

4. 全体成果概要

4.1 サブテーマ1：地域連携減災研究

(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」へのコンテンツ追加を行った。また、「3.11からの学びデータベース」「震災教訓文献データベース」「動画でふりかえる3.11」の利用頻度を調査し、活発に利用されていることを確認した。加えて、災害時の8つの「生きる力」を向上させる人材育成プログラムの検証を行い、同プログラムによる効果の頑健性を確認した。さらに、防災関心層を対象にした東日本大震災の教訓の理解度を評価し、その内容について理解度に差があることを確認した。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と共に、その実現に関する課題の分析・抽出を行った。特に実現のための事業として土地区画整理事業に着目し、効果と課題を抽出し、その原因を明らかにした。
- ②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、アーカイブ化を継続するとともに、地元組織との協力により本プロジェクト終了後も継続して観測を行うための枠組みの構築を行った。
- ③1) ライフライン（上水道）については、東日本大震災における被災状況、復旧過程、防災減災上の課題について取りまとめた上で、上水道事業者が実際に講じる減災対策について整理を行った。その後、復旧のシミュレーションを数回実施することを通じて、碧南市に効果的な減災対策案と現実的な復旧予測を提示した。2) 建築構造物については、観測記録に基づく重要施設の機能継続のための構造モニタリングを検討した。また地震時の機能被害のうち、重要度の高いエレベーター停止について、既往資料に基づき整理した。3) 地盤・土構造物については、地震動による斜面災害に対する降雨の影響を調査した。その結果、斜面の地震時安定性評価のためには、斜面内の浸潤面位置の把握が重要であることを確認した。
- ④東北地方太平洋沖地震の際に、東北～九州の広い範囲の大振幅の地動変位が生じた原因が、長周期（15秒、70秒）のLove波パルスの伝播によることを明らかにし、3次元地震波伝播シミュレーションから生成・伝播過程を再現した。この地震の際に、東北～九州での誘発地震の発生や、深部深部低周波数地震の活発化が、この長周期Love波パルスの伝播によるものであった可能性を明らかにした。

(b) 地震・津波被害予測研究

- ①2011年東北地震津波の事例を対象として、沿岸地域の地形および経済的特徴を踏まえて、津波による瓦礫発生要因を統計的に検討した。それらの結果を踏まえて、建物被害関数の構築を行い、被害予測に適用できる設計被害関数の構築を行った。徳島市をモデル地区として、津波浸水やそれによる建物被害、そして長期湛水による被害予測を実施した。さらに、愛知県碧南市をモデル地区として、地震応答解析による河川堤防の脆弱性やプレジャーボートの打ち上げを含めた地震津波被害統合解析を行い、沿岸都市部の中心に流れる2級河川護岸の地震動被害が津波氾濫やプレジャーボートの打ち上げによる2次被害に大きく影響を及ぼし得ることを定量的に示した。

