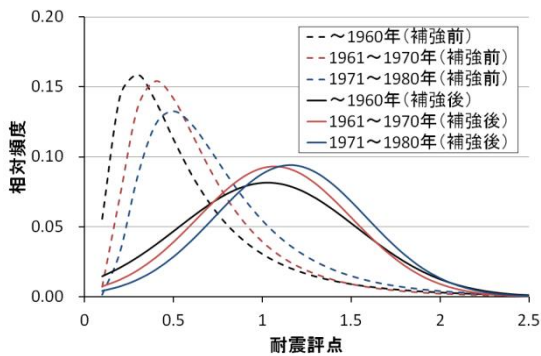
		補強前評点x		
		$0.0 \leq x < 0.7$	$0.7 \leq x < 1.0$	$1.0 \leq x < 1.5$
補強後 評点y	$0.0 \leq y < 0.7$	30.4%	0.0%	0%
	$0.7 \leq y < 1.0$	20.6%	25.0%	0%
	$1.0 \leq y < 1.5$	41.2%	62.5%	0%
	$1.5 \leq y < 2.0$	7.8%	12.5%	100%



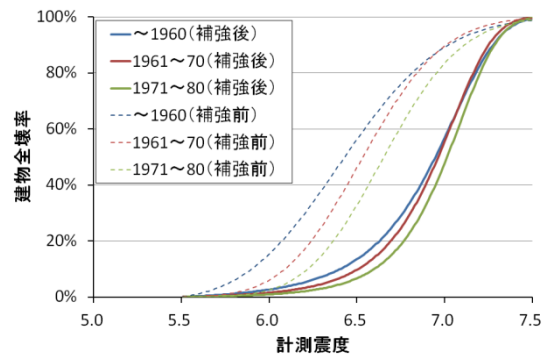
(a) 補強前の耐震評点分布



(b) 耐震補強による評点の移動



(c) 補強前後の耐震評点分布



(d) 耐震補強後の建物被害関数 (全壊)

図 3-2-⑥-1 耐震補強前後の耐震評点分布と被害関数

ii) 耐震補強による費用対効果

一般に、費用対効果の算定には費用便益比や費用便益差が用いられる。これらを算定するためには、耐震補強に必要な費用と便益の算定が必要となる。補強費用の算定については荒木・井戸田(2004)の耐震補強による評点増加や延床面積と耐震改修費用の関係を利用して求めることとした。

一方、便益については以下の項目を対象とした。

- ・ 建物被害の軽減
- ・ 建物内収容物の被害の軽減
- ・ 人的被害の軽減

なお、耐震補強の効果は建物を継続的に使用する限り続くため、現在～将来にかけての南海トラフのハザードの変化や人口・建物棟数の推移を反映させた形で便益を算定することとした。具体的には、各評価基準年における耐震補強前後の

損失額の 10 年期待値の差を 10 年間の便益とした。その上で、今後 50 年間の費用と便益を比較する場合は、2015 年、2025 年、2035 年、2045 年、2055 年の 10 年期待値軽減分の総和と費用を比較することとした。以降では各便益の算出方法の概要を示した。

- 建物被害の軽減分

建物被害の軽減は、耐震補強前の建物被害関数を用いて算出した建物損失額と補強後の建物損失額の差を建物被害の軽減による便益とした。建物損失額の推定に用いる建物モデルは、各評価基準年の建物モデルを利用した。

- 建物内収容物の被害の軽減分

建物収容物の被害の軽減分は、建物倒壊棟数と全壊棟数を利用した中央防災会議(2013)の家庭用品の被害算出方法を用いた。被害算定に用いる 1 世帯当たりの評価単価は国税庁(2013)の「損失額の合理的な算出方法について」に基づき設定した。

- 人的被害の軽減分

人的被害の軽減分は、耐震補強により人的被害が減少したことによる損失額の減少分とした。なお、人的被害による損失額は財産的損害額と精神的損害額から構成され、財産的損害額は被害による逸失利益と医療費から構成されるため、死者及び重傷者 1 人あたりの損失額は以下の式で求めることとした。

$$\text{死者 1 人あたりの損失額} = \text{死者 1 人あたりの逸失利益} + \text{精神的損害額} \\ \text{式 3-2-⑥-1}$$

$$\text{重傷者 1 人あたりの損失額} = \text{重傷者 1 人あたりの逸失利益} + \text{医療費} \\ \text{式 3-2-⑥-2}$$

逸失利益は被害者の年齢により異なるため、年齢 5 歳階級別に逸失利益を算出し、将来人口推計の年齢構成を利用して、各評価基準年における死者 1 人あたりの逸失利益を設定した。

死亡による逸失利益は、「民事交通事故訴訟 交通事故損害額算定基準」(日弁連交通事故相談センター東京支部, 2016)に基づいた。

$$\text{逸失利益} = \text{基礎収入額} \times (1.0 - \text{生活費控除率}) \\ \times \text{就労可能年数に対応するライプニッツ係数} \quad \text{式 3-2-⑥-3}$$

基礎収入額は、65 歳未満は平成 27 年賃金構造基本統計調査(厚生労働省, 2016)から得られた年間収入額、65 歳以上は「平成 25 年度厚生年金保険・国民年金事業の概況」(厚生労働省年金局, 2014)に示した公的年金受給者数と公的年金総額から求めた公的年金受給者 1 人あたりの平均年金受給額とした。また、生活費控除額は日弁連交通事故相談センター東京支部(2016)を参考に 0.4 とした。

以上の前提条件の元で算出した、年齢 5 歳階級区分別の死亡による逸失利益の算定結果の例として静岡県算定結果を図 3-2-⑥-2 に示す。この年齢 5 歳階級区分別の死亡による逸失利益の算定結果と評価基準年の市区町村別年齢 5 歳階級別人口を重みとして利用し、評価基準年毎に各市区町村別の死者 1 名あたりの逸失利益を算出した。重傷による逸失利益は、「交通事故損害額算定基準 一実

務運用と解説一」(日弁連交通事故相談センター, 2016)の休業損害(消極損害)の損害額算定方式を利用した。医療費は重傷者のみを対象に計上することとし、その金額は、「平成 23 年度 交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査報告書」(内閣府, 2012)における「傷害 1 人あたりの人的損失額」を用いた。精神的損害額は、奥山(2014)の津波による死亡リスクに対する支払意思額を地震による死亡リスクに準用し 1 人あたり 2,200 万円とした。最終的な人的被害 1 人あたりの損失額の設定例として、2015 年及び 2045 年の死者 1 人あたりの損失額を図 3-2-⑥-3 に示した。

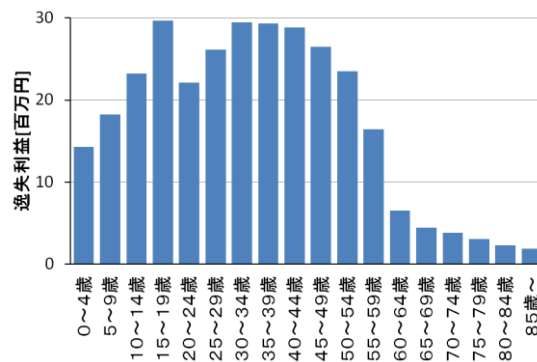
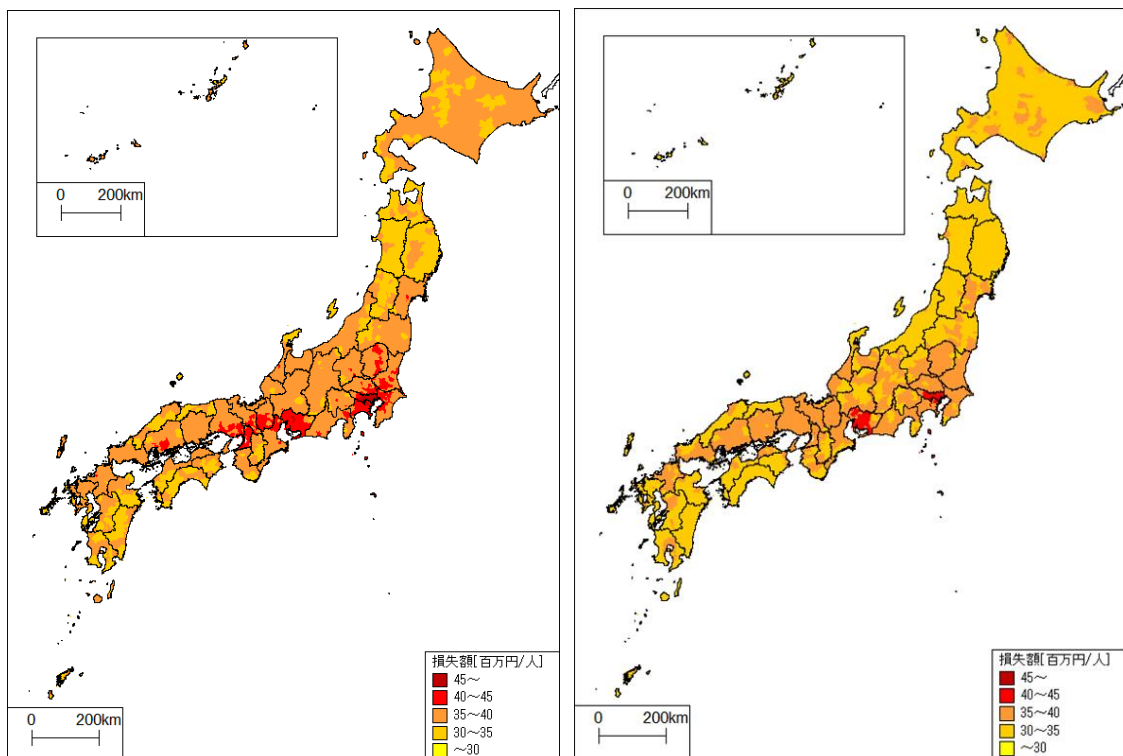


図 3-2-⑥-2 年齢 5 歳階級別の死亡による逸失利益 (静岡県)



(a) 2015 年

(b) 2045 年

図 3-2-⑥-3 死者 1 人あたりの損失額

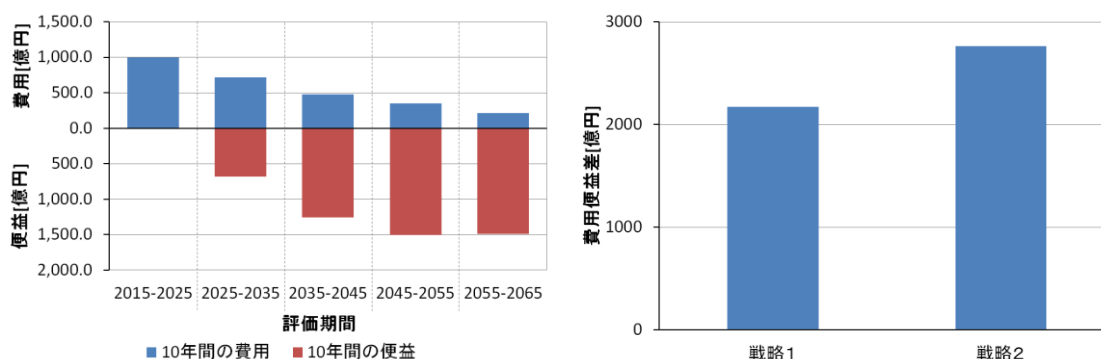
b) 対策実施後の費用対効果の試算例

揺れによる防災対策として耐震補強を実施した場合の費用対効果の試算例について示す。ここでは、1980年以前築の耐震評点1.0未満の木造建物を対象に、現況と同じ速度（2015年時点における1980年以前築の全木造建物の総延床面積に対する1年間に耐震補強された延床面積の割合、2015年時点で年間約100億円の補強費用とした）で耐震補強が進むとの仮定の下での、補強による費用対効果の算定結果例を示した。なお、耐震補強の対象地域として以下の2パターンの戦略を試算した。耐震補強費用は、2013年住宅・土地統計調査の平成21年以降耐震改修工事を実施した県別持家数と2010年国勢調査の市区町村別世帯数から、市区町村毎の補強費用を設定した。

戦略1：静岡県、愛知県、三重県、和歌山県、徳島県、高知県の全域

戦略2：上記6県のうち、南海トラフの地震が発生するという条件付超過確率50%の震度が7となるメッシュを含む市区町村

各戦略に対し、a)の2)項に示した費用便益の算出方法を利用し、戦略実施後の10年間毎の費用便益を求めた。10年毎の費用便益の算出例として戦略1の費用便益の推移を図3-2-⑥-4aに、戦略1・2の50年間の費用便益差を図3-2-⑥-4bに示した。



(a) 戦略1の10年毎の費用便益の推移

(b) 戦略1・2の50年間の費用便益差

図3-2-⑥-4 費用対効果の試算例

2) 津波リスクについて

本業務では、既存堤防の嵩上げや低地への建物の新築規制を津波リスク低減のための防災戦略とした場合の費用対効果の評価手法の検討と津波に対する防災戦略実施後のリスク量や費用対効果の試算を実施した。

a) 評価手法

評価手法については、以下の2項目の検討を行った。

- 堤防による防護効果
- 堤防嵩上げ等の津波対策による費用対効果

i) 堤防による防護効果

津波リスク評価の際の堤防条件としては、地震動によって堤防が破壊するか否か、

津波の越流によって堤防が破壊するか否かがあるが、本業務ではシナリオではなく確率論的ハザードカーブに基づきリスク評価を行うため、1つの津波高に対して複数シナリオが含まれることから、地震動による堤防破壊は考慮せず、海岸線の津波高が堤防高を超えた場合に堤防が破壊する条件で津波のリスク評価を実施した。なお、本業務では、図3-2-⑥-5に示した内閣府(2012)の堤防データを現況の堤防データとして利用した。

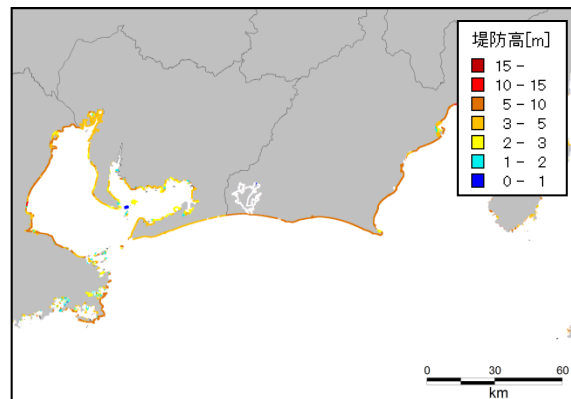


図3-2-⑥-5 現況の堤防高データの例（東海地方）

ii) 堤防嵩上げ等の津波対策による費用対効果

堤防嵩上げ等の津波対策による費用対効果の算定には、地震リスクの場合と同様に費用便益比や費用便益差を用いることとした。これらの算定には、堤防の嵩上げ等の費用と便益の算定が必要となる。本業務では、堤防嵩上げ費用は藤間・樋渡(2013)や東日本大震災の堤防再建費用などから設定した。

一方、便益については、地震リスク同様に以下の便益を考慮した。

- ・ 建物被害の軽減
- ・ 建物内収容物の被害の軽減
- ・ 人的被害の軽減

津波リスクの場合、これらの便益について、堤防嵩上げ等の津波対策による損失額の軽減分を便益とした。

• 建物被害の軽減分

建物被害の軽減は、現況堤防高における浸水ハザードに基づき求めた建物損失額と堤防嵩上げ後等の津波対策実施後の建物損失額の差を建物被害の軽減による便益とした。浸水ハザードは平田・他(2015)の南海トラフ地震で発生する津波の海岸線津波高のハザード情報から簡易予測式(清水・若浦, 2012)を用いて求めたものを利用した。建物被害は中央防災会議(2012)の浸水深と全壊・全半壊率の関係に基づき算出するとともに、被災度毎の損失率は内閣府の被害認定基準(内閣府, 2001)と東日本大震災の被害調査結果(国土交通省都市局, 2012)から設定した値を利用した(表3-2-⑥-2参照)。建物損失額の推定に用いる建物モデルは、各評価基準年の建物モデルを利用した。

表 3-2-⑥-2 被災度区分毎の損失率

	全壊	半壊	一部損壊
損失率	98.37%	39.71%	10.00%

- 建物内収容物の被害の軽減分

建物収容物の被害の軽減分は、建物倒壊棟数と全壊棟数を利用した中央防災会議(2013)の家庭用品の被害算出方法を用いて求めた堤防嵩上げ等の対策前後の損失額の差とした。建物倒壊棟数は東日本大震災の実績から全壊棟数の約9割と仮定した。被害算定に用いる1世帯当たりの評価単価は地震リスクと同様に国税庁(2013)の「損失額の合理的な算出方法について」に基づき設定した。

- 人的被害の軽減分

人的被害の軽減分は、堤防嵩上げ等の対策により人的被害が減少したことによる人的被害による損失額の減少分とした。人的被害の算出は平成27年度と同様に中央防災会議(2006)を補正した手法を利用した。なお、人的被害による損失額は、式3-2-⑥-1・2により求めた。死者及び重傷者1人あたりの逸失利益、医療費、精神的慰謝料の算出は地震リスクと同様の手法で求めた。

b) 対策実施後のリスクの推移と費用対効果の試算例

津波による防災対策として以下の2種類の戦略を実施した場合のリスク量の推移と費用対効果の試算例について示す。なお、以下の戦略は静岡県、愛知県、三重県、和歌山県、徳島県、高知県に限定し実施するとの仮定を置いた。

- 戦略1：堤防の嵩上げ

市区町村毎に費用便益差が最大となる既存堤防の嵩上げを実施するもの。嵩上げ工事は2015年から開始し、2025年に工事が完了するものとした。

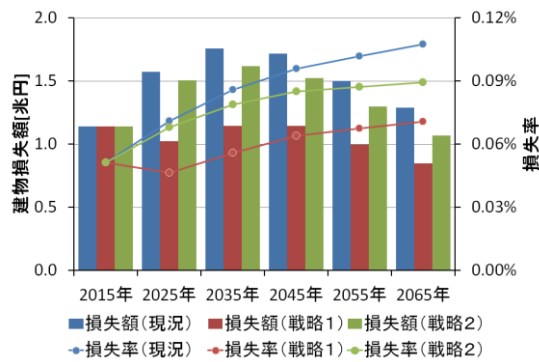
- 戦略2：標高5m未満の地域に2015年以降建物の新設を禁止

標高5m未満の地域に対し、2015年以降、建物の新設を禁止するもの。2015年以降の標高5m未満の地域の建物増加分は、同一市区町村内の標高5m以上の地域に配分した。

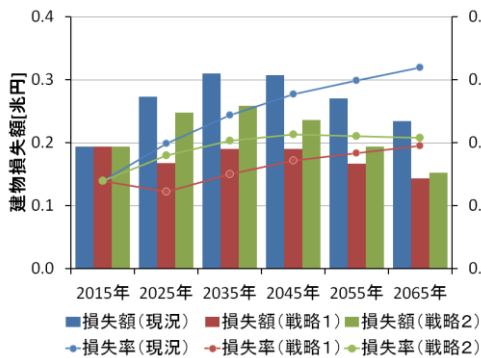
以上の2つの戦略実施した場合の津波リスク変遷の例として、全国及び静岡県・三重県の建物損失額(10年期待値)の推移を図3-2-⑥-6に示した。また、費用対効果の算定例として、戦略1の10年毎の費用と便益の推移と戦略1および2の50年間の費用便益差を図3-2-⑥-7に示した。

試算の結果、戦略1は2025年までに堤防の嵩上げが完了するため、南海トラフの地震発生確率が上昇するにも関わらず2025年時点のリスクは減少し、その後はハザードや人口・建物棟数の変化に応じてリスク量も変動する結果となった。戦略2は時間の経過に伴い徐々に効果を発揮しており、地震発生確率の上昇にも関わらず2045年以降の損失率の推移は戦略1よりも抑制される結果となった。また、各戦略の建物損失額10年期待値の変化は、地域によって異なる結果となった。本試算の場合、静岡県では2025年以降、時間経過とともに戦略1・2の建物損失率は徐々に近接し、2065年時点ではほぼ同レベルの値となった。一方、三重県では大き

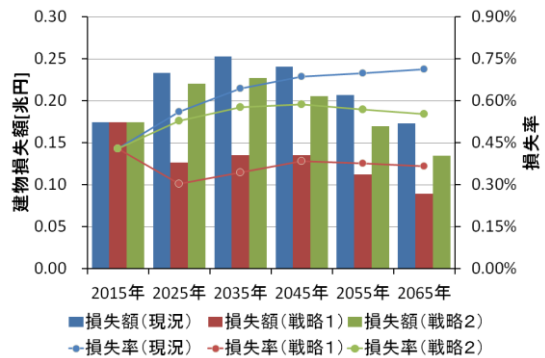
く乖離した状態のまま推移した。これは、三重県で津波リスクの比較的高い太平洋に面した地域で人口減少が進むため、2015年以降に新設される建物が少なく、建物新築規制の効果が出にくいためと考えられた。逆に、静岡県のような、人口減少速度が遅く、ある程度の量の新設建物が見込まれる地域では、中長期的には、津波リスクを抑制するような土地利用が効果を発揮することを示唆する試算結果となった。ただし、本試算は、広域的にリスク量を把握することを目的としており、東北地方太平洋沖地震津波による経験的手法に基づき行った浸水予測結果を利用した。各地域で具体的に評価を実施する場合は、シミュレーションを用いた詳細な確率論的浸水ハザード評価が必要と考えられる。



(a) 全国

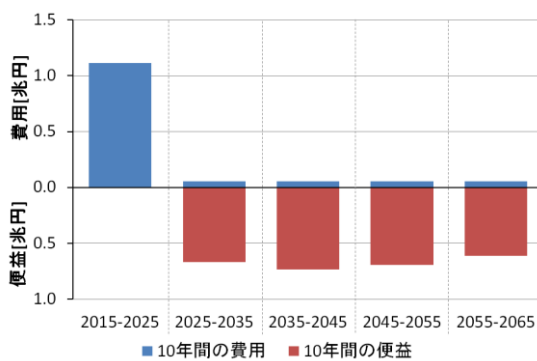


(b) 静岡県

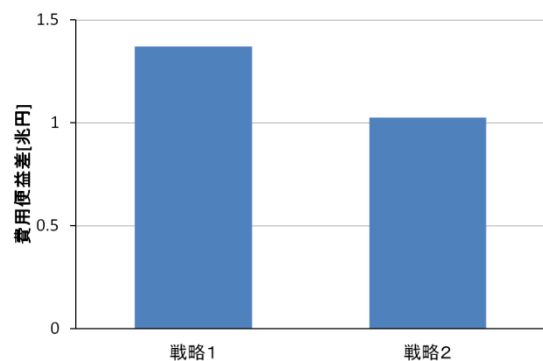


(c) 三重県

図 3-2-⑥-6 各戦略の津波リスク（建物損失額 10 年期待値）の推移



(a) 戦略 1 の 10 年毎の費用便益の推移



(b) 各戦略の 50 年間の費用便益差（全国）

図 3-2-⑥-7 津波リスクの費用対効果の試算例

(d) 結論ならびに今後の課題

本年度は、現在～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や平成 25 年度に作成した現在～将来の人口・建物モデルを用いた広域リスク評価を踏まえ、耐震補強や堤防嵩上げ等の防災対策を実施した場合の費用対効果の評価手法を検討した。加えて、手法のケーススタディとして防災対策を実施した場合のリスク量の変遷と費用対効果の試算結果を示した。得られた成果と今後の課題を以下に示す。

- 1) 中嶋・岡田(2008)の耐震評点分布と狩谷・他(2005)の木耐協の補強実績から耐震補強による評点の変化を反映したパラメトリックな木造建物被害関数を構築した。
- 2) 時間の経過に伴う地震・津波ハザードの変化や人口・建物棟数の変化を取り込んだ防災戦略の費用対効果の評価手法を検討し、ケーススタディとして地震・津波それぞれの戦略の費用対効果を試算した。費用対効果の便益に利用する損失額の算出の際は、人口・建物棟数の時系列的な変化を取り込むために、各評価基準年の人口・建物モデルや発生確率に基づき算出した 10 年期待値を利用・集計することとした。加えて、便益の算出にあたっては、評価基準年の年齢構成の変化を考慮した人的被害による損失額の算出方法を示した。
- 3) 津波リスクに対する防災戦略のケーススタディとして、堤防を嵩上げする戦略と 2015 年以降標高 5 m 未満の地域の建物新築を規制する戦略を実施し、津波リスク（建物損失額 10 年期待値）を試算した。その結果、今後人口減少が進む地域では低地への新築規制は効果が少ないものの、ある程度の建物新設が今後も見込まれる地域では、津波リスクを抑制するような土地利用が中長期的には効果があることが示唆された。ただし、本試算で用いた浸水予測は、東北地方太平洋沖地震津波による経験的手法に基づいた結果であり、各地域でより詳細な評価を行う場合は、シミュレーション等を用いた詳細な確率論的浸水ハザード評価が必要と考えられる。

(e) 引用文献

- 1) 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.
- 2) 狩谷のぞみ, 村尾修, 熊谷良雄, 糸井川栄一, 実データに基づく耐震補強費用の実態と耐震性能向上効果, 地域安全学会論文集, No.7, pp.1-10, 2005.
- 3) 荒木雅也, 井戸田秀樹, 在来軸組工法住宅を対象とした耐震補強における費用対効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.139-140, 2004.
- 4) 中央防災会議, 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策ワーキンググループ, 南海トラフ巨大地震の被害想定項目及び手法の概要, ~ライフライン被害、交通施設被害、被害額など~, 2013.
- 5) 国税庁, 災害により被害を受けられた方へ (雑損控除における「損失額の合理的な計算方法」), 2013.
- 6) 日弁連交通事故相談センター東京支部, 民事交通事故訴訟 損害賠償額算定基準

- 上巻(基準編), 2016.
- 7) 厚生労働省, 賃金構造基本統計調査, 2016.
 - 8) 厚生労働省年金局: 平成 25 年度厚生年金保険・国民年金事業の概況, 2014.
 - 9) 日弁連交通事故相談センター, 交通事故損害額算定基準 ―実務運用と解説―, 2016.
 - 10) 内閣府, 平成 23 年度 交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査報告書, 2012.
 - 11) 奥山忠裕, 津波被害による死亡リスク削減便益の計測, 環境情報科学, 学術研究論文集, 28, 2014.
 - 12) 藤間功司, 樋渡康子, 津波防災施設の最適規模と残余リスクを明示する手法の提案, 土木学会論文集 A1, Vol.69, No.4, 2013.
 - 13) 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, 是永真理子, 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.
 - 14) 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.
 - 15) 内閣府, 災害の被害認定基準について(平成 13 年 6 月 28 日付府政防第 518 号内閣府政策統括官(防災担当)通知), 2001.
 - 16) 国土交通省都市局, 津波被災市街地復興手法検討調査(とりまとめ), 2012.
 - 17) 中央防災会議, 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, 2012.
 - 18) 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.

⑦ 都市災害と経済被害

(a) 業務の要約

都市災害について、平成 28 年度は前年度までに開発した「大都市複合災害時避難シミュレーション」を更に広範囲に拡張し、帰宅困難者の移動が地域の避難行動に与える影響をより精緻にモデル検証することができた。この結果、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は前年度までの検討によって明らかになっていたが、地域や避難のタイミングによって、この影響は大きく異なることがシミュレーション上で再現され、避難行動への災害情報の伝え方に示唆を得ることができた。

経済被害について、平成 28 年度は、逐次均衡型動学応用一般均衡モデルを用いて、南海トラフ巨大地震の経済被害額を暫定的に試算した。モデルは日本全国を対象としており、地域単位は全国を 207 地域に分割した「生活圏」である。今回の暫定シミュレーションでは、南海トラフ巨大地震により日本の年間実質 GDP は、最悪の場合、年間約 76.5 兆円減少することが示された。また産業別の復旧の特性について考察を行った。

(b) 業務の実施方法

1) 都市災害

平成 28 年度は、平成 27 年度までに作成した大都市複合災害時避難シミュレーションの対象範囲を拡大した。

2) 経済被害

平成 28 年度は、平成 27 年度までに開発した逐次均衡型動学応用一般均衡モデルの枠組みを継承しつつ、地域単位を全国 207 生活圏にまで拡張した。同モデルにより南海トラフ巨大地震の経済的影響について暫定的な月次シミュレーションを行った。

(c) 業務の成果

1) 都市災害

平成 27 年度末までに構築した複合災害避難シミュレーションは、火災避難の対象範囲として東京都墨田区の一部を想定したものであったが、今年度は対象領域を墨田区全域に拡張した。ここでは市街地火災からの避難は避難圏域を守り、各々が指定された避難場所に任意の時刻に一斉に向かうものと仮定している。また、市街地火災からの避難については滞在者のみとし（外出者および帰宅後のエージェントは市街地火災からの避難を行わない）としている。結果としてこの狭域避難シミュレーションが対象とする地域内の平日昼間での滞在者は約 22 万人であり（PT 調査により算出）、各々が各建物から指定広域避難場所へ移動するよう設定し、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）も避難行動に用いている。対象地域を示したものが、図 3-2-⑦-1 である。

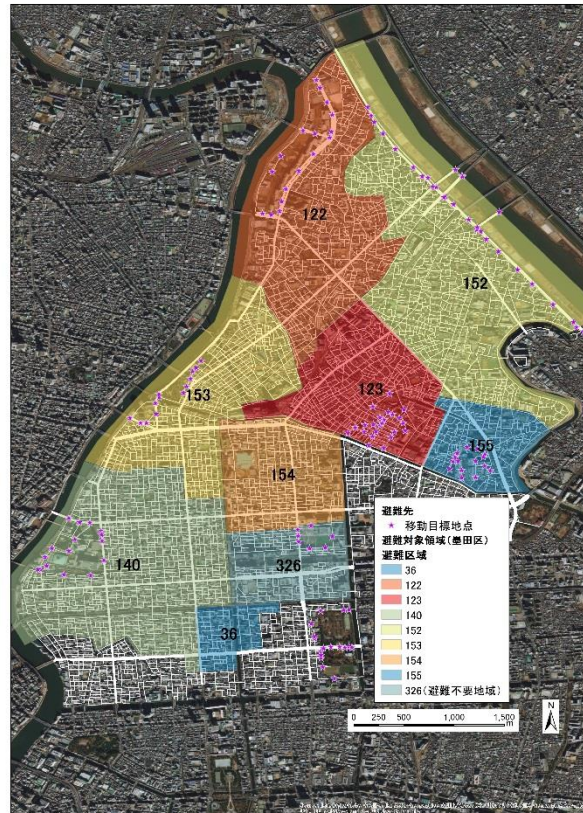


図 3 - 2 - ⑦ - 1 避難区域と避難移動目標地点（墨田区全域）

この条件下で、平成 27 年度までに開発した広域の避難シミュレーション（約 600 万人）の想定ケースのうち、ケース 2 を前提（帰宅困難者が一斉帰宅するものと仮に想定）とした上で、狭域の避難シミュレーション（約 22 万人）と同時に計算する。なおここでは、道路閉塞の確率を細街路に限り 1 リンク（道路区間）あたり 5% と仮に設定し、様々なケースの下で避難完了時間分布を計算している。この結果が図 3 - 2 - ⑦ - 2 から図 3 - 2 - ⑦ - 5 である。Case 0 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 98.4% が 30 分以内に避難を完了することができる。Case A 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、これでも 97.7% が一時間以内での避難が可能である。つまり対象とした市街地に関する限り、リンクが 5% の確率で閉塞しても代替の避難路は存在することになる。ここまでは、狭域シミュレーションのみで計算した結果であり、帰宅困難者の存在は考慮していない。

他方で Case B と Case C は、帰宅困難者の存在を考慮して入れ子シミュレーションの計算結果をまとめたものである。はじめに Case B は、道路閉塞を考慮したうえで、地震発生直後に墨田区の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 56.4% であり、1 時間以内は 76.6% しか指定された広域避難場所まで到達できないことが分かる。全体の 3.8% (8,334 人) が 2 時間以内に避難場所に到達でき

ないことになるが、墨田区の住民は地震直後に一斉避難をしているため、帰宅困難者による混雑の影響はそれほど受けてはいない。次に Case C である。このケースは道路閉塞したうえで、地震発生から 2 時間後に墨田区住民全員が避難を一斉に開始するものである。地震が発生してから 2 時間後のため、墨田区内には多数の帰宅困難者が郊外に移動している。つまりこのケースは、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した場合を検証するものである。結果として、このケースにおいては 30 分以内に避難を完了できる人は 43.8%、1 時間以内でも 60.3%しか指定された避難場所に到達できない。2 時間以内に指定された広域避難場所にたどり着けない人は全体の 22.1%(48,471 人)である。つまりこれは帰宅困難者の一斉帰宅かつ地震から 2 時間後の避難行動という条件下では、帰宅困難者による市街地火災避難の阻害がシミュレーション上で再現されたことになる。特に地震直後と地震から 2 時間後では、2 時間経っても指定された広域避難場所にたどり着けない数の住民が約 6 倍に増えてしまう点は、示唆に富む結果と考えられる。

本研究は首都圏を対象としているため市街地火災からの避難を念頭に置いたものであるが、津波避難においてもこの傾向は同様であると考えられる。いずれにせよ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。

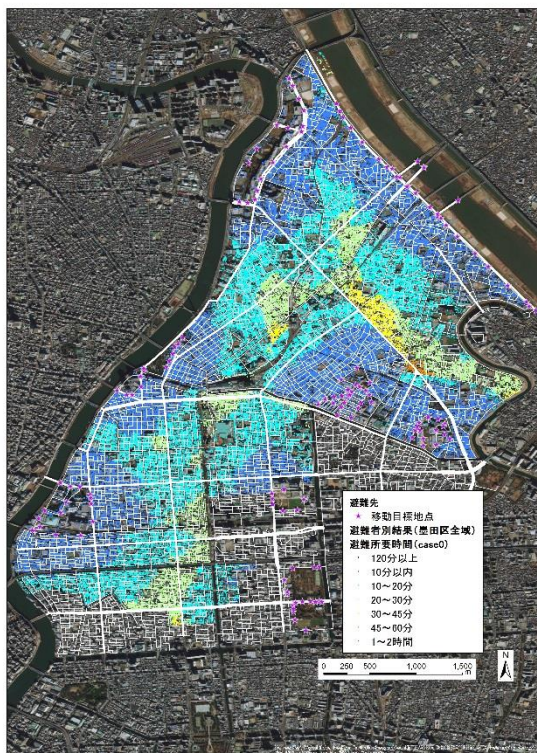


図 3-2-⑦-2 ケース 0 の避難完了時間

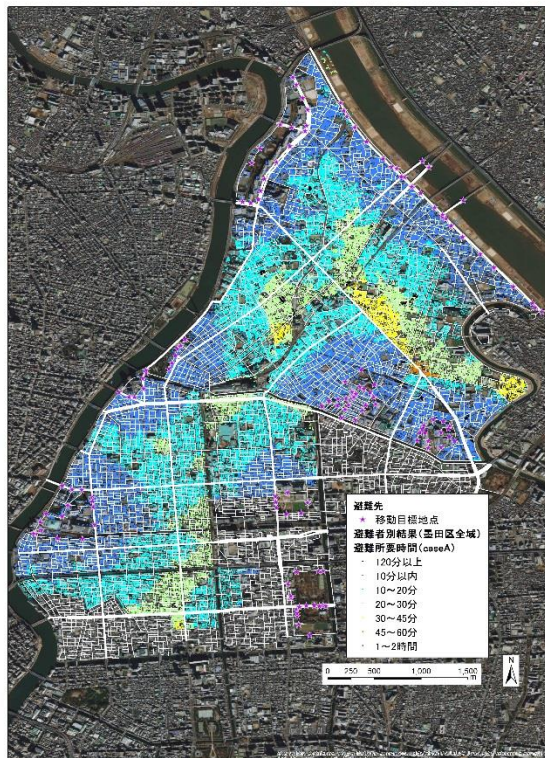


図 3-2-⑦-3 ケース A の避難完了時間

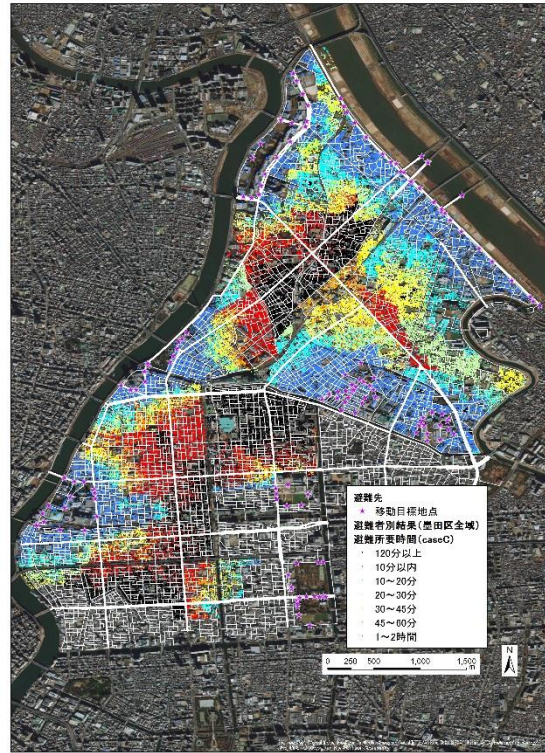
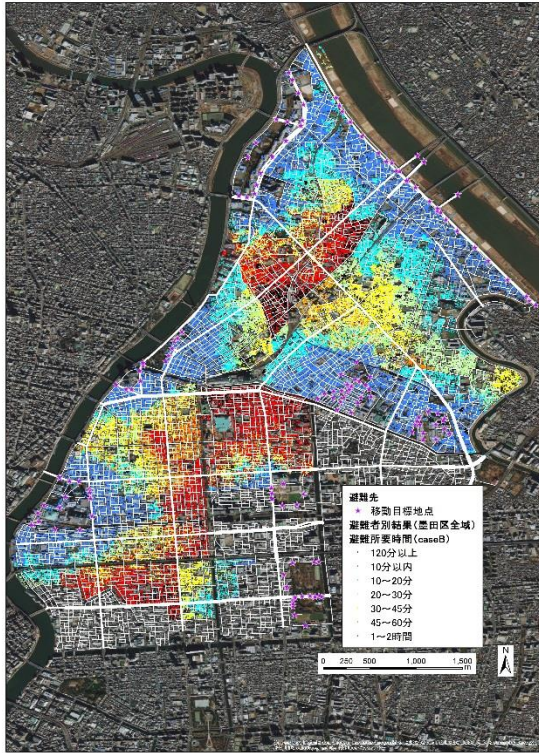


図 3-2-⑦-4 ケース B の避難完了時間

図 3-2-⑦-5 ケース C の避難完了時間

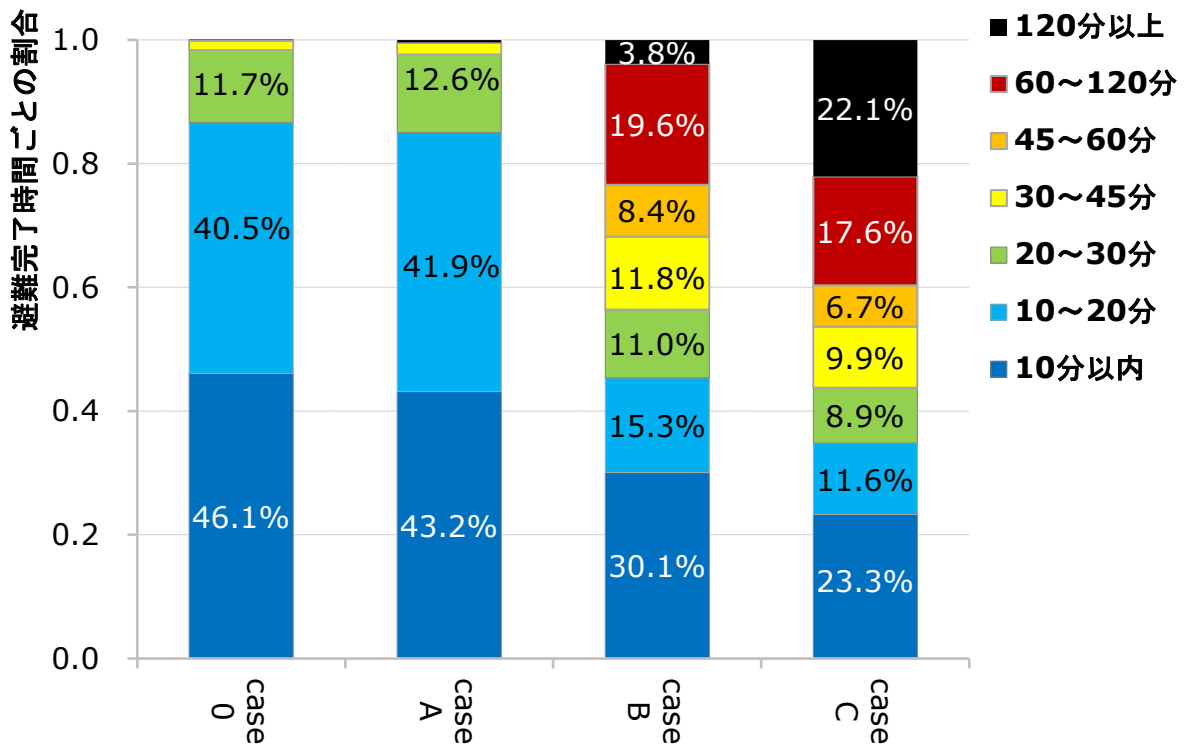


図 3-2-⑦-6 それぞれのケースにおける避難完了時間比較

避難場所までの所要時間の増加率(平常時のと比較)

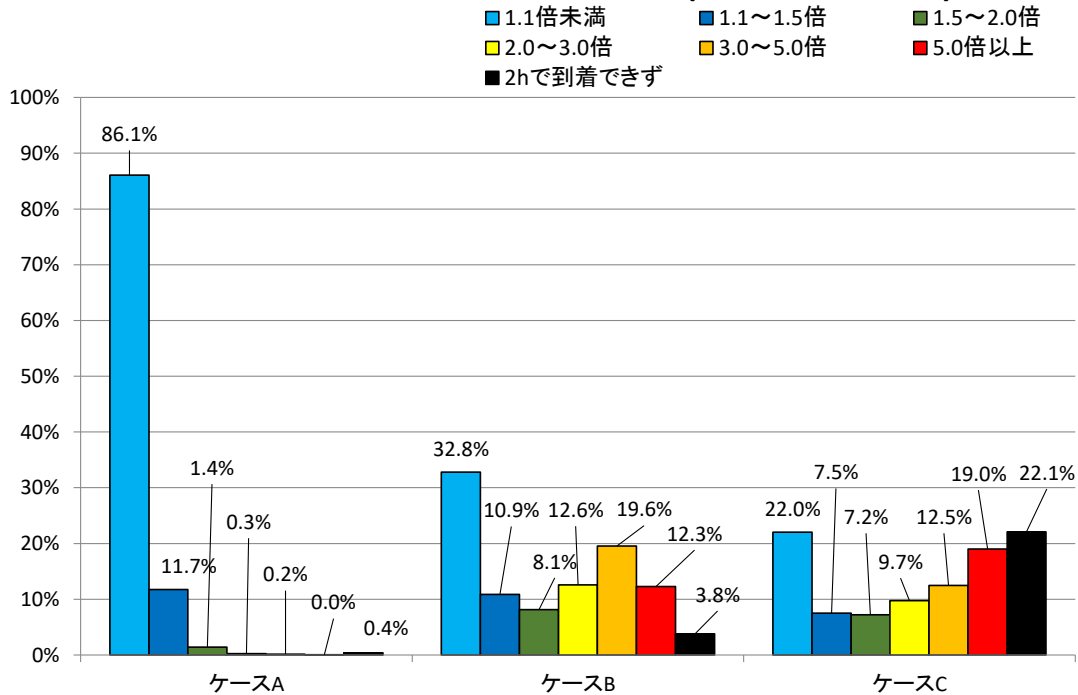


図 3-2-⑦-7 ケース A, B, C の比較 (避難完了時間の増加率)

2) 経済被害

2013年3月に中央防災会議は「南海トラフ巨大地震」に伴う経済被害想定を公表した。いわゆる「陸側ケース」の場合に被害額は最大となり、被災地における「資産等の被害」、すなわちストック損失額は169.5兆円、日本全国における「経済活動への影響」の内、「生産・サービス低下に起因するもの」は44.7兆円と想定している。後者の「生産・サービス低下に起因するもの」は年間実質GDP損失に相当する。ただし中央防災会議の試算方法は産業連関を十分に考慮できておらず、その点において課題がある。

産業連関を明示的に考慮した経済モデルは2種類に大別できる。1つはレオンチェフ型産業連関モデルに基づくモデルであり、もう1つは応用一般均衡モデルに基づくモデルである。いずれのモデルも自然災害の経済被害を評価した研究事例が蓄積されている。本研究では、代替生産や復旧投資をモデルで内生的に扱うことができること、経済的価値の収支の整合性がとれていることを重視し、逐次均衡型の動学応用一般均衡モデルを用いて、南海トラフ巨大地震の経済活動への影響を定量的に暫定評価する。

本研究の応用一般均衡モデルは多地域モデルであり地域単位は「生活圏」である。ここで生活圏とは、国土交通省が第4回(2005年)全国幹線旅客純流動調査で採用した「207生活圏ゾーン」に対応している。モデルでは生活圏間で財やサービスの取引、生産要素の移動が存在する。各地域には1つの代表的家計と8つの生産部門(「農林水産業」、「食品加工業」、「基礎素材型産業」、「加工組立型産業」、「輸送機械産業」、「電力」、「ガス・水道」、「サービス産業」)が存在する。なおモデルにおける全ての市場は完全競争市場であり、効用最大化行動をとる代表的家計も、費用最小化行動をとる生産者も価格受容者である。

また海外との貿易は存在するが日本の輸出入水準の変化は国際価格に影響を与えない「小国の仮定」を採用する。

以下では生産部門の構造について説明する。生産部門は入れ子型 Constant Elasticity of Substitution (CES)関数によりモデル化している。図3-2-⑦-8は生産関数の構造を図示したものである。図中で水平線により結合されている各種の中間投入財の投入量、労働投入量と資本ストック利用量の結合物である付加価値は CES 型関数の特殊型である Leontief 型関数によって結合されている。これは中間投入財間および中間投入財と付加価値の間で代替が不可能であることを意味する。図中で弧状の線で結合されている労働投入量と資本ストック利用量はそれらが技術的に互いに代替可能であることを意味する。例えば、自然災害により工場や生産設備等の資本ストックが一部毀損した場合でも、資本ストックが担っていた機能の一部を労働が代替できるとする仮定を意味する。ただし、その代替の技術的可能性は CES 型関数の代替の弾力性の値 σ_j^V で定められており生産部門ごとに異なると仮定する。代替の弾力性の値は表3-2-⑦-1の通りであり、これらの値は東日本大震災の経済被害を再現する研究において高い再現性を得た値を参考に設定している²⁾。生産物は国内の各生活圏に供給されるか、または外国に輸出されるものと仮定する。国内向け供給と外国輸出の配分に際しては Constant Elasticity of Transformation (CET) 型関数を用いている。CET 型関数における変形の弾力性 σ^T は全地域・全生産部門で等しく 1.0 と仮定している。

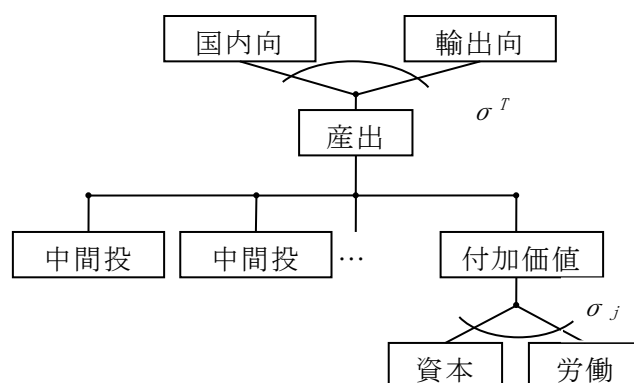


図3-2-⑦-8 生産関数の構造

表3-2-⑦-1 労働と資本の代替の弾力性 (σ_j^V)

生産部門名	σ_j^V
農林水産業	1.0
食品加工業	0.4
基礎素材型産業	0.4
加工組立型産業	0.4
輸送機械産業	0.1
電力	0.4
ガス・水道	0.4
サービス業	1.0

各地域の代表的家計の効用水準は、労働以外に費やす時間と財・サービスの最終消費の水準および貯蓄の水準から構成される。標準的な一般均衡モデルでは労働以外に費やす時間を余暇と解釈するが、自然災害が発生している状況では、自主的な自宅避難も余暇の内に含むと解釈できる。賃金を犠牲にしても自宅で家族と過ごす方が自らの効用水準の上昇につながるのであれば形式上、余暇と自宅避難を区別するものはない。家計部門も生産部門と同様に入れ子型 CES 関数でモデル化している。入れ子型 CES 関数の最上段では余暇（自主的な自宅避難）と「消費と貯蓄」の水準を CES 型関数で合成している。各地域の代表的家計は、余暇（自主的な自宅避難）の機会費用である賃金率と「消費と貯蓄」の合成財の価格を所与としつつ、自らの効用を最大化するよう余暇（自宅避難）の時間および「消費と貯蓄」の水準を決定する。ただしその際、余暇（自宅避難）と労働に利用できる合計時間は外生的に与えられており、また「消費と貯蓄」に充てられる所得水準は余暇の水準にも依存することを代表的家計は知っている。その上で家計は労働供給量を決定する。なお代表的家計は各地域の労働力と資本ストックの所有者であり、生産部門に資本ストックを貸し、レンタル料金を受け取る。また労働力も生産部門に供給し賃金を受け取る。余暇（自主的な在宅避難）と所得をもとに代表的家計は自らの効用水準を最大化する。また常に所得の一定割合を貯蓄すると仮定しており、その意味において本モデルの代表的家計は動学的最適化行動をとらない。

本モデルの地域間交易も入れ子型 CES 関数でモデル化している。図 3-2-⑦-9 の通り 2 段の入れ子構造となっており、下段では自地域で生産された財と国内の他地域で生産され自地域に移入された同種の財が CES 型関数によって合成され「国産品」となる。上段で「国産品」は同種の輸入財と CES 型関数により合成され、自地域内の中間投入や最終消費、投資向けの財になる。表 3-2-⑦-2 の σ_i^{DD} は地域間交易の代替の弾力性であり、 σ_j^V と同じく東日本大震災の経済被害を再現する研究で得られた値を参考としている。 σ_i^{DM} は国産品と輸入品の間の代替の弾力性の値を示すが、 σ_i^{DD} の半分の値と仮定する。

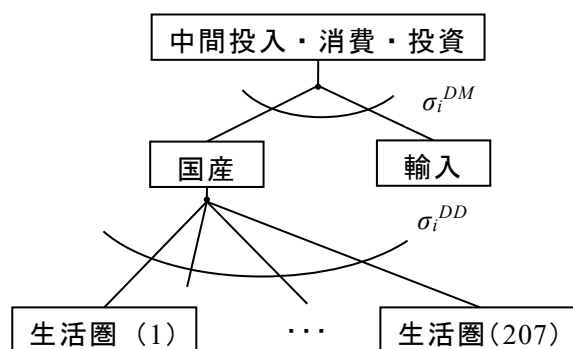


図 3-2-⑦-9 地域間交易の構造

表 3 - 2 - ⑦ - 2 地域間交易の代替の弾力性 (σ_i^{DD})

生産部門（生産物）名	σ_i^{DD}
農林水産業	1.0
食品加工業	1.2
基礎素材型産業	0.6
加工組立型産業	0.6
輸送機械産業	0.1
電力	0.6
ガス・水道	0.6
サービス産業	1.0

動学構造について、本モデルではパティークレイ（Putty-Clay）アプローチを採用している。すなわち既存資本ストックは地域および産業特殊的であり、地域間および産業間を移動しない。労働は地域と産業を摩擦なく移動できると仮定している。ただし賃金所得は初期の労働力を保有する地域の代表的家計に帰属する。本研究のシミュレーションは1期を1ヶ月と設定している。月々の人口成長率および技術進歩率はモデルでは外生として扱い、いずれも0と仮定する。

巨大地震の経済被害を応用一般均衡モデルにより評価する場合、地震のショックをいかにモデル化し入力するのかが問題となる。ここで Rose (2004)³⁾に従い、災害の経済影響を2種類に大別する。1つは地震動等のハザード（自然の外力）に直接的に起因する操業停止である（Hazard induced economic loss）。もう1つは、Hazard induced economic lossに起因する間接的な損失であり、Higher order economic loss と呼ばれる。サプライチェーンの寸断による操業停止に伴う機会損失は後者に含まれる。前者は、ハザードに生産要素が曝露し、その結果として操業に支障をきたし生じた生産および販売の機会損失を指す。応用一般均衡モデルの構造から、資本ストックの毀損を外生的に入力することができる。これを入力値とし、その後の経済影響を包括的に評価できる。

本研究では、地震直後の資本ストックの毀損率を推定するため中野・他（2013）⁴⁾が開発した企業の操業度に関する「機能的フラジリティ曲線」を利用した。中野・他（2013）の機能的フラジリティ曲線は、地震動強度（SI値）と企業の操業水準との関係を示す関数である。関数形は対数正規分布で特定化されており、2004年新潟県中越地震における被災地企業アンケート調査から関数の形状を決めるパラメータを最尤法で推定している。被災企業へのアンケートでは「操業水準」を「生産・受注・販売業務遂行能力」とし、震災後1週間の「操業水準」について調査している。また同調査では「操業水準」について「機械や設備が損傷し稼働停止することの影響を対象とする事を意図しており、部品の調達が滞ることの影響や需要が減少することによる売上の減少等は含まない」としている。本研究ではこの「操業水準」が、1から資本ストックの毀損率を差し引いたものに等しいと仮定し、応用一般均衡モデルへの入力値として利用した。具体的には任意の地震動強度（SI値）に対する操業水準の期待値を、1から資本ストックの毀損率を引いたものと仮定し利用した。機能的フラジリティ曲線への入力値として南海トラフ巨大地震の各地のSI値が

必要となるが、本研究では中央防災会議が想定する南海トラフ巨大地震震度分布の「基本ケース」を対象とし、各生活圏の中心市における最大震度を SI 値に変換した入力値とした。なおシミュレーションでは「東京 23 区」以西の生活圏で、かつ中心市における最大震度が 5 弱以上の生活圏のみで資本ストック毀損が生じると仮定している。

以下ではシミュレーション結果を見ていく。図 3-2-⑦-10 では日本全国における各生活圏の実質での域内総生産（GRP、Gross Regional Product）の変化額を示している。GDP が主として国内総生産を意味するのに対して、GRP は任意の域内の付加価値総額を示し、以下で GRP と示す場合は各生活圏内での GRP を示す。生活圏中心市の市内最大震度を当該生活圏全体の震度としていることおよび新潟県中越地震の被災企業データに基づく機能的フラジリティ曲線を用いていること、操業水準と資本残存率を等しく設定する等、今回のシミュレーションの設定ではハザードおよび資本ストックの毀損が大きくなる傾向を持つ。そのため今回のシミュレーションは南海トラフ巨大地震の経済被害でも最悪のケースのシミュレーションであると解釈できる。その上でのシミュレーション結果を以下で示す。

図 3-2-⑦-10 で示した各生活圏の年間実質 GRP の変化額を全生活圏で合計すれば、南海トラフ巨大地震の日本の年間実質 GDP 損失となりその額は 76.5 兆円であった。中央防災会議の試算である 44.7 兆円の約 1.7 倍となる。図 3-2-⑦-10 の通り、震源から離れた地域へも影響が波及している。その要因の 1 つに家計所得の大幅な低下がある。地震により被災地の資本ストックが毀損し、資本ストック保有者である家計の所得は低下する。これにより家計の財やサービスに対する最終需要が減少する。家計は被災地外からも財やサービスを購入するため、被災地の生産物のみならず被災地外の生産物に対する最終需要も減少する。これに伴い生産活動も減少する。生産活動の減少は、中間投入取引も減少させ関連する生産活動をさらに低下させる。もう 1 つの要因は被災地における資本ストックの減少が直接に生産活動を制限することである。労働による代替が一定程度可能であったとしても、生産量を減らさざるを得ない場合が多い。被災地から原材料を購入しているもしくは被災地へ原材料を販売している被災地外の生産者も、被災地における生産の制限により生産量が減少する。これにより被災地外でも所得の低下が生じる。以上のような経済連関および循環を通して経済被害は波及し拡大する。

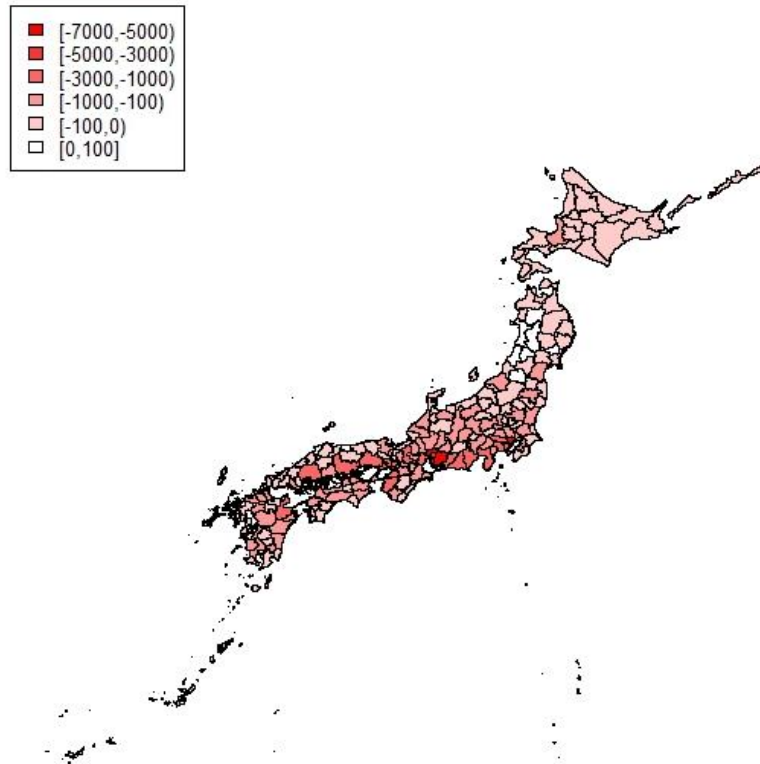


図 3 - 2 - ⑦ - 10 年間実質 GRP 減少額 (単位 10 億円)

以下では東海圏の 3 つの生活圏における主要産業（「豊田」の「輸送機器産業」、「名古屋」の「サービス産業」、「北勢」の「基礎素材型産業」）の生産額の推移を見る。図 3 - 2 - ⑦ - 11 は 3 つの生活圏における主要産業に対する南海トラフ巨大地震の影響を示している。発災直後 1 ヶ月間から 12 ヶ月目の月間生産水準の推移を平時に対する割合として示している。「輸送機械産業」（主として自動車および自動車部品産業）は全国レベルの分業体制により効率的な生産を実現した一方、特殊な部品の生産が数少ない地域で集中して行われており、地域間で代替生産が難しい。「輸送機械産業」に見られる全国レベルの分業体制は、同産業の製品について地域間取引の代替の弾力性の値を低く設定する事でモデルにおいて表現している。

シミュレーション結果に基づけば、「豊田」の「輸送機械産業」は南海トラフ巨大地震で甚大な被害を受けるものの、他の産業に比べて速い復旧を遂げる。これは「豊田」の「輸送機器産業」が域外の需要に大きく依存する外需型産業であり、かつ製品そのものが他に代え難い特性を持ったためであると考えられる。これは当該産業の地域間取引の代替の弾力性の値を低く設定したことに由来する。このことが当該産業の生産物に対する需要を地震発生後もある程度維持し、これを背景とする旺盛な復旧投資を実現する。一方で「名古屋」の「サービス産業」は「豊田」の「輸送機器産業」とは異なり回復の傾向が見られない。一般的にサービス産業は生産と消費が地域内で閉じる傾向がある。そのため被災地家計の所得低下の影響を受けやすく、輸送機械産業とは異なり旺盛な復旧投資が実現しない。「北勢」（中心市は四日市市）における基礎素材型産業の生産額の推移に関して生産額は平時の半分以下に減少するが、その後徐々に回復する。特に基礎素材型産業は、主たる出荷先で

ある加工組立型産業および輸送機械産業の生産水準の回復と密接に連動すると考えることができる。

東海圏の3つの生活圏でそれぞれの地域を特色付ける生産部門の生産水準の推移を見た。これらの生産水準の回復の速さには複数の要因が関わるものの、主たる要因として他地域との関係性があると考えられる。地域をまたぐ産業連関の中で重要な位置にある、すなわち他地域では代替生産が困難な生産物を生産する生産部門は、当該生産物への強い需要を背景とし、旺盛な復旧投資が実現する。一方、非被災地からの代替調達が比較的容易な製品の場合、復旧投資の水準も限られる。また域内需要に強く依存する産業は、域内家計所得の低下の影響を直接的に被り、復旧投資が進まない。以上のように、災害後の復旧の早さは、その生産部門の他地域との関係性に大きく規定される。

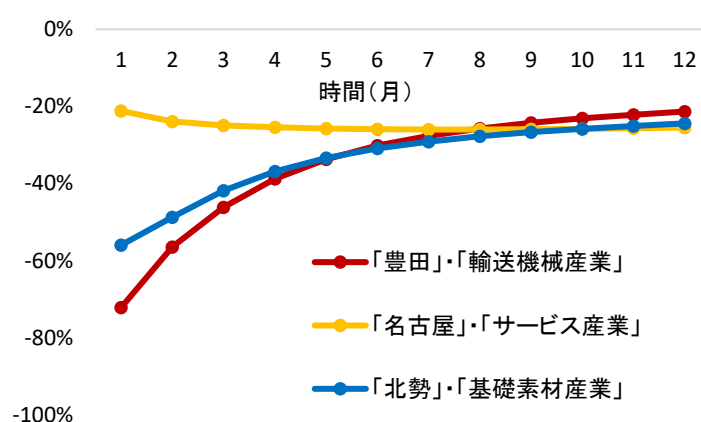


図3-2-⑦-11 地域別主要産業の生産減少率

本研究の暫定的な試算では南海トラフ巨大地震の年間実質 GDP 損失額は約 76.5 兆円となり、中央防災会議による試算の約 1.7 倍である。中央防災会議の試算方法と比較した場合の本研究の試算方法の特徴は、産業連関を明示的に考慮し、かつ家計所得の低下に伴う消費の低下等の経済循環を包括的に考慮している点にある。その意味においては中央防災会議が試算で用いたモデルよりも精緻な経済モデルとなっている。一方で、本研究における資本ストックの毀損率の算定方法は、中央防災会議のそれとは異なっており、入力値の違いが結果の違いとして現れている部分もある。両者は容易には比較できないが、いずれにせよ本研究で示した年間実質 GDP 損失額は日本の年間実質 GDP の約 15%に相当し、経済活動を大幅に縮小させる恐れがある。自然災害による経済活動への大きな被害は、復旧復興を遅らせ、人々の生活再建を遅らせる。人々の早期の生活再建という観点からも経済被害を縮小する対策が求められる。

また本研究では、生産部門間で復旧のあり方が異なることも示した。復旧の早さは複数の要因に規定されるものの、主として自然災害発生後にその生産部門の生産物に対し強い需要が生じるか否かに規定される。地域を超えた産業連関において重要な役割を担う生産部門は、被災後も維持される需要を背景とし旺盛な復旧投資が実現する。一方で他地域の製品により代替されやすい生産物や、需要が地域の所得水準に大きく依存する生産物は復

旧投資が遅れる。それゆえに被災地の復旧復興の速度や程度は、その地域がいかなる産業から構成されているかに依存する。

(e) 参考文献

- 1). 中央防災会議, 南海トラフ巨大地震の被害想定について (第二次報告) ~経済的な被害~, 2013.
- 2). 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推計: 地域間応用一般均衡モデルによる分析, 土木計画学研究・D3 論文集 72(5), I_111-I_121, 2016.
- 3). Rose A., Economic principles, issues, and research priorities in hazard loss estimation. In: Okuyama Y, Chang SE (eds) Modeling spatial and economic impacts of disasters. Springer, Berlin Heidelberg, pp 13-36, 2004.
- 4). 中野一慶・梶谷義雄・多々納裕一, 地震災害による産業部門の操業能力の低下を対象とした機能的フラジリティ曲線の推計, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol. 69 No. 1 p. 57-68, 2013.

(3) 平成 29 年度業務計画案

- ① 潮汐変動の考慮など長期湛水シミュレーションの手法を高度化するとともに、計算対象地域を徳島市中心市街地の複数個所に増やしてシミュレーションを実施する。
- ② グリーン関数の相反性を利用した地震動計算方法を常時微動に適用し、地震動予測の際に重要となるサイト増幅特性の推定精度に関して検討する。
- ③ 特定地域における人工地盤・土構造物の耐震性評価を行う。
- ④ 地域リスク評価に必要な建物の被害予測モデルの高度化に向けて、任意地点の地震動・建物応答・被害予測に基づく建物被災状況可視化とそれを用いた耐震化促進、建物状況や動的相互作用を考慮した地震応答・被害予測、観測・モニタリングに基づく対応準備と被害軽減方策の検討を行う。
- ⑤ 電力については、社会機能が相互に依存した現実社会においてボトルネックを克服し、電力需給ギャップの解消を効果的に実現するために、社会全体で対応を考えるプラットフォームの有効な構築方法を検討する。上水道については、これまでに構築した高度化した被害予測手法を用いて、具体的な地域において断水による影響を算出する。また、設備の耐震化や復旧班の適正配置等による防災・減災対策による被害の軽減効果について定量的に評価する。
- ⑥ 発災後の災害シナリオの高度化のため、間接被害の算出方法について検討するとともに、広域での評価に向け一部地域で試算を行う。
- ⑦ 都市災害については、これまでに構築した大都市避難シミュレーションを用いて、火災・道路閉塞のみならず水災害への拡張を試みる。ここでは同時に、糸魚川大火時の避難行動調査を通じてシミュレーションの検証も含めて研究を行う。南海トラフ巨大地震の経済被害の評価については、これまでのマクロ的検討を踏まえ、個別地域の経済被害リスクの抽出に関する研究を始める。平成 29 年度は、東海圏を対象に市区町村別・産業別レベルで経済被害軽減に向けた経済データの整備を行う。

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 (◎は各地域 (括弧内) の代表幹事)

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	上席技術研究員 グループリーダー グループリーダー 技術研究員 特任技術研究員 特任技術スタッフ 招聘上席技術研究員	◎金田 義行 (四国、九州) 高橋 成実 堀 高峰 今井 健太郎 中田 令子 大林 涼子 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 環境学研究科 災害対策室	教授 教授 寄附部門教授 寄附部門教授 寄附部門教授 特任教授 特任教授 准教授 特任准教授 寄附部門准教授 寄附部門准教授 寄附部門助教 寄附部門助教 寄附部門助教 寄附部門助教 助教 教授 技術職員	◎福和 伸夫 (東海) 野田 利弘 武村 雅之 北野 哲司 曾根 好徳 護 雅史 新井 伸夫 平山 修久 阪本 真由美 都築 充雄 田代 喬 浦谷 裕明 野中 俊宏 山崎 雅人 倉田 和己 平井 敬 飛田 潤 川端 寛文
国立大学法人京都大学 防災研究所	教授 研究員	◎牧 紀男 (関西) 李 瑾
国立研究開発法人防災科学技術研究所	部門長 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	藤原 広行 青井 真 中村 洋光 前田 宜浩 田口 仁 李 泰榮

	主幹研究員 契約研究員 契約研究員 契約研究員	大角 恒雄 東 宏樹 崔 青林 水井 良暢
国立大学法人東北大学 災害科学国際研究所	教授 助教 助手	今村 文彦 佐藤 翔輔 保田 真理
国立大学法人東京大学 地震研究所	教授 特任助教	古村 孝志 原田 智也

(c) 業務の目的

理学・工学・社会学の研究者が最新の研究成果を、地域の防災・減災対策に活かすため、行政やライフライン担当者との闊達な議論を通じて、より実践的な防災・減災対策を目指す。また、地方自治体やライフライン事業者に加え、積極的に市民参加の減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を展開し、防災・減災の効果を高める情報発信のあり方を検討した。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した。社会実装を進めるために現実的な復旧・復興対策の検討などに着手した。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した。

平成 29 年度：

地域研究会を通じて、被害予測、情報発信、復旧復興対策等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。減災カフェ等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。減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。市民参加の減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減災カフェを開催し、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 28 年度業務目的

平成 28 年度は、平成 27 年度に議論したプロジェクト側研究者や国の機関の取組みの現状、県や民間の取組みの先進事例等を踏まえ、ライフラインの復旧復興、自治体の情報収集とその活用、また東日本大震災からの教訓や新たな知見、プロジェクトで構築をしている様々な情報収集や発信手法などについて報告や議論を行う。また、平成 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、平成 27 年度に引き続いて地域に貢献できる防災・減災研究について情報を共有する。これらを踏まえ、社会実装を進めるために必要な課題の洗い出しや検討も行う。なお、平成 28 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特化した情報共有や議論を行うため、平成 27 年度と同様に、各県危機管理部門を中心とした分科会も活用する。

府省庁連携については引き続き調査を継続するとともに、防災・減災対策に向けた府省庁間と自治体等との情報共有の検討を行い、前半 4 年間の中間とりまとめを行う。

成果の社会還元や普及、及び、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う。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 28 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つのエリアに分けて、県などの自治体、国土交通省地方整備局や气象台、海上保安部等の国の機関、ライフライン事業者、港湾事業者、経済団体、大学のメンバーなどが集まり、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や課題の洗い出しに努めた。

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、名古屋市と四日市市内で各1回開催した。四日市での地域研究会では、臨海部のコンビナート地区の施設見学も実施した。地域側参加メンバーは、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、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、大学などである。

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と堺市内で各1回開催した。堺市での地域研究会では、臨海部のコンビナート地区の施設見学も実施した。地域側参加メンバーは、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、气象台、ライフライン事業者、港湾事業者、経済団体などである。

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、徳島市内で1回開催した。地域側参加メンバーは、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、气象台、四国運輸局、ライフライン事業者、大学などである。地域研究会と平行して、各県危機管理部門の出席を中心とした分科会を香川県、徳島県、高知県で各1回開催した。

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、大分市内で1回開催した。地域側参加メンバーは、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、气象台、ライフライン事業者、経済団体、大学などである。分科会は、宮崎県で1回開催した。

府省庁連携については、これまでの府省庁連携調査として、災害対応を担当する府省庁の活動内容と連携実態のヒアリングを行った。その結果、各者間でも情報の横連携の強化が必要であると認識されていることがわかった。府省庁と自治体等との情報共有の検討の結果、平常時から連携活動が密に行われていない場合、国と自治体との情報の縦連携の仕組みが滞る可能性が高いと推測された。なお、平成28年熊本地震における災害時の自治体支援、避難所運営、物資輸送のための情報共有においてこの課題は裏付けられた。

啓発・啓蒙活動としては、一般向けのシンポジウムを和歌山県田辺市で開催した。また、高知市内で一般と高校生を対象とした対話型イベントとして「減災エンス塾」を開催した。

(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、冬季に四日市市内で各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、名古屋市内での研究会では名古屋大学減災館での見学会等、四日市市内での研究会では、研究会に先立って市内臨海部のコンビナート地区の施設見学を実施した。

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、地域研究会を夏季に大阪市内で、冬季に堺市内で各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、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、地域の大学などである。堺市内での研究会では、研究会に先立って市内臨海部のコンビナート地区の施設見学を実施した。

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徳島市内で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。地域研究会と平行して、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。各県危機管理部門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、平成28年度は、熊本地震対応の関係もあり、香川、徳島、高知の3県で各1回の開催であった。

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大分市内で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、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。地域研究会と平行して、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が、熊本地震とその後の対応や支援活動の関係で、分科会は、宮崎県のみ1回の開催となった。

5) 府省庁連携

府省庁連携調査として、災害対応を担当する府省庁の活動内容と連携実態のヒアリングを実施しており、その結果を取りまとめた。府省庁と自治体等との情報共有について、事前連携の実態、情報項目、運用体制などに関して検討した。また、平成 28 年熊本地震における災害時の現地調査や、その後の内閣府検証レポートを分析し、実際の災害現場での情報共有の実情を調査した。これら 4 年間の結果を取りまとめた。

6) 啓発・啓蒙活動

防災・減災対策の現状を、広く一般に知っていただくために、シンポジウムを開催してきた。平成 28 年度は、昭和南海地震から 70 年であり、同地震で大きな津波被害を受けた和歌山県田辺市で開催した。これまでは大きな都市での開催が主であったが、次の南海トラフ巨大地震でも大きな被害が想定されている地域であり、啓発や意識向上、一般住民も含めた地域連携強化の重要性を考え、開催地をこの地に決定した。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、平成 26 年度より少人数による対話型イベント「減災エンス塾」を開催しており、平成 28 年度は平成 27 年度と同様に一般を対象としたものと、高校生を対象としたものを高知市内で実施した。

(c) 業務の成果

1) 東海地域研究会

平成 28 年度は、7 月 26 日と 1 月 24 日に名古屋市内と四日市市において各 1 回、計 2 回の地域研究会を開催した。代表幹事は名古屋大学 福和伸夫氏、事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各研究会の内容をまとめる。

7 月 26 日の第 7 回東海地域研究会は名古屋大学減災館で開催した（写真 3-3-①-1）。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、四日市市、第四管区海上保安本部、名古屋地方气象台、国土交通省中部地方整備局、名古屋工業大学、日本地震工学会（オブザーバー）、三重大学、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、公益財団法人名古屋まちづくり公社、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）の 27 機関、43 人であった。プロジェクト側は、名古屋大学、京都大学、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構、国土地理院、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）の 7 機関、21 人であった。海洋研究開発機構 高橋成実氏より「4 月 1 日三重県南東沖の地震」と題して熊野灘の DONET 観測域で 4 月 1 日に発生した地震に関する科学的な評価が紹介された。この紹介は、南海トラフ巨大地震に直接的に影響するものか否かについて、特に地域側からの話題提供を求める声に応えたものであった。次に、防災科学技術研究所 臼田裕一郎氏より「SIP で進めるリアルタイム被害推定と情報共有・利活用 ～熊本地震における実践事例～」に関して、同研究所が熊本地震後の際に現地で行った情報収集と共有・利活用の紹介を中心に、その進捗と課題を纏めた。発災後の対応や、その際にスムーズな情報収集を行うために事前に

調整しておかなければならないことなどが議論された。SIP で進めている地域連携については、「地域連携の場の醸成と対応力向上に向けた取り組みについて」と題して名古屋大学 野田利弘氏が紹介した。愛知県の西三河地域で進めている取り組みの詳細と来年度以降の方向性について紹介され、地域側からは期待や関心が寄せられていた。最後に、本プロジェクトで構築を進めている災害情報プラットフォームについて、防災科学技術研究所 水井良暢氏が「災害情報プラットフォーム 地域研究会向けページの紹介」と題して、地域研究会向けのページを紹介し、参加者への利用を促した。この減災館での研究会に先立って、同館の地震対応体感装置「BiCURI」による熊本地震の揺れの再現も行われた。研究会内の総合的な議論や研究会終了後のアンケートからは、引き続き様々な機関の取り組みなどの紹介を望む声や、熊本地震であきらかになってきた課題や地域連携、長周期地震動に関する議論などの要望があった。

1月24日の第8回東海地域研究会は四日市市の四日市都ホテルで開催した（写真3-3-①-2）。出席メンバーは、愛知県、静岡県、三重県、岐阜県、豊田市、豊橋市、名古屋市、名古屋港管理組合、四日市港管理組合、四日市市、第四管区海上保安本部、中部地方整備局、名古屋工業大学、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、公益財団法人名古屋まちづくり公社、西日本電信電話株式会社、日本製紙株式会社（話題提供）、日本郵便株式会社（オブザーバー）、さらに午前中に実施した見学会で訪問した石原産業株式会社、昭和四日市石油株式会社からの参加も含め27機関、47人であった。プロジェクト側は、名古屋大学、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構、国土地理院、文部科学省（オブザーバー）の5機関、18人であった。四日市市消防本部予防保安課安全指導係 芝田 茂氏が「四日市市のコンビナートにおける地震・津波対策」について、同市臨海地域のコンビナート地区の特徴や、それに特化した他の地域とは異なる対策も含め紹介した。次に、日本製紙株式会社元石巻工場長 藤崎夏夫氏が「東日本大震災からの復興 ～日本製紙株式会社石巻工場～」と題して、発災直後からの対応や課題、それらから見てきた今後の目指すべき方向性について、当時の現場の詳細な様子も含めて紹介された。当時を経験した民間企業のこの話題は、リアリティのある貴重な話しであり、質問が多数あった。さらに名古屋大学 都築充雄氏より「南海トラフ巨大地震と電力供給」と題して、東日本大震災や熊本地震における事例と、南海トラフ地震における想定被害やその対策、今後の課題について紹介した。電力復旧の優先順位に関する議論となり、各施設の非常用電源確保の重要性にも話しが及んだ。最後に、8月と同様に本プロジェクトで構築を進めている災害情報プラットフォームについて、防災科学技術研究所 水井良暢氏が「災害情報プラットフォーム 地域研究会向けページの紹介」と題して、構築状況と改修された部分についての説明をした。研究会内の総合的な議論や研究会終了後のアンケートからは、住宅街に近い四日市コンビナートの課題や対策についてあらためて詳細な議論を求める声や、震災からの復興にはヒト・モノ・カネの調達ロジが大変重要だが、それはまた難しい課題でもあると言ったコメントなどが寄せられた。この研究会に先立って、臨海部のコンビナート地区の見学を実施した。昭和四日市石油(株)と石原産業(株)の地震、津波対策と発災後の操業再開に向けた取り組みなどの説明

を聞き、施設内の設備等を見学した。さらに、中京地区広域共同防災センターにある大容量泡放射システムの実機を見学し、その運用についての説明を受けた。

東海地域の課題としては、関係組織が複数ありその関係も複雑なことからボトルネックが明確にならないことや、ライフライン機能が相互に依存しあっている課題も具体的に見えてきた（これらは後述の関西、四国、九州の各地域も同様）。また、プロジェクトで進めている取組みの融合や連携について、それらの情報発信の強化も重要であることがあらためて認識された。プロジェクトの研究成果や取組みをプロトタイプ的に特定の地域に総合的に実装することも検討することになった。



写真 3-3-①-1 第 7 回東海地域研究会の様子

(右：名古屋大学減債館の地震対応体感装置「BiCURI」による熊本地震の揺れの再現の様子)



写真 3-3-①-2 第 8 回東海地域研究会の様子

(右：中京地区広域共同防災センターにある大容量泡放射システムの見学)

2) 関西地域研究会

平成 28 年度は、7 月 25 日と 1 月 23 日に大阪市内と堺市内において各 1 回、計 2 回の地域研究会を開催した。代表幹事は京都大学 牧 紀男氏、事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各研究会の内容をまとめる。

7月25日の第7回関西地域研究会はメルパルク大阪で開催した(写真3-3-①-3)。出席メンバーは、大阪府、兵庫県、和歌山県、大阪広域水道企業団、大阪市、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、関西国際大学、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)、NTTコミュニケーションズ株式会社、関西電力株式会社、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)の17機関24人であった。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、江戸川大学、国土地理院、文部科学省(オブザーバー)、の7機関13人であった。東海地域研究会と同様に、海洋研究開発機構 高橋成実氏より「4月1日三重県南東沖の地震」と題して熊野灘のDONET観測域で4月1日に発生した地震に関する科学的な評価が紹介された。さらにこちらも東海地域研究会と同様に、防災科学技術研究所 白田裕一郎氏より「SIPで進めるリアルタイム被害推定と情報共有・利活用 ～熊本地震における実践事例～」に関して、同研究所が熊本地震後に現地で行った情報収集と共有・地活用の紹介を中心に、その進捗と課題を纏めた。地域側出席者から、同研究所の熊本地震における対応に対して評価が寄せられ、さらに期待することや改善点なども議論された。次に京都大学 矢守克也氏より「津波避難研究の理論と実践 –SIPプロジェクトの成果から–」と題して主に避難訓練アプリ「逃げトレ」について紹介された。有効性や発展性に関心が集まった質疑応答となった。最後に、本プロジェクトで構築を進めている災害情報プラットフォームについて、防災科学技術研究所 水井良暢氏が「災害情報プラットフォーム 地域研究会向けページの紹介」と題して、地域研究会向けのページを紹介し、参加者への利用を促した。アンケートからは、今後の実装を視野に入れつつ関西地域に特化した議論も深めるべきといった提案やライフラインの取り組み紹介の希望などがあった。

1月23日の第8回関西地域研究会は堺市内のホテル・アゴーラ リージェンシー堺で開催した(写真3-3-①-4)。出席メンバーは、大阪府、大阪広域水道企業団、和歌山県、高石市、大阪管区气象台、神戸地方气象台、和歌山地方气象台、日本地震工学会(オブザーバー)、人と防災未来センター、NTTコミュニケーションズ株式会社、関西電力株式会社、堺・泉北臨海特別防災地区協議会、西日本電信電話株式会社、日本製紙株式会社(話題提供)、日本郵便株式会社(オブザーバー)の15機関21人であった。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、防災科学技術研究所、文部科学省(オブザーバー)の6機関9人であった。大阪府危機管理室消防保安課保安グループ 南 隆雄氏が「大阪府石油コンビナート等防災計画」について、東日本大震災の液状化被害から判明した問題点も含めて、最新の対策基準や具体的な対策を紹介した。埋立地の液状化や津波浸水による孤立化に関する質問や、タンカーが港内にいる際の対応についての質問などがあり、それらについての意見が交わされた。次に、東海地域研究会と同じく日本製紙株式会社元石巻工場長 藤崎夏夫氏より「東日本大震災からの復興 ～日本製紙株式会社石巻工場～」と題して、発災直後からの対応や課題、それらから見えてきた今後の目指すべき方向性について、当時の現場の詳細な様子も含めて紹介された。東海地域研究会同様、この話題は当時を経験した民間企業としてリアリティのある貴重なものであり、質問やコメントが相次いだ。最後に、8月と同様に本プロジェクトで構築を進めている災害情報プラ

ットフォームについて、防災科学技術研究所 水井良暢氏が「災害情報プラットフォーム 地域研究会向けページの紹介」と題して、構築状況と改修された部分についての説明をした。研究会内の総合的な議論や研究会終了後のアンケートから今後議論したい内容として、BCP の策定に関する議論や復旧に大きく関係する道路啓開に関する内容が寄せられた。この研究会に先立って、堺泉北臨海地域にある大阪ガス(株)泉北製造所と、高石市が整備した臨海地区の液状化対策についての見学会を行った。大阪ガス(株)泉北製造所の地震・津波対策とBCPの説明を聞き、施設内の設備等を見学した。また移動のバス車内では臨海地区の液状化対策の説明を高石市担当から聞き、車中よりそれらの整備状況を見学した。



写真 3-3-①-3 第7回関西地域研究会の様子



写真 3-3-①-4 第8回関西地域研究会の様子
(右：大阪ガス(株)泉北製造所の見学会)

3) 四国地域研究会・分科会

平成 28 年度の四国地域研究会は、1 月 30 日に徳島市内で開催した。分科会は、香川分科会を 12 月 21 日に高松市内で、徳島分科会を 1 月 31 日に徳島市内で、高知分科会を 2 月 6 日に高知市内で行った。代表幹事は海洋研究開発機構 金田義行氏、事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各研究会と分科会の内容をまとめる。

1月30日の第6回四国地域研究会は、徳島市内のホテルクレメント徳島で開催した(写真3-3-①-5)。出席メンバーは、愛媛県、香川県、高知県、徳島県、海陽町、高松地方气象台、徳島地方气象台、四国運輸局、四国地方整備局、香川大学、四国ガス株式会社、四国経済連合会、四国電力株式会社、日本郵便株式会社(オブザーバー)の14機関23人であった。プロジェクト側は、海洋研究開発機構、国土地理院、徳島大学、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)の6機関14人であった。徳島県危機管理部とくしまゼロ作戦課 坂東 淳氏から「災害時の官民連携による情報共有」について、県独自の取り組みを中心にその情報の活用に重きをおいた紹介があった。質疑応答では情報収集の際の課題について議論がなされた。次に海洋研究開発機構 高橋成実氏から「海域観測網における今後の検討と、それを用いた即時津波予測システム」について紹介があった。新たなシステム構築や利活用について期待の声が寄せられ、他システムを取り込むことによって情報伝達のツールとしても有益になる可能性が参加者から示された。最後に他の地域と同様に本プロジェクトで構築を進めている災害情報プラットフォームについて、防災科学技術研究所 水井良暢氏が「災害情報プラットフォーム 地域研究会向けページの紹介」と題して、構築状況と改修された部分についての説明をした。総合討論やアンケートからは、実装の仕方に関する議論を進めておくべきという意見、避難シミュレーションの高度化から避難路や避難施設の設置場所などの再検討に関する議論、地域連携、災害情報の標準化、ライフライン企業の防災減災対策に関する議論を希望する声寄せられた。

香川分科会は、12月21日に高松市内の香川県庁で開催した。出席メンバーは香川県と香川大学、海洋研究開発機構であった。香川大学から中央構造線や内陸地震に関する県の想定や対策に関する質問やコメントを行い、それを踏まえて全体で議論を行った。また海洋研究開発機構より DONET データの利活用に関する話題提供と意見交換を行った。徳島分科会は1月31日に徳島市内の徳島県庁で行った(写真3-3-①-6左)。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南海トラフの海域観測網の構築や利活用に関する最新情報や SIP で実施している地域連携に関する取り組みを紹介し、意見交換や議論を行った。高知分科会は2月6日に高知県庁で開催した(写真3-3-①-6右)。出席メンバーは高知県と海洋研究開発機構であった。高知県より同県が進めている津波避難計画の検証について進捗や課題が紹介され、それらについて意見交換や議論を行った。なお、愛媛県との分科会は、熊本地震に関する九州地域への支援が長期間にわたり実施されていた関係などから、今年度の分科会開催は見送った。



写真 3-3-①-5 第6回四国地域研究会の様子



写真 3-3-①-6 分科会の様子の例 (左：徳島分科会 右：高知分科会)

4) 九州地域研究会・分科会

平成 28 年度の九州地域研究会は、1 月 13 日に大分市内で開催した。分科会は、宮崎分科会を 1 月 24 日に宮崎市内で行った。代表幹事は海洋研究開発機構 金田義行氏、事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各研究会と分科会の内容をまとめる。

1 月 13 日の第 6 回九州地域研究会は大分市内の大分県土地改良事業団 土地改良会館で開催した(写真 3-3-①-7)。出席メンバーは、大分県、鹿児島県、宮崎県、大分市、宮崎市、大分地方气象台、九州運輸局、九州地方整備局、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)の 13 機関 24 人であった。プロジェクト側は、海洋研究開発機構、東北大学、防災科学技術研究所、国土地理院、リアルタイム地震・防災情報利用協議会(オブザーバー) 5 機関 10 人であった。東北大学 今村文彦氏から「東日本大震災や熊本地震の経験と津波対策等への教訓」と題して、東日本大震災や熊本地震での事例を踏まえた大分や九州地域の津波対策、避難、避難施設の体制についての課題や取り組みが紹介された。津波による構造物破壊のメカニズムや自動車を使った避難についての意見交換や議論が

あった。続いて九州地方整備局企画部防災課 松永泰裕氏から「九州地方整備局における防災対応について」と題して、熊本地震での対応の紹介や災害対策の体制などの紹介があった。最後に他地域と同様に本プロジェクトで構築を進めている災害情報プラットフォームについて、防災科学技術研究所 水井良暢氏が「災害情報プラットフォーム 地域研究会向けページの紹介」と題して、構築状況と改修された部分についての説明をした。全体討論では、地震津波の観測システム構築に関する現状が紹介され、その早期整備や利活用についての議論があった。また、アンケートからはライフラインの復旧に関する議論を求める声や実装に向けた具体的な議論を求める声が聞かれた。

宮崎分科会は、1月24日に宮崎県庁で行われた南海トラフ巨大地震対策九州ブロック協議会（事務局：宮崎県）として開催した。九州地域研究会代表幹事金田義行氏から本プロジェクト紹介とプロジェクト側と宮崎県をはじめとし広く九州地域との意見交換の場を、同分科会と位置づけた。熊本地震で大きな被害を受けた熊本県をはじめとして九州地域研究会の参加メンバーではない県や国の機関の防災担当との意見交換、情報共有が行われた。



写真3-3-①-7 第6回九州地域研究会

5) 府省庁連携

府省庁連携について引き続き調査を継続し、防災・減災対策に向けた府省庁間と自治体等との情報共有の検討を行い、前半4年間の中間とりまとめを行った。

これまでの府省庁連携調査として平成25と26年度に実施した、災害対応を担当する府省庁の活動内容と連携実態のヒアリングでは、各者間でも情報の横連携の強化が必要であると認識されていることがわかった。調査の対象は、内閣府（防災担当）、国土交通省、総務省（消防）、農林水産省、文部科学省で、南海トラフ巨大地震対策に関する府省間の連携、情報の共有、情報の利活用についてヒアリングを実施した。災害時の防災情報共有システムについては、各省庁で独自に構築・運営していることが分かった。また、一部の省庁のシステムでは内閣府防災との連携を行っている例もみられたが、多くの場合、情報の共有項目数はまだ少数であった。災害時に必要な情報として、特に需要が高かったのは道路被害情報である。また、ヘリコプターの運用状況についての需要も高かった。ヘリコ

プターは、大きく分けて自衛隊、消防・防災、警察の3種類あり、各々で運用されており、医療関係者（DMAT など）では、特に患者の搬送等で重要な情報となるが、現場によっては全く情報が入ってこない場合もある。この辺りも一元管理できるようになることが望ましいとの意見があげられた。

府省庁と自治体との情報共有必要性の検討の結果、平常時から連携活動が密に行われていない場合、国と自治体との情報の縦連携の仕組みが滞る可能性が高いと推測された。表3-3-①-1に、調査対象11自治体（府県）について、防災に関する基本対策、南海トラフ地震対策、その他の地震対策、府省庁との連携の有無についての対比（平成27年度時点）を記す。調査と検討の結果、どの自治体でも国との連携を計画しているが、府省庁との連携の内容としては、自衛隊（防衛省）や海上保安庁（国交省）への災害時の支援要請が主たるものとなっていることがわかった。その反面、行政業務や被災者対応などそれ以外の分野での連携が不足している傾向があり、実際の災害が発生した場合、国と自治体との情報の縦連携の仕組みが滞る可能性が高いのではないかと懸念された。

表3-3-①-1 各自治体における防災対策、連携に関する対比表（平成27年度時点）

	基本対策	南海トラフ地震対策	その他の地震対策	府省庁との連携
静岡県	○	○	○	○
愛知県	○	○	○	○
三重県	○	○	○	○
和歌山県	○	○	○	○
大阪府	○	○	○	○
徳島県	○	○	○	○
高知県	○	○	○	○
愛媛県	○	○	○	○
大分県	○	○	○	○
宮崎県	○	○	○	○
鹿児島県	○	○	○	○

事前連携の不足については、平成28年熊本地震における災害時の自治体支援、避難所運営、物資輸送のための体制整備や情報共有においてこの懸念は裏付けられている。平成28年熊本地震に係る政府の初動対応に関する内閣府の検証レポートでは、政府の果たした機能（特に自治体支援、避難所運営、物資輸送）、自治体や関連組織との連携の実態について表3-3-①-2のように報告されている。全体として、東日本大震災を教訓としたプッシュ型の物的、人的支援や、近隣や広域の自治体間の協力が初めて行われたのが今回の熊本地震対応であるといえる。しかし、その試みが全て上手くいった訳ではなく、必要とされる主要担当者の現地本部への派遣判断迅速化、避難所状況把握のための制度・体制の整備、ラストワンマイルの輸送計画を国と自治体間にて調整・計画することの必要性など、新たな課題も多々見つかった。これらは総じて、平常時から相互に連携強化を行えば改善が見込まれる内容であると考えられる。

表3-3-①-2 平成28年熊本地震における実状と課題

	実状	課題

自治体支援	今回の現地対策本部の特徴は、各府省の局長・審議官級の幹部職員の現地派遣。この組織は K9（Kは熊本の頭文字）と呼ばれ、この下、毎日定例会議を開催し、迅速な意思決定、省庁横断支援、県幹部と直接協議等を実践した。	課題が顕在化するたびに順次拡充されて最終的に9人から構成される K9 となったが、立上げ当初から災害廃棄物処理や学校再開等も見通して早期に体制を整備すべきだった。
避難所運営	今回の初動対応として、避難所の状況（避難者名簿、車中泊・テント泊の場所、福祉避難所の被害やニーズ）を把握することが急務であったが、被災自治体においても、十分に把握できている状態にはなかった。	国は、市町村における既存のデータベースを活用した被災者台帳の整備の取組を促進する必要がある。ビッグデータの防災分野への活用を、民間事業者や関係機関と連携し、共同開発等を進める必要がある。
物資輸送	被災直後の支援物資の輸送は、要請を待って行ういわゆる「プル型」の物資輸送ではなく、必要と見込まれる物資を国が被災地に送り込むいわゆる「プッシュ型」の物資輸送を大規模に行った。この物資支援によって発災直後の自治体の負担を軽減しながら、水、食料といった主要物資の不足感がなくなり、被災者に安心感を与えることができた。	国の支援が事前に想定していたのは、広域物流拠点への搬入までであり、そこから先の避難所までのラストワンマイルについては具体的な計画を持っていなかった。一方で、個々の避難所まで支援物資を届ける機能を被災直後の市町村に期待することは、特に被害の大きい市町村においては困難だった。また、被災市町村も避難所までの物資輸送のための計画を策定していなかった。

4年間にわたる作業のまとめとしては、ヒアリング調査における関係者間での連携強化必要性の認識や、政府および各自治体の防災計画立案時も含めた平常時からの組織的な連携と情報共有の不足、また、熊本地震にて実際に見出された現地対策本部や災害現場での組織間情報調整・連携がまだまだ足りていないという課題が見いだされた。被災地では1つの組織内では対処しきれない複合的な被害対応が必要とされるケースが多々ある。現状認識や対応措置のため府省庁間はもちろん自治体との情報連携を強化し、災害対応の未処理や対応遅れが発生しないように努力する必要があると再認識された。

今後も、府省庁間および、国と自治体間の連携強化を図るために、これらの課題を防災・減災対策に反映し改善していく必要がある。

6)啓発・啓蒙活動

プロジェクトがスタートした平成25年度より毎年度、一般向けシンポジウムを行っている。平成28年度は、12月17日に「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 ～昭和南海地震から 70 年、今後の南海トラフ地震に如何に備えるのか～」と題して和歌山県田辺市のハナヨアリーナで開催した（写真 3-3-①-8）。このシンポジウムは、基調講演とパネルディスカッションの 2 部構成であった。冒頭で文部科学省研究開発局地震・防災研究課長 谷 広太氏、田辺市長 真砂充敏氏にご挨拶いただいた。その後、基調講演として、京都大学 平原和朗氏より「災南海トラフ地震の研究最前線 ～これまでに分かったこと～」、東北大学 今村文彦氏より「南海トラフ地震と津波防災対策 ～東日本大震災の教訓を活かして～」と題した講演を行った。平原和朗氏からは南海トラフ巨大地震の発生サイクルのシミュレーションや海底に設置してあるリアルタイムの地震津波観測監視システムの最新の成果が紹介された。今村文彦氏からは、東日本大震災の津波を再現したシミュレーション結果の紹介や津波の避難行動に関する研究が紹介された。パネルディスカッションは京都大学 牧 紀男氏の進行で、和歌山県危機管理監 和歌哲也氏、田辺市新庄中学校長 井瀬敦司氏、海洋研究開発機構 堀 高峰氏と、基調講演を行った上述の 2 名の計 6 名で行われた。和歌哲也氏からは和歌山県の地震津波対策、井瀬敦司氏からは新庄中学の防災に関する取り組み、堀 高峰氏からは 4 月 1 日に発生した熊野灘の地震に関する科学的な評価やシミュレーション研究の曖昧さの考え方などの話題が紹介された。また、地域の学習と防災教育の位置づけや地域連携についても活発な議論が行われた。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 391 名で、地元の田辺市をはじめとする和歌山県内など関西圏を中心に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 担当者などにご聴講いただいた。報道関係者からのご聴講は、朝日新聞、読売新聞、毎日新聞、紀伊民報、NHK、和歌山放送、テレビ和歌山などであった。また会場の一部でパネル展示を行った。新庄中学が集めている昭和南海地震の津波被害の様子を示す写真パネルや防災教育の紹介、和歌山県の地震津波対策の紹介、本プロジェクトの各課題ごとの成果紹介、地震・津波観測監視システムとその利活用の紹介などを行った。シンポジウムのアンケートからは、東日本大震災の教訓の活かし方や津波シミュレーションへの関心の高さが見られた。これはシンポジウム開催地が過去に大きな津波被害のあった地域であるためと考えられる。地方開催を歓迎する声が多く、これまで直接聞く機会が少なかった南海トラフにおける最新の研究成果を知ることができた、減災への備えをあらためて考えるきっかけになったという意見が目立った。

対話型イベントとして平成 26 年度より高知市内の寺田寅彦記念館において「高知減災エンス塾 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」を行っている。平成 28 年度は、11 月 19 日に一般向けとしては三回目となる同塾を開催した（写真 3-3-①-9）。講師は海洋研究開発機構 金田義行氏であった。一般市民から 25 名の参加があり、高知県を中心とした四国地域における地震や津波の最新の研究や防災・減災に向けた課題などを金田義行氏より紹介し、議論が繰り広げられた。通算二回目となる高校生向けの同塾は、2 月 5 日に開催した（写真 3-3-①-10）。講師は同じく海洋研究開発機構 金田義行氏であった。部活動で科学部に籍を置く生徒や地震津波研究の分野への進学を希望する生徒など、高知県内の高校生 10 名が参加し、オブザーバーとして高校の理科教諭など教育関係者 3 名の参加があった。高校生を対象としてい

ることから、最新の研究成果紹介だけでは無く、地球科学の基礎知識や、全ての学問分野において防災・減災の課題が内在していること等も紹介した。参加生徒からは南海トラフ地震の発生間隔と周辺の内陸地震との関係などの理学的な質問や、避難行動の最新のシミュレーション結果などの防災・減災に関する質問、相談が多数寄せられ、活発な対話がなされた。

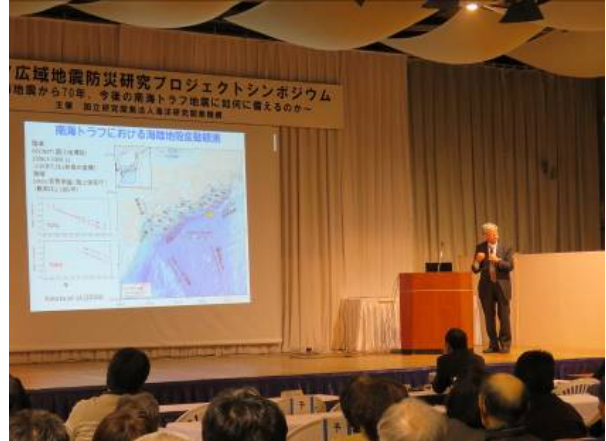


写真 3-3-①-8 「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトシンポジウム
～昭和南海地震から 70 年、今後の南海トラフ地震に如何に備えるのか～」
の様子



写真 3-3-①-9 第三回高知減災エンス塾「寺田寅彦先生の地球科学観に学ぶ」の様子
(一般向け)



写真 3-3-①-10 第二回高知減災エンス塾「寺田寅彦先生の地球科学観に学ぶ」の様子
(高校生向け)

(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、アンケートを通じて把握した地域側のニーズを考慮して、地域連携、情報収集と共有・発信、地震津波観測監視システムの利活用、東日本大震災の教訓といった内容であった。地域側からの話題は、臨海部のコンビナートの災害対策、企業としての東日本大震災からの復興、県や地方整備局の新しい取り組みといった内容であった。地域連携、情報収集と共有・発信、地震津波観測監視システムの利活用、見学会も含めコンビナートの災害対策などについては、アンケート結果や直接聞こえてくる希望などを考慮してのテーマであった。さらに、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) との連携も引き続き重要であり、SIP の地域連携の取組みの最新情報も紹介した。

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。地域連携や県が抱える課題や取組みなどについて、議

論や意見交換を行うことができた。ただ、熊本地震と各県におけるその後の対応や支援活動の関係で、平成 28 年度の開催を見送った県もあった。

これらを重ねることによって見えてきた社会実装に向けた議論の深化が期待されている代表例として、地震津波観測監視システムの利活用、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、事前復興、被害シナリオ作成、長周期地震動などが挙げられる。また、地域側の希望も大きい地域連携や長期湛水評価なども、議論を積極的に重ねていくべき内容として挙げられる。同様に地域側から様々なニーズが寄せられる液状化や津波火災といったテーマについては、現時点では実装を目指した具体的な議論が難しい印象ではあるものの、継続的に議論を重ねる必要がある。

研究成果の地域への実装やプロジェクト側と地域側との今後の連携を考えると、地域のニーズの吸い上げと研究とのマッチングを丁寧に行っていくことが大切となる。そして、実装を念頭においた研究提案も必要である。地域側からは、例えばビッグデータの活用に関する議論を求める声もあり、そうした全てに応えることは不可能であるが、それらを丁寧に聞きとっていかなければならない。その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 に絡めた対応なども視野に入れ、様々なレベルの検討会の開催も必要になるかもしれない。

府省庁連携については、関係者へのヒアリングや検討結果、熊本地震での実態調査からも見出されたように、府省庁間および自治体との情報共有に関して必要性は認識されているものの、現実には連携がまだ不足しているとの結論を得た。被災地では 1 つの組織内では対応しきれない複合的な被害対応が必要とされるケースが多々ある。現状認識や対応措置のため府省庁間はもちろん自治体との情報連携を強化し、災害対応の未処理や対応遅れが発生しないように努力する必要があると再認識された。

(e) 引用文献

内閣府防災平成 28 年熊本地震に係る初動対応検証チーム，平成 28 年熊本地震に係る初動対応の検証レポート，2016.

