

4. 全体成果概要

平成 30 年度は「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の 6 年度目として、平成 29 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」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。
- 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、アーカイブ化することを引き続き行っている。今年度は、カメラの維持管理を行うことで東日本大震災ならびに阪神・淡路大震災の復興状況の連続観測を継続的に実施し、復興事業の進捗にともなう、まちの連続的変化の記録を行うことができた。
- ③1) ライフライン(上水道)については、碧南市との議論や東日本大震災での事例検証を行う中で、昨年度 1-a) で取りまとめた上水道システムの減災対策に加え、新たに複数の対策を提案した。2) 建築構造物については、地震観測記録に基づき重要施設の機能継続につながる構造モニタリングを検討した。3) 地盤・土構造物については、現行のレベル 2 地震動に対する河川堤防の耐震点検フローの三次点検に必要とされる代表的ないくつかの解析手法について特徴を比較・整理した。
- ④強震観測と地震波伝播シミュレーションデータ同化に基づく、東北地方太平洋沖地震の長周期地震動の即時予測の数値実験を行い、その有効性を示した。現在、海域のケーブル式強震観測による震源近傍でのデータ同化と、近年の高速計算環境による地震波伝播の未来予測により、遠地の大規模平野で長周期地震動が強く発生する数十秒前

の予測可能性が示された。

(b) 地震・津波被害予測研究

- ①津波被害予測について、愛知県碧南市をモデル地区として、想定南海トラフ巨大地震による地震動に対する堤体基礎の沈下量を水～土骨格連成有限変形解析によって評価し、この解析結果を津波氾濫解析に組み込むことで、堤体基礎の脆弱性が浸水域に与える影響について検討を行った。また、巨大津波襲来後の長期湛水の予測手法の高度化に取り組んだ。
- ②地震動について、3次元有限差分法によるグリーン関数について、必要に応じて補間を施しながら波形合成を行うことにより、効率的に地震動を評価する手法を確立した。これを用いて、南海トラフの東側の震源域について2ケースの地震動を評価し、適切に地震動波形を計算することができることを確認した。
- ③地盤被害について、現地調査結果を踏まえて、碧南市蜷川の中流域および下流域の現況の河川堤防を、矢板を考慮する形でモデル化し、L1地震動およびL2地震動に対する地震時地盤変状予測を実施した。
- ④建物被害について、碧南市庁舎（10階建てSRC・S混合構造、杭基礎）を対象として、南海トラフの地震に対する被害予測のため、地震観測記録に基づき、中小地震時の建物の詳細な振動特性分析を行った。
- ⑤南海トラフ巨大地震によるライフライン被害の早期復旧対策を目的として、碧南市を対象に、電力については、発災直後にも特にその機能維持が求められる施設への電力供給を観点に、重要な道路・区間について検討した。また、上水道については、様々な対策を講じた際の減災効果について検証し、それぞれが異なる形で減断水の低減をもたらすことを確認した。
- ⑥広域リスク評価について、発災後の災害シナリオ高度化のため、平成29年度に利用した応用一般均衡モデルの高度化と、間接被害の試算を行った。さらに、被災地の災害パターンを類型化する手法の検討を実施した。
- ⑦都市災害については、住まいを失った世帯における復興期の住宅取得に関する意向を詳細に把握した。経済被害については、愛知県を対象とし市区町村間産業連関表の構築を行った。
- ⑧災害廃棄物について、仮置場の確保面積と収集運搬を考慮した災害廃棄物処理フローモデルを用いて、南海トラフ巨大地震における愛知県碧南市を対象として、災害廃棄物処理の数値解析を行った。その結果、災害廃棄物処理において、仮置場の確保のみならず、収集運搬の確保、処理・再生利用などの出口の確保が重要であると指摘した。