- ②グリーン関数の補間を利用した強震動計算法を用いて、震源モデルの構成・震源断層の要素分割による予測地震動の違いを評価した。予測結果の地震動は、時間関数としての因果性が崩れることがあるものの、レベルとしては適切な範囲であると考えられる。
- ③碧南市を対象に水～土連成有限変形解析による一次元地震応答解析を実施し、地盤の液状化危険度について従来法（FL法）と比較した。液状化危険度は従来法とよく似た傾向を示す一方で、干拓地・埋立地では粘性土が厚く堆積しているため、長周期成分が増幅され、地表面での大きな揺れにつながることを示した。
- ④実在市庁舎を対象とした3次元解析モデルの地震観測結果に基づく妥当性検証を行うとともに、本解析モデルと推定地震波を用いた、南海トラフ地震に対する当該建物の詳細な応答予測を行った。その結果、想定南海トラフ地震に対して、7階（居室を有する最上階、GL27m）では、 7 m/s^2 程度（震度7相当）、1階では $2\text{ m/s}^2\sim 3\text{ m/s}^2$ 程度（震度5強程度）と7階の半分以下の応答となることが推定された。また、倒壊するような被害は生じないものの、上層部では応答加速度が大きく、未対策の場合には、家具固定などの室内被害防止の必要性を指摘した。
- ⑤南海トラフ巨大地震によるライフライン被害の早期復旧についての検討を目的として、電力については、産官学の連携の場（プラットフォーム）を活用し、電力復旧に係るボトルネックについて議論するとともに、中でも電力復旧に不可欠な道路について、具体的な地域において電力復旧に加え緊急支援物資輸送からの観点、道路・区間に対する優先順位付けの方策等について検討した。また上水道については、碧南市上水道インフラの各種減災対策の費用と便益を比較し、優先的に実施すべき対策について知見を得た。新たな試みとして、某市上水道システムを対象に、銭湯に至る被災管路の優先的修繕シミュレーションを実施した。
- ⑥広域リスク評価では、過去の南海トラフの地震発生状況から、多様性のある南海トラフの地震の分類（シナリオタイプの類型化）を行うとともに、地域類型化手法により6ケースの災害シナリオに対する3種類の地域類型を行うことで、定量的なリスク評価に基づく南海トラフ地震による地域別の特徴を明らかにし、地域類型を反映した災害シナリオを作成した。
- ⑦都市災害については、国土復興シミュレーションを用いた南海トラフ巨大地震後の多様なシナリオにおける人口増減の推定と、国勢調査と比較することにより、東日本大震災を対象としたシミュレーションの検証を行った。様々なケースで国土復興シミュレーションを算出した結果、事業所の防災対策を進める政策は、被災地の人口流出を防ぐ効果もあることが定量的に確認された。他方でこのシミュレーションの検証からは、被害の大きい地域は世帯減少を過大に見積もり、被害の大きい地域に隣接した地域は世帯増加を過大に見積もり、被災地から遠方の地域は世帯増加を過少に見積もっている傾向が明らかになった。これにより、より精度の高い復興シミュレーションを作成する際は、移住行動を説明する数理モデルに、より多様な変数を準備する必要がある。これは今後、災害からの移住行動を調査する際の調査項目などに示唆を与えるものと考えられる。経済被害については、平成30年度までに構築した愛知県市区町村間産業連関表を用いて応用一般均衡モデルを構築し、豊田市の生産設備の50%が機能

停止した場合の経済被害をシミュレーションした。

- ⑧災害廃棄物評価では、災害廃棄物量の把握システムを用いて、南海トラフ地震における愛知県を対象として、住宅耐震化や建て替えによる災害廃棄物の減量効果について検討し、旧耐震基準による木造住宅棟数が31.5万棟、非木造住宅棟数が8.7万棟減少したことで、全壊棟数が46.9%減少し、災害廃棄物量は5,236.5万トンから3,038.6万トンと41.1%減少することを示した。

(c) 防災・減災対策研究

- ①これまでに得られた研究成果や各組織の取り組みの現状を念頭に、南海トラフ地震に関する状況の変化を踏まえ、東海、関西、四国、九州で地域研究会を開催した。臨時情報の議論やプロジェクト成果の実装が進む取り組みに関する情報共有などを行った。四国・九州地域では、地域研究会と平行して分科会も行い、その分科会では個別地域や個別テーマに特化した情報交換や議論を行った。サブテーマ1やサブテーマ2の研究成果の実装の事例もいくつか構築することができた。
- ②地域の防災力を向上させる取り組みとして、高知市をはじめいくつかの地域で啓発活動を実施、地震・津波による被災時のイメージをより具体化するなど、防災意識の向上に取り組んだ。

(d) 災害対応・復旧復興研究

- ①これまで町レベル、市レベルで開発・発展させてきた事前復興計画策定手法を都市レベルで適用し、その成果をまとめた。その結果、それぞれの課での取り組みや複合的なハザードにより各場所・時系列で想定される状況を共有することで、液状化や密集市街地での火災など、複合的なハザードが想定される都市レベルにおいても、自治体全体として検討すべき課題を抽出・認識することが可能であることが明らかとなった。
- ②これまで行ってきた災害影響評価手法の構築によって得られた手法の実践と、現時点での評価手法の課題及びその解決手法の提示を行った。その結果、人口構造評価手法は個々の事例の影響評価への活用が期待できること、今後のさらなる改善の方向性についての示唆をえることができた。
- ③これまで参与を行った集落域における津波防災地域づくりの新しいモデルの実証的構築、都市域における津波防災に関わる行政計画策定を通して得られた知見を総括した。特に津波リスクに関する科学的情報の地域づくり、行政計画における適切な活用方法、津波リスクに関する科学的情報の理解を起点とした地域づくりのプロセスに焦点をあて、総括的な考察を行うとともに、現段階での課題を整理した。
- ④南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトの他の研究成果を理解しながら、中長期的な都市計画分野における事前復旧・復興の考え方を検討し、その結果を三重県の公式な都市計画図書に組み込んだこと、そして、鈴鹿市の都市マスタープランにその内容をいち早く取り入れたことは本業務の大きな成果である。

