

3. まとめ

令和5年度はプロジェクト4年目であり、各サブ課題間の連携を意識して着実に研究を実施した。以下に各サブ課題の成果の概要を示す。

サブ課題1「地殻活動情報創成研究」

本サブ課題は南海トラフの地震・地殻変動の現状を即時的に把握し情報を発信するためのシステム構築をすすめるとともに、プレート固着状態の推移予測の確立を目的とする。そのために、「高精度な3D構造モデルに基づく自動震源決定システムの開発」、「プレート固着・すべり分布のモニタリングシステムの構築」、「3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測」のテーマを実施する。得られた成果はサブ課題2「地震防災情報創成研究」、サブ課題3「創成情報発信研究」と連携し、最大活用を進める。

以下に本サブ課題内の各テーマの成果概要を示す。

サブ課題1a「高精度な3D構造モデルに基づく自動震源決定システムの開発」

- ① 南海トラフ域におけるマルチパラメータ3D構造モデルの高精細化のため、新たな観測や解析に基づく速度構造情報を構築中のモデルに取り込む方法の検討を進め、それらを反映した3D海陸統合構造モデルを構築した。3D海陸統合S波および密度構造については、調査観測データやそれらに基づいて直接推定された構造情報との比較による検証を実施した。令和3年度から継続している他のサブ課題担当者等とのモデル共有に関する議論に基づき、今後のモデル構築や利活用を想定した枠組みのコア部の試作を開始した。マルチパラメータ化に向けたS波速度構造の直接推定ならびに震源決定の信頼性向上に不可欠な堆積層補正值の推定に向けて、令和4年度までに開発を進めてきた構造探査データのレーシーバー関数解析手法の改良ならびに表面波解析によるS波速度構造推定方法の汎用化を進め、両手法による堆積層内の詳細S波速度構造モデルを多くのデータに適用できるよう整備した。また、DONET観測点直下におけるS波速度構造推定のための処理を実施した。
- ② 昨年度までに構築した自動震源決定処理システムの仮運用を継続した。地震発生場所ならびに地震活動推移の評価に資するため、3D構造モデルに基づく震源計算結果の評価を行うとともに、2003年以降を対象とした長期震源カタログの整備を行った。また、仮運用中のシステムにより得られる自動震源と長期地震カタログ及び他システムによる発震機構解情報を用いて地震活動評価に資する情報を作成することを念頭に、自動的に生成すべき情報の検討とその試作を進めた。

サブ課題1b「プレート固着・すべり分布のモニタリングシステムの構築」

- ① 精密な3D構造モデルに基づいた有限要素法モデルを用いて、プレート境界面並びに南海トラフ近傍の分岐断層面における固着・すべり分布の把握するために必要なグリーン関数を整備した。
- ② 南海トラフにおける巨大地震震源域の様々な時間帯域におけるプレート間固着・すべりの現状把握を実現し、情報発信するために、現実的な3D構造モデルに基づいた、プレート境界及び分岐断層等の海域断層を含めた固着・すべりを、3D構造モデルの

不確実性を含む、推定の曖昧さとともに定量化するシステム開発を行った。具体的にはプレート境界以外の断層面が地震間や地震時の地殻変動に与える影響を評価することを目指し、海域断層を含めた構造モデルでのグリーン関数を得るとともに、プレート境界と海域断層におけるすべり・固着分布を同時推定するための手法を構築し、予察的結果を得た。また、構造モデル等の不確実性が固着・すべり分布推定に与える影響について予察的な知見を得た。

