

年間
特集

南海トラフ巨大地震 研究プロジェクト成果

金田 義行¹

Results from the research project on Nankai Trough Mega thrust earthquake

Yoshiyuki KANEDA¹

Abstract

The achievements of the “Nankai Trough Wide Area Earthquake Disaster Prevention Research Project” commissioned by MEXT started in 2013 are described here. In the field of disaster prevention, lessons learned from the 2011 Great East Japan Earthquake damage, estimation with different spatiotemporal scales, and a preliminary reconstruction plan based on future spatiotemporal changes in the social environment were studied. They were integrated through workshops and utilized to promote the information dissemination by regional study groups using the disaster scenarios and disaster information platform. In the field of survey, observation, and simulation research, the seismic image on the Nankai trough with three-dimensional seismogenic zone structure and evaluation of earthquake occurrence diversity based on advanced simulation research, tsunami history surveys, and historical literature surveys were researched. As the result, the basic system of transition prediction was obtained.

キーワード：南海トラフ巨大地震，減災研究，地震津波被害予測，地震像の解明，地震発生の多様性

Key words: Nankai Trough giant earthquake, Disaster mitigation research, Earthquake and tsunami damage prediction, Elucidation of earthquake images, Diversity of earthquake occurrence

1. はじめに

再来が危惧されている南海トラフ巨大地震は首都直下地震とともに国難級の地震災害を生じる。これまで南海トラフ巨大地震はおよそ100年から200年の間隔で発生しており，その発生パターン

は時空間的に多様性を有しており，M8クラス規模の歴史地震が発生している。この巨大地震の地震像を明らかにし，被害軽減により震災後の社会を構築することが必要不可欠である。そのため，様々な対策や研究がなされているが，さらにそれ

¹ 香川大学
Kagawa University

を深化させ被害軽減を図ることが重要である。現在、次の南海トラフ巨大地震を高い精度をもって予測することは困難であることから、市民の生命財産を守るために国により臨時情報発令制度が整備されている。本章では、これまでの南海トラフ巨大地震研究の成果と今後の展開について述べる。

2. 南海トラフ巨大地震研究の背景

2011年3月11日の東日本大震災では、M9の東北地方太平洋沖の巨大地震による甚大な津波災害が発生した。東日本大震災後、2004年のインドネシアスマトラ大津波地震のような大連動によるM9.1地震の発生の可能性について議論がなされた。特に再来が危惧されている南海トラフ巨大地震発生域と南西諸島における地震発生域が大連動することによるM9クラスの巨大地震発生の可能性についての評価の重要性が高まった¹⁾(Fig. 1)。

一方、東日本大震災後の、「高い確度での地震予測は現在の科学研究レベルではほぼ不可能」との国の見解を踏まえて、甚大な被害が想定される南海トラフ巨大地震の被害軽減のための様々なハード・ソフト対策が推進され、気象庁による臨

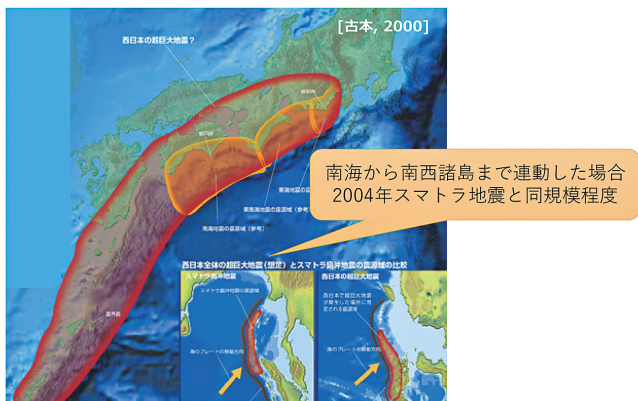
時情報発令システムが設置された。この臨時情報は、いわゆる南海トラフ巨大地震震源域の東側あるいは西側が破壊する「半割れ」ケースや震源域やその近傍の沖合でM7クラスの地震が発生する「一部割れ」ケース、さらには震源域のプレート境界で異常な「ゆっくりすべり」が観測された場合など、連動発生や誘発発生の可能性がある場合に発令される。その場合、津波浸水想定が30分以内に30 cmを超える地域を対象に要配慮者への事前避難やそれ以外の地域住民には迅速な避難準備など、地域性に応じた避難対応が求められている。

その地震予測精度の向上、具体的には臨時情報発令後の推移予測の精度の向上には、南海トラフ巨大地震の地震像の解明が不可欠であり、南海トラフ巨大地震震源域から南西諸島域における調査観測研究とシミュレーション研究による大連動の可能性や南海トラフ巨大地震発生システムの多様性についての評価の必要性が高まっている (Fig. 2)。

今後30年以内の発生確率が70%から80%とされている南海トラフ巨大地震の被害軽減のためには、インフラ整備の推進はもとよりリアリティのある災害イメージシミュレーションによる啓発、

南西諸島海溝までの大連動を考慮した想定超巨大震源域

2011年東北地方太平洋沖地震の発生を受けて
考慮すべき最大クラス



南西諸島海溝は、調査観測が数少なく、知見が少ない海域

Fig. 1 Possibility of large scale seismic linkage from Nankai trough to Nansai Islands seismogenic zone.