(c) 防災・減災対策研究

- ①前年度に議論した各地域の課題やニーズ、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。

②啓発活動として、11月に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昨年度に実施した阪神・淡路大震災の被災地域とその周辺地域を対象とした災害による総合的な影響評価分析の精度検証を目的に、分析範囲を北摂地域に拡大するとともに、分析期間を国勢調査については1990-2005年の4時期（昨年度は1990、1995、2000の3時期）、事業所・企業統計については1991-2006年の4時期（昨年度は1991、1996、2001の3時期）に拡大して検討を行った。また、国勢調査及び事業所・企業統計調査を基にした地域メッシュ統計等を用いて、地域メッシュごとの地域人口・経済構造についてデータ分析を行い指標化した。また、公共施設や被害想定等のデータをあわせて、GISを用いて、地域特性の経年変化や災害が地域に与える影響等について地理空間的な分析を行った。前記データを用いて地域特性の推移や被害の大きさ（全半壊率）および復興事業との関連性を分析し、災害が地域に与える影響について分析を行った。
- ②これまでに和歌山県由良町衣奈地区で開発してきた事前復旧・復興計画策定システムを和歌山県同様に南海トラフ地震の被害を受けることが想定される兵庫県南淡路市福良地区に導入し、その有用性の検証ならびに課題の抽出、改良の実施を行うとともに復興土地利用計画策定のフレーム構築を行った。
- ③伊豆市で進められる津波防災地域づくり法に基づく推進計画の策定に主体的に関わることを通して、津波防災地域づくりの計画プロセス、計画策定手法に関して考察を行い、津波ハザード評価を実社会につなげる計画理論の確立に向けての知見を得た。
- 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は、「地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針」が自治体都市計画担当者の納得を経て圏域（広域）及び都市計画区域のマスタープラン反映されたことを確認するとともに、その実現に必要な自治体都市計画の展開に向け、県・自治体の協働作業を開始する機運を醸成した。

(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・手法について検討と開発を継続した。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した。また広く防災活動等で利用されるために、災害情報プラットフォーム Ver. 1 を利活用した社会実験を関西地域にて実施し、大阪府北部の地震と台風21号被害において地震動と高潮の想定情報利活用に関して実際の被災者災害対応で利用検証した。改良した災害情報プラットフォームの Ver1.2 を公開した。
- ②愛知県に数多く残されている軍需工場と関連する地震の慰霊碑や記念碑の調査・収集するとともに、軍需工場での被害の実例を概観した。また、本プロジェクトの他課題の成果として得られた強震動予測結果や建物の強震観測記録を活用し、最新のバーチ

ャル映像技術を組み合わせた没入感のある地震応答体感環境をパッケージ化し、多様な環境における社会実装を試みた。

- 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。その結果、地震活動データについて様々なプロットが作成できる試作システムを構築した。
- ④避難行動意図モデルについて、過年度の調査で確立した構造の安定性を確認した。そして、避難意図に対して効果を有する因子として、地域によらず共通性の高い因子と、地域で異なる因子とを分別した。地域 BCP の予備的検討の結果では、各社は人命保護を最優先に置いており、事業中断の判断は、本社より現場事業所で行う企業が多いことを静岡県内の量的調査で確認した。そして「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」発表時の対応の判断材料としては、避難勧告等の発令状況の影響が最も多く、従業員の出勤や生活に関する情報の方が商取引先に関する情報よりも多くの影響がすることが示唆された。

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南西諸島域において、種子島・トカラ列島付近での自然地震の詳細な震源分布と三次元速度構造の推定を進めるとともに、奄美群島周辺での自然地震観測を開始した。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た。また、四国東部におけるフィリピン海プレート形状モデルを構築するため、周辺域の発震機構解の分布調査や地震波走時データベースの拡充を行うとともに、レシーバ関数等による地下構造解析に着手した。