(e) 防災・災害情報発信研究

- ①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、

およびそのほかハザード・リスク情報との成果運用に関する連携技術・手法と、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を、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」に実装した。1-eで開発、整備してきたデータ、PCで運用できるシステム、及び教材を、行政や地域が防災活動を考えるためにWeb上で一括して閲覧できるような連動実装と、行動意図モデルに基づいた避難意図研究の総括と、地域産業の事業継続に関して継続的な分析ととりまとめを行った。上記の、開発、整備してきたデータ、PCで運用できるシステム、及び教材と、リスクコミュニケーション(RC)・人材育成手法の調査結果を反映し、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」(Ver.2.0)を一般公開した。

- ②昨年度開発した没入感のある地震応答体感環境に、本プロジェクトの他課題で実施した市庁舎建物の詳細な3次元モデルによる南海トラフ地震に対する地震応答解析結果を利活用するとともに、現地の3次元点群撮影等から作成した室内モデルによる映像を組み合わせることにより、研究成果をより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へと拡張した。
- ③これまで開発してきた自動読み取り、海陸構造を取り入れた即時震源決定、これらの情報に基づく地震活動と統計情報の可視化を進め、必要なパラメータ設定を行い情報共有する仕組み作りを手掛けた。地震活動を定常的にモニタし、得られる震源情報および地殻変動などの関連情報から地殻活動に関する情報を引き出すためには多様な視点に基づく様々なデータを比較することが重要である。本業務ではそのためにはインタラクティブなシステムを構築し、様々な情報を自由な形で比較できるシステムの基礎を完成させた。
- ④本業務について過年度の平成30年度には、i) 避難意図構造モデルの安定性を確認する量的調査を高知市で実施、ii) 事業継続については製造業大手4社に対する面接調査ならびに静岡県沿岸部に立地する製造業事業所を対象とした量的調査を実施した。令和元年度においては、i) 昨年度までに実施してきた避難意図構造の詳細分析を行うとともに、ii) 昨年度調査で重要性の明らかとなった地域の中小製造業事業者への事業継続計画の支援策に関する聞き取り調査を実施した。さらに、地域の事業所の業務継続の可否や住民の生命健康に大きく影響することから社会的重要性の高い、iii) 医療福祉施設の事業継続に関する調査を、新たに実施した。

4.2 サブテーマ2：巨大地震発生域調査観測研究

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・奄美群島周辺での自然地震観測を実施し、自然地震の震源再決定や低周波地震の震央決定を進めた。また南海トラフおよび南西諸島における既存の速度構造モデルや構造探査データを用いて、全域にわたる連続的なプレート形状モデルの構築、フィリピン海プレート表面の面粗さの評価、熊野灘で反射振幅の抽出・マッピングを行った。
- ②四国東部における稠密地震観測点及び定常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を実施し、詳細な活動の特徴を把握した。また、観測記録に含まれる

変換波の詳細解析に基づき、四国東部下に存在するフィリピン海プレート形状モデルを構築するとともに、深部低周波地震（微動）活動との関係について議論した。

(b) 海陸津波履歴研究

- ① 日向灘海域から採取された海底堆積物コアの年代測定を行った結果、300～400 年程度のタービダイトの堆積間隔を得た。また、日向灘海域で広域に対比可能なタービダイトの存在を約 2000 年前、2600 年前、3200 年前、6300 年前に確認した。種子島東方沖では 300 年程度のタービダイトの堆積間隔が得られた。
- ② 静岡県富士市の浮島ヶ原低地で採取された既存の柱状堆積物試料について、化石群集の分析および放射性炭素年代測定を行った結果、少なくとも 8 回の沈水イベントが認められ、最も新しいイベントは 1707 年宝永地震か 1498 年明応地震、2 番目に新しいイベントは 1498 年明応地震か 1361 年正平（康安）地震、3 番目に新しいイベントは 1096 年永長地震か 887 年仁和地震に対応する値を示した。
- ③ 三重県南伊勢町において、過去に発生した巨大津波による浸水の履歴を明らかにするため、沿岸湖沼において湖底の堆積物試料を採取した。採取した試料の CT 画像を取得した結果、有機質泥層中に 20 層のイベント堆積物が認められた。放射性炭素同位体年代測定を行った結果、この上位 2 層のイベントは 1854 年安政東海地震と 1707 年宝永地震に伴った津波の痕跡である可能性が示された。
- ④ 和歌山県串本町および那智勝浦町で津波堆積物を対象とした掘削調査を実施し、泥質堆積物中に挟在する複数のイベント砂層を検出した。串本町の笠嶋遺跡では鬼界アカホヤテフラ（7300 年前）より前に 3 層、後に 9 層、那智勝浦町の八尺鏡野湿地では 7 層のイベント砂層をそれぞれ確認した。
- ⑤ 日向灘周辺で過去に発生した巨大津波による浸水の履歴を明らかにするため、宮崎県串間市の海岸付近の放棄水田においてハンディコアラーを用いた掘削調査を実施した。採取した柱状堆積物試料を肉眼観察した結果、数枚の明瞭なイベント層が認められた。さらに採取した試料に放射性炭素年代測定を行った結果、そのうちの 1 つは約 4800 年～4200 年前に発生した津波によって形成されたものであることが明らかとなった。