- ③ 新たに固有周期 120 秒の広帯域地震計を搭載した海底地震計用レベリング装置 2 台の整備を行った。日向灘において、昨年度設置した海底地震計 9 台の回収を行うとともに、整備した小型広帯域海底地震計を含めた計 9 台の長期観測可能な海底地震計の設置を行い、観測を継続した。回収した海底地震計には良好なデータが取得されており、特に 2023 年 4 月～6 月にかけて発生した 2015 年以來の大規模なスロー地震活動を記録することに成功した。昨年度までに取得したデータの解析を進め、気象庁一元化カタログに掲載されている通常の地震の震源を精度良く求めた。その結果、多くの震源は深さが気象庁一元化震源よりも浅くなり、浅部スロー地震震源域内で発生する地震は深さ 20km 程度で発生している地震が多かった。一方、浅部スロー地震震源域とプレート境界地震発生域の境界部分で発生する地震は、深さはプレート境界付近の深さ 15 km 付近に決まった。

サブ課題 1 c 「3 Dモデル・履歴情報を用いた推移予測」

- ① 南海トラフを対象として、前年度までに構築した 3 D粘弾性不均質構造の大規模有限要素モデルを用いて長期間の粘弾性応答が計算できるように、近年性能改善が進む GPU 計算機を活用できるよう手法を開発した。また適応的時間ステップ法により、シミュレーションを効率的に実行することで高速化を実施するとともに、粘弾性応答を含んだ地殻変動のグリーン関数を計算した。さらに履歴情報を活用した地震シナリオの検討として、地震履歴の統一モデルの知見に合わせてどの領域がどのタイミングでどの程度すべったかを設定することで、次に起こりうる複数の地震シナリオを検討した。
- ② 南海トラフ沿いで発生する巨大地震・津波に伴って形成されるイベント堆積物を海底堆積物中から認定し、その堆積間隔から地震発生履歴を推定するために御前崎沖から掘削された海底堆積物コア C9035 Hole B の分析を行った。このコアでは、浮遊性有孔虫の放射性炭素年代測定結果と挟在する 3 枚の火山灰層の年代から構築した深度－年代モデルに基づいてタービダイトの堆積年代を推定した結果、最終氷期最盛期以降の 19000 年前まではタービダイトの平均堆積間隔は 200 年程度であるが、それ以前では平均間隔は 300 年程度以上と長くなることが分かった。タービダイトのタイプやタービダイトに含まれる底生有孔虫の群集組成も最終退氷期の間で変化することから、タービダイトの給源である斜面域の氷期－間氷期スケールの環境変化を検討する必要がある可能性が示唆された。古地磁気永年変化曲線を用いた深度－年代モデルの改善のために行った磁性鉱物の安定性の評価では、深度 37.2m 付近で磁性鉱物の変化が認められ、これ以深では古地磁気方位以外に副次的な成分ができている可能性があることが分かった。

- ③ 陸域における地震・津波の履歴調査は、紀伊半島から四国にかけての沿岸の3地域において、掘削調査及び既存の堆積物コア試料の分析を実施した。三重県南伊勢町こがれ池では、追加の年代測定と火山灰分析を実施した。Age-Depth モデルの構築に基づき、13枚のうち5枚または6枚が南海トラフで発生した歴史地震による津波堆積物の可能性があることと結論付けられた。和歌山県東牟婁郡那智勝浦町太田川低地では、下里地区の6地点で採取したジオスライサー試料について、詳細な層相観察を行うとともに、1地点で得られた試料について粒度分析の前処理、2地点で得られた試料について9件の放射性炭素年代測定の依頼分析を実施した。その結果、全ての地点において3つの堆積相が累重していることを確認した。このうち少なくとも1つの堆積相は津波などのイベントにより形成された可能性が考えられる。また八尺鏡野地区において、既存の4地点のオールコア試料に加えて、ハンドコアラによる掘削を3地点で実施し、詳細な層相観察を行うとともに、放射性炭素年代測定の依頼分析を実施した。その結果、10層のイベント砂層が確認され、年代測定結果は5400~2300 cal BPを示した。高知県東洋町の海岸低地では、ハンドコアラを用いて掘削調査を行い津波堆積物の検出を試みた。掘削調査の結果、低地の大部分は浜堤の一部と考えられる砂層に覆われていることが明らかになった。