対策促進ならびに臨時情報の信頼性向上のための科学技術の進展，加えて災害関連情報を正しく理解し適切に行動するための情報リテラシーの向上も今後の重要な課題である。また，南海トラフ巨大地震前後に発生する内陸地震対応も必要であり，南海トラフ巨大地震と併せた複合災害，連動災害対応も今後の課題である。したがって，海陸の地殻活動観測データ活用の重要性がますます高まっている。また，やや長い時間スケールでの南海トラフ巨大地震対応として，近年激甚化している風水害も含めた広域複合災害を視野に入れた対策検討が急務である。

現在，日本はじめ世界で拡大している新型コロナ感染も含めた様々な災害と向き合う社会，いわば「共災社会」に生きる術が今後の重要課題である。以下にこれまでの南海トラフ巨大地震研究に関して述べる。

3. 南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト

本プロジェクトは，文部科学省委託研究である「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」と

して2013年度から2019年度の7年間，実施された。その概要は，2011年の東日本大震災を踏まえて，南海トラフ巨大地震発生域から南西諸島地震発生域にいたる大連動の可能性の検討も視野に入れ，地域と連携した被害軽減ならびに巨大地震像を明らかにするためのものである。サブテーマ1として減災研究課題(主幹研究機関:名古屋大学)，サブテーマ2-1として調査観測課題(主幹研究機関:海洋研究開発機構)ならびにサブテーマ2-2のシミュレーション課題(主幹研究機関:東京大学)から構成されている。以下にその研究成果の概要を示す。

3.1 サブテーマ1: 地域連携減災研究(防災分野課題)(Fig. 3)

サブテーマ1では，東日本大震災の教訓を南海トラフ巨大地震の被害軽減に生かすための教訓活用研究，地震津波被害の詳細な解析研究，研究成果の地域実装，復旧復興対策研究ならびに情報発信基盤としての災害情報プラットフォーム構築を行った。つまり，教訓活用→地震津波被害解析→地域への研究成果の実装，社会環境の時空間変化

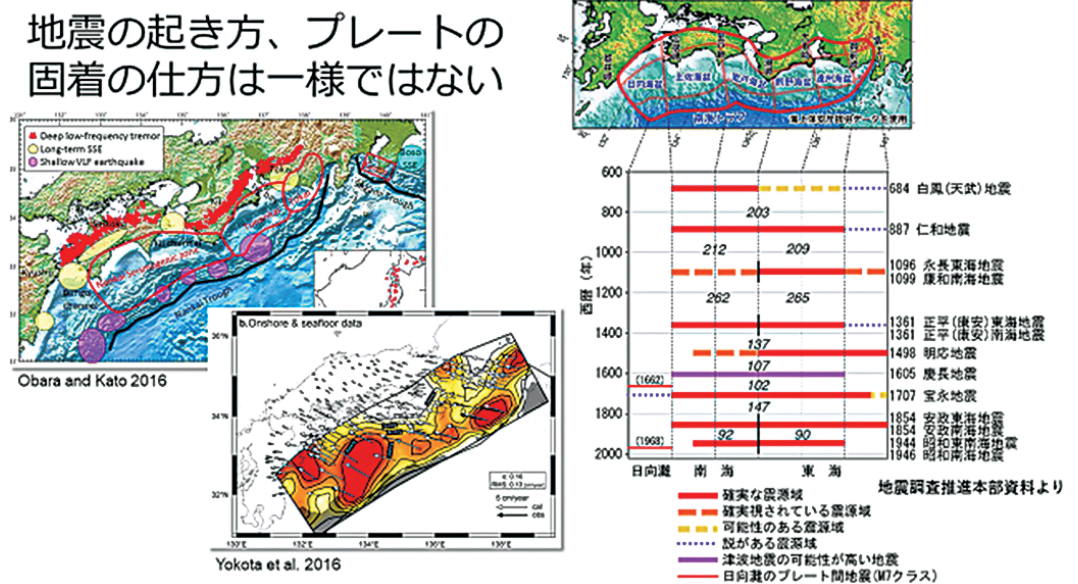


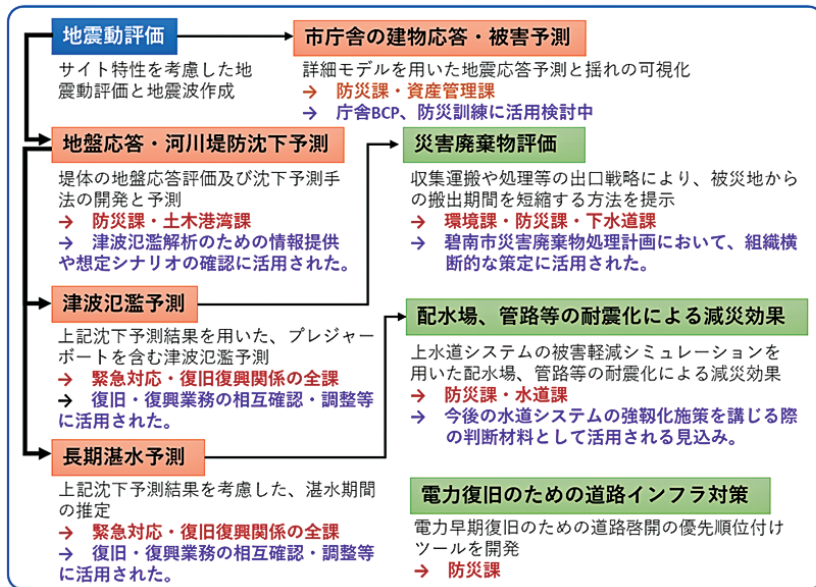
Fig. 2 Complexity of seismic coupling system around Nankai trough. Around Nankai trough seismogenic zone, there are inhomogeneous coupling strengths.

地域連携減災研究

成果 地域の実情や災害の相互依存性・連鎖性・階層性を考慮した地域リスク評価手法を構築し、碧南市において具体的な検討・評価を行った。

1-a) 東日本大震災の災害教訓活用研究

1-b) 地震・津波被害予測研究：碧南市と連携した被害予測（成果の社会実装）



1-c) 東海地域研究会における碧南市の成果報告



1-d) 碧南市における復旧・復興業務の相互確認・調整



1-e) 災害情報プラットフォームへの情報提供



Fig. 3 Outline of disaster prevention research field.