(3) 平成 29 年度業務計画案

平成 29 年度も、これまで同様、東海、関西、四国、九州の 4 か所で地域研究会を開催し、国や府県、市町、ライフライン事業者、地域の大学等から防災・減災対策の課題やニーズを抽出して社会実装の現状を評価、プロジェクトの研究成果紹介を継続する。かつ前半 4 年間で抽出された課題やニーズを踏まえ、地域との連携を深化させながら、研究成果の社会実装への提案を働きかける。さらに、県ごとに特化した課題やニーズに応え、きめ細かいプロジェクト側からの提案・助言等を行うために分科会の開催を積極的に検討する。また、各地域・各県の枠を超えた地域連携の強化が進み始めていることも視野に入れ、地域研究会の周辺地域の情報収集なども検討する。加えて、研究成果の社会普及や啓発のために防災・減災カフェ等を開催する。

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 特定研究員 (特任助教)	牧紀男 李瑾
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	加藤孝明 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

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

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

平成27年度：

平成25年度から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、災害による影響を定量的に評価可能なシス

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：

影響評価、事前計画システムのプロトタイプ構築について、平成 27 年度までに開発した将来の「地域特性評価システム」を用いて、災害が地域に与える影響の定量的評価の試みを図った。また、将来の地域特性シミュレーション、詳細被害シミュレーションシステムから構成される南海トラフ巨大地震の影響評価システムのプロトタイプの構築を行った。さらに事前復旧・復興計画システムの現地での導入試験を行い、プロトタイプの構築を行った。

平成 29 年度：

影響シナリオ構築シミュレーションの具体的構築、事前復興計画の策定作業を継続する。将来の地域特性シミュレーション、詳細被害シミュレーションシステムから構成される南海トラフ巨大地震の影響評価システムのプロトタイプの構築を行うと共に、事前復旧・復興計画システムの現地での導入試験を行い、現場での活用方法の検討を交えた被害を軽減するためのまちづくり方策プロトタイプの構築を行う。

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。

南海トラフ巨大地震の影響評価システム、事前復旧・復興計画策定システムを静岡県内の都市地域（都市型モデル）で実際に利用し、事前復旧・復興計画の策定を行うと共に、システムの問題点の検証を行う。

平成 31 年度：

影響評価、事前計画システムの地域での実装・検証。

南海トラフ巨大地震の影響評価システム、事前復旧・復興計画策定システムを兵庫県内の非都市地域（漁村型モデル）で実際に利用し、これまでの検証結果に基づくチューニングを行う。さらに、本システムを利用した事前復旧・復興計画の策定を行うと共に、システムの問題点の検証を行う。

平成 32 年度：

全体とりまとめ。

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

(e) 平成 28 年度業務目的

影響シナリオ構築シミュレーションの具体的構築、事前復興計画の策定作業を継続する。将来の地域特性シミュレーション、詳細被害シミュレーションシステムから構成される南海トラフ巨大地震の影響評価システムのプロトタイプの構築を行うと共に、事前復旧・復興計画システムの現地での導入試験を行い、プロトタイプの構築を行う。

(2) 平成 28 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・27 年度に開発した「地域特性評価システム」を用いて、災害が地域に与える影響の定量的評価の試みを図った。

(b) 業務の実施方法

都市部での災害が地域に与える影響の評価のため、阪神・淡路大震災の被災地域とその周辺地域を対象とし、都市部での人口構造評価指数と、クラスター分析による地域特性の検証を行い、それらの推移をもとに、被災が大きかった地域とその他の地域の比較を行った。被害が大きかった地域として、メッシュ内の全半壊率が 8%以上となる地域を選択した。選択理由は、阪神・淡路大震災の被災地域で復興計画の策定を必要とした自治体において、最も全半壊率が小さかった自治体の全半壊率が約 8%であるため、被害が大きい場合の最小値と考えたからである。被災前後での地域の変化を評価するため、1990 年、1995 年、2000 年の 3 年度で分析した。

阪神地域でのクラスター分析において、国勢調査日本測地系 3 次メッシュ (1990 年、1995 年、2000 年)、経済センサス(事務所企業統計)日本測地系 3 次メッシュ (1991 年、1996 年、2001 年)のデータを用いて、クラスター 1～6 の 6 つの地域特性から、それぞれのメッシュで評価を行い、全てのメッシュについて各項目を標準化した。さらに、各クラスターでの平均値をとり、平均値が 0.5 以上、もしくは-0.5 以下となるものへ分類した。

最後にそれぞれ 1990、1995、2000 年度の人口構造評価指数を用いて、クラスター分析に基づき、阪神・淡路大震災が地域に与えた影響を分析した。

(c) 業務の成果

1) 阪神地域(1990、1995、2000)での地域分類では、1990 年の分析結果を、表 3-4-①-1 で示す 6 つのクラスターへと分類した。図 3-4-①-1 にそれぞれのクラスターの分布図を示す。大阪市中心部や神戸市中心部、港湾部にオフィス・繁華街が位置し、その周辺をホワイトカラー既成住宅地やブルーカラー借家地域が囲んでいる。そして、神戸市の西部や北区、芦屋市北部、西宮市にベッドタウンといわれるような一戸建ての割合が高い住宅地が広がり、神戸市の西端、北端に農村高齢化地域が広がっている。また、六甲や有馬などといった、観光、レジャー施設がある地域などが、観光・その他地域として抽出された。

表 3-4-①-1 各クラスター名称および特徴(1990)

クラスター番号	クラスター名	特徴	クラスター番号	クラスター名	特徴
クラスター1	ホワイトカラー持ち家地域	通勤時間が長い人の割合が高い 大卒者の割合が高い 持ち家世帯割合が高い 子育て世帯の割合が高い	クラスター2	ブルーカラー借家地域	借家世帯割合が高い 第二次産業の割合が高い 中小・零細規模の事業所割合が高い
クラスター3	ホワイトカラー既成住宅地	世帯総数・人口総数が高い 第三次産業の割合が高い 共同住宅世帯の割合が高い 大卒者の割合が高い	クラスター4	農村高齢化地域	大人数の世帯の割合が高い 第一次産業の割合が高い 持ち家一戸建て世帯の割合が高い 高齢者の割合が高い
クラスター5	オフィス街・繁華街	高層共同住宅の割合が高い 事業所総数・従業者総数が高い 第三次産業の割合が高い 一人世帯の割合が高い	クラスター6	観光・その他地域	給与住宅の割合が高い 宿泊サービス業の割合が高い 通勤時間が短い人の割合が高い

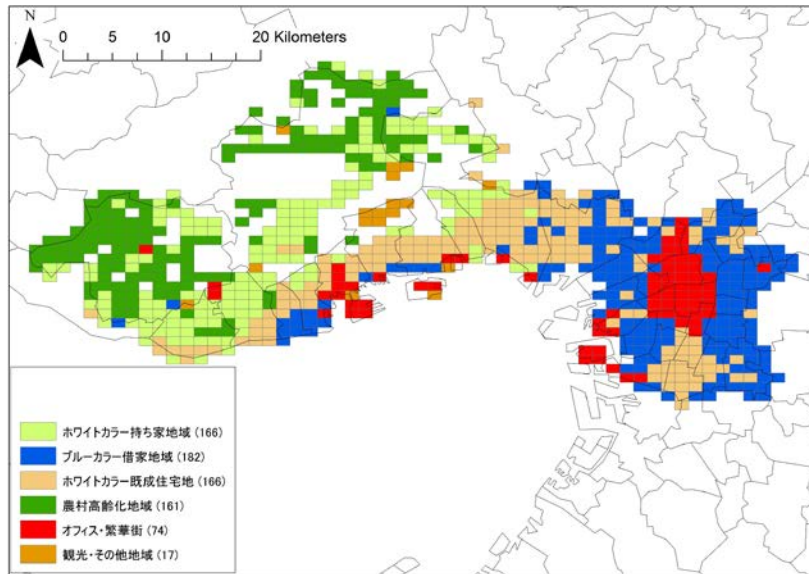


図3-4-①-1 阪神地域クラスター分析結果(1990)

1995年の分類結果を表3-4-①-2に示す、図3-4-①-2にそれぞれのクラスターの分布図を示す。1995年には、1990年にオフィス・繁華街、ホワイトカラー既成住宅地の2つのクラスターとして表れていた地域の大部分が、複合市街地として1つのクラスターに分類された。一方で、1990年にオフィス・繁華街として分類されていた南港などの港湾部は、卸流通業務地区として新たなクラスターを形成した。また、観光・高齢化住宅地は、観光地に加え、芦屋北部や西宮市などの住宅地が統合された分類として表れた。その他の3つのクラスターは、ブルーカラー借家地域→ブルーカラー地域、ホワイトカラー持ち家地域→ホワイトカラー地域、農村高齢化地域→農村高齢化地域という風に、大部分が特徴の近いクラスターに分類されていた。

表3-4-①-2 各クラスター名称および特徴(1995)

クラスター番号	クラスター名	特徴	クラスター番号	クラスター名	特徴
クラスター1	複合市街地	人口総数・世帯総数が高い 事業所数・企業数が多い 借家世帯、一人世帯が多い 小売店、飲食店の割合が高い	クラスター2	ブルーカラー地域	第二次産業の割合が高い 中小・零細事業所割合が高い 延べ面積の小さい住宅の割合が高い
クラスター3	ホワイトカラー地域	子育て世帯の割合が高い 第三次産業の割合が高い ホワイトカラー従業者の割合が高い	クラスター4	卸流通業務地区	運輸・通信・倉庫業の割合が高い 借家世帯の割合が高い 延べ面積の小さい住宅の割合が高い
クラスター5	観光・高齢化住宅地	宿泊等サービス業の割合が高い 持ち家世帯の割合が高い 65歳以上人口の割合が高い	クラスター6	農村高齢化地域	大人数の世帯の割合が高い 第一次産業の割合が高い 65歳以上人口の割合が高い

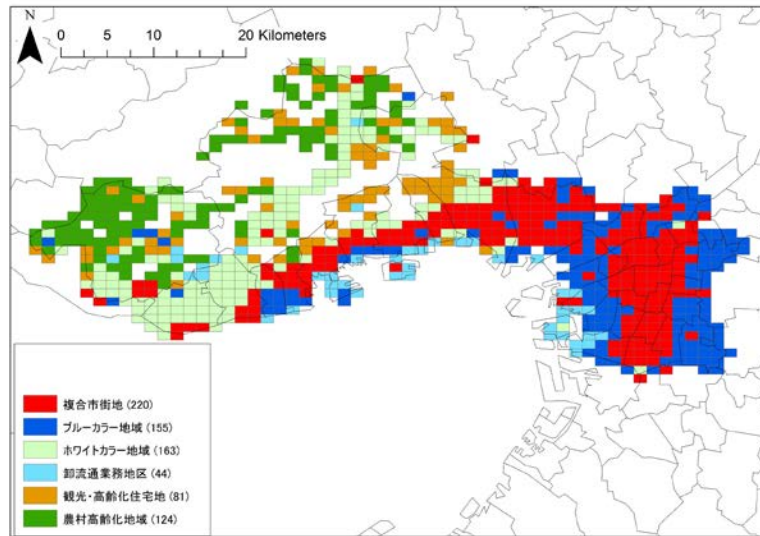


図3-4-①-2 阪神地域クラスター分析結果(1995)

2000年の分類結果を表3-4-①-3に示す、図3-4-①-3にそれぞれのクラスターの分布図を示す。2000年になると、複合市街地が大阪市中心部からその周辺のブルーカラー地域へと拡大した。また、神戸市や、大阪市南部の複合市街地の一部が、ホワイトカラー地域へと変化した。卸流通業務地区は、1995年の同様の地域に加え、神戸市西部の高速ジャンクション付近で拡大していることがわかる。その他の2つの地域については、1995年と同様の地域分布となった。

表3-4-①-3 各クラスター名称および特徴(2000)

クラスター番号	クラスター名	特徴	クラスター番号	クラスター名	特徴
クラスター1	複合市街地	世帯総数・人口総数が多い 企業数・事業所数が多い マンション等の借家世帯の割合が高い 一人世帯の割合が高い	クラスター2	ブルーカラー地域	第二次産業の割合が高い 中小・零細の事業割合が高い 長屋建世帯の割合が高い
クラスター3	ホワイトカラー地域	学習関連の第三次産業の割合が高い 生活関連の第三次産業の割合が高い 大卒者の割合が高い	クラスター4	卸流通業務地区	卸売・小売業の割合が高い 運輸・通信・倉庫業の割合が高い 近年開設した事業所の割合が高い 高層の共同住宅の割合が高い
クラスター5	観光・高齢化住宅地	宿泊等サービス業の割合が高い 持ち家一戸建て世帯の割合が高い 平均年齢が高い	クラスター6	農村高齢化地域	大人数の世帯の割合が高い 第一次産業の割合が高い 持ち家一戸建て世帯の割合が高い

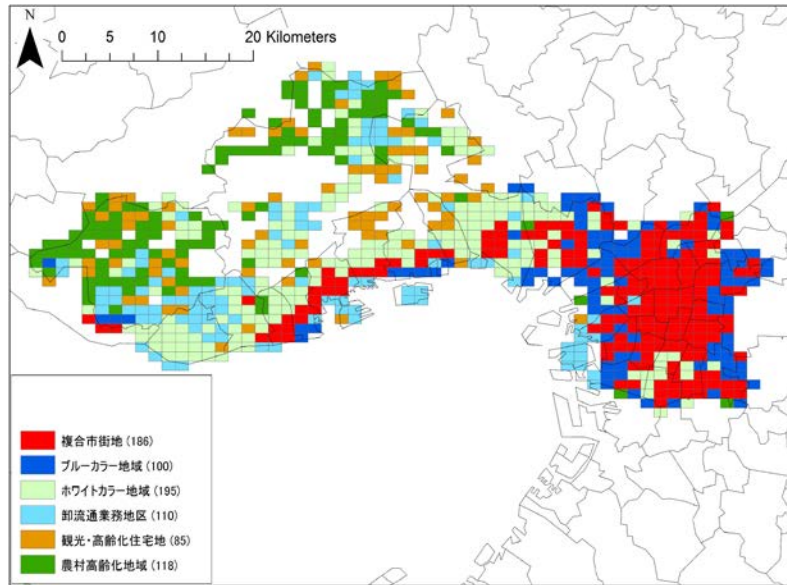


図 3-4-①-3 阪神地域クラスター分析結果(2000)

2) 阪神地域の地域特性と人口構造の相関の分析結果

1990、1995、2000年の三か年クラスターを比較すると、図 3-4-①-4 に示すように、経済的な要素を持つ市街地(オフィス・繁華街もしくは複合市街地)では、地域ごとの人口構造の分散が小さくなる傾向が見られる。

1990年			1995年			2000年		
	平均	分散		平均	分散		平均	分散
ホワイトカラー持ち家	6.2	4.8	複合市街地	6.4	1.2	複合市街地	5.5	1.6
ブルーカラー	7.3	0.9	ブルーカラー	6.8	1.1	ブルーカラー	5.8	2.5
ホワイトカラー既成	7.0	2.3	ホワイトカラー	6.7	1.7	ホワイトカラー	5.4	3.3
農村高齢化	5.1	4.1	卸流通	4.2	8.0	卸流通	5.7	5.3
オフィス・繁華街	6.9	1.1	観光・高齢化	3.3	10.0	観光・高齢化	2.0	11.4
観光・その他	2.5	2.9	農村高齢化	4.2	5.1	農村高齢化	3.7	3.4
全体	6.4	3.7	全体	5.7	4.9	全体	4.9	5.4

図 3-4-①-4 阪神地域クラスター分析結果

1990年と2000年の人口構造評価を図 3-4-①-5 で比較すると、市街地の特に中心となる地域では、周辺に比べ、人口構造評価指数の値が小さくなる傾向がある。また、年度や地域の特性が変わっても地域ごとの人口構造の関係性には大きな変化がなく、地域の人口構造は基本的に受け継がれる。

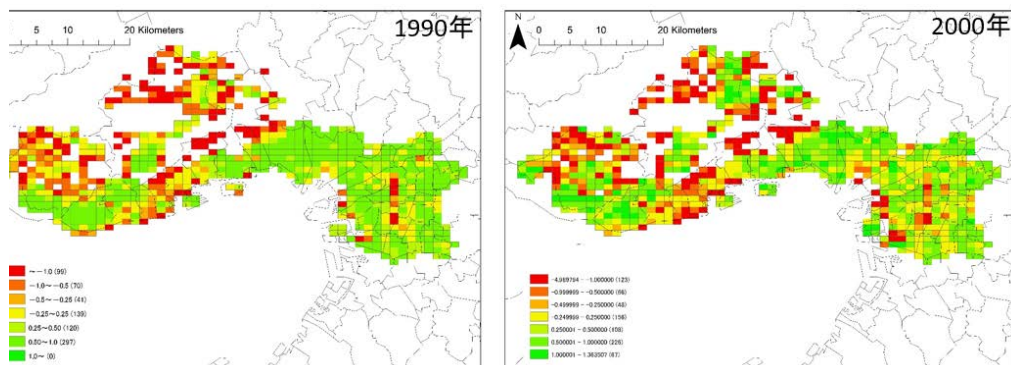


図 3-4-①-5 1990年、2000年の人口構造評価

人口構造評価指数の値が、実際にどのような人口構造を示すかを、2010年の全国国勢調査を用いて考察する。-8~8のいずれの整数にもっとも近いかで分類し、その平均を取ったものを、負と正に分け、図3-4-①-6、図3-4-①-7に示す。

負の値が大きいほど、顕著な高齢化をしている地域として評価できることが分かる。2010年では、60歳から64歳がちょうど団塊の世代に当たるが、男女共にその世代の人口が多い傾向が見られるのは-3以上からである。このことから、-4以下の地域では、恒常的に高齢者が集まってくる、もしくは若年層が出て行く傾向が極めて強いことが分かる。-3から0の人口構造では、団塊の世代が突出していることは分かるが、0の地域で若干割合が高くなっているが、同様に人口の多い、団塊ジュニアの世代(35~39歳)で突出していないことから、これらの値で示される地域は、近年では若年層が地域から出て行く傾向が強いと考えられ、この傾向が継続する限り、将来的には人口構造評価指数が-4以下の地域の水準にまで下落していくと考えられる。以上より、人口構造が0以下の地域については、-4以下の地域が恒常的な人口流出地域、0から-3の地域が近年、若年層流出の傾向があり、将来的には恒常的な人口流出地域になることが予測される地域となった。

次に、図3-4-①-7より、人口構造評価指数の値が大きくなるほど、人口構造の重心は下の世代へと推移していくことが確認できる。負での考察と同様、団塊の世代、団塊ジュニアの世代に注目すると、団塊ジュニアの世代の明らかな突出が起こるのは3以上からであることが分かる。また、これらの人口構造では、年少人口の割合が高齢者人口の割合に近いことから、人口の再生産が活発であり、世代交代が進む地域であると考えられる。しかし、0から2の人口構造でも、団塊ジュニアの世代やその子供世代と考えられる世代(10~14、15~19歳)の若干の突出が見えるので、これらの地域は、ある程度の人口は地域に残る傾向がある一方、20代が地域から流出しやすい構造をしていることが分かる。人口構造評価指数が5を超えると、段階の世代の割合と団塊ジュニアの世代の割合の逆転が起きる。これらの地域では、生産年齢人口の流入が活発であると言える。7、8の地域では、団塊の世代の突出は消え、それより上の世代の割合が大きく下がっている。これらの地域では、生産年齢人口の流入が極めて活発であり、高齢世代が流出していく地域となっていると考えられる。以上より、人口構造評価指数が正の場合は、0から2の場合、負での-3から0と同様、近年若年層の流出の傾向がある地域といえる。しかし、1、2では、20代での一時的な流出は免れないが、30代以降での人口流入があると考えられる。3、4の地域は、ある世代の流出や流出がそこまで顕著ではない、安定した地域であると考えられる。5、6は、流出が多くはないことに加え、生産年齢人口の流入がある地域で、7、8は5、6の生産年齢人口流入の傾向をさらに顕著にし、高齢世代の割合が小さくなる地域であると言える。

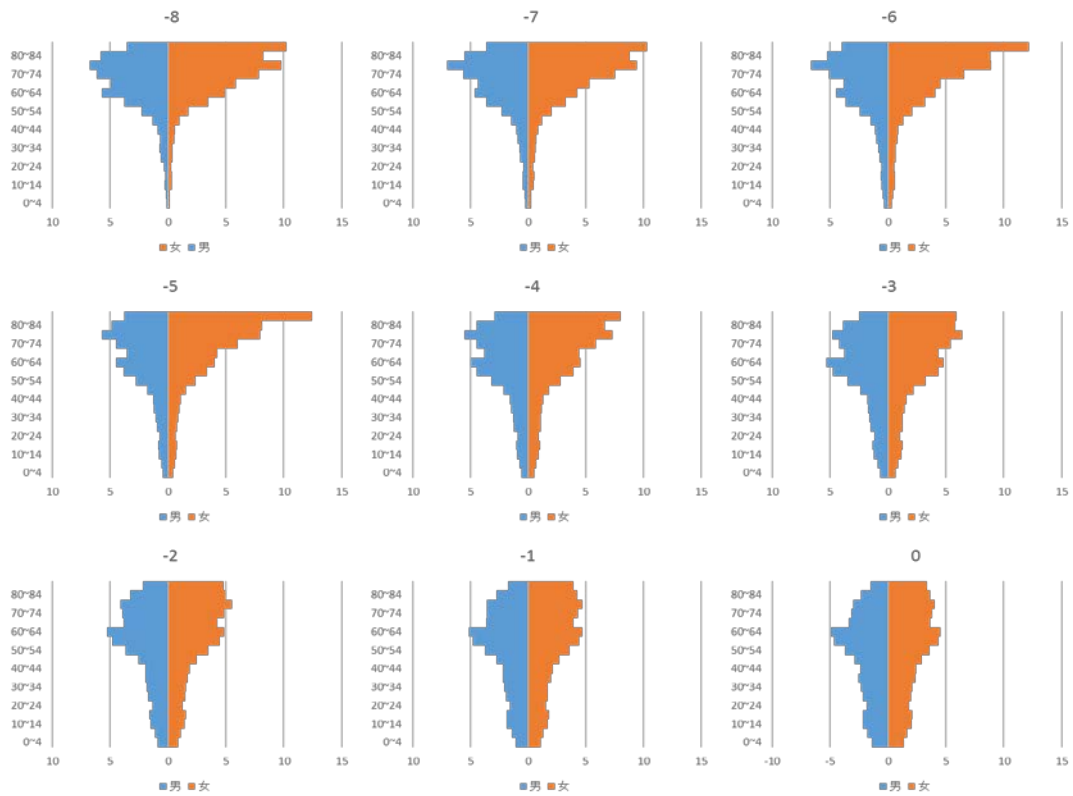


図 3-4-①-6 人口構造評価指数が示す人口構造(負)



図 3-4-①-7 人口構造評価指数が示す人口構造(正)

3) 阪神・淡路大震災が地域に与えた影響の分析結果

1990年から2000年の阪神地域クラスター標準推移を図3-4-①-8に示す。大阪市では、オフィス街・繁華街地域とその周辺のブルーカラー地域は、複合市街地域へと変化していった。神戸市の大部分では、ホワイトカラー既成地域がホワイトカラー地域へと変化していった。これにより、阪神地域では、1990年から2000年にかけて、集合住宅に住む層の人口が大阪市へ集中しているのが分かり、神戸市では、中心部の一部を除き、その周辺が住宅地化と変化していることが分かった。

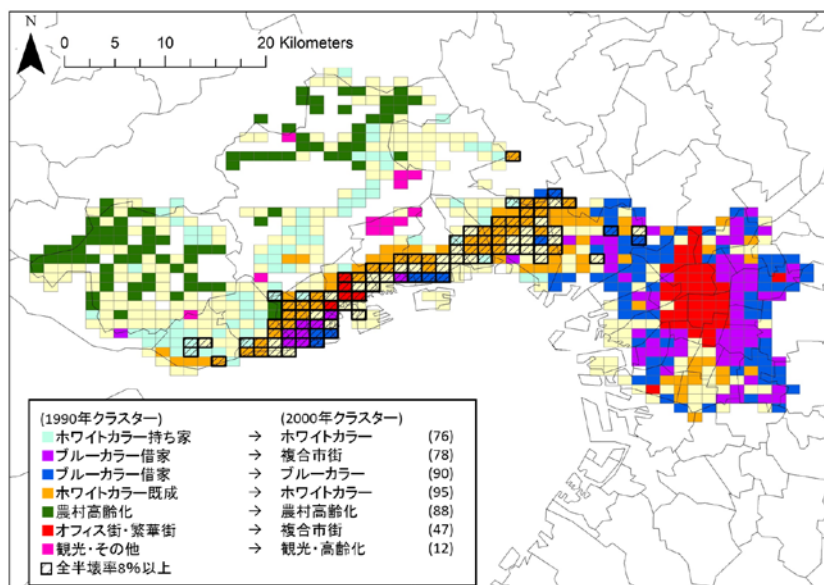


図3-4-①-8 阪神地域クラスター標準推移(1990-2000)

被災地域とその他の地域について、それぞれのクラスター推移の割合を表3-4-①-4、表3-4-①-5に示す。

表3-4-①-4 1990-2000 被災地域各クラスター推移状況

2000 1990	複合市街	ブルーカラー	ホワイトカラー	卸流通業務	観光・高齢化	農村高齢化	合計	(メッシュ数)
ホワイトカラー持ち家	0	0	89	11	0	0	100	9
ブルーカラー借家	35	43	4	13	0	4	100	23
ホワイトカラー既成	31	0	63	5	2	0	100	64
農村高齢化	0	0	100	0	0	0	100	1
オフィス街・繁華街	63	0	0	38	0	0	100	8
観光・その他	-	-	-	-	-	-	-	0
(メッシュ数)	33	10	50	10	1	1		

■ 1990年の1クラスター内の50%以上のメッシュが推移 ■ 20%以上のメッシュが推移 単位(%)

表3-4-①-5 1990-2000 その他の地域各クラスター推移状況

2000 1990	複合市街	ブルーカラー	ホワイトカラー	卸流通業務	観光・高齢化	農村高齢化	合計	(メッシュ数)
ホワイトカラー持ち家	1	1	45	27	17	9	100	152
ブルーカラー借家	44	50	1	0	1	3	100	159
ホワイトカラー既成	39	1	54	2	4	0	100	101
農村高齢化	0	2	9	14	18	57	100	154
オフィス街・繁華街	64	3	0	32	2	0	100	66
観光・その他	0	6	6	13	75	0	100	16
(メッシュ数)	153	88	140	88	72	107		

■ 1990年の1クラスター内の50%以上のメッシュが推移 ■ 20%以上のメッシュが推移 単位(%)

両者の間で特に異なっている点は、被災地域でホワイトカラー持ち家地域がホワイトカラー地域へ推移した割合が非常に高いことが挙げられる。その他の地域では半分に以下に留まったが、被災地域では9割近いメッシュでこの推移が見られた。また、全体的に、被災地域ではホワイトカラー地域へ推移するメッシュの割合が高いことから、震災、復興を通し、都市部における被災地域は、主に居住地としての特徴を強める傾向があると考えられる。

図3-4-①-9では、被災地域とその他の地域各クラスター推移状況では、被災地域でのホワイトカラー持ち家地域は、同じクラスター分類のホワイトカラー地域へ推移、すなわち居住地としての特徴を示している割合が高い、その他の地域では半分に以下に留まったが、被災地域では9割近いメッシュでこの推移が見られた。また、全体的に、被災地域ではホワイトカラー地域へ推移するメッシュの割合が高いことから、震災、復興を通し、都市部における被災地域は主に居住地としての特徴を強める傾向があると考えられる。

被災地域

2000 1995	複合市街	ブルーカラー	ホワイトカラー	卸流通業務	観光・高齢化	農村高齢化	合計	(メッシュ数)
複合市街	39	2	50	8	0	2	100	62
ブルーカラー	47	37	11	5	0	0	100	19
ホワイトカラー	0	0	89	5	5	0	100	19
卸流通業務	0	40	0	60	0	0	100	5
観光・高齢化	-	-	-	-	-	-	-	0
農村高齢化	-	-	-	-	-	-	-	0
(メッシュ数)	33	10	50	10	1	1		

その他の地域

2000 1995	複合市街	ブルーカラー	ホワイトカラー	卸流通業務	観光・高齢化	農村高齢化	合計	(メッシュ数)
複合市街	65	3	25	6	0	0	100	158
ブルーカラー	35	56	2	2	0	4	100	134
ホワイトカラー	2	2	50	31	8	6	100	143
卸流通業務	0	19	0	62	11	8	100	37
観光・高齢化	0	0	26	4	57	13	100	76
農村高齢化	0	0	6	8	16	70	100	120
(メッシュ数)	153	90	142	94	77	112		

図3-4①-9 1990年～2000年 各クラスター推移状況

1990年から2000年にかけてのクラスター推移と被害の大きさ分布を図3-4-①-10を示す。特に被害が大きかった地域は、複合市街地域へと推移し、ブルーカラー地域は、大きな被害を受けると、その再建がなされる中で、居住地、市街地として再建される傾向があることが分かった。

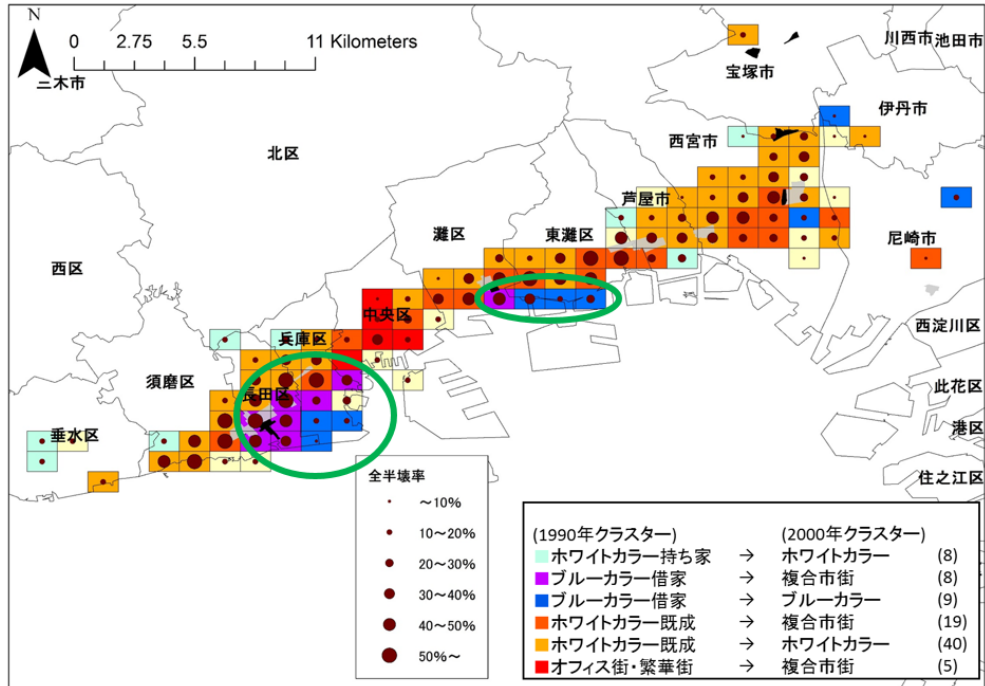


図3-4-①-10 1990年～2000年 各クラスター推移状況

(d) 結論ならびに今後の課題

被災後、被害の大きかった地域は、主に居住地として整備され地域の市街地化が進み、市街地の特に中心となる地域では、周辺に比べ人口構造評価指数の値が小さくなる傾向がある。人口構造による評価は一時的なものではなく、地域の傾向を表すことができる。

被災の大きかった地域は、周辺のその他の地域と比べ、人口構造変化の分散が小さく、人口構造評価指数の低下が起りやすい傾向がある。また、被災地域内でも、被災の大きい地域ほど、人口構造の極端な変化は起きず、都市部においては、被災自体が人口構造変化の原因となるわけではないと考えられる。災害が原因で人口構造変化が起こったとは考えられない。

地域特性の決定を行う上で、クラスター分析を行ったが、対象範囲は限られている。また、地域ごとの違いが存在するために、今後他の地域で応用する際に、違いが生じる可能性があり、詳細な調査・考察が課題である。

(e) 引用文献

なし

②関西地方における事前復興計画の策定

(a) 業務の要約

東日本大震災により、日本の東北の太平洋沿岸部に広がる多くの漁業集落は甚大な被害を受け、被災地域では、若い世代が地域を離れる、短期間における盛土や高台移転といった復興事業を選択しなくてはならない、巨大な防潮堤の建設などによる沿岸地域の景観阻害、生業の再建といったことが復興を行う上での課題となった。これらの教訓から災害前から災害後の復興についても事前に話し合っておくことの重要

性が指摘されている。

和歌山県由良町衣奈地区において、2015年から京都大学防災研究所の牧研究室の研究者が、事前復興計画の策定について住民協議会への参加や、ワークショップを通じて記憶の継承の提案などを継続している。住民ワークショップを通じて、住民協議会であがった意見と共に、研究室の研究者らが整理し、衣奈のまちづくりの全体目標を「衣奈の良さが残るまち、にぎわいのあるまち」に定め、その目標の一つである「衣奈の伝統を残す」において、祭りの詳細な行事の進行を記録し、衣奈の復興計画を策定するうえで重要な地域のイメージの共有を行うため記憶の継承を目的とした取り組みを行った。

(b) 業務の実施方法

地域の記憶の継承の取り組みでは、2016年7月に開催した第1回住民協議会にて得た若い人々の意見を追加して、2015年度作成の「衣奈まちづくり方針（素案）」を一部修正し、5つの方針と12の取組みをそれぞれ5つの目標と12の方針に変更した。今後起こりうる南海トラフ地震後の復興計画の策定において、復興後のまちと被災前のまちとの間に感じるギャップを埋めることを考慮した計画提案のための取り組みとして、住民が衣奈の伝統に対する思いの継承について、「屋号」と「祭り」について詳細な記録を実施した。

(c) 業務の成果

1) 衣奈まちづくり方針

全体目標は「衣奈の良さが残るまち、にぎわいのあるまち」である。全体目標を実現するための5つの目標と、それらを実現するための具体的な方針を図3-4-②-1に示す。「衣奈の伝統を残す」という目標に対する2つの方針の「祭りを残す」と「漁業・農業を育てる」について、下記詳細に示す。

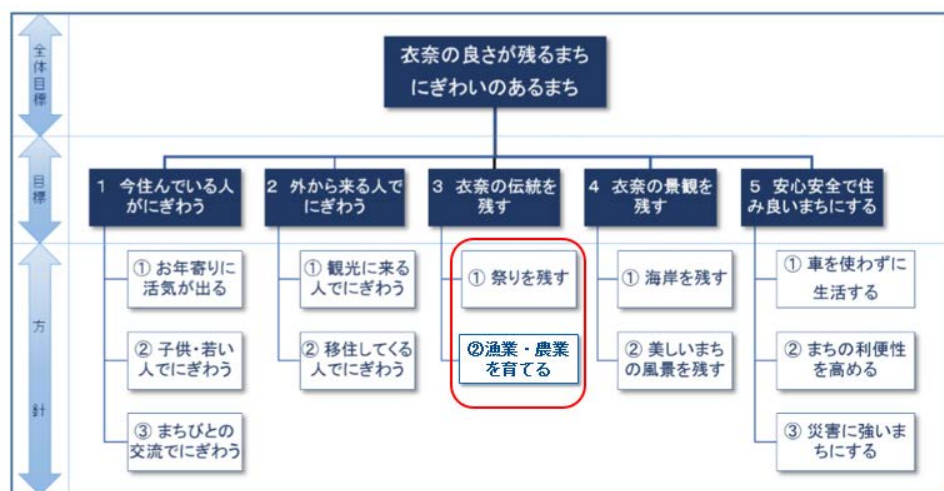


図 3-4-②-1 衣奈まちづくり方針（案）

2) 祭りを残す取り組み

「衣奈祭」は地元で大漁・豊穰祈願の祭りで、寛文4年(1664年)の衣奈八幡神社の祭礼次第に、8月14日、15日に行われたことが記載されており、歴史の古い祭礼である。少子高齢化により、以前はくじ引きで参加者を決めていたが、今は、年配の役

員のみで開催され、毎年開催されるとは限らない行事となってしまった。衣奈町には、現在詳細な文章による祭りの記載がないため、今後起こりうる南海トラフ地震の被害による文化の喪失を防ぐため、地元青年団や役員と協力するとともに、伝統的行事の継承を目的とした祭りの詳細を記録することにした。

2016年の衣奈「祭り」は、10月8日、9日に開催された。「祭り」の詳細な進行表とみこしの巡回経路の地図を作成し、また各場面の様子を記録した。衣奈祭りは、古くは衣奈、戸津井、三尾川、小引、大引、神谷、吹井、糸谷の8集落で行っていたが、造船会社の社宅建設による宅地開発がされてからは人口の増えた黒田、柳原の2集落も参加するようになった。

衣奈のJA農協側の駐車場は、かつて御旅所の場所であり、祭り期間中では、駐車場の奥側に、御旅所をヒノキやすだれ等による装飾で再現していた。また、官司、総代、区長はハマ側、四明、白装束、御座衆らはヤマ側に着席し、神聖な祭祀空間が創出された。さらに、祭祀空間へと続く道路では、各地区の登り旗が道路左右に立てられ、全体的に祭りの雰囲気を出している。

8日は、各地区で祭りの準備を行い、9日に、衣奈に位置する衣奈八幡宮へ参拝する、参拝後、御旅所で地区の交流を行う、その際に、祭祀空間にて各地区から獅子舞や踊りなどのイベントが行われる。

衣奈では、祭りにあわせて里帰りをする若者もおおり、奉納神事の練習を約一月かけて行うことで、青年同士の絆を生む契機となる。また祭りの最後に、衣奈区の青年会が衣奈の旧家に祭りでの協力や助言のお礼として挨拶回りを行うという慣習があり、地域住民との人間関係の構築のきっかけにもなっている。「祭り」という衣奈の伝統を残すことは地域における記憶の継承について有用な取り組みである。

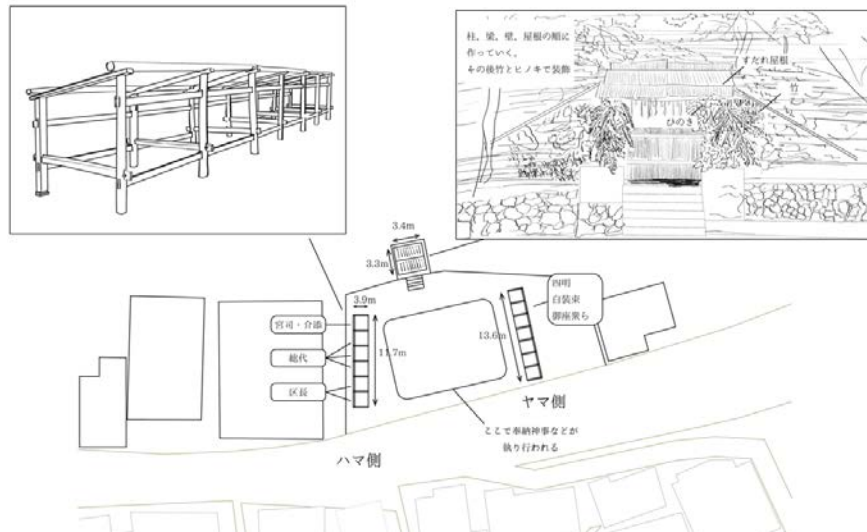


図3-4-②-2 衣奈祭りの御旅所

3) 漁業・農業を育てる取り組み

住民ワークショップから得た衣奈の「暮らし」の伝統に関する情報から、昔は漁業と密接に関わった暮らしをしており、またみかん農業も盛んに行われていて、みかん農業と漁業の半農半漁の生活を営む家庭が多くあったようである。衣奈ではこれらの漁業や農業等を営んでいた歴史が古い家屋には、「屋号」の呼び名があることが多いことが分かった。古くから続く営みであることを知ることは漁業・農業を続けていくことのインセンティブになると考える。

しかし、具体的にどの家屋がどのような商業を行っていたのかという地図なく、「屋号」の呼び名が付く古い家屋を地図化することにした。現地調査とヒアリングを行った結果、図3-4-②-3のように、主に神社参道の北側に集中していることが分かった。以前は多くの店舗が立地していたことから、衣奈の中心部はかつて北側に位置していたと推測される。また、職業に関する屋号に注目すると、船大工などの漁業に関わる職業の家は、古くから海沿いに位置していることがわかる。農業においては、屋号はミカンの採集箱にも記入されており、現在まで使用されている。また、店舗を営む家など用事のある頻度が多い場所の屋号を中心として若い世代にも浸透している。

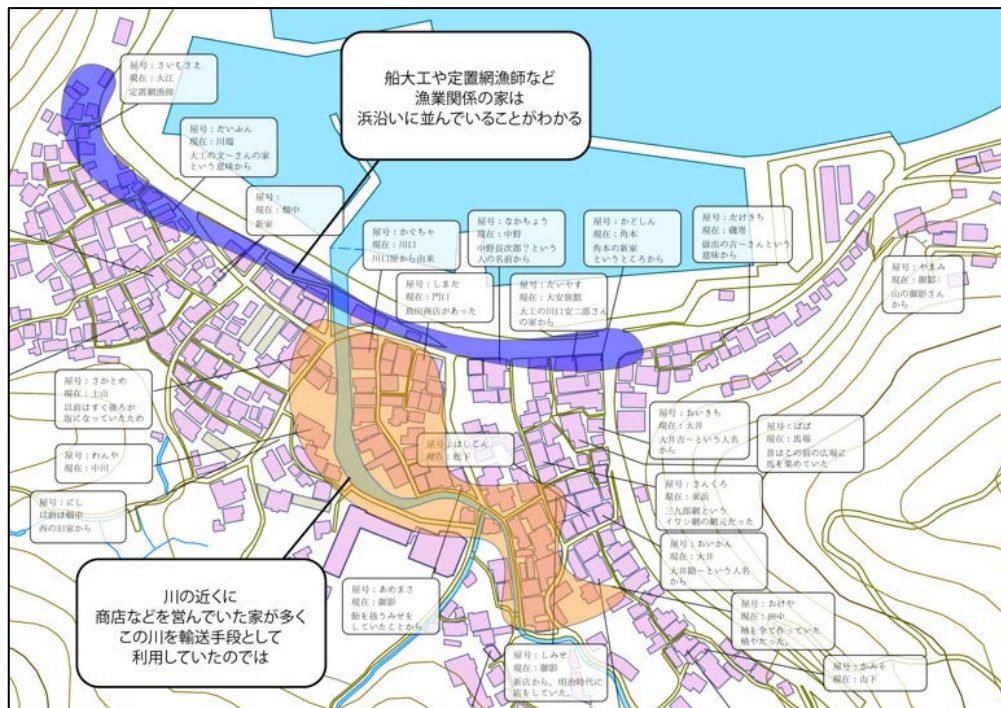


図3-4-②-3 衣奈の屋号

(d) 結論ならびに今後の課題

祭り調査に関しては、現段階での記録は2016年度の祭りのみの記録であり、今後の奉納神事は変わる可能性があるため、今後は現在の祭りの記録を「祭り」の主催側と議論したうえで、書面化をすることを検討する。地域の記憶を守り、継承するため、住民参加型のまちづくりを今後も引き続き行っていくとともに、作成した成果物をわかりやすく住民と共有し改善することが、今後衣奈の事前復興計画の策定を進める際の課題となる。

(e) 引用文献

なし

③ 静岡県における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策定の実態把握

a) 津波防災地域づくり法に基づく推進計画の検討への参与観察を通じた地域特性の理解と実態把握

・ 静岡市:危機管理セクションおよび都市計画セクションの行政職員および市民へのヒアリング等を通し関連計画の議論の経過を理解した (9回: (8/29, 9/20, 10/6, 10/21, 11/4, 11/11, 12/16, 1/11, 1/27))。

・ 伊豆市:行政職員へのヒアリングおよび住民とのリスクコミュニケーションの実践としたリスク認識の変化を把握した (14回: 4/11, 5/12, 6/7, 7/20, 7/26, 9/6, 9/15, 10/6, 10/27, 12/2, 12/28, 2/1, 2/10, 3/27)。併せてリスクコミュニケーションツールの開発を行った。

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 (6/18-19)

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 (5/27, 5/24, 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、春日井市 (1/18)、徳島県 (11/16)、京都市 (12/19) における復興イメージトレーニングへの参与観察を行った。

(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、ハザード特性) について理解を深めるとともに、それに対応する課題について考察を深めた。今年度は、特に一見相反する目的を両立させるプロセスに着目した。具体的には、津波リスクの高い地域における都市機能集積 (静岡市清水地区)、および観光振興と津波防災の両立 (伊豆市) に着目した。また、計画検討の過程における市民とのリスクコミュニケーションを通して、市民のリスクの理解やリスクに対する姿勢の変化について着目した (伊豆市)。なお、これに伴って津波リスク理解のためのツールを開発した (図 3-4-③-1)。

なお、リスクコミュニケーションの手法、場のデザイン、議論のすすめ方、計画検討のプロセス、議論の構造等、2016年度の本業務の結論に至る詳細に関しては、各々の現場で現在議論が進行している最中であることから、ここで詳細に記述することによる現場への影響が懸念されるため、ここでは秘匿させていただくこととする。

- ・(地形特性) × (土地利用等の社会経済特性) × (ハザード特性) ➡ (ソリューションの方向性)
- ・小集落・急峻地形×観光・過疎×(12分・数m) ➡津波防災×観光振興(伊豆市)
- ・斜陽する都市拠点×観光・都市機能誘導・地域経済の拠点×(5分約10m) ➡都市機能集積と津波リスクとを両立させたプランニング(静岡市清水地区)
- ・高齢化・人口減少旧漁村×地域の持続性×(12分・数m) ➡世代交代の機会をとらえた低密度化、建物の耐浪化(静岡市用宗地区)
- ・小集落×漁業・過疎×(5分約10m) ➡地域振興と両立させた解(沼津市戸田地区)



図3-4-③-1 Google Earth を用いたリスク理解促進のためのツール

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を活用し、復興プロセスデザインと移住状況との関係を明らかにした。学術論文として投稿中。具体的には下記のとおり。

世帯レベルの意思決定・行動モデルというマイクロレベルのエージェントモデルをベースに復興全体の時系列の空間的な変化を記述した。モデル構築では、経済社会的な状況や地域への各世帯のこだわり度合いを「Attachment」および「Option」という抽象化した概念でモデル化し、インフラの復旧、雇用の回復、生活サービス施設の立地、仮設住宅における生活の質、非被災地の状況、従前コミュニティの状況といった相互作用のある空間的な要素と連関させて被災世帯の意思決定モデルを構築した。これによって、被災地の地域特性およびインフラ復旧や雇用の回復などの主要な復興施策のタイミング、優先順位などの政策変数をシミュレーションに組み込むことを可能にした。また、意思決定モデルの構築において時間軸で変化する「Ideal Attractiveness」と「Tolerance」という二つの変数を導入することによって復興状況全体の時系列変化を捉えることを可能とした。このシミュレーションを用いることによって、非被災地か被災地かという居住地の選択、雇用の回復と人口の回復との関係、社会階層による居住地選択の相違といった既存の災害事例において観測された主要な復興状況の時系列変化を描出することが可能となった。

復興の総合的な評価の枠組みとして、世帯レベルの満足度、エリア全体の人口回復および年齢構成、コストの3つの軸を用いて、いくつかのモデル中の政策変素を変えて実験を行った。具体的には、主要な地域特性および復興過程における政策変数と復興状況との関係を分析し、被災前の空間および社会特性との関係、復興ビジョンの提示時期と復興状況との関係、雇用回復やインフラ復旧のバランスとの関係を明らかにしつつある。例えば、原則として復興ビジョンをできるだけ早く社会で共有することが重要である。特に、先進国では1年以内の共有が最終的な世帯レベルの満足度を高

めること、早期のビジョンの共有が対象エリア全体の持続可能性に影響することが得られた。

・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体系を洗練化した。またインドネシア アチェ2地区、東日本大震災2地区について試行し、復興評価指標体系の有効性の検証を行いつつある。

図3-4-③-2に評価フレーム、図3-4-③-3～5に評価結果例を示しておく。なお、評価フレームの中に記載される指標（図中のPlain Text）についてはそれぞれに対応する質問票があるが、紙面の都合上、割愛する。

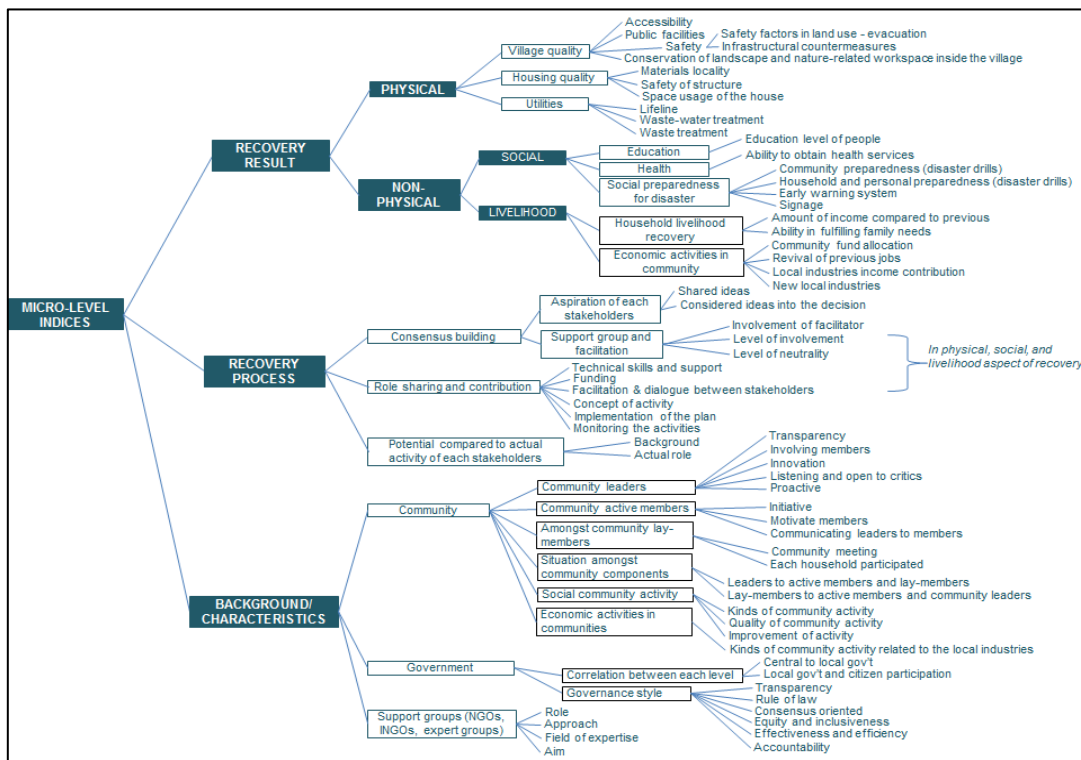
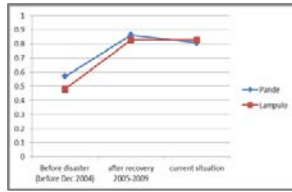
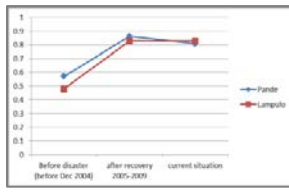


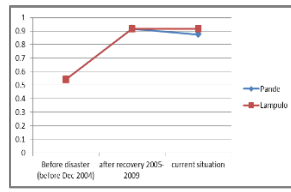
図3-4-③-2 復興の評価フレームの構築（学術文献，復興調査による）



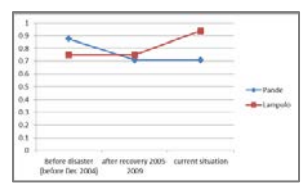
Result of recovery - Pande and Lampulo



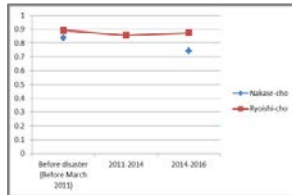
Result - Physical aspect - Pande and Lampulo



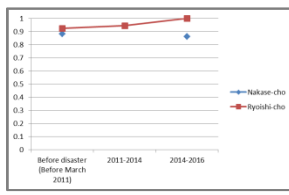
Result - Social aspect - Pande and Lampulo



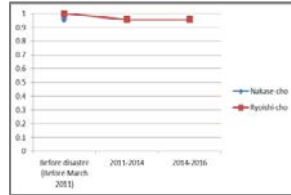
Result - Livelihood aspect - Pande and Lampulo



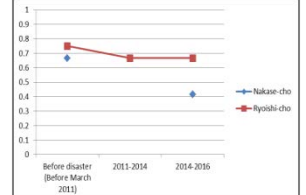
Result of recovery - Nakase-cho and Ryoishi-cho



Result - Physical aspect - Pande and Lampulo

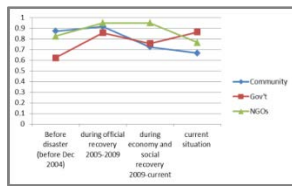


Result - Social aspect - Pande and Lampulo

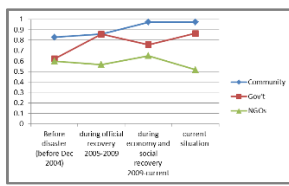


Result - Livelihood aspect - Pande and Lampulo

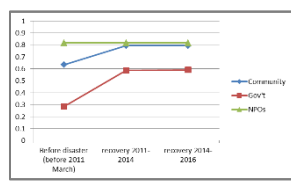
図3-4-③-3 物理的・社会的・コミュニティレベルの復興レベル評価例



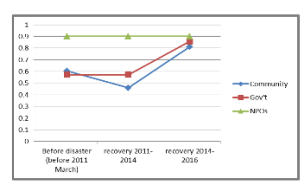
Pande stakeholders' characteristics



Lampulo stakeholders' characteristics

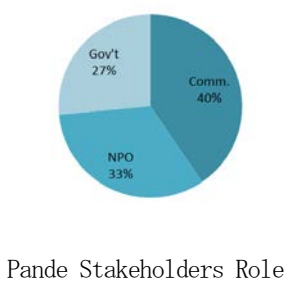


Nakase-cho stakeholders' characteristics

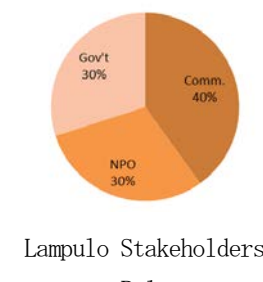


Ryoishi-cho stakeholders' characteristics

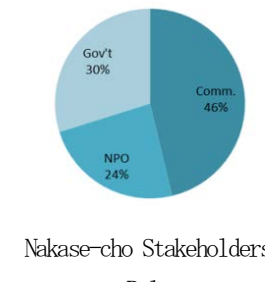
図3-4-③-3 ステークホルダーの特性の評価例



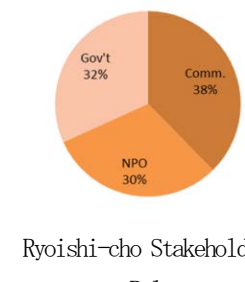
Pande Stakeholders Role



Lampulo Stakeholders Role



Nakase-cho Stakeholders Role



Ryoishi-cho Stakeholders Role

図3-4-③-4 復興におけるステークホルダーの役割の評価例

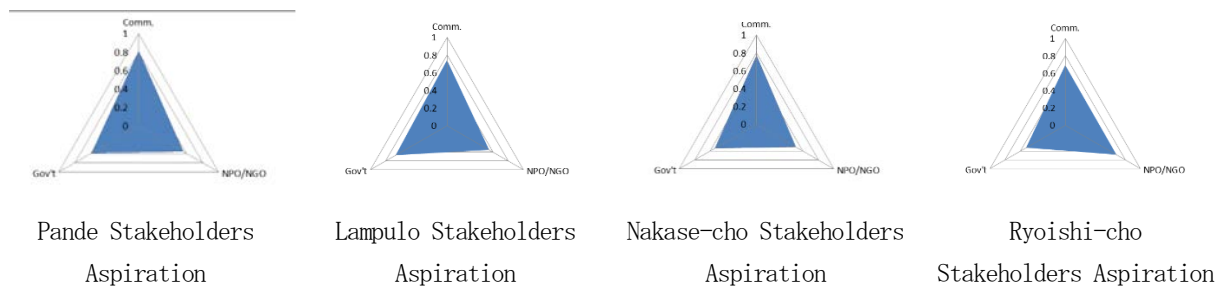


図3-4-③-5 復興におけるステークホルダーの主体的参画レベルの評価例

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の開催、および行政における復興準備の参与観察（企画支援含む）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。研修としての効果、即ち、個人レベルへの蓄積は図られることが再確認された。一方で、課題として行政組織として復興準備を蓄積する方法の考案、復興準備を通して得られた地域特性に対応した新たな施策アイデアを受け止める社会システムの必要性等が得られた。



図3-4-③-2 京都市復興イメージトレーニング参与観察

(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策定の実態把握に関しては、一見対立する計画課題に対して、地域社会で合意できる、ある一定レベルのソリューションを見出すこと、また、行政計画内で矛盾なく両立することの可能性はあり得ると結論できる。しかしながら、同時に、検討のプロセス、リスクコミュニケーションのプロセスが大きく影響することが示唆された。

復興の評価ツールの構築に関しては、シミュレーションモデルに検討の余地があるものの、復興プロセスデザインが被災者の移住先に影響すること、復興後の地域社会の年齢構成に影響することが示唆された。復興評価指標体系に関しては、今後改善の余地があるものの、少なくとも特性の異なる4地区の違いを反映できることが検証された。

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、復興イメージトレーニングへの参与観察を通して地域特性に即した情報・経験の共有を引き続き図る。

(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策定とその検証

(a) 業務の要約

三重県県土整備部都市政策課と連携し、平成26年10月から検討していた「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針」¹⁾（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整理した指針）の最終調整を行い、平成28年8年に策定した。さらに平成28年8月から、この指針を反映させた「都市計画方針（案）」²⁾の検討に着手した。

また、平成27年に実施した三重県鈴鹿市の沿岸部を対象とする県及び市職員とのワークショップに続いて、「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針」を市町の都市計画に適用する際の課題や方法を検証するための基礎的分析を行った。

(b) 業務の実施方法

三重県都市計画審議会（7月21日、12月27日）及び同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」（小委員会は平成27年度中に終了、今年度は事務局と指針を最終調整）と「都市計画基本方針検討小委員会」（8月5日、10月19日、11月30日）に村山が参加し、他の専門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、「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針」の最終調整を行い、策定するとともに、この指針を反映させ、県の都市計画区域マスタープランや市町の都市計画マスタープランの内容に大きく影響する「都市計画方針（案）」の検討に着手した。以上の内容は、第12回名古屋大学-防災科学技術研究所研究交流会（2017年2月11日・東京国際フォーラム G610 会議室）にて報告し、防災分野の専門家と意見交換を行った。

また、鈴鹿市沿岸部の都市計画に「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針」を適用する際の課題や方法を整理するために、人口・世帯数（国勢調査）、土地利用・建物（都市計画基礎調査）、建物の築年数（課税台帳の集計値）、地震・津波被害想定（三重県地震被害想定調査）、歴史的建造物の分布等の空間情報を収集・整理し、地区スケールで地震・津波被害の低減に向けた都市計画分野の対応を検討する際の課題や方法を特定するための基礎的分析を実施した。なお、この基礎的分析では、東京大学工学部都市工学科4年都市計画研究室・松井康太郎氏の協力を得た。

(c) 業務の成果

策定された「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針」は三重県のウェブサイト<<http://www.pref.mie.lg.jp/TOPICS/m0036500003.htm>>で公開され、市町の都市計画担当職員等が参照できるようにした。「都市計画方針（案）」については、以下の内容を盛り込むことができた。

[社会情勢の変化からみた課題]

(1)人口減少・少子高齢化の進展から立地適正化計画制度の活用も含めた都市づくりの見直しと戦略的インフラマネジメントの徹底が必要なこと、(2)大規模自然災害の発生（の想定）から命を守り致命的なダメージを受けない災害に強い国土づくりが求められていること、(3)産業のグローバル化の進展から世界レベルでの産業動向等

に対応しつつ自律的な経済・生活圏の形成が必要なことを課題として整理した。

[新たな都市づくりの方向]

都市づくりの方向として、(1)地域の個性を活かした魅力の向上、(2)都市機能の効率性と生活利便性の向上、(3)災害に対応した安全性の向上、(4)産業振興による地域活力の向上、(5)県民と共に考える地域づくりを定め、(3)では、(3a)河川・海岸堤防や治山・土砂災害防止施設等の整備を推進する一方で市街地における土地利用変更の促進等による被害の低減対策を進めること、(3b)地震津波については、地震・津波指針に定めた方針に従い災害リスクの低い場所へ市街地を誘導するなど、南海トラフ地震などに対応した土地利用を促進することを明記した。

[都市構造の3つの変革]

三重県が目指す都市構造として、(1)効率的で利便性が高く持続可能な都市構造の形成（都市経営の観点）、(2)大規模自然災害の被害低減に向けた都市構造の形成（都市防災の観点）（図 3-4-④-1）、(3)地域経済の活力維持・向上に向けた都市構造の形成（都市活力の観点）の3つの変革を行うことを提示した。

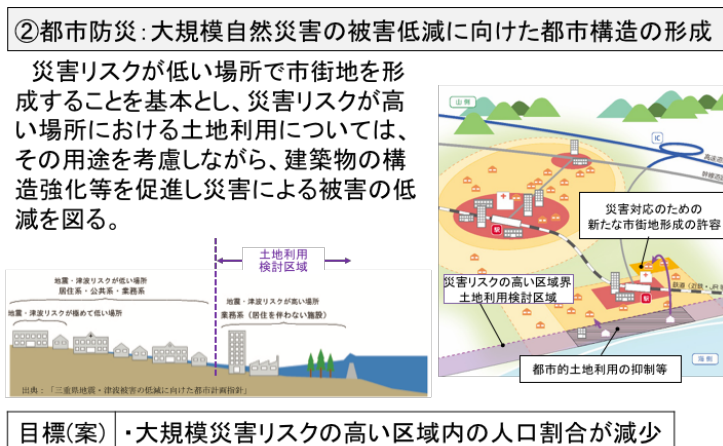


図 3-4-④-1 大規模自然災害の被害低減に向けた都市構造の形成

また、鈴鹿市沿岸部の基礎的分析では、沿岸部全体の分析から、異なる状況の3地区、すなわち、(1)2000年以降の宅地化と人口増加に伴う課題を持つ長太地区（図 3-4-④-2）、(2)歴史的街並みの保全と防災・減災の両立が求められる白子地区（図 3-4-④-3）、(3)計画的住宅地の超高齢化が進み津波避難の課題が大きい東磯山地区（図 3-4-④-4）を抽出し、短期的・長期的視点からの課題と計画の方向性について考察した（表 3-4-④-1）。

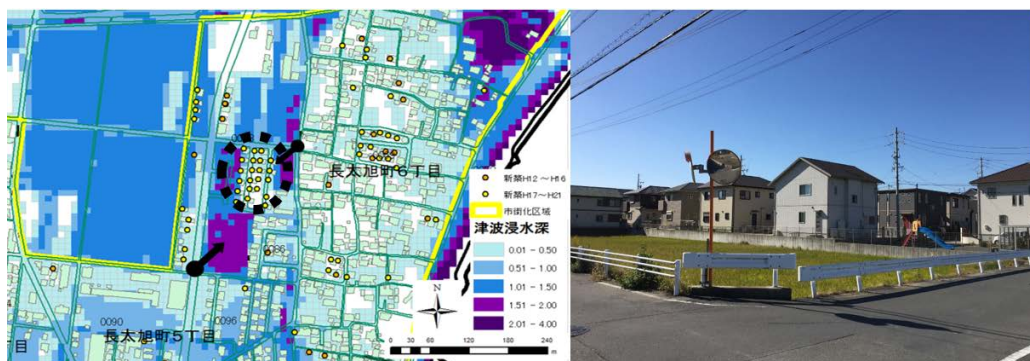


図 3-4-④-2 長太地区の分析例

北長太町の新規開発（戸建住宅分譲地）は地盤面より約1 m嵩上げすることにより浸水深の想定を0.5m以下に抑えている。



図 3-4-④-3 長太地区の分析例

白子2丁目の建物全壊可能性が9割超と特に高い。津波による建物の流失によって隣接する1丁目・伊勢街道沿い歴史的街並みが破壊される可能性がある。

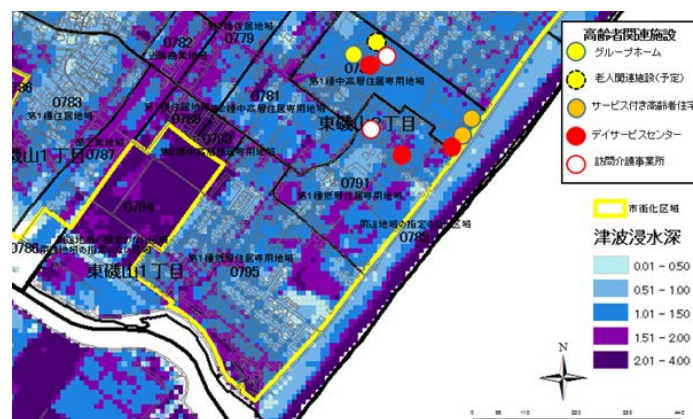


図 3-4-④-4 東磯山地区の分析例

高齢者関連施設の立地が目立つ。高齢者関連施設5つのうち津波対応は1か所のみ。堤防のすぐ背後に、1階建サービス付き高齢者向け住宅・デイサービス施設が立地している。この他、計画的住宅地が全体として超高齢化している。津波からの避難には内陸への自動車避難か建物内垂直避難のみ。

表 3-4-④-1 分析結果・課題・計画の方向性

		長太 (災害リスクと新築)	白子 (伝統的街並みの保全)	東磯山 (計画的住宅地の高齢化)
地区レベル分析の結果		<ul style="list-style-type: none"> 津波避難ビルの定員は人口を下回る 自宅で垂直避難可能建物は約50% 津波によるストックの全壊はほぼ0% 津波浸水想定区域内で木造2階建て戸建ての新築 土地利用計画による新築動向の差はない 	<ul style="list-style-type: none"> 津波避難ビルの定員は人口を下回る 自宅で垂直避難可能な建物は約25% 津波によるストックの全壊は約20% 街並み隣接地で全壊率が高い箇所が存在 街道沿いは建物密度が高い 内陸方向への避難路が狭く、数も限定される 旧街道沿いでも街並みの喪失が進んでいる 	<ul style="list-style-type: none"> 津波避難ビルの定員は人口を下回る 自宅で垂直避難可能な建物は約10% 津波によるストックの全壊は5% 急速な高齢化による要援護者の増加 高齢者施設の立地・構造が災害リスクを反映していない 津波浸水想定区域内で木造2階建て戸建ての新築
短期的視点	課題	・内陸への移動が困難な場合、避難困難者が発生する可能性	・建物倒壊に伴う道路閉塞等により避難困難者が多数発生する可能性	・自力で避難できない高齢者を中心に避難困難者が多数発生する可能性
	計画の方向性	<ul style="list-style-type: none"> 内陸への避難体制の強化(自動車・道路) 地区内で津波避難タワーの新設 	<ul style="list-style-type: none"> 街並みに十分配慮しつつ避難経路の拡幅や経路沿いの耐震性強化 	<ul style="list-style-type: none"> 避難体制の強化(自動車利用) 地区内の住環境を損ねない形で津波避難タワーの新設
中長期的視点	課題	・現在の開発動向が続く限り、民間による耐浪建築物は整備されない。	<ul style="list-style-type: none"> 隣接地の全壊建物の流失によって伝統的建築物が破壊される可能性 建て替えに際して街並みが維持されない可能性 	<ul style="list-style-type: none"> 地域コミュニティの維持が困難になる可能性 周辺部で小規模な開発が続く、計画的住宅地の低密度化が進む可能性
	計画の方向性	<ul style="list-style-type: none"> 地盤面の高さや建築物の階数、構造について規定を設ける 	<ul style="list-style-type: none"> 街並み隣接地で低密度化を図る、もしくは構造について規制して強靱化を図る 都市計画道路の整備に併せた堤防の強化 	<ul style="list-style-type: none"> 良好な基盤、全壊数の少なさを活かした持続可能な居住機能の維持 建て替え、改修に際し構造について規制を設ける

(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」は、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するための有効なツールであるが、市町が具体的にどのようなデータに基づきどのような分析をし、どのように課題と計画の方向性を検討するかについては、その方法が体系化されていない。鈴鹿市沿岸部での分析を通じて、1つの方法が見えてきたが、様々な状況の地区に適用するため方法の体系化はまだできていないのが現状である。今後も、引き続き、様々な状況の地区の分析を継続し、「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針」を市町の都市計画に適用する際の課題や方法の検証を続けたい。

(e) 引用文献

- 1) 三重県, 三重県地震・津波災害対策都市計画指針, 2016年8月
- 2) 三重県, 都市計画基本方針検討小委員会資料, 2016年

(3) 平成29年度業務計画案

影響シナリオ構築シミュレーションの具体的構築、事前復興計画の策定作業を継続する。将来の地域特性シミュレーション、詳細被害シミュレーションシステムから構成される南海トラフ巨大地震の影響評価システムのプロトタイプ構築を行うと共に、事前復旧・復興計画システムの現地での導入試験を行い、現場での活用方法の検討を交えた被害を軽減するためのまちづくり方策プロトタイプの構築を行う。

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	部門長	藤原広行
	主任研究員	白田裕一郎
	主任研究員	田口仁
	主任研究員	李泰榮
	契約研究員	東宏樹
	契約研究員	崔青林
	契約研究員	水井良暢
	契約研究員	半田 信之
国立研究開発法人 海洋研究開発機構	上席技術研究員	金田義行
	グループリーダー	高橋成実
	技術研究員	今井健太郎
	特任技術研究員	中野優
国立大学法人名古屋大学	教授	福和伸夫
	特任教授	護雅史
	准教授	山中佳子
	特任准教授	阪本真由美
	寄附研究部門教授	武村雅之
	寄附研究部門助教	倉田和己
	技術職員	川端寛文
国立大学法人東京大学	教授	田中淳
	特任助教	定池祐季
	人と防災未来センター 研究部	宇田川真之
	香川大学特命准教授	磯打千雅子
	高知工科大学	三船恒裕

(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。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した。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った。稠密な量的調査を行い、知識構造の地域差の解明を行うとともに、HUG 方式でワークショップを実施し地域人材の育成を試みた。

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 28 年度業務目的

防災・災害情報発信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、このプラットフォーム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、地域支援プログラムを実施する。

(2) 平成 28 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

これまで、プロジェクト内の研究成果（サブテーマ 1 防災減災 1-a,b,c,d、サブテーマ 2 観測調査・シミュレーション）を含み多様な既存情報を集めて提供できる災害情報プラットフォームを構築してきた。（図 3-5-①-1）

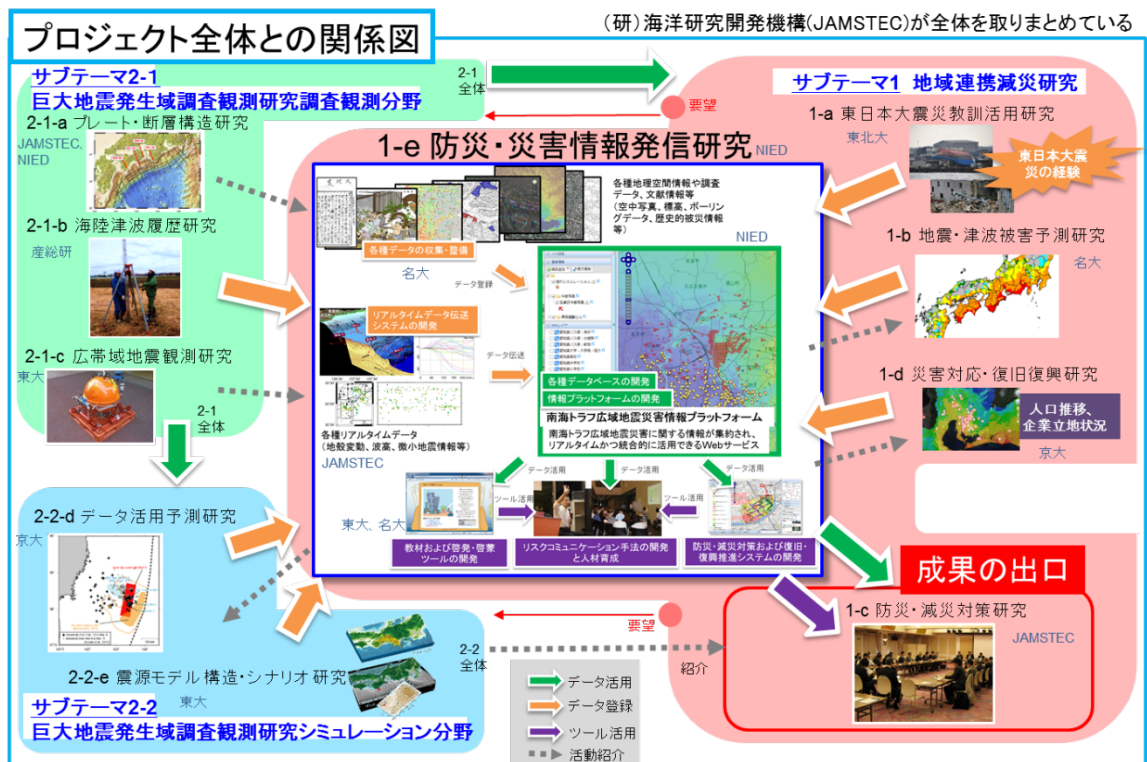


図 3-5-①-1 1-e 研究とプロジェクト全体との関係性

平成 28 年度は、昨年度構築した災害情報プラットフォーム Ver0.1 を活用し、地域研究会のメンバーやモデル地区にて実際のユーザに閲覧利用してもらい、コンテンツ内容や表示デザイン等について意見を収集し、改善・改良を実施した。その完成版を災害情報プラットフォームのベータ版として公開した。利用した基本システムは防災科学技術研究所が開発した「地域協働・防災活動支援ソフトウェア（e コミウェア）」である。（防災科学技術研究所，2009）

以下の 3 つが主に実施した業務内容である。図 3-5-①-2 に記述している番号 1.2.3. にそれぞれ相当する。

1. 新しい研究成果や災害情報を DB やポータルサイトに反映
- 2 1. の情報を追加した災害情報プラットフォーム Ver0.1 を利用した検証実験を地域研究会やモデル地区にて実施
3. ユーザ意見を反映した災害情報プラットフォーム Ver. 1 ベータ版を構築し URL を公開開始（図 3-5-①-3）

南海トラフ広域地震防災情報プラットフォーム Ver. 1 ベータ版 URL は、以下である。
<http://nankai-bosai.jp/v0.2/>



図 3-5-①-2 平成 28 年度の実施内容



図 3-5-①-3 南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム Ver.1 ベータ版 Top

(b) 業務の実施方法

以下の5つを実現するために業務を進めた。

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、ヒアリング、業務分析を行い、ユーザ側視点で専門情報の分類を行い、その結果に基づくコンテンツ種別やページレイアウトの改善（地域研究会向けページ）
2. 自らの地域と広域の課題が示唆されるような検索機能表示ページ「防災カルテベータ版」を構築
3. 利用に関するマニュアルやガイド等の整備
4. 上記 1.2.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確定し、DBを構築
5. 災害情報プラットフォーム Ver.1 ベータ版を構築し、関係者への限定公開を開始

まず初めに、既存の災害情報プラットフォームを昨年度得られた課題から改良し、東海・関西・四国・九州地域研究会にて紹介、ヒアリングを実施した。また大阪府にて、要支援者対応を実施する社会福祉協議会と行政担当者による災害時対応の訓練で、被害想定情報を計画の段階で利活用・検証した。

地域研究会は「行政職員向け」、社会福祉協議会は人向け対応の「実務者向け」をテーマにしている。ほかに民間企業防災についての「企業向け」として BCP 研修会での話題提供も行った。

これら検証結果を反映し、機能やデータベースの改善・改良を行い、災害情報プラットフォーム Ver. 1 ベータ版を構築し公開を開始した。

1) 地域研究会および行政職員へのヒアリングと利用検証（行政職員向け）

地域研究会に参加しているメンバーのうち、情報発信に興味を持たれた方々と個別に利活用やコンテンツ内容の要望等についてヒアリングを実施した。今年度は東海地域で2か所、関西地域で1か所、九州地域で1か所である。今後も継続して地域特性の異なる地域の行政職員を対象に実施していく予定である。



写真 3-5-①-1 (左) 行政職員に対してヒアリング 1 (東海地域)

写真 3-5-①-2 (右) 行政職員に対してヒアリング 2 (東海地域)

また、開催されたすべての地域研究会にて、災害情報プラットフォームの地域研究会向けページを紹介し、希望された方にログインアカウントを提供、試験的に利用を開始した。2017年3月の時点でアカウント発行数は23名。東海、関西、四国、九州のすべての地域にて利用検証されている。



写真 3-5-①-3 (左) 各地にて地域研究会向けページを紹介 (東海地域)

写真 3-5-①-4 (右) 同上 (四国地域)

2) モデル地区での利用検証（実務者向け）

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務で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

るニーズ調査を実施した。対象者は主に行政担当者、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。

- ・大阪府社会福祉協議会にて災害対応訓練企画・計画での災害情報の利用
- ・大阪府阪南市にて平常時要支援者対策計画への災害情報の利用
- ・大阪府河内長野市および河南ブロック（12市町村）の災害ボランティアセンター設置訓練時に被害想定情報として利用（2017年3月30日に実施予定）

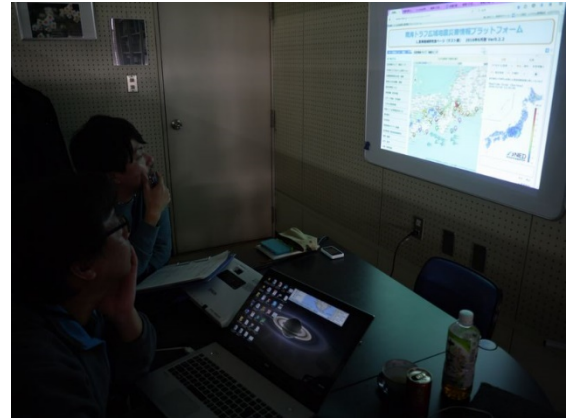


写真 3-5-①-5 （左写真内の映写画面）災害時対応ポータルサイトの構築計画（大阪府社協）

写真 3-5-①-6 （右写真内の映写画面）訓練の計画に被災地域や災害想定を反映（大阪府社協）

大阪府阪南市では、津波浸水域や強震動の想定情報を参照し、2016年8月28日に訓練が実施された。



写真 3-5-①-7 （左）大阪府阪南市の災害時要支援者対応の訓練状況 1（社協職員）

写真 3-5-①-8 （右）大阪府阪南市の災害時要支援者対応の訓練状況 2（地域住民）

3) BCP 研修会での話題提供（企業向け）

民間の事業継続活動を推進している団体の研修会に参加する機会が多々あるため、事業継続計画を担当する民間企業の方々に災害情報プラットフォームを紹介し、企業

防災の中での利活用可能性について意見を収集した。

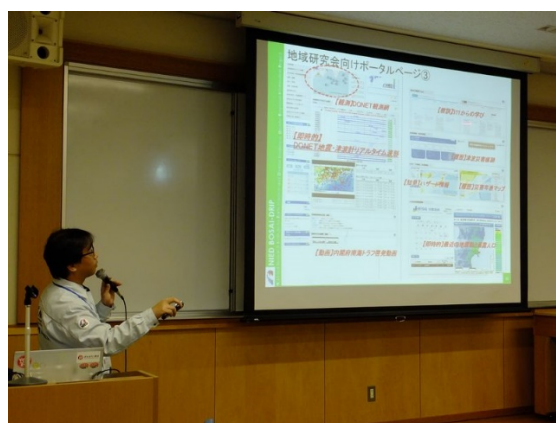


写真 3-5-①-9 (左) 民間企業の BCP 研修会にて活用し評価や意見を収集

写真 3-5-①-10 (右) 説明状況

(c) 業務の成果

今年度の活動結果として、以下の成果が得られた。

1. ヒアリング調査による画面構成の改良案や利用ケースの提案
2. 利用実験から得られた評価意見を機能やコンテンツ内容に反映
3. 災害情報プラットフォームにて利用される DB の構築
4. DB の検索機能としてのタグの種別とその条件付けルール
5. 災害情報プラットフォームの表示画面セットの改修と Ver.1 ベータ版の公開

また、1.としては、自治体職員からの要望として、出前講座にて住民等に話をする時に、災害自体のこと、被害想定、社会の対策や活動、リアルタイム情報、参考資料の入手、等について説明できるような「啓発ツール」としても利用できると良いとの意見をいただいた。

1) ユーザからの意見集約とその内容を反映

前述している、

1. ヒアリング調査による画面構成の改良案や利用ケースの提案
2. 利用実験から得られた評価意見を機能やコンテンツ内容に反映

として、以下の成果物が構築できた。

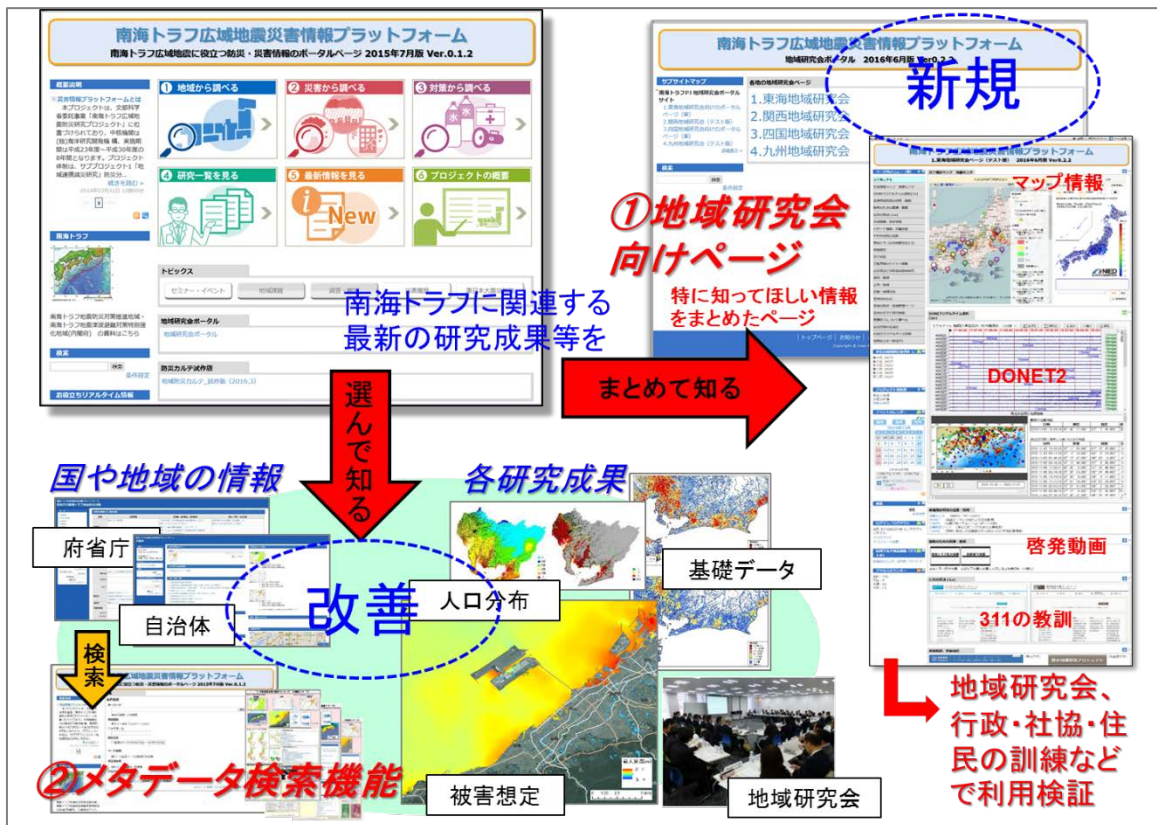


図 3-5-①-4 情報提供の改善と新規機能

図 3-5-①-4 の左上が災害情報プラットフォームの Top ページである。ここから南海トラフに関連する当プロジェクトの最新研究成果や、社会に公開されている各種情報を入手することができる。下側に向かう「選んで知る」は Pull 型、「まとめて知る」は Push 型の情報発信スタイルとなっている。

○下向き赤色矢印の「選んで知る」(図 3-5-①-4 下側)：

自分から必要なコンテンツを探し出し詳細な情報を取得できる。検索エンジンにて複数条件で知りたい情報を知ることができる。昨年度からの改善作業となる。

○右向き赤色矢印の「まとめて知る」(図 3-5-①-4 右側)：

今年度(平成 28 年度)は、地域研究会の関係者(防災担当者)を意識した「知ってほしい情報」をまとめて発信する「地域研究会向けページ」を新規で構築した。このページでは、特に災害対策の意識啓発と計画立案に役立つと思われる情報を選定している。こちらは今年度の新規作成部分である。

改良した災害情報プラットフォームでは、当プロジェクトも含めた各種研究成果の情報が閲覧できるようになっている(図 3-5-①-5、6、7)。

地域研究会ページでは、以下の情報を新規で含んでいる。

- ・ DONET2 のリアルタイム波形データの閲覧 (JAMSTEC、1-e)

- ・ DONET2 の位置その他情報 (JAMSTEC、1-e)
- ・ 東日本大震災からの教訓データベース (東北大学、1-a)
- ・ 動画でふりかえる 3.11 (東北大学、1-a)
- ・ 津波災害痕跡データベース (東北大学)
- ・ 歴史地震研究 (名古屋大学)
- ・ 地域研究会の履歴 (JAMSTEC、1-c)
- ・ 公開されている海底地形の画像データ

他にも防災意識啓発や計画立案に役立つと思われる各種コンテンツを掲載している。地域やユーザ分野を意識したコンテンツの種別や構成等については、東京大学の住民の防災知識構造と社会構造に関する質的調査の研究成果 (1-e) も参考にしている。

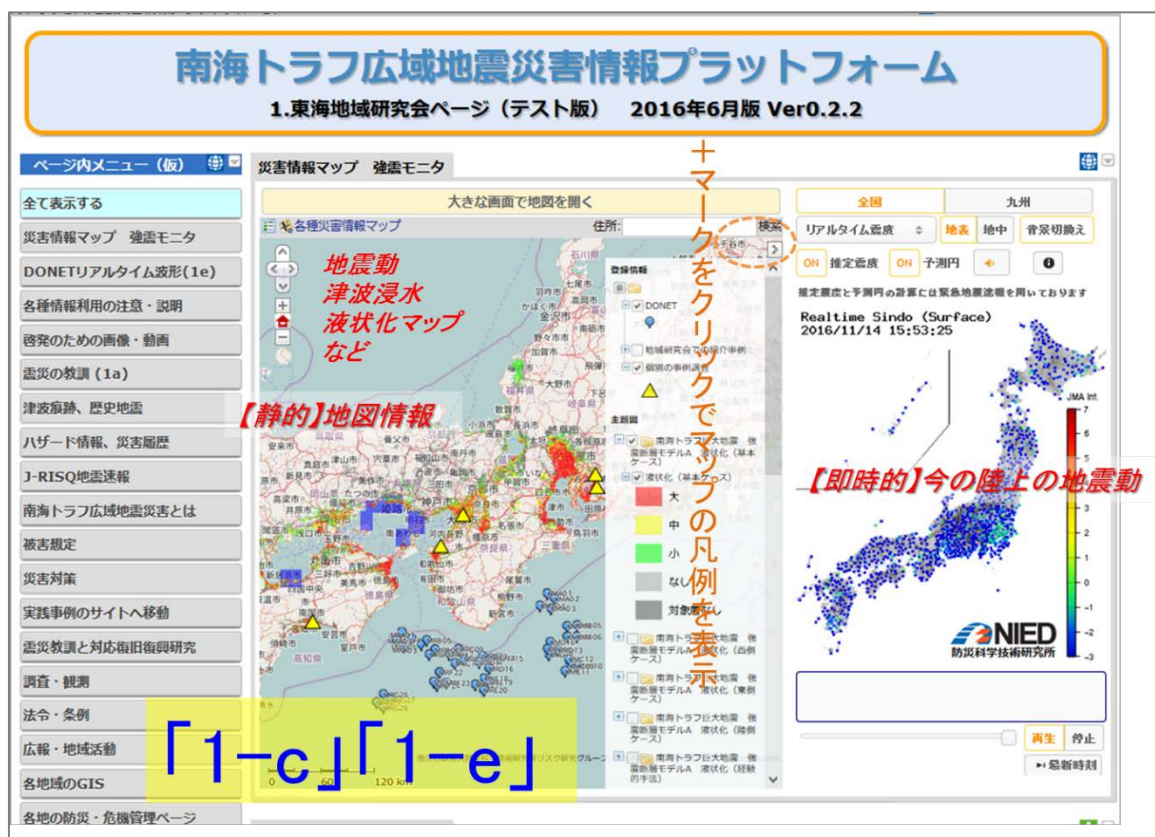


図 3 - 5 - ① - 5 地域研究会向けページ 1

【観測】DONET観測網

【1-e】

【即時的】DONET2地震・津波計リアルタイム波形 JAMSTEC

【1-a】

【歴史】歴史地震 名古屋大学

【履歴】津波災害痕跡

【履歴】災害年表マップ

【知見】ハザード情報

【即時的】最近の地震動と暴露人口

【動画】内閣府南海トラフ啓発動画

ほかサブ1サブ2成果との連携予定

情報コンテンツの選定などに東大の知識構造調査・分析を反映

図 3-5-①-6 地域研究会向けページ 2

プロジェクト報告書

各地域のGISサービス

意見交換の場

図 3-5-①-7 地域研究会向けページ 3

2) 災害情報プラットフォームの改良と Ver.1 ベータ版公開

ユーザから得られた意見を反映し、災害情報プラットフォームのコンテンツ種別とその内容について再検討し、DB でのタグ付けとその検索・閲覧方法の改良を行った。

また、ユーザが自ら調べる（検索する）だけでなく、発信側の意向が盛り込まれた「閲覧してほしいコンテンツ」をまとめた地域研究会向けページを新たに構築し、「知られていないが知って欲しい」情報を重点的に知ることができるよう試みた。

これにより、研究者側から情報に関する「重みづけ」を行うことができ、ユーザに対して新しい知見や重要な情報に関して優先的な発信が可能となった。

前述している

3. 災害情報プラットフォームにて利用される DB の構築

4. DB の検索機能としてのタグの種別とその条件付けルール

5. 災害情報プラットフォームの表示画面セットの改修と Ver.1 ベータ版の公開

として、以下の成果物が構築できた。

災害情報プラットフォーム Ver.1 ベータ版のページ構造を下記に記す。(以下の説明文中の図番号は、説明順に合わせて前後している部分がある。)

○災害情報プラットフォーム Ver.1 の Top ページ (図 3-5-①-8)

① 地域を知る_ボタン

・各府県の HP 公開災害情報の閲覧 (図 3-5-①-9)

・府県の選択画面 (図 3-5-①-10)

・愛知県のページ (図 3-5-①-11)

・静岡県

・三重県

・大阪府

・和歌山県

・ . . . 四国地域

・ . . . 九州地域

② 調べる_ボタン

・検索機能 (図 3-5-①-17)

[表示展開]→ 国など広域の関連情報を表示 (図 3-5-①-18)

③ 地域で考える_ボタン

・各地域の選択画面 (図 3-5-①-19)

・地域防災活動者(一般利用者)向けページ (図 3-5-①-20)

[ログイン]→ 地域研究会向けページ (図 3-5-①-21)

④ 研究一覧を見る_ボタン

- ・ 研究一覧（図 3 - 5 - ① - 22）
 - ・ 東北大学の 311 教訓 HP（図 3 - 5 - ① - 23）
 - ・ 名古屋大学のサブ 1 HP（図 3 - 5 - ① - 24）
 - ・ . . .

⑤ 最新情報を見る_ボタン

- ・ 最新情報を見る（図 3 - 5 - ① - 25）

⑥ プロジェクトの概要_ボタン

- ・ プロジェクトの紹介（図 3 - 5 - ① - 26）

○トピックス（図 3 - 5 - ① - 27）

- ・ セミナー、地域課題、調査観測、災害履歴、東日本大震災教訓

○お知らせ

○左側カラム

- ・ 南海トラフについて
 - 「南海トラフ地震防災対策推進地域」及び「南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域」の指定基準の説明資料が入手可能
- ・ 南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト
 - プロジェクト全体の HP を閲覧
- ・ 地震調査研究推進本部
 - 地震本部のプロジェクト全体の HP を閲覧
- ・ 検索
 - サイト内の検索が可能
- ・ お役立ちリアルタイム情報
 - 地震や津波に関するものだけでなく、公開されている役立ちそうなリアルタイムコンテンツの紹介（道路、船舶、航空機等）



図 3-5-①-8 Top ページ

選択できるボタンのうち、「①地域を知る」では、自分たちの地域を把握してもらうことを目的としている。各地域の府県ホームページ等で公開されている災害に関する公開情報を項目別に集約している（図 3-5-①-11）。情報項目として、「計画・政策・対策」、「活動・会議・報道資料」、「配布パンフレット」、「啓発・学習」、「住民向け」、ほか防災関連情報としている（図 3-5-①-15、16）。

また左側列上部にある災害情報マップのサムネイルをクリックすることにより Web マップツールが起動し強震動、津波浸水深、液状化等の内閣府公開の想定情報を閲覧することができる。参考画像としてページ右側列上にマップの画像例を掲載している（図 3-5-①-12、13、14）。ページ右側列下には「災害年表マップ」を掲載し各地の過去の災害履歴を調べることができる。

南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム

ユーザー登録・ログイン

南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム

地域から調べる

サブサイトマップ

地域から調べる

詳細表示

東海地域 関西地域 四国地域 九州地域

検索

検索

条件設定

各地域の状況を比較

- ・市町村の被害金額で比べる
- ・市町村の被害面積で比べる
- ・市町村の復旧復興必要期間で比べる
- ・市町村を人口で比べる
- ・市町村を面積で比べる
- ・市町村の経済規模を比べる
- ・市町村を文化圏で比べる
- ・市町村の姉妹都市関係

→ 上記のように、自分の地域だけでなく周りの地域との関係性を考えてみましょう

地域を選択します

防災力を高めるために！

- ・政府広報オンライン防災減災（内閣府） 全国を53地域に分けて説明。平成26年3月各地の新聞で広報された記事一覧。
- ・地域の防災情報 2015年度版（内閣府） あなたのまちの防災・減災のための情報が簡単にチェックいただけます。
- ・ハザードマップポータルサイト（国土交通省）

南海トラフ巨大地震

地震調査研究推進本部より



南海トラフは、日本列島が位置する大陸のプレートの下に、海洋プレートのフィリピン海プレートが南側から年間数cm割合で沈み込んでいる場所です。この沈み込みに伴い、2つのプレートの境界にはひずみが蓄積されています。過去1400年間を見ると、南海トラフでは約100～200年の間隔で蓄積されたひずみを解放する大地震が発生しており、近年では、昭和東南海地震（1944年）、昭和南海地震（1946年）がこれに当たります。昭和東南海地震及び昭和南海地震が起きてから70年近くが経過しており、南海トラフにおける次の大地震発生の可能性が高まっています。

過去に南海トラフで起きた大地震は多様性があります。そのため、次に発生する地震の震源域の広がりや正確に予測することは、現時点の科学的知見では困難です。地震本部では、南海トラフをこれまでのような南海・東南海領域という区分をせず、南海トラフ全体を一つの領域として考え、この領域では大局的に100～200年で繰り返し地震が起きていと仮定して、地震発生の可能性を評価しました。

●過去の地震の発生状況



過去に南海トラフで発生した大地震は、その震源域の広がり方に多様性があります。また、南海地域における地震と東海地域における地震が、同時に発生している場合と、若干の時間差（数年以内）をもって発生している場合があります。東海地域の地震でも、御前崎より西側で、断層のすべりが止まった昭和東南海地震（1944年）と、駿河湾の奥まですべりが広がったと考えられている安政東海地震（1854年）では、震源域が異なります。また、宝永地震（1707年）の震源域は、津波堆積物などの調査結果から、昭和南海地震（1946年）や安政南海地震（1854年）の震源域より西に広がっていた可能性が指摘されています。慶長地震（1605年）は揺れが小さいが、大きな津波が記録されている特異な地震であり、明治三陸地震（1896年）のような津波地震であった可能性が高いとされています。また、南海トラフでは、分岐断層が確認されており、過去にはプレート境界だけではなく、分岐断層がすべることによる地震も起きていたと指摘されています。

地震調査研究推進本部 南海トラフで発生する地震

ページの上部へ↑

トップページ | お知らせ | お問い合わせ | サイトマップ

Copyright © nind All Rights Reserved.

図 3-5-①-9 「①地域を知る」各府県のHP公開災害情報の閲覧

南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム ユーザー登録 - ログアウト

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

岐阜県	静岡県	愛知県	三重県
あ 安八町	あ 熱海市	あ 愛西市	あ 朝日町
い 池田町	い 伊豆市	あ 岡久比町	い 伊賀市
い 揖斐川町	伊豆の国市	あ ま市	伊勢市
え 恵那市	伊東市	安城市	いなべ市
お 大垣市	磐田市	い 一宮市	お 大台町
お 大野町	お 御前崎市	稲沢市	尾鷲市
か 海津市	小山町	大山市	か 亀山市
か 各務原市	か 掛川市	岩倉市	川越町
か 笠松町	河津町	お 大岡町	き 木曽岬町
か 可児市	川根本町	大治町	紀宝町
か 川辺町	函南町	大府市	紀北町
き 北方町	き 菊川市	岡崎市	く 熊野市
岐阜市	こ 湖西市	尾張旭市	桑名市
く 郡上市	し 御殿場市	か 春日井市	こ 龍野町
け 下呂市	し 静岡市	蟹江町	し 志摩市
こ 神戸町	島田市	蒲郡市	す 鈴鹿市
さ 坂祝町	清水町	刈谷市	た 大紀町
し 白川町	下田市	き 北名古屋	多気町
せ 関市	す 裾野市	清須市	玉城町
た 多治見市	な 長泉町	こ 幸田町	つ 津市
た 垂井町	に 西伊豆町	江南市	と 東員町
と 土岐市	ゆ 沼津市	小牧市	鳥羽市
と 富加町	ほ 浜松市	し 設楽町	な 名張市
な 中津川市	ひ 東伊豆町	新城市	ま 松阪市
は 羽島市	ふ 袋井市	せ 瀬戸市	み 南伊勢町
ひ 東白川村	藤枝市	た 高浜市	御浜町
七宗町	富士市	武豊町	め 明和町
み 瑞浪市	富士宮市	田原市	よ 四日市市
み 瑞穂市	ま 牧之原市	ち 知多市	わ 度会町
御嵩町	松崎町	知立市	
美濃加茂市	み 三島市	つ 津島市	
美濃市	南伊豆町	と 東栄町	
も 本巣市	も 森町	東海市	
や 八百津町	や 焼津市	東郷町	
山県市	よ 吉田町	常滑市	
よ 養老町		飛島村	
わ 輪之内町		豊明市	
		豊川市	
		豊田市	
		豊根村	
		豊橋市	
		豊山町	
		な 長久手市	
		名古屋市	
		に 西尾市	
		日進市	
		は 半田市	
		ひ 東浦町	
		ふ 扶桑町	
		へ 碧南市	
		み 南知多町	
		美浜町	
		みよし市	
		や 弥富市	

ページの上部へ?

府県を選択します

| トップページ | お知らせ | お問い合わせ | サイトマップ |

Copyright © nited All Rights Reserved.

図 3 - 5 - ① - 10 「①地域を知る」府県の選択画面

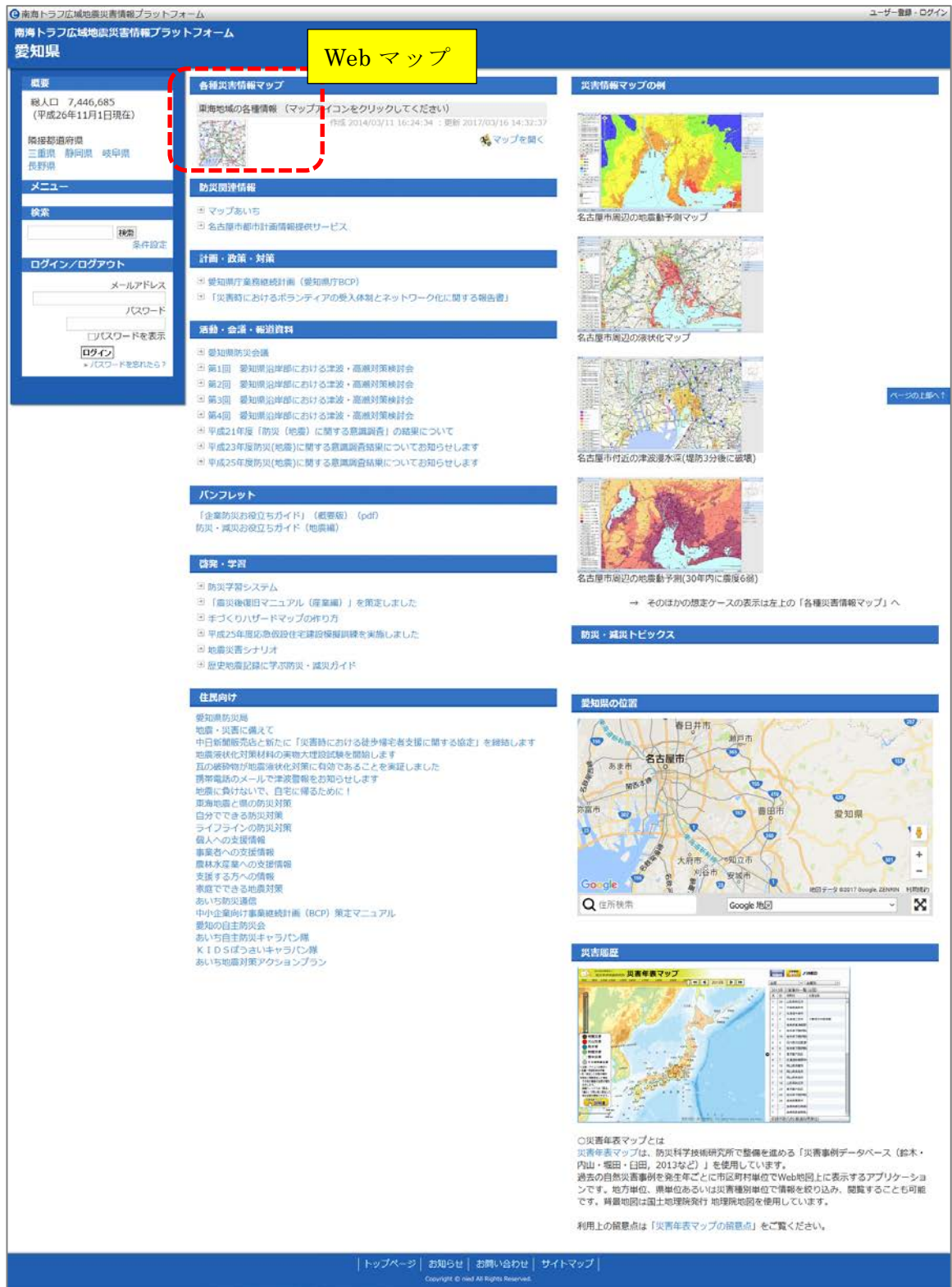


図 3 - 5 - ① - 11 「①地域を知る」愛知県のページ (例)



図 3-5-①-12 想定強震動分布

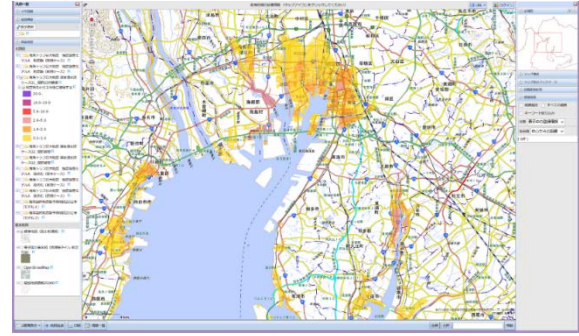


図 3-5-①-13 想定津波浸水深

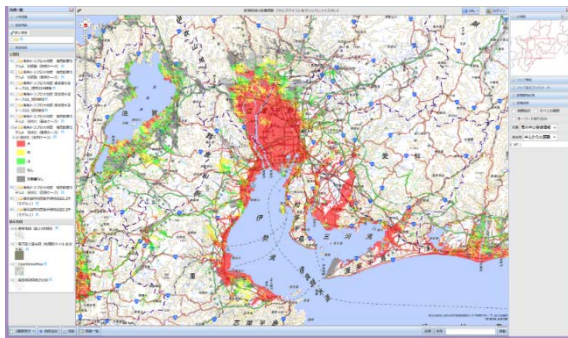


図 3-5-①-14 想定液状化分布

各種災害情報マップ

東海地域の各種情報 (マップアイコンをクリックしてください)
作成 2014/03/11 16:24:34 : 更新 2017/03/16 14:32:37

 マップを開く

防災関連情報

- マップあいち
- 名古屋都市計画情報提供サービス

計画・政策・対策

- 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」

活動・会議・報道資料

- 愛知県防災会議
- 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
- 平成21年度「防災(地震)」に関する意識調査の結果について
- 平成23年度防災(地震)に関する意識調査結果についてお知らせします
- 平成25年度防災(地震)に関する意識調査結果についてお知らせします

図 3-5-①-15 左側列の拡大 1

パンフレット

- 「企業防災お役立ちガイド」(概要版) (pdf)
- 防災・減災お役立ちガイド(地震編)

啓発・学習

- 防災学習システム
- 「震災後復旧マニュアル(産業編)」を策定しました
- 手づくりハザードマップの作り方
- 平成25年度応急仮設住宅建設模擬訓練を実施しました
- 地震災害シナリオ
- 歴史地震記録に学ぶ防災・減災ガイド

住民向け

愛知県防災局
地震・災害に備えて
中日新聞販売店と新たに「災害時における徒歩帰宅者支援に関する協定」を締結します
地震液状化対策材料の実物大埋設試験を開始します
瓦の破砕物が地震液状化対策に有効であることを実証しました
携帯電話のメールで津波警報をお知らせします
地震に負けないで、自宅に帰るために！
東海地震と県の防災対策
自分できる防災対策
ライフラインの防災対策
個人への支援情報
事業者への支援情報
農林水産業への支援情報
支援する方への情報
家庭できる地震対策
あいち防災通信
中小企業向け事業継続計画 (BCP) 策定マニュアル
愛知の自主防災会
あいち自主防災キャラバン隊
KIDSぼうさいキャラバン隊
あいち地震対策アクションプラン

図 3-5-①-16 左側列の拡大 2

ボタンの「②調べる」では、地域や災害種別、情報元種別の複数キーワード選択により自分に必要とする情報を検索することを目的としている(図3-5-①-17)。デ

ータの種類として、URL リンク、RSS、テキスト、ファイルの選択も可能となっている。

利用している DB は、プロジェクトの成果物や行政の HP 内容、プレスリリースだけに限らず、民間メディア等の幅広い防災に関する情報を収集し、内容の重みづけも考慮しながら関連キーワードでタグ付けを行っている。今後も情報収集を行い、内容を充実していく予定である。

下段には、「①地域を知る」にもある災害情報マップも掲載しており、Web マップが利用できるユーザは可視化された被害想定情報を見ることができる。また、各種ハザード情報を閲覧・入手できる地震ハザードステーション (J-SHIS) や、災害年表マップも同時に並べ表示することにより、「予測：被害想定情報」「事前：ハザード情報」「歴史：災害履歴」の観点から見た3種類の防災・災害情報を知る機会を作り出す。

検索結果一覧のコンテンツパネル下部にある「関連事例を表示」をクリックするとページの下段が展開し国や広域の関連情報が表示される (図 3-5-①-18)。現在のところは災害対策基本法や地震防災対策推進基本計画、ほか内閣府資料等対策・計画の基礎となる情報を表示する。今後は資料種別・内容を拡充していく予定である。

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
検索機能（防災カルテβ版）

南海トラフPF防災カルテ（β版）

タイトル
キーワードを入力して下さい

タイプ
 すべて選択 リンク RSS テキスト ファイル eコミマップ

地域
地域名を入力して下さい

災害種別
選択して下さい

情報元種別
選択して下さい

検索

検索条件を選択します

検索結果が表示

静岡県地震対策推進条例
（説明文はありません。）

静岡県地震対策アクションプログラム2006～南海地震による死者数の半減を目指して～
（説明文はありません。）

静岡県の南海地震対策
（説明文はありません。）

静岡県が所有する公共建築物の耐震性能と今後の対応
（説明文はありません。）

大規模地震対策「避難計画策定指針」
（説明文はありません。）

今後の地震・津波対策の方針
（説明文はありません。）

ページの上へ

(1 - 6 / 4,652 件)

あなたの地域のハザードマップ・過去の災害事例

災害情報マップ 地震ハザードステーション 災害年表マップ

地図情報が閲覧できます

トップページ | お知らせ | お問い合わせ | サイトマップ |
Copyright © med All Rights Reserved.

図 3 - 5 - ① - 17 「②調べる」 検索機能

南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム ユーザー登録・ログイン

南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム
検索機能（防災カルテβ版）

南海トラフPF防災カルテ（β版）

検索

検索結果一覧

静岡県地震対策推進条例
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～
静岡県の東海地震対策

関連事例を表示

静岡県が所有する公共建築物の耐震性能と今後の対応
大規模地震対策「避難計画策定指針」
今後の地震・津波対策の方針

関連事例を表示

関連事例を表示

あなたの地域のハザードマップ・過去の災害事例

災害情報マップ 地震ハザードステーション 災害年表マップ

コンテンツの関連事例

静岡県が所有する公共建築物の耐震性能と今後の対応
広域・近県

静岡県津波対策検討会議
静岡県自主防災活動推進大会
静岡県防災関係資料

コンテンツの関連事例

静岡県が所有する公共建築物の耐震性能と今後の対応
国・道府

災害対策基本法
地震防災対策推進基本計画
地震防災対策推進指定地域
地震応急対策活動計画

資料・情報が閲覧・入手できます

トップページ | お知らせ | お問い合わせ | サイトマップ |
Copyright © med All Rights Reserved.