本業務では1498年明応東海地震の津波痕跡高分布と津波堆積物調査の研究成果を基に津波波源モデルを推定した。文献記録から読み取られる津波痕跡高だけでなく津波堆積物調査地の浜堤高さを津波痕跡の上限高さとして波源推定の制約条件に加えた。平均すべり量は東海セグメント領域の東端で19.2 mと最も大きく、西に向かうにつれて減少した。鳥羽市国崎の15 mの痕跡高などの一部の地域を除いて、断層すべりで津波痕跡高はおおむね再現できた。地震規模を示すモーメントマグニチュードは8.6で、地震で発生したエネルギーは安中ほか(2003)の1.8倍だった。津波波源モデルによる津波土砂移動数値計算から、白須賀や浜当目の津波堆積物は観測結果を再現できた。一方で、こがれ池や井田の計算結果は過大評価だった。これは明応東海地震時の汀線位置や浜堤高さに不確実な要素が含まれることや津波堆積物を構成する砂の粒径と数値計算で使用する中央粒径が合致しないためだと推測される。

サブ課題2「地震防災情報創成研究」

サブ課題2では、地震発生の時空間的な多様性を持つとされている南海トラフ沿いの巨大地震に対して、「通常と異なる現象」発生後の時間推移についてもその多様性の一例としてとらえることにより、地震や津波のハザード・リスクの防災情報基盤を創出し、「命を守る」「地域産業活動を守る」「大都市機能を守る」の3つの目標を立て研究を行っている。「命を守る」を目標とするサブ課題2 d「臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供」では、「事前避難要不要判断ツール」の開発および「逃げ地図」プロジェクトを進めている。「地域産業活動を守る」を目標とするサブ課題2 e「発災時の企業の事業活動停止を防ぐ」では、産業タイムライン構築、リアルタイムでの社会様相把握手法の開発、事態想定シミュレーション手法の構築に向けた研究を行っており、愛知県西三河地域を対象としたワークショップを開催している。「大都市機能を守る」を

目標とするサブ課題 2 f 「発災時の大都市機能の維持」では、自然言語処理を用いた災害事象の因果関係を機械的に抽出する研究とともに、高層建築物のエレベータ復旧オペレーションにおける現状の把握と課題の抽出を行っている。これら 3 つの研究の基盤情報の創出を目標とするサブ課題 2 g 「地震防災基盤シミュレータの構築」では、シミュレータの基本設計を実施するとともに、各サブ課題で必要とされる情報の創出に向けた研究を行っている。サブ課題 2 g を要として調整を行った結果、サブ課題 2 の中の課題間の連携体制に加え、サブ課題 1 およびサブ課題 3 との具体的な連携も構築している。以下に本サブ課題内の各テーマの成果概要を示す。

サブ課題 2 d 「臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供」

①『事前避難要不要判断ツール』に関する検討

- ・まず、本プロジェクトの基幹ツールである Web ツール「逃げトレ View」と、そのベースとなるアプリ「逃げトレ」の 2 つの基幹ツールを包括した全体システム「逃げトレサービス」の全体構想を固めた。
- ・「逃げトレ View」については、事前避難の要不要について検討するための分析アルゴリズムを確定させ、「集合的避難行動の解析・表示システム」の分析結果の可視化手法を拡充して、「逃げトレ View」を構築した。
- ・「逃げトレ View」におけるシミュレーション機能、訓練参加者を地域別に集計し結果を表示する「参加者モニター」、避難場所の基本情報を自治体が入力するための機能、避難ルートの活用状況や津波浸水リスクとの関係进行分析するための「避難経路分析機能」、自治体指定以外の場所も含めてどこにどの程度の人が避難するかと予測する「避難動態予測機能」について実装および検討を行った。
- ・アプリ「逃げトレ」についても、「逃げトレ View」で活用する個人属性情報（性別、年齢や、避難時の支援の必要性など）を、ユーザーの了解のもとで収集する仕組みを「逃げトレ」に実装するための動作フローを確定、ユーザーによる確認画面も新設した。