に基づく復旧復興対策研究と災害情報プラットフォーム構築といった減災から復興過程の一連の流れに沿った課題設定により減災研究を推進した。

以下にその研究成果を示す。

(1) 東日本大震災教訓研究

本課題では、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、課題や教訓を整理した²⁻⁴⁾。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巨大地震との被害発生類似パターンを抽出し、南海トラフ巨大地震・津波における人的被害軽減戦略プログラムを策定した⁵⁾。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

基礎的検討も実施した⁶⁾。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版を構築し、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した^{7,8)}。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・抽出を行った。

(2) 地震・津波被害予測研究

広域リスク評価については、災害パターンの類型化手法を高度化して広域的に評価を行うとともに、類型毎に災害シナリオを作成した⁹⁻¹³⁾。その際、地域の類型化の結果から、各シナリオで地域類型毎に被害・復旧状況について整理した。そして本プロジェクトで実施した南海トラフ巨大地震・津波を対象とする現在～将来の確率論的リスク評価

や、評価に基づく災害シナリオ等の研究成果をとりまとめた^{14,15)}。

地域リスク評価については、自治体のアクションプランへの反映、地域の減災戦略構築、地域企業のBCP/DCP検討等への展開を目標に、対象地点に対する地震動、地盤応答と堤防沈下予測、市街地津波氾濫水予測、発災後対応を視野に入れた庁舎建物の構造・室内被害評価などを行った。また、地域の経済被害については、広域と地域の経済的連関にも着目しつつ、詳細な産業連関表に基づく地域の経済被害を推計し、さらに中長期的な視点から廃棄物処理に対する災害時空間的減災戦略の構築や災害対応リソースに関する優先順位を検討した。これら地域の状況に応じた重要リスク課題の抽出と評価について整理をし、地域スケールでの復興計画策定に資する情報提供を行った^{16,17)}。

さらには、2016年熊本地震や2018年に発生した一連の自然災害などを踏まえ、本プロジェクトで評価の狙上に載ることのなかった重要リスクの抽出と課題整理を行った¹⁸⁾。

最終的に広域リスク評価、地域リスク評価ともに後述の(5)と連携し、南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を介して外部に提供可能にした。また、防災分野の総括として、防災分野の成果を統合したワークショップを愛知県碧南市で実施した。これによって現実的な災害対応のシミュレーションを可能とした。

(3) 防災・減災対策研究

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、東海、関西、四国、九州において地域研究会を開催して議論を進めてきた。

前半では、この地域研究会を発展させ、地方自治体やプロジェクト関係者から残された課題とライフライン事業者からの地域の課題を確認した。その上で、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と逐次蓄積した情報プラットフォームへのインプットを進めるなど最新の成果の活用重点を置いた。

後半では、具体的な社会実装に向けた取り組みを進めてきた。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の動向も把握しつつ、経済界やライフライン企業、地元大学とも議論を進めてきた。特に気象庁が臨時情報を今後発表することが公知にされ、これにいかに対応するか、の議論を進めた。サブテーマ1の被害予測などの計算手法等の様々な研究成果を愛知県碧南市に提供、事前復興を含めた地域との防災力向上の議論を進めた。また、和歌山県や三重県において実装しているDONET(地津波・観測監視システム)データ¹⁹⁾を用いた津波即時予測システムの瀬戸内地域への展開を図った。九州地域でも各県ごとに防災特性が異なるが、地域間の連携を推進した。

(4) 災害対応・復旧復興対策研究

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った。得られた成果は課題(3)、(5)と共有するとともに、被害想定、復旧・復興計画については課題(1)、(2)の知見を利用した²⁰⁻²³⁾。兵庫県南あわじ市と和歌山県由良町をモデルとして復旧復興計画を立案し開発した手法が、愛知県碧南市で実施した災害対応ワークショップにおいて都市地域でも対応可能であることを確認した。今後はこれらのモデルが各地域へ展開されることが期待できる。

(5) 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」(以下、「災害情報プラットフォーム」という)を構築した。災害情報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であ

る²⁴⁾(Fig. 4)。この災害情報プラットフォームを基盤、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、啓発ツールとして開発し、防災・減災対策研究や復旧・復興対策研究等に活用した。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)手法を開発した。

3.2 サブ2-1：巨大地震発生域調査観測研究(調査観測分野)

(1) 地下構造・地震活動解析

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評価する必要がある。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解明を行った。地震観測成果としては、日向

灘から南西諸島域北部の広範囲にわたる浅部低周波微動を主とする浅部スロー地震活動の面的な解析を行い、発生パターンの多様性が確認できた。この成果は今後の地震シナリオの想定にも生かされる重要な地球物理学的知見と考えられる。

さらに南西諸島域の地震像の解明研究を実施し、地下構造研究成果として津波地震発生システムが存在する可能性を明らかにした。南海トラフ域から、特に知見の不足する九州、南西諸島海溝までの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解析し、得られた成果と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推進のための基礎データとした²⁵⁻²⁹⁾(Fig. 5)。

南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームの開発

災害情報プラットフォームを開発し研究成果の閲覧が可能となった。災害対応組織における事前研修会等での閲覧利用を展開し、災害対応で役立った



南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム
<https://nankai-bosai.jp/v1.2/>

PJ報告書の研究位置マップ表示機能

研究向け プロジェクト研究報告書をテーマごとにマップ選択し閲覧できる



行政の公開情報収集と検索機能

一般向け 現状を知ることができる



防災関係者向けの研究成果閲覧ページ

行政向け 計画・対応に役立てる



PJ内や関連する研究成果を閲覧できる

Fig. 4 The platform of disaster information on the Nankai trough seismogenic zone.

(2) 津波履歴解析

海域及び陸域の地層の中から過去の地震・津波の痕跡を検出した。陸域では表層地盤の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履歴の解明研究を行った。判明した津波履歴は適宜、シミュレーション研究に提供し、南海トラフ巨大地震の発生パターンの多様性研究に貢献し

た³⁰⁻³²。現時点の解析結果では、南海トラフ巨大地震発生帯から南西諸島地震発生帯に共通した津波痕跡は確認できなかった。また、津波痕跡評価から、南西諸島域では発生間隔はおよそ400~600年、南海トラフ域では繰り返し間隔がおよそ200年から300年と評価され、2地域間の繰り返し発生間隔の違いが確認された³³⁾(Fig. 6)。