関連事例を表示をクリックすると下部が展開



資料・情報が閲覧・入手できます

図 3 - 5 - ① - 18 国など広域の関連情報を表示

ボタンの「③地域で考える」は、東海、関西、四国、九州の地域研究会参加者向け（行政職員向け）のページとして作成した。最新の研究成果や関連情報を入手し、自分たちの地域で災害対策を考える情報元として役立てられることを目的としている。地域研究会参加の利用希望者にはログインアカウントを随時発行している。

ただし、ログイン無しでも一般の利用者向けとして公開情報を閲覧することは可能である。

各地域の選択画面ページにて東海、関西、四国、九州の4つの地域から選び、求める地域ページを閲覧する（図3-5-①-19）。

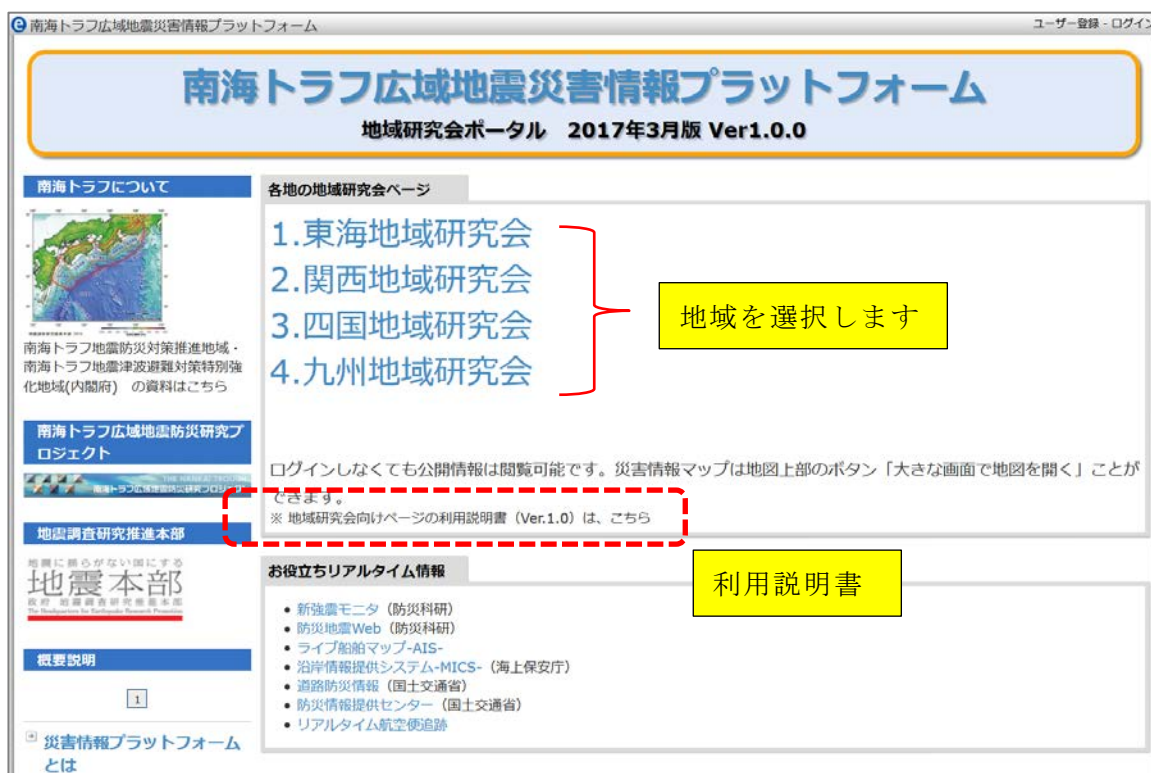


図3-5-①-19 「③地域で考える」各地域の選択画面

※ 誰でも一般公開情報の閲覧は可能（ログインすると非公開情報も閲覧可能）

図3-5-①-20 は、ログインしなくても閲覧可能なコンテンツについて説明している。

1 段目左側には地域の被害想定情報を閲覧できる Web マップを設置している。マップの右上に小さく表示されている矢印マークをクリックすると凡例が表示され、チェックボックスのチェックの入切にて表示情報を変えることができる。マップ上部黄色の横長ボタン「大きな画面で地図を開く」をクリックすると別画面で大きなマップを利用することもできる。右側には、地震災害に興味を持ってもらう目的も含めて、陸上の地震動リアルタイム情報である強震モニタを設置している。

2 段目は、各種情報利用の注意や説明のリンクである。

3 段目は、内閣府から公開されている啓発の動画サイトへのリンクである。

4 段目は、プロジェクト研究成果（1-a）である東日本大震災からの教訓に関するコンテンツである。

5 段目は、津波痕跡データベース（東北大学）と歴史地震の研究（名古屋大学）へのリンクである。

6 段目は、地震ハザードステーション（J-SHIS）、災害年表マップへのリンクである。

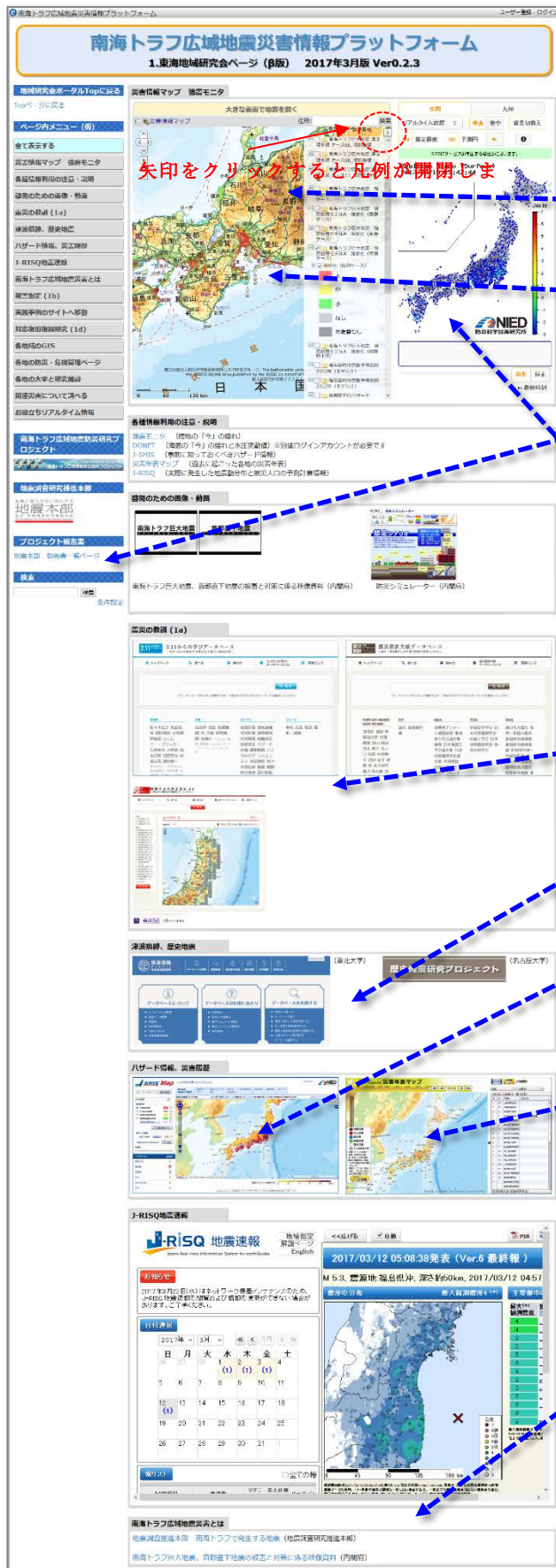
7 段目は、地震速報（J-RISQ）をリアルタイムで表示し、全国にて一定以上の規模の地震が発生した場合に、面的な震度予測情報や、各震度階の暴露人口等を表示する。

これ以外にも各種防災・災害に関連する情報をテキストにて掲載している。主なものとしては、各地域で公開されている GIS、各地域行政の防災・危機管理ページ等である。

ログインアカウントが発行されている関係者は、ページ右上のログイン文字からログインすることにより、非公開の情報を取得することができる（図 3-5-①-21）。

図 3-5-①-21 の右側説明欄の黄色表示している箇所が、一般公開情報の閲覧ページに追加された情報である。現在の処、大きな違いは 2 段目の情報に、地震・津波観測監視システムである DONET2 のリアルタイム波形情報が表示されること、ページ左側カラムに地域研究会（1-c）関連情報や、カレンダー表示によるイベント等の情報共有、また関係者のみで利用できる電子会議室の設置である。今後は随時、非公開の研究成果等も掲載可能なものは登録していく予定である。

なお、現在のところ DONET2 のリアルタイム波形情報の閲覧には、もう一つ異なるアカウントにてログインが必要である。



地震動や津波浸水などの被害想定情報、

観測点や最新話題をマップで識別・閲覧

報告書の閲覧(1e)

強震モニタ(陸上観測)

東日本大震災からの教訓(東北大,1a)

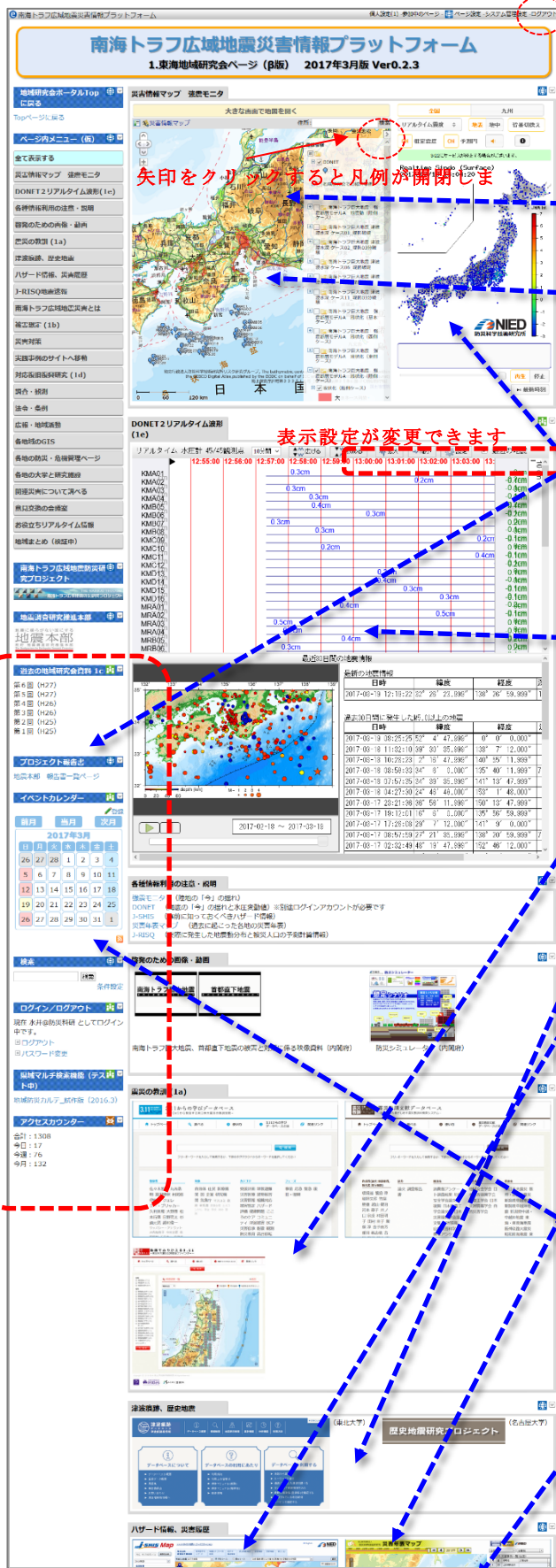
津波痕跡、歴史地震

J-SHIS 地震ハザードステーション

災害年表マップ(各地の地域防災計画より)

他にも、J-RISQ 地域別災害特性 (地域防災 Web) など・・・

図 3-5-①-20 地域防災活動者向けページ (一般利用者向け)



ログインすると全コンテンツが表示

地震動や津波浸水などの被害想定情報、

観測点や最新話題をマップで識別・閲覧

報告書の閲覧(1e)

強震モニタ(陸上観測)

DONET(海底観測)
※別途ログイン必要

東日本大震災からの教訓(東北大,1a)

津波痕跡、歴史地震

J-SHIS 地震ハザードステーション

災害年表マップ(各地の地域防災計画より)

関係情報(カレンダー、研究会情報 1c など)

他にも、J-RISQ 電子会議室、地域別災害特性(地域防災 Web) など

図 3-5-①-21 地域研究会向けページ(関係者ログイン) 黄色部分が追加

ボタンの「④研究一覧を見る」では、公開できるプロジェクトの研究成果を一般向けに表示し、基本非公開の成果は関係研究者間のみでデータ共有することを目的としている（図3-5-①-22）。

白色の各研究のボタンをクリックすると図3-5-①-23、24のような関連ページを閲覧することができる。

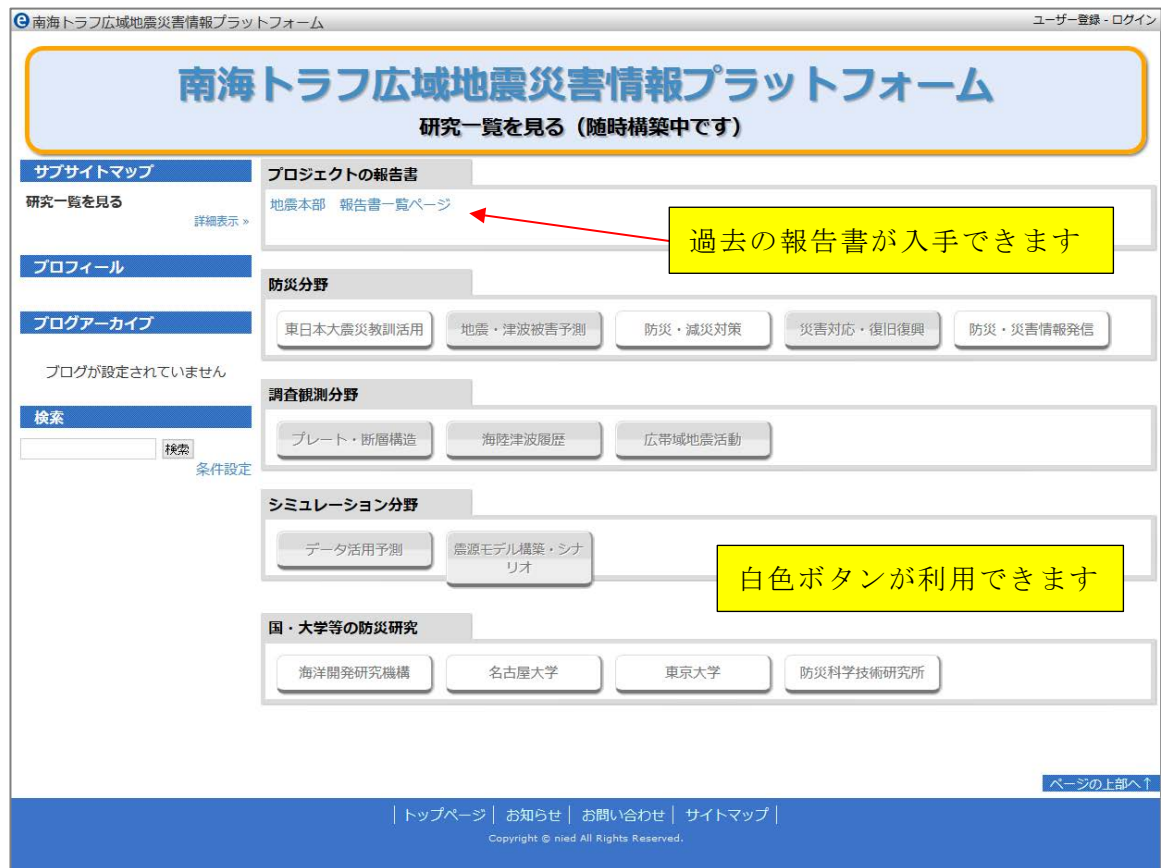


図3-5-①-22 「④研究一覧を見る」研究一覧



図3-5-①-23 東北大学 HP



図3-5-①-24 名古屋大学 HP

ボタンの「⑤最新情報を見る」では、サイトで更新された情報をお知らせすることを目的としている（図3-5-①-25）。

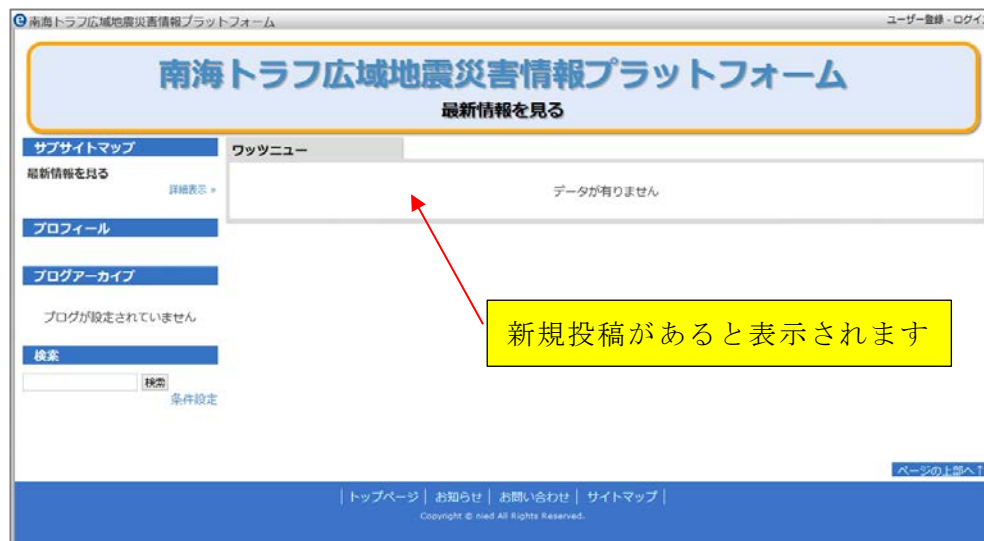


図3-5-①-25 「⑤最新情報を見る」新規の投稿やコンテンツをお知らせ

ボタンの「⑥プロジェクトの概要」では、南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトの紹介を行うことを目的としている。（図3-5-①-26）。



図3-5-①-26 「⑥プロジェクトの概要」プロジェクトのパフレット内容を掲載

その他のボタンの一例として、トピックスの「セミナー・イベント」では、プロジェクトに関するイベントやセミナーの紹介を行う。(図3-5-①-27)。



図3-5-①-27 セミナー・イベント情報

(d) 結論ならびに今後の課題

1) 結論

行政や社会福祉協議会の職員、地域住民、民間企業の防災担当者から、情報発信のツールに求められる意見を得て、そのニーズを災害情報プラットフォームの構造や機能に反映し、関係者間での研究成果データや各種利活用システムとの連携をより進めた「災害情報プラットフォーム Ver.1 ベータ版」の公開が実現できた。

また、利活用の可能性に関して、ヒアリングの結果、行政の住民向け「研修会・座学での情報ツールとしての利用」が挙げられた。また、社会福祉協議会+行政+住民による「防災訓練の企画・計画段階での利用」や民間企業の「BCPを作成する段階で活用」できないか等の意見を得ることができた。(図3-5-①-28)

2) 今後の課題

今後も継続して、新規の情報・コンテンツや、現在も進められている調査・研究の成果を収集し追加登録していく。また、その情報・コンテンツを受動的ではなく能動的に災害情報プラットフォームにアップデートできるような各地域の協力者(各大学機関等)を募り、連携を強化していく取り組みが必要である。

次年度以降も東海、関西、四国、九州地域にてヒアリング調査や利用実験を継続し「研究者側の意見」と「ユーザ側の意見」のどちらの意見も反映した改善・改良を実施していく予定である。

The image shows a screenshot of the Nankai Bosai website (http://nankai.bosai.jp/v0.2/index.php?top) with various features highlighted by blue dashed lines. To the right, there are several photographs of users in different settings (seminars, training sessions) with text boxes describing their experiences.

ユーザによる利用検証の例 (Examples of user utilization verification)

- 【行政職員】 地域で実施している講座にて利用できる作りこみも欲しい
- 【社協・住民】 自分たちの地域で行われる防災訓練や災害VC設置訓練などの各種訓練に利用できないか？
- 【企業】 先端の研究成果によって、企業のBCPでもっと前倒しに対処できることがあるのではないか？

β版公開後もユーザニーズを実現するための改良を継続!

図 3-5-①-28 ヒアリング結果や研修会からの意見

(e) 引用文献

- 1) 田口仁・李泰榮・臼田裕一郎・長坂俊成, 効果的な災害対応を支援する地理情報システムの一提案: 東北地方太平洋沖地震の被災地情報支援を事例として, 日本地震工学会論文集, Vol. 15, No. 1, pp. 101-115, 2015.
- 2) 防災科学技術研究所, 「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, 2009

②防災・災害関連データの収集・整備、及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

(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、歴史資料等の基礎データの収集・整理をするとともに、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) 地域版災害教訓アーカイブ（プロトタイプ）システム構築

平成27年度に、基礎自治体と連携して収集し、スキャンすることでデジタル化した災害関連資料データを基に、その内容を分析し、災害種別、災害日時、災害名称によって分類整理を行った。さらに、位置情報を特定できるデータについては、それぞれの精度（Aランク：ピンポイント精度、Bランク：小字精度、Cランク：大字以上の精度）に応じた緯度経度座標値を付与した。これにより、災害関連資料の空間データベースを構築した。さらに、それぞれの位置情報には、デジタル化した原典資料へのリンクを設定した。これにより、3,000件以上の新規アーカイブデータを整備することが出来た（図3-5-②-1～図3-5-②-3参照）。



21. 東南海地震による被害 半田市山方新田
(源兵工橋方面)
半田市役所撮影 昭和19(1944)年12月
『半田市史 資料編Ⅳ』より
愛知県内における東南海地震の犠牲者438人のうち、半田市は188人を占めた。山方新田は元禄4(1691)年に開拓された土地で地盤が悪く、1.5mの石炭ガラを埋立に使うなど悪条件が重なった。

22. 東南海地震による被害 半田市山方新田
(元東洋紡西付近)
半田市役所撮影 昭和19(1944)年12月
飯田淑事「昭和19年12月7日東南海地震の震害と震度分布」より
東南海地震による半田市の犠牲者の多くは、中島飛行機製作所山方工場へ勤労働員された学徒であった。東洋紡の工場だったものを飛行機工場に改造する際、柱を減らしたことが原因である。

15

図 3-5-②-1 デジタル化した災害原典資料の例

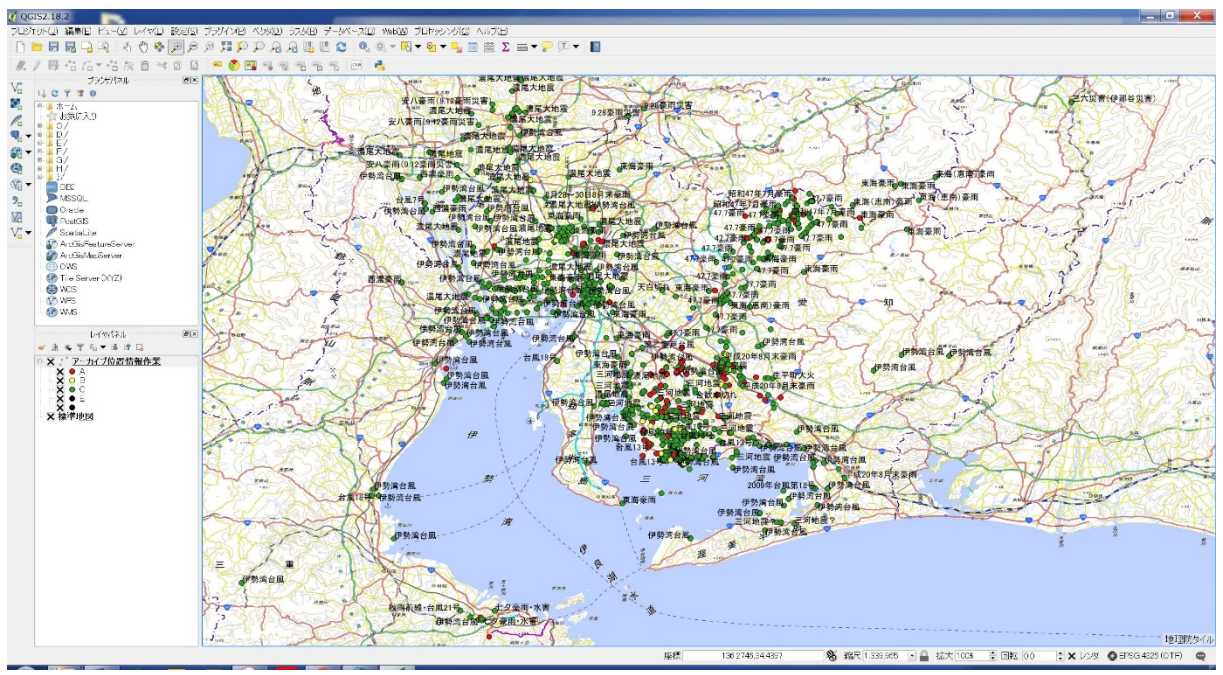


図 3-5-②-2 新規整備アーカイブデータの可視化例① (全体図：約 3,000 件)

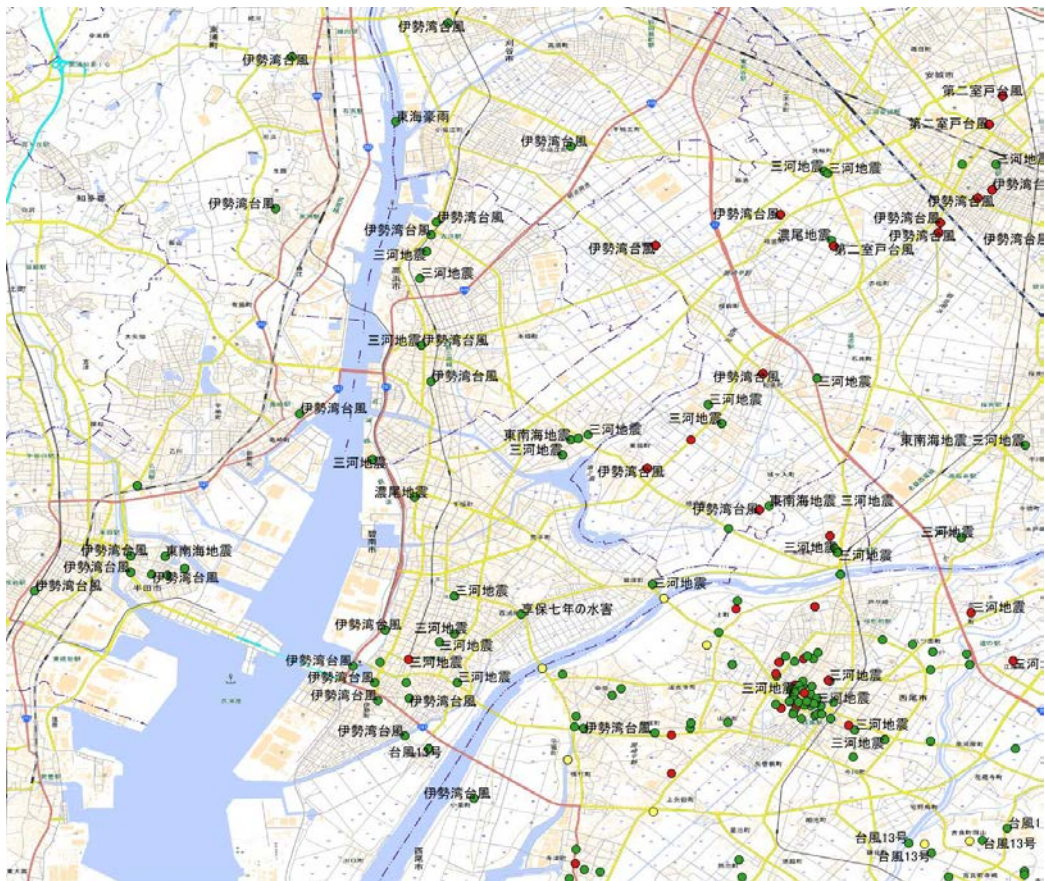


図 3-5-②-3 新規整備アーカイブデータの可視化例②（碧南市付近）

※位置精度：緑=A ランク、黄色=B ランク、赤=C ランク

2) 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，2016）。

平成 28 年度は、アプリの機能を拡張し、内閣府の長周期地震動予測結果を活用しながら、より精緻に揺れを表現することを目指した。具体的には、建物の応答計算を多質点系に拡張し、超高層建物の質量分布や剛性分布を加味することで、地震応答をより正確に再現することを試みた。また、計算結果として中間階の応答も得られるため、任意建物の「任意階」の揺れも再現できるようになった。さらに、揺れ映像の高度化として、非構造部材の破壊を表現できるようにし、例として天井パネルの落下を可視化できるようにした（図 3-5-②-4～図 3-5-②-6 参照）。平成 29 年度の課題としては、アプリケーション内部で非構造部材破壊の条件判定を行えるようにし、より現実と整合した被害イメージの再現を行う予定である。

また、開発中のアプリの効果測定として、名古屋大学減災館への来館者を対象に、アプリを使った感想をアンケートで調査した。その結果、図 3-5-②-7 左からは、

「長周期地震動に関する基礎的知識が全くなければ、揺れの特徴をアプリから学び取る事が出来ない」という事が指摘できる。一方、図3-5-②-7右からは、「知識によらず危機感(恐怖感)を与える効果がある」と解釈できる。アプリを耐震の学習に用いるためには、映像による揺れの疑似体験だけでなく、別途基礎的な学習コンテンツと組み合わせる必要があると考えられる。



図3-5-②-4 アプリ基本画面における揺れパラメータの設定の様子



図3-5-②-5 超高層建物の高さ方向の質量分布および剛性分布の設定



図 3-5-②-6 室内応答画面の拡張（天井パネル落下の様子）

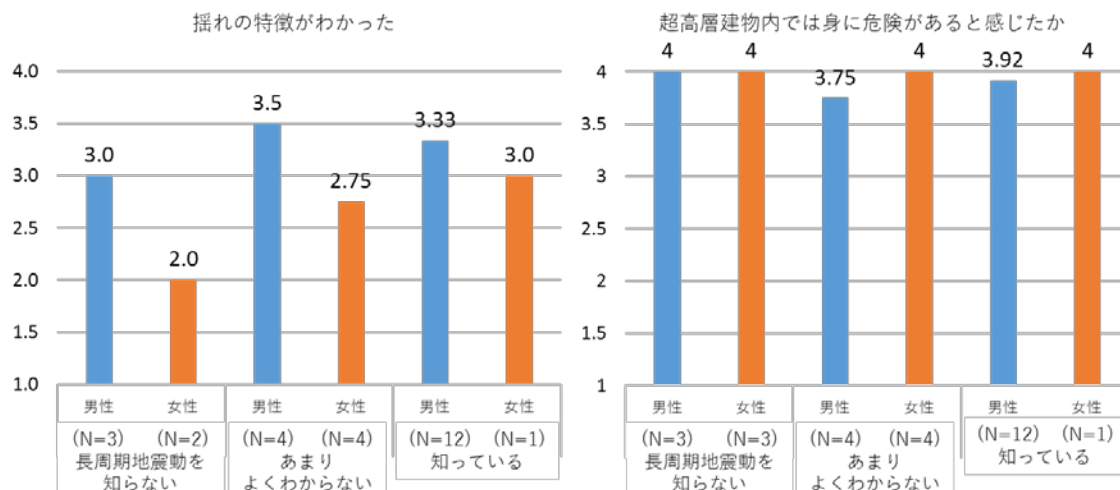


図 3-5-②-7 アプリ利用による効果の評価例（各値はグループの平均点）

※回答項目は 4（そう思う）～1（そう思わない）の 4 段階

3) 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、津波避難のための学校防災の進め方、実践的な防災学習に関する先進的な取り組み事例研究、参加型防災学習教材の開発について検討するとともに、減災館を活用した教育実践に取り組んだ。学校における津波避難のあり方については、東日本大震災時の大川小学校の事例検証を中心に検討した。その結果、南海トラフ巨大地震時の津波避難を促進するためには、地域と学校の平時からの連携構築が重要であることが認識された。防災教育教材の開発については、楽しむだけでなく体力強化にも結びつく「減災館体操」の開発、高校生による参加型防災ゲーム開発について検討するとともに、小中学校の夏季休暇期間にあたる 7 月 29 日に「夏休みスペシャル減災教室」（図 3-5-②-8）を開催し、ゲームを実践した。また、

既存の防災教育教材の有効活用、今昔の地図情報を活用した減災啓発システム実装の試み、心の減災教育教材セットの活用、豪雨災害避難シミュレーションゲーム (EVAG) についても検討した。



図 3-5-②-8 夏休みこども減災教室 (7/29)



図 3-5-②-9 防災教育研究会の開催

(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、地域版災害教訓アーカイブ（プロトタイプ）システム構築に関して、平成 27 年度から継続的に基礎自治体と連携して収集してきたデータ（約 3,000 枚の写真等）を、スキャン・デジタル化し、災害種別、災害日時、災害名称によって分類整理を行うとともに、GIS 上での見える化を実現した。

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、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。また、人材育成・教育については、津波避難のための学校防災の進め方、実践的な防災学習に関する先進的な取り組み事例研究、参加型防災学習教材の開発について検討するとともに、減災館を活用した教育実践に取り組んだ。

次年度は、研究課題における評価結果等の利活用、教材開発を進める。その際には、アプリ開発等に関して、SIPとも連携して実施する。

(e) 引用文献

- 1) 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, No.14, pp.83-96, 2016.

③DONET を用いたリアルタイム震源決定と統計情報の可視化

(a) 業務の要約

海洋研究開発機構では、南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトの地域連携減災研究のうち、防災・災害情報発信研究の一環として、海域に設置された地震・津波観測監視システム（DONET）による地震や津波の早期検知の情報を即時的に発信できるシステムを検討してきた。この研究の一部として横浜研究所のサーバーに導入済みの自動震源監視ソフトによる震源決定の精度向上に努めてきた。本年度は、この自動震源監視ソフトに DONET 2 のデータを導入し、さらにこのシステムによる震源決定結果から南海トラフにおける地震の統計的性質の推定による震源監視を行い、これらの情報を発信するための開発と機能向上を行った。これにより、地震の検知および震源決定精度の向上、地震活動モニタリング能力の向上が期待される。これらの情報は南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトにおいて一般利用を目指して構築を進めているプラットフォーム上で即時的に展開できることになる。

(b) 業務の実施方法

これまで DONET データの震源情報の自動化を進めてきた。この震源情報自体がもつ地震発生の時空間変化を示すことに加えて、応力場推定と可視化、地震の統計情報から時間的変化の可視化とその有意性について検討した。さらに、震源情報の自動化について DONET 2 のデータを導入し、応力場推定および地震の統計情報の可視化できるようにした。これらの情報をプラットフォーム上で展開することは、今後の長期予測につながり得る重要な情報を発信できると考えている。

1) 自動震源決定における P 波初動極性の検出精度向上のための機能向上

本年度は、P 波初動極性データから地震のメカニズムを推定し、これを用いたインバージョンによって応力場を推定するためのシステムの開発を行った。応力テンソルの推定では、P 波極性データをできるだけ多く、かつ正確に読み取る必要がある。そこで、ここでは、これまでに開発してきた自動震源決定システムに対し、P 波初動極性データの自動読み取り手法を高度化するための開発と機能向上を行った。自動処理に用いている波形データは速度波形であるが、速度波形には、脈動による 1～2 Hz の周期の長いノイズが含まれている。極性データの読み取りでは、フィルター処理を行い、S/N を高める必要があるが、昨年度までの極性読み取りでは、2 Hz 以下の長周期成分をカットする高域（通過）フィルターを用いていた。個々の波形について、極性の自動読み取り結果を詳しく検討した結果、このフィルターが原因で、極性が読み取れないもの、逆に、長周期ノイズが原因で、極性が読み取れない場合があることが分かった。本年度の改良では、2 Hz 高域フィルターによる波形の他に、AR モデルによるノイズ成分を除去するフィルターを用いる手法の開発を行った。さらに読み取りにおける判定条件を検討し、誤った極性の読み取りデータを最小限にするためのアルゴリズムを開発した。これらを自動震源決定システムに組み込む機能向上を

行った。

まず、これまで実施してきた P 波極性の読み取り手法の改良について述べる。これまで用いてきた 2 Hz 高域フィルターによる波形の他に、AR モデルによってノイズ成分を除去するフィルターを通し、地震動シグナルを明瞭にした波形を用いる手法を開発した。AR モデルによるフィルターの次数は、10 次とした。ノイズ区間の 1 秒間のデータによる AR モデルによる予測値と観測値との差の二乗が最少となるよう、AR 係数を決定し、ノイズ成分を除去するフィルターを作成した。多数の地震波形に対しこのように決定した AR モデルによるフィルター波形を表示し、調べた結果、AR モデルによるフィルターは、高域フィルターになっており、初動が長周期だと、S/N が低くなり、P 波極性が読み取れない場合が多いことが分かった。そこで、本改良では、AR モデルによるフィルター波形に、

$$F(t)=F(t-\Delta t)*cf+U(t)/af \quad (1)$$

なる、レカーシブフィルターによる、カットオフ周波数が 0.1 秒の低域フィルターを適用した波形を用いるようにした。ここに、

$$af=samp * 0.1$$

$$cf=1.0-1.0/af$$

である。F(t)は低域フィルターによる出力波形、 Δt はサンプル間隔、U(t)は AR モデルによる予測誤差（ノイズ成分除去による残差、すなわち地震動シグナル）、samp はサンプル周波数（100 Hz）である。極性の読み取りは、先ず 2 Hz 高域フィルターの出力を用いて行い、読み取れない場合には、AR モデルを用いた低域フィルター波形 F(t)を用いるようにした。

AR モデルによるフィルターは、ノイズの種類により、特性が変化することから、位相が逆転し、極性の読み取りが逆転する可能性がある。そこで、多数の波形データを用いて、位相が逆転する可能性があるか、チェックしたが、そのような場合がないことを確認した。図 3-5-③-1 に波形データの一例を示す。図の下から 1 番目 4 番目、9 番目、10 番目の記録が、それぞれ、上下動成分の生波形、2 Hz 高域フィルター、AR フィルターによる出力、(1) 式による AR モデルに低域フィルターを適用した波形 F(t)である。

以下、具体的な極性の読み取り方法について説明する。上述のフィルター波形と P 波到着時刻 (jjans) を入力とし、P 波初動極性が出力である。極性読み取りのノイズレベルに対する振幅比の閾値を ratio=2.5、ratio2=1.6 とする。P 波到着時刻の 1 秒前 (j1) から 0.1 秒前 (j2) をノイズ区間、到着時刻の 1 秒後を j4 とする。j1、j2 の区間の最大、最小振幅、および絶対値の最大値を amp_nois_max、amp_nois_min、zmax とする。P 波到着時刻 jjans から j4 の区間で、フィルター波形の絶対値が、ノイズ区間 j1、j2 の絶対値の最大振幅の 1.6 倍 (znois_max=zmax*ratio2+0.001) 以上になった時刻を j3 とする (閾値を超えた時刻)。到着時刻の後、最初のピークとなる時刻を j33 とする (P 波の最大振幅の候補)。到着時刻から、1 秒後 (j4) までに、フィルター波形の最大振幅が zmax の 1.6 倍にならなければ、極性の読み取りを行わない。時刻 j3 における振幅の正負により極性 (± 1) を判断する。

その後、以下の判定を行い該当する場合には極性を誤判定している可能性があるため、極性の読み取りを削除するようにした。

1. jjans から j3 の区間で、極性が+1 の場合には、フィルター波形の振幅が、ノイズ区間でのその最小値 (amp_nois_min) 以下になった場合。
2. jjans から j3 の区間で、極性が-1 の場合には、フィルター波形の振幅が、ノイズ区間でのその最大値 (amp_nois_max) 以上になった場合。
3. ノイズの区間 (j1、j2)、最初のピーク区間 (jjans-j33) のフィルター波形の絶対値を zmax、ampmax として、その比 (sn3=ampmax/zmax) が 1.6 倍 (ratio2=1.6) 以下の場合。
4. 到着時刻の 0.4 秒前から 0.05 秒の区間で、フィルター波形の最大値、最小値を z05max、z05min、到着時刻から、j33 までの最大値、最小値を z33max、z33min とし、ピークになるまでの振幅の比 (z33min/z05max、あるいは、z33max/z05min) が rat_check1 以下の場合。但し、rat_check1 は以下の式で定めた。ただし、rat_check1 の上限を 1.5 とした。
$$\text{rat_check1}=1.0+(\text{sn}3-3.0)/100.0$$
5. 最初のピークになるまでの時間が 0.02 秒以下で、sn 3 が 2.5 倍 (ratio=2.5) 以下 (短周期ノイズ振幅が直前で大きくなる場合)
6. 到着時刻から最初のピーク振幅になるまでに、ピーク振幅の絶対値の 20% 以上逆方向に変動した場合。

上記パラメータの設定は、多数の記録をチェックし、極性が正しく行われなかった場合の原因を調べ、正しく読み取れるよう閾値や、判定文を追加した結果である。図 3-5-③-2 に、上記手法による極性の自動読み取りで得られたメカニズム解の一例を示す。

図 3-5-③-3 は、前年度導入した自動震源決定システムによる極性の読み取りで、極性の読み取り数が 10 観測点以上である場合の 2017 年 1 月の 1 カ月間に決定されたメカニズム解である。図 3-5-③-4 は、本年度の改良による同期間の 1 カ月間に決定できたメカニズム解である。本年度の改良により、初動の読み取りの数と精度が向上し、その結果メカニズム解が決定できる地震の数は 2 倍以上に増加した。

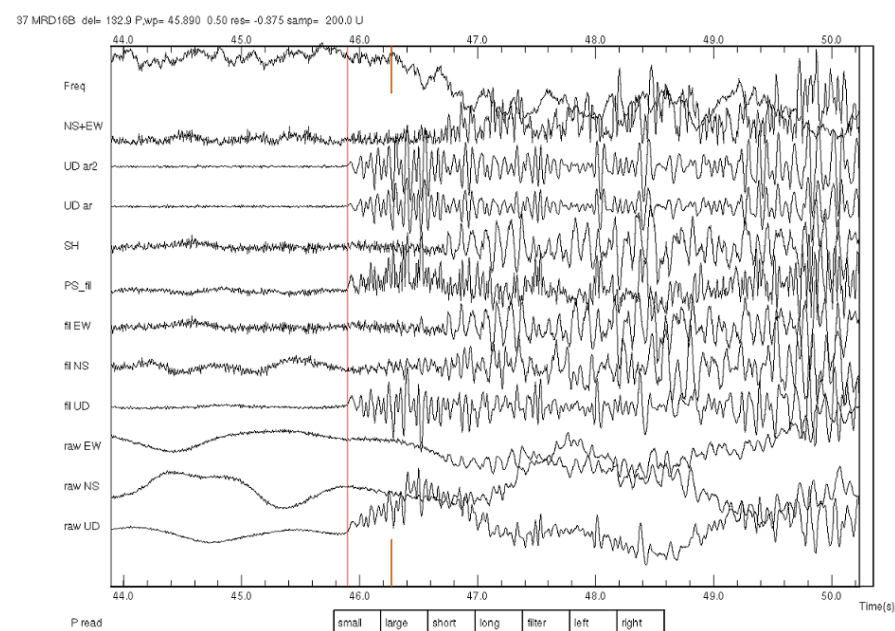


図 3-5-③-1 フィルター波形の例。下から数えて、1-3 番目までは、生波形、4-6 番目は 2Hz 高域フィルター、7 番目は、P 波と S 波とを識別するフィルター、8 番目は、SH 成分、9 番目、10 番目は、上下動成分の AR モデルによるフィルターと、その低域フィルター、11 番目は卓越周波数の時間変化である。

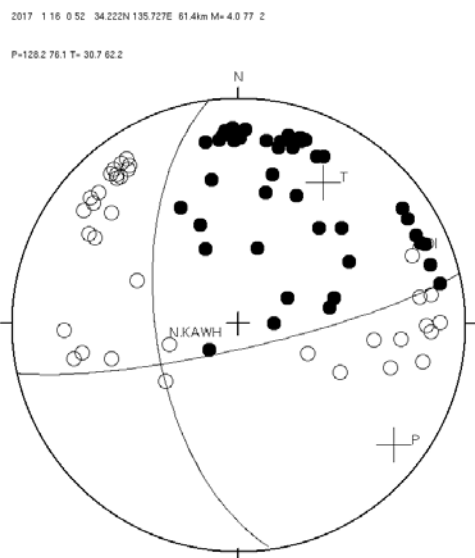


図 3-5-③-2 極性の自動読み取りで得られたメカニズム解の一例。

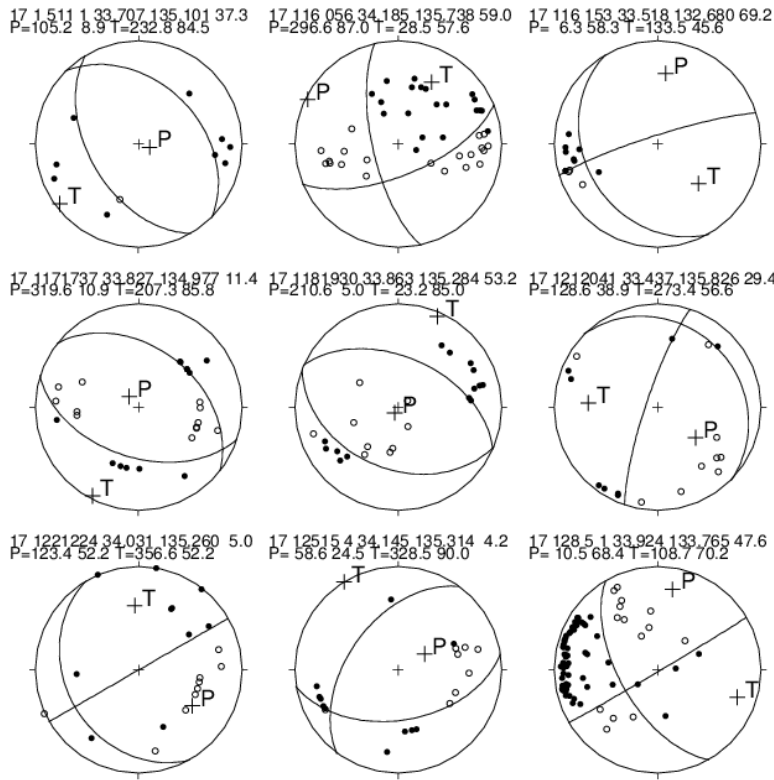


図3-5-③-3 昨年度に導入した自動震源決定システムによる極性の読み取り結果を用いて得られたメカニズム解（2017年1月の1ヶ月間）。

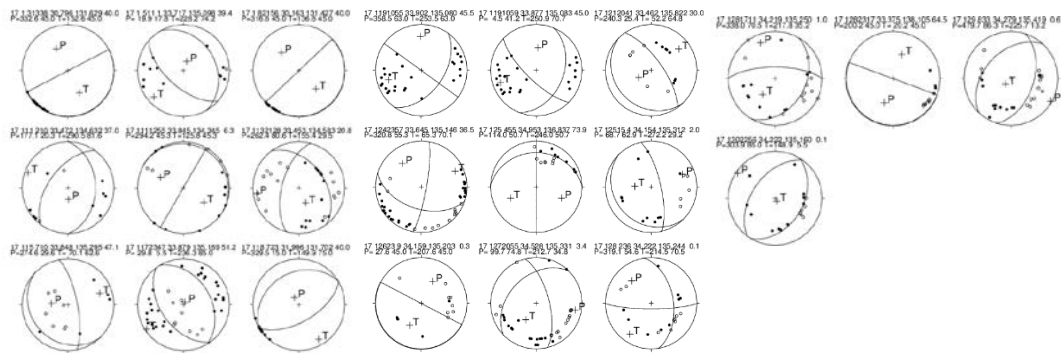


図3-5-③-4 本年度開発した極性の自動読み取りプログラムを用いて得られたメカニズム解（2017年1月の1ヶ月間）。本年度の改良で、メカニズム解が決定できる地震数が2倍以上に増えた。

2) 応力場推定

地震は地殻内の応力によって発生するため、地震発生場の状態モニタにおいて応力場を推定、モニタすることは重要である。地震の発震機構解は、震源の応力場に依存する。また、応力場の空間的な不均質は、地震活動の空間分布に影響を与えると期待される。応力場の空間分布の推定、時間変化の監視により、また後述する地震活動度の時間変化等の監視と組み合わせることで、震源監視を行うことが出来る。ここでは、1) で述べた P 波初動極性データを用いて応力場推定（応力テンソルインバージョン）を行うための手法の開発を行った。

ここでは、P 波極性データを用いた応力テンソルインバージョンの手法として Horiuchi et al. (1995) による手法を用いる。このインバージョンは、解析対象領域で応力場が均質であると仮定し、その領域内で発生する地震の発震機構解が異なるのは、地震が弱面に沿って発生するからであるとの解釈に基づき行われている。そして、断層運動の滑り方向は、断層面に加わる剪断応力が最大となる方向であると仮定し、多数の極性データから、最大 (σ_1)、最少 (σ_3)、中間 (σ_2) 主応力の方向を指定する 3 個の未知数と、応力の比 ($r = (\sigma_1 - \sigma_2) / (\sigma_1 - \sigma_3)$) を求めている。

断層運動の方向は、断層面に加わる剪断応力が最大となる方向であるとの仮定は、適当であると考えられることから、応力場が決定されると、地震の発震機構解の決定は、断層面の向きを決定する問題となる。応力場が決定されない場合の発震機構解の未知パラメータの数は 3 個であるが、応力場が決定されると発震機構解の未知パラメータは 2 個になる。

開発した応力テンソルインバージョン法の実効性を確認するために、シミュレーションデータによるテストを行った。まず、1) 応力場を適当に仮定し、2) この応力場と矛盾しない極性データを持つ地震を発生させ、3) インバージョンを実行する。与えた応力場と、インバージョン結果とを比較した。図 3-5-③-5 に、この場合の最大主応力軸の推定結果を示す。図が示すように、与えた応力場と計算結果とは、完全に一致している。最小主応力軸、中間主応力軸の結果も同様である。

図 3-5-③-6 に、テストデータを用いた場合に得られた発震機構解と得られた断層面を示す。太い実線は断層面、細い実線は補助面を表している。スコアが同じ解が存在する場合には、複数個の解が表示している。図は断層面と補助面を区別できる場合もあるが、できない場合もあることを示している。

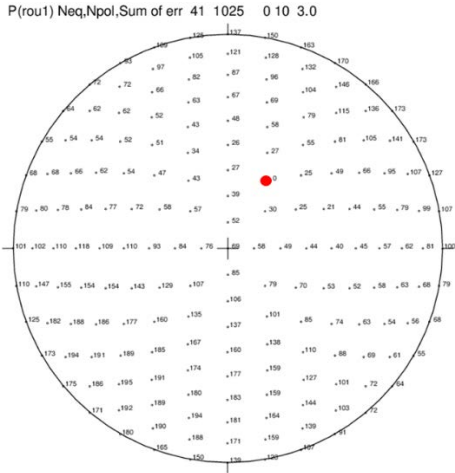


図 3-5-③-5 テストデータを用いた最大主応力方向のインバージョン結果。グリッド横の数字は極性データが矛盾する観測点の数を示す。与えた主応力軸とインバージョンで得られた計算結果は完全に一致しており、極性データの矛盾する観測点は 1025 個中に、1 個も含まれていない。

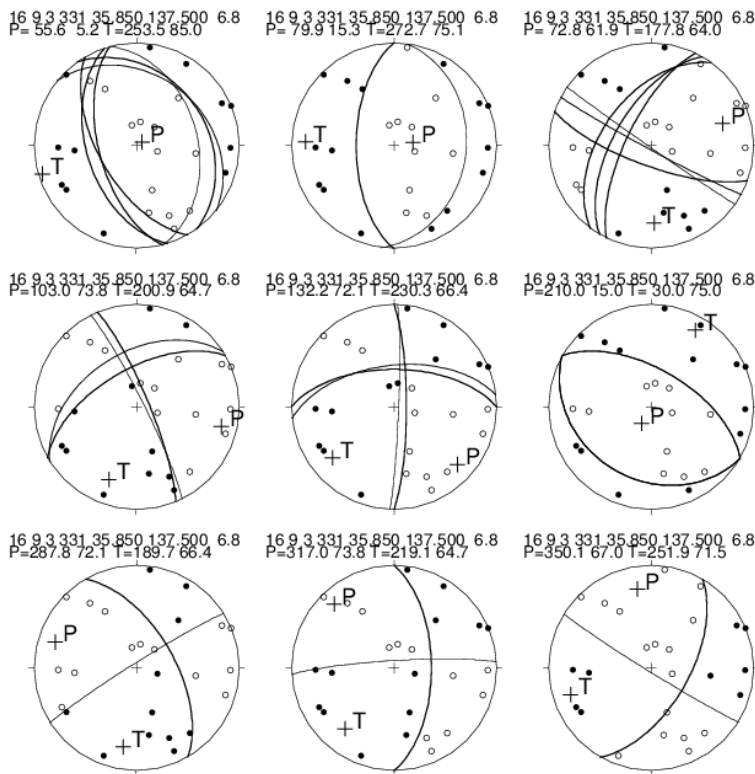


図 3-5-③-6 テストデータを用いた場合に得られた断層面（太い実線）と、補助面（細い実線）。

3) 地震の統計情報の推定と時間的変化の有意性の推定

地震の活動度（発生率）やサイズ分布といった統計的な情報は、応力場とともに地震発生場の状態をモニタする上で重要である。これらの情報の推定には統計モデルに基づき様々な方法が提案されている。統計情報を推定した結果、見出された時間変化について、これが誤差の範囲なのか統計的に有意であるかの検証が大切である。ここでは地震発生率を直接変化して時間変化を検出する方法、z 値による地震発生率の時間変化の検出法、地震のサイズ分布を表すパラメータであるグーテンベルグ・リヒター式（地震規模頻度分布の関係式）の b 値の推定法とその時間変化の検出法、そしてこれらによって検出された時間変化の有意性を評価する方法について開発を行い、ソフトウェアの整備を行った。

地震がポアソン過程などの確率過程に従って発生することから、地震活動を客観的に数値表現するには統計処理が必要となる。ただし、震源分布図、時空間図、あるいは地震規模-時間図などの生データを検討することが、統計処理の前提となる。ここでは、検討の結果切り出された震源要素の時系列を対象として、変化点の検出や有意な変化の検出を行う。変化点の検出には cusum 法を提案する。この方法によって、時系列に現れる変化点の候補を視覚化することが可能となる。また、解析対象とするパラメータの時系列に多くて一個の変化点が含まれるとの前提で、情報量規準(AIC)によって統計的に有意な変化を検出する。

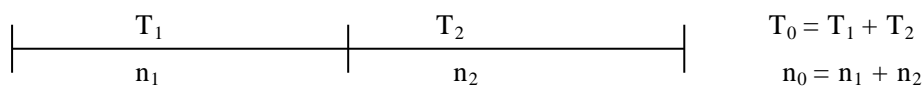
まず地震発生率の変化点の検出を考える。Cusum (cumulative sum control chart 累積和管理図) は時系列解析の手法であり、変化点の検出に用いることができる。この手法を地震発生率の変化検出に応用する。期間 T に n 個の地震が発生していたとする。地震発生がポアソン過程に従うとすると、地震発生率 λ の最尤推定値は n/T となる。地震発生率が期間中不変であれば、時刻 t における積算地震数の期待値は、 $N(t)=\lambda t$ で与えられ、観測された地震数の積算 $Sum(t)$ は $N(t)$ の周辺を変動する。期待値と観測値の偏差

$$Res(t) = Sum(t) - \lambda t$$

が 0 の周辺にとどまっていれば期間中に地震発生率は変化しなかったと見なせる。

$Res(t)$ のグラフで右上がりの傾向が認められれば、地震活動がその期間中は平均より活発であったことを示す。右下がりの場合には、平均より静かであったといえる。グラフの傾斜から発生率の変化分を見積もることができる (図 3-5-⑤-7)。その変化の有意性については、別途解析が必要となる。

次に、地震発生率変化の有意性を検討する必要がある。ここでは、地震発生がポアソン過程に従うとして、統計的に有意な地震発生率の変化を情報量規準によって検出する。期間 T_0 を 2 期間 T_1 、 T_2 に分け、それぞれの期間で n_1 、 n_2 個の地震が発生していたとする。このとき、期間 T_1 から T_2 における発生率変化の有無を調べる。



ポアソン過程における発生率の最尤推定値は次式で与えられる。

$$\lambda_i = \frac{n_i}{T_i} \quad (i=0, 1, 2)$$

また、発生率が与えられた時、期間 T で K 個の地震を観測する確率は

$$P(K | \lambda, T) = \frac{(\lambda T)^K e^{-\lambda T}}{K!}$$

となる。すなわち、

$$\log P(K | \lambda, T) = K \log(\lambda T) - \lambda T - \log K!$$

である。

ここで、情報量基準 AIC_1 と AIC_2 を導入する。 T_1 と T_2 とで発生率に変化がない場合と変化した場合のそれぞれの情報量規準 AIC_1 と AIC_2 は次の式で表される。

$$\begin{aligned} AIC_1 &= -2 \times \log P_1(n_1 | \lambda_0, T_1) - 2 \times \log P_2(n_2 | \lambda_0, T_2) \\ &\quad + 2 \times 1 \\ &= -2 \times \{n_1 \log(\lambda_0 T_1) - \lambda_0 T_1 - \log n_1!\} \\ &\quad - 2 \times \{n_2 \log(\lambda_0 T_2) - \lambda_0 T_2 - \log n_2!\} \\ &\quad + 2 \\ &= -2 \times (n_1 + n_2) \log \frac{n_0}{T_0} - 2n_1 \log T_1 - 2n_2 \log T_2 \\ &\quad + 2 \frac{n_0}{T} (T_1 + T_2) + 2(\log n_1! + \log n_2!) + 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AIC_2 &= -2 \times \log P_1(n_1 | \lambda_1, T_1) - 2 \times \log P_2(n_2 | \lambda_2, T_2) \\ &\quad + 2 \times 2 \\ &= -2 \times \{n_1 \log(\lambda_1 T_1) - \lambda_1 T_1 - \log n_1!\} \\ &\quad - 2 \times \{n_2 \log(\lambda_2 T_2) - \lambda_2 T_2 - \log n_2!\} \\ &\quad + 2 \times 2 \\ &= -2 \times (n_1 \log n_1 - n_1 - \log n_1!) \\ &\quad - 2 \times (n_2 \log n_2 - n_2 - \log n_2!) \\ &\quad + 2 \times 2 \\ &= -2 \times (n_1 \log n_1 + n_2 \log n_2) + 2(n_1 + n_2) \\ &\quad + 2(\log n_1! + \log n_2!) + 4 \end{aligned}$$

2つのモデルの AIC の差 ΔAIC は次の様になる。

$$\begin{aligned}
 \Delta AIC &= AIC_1 - AIC_2 \\
 &= -2n_0 \log \frac{n_0}{T_0} - 2n_1 \log T_1 - 2n_2 \log T_2 \\
 &\quad + 2n_0 + 2(\log n_1! + \log n_2!) + 2 \\
 &\quad + 2(n_1 \log n_1 + n_2 \log n_2) \\
 &\quad - 2n_0 - 2(\log n_1! + \log n_2!) - 4 \\
 &= -2n_0 \log n_0 + 2n_1 \log n_1 + 2n_2 \log n_2 \\
 &\quad + 2n_0 \log T_0 - 2n_1 \log T_1 - 2n_2 \log T_2 - 2 \\
 &= -2n_0 \log \lambda_0 + 2n_1 \log \lambda_1 + 2n_2 \log \lambda_2 - 2
 \end{aligned}$$

ΔAIC の値が 1 (程度の値) より大きい場合に、発生率の変化が有意であると見なせる。

次に z 値の導入を考える。これは地震発生率の変化を調べるために提案されているものであり(例えば Habermann, 1981; Habermann, 1982; Haberman, 1987)、次の式で定義される。

$$z = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

ここに、 μ_1 、 μ_2 と σ_1 、 σ_2 は期間 T_1 、 T_2 における地震発生率と標準偏差である。この期間に発生した地震数を n_1 、 n_2 とする。期間 T_1 と T_2 は dt の長さで N_1 と N_2 区間に分けられているとする。即ち、 $N_1 = T_1/dt$ と $N_2 = T_2/dt$ と表される。全期間を通して地震発生率に変化がない場合には、十分大きい標本では、 z 値は平均 0. で標準偏差 1. の標準正規分布に従う。 $z = \pm 2.575$ (99%) を越えると有意な変化があったと見る。

地震発生がポアソン過程に従うことを仮定すると、上の式は次の様に表される。二つの期間のポアソン率 λ_1 、 λ_2 は n_1/T_1 、 n_2/T_2 で与えられる。1 区間当たりの平均発生率は n_1/N_1 、 n_2/N_2 となる。また、分散 (標準偏差の 2 乗) は n_1/N_1 、 n_2/N_2 となる。これらを、 z 値の定義式に代入して、

$$\begin{aligned}
 z &= \frac{\frac{n_1}{N_1} - \frac{n_2}{N_2}}{\sqrt{\frac{n_1}{N_1^2} + \frac{n_2}{N_2^2}}} \quad \text{。 または、} \\
 &= \frac{\frac{n_1}{T_1} - \frac{n_2}{T_2}}{\sqrt{\frac{n_1}{T_1^2} + \frac{n_2}{T_2^2}}}
 \end{aligned}$$

を得る。最後の式は、区間数に依存しない式となっている。

さらに、平均地震規模の変化点検出について検討した。地震発生率の変化点の検出で用いた Cusum 法を、平均地震規模の変化検出にも応用する。平均地震規模は b 値の最尤推定値と逆数の関係にあるので、平均地震規模の変化点検出は b 値の変化点検出と同等である。期間 T に n 個の地震が発生していたとする。平均地震規模 M_{av} は $3Mi/n$ で与えられる。もし、地震規模頻度分布が期間中不変であれば、 i 個の地震規模の和は $M_{av} \times i$ を期待値としてその周辺を変動する。この期待値からの偏差 $ResM(t)$ を調べることで、問題とする期間における地震規模頻度関係式の変化を検出することができる。ここで、

$$ResM(t) = \sum_{t_j < t} (M_j - M_{av})$$

である。ここで、右上がりの傾向は平均地震規模が M_{av} より大きいことを表すことになる。可視化手法としては、横軸を時間軸とする場合と、発生順番号とする場合の二通りが考えられる。時間軸とする場合には、変化点の発生時期を図から直接読み取ることができる(図 3-5-③-8)。発生順番号とすると傾きから平均規模の変化量を読み取ることができる。

b 値も地震活動を評価する一つの手法として知られている。但し、その変化の有意性について検討する必要がある。地震規模頻度の分布が Gutenberg-Richter の関係式で表されるとし、関係式の係数 b 値の有意な変化を情報量規準に基づき検出する。地震規模頻度の分布 $f(M)$ を次式で表すことができる。

$$f(M) = \beta \exp(-\beta M) \quad \text{ただし} \quad \beta = b \ln 10$$

n 個の地震を観測し、その地震規模を M_i ($i=1, 2, \dots, n$) とすると対数尤度は次の様に表される。

$$\ln L(\beta) = n \ln \beta - \beta \sum_{i=1}^n M_i$$

このとき β の最尤推定値は次式で与えられる。

$$\beta = \frac{n}{\sum M_i}$$

この時、 b 値は

$$b = \log e \times \beta$$

となる。期間 T_1 、 T_2 において、 n_1 個の地震 M_i ($i=1, 2, \dots, n_1$)、 n_2 個の地震 M_j ($j=1, 2, \dots, n_2$) が観測されているとする。

$$\begin{array}{|c|c|} \hline T_1 & T_2 \\ \hline n_1 & n_2 \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{l} T_0 = T_1 + T_2 \\ n_0 = n_1 + n_2 \end{array}$$

b 値に変化がない場合の AIC1、T1、T2 で異なる場合の AIC2 とすると、それぞれ

$$\ln L_0(\beta_0) = n_0 \ln \beta_0 - \beta_0 \left(\sum M_i + \sum M_j \right)$$

$$AIC1 = -2 \times (n_0 \ln \beta_0 - n_0) + 2$$

$$AIC2 = -2 \times \left\{ (n_1 \ln \beta_1 - n_1) + (n_2 \ln \beta_2 - n_2) \right\} + 4$$

であり、AIC の差は以下のようなになる。

$$AIC1 - AIC2 = 2n_1 \ln \beta_1 + 2n_2 \ln \beta_2 - 2n_0 \ln \beta_0 - 2$$

次に、地震規模頻度分布が Gutenberg-Richter の関係式で表されるとし、時間変化する地震規模頻度分布をベイズ統計の手法により推定する (Imoto, 1987; 井元, 1987)。本手法は多項分布の尤度 L を基本式とするため、 $m_1 \leq M < m_2$ で表される地震規模を dM で分割し各級の頻度を尤度式に含んでいる。従って、地震規模が m_2 より大きい地震は処理に含まれていない。事前分布 π により、時間的に隣り合う b 値の差が小さくなることを制約にしている。ベイズ型情報量規準 ABIC は次式で定義される。

$$ABIC = -2 \log_e \int L(\mathbf{q}) \pi(\mathbf{q} | u) d\mathbf{q}$$

u は超パラメータと呼ばれ、 b 値のバラツキに関係した変数である。グリッドサーチにより ABIC を最小にする u を求める (Imoto, 1987)。事後分布 $L(\mathbf{q}) \pi(\mathbf{q} | u)$ を最大にする \mathbf{q} が b 値の変化を与える。ここに、 b 値と \mathbf{q} は次の関係にある。

$$q_i = b_i \Delta m \ln 10$$

解析期間の始点と終点を一定数 (200 個) の区間に分け、各区間において級別に地震頻度を計数する。有意な変化が認められない場合には、 u の値は 10^{-3} 程度の小さな値となり、出力された b 値にも時間変化がない。 b 値の誤差は、分散の平方根が出力されている。これらの理論的根拠は、Imoto (1991) に従った。

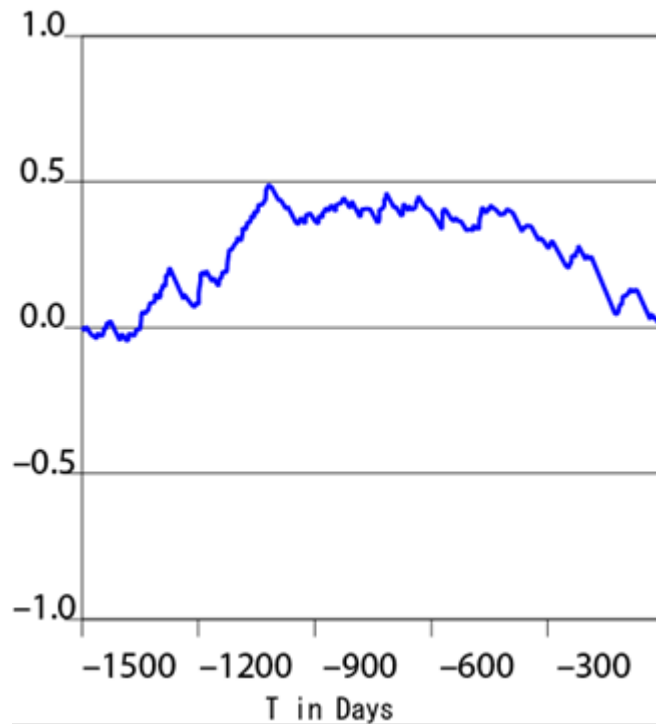


図 3-5-③-7 ある地震発生前 1500 日における地震発生を cusum 法で表示する。
-1500~-1000 日では活発で、-500~0 日で地震活動が低調となる。

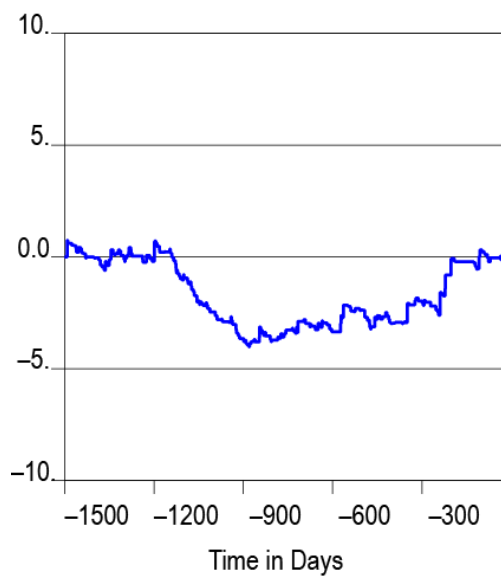


図 3-5-③-8 ある地震発生前 1500 日における ResM(t) を cusum 法で表示する。
-1200~-900 日では平均地震規模が小さく、-900~-200 日で地震規模が大きくなっている。

(4) DONET 2 データの自動読み取り機能への導入

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 のデータを導入するため、観測点数の増加のためのシステムの改修およびパラメータ調整を行った。観測点増設に伴う取り込みは、増設された観測点を含む全波形データの

win パッケージの読み取り、チャンネルテーブルの追加で対応するようにした。

(c) 業務の成果

この研究の成果として、上記の地震活動度および統計情報を可視化して Web で表示するシステムの作成を検討した。地震発生空間分布や時間変化、統計情報等について地図上やグラフ上にプロットし可視化することで、現在の地殻活動の情報やその時間変化を容易に把握することができる。上記項目で開発を行った応力場の推定、地震活動度と統計情報について、推定結果を可視化し、南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム上で即時的に展開、情報発信するために、各種情報を地図上にプロットし、また時間変化についてのグラフを作成するシステムの構築を行った。

まず、自動震源決定システムによるリアルタイム震源決定結果を可視化するプラットフォームの構築を行った(図3-5-③-9)。図のリアルタイム震源情報プロットでは、左のパネルに震源の分布を示し、地図上および深さ断面図によって三次元の震源分布が把握可能となっている。ここに示す図には過去一週間の活動がプロットされているが、同様のプロットは過去一か月および六か月のプロットも作成している。プロットする期間は任意に調整可能である。地図上には、期間の中で最大および最新の地震についての詳しい震源情報が表示される。地震活動は、いくつかの活動が活発なクラスターに分けられ、地図上にはこれを示す枠が表示されている。それぞれのクラスターについて、地震の累積頻度、マグニチュード、地震のサイズ分布を示している。線の色によって、クラスターの区別が行える。

この図において、地震活動クラスターの指定は長方形であり、その四辺は緯度、経度に平行な場合となっている。しかし、地震のクラスターの形状は場所によって異なりより柔軟に範囲を指定することで、より正確な活動の把握が可能となる。従ってクラスターの範囲指定を多角形によって柔軟に行えるよう機能向上を行った(図3-5-③-10)。地震の活動度についてはクラスター内の積算だけでなく、地図上の断面における時間系列を可視化するプロットも作成した(図3-5-③-11)。このプロットによって、クラスター内および地震監視域全体を俯瞰して、地震活動の空間変化を監視可能となる。すなわち、地震の活動域が移動した場合についても監視が可能である。これらのプロットは機能や視認性に一長一短がある。必要とされる情報は、ここで示した情報以外にも多岐にわたっており、今後これらの情報を統合しつつ、より視認性の優れた表示に改善していく予定である。

地震の震源情報から地震発生域の状態をモニタにより把握し、将来の地震発生予測に役立てるためには、地震の統計的性質を推定し、統計情報を活用することが重要である。応力場および地震の統計情報の推定結果とその空間分布、時間変化を可視化し、モニタするシステムの開発を行った。

図3-5-③-12に示すのは地震の**b**値(マグニチュード—頻度分布における傾き)の時間変化である。地震の**b**値は震源の応力レベルと関連していると考えられている。図3-5-③-13にはP波初動極性検出機能向上により得られた地震のメカニズム解の主軸(P、T軸)の分布、図3-5-③-14にはこのメカニズム解から推定された

応力場の主軸方位の時間変化のプロットである。

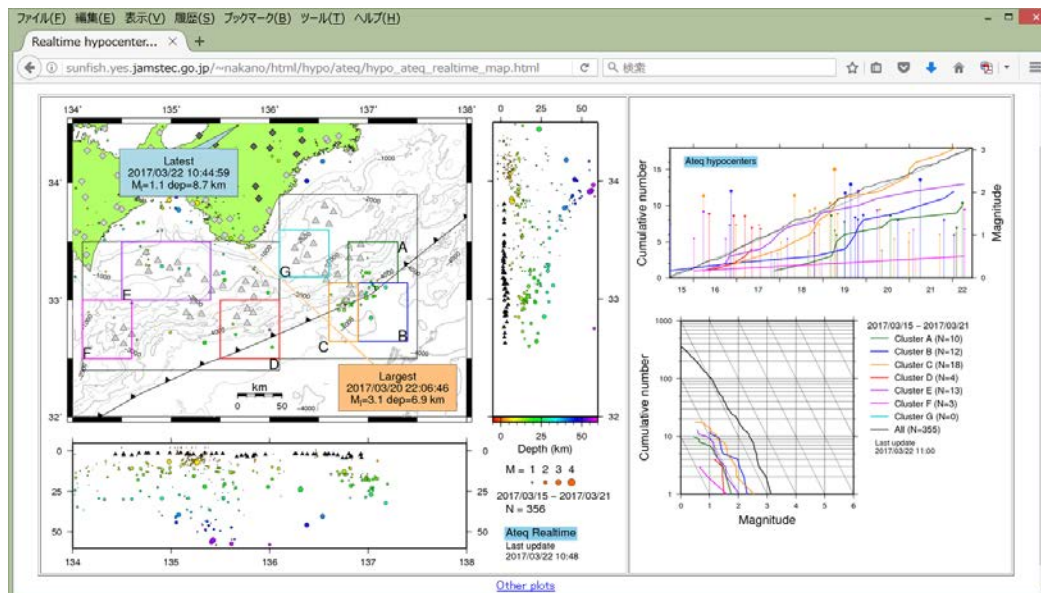


図 3-5-③-9 リアルタイム震源情報プロット。左のパネルは震源の分布（地図上、および深さ断面図）。図には過去一週間の活動がプロットされており、その中で最大の地震（オレンジの枠）および最新の地震（青の枠）についての詳しい震源情報が表示される。地図上、A~F の枠は地震活動のクラスターを示し、それぞれの枠内の活動について、右のパネルに示す。右のパネルは各クラスターにおける地震の累積頻度（右上）、マグニチュード（右上）、地震のサイズ分布（右下）を示す。線の色は左のパネルの各クラスターの活動に対応する。

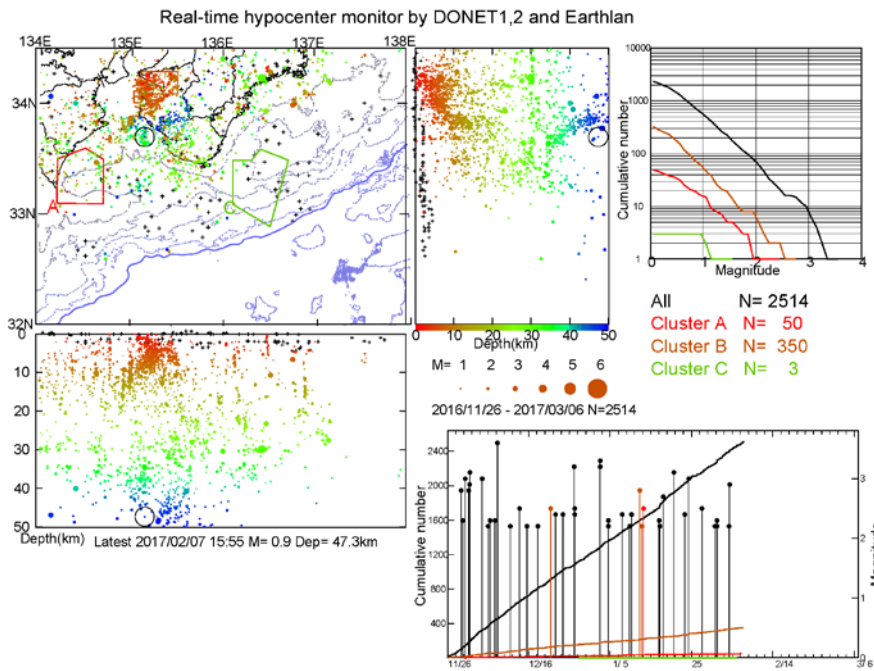


図 3-5-③-10 震源情報プロット。クラスターの範囲指定を多角形で行うことが出来る（赤、茶、および緑の線）。右上の図では各クラスターにおける地震のマグニチュード-頻度分布、右下の図では累積頻度と地震のマグニチュードを示す。

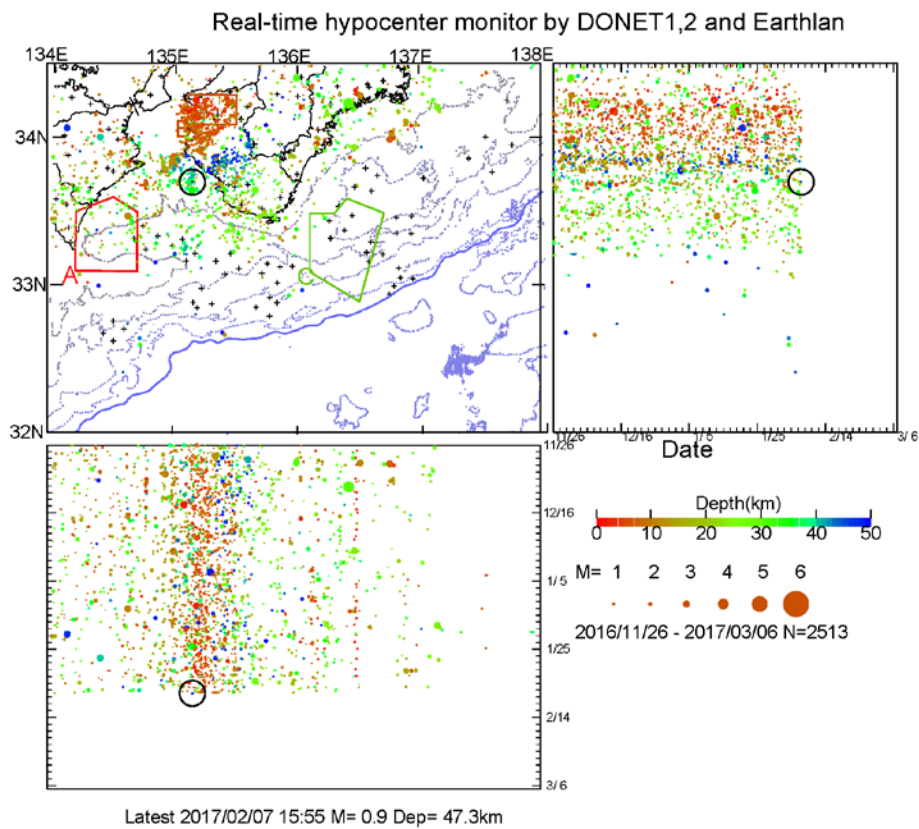


図 3-5-③-11 地震の活動度について、時間断面でプロットした場合。地震活動の時空間的な移動が監視可能である。丸印は最新の地震。

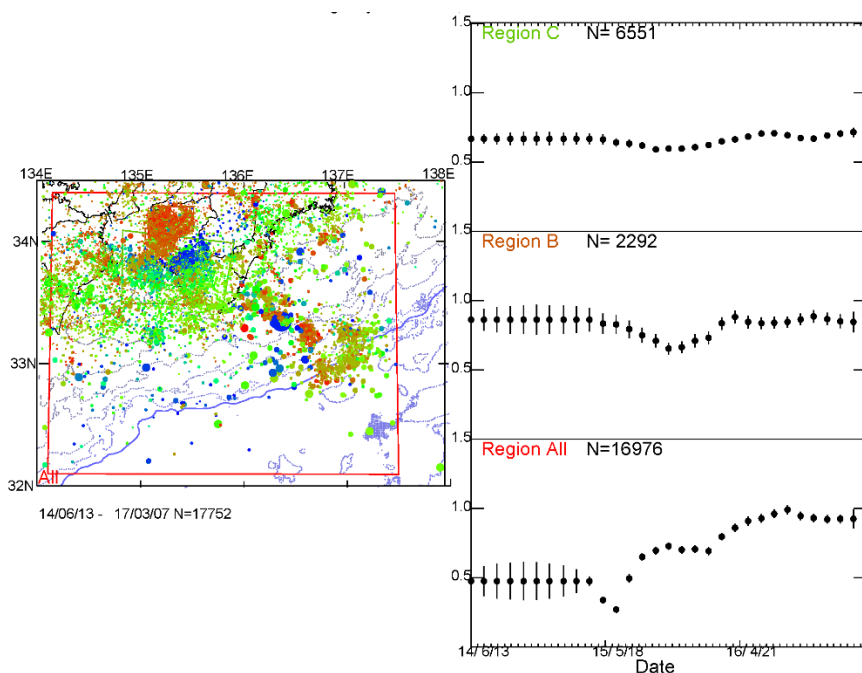


図 3-5-③-12 地震の統計情報 (b 値) の時間変化のプロット。左は震源分布と b 値の評価を行ったクラスターの範囲、右は各クラスターにおける地震の b 値の時間変化のプロット。

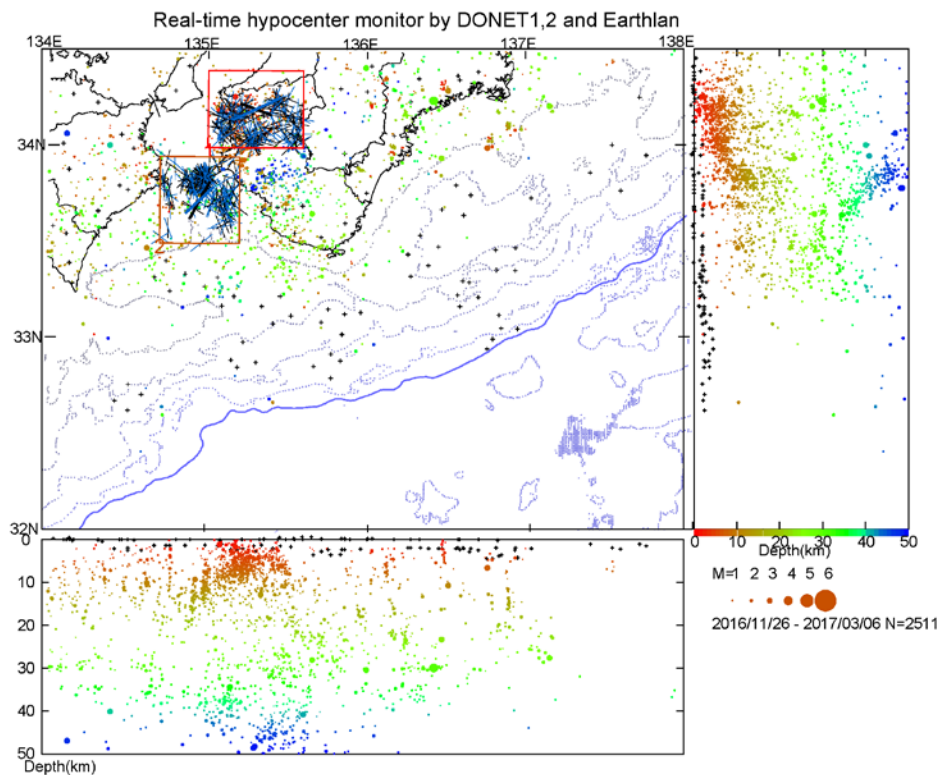


図 3-5-③-13 地震の発震機構解から得られた T 軸 (黒線) と P 軸 (青線) の方位の分布。

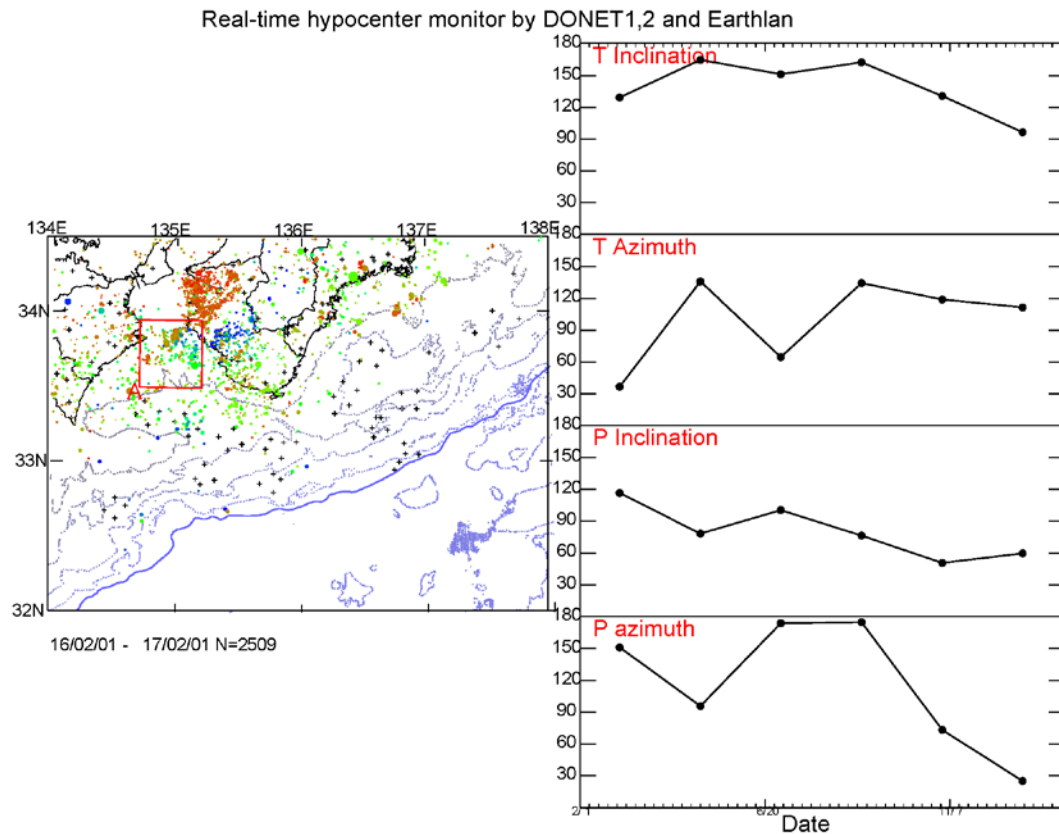


図 3 - 5 - ③ - 14 地震の発震機構解から得られた応力場の主軸方位の時間変化。

(d) 結論ならびに今後の課題

ここまで、DONETデータの自動検知と自動震源決定をシステム化し、これらの情報から統計情報の推定と可視化までつなげた。これらの情報はアーカイブではなく、リアルタイムで求める必要がある。今年度システムを動作させたが、これらの地震の統計情報の推定には、ある程度の地震の数が必要である。統計情報の推定に必要な数の地震を確保することで、同様の図を今後海域で作成し、データの蓄積を進める。プロットが必要な期間については今後アーカイブデータも用いて検討し、海域の震源モニタを行っていく予定である。

このように推定パラメータを可視化することにより、震源の状態のモニタと変化の検出が可能となる。ここでは b 値と応力場についてのプロットを示したが、他の統計情報である地震発生率、 z 値、平均地震規模等についても同様の時空間プロットの作成が可能である。これらのパラメータの時空間変化の推定値と有意性を併せて示すことにより、地震発生域の応力状態のモニタ、そして地震活動の予測能力の向上が期待される。

(e) 引用文献

Horiuchi, S., G. Rocco, and A. Hasegawa, Discrimination of fault planes from auxiliary planes based on simultaneous determination of stress tensor and a large number of a fault

plane solutions, *J. Geophys. Res.*, 100, 8327-8338, 1995.

Habaermann, R.E., Precursory seismicity patterns: Stalking the mature seismic gap, in *Earthquake Prediction, An International Review, Maurice Ewing Ser.*, vol. 4, edited by D. W. Simpson and P. G. Richards, p29-42, AGU, Washington, D.C. , 1981.

Habermann, R.E., Seismicity rates in the Kuriles Island Arc, *Earthquake Predict. Res.*, 1, 73-94, 1982.

Habermann, R. E., Man-made changes of seismicity rates, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 77, 141-159, 1987.

Imoto, M., A Bayesian method for estimating earthquake magnitude distribution and changes in the distribution with time and space in New Zealand, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, vol 30, 103-116, 1987.

井元政二郎, 東海地域における最近の b 値の時空間変化について、地震第 2 輯, 第 40 卷 19-26, 1987.

Imoto, M. , An application of Bayesian (ABIC) smoothing methods to estimating space and time variations in the magnitude distributions of earthquakes, *Ann. Inst. Statist. Math*, 2, 207-225, 1991.

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

今年度の業務は、平成 27 年度に高知県南国市で実施した避難意図構造の分析結果を静岡県沼津市において追試し、その知見の一般化を検討すること、ならびにその結果を踏まえ HUG(避難所運営ゲーム)方式によるワークショップを開催し、住民を対象とした地域への働き掛けを試行的に行うことを目的とした。

具体的には、第 1 に、沼津市の地域リーダーに対する聞き取りを行い、地域課題を把握した。

第 2 に、地域課題として指定された避難所運営訓練について、沼津市の対象地区および昨年度の対象地域である南国市において、避難所運営訓練の支援を実践した。

第 3 に、避難意図構造とこの避難意図に影響を持つと考えられる条件の特定を、沼津市で実施した稠密な住民調査に基づき分析を行った。その結果、避難意図構造として 5 因子が、さらにこれら 5 因子のなかで主観的規範のみが避難意図を有意に規定するという結果を得た。

(b) 業務の実施方法

静岡県沼津市第 2 地区および第 3 地区の地域リーダーに対して、地域課題の聞き取りを実施した。また、そのうち第 3 地区我入道の 1,000 世帯を対象とした質問紙調査を実施した。有効回答は 490 票であり、有効回収率は 49%であった(詳細は「(c)業務の成果」の「2)避難意図構造と規定因に関する量的調査結果」の項を参照)。

加えて、対象地区において静岡県が開発した HUG(避難所運営ゲーム)方式でワークショップを 2 回開催した。

(c) 業務の成果

対象とした地域は、平成 25 年度に住民調査を実施し、平成 26 年度に市の防災担当者ならびに地域リーダーヒヤリングを実施した沼津市とした。

対象地区は、沼津市の中心市街地沿岸部であり、沿岸で 5～7 m 程度だが、浸水深 2 m 程度の津波で内陸部まで浸水することが予想されており、避難が求められる地区である。避難が難しくなる浸水深 30 cm 程度には地震後 15 分以下の余裕時間しかなく、地域の一部に避難困難地区を含む地域である。

1) 地域課題の把握

2016 年 10 月 20 日に、狩野川の両岸にあたる沼津市第 3 地区および第 2 地区を対象に地域リーダーへの聞き取り調査によって地域課題の抽出を行った。第 3 地区の我入道地区では、狩野川と狩野川の東にある 12.2m の山を超えて浸水することが予想されている。地域内には高い建物や高台がなく、避難困難地区が存在し、また海岸に形成されている浜堤が避難場所であることから、多くの住民は海に向かって避難を迫られることになる。また、第 2 地区でも、海岸および狩野川から浸水が予想され、高齢者の中で避難所まで逃げられないと言っている地区がある。

実際に、今年度に我入道地区で実施した住民調査においても、図 3-5-④-1 に

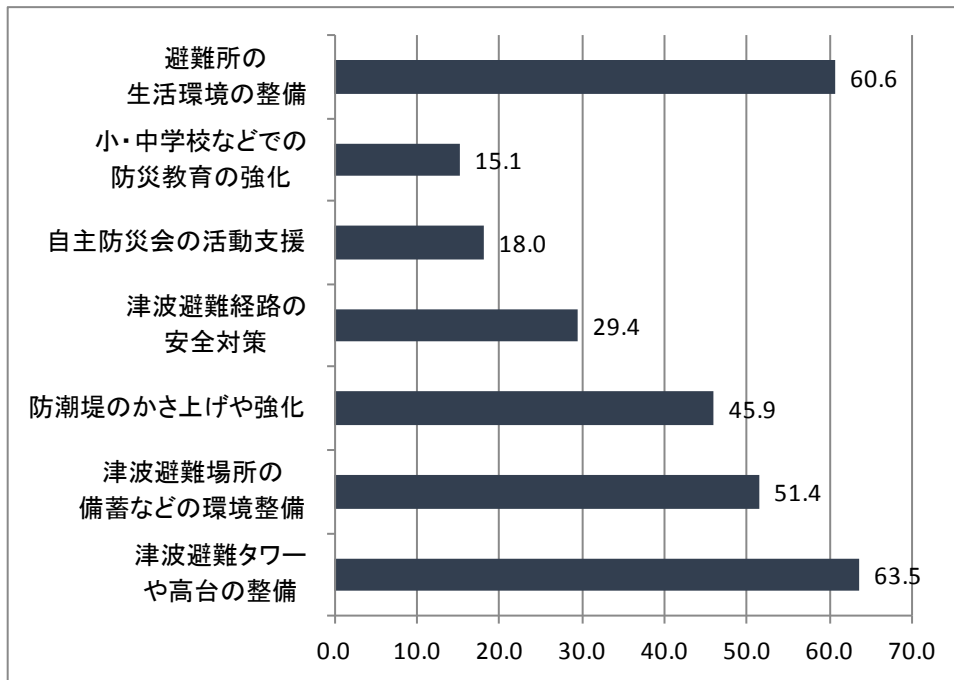


図 3-5-④-1 地域住民が行政に期待すること

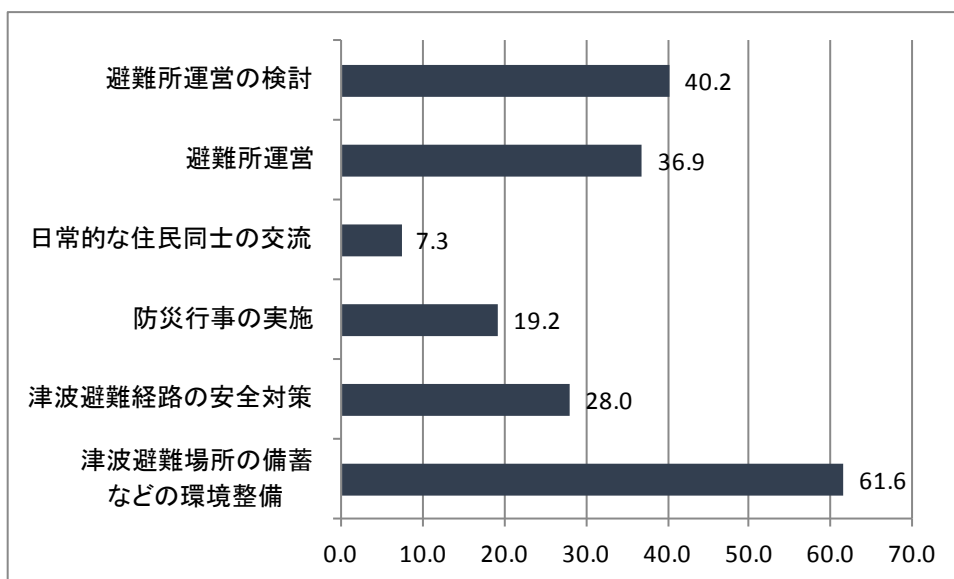


図 3-5-④-2 地域住民がみる地域で取り組むべきこと

示したように（表 3-5-④-1 調査概要を参照のこと）、行政に期待することとして、津波避難タワーや津波避難場所の備蓄等環境整備への要望が高くなっていた。

沼津市および地域リーダーは、まず「自分の命を第一に」と伝えているが、住民は「揺れたら逃げる」という意識はないという。避難勧告が出ていない時点では、自治会からの呼びかけでも難しいだろうと懸念していた。実際に、後述するように他市町村と比べても、強い揺れで避難しようと思う比率は低い（図 3-5-④-7 参照）。

また、東日本大震災が発生してから、地域の防災意識が高まったが、あまりにも津

波に対する衝撃が大きく、津波避難への意識に集中しているという。その結果、倒壊する建物に対する意識が抜けていることに懸念を表明していた。具体的には、家が壊れることはないという想定で、「まず逃げる」という訓練となっている。市は「まず避難ビルに逃げましょう。ある程度安全が確認されたら自宅に戻ってください。自宅が大丈夫そうであれば避難所に来なくていいです。」と指導しているものの、地域住民は「自宅は倒れたら倒れればいい、逃げたらいい」という意識であり、住民は津波に対してまず逃げるとしか考えておらず、耐震化のことはほとんど考えていないのではという懸念が表されていた。実際に、今年度の量的調査において、自宅を耐震化している人は8.4%で、「耐震化する必要のない家に住んでいる」14.7%を除く85.7%の1割程度に留まっているという結果が得られている。

さらに、情報が複雑化あるいは輻輳しているという指摘があった。例えば、津波到着時間に関する情報が国の想定と県の想定で変わっており、混乱しているという。情報の一本化への要望が出されていた。

このほか、避難所運営の練習経験がないことから、逃げた後の生活避難対策が今後のひとつの課題と感じているとのことであり、今年度の量的調査においても、図3-5-④-2に示したように、地域住民が地域で取り組むべきことの第2位にあげられていた。このことを受け、今年度は対象地区において、避難所運営訓練をサポートするワークショップを実施した。

2) 避難意図構造と規定因に関する量的調査結果

平成27年度に実施した高知県南国市での避難意図構造分析結果の一般化を図るために、平成28年度においては静岡県沼津市で稠密な住民調査を実施した。

表3-5-④-1に示したように、沼津市我入道の1,000世帯を対象として実施した。単位自治会の市の広報紙配布担当者を通して、調査票と回収用封筒を調査対象者に配布し、郵送で委託調査会社に返信・回収した。世帯調査ではなく個人調査であるため、無作為に回答者を抽出するため、「1月1日から最も早く誕生日がくる高校生以上の方お一人」に回答を求めた。有効回答は490票であり、有効回収率は49%であった。

表3-5-④-1 調査概要

調査方法：自治会経由で配布、郵送回収

調査時期：2017年2月

対象者数：1,000世帯

回収数：有効回答数490票（有効回答率49%）

調査票の設計の概略は図3-5-④-3に示した通りである。最終的な目標は、実際の避難行動（図中の⑥）を生むリスクコミュニケーションに資する知見を生み出すことであるが、そのためには避難意図（図中⑤）を高めることを目標としている。この避難意図に対して、図中①で示したより一般的な防災全般に対する態度ならびに態度の行動的な側面の指標である防災準備行動、②で示した個人属性、④で示した実行可

能性や効果性評価等の規定因が直接的に影響していることを仮定している。また、③で示した地域課題や世帯毎の課題の認知は、実行可能性や規範等の避難意図の規定因④に影響しているものと仮定している。

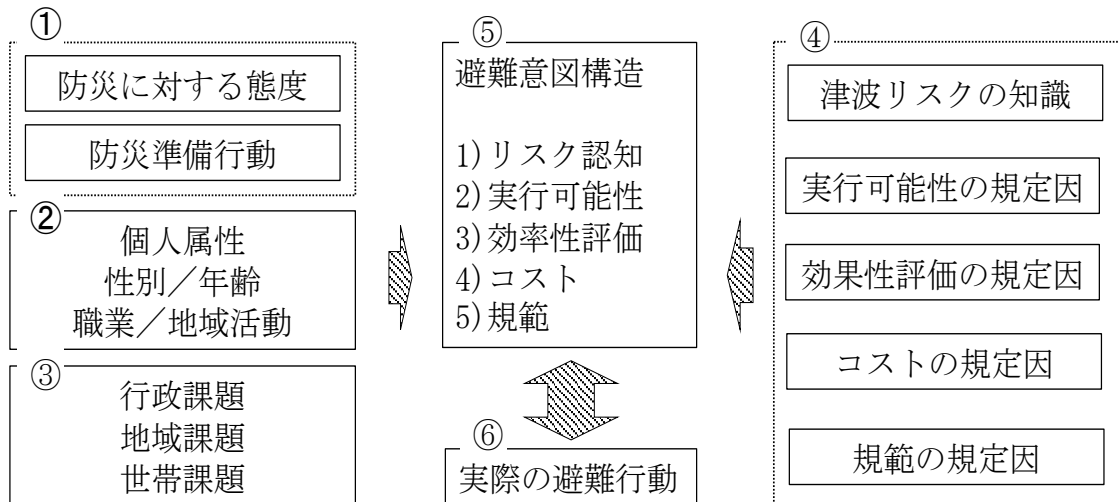
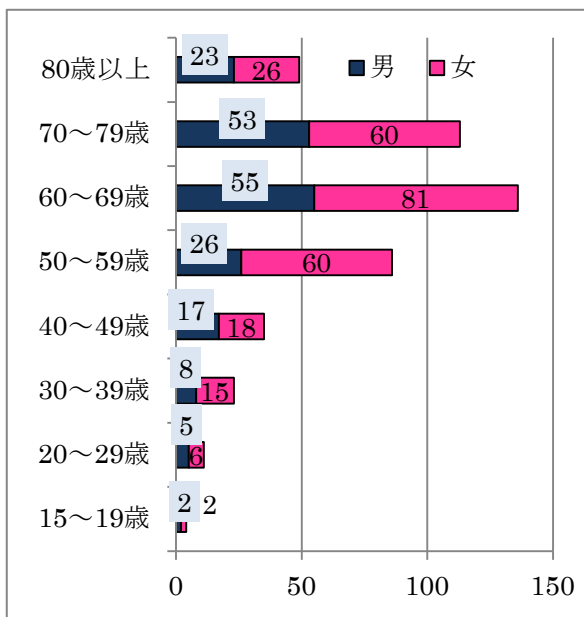
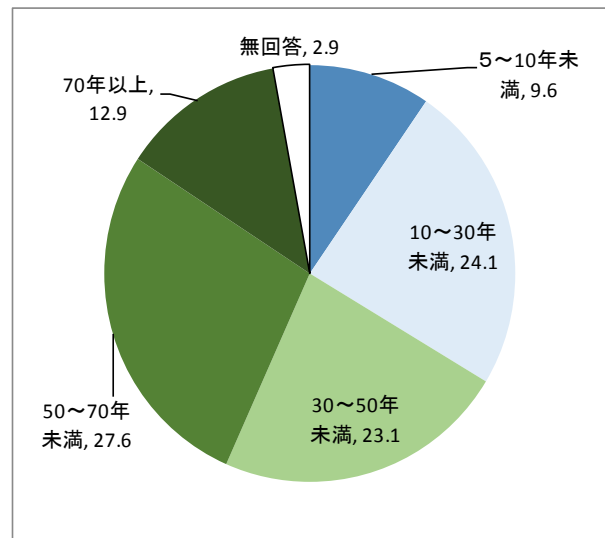


図 3 - 5 - ④ - 3 調査票の設計



(単位人)

図 3 - 5 - ④ - 4 性別年齢実数



(単位%)

図 3 - 5 - ④ - 5 居住年数

回答者の基本属性は、図 3 - 5 - ④ - 4 に年代別性別を示したように、男性が 38.8% に当たる 190 名、女性が 55.1% に当たる 270 名と女性が多い。なお、6.1% の 30 名が無回答であった。年代別では、10 代・20 代が 3.0%、30 代・40 代が合わせて 12.8%、50 代が 17.6%、60 歳代が 27.8%、70 歳代以上が 33.3%、平均年齢 63.0 歳と高齢層が多い結果となった。そのため、職業も、無職が 27.3% と多く、ついで専業主婦 19.8%、勤務者 18.0%、パート・アルバイト 13.3%、自営業 8.2% となっている。地域での役員

等の経験は、何もしていない人が56.5%と過半数を占めるが、自治会・町内会長を22.9%が経験しているほか、自主防役員を2.4%、婦人会を8.6%が経験している。

また、図3-5-④-5に示したように、居住年数は30年以上が63.6%を占めており、50年以上に限っても40.5%と長い人が多い。このように、今回の対象地区は、長年にわたり住んでいる人が多く、コミュニティの強い地域といえよう。これらの傾向は、今年度の量的調査からも「地域の運動会、お祭り、共同の清掃などの行事や会合」に「良く参加している方だ」が38.2%、「どちらかといえば参加している方だ」が33.9%と割合が高い結果からも確認できる。これらの傾向は長年の東海地震対策を経て、防災面にも現れており、この1年以内に地域の津波避難訓練に参加したことがない人は25.1%にとどまり、4分の3の人が訓練参加という他地域には見られない高い参加率にも現れている。避難意図構造モデルで仮定している「規範」が効果を持つ可能性を示す結果となっている。

大地震の発生危険性の認知も高く、図3-5-④-6に示したように、近々この地域で大地震が起こるか」に対して、「必ず起こると思う」人が24.3%、「おそらく起こると思う」が51.2%と4分の3の人が発生すると受け止めている。津波についても、自宅の津波浸水が「予測されている」が79.4%と認知されている。市のハザード

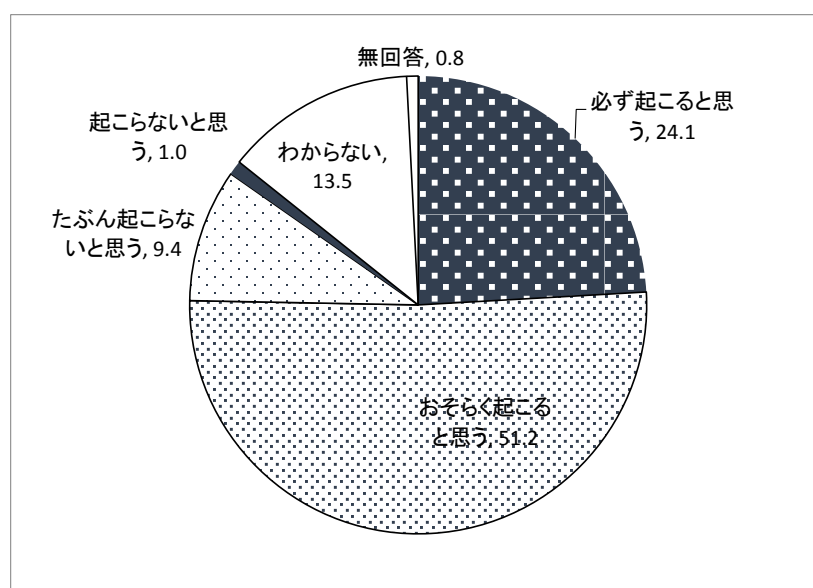


図3-5-④-6 大地震の発生危険性認知

ードマップで示されている地震発生から津波が自宅に到達するまでの余裕時間についても「10分未満」とした人が72.5%、「10分から15分未満」が16.2%と正しく認知されている。その一方で、予想される自宅周辺の浸水深については、「4m以上」が26.5%、「2mから4m未満」が11.8%、「1mから2m未満」が11.1%となっているものの、「わからない」が36.0%と3分の1以上を占めている。避難意図モデルで仮定している「リスク認知」は全般に高い地域であると考えられる。

実行可能性に関する結果は、「津波がくるまでの時間が短い」を74.1%があげており、共通性が高いことから、実行可能性の違いの説明力は弱い可能性がある。しかし、「自分自身の年齢や健康、体力」に不安を持つ人が37.1%、「避難場所までの距離が遠い」を27.8%、

「揺れや火災で通れない道がある」を 23.3%の人があげている。

効果性評価に関する結果としては、「避難場所のスペースの広さ」を 67.3%が、「津波に対する避難場所の高さ」を 55.5%、「津波に対する避難場所の頑丈さ」を 47.8%があげていた。避難場所へ避難することの有効性認知を高める上で、これらの要因に対して丁寧な説明が求められることを示唆する結果となっている。

コストに関しては、避難の支障となる事情の中に「あてはまるものはない」とした人が 32.4%と最も多かったが、「家を離れて逃げるのが難しい病人・高齢者など」の同居人の存在を 30.6%があげていた。避難困難者の問題は容易な解決策がないが、地域支援のあり方や避難場所の施設整備のあり方で、この比率を少しでも下げていくことが求められる。逆に、14.7%があげていた「一緒に避難できないペット」がいる点については、避難場所でのルールや地域合意を通じて解決可能な課題であろう。

避難意図構造を独立変数とした場合の従属変数となる避難意図については、「強い揺れを感じたとき」、「長い揺れを感じたとき」、「大津波警報を聞いたとき」、「避難勧告・避難指示などを聞いたとき」ならびに「近所の人が多くが避難しているのを見たとき」の 5 条件で見た。これまでの結果では、高知県南国市や土佐市と比べて揺れだけで避難しようとする率が相対的に少なく、避難指示・勧告待ちの傾向にあることが分かっている。

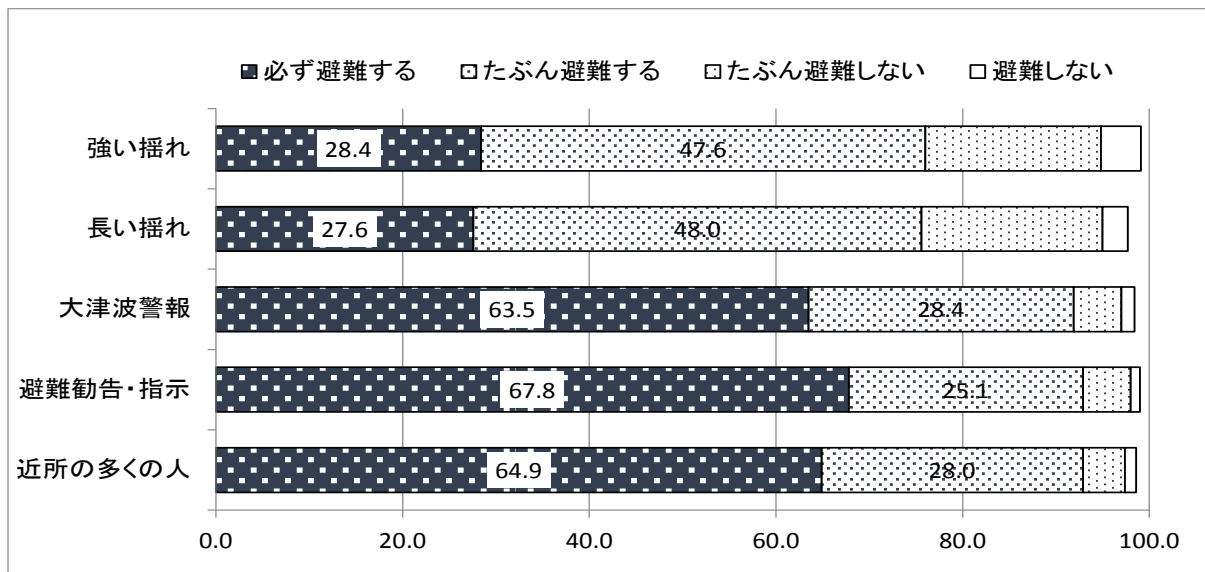


図 3-5-④-7 5 条件に対する避難意図

今回の結果を図 3-5-④-7 に示したが、この傾向を確認する結果であり、強い揺れを感じたら「必ず避難する」とした回答者は 28.4%、「たぶん避難する」が 47.6%と、合わせて 76.0%となっている。これに対して、避難勧告・避難指示を聞いた場合には「必ず避難する」が 67.8%、「たぶん避難する」が 25.1%と、合わせて 92.9%に上昇している。

後述の避難意図構造の従属変数としては、分散を確保するため強い揺れを感じたときおよび長い揺れを感じたときの避難意図選択値の合計を合成変数とした。合成尺度とした強い揺れでの避難意図と長い揺れでの避難意図のクロス集計結果を表 3-5-④-2

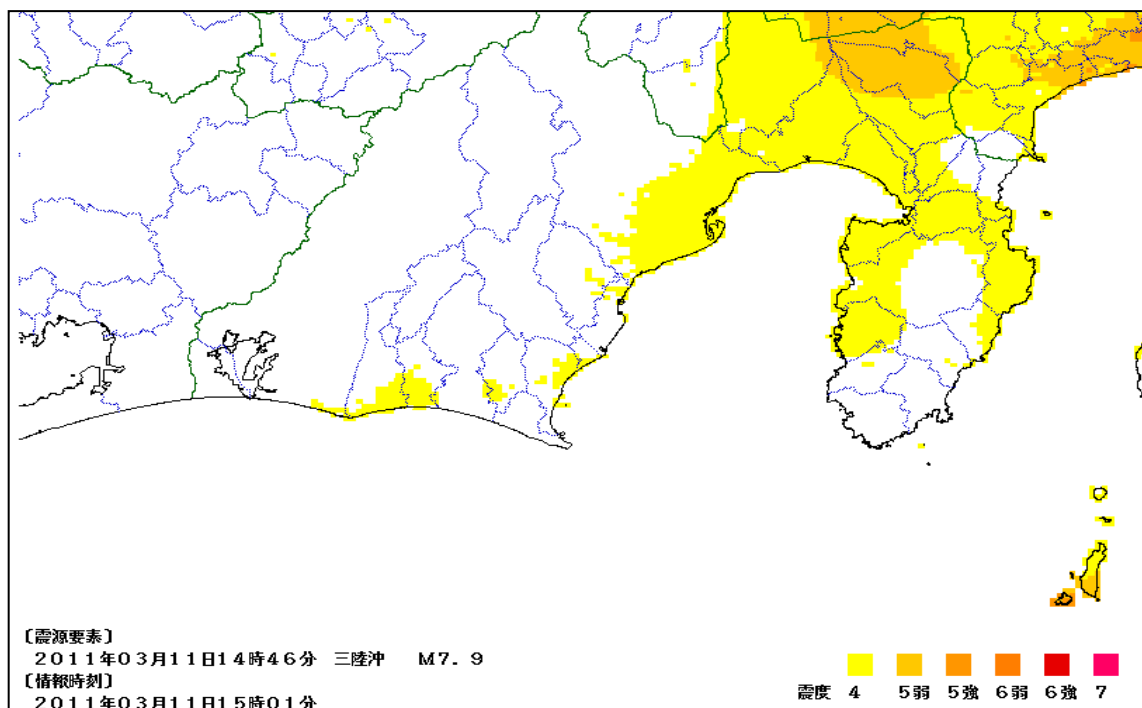
に示した。表中の対角線に分布が集中しているように、強い揺れと長い揺れに対して、たとえば「必ず避難する」といった意図が両条件で相関している傾向はあるが、ずれも認められることから、強い揺れと長い揺れへの避難意図を合成変数にした方が分散は大きくなっていることを確認できる。

これらの避難意図と現実の避難行動との関係を見るために 2011 年 3 月 11 日に発生した

表 3-5-④-2 強い揺れを感じたときと長い揺れを感じたときの避難意図

		長い揺れで			
		必ず避難	おそらく避	おそらく避	避難しない
強い揺れ	必ず避難	19.2	8.2	0.4	0.2
	おそらく避難	8.0	34.9	3.7	0.0
	おそらく避難しない	0.4	3.9	14.3	0.0
	避難しない	0.0	0.8	1.0	2.4

東北地方太平洋沖地震時の避難行動を把握した。2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震時に強い揺れを感じた人は 54.7%、長い揺れを感じた人は 66.1%と高い。気象庁の推定震度分布によれば、沼津市では震度 4 程度となる。



(出典)気象庁 HP 震度データベースから一部を切り取り

図 3-5-④-8 東北地方太平洋沖地震時の推定震度分布

「避難しようと思った」人は 15.6%と 2 割をきっており、「避難しようか少し迷った」人が 22.8%、「あまり避難しようとは思わなかった」(37.1%)、「全く避難しようとは思わなかった」(22.3%)と避難意図は高くなかった。さらに、実際には 79.5%が避難

をしておらず、「避難所に向かい、到着した」人は7.1%まで下がる。図3-5-

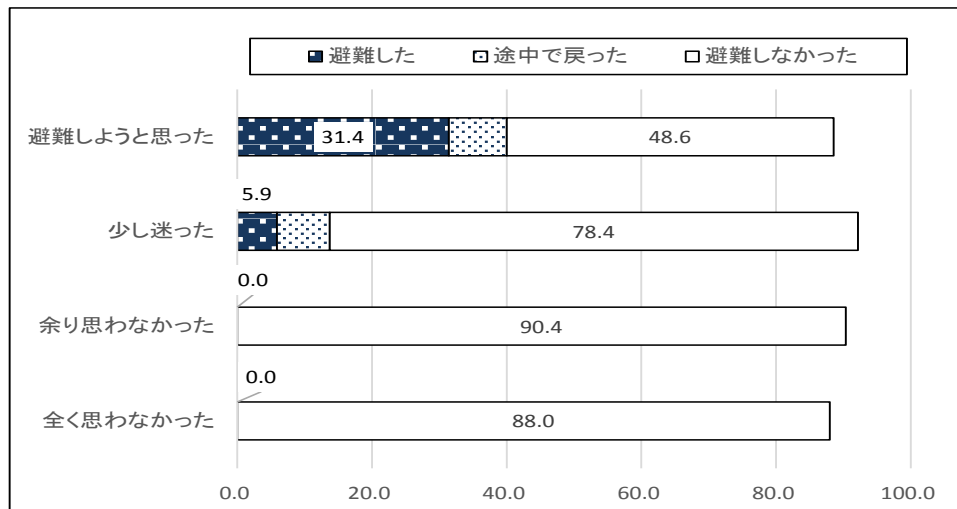


図3-5-④-9 避難意図と実際の避難行動

④-9に示したが、「避難しようと思った」人に実際に避難した人が多く、「余り思わなかった」や「全く思わなかった」人に避難した人はいない。

当然の結果と見えるが、実際の避難行動事例では、避難率が高い地域ではこれら個人の意図レベルでは避難を考えなかった層で、実際には避難をしていることが見出されており、この意図と実際の行動との相違は規範の影響と解釈されているが、今回は意図と実際の行動とが一致していたことになる。