(b) 海陸津波履歴研究

- ①日向灘海域において、海底堆積物採取とその分析を実施し、日向灘前弧斜面基部の小海盆のコアから、200-300~1000 年程度のタービダイトの堆積間隔を得た。また、桜島文明テフラ（1471 年）以降には肉眼で識別可能なタービダイトが堆積していないことが明らかとなった。
- ②奄美群島喜界島において、離水サンゴ・マイクロアトールの断面サンプリングと CT スキャン画像の解析を実施し、本地域のマイクロアトールの水平方向の成長速度が 1.1cm/年であることが明らかになった。この結果と現成サンゴ・マイクロアトールの断面測量結果に基づけば、北部で少なくとも過去 72 年間、東部では少なくとも過去 132 年間はおおよそ地殻が安定していたことが推定される。
- ③高知県須崎市および土佐清水市において津波堆積物の分布と年代を明らかにするために掘削調査を実施した。須崎市では機械式ボーリングにより深度 21m および 27m の 2 本のコア試料を得た。土佐清水市ではハンディジオスライサーなどにより、深度 1 m 程度のコア試料を 12 地点で得て少なくとも 1 層のイベント堆積物を検出し、おおよそ西暦 1400 年代以降の年代を示す。
- ④高知県高知市春野町において津波堆積物の分布と年代を明らかにするためにハンドコアラールおよびハンディジオスライサーを用い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。また有機質粘土層から有機物に乏しい粘土層への層相変化が確認され、地震性沈降等による堆積環境の変化を示している可能性がある。
- ⑤三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、約 16 層のイベント堆積物が認められた。
- ⑥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。
- ⑦富士川河口断層帯入山瀬断層の隆起側で平成 28 年度に得られたボーリング試料（1 地点）と沈降側で産業技術総合研究所（2016）が得たボーリング試料（2 地点）について、¹⁴C 年代測定および珪藻分析を行い、地点間の対比を行った結果、断層の平均変位速度は 2 m/千年程度で、従来よりも活動度が低く、また長期的にみると隆起側も沈降していることから、さらに西側に活発な断層がある可能性が指摘できる。

(c) 広帯域地震活動研究

- ①南海トラフから南西諸島海溝の領域において、長期観測型海底地震計を用いた長期海底地震観測を実施した。また、海底地震（水圧）計のデータ解析を行った。平成 30 年度は、平成 29 年度に種子島東方沖に設置した圧力計搭載型広帯域地震計と長期観測型海底地震計を回収し、平成 29 年度の観測領域のさらに南側領域に圧力計搭載型

広帯域地震計と長期観測型海底地震計を設置し観測を開始した。目的は、種子島東方沖において海底地震観測を行うことにより、南西諸島海溝北部におけるプレート境界浅部のスロー地震活動モニタリングを行うことである。今年度回収された海底地震計には、良好な波形データを取得されており、微動活動および超低周波地震が記録されていることが確認された。また、これまでに得られたデータを用いて、低周波微動及び浅部超低周波地震の震央位置推定を行った。

- ②プレート境界におけるゆっくりすべり等のイベントや固着にともなう継続時間が長い（数日以上）地殻変動場を海底水圧観測により正確に捉えるためには、観測データに含まれる地殻変動成分以外の誤差のなかでも、圧力センサーの長期ドリフトに起因する見かけの圧力変動成分を特定し、観測データから除去する必要がある。そのために、海底での長期連続観測と同等の条件下において、センサーの長期繰り返し較正実験を実施した。その結果、高圧時と大気圧時のそれぞれでのドリフト特性は良い一致を示すことがわかった。室内実験から、本研究開発の手法に基づいて海底水圧観測を実施すれば、超長周期のノイズを低減できるという見通しがたった。