②避難困難区域での「避難を可能にする」まちづくり方策の検討

- ・南海トラフ巨大地震による津波到達時間と逃げ地図の重ね合わせでは避難経路に関して検討をおこない、共通的な避難困難エリアの抽出を行い、ブロック等の転倒による避難時間の遅延が課題であることが明らかになった。昭和南海地震による被害をベースに考えることで、南海トラフ巨大地震時の浸水想定シミュレーションのみでは気づきにくい地形の変化、建物の増加、高齢化の課題を踏まえた上で今後の避難の課題を考える必要があることが判明し、ワークショップ全体を通しては個人・地区・町レベルで取り組むべき内容について具体的なアイデアを集めることができた。

サブ課題 2 e 「発災時の企業の事業活動停止を防ぐ」

- ① 産業復旧タイムライン構築のため、令和 4 年度までに構築した電力供給、工業用水供給に基づく地域産業構成要素データに基づき、地域産業の相互依存性関係を抽出し、地域産業構造の可視化モデルを構築した。また、新型コロナウイルス COVID-19 感染症や明治用水頭首工大規模漏水事故に伴う社会活動萎縮等への影響について検証した。

その結果、西三河地区の工業を対象として、簡易構造モデルを構築し、ライフライン供給情報をモニタリングすることで、工業の活動状況（生産指数）を把握することができた。また、地域特性、たとえば、地域の業種構成、ライフライン供給に対するバックアップを保有しているなど、ライフライン供給の減少や停止が産業活動に対してはさほど影響を及ぼさない事例について把握することができた。

- ② 昨年度の検討では、電力需要量のリアルタイムモニタリングが地域社会の状態把握に十分活用可能であることを示した。今年度は、明治用水頭首工大規模漏水事故時の電力需要に対する時系列データ分析により、臨時情報発表時に活用可能な電力需要予測式を構築した。
- ③ 令和4年度までに整備した地域地盤・建物地震モニタリングシステムの試行を継続するとともに、地域活動や企業対応を想定したデータ利用インターフェースの高度化と地域のデータ共有促進のための協働参画手法を構築した。具体的には、地震観測DBとWeb-GISによる地域の被災状況の表示、地域拠点施設や企業建物群などの被災度判定のための簡易な観測体制による建物被災モニタリングを開発した。また以上のシステムの企業の災害対応訓練・WSへの活用を検討した。
- ④ サブ課題2gで開発する地震防災基盤シミュレータと連携し、様々な階層における社会様相モニタリングデータを用いたリスク評価手法によるマルチエージェントの時間断面での行動と資源を取り入れた事態想定シミュレーション技法を開発するため、南海トラフ地震臨時情報対応ワークシートを開発し、関係機関とのワークショップを実施し、時間断面における市民や事業者の取り得る行動について整理・検討を行った。
- ⑤ 事態想定シナリオ構築に向けて、臨時情報発表時の各主体の事後対応について訓練を行う為の、図上演習シナリオ構築のための検討を実施した。また、多様な主体が参画可能な机上演習に活かすことができる事態想定シナリオについて、サブ課題3の情報発信検討会の場も活用したワークショップ形式の議論の実践を通じて、起こり得る事態をキーワードとして整理し、付与シナリオの作成等の演習技法について検討した。
- ⑥ 令和6年1月1日に発生した令和6年能登半島地震でのライフラインデータについてデータ収集を行った。また、同地震時に構築したシステムによる観測データについて分析した。その結果、我が国の地震災害で、国勢調査の小地域（町丁・字等）で水道等のライフラインの復旧状況をはじめて記録することができた。これにより、構築した産業タイムラインの産業構造モデルの検証に活用可能といえる。

サブ課題2f「発災時の大都市機能の維持」

- ① 本業務では、令和4年度に開発した、定性的に災害現象を将来予測できる予測システムのプラットフォームの因果データベースを拡充する目的で、災害シナリオのダイナミック自動生成技術を高度化し、これに基づいていくつかの想定されたハザードをもとにした被災様相予測を行った。具体的には、新聞記事から災害事象の因果知識及び付随情報を抽出・整理する汎用的なプログラムを作成し、過去12災害を対象にデータベースとして整理した。具体的には下記の項目についてシステムの高度化をはかった。
（ア）自然言語処理・人工知能技術を活用した新聞記事からの因果判定・因果抽出の実装
（イ）場所・時間などの副次的な情報抽出の実装