(c) 広帯域地震活動研究

- ① 南海トラフ西端から南西諸島海溝北部における領域において、平成 30 年度に設置した長期観測型海底地震計を、海洋研究開発機構と連携して、回収した。また、これまでに回収されたデータの整理を行うとともに、これまでに得られたデータを用いた解析を実施し、とりまとめを行った。平成 31 年度は、トカラ列島北東沖において、2018 年度に設置した長期観測型海底地震計と圧力計付き広帯域海底地震計の回収作業を行った。今年度回収した海底地震計からは、トカラ列島北東沖における初めての長期連続観測による良好な波形データを取得することができた。観測期間中の 3 回の浅部低周波微動活動について震源決定を行い、この領域における浅部低周波微動活動の分布を初めて明らかにする事ができた。さらに、種子島沖で発生する超低周波地震は、その震源深さから沈み込むフィリピン海プレートに関連する活動であることが示唆

された。

- ②ブイシステムで観測される海底水圧データには、大気の情報、海面高、海水の密度等の変化が含まれる。これらの影響を正しく観測することが、海底水圧計による広帯域観測には必要である。ブイには、GPS 精密単独測位データ、気圧計や風向・風速などの気象データ、表面流速や流向の海洋データを同時に連続観測できるように各種センサーを設置されている。1年間の海域試験連続データ（平成26年12月9日～平成27年12月20日）から、得られている自然現象について検討した。その結果、2-32分周期を持つシグナルが検出され、気象・海象データ、測位データと相関がないことから、近隣を流れる海底谷沿いのタービダイトの可能性があることがわかった。

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南海トラフ地震に関する複数の震源シナリオに基づいてプレート間固着の分布を作成し、GNSSデータのブロック運動モデル解析から得られたプレート間固着分布との比較を通して震源モデルの妥当性を評価した。また、測地データから力学的アプローチによりプレート間固着を推定する手法を開発し、東日本に適用した。測地データからプレート境界の固着や応力蓄積を推定する上で重要な陸域における非弾性変形の影響を定量的に推定する手法を開発し日本海東縁のひずみ集中帯に適用した。
- ②東北地方の海陸地殻変動観測・地震データを用いて、2011年東北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実施した。まず、日本海溝における東北沖地震直後における微動活動の周期性について短周期海底地震計(S-OBS)を用いて明らかにした。具体的には低周波微動を検出するアルゴリズムを開発しそれをS-OBS記録に適用した。その結果、東北沖地震直後でも微動活動は発生しており、その震源は繰り返し地震発生域近傍であること、そして2016年の活動様式同様の周期性を有することが明らかになった。これは、こうした低周波微動活動が背景の非地震性すべりのすべり速度を反映している可能性を示唆する結果である。

また、南海トラフ域およびトルコのアナトリア断層での巨大地震発生域近傍の繰り返し地震を調査することで、大地震の破壊域の周辺に位置するという繰り返し地震共通の特徴が明らかになった。また、南海トラフでは、本課題でこれまで明らかにした東北沖地震前後と同様に、時間的・空間的な非地震性すべりの移動が明らかとなり、大地震前期間のスロースリップの時空間変化について、新たな知見を得ることができた。

- ③前年度までに開発したアンサンブルカルマンフィルター（EnKF）を用いた地殻変動データの逐次同化による、プレート境界すべりと摩擦パラメータの推定の妥当性や問題点を洗い出し、改善に必要な知見を得るために、豊後水道長期的スロースリップイベントについて、プレート境界すべりの推移予測の試行実験を行った。その結果、アンサンブル平均だけを見て推移予測をするのではなく、各アンサンブルのばらつき具合も見ることで、得られた結果の信頼性を判断する必要があることがわかった。
- ④GNSS 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ー（モンテカルロ混合カルマンフィルター）を、1997年から2017年までの東海地方の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（SSE）の時空間変化を推定した。その結果、手法の優位性を活かして、浜名湖直下の2回の長期的SSEと多数の小規模な短期的SSEが推定され、両者のすべりの時空間発展が推定できた。