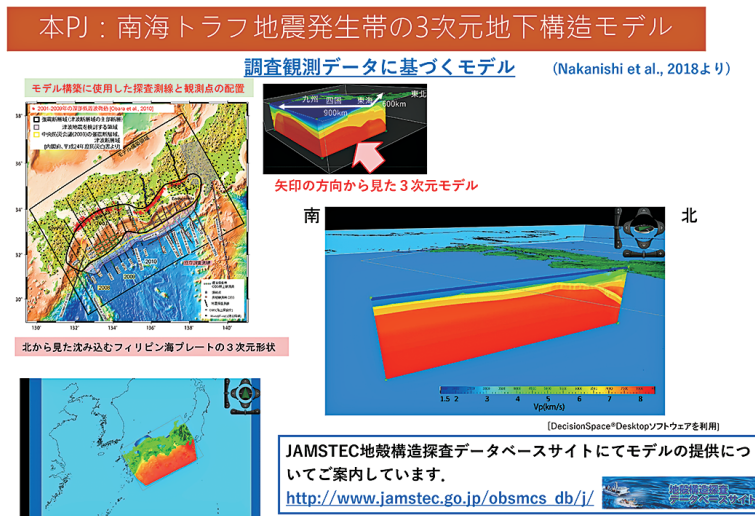


Fig. 5 Three-dimensional structure from Nankai trough to Nansei Islands.

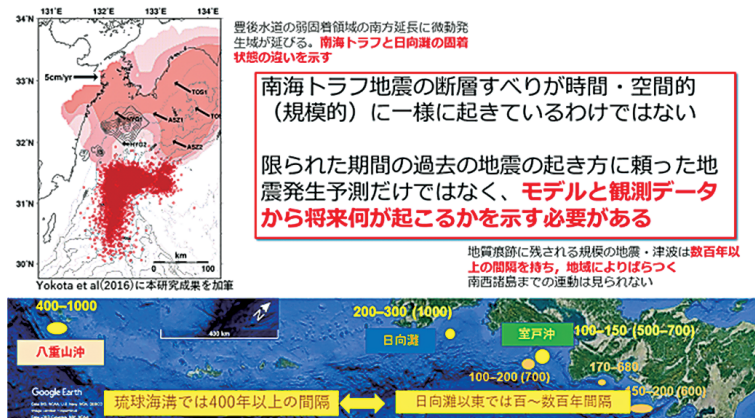


Fig. 6 Diversity of earthquake occurrence patterns from Nankai trough to Nansei Islands seismogenic zone. Tsunami recurrence interval is different between Nankai trough and Nansei Islands.

(3) 南西諸島域地震研究

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解析を行った。この結果は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貢献するものである。主な研究成果としては、地下構造解析により南西諸島域では、津波地震の発生場の詳細を明らかにした³⁴⁻³⁸⁾ (Fig. 7)。

3.3 サブ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)

(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

スーパーコンピュータ「京」等で計算された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した^{39,40)}。これらの情報は南海トラフ巨大地震発生の多様性の理解に大きく貢献するものである。

(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データ同化の模擬テストを行った。そして、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い、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ことができた⁴¹⁻⁴⁹⁾。

また、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

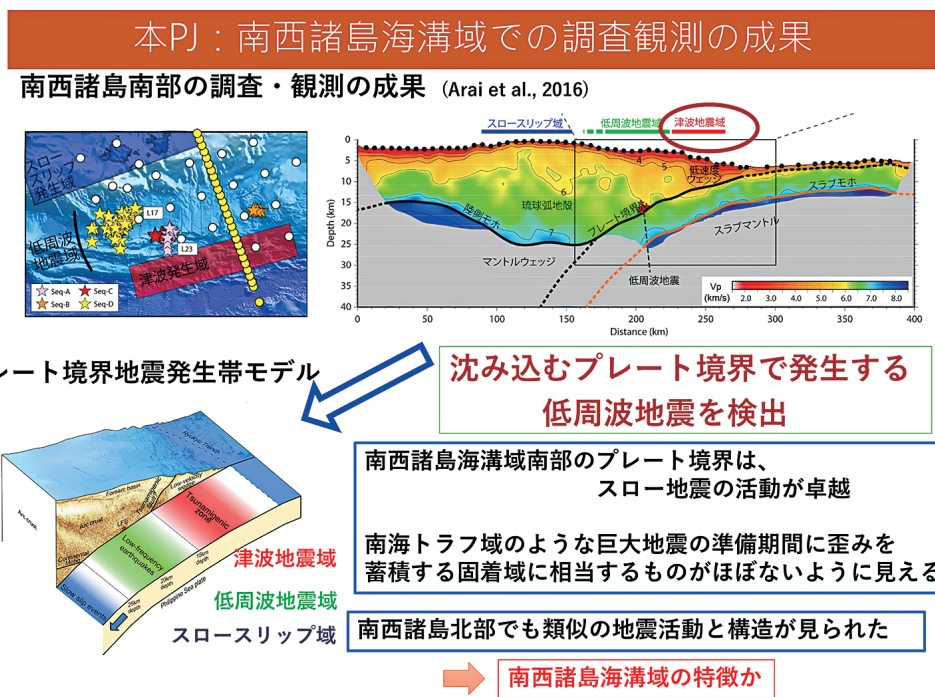


Fig. 7 Characterization of Nansei Islands seismogenic zone. Based on crustal structure analyses, it turned out that there is the risk of tsunami-earthquake occurrence.

データ同化手法の改善を行い、臨時情報発令後に必要とされる推移予測システムの基本モデルのプロトタイプを構築した⁵⁰⁻⁵²⁾(Fig. 8)。研究成果として、1854年安政東海地震と1944年東南海地震発生評価にもとづき、南海トラフ地震は多様性に富

む繰り返し発生システムであることが推定された。この2つの地震発生パターンは相補的であると考えられる。この多様性を踏まえた予測モニタリングシステムを試作し、有効性を検証した(Fig. 9)。この南海トラフの過去地震の震源再解析に

変化に追従できる予測手法の実データへの適用

同化によるすべり速度の改善

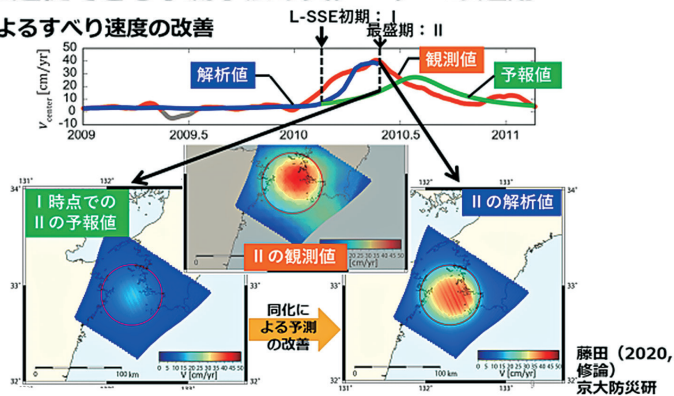


Fig. 8 Case study of application of prediction methods that can follow changes to actual data. The assimilation method using actual data is applied to transition prediction.