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本プロジェクトでは定常的な沈み込みを再現した有限要素モデルの構築、ブロック運動モデルによる解析、過去の地殻変動データの整理等を実施してきた。1) フィリピン海プレートの定常的な沈み込みを有限要素法により評価し、定常的な海洋プレートの沈み込みが上盤側への影響を評価した。定常的なフィリピン海プレートの沈み込みが及ぼす影響は、地震サイクルに影響されない変形および、応力場であることから、地形の生成や絶対応力場に起因すると考えられる。よって、その変形場を評価することは沈み込み帯のテクトニック応力場を理解する上で重要である。この解析の結果、プレートの定常的な沈み込みは、プレート境界面に法線応力を生成し、瀬戸内海や紀伊半島、伊勢湾などの地形の生成に寄与していることが明らかになった。2) 前年度に実施したブロック運動モデルの解析結果について詳細な考察を実施した。3) 過去の水準データを含む地殻変動データの整理を継続した。4) 地殻変動を非弾性変形と弾性変形の寄与とに分離し解釈した。

- ②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（以下、東北沖地震）の発生以前および以降に発生したプレート間固着強度の時空間ゆらぎの予測実験を進めた。

東北沖地震前後の関東地方でのプレート境界およびその浅部での地震活動について検討した結果、プレート境界で約1年周期の「スロースリップ」（ゆっくりすべり）が発生し、それに伴って水が浅部に排出されていることを明らかにした。このような現象はスロースリップによってプレート境界の水が移動することを示す初めての観測であり、プレート境界地震の発生予測の高度化に向けた極めて重要な成果である。また、東北沖地震前に、小繰り返し地震およびGPSデータから周期的なスロースリップが推定された三陸沖において、東北沖地震後のスロースリップの発生状況を小繰り返し地

震、超低周波地震および海底地殻変動観測データから推定した。

さらに、東北沖地震後に設置された短周期海底地震計 (S-OBS) データから日本海溝の特に岩手沖におけるスロー地震活動の時間変化に注目した解析を実施した。その結果、スロースリップイベントのすべり速度を反映していると考えられる小繰り返し地震の活動度と、本研究で新たに検出した低周波微動の活動度が一致することが明らかになった。これは低周波微動の活動が背景のゆっくりすべりの加速を反映していることを示唆する結果である。

- ③南海トラフ地震を対象とした多数の地震サイクルシミュレーション結果の整合性を評価するために、これまでに蓄積された地震サイクルシミュレーションに伴う地殻変動と近代観測データ (GPS データ) の比較を実施し、次年度に実施予定である、明治以来の測量データまで考慮した比較検討のための準備を行った。
- ④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、以下MCMKF) を、1996年から2010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、MCMKFの優位性を活かして、浜名湖直下の長期的SSEと小規模な短期的SSEが同時に推定され、両者のすべりの時空間発展が推定できた。

豊後水道長期的スロースリップイベント (LSSE) 領域においてアンサンブルカルマンフィルター適用の可能性を探る数値双子実験として、1994年以來のGEONETの観測網拡充に伴う、観測点数および観測点配置の変動が推定結果に及ぼす影響を調べた。その結果、観測点が少ない時は収束が遅いが、観測点が増加するにつれ、収束が加速しうまく推定できることが分かった。また、南海地震サイクル (固着状態が変動) 中での豊後水道LSSEの活動の変動を調べた。その結果、地震サイクルの後半にはLSSEの発生間隔が短くなり、活動度が上がることが確認された。

H29年度に開発された、地殻変動データの逐次同化による、すべり・摩擦パラメータ推定の数値実験コードに対し、南海トラフ域の複数域で発生する長期的SSEを考慮した処理が適用できるよう、計算コードの並列化を行った。並列化したコードを利用して、南海トラフ域に2つの仮想SSE域 (東海・豊後水道) を設定し、18領域に分割した固着域の固着速度分布を推定する同化実験が実行可能なことを確認した。