(ウ) 上記手法の精度検証・分析

(エ) 因果ネットワーク作成を含めた二次利用に向けたデータベースの整備

(オ) データベース作成の再現が可能なプログラムの整備

- ② 本課題では、特に長周期地震動による被害を受けやすい超高層ビル等のエレベータ障害に着目し、都市機能を守るために望ましいエレベータ復旧オペレーション方針を検討することを最終目標としている。今年度は、災害状況が都市機能に与える要因を整理した上で、建物およびエレベータの被害により建物利用が困難になる人口である都市機能喪失人口を用いて、都市機能被害を定量的に評価する手法を開発し、前年度までに構築したシミュレーションモデルに都市機能の被害量とエレベータ復旧に伴う復旧過程（以下、都市機能復旧過程）を評価する機能を組み込んだ。また、サブ課題 2 (g) と連携して、南海トラフ地震の多様な震源断層モデルから代表的な 4 つの地震動分布を選択し、4 つの地域、4 つの復旧方針と 3 つの災害状況を組み合わせた 192 ケースの中から代表的な 60 のケースを選定してエレベータ障害の復旧に伴う都市機能の復旧過程を評価した。併せて、震源断層モデルの異なる 83 の地震動分布による、4 つの地域の都市機能の被害量を評価した。

サブ課題 2 g 「地震防災基盤シミュレータの構築」

① 長継続時間・広帯域強震動シミュレーション

広帯域強震動シミュレーションによる短周期地震動の過小評価を補正する手法を開発し、南海トラフ沿いで発生する海溝型地震を対象にこれまで計算を行ったシミュレーションデータに適用した。過年度に長継続時間地震動シミュレーションに実装した発散抑制のための波動場平滑化スキームを用いた計算を効率的に行うための機能を追加した。これまでに計算した多数のシミュレーションデータに基づき、地震動予測を行うガウス過程回帰モデルを構築した。また、これまでの計算結果を地震防災情報創成研究の他の課題へ情報共有した。

② 津波遡上シミュレーション

高知県須崎市、四万十町、黒潮町、および宮崎県新富町を対象に、南海トラフ沿いに想定される最大クラスの地震を含む 3480 個の波源断層モデルを用いて、堤防等の破壊を考慮した空間分解能 10m の津波伝播遡上計算を実施し、堤防等の破壊条件に応じた浸水深分布の多様性を示すことができた。検討結果は地震防災情報創成研究の他の課題へ情報共有した。また、これまでに創出した計算結果データの統合・圧縮作業を実施し、データ容量を削減することができた。

③ 地震発生の多様性を考慮したリスク評価

住民避難、産業活動維持及び大都市機能維持を目的とした特徴量に基づいて多様性を表現する 3480 地震を 10~20 類型に分類するとともに、類型から抽出した代表地震の妥当性を検証した。また、代表地震をもとに複数の地震から構成される地震パターンを構築するとともに、地震パターンを対象とした広域災害シナリオを作成した。広域災害シナリオで人的被害や経済活動等の推移を表現することにより、南海トラフ地震臨時情報に伴う事前避難による人的被害の軽減と経済被害とのトレードオフの関係を示すことが出来た。

④ 地震防災基盤シミュレータシステム

半割れケースに着目した条件付きリスク評価を Web システムで情報提供可能とした。WebAPI システムを新たに構築し、試験的な公開をすることができた。地震像の類型化データの管理設計と Web システムの要求分析を行い、令和 6 年度構築予定の広域災害シナリオに関するシステム構築の際の足掛かりとなる要求分析を行うことができた。システムより提供する多様性のある地震発生シナリオの利活用の試みとして、大阪府社会福祉協議会の防災訓練に適用し、課題を抽出した。