次に、避難意図構造に関する結果を紹介する。

避難意図構造に関しては、18問からなる質問項目を設定し、地域住民の津波避難に関する意図構造モデルを作成した。これらの質問項目は前年度までに実施した調査をベースとしつつ、問題のある項目を修正したものとなっている。

避難意図構造を測定する18項目はそれぞれ「実行可能性」「効果性評価」「主観的規範」「記述的規範」「リスク認知」「コスト認知」の6因子のどれかに当てはまるものとして作成された。よって、まずは6因子構造を指定した因子分析（最尤法、プロマックス回転）を実施したが、実行可能性と効果性評価がひとつの因子にまとまる傾向が認められた。この傾向は指定する因子数を変えても頑健に生じるものであったため、実行可能性と効果性評価とをひとつの因子として全体の因子構造を6因子から5因子へと減らした構造と仮定することとした。また、リスクの項目として設定していた「自宅の建物は、津波に対して危険だと思う」という項目の共通性が低いこと、主観的規範として設定していた「大きな揺れの後に自分が避難しないでも、周りからとがめられることはないと思う」という項目の因子負荷量が低く、且つ、複数の項目に対して同程度の因子負荷量を示すことから、これら2つの項目を除外することとした。

最終的には、16項目に対して5因子構造を指定した因子分析（最尤法、プロマックス回転）を実施したところ、おおむね当初の予測通りの意図構造が検出された（表3-5-④-3）。

さらに、因子分析で得られた各因子が避難意図にどのように影響しているかを検証した。調査対象者は「強い揺れを感じたとき」及び「長い揺れを感じたとき」のそれぞれに対して避難すると思う程度を回答したが、これら二つの回答値の平均値を従属変数とした重回帰分析を実施した。独立変数を上記の5つの因子の平均値とし、ステップワイズ法で独立変数の選定を行った結果を表3-5-④-4に示す。実行可能性や効果性評価、コスト認知は避難意図に影響を及ぼさず、主観的規範、記述的規範、リスク認知がそれぞれ独立に影響を及ぼすという結果が示された。

表3-5-④-3. 避難意図構造モデルの因子分析結果

	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5		
Q5_07	0.727	0.102	0.068	0.069	0.023	実行可能性	G. 地震のとき、急いで家から逃げても、途中で津波に巻き込まれてしまうと思う
Q5_14	0.658	0.011	-0.008	0.061	-0.027	実行可能性	N. 地震の後に、すぐに家から逃げ出しても、無事に避難できる自信がない
Q5_10	0.409	0.099	0.045	0.003	0.126	効果性評価	J. いまの避難場所では、津波に対して十分ではないと思う
Q5_17	-0.426	-0.013	0.121	0.260	-0.096	効果性評価	Q. 避難場所は津波に対して安全だと思う
Q5_04	-0.452	0.115	0.077	0.071	0.011	効果性評価	D. 避難場所までたどりつければ命が助かると思う
Q5_01	-0.653	0.195	0.006	0.032	0.125	実行可能性	A. 地震が起きた後、すぐに家から逃げ出せば、避難場所まで無事にたどり着くことができると思う
Q5_06	0.072	0.878	-0.023	-0.011	-0.039	主観的規範	F. 地震が起きたら、周りの人も私が避難することを望んでいると思う
Q5_02	-0.097	0.704	0.026	-0.043	-0.019	主観的規範	B. 周りの人は私に対して「大きな地震のときはあなたも避難したほうがいい」と思っている
Q5_13	-0.010	-0.008	0.651	0.064	-0.028	記述的規範	M. 強く長い揺れを感じたら、周りの人は、すぐに避難すると思う
Q5_09	0.066	0.151	0.527	-0.016	0.111	記述的規範	I. 津波警報が出たら、地域の人の中で避難する人は多いと思う
Q5_15	0.080	0.079	-0.608	0.168	0.036	記述的規範	O. 大きな地震があっても、周りでは、すぐに逃げる人は少ないと思う
Q5_05	0.042	-0.085	-0.040	0.678	0.108	リスク	E. 津波がきたとき、自宅に残っていても、たいした危険にはあわずにすむと思う
Q5_18	-0.148	0.017	-0.089	0.659	-0.026	リスク	R. 自宅まで、たいした津波は来ないと思う
Q5_08	0.068	0.017	0.050	-0.033	0.683	コスト	H. 避難をすると、大切なものを失ってしまうかもしれないと思う
Q5_03	-0.002	-0.045	0.009	0.153	0.592	コスト	C. 避難をすると、支障がでしまう大事なことがあると思う
Q5_16	0.089	0.060	0.098	0.354	-0.407	コスト	P. 家を離れて避難をしても、失うものやできなくなって困ることはない

表 3-5-④-4. 避難意図を従属変数とした重回帰分析結果

変数	自由度	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	Pr > t	標準推定値 (β)
Intercept	1	1.58755	0.19754	8.04	<.0001	0
Factor2	1	0.34497	0.04481	7.7	<.0001	0.33263
Factor3	1	0.2248	0.05542	4.06	<.0001	0.17843
Factor4	1	-0.18966	0.04133	-4.59	<.0001	-0.189

表 3-5-④-4 の結果はあくまで避難意図を従属変数とした結果であり、実際の避難行動に対して影響するかは不明である。そこで、2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震において実際に避難したかどうかを従属変数とした重回帰分析を実施した。独立変数を上記の 5 つの因子の平均値とし、ステップワイズ法で独立変数の選定を行った結果を表 3-5-④-5 に示す。主観的規範のみが有意な効果を示し、他の 4 因子は有意な効果を示さなかった。

表 3-5-④-5. 東北地方太平洋沖地震での避難行動を従属変数とした重回帰分析結果

変数	自由度	パラメータ 推定値	標準誤差	t 値	Pr > t	標準推定値 (β)
Intercept	1	2.61168	0.10973	23.8	<.0001	0
Factor2	1	0.11889	0.05896	2.02	0.0452	0.14437

昨年度に南国市で実施した分析結果では、避難意図構造として 5 因子が、また避難意図にこの 5 因子のうち「主観的規範」、「リスク認知」ならびに「実行可能性」の 3 因子が有意な規定因として見出されていた。この昨年度結果と比べて、因子構造として同じ 5 因子であったが、昨年度では「リスク認知」と「コスト」とが混在していたが、今回は独立した因子であったこと、しかし昨年度は独立した因子であった実行可能性と効果性評価とがひとつの因子となった。また、主観的規範が避難意図に対して有意な因子である点は、今年度も同一の結果であったが、リスク認知と実行可能性は有意ではないという結果となった。これらの異同については、さらに平成 29 年度に引き続き詳細な分析を行っていく予定である。

今回の量的調査では、リスクコミュニケーションに資する知見を得るために、これらの避難の有効感を高めたり、低めたり、あるいは規範意識を高めたり、低めたりする変数を特定することで、実際のリスクコミュニケーションで考慮すべき事項を明らかにすることを目的としている。

沼津市の回答者において、「実行可能性」「効果性評価」「主観的規範」「記述的規範」「リスク認知」「コスト認知」の認知要因に寄与する、先行要因を探索的に分析した。

避難場所の「効果性評価」の先行要因としては、避難場所の「高さ」「頑丈さ」「スペースの広さ」を想定して質問を設けた。また、避難場所まで移動する「実行可能性」

の先行要因としては、外的コントロール要因として「避難場所までの距離」「避難経路の安全性」「津波襲来までの時間」を、内的コントロール要因として「自身の年齢や健康、体力」「家族の年齢や健康、体力」を設定した。第一因子である「実行可能性」と「効果性評価」が融合された因子の因子負荷量の平均値を被説明変数とし、上記の各先行要因への反応の有無を説明変数（0-1）として、ステップワイズ方式の重回帰分析を行った。「避難場所の高さ」「避難場所の距離」「自分の体力」が有意な影響を及ぼしていた。

「コスト」因子の先行要因としては、「同行避難の困難なペット」「避難移動の困難な同居家族」「携帯の困難な家財」「仕事での任務」「地域での役割」を設定し、これらへの反応の有無を説明変数（0-1）として、重回帰分析を行った。その結果では、「同行避難の困難なペット」「携帯の困難な家財」が有意な影響を及ぼしていた。

表 3-5-④-6 「実行可能性&効果性評価」因子を従属変数とした重回帰分析結果

変数	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	Pr > t	標準推定値 (β)
Intercept	2.616	.058	45.351	<.0001	
避難場所の高さ	-.258	.050	-5.163	<.0001	-.226
避難場所の距離	-.232	.053	-4.366	<.0001	-.184
自分の体力	-.194	.049	-3.933	<.0001	-.166
避難場所の頑丈さ	-.146	.049	-2.951	.003	-.129
そのほか	-.218	.073	-2.972	.003	-.124
襲来時間の早さ	-.116	.058	-2.011	.045	-.086

表 3-5-④-7 「コスト」因子を従属変数とした重回帰分析結果

変数	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	Pr > t	標準推定値 (β)
Intercept	2.351	.037	63.901	<.0001	
携帯の困難な家財	-.362	.081	-4.467	<.0001	-.202
ペット	-.318	.087	-3.649	<.0001	-.165

「リスク認知」因子については、大地震の発生確率の認知（4尺度）と、津波浸水深さの認知（「1 m未満」「1 m～2 m未満」「2 m～4 m未満」「4 m以上」の4区分）を先行要因とした。なお、「津波の浸水はない」あるいは「わからない」とした回答者は分析から除外した。重回帰分析の結果では、浸水深が有意な影響を及ぼしており、深く認知するほど、リスク認知が高くなる傾向であった。

表 3-5-④-8 「リスク認知」因子を従属変数とした重回帰分析結果

変数	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	Pr > t	標準推定値 (β)
Intercept	3.373	.178	18.981	<.0001	
浸水深の予測	.169	.039	4.295	<.0001	.277
発生確率の認知	-.242	.077	-3.138	.002	-.202

「主観的規範」および「記述的規範」に寄与すると想定した要因として、「地域活動全般の活性度」「防災活動の活性度」「防災訓練への地域住民の参加率」「地域防災リーダーとの面識度」「回答者の地域活動全般への参加度合」「回答者の地域住民との交流の深さ」について、いずれも4尺度となるよう標準化し、重回帰分析を行った。その結果、「記述的規範」に対して「防災活動の活性度」が有意な影響をもたらしていた。

表 3-5-④-9 「主観的規範」因子を従属変数とした重回帰分析結果

変数	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	Pr > t	標準推定値 (β)
Intercept	1.325	.140	9.449	<.0001	
地域活動全般の活性度	.215	.077	2.793	.006	.157

表 3-5-④-10 「記述的規範」因子を従属変数とした重回帰分析結果

変数	パラメータ推定値	標準誤差	t 値	Pr > t	標準推定値 (β)
Intercept	1.563	.094	16.658	<.0001	
防災活動の活性度	.175	.047	3.745	<.0001	.208

3) HUG を通した地域住民への働きかけ

平成 27 年度に実施した静岡県焼津市、高知県南国市でのヒアリング、平成 28 年度に実施した静岡県沼津市でのヒアリングの中で、住民の中には避難行動を起こした後の避難生活への関心が高まっており、避難所運営に関するワークショップなども実施しているという共通した話題があった。その際に、研究チームでワークショップの支援が可能である旨を申し出たところ、平成 28 年度は静岡県沼津市、高知県南国市から HUG（避難所運営ゲーム）の講師依頼があり、市が企画する研修会に 1 名を講師として派遣した。それぞれの研修概要を以下の表 3-5-④-11 に示す。

表 3 - 5 - ④ - 11 HUG (避難所運営ゲーム) 研修の概要

日時	平成 29 年 1 月 12 日 (木) 9:30~12:00	平成 29 年 2 月 12 日 (日) 9:00~12:00
場所	沼津市第三地区センター	アンジェブラン
対象	沼津市赤十字奉仕団 (下香貫支部・第三地区中支部)	市内の自主防災組織リーダー
人数	約 30 名	約 110 名
グループ数	6	18
研修時間	2 時間 30 分	3 時間
構成	①開会挨拶 ②HUG の説明 ③アイスブレイク ④HUG の実践 ⑤グループふりかえり ⑥グループ発表 ⑦講評と解説 ⑧閉会挨拶	①開会挨拶 ②HUG の説明 ③アイスブレイク ④HUG の実践 ⑤グループふりかえり ⑥グループ発表 ⑦講評と解説 ⑧閉会挨拶
図面	地域の避難所図面を使用	HUG のキットの同封物を使用

HUG (避難所運営ゲーム) は、2007 年に静岡県で開発された地震発生後の避難所運営を疑似体験する教材である。その時その場にいる人々の知恵や経験を持ち寄って話し合い、決断をしながら、避難所の図面上に避難者に見立てたカードを配置したり、カードに書かれている出来事に対応したりしてゲームを進めていく。避難者の中には様々な年齢、性別、国籍の人がおり、持病や障がいを抱えている人もいる。自宅の損壊程度も様々であり、家族を失った人も含まれている。地域住民のみならず、日本人や外国人の旅行者も避難所を訪れる。また、避難所の図面は、研修によって教材に含まれている一般的な小学校の図面を使用する場合もあれば、実際の避難所図面を使用する場合がある。静岡県によると、東日本大震災の後に全国的に HUG の関心が高まり、販売されている教材は申し込み後、手元に届くまで数ヶ月かかるほどの需要が生じたという。

沼津市では、津波浸水が予想されている地域の赤十字奉仕団を対象とした女性向けのワークショップを開催した。避難所の図面は、参加者の居住地域内の避難所図面を用い、沼津市の事情を考慮した状況説明と情報提供を行った上で、グループごとに HUG の実践を行った。ゲームの後に講師の作成した「ふりかえりシート」を元に、各グループでふりかえりを行い、その結果を抜粋して発表する時間を持った。グループ発表の内容は講師がその場でパワーポイントに入力し、全グループ発表後に入力した画面を見せながら、全体のまとめと解説を行った。沼津市のふりかえりの結果を図 3 - 5 - ④ - 10 に示す。なお、A ~ F はグループ名、各項目は順に、最後に対応したカード番号、3 「HUG を通じて、避難所運営を進める上で大切だと感じたポイント」、4 「HUG カードの中で、自分たちの地域で起こりそうだと感じた項目」、5 「HUG カード以外に、この地域で対応が必要になりそ

うな項目（イベント、避難者）」、6「地域の避難計画やマニュアルに加えたり、考慮した方がよいと思った事柄」、7「その他の意見」である。カードを進めた枚数は44枚から76枚とばらつきがあったが、参加者のほとんどがHUG未経験者だったため、76枚のカードを進めたグループがハイペースであったと言える。また、各グループの発表からは、HUGによって、避難所の施設の使い方、多様な人々への対応、ペット対応、他のハザードへの対応などについての気づきを得たことがうかがえた。特に当該地域は津波想定区域であることから、津波の場合の対応についての意見が多く出された。

発表内容	
A	44枚 3：受付がしっかりしていないと、振り分けができない。地域・年齢・家族構成振り分け大変だった。 4：ペットの振り分け。病人。高齢者のみの世帯。 5：車いす。外国人対応。津波。 6：自治会に入っていない世帯に知らせるマニュアルなどを加えた方がよい。
B	46枚 3：熱と咳が出ている方を保健室（技術室）犬を連れてきている方。犬が癒やしになるのではと考えて一緒にした。 4：建物の全半壊。 5：津波対応
C	75枚 3：受付と地域・病人・動物等の仕分け 4：動物、車中泊を考えると駐車場確保。仮設トイレなどのスペース決め。 5：単身の障がい者。手話などできる人の確保。 6：香貫小までの坂を登るのが大変。リーダーをきめておくことが必要。
D	76枚 3：受付を地区ごとに作る。リーダーをその中から決める。体育館内を地区割り。トイレの使用禁止を貼る。 4：ペットを連れてくる人。高齢者のみ、子どもだけの世帯への対応 5：地域外の人 came ときの対応。受け入れるのかどうか。地域の人が入れなくなる懸念。外国人を対象とした避難訓練。言葉が通じない人。 6：ペットをどうするか。ケージがない場合。トイレ使用禁止では不足。地域外の人。停電時の対処
E	55枚。3：受付ひとり一人の気持ちになり思いやりを持った対処が必要。 4：高齢者、子どもへの配慮 5：津波、土砂崩れ、火災への対応をどのようにするか 6：海外の方の避難。道路が狭い。地震によって避難の道路がふさがれる懸念。
F	70枚 3：状況判断。受付。協力が大切。 4：車避難の方のための確保。トイレ。たばこ。喫煙場所はプールそばにした。 5：病人、高齢者。区別をどうするか。 6：酸素ボンベを持った方。どのくらい必要か知っておくことが大切。外国語話せる方。わかりやすい情報 7：防災倉庫。テーブル。紙とペン。受付で書いてもらえるように。誰がまとめていくか。

図3-5-④-10 沼津市で実施したHUGのグループ発表内容

南国市では、地域の自主防災組織のリーダーを対象としたHUGを実施した。参加者は全市にわたっているため、避難所の図面は、特定の地域のものではなく、HUGのキットに含まれているものを利用した。沼津市と同様に、ゲームの説明とアイスブレイクの後HUGの実践を行った。約110名17グループという大人数のワークショップだったため、ゲームの後の各グループで行うふりかえりについては、短時間にポイントをまとめた発表となるように、沼津市と異なる「ふりかえりシート」を作成した。沼津市と同様に、グループ発表の内容は講師がその場でパワーポイントに入力し、グループ発表後に入力した画面を見せ、まとめと解説を行った。南国市のふりかえりの結果を図3-5-④-11に示す。なお、1～17はグループ名、各項目は順に、最後に対応したカード番号、判断のスピード（スピード重視／熟慮型）、対応の傾向（全体のバランス重視／個別事情に

配慮)、部屋の使い方(体育館優先/教室もどんどん開放する)、物資配布・使用(どんどん配る・どんどん使う/たっぷり残す・少しずつ使う)、安心:不安(グループの中でこの避難所で避難生活を送るときに安心/不安と答えた割合)、HUG ゲームにおける避難所対応の改善点とした。カードを進めた枚数は36枚から154枚と大きな開きがあったが、36枚のグループは、自らのグループの決断の傾向を「スピード重視型」と認識していた一方で実際には熟慮している場面が多く見られた。このグループは、自分たちの運営する避難所での生活になっても安心というメンバーの方が多かった。一方、最も早い154枚進めたグループは、自らのグループをスピード重視、かつ全体のバランスを重視、体育館を優先で使用し、物資はどんどん配り、どんどん使うというゲームの進め方をしてきた。その運営方法に対し、自らが避難者になった場合、全員が「不安」と答えていた。全体的に、避難所運営の改善点として、避難所運営を円滑に進めるための平時の準備、たとえば役割分担や要配慮者の把握、ペット対応のような仕組み作りに加え、間仕切りやトイレなどの資材の気づきを得られていた。

行政ヒアリングとアンケート調査の調整の中から始まった HUG 研修支援については、今後も要望に応じて継続していく予定である。

No.	決断	対応	部屋	配る使う	安心:不安	理由	改善点	
1	130	熟慮	個別	体育館	少しずつ	1:5	個人の事情わかりにくい	訓練マニュアルの整理/リーダーシップ。 /事前の役割決め
2	63	熟慮	全体	体育館	少しずつ	0:7	避難のストレスへの不安	あらかじめグループ決めによる配置
3	88	スピード	全体	体育館	どんどん	0:5	病気の対応、ペット対応わからない	ペットに対して、ハード面でも対応できる施設があれば
4	88	熟慮	全体	体育館	少しずつ	4:4	判断できた/プライバシー	段ボールなど、仕切りを用意した方がいいのではないか。
5	84	熟慮	個別	体育館	?	0:6	トイレ・ペット・高齢者に時間がかかった	役割分担をあらかじめ整理しておくといのでは
6	81	スピード	両方	体育館	少しずつ	0:7	カードの情報少ない	もっとカードやってみたい。今だと余裕ある
7	91	熟慮	全体	体育館	どんどん	5:1	楽観的?。コミュニケーション取れる	人の入れ替え難しい。難しい条件の人が来たら不安
8	88	熟慮	個別	体育館	どんどん	5:2	体育館に同じ地区の人で固めた。/トイレの対応先回り	体育館の間仕切り。配置の配慮/ポータブルトイレ。飲料水の確保
9	154	スピード	全体	体育館	どんどん	0:7	すぐ使えるトイレない。食料庫がない。医療体制。	仮設トイレ。物資食料。事前に薬など。まず自己管理。 /地区代表者による運営組織を早急に設置。役割分担決定
10	75	スピード	個別	どんどん	どんどん	7:0	それぞれに配慮できた。	最初の配置を変更した。
11	81	熟慮	個別	体育館	どんどん	0:5	身体面、衛生面。/仮設トイレ遅い。	現状の組織。家庭環境などの把握。受付での対応をスムーズにするために
12	124	スピード	個別	どんどん	どんどん	0:7	色んな事案があり判断できない	全体把握。そのための訓練。マニュアル整備。
13	78	熟慮	個別	体育館	-	5:2	部屋割り良かった・対人関係に不安	トイレが不安・ペット。責任者・有資格者などを確保。仮設トイレと飲み水備蓄希望
14	36	スピード	全体	体育館	どんどん	4:1	どんどん進めた方がよい	地域の話し合いで改善はかりたい。
15	124	スピード	個別	どんどん	どんどん	5:1	リーダーシップ。意思決定早い/自分にできるか	全体の使用箇所の検討を行う。
16	90	熟慮	全体	体育館	どんどん	6:0		リーダーの入道がポイント/運営スタッフ増員。資格などの事前把握
17	88	熟慮	全体	体育館	どんどん	5:1	経験者がいてスムーズに進められた/赤ちゃんや高齢者などへの配慮が不足	もう少し時間をかけた方で部屋の分配をした方がいい

図3-5-④-11 南国市で実施した HUG のグループ発表内容

(d) 結論ならびに今後の課題

今年度の業務は、沼津市で実施した調査結果と平成27年度に避難意図構造

を分析した高知県南国市の結果とを比較し、その知見の一般化を検討すること、ならびにその結果を踏まえ HUG(避難所運営ゲーム)方式によるワークショップを開催し、住民を対象とした地域への働き掛けを試行的に行うことを目的とし、以下の成果を得た。

第1に、地域リーダーに対する聞き取りを行い、地域課題を把握した。今回の地域は、避難場所が遠い、海に向かって避難するといった避難場所の整備に関わる課題、および避難所運営訓練の必要性などが指摘された。また、津波への意識が強くなりすぎていることから、リスクコミュニケーション実施時には耐震対策の訴求が重要となる。

第2に、この避難所運営訓練の必要性の指摘を受け、沼津市の対象地区および昨年度の対象地域である南国市において、避難所運営訓練の支援を実践した。住民の戦略の評価やフィードバックについて今後も検討を進めていく。

第3に、避難意図構造とこの避難意図に影響を持つと考えられる条件の特定を、稠密な住民調査に基づき分析を行った。その結果、避難意図構造として5因子が、さらにこれら5因子のなかで主観的規範のみが避難意図を有意に規定するという結果を得た。昨年度までの調査との相違を詳細に分析していく必要がある。

第4に、これらの避難意図の5因子に対して影響を与える変数の特定を行った。今後のリスク・コミュニケーションの実践に際しては、これらの変数への働きかけが必要と考えられる。次年度以降、これらの影響要因に配慮した地域活動を支援するプログラムを検討していく。

(3) 平成 29 年度業務計画案

巨大地震発生域調査観測研究、東日本大震災教訓活用研究、地震・津波被害予測研究との成果運用に関する連携技術・手法について検討と開発を開始する。また、DONET を介したリアルタイムデータの伝送や地震計ネットワークの情報との連動に対応するための機能検討と開発を開始する。DONET のリアルタイムデータのみならず震源分布や統計情報など、理学系の情報も合わせてプラットフォームに自動展開する。公開済みの「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム Ver.1 ベータ版」が広く社会で利用されるための調査・実験を行い、各種利活用システムとの連携について検討を進める。

研究課題における評価結果等の利活用を目指したデータ収集を行う。データやシステムの整備を SIP とともに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・教材開発について研究を進める。リスクコミュニケーション(RC)・人材育成手法の継続的調査・検討と教材開発を行い、避難意図を直接規定する地域変数から RC を改善する。

また、RC・人材育成のための支援プログラムの開発を探索的に行うために、平成 28 年度までに実施してきた行動意図モデルに基づいた避難意図の因子の分析を一步進め、避難意図の因子に効果を持つ変数の同定に展開するとともに、質的および量的調査を通じて、可能性のある変数群の抽出と現場での操作可能性を試行的に分析する。

3.6 プレート・断層構造研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 「プレート・断層構造研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
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	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
	主任技術研究員	海宝 由佳
	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 地震津波防災研究部門	主任研究員	汐見 勝彦
	主任研究員	上野 友岳
	主任研究員	松澤 孝紀
	主任研究員	浅野 陽一
	主任研究員	木村 武志
	主任研究員	木村 尚紀
	主任研究員	齊藤 竜彦
	主任研究員	田中 佐千子
	主任研究員	松原 誠

(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及び海陸境界域深部構造の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（日向灘）の前縁断層構造イメージ、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と四国西部の深部低周波微動発生域周辺の構造イメージを得た。また、四国東部の深部低周波地震発生状況を把握した。南西諸島北部（奄美大島北方）で自然地震観測を実施し、手動検測による震源決定を進めた。

平成29年度：

南西諸島海域中部（沖縄本島北方）、四国東部のプレート構造イメージを得る。

平成30年度：

四国東部の微動発生域のプレート物性情報を得る。南西諸島海域中部（沖縄本島北方）で自然地震観測を行い、地震活動の実態を把握する。

平成31年度：

南西諸島海域中部（沖縄本島北方）、四国中部～東部のプレート形状イメージを得る。沖縄本島北方での自然地震観測記録（平成30年度取得）を用いて地下構造イメージを得る。

平成32年度：

四国中部～東部で微動発生域のプレート物性情報を得る。沖縄本島南方で自然地震観測を行い、地震活動の実態を把握し地下構造イメージを得る。

(e) 平成28年度業務目的

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、自己浮上型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。これら及びこれ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収録された観測記録を収集し、これまでに実施した稠密地震観測点の記録等と併せて、四国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。

(2) 平成 28 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

南西諸島海溝域での海底地震計 43 台による約 3 ヶ月にわたる自然地震観測、ならびに、南海トラフ域での 6.25m 間隔 192 チャンネルのストリーマケーブル(1.2km 長)を用いた高分解能反射法探査を実施した。

自然地震観測では、南西諸島北部のプレート形状イメージや定常的な地震活動の把握のため、自己浮上型海底地震計（以下、海底地震計という。）43 台を約 30km 間隔で約 3 ヶ月間設置した。また同時に、種子島やトカラ列島の島嶼部に臨時の地震観測点を設置し、海陸での統合的な自然地震観測を行った。

また、南海トラフ（日向灘）での前縁断層構造イメージを得るため、トラフに直交する測線 7 本と並行する測線 1 本の測線上で総延長 650km の稠密な高分解能反射法探査を実施し、データ取得を行った。

同時に、平成 27 年度までに実施した南西諸島南部および北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のデータを用いた解析を進めた。

(b) 業務の実施方法

南西諸島北部のプレート形状イメージや定常的な地震活動の把握のため、種子島やトカラ列島において陸上の臨時観測点を運用し、また海底地震計 43 台による約 3 ヶ月間の地震観測を実施した。陸上観測点および海底地震計の分布は図 3-6-①-1 に示されており、海底地震計の間隔は約 30km である。陸上の臨時観測点は西之表市、南種子町、中之島、悪石島に整備し、平成 28 年 4 月から連続記録を収録し、定期的にデータ回収と保守作業を行った。悪石島には短周期地震計（(株)近計システム KVS-300）を設置し、西之表市、南種子町、中之島には広帯域地震計（Kinematics 社製 STS-2）と短周期地震計（同上）を併設した。陸上観測点のサンプリング周波数は全て 100Hz とした。海底地震計による観測は平成 28 年 9 月から 12 月までの約 3 ヶ月間実施した。設置は国立研究開発法人海洋研究開発機構の深海調査研究船「かいれい」による KR16-10 航海（平成 28 年 9 月 7 日～14 日）で行い、回収は「かいれい」KR16-18 航海（平成 28 年 12 月 17 日～26 日）で実施した。本調査で使用した海底地震計（(株)東京測深製 TOBS-24N 型）は、3 成分

受振器（固有周波数 4.5Hz）とハイドロフォンで構成され、100Hz サンプリングで連続収録した。

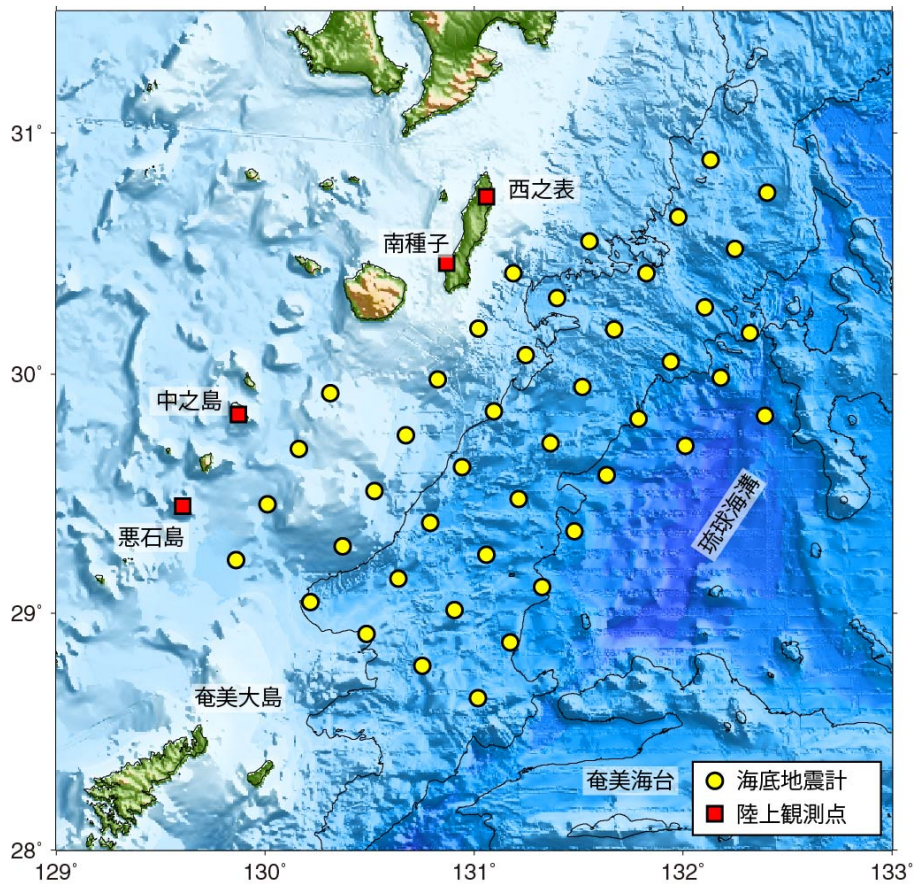


図 3-6-①-1 南西諸島北部における自然地震観測の観測点分布

平成 26 年度に引き続き、南海トラフ（日向灘）でのトラフ軸近傍での前縁断層構造イメージを得るため、平成 28 年 9 月 25 日から 10 月 7 日にかけて深海潜水調査船支援母船「よこすか」（YK16-13 航海）を用いて九州パラオ海嶺が沈み込む日向灘を中心に測線を設定し、計 8 測線、総延長約 650 km の高分解能反射法地震探査を実施した。この調査は微細な構造を対象とするため総容量 230cu.in の 3 台のエアガンを 2000psi の高圧で運用する高周波の音源を制御震源とし、ストリーマー受振間隔 6.25m のシステムを使用した。発振間隔は 37.5m、データサンプリング間隔は 1msec に設定し、空間的、時間的に密なデータを得ている。

(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）

南西諸島北部における自然地震観測で得られた地震波形記録を用いて自動検測を実施した結果、約 9000 個が地震の可能性のあるものとして検知された。これらについて手動検測作業を進めており、現在までに約 500 個の地震の検測を実施し

た。図3-6-①-2に手動検測後の震源分布を示す。深さ50kmよりも浅い地震が多く発生しており、種子島東岸付近や奄美大島北東沖(北緯29.2度、東経130.6度付近)で特に地震活動が活発である。これらの地震活動は気象庁の一元化震源でも観測されている特徴であるが、本観測のデータの解析をさらに進めることで詳細な深さ分布や震源メカニズムの解明が進むことが期待される。また、琉球海溝の海溝軸付近でも浅い地震が発生している一方、その西側に地震活動が低調な領域が幾つか存在する。この地震活動の空間変化の有意性は今後さらに検測作業を進めて検証する必要があるが、気象庁震源などでは検知できていない地震活動の空間変化を捉えている可能性が考えられる。

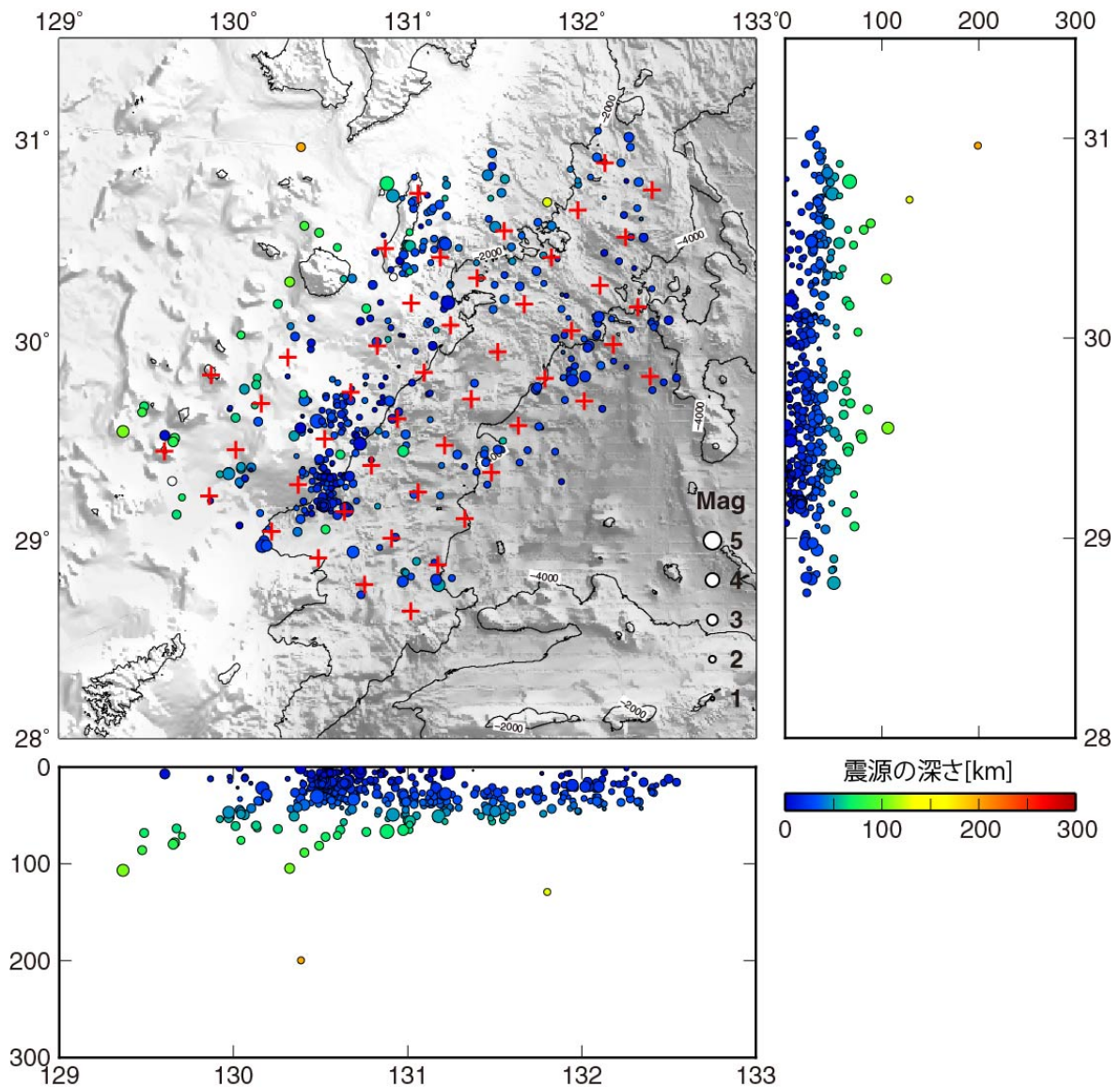


図3-6-①-2 南西諸島北部での自然地震観測記録で手動検測が終了した地震の震源分布(地震数465個)。丸が震源を表し、色の違いは深さを示す。+は観測点位置を表す。

平成 27 年度に南西諸島海溝北部を横断する 2 測線で実施した反射法探査データ（図 3-6-①-3）と、同一測線上で海上保安庁が既已取得していた屈折法探査データを用いた解析を行い、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と地震波速度構造を得た（図 3-6-①-4）。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、海溝近傍において沈み込む海山を確認した。この海山の深部延長ではプレート境界はステップ状の不連続を呈す。同海域では 1995 年に M7 クラスの正断層地震(奄美大島近海地震)がスラブ内で発生しており、余震分布から推定される断層面の位置、形状(山田・他, 1997)はプレート境界の不連続と一致することがわかり（図 3-6-①-5）、浮力が大きい海山群が作り出す特異な応力場によって高角な正断層地震が発生したと解釈される。

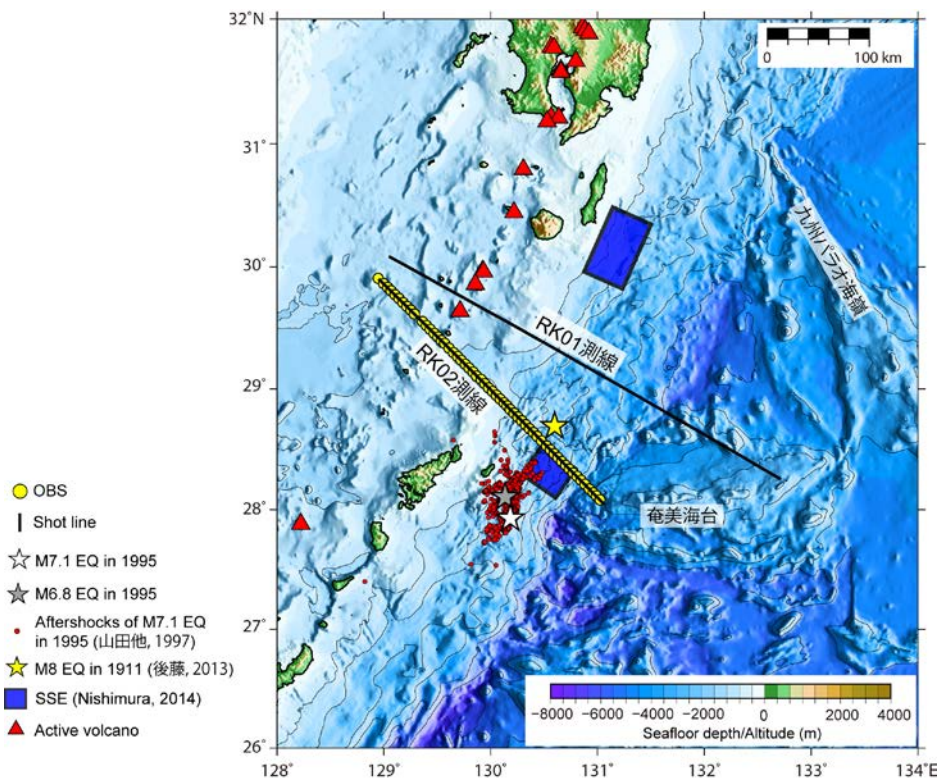


図 3-6-①-3 平成 27 年度に実施した南西諸島北部地殻構造探査の測線図

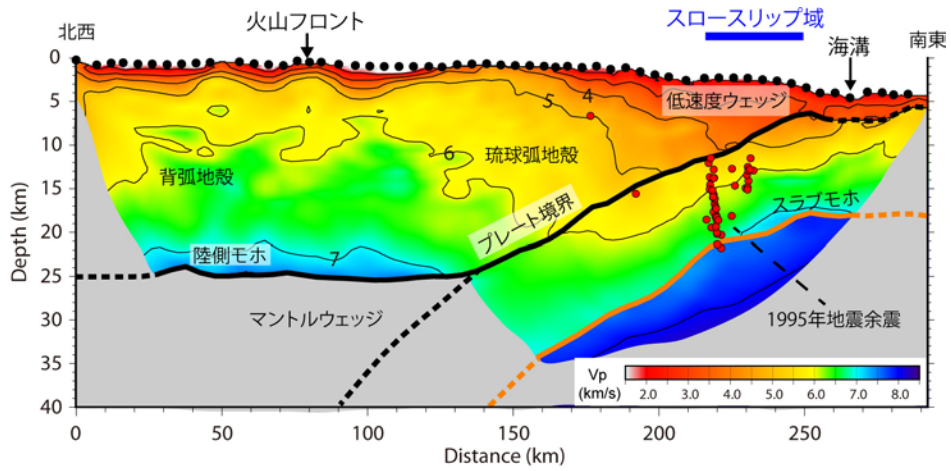


図 3-6-①-4 南西諸島海溝北部 (RK02) における P 波速度構造 (海上保安庁取得データを使用)

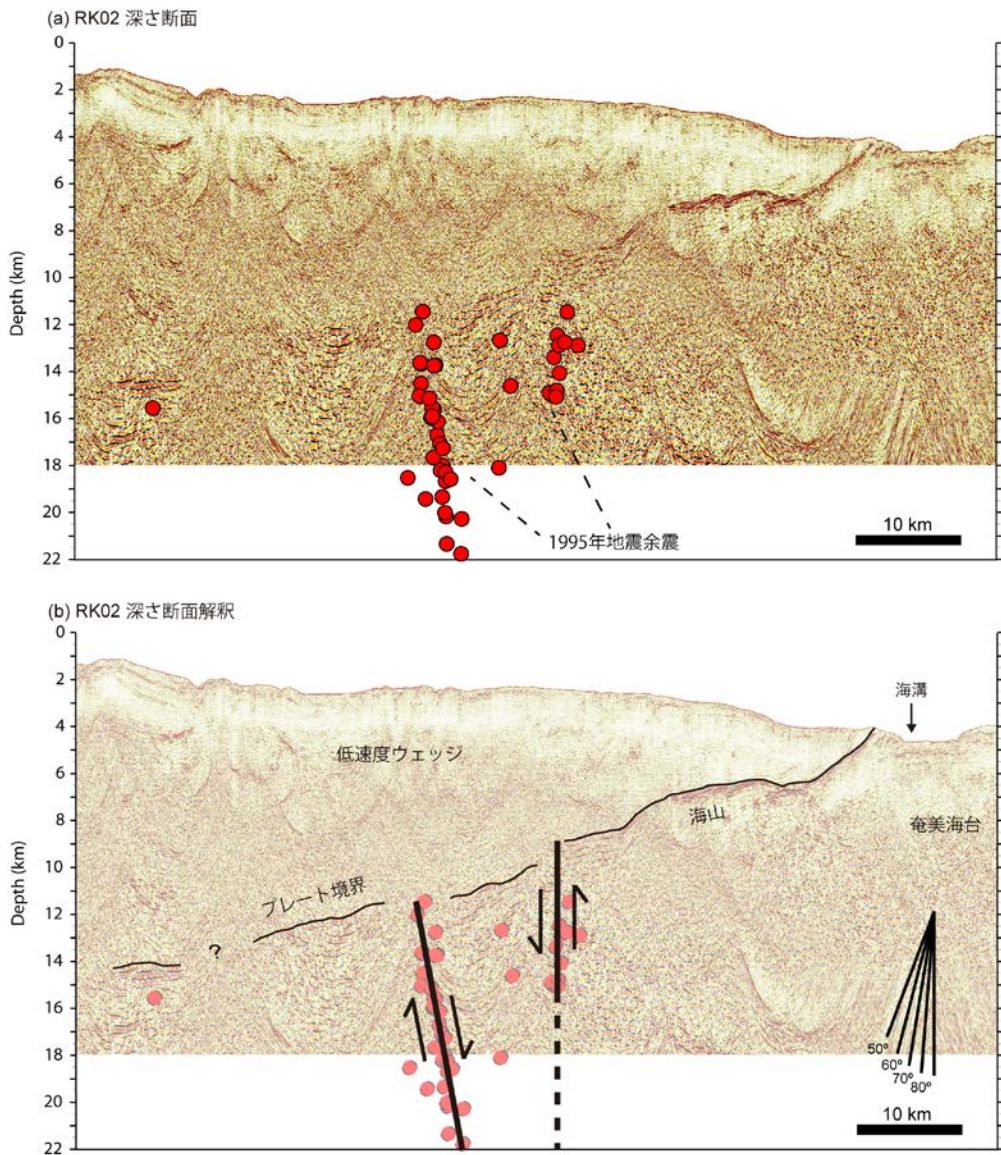


図 3-6-①-5 南西諸島北部地殻構造探査で取得された反射法イメージ (RK02) と 1995 年奄美近海地震の余震分布 (山田・他, 1997) の比較

2) 南海トラフの拡大想定震源域上限の構造マッピング

本年度は既存測線がほとんどない日向灘を中心に高分解能反射法地震探査を実施した(図3-6-①-6)。本年度得られた船上記録の反射断面を図3-6-①-7に示す。得られた反射法データは現在解析中であるため、詳細な解釈はまだ実施できないが、船上記録からは九州-パラオ海嶺の西側では堆積物が急に薄くなり、またフィリピン海プレート上面の複雑な凹凸などが確認できた。前縁断層は九州-パラオ海嶺付近では不明瞭になり、プロトスラスト帯の発達も見られないようである。また、反射法地震探査測線と同時に行われた船底設置のサブボトムプロファイラー観測から、良好な海底下数mスケールの極浅層微細構造も得られた(図3-6-①-8)。このデータを併用することでより新しい変動履歴の評価が期待できる。

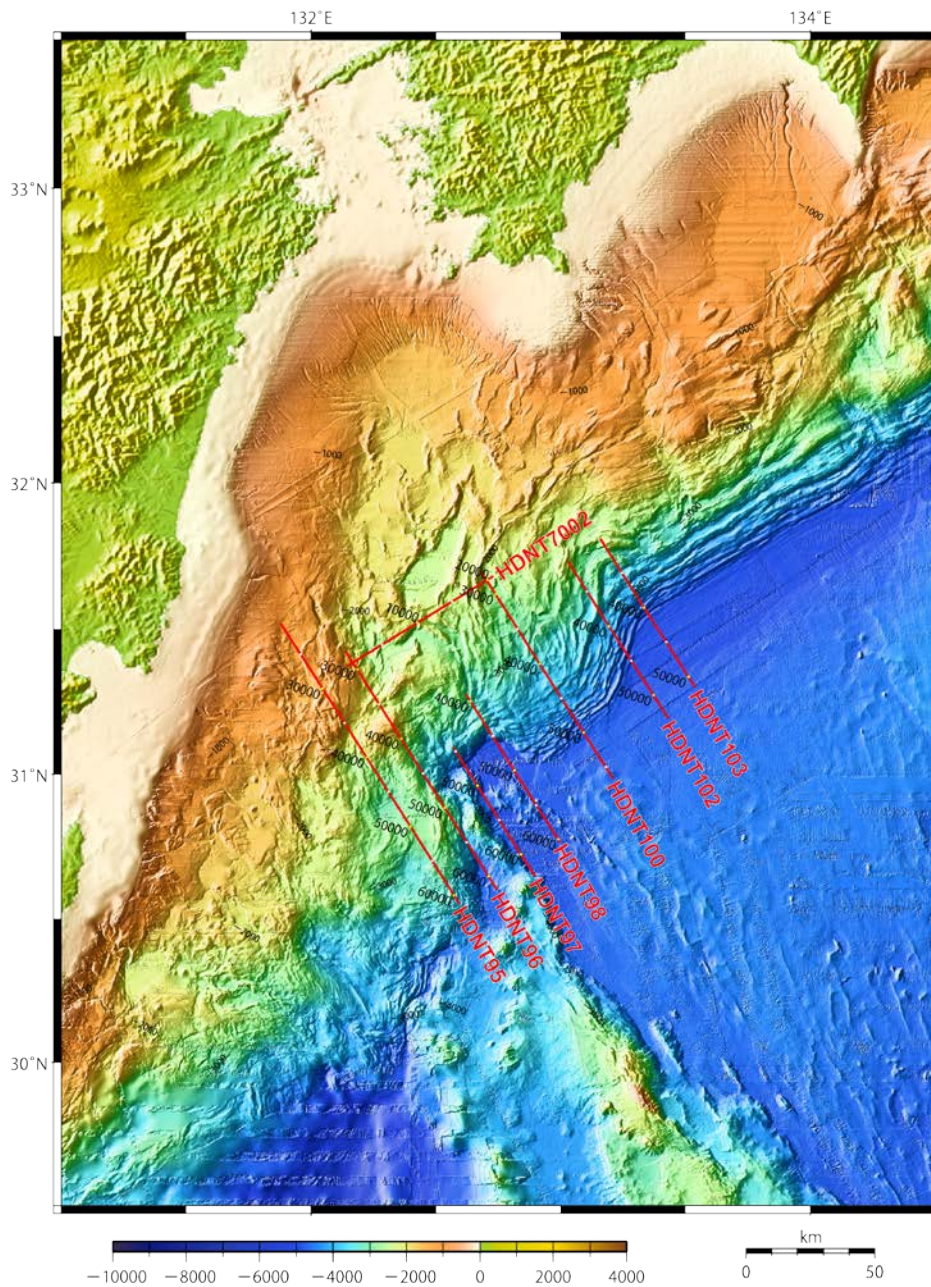


図3-6-①-6 日向灘における高分解能反射法地震探査測線

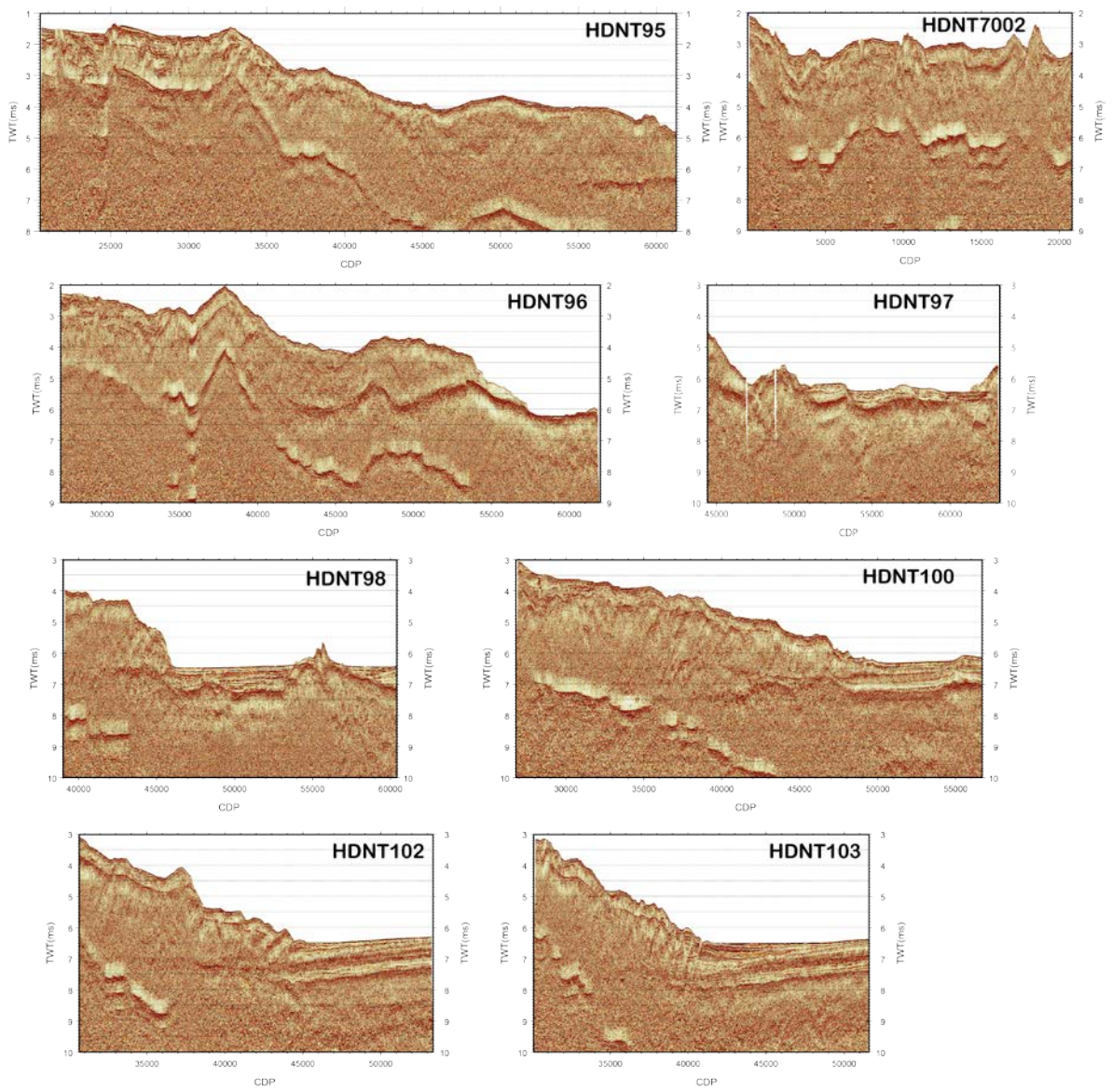


図 3 - 6 - ① - 7 本年度取得した高分解能反射法地震探査の全断面

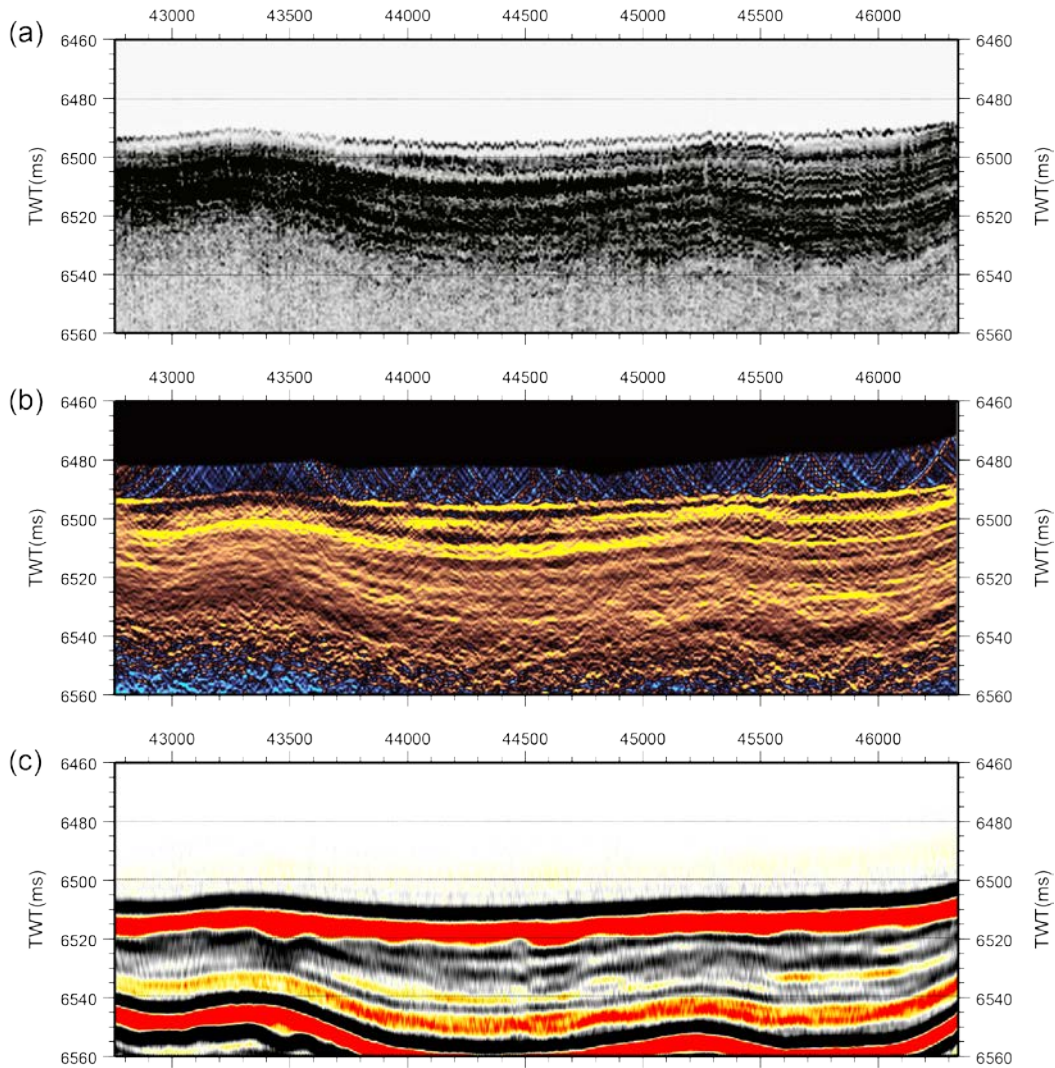


図 3-6-①-8 トラフ軸周辺の拡大断面 (a) サブボトムプロファイラー船上記録 (b) サブボトムプロファイラーマイグレーション処理断面 (c) 反射法地震探査断面

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 27 年度の成果として、南海トラフ西部（四国沖）のトラフ軸より海側の四国海盆でトラフに平行な SB01 測線について、基盤直下の P 波速度が室戸岬南方周辺を境に東から西に低速に変化していることを報告した。平成 28 年度は、南海トラフ東部（紀伊半島沖～東海沖）での構造変化を把握するために、前プロジェクトで取得した南海トラフ東部のトラフ軸に沿った測線 Z11（図 3-6-①-9）について得られた屈折法地震探査および高分解能反射法データを用いた速度構造解析を用いた解釈を進めた。その結果、南海トラフ西部の室戸岬沖で見られた基盤直下の東西方向の速度変化と同様の構造変化が、志摩半島沖南方周辺にも認められた（図 3-6-①-10）。南海トラフ西部同様、東部でも高分解能反射法地震探査断面で見られる基盤の凹凸周期と、紀伊半島から東海地方にかけての深部低周波微動の活動度の東西変化（Obara, 2010）の周期の類似性が認められる。南海トラフより海側の基板直下の速度の速い領域は、紀伊水道沖を中心に室戸岬沖から志摩半島沖に存在し、フィリピン海プレートの沈み込む陸側延

長には深部低周波微動の空白域が存在する。

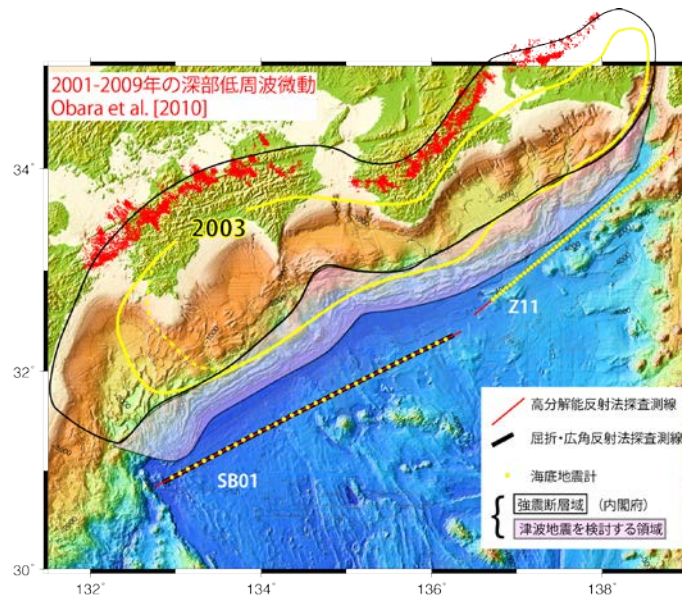


図3-6-①-9 平成26年度に取得した南海トラフ西部での高分解能反射法探査測線、大規模構造調査測線SB01、および前プロジェクトで取得した南海トラフ東部での高分解能反射法探査測線、大規模構造調査測線Z11

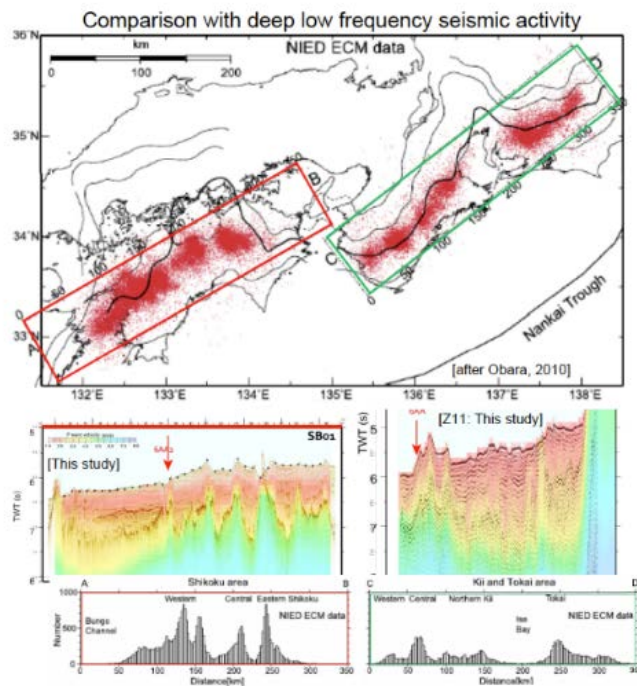


図3-6-①-10 (上段) 赤・緑枠内の四国および紀伊半島～東海地方の深部低周波微動(赤点)(Obara et al., 2010)。(中段) トラフ軸海側四国海盆SB01測線およびトラフ軸Z11測線における高分解能反射法データの時間断面に、屈折法地震探査データによって得られたP波速度構造を重ね合わせたもの。矢印の地点で、基盤直下の速度が測線の東西で急激な変化が見られる。(下段) 上段の深部低周波微動の活動度の東西変化(Obara et al., 2010)。

(d) 結論ならびに今後の課題

南西諸島北部海溝域において自然地震観を実施し、震源決定解析の初期段階において海溝軸付近の地震活動の空間変化などを捉えることができた。今後さらに手動検測による震源決定と地下構造推定を進め、地下構造と地震活動の実態解明を進める。

既存測線の少ない日向灘で稠密な高分解能反射法地震探査を行い九州 - パラオ海嶺が沈み込む周辺の浅部微細構造の断面が得られた。現在解析中であり、プレート境界付近での低周波微動の分布域 (Yamashita et al., 2015) などとの比較を行っていく。拡大想定震源域と九州 - パラオ海嶺が沈み込む周辺の構造との関係を調べることは今後の課題の一つである。

平成 27 年度に取得した南西諸島北部 (奄美大島北側) における屈折法、反射法探査データの解析から、海山の沈み込みに伴う起伏に富んだプレート形状とスラブ内での正断層地震を引き起こす特異な断層構造、応力状態が明らかとなった。同海域では 1911 年に M8 クラスの喜界島地震が発生しており (後藤, 2013)、本研究で得られた構造的知見は南西諸島北部で発生する巨大地震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四国沖南海トラフより海側での構造探査データと、前プロジェクトで取得した南海トラフ東部のトラフ軸に沿った測線で得られた構造探査データから、高分解能反射法地震探査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南海トラフ全域にわたって類似していることがわかった。今後は、沈み込み前のフィリピン海プレートの持ち込む水の量と地震現象の関係について検討を進める。

(e) 引用文献

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.

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, B00A25, doi:10.1029/2008JB006048, 2010.

山田知朗, 日野亮太, 西澤あずさ, 塩原肇, 佐藤利典, 後藤和彦, 金沢敏彦, 笠原順三, 島村英紀, 海底地震計による 1995 年奄美大島近海地震の余震観測, 地学雑誌, 106, 514-524, 1997.

Yamashita, Y., H. Yakiwara, Y. Asano, H. Shimizu, K. Uchida, S. Hirano, K. Umakoshi, H. Miyamachi, et al. Migrating tremor off southern Kyushu as evidence for slow slip of a shallow subduction interface, Science, 348, 676-679, 2015.

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下のプレート形状推定を行うため、平成27年度に四国東部域を対象に設置した陸域稠密地震観測点（15点）の運用を行った。観測されたデータに対し、気象庁一元化震源カタログに登録されている深部低周波地震をテンプレートイベントとした Matched Filter 法を適用し、解析方法の有効性を確認した。また、定常観測点で収集された遠地地震記録に含まれる変換波解析を実施したところ、既存のプレート形状モデルでは変換波励起点の分布が説明できないことが明らかになった。一方、四国西部の基盤的地震観測網で得られた自然地震観測データの解析により、深部低周波微動域のすぐ深部の海洋モホ面直上に異方性の強い媒質が存在することを示した。この異方性媒質は、微動域深部の海洋地殻で脱水を伴う相転移が発生したことに起因すると考えられる。相転移により生じた流体はマンタルウェッジの蛇紋岩化に寄与すると考えると、低周波微動域直上の大陸モホ面が不明瞭になるという観測結果と整合する。

(b) 業務の成果

1) 四国東部における稠密地震観測の実施

深部低周波微動の分布は、南海トラフ巨大地震の想定震源域下限設定の根拠のひとつに挙げられている。四国地域における深部低周波微動の分布を図3-6-②-1に、その時空間分布を図3-6-②-2に示す。四国東部における深部低周波微動活動は四国西部ほど活発かつ空間的に連続ではなく、北西-南東方向に列をなす

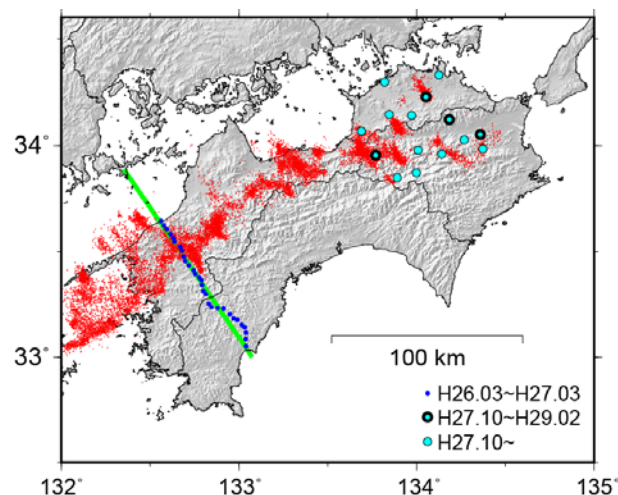


図3-6-②-1 四国における深部低周波微動の空間分布。ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスタ処理 (Obara *et al.*, 2010) によって1時間毎に自動処理された微動分布の重心を表す。本研究で設置した稠密地震観測点の位置を青丸（四国西部。撤去済）および水色丸（四国東部）で示した。四国東部の観測点のうち、期末に撤去した4点を太丸で示す。また、図3-6-②-8の四国西部における測線位置を緑線で示す。

いくつかの孤立的なクラスタからなる。四国西部から中部にかけては活発な微動活動が見られ、海溝軸とほぼ平行に分布する。この東側（愛媛県東部）に位置する低調な領域を挟み、愛媛・香川・徳島県境付近から徳島県西部の領域に活発な活動領域が存在するほか、その東部に位置する徳島県中部や北東部の香川県中部でも活動が見られる（図 3-6-②-1）。これらのクラスタの中には、ほぼ定常的に活動が確認されているものもあるが、3か月に1回程度、活動域が移動しながら活発化する様子も確認されている（図 3-6-②-2）。図 3-6-②-2 から、セグメントのサイズや活発化する周期という視点において、四国西部と東部では微動活動の特徴が異なることが分かる。一方、南海トラフから沈み込むフィリピン海プレートの形状について、これまでに地震活動やトモグラフィ解析、変換波解析などから様々なモデルが提案されている。紀伊半島下で高角に沈み込むプレートが四国西部下では非常に低角で存在することは各モデルで共通しているが、両地域をつなぐ紀伊半島西部から紀伊水道を経て四国東部に至る領域はモデル間の差異が大きい。特に、Ide *et al.* (2010) は、紀伊水道でプレートが断裂している可能性に言及しており、現在も結論が出ていない。

四国東部におけるフィリピン海プレートの位置や形状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 10 月に四国東部 15 地点に固有周波数 1 Hz の三成分短周期地震計（OYO Geospace 社製 GS-1）を設置した。観測点の位置を図 3-6-②-1 に水色丸で示す。観測データは、現地に設置したデータ収録装置でサンプリング周波数 100 Hz で離散化したのち、装置内のコンパクトフラッシュ（CF）カードに蓄積した。平成 28 年度は、8 月上旬、12 月中旬、2 月下旬に観測点メンテナンス作業を実施し、データの回収およびバッテリー交換を行った。12 月のメンテナンス終了後、それまでに収集したデータをもとに各観測点の性能評価を実施し、ノイズレベルが比較的高く、解析に使用できる十分なデータを蓄積出来ないと判断される 4 観測点（図

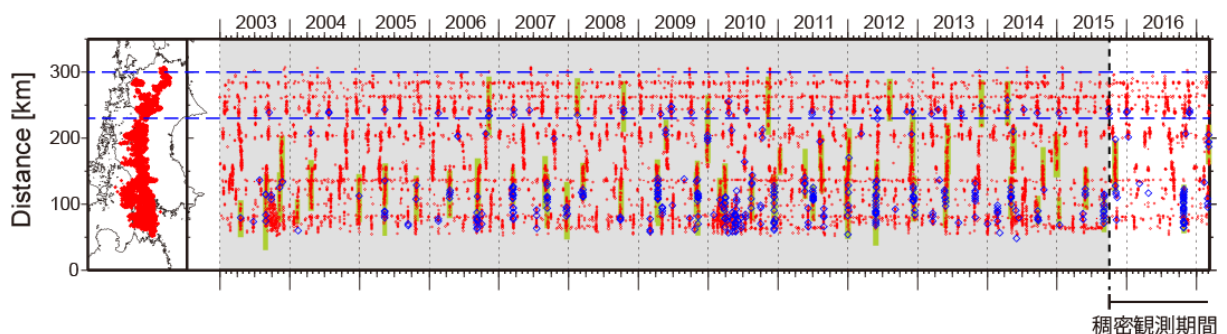


図 3-6-②-2 四国における 2003 年 1 月～2017 年 2 月までの深部低周波微動の時空間分布。赤丸および青菱形は、それぞれ、自動処理された微動分布の重心、周期 20 秒に卓越する超低周波地震（Ito *et al.*, 2007）の震央位置を表す。黄緑色の太線はこれまでに検出された短期的スロースリップイベントを示す。四国東部における稠密地震観測期間外について、背景を灰色で示した。また、青点線は四国東部の稠密地震観測点の設置範囲を表す。

3-6-②-1 に太線で表示) について、2月下旬のメンテナンス時に機材の撤収と観測用地の原状回復を行った。なお、撤収対象となった観測点の地震計自体は、露出した岩石や擁壁の上等に設置していたが、近接地に森林や竹林が存在したり、周辺岩石の破碎・風化が進展したりしていた。このような設置環境がノイズ等の混入の原因になったと考えられる。

回収した CF カード内の観測データは、観測点単位かつ1時間単位の WIN フォーマットとして保存されている。一方、防災科研 Hi-net や F-net 等の基盤的地震観測網の観測データは、複数の観測点・成分の1分間のデータが WIN32 フォーマットで1ファイルになるようにまとめられている。基盤的地震観測網の観測データとの併合処理に利用しやすいよう、稠密地震観測データについても1分間の WIN32 フォーマットに整理・集約を行った。また、主なイベントの検出処理を行い、P波およびS波走時データベースの構築を進めた。

2) 四国東部における自然地震観測データの解析

a) 深部低周波地震の検出

四国東部における微動活動の詳細な特徴を把握するため、当該地域の深部低周波地震検出精度向上のための予備的解析を行った。検出には、テンプレートイベントに基づく Matched Filter 解析 (例えば、Shelly et al., 2007) を用いた。エンベロープ波形を用いる従来の震源位置推定方法 (例えば、Obara, 2002) は位相情報を欠落させるため、求められた震源位置に大きな不確定性を有する。本手法は波形そのものの相関を利用するため、求められた震源位置により高い時空間分解能を付与することが出来ると期待される。

解析には、四国東部における稠密地震観測点および同領域周辺の防災科研 Hi-net 観測点 16 点のデータを使用した。Matched Filter 法におけるテンプレートイベントの選択には、気象庁一元化震源カタログ (一元化カタログ) を用いた。まず、一元化カタログに登録されている低周波地震の震央位置を、緯度・経度ともに 0.05 度ごとに刻んだセルに配分し、それぞれのセル内から1つのイベントをテンプレートイベントとして選択した。抽出したイベントは計 57 個であった。震源位置の推定にあたって、S波速度を 3.2 km/s で一様と仮定し、テンプレートイベントの震央位置を中心として緯度・経度ともに 0.2 度の範囲を探索した。深さについては、テンプレートイベントの震源情報で固定した。相関を計算するタイムウィンドウについては、S波到達予想時刻の2秒前から4秒後までの計6秒間とした。上下動成分と水平動2成分の計3成分の観測データを用い、すべての点についての相関係数の平均値を計算して検出の指標とした。なお、地震波形データは 2~6 Hz で帯域通過フィルタを適用し、毎秒 20 サンプルにデシメーション処理を行ったうえで解析に用いた。

図 3-6-②-3 に、本解析でテンプレートイベントとした深部低周波地震の稠密地震観測点での観測波形例を示す。ここでは、イベント発生位置の違いによる波形の特徴を示すため、両イベントが問題なく収録出来た 14 観測点の記録のみを示

した。また、一例として、四国東部でやや活発な活動がみられた 2016 年 8 月 1 日から 4 日までの解析結果を図 3-6-②-4 に示す。ここで、相関係数の Median Absolute Deviation (MAD) の 10 倍を検出基準とし、検出基準を超えた際に求めた震源位置を 1 日ごとに示した。本解析手法を適用することにより、低周波地震の検出数はそれぞれの日について一元化カタログの 5 倍以上となっており、活動域が東西方向に移動していく様子が明瞭にとらえられた。Shelly *et al.* (2007) は、イベント検出の条件として MAD の 8 倍と 9 倍の場合を検討しており、図 3-6-②-4 に示した結果はこれよりも厳しい条件である。Shelly *et al.* (2007) と同等の検出条件を用いた場合にはさらに検出数が増加する。

図 3-6-②-4 に示した結果のうち、特に 8 月 3 日や 4 日の結果においては、震源分布が北西-南東方向に延びている様子が確認できる。この特徴は、深部低周波微動分布の重心にも見られるが、ここでは、個別の震源位置としてその様子がとらえられている。Ide (2010) は、四国西部において同様な特徴があることを報告し、現在あるいは過去のプレート沈み込みが作り出した構造を反映している可能性を指摘した。今回示した結果は短い活動期間のみを対象とした予備的結果であるが、

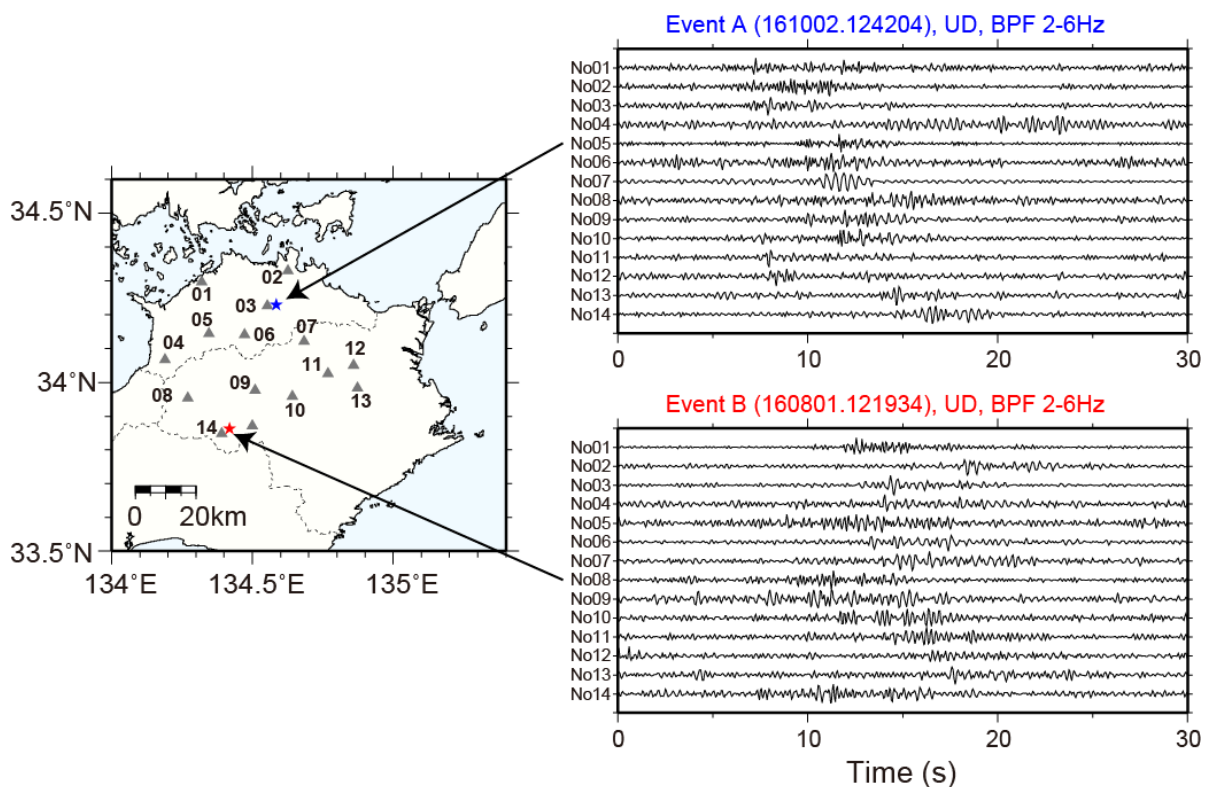


図 3-6-②-3 四国東部稠密地震観測点における深部低周波地震波形例。左に示す地図に観測点の位置を観測点番号とともに灰色三角で示す。青星印および赤星印は気象庁一元化震源カタログによる低周波地震の震央位置を表し、それぞれの地震に対応する発震時から 30 秒間の上下動成分の地震波形（2～6 Hz の帯域通過フィルタを適用）を右列上段及び下段に示す。

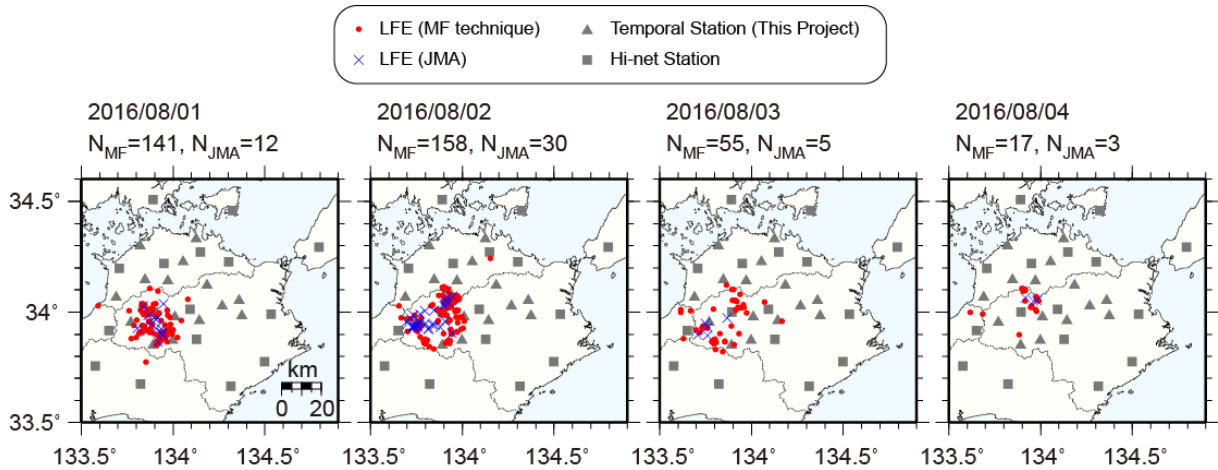


図 3-6-②-4 本解析（赤丸）および気象庁一元化震源カタログ（青×印）によって検出された深部低周波地震の 1 日毎の震央分布。三角印および四角印は、それぞれ本解析に使用した稠密地震観測点および Hi-net 観測点の位置を示す。1 日毎の図の上部には、本解析 (N_{MF}) および一元化震源カタログ (N_{JMA}) による検出数をそれぞれ示した。

他の期間のデータを用いた解析およびプレートイベントの選択方法等の解析手法の検討を進め、詳細な震源の時空間分布を解析することにより、スロー地震の成因やプレート間大地震発生域深部の構造に関する理解につながることを期待される。

b) 陸域フィリピン海プレート形状の再検討

前述のとおり、紀伊水道から四国東部周辺下に沈み込むフィリピン海プレートの形状は現在でも様々なモデルが提案されており、一定の結論は得られていない。一方、防災科研 Hi-net をはじめとする基盤的地震観測網の整備開始から約 20 年が経過し、観測データの蓄積が進んだ。そこで、各観測点でこれまでに観測された遠地地震波形から推定されるレシーバ関数を精査することにより、当該地域で考えられるフィリピン海プレート形状モデルについての再検討に着手した。併せて、前節に示した稠密地震観測点においても、遠地地震データの切り出しを行い、レシーバ関数データベースの構築を行った。観測点下に地震波速度の不連続面が存在する場合、不連続面による Ps 変換波がレシーバ関数の後続波位相として検出される。深部が浅部よりも高速度である地震波速度不連続面においては、一般的に、レシーバ関数の振幅は正值をとるが、深部の方が低速度の場合は負値となるため、レシーバ関数の後続波位相の特徴を見ることにより、地下の不連続面の位置や形状を推察することが出来る。

解析に用いた観測点を図 3-6-②-5 に示す。各観測点で観測された M5.5 以上、震央距離 30~90 度の遠地地震の観測波形記録を用いてレシーバ関数を推定した。この際、良好な S/N を有する波形を自動ならびに目視で抽出した。得られたレシーバ関数について、Matsubara and Obara (2011) による地震波速度構造を用い

て深度変換した。図3-6-②-6および図3-6-②-7の上段に、求めたレシーバ関数振幅の断面図を示す。各図の下段には、比較として弘瀬・他(2007)によるプレート上面形状モデル、Ide *et al.* (2010)およびShiomi *et al.* (2008)による海洋モホ面形状モデルをそれぞれ緑線、黒太線、黒破線でレシーバ関数断面図に重ねて示す。

図3-6-②-6の測線DおよびEにおいて、深さ30~40 km付近に赤で表示された正の振幅の列がやや北西(左)に傾斜しながら線状に分布する。この赤線は、各図下段に示されたIde *et al.* (2010)およびShiomi *et al.* (2008)が示すとおり、海洋モホ面に相当する速度不連続面である。プレート上面の深さである弘瀬・他(2007)は、太平洋側ではこれらの面の約10 km浅部に位置し、青で示されたレシーバ関数の負の振幅、すなわち低速度層の上面に対応する。図3-6-②-7の測線IおよびJにおいても、海洋モホ面の約10 km上部に並行に位置する負の振幅の列と弘瀬・他(2007)のモデルが良く対応する。沈み込むプレートの最上部には地震波速度が低速度となる層が存在する(例えば、Nakanishi *et al.*, 2002)。この地域の海洋地殻の厚さが10 km程度であると解釈すると、すべてのモデルが整合する。

一方、既存のプレート上面形状モデルと海洋モホ面形状モデルの北東方向への傾斜角は有意に異なり、測線D(図3-6-②-6)では距離90 km付近で両者が交差している。この特徴は、徳島県中部から東部の測線(A~C)ではより顕著であり、プレート上面のモデルである緑線がレシーバ関数の顕著な正振幅の列と距離70 km付近で交差している。図3-6-②-7の測線F~Hを見ると、プレート上面のモデル(緑線)と海洋モホ面のモデル(黒太線・黒破線)間の距離は北の測線ほど接近し、測線Fではほぼ両者が重なる。測線A~CおよびF~Hの距離40 km以遠では、黒太線と黒破線も有意な乖離を示している。これは、測線BおよびCの距離30 km以遠、測線F~Hの40 km以遠の明瞭な正振幅の列を海洋モホ面と解釈したモデル(Ide *et al.*, 2010)と大陸モホ面と解釈したモデル(Shiomi *et al.*, 2008)の違いによる。

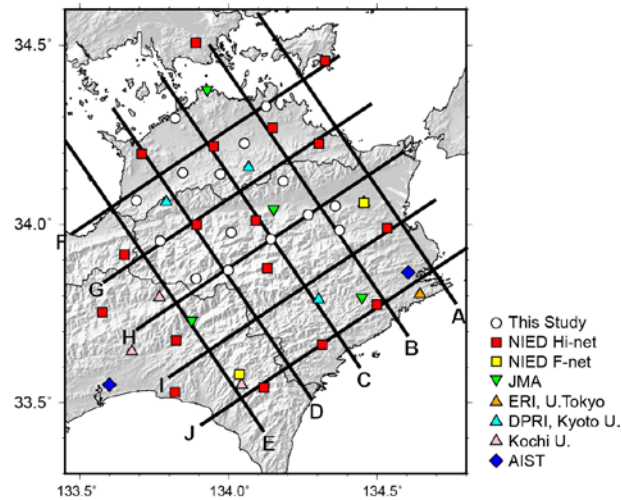


図 3-6-②-5 本解析で用いた観測点の分布と図 3-6-②-6、図 3-6-②-7 に示すレシーバ関数断面の測線位置。

レシーバ関数のみからは、後続波振幅が励起された速度不連続面が意味するところの解釈を確定させることは出来ないが、プレート上面がプレート内に存在する海洋モホ面と交差することはあり得ない。また、測線 B や C の深さ 35 km 付近に連続的に分布する不連続面を乱すことなくプレート上面が交差することも考えにくい。

本検討で作成したレシーバ関数断面は、平成 27 年度までに構築した四国西部における断面（図 3-6-②-8）に比べて変換面の連続性が弱く、現時点で確定的な形状モデルを構築するには至っていない。特に、測線 A の距離 40 km 以遠および測線 F、G の距離 20 km までは変換波が明瞭ではなく、モホ面そのものが検出出来ていない。今後は、稠密地震観測点のデータを追加するとともに、変換波データを精査することにより、当該地域のプレート形状モデルの精緻化を進める必要がある。

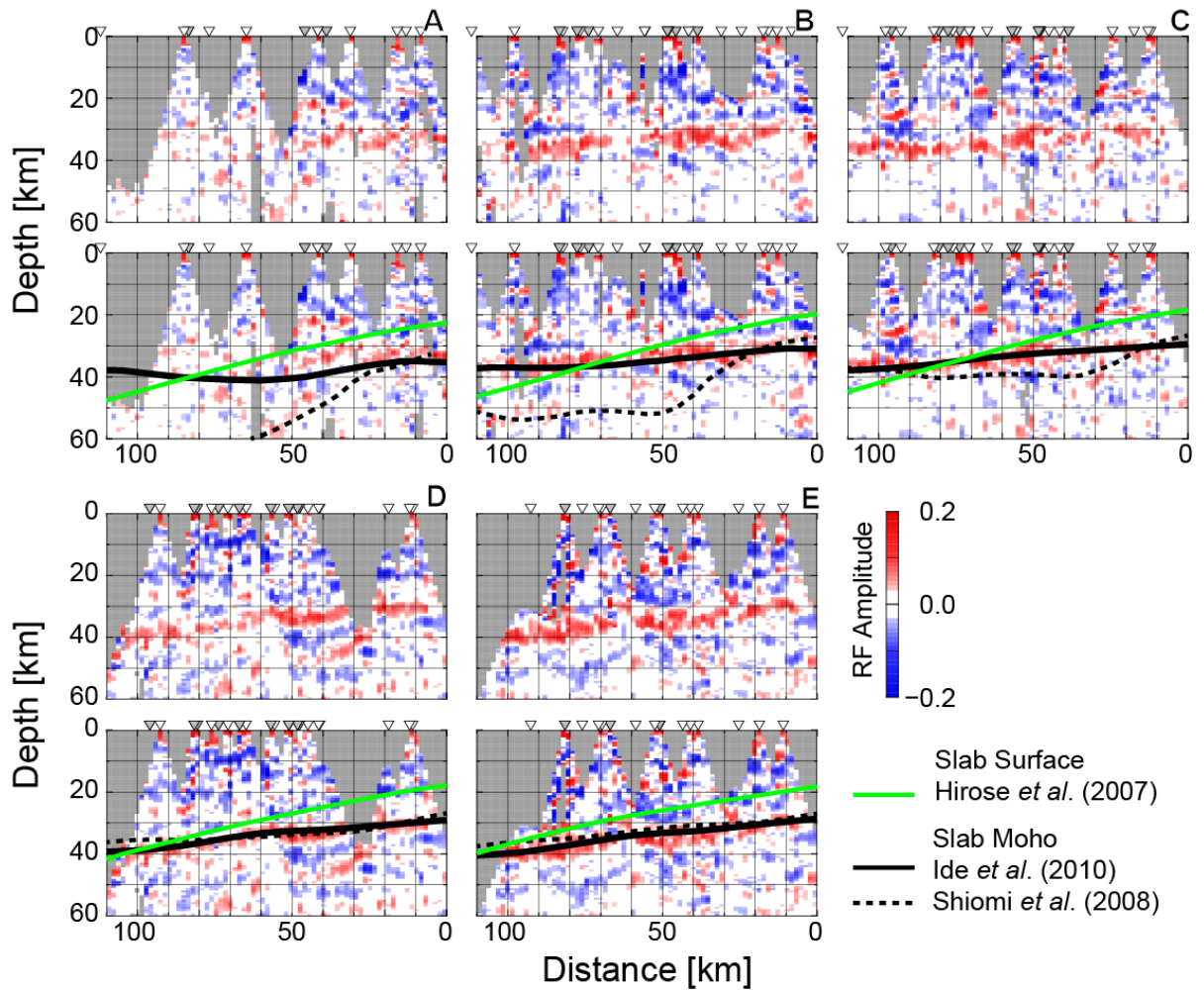


図 3-6-②-6 北西-南東方向の測線におけるレイバ関数断面図。図 3-6-②-5 に示す測線 A~E を示す。各図は、瀬戸内海側（北西側）を左、太平洋側（南東側）を右とし、南東側の端点を距離の基準点として示した。また、上段はレイバ関数断面図のみ、下段には比較として、弘瀬・他（2007）によるプレート上面形状モデル、Ide *et al.* (2010) および Shiomi *et al.* (2008) による海洋モホ面形状モデルをそれぞれ緑線、黒太線、黒破線で重ねて示す。

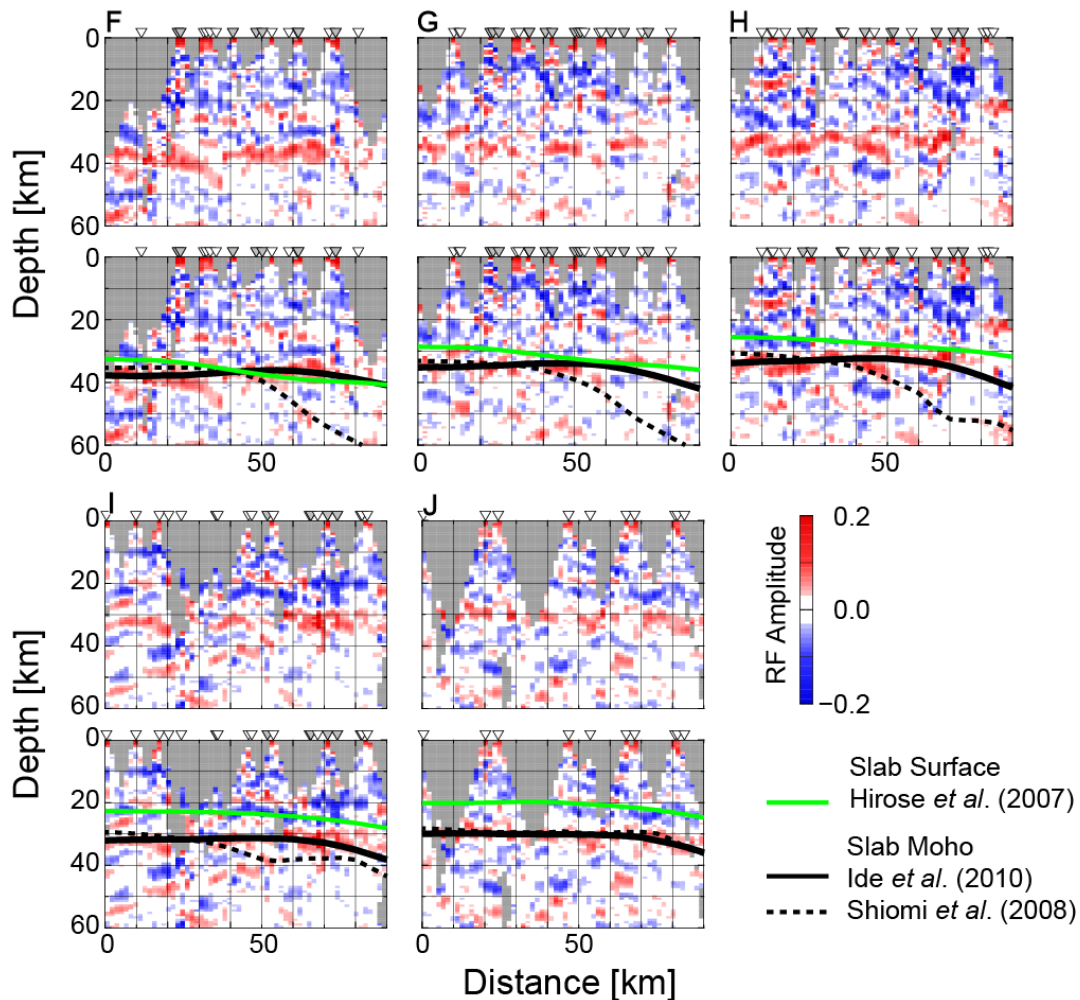


図 3-6-②-7 北東-南西方向の測線におけるレシーバ関数断面図。図 3-6-②-5 に示す測線 F~J を示す。各図は、四国中部側（南西側）を左、瀬戸内海・紀伊水道側（北東側）を右とし、南西側の端点を距離の基準点として示した。その他の表記は図 3-6-②-6 に同じ。

3) 四国西部における自然地震観測データの解析

本研究課題では、平成 26 年 3 月から約 1 年間、四国西部の 30 地点に固有周波数 1 Hz の三成分短周期地震計（OYO Geospace 社製 GS-1）を線状に設置し、自然地震観測を行った。観測点の分布を図 3-6-②-1 に青丸で示す。平成 27 年度は、これらの観測点およびその周辺に位置する基盤的地震観測網で得られた遠地地震波形を用いたレシーバ関数解析を実施し、図 3-6-②-8 に示す断面図を得た。測線位置は図 3-6-②-1 に緑線で示す。図 3-6-②-8 の上段にレシーバ関数断面図を、下段に測線周辺で発生した地震および Ohta and Ide (2011) による深部低周波地震の震源位置をそれぞれ黒点、緑点で重ねて示す。また、下段には、顕著なレシーバ関数の正の振幅の列を赤太線で、負の振幅の列を青太線で示す。図 3-6-②-8 において、図の右側（太平洋側）の深さ 35 km 付近から左側（瀬戸内海側）の深さ 50 km 付近に傾き下がる正の

振幅の列（赤線）は、沈み込む海洋モホ面に相当する。その約 10 km 浅部には、正の振幅にほぼ並行して負の振幅の列（青線）が距離 80 km 付近まで続く。これがフィリピン海プレート上面に相当する。Ohta and Ide (2011) により詳細に求められた深部低周波地震の震源は北方に傾斜する面状に分布しており、その位置はプレート境界としてレシーバ関数解析で検出した面の下限（北限）とほぼ一致している。一方、距離 90~110 km、深さ 20~30 km の正の振幅の列は大陸モホ面に相当するが、深部低周波微動活動域の浅部付近では正の振幅をほとんど確認することが出来ない（図 3-6-②-8 の赤破線）。

深部低周波地震発生域周辺の構造的特徴を把握するため、本年度は、本測線周辺に位置する防災科研 Hi-net、F-net および産業技術総合研究所 VA-net の計 19 地点で得られたレシーバ関数の変換波振幅の方位依存性を調査した。解析には震央距離 30~90 度の範囲で発生した M6 以上の地震による波形を用いた。用いた観測点の分布を図 3-6-②-9 に示す。図 3-6-②-8 や Shiomi *et al.* (2008) により、各観測点下の海洋モホ面の深さはおおよそ推定されている。そこで、それらの値を初期値とし、レシーバ関数スタッキング法 (Shiomi and Park, 2008; Park and Levin, 2016) を用いて各観測点下の海洋モホ面での変換波の到来時刻を求め、その時刻周辺における変換波振幅の最大値を読み取った。本解析ではこの振幅値の方位依存性を評価するため、全方位から均等に地震波が到来することが望ましい。しかし、実際に解析条件を満たす地震は、南太平洋（インドネシア、ソロモン諸島等）とアリューシャン列島周辺を震源とする地

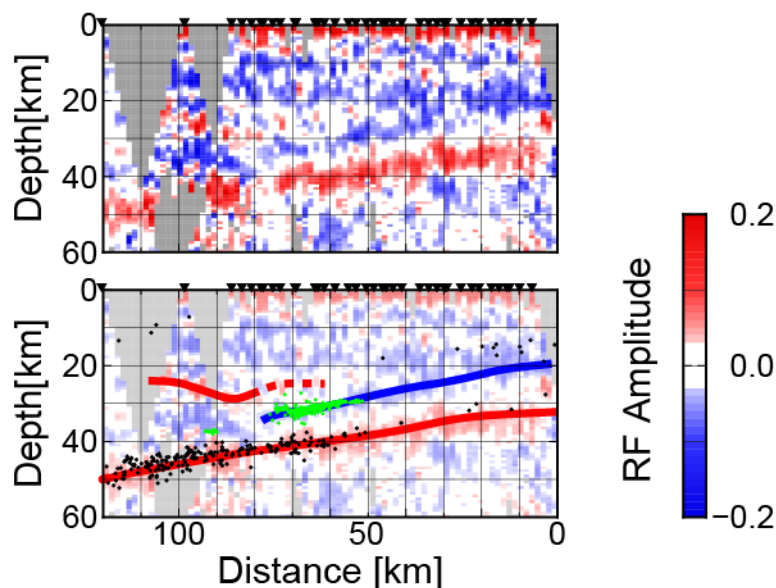


図 3-6-②-8 四国西部におけるレシーバ関数断面図。図 3-6-②-1 に測線位置を示す。瀬戸内海側（北北西側）を左、太平洋側（南南東側）を右とし、南南東側の端点を距離の基準点として示す。下段は、上段に示す断面図に一元化震源カタログによる通常の地震の震源位置を黒点で、Ohta and Ide (2011) による深部低周波地震の震源位置を緑点で示す。また、顕著なレシーバ関数の正の振幅および負の振幅の列を赤太線、青太線でそれぞれ示す。

震が大半を占める。特定の方位のデータ数が多いことによる影響を避けるため、読み取った変換波振幅値を地震波到来方向に応じた5度ごとのbinに振り分け、各binにおいて平均値と分散を求めた。各binに含まれる地震数が3個に満たない場合は、そのbinのデータは解析から除外した。このようにして作成した地震波到来方向 θ ごとの変換波振幅 $A_{RF}(\theta)$ に対して、以下の数式を用いて最小自乗解析を実施した。

$$A_{RF}(\theta) = X \sin(\theta + \alpha) + Y \sin\{2(\theta + \beta)\} + Z$$

最小自乗解析により求める変数は、 X, Y, Z および α, β の5種類である。第1項は360度周期の振幅変化を表す項であり、変換面が傾斜している、あるいは地下の異方性媒質の主軸が有意に傾斜している場合に対応する。第2項は180度周期の振幅変化を表す項であり、主軸が平坦な異方性媒質が存在する場合に対応する。第3項はバイアス成分であり、媒質のインピーダンス比等の影響を受ける。角度 α は、振幅分布をもっともよく説明する不連続面あるいは異方性主軸の傾斜方向、 β は異方性主軸の方位と関連する変数である。

解析結果の一例として、防災科研Hi-netにおけるN.NAKH（高知県・中村）観測点およびN.OOZH（愛媛県・大洲）観測点の振幅分布および最小自乗解析結果を図3-6-②-10、表3-6-②-1に示す。フィリピン海プレートは西北西から北西方向に傾斜していることは、多くのモデルに共通した特徴である（例えば、弘瀬・他, 2007; Shiomi *et al.*, 2008）。したがって、変換波振幅の方位依存性は第1項目の振幅 X とバイアス成分 Z が中心となることが期待される。実際、N.NAKH観測点では西北西方向から到来する地震に対して大きな変換波振幅が検出されており、 X は Y の3倍弱の大きさを示す。一方、N.OOZH観測点では、南西方向や北西方向から到来する地震に対してもやや大きな変換波振幅が確認されている。N.OOZH観測点に対する最小自乗解析の結果、2つの方

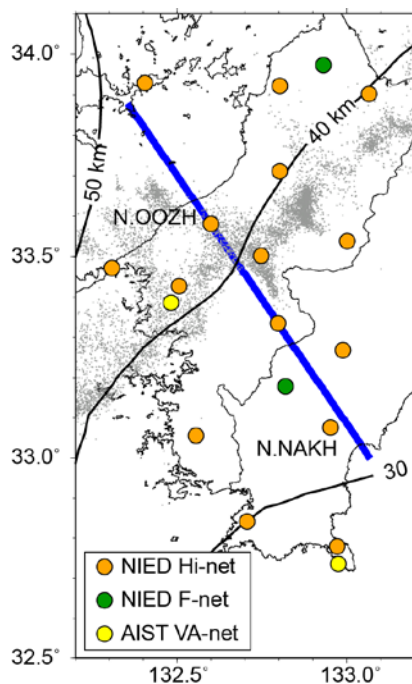


図3-6-②-9 解析に用いた定常観測点の分布。橙丸、緑丸、黄丸は、それぞれ防災科研Hi-net、F-netおよび産業技術総合研究所観測点の位置を表す。灰色の点は、ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスタ処理 (Obara *et al.*, 2010) によって1時間毎に自動処理された微動分布の重心を表す。黒線は、沈み込むフィリピン海プレート内海洋モホ面の等深線 (Ide *et al.*, 2010) を、青線は図3-6-②-8に示したレシーバ関数断面図の測線位置を表す。

位で振幅の極大値を有する、すなわち 180 度周期の振幅変化に対応する Y 値の方が 360 度周期を表す X 値よりも若干大きい値となった。観測点の東部に十分な地震活動が存在しないため、N.NAKH 観測点と比べて、この方向の振幅が大きく予測されることは不確定な要素である。しかし、観測点東方から到来する地震の記録が少ないという条件はすべての観測点で同一であること、南西方向から到来する地震に対して、N.OOZH 観測点でやや大きな振幅が観測されている点は考慮に値する。

図 3-6-②-11 に α および β から求めた面あるいは軸の傾斜方向、対称軸の方位ならびに振幅比 Y/X の分布を示す。傾斜方向ならびに対称軸の方位のシンボルは、それぞれの振幅値 (X あるいは Y) の大きさに比例して変化させた。 α 値に基づく 360 度周期の成分 (傾斜成分) については、高縄半島東部と佐田岬半島の点を除き、おおむねプレートの沈み込む方向と一致した。一方、 β 値に基づく 180 度周期の成分 (異方性成分) については、遅い軸がプレートの等深線に平行するようにも見えるが、空間的に安定して求まっているようには見えない。この成分は、異方性媒質の主軸が水平面内に分布することを仮定しており、この仮定が適切ではない可能性がある。振幅比の分布をみると、深部低周波微動活動域を境にして、北部 (深部) で Y 成分が比較的大きくなる傾向があり、これらの観測点下の海洋モホ面直上に異方性媒質が発達している可能性が示唆される。この地域の海洋モホ面は深さ 40~45 km に位置するが、Peacock (2009)によると、四国地方のこの深さにおける温度は約 500°C であり、この温度圧力条件付近の海洋地殻では、緑れん石青色片岩 (epidote blueschist) は脱水を伴いながらエクログャイトに変成する。この変成作用により、地震波速度異方性を有する媒質が形成されるとともに、解放された水が上昇することにより、プレート境界付近で深部低周波地震・微動が発生すると考えられる。ウェッジマンタルに達した水がマンタル物質の蛇紋岩化に寄与すると、マンタルの地震波速度が低下し、その上部に位置する下部地殻との速度差が小さくなる。これにより、微動域浅部の大陸モホ面が不鮮明になることも説明可能である。以上をまとめた、四国西部における解釈図を図 3-6-②-12 に示す。

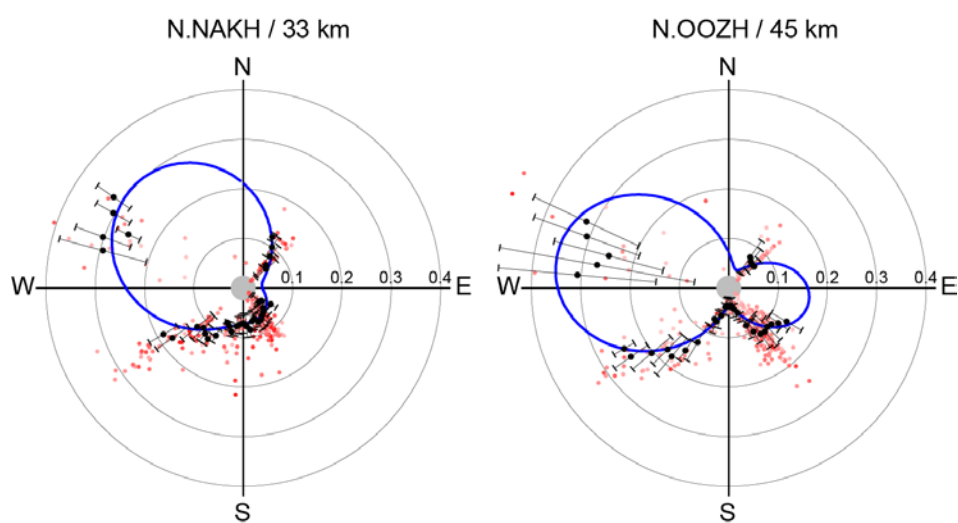


図 3-6-②-10 最小自乗解析の結果の一例。N.NAKH 観測点 (左) と N.OOZH 観測点 (右) の結果を示す。各観測点の位置は図 3-6-②-9 に示す。赤点は個々の

レシーバ関数から読み取った海洋モホ面での変換波振幅に対応し、振幅の大きさを中心からの距離で表した。S/N が良好な読み取りほど濃い赤色で示す。方位角5度ごとの領域における平均値を黒点で、その標準偏差を誤差棒で表す。青線は最小自乗解析の結果求められた結果である。中心の灰色の円は平均的なノイズレベルを表す。レシーバ関数スタッキングにより求められた海洋モホ面の深さを観測点コードの横に示す。

表 3 - 6 - ② - 1 最小自乗解析の結果例

観測点	X	α	Y	β	Z
N.NAKH	0.121	144	0.042	88	0.140
N.OOZH	0.095	169	0.105	125	0.154

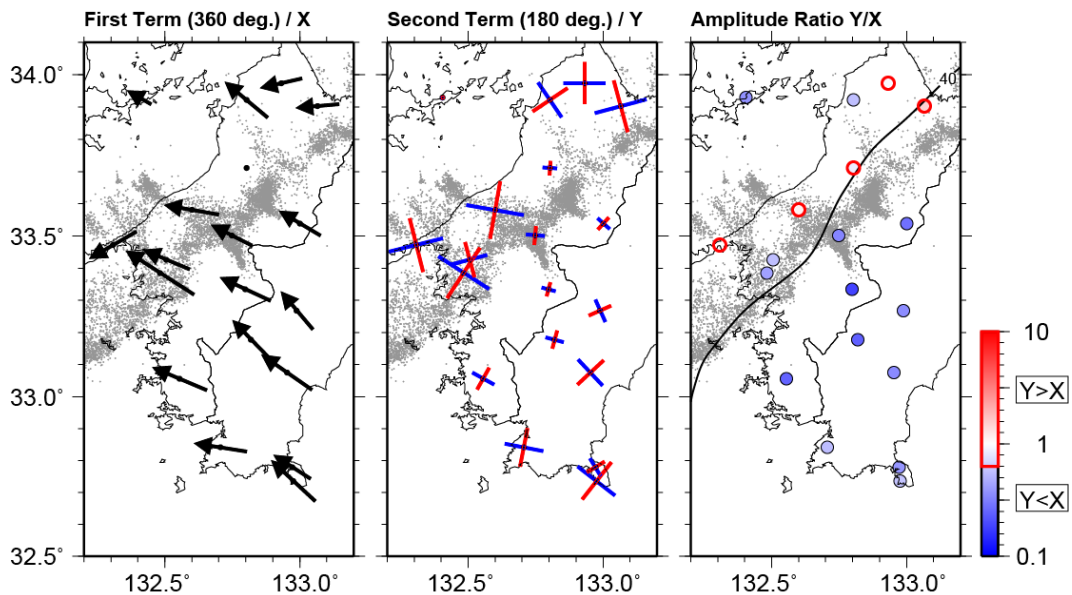


図 3 - 6 - ② - 11 最小自乗解析の結果。(左) α 値から求められた傾斜方向の分布。矢印の長さは振幅の大きさ (X 値) に比例する。(中) β 値から求められた異方性媒質の主軸の方向。赤線、青線はそれぞれ速い軸、遅い軸の方位を表す。シンボルの大きさは、振幅の大きさ (Y 値) に比例する。(右) Y 値と X 値の比。

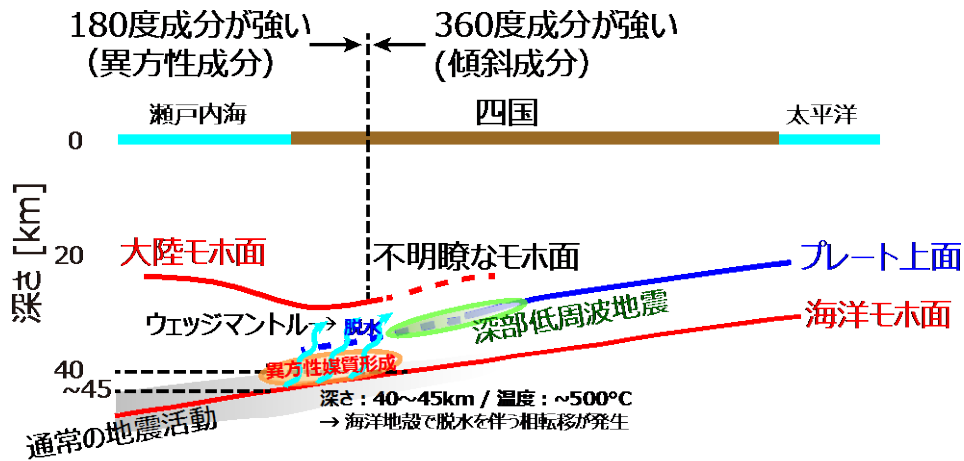


図 3-6-②-12 四国西部のレシーバ関数断面 (図 3-6-②-8) の解釈図

(c) 結論ならびに今後の課題

平成 27 年に設置した四国東部の稠密地震観測の運用を継続した。また、観測点の性能評価を行い、ノイズレベルが比較的高く、解析に使用できる十分なデータを蓄積出来ないと判断される観測点の撤収ならびに観測用地の原状回復を行った。深部低周波地震・微動に対して、P 波と S 波の到着時刻や波形のエンベロープの相関を用いた震源決定では、イベントの検出数や震源決定精度に課題がある。しかし、四国東部の稠密地震観測記録等に対して Matched Filter 解析を適用することにより、既存のカタログよりも多数の深部低周波地震を高い精度で検出可能であることを確認した。また、四国東部で観測された遠地地震の変換波解析の結果と既存のプレート形状モデルを比較したところ、観測される変換波の分布と既存のプレート形状モデルの間に有意な不整合が存在することが明らかになった。一方、四国西部における基盤的地震観測網による自然地震観測データを解析したところ、深部低周波微動発生域を境として沈み込むプレート内の海洋モホ面周辺の構造的特徴が変化することが明らかになった。具体的には、発生域よりも深部（北部）の海洋モホ面直上に異方性の強い媒質が存在する可能性が示唆された。平成 27 年度に求めた当該地域の構造断面と併せて検討することにより、微動域深部で海洋地殻を構成する媒質の組成変化に伴う脱水により微動活動が生じていること、プレート上面の深部延長に位置する微動活動の浅部の大陸モホ面は不明瞭であり、マントルウェッジの蛇紋岩化により解釈可能であることなどが推察された。

南海トラフ巨大地震の想定震源域下限設定の根拠のひとつに深部低周波微動域が挙げられているが、四国東部における深部低周波微動活動は四国西部ほど活発ではなく、北西-南東方向に列をなすいくつかのクラスタから形成されている。また、そのクラスタも、四国東部では、香川県中部と徳島県中部の活動の南北に分岐する。今後は、深部低周波地震・微動に対する Matched Filter 解析の適用期間の拡張や解析精度を向上させることにより、深部低周波地震・微動の時空間分布の高精度把握を行うとともに、四国東部下に沈み込むプレートに起因する変換波の高精度マッピ

ングによる現実的なプレート形状イメージの把握、四国西部との比較検討を進める必要がある。そのため、引き続き四国東部を対象とした稠密地震観測を実施し、解析に足る自然地震データの収集・蓄積に努める必要がある。

(d) 引用文献

- 1) 弘瀬冬樹, 中島淳一, 長谷川昭, Double-Difference Tomography 法による西南日本の3次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定, 地震 2, 60, 1-20, 2007.
- 2) Ide, S., Striations, duration, migration and tidal response in deep tremor, *Nature*, 466, 356-359, doi: 10.1038/nature09251, 2010.
- 3) Ide, S., K. Shiomi, K. Mochizuki, T. Tonegawa, and G. Kimura, Split Philippine Sea plate beneath Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L21304, doi:10.1029/2010GL044585, 2010.
- 4) Ito, Y., K. Obara, K. Shiomi, S. Sekine, and H. Hirose, Slow earthquake coincident with episodic tremors and slow slip events, *Science*, 315, 503-506, doi:10.1126/science.1134454, 2007.
- 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 and Space*, 63, 663-667, 2011.
- 7) Nakanishi, A., N. Takahashi, J-O. Park, S. Miura, S. Kodaira, Y. Kaneda, N. Hirata, T. Iwasaki and M. Nakamura, Crustal structure across the coseismic rupture zone of the 1944 Tonankai earthquake, the central Nankai Trough seismogenic zone, *J. Geophys. Res.*, 107, doi: 10.1029/2001JB000424, 2002.
- 8) Obara, K., Nonvolcanic Deep Tremor Associated with Subduction in Southwest Japan, *Science*, 296, 5573, 1679-1681, doi:10.1126/science.1070378, 2002.
- 9) 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.
- 10) Ohta, K., and S. Ide, Precise hypocenter distribution of deep low-frequency earthquakes and its relationship to the local geometry of the subducting plate in the Nankai subduction zone, Japan, *J. Geophys. Res.*, 116, B01308, doi :10.1029/2010JB007857, 2011.
- 11) Park, J. and V. Levin, Anisotropic shear zones revealed by backazimuthal harmonics of teleseismic receiver functions, *Geophys. J. Int.*, 207, 1216-1243, doi: 10.1093 /gji/ggw323, 2016.
- 12) Peacock, S. M., Thermal and metamorphic environment of subduction zone episodic

- tremor and slip, *J. Geophys. Res.*, 114, B00A07, doi:10.1029/2008JB005978, 2009.
- 13) Shelly, D.R., G.C. Beroza, and S. Ide, Non-volcanic tremor and low-frequency earthquake swarms, *Nature*, 446, 305-307, doi:10.1038/nature05666, 2007.
- 14) Shiomi, K. and J. Park, Structural features of the subducting slab beneath the Kii Peninsula, central Japan: Seismic evidence of slab segmentation, dehydration, and anisotropy, *J. Geophys. Res.*, 113, B10318, doi:10.1029/2007JB005535, 2008.
- 15) 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.