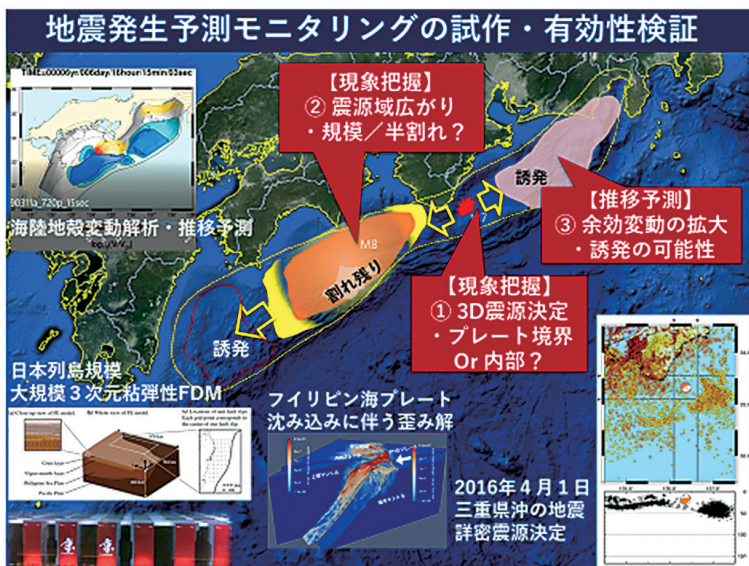


Fig. 9 New insights of diversity on Nankai trough recurrence pattern. Based on some kinds of research results including observation, simulation, field survey and document investigation, the analysis about detailed diversity of Nankai trough recurrence pattern is advanced.

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、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）を図った。

一方、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した^{53,54} (Fig. 10) (Fig. 11)。また、史料調査や津波調査等に基づき、過去の南海トラフ地震の震源モデルと津波波源モデルを明確化して、次の南海トラフ地震のシナリオ作りに反映させるとともに、南海トラフ地震と南西諸島海溝地震の連動可能性などの評価を行った。

さらに、強震動・津波シミュレーション手法の大規模並列化⁵⁵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った。具体的には、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定

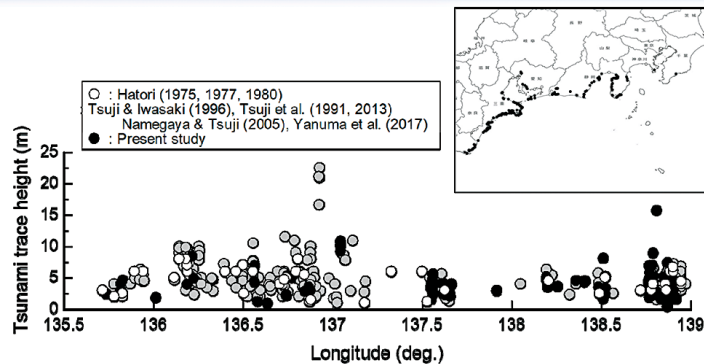
性（多様性）に伴う短周期強震動と長周期地震動の予測のバラツキを適切に評価し、防災に資することのできる実用的なハザード評価を行った⁵⁶。

今後の予測研究における課題と展望を Fig. 12 に示す⁵⁷。

4. 防災対策に資する南海トラフ地震調査研究

2019年度に南海トラフ広域地震防災プロジェクトが終了し、2020年度より、文部科学省の委託研究「防災対策に資する地震調査観測研究」が5ヶ年の地震研究プロジェクトとして開始された。新規プロジェクトは、前の「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の研究成果を踏まえ、a) 臨時情報が発令した際の推移予測の高度化のために即時解析システム構築を目的とした地殻活動情報創成研究、b) 防災情報基盤の創成による「命と社会」を守る地震防災情報研究ならびにc) 研究成果の情報発信による減災研究の推進と情報リテラシー向上を推進ならびに評価する創成情報発信研究から構成されている。

3. 史料整理と調査のまとめ：津波痕跡高分布



津波高は安政東海地震津波の津波痕跡高分布には2つのピークがあり、志摩半島東端の国崎（22 m）と伊豆半島南東の入間（15 m）。平均的には10 m程度。西側の津波終息地点は鵜殿。

Fig. 10 Results of tsunami evidence analyses in 1854 Ansei Nankai trough earthquake. Estimated tsunami height has two peaks in tsunami damaged area. It is very important information to understand Nankai trough earthquakes.