サブ課題 3 「創成情報発信研究」

サブ課題 3 では、サブ課題 1 とサブ課題 2 からの研究成果の地域や企業での利活用を推進している。そのために、①地域の防災上の課題評価、②情報発信検討会、③情報リテラシー向上の 3 つの取り組みを進めている。地域の防災上の課題評価は、地域との防災連携を進める上で、地域に特有な防災上の課題を洗い出し、備えに見落としがないように地域に情報を展開するためのものである。情報発信検討会は、サブ課題 3 の取り組みや各地域での取り組みを、他地域との情報共有を通じて加速させるためのものである。情報リテラシー向上は、本プロジェクトからの成果情報を受け取り手が適切に防災行動に移すことができ、地域防災力の向上を目指すためのものである。

以下に本サブ課題の成果概要を示す。

① 地域の防災上の課題評価

延岡市の津波瓦礫の漂流評価、瓦礫集積・堆積評価、津波氾濫評価、軟弱地盤の被害評価を実施した。漂流評価からは、計算領域が広くなることを踏まえ、改めて漂流評価に重要なパラメータの感度解析を実施した。瓦礫集積・堆積評価からは、特定の場所に集積するよりも薄く広く広がる傾向を示した。河川に設置しているいくつかの水門の開閉による津波氾濫の違いについては、いくつかの水門において、絞めた方が効果が認められることを確認した。軟弱地盤の被害評価については、地盤構造深部に N 値が小さいシルト層が分布し、低周波成分を含むケースで平均有効応力の低下とせん断ひずみの増大が確認できた。二次元計算からは、盆地状の構造が、実体波と表面波のエッジ効果とレンズ効果により局所的に大きな揺れをもたらすことが確認された。これらの結果は、延岡市や宮崎県延岡国道事務所、九州地整延岡河川国道事務所、九州地整にも共有し、延岡市では地域防災施策に活かす検討を進めている。

② 情報発信検討会

これまで同様、ハザード評価、複合災害対応、事業継続、人材育成の 4 つのテーマを設定し、自治体や基礎自治体、インフラ事業者、大学や研究機関の方々に集まって頂き、年 2 回の情報発信検討会をそれぞれ開催した。現在のハザード評価では考慮されていない要素や津波即時予測情報を用いた避難訓練を共有した。複合災害対応では、まだまだシナリオが特定できず、対応できている組織はほとんどないことも判明した。臨時情報を用いたミニワークショップでは、それぞれの組織の取り得る手段や懸念について議論された。人材育成ではコンテンツも作成され、大学の教養レベルもし

くは一般の生涯学習レベルの動画が作成され、公開され始めた。地殻活動監視ダッシュボードもサブ課題1とサブ課題2の結果が反映され始め、今後地域防災を支える人たちにアカウントを発行し、改善を重ねる予定である。

③ 情報リテラシーの向上

昨年度に引き続きアンケート調査に取り組んだ。これまでは設問数が多く、回答数がのびなかったが、各設問に大分類と小分類の属性情報を付与して5つの設問群に分けることで回答数を増やすことが可能になった。現在もオンラインでのアンケート情報を自治体、基礎自治体、教育委員会、自主防災組織、大学・高校・中学校・小学校の皆さんの協力を得て実施中である。この調査は防災意識尺度も合わせて実施しており、既存の尺度との比較も可能になるように設計されている。防災意識尺度からは、各地域の防災意識の特徴がみられる。また職業別に防災意識の特性もおおよそ把握されてきた。一部にばらつきが多いところもあるが、現在、知識を蓄積しつつある高校生や大学生が多く含まれていることも要因の一つである。これらの成果から、教育や人材育成の効果を測定することにも有効である可能性がある。アンケート調査からは香川県、高知県、宮崎県で、授業やグループディスカッションを通じた介入を進め、その効果を測定してきた。一定の効果は認められるが、長期的な取り組みが必要であると考えられる。最終年度にその効果を定量的にまとめたい。