(3) 平成 29 年度業務計画案

南西諸島中部において、地下構造把握のため、海底地震計とマルチチャンネル反射法による構造調査を実施し、その観測記録の解析を行う。これら及びこれ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。

自然地震観測データを用いた構造解析では、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、引き続き四国東部を対象とした陸域稠密地震観測を実施する。平成 27 年度から 28 年度に実施した稠密観測の結果を踏まえ、同地域及びその周辺域を対象とした新たな稠密観測を開始する。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微動活動とプレート形状ならびに物性の特徴との相対的位置関係を把握するための解析の精度を向上させる。

3.7 海陸津波履歴研究

(1)業務の内容

(a) 業務題目 「海陸津波履歴研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
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	首席研究員 主任研究員 特別研究員	池原 研 板木拓也 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 上級主任研究員 主任研究員 研究員 研究員 研究部門付	宍倉正展 澤井祐紀 行谷佑一 松本 弾 谷川晃一朗 藤原 治
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	前全英明
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	准教授	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：

陸域では駿河湾奥での歴史記録調査とボーリング掘削調査から地殻変動の履歴を得た。また九州沿岸で予備調査を実施した。海域では琉球沖の海底調査から地震・津波の発生履歴を得た。また、日本海溝域で比較研究を実施した。

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の実施と、東海から四国にかけて得られた試料の分析から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では琉球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：

陸域では九州沿岸や南西諸島での掘削調査等の実施と、東海から四国にかけて得られた試料の分析から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では日向灘～南九州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：

陸域では九州沿岸や南西諸島での掘削調査等の実施と、東海から四国にかけて得られた試料の分析から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では日向灘～南九州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 28 年度業務目的

陸域では南海トラフ東端の駿河湾沿岸において、シミュレーション分野と連携して断層破壊の挙動を評価するため、津波堆積物や隆起痕跡の検出のためのボーリング掘削調査を実施し、歴史地震との関係や津波履歴の解明を目標とする。また南海トラフ西端の沿岸において、津波堆積物を検出するための予備調査を実施し、これまでに採取された地層サンプルの年代測定や微化石分析等と併せ、地域間対比から南海トラフ全体での履歴解明を目指す。

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、その堆積構造解析により地震・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 28 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堆積物（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から、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ているが、表層堆積物試料の年代測定結果からもこれを支持する結果が得られた。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。さらに八重山～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「かいいい」による KR16-E06 航海で沖縄石垣島～宮古島南方前弧域で堆積物試料の採取を行った。その結果、この海域においてもタービダイトの挟在が確認された。堆積物の色調変化を基にするとタービダイトの挟在頻度は石垣島南方海域よりも低い可能性が示唆された。

(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表層堆積物試料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「かいいい」の KR16-E06 航海を実施し、石垣島～宮古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 航海の調査海域の東側の前弧域でピストンコア 5 本を採取した。採取された堆積物コアは、船上で半割の後、写真撮影、肉眼観察・記載を行った。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、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。

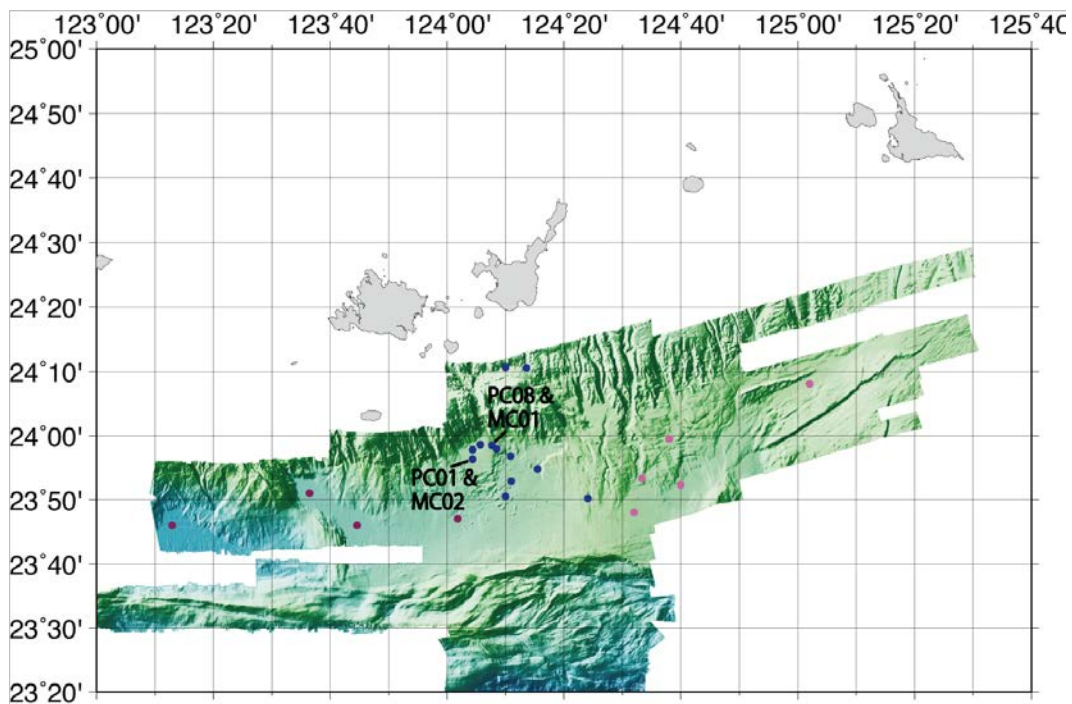


図 3-7-①-1 平成 26~28 年度の「よこすか」YK15-01、「かいいい」KR15-18、KR16-E06 航海で作成した八重山前弧域の海底地形とコア採取地点 (青 : YK15-01、紫 : KR15-18、ピンク : KR16-E06)

平成 26 年度に「よこすか」の YK15-01 航海で沖縄石垣島南西沖前弧域の海底扇状地上から採取された 2 本のピストンコア試料 (YK15-01 PC01、PC08 : 採取地点は図 3-7-①-1、柱状図は図 3-7-①-2) 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。そしてコア深度方向へのタービダイトの挟在状況の異なるこの2本のコア試料について、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）結果、およそ400～1000年というタービダイトの堆積間隔が得られている。しかし、ピストンコア試料ではその試料採取・処理過程で最表層の堆積層がきちんと採取されない場合があり、実際ピストンコアの最表層部のタービダイトの挟在状態は同じ地点でマルチプルコアラーにより採取された不擾乱表層堆積物試料（YK15-01 MC01、MC02：採取地点は図3-7-①-1、柱状図は図3-7-①-3）と異なる。このため、この地点に1771年明和地震津波に対応したタービダイトが存在するのか等、最近のタービダイトの堆積年代の詳細は不明のままであった。そこで今年度は2本のマルチプルコアラー試料について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（MC01、MC02それぞれについて8層準ずつ）。タービダイト中に含まれる古い浮遊性有孔虫の混入により年代値には逆転が認められる（図3-7-①-3）が、逆転する年代値を除外すると、最上位のタービダイトは3～4世紀以降に堆積したこと、タービダイトの堆積間隔は1000年弱（約3500年間に4枚）であることがわかった。表層堆積物試料の示すタービダイトの堆積間隔はピストンコア試料のそれと調和的であるが、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、石垣島では1771年明和津波のほかに約800年前、約2000年前の津波堆積物が確認されており（安藤・他, 2014）、この間隔とタービダイトの堆積間隔は整合的に見える。今後、これら陸上のデータと海域のデータを統合的に解釈して進めていく必要がある。

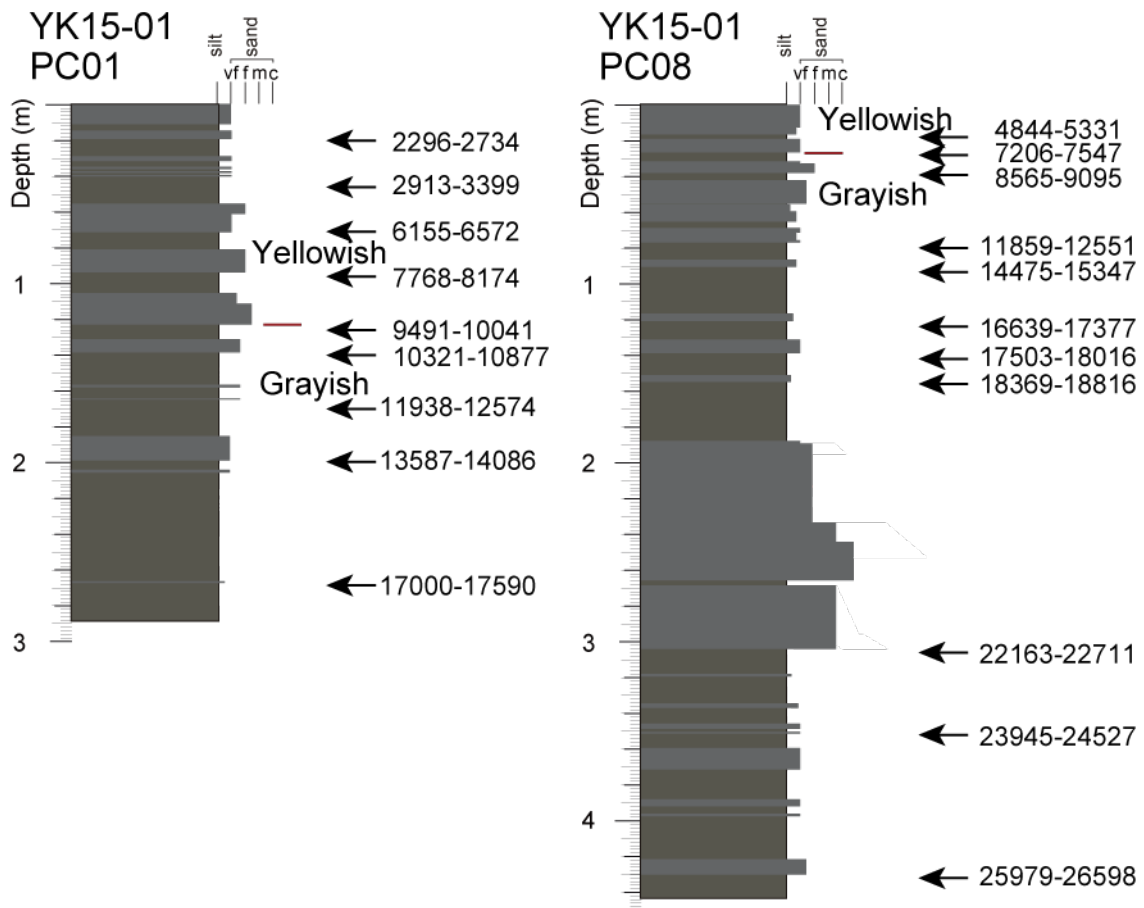


図 3-7-①-2 「よこすか」 YK15-01 航海で八重山前弧域の海底扇状地上から採取された 2 本のコア (YK15-01 PC01 と PC08) の岩相と年代測定結果

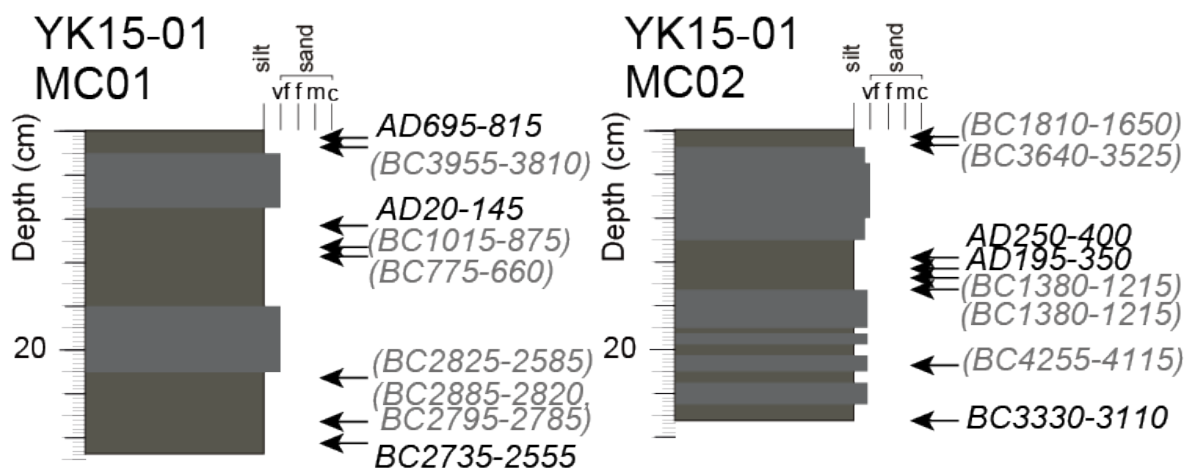


図 3-7-①-3 「よこすか」 YK15-01 航海で採取された不擾乱表層堆積物試料 (YK15-01 MC01 と MC02) の岩相と年代測定結果

一方、YK15-01 航海の調査海域の東側にも海底谷と前弧海盆の存在が既存の海底地形図から確認される (図 3-7-①-1)。これらの海底谷は異なる島や浅海域につながって

おり、異なる給源から粗粒物質が供給されている可能性がある。このため平成 28 年度は海洋研究開発機構の「かきれい」の KR16-E06 航海において石垣島～宮古島前弧域から 5 本のピストンコアを採取した（図 3-7-①-4 と表 3-7-①-1）。得られたコア試料の岩相は図 3-7-①-5 にまとめた。

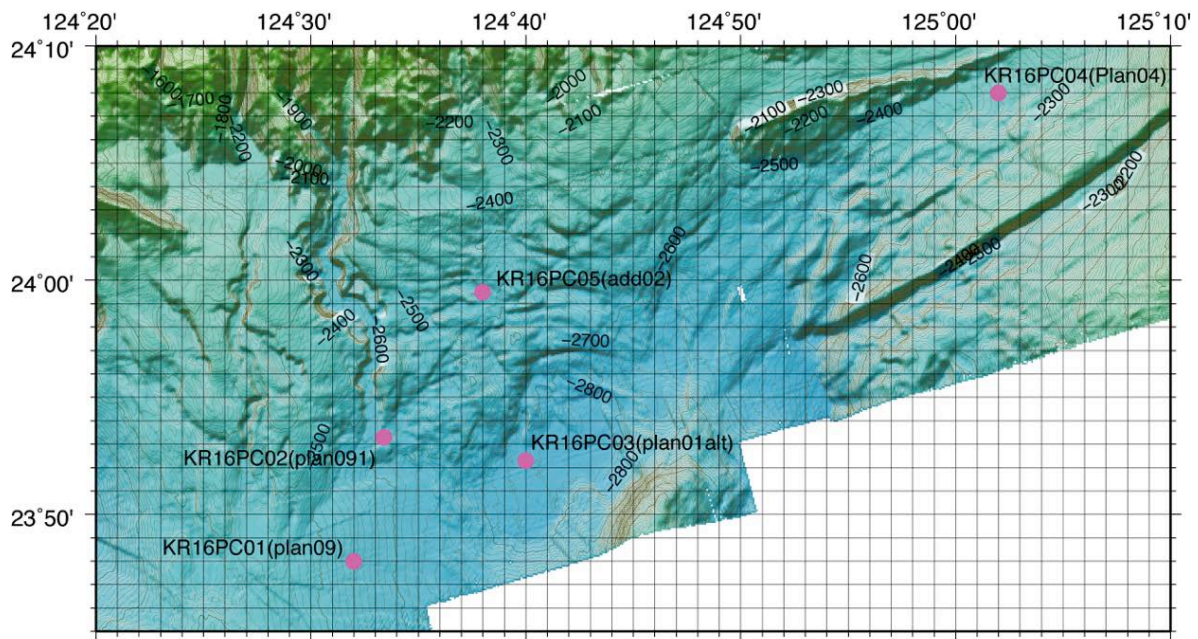


図 3-7-①-4 「かきれい」 KR16-E06 航海で取得した石垣島～宮古島間前弧域の海底地形とピストンコア採取地点

表 3-7-①-1 「かきれい」 KR16-E06 航海でのピストンコア採取地点の位置と水深

Cruise	Core	Latitude	Longitude	Water Depth (m)
KR16-E06	PC01	23 48.0312	124 31.9954	2647
	PC02	23 53.2923	124 33.3699	2644
	PC03	23 52.2962	124 39.9991	2825
	PC04	24 8.0317	125 2.0022	2363
	PC05	23 59.4875	124 38.0062	2569

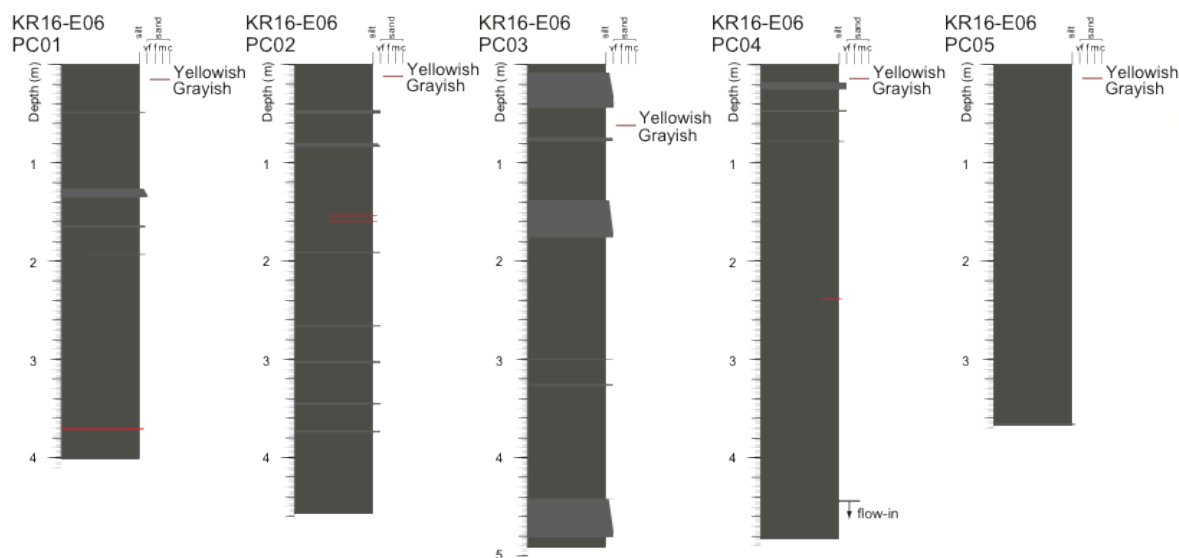


図 3-7-①-5 KR16-E06 航海で採取されたピストンコア試料
 コア試料の採取位置は、図 3-7-①-4、表 3-7-①-1 を参照。

石垣島東方に谷頭をもつ海底谷沿いから採取された 3 本のコア (KR16-E06 PC01、PC02、PC03) には複数のタービダイトの挟在が認められる (図 3-7-①-5)。通常時の堆積物の色調変化 (黄色っぽい色調から灰色っぽい色調への変化) を同時面と仮定すると 3 本のコアの堆積速度は海底谷が開いた海盆底の KR16-E06 PC03 がもっとも速く、海底谷の自然堤防上の KR16-E06 PC02 や海底谷の南方延長平坦面上の KR16-E06 PC01 は遅い。タービダイトの挟在頻度は KR16-E06 PC02 でもっとも大きく、KR16-E06 PC01、KR16-E06 PC01 の順に減少する。挟在頻度の大きい KR16-E06 PC02 のタービダイトは明瞭で侵食的な基底面と平行葉理や級化構造を堆積構造としてもつ極細粒砂～粗粒シルトで数 cm の厚さである。一方、この海底谷が開いた先にある海盆底から採取された KR16-E06 PC03 には 3 枚の厚いタービダイトが認められる。これらのタービダイトは、明瞭で侵食的な基底から始まり、最下部に平行あるいは斜交葉理をもつ極細粒砂、その上位に平行あるいはリップル葉理をもつ粗粒シルト、最上部に塊状無構造のシルト質粘土からなり、40cm 程度の厚さをもつ。海盆は海底谷を重力的に流下する混濁流の末端相により埋積されている可能性があり、末端相は一般に細粒であり、下位の堆積相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より好ましい試料が得られることが期待される (池原, 2015)。今回得られた KR16-E06 PC03 コアもより上流側の KR16-E06 PC02 よりも細粒であり、よりタービダイト基底での侵食の少ない連続的な試料であると期待される。なお、八重山沖前弧域コアに共通した特徴であるコア上部の色調変化を同時面と仮定すると、この海底谷沿いでのタービダイトの堆積頻度 (色調境界の上位で 1 枚程度) は前述の石垣島南西沖海底扇状地上のそれ (色調境界の上位で数枚～8 枚) よりも低いと考えられる。今後、2 本のコアの年代測定を進め、タービダイトの対比と堆積間隔の推定を行う必要がある。また、海盆域での細粒タービダイト

の同様な堆積は昨年度実施した西表島南西沖の前弧海盆でも認められている。西表島南西沖のコアの細粒タービダイトのうち、厚い塊状の粘土で特徴付けられるものは海盆の地形学的セッティングから台湾側から供給されているものと考えられるが、前弧海盆毎の細粒物を含むタービダイトの鉱物・化学的特徴を明らかにすることでその給源を明らかにするとともに、この海域で発生する地震や津波との関係を明らかにして行く必要がある。

一方、上記の3本のコアを採取した海底谷の東隣の海底谷の開口部から採取したKR16-E06 PC05は生物擾乱を受けた浮遊性有孔虫を含むシルトからなり、肉眼観察では粗粒層は確認できない(図3-7-①-5)。このことは少なくとも最近にはこの海底谷を通じた混濁流の流下はなかったことを示唆する。さらに、宮古島から南西方向に続く緩やかな斜面上から採取されたKR16-E06 PC04にはその上位1mに数枚の薄い石灰質極細粒砂からなるタービダイトが確認されるものの、それ以下には粗粒層は認められない(図3-7-①-5)。この緩やかな斜面の北側にはいくつかの海底谷の存在が確認できるが、これらの海底谷を通じた粗粒物質の供給は活発ではない可能性が高い。石垣島から宮古島間に位置する多良間島などの島々は前弧の斜面域よりやや北よりに位置しているので、前弧側斜面が粗粒物質の供給源となる浅海域から離れていることがこのような低調なタービダイトの堆積に関与している可能性がある。これは、より適切な試料採取地点の選定には斜面から浅海域の海底地形や堆積物分布などとあわせた検討が必要であることを示している。

琉球海溝前弧域と異なり、小さな海盆の連なる日本海溝では細粒タービダイトの累重が確認されており、細粒の深海底タービダイトを用いた地震発生履歴の研究が進められており(例えば、Ikehara et al., 2016)、タービダイト古地震学遂行の適地の一つと考えられている(Ikehara et al., in press)。今年度の比較研究の結果では、ドイツの調査船「ゾンネ」のS0-251A航海で日本海溝北端部から採取された試料の底生有孔虫の予察的な検討を行い、水深7000mを越える海溝底の重力流堆積物中に上部斜面域に生息する底生有孔虫の遺骸を確認した。北海道沖日高トラフの上部斜面域には多数の海底地すべりが確認されており(例えば、Noda et al., 2013)、海底地すべり起源の土砂輸送により日本海溝底に重力流堆積物が堆積した可能性が示唆された。琉球海溝域でも前弧海盆に水中土石流起源と考えられる堆積物の挟在が認められている(KR15-18 PC05)。このような海底地すべりや水中土石流の発生とタービダイトを堆積させる混濁流の発生の関係並びにこれらの発生に対する地震の寄与については海域毎に多様であることが予想される。今後このような異なる地質学的・堆積学的・海洋学的セッティングにおける重力流堆積物の比較検討を行い、タービダイトを用いた地震発生履歴の研究を高度化させる必要がある。

(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航海で沖縄石垣島南西沖前弧海域から採取された表層堆積物コアに挟在する地震性と考えられるタービダイトの堆積間隔は1000年程度であることがわかり、これは昨年度実施したピストンコアの解析結

果と整合的であった。ただし、表層堆積物試料にはタービダイトから混入した古い有孔虫遺骸が含まれており、正確な堆積年代を必ずしも決定できなかった。これらについては、より吟味した層準からの試料採取を行うことで混入を最低限に押さえ、より正確な堆積年代を決定し、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。また、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。また、陸上の遡上型津波堆積物の堆積年代との比較も必要である。また、「かいいい」の KR16-E06 航海では石垣島～宮古島間前弧域で調査を行い、良質な海底地形データと 5 本のピストンコア試料を得た。これらのコアでのタービダイトの挟在状況は石垣島南東沖では頻繁なタービダイトの挟在が認められたが、島や浅海域が海底谷をもつ斜面から遠ざかる場所では挟在がまれになる傾向が認められた。まず、頻繁な挟在のあったコアのタービダイトの堆積年代の決定を進めて八重山前弧域のコアの結果と比較し、この海域のタービダイトの堆積間隔の空間変動を把握することが重要である。また、KR16-E06 航海も海況の悪化により宮古島南方前弧域の調査ができなかった。宮古島周辺の斜面から浅海域の海底地形及び海底地質データを収集し、よりタービダイトの堆積が期待できる場所を選定するとともに、宮古島南方前弧域での試料採取を行って、海底堆積物中の地震性堆積物を用いた地震発生履歴の検討を進めることが重要である。

(e) 引用文献

- Adams, J., Paleoseismicity of the Cascade subduction zone: evidence from turbidites off the Oregon-Washington margin, *Tectonics*, 9, 569-583, 1990.
- 安藤雅孝, 中村 衛, 宍倉正展, 石垣島・宮古島における津波堆積物調査-巨大地震を繰り返す琉球海溝沈み込み, 科学研究費助成事業研究成果報告書, 課題番号 23540498, 日本学術振興会, 2014.
- 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, 168, 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.
- 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.

Ikehara, K., T. Kanamatsu, Y. Nagahashi, M. Strasser, F. Hiske, K. Usami, T. Irino and G. Wefer, Documenting large earthquakes similar to the 2011 Tohoku-oki earthquake from sediments deposited in the Japan Trench over the past 1500 years, Earth Planet. Sci. Lett., 445, 48-56, 2016.

Ikehara, K., K. Usami, T. Kanamatsu, K. Arai, A. Yamaguchi and R. Fukuchi, Spatial variability in sediment lithology and sedimentary processes along the Japan Trench: Use of deep-sea turbidite records to reconstruct past large earthquakes, Geological Society Special Publication, in press.

Noda, A., T. TuZino, M. Joshima and S. Goto, Mass transport-dominated sedimentation in a foreland basin, the Hidaka Trough, northern Japan, Geochm. Geophys. Geosys., 14, 2638-2660, doi:10.1002/ggge.20169, 2013.

Sakaguchi, A., G. Kimura, M. Strasser, E.J. Screatton, 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.

② 陸域での津波履歴調査実施（四国～九州）とサンプルデータ解析

(a) 業務の要約

陸域津波履歴調査では高知県東洋町・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珪藻化石分析を実施した。

南国市では、津波や高潮により形成されたとみられる4層のイベント砂層を検出し、それらの堆積年代はそれぞれ、5970～4440 cal BP、4560～3730 cal BP、3700～3490 cal BP、3420～2440 cal BPであることが明らかになった。東洋町・四万十町・黒潮町でも年代測定を進め、それぞれの地点でのイベント砂層の堆積年代を明らかにした。しかし、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。

(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

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。

平成 28 年度は平成 27 年度に引き続き、採取した堆積物試料の層相の観察、放射性炭素年代測定、珪藻化石の分析を実施した。イベント堆積物の堆積年代の推定には、イベント堆積物の直上および直下の堆積物から抽出した種や葉などの植物化石の年代を用いた。これらの植物化石は堆積物そのものや木片に比べ真の堆積年代を示す可能性が高く、イベント年代の推定に適した測定試料である。



図 3-7-②-1 陸域津波履歴調査地域（四国）。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。

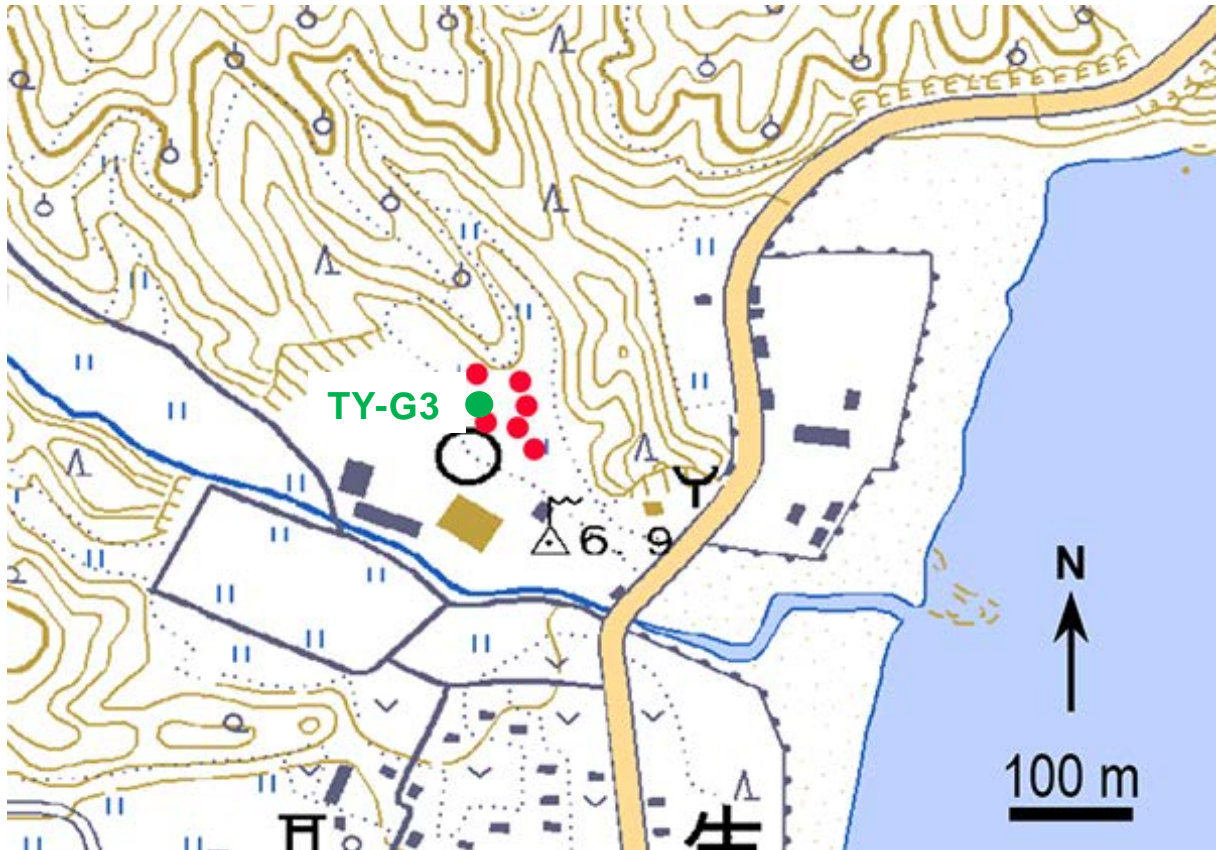


図 3-7-②-2 東洋町生見の掘削地点（赤丸、TY-G3 のみ緑丸で示す）。2 万 5 千分の 1 地形図「甲浦」を使用。

地点 TY-G3（図 3-7-②-2）では、ジオスライサーを用いて深さ 4.2 m まで掘削を行い、約 340～7160 年前までの 6820 年間に堆積したシルトおよび粘土層を採取した（図 3-7-②-3）。深さ 1.5 m 以深は暗褐色の有機質粘土と灰色の粘土の互層となり、両者の地層境界は比較的明瞭である。このような急激な層相変化の繰り返しの成因の一つとして、地震性地殻変動が考えられる。本年度は主に、これらの有機質粘土層と粘土層の堆積年代を明らかにするため、果実や葉などの植物化石に放射性炭素年代測定を実施した。放射性炭素年代測定の結果、3 層の灰色粘土層の堆積年代は、上位からそれぞれ約 4650～5605 cal BP、約 5750～6280 cal BP、約 6210～6880 cal BP と推定された。今後は、これらの互層の珪藻分析を実施し、層相変化に対応する珪藻群集の変化が見られるかを検証し、層相変化の成因を明らかにしたい。

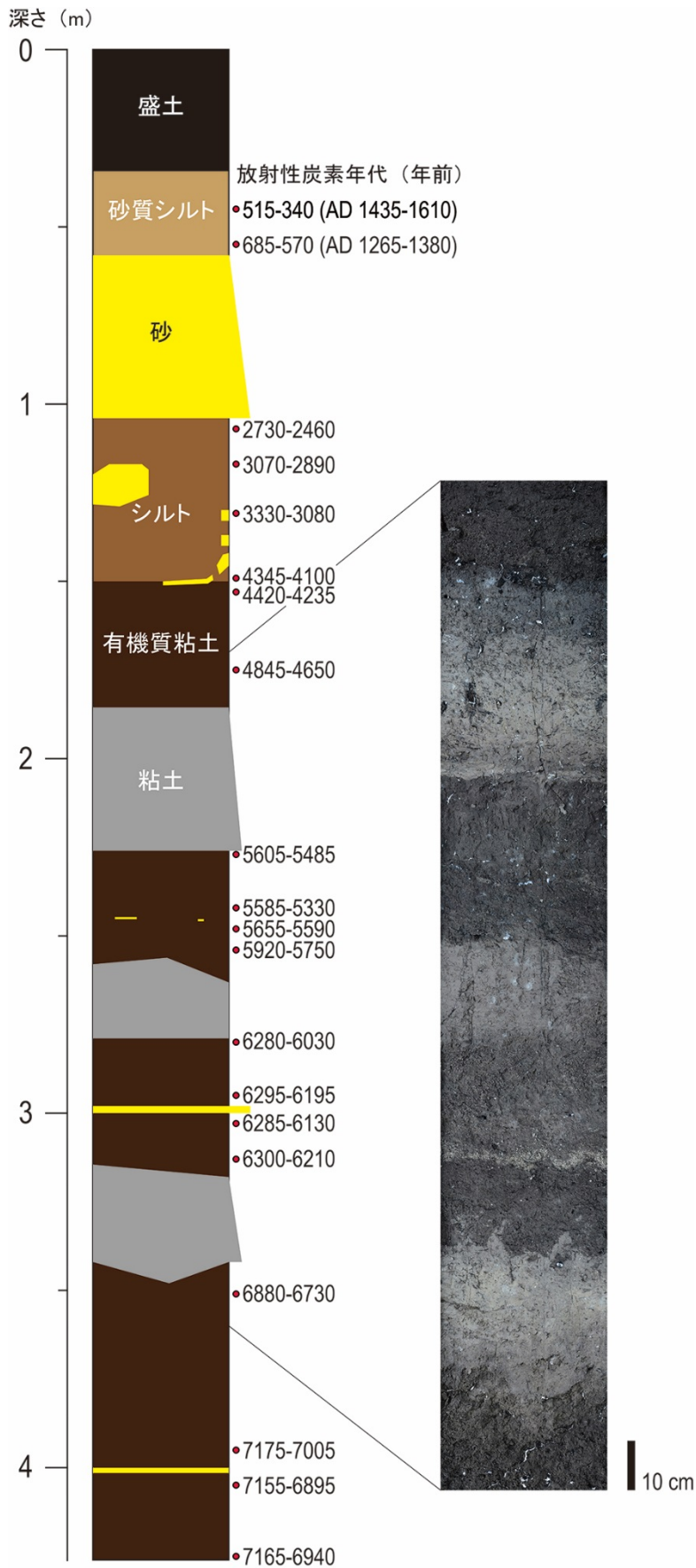


図 3-7-②-3 TY-G3 の柱状図および放射性炭素年代、有機質粘土と粘土の互層の写真

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）。平成 28 年度は平成 27 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、珪藻化石分析を行った。

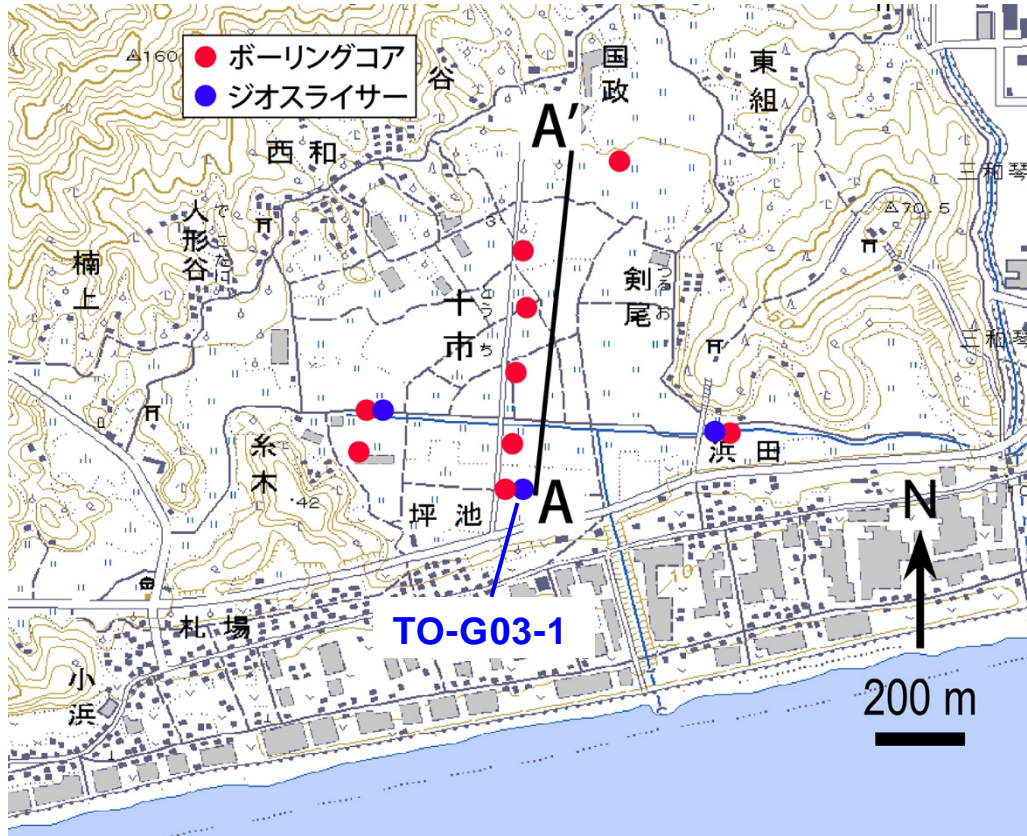


図 3-7-②-4 南国市十市の掘削地点。2 万 5 千分の 1 地形図「後免」を使用。

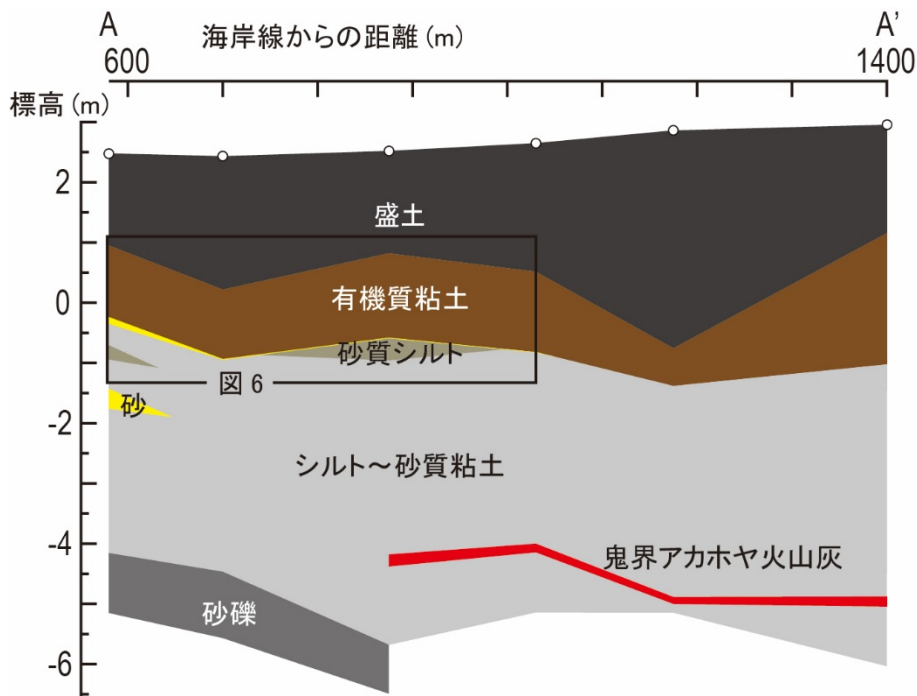


図 3-7-②-5 ボーリングコアに基づく A-A' 測線の地質断面図。

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）。

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（図 3-7-②-6）。有機質粘土層中には最大 5 層のイベント砂層（パッチ状のものも含む）が見られた。周囲の層序からは、これらの砂層の掘削地点間での対比が難しかったため、放射性年代測定に基づいて対比を行った。その結果 5 層のうち 3 層のイベント砂層（下位から S2、S3、S4）が複数のコアで連続することが明らかになった。イベント砂層の直上・直下から抽出した果実や葉などの植物化石の年代値を用いて OxCal 4.2 (Bronk Ramsey, 2009) で推定した S1～S4 の堆積年代 (2σ) はそれぞれ、5970～4440 cal BP、4560～3730 cal BP、3700～3490 cal BP、3420～2440 cal BP である。

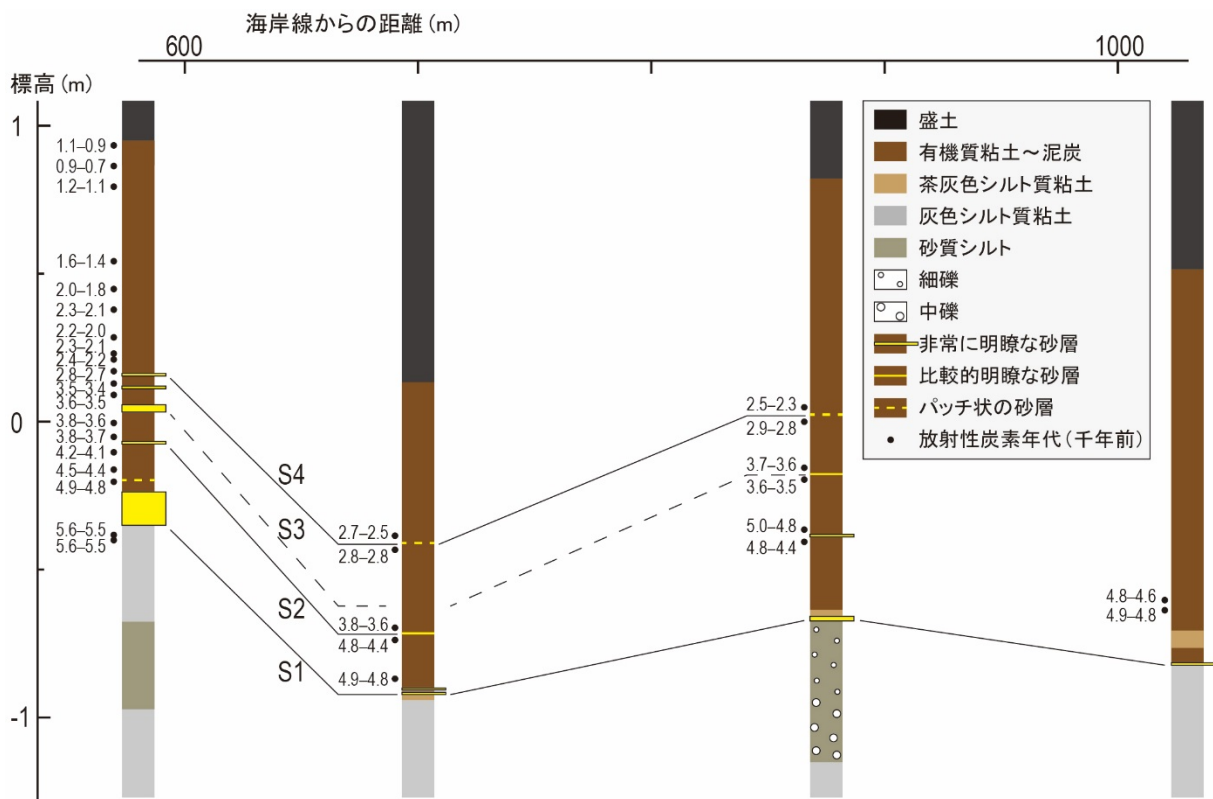


図 3-7-②-6 地質断面の拡大図。拡大部分は図 3-7-②-5 を参照。

平成 27 年度に報告したように、これらの砂層 S1～S4 には海生～汽水生珪藻がほとんど含まれていなかった（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, 2016）。しかし、同様の結果は東北地方太平洋沖地震の津波堆積物からも報告されており（Szczuciński et al., 2012; Takashimizu et al., 2012; Tanigawa et al., in press）、この事実は必ずしも砂層が海起源であることを否定しない。そこで、S1～S4 が海側にのみ分布することや、調査地点には大きな河川がなく洪水が発生しにくいという地形条件も考慮すると、S1～S4 は津波や高潮によって形成された堆積物である可能性が高いと考えられる。

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 20 m 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 1.3 km 南の海岸には浜堤が発達し、北側は丘陵に挟まれた細い水路が海に通じており、非常に低平で津波の被害を受けやすいと考えられる。低地地下は深さ約 13～17 m まで主にシルトおよび粘土層からなり、それより下位は基盤の砂礫層となる。

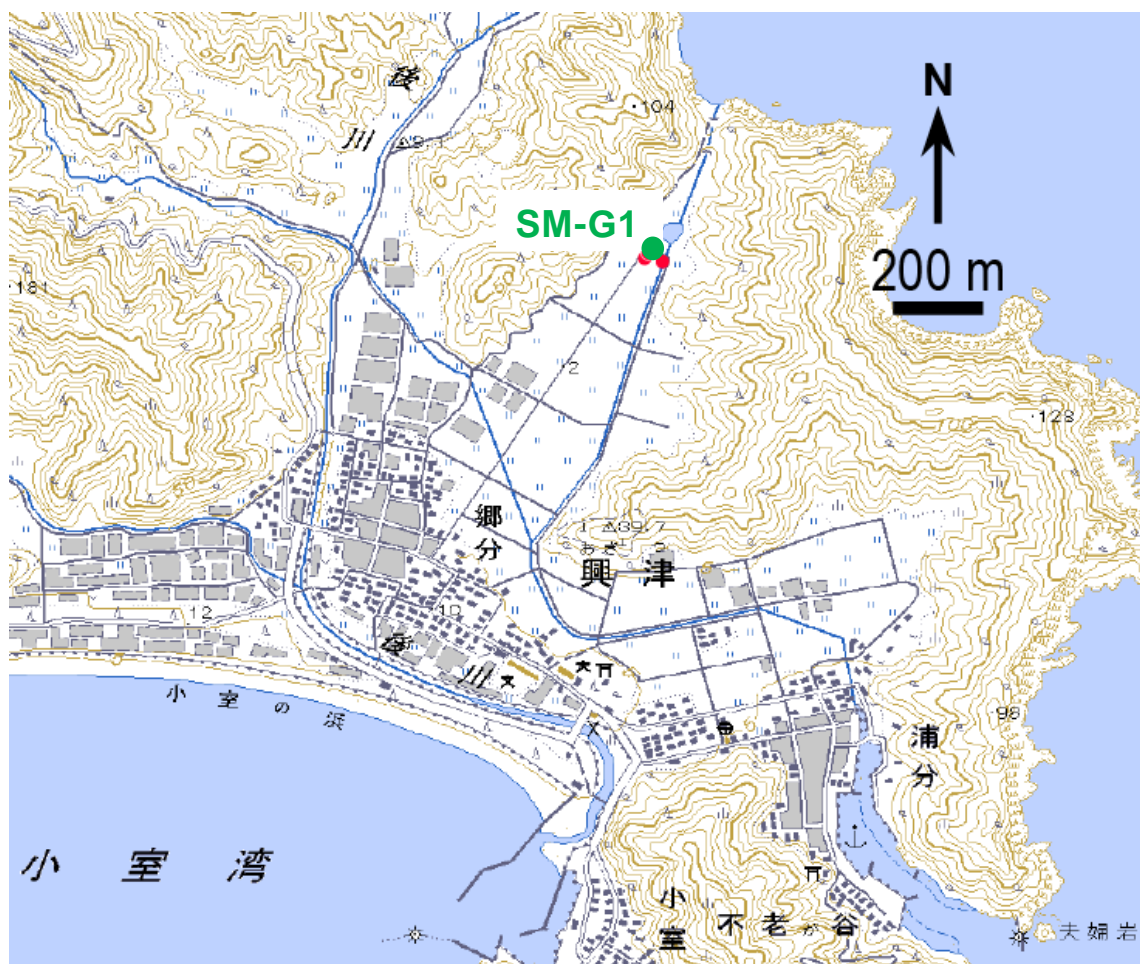


図 3-7-②-7 四万十町興津の掘削地点（赤丸、SM-G1 は緑丸）。2 万 5 千分の 1 地形図「窪川・興津浦」を使用。

ジオスライサー SM-G1（図 3-7-②-7）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る。本年度は SM-G1 のイベント砂層の周囲の粘土層の年代測定を主に実施した。イベント砂層より上位の粘土層～泥炭層は西暦約 400～1650 年の間に堆積したと見られる。この期間、南海トラフ沿いでは 684 年白鳳地震以降 6 回の地震・津波が知られているが、本調査地点ではそれらに対比されるイベント堆積物は確認されなかった。ジオスライサーおよびその剥ぎ取り標本の目視による観察からは、粘土層中には層相の変化は見られなかった。しかし、上位ほど堆積速度が速くなる傾向が見られ、粘土層と上位の泥炭層の地層境界は非常に明瞭であることから、堆積間隙が存在している可能性も考えられる。今後はさらに高密度で年代測定を実施し、歴史津波の堆積物が残されなかった理由を検

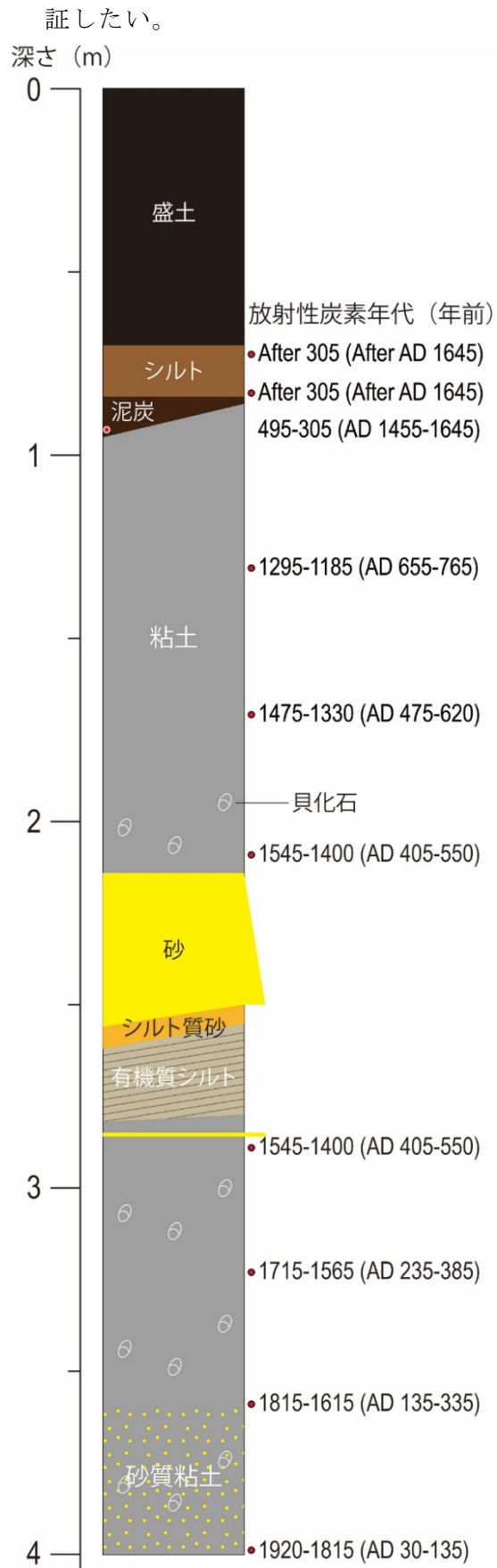


図 3-7-②-8 SM-G1 の柱状図および放射性炭素年代

黒潮町では平成 26 年度に海岸から約 500 m 内陸（入野）と約 1.8 km 内陸（下田の口）の標高 2～4 m の海岸低地においてボーリングを 7 地点、ジオスライサーを 1 地点で行い深さ最大 4 m まで掘削を行った（図 3-7-②-9）。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。

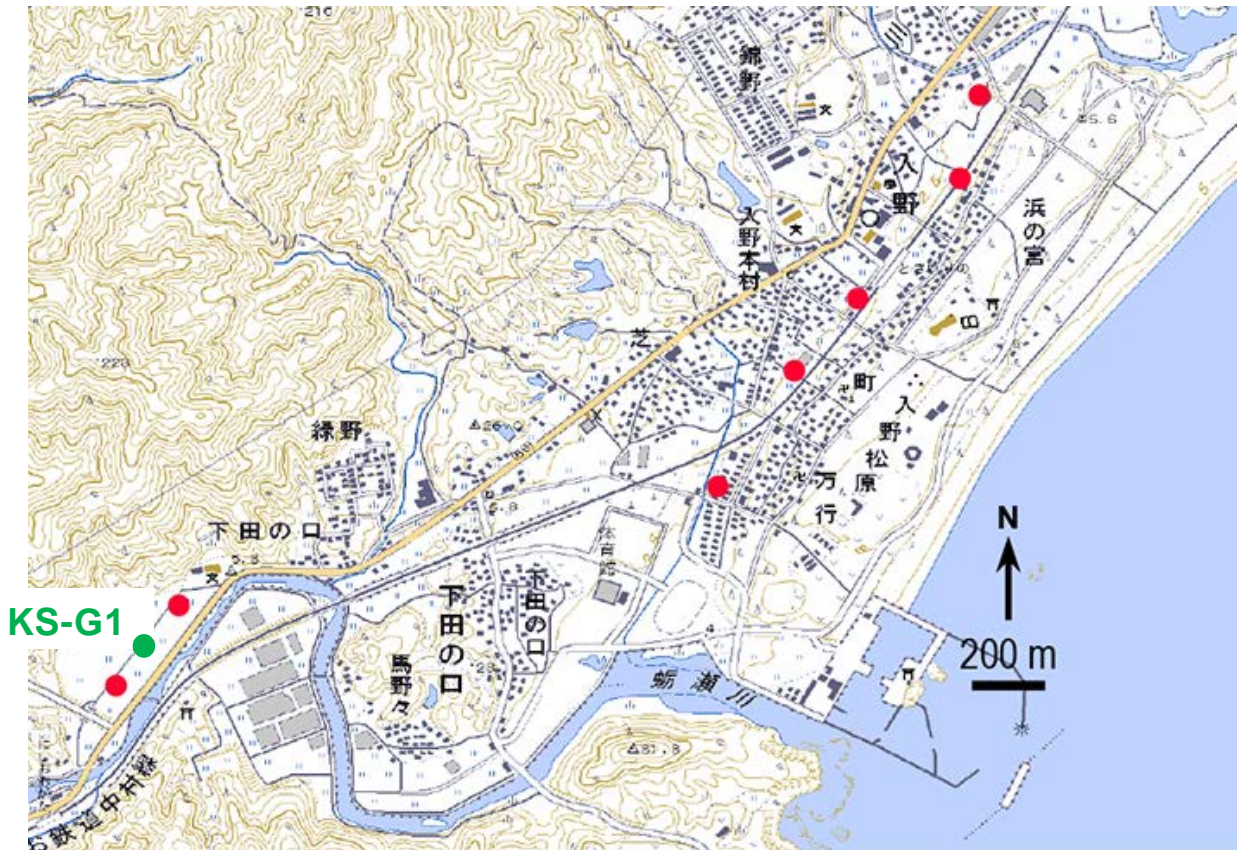


図 3-7-②-9 黒潮町入野と下田の口の掘削地点（赤丸、KS-G1 は緑丸）。2 万 5 千分の 1 地形図「土佐佐賀、蕨岡」を使用。

ジオスライサー KS-G1（図 3-7-②-9）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。平成 28 年度は KS-G1 の年代測定を継続して実施した。その結果、上位から 2 つめのイベント砂層は約 2920～1290 年前に堆積したことが明らかになった。そのイベント砂層より下位のシルト層中には、年代測定の試料として信頼性の高い植物化石がほとんど含まれていなかったため、木片や植物片（根のようにも見えるが詳細は不明）を用いて測定を行った。年代測定の結果、これらの試料は約 3170～2360 年前の年代値を示した。しかし、年代値の逆転が多く真の堆積年代を示している可能性は低いと考えられる。上位から 3 つめのイベント砂層の堆積年代は、ボーリング試料から今後明らかにしたい。

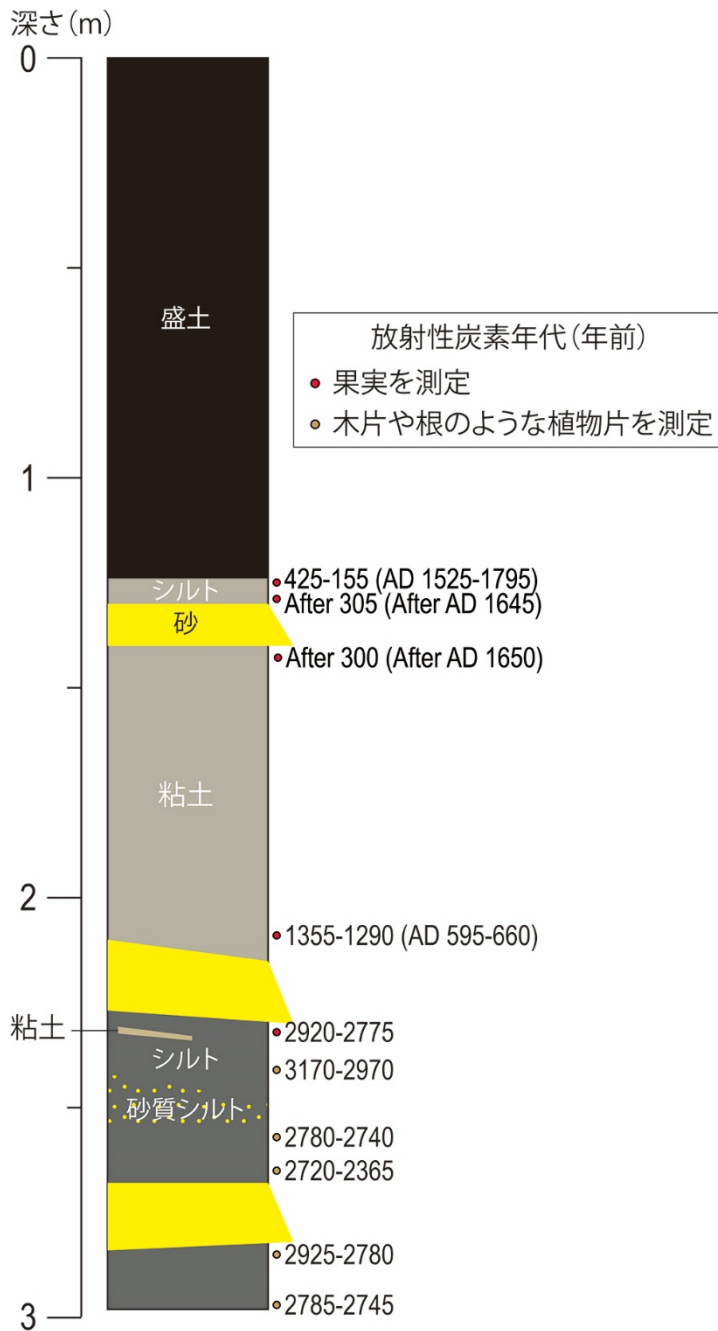


図 3-7-②-10 KS-G1 の柱状図および放射性炭素年代値

(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分析を行った。

平成 28 年度に実施した放射性炭素年代測定により、南国市で検出した津波や高潮により形成されたとみられる 4 層のイベント砂層の堆積年代を 5970～4440 cal BP、4560～3730 cal BP、3700～3490 cal BP、3420～2440 cal BP と推定した。また、各調査地域で

採取した堆積物の時間分解能が向上したが、地域間で明確に対応するイベントは見られなかった。今後は東洋町・四万十町・黒潮町で珪藻分析を実施し、イベント砂層の成因を明らかにするとともに、各地域でイベント堆積物が確認されない期間やその要因について検証を進める。また、現在までの成果を踏まえ新たな調査地点でも掘削調査を実施し、より多くのイベント堆積物を検出して、広域でのイベント堆積物の広がりを検証したい。

(e) 引用文献

- 1) Bronk Ramsey C., Bayesian analysis of radiocarbon dates, *Radiocarbon*, 5, 337-360, 2009.
- 2) 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プロジェクト, 平成 27 年度成果報告書, 423p, 2016.
- 3) 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, 2012.
- 4) Takashimizu, Y., Urabe, A., Suzuki, K. and Sato, Y., eposition by the 2011 Tohoku-oki tsunami on coastal lowland controlled by beach ridges near Sendai, Japan, *Sedimentary Geology*, 282, 124-141, 2012.
- 5) Tanigawa, K., Sawai, Y. and Namagaya, Y., Diatom assemblages within tsunami deposit from the 2011 Tohoku-oki earthquake along the Misawa coast, Aomori Prefecture, northern Japan, *Marine Geology*, doi.org/10.1016/j.margeo.2016.11.016, in press.

③ 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）

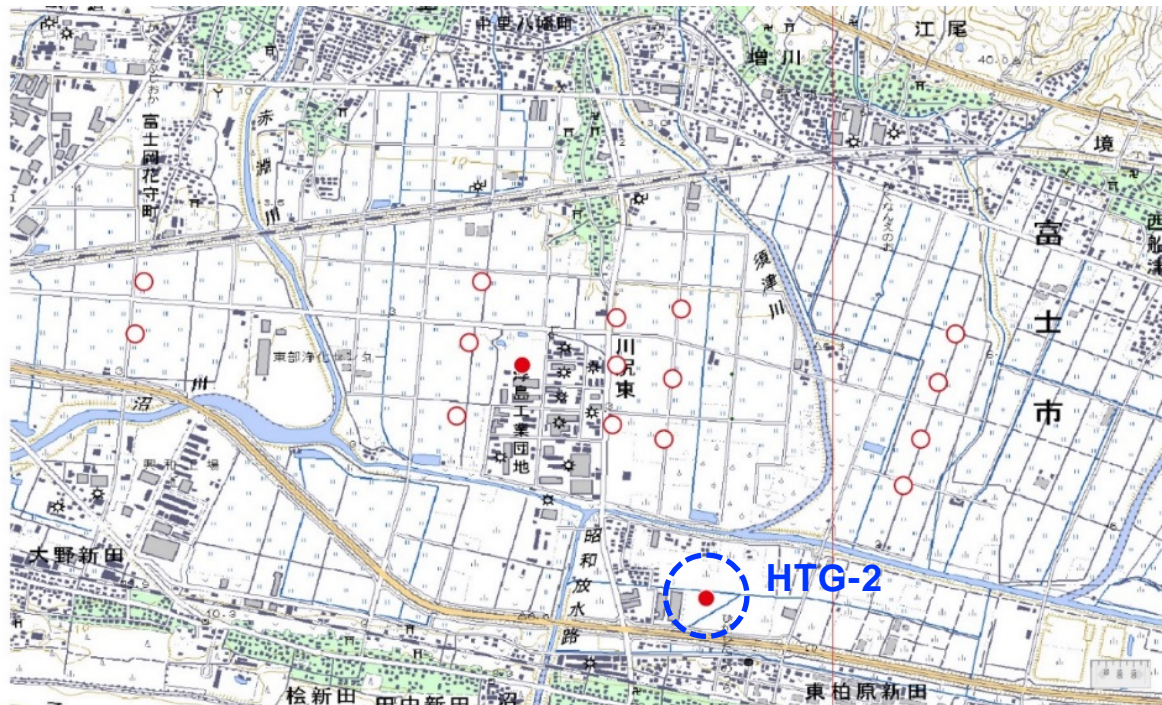
(a) 業務の要約

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、過去に発生した地殻変動を検出するために珪藻化石分析を行った。その結果、長さ 8 m のボーリングコア中に少なくとも 5 回の沈水イベントを記録していることが明らかになった。また、既存のボーリングコアの地点間対比を行うため、放射性炭素年代測定を行った。その結果、過去 3000 年間の地層の対比が可能になった。

(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形で記録されている。このイベントは主に層相の変化から読み取られているが、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 3-7-③-1）の珪藻分析を詳細に行い、イベント層の認定を古生物学的に検討することにした。具体的には、① 2010 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 分割した試料を過酸化水素水で処理することにより珪藻

化石を抽出し、③ 抽出された珪藻化石を各層準につき 150～200 個体程度同定・計数した。また、産業技術総合研究所が 2010 年度～2012 年度に採取したボーリングコア(図 3-7-③-1) を分割し、そこに含まれる大型植物化石を拾い出した。得られた植物化石の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 3-7-③-1. 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)

(c) 業務の成果

静岡県富士市の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珪藻化石分析を行った結果、過去 3000 年間の堆積物中においてその組成が大きく変化していることが明らかになった(図 3-7-③-2)。このうち、深さ 454 cm 付近、深さ 308 cm 付近、深さ 224 cm 付近、深さ 154 cm 付近、深さ 104 cm 付近においては、*Diademsis contenta* (Grunow) D.G.Mann、*Diploneis elliptica* (Kützing) Cleve、*Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow、*Eunotia praeurupta* var. *bidens* (Ehrenberg) Grunow などの乾燥～半乾燥環境に生育する珪藻類が特徴的に増減する。これらの珪藻が急激に減少する原因は、周囲の水位が上昇して湿地化することにより、最適な環境が失われたからだと考えられる。仮に、この沈水現象が、すべて過去の地震性地殻変動に関係しているのであれば、過去 3000 年間に少なくとも 5 回の巨大地震が発生していたことを示している。

(d) 結論ならびに今後の課題

静岡県富士市および徳島県阿南市の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珪藻化石分析を行った結果、過去 3000 年間に少なくとも 5 回の沈水イベントが明らかになった。この沈水が地殻変動を表しているとすれば、沈水イベントの年代を推定することで過去の巨大地震が発生時期を復元することができる。ただし、今回検出した沈水イベントは極めて地域的な環境変化を反映している可能性もあるため、他のボーリングコア試料についても同様の分析をして検証していく必要がある。

(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., S. Fujino, J. Komatsubara, Y. Morita, Y. Namegaya, 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*, 2016.

④富士川河口域における 1854 年安政東海地震の地殻変動と断層位置の推定

(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、地形データを参照しながら 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河床は現在の流路よりも西側まで広がって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。そこでこの隆起をもたらした断層の位置を推定し、長期における地殻変動の傾向を解明するため、ボーリング掘削調査を行った。

(b) 業務の実施方法

安政地震は歴史記録によれば駿河湾西岸部に隆起をもたらしたとされている(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であり、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。そこでまず、昨年度に引き続き歴史記録に関する調査を行い、安政地震前後での富士川の流路の変遷について検討を行った。

次に富士川河口付近の地下に伏在すると推定されている断層の位置について明らかにするため、西岸地域でボーリング掘削調査を行った。本地域では既存のボーリング調査結果がいくつかあり、本調査の結果をそれらと対比させることで、断層変位の状況を確認し、平均変位速度を見積もることとした。ボーリング地点は静岡市清水区蒲原地先

で、現在の海岸線から約 130 m、標高 6.5 m の場所である（図 3-7-④-1）。掘削はオールコアで深度 100 m まで掘削した。



図 3-7-④-1 調査地域の地図。国土地理院地図および Google Earth を使用。

(c) 業務の成果

まず安政地震による富士川河口の流路の変遷について歴史記録をみると、『蒲原町史』には、少なくとも天明六年（1786 年）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 年）などには、安政地震（1854 年）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。さらに桑原藤泰（1832 年没）が記した『駿河記』の絵図では、現在の蒲原地震山付近が中洲のような形で描かれており、当時の河床が現在よりも西へ広がっていたことがわかる。一方、安政地震より後には蒲原地域に洪水が発生しなくなり（『蒲原町史（1968 年）』）、陸地測量部による明治二十年（1887 年）の地図では、ほぼ現在の流路になっていることが示されている。したがって安政地震を挟んで、かつて蒲原地域まで広がっていた河床が東側へ縮小し、かつての中洲が離水して蒲原地震山が生じたと考えられる。

次に数値地形図から断面図を作成し、その高度分布を調べた。まず富士川河口低地を構成する扇状地の扇央部から同心円を設定し、現河床と両河岸の地形縦断面を作成した（図 3-7-④-2）。その結果、蒲原地震山を含む西岸の測線の地形は、東岸の地形よりも全体的に数 m 程度高いことがわかる。また蒲原地震山がかつての中洲であるとすると、現河床の中洲とはかなり高度差がある。現在の河床は人口改変の影響もあるため、明治二十年（1887 年）の地形図に基いて、当時の中洲の高度を調べ、横断面図上で比べると、4 m 程度の高度差があることが確認できた（図 3-7-④-3）。

以上のことから、富士川河口の流路の変遷や河床の離水は、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可能性が高く、その量は場所により 4 m 程度まで達した可能性がある。

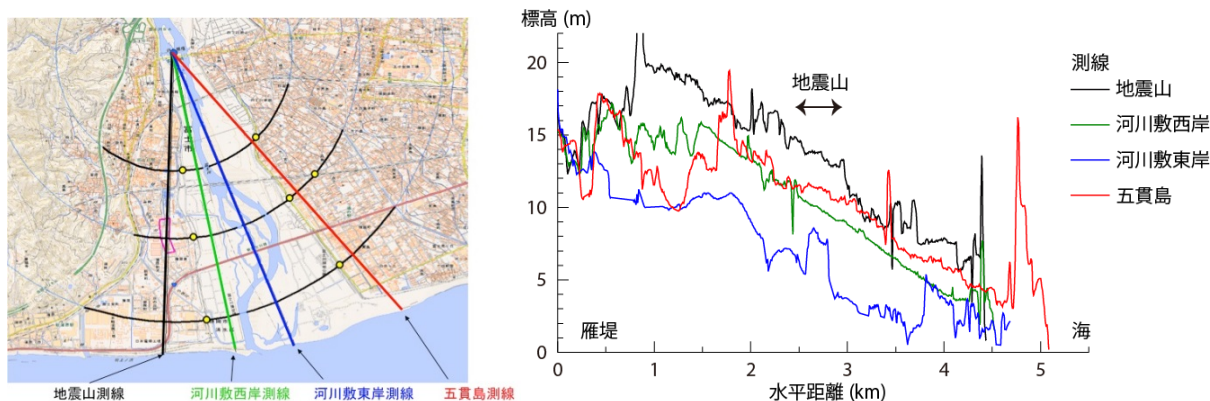


図 3-7-④-2 地形断面図を作成した測線の位置 (左) と各測線の地形断面 (右)。国土地理院地図を使用。

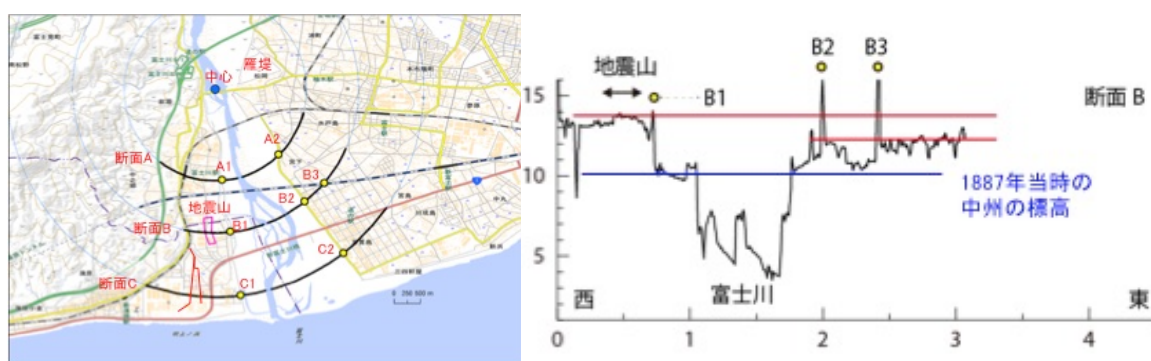


図 3-7-④-3 地形断面図を作成した測線の位置 (左) と断面 B の地形断面 (右)。国土地理院地図を使用。

ボーリング調査に関しては、深度 100 m まで掘進し、深度 97 m で基盤である岩渕層に達した (図 3-7-④-4)。これまでのところ深度 55 m 付近まで記載している。表層の埋土の下は深度 15.5 m 付近まで淘汰の悪い砂礫や粗砂が分布する。その下位には深度 20.5 m 付近まで細～粗砂が互層をなし、さらにその下位にはラミナを伴う比較的淘汰の良い極細砂～シルトが深度 25 m 付近まで続く。そこから深度 25～30 m 付近は砂礫、深度 30～34 m 付近は細～中砂、深度 34～36 m 付近は砂礫が分布する。深度 36～39 m 付近は生痕を伴うシルトが分布し、深度 39～45 m 付近は砂礫と粗砂、中砂が互層をなす。深度 45～48 m はラミナを伴う極細砂～シルト、深度 48～53 m は中～粗砂や砂礫が分布する。深度 53 m 以下は貝殻片を含むシルトが少なくとも深度 55 m 付近まで確認される。深度 55 m 付近以下は未記載だが、深度 97 m で基盤の岩渕層に達したことを確認している。

これらの層序と周囲の地形からみて、砂礫は基本的に富士川から供給されたものや、海岸で堆積したものであり、細砂やシルトは主に浅海域や沿岸のラグーンで堆積したと考えられる。特に深度 53～55 m には貝殻片を含むことから、後氷期海進時の海成層

の可能性が高い。また砂礫とシルトが数 m ずつ互層をなすことから、海陸の境界付近における堆積環境のサイクリックな変化を示している可能性がある。この変化が富士川河口断層帯の活動による隆起や沈降と関連したものであるかどうかは現時点では不明である。

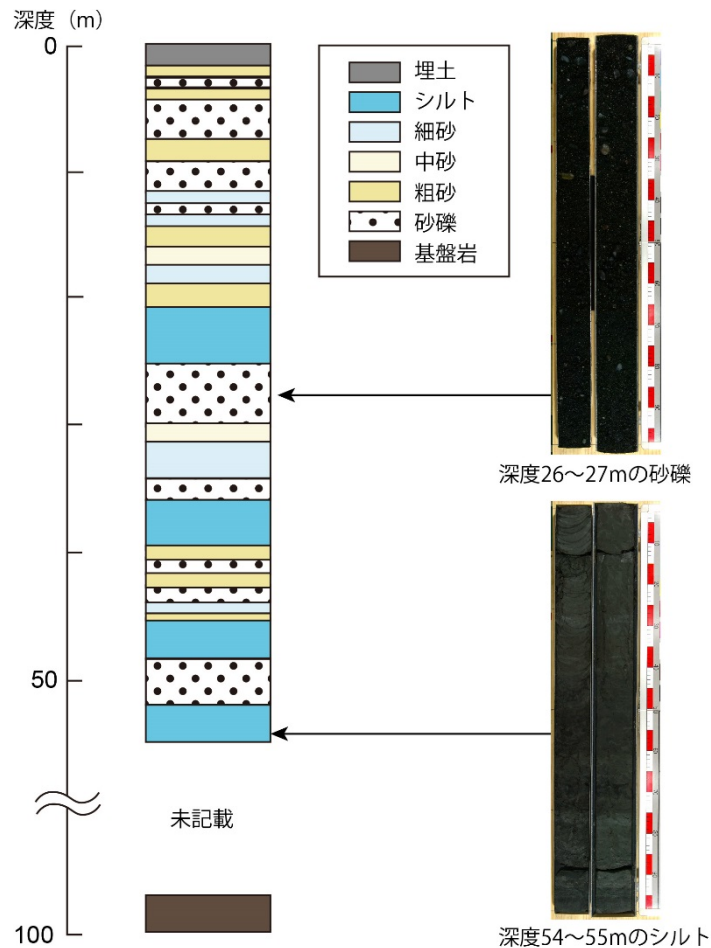


図 3-7-④-4 富士川河口西岸域のボーリング掘削で得られたコアの柱状図と写真

(d) 結論ならびに今後の課題

本研究では歴史記録に基づいて富士川河口周辺の流路の変遷を検討した結果、安政地震前に蒲原地区まで広がっていた河床が、地震後に東側へ縮小し、それまでの中洲が離水して蒲原地震山が生じたことが明らかになった。この河床幅の縮小と河口域西岸の離水は、安政地震時に富士川河口断層帯が活動して富士川河口西岸域が隆起した可能性を指摘できる。また地形解析からその量は場所により 4 m 程度であった可能性があるが、地殻変動量を測る上での指標の信頼性が低く、今後は隆起が生じた証拠とより精度の高い隆起量の推定を行う必要がある。

次に推定される隆起域でボーリング調査を行った結果、深度 97 m まで堆積物が得られた。深度 55 m までの岩相記載結果から、後氷期海進以降に堆積したと考えられるシルト層と砂礫層のサイクリックな堆積環境の変化が読み取れた。今後は各層準の

年代決定を行うことと、微化石分析等による各層毎の具合的な堆積環境の推定により、富士川河口断層帯の活動との関係について検討していく必要がある。

(e) 引用文献

- 1) 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.
- 2) 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.

(3) 平成 29 年度業務計画案

陸域津波履歴調査においては、九州東部沿岸等において津波堆積物調査を実施するとともに、南西諸島での津波石や隆起痕跡の調査から履歴解明の可能性を探る。また引き続き四国沿岸と駿河湾奥・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、平成 28 年度に駿河湾奥・富士川河口域で得られたボーリングコア試料の分析を行う。

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	阿部 英二
	技術職員	西本 太郎
	技術職員	大塚 宏徳
技術職員	佐伯 綾香	
国立大学法人京都大学防災研究所	准教授	伊藤 喜宏
国立大学法人東京海洋大学	准教授	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地殻変動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（水圧）計を計 10 台設置し、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、長期観測型海底地震（水圧）計を回収し、同じ海域に設置した。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、長期観測型海底地震（水圧）計を回収し、日向灘に設置した。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（日向灘）において、長期観測型海底地震（水圧）計を回収し、同じ海域に半径 3.5km の円状アレイを 2 セット作成し、計 8 台を設置した。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 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試験観測の解析を継続する。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試験観測の解析を継続する。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試験観測の解析を継続する。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試験観測の解析を完了する。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 28 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（水圧）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（水圧）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 28 年度成果

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

これまでブイシステムによって連続観測してきた水圧計観測の検討を継続してきた。海底局に取り付けられている水圧計で観測されたデータは海底局内のロガーで保存されるとともに、15 秒間隔の音響信号に変換されて、音響信号を通して吊下局、オンラインでブイ局、イリジウム通信を用いて陸上局、という形でデータ伝送される。これまでのブイシステムの海域試験では、海底でのサンプリングを 1 Hz とし、これを間引いて音響信号でデータを伝送してきた。しかし、この場合正しく因果律を満たさない。そのため、今回は海底局の水圧計のデータ取得仕様を変更し、0.023Hz のローパスフィルターを通し、15 秒間隔でデータを出力することとした。伝送されたブイデータを用いて、陸上局で自動画像作成を行い、ブイの位置や観測した水圧値、ブイ周辺の潮流や気圧等の海況気象を確認できるシステムを準備した。DONET で観測された水圧計データをここでの水圧観測と同じフィルターを適用し、2017 年 1 月に回収された海底局に保

存されていた水圧データを評価した。15 秒間隔にデシメーションしたブイシステムでの水圧観測の品質は DONET と同等であることを確認した。

(b) 業務の実施方法

ブイシステムによるデータ取得は、音響データのサンプリングに合わせて 0.023Hz のローパスフィルターを適用してロガーに出力し、音響信号に変換されて最終的に陸上局まで伝送される。データの品質を評価するにあたり、DONET データに同じフィルターを適用し、比較することでデータの信頼性を検討した。2016 年 4 月 1 日には三重県南東沖地震 (M6.5) が発生し、津波が DONET で観測されている。ブイシステムでとらえた水圧変動と DONET による津波観測から、ブイシステムでの水圧観測でもこの津波を観測できていたことがわかった。また、長期間の連続記録に対して、ノイズレベルやランニングスペクトルの特徴を調べた。海底局回収からあまり時間が少ないため、来年度から詳細な検討を進めたい。

(c) 業務の成果

ブイ海底局と DONET1 (Kaneda *et al.*, 2015; Kawaguchi *et al.*, 2015) に設置されている海底圧力計の観測点配置を図 3-8-①-1 に示し、それらのうち BUOY1・KMA01 で得られた圧力記録の例を図 3-8-①-2 に示す。設置地点の水深に相当する静水圧を差し引いて表示している。静水圧値を除いた圧力計記録の主要成分は、潮汐成分であり、その振幅は 10000 Pa 程度である (図 3-8-①-2 中の淡赤・淡青の実線)。静水圧を仮定 ($\Delta 1 \text{ hPa} \cong \Delta 1 \text{ cm}$) すると潮汐成分は、1 m 程度の海水面もしくは海底面変動に相当する。ブイ海底局と DONET1 の圧力計に含まれる潮汐成分を比較すると、その振幅および位相はほぼ等しい。2016 年 1 月～2016 年 12 月の期間のブイ海底局と KMA01 の圧力計記録から計算されたスペクトルを図 3-8-①-3 に示す。両者のスペクトルには、半日・1 日の周期に潮汐変動に起因するピークが見られる他、周波数帯域全体で同程度の振幅レベルを持っている。これらのことから、両者は同程度のノイズレベルであり、同程度のデータ品質を保持していると考えられる。津波や地殻変動に起因する海水面・海底面変動の大きさは数 cm 以下であると想定されるため、それらをモニタリングするためには潮汐成分を除去する必要がある。NAOTIDEJ (Matsumoto *et al.*, 2000) によって計算された海洋潮汐成分を得られている圧力記録から引くことによって潮汐の除去を行った (図 3-8-①-2 中の赤・青の実線)。

潮汐成分を除去した圧力記録には、非潮汐成分以外の海洋変動・センサードリフト・ノイズなどの、地震学・測地学的観測においてはノイズとなる成分が残っている。そこで、潮汐成分が除去された圧力計記録の標準偏差を計算することで、津波・地殻変動などの地震学・測地学的観測をする際のシグナルのノイズレベルを評価した。標準偏差の計算の際には、2016 年 1 月から 1 ヶ月毎および 1 年間の記録を用いて行った (図 3-8-①-4)。ブイ海底局と DONET1 の圧力計に大きな差はなく、2 ~ 3 cm 相当の標準偏差を持っている。したがって、3 cm 以上のシグナルであれば、単独の観測点で検知することが可能である。ただし、1 年の期間において計算されたノイズレベ

ルは、センサードリフト・季節変動の影響を受け、1か月ごとに計算されたノイズレベルよりもやや大きくなり3～4.5 cm程度となっている。ブイ海底局で得られた記録は、装置の海底への設置直後に生じるセンサーの初期ドリフトの影響を受けているためにノイズレベルが大きくなっていると推測される。より小さなシグナルを検知するためには、それらを取り除いてモニタリングする必要がある。以下では、周波数フィルターを用いることでノイズレベルの低減を図った。

2016年4月1日に三重県南東沖の地震 ($M_{JMA}6.5$) と2016年11月22日に福島県沖の地震 ($M_{JMA}7.4$) が発生した。これらの地震時の圧力計記録に0.001 Hz～0.005 Hzのバンドパスフィルターを適用し、津波のシグナルの検知を試みた(図3-8-①-5及び図3-8-①-6)。ブイ海底局・DONET1の両者の圧力計において近地・遠地で発生した地震の1 cm程度の津波に伴う圧力変動を捉えることができた(図3-8-①-5及び図3-8-①-6の水色の破線・逆三角・矩形領域)。ブイ海底局で捉えられた福島県沖の地震による津波の振幅は、DONET1の各観測点での津波に比べて小さいが、両者の記録を時間軸を揃えて表示することにより、明確に津波の到達を認定できる。震源から遠い海底観測点間での津波の振幅の違いの主要な要因は、津波の振幅の水深への依存性と考えられるが、この事例については、水深が大きいDONET1のCノード周辺のほうで振幅が大きい傾向にあることから、津波の伝搬方向の異なる波面の干渉といった、津波の複雑な伝播過程による影響があった可能性がある。

圧力計は、海水面の変動である津波のみではなく、海底面の上下変動を観測することが可能である。そのため、南海・東南海地震の想定震源域直上に設置された圧力計を用いることで、地震前・地震時・地震後の地殻変動の上下動成分の直接観測が可能となる。2016年4月1日三重県南東沖の地震時の圧力計記録(潮汐除去済)を図3-8-①-7に示す。震源直上付近のKME18(DONET1)に設置された圧力計においては地震時の上下変動と思われる圧力変化(約10 hPa)が観測されている。震央から離れたブイ海底局に設置された圧力計においては顕著ではないが、わずかな地震時変動が観測されている。DONET1観測網で捉えられた上下変動から推定される断層モデルから期待される、ブイ海底局での地殻上下変動量は、この変動の大きさに比べて小さいことから、この地震時変動は真の地殻変動量を反映していない可能性もあるため、今回観測された変動の原因については、今後、近地地震時の圧力変動の観測事例を積み重ねることで検討したい。地震に先行する前駆すべりなどに起因する小さな地殻変動を検知するためには、圧力計の地殻変動の検知能力を評価することが必要である。プレート境界上の逆断層型地震($M4.0\sim 8.0$)によるブイ海底局における地殻変動の上下変位を図3-8-①-8に示している。 $M7.0$ 以上の地震が海底局から 0.4° (およそ40 km)以内に発生した場合には、3.0 cm程度の上下変動が発生すると見込まれ、これを実際の海底圧力観測の約3 cmのノイズレベルと比較すると、 $M7$ 以上の規模をもつ断層運動に伴う海底上下変動は、海底圧力観測によって検知することが可能と期待される。

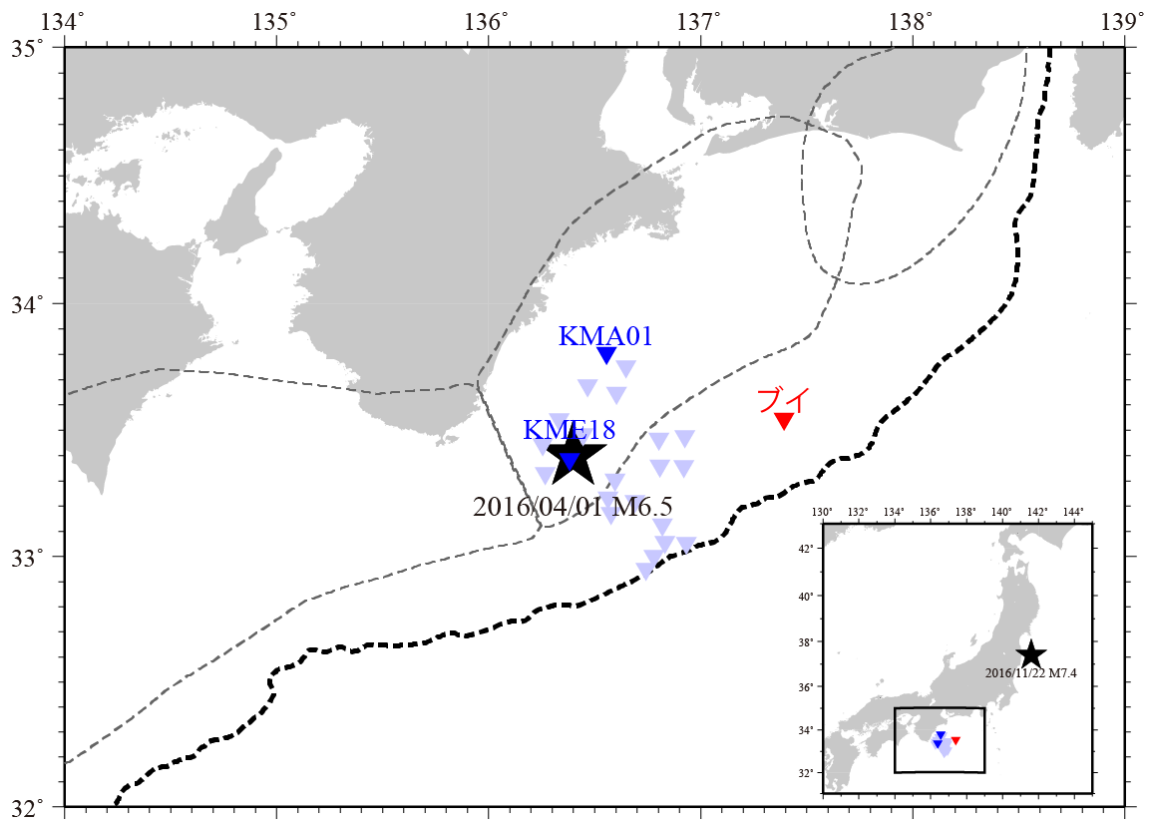


図 3 - 8 - ① - 1 観測点配置図. ブイ海底局と DONET の観測点をそれぞれ赤・淡青の▼で示す。KMA01・KME18 を青の▼で示している。また、津波・地殻変動の検知を行った地震（2016 年三重県南東沖の地震・2016 年福島県沖の地震）を★で示す。

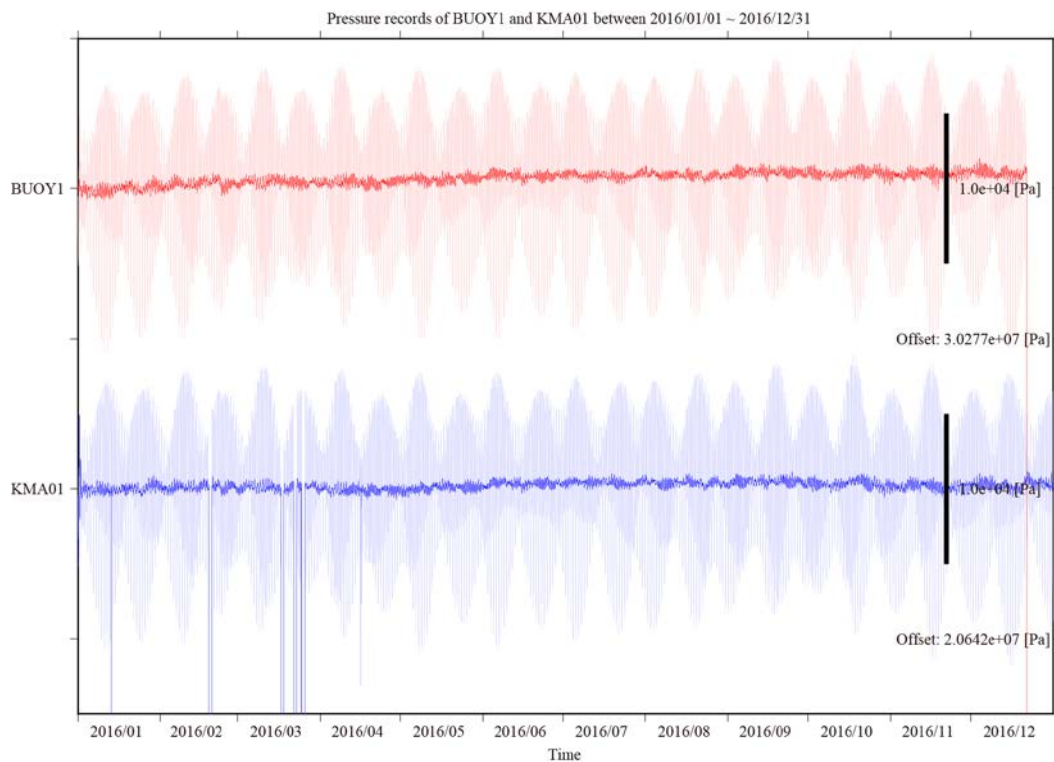


図 3-8-①-2 圧力計記録 (2016/01/01 ~ 2016/12/31)。ブイ海底局の圧力計の生記録 (淡赤) と理論潮汐を除去した記録 (赤) で示す。ただし、水深相当の静水圧からの偏差を示している。比較対象として熊野灘の海底に設置されている DONET1 に設置されている KMA01 の圧力計記録 (生記録: 淡青、理論潮汐除去済み記録: 青) を示している。

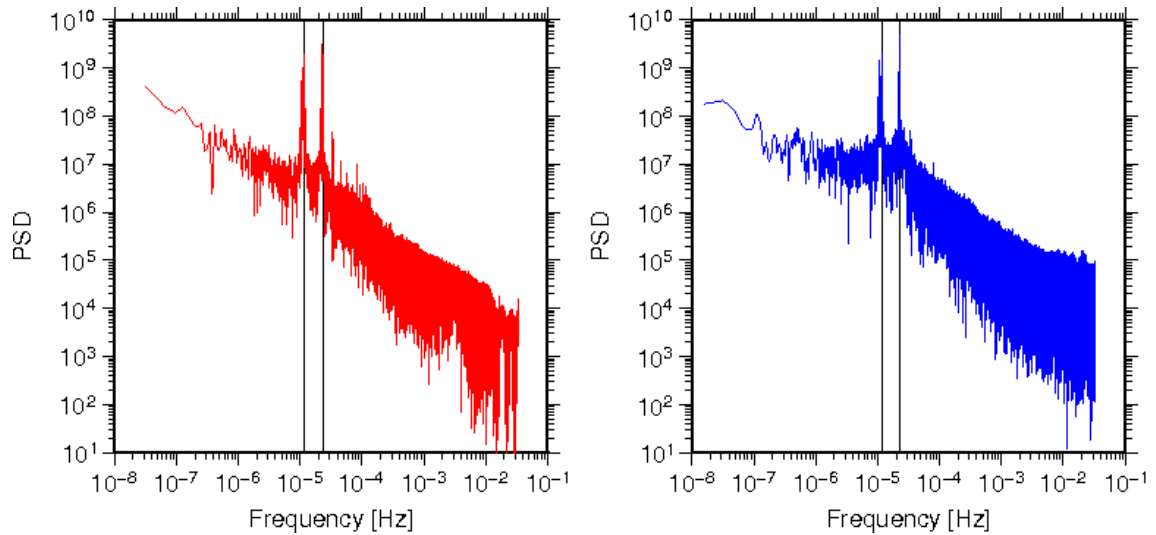


図 3-8-①-3 圧力計記録のスペクトル。赤・青でブイ海底局・KMA01 (DONET1) に設置されている圧力計記録のスペクトルを示す。縦線は、周期 $0.5 \cdot 1$ 日を示す。

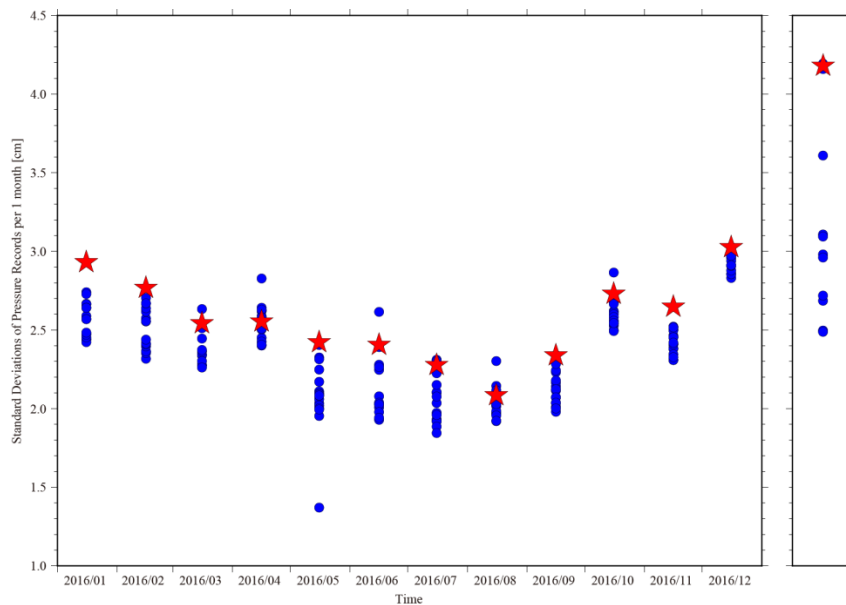


図 3-8-①-4 潮汐除去済みの圧力計記録によるイベント検知能力評価 (2016/01/01 ~ 2016/12/31)。(左) 月ごとのイベント検知能力評価。理論潮汐を除去した圧力計記録の標準偏差をエラーとして定義している。赤星・青丸は、それぞれブイ海底局および DONET1 に設置された圧力計の値を示す。(右) 2016 年の全記録を用いたイベント検知能力評価。

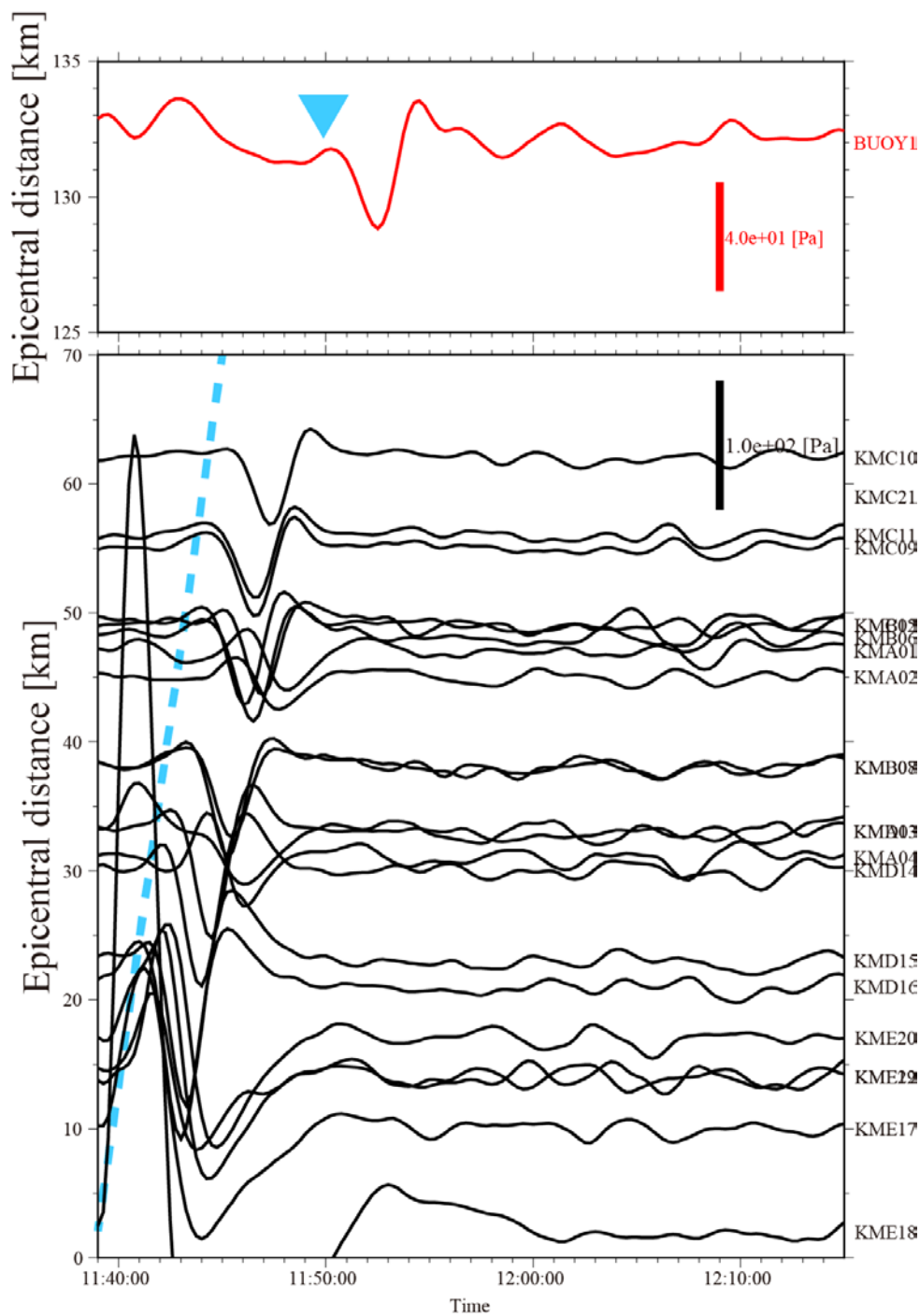


図 3 - 8 - ① - 5 2015 年 4 月 1 日に発生した三重県南東沖の地震 ($M_{JMA}6.5$) の発生時前後の圧力計記録。震央距離順に記録を表示している。得られた圧力計記録に 0.001 ~ 0.005 Hz のバンドパスフィルターかけたものを示す。赤・黒の実線でブイ海底局に設置された圧力計・DONET1 の記録を示す。ただし、ブイ海底局に設置された圧力計と DONET1 の記録においてスケールを変えて表示している。

Fukushima earthquake (M7.4) on 2016/11/22 05:59

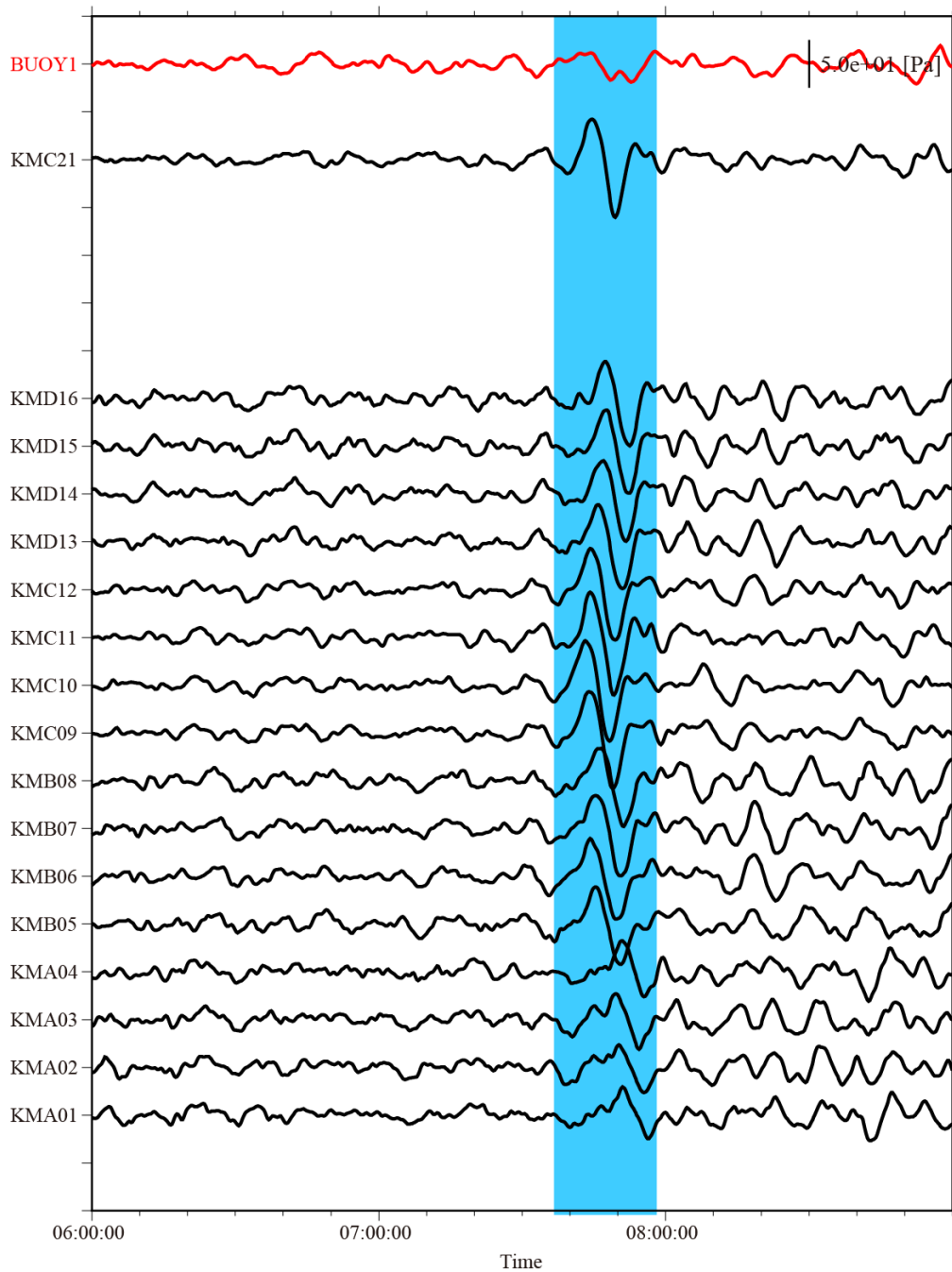


図 3 - 8 - ① - 6 2016 年 11 月 22 日に発生した福島県沖の地震 ($M_{JMA}7.4$) 発生時前後の圧力計記録。得られた圧力計記録に 0.001 ~ 0.005 Hz のバンドパスフィルターかけたものを示す。赤・黒の実線でブイ海底局に設置された圧力計・DONET1 の記録を示す。

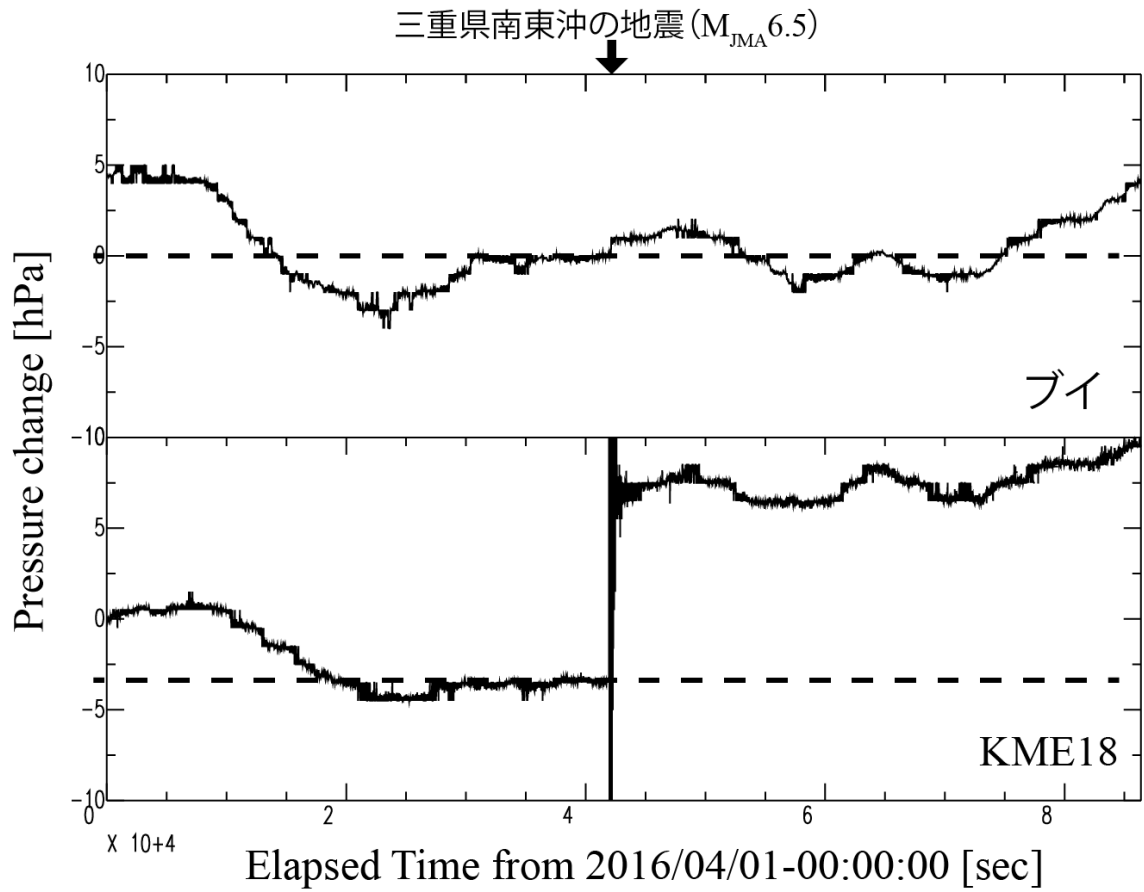


図 3 - 8 - ① - 7 2015 年 4 月 1 日に発生した三重県南東沖の地震時の理論潮汐除去済みの圧力計記録。(上) ブイ海底局に設置された圧力計。(下) KME18 (DONET1) に設置された圧力計。

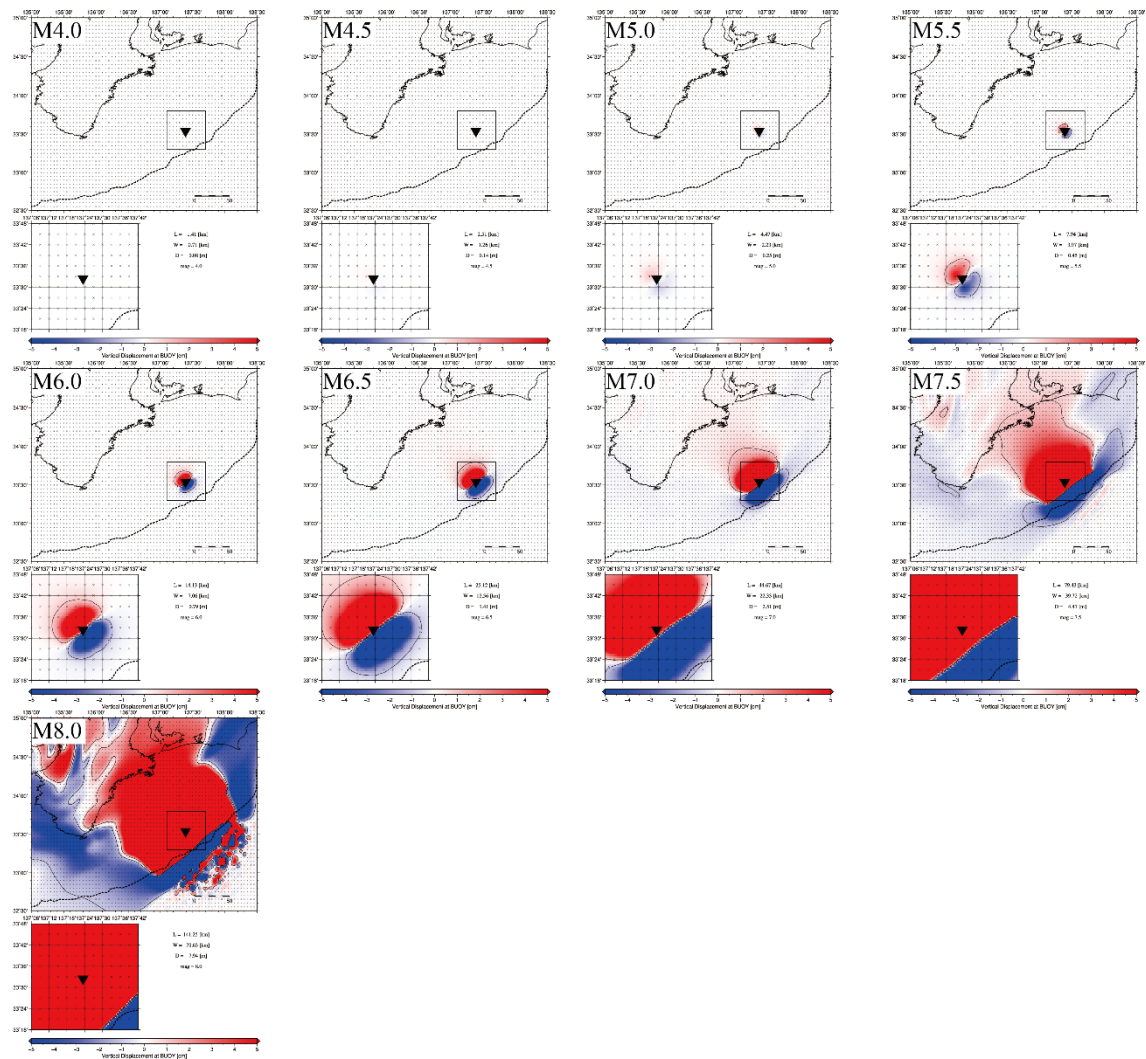


図 3-8-①-8 ブイ海底局 (▼) による地殻変動の上動下成分検知能力。プレート境界上の逆断層型地震 (M4.0 ~ M8.0) による海底局設置地点での海底上下変動の大きさを震源の位置に投影した。仮定した断層の中心位置に、その断層運動から計算される地殻上下変動量を図中に示したカラスケールにてプロットしている。赤が正(上)、青が負(下)の変位。海底局において ± 1 cm 以上の変位をもたらす震源の範囲をコンターにて示している。

(d) 結論ならびに今後の課題

ブイシステムを用いて試験観測を今年度は実施している。この観測を通して、約 11 か月の長期の水圧データをリアルタイムで取得した。現在では、海底局のロガーで観測した水圧データ、音響伝送後の吊下局内に保存された水圧データ、陸上局まで伝送されたデータの比較を行っている。陸上局では取得した水圧データのみならず、気象海象データも含めて自動で画像を作成し、Web にアップするシステムを構築した。取得したデータの品質は、サンプリング数を落としてはあるものの、同等のフィルターを適用した DONET と比較して遜色ない品質であることを確認した。2016 年 4 月 1 日の三重県南東沖地震、同年 11 月 22 日の福島県沖地震による小振幅の津波も観測する

ことができ、広帯域観測としての有用なデータを取得できることを確認することができた。これら以外でもトリガーがかかっており、ブイシステムの水圧データで観測したイベントの記録を確認し、今後、これらのイベント波形の解析を進め、特に南海トラフ海域では特徴的に発生するスロースリップや低周波微動の観測の状況を確認したい。

(e) 引用文献

- 1) Kaneda, Y., K. Kawaguchi, E. Araki, H. Matsumoto, T. Nakamura, S. Kamiya, K. Ariyoshi, T. Hori, T. Baba N. Takahashi, Development and application of an advanced ocean floor network system for megathrust earthquakes and tsunamis, Seafloor Observatories, P. Favali et al., Springer Praxis Books, doi 10.1007/978-3-642-11374-1_25, 643-662, 2015.
- 2) Kawaguchi, K., S. Kaneko, T. Nishida and T. Komine, Construction of the DONET real-time seafloor observatory for earthquakes and tsunami monitoring, Seafloor Observatories, P. Favali et al., Springer Praxis Books, doi 10.1007/978-3-642-11374-1_10, 211-228, 2015
- 3) Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe, Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model Around Japan, Journal of Oceanography, 56, 567-581, 2000.