H30年度に引き続き、豊後水道L-SSEを対象に、EnKFによる長期的スロースリップ（L-SSE）断層領域での摩擦パラメータ推定とすべり発展予測の双子（数値）実験を行った。R1年度は、平面断層ではなく、実際の豊後水道に沈み込むフィリピン海プレートの3次元曲面形状を取り入れたL-SSE断層領域を設定した。デトレンドしたGNSS観測データから推定された豊後水道L-SSE領域上でのすべり速度をデータに、摩擦パラメータ分布推定とすべりの発展予測を試みた。その結果、2010年豊後水道L-SSEを対象とした実験において、L-SSE領域における摩擦パラメータが収束し、円形パッチ内ではすべり速度の解析値が安定して得られた。これは、実観測データに基づいたEnKF解析において、L-SSE領域の摩擦パラメータ及びすべり速度の時間発展の推定に成功した、初めての成果と言える。更にL-SSE発生期間中において、そのイベントの終息時期の予測といった数か月程度の短期的な予測が可能であることが示された。

(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った。地殻構造・物性の曖昧さを考慮した巨大地震発生前、発生時、及び発生後の地殻変動を解析できるように開発した。また、観測データと粘弾性不均質構造での地殻変動シミュレーションとの融合をすすめるためのデータ同化アルゴリズムを導入した。
- ②平成30年度までに構築した、任意の非線形粘弾性を扱えるBarbot法にH行列法を適用して高速化を図った非弾性変形計算手法を用いて、三次元非線形粘弾性媒質・不均質粘性構造を仮定した場合の地震後粘弾性変形の時間発展計算の有効性を確認した。
- ③南海トラフ地震の動的破壊伝播シミュレーションによる地震破壊可能性の評価を効率的に行なうために、準静的テクトニックローディングのシミュレーションにより与えられた初期条件から破壊開始の可否・地震の規模を推定する手法を開発した。事前に推定した断層構成則から予測される G_c （臨界破壊エネルギー）と初期応力分布から推定される準静的すべり量分布から予測される G （破壊エネルギー）を震源核生成領域（nucleation zone）周辺において計算し、 $G-G_c$ の評価から、断層破壊が巨大地震へ成長あるいは小地震で停止する過程を評価した。
- ④大地震発生サイクルとゆっくりすべりの繰り返し間隔の変化との関連性について検討するために、南海トラフ域において、地震発生サイクルシミュレーションを実施した。その結果、日向灘の地震が南海トラフ地震を誘発するかどうかは、南海トラフ地震震源域とその周辺での固着状態に関係していることが確認できた。
- ⑤南海トラフ巨大地震の地震動予測のために構築した不均質SMGA場の震源モデルの有

効性を確認するために、2011年東北地方太平洋沖地震のSMGAに適用して、震源域近傍硬質地盤地点での波形合成を行ない、観測と整合することを確認した。また、熊野海盆周辺に展開されているDONET1の広帯域地震計連続記録を解析し、長周期地震動の生成に関係する周期2～20秒のLove波群速度を推定し、群速度トモグラフィ及びMCMC法によるインバージョン解析により、熊野海盆周辺の付加体及び堆積盆地の三次元S波速度構造を推定した。

- ⑥ 南海トラフ巨大地震による長周期地震動のリアルタイム予測の実現に向けて、地震波伝播シミュレーションと強震観測データの同化と予測手法の基礎開発を行った。想定される南海トラフ地震の模擬強震観測波形を用いた数値実験により、関東平野に長周期地震動の強い揺れが発生する数十秒前の予測可能性と、データ取得に応じた短い時間での繰り返し予測の有効性を示した。
- ⑦ 1854年安政東海・南海地震の震源域の境界を確定させることを目的に、既刊地震史料集の調査によって、史料に残された津波記録・地殻変動記録を精査した。さらに、1854年の記録と比較するために、1944年東南海地震・1946年南海地震の津波記録・地殻変動記録を調査した。東京大学地震火山史料連携研究機構による「日記史料有感地震データベース」を用いて、1854年安政東海・南海地震前後の内陸地震活動の変化を示した。
- ⑧ 安政東海地震と昭和東南海地震の波源の相補関係を明らかにするために、古文書をより調査した地殻変動量分布と津波痕跡高の分布を説明する安政東海地震の波源を推定した。また、北米西岸の潮位計に記録された遠地津波波形を基に1854年安政東海地震の津波励起時刻を推定した。