(e) 震源モデル構築・シナリオ研究

- ①観測データから推定された三次元不均質地殻構造を用いた地殻の弾性・粘弾性応答の解析の実用化に向け、計算コストを大幅に削減した有限要素法コードの改良を行い、また、不均質地殻構造の近似に伴う地殻変動解析結果の誤差を確認するとともに、地殻物性推定の曖昧さに伴う解析結果の不確定性を考慮した地殻変動解析手順を確認した。
- ②任意の非線形粘弾性パラメータを扱うことができる Barbot 法の計算手法を地震発生サイクル計算に組み込むために、既存の計算手法による線形粘弾性媒質中での地震すべりの10年後の変動を用いて Barbot 法の整備・高速化を図った。H 行列解を既存の

- 手法 (F&M 法) と比較して、解析に資する十分な精度が得られていることを確認した。
- ③地震発生シミュレーションにおいて、異なる構成関係パラメータ分布を用いた準静的応力蓄積シミュレーションのすべり遅れレート分布の時間変化を検討し、すべり遅れレート分布の時間変化が、ピーク強度の値や固着域 (すべり遅れ分布) の範囲に強く依存することを明らかにした。これにより、構成関係パラメータの制約条件の検討のために、すべり遅れレート分布と観測データの比較が有効性であることが確認できた。また、応力データインバージョンに基づいて、地殻応力場形成のダイレクトソースである「衝突率」分布を推定した。
 - 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、相模トラフにおいて、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、関東地震震源域の固着状況の変化だけでは、2011 年前後に観測されたようなスロースリップの繰り返し間隔の変化は生じず、より複雑な条件またはモデルの考慮が必要となることがわかった。
 - ⑤南海トラフ巨大地震震源モデルの構築に向け、既往の SMGA モデルの適用性を確認した。破壊伝播速度の空間分布を、破壊エネルギーの考え方にに基づき応力降下量に関連付けて設定する方法を開発した。不均質 SMGA モデルを南海トラフ巨大地震の地震動予測に適用し、不均質化により高周波数成分が増強されることを確認した。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 波群速度を推定した。
 - ⑥現在のプレート境界の応力蓄積状態に基づく動的断層破壊伝播シミュレーションから求められた地震シナリオに基づき、強震動・長周期地震動、地殻変動、津波ハザードとその変動要因を検討した。震源域の拡大とともに強震動・長周期地震動の生成範囲は拡大するが、各地点の揺れは近傍の断層セグメント (強震動生成域) で規定され、地震シナリオ毎のハザードの変動は小さいことが分かった。一方、津波ハザードは断層セグメントの増加とともに、地殻変動と初期津波の分布が互いに影響して大きく変動すること、特に、南海トラフ地震は震源域が陸上に近いために影響が大きいことを確認した。昭和東南海地震・南海地震後に発生した 1945 年三河地震と 1948 年福井地震の震度アンケート調査を精査し、稠密震度分布を求めた。また、史料調査に基づき、安政東海地震・南海地震の前後に発生した 1847 年善光寺地震、1853 年小田原地震、1854 年伊賀上野地震、1854 年伊予西部地震、1855 年江戸地震、1857 年伊予地震、1858 年飛越地震の震度分布を求めた。そして、安政東海地震・南海地震の被害域よりも地震前後の内陸地震の被害域が大きいこと、これが昭和東南海地震・南海地震の前後の内陸大地震の被害域と相補的な位置関係にある可能性を示した。南海トラフ巨大地震の発生によるクーロン破壊関数を評価し、地震後の内陸大地震とスラブ内大地震の発生との関係を検討した。
 - ⑦自治体史・郷土史・災害関係資料を精査して 1854 年安政東海津波に関する記述を抽出し、絵図史料に描かれているランドマークと、史跡・遺構の位置関係から津波到達点を特定して、各地点の津波痕跡高を調査した。津波痕跡高分布には 2 つのピーク (志摩半島東端の国崎の 22m と伊豆半島南東の入間の 15m) が認められ、安政東海地震の

津波源の再検討に向けた重要な手がかりを得た。