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

豊後水道において約6年に1回の頻度で発生する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日向灘の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、浅部超低周波地震や低周波微動発生域直上で長期海底地震観測を実施し、浅部超低周波地震・低周波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、前年度日向灘に設置した長期観測型海底地震計、海底圧力計、および広帯域型海底地震計を回収し、新たに長期観測型海底地震計4台、圧力計付き長期観測型海底地震計2台、広帯域型海底地震計(20秒計)2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2016年4月に発生した平成28年熊本地震発生後に観測点周辺で発生したと考えられる浅部低周波微動と超低周波地震活動が記録されていることを確認できた。現段階で海底圧力計の記録からはスロースリップに伴うと考えられる明瞭な地殻変動は検出できていないが、データをより精査し小さな地殻変動が含まれていないか検証中である。

(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)。こ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 8 点の長期観測型海底地震計、広帯域型海底地震計、海底圧力計を平成 27 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とともに、これらの活動の背景にあると考えられるスロースリップに伴う地殻変動を観測することを目的とした広帯域地震・測地観測ネットワークを形成した。

平成 28 年度は、平成 27 年度に設置した海底地震 (水圧) 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長期観測型海底地震計、広帯域型海底地震計、圧力計搭載型の長期観測型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、南海トラフ西端部の日向灘に平成 27 年度に設置した長期観測型海底地震 (水圧) 計を回収した (図 3-8-②-1、図 3-8-②-7、表 3-8-②-1)。また、平成 28 年度は浅部低周波微動の発生している深さをより精度よく推定するため、半径 3.5 km の円周上に 4 台の海底地震計を等間隔に配置した海底地震計アレイを 2 カ所に構築し、観測を継続した (図 3-8-②-2、図 3-8-②-3、図 3-8-②-5、図 3-8-②-6、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一開洋丸 (平成 29 年 2 月 11 日宮崎港出港、同年同月 15 日宮崎港帰港) を利用した (図 3-8-②-4)。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 2016 年 4 月に発生した平成 28 年熊本地震発生後に観測点周辺で発生したと考えられる浅部低周波微動と超低周波地震活動が記録されていることを確認できた。また、海底圧力計のデータについては、BAYTAP-G (Tamura *et al.*, 1991) を用いて潮汐成分を推定、除去した (図 3-8-②-8)。現在のところ、海底圧力計のデータからスロースリップに伴うと考えられる地殻変動成分は検出できていないが、圧力計データをより精査し、小さな地殻変動が含まれていないか検証中である。

平成 27 年度回収した第 2 期観測のデータの解析を進めた結果、2015 年 5 月～7 月に発生した浅部低周波微動活動の全容が明らかとなった。2013 年に Yamashita *et al.*

(2015) によって初めて明らかにされた浅部低周波微動活動に匹敵する活発な活動であり、活動の始まりから終わりまでの一連の活動を捉えたのは今回が2例目である。2015年の活動では震源域が2013年に比べより東側の足摺岬沖まで広がっていることが明らかとなった。特に、2015年5月30日に発生した小笠原諸島近海の巨大深発地震(Mw7.9)の発生直後から足摺岬沖への拡大が顕著に見られた。なお、足摺岬沖の活動は、約6年に1度発生する豊後水道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が、今回豊後水道では顕著なスロースリップイベントは発生していなかった。

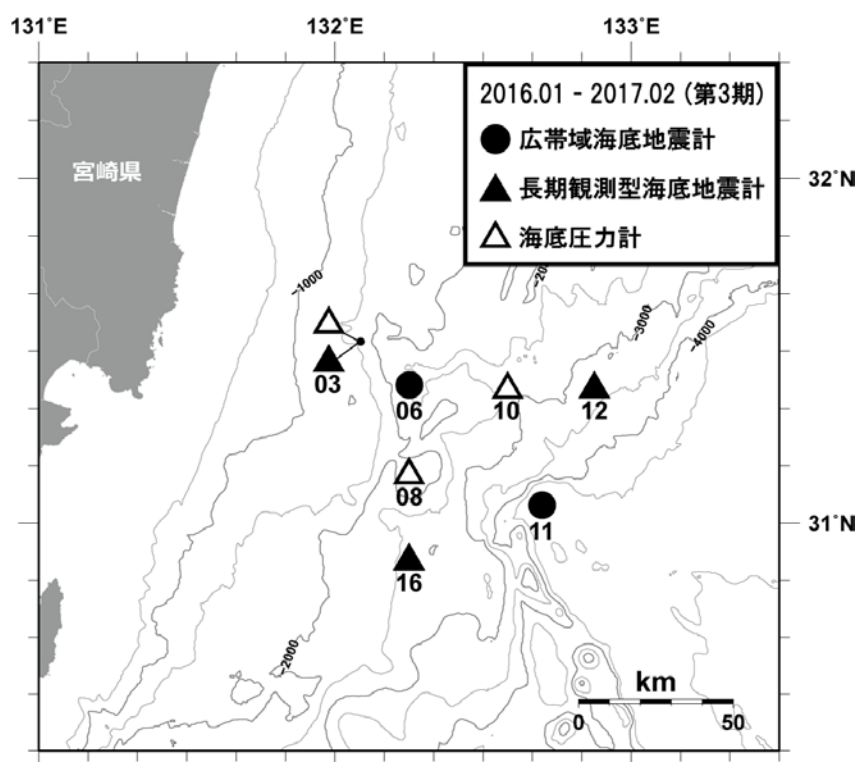


図3-8-②-1 海底地震観測点(2016年設置)

2016年度に設置を行った長期観測型海底地震計, 広帯域海底地震計, 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。

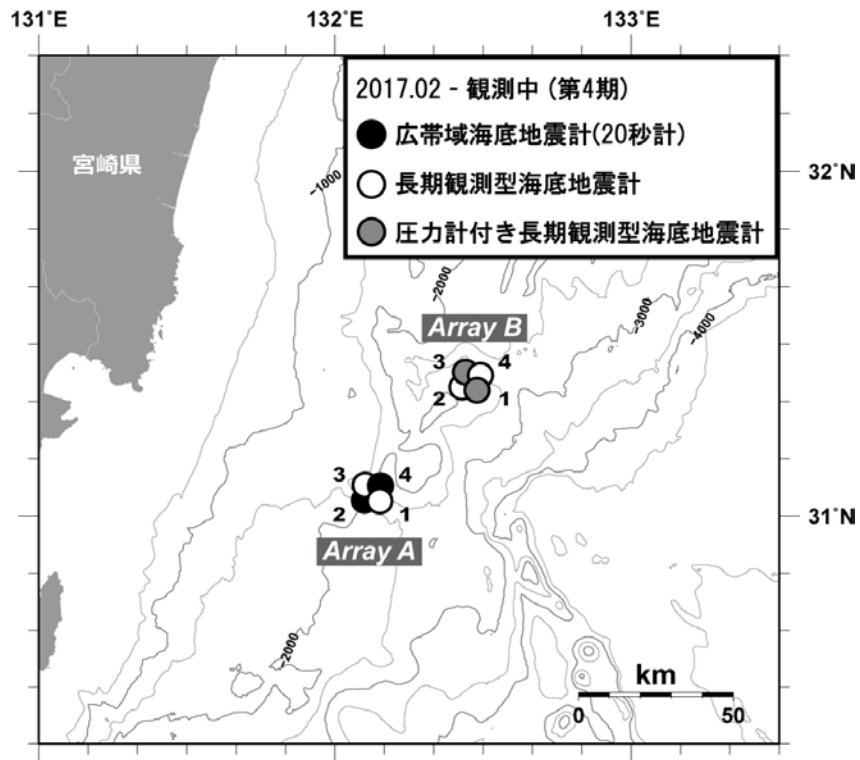


図 3-8-②-2 海底地震観測点 (2017 年設置)

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、圧力計付き長期観測型海底地震計の位置。

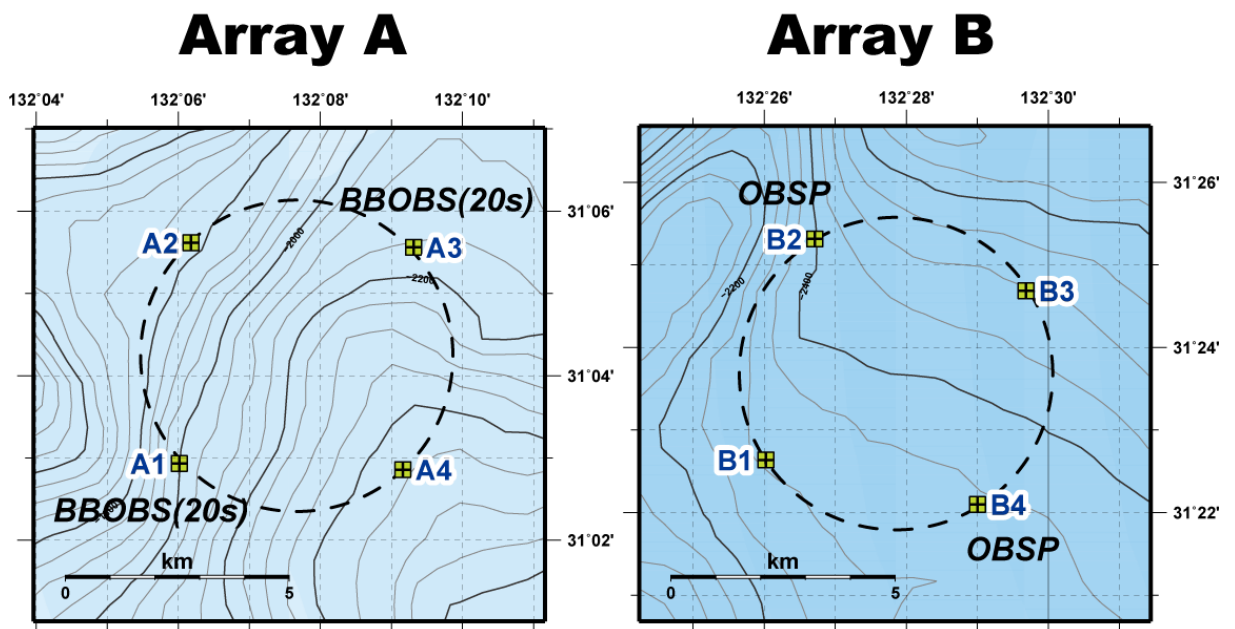


図 3-8-②-3 Array A と B の拡大図。

それぞれ半径 3.5 km の円周上に等間隔になるよう投入しており、隣り合う観測点間は約 5 km となる。



図 3-8-②-4 海洋エンジニアリング株式会社所属 第一開洋丸 (1,390t)



図 3-8-②-5 平成 28 年度に設置した海底地震計



図 3-8-②-6 平成 28 年度に設置した圧力計付き長期観測型海底地震計

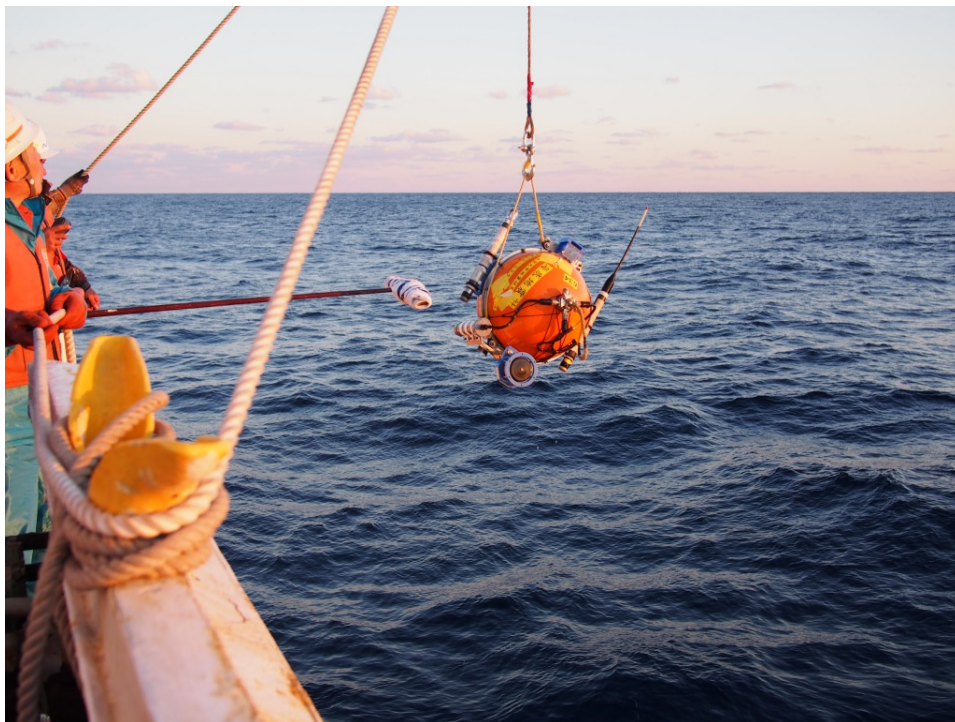


図 3-8-②-7 海底地震計の回収の様子

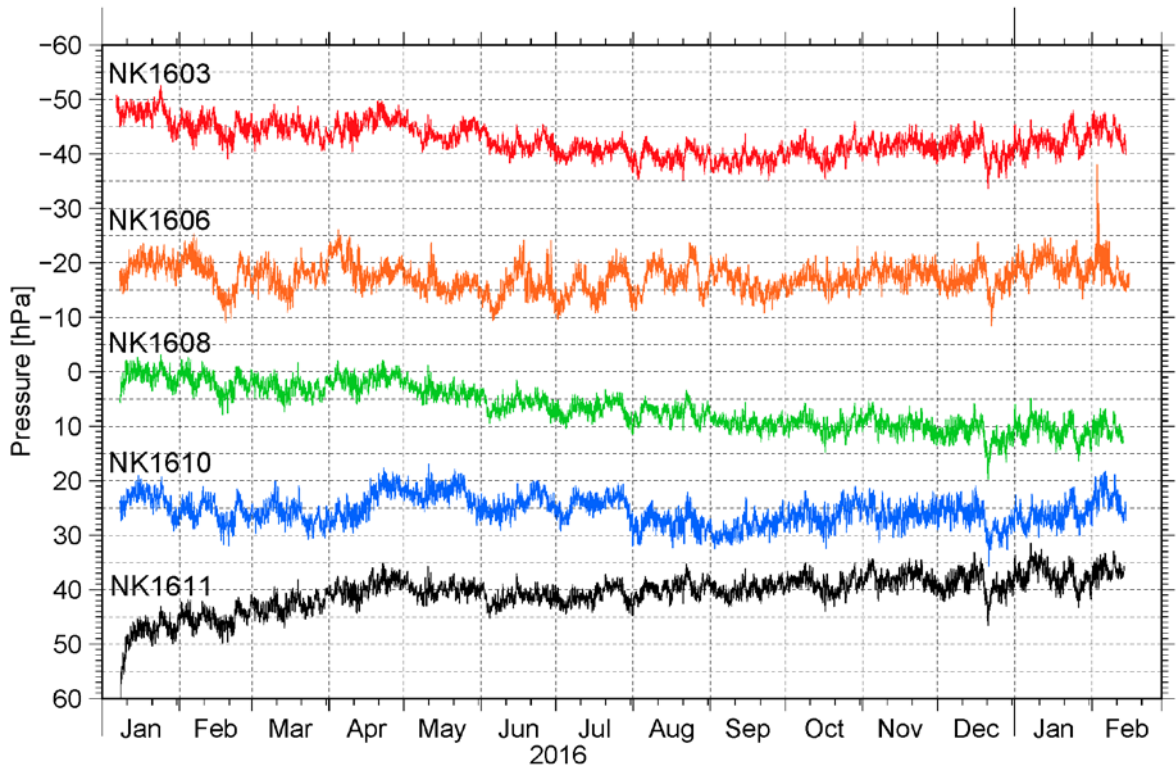


図 3-8-②-8 海底圧力計の記録（潮汐成分のみを除去したもの）

表 3-8-②-1 平成 27 年度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	
NK1603	794	31	31.4718	132	05.0401	1,577
NK1603P	638	31	31.5000	132	05.0583	1,587
<i>NK1606</i>	558	31	23.9730	132	14.9723	2,491
NK1608P	634	31	23.9457	132	34.9994	2,813
NK1610	632	31	09.0430	132	14.9768	1,690
<i>NK1611</i>	556	31	03.0127	132	42.0071	4,817
NK1612	798	31	24.0235	132	52.5464	3,192
NK1616	795	30	53.9989	132	14.9887	2,866

* 斜字は広帯域海底地震・圧力計

** 観測点名に P 付きは海底圧力計

表 3-8-②-2 平成 28 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
NK17A1	402	31	02.9300	132	06.0083	2,115	2017/02/12	23:54:50
NK17A2	728	31	05.6166	132	06.1794	1,850	2017/02/13	00:22:19
NK17A3	401	31	05.5608	132	09.3132	2,238	2017/02/12	22:59:47
NK17A4	765	31	02.8590	132	09.1620	2,573	2017/02/12	23:28:30
NK17B1	762	31	22.6362	132	26.0232	2,304	2017/02/12	19:45:51
NK17B2	403	31	25.3134	132	26.7114	2,500	2017/02/12	20:17:40
NK17B3	738	31	24.6846	132	29.6826	2,511	2017/02/12	18:35:09
NK17B4	404	31	22.0986	132	29.0022	2,337	2017/02/12	19:12:00

* 斜字は広帯域海底地震計

** 太字は圧力計付き長期観測型海底地震計

(d) 結論ならびに今後の課題

日向灘海域において、圧力計を搭載した広帯域型地震計、長期観測型海底地震計、海底圧力計の回収を行った。また、平成 28 年度は浅部低周波微動が発生する深さを精度よく推定するため、半径 3.5km の円周上に 4 台の海底地震計を等間隔に配置した海底地震計アレイを 2 カ所設置し、観測を継続した。

平成 28 年度に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おり、平成 28 年熊本地震発生後に観測点周辺で発生したと考えられる浅部低周波微動と超低周波地震活動が記録されていることを確認できた。海底圧力計のデータの精査を含め、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.
- 5) Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe, M. Ishiguro, A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, *Geophys. J. Int.* 104, 507-516, 1991.

(3) 平成 29 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 29 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 28 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 台程度を南西諸島海溝域に設置し、長期海底地震観測を新たに開始する。

平成 28 年度までに南海トラフ中部の陸側斜面域である熊野灘で実施したブイシステムによる観測によって得られた海底水圧データの精度評価を実施する。また、これらの観測ならびに日本近海の観測で得られた水圧変動から、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播といった多様な現象を捉えるための時系列解析システムの開発を継続して実施する。

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大学院理学研究科	教授	日野亮太
	准教授	太田雄策
	准教授	内田直希
国立大学法人京都大学大学院理学研究科	教授	平原和朗
	准教授	宮崎真一
国立大学法人京都大学防災研究所	准教授	西村卓也
	准教授	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	古本宗充
	准教授	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	堀高峰
	特任技術研究員	中田令子
	特任技術研究員	兵藤守
	研究員	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、観測データが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の解析と、シミュレーションデータベースの蓄積を行うとともに、データ同化手法を用いた推移予測の模擬テストに着手した。前年度までに整理した地殻変動データを統合して解析するため、日本列島のブロック運動モデルの解析手法の開発を実施した。西南日本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した。

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 28 年度業務目的

余効すべり・ゆっくりすべりデータ同化手法の開発の継続、豊後水道ゆっくり地震域などへの適用、動的破壊過程を含む地震サイクル計算コードの開発、準動的地震サイクル計算の高速化および粘弾性を考慮した南海トラフ巨大地震と内陸地震サイクル計算の準備を行なう一方、震源のスケーリング則を踏まえた強震動予測のための巨大地震に対する震源モデル構築と、震源域から都市圏にかけての、主として長周期地震動生成に関係する地殻・堆積層地震波速度構造モデル評価を継続する。

(2) 平成 28 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

本プロジェクトでは過去の地殻変動データの整理、有限要素モデルの構築等を実施してきた。本年度では、それらの成果を統合して解析するため、日本列島のブロック運動モデルの解析手法の開発を実施した。新規に開発されたブロック運動解析モデルの特徴は、(1) マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) に基づく解析手法 (2) プログラムの設定の簡素化 (3) 赤池情報量基準 (AIC) に基づく最適なブロック分割 (4) 有限要素モデルによる応答関数の取り込みである。これらの解析手法を開発し、日本列島全体を含む周辺領域のブロックモデルを構築した (図 3-9-①-1)。西南日本における海洋プレートの沈み込みは複数の内陸ブロック運動と相互に影響しており、これらの相互作用を定量的に評価することが重要である。特に、海洋プレート境界の固着の深部下限は内陸ブロックの運動とトレードオフが予想され、これらを定量的に見積もることは大都市の近傍での地震の影響を評価する上で重要である。MCMC 手法ではこれらを評価することが可能である。

GPS 観測データからは、日本島弧の地殻変形において、有意な非弾性変形の生じていることが、東北沖地震前後の地殻ひずみ速度分布の比較から明らかとなった。日本列島の地殻変動を扱う際、特に地殻変動データからプレート境界における固着・すべり分布等を推定する際には、島弧地殻内の非弾性変形の影響を考慮することが必要不可欠であることを示す。実際に、GPS データに基づく弾性ひずみ収支の議論から、東北沖地震の再来間隔が 307~510 年と見積もられた。これは、津波堆積物に基づく従来の推定値の下限と整合的な値である。

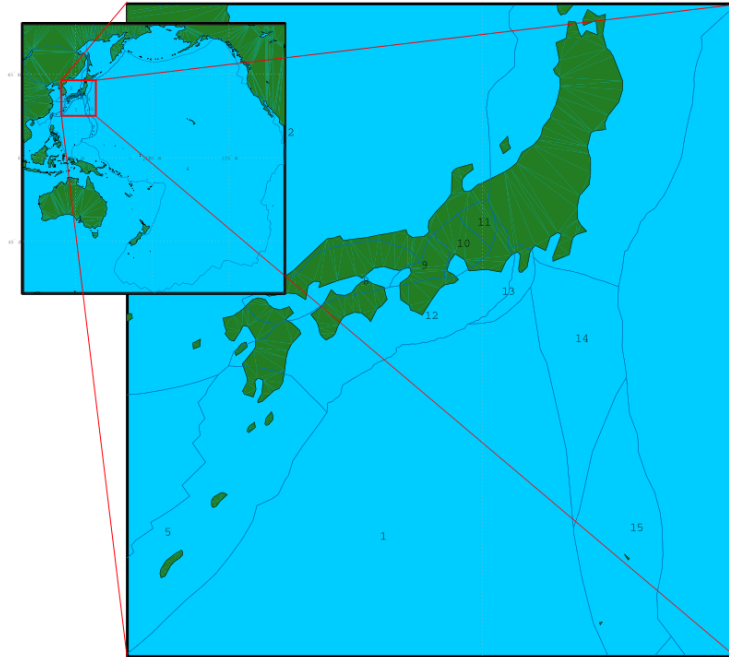


図 3-9-①-1 本解析プログラムで設定した日本列島の周辺領域を 15 ブロックに分割した例。左上は広域的なブロック分割、赤い枠を拡大したのが右下の図である。

(b) 業務の実施方法

1) ブロック断層モデルとプレート間固着の同時推定手法開発

既存のブロック運動モデル解析は、地殻を複数のブロックに分割し、各ブロックの運動とブロック境界におけるすべり欠損ベクトルを最小二乗法あるいは、非線形最小二乗法をもちいて推定する手法が採用されている。これらの手法により推定された内陸ブロックの運動と海洋プレートの沈み込みに伴う地殻変動の解釈には内陸ブロック運動とのトレードオフの考察が必要となる。新規に開発された解析手法では、**MCMC** に基づく解析手法を採用することで、既存のブロック運動モデルの解析ではできなかった、推定パラメータ間の共分散解析が可能になる。なお、本解析手法によって推定されるパラメータ群はブロック運動の位置ベクトルとブロック間の相対運動に伴うすべり遅れ（カップリングレート）である。また、本解析プログラムではブロック運動とすべり遅れに関する方程式系を最適化し、並列計算により計算効率を向上させている。一般的にブロック運動モデルの構築には複数のブロック境界を設定する必要があるが、それらの設定の煩雑性を軽減させるために、容易に試行錯誤できるような設計を導入した。基本的な設定はブロックを定義する座標ファイルのみで、隣接するブロックの組み合わせやブロック境界の小断層の設定は自動的に行うことができる。本解析プログラムはデジタル活断層マップなどを用いてブロックを定義することを想定しており、境界定義ファイルを最適化する編集プログラムも作成している。一方、ブロック領域の選択は、活断層などの先験情報に基づき設定を行うため任意性が生じる。そのため、剛体運動のみを考慮した剛体運動モデルを構築し、複数モデルの **AIC** による評価を容易にできる枠組みを作成した。なお、これらのプログラム群は作成の段階

から GitHub 上で個々のプログラムを作成しており、自由に使用することができる。

2) 島弧地殻における非弾性ひずみの分離

日本列島では、GPS 等の地殻変動データを用いてプレート境界の固着(すべり遅れ)分布の推定が繰り返し行われてきているが、そこでは、地殻変動データがプレート境界の固着による弾性変形を反映することが暗に仮定されていた。一方、活断層の周囲に局在化するような地殻ひずみも見つかったが、その変形メカニズムやプレート境界の固着との関係は明らかになっていなかった。2011 年東北地方太平洋沖地震は、それまで東西圧縮下にあった東北日本を大きく東西方向に引き延ばし、余効変動でも東西伸張が継続している。地震前と地震後の地殻変動パターンを比較すれば、島弧地殻の地殻変形をプレート境界に起因する弾性変形と内陸部に起源を持つ非弾性変形の効果を分離できると考えた。本研究では、東北日本における地殻ひずみ速度分布を分布の波長によって長波長成分と短波長成分に分離することを試みた。これは、プレート境界に起因する弾性変形は広域にまたがる長波長分布を持ち、活断層などに固有の非弾性変形は波長成分として現れると考えたためである。まず、GEONET の日座標データ (F3 解) から各観測点の速度を計算し、それをデータとして、Shen et al. (1996) の方法を用いて地殻ひずみ速度分布を求めた。本研究では、地震前後の変化が顕著な東西方向のひずみ速度成分に着目し、その分布に対して半径 65km の範囲で移動平均を計算することにより、地殻ひずみ速度の長波長成分を求め、さらに元のひずみ速度分布から長波長成分を差し引いて短波長成分を求めた (図 3-9-①-3)。

(c) 業務の成果

1) ブロック断層モデルとプレート間固着の同時推定手法開発

日本列島全体のブロック運動モデルを構築し、テストを実施した (図 3-9-①-2)。広域のブロック境界は Bird (2003) をベースに、日本列島内部のブロックは活断層詳細デジタルマップ (中田・今泉, 2002、東京大学出版会) に記載されている活断層地表トレースデジタルデータをベースに構築し、日本列島の周辺を 15 のブロックに分割しテストモデルを作成した。また、ブロック境界については、総計 38 のブロック境界のうち 16 のブロック境界については明示的に断層形状を設定した。特に海洋プレートの沈み込み帯におけるプレート上面の形状については、西南日本の 605 点の GEONET 観測点および、24 点の海底地殻変動観測点から得られた速度ベクトルである。これらのブロック境界設定と観測データにおいて、本プログラムが正常に機能することが確認できた。

2) 島弧地殻における非弾性ひずみの分離

図 3-9-①-3 に示すように、地殻ひずみの長波長成分は地震前と地震後で変形のセンスが縮みから伸びへと反転しており、主として弾性変形を反映したものであることが分かる。一方、短波長成分に注目すると、東北日本の日本海側の日本海東縁ひずみ集中帯と呼ばれる場所において、地震前後を通して局所的な短縮変形が持続していることが分かる (図 3-9-①-3 下の赤い破線で囲んだ領域)。全体として東西伸びの変形が生じている中で局所的な東西短縮変形が存在することは、この短縮変形は

島弧地殻内における非弾性的な過程の現れであることを意味する。この非弾性的なひずみ速度の空間分布や大きさは、地質学的に推定された地殻ひずみ速度と良く一致することから、現在進行中の地殻変形を代表する測地データから長期的な地殻ひずみ速度を抽出できたと言える。

この短波長の東西短縮ひずみ分布のモデル化を試みると、下部地殻および上部地殻の一部に及ぶような断層が年間 10~20mm の速度で非地震性のすべりを生じていると考えることで説明できる。東北日本では、地震時および地震後に顕著な東西伸張変形が生じたが、地殻内地震のメカニズムは基本的に東西圧縮で変わっていない。これらのことを考え合わせると、長期間にわたって蓄積された東西圧縮応力は東北沖地震によって殆ど影響を受けておらず、この東西圧縮応力によって非地震性すべりが駆動されていると考えられる。また、こうしたプロセスは日本島弧の地殻変形を考える上で本質的に重要であり、プレート境界地震の地震間の地殻変動においても 10~30%程度が非弾性変形によって賄われていると推定される。

地殻ひずみに関する知見から、プレート境界地震の地震間に観測される地殻ひずみの大部分は弾性変形を反映するという池田(1996)の仮説が支持される。この仮説は、地震間の地殻ひずみが巨大地震に伴ってすべて解消されることを要求し、逆に、そのことを仮定すれば、弾性ひずみの収支の観点から巨大地震の発生間隔が議論可能となる。そこで、GEONETの両津-牡鹿基線に注目して、地震間の基線長変化率と地震に伴う伸びの量との比較から、巨大地震の発生間隔の推定を試みた(図3-9-①-4)。東北沖地震前の基線短縮率は年間約3cmであり、2011年の地震時および地震後の基線の伸びは約5.1mである。これらの数値から単純計算すると、巨大地震の発生間隔は170年となるが、これは事実と明らかに反する。非弾性変形の寄与(地震間短縮の10~30%)、M7級地震の寄与(100年間で5回程度5~10cmの伸び)、隣接地域の巨大地震の影響(最大1m程度)、余効変動の影響(定常的な短縮が開始するまで50~100年)などを考慮した結果、再来間隔は307~510年と推定された。この値は津波堆積物から推定されている400~800年という推定の下限とほぼ整合するが、800年といった長い間隔とは矛盾することが分かった。このように、近年の測地データに基づいて地震の再来間隔が議論できる可能性が示された。

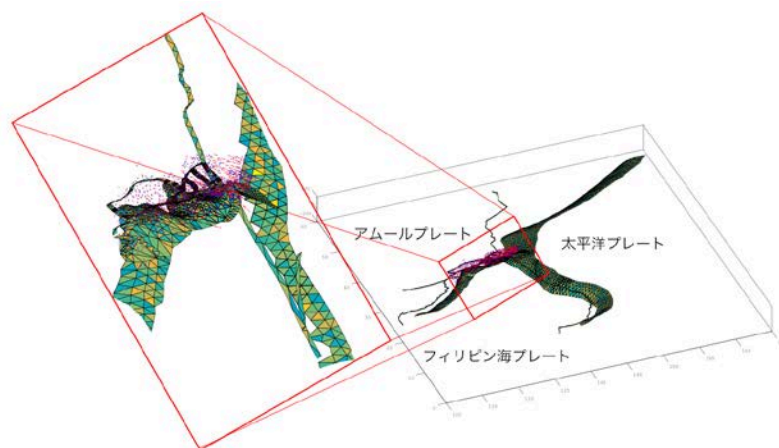


図 3-9-①-2 : 本解析プログラムで設定した日本列島の周辺領域の三次元的なブロック境界分割例。右図が日本列島周辺も含めたブロック分割図で広域的なモデル。左図は右図の赤枠の中を拡大した、主に西日本を拡大したブロックモデル。赤の矢印は解析対象とする GNSS 観測点と海底地殻変動ベクトル。

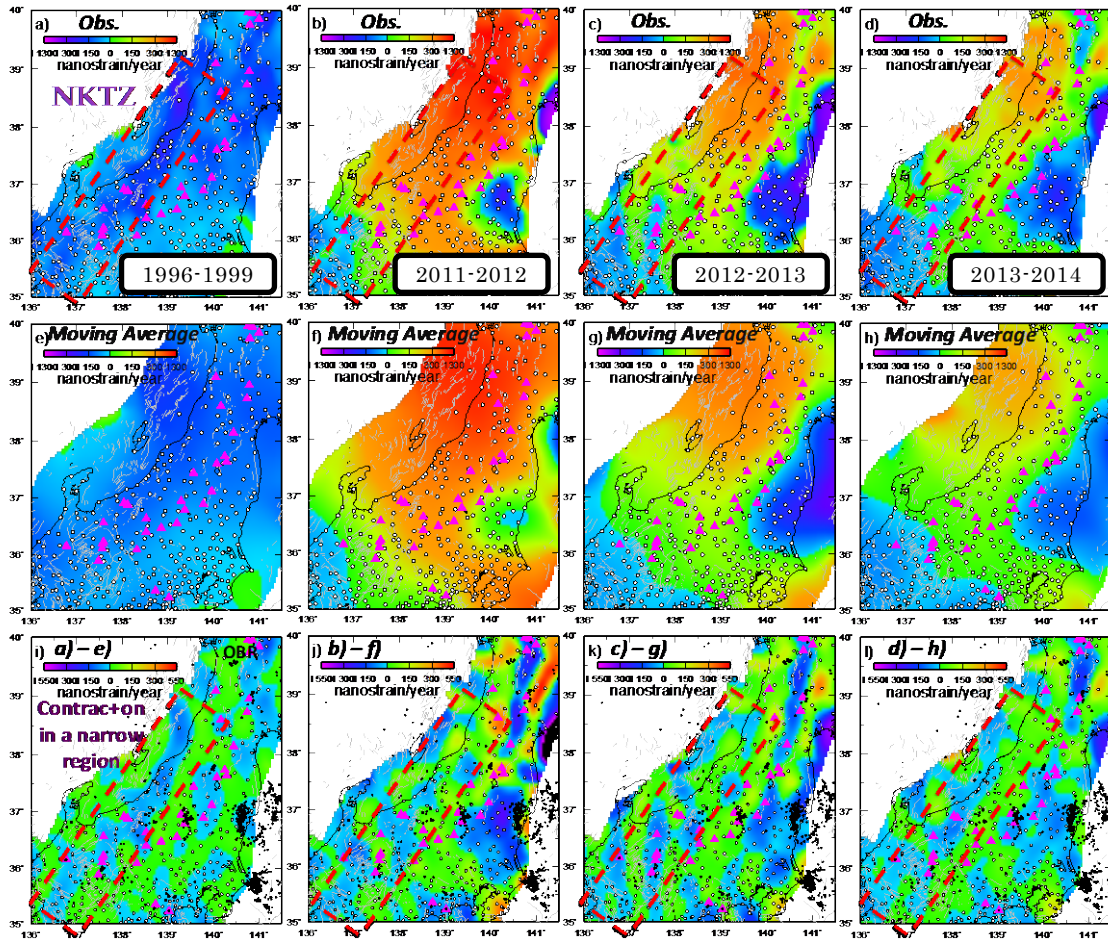


図 3-9-①-3 GEONET から求めた東北地方太平洋沖地震前後の東西方向のひずみ速度成分の分布。緑から赤は伸びの、水色から青は縮みの変形を現している。▲は火山、赤い破線の四角で日本海東縁ひずみ集中帯を示す。上段はオリジナルの歪み速度分布、中段は移動平均により求めた長波長成分の歪み速度分布、下段は長波長成分を差し引いて得られる短波長成分の歪み速度分布である。各図とも左から順に 1996～1999 年、2011 年～2012 年、2012 年～2013 年、2013 年～2014 年の結果を示している。東北地方の日本海側は長波長成分では地震前後でひずみ速度が負（縮み）から正（伸び）へと反転したが、短波長成分で見ると、日本海東縁ひずみ集中帯付近に局所的な短縮変形が常に存在していることが分かる (Meneses-Gutierrez and Sagiya, 2016)。

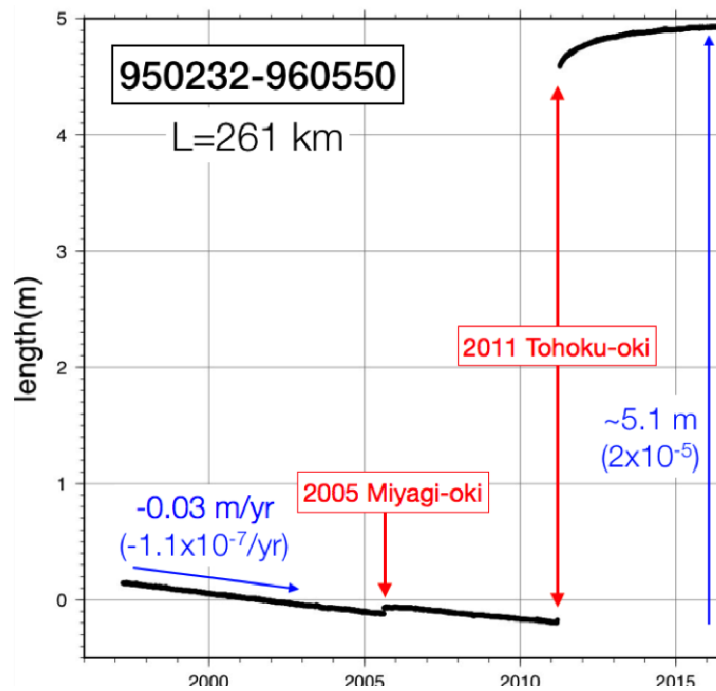


図 3-9-①-4 両津 (950232) - 牡鹿 (960550) 間の 1996 年～2016 年までの基線長変化。東北地方太平洋沖地震前は年間約 3 cm の短縮が生じていた。2005 年宮城県沖地震で 5 cm 程度の伸びが生じ、2011 年東北地方太平洋沖地震およびその後の余効変動で 5.1m の伸びが生じたが、余効変動は終息しつつある。

(d) 結論ならびに今後の課題

本年度はブロック運動解析プログラムを開発しそれらが正常に機能し基本的な解析が可能であることが確認できた。一方で、まだ導入されていない機能としてブロック内の歪の推定、FEM による GREEN 関数導入のテスト、時系列解析などがあり、これらをプログラムに実装していく必要がある。

また、日本列島では、プレート境界に起因する弾性変形とは独立に、活断層等に関連する非弾性変形が地殻深部で進行していることが見出された。こうした非弾性変形は、地殻内の応力場によって駆動され、プレート境界の地震等にはあまり影響を受けないと考えられる。この結果は、ブロック断層モデルの導入に対して観測面からその妥当性を支持する。

(e) 引用文献

- 1) Bird, P., An updated digital model of plate boundaries, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 4(3), 1027, doi:10.1029/2001GC000252, 2003.
- 2) 池田安隆, 活断層研究と日本列島の現在のテクトニクス, *活断層研究*, 15, 93-99, 1996.
- 3) Meneses-Gutierrez, A., and T. Sagiya, Persistent inelastic deformation in central Japan revealed by GPS observation before and after the Tohoku-oki earthquake, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 450, 366-371, doi: 10.1016/j.epsl.2016.06.055, 2016.

- 4) 中田高・今泉 俊文, 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会, ISBN: 978-4130607407, 2002.
- 5) Shen, Z.-K., D. D. Jackson, and B. X. Ge, Crustal deformation across and beyond the Los Angeles basin from geodetic measurements, *J. Geophys. Res.*, 101(B12),27957-27980, doi:10.1029/96JB02544, 1996.

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。今年度は特に、2011年東北地方太平洋沖地震の発生以前のスロースリップイベントの再検討および東北地方太平洋沖地震の北部隣接領域における海溝海側の地震活動の特徴について検討を進めた。その結果、東北沖地震の際に海溝海側で地震活動が誘発されたのとは逆に、1933年の昭和三陸地震の際は、海溝海側の地震の後、プレート境界の地震が誘発されていた可能性が高いことがわかった。このような海溝海側の地震の特徴は、プレート境界地震のすべりのサイクルを考える上で、アウターライズでの変形（地震）の影響を共に考える必要があることを示す。また、東北沖地震が関東地方下の地震活動に与えた影響を、繰り返し地震を用いて調べた。プレート境界面でのスロースリップの速度に加え、すべりの方向の時間変化を精度よく推定することにより、太平洋プレートとフィリピン海プレートの2つのプレートについて、沈み込み速度の加速が起きたと推定された。この加速が地震活動の増加の原因の1つと考えられる。また、2011年東北地方太平洋沖地震直後の余効変動場の高精度な把握のために、キネマティックGNSS解析の高精度化を進めた。さらに2011年東北地方太平洋沖地震発生前に発生したスロースリップイベントの再検討を、海底水圧計データの再解析によって行った。その結果、これまでにスロースリップイベントが推定されていた断層位置よりもプレート境界浅部に断層を仮定しても、データを説明できる可能性を示した。

(b) 業務の成果

1) 1933年の三陸沖アウタートレンチ地震の研究

1933年の昭和三陸地震 (Mw8.4) は現在知られている最大の海溝海側の地震である。2011年東北沖地震の際、海溝海側での地震が誘発されたが、本研究では、その北側領域で発生した昭和三陸地震の際の地震活動について調べた。気象庁による読み取り値と Zhang and Thurber (2003)による tomoFDD コードを用い、3次元速度構造で震源を再決定した (図3-9-②-1)。3次元速度構造は、速い沈み込むプレートのマントル部分 (Tonegawa et al., 2006; Hino et al., 2009; Kawakatsu et al., 2009)、遅い海域の地殻 (Matsuzawa et al., 1987; Kawakatsu and Watada, 2007; Tsuji et al., 2008; Yamamoto et al., 2008; Hino et al., 2009)、前孤域での浅いモホと速いマントル (Ito et al., 2004; Ito et al., 2005)を取り入れ新たに構築した (Uchida et al., 2016a)。その結果、余震が海溝陸側と

海側の両方にまたがって発生しており、海溝海側の地震により陸側のプレート境界に沿った地震が誘発された可能性があることがわかった。さらに、水沢観測点のすず書き波形記録の特徴も調べ、1933年の海溝海側および陸側の地震が、現在の陸域観測点で得られる海溝海側および陸側の地震の波形の卓越周波数と同様の特徴を示すことが分かった。このことは、海溝をまたぐ震源分布が誤差によるものではないことを示唆する。また、津波の初動波形と海溝海側での地震の分布を用いた考察から、海溝海側においても複数の断層が動いた可能性が示唆された。さらに、海底地形および最近の地震活動との比較から、東北沖の海溝海側には、地震活動や断層の分布に地域性があり、そのなかの1つのセクションで1933年の地震が起きたことが示唆された。このような海溝海側の地震活動の特徴は、沈み込むプレートの応力状態や、プレート境界の地震との相互作用など、海溝近傍の浅部沈み込み過程の特徴の一端を明らかにするもので、プレート境界地震について特にその浅部のすべりのサイクルを考える上で、アウターライズでの変形を共に考える必要があることを示す (Uchida et al., 2016a)。

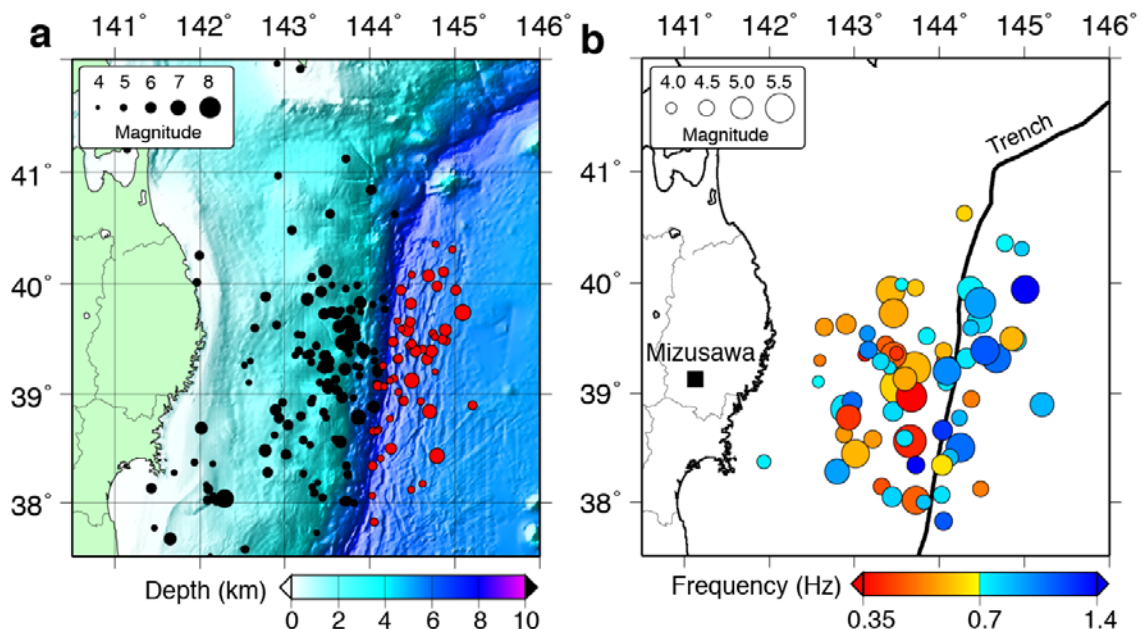


図 3-9-②-1 3次元速度構造を用いて再決定した1933年三陸沖地震から3ヶ月間の余震分布。国立天文台水沢観測点（当時は水沢緯度観測所、図中四角）のすず書き記録を用いた地震波形の卓越周期の分布。震源決定結果、地震の卓越周期（海溝外側は高周波）とともに海溝を挟んだ東西の両側で地震が起きていることを示す。

2) 東北沖地震後の関東地方の地震活動の調査

関東地方下の地震活動は2011年の東北沖地震後、長期にわたって活発な状況が続いている（図 3-9-②-2）。このような地震活動がより大きな地震につながることも危惧されており（例えば、Toda and Stein, 2013）、このような地震活動の原因を調べることは重要である。本研究では、関東地方下の3枚のプレート（太平洋プレート、フィリピン海プレートおよび陸のプレート）の境界で発生している繰り返し地震を用いて、

この地域の地下のプレートの動きの時間変化を調べた。その結果、繰り返し地震の積算すべりから、フィリピン海プレートの上端（図3-9-②-2）および下端の両方で、東北沖地震後すべりレートが増加していると推定された。さらに、繰り返し地震の波形のモデリングにより、すべりの方向の時間変化を精度よく推定する手法の開発も行い、これらのフィリピン海プレート上端および下端の繰り返し地震に適用した。その結果、太平洋プレートとフィリピン海プレートとの間の繰り返し地震に2011年の東北沖地震前後で4度を超えるすべり方向の変化がなかったことを示した。これらの結果は、東北沖地震後、太平洋プレートとフィリピン海プレートの両方について沈み込み速度の加速が起きたことを示す。この沈み込みの加速が首都圏に長期的な地震数の増加をもたらした原因の1つと考えられる（Uchida et al., 2016b）。

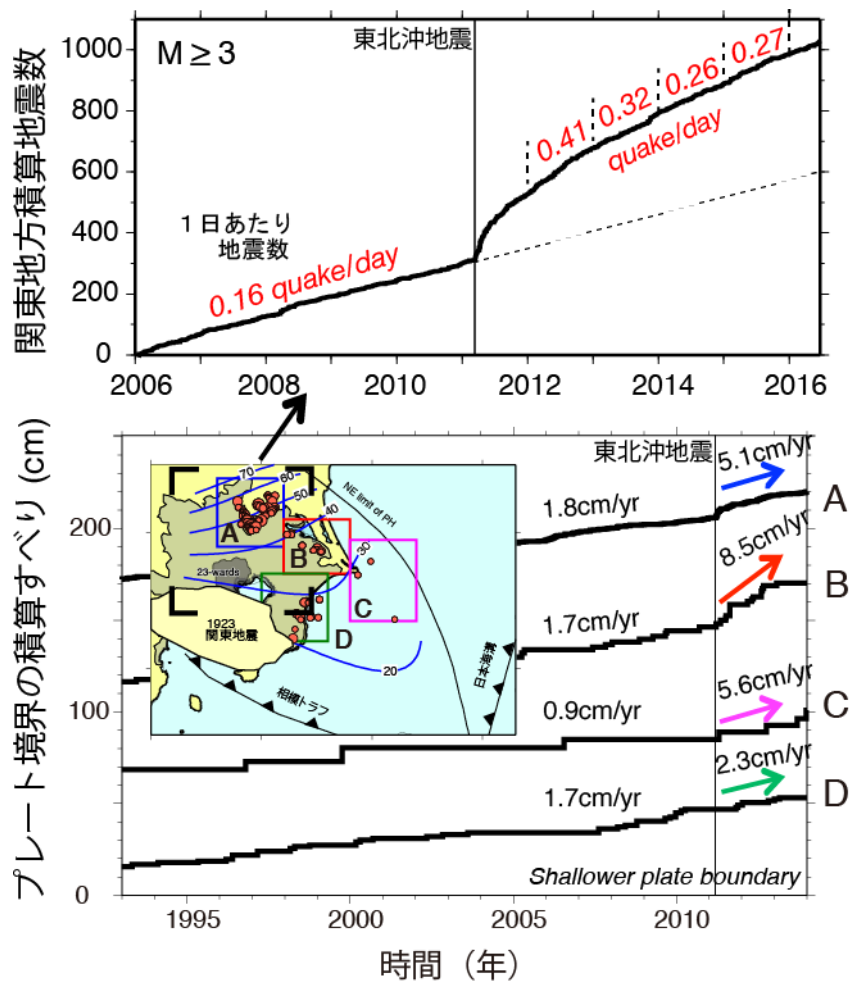


図3-9-②-2 (上)東北沖地震前後の地震数の推移。下図中の黒枠内(深さ0~90km)の地震数は東北沖地震後増加し、2015年においても元のレートに戻っていない。(下)繰り返し地震データから得られたフィリピン海プレートと陸のプレートとの間の変位速度。東北沖地震後全領域で加速が見られる。

3) 2011年東北地方太平洋沖地震直後の余効変動場モデル化のためのキネマティックGNSS解析の高精度化に関する研究

H27 年度に実施した本震直後の余効変動の特徴抽出を、より高精度に実施するために短い時間帯域の地殻変動場を把握するためのキネマティック GNSS 解析の高精度化に関する研究を進めた。具体的には、最適な対流圏遅延パラメータの時空間的な安定度を実際の GNSS データ時系列の安定性を用いて調べた。具体的には、座標時系列の擾乱がもっとも小さくなる（標準偏差がもっとも小さくなる）天頂湿潤大気遅延量とその勾配量のグリッドサーチによる探索を、特定の観測点において 1 年間通じて行い、推定される最適対流圏遅延パラメータの時間変化を確認した。その結果、天頂湿潤大気遅延量とその勾配量ともに冬季は値が小さく、夏季は大きいという年周変化が確認された（図 3-9-②-3）。この傾向は特に水平変動に対する勾配量の最適値時系列において明瞭であった。これらの成果によって、最適な大気遅延パラメータの推定を行うことで短い時間帯域の地殻変動場をより高い精度で捉えることが可能であることを示した（Hirata and Ohta, 2016）。

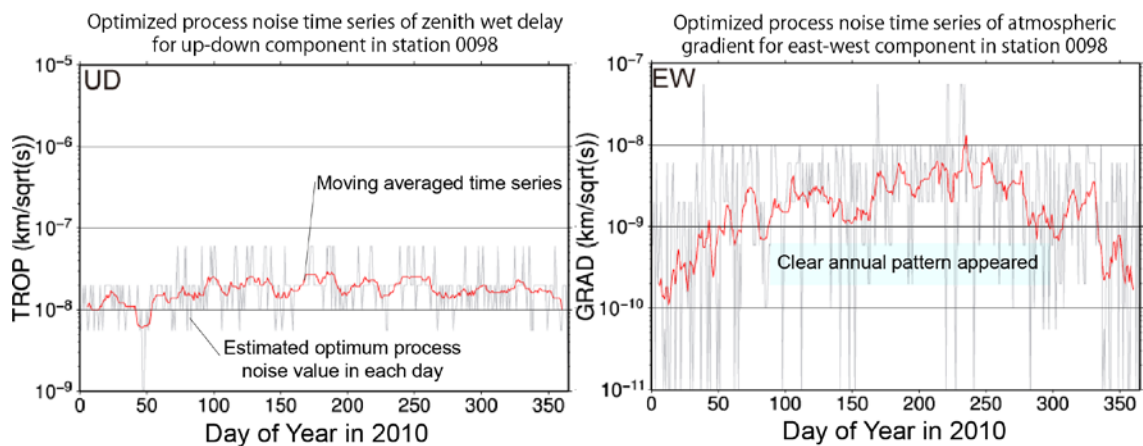


図 3-9-②-3 GEONET 0098 観測点における 2010 年 1 年間の最適プロセスノイズ値の時間変化を示した図。(左) 上下変動に対する天頂湿潤大気遅延量の最適プロセスノイズ値。灰色線が日毎の最適値、赤色線がその移動平均を取ったもの。僅かな年周変化が認められる。(右) 東西成分に対する天頂湿潤大気遅延量の勾配量の最適プロセスノイズ値。灰色線が日毎の最適値、赤色線がその移動平均を取ったもの。明瞭な年周変化が認められ、冬期はその値が小さく、夏季は大きいという傾向が確認できる。

4) 2011 年東北地方太平洋沖地震発生前に発生したスロースリップイベントの再検討

Ito et al. (2013) によって見出された 2011 年東北地方太平洋沖地震以前に発生したプレート境界におけるスロースリップイベントについて、海底水圧計データの再解析にもとづいて再検討を行った。Ito et al. (2013) では、海底水圧計に含まれる非潮汐海洋成分を効率よく除去するために、隣接する 2 つの海底水圧計観測点の差を取った差圧データにもとづいて地殻変動場を抽出していた。この方法の場合、地殻変動成分の抽出を阻害する非潮汐海洋成分を効率よく除去できる大きなメリットがある一方で、隣り合う観測点間の地殻変動場しか分からないというデメリットが存在した。そこで本研究ではスロースリップイベントによる地殻変動の影響が少ないと考えられるより

西側の海底水圧計 4 点の平均を基準とし、それらに対してスロースリップイベントが発生した領域に近い東側の海底水圧計 4 点それぞれの地殻変動場を推定することによって、より空間波長の長い地殻変動場の推定を行った。さらに、得られた地殻変動場にもとづいて、断層モデルの再検討を進めた。その結果、2011 年東北地方太平洋沖地震の直前にあたる期間 (2011 年 2 月 19 日～3 月 8 日) の地殻変動場できわめて明瞭な上下変動パターンが確認された (図 3-9-②-4)。また、得られた地殻変動場にもとづいて推定された断層モデルでは従来推定されていた断層モデル (Ito et al, 2013) の位置よりも、よりプレート境界浅部に断層モデルを仮定してもデータを説明できることが明らかになった (図 3-9-②-4)。一方で、得られた地殻変動場には非潮汐海洋成分等が未だ残存していることから、より詳細な再検討が今後必要であると考えられる。

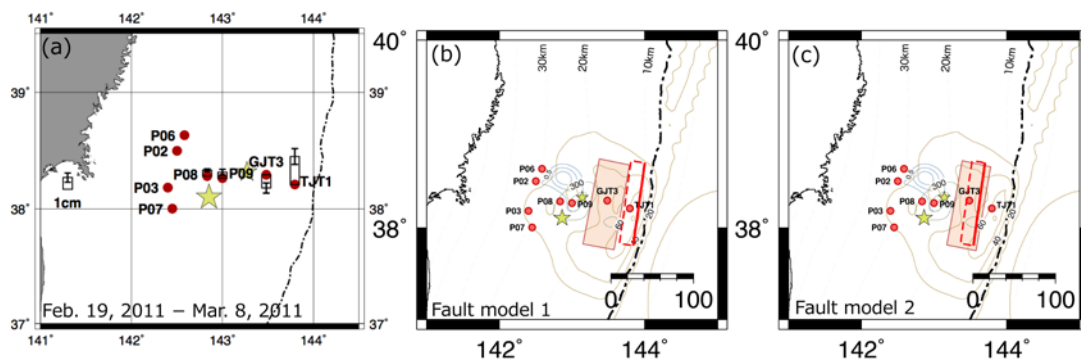


図 3-9-②-4 (a) 2011 年 2 月 19 日～2011 年 3 月 8 日の間の海底水圧計によって捉えられた地殻変動場。西側観測点である P06, P02, P03, P07 を基準として、それに対する P08, P09, GJT3, TJT1 の地殻変動場をそれぞれ示す。(b) 得られた地殻変動場から推定された断層モデルのうち、プレート境界浅部に推定されたもの (赤破線で示した断層、断層モデル 2)。オレンジ色で塗りつぶした矩形は Ito et al. (2013) で推定されたもの。(c) 得られた地殻変動場から推定された断層モデルのうち、プレート境界の深部側に推定されたもの (赤破線で示した断層、断層モデル 2)。

(c) 結論ならびに今後の課題

H28 年度は東北地方の海陸地殻変動観測・地震データを用いて、2011 年東北地方太平洋沖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。2011 年東北地方太平洋沖地震の発生以前のスロースリップイベントの再検討および東北地方太平洋沖地震の北部隣接領域における海溝海側の地震活動の特徴について検討を進め、東北沖地震の際に海溝海側で地震活動が誘発されたのとは逆に、1933 年の昭和三陸地震の際は、海溝海側の地震の後、プレート境界の地震が誘発されていた可能性が高いことを明らかにした。また東北沖地震が、関東地方下の地震活動に与えた影響を、関東地方下の 3 枚のプレート境界で発生している繰り返し地震を用いて調べた。プレート境界面でのスロースリップの速度に加え、すべりの方向の時間変化を精度よく推定することにより、太平洋プレートとフィリピン海

プレートの2つのプレートについて、沈み込み速度の加速が起きた可能性を示した。また、2011年東北地方太平洋沖地震直後の余効変動場を高精度に把握するために、キネマティック GNSS 解析の高精度化を進めた。さらに2011年東北地方太平洋沖地震発生前に発生したスロースリップイベントの再検討を、海底水圧計データの再解析によって行った。

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に関する整理は確実に進みつつある。次年度以降もこれらの知見の整理を着実に進め、その知見を、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ていく必要があると考える。

(d) 引用文献

- 1) Hino, R. et al., Insight into complex rupturing of the immature bending normal fault in the outer slope of the Japan Trench from aftershocks of the 2005 Sanriku earthquake ($M_w = 7.0$) located by ocean bottom seismometry, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 10, Q07O18, doi:10.1029/2009GC002415, 2009.
- 2) Hirata, Y., and Y. Ohta, Spatial and temporal characteristics of optimum process noise values of tropospheric parameters for kinematic analysis of Global Navigation Satellite System (GNSS) sites in Japan, *Earth, Planets Space*, 68:203, doi: 10.1186/s40623-016-0578-y, 2016.
- 3) Ito, A., G. Fujie, S. Miura, S. Kodaira, Y. Kaneda, and R. Hino, Bending of the subducting oceanic plate and its implication for rupture propagation of large interplate earthquakes off Miyagi, Japan, in the Japan Trench subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L05310, 2005.
- 4) Ito, A., G. Fujie, T. Tsuru, S. Kodaira, A. Nakanishi, and Y. Kaneda, Fault plane geometry in the source region of the 1994 Sanriku-oki earthquake, *Earth and Planetary Science Letters*, 223, 163-175, 2004.
- 5) Ito, Y., R. Hino, M. Kido, H. Fujimoto, Y. Osada, D. Inazu, Y. Ohta, T. Inuma, M. Ohzono, S. Miura, M. Mishina, K. Suzuki, T. Tsuji, and J. Ashi, Episodic slow-slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Tectonophysics*, 600, 14–26, doi:10.1016/j.tecto.2012.08.022, 2013.
- 6) Kawakatsu, H., P. Kumar, Y. Takei, M. Shinohara, T. Kanazawa, E. Araki, and K. Suyehiro, Seismic Evidence for Sharp Lithosphere-Asthenosphere Boundaries of Oceanic Plates, *Science*, 324, 499-502, 2009.
- 7) Kawakatsu, H. and S. Watada, Seismic evidence for deep-water transportation in the mantle, *Science*, 316, 1468-1471, 2007.
- 8) Matsuzawa, T., N. Umino, A. Hasegawa, and A. Takagi, Estimation of thickness of a low-velocity layer at the surface of the descending oceanic plate beneath the northeastern Japan arc by using synthesized PS-wave, *Tohoku Geophys. J.*, 31, 19-28, 1987.
- 9) Toda, S., and R. S. Stein, The 2011 $M = 9.0$ Tohoku oki earthquake more than doubled the

- probability of large shocks beneath Tokyo, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 2562–2566, doi:10.1002/grl.50524. 2013.
- 10) Tonegawa, T., K. Hirahara, T. Shibutani, and N. Fujii, Lower slab boundary in the Japan subduction zone, *Earth and Planetary Science Letters*, 247, 101-107, 2006.
 - 11) Tsuji, Y., J. Nakajima, and A. Hasegawa, Tomographic evidence for hydrated oceanic crust of the Pacific slab beneath northeastern Japan: Implications for water transportation in subduction zones, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L14308, doi:10.1029/2008GL034461, 2008.
 - 12) Uchida, N., S. Kirby, N. Umino, R. Hino, and T. Kazakami, The great 1933 Sanriku-oki earthquake: reappraisal of the mainshock and its aftershocks and implications for its tsunami using regional tsunami and seismic data, *Geophys. J. Int.*, 206(3), 1619-1633, 2016a.
 - 13) Uchida, N., Y. Asano, and A. Hasegawa, Acceleration of regional plate subduction beneath Kanto Japan, after the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 9002-9008, doi:10.1002/2016GL070298, 2016b.
 - 14) Yamamoto, Y., R. Hino, K. Suzuki, Y. Ito, T. Yamada, M. Shinohara, T. Kanazawa, G. Aoki, M. Tanaka, K. Uehira, G. Fujie, Y. Kaneda, T. Takanami, and T. Sato, Spatial heterogeneity of the mantle wedge structure and interplate coupling in the NE Japan forearc region, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L23304, 2008.
 - 15) Zhang, H., and Thurber, C.H., Double-difference tomography: the method and its application to the Hayward Fault, California, *Bull. seism. Soc. Am.*, 93, 1875–1889, 2003.

③予測システムの検証・予測試行実験

(a) 業務の要約

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に向けて、前年度蓄積したシミュレーションデータベースを用いて、日本海溝でのプレート境界での固着・すべりの逐次推移予測の試行実験に着手した。手法は南海トラフ域で既に行っているものを用いた。M9クラスの地震震源域内においてM7クラスの地震が発生した後、観測データに見られる地殻変動から、その後発生するM9クラスの地震に至る過程を見出せるかどうか数値実験で調べた。また、前年度に構築した地震発生サイクルの数値シミュレーションモデル(日本海溝地域において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るモデル)を基にさらにシナリオの蓄積を行った。

(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蓄積する。これは、前年度構築した日本海溝地域のモデル(Nakata et al., 2016)を基に、摩擦パラメータ $A (= a\sigma)$ 、 $B (= b\sigma)$ 、 L (特徴的すべり量) について様々な空間分布を仮定して、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)。

推移予測の試行実験には、前年度までに蓄積したシミュレーションデータベースのうち、M9クラスの地震のすべり域だけでなく、より多くの特徴について観測と整合性のある50シナリオを用いた。これらのシナリオでは、三陸沖南部海溝寄りの地域 (M9クラスの地震の震源域内) でM7クラスの地震が発生してからM9クラスの地震が発生するまでの時間差は、2時間~206年である (図3-9-③-1)。各シナリオの期間はM7クラスの地震が発生する10年前からM9クラスの地震が発生した10年後までを用いる。

データ同化に用いる物理値には、シミュレーションで得られたプレート境界面上のすべりから計算した地殻変動の上下動成分を用いる。50シナリオに対して、陸域 (GEONET)176点と海域 (S-net, GPS/A)96点の計272点 (図3-9-③-2)の座標値における地殻変動を計算する。地殻変動計算に用いるグリーン関数は、均質・等方な半無限弾性媒質で行った。地震発生サイクルシミュレーションでは、時間刻み幅可変のRunge-Kutta法を用いて時間積分をしているため、地殻変動を計算したのち、1日間隔に線形に補間 (内挿または間引き) した。

同化手法は、南海トラフ地震を対象として、地殻変動観測の実データと地震発生サイクルシミュレーションで得られたM8クラスの地震発生に至る多数のシナリオを用いて行ってきた、プレート境界での固着・すべりの推移予測の試行実験 (Hori et al., 2014)に使用したのと同じものを適用する。粒子フィルタの一種である逐次重点サンプリング (Sequential Importance Sampling; SIS) と呼ばれる逐次データ同化手法を適用して、観測データとシミュレーションデータとの残差二乗和にもとづいて各シナリオの尤度を計算する。観測データ長はシミュレーションデータ長より短いため、シミュレーションデータに対して1ステップずつ観測データをずらしていき、残差が最小になるときの尤度を、そのシナリオの尤度とする。本年度は、50シナリオのうち1つを観測データ、つまり真のシナリオとして扱う。今回は前年度構築したモデル (Nakata et al., 2016) で得られたシナリオを真のシナリオとする。このシナリオでは、M7クラス地震とM9クラス地震の時間差は13日である。尤度計算の観測データとして用いるのは、真のシナリオ (約20年分) のデータのうち、M9クラス地震発生直前の1年間 (M9クラス地震震源域内でM7クラスの地震発生を含む期間; ケース1) または、M9クラス地震発生5~6年前 (M9クラス地震震源域内でM7クラスの地震が発生していない期間; ケース2) である。この2通りで結果を比較した。

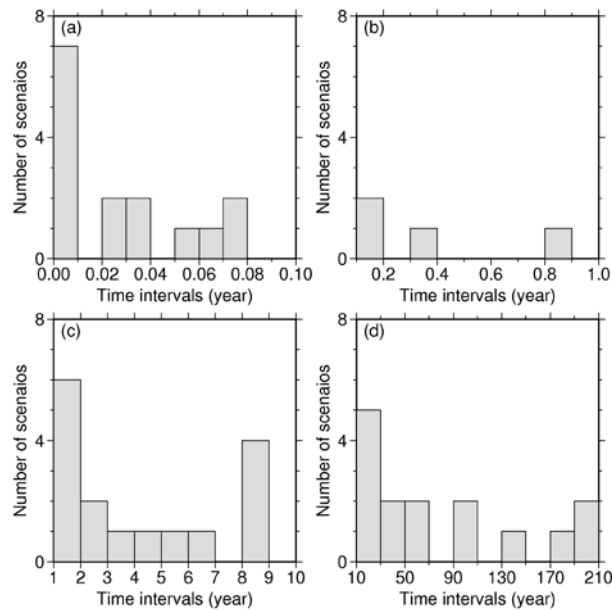


図 3-9-③-1 推移予測実験に用いた 50 シナリオでの、M7 クラス地震と M9 クラス地震との時間差。(a)M7 クラス地震と M9 クラス地震との時間差が 0～0.1 年以内の 15 シナリオの頻度分布。(b) M7 クラス地震と M9 クラス地震との時間差が 0.1～1 年以内の 4 シナリオの頻度分布。(c) M7 クラス地震と M9 クラス地震との時間差が 1～10 年以内の 16 シナリオの頻度分布。(d) M7 クラス地震と M9 クラス地震との時間差が 10～210 年以内の 15 シナリオの頻度分布。

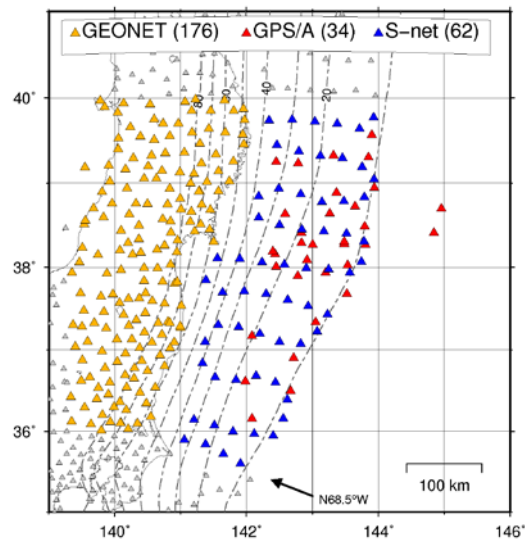


図 3-9-③-2 地殻変動観測点分布。黄三角が GEONET、青三角が S-net、赤三角が GPS/A 観測点の位置を示す。

(c) 業務の成果

全ての場合で、真のシナリオが最も尤度が高くなる（残差が最小になる）ことを確認した。ケース1の観測データ期間で海域観測点のみを用いた場合、M9クラスの地震の発生時期のばらつきは小さかった（図3-9-③-3）。ケース1の期間で陸域観測点のみの場合（図3-9-③-4）や、観測点分布に関わらずケース2のデータ期間で尤度を計算した場合、高尤度シナリオでもM9クラスの地震発生時期がばらついていて、M7クラスの地震による地殻変動が、その後のM9クラス地震の発生予測には重要であることを示唆する結果が得られた。また、高尤度になりやすいシナリオと、低尤度になりやすいシナリオには、M7クラスの地震が発生した時のすべり速度分布（M9クラスの地震の震源域になるエリアの固着状態）に違いが見られた（図3-9-③-5）。

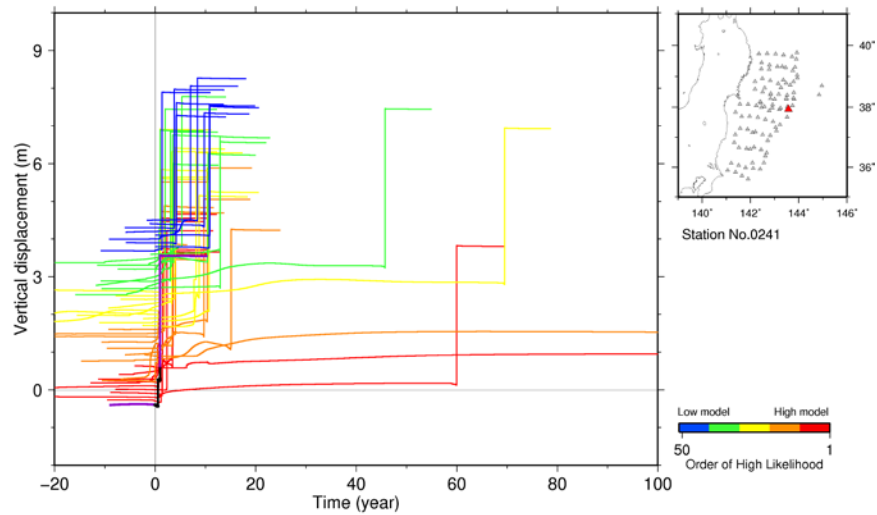


図3-9-③-3 ケース1の観測データ期間で、海域観測点のみを使用した場合の上下変動の時間推移。右上の地図に赤い三角で示した位置での地殻変動。紫線は真のシナリオを示し、T=0～1年に紫線に上書きしている黒線は観測データを示す。赤から青色の線は50シナリオを尤度の高い順に色分けしてある。縦軸の正の方向の大きな変化がM9クラスの地震による変動である。

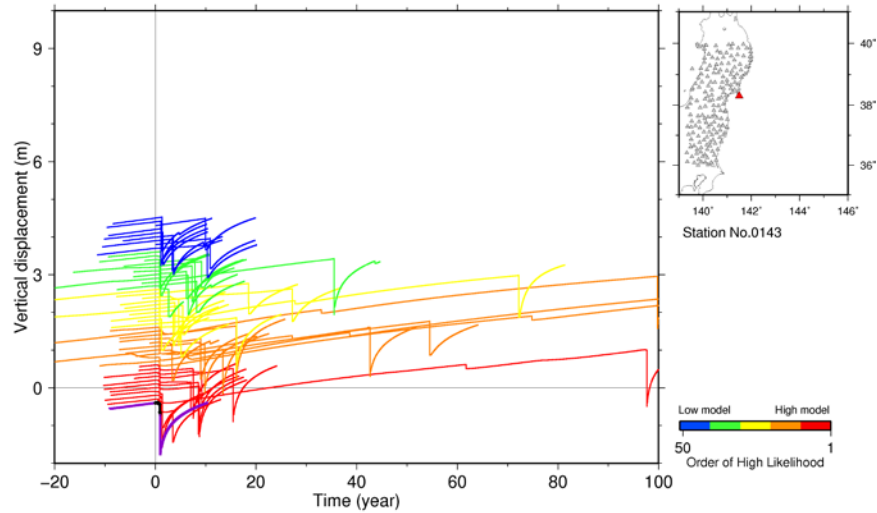


図 3-9-③-4 ケース 1 の観測データ期間で、陸域観測点のみを使用した場合の上下変動の時間推移。色は図 3-9-③-3 と同じ。このように M9 クラス地震震源域から遠くなる陸域観測点では、負の方向に数 m 変化している部分が M9 クラス地震による変動を示す。

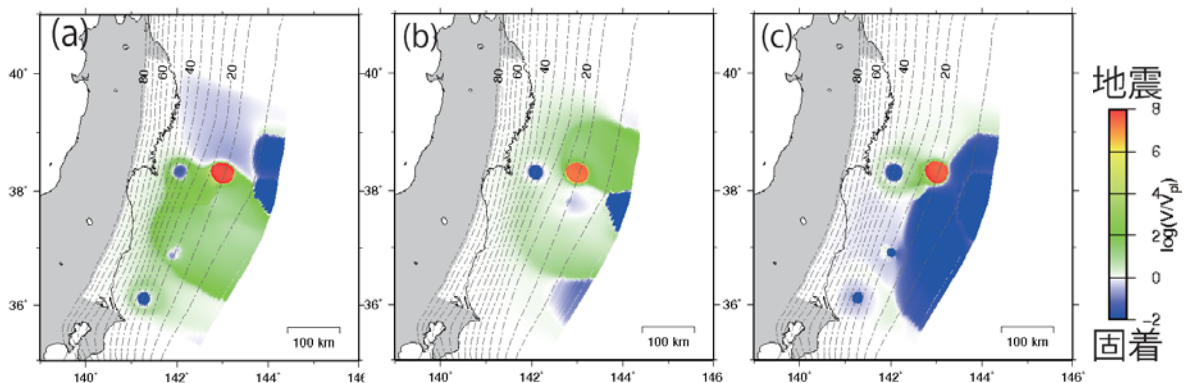


図 3-9-③-5 M7 クラスの地震が発生した時のすべり速度分布。(a) 真のシナリオ。(b), (c) 低尤度になりやすいシナリオ。

(d) 結論ならびに今後の課題

南海トラフや日本海溝での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に向けて、日本海溝地域において地震発生サイクルシミュレーションデータベースの蓄積と、推移予測の試行実験に着手した。同化手法や予測の問題点を洗い出して、推移予測手法を改善し、南海トラフ地域での試行実験に反映できる知見を得る必要がある。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) Dieterich, J. H., Modeling of rock friction, 1. Experimental results and constitutive equations, *J. Geophys. Res.*, 84, B5, 2161-2168, 1979.
- 2) Hori, T., M. Hyodo, R. Nakata, S. Miyazaki, and Y. Kaneda, A forecasting procedure for plate boundary earthquake based on sequential data assimilation, *Oceanography*, 27, 94-102, 2014.
- 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) Rice, J. R., Spatio-temporal complexity of slip on a fault, *J. Geophys. Res.*, 98(B6), 9885-9907, 1993.
- 5) Ruina, A., Slip instability and state variable friction laws, *J. Geophys. Res.*, 88(B12), 10359-10370, 1983.
- 6) 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.

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) 余効変動データによる東北地方太平洋沖地震の地震時すべり分布推定精度の向上：数値実験

地震後に観測された余効変動データには粘弾性緩和を通して地震時すべりに関する情報が含まれており、これらのデータを活用することで地震時すべり分布精度の向上が見込まれる。2011年東北地方太平洋沖地震では、陸域のGNSS観測点(GEONET)では地震前および地震後にわたり地殻変動連続データが、海域では海上保安庁によるGNSS音響測距結合方式海底地殻変動観測(GNSS-A)による地殻変動観測が地震前および地震発生3週間後に行われ(Sato et al., 2011)、地震時すべり推定データの有力なデータとなった。その後、観測が続けられているが、およそ2.5年後から東北大学による海底地殻変動観測が開始され、より多くの海域観測点で余効変動データが得られている。こういった状況を数値実験で再現し、地震後に得られた余効変動データによる地震時すべり分布精度の向上を確認した。

- 2) 内陸ブロック運動を考慮した海陸地殻変動データに基づく南海トラフカップリング推定の高度化

近年、着実に観測が進められているGNSS-Aデータと陸上のGNSSデータを用いて、南海トラフ沿い及び相模トラフ沿いのプレート間カップリングの推定を行った。先行研究(Yokota et al., 2016)では考慮されていなかった内陸域のブロック運動を

考慮し、朝鮮半島から関東地方までの解析領域を 15 のブロックに分割して、それぞれのブロック運動とブロック間断層における固着率を推定した。その結果、南海トラフ沿いのすべり欠損速度は全体として東に行くほど通減する傾向があるが、日向灘（132° E 付近）と紀伊半島沖の 2 か所（136° E 付近、137° E）にすべり欠損速度が小さい場所があり、過去の大地震の震源域の端に対応していることがわかった。

3) MCMKF（モンテカルロ混合カルマンフィルタ）によるすべり推定（東海 SSE）

GNSS 等による地殻変動の連続時系列データから断層のすべりの時空間変化を推定する手法である改良型のネットワークインバージョンフィルタ（モンテカルロ混合カルマンフィルタ、以下 MCMKF）（Fukuda et al., 2008）を、2013 年から 2015 年の東海地方の GNSS 時系列データに適用し、プレート境界で発生するスロースリップイベント（以下、SSE）の時空間変化を推定した。その結果 2013 年初頭から浜名湖の西側で長期的 SSE と考えられるすべりが解析期間の最後（2015 年末）まで継続し、Mw6.5 相当のモーメントを解放したことに加え、2014 年 1 月と 2015 年 5 月に長期的 SSE の深部延長側で短期的 SSE と考えられるすべりの急激な加速が推定された。長期的 SSE と短期的 SSE の同時推定は従来の手法では困難であり、スムージングを可変とする MCMKF の優位性が示された。

4) EnKF（アンサンブルマンフィルタ）による摩擦パラメータおよびすべり発展予測（豊後水道 SSE：数値実験）

これまで八重山 SSE を対象に、EnKF による SSE 断層面上の摩擦パラメータとすべりの発展予測の数値実験を試みてきたが、本年度は豊後水道 SSE 領域において EnKF 適用の可能性を探る数値実験を行った。その結果、八重山に比べ SSE の継続時間が長いこと、および八重山では海域であるため観測点分布に問題があったが、豊後水道では比較的観測点配置が良好なため、簡単なモデルでは EnKF による摩擦パラメータおよびすべり発展の推定・予測が可能なが分かった。

(b) 業務の成果

1) 余効変動データによる東北地方太平洋沖地震の地震時すべり分布推定精度の向上：数値実験

地震後（時刻 t ）に観測される余効変動 $d_i(t)$ （ある観測点でのある地殻変動成分 i ）は、離散震源断層セル j で生じるゆっくりした余効すべり $s_j(t)$ による弾性応答と、地震時すべり $s_j(0)$ および余効すべり $s_j(t)$ が引き起こすマントルでの流動による粘弾性応答からなり、次式の履歴積分で表せる。

$$\begin{aligned} d_i(t) &= \int_{-\infty}^t G_{ij}(t-t') \dot{s}_j(t') dt' \\ &\cong G_{ij}(t) s_j(0) + \int_{0+}^t G_{ij}(t-t') \dot{s}_j(t') dt' \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $G_{ij}(t)$ は震源断層セル j に単位すべりを与えた時のある観測点のある成分 i の

時刻 t における地殻変動を表し、すべり応答関数と呼ばれる。式 (1) の第 1 項から分かるように、余効変動には $G_{ij}(t)s_j(0)$ の形で、地震時すべりの情報が含まれている。ただし、すべり応答関数 $G_{ij}(t)$ は、 $\exp(-t/\tau)$ (τ : 粘弾性緩和時間) で時間とともに減衰するので地震後できるだけ早い時期 (緩和時間 τ 内) に観測を始める必要がある。

図 3-9-④-1 に、実際の 2011 年東北地方太平洋沖地震前後における地殻変動観測点を示す。赤点で示される陸域の国土地理院 GNSS 観測点 (GEONET) では地震前および後とも連続データが得られている。これに対し、海域では海上保安庁により青く示した観測点で、地震前 2~4 ヶ月および地震後 3 週間に GNSS-A 観測がなされ (Sato et al., 2011)、そのデータは地震時における特大すべり域の存在を示す貴重なデータとなった (例えば、Iinuma et al., 2012)。その後、観測は年に 3~4 回程度続けられ (Watanabe et al., 2014)、これらの余効変動データを活用して余効すべり分布の推定が行われている (例えば、Yamagiwa et al., 2015)。その後、広い領域に及ぶ観測点 (緑点) で、地震後 2.5 年後から東北大学による GNSS-A 地殻変動観測が行われ、余効変動データが得られている。この 2.5 年後から始まった東北大学による観測では、地震前のデータがないため、式 (1) を地震時および余効すべりを推定する観測方程式とすることはできず、以下の式のように時刻 t と $t + \Delta t$ の間の時間変化をデータとする観測方程式を立てることになる。

$$\begin{aligned} \Delta d_i(t + \Delta t) &= d_i(t + \Delta t) - d_i(t) \\ &= (G_{ij}(t + \Delta t) - G_{ij}(t))s_j(0) + \int_t^{t+\Delta t} G_{ij}(t - t')\dot{s}_j(t')dt' \\ &\quad + \int_{0+}^t (G_{ij}(t + \Delta t - t') - G_{ij}(t - t'))\dot{s}_j(t')(t')dt' \end{aligned} \quad (2)$$

数値実験に用いるモデルとして、Yamagiwa et al. (2015) と同じ層厚 50km の弾性層とマクスウェル粘弾性層の 2 成層構造モデルを用いた。ただし、ソフトウェア Relax (Barbot, 2014) を用いて粘弾性緩和計算を行ったため、弾性層と粘弾性層では同じ剛性率を用いて、粘弾性層のマクスウェル緩和時間を 4.7 年とした。地震時および余効変動模擬観測データを作成するための、仮定した真値となる地震時および余効すべりは、Yamagiwa et al. (2015) の結果を単純化したもの (図 3-9-④-2: 真値) を用いた。この成層粘弾性モデルおよび地震時・余効すべり分布に基づき、地震時および地震後半年毎に 10 年間の余効変動データを模擬観測データとして作成した。

このように作成した余効変動模擬観測データから地震時・余効すべり分布を推定する断層の離散化および平滑化手法を含むインバージョン手法は、概ね Yamagiwa et al. (2015) に従った。ただし、データの扱いおよび用いる観測方程式を以下のように 2 つに分けて得られた結果を比較した。まず、手法①として、これまで多くの研究で用いられているように、陸域の GEONET 地震時上下・水平 3 成分データに加え、海域の海上保安庁観測点 (青点) では半年後のデータを地震時データと見なし、弾性応答インバージョンで、地震時すべり分布を求めた (推定①)。手法②として、陸域 GEONET 地震時データを用いた弾性応答インバージョンに加え、海域の海上保安庁観測点 (青点) では、地震前からのデータを基準として、半年後の水平変動データから、式 (1)

に基づき地震時および半年間の余効すべりを推定、更にそれ以降は半年毎の水平変動成分の時間変化を表す式(2)を用いて、地震時・余効すべり分布の推定を行う。東北大学観測点(緑点)については2.5年後から式(2)を観測方程式として、地震時および半年毎の余効すべり分布の推定を行った。

手法①と②により推定された結果を比較して、図3-9-④-3に示す。仮定した地震時すべり分布(真値)と並べて、手法①②による地震時すべりの推定値と真値の差の分布を示している。宮城沖より北の東北大学観測点(緑点)付近では推定①に比べて、推定②では真値に近い解が得られ、地震時すべり分布の推定精度が向上したことが分かる。

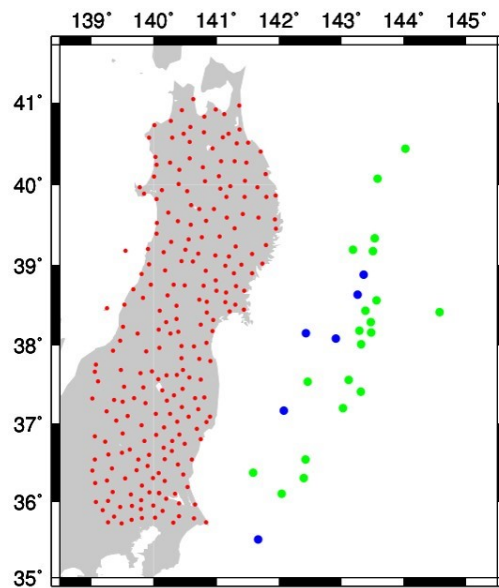


図3-9-④-1 陸域GNSSおよび海域GNSS-A観測点分布。陸域:GEONET(赤点)、海域:海上保安庁(青点)、東北大学(緑点)。

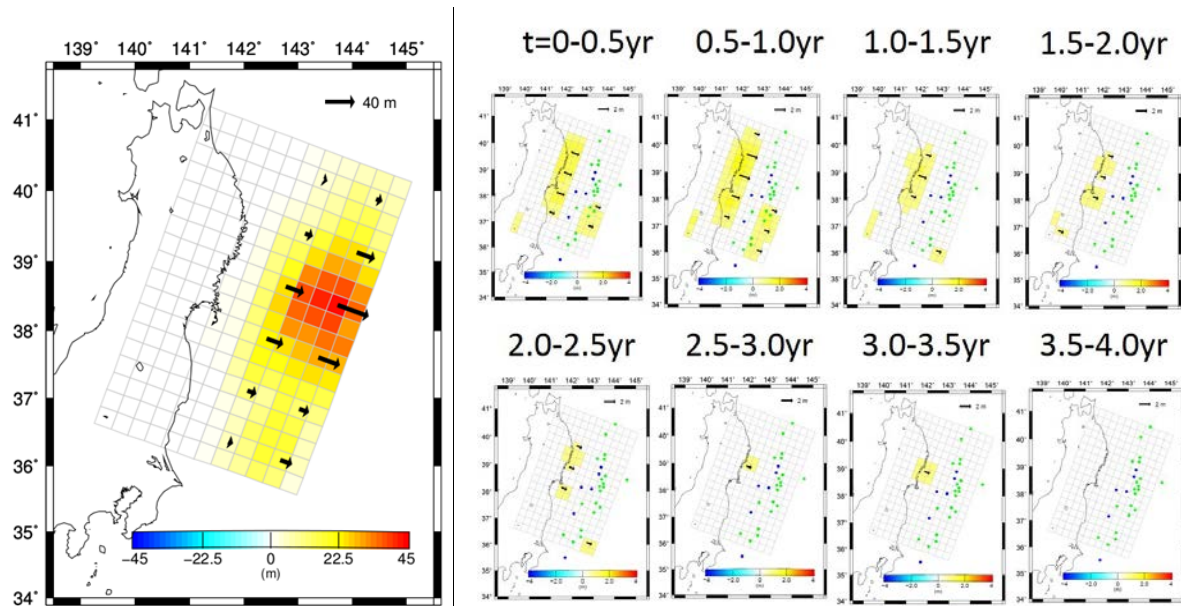


図 3-9-④-2 仮定した東北地方太平洋沖地震時および余効すべり分布モデル。
 (左) 地震時すべり分布。(右) 余効すべり分布(地震後半年毎4年間)。これらのモデルは、Yamagiwa et al. (2015)を単純化したものである。

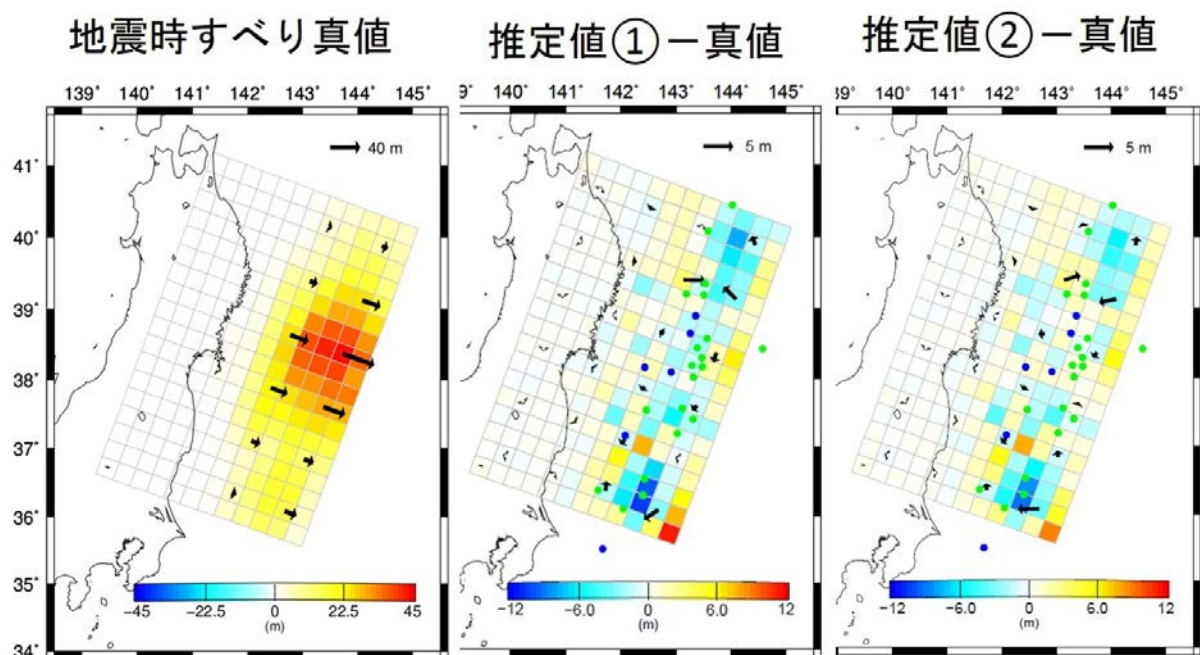


図 3-9-④-3 地震時すべり分布推定結果。(左) 仮定した地震時すべり分布(真値)。すべり量を表すカラースケールは±45m。(中) 手法①(GEONET+海上保安庁(青点)の地震時データを用いた)で推定した地震時すべり分布から仮定した真値すべり分布(左図)を引いたもの。(右) 手法②(地震時に加え、余効変動データを用いた)で推定した地震時すべり分布から仮定した真値すべり分布を引いたもの。中図・右図ですべり量の差を表すカラースケールは±12m。

2) 内陸ブロック運動を考慮した海陸地殻変動データに基づく南海トラフカップリング推定の高度化

海底の地殻変動データとして、海上保安庁と名古屋大学が設置した 23 点の GNSS-A 観測点の水平速度 (Tadokoro et al. (2012); Yasuda et al. (2014); Watanabe et al. (2015); Yokota et al. (2016)のデータを一部アップデートしたものを利用) と、陸上の地殻変動データとして、国土地理院の GEONET や大学等が設置した 840 点の GNSS 観測点の水平・上下速度を用い、地震間地殻変動を陸域のブロック運動とブロック境界断層の固着による弾性変形の和で表すモデル (ブロック断層モデル、例えば、McCaffrey et al., 2002) により、プレート間カップリングの推定を行った。用いた観測点の水平速度ベクトルをアムールプレート固定で表示したのが図 3-9-④-4 である。

図 3-9-④-5 に南海トラフと相模トラフから沈み込むプレート境界面におけるすべり欠損速度 (=プレート間相対運動速度-実際のすべり速度) を表す。すべり欠損速度分布のパターンは、海底の地殻変動データを用いた先行研究 (Yokota et al., 2016) と似ているが、すべり欠損速度は東に行くほど逓減する傾向がある。これは、陸側と海側プレートの両方で南海トラフ以外にもプレート間の相対運動をまかなう断層系があり、南海トラフでの相対運動速度が東に行くほど逓減するからである。また、すべり欠損速度が大きい深さ 10~25km の領域で、132°E 付近と 136°E 付近は比較的すべり欠損速度が小さいことが推定された。この領域は、過去の南海トラフ地震のセグメント境界と考えられており、地震間のカップリングが比較的弱い場所が地震の動的破壊伝播のバリアとして働いている可能性が示唆される。

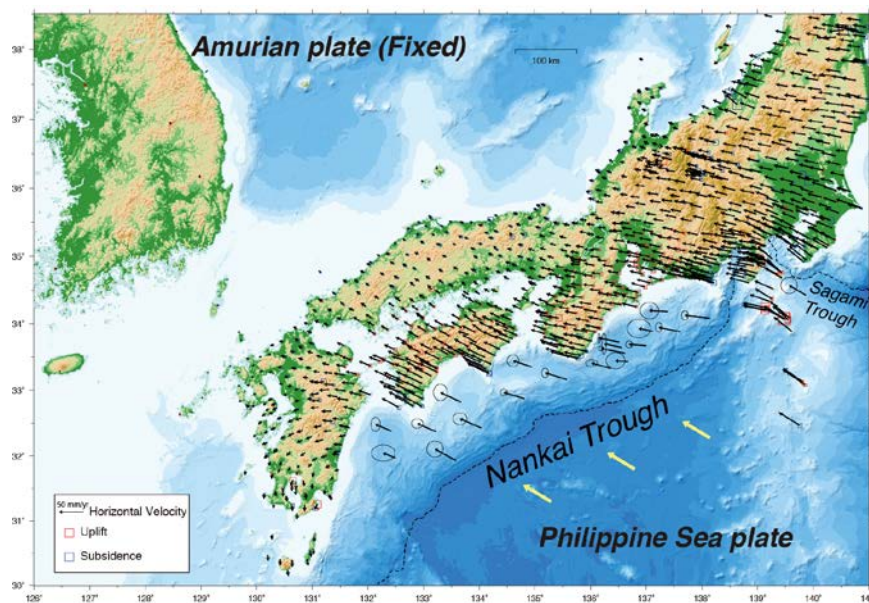


図 3-9-④-4 海陸地殻変動データを統合した西南日本の地震間地殻変動速度。黄色の矢印はプレート運動モデルに基づくフィリピン海プレートの運動方向。

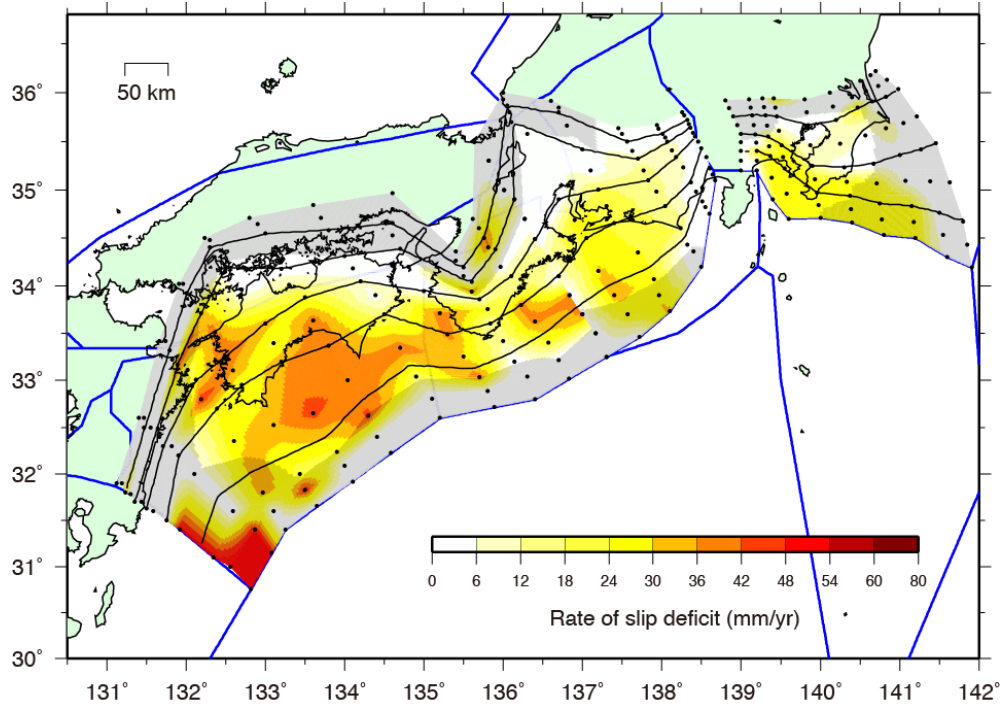


図 3-9-④-5 海陸地殻変動データより推定した南海トラフ及び相模トラフ沿いのすべり欠損速度分布。網掛けの領域は、推定誤差が 20mm/yr 以上の領域。なお、フィリピン海プレートの等深線は 10km 毎のコンターで表されており、青線は陸域でのブロック境界を示している。

3) MCMKF (モンテカルロ混合カルマンフィルタ) によるすべり推定 (東海 SSE)

2008 年 1 月から 2015 年 12 月までの期間において、東海地方の GEONET 222 観測点の GNSS データから日座標値を算出し、定常トレンドやオフセット、季節成分、東北沖地震の余効変動を推定・除去した上で、MCMKF を用いて 2013 年 1 月から 2015 年 12 月までのフィリピン海プレートと陸側プレートの境界面におけるすべりの時空間発展を推定した。この期間には、Ozawa et al. (2016) により長期 SSE が発生していることが報告されているが、期間全体のすべり分布 (図 3-9-④-6 左図) からは、浜名湖の西側で最大約 7 cm のすべりが見られ、この期間に発生した長期 SSE に対応するものと考えられる。図 3-9-④-7 は、図 3-9-④-6 左図に示した各領域におけるモーメントの時間発展を示したものであるが、図 3-9-④-6 左図の赤色四角領域や桃色四角領域では、2014 年 1 月と 2015 年 4 月にモーメントの急激な増加が見られ、その期間のすべり分布を図 3-9-④-6 中図と図 3-9-④-6 右図に示す。これらのすべりの中心は、長期的 SSE の深部側に位置し、深部低周波微動の発生位置とも一致しており、短期 SSE の発生を捉えたものである。一方、長期 SSE の中心部 (青色四角領域) では、解析期間を通してほぼ一定速度でモーメントが解放されており (図 3-9-④-7 青線)、短期 SSE の発生による影響は見られなかった。

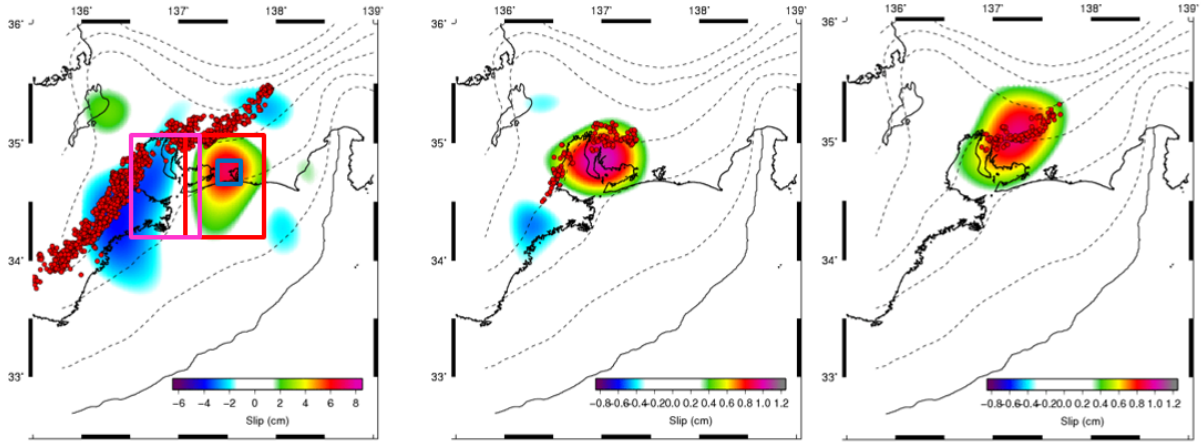


図 3-9-④-6 プレート境界面におけるすべり（カースケール。単位は cm）と低周波微動の震源（赤丸）分布。（左）2013 年 1 月から 2015 年 12 月まで。（中）2014 年 1 月 17 日から 2 月 20 日まで。（右）2015 年 4 月 1 日から 4 月 30 日まで。