5. まとめ

およそ100年から200年の間隔で繰り返し発生する南海トラフ巨大地震は、まさに国難級の地震津波災害を引き起こすものであり、その被害軽減と事前復興プロセスは日本の未来構築において必要不可欠である。これまで文部科学省の委託研究と

して様々な南海トラフ巨大地震研究が進められ、地震像の把握や減災研究において多くの有益な研究成果が得られてきた。しかしながら、実際には東日本大震災を引き起こした東北地方太平洋沖地震発生の予測が難しかったことから、国は南海トラフ巨大地震の被害軽減を目的として「臨時情報

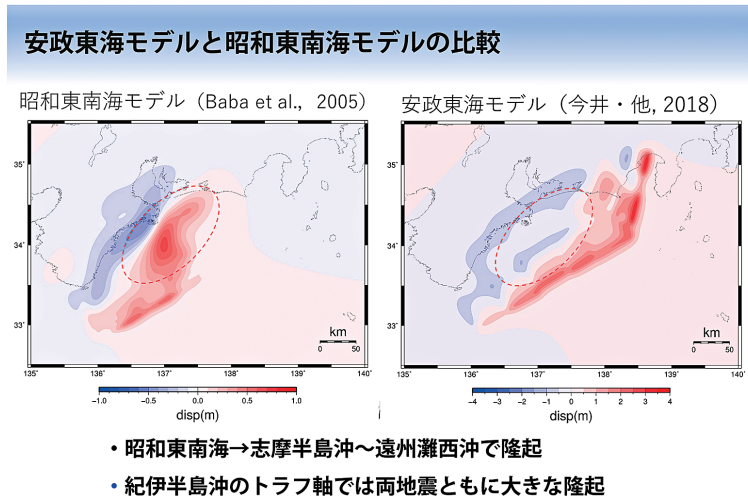


Fig. 11 Comparison of tsunami model between 1854 Ansei Tokai and 1944 Showa Tonankai earthquake based on tsunami evidence analyses. The estimated uplifting and subsiding areas are not same between 1854 Ansei Tokai and 1944 Showa Tonankai earthquakes.

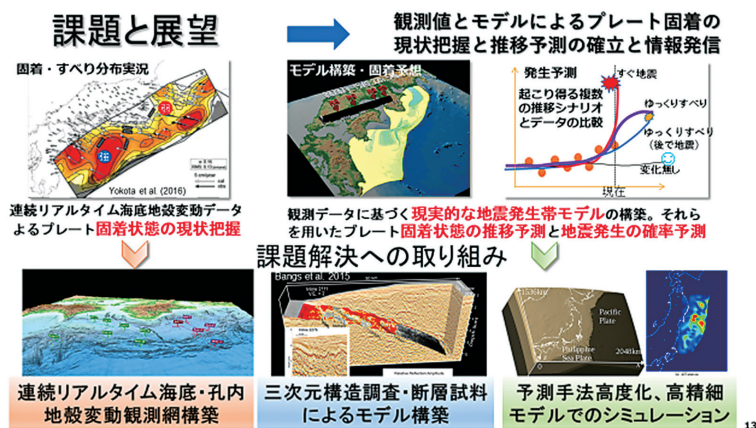


Fig. 12 Discussion on the ground design of transition prediction system around Nankai trough crustal activities. After discussion and developing the transition prediction system, we will implement it for Nankai trough earthquake temporary information.

発令制度」を定めた。これは南海トラフ巨大地震震源域において半割れ、一部割れあるいはプレート境界域において異常な滑り現象が観測された場合に発令されるもので、短時間で津波浸水が想定される沿岸域の市民へ迅速な避難を促すものである。

今後は、臨時情報発令後の地殻活動の推移予測を行い、より信頼性の高い臨時情報の発表に貢献することが重要である。そのためには、すでに紀伊半島沖周辺に設置されている地震津波・観測監視システムである DONET やこれに接続されている長期坑内計測システムデータ、室戸沖から日向灘に構築中の海底観測網 N-NET データさらには陸上の観測データ活用が不可欠である。一方、リアルタイム観測データ活用では、スーパーコンピュータ等を用いた推移予測研究の高度化や地域性を踏まえた災害イメージの4次元化も同様に重要である。減災研究として、インフラ整備に資する工学的研究と推移予測研究の深化ならびに災害対応として、災害情報を適切に発信し、正しく理解するための情報リテラシーの向上研究も今後の喫緊の課題である。国難級の南海トラフ巨大地震の被害軽減と迅速な復旧復興のためには、東日本大震災はじめ過去の地震災害の教訓を活用しあらゆる科学技術を統合化した減災科学の推進と人材育成が必要不可欠である。

謝辞

本研究の委託元である文部科学省はじめ本研究プロジェクトに関わった名古屋大学福和伸夫教授、海洋研究開発機構小平秀一部門長、東京大学古村孝志教授はじめすべての研究者、関係機関に感謝いたします。