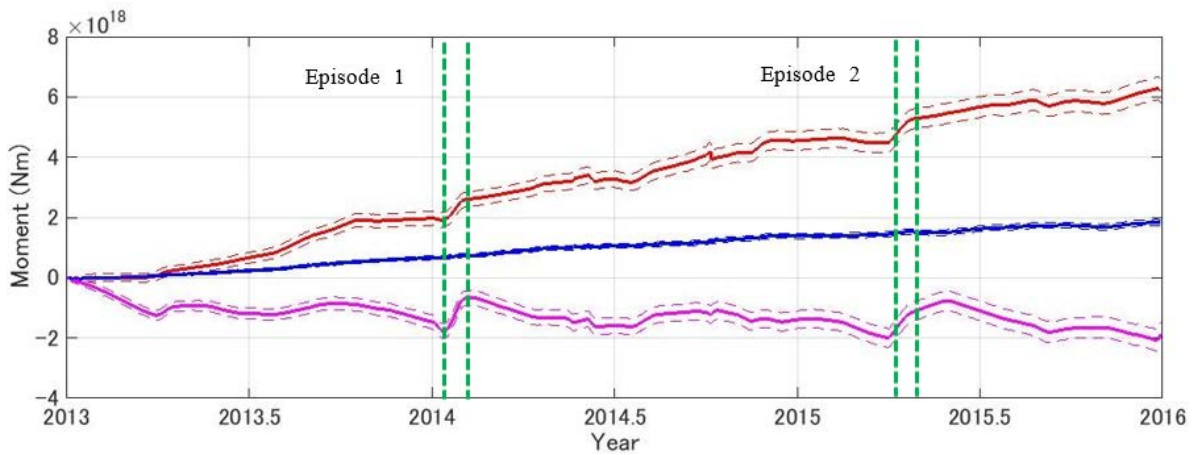


図 3-9-④-7 図 3-9-④-6（左図）の赤色、桃色、青色のすべり領域におけるモーメント解放量の時間変化。Episode 1 と Episode 2 はそれぞれ、2014 年 1 月と 2015 年 4 月に発生した短期的 SSE の期間を示す。

4) EnKF（アンサンブルマンフィルタ）による摩擦パラメータおよびすべり発展予測（豊後水道 SSE：数値実験）

観測データと物理モデルを融合した逐次データ同化の一手法である EnKF（アンサンブルカルマンフィルタ）（淡路・他、2009）による SSE（スロースリップイベント）領域での摩擦パラメータおよびすべりの発展を推定・予測する数値実験をこれまで八重山地域で行ってきたが、今年度は豊後水道 SSE 領域で数値実験を行った。

図 3-9-④-8 左図には、収束速度(V_{pl})6.5cm/年で沈み込むフィリピン海プレート境界面上に設置した豊後水道 SSE 円形パッチ（半径 $R=40\text{km}$ ）モデルの幾何学的構造を、図 3-9-④-8 右図にこのモデルの地図上での位置およびこの地域における国土地理院 GNSS 観測点（GEONET）配置図を示す。なお、プレート境界面は 2

km のサイズの 3000 個の矩形小断層セルに分割され、速度状態依存摩擦則に基づいて各セルでの状態変数およびすべり発展の数値シミュレーションを実行する。

まず、豊後水道 SSE を再現する速度状態依存摩擦則に基づくモデルを構築した。摩擦パラメータ A 、 L は断層面上で一様とし、それぞれ、100kPa、50mm とし、 B の値は円形パッチの外および内側で、それぞれ 30kPa、180kPa と設定した。従って、円形パッチ内では $A \cdot B < 0$ の速度弱化、外側では $A \cdot B > 0$ の安定すべり域となる。円形パッチ内では、震源核形成過程における臨界半径 R_c とパッチの半径 R の比は、 $R/R_c = 0.9$ となり、高速破壊に至らずゆっくりすべりが繰り返し発生する。このモデルにより発生した SSE すべり分布の時間発展を図 3-9-④-9 に示す。図 3-9-④-9 左図は、断層モデルの中心を通り深さ方向での測線に沿ってのすべり速度の時間発展を、右図は中心部でのすべり速度の時間発展を示しており、SSE が約 6.7 年で繰り返し発生し、その継続時間（ここでは円形パッチの中心部のすべり速度 V が V_{pl} を超える時間：右図の桃色を付けた期間）は約 1.5 年となることが分かる。このように、実際に観測されている豊後水道 SSE の繰り返し間隔と発生期間におおよそ対応するモデルとなっている。

次に、このモデルに基づき、図 3-9-④-8 右図の GEONET 観測点での地表変位速度を計算し、SSE 発生時には 1 日、それ以外の期間には 5 日毎に模擬データを作成した。このデータを模擬観測データとして、3000 個の各断層セル内のすべり速度（および状態変数）、および一定値とした A 、 L 、パッチ内の $B \cdot A$ の値を推定すべきパラメータとして、40 個のアンサンブルメンバーを用いて EnKF により逐次推定した。その結果を図 3-9-④-10 に示す。上図は図 3-9-④-9 右図に対応した中心部における仮定したモデルによるすべり速度（True）と推定した各アンサンブルメンバーのすべり速度（Ens.Members）を示す。中図には、推定した A 、 $B \cdot A$ 、 L の更新過程を、また下図には、図 3-9-④-9 左図に対応して、 $(V_{est} - V_{true}) / V_{true}$ （ V_{est} ：推定したすべり速度、 V_{true} ：モデルによる真のすべり速度）の値を示している。このように、同じ SSE が繰り返すというモデルであるが、初期推定値から、特に SSE が発生する度に真値に向かって更新され、4 回の SSE 後にはほぼ真の値に収束していることが分かる。

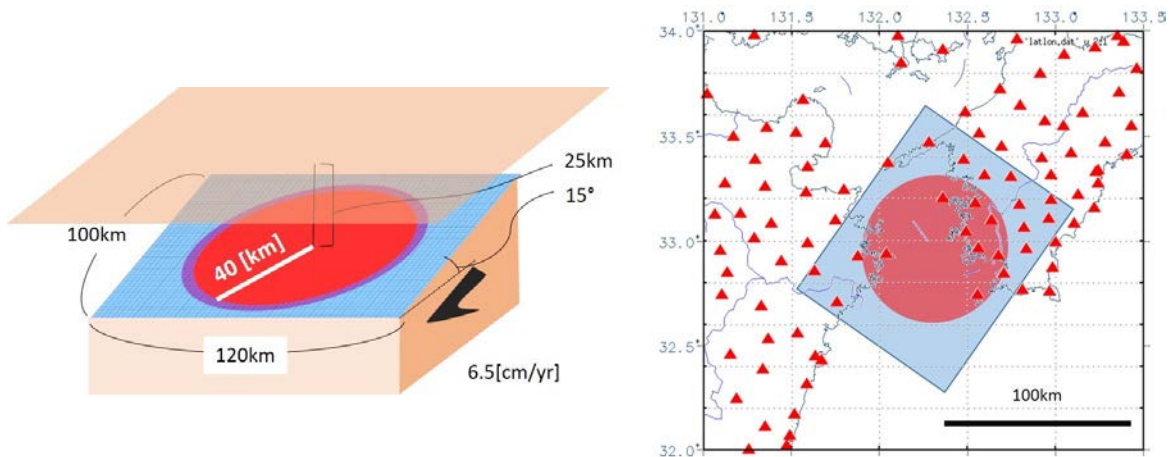


図 3-9-④-8 (左) 豊後水道 SSE パッチモデル。角度 15 度、プレート収束速度 $V_{pl}=6.5\text{cm/yr}$ で沈み込むフィリピン海プレート境界面上の安定すべり域(青色: $A-B=70\text{kPa}$)の中に半径 $R=40\text{km}$ のすべり弱化域(赤色: $A-B=-80\text{kPa}$)のパッチをおき、 $L=50\text{mm}$ として、繰り返し間隔 6.7 年、継続時間(中心域でのすべり速度 V が V_{pl} を超える時間)が 1.5 年となる SSE の繰り返し発生様式をモデル化した。(右) 豊後水道 SSE モデルと、地表での変位速度模擬観測データを作成した GEONET 観測点配置図。

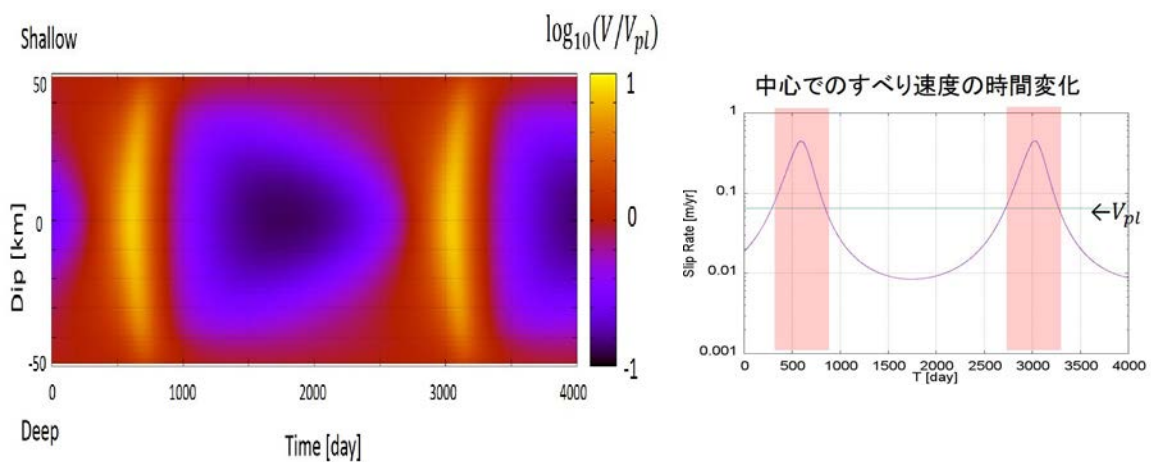


図 3-9-④-9 モデルにより作成された SSE すべり速度の時間発展。(左) 中心を通る深さ方向への測線に沿ってのすべり速度分布の時間発展を示す。黄色部分が SSE 発生時で、SSE 発生後、固着(紫色)し、徐々に浅部および深部から固着が剥がれ次の SSE 発生に向かう様子が見て取れる。(右) 中心部におけるすべり速度の時間発展を示す。桃色部分が $V \geq V_{pl}$ となる SSE 発生期間を示す。

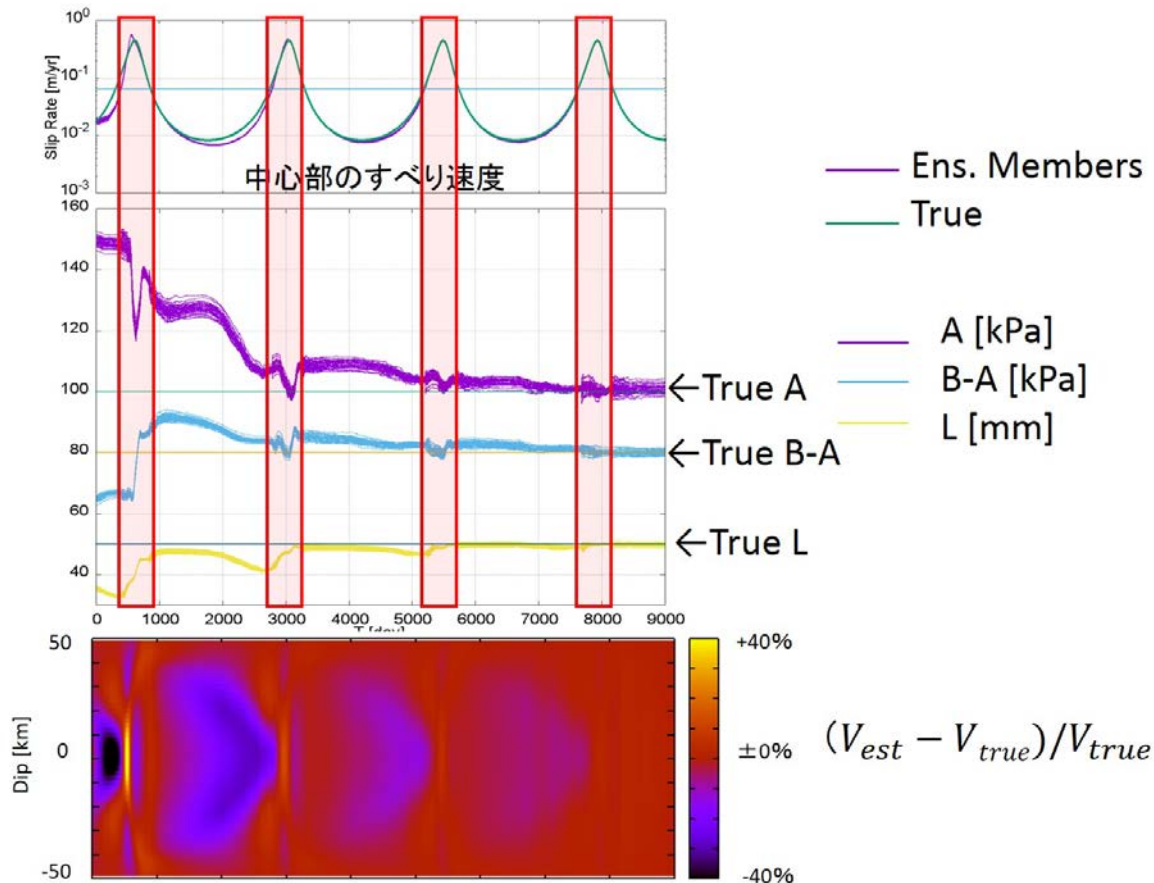


図 3-9-④-10 EnKF による結果。(上) 中心部のすべり速度の時間変化で、紫がアンサンブル値、青がモデルすべり速度を示す。(中) 摩擦パラメータ A、パッチ内の A-B、L のアンサンブルメンバー値の更新過程を示す。(下) 図 3-9-④-6 左図 (V_{true}) に対応する推定値 V_{est} との差の割合 $(V_{est} - V_{true}) / V_{true}$ の更新過程を示す。4 サイクルではほぼ正しく推定されていることが分かる。なお、上・中図の赤く囲った部分は SSE 発生時を表す。

(c) 結論ならびに今後の課題

1) 余効変動データによる東北地方太平洋沖地震の地震時すべり分布推定精度の向上：数値実験

数値実験ではあるが、実際の粘弾性構造が既知という条件下では、地震後に海域で観測された余効変動データを用いることで、地震時すべり分布の推定精度を向上させることが分かった。式 (1) から明らかであるが、余効変動データ解析は余効すべりの推定に重点がおかれ、地震時すべりの推定にも役立つといった視点は、これまであまり強調されてこなかった点である。

今後は、実観測データへの適用はもちろんであるが、実際の粘弾性構造の問題、またここでは全く議論していないが、地震時すべりと余効すべり推定のトレードオフなどの問題に取り組む必要がある。

2) 内陸ブロック運動を考慮した海陸地殻変動データに基づく南海トラフカップリング推定の高度化

陸側及び海側プレート内のブロック運動を考慮して、海陸の地殻変動観測データから南海トラフ及び相模トラフでのプレート間カップリングの推定を行った。南海トラフ沿いのすべり欠損速度は深さ 10~25km で大きい、東に行くほど逓減し、136° E 付近で局所的に小さいことが推定され、過去の南海トラフ巨大地震の震源域と関連していることが示唆される。今後の課題として、弾性変形の計算に海底地形を考慮することや、トラフ軸近傍や日向灘以南の領域では、依然としてすべり欠損速度の解像度が低いため、海底地殻変動観測網の拡充が望まれる。

3) MCMKF (モンテカルロ混合カルマンフィルタ) によるすべり推定 (東海 SSE)

東海地方の GEONET データと MCMKF によるプレート間すべりの推定手法を用いて、2013~2015 年に発生した東海長期 SSE のすべりの時空間発展を推定した。浜名湖の西でこの期間にほぼ一定速度で継続する長期 SSE のすべりと、2014 年 1 月と 2015 年 4 月にはその深部で短期 SSE に伴う急激なすべりの加速が推定された。短期 SSE に伴う地殻変動は数 mm 程度と小さいため、従来の解析手法では平滑化によって見過ごされてしまうことが多かったが、時間方向の平滑を可変とした MCMKF により、その両者を同時に推定することが可能であることが示された。今後の課題としては、長期 SSE と短期 SSE、深部低周波微動などの他のスロー地震との関係について詳細な解析・考察を進めていくことや、2000 年代前半に発生した東海 SSE を含め GNSS 観測が開始された、1990 年代半ば以降のすべりの時空間発展を推定することにより、この地域のプレート間すべりの特性を明らかにしていくことが挙げられる。

4) EnKF (アンサンブルマンフィルタ) による摩擦パラメータおよびすべり発展予測 (豊後水道 SSE : 数値実験)

単純なモデルではあるが、豊後水道 SSE を再現するモデルを構築し、そのモデルにより GEONET 観測点での地殻変動模擬観測データを作成し、EnKF による断層面におけるすべり速度と摩擦パラメータ推定の逐次データ同化を試みた。その結果、パッチ内で摩擦パラメータが一様という簡単なモデルでかつ、繰り返し同じ SSE が発生するというモデルを用いた数値実験からは、4 回程度の SSE 発生後にはほぼ真値に収束することが確認された。

今後は、摩擦パラメータの不均質を導入した複雑なモデルや実際のプレート面形状を考慮したモデルにより EnKF 適用の可能性を探り、実データへの解析へと進む必要がある。

(d) 引用文献

- 1) 淡路敏之・蒲時政文・池田元美・石川洋一、データ同化、京都大学出版会、2009.
- 2) Barbot, S., Relax: Nonlinear Postseismic relaxation in the Fourier Domain, ver. 1.07, 2014.

- 3) Fukuda, J., S. Miyazaki, T. Higuchi, and T. Kato, Geodetic inversion for space—time distribution of fault slip with time-varying smoothing regularization. *Geophys. J. Int.*, 173(1), 25-48, 2008.
- 4) Iinuma, T., R. Hino, M. Kido, D. Inazu, Y. Osada, Y. Ito, and S. Miura, Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M9.0) refined by means of seafloor geodetic data, *J. Geophys. Res.*, 117(B7), 2012.
- 5) McCaffrey, R., Crustal block rotations and plate coupling, in *Plate Boundary Zones, Geodyn. Ser. Vol.30*, edited by S. Stein and J. Freymueller, 101-122, doi:10.1029/030GD06, AGU, Washington D.C., 2002.
- 6) Ozawa, S., M. Tobita, and H. Yarai, A possible restart of an interplate slow slip adjacent to the Tokai seismic gap in Japan, *Earth Planets Space*, 68(1), 54, 2016.
- 7) Sato, M., T. Ishikawa, N. Ujihara, S. Yoshida, M. Fujita, M. Mochizuki, and A. Asada, Displacement above the hypocenter of the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Science*, 332, 1395, doi:10.1126/science.1207401, 2011.
- 8) Tadokoro, K., R. Ikuta, T. Watanabe, M. Ando, T. Okuda, S. Nagai, K. Yasuda, and T. Sakata, Interseismic seafloor crustal deformation immediately above the source region of anticipated megathrust earthquake along the Nankai Trough, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L10306, doi:10.1029/2012GL051696, 2012.
- 9) Watanabe, S., M. Sato, M. Fujita, T. Ishikawa, Y. Yokota, N. Ujihara and A. Asada, Evidence of viscoelastic deformation following the 2011 Tohoku-oki earthquake revealed from seafloor geodetic observation, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 5789-5796, doi:10.1002/2014GL061134, 2014.
- 10) Watanabe, S., T. Ishikawa, and Y. Yokota, Non-volcanic crustal movements of the northernmost Philippine Sea plate detected by the GPS-acoustic seafloor positioning, *Earth Planet Space*, 67, 184, doi:10.1186/s40623-015-0352-6, 2015.
- 11) Yamagiwa, S., S. Miyazaki, K. Hirahara, and Y. Fukahata, Afterslip and viscoelastic relaxation following the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw9.0) inferred from inland GPS and seafloor GPS/Acoustic data, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 66–73, doi:10.1002/2014GL061735, 2015.
- 12) Yasuda, K., K. Tadokoro, R. Ikuta, T. Watanabe, S. Nagai, T. Okuda, C. Fujii, and K. Sayanagi, Interplate locking condition derived from seafloor geodetic data at the northernmost part of the Suruga Trough, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 5806–5812, doi:10.1002/2014GL060945, 2014.
- 13) Yokota, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe, T. Tashiro, and A. Asada, Seafloor geodetic constraints on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone, *Nature*, 534, 374-377, doi:10.1038/nature17632, 2016.

(3) 平成 29 年度業務計画案

本年度開発したブロック運動解析プログラムに、ブロック内の歪の推定、FEM による

GREEN 関数導入のテスト、時系列解析などを実装していく。

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。特に東北沖地震後の長期的な余効すべりの推移や繰り返し地震の破壊過程の変化について詳細な検討を行う。また東北沖地震前に発生したスロースリップイベントの断層モデル再検討を継続する。

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する。具体的には、東北地方太平洋沖地震の余効変動データを用いた地震時すべり分布精度向上、MCMKF による SSE 領域におけるすべり速度推定、および豊後水道 SSE 領域における EnKF 適用可能性を更に検討する。

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
東京大学地震研究所 災害科学系研究部門	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	グループリーダー 技術研究員	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、日本列島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、日本列島規模の 100 億自由度の大規模地殻モデルを整備し、これを用いた弾性・粘弾性解析有限要素法コードの高速化を図るとともに、東北地方太平洋沖地震の地殻変動計算結果と観測との比較から、南海トラフ地震への適用可能性を確認した。南海トラフ地震発生サイクルの高度化に向けて、粘弾性モデルの導入を進めるとともに、大地震発生前のプレート滑り遅れの蓄積状態の違いによる、大地震の発生・拡大過程を検討した。さらに、2016 年 4 月 1 日に発生した紀伊半島沖地震 (Mjma6.5) 後の推移シナリオを検討した。南海トラフ巨大地震モデルのレシピ化と最大級の地震の明確化に向け、不均質強震動生成モデルを提案し、東北地方太平洋沖地震の強震動生成が良く説明できることを確認した。強震動評価に広帯域 Q モデルを新規導入し、長周期地震動シミュレーションにより震源モデルの多様性が強震動・長周期地震動のバラツキに与える影響を定量評価した。過去の南海トラフ地震の震源像の明確化のための基礎資料として、1707 年宝永地震、1854 年安政東海・南海地震の震度情報を収集してデータベース化した。

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 28 年度業務目的

平成 27 年度に引き続き、日本列島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ための、日本列島の地殻粘弾性モデルを構築して、観測データとの検証を行う。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、これらを用いて強震動・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・津波の違いとその変動要因を明確化する。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に向けたプレート境界でのテクトニックローディングと地震発生シミュレーションを実施する。

(2) 平成 28 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た研究として、日本列島規模の大規模地殻モデルにおける弾性・粘弾性応答の解析のための有限要素法コードの改良と、高分解能モデル（100 億自由度程度）を用いた地殻変動解析モデルを整備した。新規導入のデータサーバーを用いて、日本列島広域 3 次元不均質構造 0 次モデルを観測データに基づき 1 次モデルへと改良をはかった。本モデルを用いて、巨大地震発生時、及び発生後の地殻変動

解析を行った。

(b) 業務の成果

東北地方太平洋沖地震後の海底地殻変動の観測結果から示唆されるように、海溝型巨大地震後の地殻変動は、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。地殻・マン托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、3次元有限要素法などを使って、地殻・マン托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ている。しかし、蓄積されてきた地殻・マン托ルの形状や物性のデータから構築される地殻・マン托ル構造モデルは高詳細であるものの、これを用いて3次元有限要素モデルを構築し、地殻変動シミュレーションを行うことは、計算コストの観点から難しいとされているため(有限要素モデルの自由度のオーダーが $10^9\sim 10^{10}$ となるため)、上記の地殻変動シミュレーションで用いられる地殻・マン托ル構造モデルはやや低詳細化されたものが用いられている。蓄積されてきた地殻・マン托ルの形状や物性のデータから構築される高詳細モデルをそのままシミュレーションで用いるために、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、高詳細モデルから3次元有限要素モデルを構築し、これを用いた弾性・粘弾性応答解析が可能な手法の構築をすすめてきた。本年度は、昨年度までに完成した分散メモリ計算機上における並列有限要素解析手法を、後述する日本列島広域3次元不均質構造モデルの改良手法に適合する形で高速化させた。具体的には、対象問題において、一次方程式の係数行列が常に一定であることに着目し、一次方程式の求解の際に用いる方程式の情報の保持形式を、適切なものに変更した。これまでの手法では $10^{2\sim 4}$ 計算ノード程度の環境で $10^9\sim 10^{10}$ 自由度の有限要素モデルを $10^3\sim 4$ 回24時間程度で解くことが可能であったが、今回の改良により、さらに計算時間の2~3割の削減が可能となった。

日本列島を含む $2944 \times 2752 \times 850$ kmの領域に高詳細モデルを生成した。日本列島の地殻構造について得られている知見をより反映させるため、地表面データとしてJTOPO30「日本水路協会海洋情報研究センター, 2003」、プレート形状データとして「Koketsu *et al.*, 2008」のデータとCAMP standard model「Hashimoto *et al.*, 2004」を用いている。大陸プレート、太平洋プレート、フィリピン海プレートそれぞれの下部に、合計3層の粘弾性層を設定した。また対象領域が大きくなり、地球の曲率が無視できなくなると考えられるため、メッシュ生成の際には曲率も考慮している(図3-10-①-1)。また、得られている観測データに整合するように微調整を行った。これらのデータを用いて生成された有限要素モデルは約100億自由度となった。

作成した高詳細モデルを用いて、巨大地震発生時、及び発生後の地殻変動計算を行った。まず、上記の日本列島モデルから、東北地方を含む高詳細モデルを切り出し、生成した(図3-10-①-2左上)。図3-10-①-2右上に示した三つの粘弾性層の内、海洋プレート下粘弾性層にあたるUPACのみ粘性率をその他の層に比べ低く設定した。このモデルの断層面上に、東北地方太平洋沖地震の既往研究を参考に設定した地震時と地震後の断層すべりを与えた(図3-10-①-2下)。これらの設定下での地震発生時、

及び発生後の地殻変動計算の結果は、東北地方太平洋沖地震後に得られている地殻変動の観測データと定性的によく整合した。

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。そこで、昨年度より断層すべりとアセノスフェア粘性率を同時に推定することにより、観測データと整合した粘弾性構造を推定しつつ、断層すべりを推定する手法の構築を進めている。本年度は、上記の地殻変動計算の結果を人工観測データとして用い、現実的な問題下での断層すべりと粘性率の同時推定の数値実験を行った。用いた観測点位置を図3-10-①-3左に示す。3つの粘弾性層での粘性率を推定するほか、地震断層面を多数の小断層により離散化し、各小断層でのすべり量を推定した(図3-10-①-3右)。地震後の期間を4つに分けて断層すべり量の推定を行ったため、最終的な推定対象パラメータ数は合計600程度となった。多数のパラメータの推定に際して、最適化問題の性質の適切な改善を行うことで、効率よく最適解を求めることができるようになった。結果として、粘性率は概ね良好に推定され、図3-10-①-4の解析結果例からは断層すべりも適切に推定されることがわかる。計算には有限要素解析を多数繰り返すことが必要となるが、理化学研究所の京コンピュータ2560ノードを用いて、17時間弱という現実的な時間内で最適解を得ることができた。これは、問題設定に合わせた最適化問題の性質の改善と先述の有限要素解析高速化により実現されたと言える。このように、計算コスト的にも実用可能な日本列島モデルの改良手法を構築することができた。

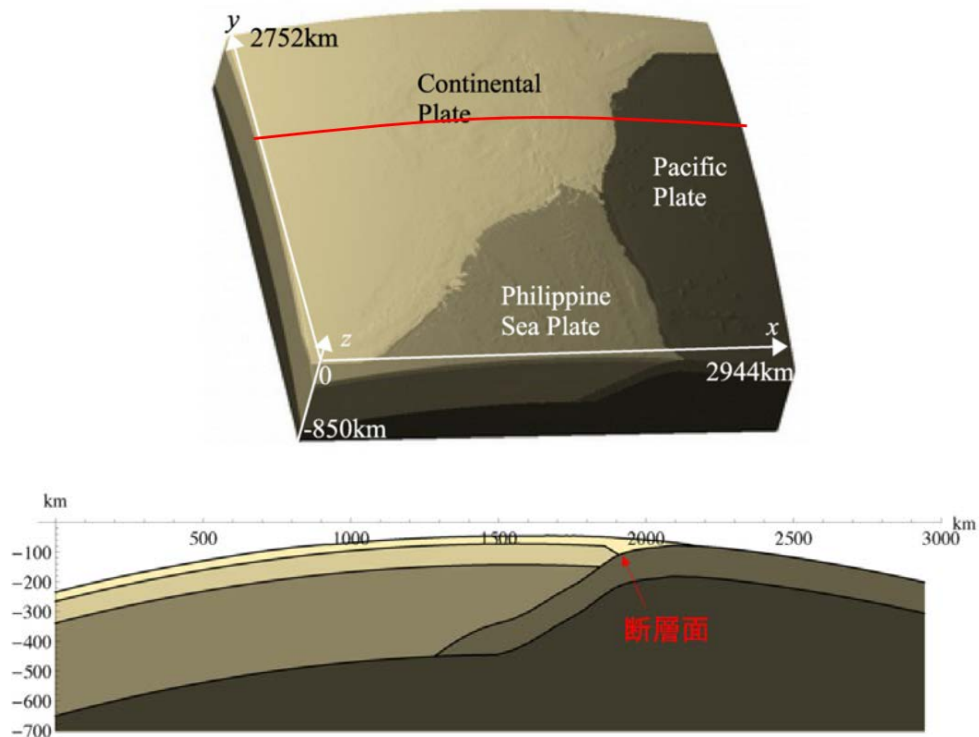


図3-10-①-1 (上) 日本列島の高詳細モデルの概観。

(下) 上図赤線上でのモデル断面図。地表面形状データとしては JTOPO30 「日本水路協会海洋情報研究センター, 2003」を、プレート形状データとしては、断層面付近では「Koketsu *et al.*, 2008」のデータを、それ以外の部分では CAMP standard model 「Hashimoto *et al.*, 2004」を用いた。

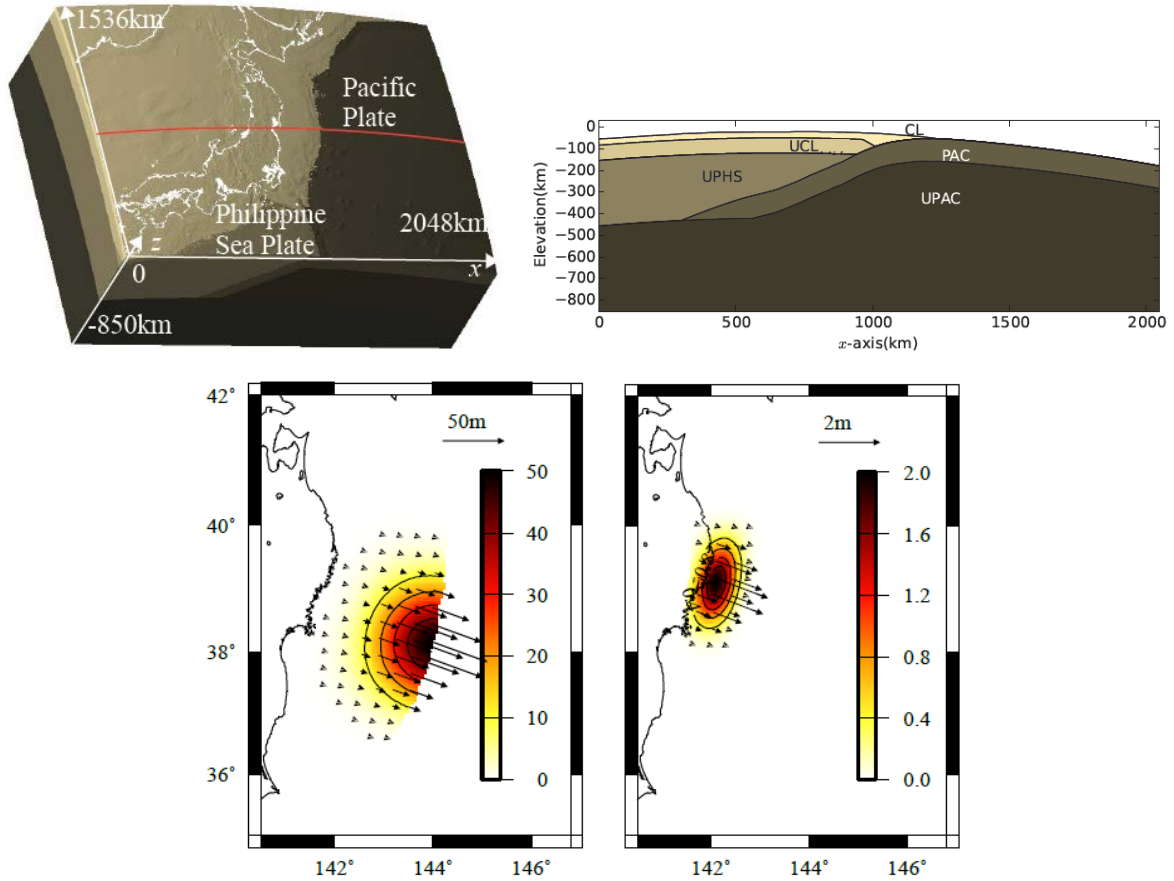


図 3-10-①-2 (左上) 有限要素モデルの概観。自由度は 35 億程度である。
 (右上) モデル図赤線上でのモデル断面図。UCL、UPHS、UPAC と表記のある部分が粘弾性層。
 (下) 計算に用いた断層すべり分布。左が地震時、右が地震後。

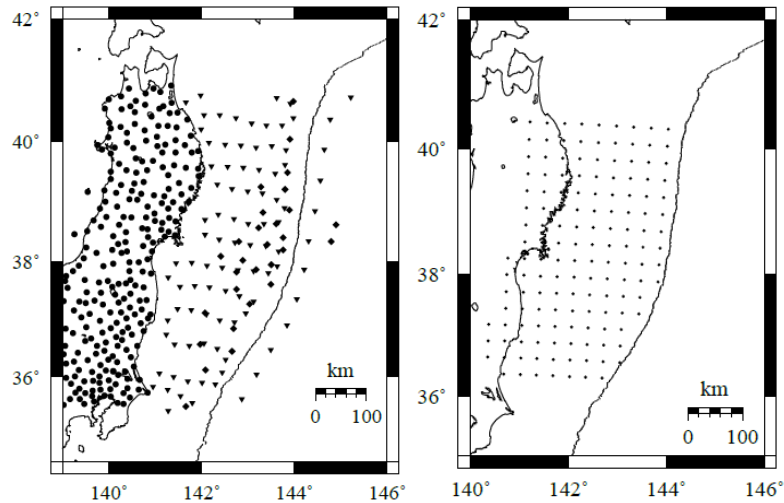


図 3-10-①-3：(左) 人工観測データの配置。現実に存在する観測点位置を用いているが、将来的に観測点が敷設される予定のものも含まれている。
(右) すべり量を推定するための地震断層面の離散化に用いた 144 の小断層。

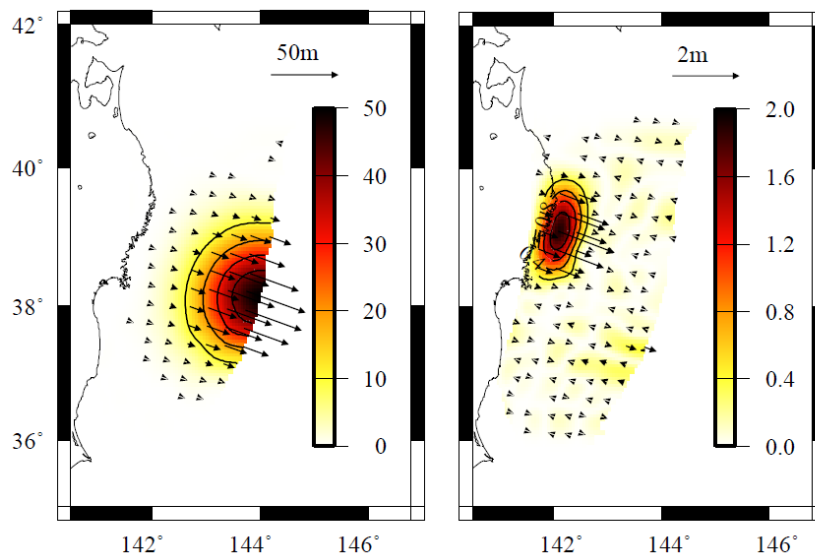


図 3-10-①-4 各小断層でのすべり量を推定した高詳細な日本列島有限要素モデルを用いた粘性率・断層すべり同時推定の推定結果例。断層すべり真値(左)と推定値(右)。図 3-10-①-2 (下) とよく一致している。

(c) 結論ならびに今後の課題

本年度は、高詳細な地殻・マントル構造モデルを用いた弾性・粘弾性地殻変動解析手法のさらなる改良をすすめるとともに、日本列島モデルの高分解能な地殻変動解析モデルを整備した。さらにそのモデルを用いて、巨大地震発生時、及び発生後の地殻

変動計算を行ったところ、観測データと整合する結果を得た。さらに、この計算結果を人工観測データとして日本列島モデルの改良手法の構築も進めた。

来年度以降は、震源シナリオ研究の高度化へ向けた研究として、日本列島規模の大規模地殻モデルにおける弾性・粘弾性応答の解析のための有限要素法コードの改良と、地殻構造・物性の曖昧さを考慮可能な地殻変動解析手法の開発を行う。本手法を用いて、地殻構造・物性の曖昧さを考慮した巨大地震発生時、及び発生後の地殻変動解析を行う。前年度整備したデータサーバーを増強し、このデータサーバー上に、曖昧さを考慮可能なグリーン関数データベースを構築し、曖昧さを考慮した震源シナリオ推定を行う。

(d) 引用文献

Hashimoto, C., K. Fukui, M. Matsuura, 3-D Modelling of Plate Interfaces and Numerical Simulation of Long-term Crustal Deformation in and around Japan, *Pure appl. geophys.* 161: 2053, doi:10.1007/s00024-004-2548-8, 2004.

Koketsu, K., H. Miyake, H. Fujiwara, T. Hashimoto, Progress towards a Japan in-tegrated velocity structure model and long-period ground motion hazard map, *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering S10-038*, 2008.

日本水路協会海洋情報研究センター, JTOPO30 (日本近海 30 秒グリッド水深データ), <http://www.mirc.jha.jp/products/finished/JTOPO30/>, 2003 (2017 年 3 月 22 日閲覧)。

②地震サイクル計算手法の高度化

(a) 業務の要約

1) 準動的地震サイクル計算の高速化

マグニチュード9といった大規模地震や多くのパッチを含む準動的地震サイクルシミュレーション (ECS) 計算、およびプレート境界における摩擦パラメータとすべり発展を推定・予測するデータ同化において、準動的 ECS 計算の高速化が必須である。我々は、これまで階層化行列 (H-matrices) 法を、すべり応答関数とすべり (速度) の行列ベクトル積に適用して、計算の高速化・省メモリ化を実現してきた。本年度は、すべり速度および状態変数の発展を記述する微分方程式の解法の問題を検討した。

2) 粘弾性を考慮した地震サイクル計算の準備

粘弾性媒質での ECS の応力計算では、粘弾性すべり応答関数とすべり速度との履歴積分が必要となり、多くの計算時間およびメモリが必要となり問題となる。そこで、地震波伝播において地震波減衰を表す手法であるメモリ変数を導入して応力計算を行う ECS 計算の定式化を行った。更にメモリ変数の意味を考える上で、速度状態依存摩擦則に従う標準線形固体要素-ブロックの固着・すべり振動子問題を扱った。

(b) 業務の成果

1) 準動的地震サイクル計算の高速化

準動的 ECS では、プレート境界を小断層セルに分割して、各セルにおいて準動的運動方程式と速度状態依存の摩擦則を連立させて、プレート境界におけるすべりの時空間発展を追っている。その微分方程式系の積分には時間刻み可変の 4/5 次埋め込み型ルンゲ・クッタ (RK) 法 (rkck) 「Press *et al.*, 第 2 版, 1992」が、これまで長年にわたって多くの研究で用いられてきた。ところが、「Press *et al.*, 第 3 版, 2007」では、Dorman-Prince による 5 次埋め込み型 RK である DOPRI5、および 8 次の DOP853 「Hairer *et al.*, 1993」といった高次の埋め込み型 RK が紹介されている。一方、例えば、「Noda and Lapusta, 2010」では、動的で TP (thermal Pressurization) 過程も含んだ ECS を扱っているが、2 次精度の exponential integrator (EI) 法で時間発展させ、すべり速度は Lambert の W (オメガ) 関数を用いている («Noda *et al.*, 2013」、NL 法と略)。

そこで、地震サイクルを表すモデルとしてよく用いられている、速度状態依存摩擦則に従うバネ-ブロック固着・すべり振動子の準動的数値計算に rkqs、DOPRI5、DPO853、NL 法を用いて、繰り返し間隔が約 112 年で 3 万年間の計算を行い、そのパフォーマンスを調べてみた (表 3-10-②-1)。この表で、eps は時間刻みを定める計算精度、cpu は計算時間 (秒)、nok、accept、および nbad、reject は、試した時間刻みで採用したおよび排除したステップ数を示す。NL 法では、時間刻みは $V \Delta t/L$ (V :すべり速度、 Δt :時間刻み、 L :特徴的すべり距離) で制御しているが、地震間には非常に大きな時間間隔となるので、この制御は適当でなく、 Δt の最大値を 2 通り試した場合を示している。高精度になるにつれ、DOP853 の優位性が見て取れる。

2) 粘弾性を考慮した地震サイクル計算の準備

線形粘弾性媒質における、単位すべりに対する応力緩和関数で有るすべり応答関数を $K(t)$ とすると、応力はすべり応答関数 $K(t)$ と変位速度 $du(t)/dt$ の履歴積分

$$\tau(t) = \int_{-\infty}^t K(t-t') \left(\frac{du(t')}{dt'} \right) dt' \quad (1)$$

で与えられる。ここですべり応答関数 $K(t)$ が

$$K(t) = M_U - \delta M \sum_{l=1}^n a_l (1 - e^{-\frac{t}{t_{Rl}}}) \quad \sum_{l=1}^n a_l = 1 \quad (2)$$

$$M_U = K(0) \quad \delta M = K(0) - K(\infty)$$

のように、弾性応答 M_U および n 個の緩和時間 $t_{Rl} (l=1, \dots, n)$ で表され、メモリ変数を

$$\zeta_l(t) = \left(\frac{1}{t_{Rl}} \right) \int_{-\infty}^t u(t') e^{-\frac{t-t'}{t_{Rl}}} dt' \quad (3)$$

と定義すると、メモリ変数は以下の微分方程式に従う。

$$\frac{d\zeta_l(t)}{dt} = \left(\frac{1}{t_{Rl}} \right) (u(t) - \zeta_l(t)) \quad (4)$$

すると、式(1)の応力 $\tau(t)$ は

$$\tau(t) = M_U(u(t) - \left(\frac{\delta M}{M_U}\right) \sum_{l=1}^n a_l \zeta_l(t)) \quad (5)$$

となり、メモリ関数を用いることにより、履歴積分すなわち過去のすべり速度は必要なくなる「Moczo and Kristek, 2005」。ここで、図3-10-②-1のように標準線形固体要素（バネ定数 k_1 とマックスウェル粘弾性要素（バネ定数 k_2 のバネと粘性係数 η のダッシュポットを直列したもの）を並列連結したもの）一ブロックからなる固着・すべり振動子を考える。標準線形固体要素の場合、すべり応答関数 $K(t)$ は、

$$K(t) = (k_1 + k_2 e^{-\frac{t}{t_R}}) H(t) \quad (6)$$

$$n = 1, \quad a = 1, \quad M_U = k_1 + k_2, \quad \delta M = k_2, \quad t_R = \eta/k_2 = T_M$$

と表せる。

ブロックと床底面には速度状態依存摩擦則に従う摩擦が働くとし、ローディング速度を v_{pl} とすると、ブロックの変位 $u(t)$ 、変位速度 $v(t)$ は以下の微分方程式に従う。

$$\frac{dv(t)}{dt} = \frac{1}{\frac{A}{v(t)} + \eta_{RD}} \left((k_1 + k_2) \left(v_{pl} - v(t) - \frac{k_2}{k_1 + k_2} \frac{d\zeta(t)}{dt} \right) - \frac{B}{\theta(t)} \frac{d\theta(t)}{dt} \right) \quad (7)$$

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = 1 - \frac{v(t)\delta(t)}{L} \quad (8)$$

$$\frac{d\zeta(t)}{dt} = \frac{1}{t_R} (v_{pl}t - u(t) - \zeta(t)) \quad (9)$$

ここで、 A 、 B 、 L は摩擦パラメータである。図3-10-②-1の力の釣り合いを考え、微分方程式系を組み立てると、メモリ変数がダッシュポットの変位 $u_d(t)$ に対応し、

$$\zeta(t) = u_d(t) \quad (10)$$

となることが分かった。

バネ（定数 k ）一ブロックの固着・すべり振動子の繰り返し間隔（ T_E ）が約112年となる弾性問題に対応して、 $k_1 = k_2 = k/2$ とおき、 η すなわち $t_R (= \eta/k_2 = T_M$ ：マックスウェル緩和時間)を変化させたときの値を横軸に、固着・すべり振動子の繰り返し間隔を縦軸にとってプロットしたものを図3-10-②-2に示す。粘性係数を小さくするに従い繰り返し間隔が小さくなるが、単調減少ではなく最小値（ $T_M = 5-10$ 年）を持つことが分かった。また、 $t_R = T_M = 0.1, 1, 5, 10, 20, 40, 80, 500$ 年および弾性バネの場合に対応する、応力変化を図3-10-②-3に示す。繰り返し間隔（ T_C ）が単調減少ではなく最小値をもつ原因はあまりよく分からないが、 T_M が小さい方から見ていくと最小の繰り返し間隔（ T_C ）を与える $T_M = 10$ 年程度まで応力曲線は大きく折れ曲がっていることが分かる。

表 3-10-②-1 各手法における固着すべり振動子による地震サイクル計算の比較

	rkck			dopri5			dop853		
eps	cpu	nok	nbad	cpu	accept	reject	cpu	accept	reject
1.0d-05	0.086986	38171	26748	0.088986	58410	21974	0.086986	30266	13937
1.0d-06	0.123981	62940	34027	0.135978	88686	33229	0.107983	40606	14687
1.0d-07	0.180973	102065	45223	0.170974	133225	16309	0.141978	53858	19294
1.0d-08	0.276957	170518	62870	0.239963	207986	493	0.182973	69927	24117
1.0d-09	0.9508551	993140	287	0.378942	330884	469	0.227965	89779	26936
1.0d-10	9.1356106	9675102	3	0.600909	524965	314	0.280958	118748	23930

NL法 $\Delta t_{max}=0.2$ yr

$V\Delta t/L$	CPU	Step No.
1.0d00	0.184971	185160
1.0d-01	0.519916	517540
1.0d-02	3.8374159	3870186

NL法 $\Delta t_{max}=5$ yr for $V < V_{pl}$

$V\Delta t/L$	CPU	Step No.
1.0d00	0.04199	41586
1.0d-01	0.38294	378281
1.0d-02	3.71743	3748750

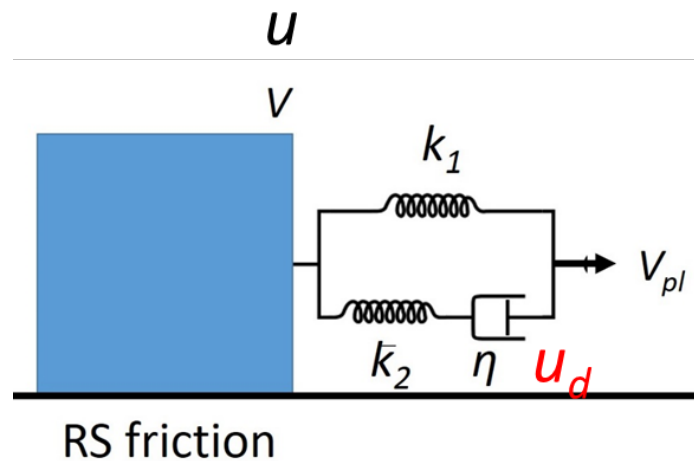


図 3-10-②-1 底面に速度状態依存摩擦則 (RSF) が働く標準線形固体要素ブロックを速度 V_{pl} で引っ張り、固着・すべりを引き起こす数値実験の図。

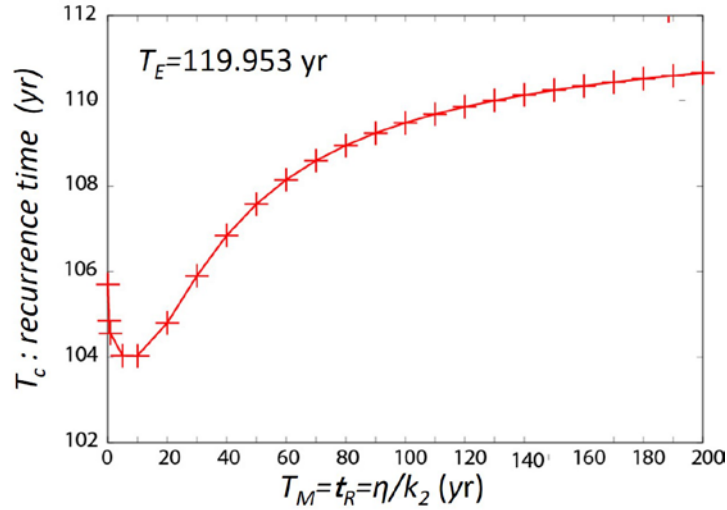


図 3-10-②-2 弾性バネ（弾性定数 k ）の場合に T_E （=111.95 年）となる固着すべり振動子のバネを標準線形固体に変え（図 3-10-②-1 : $k_1=k_2=k/2$ ）、 η/k_2 を横軸に、縦軸に計算された来り返し間隔（ T_c ）を示した図。

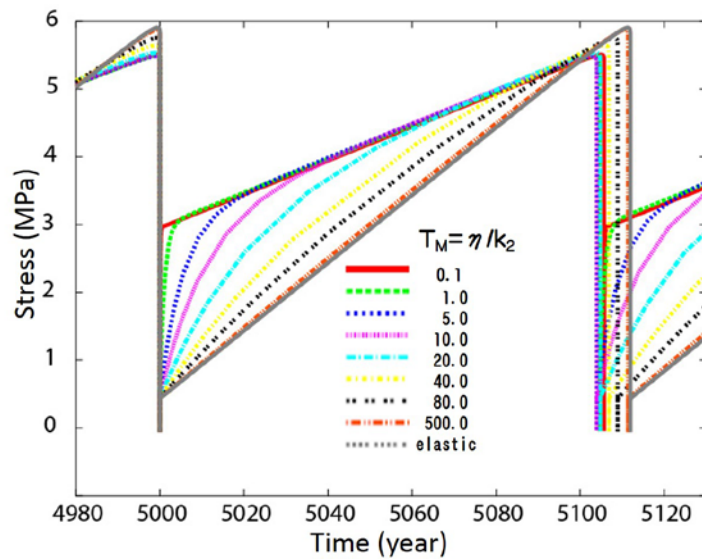


図 3-10-②-3 $T_R=T_M = \eta/k_2$ が 0.1、1.0、5.0、10.0、20.0、40.0、80.0、500.0 年および弾性バネ (elastic) の場合の、固着・すべり振動子の 1 サイクル中の応力変化。

(c) 結論ならびに今後の課題

1) 準動的地震サイクル計算の高速化

南海トラフ地震の発生サイクル計算の高速化と高精度化に向け、計算アルゴリズムの改良を行った。準動的地震サイクル計算における微分方程式の解法アルゴリズムを、従来使用してきた時間刻み可変の 4 次精度ルンゲ・クッタ法から、数値計算

分野で用いられ有効と考えられている 8 次精度の DOP853 に変更したところ、高精度でも高速計算が可能であることが分かった。今後は、準動的地震発生サイクル計算の高速化に向けて、DOP853 を利用することにした。なお、動的計算などで用いられる NL 法については、現在 2 次精度の EI 法を用いているが、数値計算分野では 4 次精度 RK を用いた EI 法も提案されているので、実用化に向けて精度向上の観点からこの利用についても継続して検討する必要がある。

2) 粘弾性を考慮した地震サイクル計算の準備

線形粘弾性媒質中での準動的南海トラフ地震サイクル計算に向けて、応力計算の効率化の検討を行った。粘弾性媒質中の応力計算では履歴積分を必要とするため、過去のすべり速度をメモリ上におく必要があり、多くのメモリを必要とし計算負荷が高くなる。そこで、履歴積分を用いないメモリ変数を用いた定式化を行った。粘弾性媒質中での地震サイクルの模擬固着・すべり振動子モデルでは、メモリ変数はダッシュポットの変位に対応することが分かった。また粘性に応じて固着・すべり振動子の繰り返し間隔が変化することがわかった。今後は、メモリ変数を用いた粘弾性媒質中での準動的地震サイクル計算の実用化に向けて、高速化等について更に検討を行う必要がある。

(d) 引用文献

Hairer, E., S.P. Nørsett, and G. Wanner, Solving Ordinary Differential Equations I, Nonstiff Problems, Springer, 1993.

Noda, H., and N. Lapusta, Three-dimensional earthquake sequence simulations with evolving temperature and pore pressure due to shear heating: Effect of heterogeneous hydraulic diffusivity. *J. Geophys. Res.* 115(B12), 2010.

Noda, H., M. Nakatani, and T. Hori, Large nucleation before large earthquakes is sometimes skipped due to cascade-up—Implications from a rate and state simulation of faults with hierarchical asperities. *J. Geophys. Res.* 118(6), 2924-2952, 2013.

Moczo, P., and J. Kristek, On the rheological models used for time-domain methods of seismic wave propagation, *Geophys. Res. Lett.* 32.1, 2005.

Press, W. H., S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, Numerical Recipes in Fortran 77: The Art of Scientific Computing, 2nd Edition, Cambridge, University Press, New York, 1992.

Press, W. H., S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, Numerical Recipes in C++: The Art of Scientific Computing, 3rd Edition, Cambridge, University Press, New York, 2007.

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

「Hashimoto *et al.*, 2014」によって、地震発生の物理に基づく地震発生サイクルシミ

シミュレーションの基本的な考え方が示され、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が構築された。これに基づき、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断層構成関係を設定することが重要な課題となる。以上を踏まえて、本業務では、昨年度に引き続き、「Aochi and Matsu'ura, 2002」のすべりと時間に依存する断層構成則に基づき、地震発生領域のピーク強度・臨界すべり量の値や分布を変えたモデルを設定して、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。準静的シミュレーションに於いて、大地震発生後 50 年で実現したすべり遅れレート分布は、1996～2000 年の GPS データに基づくインバージョン解析で得られたすべり遅れレート分布（1944 年東南海・1946 年南海地震後 50 数年の状態）を再現するが、その後、すべり遅れレート分布は徐々に変化してゆく。このようなすべり遅れレート分布の時間変化には、断層構成則の設定により違いが生じる。防災科研では、準静的テクトニックローディングのシミュレーション結果を用いて、破壊開始場所の推定方法の検討を行った。各想定破壊開始点においては、初期クラックの大きさを応力拡大係数の考え方に基づき設定し、与える応力擾乱の大きさを定量的に評価した。

(b) 業務の実施方法

「Hashimoto *et al.*, 2014」によって、地震発生の物理に基づく地震発生サイクルシミュレーションの基本的な考え方が示され、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が構築された。地震発生サイクルシミュレーションシステムは、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。これにより、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る。さらに、そこから生じる地震波動も同時に計算できる（「Fukuyama *et al.*, 2009」）。これに基づき、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の設定に制約を与えるためには、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（「Hashimoto *et al.*, 2009」、 「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、平成 27 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異なる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レート分布の検討を行い、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、適切に評価した初期クラックサイズを用いて、動的破壊が進行するか否かの評価を行い、構成関係パラメータの設定の制約

について考察した。平成 28 年度は、平成 27 年度に引き続き、現実的な断層構成関係の検討を進め、地震直前の応力分布と構成則パラメータ分布を計算した。さらにそ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、その初期クラックに応力擾乱を与えて、破壊を開始させ、破壊伝播の計算を行った。また、破壊開始を定量的に評価するために、初期クラックに与えた応力擾乱を定量化し、破壊開始点の評価を定量化した。

(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) 「Aochi and Matsu'ura, 2002」のすべりと時間に依存する断層構成則に基づき、パラメータ α a、 β b、 c の設定により、地震発生領域のピーク強度・臨界すべり量の値や分布を変えたモデルを設定して、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。ピーク強度を、室戸沖、紀伊半島南端域共に 2 MP 程度に、Dc を 0.7m 程度になるように設定した場合に実現したすべり遅れレート分布のスナップショットを図 3-10-③-1 に示す (Case 1)。ここで、第 1 サイクルの計算は、第 2 サイクル開始時点を大地震発生直後に対応させる妥当な初期条件を生成するための前処理に相当する。大地震発生後の粘性緩和の効果により、第 2 サイクルの方が応力蓄積レートは大きくなる。以下では、第 1 サイクル最後の不連続なすべりを 1946 年南海地震のすべりに対応させた。数値シミュレーションに於いて、大地震発生後 50 年で実現したすべり遅れレート分布は、1996~2000 年の GPS データに基づくインバージョン解析で得られたすべり遅れレート分布 (1944 年東南海・1946 年南海地震後 50 数年の状態) を再現するが、その後、すべり遅れレート分布は徐々に変化してゆく。

◆ Case 1

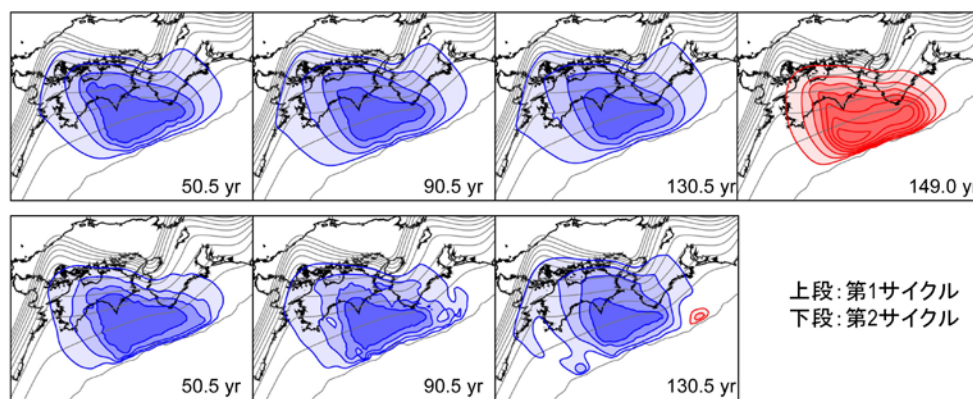


図 3-10-③-1 準静的応力蓄積シミュレーションにより実現した南海東南海域の地震発生サイクル (Case 1)。地震間の青コンターはすべり遅れレート、赤コンターはすべり過ぎレートを表わす (1 cm/yr 間隔)。地震時 (上段最右パネル) の赤コンターは、すべり量を表わす (0.5 m 間隔)。

次に、Case 1 と同じく、ピーク強度を室戸沖、紀伊半島南端域共に 2 MP 程度に、 D_c を 0.7m 程度にしているが、その分布が Case 1 とは異なるように設定 (図 3-10-③-3 参照) した場合に実現したすべり遅れ分布のスナップショットを図 3-10-③-2 に示す (Case 2)。Case 1 と Case 2 の時系列に於けるすべり遅れレート分布の基本的なパターンは似ているが、すべり遅れ分布の時間変化には、断層構成則の設定により違いが生じる。Case 2 の場合の方がすべり遅れレートの大きい領域 (固着域) の分布が縮小する時間が短い。準静的シミュレーションの枠組みの中で実現する (動的破壊伝播シミュレーションを用いていない) 地震時すべりの分布は、2 つのケースで大きく異なる。

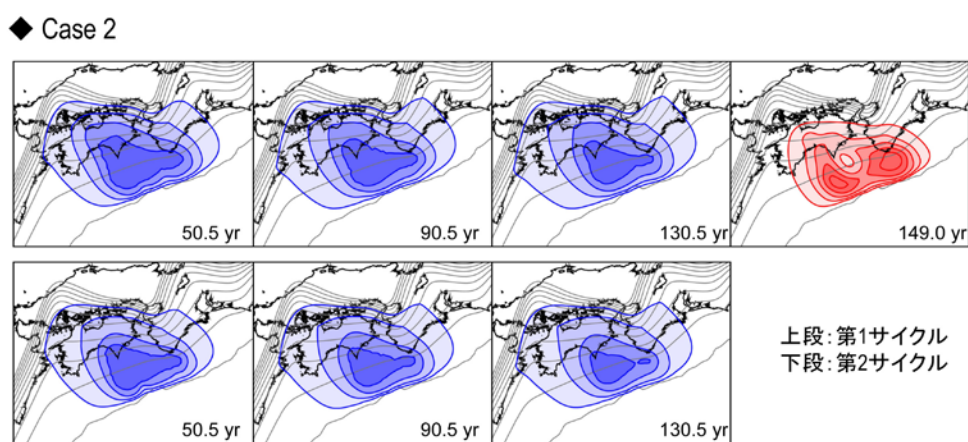


図 3-10-③-2 準静的応力蓄積シミュレーションにより実現した南海東南海域の地震発生サイクル (Case2)。地震間の青コンターはすべり遅れレートを表わす (1 cm/yr 間隔)。地震時 (上段最右パネル) の赤コンターは、すべり量を表わす (0.5 m 間隔)。

図 3-10-③-3 に、Case 1 と Case 2 の 2 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すべり遅れレート分布とピーク強度の比較を示した。或る時点の応力状態に加えて、ここで示した構成関係の不均質構造が、その時点での、地震破壊の開始可能性、伝播範囲、地震時すべり量等を強く規定している。

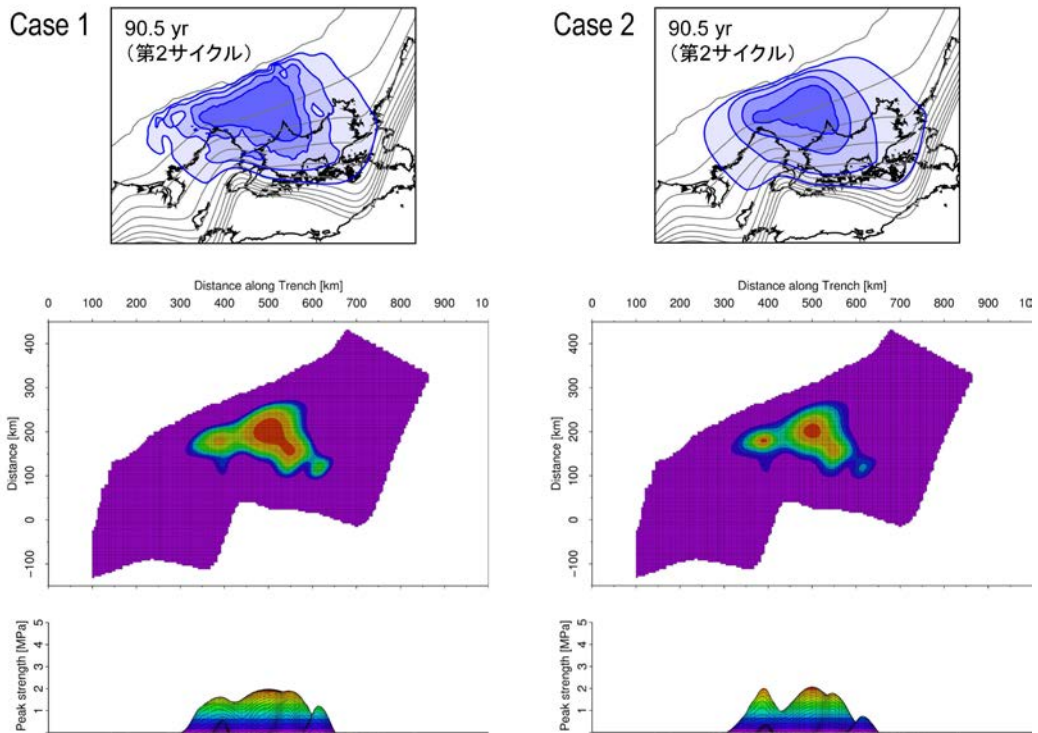


図 3-10-③-3 Case 1 と Case 2 のすべり遅れレート分布とピーク強度の比較。左列と右列のパネルは、それぞれ、Case 1 と Case 2 を示す。(上段) 地震発生サイクル過程の中で実現したプレート境界面上のすべり遅れレート分布。(中段、下段) プレート境界面上のピーク強度分布。マップ上の位置は上段の図に対応。

2) 地震破壊シナリオ構築のためには、地震がどこから始まってどのように伝播するのかを調べるのが重要である。準静的テクトニックローディングのシミュレーションから動的破壊への破壊モードの移行の詳細な検討を行った。初期クラックをいろいろな場所に設定して動的破壊伝播の計算を行った。初期クラックの大きさは、静的応力拡大係数の考え方にに基づき推定した。さらに、動的破壊伝播開始時に一斉に破壊するように初期クラック内部に応力擾乱を与え、破壊伝播の計算を行った。そのときに与えた応力擾乱の量を定量的に評価し、破壊伝播が継続するかすぐ止まってしまうのかの判断基準とした。前回の地震からの経過時間が短く、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。また、設定した初期クラックの位置により、破壊伝播しやすいところと、しにくいところが認められた。これは、構成関係と初期応力分布によるものであり、今後、その系統的な理解が必要である。

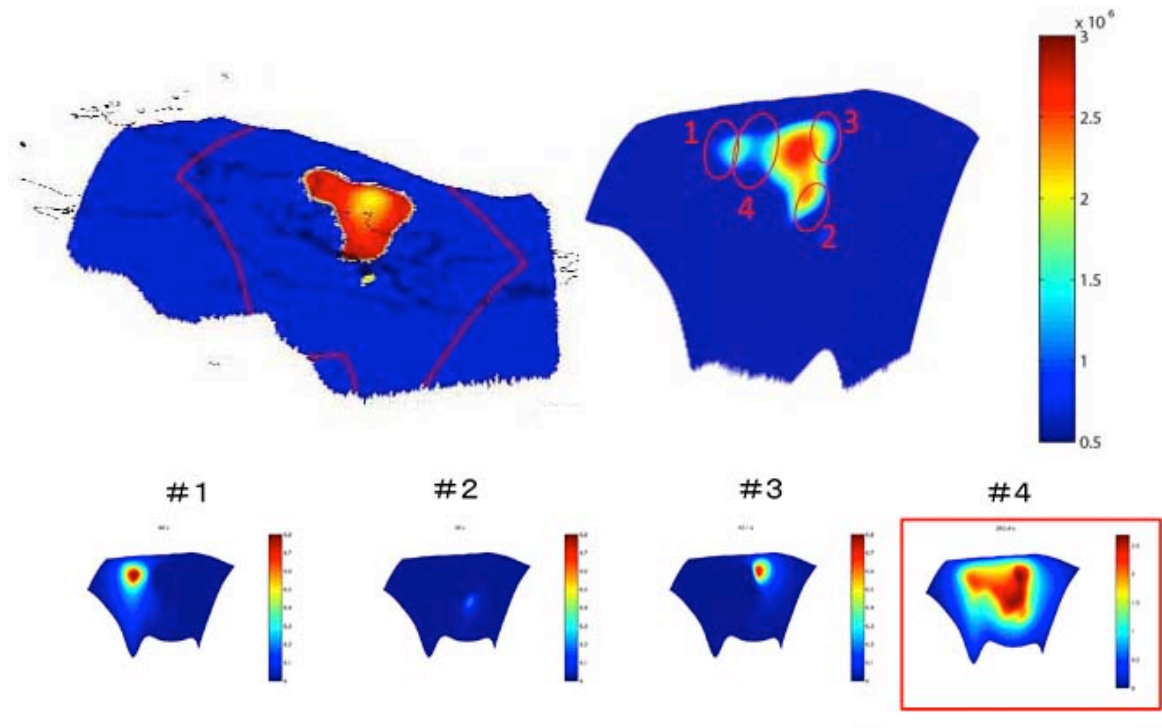


図 3-10-③-4 動的破壊伝播の計算における破壊開始位置の評価。上段左図は初期応力分布で、赤線で囲った領域が、動的破壊シミュレーションを行った計算領域。上段右図は構成則分布から抽出した破壊強度分布と破壊開始点候補と初期クラックの大きさを示している。1～4の位置から破壊が始まったと仮定した場合の動的破壊伝播を下段の#1～#4に示している。#4は、計算時間の関係で最後まで計算を行っていないが、初期応力が蓄積されているアスペリティ領域全体に破壊が伝播しそうであることが確認された。#1～#3の場合は、破壊が停止した後、しばらく計算を続けたが破壊の進展は確認出来ず、最終すべりであることを確認した。

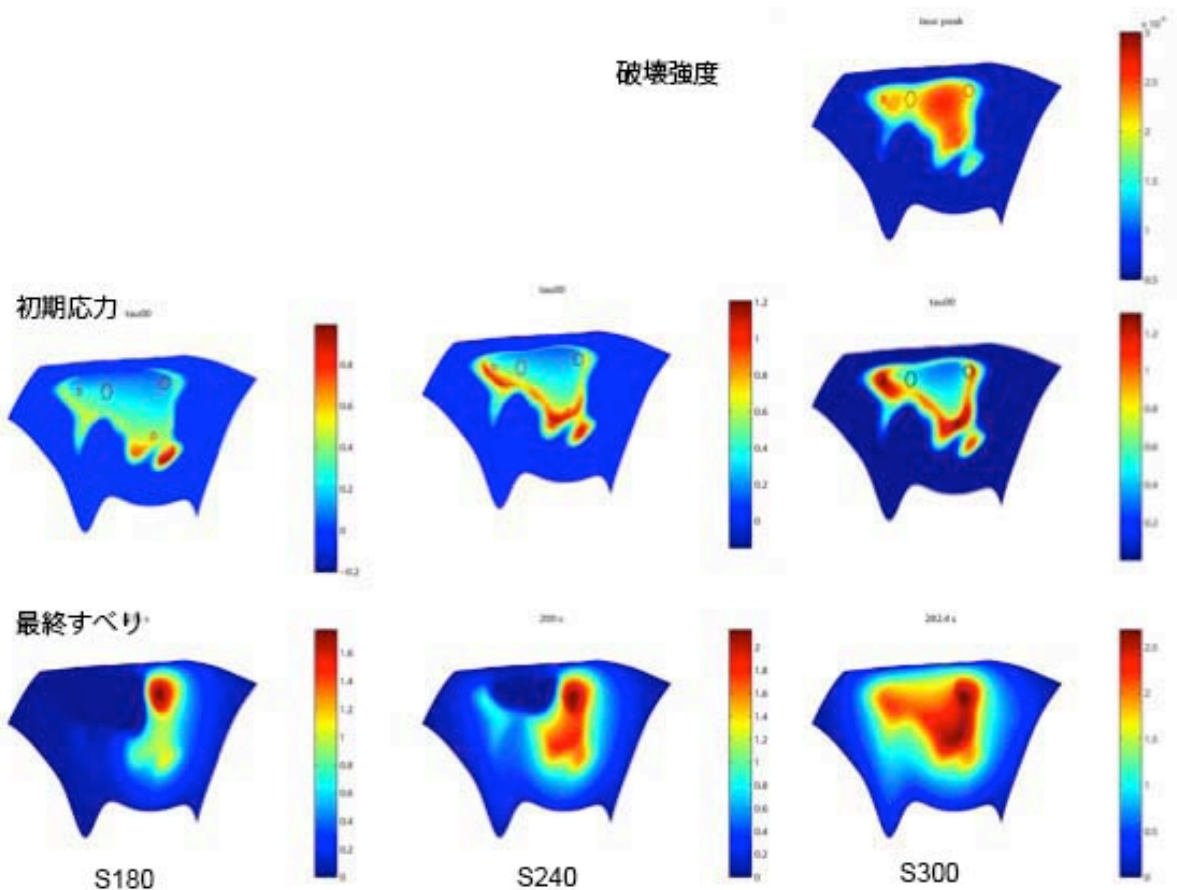


図 3-10-③-5 それまでの歪蓄積時間に応じて、動的破壊伝播領域がどのように変化するかを調べた。上段、中段、下段は、それぞれ、破壊強度、初期応力、最終すべり量を表わす。S180 は Case 1 の第 2 サイクル 30 年後、S240 は同 90 年後、S300 は同 150 年後を表わす。破壊は、#4 から開始するとした。S180 (Case 1 の 2 サイクル 30 年後)、S240 (同 90 年後)、S300 (同 150 年後) と、時間が経つにつれ、応力蓄積が進み、破壊擾乱を与えた場合の破壊領域 (最終すべりの分布域) が拡大していくことが見て取れる。

(d) 結論ならびに今後の課題

準静的シミュレーションに於いて、大地震発生後 50 年で実現したすべり遅れレート分布は、1996~2000 年の GPS データに基づくインバージョン解析で得られたすべり遅れレート分布 (1944 年東南海・1946 年南海地震後 50 数年の状態) を再現するが、その後、すべり遅れ分布は徐々に変化してゆく。このような時間発展の検証を行なうためには、実際の観測データとの時系列的な比較が必要となる。また、すべり遅れによる応力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、応力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(固着域)全体に広がることを確認した。過去に発生した大地震の時系列、及びその開始点

や伝播範囲などの多様なデータを説明できるようにするためには、構成則パラメータの詳細な検討が必要になる。今後、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ためには、地震間のすべり遅れレート分布、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ことが課題となる。

(e) 引用文献

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.

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.

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.

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.

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

2016年4月1日に熊野灘で発生したM6クラスの地震後の推移として、どのようなシナリオがあり得るのかを、海陸の地殻変動データを用いたすべり欠損の不均質分布を考慮した地震発生サイクルシミュレーションによって検討した。その結果、M8クラスの地震の準備段階に応じて、M6クラスの地震後の余効すべりの起こり方が異なるとともに、M8クラスの地震に発展する場合と、余効すべりが収まって固着しなおす場合があること、さらにはその違いが余効すべり域の真上にあるDONET1観測点の上下変位の違いに現れることが示された。今回実際に起きたことは、後者のシナリオに近いかったことが、DONET1の水圧変動（上下変位に対応）からもわかる。

(b) 業務の成果

2016年4月1日に熊野灘で発生したM6クラスの地震後の推移として、どのようなシナリオがあり得るのかを地震発生サイクルシミュレーションで検討するため、図3-10-④-1のような摩擦パラメータやプレート間相対速度の分布を仮定した。ここで、海陸の地殻変動データを用いたすべり欠損の不均質分布（Yokota et al., 2016）のうち、5cm/yr以上のすべり欠損の領域が、周囲よりも固着しやすい条件（B-Aが大きく、Lは小さい：A、B、Lは摩擦パラメータで）とした。また、紀伊半島下から沖合にかけてのバリアやプレート間相対速度については、従来と同様の不均質分布を仮定している

(Hyodo et al., 2016)。さらに、4月1日のような M6 クラスの地震発生を再現するため、該当する震央位置に L 小のパッチを置いた。

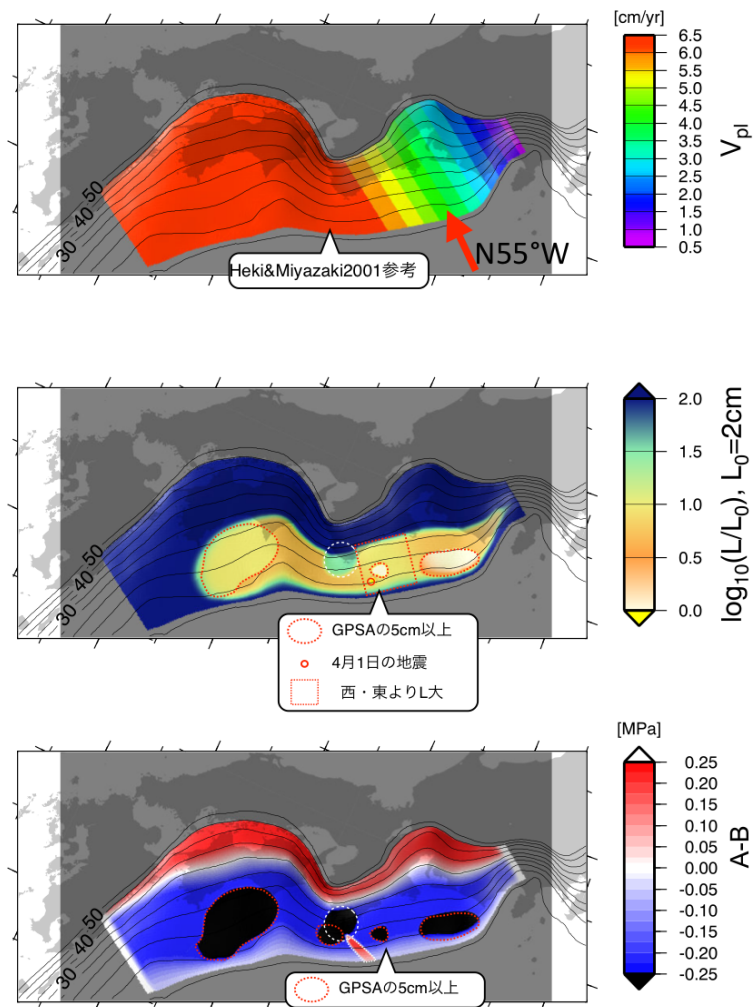


図 3-10-④-1 仮定したパラメータの分布。上段：プレート間相対速度分布、中段： L の値、下段： $A-B$ の値。Yokota et al. (2016) のすべり欠損分布で 5cm/yr 以上の領域に対応した部分で $B-A$ が大きく、 L もサイズに合わせた値を与えている。

シミュレーションの結果、M8 クラスの地震の繰り返しの途中で、様々なタイミングで M6 クラスの地震が発生した。その中で、2つのエンドメンバーとして、熊野灘で地震発生の準備が進み、固着がはがれかけている場合（左）と、まだはがれが見えない場合（右）とを図 3-10-④-2 に示す。それぞれで発生した地震の規模は $Mw6.1$ と 5.8 であり、固着がはがれかけている場合の方が少し大きく、地震による海底での隆起・沈降の分布は図 3-10-④-2 中央に示した通りである。前者は、地震後に余効すべりが浅部・深部両方に広がり、1年後にもまだ深い側に伝播し、数年後に M8 クラスの地震に至る。一方、後者では、余効すべりが浅い側にのみ広がり、1年後にはほぼ収まって、数年後には固着しなおす。このように、同じ M6 クラスの地震が、M8 クラスの地震の震源域内に発生しても、その後の余効すべりの推移や M8 クラスの地震に

至るかどうかなどが、M6の発生するタイミング次第（M8の準備状況次第）で大きく異なることがわかる。

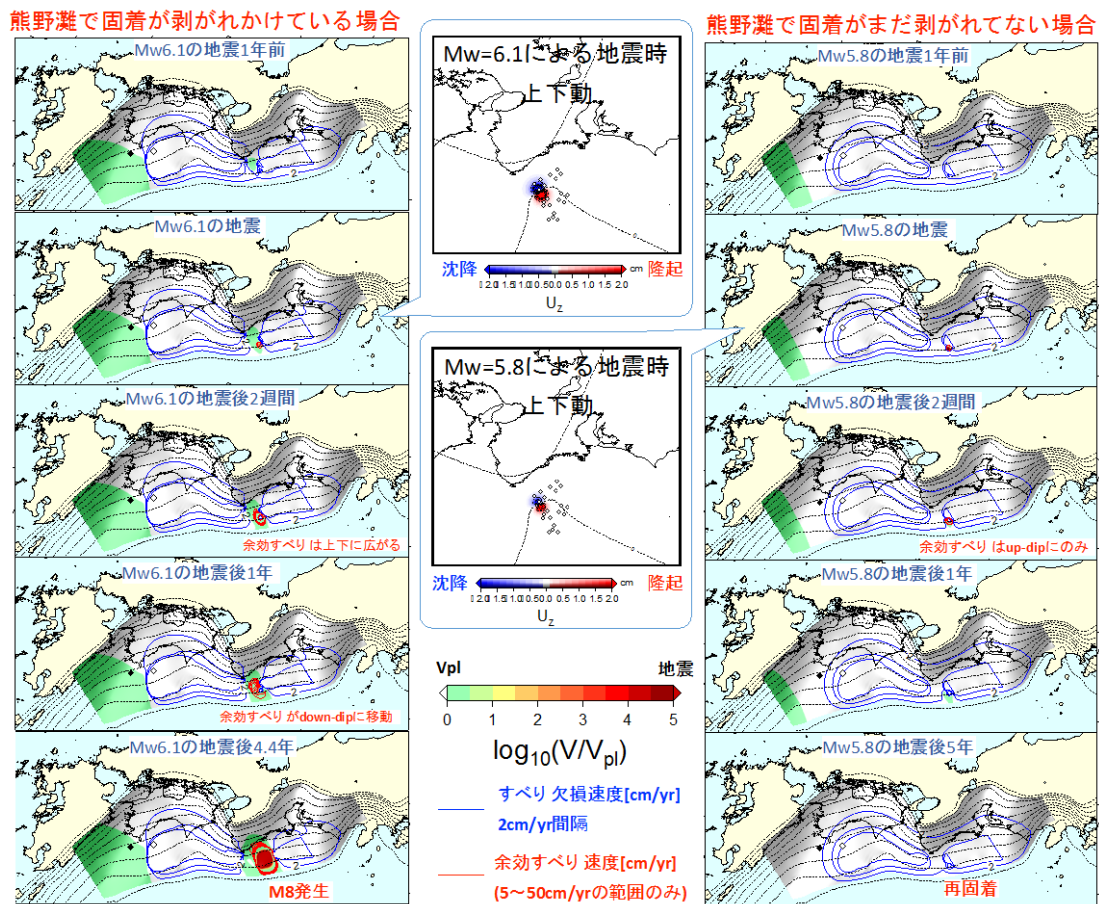


図 3-10-④-2 左と右は、それぞれ固着がはがれかけている場合、はがれていない場合の、M6 クラス地震前後のすべり速度の時空間変化（上から、地震発生の1年前、地震発生、地震発生2週間後、1年後、4.4年後）。中央は、地震時の海底での隆起・沈降の分布。固着がはがれかけている場合は、4.4年後にM8クラスの地震発生、固着がはがれていない場合は、再固着する結果になった。

(c) 結論ならびに今後の課題

M6クラスの地震が震源域内かつプレート境界で発生したとしても、M8クラスの地震に至るかどうかはM6地震の発生タイミング次第であること、また、M6地震後の推移が、タイミング次第で大きく異なることがわかった。したがって、こうした地震が発生した場合に、リアルタイムで地震後の余効すべりの推移をモニタすることが、M8クラスの地震に至る可能性を検討する上で重要であることが示された。今後の課題としては、シミュレーションと比較する海底地殻変動の観測データの種類を増やすとともに、それらの観測データとの整合性を高めることである。今回はDONETの海底観測点でのデータと比較するために、海底面での隆起・沈降を計算した。海底地殻変動としては、海底下の掘削孔内で観測される歪や間隙水圧などの変化もあり、DONETに接続されてリアルタイム観測が行われている。こうした観測データと比較するため

には、海底地殻変動にともなう観測量の変化を、より現実に近い地形・不均質構造を考慮できる有限要素解析で計算する必要がある、地震研の課題で開発したものを活用する計画である。

(d) 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.

Yokota, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe, T. Tashiro, and A. Asada, Seafloor geodetic constraints on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone, Nature, doi:10.1038/nature17632, 2016.

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

強震動予測のための巨大地震震源モデルの構築に関して、既往研究の強震動生成域 (SMGA) のすべり量の特徴を踏まえ、その特性を表す不均質モデルの提案を行った。また、平成 27 年度に構築した応力降下量分布モデルと合わせ、2011 年東北地方太平洋沖地震で見いだされた強い短周期パルス源を含む SMGA が不均質 SMGA 分布モデルで生成可能なことを示した。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利用した地震波干渉法を進めた。この中で、DONET1 の各観測点ペアの群速度分布を求めた。

(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

平成 26 年度、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 (0.1~10 Hz) で定義される SMGA (強震動生成域) 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 (Mw9.0)、2003 年十勝沖地震 (Mw7.9)、1994 年三陸はるか沖地震 (Mw7.7) をはじめとする、過去の Mw6.0~9.0 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。平成 27 年度には、過去のプレート境界地震の SMGA の応力降下量に、SMGA の面積が小さいとばらつきが大きく、面積が大きくなるとばらつきが小さくなる特徴が見られたことから、これが、地震が起きれば SMGA になるような場の不均質構造を示唆するものと考え、そのような場の不均質応力降下量分布をモデル化した。強震動予測を行う際には、すべり分布や破壊伝播、断層面各点のすべりの時刻歴などの震源パラメータの設定も必要である。そこで今年度は、平成 27 年度にモデル化した不均質応力降下量分布モデルに対応する不均質すべり分布モデルを構築した。また、この SMGA の場の不均質応力降下量・すべり量分布モデルから、東北地方太平洋沖地震の SMGA と近いものを作成できることを示した。

プレート境界地震の SMGA のすべりの空間不均質の特徴を見い出すため、面積と平均すべり量の関係を調べた (図 3-10-⑤-1 上)。面積—平均応力降下量の関係 (図 3-10-⑤-1 下) に比べ、ばらつきの幅の面積による変化が小さく、また、面積が大きくなるほど平均すべり量が大きくなるという正の相関もあるように見える。SMGA の面積とすべり量の正の相関は、地震の破壊域全体の面積が大きくなれば破壊域全体の平均すべり量が大きくなるという、巨視的なスケーリング則と関連があると考えられる。また、SMGA の面積は、破壊域全体の面積とスケーリングしている (「Murotani *et al.*, 2008」, 「Iwata *et al.*, 2013」) と考えられるため、個々の SMGA のすべり量とその SMGA の面積の関係ではなく、個々の SMGA のすべり量とその地震の SMGA の全面積の関係を見ていくことにする (図 3-10-⑤-2)。この 2 者の関係をべき関数で近似するとべき指数は 0.2 となった。プレート境界地震の巨視的なスケーリングで、平均すべり量が M_0 の 1/3 乗のべき関数でよく近似される (「Murotani *et al.*, 2008」)、つまり、すべりが面積の 1/2 乗のべき関数で近似されるのと比べると、べき指数はだいぶ小さい。この違いに関しては、データのばらつきが大きくて、見かけべき指数が小さく見えている可能性や、地震規模が大きくなると SMGA のモデリング周波数帯外のより長周期成分の割合が大きくなり、SMGA のモーメントが過小評価されている可能性、さらには、SMGA パラメータデータの絶対数の不足などが考えられる。今回は、SMGA の平均すべり量が SMGA の全面積の 1/2 乗に比例すると仮定する。

すべり量の不均質分布のベースとなるモデルは、空間的には k^2 の波数スペクトル形状を持つフラクタル分布、確率分布には対数正規分布を仮定した。一方、平成 27 年度に実施した応力降下量の不均質分布のモデル化には、空間的には k^1 の波数スペクトル形状、確率分布には対数正規分布を用いている。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」)。すべりと応力降下量の不均質分布を作る際に各波数に乱数で与える位相を合わせている。

k^2 空間不均質分布と対数正規確率分布によって作られる場で、図 3-10-⑤-2 の SMGA の平均すべり量と全面積の関係を模すため、対数正規分布の形状 (平均や分散に当たるもの) を変えて不均質分布を生成した。その不均質すべり分布モデルから、様々な面積を切り出してその内部の平均すべり量を計算し、すべり量が面積の 1/2 乗に比例するとした補正を施し、面積—平均すべり量の分布をつくり、これが実地震の SMGA の全面積—すべり量の関係を模すようにパラメータを調節した。こうして得られたすべり量の不均質分布を図 3-10-⑤-3 左に、再現された SMGA の全面積—平均すべり量の関係を図 3-10-⑤-3 右に示す。

2011 年東北地方太平洋沖地震では、複数の SMGA からなる SMGA モデルが提案されている (「Asano and Iwata, 2012」, 「Satoh, 2012」, 「Kurahashi and Irikura, 2013」)。中でも、破壊開始点に近い宮城沖の SMGA にあたる領域では、特に強い短周期パルスを発

生じた小領域が見つまっている（「野津, 2012」、「Kurahashi and Irikura, 2013」）。そこで、前述の、“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” から、宮城沖の SMGA と同様の面積を取り出し、宮城沖 SMGA と同様の平均応力降下量、平均すべり量を持ち、かつ、同様の特徴（面積と平均応力降下量）を持つ小領域を持つものが得られるかどうかを調べた。その結果、例えば、図 3-10-⑤-4 のような応力降下量分布とすべり分布を持つ、宮城沖 SMGA に似た特徴を持つものが得られることがわかった。

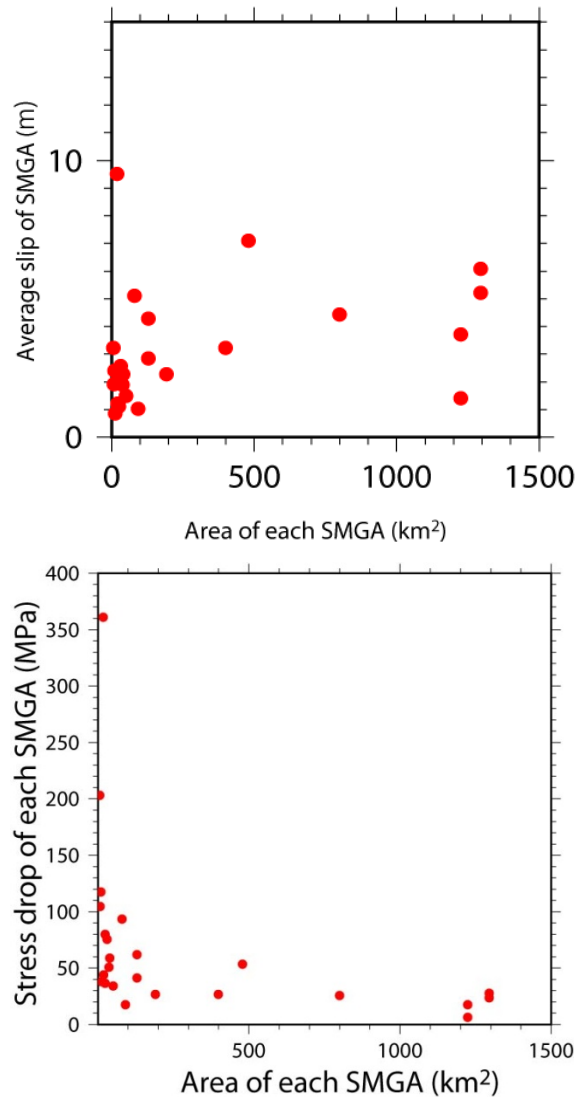


図 3-10-⑤-1 上:プレート境界地震の個々の SMGA の面積とその平均すべり量の関係。
下:プレート境界地震の個々の SMGA の面積とその平均応力降下量の関係。

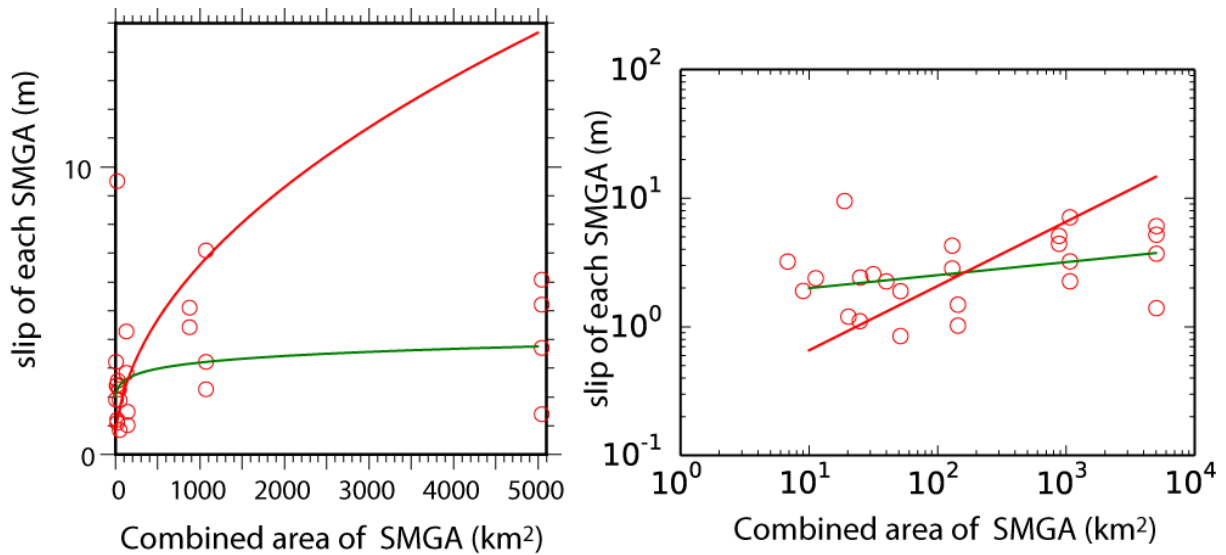


図 3-10-⑤-2 プレート境界型地震の SMGA の全面積と個々の SMGA のすべり量の関係。緑線は、すべり量を全面積のべき指数を固定せずにデータをべき関数近似したもの。赤線は、べき指数を 1/2 に固定してべき関数近似したもの。

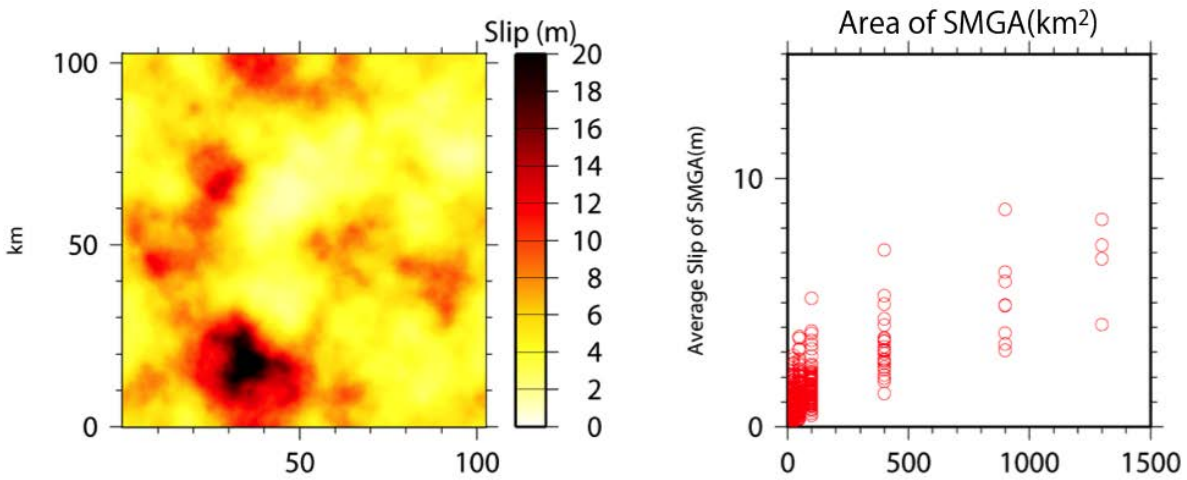


図 3-10-⑤-3 左：作成された不均質すべり量分布モデル（但し平均を約 5 m とした場合）。右：左図のすべり量分布の場で様々な大きさの SMGA が発生した場合の、SMGA の面積とすべり量の関係。但し、すべり量が SMGA 面積の 1/2 乗に比例する（=モーメントが SMGA 面積の 3/2 乗に比例する）と過程し補正したもの。

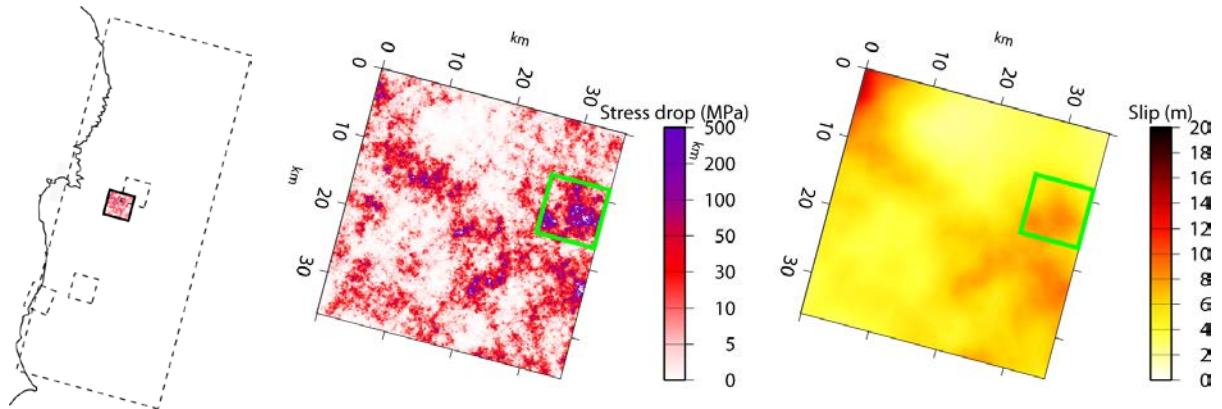


図3-10-⑤-4 2011年東北地方太平洋沖地震の宮城沖のSMGAを模して作成した、SMGAの不均質応力降下量・すべり量分布モデル“地震が起きればSMGAになるような場の応力降下量とすべり量の不均質分布のモデル”から、宮城沖のSMGAと同様の面積で、同様の平均応力降下量、平均すべり量を持ち、かつ、同様の特徴（面積と平均応力降下量）を持つ小領域を持つものの例。緑の枠内が、SMGA全体の平均応力降下量の4倍の平均応力降下量を持つ小領域。左図は、「Asano and Iwata, 2012」のSMGAモデルの位置を示す。

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

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利用した研究を進めている。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。

平成26年度は、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（現在の運用は国立研究開発法人防災科学研究所）より、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200 Hzで収録されている。陸側の観測点については、上記DONET1のデータ提供期間に対応する期間の記録について、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。平成27年度は、平成26年度に整備したデータセッ

トを用い、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、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を図3-10-⑤-5の地図に示す。解析手順は地震波干渉法の標準的手続きとして提案されている解析手法「Bensen *et al.*, 2007」に従った。以下、平成27年度に実施した解析の処理方法の概略を述べる。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、0.025 Hz 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「Lin *et al.*, 2008」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。今年度は、平成27年度の処理で得られた各観測点ペアの相互相関関数のデータセットのうち海域に展開されている DONET1 観測点のペアによる観測点間相互相関関数の解析結果を用いて以下に詳述する解析を実施し、熊野海盆周辺海域において、周期別の群速度の空間マッピングを行い、三次元速度構造モデル改良に資する情報を得ることができた。

はじめに、各観測点ペアについて周期毎の群速度を推定した。まず、相互相関関数の時間原点に対する非対称性が解析結果に及ぼすであろう影響を緩和するため、causal 成分（時間軸上で時刻が正の部分）と anti-causal 成分（時間軸上で時刻が負の部分）の平均をとり、そのペアの相互相関関数とした。ただし、昨年度の報告書に記載した通り、得られている相互相関関数は時間原点に対してほぼ左右対称な形状を持つ信号が得られていることは確認されている。

次に、Multiple Filter Analysis 「Dziwonski *et al.*, 1969」による時間一周波数解析を行い、周期毎の群遅延時間を求めた。2地点間を伝播する表面波の伝播経路を2地点間の大円経路で近似できると仮定し、2地点間の距離を群遅延時間で割ることにより、そのペアのその周期における群速度推定結果とした。ここでは、主として Rayleigh 波の伝播に対応する Radial 成分は(RZ-ZR)/2成分「Takagi *et al.*, 2014」により、主として Love 波の伝播に対応する Transverse 成分は T-T 成分の解析により求めた結果を示す。図3-10-⑤-6に時間一周波数解析の結果の一例を示す。左が KMB05 と KMA04 のペア、右が KMB05 と KMC11 のペアの結果であり、それぞれ上段が Rayleigh 波群速度の分散性、下段が Love 波群速度の分散性を表している。この2例の比較では、KMB05-KMC11 間に比べ、KMB05-KMA04 間の群速度が、周期 10 秒以下（周波数 0.1 Hz 以上）で明らかに遅い群速度をもつことがわかる。これは A ノード（KMA01～KMA04）が熊野海盆内に位置している観測点であるため相対的に厚い堆積層が存在していることが期待されるのに対し、C ノード（KMC09～KMC12）は南海トラフ近傍の付加体（外縁隆起帯）上に位置するため堆積層は薄いことに

対応している。なお、B ノード (KMB05~KMB08) は熊野海盆の南端境界付近に設置されているため、このように B ノード-A ノード間の波動伝播と B ノード-C ノード間の波動伝播を見比べることで、熊野海盆内外の地震波伝播特性の違いを把握することができる。また、KMB05-KMA04 の Love 波の例では、高次モードに対応すると考えられるピークも見られる。

図 3-10-⑤-7 は各観測点ペアに対して得られた群速度を空間上にマッピングした結果である。個々の観測点を結ぶ直線の色がその観測点ペアに対する群速度を表している。この図には、Love 波について、周期 5.0 秒、6.7 秒、8.3 秒の結果を示した。図 3-10-⑤-6 で論じた 2 ペアの比較の時と同様、いずれの周期においても熊野海盆を横切るペアで特に遅い群速度が得られている。例えば、周期 5.0 秒では群速度約 0.4 km/s と推定された。このことは、周期 8 秒程度の長周期の地震動伝播であっても、海盆に存在する堆積層の影響を無視することはできないことを意味している。一部には S/N が不十分等の理由により、周囲と値が大きく異なるなど異常値が残っているペアがある。これらについて精査した上で、群速度トモグラフィなどの手法も用いつつ、より精緻なマッピングを行って、速度構造モデルの高度化に繋げていく必要がある。なお、Rayleigh 波は海水層の影響を含むため、解析結果の解釈や利用には注意が必要である。Love 波については、海底面でのせん断応力が 0 になることから、海水層は自由表面と同じ取り扱いができる。

平成 29 年度は、平成 28 年度までに得られた相互相関関数や群速度を用い、外縁隆起帯-熊野海盆-紀伊半島南部にかけての速度構造モデルの検証を進める計画である。

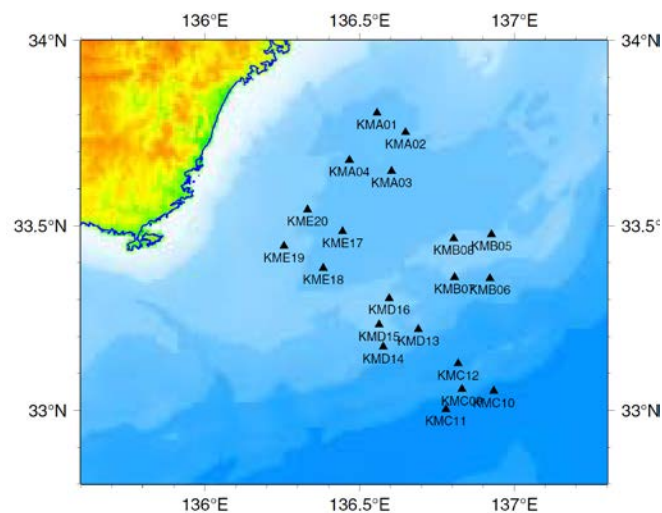


図 3-10-⑤-5 解析対象の広帯域地震観測点。黒色三角印が DONET1 観測点の位置を表す。標高及び水深は一般財団法人日本水路協会海洋情報研究センター刊行の日本近海 30 秒グリッド水深データ第二版を使用した。

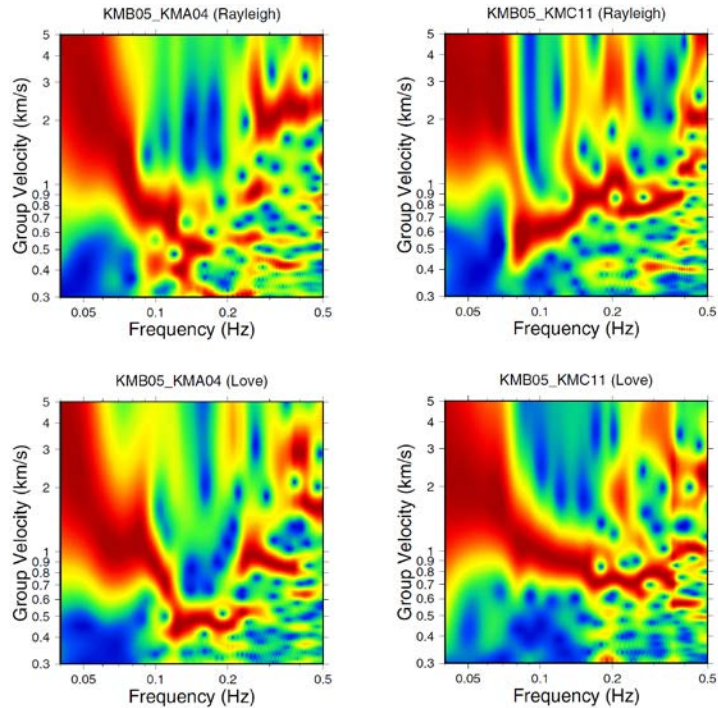


図 3-10-⑤-6 相互相関関数の時間一周波数解析の例。左：KMB05-KMA04、右：KMB05-KMC11。それぞれ上段が Rayleigh 波（Radial 成分）、下段が Love 波（Transverse 成分）に対応する。

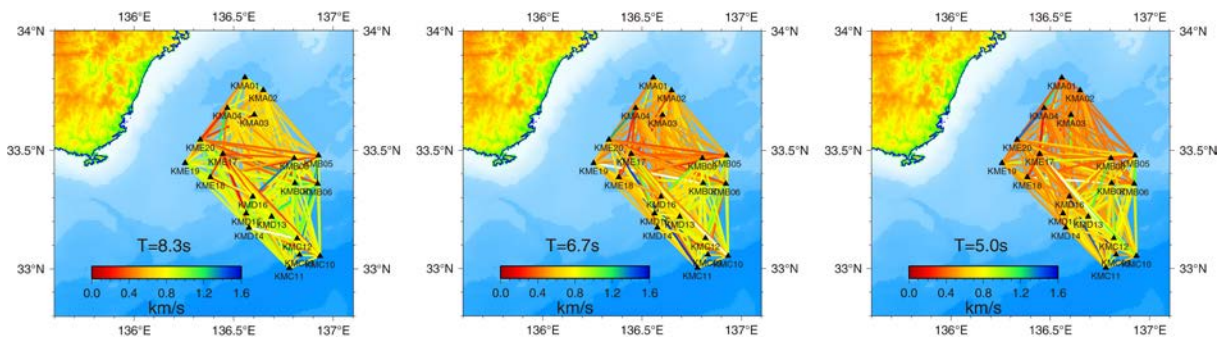


図 3-10-⑤-7 熊野海盆周辺での Love 波群速度の空間分布。観測点間を結ぶ線の色が対応するペアの群速度を表す。左から、周期 8.3 秒、6.7 秒、5.0 秒の群速度を示す。

(c) 結論ならびに今後の課題

強震動予測のための巨大地震震源モデルの構築に関して、今年度は、不均質 SMGA モデルのすべり分布モデルを構築した。また、平成 27 年度に構築した応力降下量分布モデルと合わせ、2011 年東北地方太平洋沖地震で見いだされた強い短周期パルス源を含む SMGA が不均質 SMGA 分布モデルで生成可能なことを示した。今後は、破壊伝播など、残る震源パラメータの不均質分布のモデル化を進め、波形モデリングを通して不均質 SMGA モデルの妥当性を検討したい。

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・高度化に関しては、今年度は、平成 27 年度の処理で得られた各観測点ペアの相互相関関数を用いた時間一周波数解析を実施し、外縁隆起帯から熊野海盆周辺にかけての海域において、周期別の群速度の空間マッピングを行った。解析対象とした周期帯において、熊野海盆内での群速度は、海盆外の群速度に比べ小さいことが定量的に示された。次年度は、今年度までの成果を踏まえて、外縁隆起帯～熊野海盆～紀伊半島南部にかけての速度構造モデルの検証を進めたい。

(d) 引用文献

- Asano, K. and T. Iwata, Source model for strong ground motion in 0.1-10 Hz during the 2011 Tohoku earthquake, *Earth Planets Space* 64(12), 1111-1123, 2012.
- 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.
- Dziewonski, A., S. Bloch, and M. Landisman, A technique for the analysis of transient seismic signals, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 59, 427-444, 1969.
- 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.
- 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.
- 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.
- Herrero, A. and P. Bernard, A kinematic self-similar rupture process for earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, 1216-1228, 1994.
- Iwata, T., K. Asano, and H. Kubo, Construction of Source Model of Huge Subduction Earthquakes for Strong Ground Motion Prediction, AGU 2013 Fall Meeting, S43A-2470, 2013.
- Kurahashi, 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.
- Lin, F.-C., M.P. Moschetti, and M.H. Ritzwoller, Surface wave tomography of the western United States from ambient seismic noise: Rayleigh and Love wave phase velocity map, *Geophys. J. Int.*, 173(1), 281-298, 2008.
- 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.
- Murotani, S., H. Miyake, and K. Koketsu, Scaling of characterized slip models for

plate-boundary earthquakes, *Earth Planets Space*, 60, 987-991, 2008.