参考文献

- 1) 古本宗充・安藤雅孝：西南日本から琉球列島にかけての超巨大地震の可能性，総特集 連動型巨大地震 (2)，月刊地球 31 (4)，pp.197-202, 2009.
- 2) 今井健太郎・今村文彦・岩間俊二：市街地における実用的な津波氾濫解析手法の提案 土木学会論文集 B2 (海岸工学)，69-2，pp.311-315, 2013.
- 3) 佐藤翔輔・今村文彦：東日本大震災における「見える復興」を目指した復興広報活動に関する実態調査・分析－宮城県内の被災自治体を対象にして－，地域安全学会論文，No.24，pp.171-181, 2014.
- 4) 佐藤翔輔・杉浦元亮・野内 類・邑本俊亮・阿部恒之・本多明生・岩崎雅宏・今村文彦：災害時の「生きる力」に関する探索的研究－東日本大震災の被災経験者の証言から－，地域安全学会論文集，No.23，pp.65-73, 2014.
- 5) 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－，2016.
- 6) 佐藤翔輔・今井健太郎・大野 晋・齋 正幸・板原大明・松尾敏彦・今村文彦：徒歩と自動車を組み合わせた津波避難計画の策定，－宮城県亘理町での実践－，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.70，No. 2，I_1371-I_1375, 2014.
- 7) 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年.
- 8) 佐藤翔輔・岡元 徹・今村文彦：震災からの「教訓」を伝える2つのデータベースの実装とその評価：「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」災害情報 No.16，pp. 95-104, 2018.
- 9) 寺島芳洋・平井 敬・福和伸夫：堆積盆地構造が地震動の周期特性に及ぼす影響 3次元有限差分法を用いた検討，日本建築学会構造系論文集第80巻，第708号，pp.219-230, 2015.
- 10) 丹羽智是・福和伸夫・護 雅史：動的相互作用と地盤非線形性を考慮した南海トラフの巨大地震に対する建物応答評価，日本建築学会東海支部研究報告集，第52号，pp.233-236, 2014.
- 11) 谷口純一・馬場俊孝・三好 学・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)，pp.72，I_1525-I_1530, 2016.
- 12) Fukuwa, N., T. Hirai, J. Tobita and K. 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.
- 13) 平井 敬・福和伸夫：地盤構造モデルに基づく伝達関数を用いた任意震源による長周期地震動の予測手法, *日本建築学会構造系論文集*, 第80巻, pp.1227-1237, 2015
 - 14) 中村洋光・藤原広行・森川信之・清水 智・若浦雅嗣・小丸安史・早川 讓：南海トラフ地震を対象とした広域リスク評価のための将来建物・人口モデルの構築, 第14回日本地震工学シンポジウム, pp.1195-1204, 2014.
 - 15) 河合伸一・中村洋光・藤原広行・森川信之・清水 智・若浦雅嗣・小丸安史・早川 讓：南海トラフ地震を対象とした現在から将来における地震リスクの評価, *日本地震工学会・大会* - 2015, pp.4-23, 2015.
 - 16) 山崎雅人：巨大地震の「経済被害」をどう読むか安全工学, Vol.53, No. 2, pp.94-99, 2014.
 - 17) 山崎雅人・曾根好徳・小池淳司：南海トラフ巨大地震による製油所被災の経済被害評価, *化学経済*, Vol.62, No. 13, pp.72-77, 2015.
 - 18) 藤原広行・中村洋光・河合伸一・森川信之・前田宣浩・内藤昌平・岩城麻子・土肥裕史・先名重樹・はお憲生・東 宏樹・内山庄一郎・大角恒雄・平田賢治・佐伯琢磨・清水 智・小丸安史・若浦雅嗣・時実良典・菊地ひめか・麻生未季・早川 讓・山崎雅人：南海トラフで発生する地震・津波を対象とした広域リスク評価手法の検討, *防災科学技術研究所研究資料*, 第444号, 2020.
 - 19) Kaneda, Y., N. Takahashi, T. Baba, K. Kawaguchi, E. Araki, H. Matsumoto, T. Nakamura, S. Kamiya, K. Ariyoshi, T. Hori, M. Hyodo, M. Nakano, J-K Choi, S. Nishida and T. Yokobiki: Advanced real time monitoring system and simulation researches for earthquakes and tsunamis in Japan. *Post-Tsunami Hazard, Advances in Natural and Technological Hazards Research*, 44, pp.179-189, 2014.
 - 20) 曾我部哲人・田中 傑・佐藤慶一・牧 紀男：災害が社会に与える影響の定量的評価方法の基礎的研究 - 阪神・淡路大震災と新潟県中越地震を対象にして - *地域安全学会 論文集*, No.27, pp.95-104, 2015.
 - 21) 田中 傑・牧 紀男・金 玖淑：インフラ事業者の復旧想定の共有化, *地域安全学会梗概集* 第36号, pp.101-102, 2015.
 - 22) 金 玖淑・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 - , *地域安全学会論文集*, No.30, 2017.
 - 23) Baba, T., J. Taniguchi, N. Kusunoki, M. Miyoshi and H. Aki: Preliminary Study on Long-Term Flooding After the Tsunami, *J. Disaster Research*, vol. 12, pp. 741-747, doi:10.20965/0741, jdr., 2017.
 - 24) Shimazaki, K. and Y. Mizui: Differences between scientific prediction and objective perception of focal area and seismic intensity of Nankai trough giant earthquake, *Journal of Disaster Research (JDR)*, Vol.12, No.5, pp.916-925, 2017.
 - 25) Obara, K. and A. Kato: Connecting slow earthquakes to huge earthquakes, *Science*, 353(6296), pp.253-257, doi:10.1126/science.aaf1512, 2016.
 - 26) 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, pp.374-377, doi:10.1038/nature17632, 2016.
 - 27) Takahashi, T., K. Obana, Y. Yamamoto, A. Nakanishi, S. Kodaira and Y. Kaneda: The 3-D distribution of random velocity in homogeneities in southwestern Japan and the western part of the Nankai subduction zone, *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 118, Issue5, pp.2246-2257, 2013.
 - 28) 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), pp.676-679, doi:10.1126/science.Aaa4242, 2015.
 - 29) Nakanishi, A., N. Takahashi, Y. Yamamoto, T. Takahashi, S. O. Citak, T. Nakamura, K. Obana, S. Kodaira and Y. Kaneda: Three-dimensional plate geometry and P-wave velocity models of the subduction zone in SW Japan, Implication for seismogenesis, *Special Paper of the Geological Society of America* 534: 69-86, doi:10.1130, 2018/2534(04), 2018.