Nakamura, T., M. Nakano, N. Hayashimoto, N. Takahashi, H. Takenaka, T. Okamoto, E. Araki, Y. Kaneda, Anomalous large seismic amplifications in the seafloor area off the Kii peninsula, *Marine Geophysical Research*, 2014, 35(3), 255-270, 2014.

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.

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.

Satoh, T., Source modeling of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake using empirical Green's function method: From the viewpoint of the short-period spectral level of interplate earthquakes, *J. Struct. Constr. Eng.*, AIJ no. 675, 695-704, 2012.

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.

Takagi, R., H. Nakahara, T. Kono, and T. Okada, Separating body and Rayleigh waves with cross terms of the cross-correlation tensor of ambient noise, *J. Geophys. Res.*, 119, 2005-2018, 2014.

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

南海トラフ巨大地震の強震動・長周期地震動津波評価の高度化に向けて、地震動シミュレーションコードにおける減衰 (Q) モデルの広帯域化をはかり、長周期地震動計算を通じて従来の簡便な Q モデル (Q 値が周波数とともに直線的に増大するモデル) と比較して、その有効性を確認した。また、南海トラフ巨大地震の震源モデルの多様性・不確定性が強震動評価のバラツキに与える影響を定量評価するために、破壊開始点を日向灘沖、潮岬沖、駿河湾に変えた長周期地震動のシミュレーションを実施し、長周期地震動の速度応答レベルのバラツキを評価するとともに、断層破壊モデルに現実的な不均質破壊を考慮することで、そのバラツキが小さくなることを確認した。

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 (1498 年 7 月 9 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 (1498 年 6 月 30 日) について、『九州軍記』の底本であると考えられる『方丈記』、『平家物語』、『源平盛衰記』、『太平記』の地震被害記述と『九州軍記』の地震被害記述の比較・検討を行った。その結果、『九州軍記』における九州大地震の記述のほとんどは『源平盛衰記』における元暦二年七月九日 (1185 年 8 月 6 日) の大地震による京都の被害記述に酷似していることが分かり、『九州軍記』における被害記述はこの軍記物語を盛り上げるための創作であることがほぼ確実であると結論された。したがって、この日に日向灘の大地震あるいは明応

南海地震は発生していないと考えられる。1707年宝永地震、1854年安政東海・南海地震について震源域の広がりや震源象の明確化のために、既往研究成果としてこれらの地震の震度分布の収集を行い、データのデジタル化を行った。また、1944年東南海地震、1496年南海地震についても震度分布の収集と検討を行い、これらの震度分布と宝永地震・安政地震の震度分布との比較・検討のための基本データとして、あるいは震源モデル推定のためのデータとして蓄積した。1854年安政東海地震と1944年東南海地震津波との津波波源域の比較を行うため、あるいは両地震津波の特徴の共通点と相違点を検討するために、熊野灘沿岸地域（三重県南伊勢町、大紀町、尾鷲市）における1854年安政東海地震と1944年東南海地震による津波高の調査と、史料調査による同地域における安政東海津波と昭和東南海津波による被害状況の復元を行った。

(b) 業務の成果

1) 長周期地震動シミュレーションの高度化のためのQモデルの広帯域化

これまで強震動・長周期地震動の差分法シミュレーションにおいて、計算機の記憶容量と演算性能の制約により、比較的簡単な非弾性(Q)モデル「Graves, 1996」が一般に用いられてきた。このモデルでは、Q値に対応する減衰係数を、差分法計算の過程において速度場と応力場に毎タイムステップで乗じることで、地震波動場を時間とともに減衰させる。計算コストは小さいが、P波とS波に対して個々のQ値(Q_pとQ_s)を区別して与えることができないこと、Q値が周波数に比例して大きくなる強い周期依存性を持つ制約があった。このため、広帯域(短周期～長周期)の地震動のシミュレーションに適用した場合に、長周期の地震動ほど実効的なQ値が小さくなるために、長周期地震動を過小評価する問題があった。

近年の計算機の飛躍的な能力向上により、より高精度な非弾性減衰モデルの利用が可能になり、これまでいくつかのモデルが開発された(たとえば、「Moczo, 2007」)。本研究では、南海トラフ巨大地震の広帯域地震動シミュレーションに向けて、周期10～0.2秒程度以上の帯域でQ_p、Q_s値を適切に評価することのできる非弾性減衰モデルを3次元差分法計算コードに組み込み、長周期地震動の試験計算を通してその有効性を確認した。

地震波解析に基づく従来の研究から、地殻・マントル(リソスフェア)のQ値は、周波数0.5～1 Hz以上の高周波数では直線的に増加する強い周波数依存性を持ち、およそ0.5～1 Hz以下では一定の値となるQ値の周波数特性が示されている「佐藤, 1984」(図3-10-⑥-1(a))。本研究では、非弾性による応力-歪み構成方程式の時間遅れの効果を、一般化Maxwell Bodyを用いて表現することとし、この際に有効となる中心周波数が異なる複数のMaxwell Bodyを並列に結合することで、広い周波数範囲でQ値一定を実現した。Maxwell Bodyによる応力-歪み構成方程式の時間遅れは、差分法計算において前タイムステップの応力場を保存する変数(メモリ変数)を設けることで実現した。

図3-10-⑥-1(b)は、3個のMaxwell Bodyを用いて、周波数0.005～0.5 Hzの周波数帯域でQ値を一定(Q=100)にしたものである。比較のために、(B)従来の周波数依

存性が強いモデル「Graves, 1996」、(C) Maxwell Body を 1 個だけ用いた狭帯域 (0.5 Hz 前後) の Q 値一定モデルで表現される Q の周波数依存性も図示する。非弾性減衰の効果は、せん断応力 (Qs) と垂直応力 (Qp) の成分に区別して与えられる。

新しい広帯域 Q モデルを組み込んだ差分法シミュレーションの有効性を簡単な 2 次元差分法シミュレーションから確認した。図 3-10-⑥-2 に示す計算領域は、2004 年新潟県中越地震の震央から関東平野を横断して千葉に向かう方向にとった断面であり、新潟の深さ 5 km に震源を置き関東平野での長周期地震動を評価した (図 3-10-⑥-2 (a))。これと比較して、狭帯域 Q 値一定モデル (中心周波数 0.5Hz) による計算 (図 3-10-⑥-2 (b)) では、周期数秒の長周期の表面波の振幅が小さく、かつ表面波の分散が弱いため表面波全体の到着時刻が早くなる傾向がわかる。また、従来から用いられた簡便な Q モデルの計算 (図 3-10-⑥-2 (c)) 結果は、従前から指摘されてきたように、地震波の長周期成分に対する実効 Q 値が小さくなるために、長周期地震動の距離減衰が大きく、表面波が平野の端に到達するまでにほとんど消滅してしまう不自然な結果となることがわかる。

3 つの Q モデルを用いて計算された、都心部での長周期地震動波形の速度応答スペクトル (減衰定数 = 5 %) を求めると、周期 2 秒以下の短周期地震動成分においては、従来の Q モデル、狭帯域 Q 値一定モデル、広帯域 Q 値一定モデルの結果に違いは見られないが、周期 2 秒以上の長周期帯では、速度応答レベルに最大 5 倍程度の大きな違いが現れることがわかる。

新規導入した広帯域 Q モデルの 3 次元差分法計算では、従来の簡便な Q モデルに比べて、メモリ変数の導入により必要な総メモリ量は約 1.5 倍に、また計算時間は 2 倍になるが、近年の高速計算機の環境下では重大な問題にはならないと考えられる。

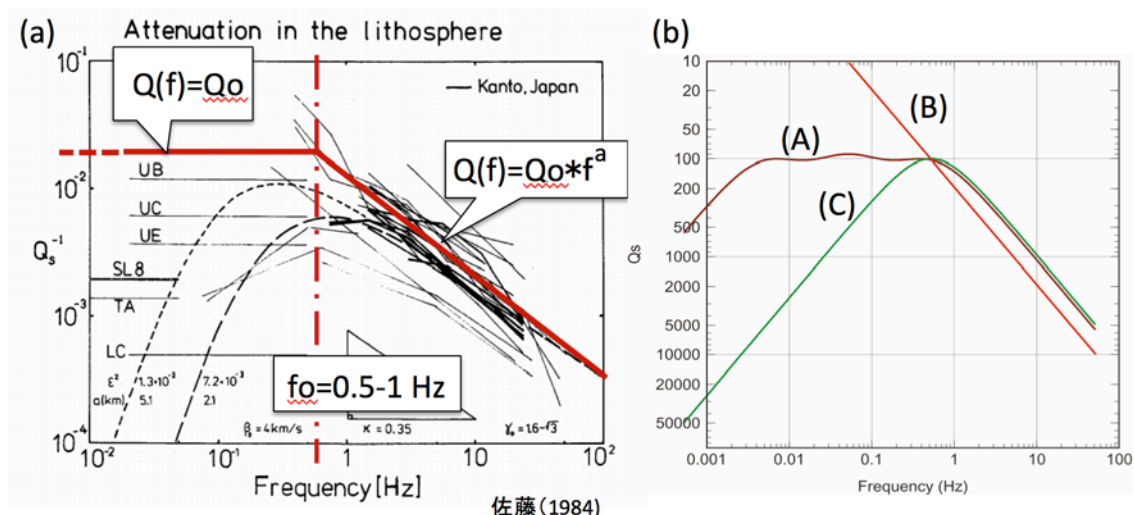


図 3-10-⑥-1 (a)地殻・マントル (リソスフェア) における S 波の非弾性減衰 (Q_s) の強さとその周波数依存性 (「佐藤、1986」に加筆)。周波数 0.5 ~ 1 Hz より高周波数側では Q の周波数依存性が、低周波数側では Q 値一定となる。(b)差分法に組み込んだ 3 つの Q モデル (A) 広帯域 Q 値一定モデル、(B) Q の周波数依存性を持つモデル「Graves, 1996」、(c)

狭帯域での Q 値一定モデル。

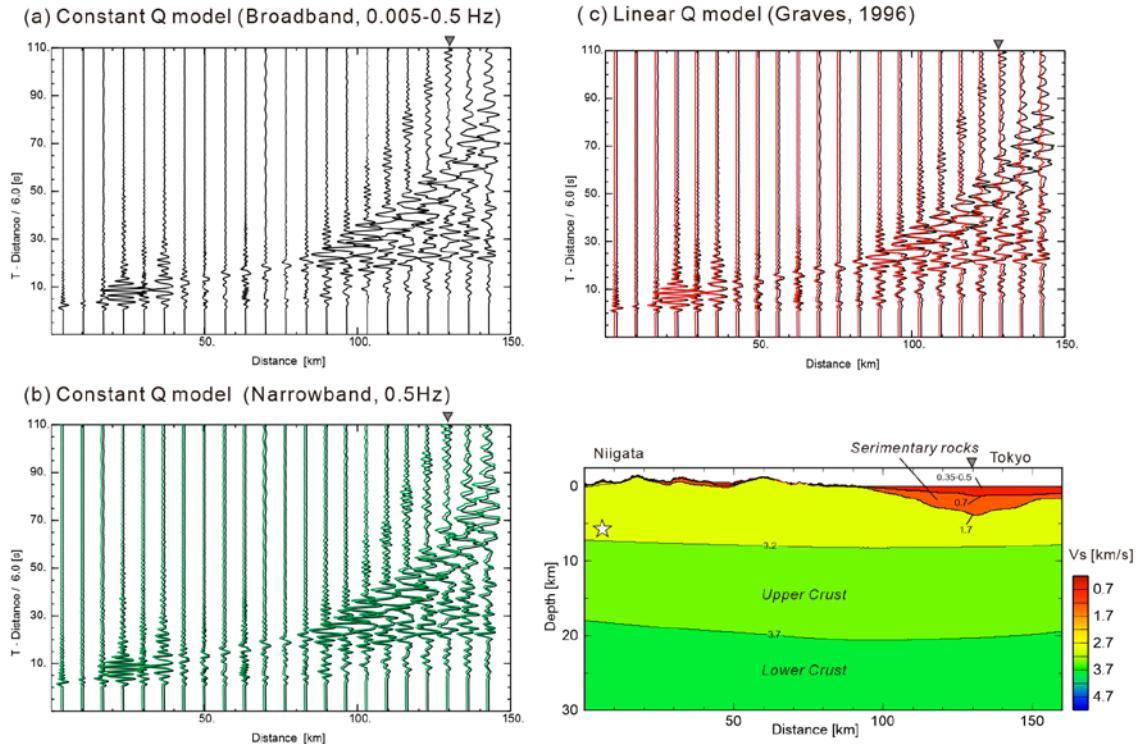


図 3-10-⑥-2 (a)広帯域 Q 値一定モデルによる長周期地震動の差分法計算。新潟県中越地震における、新潟～関東平野にかけての計算波形（地下構造モデルは右下に示す）。(b) 狭帯域 Q 値一定モデルの計算結果（緑；広帯域 Q 値モデルの波形を黒で示す）。(c) Q の強い周波数依存性を持つモデルの計算結果（赤）。

2) 南海トラフ巨大地震の震源モデルの多様性・不確実性が強震動評価のバラツキに与える影響評価

南海トラフ巨大地震の想定震源域は駿河湾～日向灘にかけての 700 km の範囲に及ぶため、震源（破壊開始点）の位置と断層破壊の伝播方向によっては、震源域の周辺地域における長周期地震動のレベルが大きく変動することが考えられる。これは、断層破壊方向に沿って位相の揃った地震波が重なり合うことで増幅する、地震波放射の Directivity 効果によるものである。しかしながら、現実の断層滑りでは空間的に不均質性が強く、かつ破壊伝播速度に揺らぎが大きいと考えられ、地震波の位相特性にランダム性が強くなる結果、Directivity 効果は弱く、破壊伝播方向の違いによる地震動のレベルの変動は小さくなることも考えられる。

そこで、本研究では、南海トラフ沿いの最大（M9）規模の震源モデルを用いて、①断層破壊が日向灘から潮岬を経由して駿河湾に向かうシナリオ、②駿河湾から日向灘に向かうシナリオ、③潮岬から日向灘と駿河湾の両方向に向かうシナリオの3つについて、地震波伝播シミュレーションを実施し、都心（K-NET 新宿、TKY007 地点）での長周期地震動レベルとその変動を、破壊伝播に揺らぎが有る場合とない場合で比較し、Directivity 効果の影響を確認した。

まず、断層面に沿って、 $V_r=2.7 \text{ km/s}$ の速度で断層破壊が一様に進む場合を想定した計算では、関東平野に向かって断層破壊が進行する③のケースで最も長周期地震動が強くなり、これと逆に、断層破壊が関東平野から遠ざかる①のケースで小さくなることが確認できた。この際、速度応答スペクトルのレベルは、周期5秒で3倍を超えた。

次に、断層破壊速度に揺らぎを与えた（平均速度に標準偏差10%の一様ランダムを付加した）場合には、破壊伝播方向による①～③ケースの周期5秒の速度応答の差は1.5倍以下に小さくなった。また、また長周期側での速度応答値が一様破壊モデルによる速度応答値の半分程度に小さくなった。これは、断層破壊に伴う地震波放射の Directivity 効果は波長が長く位相が揃いやすい長周期側ほど大きいためである。ただし、現実の断層運動では断層破壊伝播の不均質性により、Directivity 効果は一定以上強くはならないと考えられる。

単純な断層の一様破壊を仮定した強震動シミュレーション結果は長周期地震動では過大評価となる可能性が高く、破壊の不均質性の適切な評価により、長周期帯での地震動のレベルも、破壊伝播方向による長周期地震動のレベルの変動も小さくなることが考えられる。

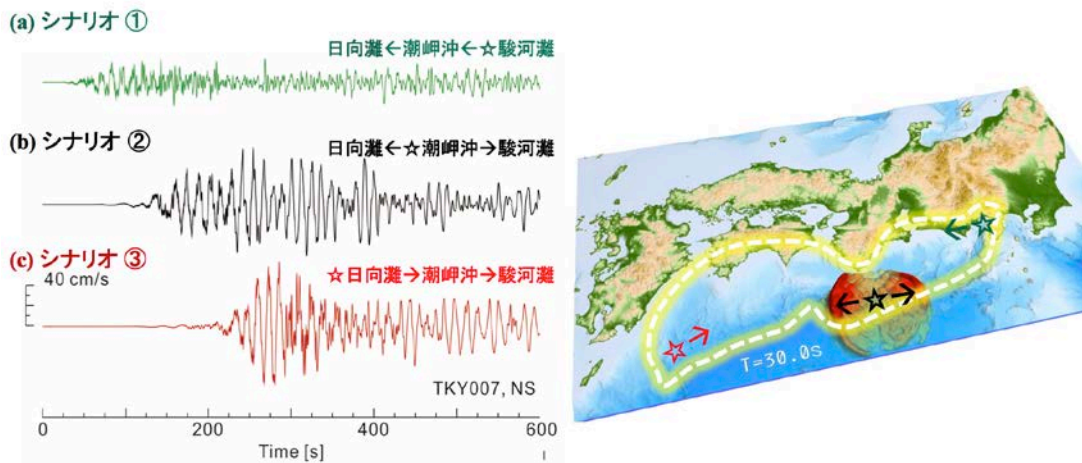


図 3-10-⑥-3 南海トラフ巨大地震の長周期地震動シミュレーションによる、都心部（K-NET007 新宿地点）での長周期地震動の比較。(a)断層破壊が駿河湾～潮岬～日向灘に進行するシナリオ①、(b)潮岬から両側に広がるシナリオ②、(c)日向灘から駿河湾に進行するシナリオ③。

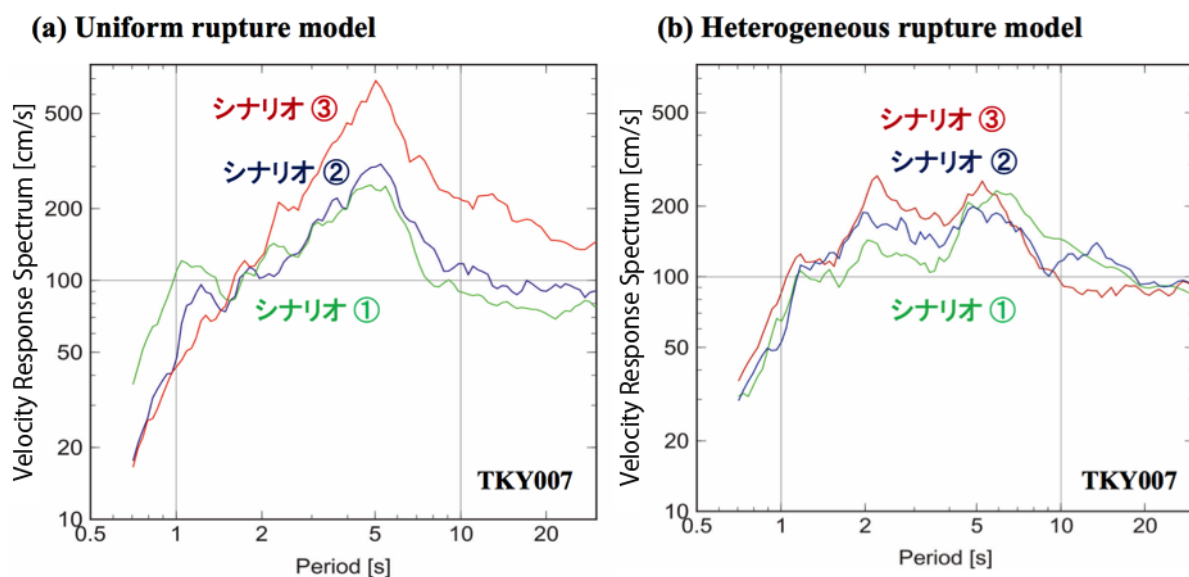


図 3-10-⑥-4 南海トラフ巨大地震の長周期地震動シミュレーションによる、都心部（K-NET007 新宿地点）での長周期地震動の速度応答スペクトルの比較。
 (a) 断層の一様破壊における、シナリオ①～③の速度応答レベルの比較、
 (b)断層破壊にランダム揺らぎを与えた場合のシナリオ毎の応答レベル。

3) 明応七年六月十一日（1498年6月30日）の大地震に関する検討

昨年度に引き続き、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（1498年7月9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（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。昨年度の『九州軍記』における九州大地震の記述の検討に加えて、『九州軍記』の底本であると考えられる『方丈記』、『平家物語』、『源平盛衰記』、『太平記』の地震被害記述と『九州軍記』の地震被害記述の比較・検討を行った。その結果、『九州軍記』における九州大地震の記述のほとんどは『源平盛衰記』における元暦二年七月九日（1185年8月6日）の大地震による京都の被害記述に酷似していることが分かり、『九州軍記』における被害記述はこの軍記物語を盛り上げるための創作であることがほぼ確実であると結論された。したがって、この日に日向灘の大地震あるいは明応南海地震は発生していないと考えられる。以上の検討結果を『地震』に投稿し、平成29年3月10日に受理された。

表 3-10-⑥-1 明応七年六月十一日(1498年6月30日)の大地震についての記述がある史料。

史料名	明応七年六月十一日(ユリウス暦1498年6月30日)の地震記事	著者・編者	集録期間	執筆・編纂時期	執筆・編纂場所	史料種類
後法興院記	(六月)十一日[丙子] 晴陰、申刻大地震、傳聞、畠山尾張守舎弟喝食自越中坂本マテ罷上、	近衛政家(1444-1505)	文正元年正月一日(1466/01/17(J))~永正二年六月四日(1505/07/05(J))	集録期間に同じ	(現)京都府京都市上京区	日記
言国卿記	(六月)十一日[天晴、大地神、丙子] . . . 八下刻大地震也、御所様其外各驚入輩、 . . .	山科言国(1452-1503)	文明六年正月一日(1474/01/18(J))~文亀二年十二月廿三日(1503/01/21(J))	集録期間に同じ	(現)京都府京都市上京区	日記
親長卿記	(六月)十一日 晴、地震、[大動、願、]	甘露寺親長(1424-1500)	文明二年九月二日(1470/09/26(J))~明応七年八月廿八日(1498/09/14(J))	集録期間に同じ	(現)京都府京都市上京区	日記
実隆公記	(六月)十一日[丙子] . . . 今日地震以外也、水神動云々、占文之旨其復不輕也、 . . .	三条西実隆(1455-1537)	文明六年正月一日(1474/01/18(J))~天文五年二月三日(1536/02/24(J))	集録期間に同じ	(現)京都府京都市上京区	日記
御湯殿上の日記	(六月)十一日 . . . ひるほどにおひたたくちしんゆる。すけなうゆりまいらす。	禁中御湯殿上の間における天子近侍の女官の当番日記	文明九年正月一日(1477/01/15)~文政九年(1826)	集録期間に同じ	(現)京都府京都市上京区	日記
大乘院寺社雜事記	(六月)十一日 . . . 大地震、帝尺動、 . . .	尋尊(1430-1508)	宝徳二年正月一日(1450/02/12(J))~永正五年正月廿日(1508/02/20(J))	集録期間に同じ	(現)奈良県奈良市	日記
統本朝通鑑	六月丙寅朔。丙子[十一]。諸国大地震。	林震峰(1618-1680)、林権洞(1643-1666)、林鳳岡(1645-1732)およびその門人	昌泰元年(898)正月(應和天皇在位期)~元和三年(1617)春(後醍醐天皇在位期)	寛文十年(1670)	(現)東京都	江戸幕府が編集した漢文編年体の歴史書
皇代記	(明応)同七年[午戌]六月十一日[子丙]・未就大地震。	不明	神代~慶長四年(1599)	不明	(現)三重県伊勢市	年代記
兼野年代記(兼野年代記古写)	(明応)戊午七〇六月十一日丙子日新宮大地震未ノ時ヤム	不明	神代~明和二年(1765)十二月	不明 宝暦十年(1760)春に和田春道行広により写筆、その後行広により加筆	(現)和歌山県新宮市	年代記
三州燦切巖松山常光寺年代記	(明応)七年[戊午]四月五日大地震已尅也。六月十一日申就大地震。	不明(常光寺の僧?)	神代~明治元年九月廿九日(1868/11/03(G))	不明	(現)愛知県田原市燦切町	年代記
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、同廿日大風大水	不明(宝光寺の僧?)	善徳元年(私年号:522年)~延宝六年四月四日(1678/05/24(G))	不明	(現)鹿児島県肝付郡錦江町田代	年代記
曆仁以来年代記	(明応)同七 六月十一日未時大地震。	不明	曆仁元年(1238)~永禄五年五月廿日(1562/06/21(J))	後柏原天皇在位期(1500-1526年)?その後、書き足された。	不明	年代記
高白齋記(甲陽日記)	明応七[戊午]年正月六日(武田)信虎公誕生、同六月十一日大地震、	不明	明応七年正月六日(1498/01/28(J))~天文二十二年十二月廿五日(1554/01/28(J))	不明、武田家のある役者担当者(あるいは駒井高白齋か)による「引付」を素材として作成された編纂物か?寛永二十年(1643)頃編纂?	(現)山梨県	年代記
長享年後畿内兵乱記	(明応)同七年六月十一日。大地震。	不明	長享元年九月十二日(1487/09/28(J))~永禄六年十一月十五日(1563/11/30(J))	不明	不明	年代記
巽本塔寺長帳	(明応)七年[戊午]六月十一日天下大地震	塔寺八幡宮の祠官田中俊光(生没不明)により成立、宝暦二年(1752年)頃の書写人は不明	天喜五年(1057)~享保二十年八月十五日(1735/10/01(G))	天正十九年(1591年)に田中俊光によって成立、宝暦2年(1752年)頃書写	(現)福島県会津坂下町	年代記
高代寺日記	(明応)七年[戊午]六月、諸国大震、大難冠ノ像破壊ス、自頭至足、大震ハ十一日ナリ	不明、下巻は「高代寺日記 塩川家臣日記」と題されている	〔上巻〕長保四年〔王貞〕(1002年)正月~治承元年(1177年)十二月、(下巻)明應五年〔丙辰〕(496年)正月~承応三年〔甲午〕八月十五日(1654/09/25(G))	不明	(現)兵庫県川西市	年代記
九州軍記	(明応)同七年戊午六月十一日卯ノ刻ヨリ九國ノ中大地震隙ナク震フ、巴ノ刻ニ至テハ天大ニ鳴渡リ地勢亦増ニ震フ . . .	鳥笑軒常念(大藤種治、?-1595)、草野入道玄厚(生没不明)、了園(生没不明)撰	正徳二年(1332)三月~天正十五年七月十四日(1587/08/17(G))	慶長十二年(1607)	(現)佐賀県唐津市	軍記物語

さらに、1498年6月30日の大地震の記述がある『九州軍記』を除いた史料16点(表3-10-⑥-1)の信頼性の検討を行った上で、この地震の震央がどこであるのかの検討を行った。その結果、京都における宮中・公家と奈良における僧侶によって執筆された日記史料以外は、作者あるいは編者不明である後世の編纂物であり(表3-10-⑥-1)、また、その史料が編纂された場所の記述と京都や鎌倉における出来事の記述が混在しているために、これらの史料に記述された大地震について、その発生時期の信頼性が著しく低い上に、これらの史料が執筆・編纂された場所において感じられたどうかの信頼性も著しく低いと結論された。したがって、1498年6月30日の大地震の震央の特定するために京都・奈良における日記史料以外の史料を用いることは避けるべきであると考えられる。しかしながら、図3-10-⑥-5は1923年1月1日～2016年12月31日の期間に京都で震度3以上の揺れをもたらした地震の震央分布(a)、同期間に奈良において震度3以上の揺れをもたらした地震の震央分布(b)であるが、京都と奈良の日記史料にこの地域における被害記述がないことから、この大地震の震央は京都・奈良の近辺でないことは確実であるが、京都・奈良の日記史料のみから、この大地震の震央がどこであるのかを特定することは困難であることが分かった。

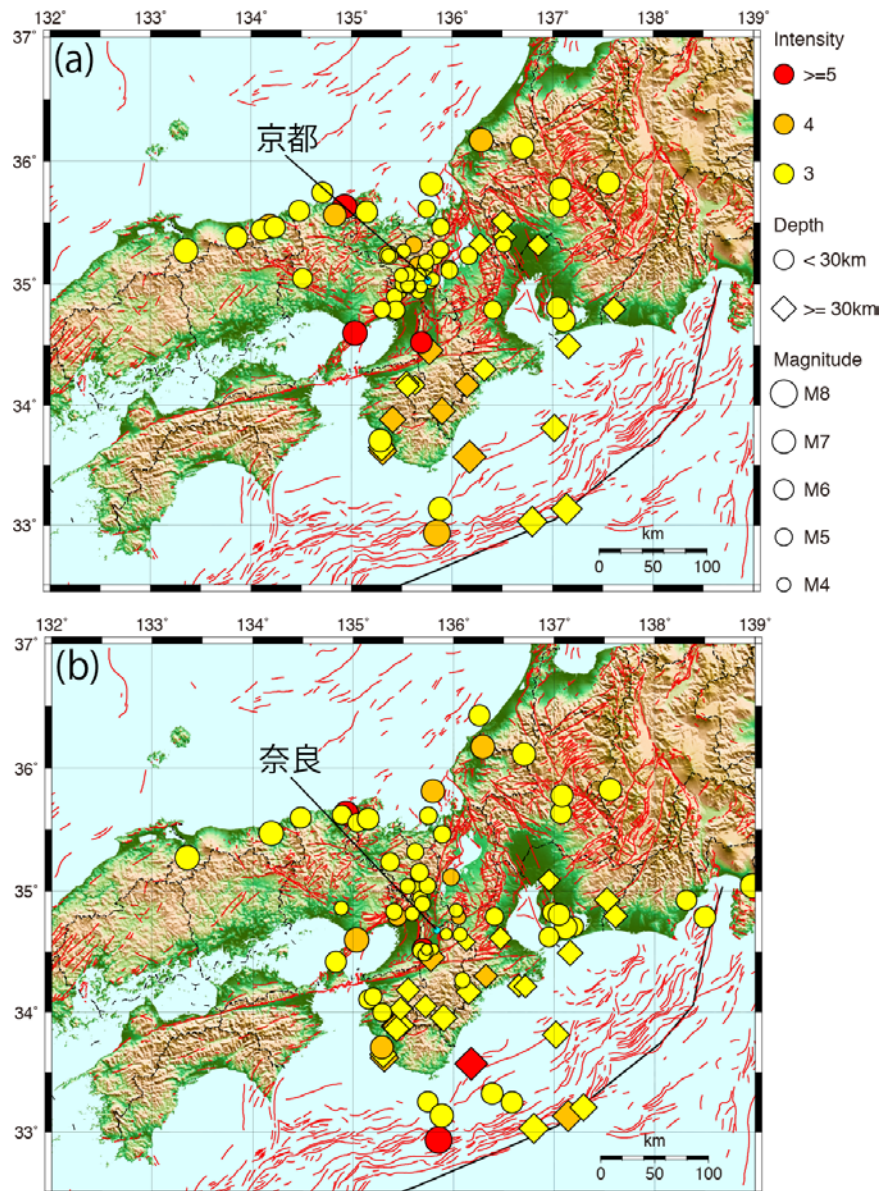


図 3-10-⑥-5 1923年1月1日～2016年12月31日の期間に京都で震度3以上の揺れをもたらした地震の震央分布(a)、同期間に奈良において震度3以上の揺れをもたらした地震の震央分布(b)。

4) 1707年宝永地震、1854年安政東海・安政南海地震、1944年東南海地震、1496年南海地震の震度分布の整理

1707年宝永地震、1854年安政東海・南海地震について震源域の広がりや震源像の明確化のために、既往研究成果としてこれらの地震の震度分布の収集を行い、これらのデータのデジタル・データベース化を行った。また、1944年東南海地震、1496年南海地震についても震度分布の収集と検討を行い、これらの震度分布と宝永地震・安政地震の震度分布との比較・検討のための基本データとして、あるいは震源モデル推定のためのデータとして蓄積した。1707年宝永地震、1854年安政東海・南海地震については、「萩原、1974」、「飯田、1979」、「宇佐美・大和探査技術、1994」、「宇佐美、2010」、

「松浦・他，2011」、「宇佐美・他，2013」による震度データを収集してデジタル・データ化した。また、1944年東南海地震、1496年南海地震については、「中央気象台，1951」、「中央気象台，1953」による震度に加えて、東京大学地震研究所で行われたアンケート調査の再解析により震度分布の推定を行った。図3-10-⑥-6にアンケート調査の再検討により推定された1944年東南海地震の震度分布を示すが、本研究の再検討により河角震度階（「河角，1943a」、「河角，1943b」）による震度階によるアンケート震度を旧気象庁震度階の震度に無理なく変換することができた。さらに、東南海地震・南海地震の直後に発生した1948年福井地震についても、南海トラフ沿いの巨大地震の復旧・復興期に起きた内陸地震が当時の社会に与える影響を知ることが次の南海トラフ地震防災に向け重要であるので、その震源モデルの解明に向けて、直後に行われたアンケート調査結果の再検討による震度推定を行った。

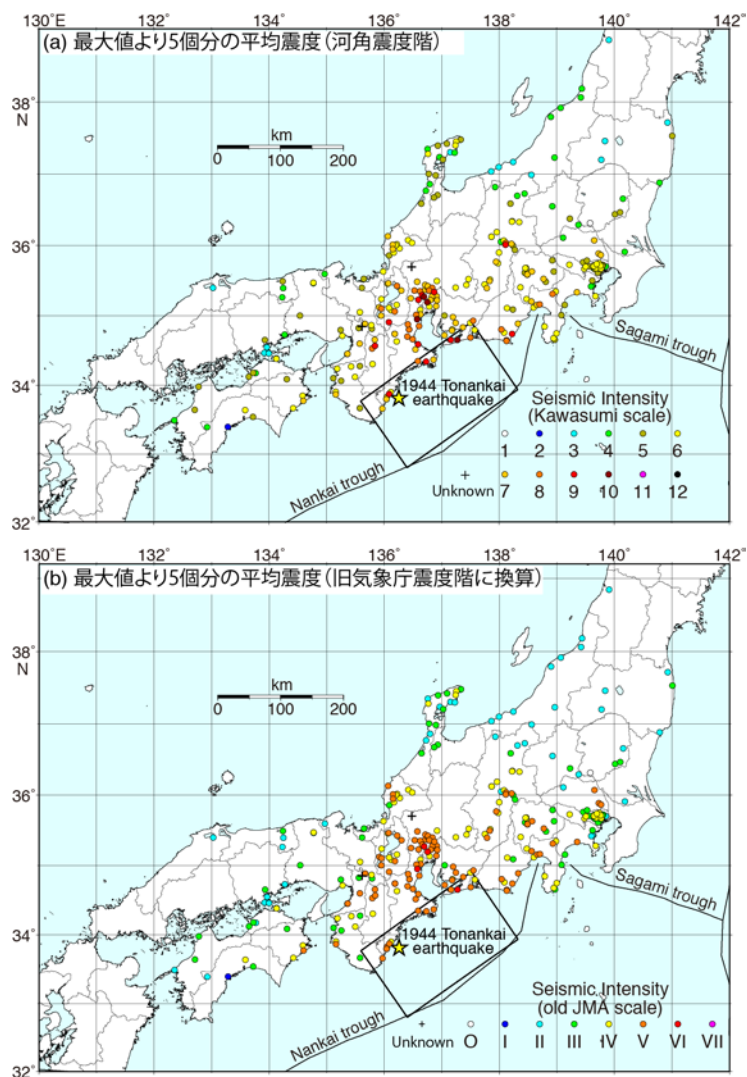


図3-10-⑥-6 地震直後に行われたアンケート調査結果の再検討により得られた1944年東南海地震の震度分布。(a)河角震度階（「河角，1943a」、「河角，1943b」）による震度分布。(b)旧気象庁震度階に変換した震度分布。

5) 熊野灘沿岸地域における 1854 年安政東海地震・1944 年東南海地震の津波高調査

昨年度に続き、1854 年安政東海地震と 1944 年東南海地震津波との津波波源域の比較を行うため、あるいは両地震津波の特徴の共通点と相違点を検討するために、熊野灘沿岸地域（三重県南伊勢町、大紀町、尾鷲市）における 1854 年安政東海地震と 1944 年東南海地震による津波高の調査と、史料調査による同地域における安政東海津波と昭和東南海津波による被害状況の復元を行った。

a) 文献史料調査

三重県立図書館において、三重県度会郡南伊勢町をはじめとした熊野灘沿岸地域に関する史料・資料を収集した。同時に現地・南伊勢町において 1854 年安政東海地震津波および 1944 年昭和東南海地震津波に関する史料調査を行った。棚橋竈区において当地区における宝永地震津波、および昭和東南海地震津波時の被害状況を記す史料を見つけ、複写収集した（写真 3-10-⑥-1）。両者未刊行であり、特に 1707 年宝永津波に関する史料は現地教育委員会も未見のものである。今後宝永津波に関する研究を進める上でも非常に貴重な史料であるといえる。また河内区の仙宮神社にて昭和東南海地震津波関連の史料を複写収集した。



写真 3-10-⑥-1 『棚橋竈の東南海津波記』

b) 津波高調査

三重県度会郡南伊勢町（旧南勢町および旧南島町）において、レーザー距離計を用い、安政東海地震津波および昭和東南海地震津波による津波高を測定した。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。

i) 安政東海地震津波の津波高

調査対象地である旧南島町河内区の仙宮神社では現・参道入口北部の空き地にあった宮司家元屋敷および大日堂が宝永・安政の二度にわたり流失したとする口伝が残されている。確実度は低いものの計 2 地点の津波高が得られた。

ii) 昭和東南海地震津波の津波高

三重県度会郡南伊勢町相賀浦区（旧南勢町）および棚橋竈区、古和浦区、栃木竈区、河内区、東宮区（以上、旧南島町）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。準拠としたのは、主に現地聞き取り調査による口碑である。昭和東南海地震発生から本年度まで 70 余年経過したが、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た。



写真 3-10-⑥-2 1944 年東南海地震津波の痕跡

以上の結果、五ヶ所湾相賀浦区（旧南勢町）において計 3 点、旧南島町地域において計 10 地点の津波高が得られた。うち 3 地点は遡上高である。特に河内区の仙宮神社では、明治 15 年（1882 年）築の社務所の雨戸に 1944 年被災時の浸水痕を確認し、確実な浸水高を断定することができた（写真 3-10-⑥-2）。

和浦区市街の浸水高は、ほぼ 3m 程度であったが、栃木竈区や棚橋竈区、河内区ではおおむね 4～5m 以上であった。これは五ヶ所湾周辺（旧南勢町）の 3m 程度と比べると高い数値である。今後さらに測定地点を増やし、南伊勢町全体における津波高分布をまとめる予定である。

c) 各村落の津波被害の分布状態の整理と検討

三重県旧南勢町（現・三重県度会郡南伊勢町東部地域）に関して、安政東海地震津波（1854）における被害規模を、文献史料を元にして、村落ごとに各種津波被害の分布状態を従来研究との対比も含めて整理・検討した（「鳴橋・他，2016」）。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。本論では旧南勢町五ヶ所湾地域における 1854 年安政東海地震津波による被害規模と分布を調べるため、4つの未刊行史料を含む合計 16 の史料を収集した。近代以前の地方社会における筆記史料ということもあり、各史料の数値にばらつきがあるため、なるべく正確な数値を

選別するための基準を最初に設けた。次いでそれに則って選別した3点の史料を元に具体的な被害数値をまとめた。特に基準とした『南嶋津浪被害覚』は新出の史料である。得られた五ヶ所湾地域における被害状況とその分布に関してまとめる。

i) 人的被害は湾最奥部の神津佐および東岸湾口部の田曾浦が各3人で最大であった。これは従来の報告よりも多い結果となった。湾最奥部の五ヶ所浦、東岸湾口部の宿浦が各1人でこれに続く。牛馬は分布に偏りがあるため一概には言えないが、湾奥部の死亡数が多い。

ii) 流失率・全潰率は湾最奥部の五ヶ所浦、神津佐村で最大となった。東岸湾奥部の下津浦でも流失率・全潰率が比較的高い。死者数同様、東岸湾口部の宿浦、田曾浦でも全壊率が比較的高い。田曾浦の流失数は五ヶ所浦、神津佐村に次ぐ8軒であった。

iii) 主屋の浸水率は、湾中央の海底谷地形に沿った、沿岸部にある田曾浦、礫浦、中津浜浦、木谷等が高い。特に前3地点は全集落が潮入した。

(c) 結論ならびに今後の課題

強震動・長周期地震動シミュレーションと予測の高度化に向け、差分法計算コードにメモリ変数を用いた広帯域 Q 値一定のモデルを導入した。その結果、従来の Q 値の周波数依存を持つ簡便なモデルを用いた計算と比較して、広帯域の地震動計算及び、 Q_p と Q_s を区別したシミュレーションが可能となり、南海トラフ地震の強震動・長周期地震動評価のためのシミュレーション環境が整った。

南海トラフ巨大地震の震源モデルの多様性・不確定性が強震動・長周期地震動評価のバラツキに与える影響を評価した。震源（破壊開始点）と断層破壊による Directivity 効果による地震波の強い放射方位性が起きるが、実際には断層破壊に不均質性が存在すると考えられ、長周期地震動の破壊伝播のシナリオ毎の違いは大きくならない（1.5 倍程度）と考えられる。逆に、一様破壊を考える単純な震源モデルでは、破壊伝播のシナリオごとの長周期地震動の変動幅を過大評価する心配がある。このほかにも、地下構造の不均質性によっても Directivity 効果の変動が期待できる。

現在、シミュレーションに用いられる地下構造モデルでは、現実の不均質地下構造に比べて不均質性が過小評価されている。長周期地震動の正しい評価と強震動予測のバラツキ評価には、地下構造探査に基づく詳細な地下構造モデルの推定必要であるが、これに加えて探査から推定することのできない微細なスケールの不均質構造は、たとえば地震波の散乱・減衰特性や地質情報に基づいて、統計的に“揺らぎ”として付与するような手法について検討が必要である。また、断層破壊速度の揺らぎのスケールについても、地下構造の不均質性のスケールと同時に検討する必要がある。

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（1498 年 7 月 9 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（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。『九州軍記』における被害記述はこの軍記物語を盛り上げるための創作であることがほぼ確実である

と結論され、この日に日向灘の大地震あるいは明応南海地震は発生していないと考えられる。さらに、1498年6月30日の大地震の記述がある史料16点の信頼性の検討を行った上で、この地震の震央がどこであるのかの検討を行ったが、この大地震の震央は京都・奈良の近辺でないことは確実であるが、京都・奈良の日記史料のみから、この大地震の震央がどこであるのかを特定することは困難であることが分かった。したがって、今後、歴史地震について信頼性の高い史料のみからどれだけの情報が引き出せるのかによってランク分けする必要があると考えられる。

1707年宝永地震、1854年安政東海・南海地震について震度分布の収集を行い、これらのデジタル・データベース化を行った。また、1944年東南海地震、1496年南海地震についても震度分布の収集と検討を行い、これらの震度分布と宝永地震・安政地震の震度分布との比較・検討のための基本データとして、あるいは震源モデル推定のためのデータとして蓄積した。今後、これらのデータについて比較・検討を行い、同じ地震に関する震度データの統合を行う予定である。

熊野灘沿岸地域における1854年安政東海地震と1944年東南海地震による津波高調査と、史料調査による同地域における安政東海津波と昭和東南海津波による被害状況の復元を行った。今後、さらに調査範囲を広げ、熊野灘沿岸地域全体における津波高分布の測定と被災状況を復元していく。今年度では聞き取りのみで津波高の測定ができなかった複数地域の観測点において、来年度は津波高の測定を行うことを予定している。

(d) 引用文献

中央气象台, 地震観測表 7 日 13 時 35 分ごろの熊野灘 (東南海大地震) の地震 [頭], 気象要覧 昭和 19 年 12 月, 544, 40-45, 1951.

中央气象台, 地震観測表 21 日 04 時 19 分ごろの南海道地震 [頭], 気象要覧 昭和 21 年 12 月, 568, 40-43, 1953.

Graves, R. W., Simulating seismic wave propagation in 3D elastic media using staggered-grid finite differences, Bull. Seism. Soc. Am. 86, 1091-1106, 1996.

萩原尊礼, 1854 年の安政南海地震および 1707 年の宝永地震の震度分布について, 連絡会報, 12, 143-145, 1974.

飯田汲事, 明応地震・天正地震・宝永地震・安政地震の震害と震度分布, 愛知県防災会議地震部会, 52-67, 1979.

河角廣, 1943a, 震度と震度階, 地震 I, 15, 6-12.

河角廣, 1943b, 震度と震度階 (続き), 地震 I, 15, 187-192.

松浦律子・中村操・唐鎌郁夫, 1707 年宝永地震の新地震像 (速報), 歴史地震, 26, 89-90, 2011.

Moczo, P. J., O. A. Robertsson, and L. Eisner, The finite-difference time-domain method for modeling of seismic wave propagation, in Advances in Wave Propagation in Heterogeneous Earth, 421-516, 2007.

行谷祐一・都司嘉宣, 宝永 (1707)・安政東海 (1854) 地震津波の三重県における詳細津波浸水高分布, 歴史地震, 20, 33-56, 2005.

鳴橋竜太郎・佐竹健治・原田智也, 安政東海地震津波(1854年)における三重県五ヶ所湾地域の被害状況, 地震研究所彙報, 91, 11-22, 2016.

佐藤春夫, リソスフェアにおける地震波の散乱と減衰—ランダムな不均質構造による一次散乱理論—, 国立防災科学技術センター研究報告, 33, 101-186, 1984.

宇佐美龍夫・大和探査技術株式会社, わが国の歴史地震の震度分布・等震度線図, 日本電気協会, 647, 1994.

宇佐美龍夫, わが国の歴史地震の震度分布・等震度線図(改訂版), 日本電気協会, 726, 2010.

宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子, 日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会, 694, 2013.

⑦和歌山県沿岸における安政東海・南海地震の津波痕跡高の再評価

(a) 業務の要約

和歌山県沿岸は、一連の南海トラフ巨大地震により大きな津波被害を受けてきた。当該地域における南海トラフ巨大地震による津波高については、「羽鳥, 1980」、「羽鳥・他, 1983」、「都司・岩崎, 1996」により現地調査が実施されている。一方で、和歌山県はこれまでより津波碑の重要性を認識し、津波災害を忘れないための事業を継続して行ってきた。その中で、災害史料の収集および解釈についても精力的に実施しており、多くの成果を得ている状況にある（「和歌山県立博物館, 2015」、「和歌山県立博物館, 2016」）本業務では、既往研究では取り上げられていなかった地震史料や最近に発掘された史料に基づいて安政南海地震津波の痕跡調査を実施し、その調査結果を報告することを目的とする。

(b) 業務の成果

1) 調査方法

本調査では、『新収日本地震史料第五巻別巻五ノ二』「東京大学地震研究所, 1987」、『新収日本地震史料補遺別巻』「東京大学地震研究所, 1989」、『新収日本地震史料続補遺別巻』「東京大学地震研究所, 1994」、『日本の歴史地震史料拾遺四ノ上』「宇佐美, 2008」、『日本の歴史地震史料拾遺五ノ下』「宇佐美, 2012」、『続熊野の史料』「浜畑, 1977」、『由良町誌』「由良町誌編集委員会, 1985」の中から、和歌山県沿岸の津波被害やその到達に関する記述に基づき実施した。一連の南海トラフ巨大地震による和歌山県沿岸の津波痕跡に関する先行研究において、御坊、田辺、白浜などでは多くの津波痕跡高が評価されている。本研究では、先行研究で津波痕跡高が評価されていない地域や新史料によりさらに詳細に津波痕跡を評価できる見込みのある地点を重点的に調査した。具体的には太地町、串本町古座地区、同町有田地区、由良町である。

なお、これまでに発行されてきた地震史料集に編纂されていない新史料としては、串本の郷土史研究家上野一夫氏ご提供の有田浦の津波被害を記した『大地震通浪記録』である。

津波痕跡の測量方法としては、その該当地点の位置情報と標高を計測した。計測方

法としては、該地点において、VRS-GNSS 計測 (Ashtech 社製 Promark100、Leica Geosystems 社製 GS10) による位置情報と標高 (T.P.基準) を取得した。市街地や丘陵地など開空率が低く VRS-GNSS 計測が難しかった場合には適切な地点に機器を設置し、評価対象地点までをレーザー測距機 (Pentax 社製 V-460C、Laser Technology 社製 Impulse 200) を用いたオフセット計測 (写真 3-10-⑦-1)、あるいは国土地理院による 5 mDEM から標高を読み取った。津波痕跡高は、この標高値と史料に記されている被害状況や浸水深を考慮することにより推定した。



写真 3-10-⑦-1 測量風景 (念興寺 W34)

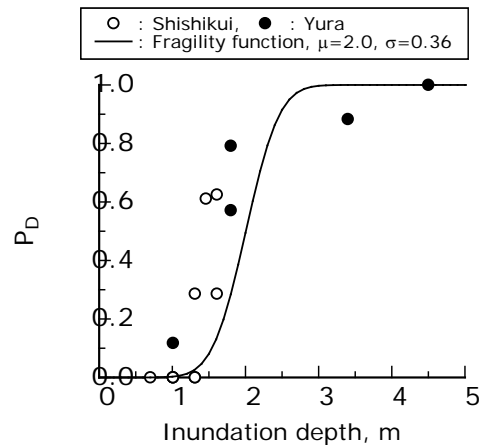


図 3-10-⑦-1 江戸後期木造家屋の津波流失被害関数の一例

既往研究 (例えば、「Hatori, 1964」、「首藤, 1992」、「飯塚・松富, 2000」、「越村・他, 2009」) により、津波浸水深などの津波外力と建物被害状況の関係が言及されてきた。「行谷・今井, 2015」は歴史時代の津波において、家屋被害率からその地域の津波浸水深について、被害関数から評価できる可能性について検討を行った。本稿では、1854 年安政南海地震津波における和歌山県由良浦および徳島県宍喰浦に残された津波被害絵図から読み取った家屋流失率に基づいた被害関数「今井・行谷, 2016」を利用した。図 3-10-⑦-1 の被害関数は正規分布に基づいており、 P_D は流失被害割合、 μ および σ は外力 (津波浸水深) の平均値と標準偏差を示している。各史料の中で津波到達点を明確にすることができなくとも、家屋流失割合とこの被害関数を利用することで、津波浸水深 D を与えることが可能となる。浸水域内において全ての家屋流失が生じた場合は

$D > 3.0$ m、半分以上の家屋、あるいは大部分の家屋流失被害が生じた場合は $D=2.5 \pm 0.5$ m、半分以上の家屋流失被害の場合であれば、 $D=1.5 \pm 0.5$ m、浸水のみで家屋流失無しの場合は $D < 1.0$ m とした。

ii) 調査結果

本調査では和歌山県沿岸のうち、既報研究（「羽鳥，1980」、「都司・岩崎，1996」）において詳細な調査が実施されていない太地町、古座町および串本町有田、由良町において実施した。

図3-10-⑦-2に太地における津波痕跡高分布を示す。以降、図中の括弧は津波痕跡分類を示し、Iは浸水高、Rは遡上高、Tは津波振幅を示す。『古座地方年代誌』（「東京大学地震研究所，1987」の p.1579）によると、“太地水の浦家流れる”とある。また、『熊野太地浦捕鯨史』（「東京大学地震研究所，1994」の p.735）では、“大納屋（村内向島ニアル捕鯨機械置場予備船数隻備付）又激水漲り、漁具ハ破損亡失シ…”とある。現地で水浦集落の場所についてヒヤリングを行ったところ、現在の太地町太地周辺であることがわかった。この地域で家が流れたどの程度流出被害が生じたかは不明であるが、少なくとも流出被害が生じているため、 $D=1.5 \pm 0.5$ m として津波浸水高を 4.1 ± 0.5 m (W4) とした。

向島は太地町漁協の対岸に位置する。太地町役場や中心市街地は埋め立て地であり、現在は陸続きになっているが、安政南海地震の頃は水浦集落に向かい合うように島があり、ここに捕鯨場があった。現地でのヒヤリングによると、史料にある大納屋の場所は不明であるが、捕鯨場の位置を特定することができた（写真3-10-⑦-2）。この場所でも漁具破損亡失とあるため、 $D=1.5 \pm 0.5$ m として津波浸水高を 3.8 ± 0.5 m (W5) とした。なお、この津波高を数値解析で再現する場合には、埋め立て地の地形復元が必要になるため、注意を要する。



図3-10-⑦-2 太地における津波痕跡高分布 写真3-10-⑦-2 捕鯨場跡地 (W5)

図3-10-⑦-3に古座における津波痕跡高分布を示す。古座においては、『古座切目屋日記』（「浜畑，1977」の p.870~878）と『紀州小山家文書』（「宇佐美，2012」の p.1294

～1296) に津波被害の記載がある。「都司・岩崎, 1996」は『古座切目屋日記』と同様の記述内容から津波痕跡高を評価しているが、串本の郷土史研究家上野一夫氏のご協力の下、史料記載の地名位置を明らかにすることができたため、ここに報告する。

『古座切目屋日記』(「浜畑, 1977」の p.203～208)によると、安政東海地震津波時に古座川左岸の古座集落の海岸近くの石垣において“下地石垣一ぱいの浪に候”の津波だったようである。この石垣の現在位置は写真3-10-⑦-3の状況となっている。この標高は4.6 m (W9-1)であった。石垣一ぱいであるから、この高さが津波高となる。



図 3-10-⑦-3 古座における津波痕跡高分布 写真 3-10-⑦-3 下地石垣の位置 (W9-1)

この地震からおおよそ 30 時間後に発生した安政南海地震津波により、古座では大きな被害を受けている。同史料によると、“汐嵩二丈五尺許りの高さにて打ち入り…” (W9-2)、“この浪一つにて鯨場より下へ家廿軒上り候。五十軒は一つの浪にて流出いたし…”、“家流れ留まり候は、下地広小路より上ヶ二三軒目…”、“町筋は札場迄潰れ家、流れ物杯にて山の如く打ち寄せ…”とある。現況においても、鯨場から広小路までは 50 棟程度であるため、鯨場から広小路までは 2～3 軒残してすべて流出したと見なすことができる。鯨場での浸水深を $D=2.5\pm0.5$ m とすると、ここでの津波浸水高は 7.1 ± 0.5 m (W10) となり、“汐嵩二丈五尺許りの高さにて打ち入り…”と調和的といえる。札場 (W11) や広小路 (W12) では、家屋流出が留まったが漂流物により埋め尽くされたとの記述から、これらでの浸水深は $D < 1.0$ m が妥当であろう。

古座川右岸の西向における小山家においては“当家へハ浪際ヨリ式間程も間有之”であったようである (『紀州小山家文書』)。津波先端が小山家屋敷から 3.6 m 程度まで迫った訳である。上野氏の協力により、小山家の門前跡地を特定することができた。ここでの津波痕跡高は、小山家門前跡地前の地盤高を津波遡上高 (W8) と判断した (写真 3-10-⑦-4)。



写真 3-10-⑦-4 小山家屋敷の門前付近 (W8)

『紀州小山家文書』には、串本周辺の津波被害に関する記述もあり、串本町伊串や姫では“無被害”、橋杭では“大半流出”という状況であった。よって、伊串や姫においては、沿岸の低い地盤高を越えない程度の津波高とした。橋杭においては集落前面の地盤高に浸水深 $D=2.5 \pm 0.5 \text{ m}$ を加え、津波浸水高 $5.0 \pm 0.5 \text{ m}$ とした (W15)。

図 3-10-⑦-4 に有田における津波痕跡高分布を示す。有田浦での津波被害については、二つの新史料(『大地震通浪記録』、『地震津浪乃記』)に基づいた詳細な検討がなされている「砂川・前田, 2016」。

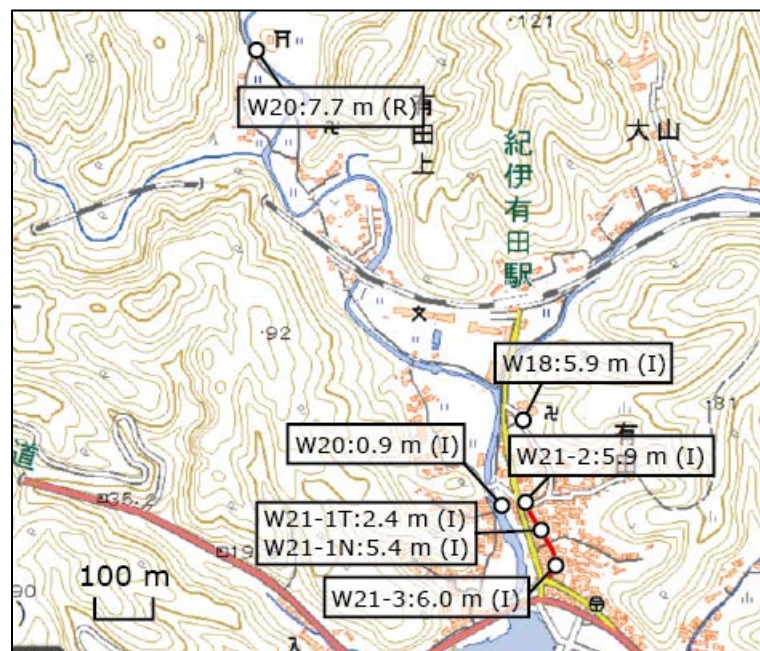


図 3-10-⑦-4 有田における津波痕跡高分布

これら史料において、安政東海地震では津波は海岸沿いの街道付近まで到達した程度で家屋の被害は皆無であったが、川ばた木場の材木・丸太等が流れて散乱したとある。ヒヤリングから、当該浦の旧街道は図 3-10-⑦-3 の赤実線の位置であり、現街道の交

差点にかつて製材所があったという。また、この付近の河川敷に材木・丸太を貯木していたと考えられる。以上から、東海地震の津波高としては、この河川敷地盤高から旧街道の一番低い地盤高の範囲とし、0.9～2.4 m とする (W20 と W21-1T)

安政南海地震では大きな揺れの後に津波が来襲し多くの家屋流出が生じたことや、有田神社付近まで津波が遡上したことが記されている。ここでは、有田神社横に流れる有田川の河床地盤高を津波遡上高とし、7.7 m (W22) とする。

『有田浦庄屋地震津浪の記』(「東京大学地震研究所, 1994」の p.738～743) には、“正覚寺等ハ残り其外皆流れ出しといふ…”、“正覚寺の石ダン三ツ四ツ残る” とある (写真 3-10-⑦-5)。この記述通りに計測を行うと、正覚寺前の道路の標高は 3.84 m、道路面から石段上から 4 段目の高低差は 2.1 m であるため、津波浸水高は 5.9 m である (W19)。

有田浦集落の中心を通る街通りの地盤高は、2.4～3.0 m であった (写真 3-10-⑦-6)。皆流失として浸水深 3 m を加えると津波浸水高は 5.4～6 m 程度 (W21-1N、W21-2 と W21-3) となり、正覚寺や有田神社の津波高と調和的といえる。なお、この寺院では 1707 年宝永地震、1946 年昭和南海地震時も津波が到達しており、宝永地震では正覚寺屋敷一杯まで、昭和南海地震は階段 2 段目までだという。これらを計測すると、宝永地震では 7.4 m (正覚寺屋敷一杯) の津波浸水高 (W18)、昭和南海地震では 4.1 m (正覚寺前の石段下から 2 段目まで潮上がる) の浸水津波高であった (W17)。

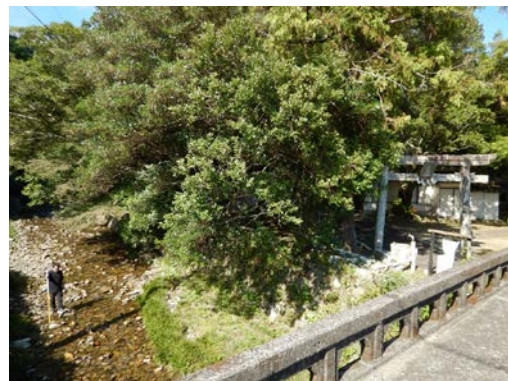


写真 3-10-⑦-5 正覚寺の石段 (W18) 写真 3-10-⑦-6 有田神社横に流れる有田川 (W21)

図 3-10-⑦-5 に由良における津波痕跡高分布を示す。当該集落の津波被害状況については、『坂口俊夫家文書』(「由良町誌編集委員会, 1985」の p. 870～878) に詳しい。この史料には由良浦の津波被害に関する絵図が残されており、津波の様相についても詳細に記載されている。以下に記載内容とその解釈を行う。なお、史料記載の各地点については、由良の郷土史研究家小出潔氏のご協力により特定することができた。



図 3-10-⑦-5 由良における津波痕跡高分布

由良集落沿岸の網代における津波被害状況を記す内容として、“念興寺残る但し寺地へ浪少シ入る”とある。念興寺は今も現存しており、その地盤高を計測することにより、浸水高として 5.0 m を得た (W35、写真 3-10-⑦-1)。また、“網代浦御制札有場但し諸荷物水揚場也二丈五尺”の記述について、御制札有場の近くに白真の木が生えており、この木が標尺代わりとなったという。この白真の木は現存しており(写真 3-10-⑦-7)、この地盤高に二丈五尺を加えることで、津波浸水高 9.3 m とした (W34)。

次に、“横浜ヒクキ所ハ浪ノ高サ一丈五尺”の記述について検討する。横浜筋は由良集落における南北を通す道筋であり、図 3-10-⑦-5 における赤実線で示す道筋であることが判った。この道沿いの標高を 100 m 間隔で計測し、この中の一番低い場所を該当地点と判断した。一丈五尺の浸水深を加え、ここでの津波浸水高は 6.3 m となった (W32)。

“同御タビ所当リハ六七尺位イ”について、こちらについても場所を特定することができ、この地盤高に六七尺位の浸水深を加えることで、浸水高 5.1~5.4m を得た (W31)。

“光専寺本堂六尺”とあり、本寺院も当該集落に現存している。この寺院敷地の地盤高を計測し、この地盤高に浸水深六尺を加えることで、浸水高 5.5 m を得た (W30)。

当該集落の陸側には宇佐八幡神社が鎮座している。この神社についても津波被害に関する記載があり、“御宮近辺ハ三尺位イ同所石段六段迄浪来ル”とある。八幡神社敷地の地盤高に階段 6 段分(≒三尺)の高低差(浸水深と解釈もできる)を加えることで、浸水高 5.1 m を得た (W33、写真 3-10-⑦-8)。



写真 3-10-⑦-7 白真の木 (W32) <左写真>

写真 3-10-⑦-8 宇佐八幡神社 (W31) <右写真>

iii) 津波高分布

図 3-10-⑦-6 に和歌山県沿岸における安政東海・南海地震津波の痕跡高分布を示す。概略ではあるが、「羽鳥, 1980」による津波痕跡高よりも、「都司・岩崎, 1996」や本研究による津波高の方が高く評価されている傾向にあることがわかる。

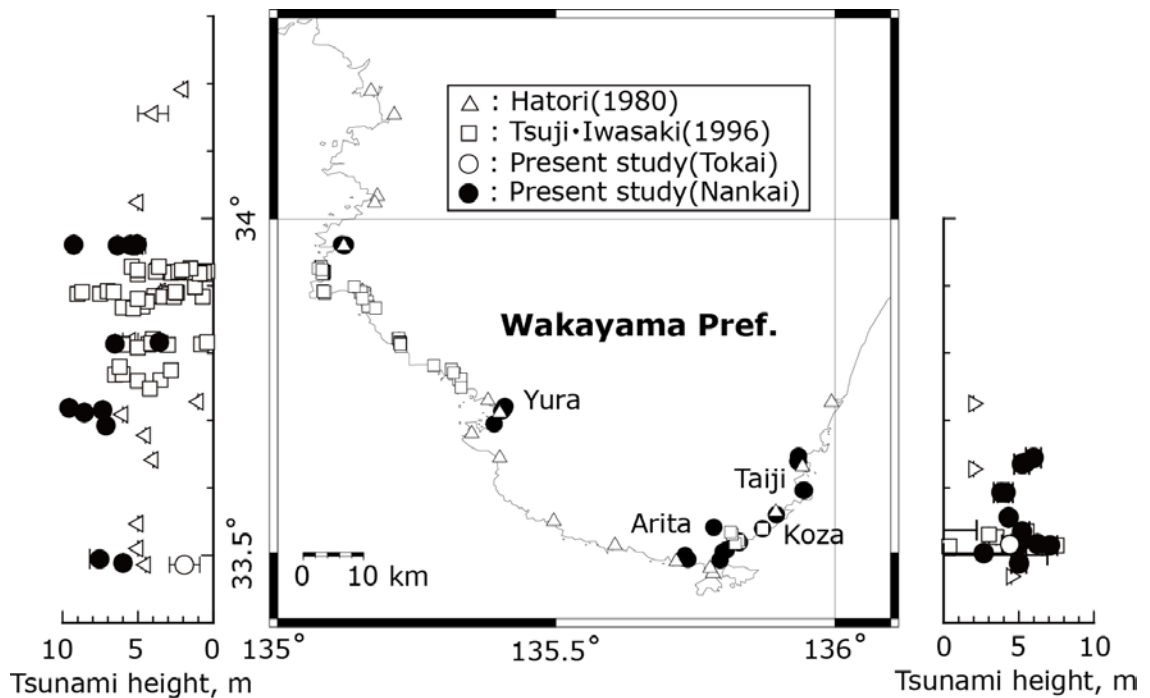


図 3-10-⑦-6 和歌山県沿岸における安政東海・南海地震津波の痕跡高分布

(c) 結論ならびに今後の課題

既往研究では取り上げられていなかった地震史料や最近に発掘された史料に基づいて安政南海地震津波の痕跡調査を実施した。その結果、和歌山県沿岸のうち、既報研究（「羽鳥, 1980」、「都司・岩崎, 1996」）において詳細な調査が実施されていない太地町、

古座町および串本町有田、由良町における津波高を高精度で得ることができた。

今後は、これらの津波痕跡高を用いて安政東海・南海地震の波源再評価を行う必要がある。さらに、沿岸湖沼における津波堆積物分布を用いて、波源規模の妥当性について検討する必要がある。本研究を遂行するにあたり、串本町郷土史研究家の上野一夫氏、由良町郷土史研究家の小出潔氏に史料解釈助言や記載地点特定に多大なる助力を頂きました。図の作成にあたっては国土地理院による地理院地図（電子国土 Web）を利用しました。

(d) 引用文献

浜畑栄造，続熊野の史料，浜畑栄造，235 pp，1977.

Hatori, T., A Study of the Damage to Houses due to a Tsunami, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 42, 181-191, 1964.

羽鳥徳太郎，大阪府・和歌山県沿岸における宝永・安政南海道津波の調査，東京大学地震研究所彙報，55，505-535，1980.

羽鳥徳太郎・相田勇・坂下至功・日比谷紀之，和歌山県湯浅・広に遡上した南海道津波の調査—1946年南海道および宝永・安政津波について，東京大学地震研究所彙報，58，187-206，1983.

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，47，381-385，2000.

今井健太郎，行谷佑一，和歌山県由良および徳島県穴喰の事例に基づいた江戸後期の家屋流出被害関数に関する検討，2016年度地震学会秋期大会予稿集，S10-05, 2016.

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，65，4，320-331，2009.

行谷佑一，今井健太郎，津波被害関数を利用した過去の津波高さの推定，日本リスク研究学会誌，25(2)，61-67，2015.

砂川佳子，前田正明，有田浦を襲った安政の地震と津波，歴史から学ぶ防災 2015 -災害の記憶を未来に伝える- 発表資料集，和歌山県立博物館施設活性化事業実行委員会，12-15，2016.

首藤伸夫，津波強度と被害，東北大学津波工学研究報告，9，101-136，1992.

東京大学地震研究所，新収日本地震史料第五巻別巻五ノ二，東京大学地震研究所，1090 (p.1439-2528)，1987.

東京大学地震研究所，新収日本地震史料補遺別巻，日本電気協会，992，1989.

東京大学地震研究所，新収日本地震史料続補遺別巻，日本電気協会，1228，1994.

都司嘉宣，岩崎伸一，和歌山沿岸の安政南海津波(1854)について，歴史地震，12，169-187，1996.

宇佐美龍夫，日本の歴史地震史料拾遺四ノ上，宇佐美龍夫編，1132，2008.

宇佐美龍夫，日本の歴史地震史料拾遺五ノ下，宇佐美龍夫編，901 (p.626-1526)，2012.

和歌山県立博物館，先人たちが残してくれた「災害の記憶」を未来に伝える I，和歌山県立博物館施設活性化事業実行委員会，16，2015.

和歌山県立博物館，先人たちが残してくれた「災害の記憶」を未来に伝える II，和歌

山県立博物館施設活性化事業実行委員会，16，2016.

由良町誌編集委員会（編），由良町誌，1095，1985.

(3) 平成 29 年度業務計画案

南西諸島海溝から南海トラフまでの3次元プレートモデルを整備して日本列島広域構造モデルを完成させ、プレート境界での歪みの蓄積状態に基づき、巨大地震の震源モデルを構築する。また、本地域での海・陸地殻変動観測データからプレート固着状態の知見を得て、強震動・津波・地殻変動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。安政東海・南海地震、昭和東南海・南海地震を対象に津波高・浸水範囲、地殻変動、震度・被害等の史料調査を進め、他課題の成果を取り入れて、過去の南海トラフ地震の震源像と地震発生シナリオを改訂する。粘弾性を考慮した広域構造モデルでの地殻変動解析・データ同化手法の開発を平成28年度に継続して進める。

4. 全体成果概要

平成 28 年度は「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の 4 年度目として、平成 27 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「東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」の構築・利活用と、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」の構築を進めている。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して開発した「震災教訓文献データベース」と「3.11からの学びデータベース」の改良を行い、モニターを対象にしたユーザー利用評価調査によって概ね良好な結果が得られたとともに、「動画でふりかえる 3.11－東日本大震災公開動画ファイナダー」を公開し、全国から多数の利用実績が得られた。
- ②引き続き、海溝軸周辺の構造探査データを収集し、特に東北沖南部の情報を付与した。その結果、岩手県南部沖や福島県北部域では相対的に薄い堆積層厚が分布していることがわかった。
- ③東日本大震災被災地に設置されている定点カメラの場所の解体により、カメラを新たな場所に移設した。また、阪神淡路大震災の長田区のモニタリングカメラをウェブサイトに取り込み、各地域の復興プロセスをウェブ上で公開しつつ、「復興モニタリングシステム」の管理・改良・運用を行った。
- ④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できるように、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完了した。
- ⑤東日本大震災における建造物の被害状況として過年度で取り上げた 1) ライフライン、2) 建築建造物および 3) 地盤・土建造物について、新たに判明した事項や被害低減・抑止対策に関する事項などを抽出・整理した。
- ⑥東北地方太平洋沖地震において関東平野の長周期地震動レベルがかった原因として、関東平野の堆積層構造の不均質性と地震波入射の方位性だけでなく、東北～関東平野への伝播経路での表面波の伝播特性の大きく関係している可能性を明らかにした。

(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に対して、津波の流入－排水－湛水の一連の過程を数値計算によりシミュレートした。その結果、モデル地域において地震発生後 72 時間たっても陸地に海水が留まる可能性を示唆した。
- ②グリーン関数の相反性を利用した長周期地震動の計算法を発展させ、グリーン関数をデータベース化して、任意の震源と観測点について地震動を作成する Web システムを構築した。
- ③盛土造成斜面の共振、すなわち固有振動数と入力振動数の関係に着目した 1G 場振動台模型実験を実施し、盛土造成斜面の地震時安定性が、単に入力加速度の大きさで決まるのではなく、盛土造成斜面の固有振動数と入力振動数の関係に強く依存することを明らかにした。
- ④大規模地震災害時に特に影響の大きい重要構造物である超高層建物と庁舎建物について、超高層建物については、特に室内耐震対策を促進する振動可視化による啓発ツールの開発を、庁舎建物については 2016 年熊本地震の記録を用いた低層 RC 造庁舎建物の地震時挙動の分析を行った。また、東海地域の被害予測・被災時対応に向けて、2016 年 4 月 1 日に発生した三重県南東沖地震の観測記録の収集・分析を行った。
- ⑤南海トラフ巨大地震によるライフライン被害が社会に及ぼす影響評価を目的として、電力については熊本地震の事例調査と西三河防災減災連携研究会における被災後の電力復旧のための道路確保に関するワークショップを実施した。また、上水道については、仮想評価法 (CVM) を用いて、南海トラフ巨大地震時の生活用水の減断水による影響評価を試みた。
- ⑥現在～将来における南海トラフの確率論的地震・津波ハザード情報や人口・建物モデルを用いた広域リスク評価を踏まえ、耐震補強や堤防嵩上げ等の防災対策を実施した場合の費用対効果の評価手法を検討し、ケーススタディとして防災対策を実施した場合のリスク量の変化や費用対効果を示した。
- ⑦都市災害については、開発した「大都市複合災害時避難シミュレーション」を更に広範囲に拡張して検討を行い、帰宅困難者の一斉帰宅が地域の避難行動に与える影響が、それぞれの地域によって大きく異なることを明らかにした。経済被害については、全国を 207 地域に分割した「生活圏」をモデル化し、逐次均衡型動学応用一般均衡モデルを用いて南海トラフ巨大地震の経済被害額を暫定的に試算した。その結果、南海トラフ巨大地震により日本の年間実質 GDP は、最悪の場合、年間約 76.5 兆円減少することが示された。

(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、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、地域研究会と平行して分科会も行い、各県危機管理部門の関係者に出席いただき、情報交換や議論を行った。プロジェクト側研究者や自治体等の取り組みの現状の報告や東日本大震災を経験した企業からの話題等から議論を行い、課題やニーズの抽出を行った。

- ②府省庁連携の調査・検討として、今年度は、府省庁連携について引き続き調査を継続し、防災・減災対策に向けた府省庁間と自治体等との情報共有の検討を行い、前半4年間の中間とりまとめを行った。
- ③啓発活動として、12月に一般向けシンポジウムを和歌山県田辺市で開催した。11月には一般向け、2月は高校生を対象とした対話型イベントを高知市で開催した。

(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・淡路大震災の被災地域とその周辺地域を対象とし、都市部での人口構造評価指数と、クラスター分析による地域特性の検証と、災害が地域へ及ぼす影響を指標の推移について、被災が大きかった地域とその他の地域を比較し、「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関西地方における事前復興計画の策定では、和歌山県由良町衣奈地区を対象に、地域における記憶の継承の提案に関する取り組みを行った。
- 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地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針の策定とその検証について、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」を市町の都市計画に適用する際の課題や方法を検証するための基礎的分析を行った。

(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」の利用検証を各地で行った。利用者ニーズを反映し改善されたベータ版（Ver.1）の公開と試験的な運用を開始した。研究成果データ公開や各種利活用システムの連携が可能となるよう各関係機関と調整を行った。メタデータの仕様について再検討し、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。防災啓発などに有効な、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DONET2のデータを導入した。その上で、震源決定した結果を用いて統計情報を求め、Webに出力できるよう画像を作成するシステムを構築した。
- 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沼津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ならびに避難所運営訓練の支援を行った。

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・物性の決定を実施した。
- ②四国東部における稠密地震観測点データの解析により、深部低周波地震の高精度検出に着手するとともに、四国西部における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を行い、地下構造の概略モデルを構築した。

(b) 海陸津波履歴研究

- ①南部沖縄八重山前弧域のピストンコア試料と表層堆積物試料の年代測定を実施し、挟在するタービダイトの堆積間隔が400～1000年であることを明らかにした。
- ②高知県東洋町・南国市・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、イベント砂層を検出した。その年代や堆積速度などを解析した結果、南国市では約6000～2500年前の間に津波の可能性のある遡上流が少なくとも4回生じたことが明らかになった。
- ③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、過去約3000年間に少なくとも5回の沈水イベントが示唆され、地震による沈降の可能性が指摘できる。
- ④歴史記録の調査から安政地震前後における富士川河口域の流路の変遷を調べた結果、安政地震時に富士川河口西岸域が広域に隆起した可能性が指摘された。さらにボーリング掘削調査により隆起域における地層の層序を確認した。

(c) 広帯域地震活動研究

- ①ブイシステムを用いた試験観測により、約11か月の長期の水圧データをリアルタイムで取得した。陸上局では取得した水圧データのみならず、気象海象データも含めて自動で画像を作成し、Webにアップするシステムを構築した。2016年4月1日の三重県南東沖の地震、同年11月22日の福島県沖の地震による津波を確認することができ

た。

- ②平成 27 年度日向灘に設置した圧力計付き長期観測型海底地震計および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 2016 年 4 月には、平成 28 年熊本地震発生後に観測点周辺で発生したと考えられる浅部低周波微動と超低周波地震活動が記録されていることを確認できた。

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

- ①前年度までに実施してきた成果（過去の地殻変動データの整理、有限要素モデルの構築等）を統合して解析するため、日本列島のブロック運動モデルの解析手法の開発を実施した。日本列島では、プレート境界に起因する弾性変形とは独立に、活断層等に関連する非弾性変形が地殻深部で進行していることが見出された。
- 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た。東北沖地震の際に、北部隣接領域における海溝海側で地震活動が誘発されたのとは逆に、1933年昭和三陸地震の際は、海溝海側の地震の後、プレート境界の地震が誘発されていた可能性を示した。関東地方の繰り返し地震を解析し、太平洋プレートとフィリピン海プレートについて、東北沖地震後に沈み込み速度の加速が起きたことを明らかにした。これが、関東地方下の地震活動の増加の原因の1つと考えられる。また、東北沖地震直後の余効変動場について、キネマティックGNSS解析の高精度化を進めた。さらに東北沖地震発生以前のスロースリップイベントを再検討し、これまでに推定されていた位置よりもプレート境界浅部に断層を仮定しても、データを説明可能であることを示した。
- 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蓄積を行うとともに、日本海溝域において、データ同化手法を用いた推移予測の試行実験に着手した。
- ④余効変動データによる東北地方太平洋沖地震の地震時すべり分布の推定、内陸ブロック運動を考慮した海陸地殻変動データに基づく南海トラフカップリング推定の高度化、およびMCMKF（モンテカルロ混合カルマンフィルタ）を用いて2013～2015年に東海地方で発生したスロースリップイベントの地殻変動時系列解析を行った。EnKF（アンサンブルマンフィルタ）による摩擦パラメータおよびすべり発展予測の数値実験を継続し、豊後水道SSE震源域では、簡単なモデルでEnKFによる摩擦パラメータおよびすべり発展の推定・予測が可能なが分かった。

(e) 震源モデル構築・シナリオ研究

- ①震源シナリオ研究の高度化へ向け、日本列島規模の大規模地殻モデルにおける弾性・粘弾性応答の解析のための有限要素法コードの改良を行い、従来コード比で計算時間を2～3割節約することに成功した。高分解能モデル（100億自由度程度）を用いた地殻変動解析モデルを整備した。日本列島広域3次元不均質構造1次モデルを作成し、東北地方沖合の地震を想定した地震時、及び地震後の地殻変動解析を行ない、観測デ

ータと整合する結果を確認した。

- ②準動的地震サイクル計算の高速化による南海トラフ地震発生の実用計算の実現に向けて、計算の高精度化のためのアルゴリズムを改良し、他の計算アルゴリズムと比較して、その有効性を確認した。また、粘弾性を考慮した地震サイクル計算の高速かつ低メモリ計算の実現に向けて、線形粘性弾性媒質中での応力計算に必要なモデルの定式化を行うとともに、地震サイクル模擬モデルにおいて、新規導入した計算手法の有効性を確認した。
- ③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、計算された大地震発生後 50 年のすべり遅れレート分布が、現在の GPS データ解析に基づくすべり遅れレート分布に対応することよりモデルの有効性を確認した。また、すべり遅れによる応力蓄積が十分でない状態で地震が起きた場合には、破壊がすぐに停止するが、応力が十分に蓄積されている場合には、破壊がすべり遅れ領域（固着域）全体に広がることを確認した。
- ④M6 クラスの地震が震源域内かつプレート境界で発生したとしても、M8 クラスの地震に至るかどうかは M6 地震の発生タイミング次第であること、また、M6 地震後の推移が、タイミング次第で大きく異なることがわかった。したがって、こうした地震が発生した場合に、リアルタイムで地震後の余効すべりの推移をモニタすることが、M8 クラスの地震に至る可能性を検討する上で重要であることが示された。
- ⑤プレート境界の巨大震源のモデル化に関して、不均質強震動生成域（SMGA）モデルのすべり分布モデルを構築し、平成 27 年度に開発した応力降下量分布モデルと合わせて、2011 年東北地方太平洋沖地震の短周期パルス源を含む SMGA が、本不均質 SMGA 分布モデルで表現できる確認した。
- ⑥強震動評価の高度化に向け、地震波干渉法を用いて、南海トラフ外縁隆起帯から熊野海盆周辺にかけての海域において、地震波の周期別の群速度の空間マッピングを行った。
- ⑦強震動・長周期地震動シミュレーション高度化に向け、差分法計算コードに、メモリ変数を用いた広帯域 Q 値一定のモデルを導入した。また、南海トラフ巨大地震の震源モデルの多様性・不確定性が強震動・長周期地震動評価のバラツキに与える影響を評価した。現実的な不均質断層運動を考えることで、震源の位置や破壊方向の違いによる強震動生成の変動が小さくなる可能性を示した。
- ⑧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の地震の史料を見直し、日向灘の大地震あるいは明応南海地震の可能性を否定した。過去の南海トラフ地震の震源像の理解に向けた基礎資料として、1707 年宝永地震、1854 年安政東海・南海地震の震度情報を収集してデータベース化した。
- ⑨既往研究では取り上げられていなかった地震史料や最近に発掘された史料に基づき、安政南海地震津波の痕跡調査を実施し、和歌山県沿岸における安政東海・南海地震津波の痕跡高分布を示した。

5. 成果の論文発表・口頭発表等

(1) 東日本大震災教訓活用研究

(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
Shosuke Sato, Fumihiko Imamura	An Attempt of Extraction and Sharing Lessons Learned from Experiences of the 2011 Great East Japan Earthquake Disaster Based on Viewpoints of Experts on Disaster Science: 3.11 Lessons Learned Web Database System	Journal of Disaster Research, Vol. 11, No. 5, pp. 881-888	2016年10月
平川雄太, 佐藤翔輔, 白幡勝美, 今村文彦	津波碑と津波浸水域の位置・対応関係と人的被害に関する考察－岩手県沿岸の事例－	土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 72, I_1621-I_1626	2016年10月
戸川直希, 佐藤翔輔, 今村文彦, 平間雄	津波避難訓練を繰り返すことによる効果の検証－宮城県亘理町の事例－	土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 72, I_1585-I_1590	2016年10月
Furumura, T.	Destructive near-fault strong ground motion from the 2016 Kumamoto Prefecture, Japan, M7.3 earthquake	Landslides, 13:1519-1524	2016年
姥浦道生	土地利用から見た岩手・宮城の復興	日本建築学会	2016年8月
蝦名裕一, 佐藤翔輔	和歌山県印南町における歴史津波史料を活用した防災活動	津波工学研究, No. 33, pp. 105-108	2017年1月

(b) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

○公開等

「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－」,

<http://311movie.irides.tohoku.ac.jp/> ※2017年2月10日公開

「3.11からの学びデータベース－IRIDeSから発信する東日本大震災の教訓空間－」,

<http://311manabi.irides.tohoku.ac.jp/> ※2017年1月30日 コンテンツ追加

「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－」,

<http://edbunken.irides.tohoku.ac.jp/> ※2017年1月30日 コンテンツ追加

(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
谷口純一, 馬場俊孝, 三好學, 安芸浩資	徳島市を対象とした、津波による流入水の堤外排水のシミュレーション	日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SSS33-04	2016 年 5 月
Baba, T., J. Taniguchi, M. Miyoshi, K. Aki	Long-term flooding simulation due to the great Nankai tsunami in Tokushima-city, Japan	AOGS 2016, OS22-SE37-D4-PM 2-P-005	2016 年 8 月
Taniguchi, J., T. Baba, M. Miyoshi, H. Aki	A Numerical Simulation of Drainage of Influent Water Caused by Tsunami at Kawauchi, Tokushima	Tecno-ocean 2016, Kobe, 3F2	2016 年 10 月
谷口純一, 馬場俊孝, 三好學, 安芸浩資	徳島市を対象とした津波による流入水の堤外排水シミュレーション	土木学会論文集 B2(海岸工学), 72, p. I_1525-I_1530	2016 年 11 月
馬場俊孝	南海トラフ巨大津波襲来後の徳島市における長期湛水の予測	徳島県土木研究発表会	2016 年 12 月
今井健太郎	直線海岸を有する沿岸地域における木造建物の津波被害関数の特徴	日本地震工学会 第 12 回年次大会	2016 年 9 月
平井敬, 福和伸夫	大阪堆積盆地上の長周期地震動の震源位置による変動	日本建築学会 2016 年度大会(九州) 学術講演梗概集 構造 II, 1151-1152	2016 年 8 月
山田沙代, 平井敬, 福和伸夫	有限差分法に基づく中京地域で観測される地震動の震源位置依存性に関する研究	日本建築学会 2016 年度大会(九州) 学術講演梗概集 構造 II, 1153-1154	2016 年 8 月
Nobuo Fukuwa, Takashi Hirai, Jun Tobita, Kazumi Kurata	Dynamic Response of Tall Buildings on Sedimentary Basin to Long-Period Seismic Ground Motion	Journal of Disaster Research, Vol. 11, pp. 857-869	2016 年 8 月
山田沙代, 平井敬, 福和伸夫	地震動観測記録と有限差分解析に基づく中京地域で観測される長周期地震動の震源位置依存性に関する研究	日本建築学会構造系論文集, Vol. 81, pp. 1647-1656	2016 年 10 月

Takashi Hirai, Nobuo Fukuwa	Green' s function database and detailed ground motion prediction for central Japan based on the reciprocity theorem	16th World Conference on Earthquake Engineering, No. 221	2017年1月
村尾英彦, 野田利弘, 中井健太郎, 吉川高広, 堀田繁	1G 場振動台実験による盛土造成斜面の地震時変状メカニズムに関する考察	第 51 回地盤工学研究発表会講演概要集, 1859-1860	2016年
堀田繁, 中井健太郎, 野田利弘, 吉川高広, 村尾英彦	共振現象に着目した飽和盛土造成斜面の 1G 場振動台模型実験	平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 283-284	2017年
村尾英彦, 野田利弘, 中井健太郎, 吉川高広, 堀田繁	固有振動数と入力振動数に着目した飽和盛土造成斜面の 1G 場振動台実験	第 52 回地盤工学研究発表会講演概要集	2017年
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, No. 14, pp. 83-96	2016年6月
高橋広人, 福和伸夫, 岸浦正樹	表層地盤モデルに基づく 1944 年東南海地震による名古屋市の住家被害と地盤特性に関する研究	日本地震工学会論文集, 第 16 巻、第 9 号、pp. 46-66	2016年8月
F. Zhou, H. Liu, M. Mori, N. Fukuwa and H. Zhu	Seismic response of a continuous foundation structure supported on partially improved foundation soil	Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 90, pp. 128-137	2016年11月
成澤健太, 福和伸夫, 飛田潤	実在免震建物を利用した振動実験環境の構築	構造工学論文集, Vol. 63B	2017年3月
Ogut OC, Mori M. and Fukuwa N.	Effect Of Rocking Foundation Input Motion On The Nonlinear Response Characteristics Of Superstructure	16th World Conference of Earthquake Engineering	2017年1月
H. Takahashi and N. Fukuwa	Three-Dimensional Surface Layer Model For Strong Motion And Liquefaction Prediction	16th World Conference of Earthquake Engineering	2017年1月
都築充雄・浦谷	平成 28 年(2016 年)熊本地震による	名古屋大学減災	2016年6月

浩明	電力の被害と復旧	連携研究センター平成 28 年(2016 年)熊本地震速報(6 月 30 日)報告書, pp. 41-44	30 日
都築充雄	平成 28 年(2016 年)熊本地震による電力の被害と復旧	東海圏減災研究コンソーシアム被害予測専門部会・減災技術開発専門部会第 11 回合同委員会報告	2016 年 7 月 21 日
都築充雄	南海トラフ巨大地震と電力供給	南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト第 8 回東海地域研究会	2017 年 1 月 24 日
平田明寿・岩坪智史・北野哲司・野中俊宏	大規模地震時における水道施設の被害予測と減災対策効果に関する一考察	平成 28 年度全国会議(水道研究発表会)講演集、pp864-865.	2016 年
平田明寿・北野哲司・野中俊宏	水供給システムの地震被害予測手法と減災対策の比較分析	第 7 回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集、pp232-237	2016 年
中村洋光・藤原広行・佐伯琢磨・河合伸一・森川信之・清水智・小丸安史・若浦雅嗣・時実良典・早川讓	南海トラフを対象とした確率論的津波リスクの試算ー南海トラフで発生する地震・津波リスクの変遷ー	日本地震工学会・大会ー2016, P2-6	2016 年 9 月 26 日
佐伯琢磨・藤原広行・中村洋光・森川信之・清水智・小丸安史・若浦雅嗣・時実良典・早川讓	南海トラフにおける確率論的地震リスク評価に基づく災害シナリオの試作	日本地震工学会・大会ー2016, P2-7	2016 年 9 月 26 日
山崎雅人・曾根	南海トラフ巨大地震による製油所	土木計画学研	2016 年

好徳・小池淳司	被災の経済被害推計：地域間応用一般均衡モデルによる分析	究・D3 論文集 72(5), I_111-I_121.	
山崎雅人・曾根好徳・小池淳司	207 生活圏間応用一般均衡モデルによる巨大地震の経済被害評価	第 30 回応用地域学会	2016 年

(b) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定
なし

(3) 防災・減災対策研究

(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
金玟淑, 佐藤克志, 牧紀男, 平田隆行, 稲地秀介, 岸川英樹, 田中秀宜	「地域の営み」の継続に着目した事前復興計画策定手法の構築-和歌山県由良町衣奈での住民参加型ワークショップを通して-	地域安全学会 論文 No. 30	2017 年 1 月 21 日
村山顕人	三重県地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針について	三重県市町都市計画担当者研修会 (アスト津・アストホール)	2016 年 8 月 22 日
村山顕人	地震・津波被害の低減に向けた土地利用・施設配置計画	第 59 回 エネルギー・環境講習会 (AP 西新宿 4 階 ROOM4-K& 4-I)	2017 年 2 月 22 日
加藤孝明	「未経験の復興状況を前提とした「復興準備」、復興イメージトレーニングの必要性と意義」	新都市, 都市計画協会, pp9-15	2016 年 11 月
加藤孝明	次の災害復興に事前に備える, プランナーズ,	NPO 都市計画家協会	2016 年 10 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
水井良暢、田口仁、臼田裕一郎、藤原広行	南海トラフ災害情報プラットフォームの構築とその構造の検討	日本地震工学会	2016年9月
宇田川真之・三船恒裕・磯打千雅子・黄欣悦・定池祐季・田中淳	平常時の避難行動意図の規定要因について	災害情報	2017年1月号

(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
Arai, R., Takahashi, T., Kodaira, S., Kaiho, Y., Nakanishi, A., Fujie, G., Nakamura, Y., Yamamoto, Y., Ishihara, Y., Miura, S., Kaneda, Y.	Structure of the tsunamigenic plate boundary and low-frequency earthquakes in the southern Ryukyu Trench	Nature Communications	2016年7月22日
Arai, R., Kodaira, S., Takahashi, T., Kaiho, Y., Miura, S., Kaneda, Y.	Crustal structure of the southern Okinawa Trough: Symmetrical rifting, submarine volcano, and potential mantle accretion in the continental back-arc basin	Journal of Geophysical Research: Solid Earth	2016年12月26日

Arai, R., T. Takahashi, S. Kodaira, Y. Kaiho, S. Miura, Y. Kaneda	Continental rift structure in the Okinawa Trough back-arc basin	SEISMIX 2016	2016年5月 17日
Arai, R., T. Takahashi, S. Kodaira, S. Miura, Y. Kaneda, A. Nishizawa, M. Oikawa	Structure and seismic behaviour along the weakly-coupled Nansei-Shoto subduction zone from active- and passive-source seismic investigations	SEISMIX 2016	2016年5月 19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	海底地震観測データにより推定し た琉球海溝南部のプレート境界形 状	日本地球惑星科 学連合 2016 年大 会	2016年5月 22日
Nakanishi, A., Yamamoto, Y., Yamashita, M., Fujie, G., Miura, S., Kodaira, S., Kaneda, Y.	Structural variation of the incoming Philippine Sea plate along the Nankai Trough off Shikoku	日本地球惑星科 学連合 2016 年大 会	2016年5月 23日
Arai, R., T. Takahashi, S. Kodaira, S. Miura, Y. Kaneda, A. Nishizawa, M. Oikawa	Variation of the subduction structure along the Nansei-Shoto trench	日本地球惑星科 学連合 2016 年大 会	2016年5月 24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	南海トラフに沿って沈み込むフィ リピン海プレートの浅部構造変化 とその特徴	日本地球惑星科 学連合 2016 年大 会	2016年5月 25日

Arai, R., T. Takahashi, S. Kodaira, Y. Kaiho, S. Miura, Y. Kaneda	Seismic structure of continental rift and off-axis volcanism in the Okinawa trough back-arc basin	日本地球惑星科学連合 2016 年大会	2016 年 5 月 26 日
新井隆太	南西諸島海溝における地震発生帯モデルと沖縄トラフの背弧リフト構造-海域地震観測による最新の成果-	平成 28 年度第一回南海トラフ～南西諸島海溝の地震・津波に関する研究会	2016 年 9 月 5 日
新井隆太・高橋努・小平秀一・海宝由佳・三浦誠一・金田義行	反射法データによる沖縄トラフの断層発達と海底火山の内部構造	日本地質学会第 123 年学術大会	2016 年 9 月 10 日
山下幹也・仲西理子・三浦誠一・小平秀一・金田義行	高精度イメージングから得られた南海トラフ軸周辺の変形構造	シンポジウム「南海トラフ巨大地震の予測に向けた観測と研究」	2016 年 9 月 30 日
仲西理子・山下幹也・山本揚二郎・藤江剛・三浦誠一・小平秀一・金田義行	四国沖フィリピン海プレートの構造不均質	日本地震学会 2016 年度秋季大会	2016 年 10 月 6 日
Arai, R., S. Kodaira, Y. Kaiho, T. Takahashi, S. Miura, Y. Kaneda	Seismic Structure of the Southern Okinawa Trough: Evidence of Symmetrical Rifting and Back-arc Volcanism	American Geophysical Union 2016 Fall Meeting	2016 年 12 月 12 日
Yamashita, M., Nakanishi, A., Moore, G. F., Kodaira, S., Nakamura, Y., Miura, S., Kaneda, Y.	Structural characteristics around the frontal thrust along the Nankai Trough revealed by bathymetric and seismic reflection survey	American Geophysical Union 2016 Fall Meeting	2016 年 12 月 14 日
Nakanishi, A., Yamamoto, Y., Yamashita, M.,	Heterogeneous Structure in the incoming Philippine Sea plate along the southwestern Nankai	American Geophysical Union 2016 Fall	2016 年 12 月 14 日

Fujie, G., Miura, S., Kodaira, S., Kaneda, Y.	Trough	Meeting	
Arai, R.	Fault structure and seismogenic behaviour in the Ryukyu subduction zone revealed by active/passive seismic experiments	IGP Seminar/Vietnam Academy of Science and Technology	2017年2月22日
新井隆太・小平秀一・高橋努・三浦誠一・金田義行・西澤あずさ・及川光弘	南西諸島海溝北部における奄美海台の沈み込み構造	ブルーアース2017	2017年3月2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	南西諸島南部のランダム速度不均質構造	ブルーアース2017	2017年3月2日
汐見勝彦	瀬戸内海東部周辺下におけるフィリピン海プレート形状再検討	日本地震学会2016年度秋季大会	2016年10月6日
Shiomi, K.	Variations of Converted Ps Phase Amplitude Along the Subducting Philippine Sea Slab Beneath Shikoku, Southwest Japan	AGU Fall Meeting 2016	2016年12月14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
行谷佑一, 安藤亮輔, 宍倉正展, 野村成宏	地中レーダー探査に基づく1854年安政東海地震で出現した蒲原地震山周辺の断層位置の推定	日本地球惑星科学連合2016年大会(千葉市)	2016年5月26日
行谷佑一, 宍倉正展	富士川西岸における安政東海地震以前の洪水被害	第33回歴史地震研究会(大槌町)	2016年9月12日

谷川晃一朗, 宍倉正展, 藤原 治, 行谷佑一, 松本 弾	高知県東洋町・四万十町・黒潮町の沿岸低地における津波堆積物調査	日本地球惑星科学連合 2016 年大会 (千葉市)	2016 年 5 月 26 日
Ikehara, K., Usami, K., Kanamatsu, T., Arai, K., Yamaguchi, A. and Fukuchi, R.	Spatial variability in sediment lithology and sedimentary processes along the Japan Trench: Use of deep-sea turbidite records to reconstruct past large earthquakes	Geological Society Special Publication	In press
岩井雅夫, 池原 研, 金松敏也, 芦寿一郎, KY13-17 航海乗船研究者, KH15-2 Leg3 乗船研究者	南海トラフ土佐碧海盆の活断層とタービダイト: KY13-17 航海と KH15-2 Leg3 航海の成果	日本地質学会第 123 年学術大会 (東京都世田谷区)	2016 年 9 月 9 日
池原 研	地震性タービダイトによる地震発生履歴研究の現状と課題	日本地質学会第 123 年学術大会 (東京都世田谷区)	2016 年 9 月 9 日
Ikehara, K., Kanamatsu, T., Usami, K., Ajioka, T., Miyazaki, M. and Hsiung, K.H.	Offshore event deposits at a forearc area of the southern Ryukyu arc	Taiwan Geoscience Assembly General Meeting	2016 年 5 月 17 日
Ikehara, K., Kanamatsu, T., Nagahashi, Y., Strasser, M., Hiske, F., Usami, K., Irino, T. and Wefer, G.	Documenting large earthquakes similar to the 2011 Tohoku-oki earthquake from sediments deposited in the Japan Trench over the past 1500 years	Earth and Planetary Science Letters, 445, 48-56	2016 年 7 月
宇佐見和子, 池原 研, Strasser, M., SO-251A 乗船研究者一同	日本海溝底の重力流堆積物から産出した底生有孔虫群集	日本古生物学会 第 166 回例会 (東京都新宿区)	2017 年 1 月 28 日

池原 研, 金松敏也, 宇佐見和子	南部琉球列島, 八重山前弧の海底谷-海底扇状地系とタービダイトの堆積間隔	日本堆積学会 2017年松本大会 (松本市)	2017年3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) 広帯域地震活動研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
山下裕亮・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	Long-term ocean bottom monitoring of slow earthquakes on the shallow plate interface in the Hyuga-nada region (3)	日本地球惑星科学連合 2016 年大会	2016 年 5 月 22 日
小原一成・高木涼太・山下裕亮・浅野陽一・松澤孝紀・田中佐千子・廣瀬仁・前田拓人	豊後水道周辺域におけるスロー地震の相互作用	日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SCG21-05	2016 年 5 月 22 日
山下裕亮・松本聡・中元真美・松島健・宮崎真大・清水洋・飯尾能久・2016年熊本地震合同地震観測グループ	緊急合同余震観測データを用いた高精度震源決定結果から推定される 2016 年熊本地震震源域の断層構造 (序報)	日本地球惑星科学連合 2016 年大会, MIS34-P19	2016 年 5 月 25 日
Yusuke Yamashita, Masanao Shinohara, Tomoaki Yamada, Kazuo Nakahigashi, Hajime Shiobara, Kimihiro Mochizuki, Takuto Maeda, Kazushige Obara	LONG-TERM OCEAN BOTTOM MONITORING OF SLOW EARTHQUAKES ON THE SHALLOW PLATE INTERFACE IN HYUGA-NADA, WESTERN PART OF THE NANKAI TROUGH	9th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes	2016 年 6 月 1 日

山下裕亮・八木原寛・平野舟一郎・小林励司・宮町宏樹・中尾茂・後藤和彦・馬越孝道・内田和也・松島健・清水洋・中東和夫・山田知朗・篠原雅尚	南西諸島北部の海溝軸付近で発生する浅部低周波微動について	日本地震学会 2016年度秋季大会, S09-P07	2016年10月5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
Uchida, N., S. Kirby, N. Umino, R. Hino, and T. Kazakami	The great 1933 Sanriku-oki earthquake: reappraisal of the mainshock and its aftershocks and implications for its tsunami using regional tsunami and seismic data	Geophys. J. Int., 206, 1619-1633, 2016	2016年7月27日
Uchida, N., Y. Asano, and A. Hasegawa	Acceleration of regional plate subduction beneath Kanto Japan, after the 2011 Tohoku-oki earthquake	Geophys. Res. Lett., doi:10.1002/2016GL070298, 2016	2016年8月26日
Hatakeyama, N., N. Uchida, T. Matsuzawa, T. Okada, J. Nakajima, T. Matsushima, T. Kono, S. Hirahara, and T. Nakayama	Variation in high-frequency wave radiation from small repeating earthquakes as revealed by cross-spectral analysis	Geophys. J. Int., 207(2), 1030-1048, doi: 10.1093/gji/ggw313, 2016	2016年8月22日
Hirata, Y., and Y. Ohta	Spatial and temporal characteristics of optimum process noise values of	Earth, Planets Space, 68:203, doi:	2016年12月8日

	tropospheric parameters for kinematic analysis of Global Navigation Satellite System (GNSS) sites in Japan	10.1186/s40623-016-0578-y, 2016	
Meneses-Gutiérrez, A. and T. Sagiya	Persistent inelastic deformation in central Japan revealed by GPS observation before and after the Tohoku-oki earthquake	Earth Planet. Sci. Lett., 450, 366-371	2016年9月
鷺谷威	測地データにもとづく地震予測の可能性と課題	科学, 86(9), 942-944	2016年9月
鷺谷威	南海トラフ地震 — その実像と予測に関する諸問題 —	学会会報, 921, 91-96	2016年11月
鷺谷威	1944年東南海地震発生時の掛川異常隆起は本当か?	地震ジャーナル, 62, 13-25	2016年12月
鷺谷威・A. Meneses-Gutiérrez	Implications of Persistent Intraplate Deformation in the Niigata-Kobe Tectonic Zone, Central Japan	日本地球惑星科学連合2016年大会, SCG63-20	2016年5月23日
鷺谷威・A. Meneses-Gutiérrez	東北日本における弾性ひずみ収支	日本地震学会2016年秋季大会, S03-07	2016年10月6日
大間俊樹・伊藤武男	1944年及び1946年の南海トラフ地震の余効変動から推定した粘弾性構造	日本地震学会2016年秋季大会, S03-P11	2016年10月6日
Takeo Ito, Muneyoshi Furumoto, Kenjiro Matsuhiro, Takashi Okuda, Takeshi Sagiya, Shinichiro Horikawa, and Kazuya Ito	Time evolution of vertical displacement during Holocene: case of kikai Island, Ryukyu Islands, Japan	American Geophysical Union 2016 Fall meeting, T23A-2882	2016年12月13日
Sagiya, T., and A. Meneses-Gutiérrez	Elastic Strain Budget and Inelastic Deformation in Northeast Japan	American Geophysical Union 2016 Fall Meeting, G32A-02	2016年12月14日

鷺谷威	地震予知と災害情報～地震学は南海トラフ地震の災害軽減に貢献できるか?～	日本地震学会・ 日本災害情報学会共同勉強会 「南海トラフ沿いの巨大地震の発生予測と社会的課題」	2017年1月 28日
Nakata, R., T. Hori, M. Hyodo, and K. Ariyoshi	Possible scenarios for occurrence of M [~] 7 interplate earthquakes prior to and following the 2011 Tohoku-Oki earthquake based on numerical simulation	Scientific Reports, vol.6, 25704, doi:10.1038/sr ep25704	2016年5月 10日
中田令子・兵藤守・堀高峰	日本海溝地域における地震発生予測の試み—2011年東北地方太平洋沖地震前後で検証—	日本地震学会 2016年秋季大会, S14-P01	2016年10月 7日
Nakata, R., M. Hyodo, and T. Hori	Numerical test of a forecasting procedure for plate boundary earthquakes: a case study of the 2011 Tohoku-Oki Earthquake along the Japan Trench	American Geophysical Union 2016 Fall meeting, S21A-2682	2016年12月 13日
Okuda, R., K. Hirahara, S. Miyazaki, M. Kano and M. Ohtani	Numerical experiments on estimation of frictional parameters on the SSE fault through Ensemble Kalman Filter	日本地球惑星科学連合2016年大会, SCG21-24	2016年5月 22日
坂上啓・福田淳一・加藤照之・西村卓也	GPSデータに基づく2013年以降の東海地方スロースリップイベントの時空間発展の推定	日本測地学会第126回講演会, 57	2016年10月 20日
Nishimura, T.	Interplate coupling strain partitioning and block motions deduced from GNSS and GPS/A data in southwest Japan	American Geophysical Union Fall Meeting 2016, T31E-2950	2016年12月 14日
Sakaue, H., J. Fukuda, T. Kato, and T. Nishimura	The slow slip event in the Tokai region, central Japan, since 2013 as seen from GPS data	American Geophysical Union Fall Meeting 2016, S33A-2814	2016年12月 14日

- (b) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定
なし

(10) 震源モデル構築・シナリオ研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
R. Agata, T. Ichimura, K. Hirahara, M. Hyodo, T. Hori, M. Hori	Robust and portable capacity computing method for many finite element analyses of a high-fidelity crustal structure model aimed for coseismic slip estimation	Computers & Geosciences, 94, 121-130	2016年4月
T. Ichimura, R. Agata, T. Hori, K. Hirahara, C. Hashimoto, M. Hori, Y. Fukahata	An Elastic/Viscoelastic Finite Element Analysis Method for Crustal Deformation using a 3D Island-scale High-fidelity Model	Geophysical Journal International, 206(1), 114-129	2016年4月
Harada T, K. Satake, and T. Furumura	Re-examination of the original questionnaire documents for the 1944 Tonankai, 1945 Mikawa, and 1946 Nanaki earthquakes	EGU2016-6798	2016年4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断層変位量・アセノスフェア粘性率同時推定手法の検討	土木学会応用力学シンポジウム	2016年5月
平原和朗	固着すべり振動子の周期外力への応答(2)	日本地球惑星科学連合2016年大会 S-SS27-18	2016年5月
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～1498年明応日向灘地震は存在したか?～	地球惑星科学連合2016年連合大会 SSS31-12	2016年5月
Xu, S., E. Fukuyama, H. Yue and J. P. Ampuero	Simple crack models explain deformation induced by subduction zone megathrust earthquake	Bulletin of Seismological Society of America, vol.	2016年7月 (online 掲載)

		106 no. 5 pp. 2275-2289, doi:10.1785/0120 160079	
R. Agata, T. Ichimura, T. Hori, K. Hirahara, C. Hashimoto, M. Hori	Simultaneous estimation method of viscosity and dislocation in a viscoelastic material using high-fidelity model aimed for application to subduction zone earthquake	12th World Congress on Computational Mechanics, Korea	2016年7月
Iwata, T., Kubo, H., Asano, K., Sato, K. and Aoi, S.	Long-period Ground Motion Characteristics and Simulations in the Osaka Basin during the 2011 Great Tohoku Earthquake	Proceedings of the 5th International Symposium on the Effect of Surface Geology on Seismic Motion, I101A	2016年8月
縣亮一郎, 市村 強, 堀高峰, 平原 和朗, 橋本千尋, 堀宗朗	粘弾性変形の大規模有限要素解析 を用いた地殻構造最適化手法の開 発	日本応用数理学 会年会	2016年9月
原田智也・佐竹健 治・古村孝志・室 谷智子	地震直後に行われたアンケート調 査による1948年福井地震(M7.1) の震度分布	第33回歴史地 震研究会 P-4	2016年9月
鳴橋龍太郎・佐竹 健治・原田智也	安政東海地震津波(1854年)におけ る三重県五ヶ所湾地域の被害状況	地震研究所彙報 第91号 第1/2 冊	2016年9月
平原和朗	準動的地震サイクル計算における 数値積分法について	日本地震学会 2016年秋季大会 S08-18	2016年10月
原田智也・佐竹健 治・古村孝志・室 谷智子	地震直後に行われたアンケート調 査の再検討による1948年福井地震 (M7.1)の震度分布	日本地震学会 2016年秋季大会 S10-P06	2016年10月
西山昭仁・原田智 也	明応七年(1498)の畿内における地 震記録の検討	2016年前近代歴 史地震史料研究 会	2016年11月
R. Agata, T.	Adjoint-based Simultaneous	American	2016年12月

Ichimura, T. Hori, K. Hirahara, C. Hashimoto, M. Hori	Estimation Method of Fault Slip and Asthenosphere Viscosity Using Large-Scale Finite Element Simulation of Viscoelastic Deformation	Geophysics Union Fall Meeting, the U.S.	
関口春子	不均質震源モデル	平成 28 年度京 都大学防災研究 所研究発表講演 会	平成 29 年 2 月
原田智也・西山昭 仁・佐竹健治・古 村孝志	明応七年六月十一日（1498 年 6 月 30 日）の日向灘大地震は存在しない －『九州軍記』の被害記述の検討－	地震	平成 29 年 3 月受理

(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 28 年度においては、8 年計画の 4 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、それらの成果がではじめたところである。

事業計画後半に入り、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28年6月6日（月） 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) 平成28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29年2月10日（金） 13:30～17:00

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25階）

議題：

- (1) プロジェクト全体の状況について（今年度の成果と今後の研究計画等）
 - ・調査観測分野
 - ・シミュレーション分野
 - ・地域連携減災研究
- (2) 総合討論
- (3) その他

7.2 運営委員会構成員

（第2回運営委員会開催時）

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	廣瀬 昌由	内閣府政策統括官（防災担当）付 参事官（調査・企画担当）
委員	荻澤 滋	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	小原 直樹	徳島県 危機管理部長
委員	上垣内 修	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	黒川純一良	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	芳永 和之	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長 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 教授
委員	村田 昌彦	関西国際大学人間科学部経営学科 教授