- 30) Kanamatsu, T., K. Kawamura, M. Strasser, B. Novak and Y. Kitamura: Flow dynamics of Nankai Trough submarine landslide inferred from internal deformation using magnetic fabric *Geochem., Geophys. Geosys.*, 15, pp. 4079–4092, 2014.
- 31) 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 1500years, *Earth and Planetary Science Letters*, 445, pp.48–56, 2016.
- 32) Ikehara, K., K. Usami, T. Kanamatsu, T. Danhara and T. Yamashita: Three important Holocene tephras off the Pacific coast of the Tohoku region, Northeast Japan, Implications for correlating onshore and offshore event deposits, *Quaternary International*, 456, pp.138–153, 2017.
- 33) 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 Tsunamis, *Geology, Hazards and Risks*, Geological Society, Special Publication., No. 456,75–89, 2018.
- 34) Arai, R., T. Takahashi, S. Kodaira, Y. Kaiho, A. Nakanishi, G. Fujie, Y. Nakamura, Y. Yamamoto, Y. Ishihara, S. Miura and Y. Kaneda: Structure of the tsunamigenic plate boundary and low-frequency earthquakes in the southern Ryukyu Trench, *Nature Communication*, 2016.
- 35) Arai, R., S. Kodaira, T. Takahashi, Y. Kaiho, S. Miura and Y. Kaneda: 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.
- 36) Arai, R., S. Kodaira, T. Yamada, T. Takahashi, S. Miura, Y. Kaneda, A. Nishizawa and M. Oikawa: Subduction of thick oceanic plateau and high-angle normal-fault earthquakes intersecting the slab, *Geophysical Research Letters*, Vol.44, Issue12, pp.5873–6470, 2017.
- 37) Yamamoto, Y., T. Takahashi, Y. Ishihara, Y. Kaiho, R. Arai, K. Obana, A. Nakanishi, S. Miura, S. Kodaira and Y. Kaneda: Modeling the geometry of plate boundary and seismic structure in the southern Ryukyu Trench subduction zone, Japan, using amphibious seismic observations, *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, Vol.123, Issue2, pp.917–2032, 2018.
- 38) Yamamoto Y., T. Takahashi, Y. Ishihara, K. Obana, S. Miura, S. Kodaira and Y. Kaneda: Plate geometry model and seismicity in the northern Ryukyu subduction zone, Japan, deduced from amphibious seismic observations, *Earth and Planetary Science Letters*, 2020.
- 39) 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, pp. 366–371, 2016.
- 40) 鷲谷 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), pp. 942–944, 2016.
- 41) Nakata, R., T. Hori, M. Hyodo and K. Ariyoshi: Possible scenarios for occurrence of M-7 inter plate earthquakes prior to and following the 2011 Tohoku-Oki earthquake based on numerical simulation, *Scientific Reports*, vol.6, 25704, doi:10.1038/srep25704, 2016.
- 42) Kano, M., S. Miyazaki, K. Ito and K. Hirahara: An adjoint data assimilation method for optimizing frictional parameters on the afterslip area, *Earth Planets Space*, 65, 1575–1580, 2013.
- 43) Ichimura T., R. Agata, T. Hori, K. Hirahara and M. Hori: Fast Numerical Simulation of Crustal Deformation using a Three-Dimensional High-fidelity Model, *Geophysical Journal International*, 195, pp. 1730–1744, 2013.
- 44) Kano M., S. Miyazaki, Y. Ishikawa, Y. Hiyoshi, K. Ito and K. Hirahara: Real data assimilation for optimization of frictional parameters and prediction of afterslip in the 2003 Tokachi-oki earthquake inferred from slip velocity by an adjoint method, *Geophysical Journal International*, Volume 203, Issue 1, pp. 646–663, October 2015.
- 45) Agata R., T. Ichimura, K. Hirahara, M. Hyodo, T. Hori, C. Hashimoto and M. Hori: Numerical Verification Criteria for Coseismic and Postseismic Crustal Deformation Analysis

- with Large-scale High-fidelity Model, *Procedia Computer Science*, 51, pp.1534-1544, 2015.
- 46) Ohtani, M. and K. Hirahara: Effect of the Earth's surface topography on the quasi-dynamic earthquake cycles, *Geophysical Journal International*, 203, pp. 384-398, 2015.
- 47) 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.
- 48) Agata, R., T. Ichimura, K. Hirahara, M. Hyodo, T. Hori and 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, pp.121-130, 2016.
- 49) Yamaguchi, T., T. Ichimura, Y. Yagi, R. Agata, T. Hori and M. Hori: Fast crustal deformation computing method for multiple computations accelerated by a graphics processing unit cluster, *Geophysical Journal International*, Volume210, Issue 2, August 2017, pp.787-800, <https://doi.org/10.1093/gji/ggx203>, 2017.
- 50) Baranes, H., J.D. Woodruff, J.P. Loveless and M. Hyodo: Interseismic Coupling-Based Earthquake and Tsunami Scenarios for the Nankai Trough, *Geophysical Research Letters* Pages, pp.2986-2994, 2018.
- 51) Hirahara, K. and K. Nishikiori: Estimation of frictional properties and slip evolution on a long-term slow slip event fault with the ensemble Kalman filter, numerical experiments, *Geophys. J. Int.*, 219, pp. 2074-2096, doi: 10.1093/gji/ggz415, 2019.
- 52) 藤田萌実：アンサンブルカルマンフィルタによる断層摩擦パラメータ及びすべり発展の推定 - 豊後水道長期的 SSE への適用 -, 京大大学令和元年度 地球惑星科学専攻 (地球物理学分野) 修士論文, 2020.
- 53) 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 -, 地震第2輯 第70巻, pp. 89-107, doi:10.4294/zisin.2016-13地震, 2017.
- 54) 今井健太郎・石橋正信・行谷佑一・岩瀬浩之・高橋成実・堀 高峰・安田容子・蝦名裕一：紀伊半島沿岸の1854年安政東海・南海地震における津波痕跡高の再評価, 第35回歴史地震研究会, 2018.
- 55) Furumura, T.: Radiation and development of short- and long-period ground motions from the2011Off Tohoku, Japan, Mw9.0 earthquake, *Journal of Disaster Research*, Vol.9 No.3, pp. 281-290, 2014.
- 56) Furumura, T., T. Maeda and A. Oba: Early forecast of long-period ground motions via data assimilation of observed ground motions and wave propagation simulations *Geophysical Research Letters*, pp.138-147, 2018, <https://doi.org/10.1029/2018GL081163>, 2019.
- 57) Bangs, N. L., K.D. McIntosh, E.A. Silver, J.W. Kluesner and C.R. Ranero: Fluid accumulation along the Costa Rica subduction thrust and development of the seismogenic zone, *Jour. Geophys. Res.*, 119, doi:10. 1002, 2015/JB011265, 2014.

(投稿受理：令和3年2月12日)

要 旨

2013年の文部科学省委託による「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の成果について解説する。防災の分野では、2011年の東日本大震災被害から得られた教訓、時空間スケールの相違による推定、将来の社会環境の時空間変化に基づく予備復興計画について研究がなされた。それらは、災害シナリオと災害情報プラットフォームを使用した地域研究グループでのワークショップにて統合され、情報普及を促進するために利用された。調査・観測・シミュレーション研究の分野では、三次元地震発生帯構造を有する南海トラフの地震像と、高度なシミュレーション研究、津波史調査、歴史文献調査に基づく地震発生多様性の評価を研究した。その結果、遷移予測の基本システムが得られた。