

## 1. プロジェクト概要

南海トラフ地震の多様性が指摘され、また巨大地震発生確率が高まる中、本プロジェクトでは、科学的・定量的なデータに基づき南海トラフの現状や一定規模の地震発生時、及びこれまでとは異なるゆっくり滑り等が起こった際の地震・地殻活動とその推移予測に関する情報を迅速かつ精度よく評価し情報発信する手法の開発を行う。また、発信された情報を被害軽減に最大活用するため、平時や「南海トラフ地震臨時情報」が出された場合、住民・企業等の防災対策のあり方、防災対応を実行するにあたっての仕組みについて研究を実施する。さらに、自治体等と連携し、本プロジェクトで進めた研究成果が被害軽減の向上にどのように貢献したか定量的な評価を行い、防災・減災計画に向けた効果的な研究開発項目を明らかにする。

### (1) サブ課題 1：地殻活動情報創成研究

南海トラフの地震・地殻活動の現状や、「通常と異なる現象」を即時的に把握し情報を発信することを可能とするため、海陸地震・地殻変動データを最大活用した地震・地殻活動モニタリングシステムを構築する。そのため以下の三つの取り組みを行う。(a)地震活動情報評価：南海トラフの地震活動の現状を迅速かつ精度よく把握する為に、海陸統合三次元構造モデル（以下「3D構造モデル」という。）を用いた自動震源決定システム及び通常と異なる地震活動の検出と情報発信するためのシステムを開発する。(b)プレート固着・すべり評価：海底や陸域で観測された地殻変動・ゆっくり地震活動からプレート固着・すべりの現状把握と通常と異なる状態の検出を即時的かつ精度よく行う為に、3D構造モデルを用いた固着・すべりの時空間変化と地震時すべりの即時推定の手法及び情報発信システムを開発する。(c)推移予測：一定規模以上の地震が想定震源域で発生した場合や、通常と異なるゆっくり滑りが進行した際、その後のプレート固着・すべり推移予測を即時的に行う手法開発を進める。

#### (a) 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

「地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策（第3期）」において、海溝型地震の発生予測手法の高度化を行うために取り組む課題として、地震活動状況や海溝付近を含む海陸の堆積物データ、広域かつ三次元的な海域地下構造データ等の各種データの時間・空間分解能の向上を図ることと、時間・空間分解能を向上させた地震活動データ等を用いてプレート間固着・すべりのモニタリングの高度化を図ることが挙げられている。本サブテーマでは、3D構造モデル及び海陸の観測データを用いた自動震源決定システムを構築し、南海トラフ及びその周辺の地震活動の現状を即時的に把握出来るようにする。「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト（平成25年度～令和元年度）」で構築したP波速度3D地下構造モデルについて、「海域における断層情報総合評価プロジェクト（平成25年度～令和元年度）」の成果も活用し、最新の地下構造研究成果を取り入れることで高精細化するとともに、S波速度や密度等を含めたマルチパラメータ化を行う。海底に設置された常設地震・津波観測点（DONET等）については、各観測点直下の堆積層構造を詳細に評価

し、震源決定の高度化に資する観測点補正値を求め、3D構造モデルに反映する。構築した3D構造モデルを自動震源決定システムに適宜採用することで、過去及び現在の地震活動を適切に把握するとともに、通常と異なる活動の検出に向けた研究開発を行う。なお、本サブテーマで構築する3D構造モデルは、本プロジェクトにおける基本モデルとして、随時、他のサブテーマに提供する。

#### (b) 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

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う。同システムにはプレート境界以外の断層も含む3D構造モデルに基づいた、地下の断層におけるすべりと地表及び海底での地殻変動を結びつけるグリーン関数を組み込む。さらに3D構造モデルに不均質粘弾性構造を追加したグリーン関数を導入する。これによって、プレート境界におけるすべり遅れの蓄積、地震時のすべり及びゆっくりすべり等の時空間分布を迅速かつ精度よく把握するとともに、その推定誤差を定量的に提示し、情報発信できるシステムのプロトタイプを実現する。加えて分岐断層等のプレート境界以外の海域断層も考慮に入れた推定を試みるとともに、広帯域海底地震観測により、プレート境界浅部におけるスロー地震活動や非プレート境界の地震活動の詳細な時空間把握を行う。3D構造モデルが更新されれば、それに追従してグリーン関数を修正して随時再解析を行う。これらのうち、プレート境界及び分岐断層等の海域断層を含めた固着・すべりの推定の曖昧さを含めた推定技術については、国土地理院が別途進めている「南海トラフ沿いの巨大地震発生に対応するための高精度な地殻活動把握手法の研究開発」と密接に連携する。また、地震時すべり分布の即時推定については、国土地理院で運用しているREGARD（電子基準点リアルタイム解析システム）への技術移転を念頭に置いた開発を行う。

#### (c) 3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測

過去の地震履歴についての知見を拡充するとともに、地殻変動データと整合する3D粘弾性構造モデルを構築し、過去の地震履歴や固着・すべりの現状把握の結果が与えられたもとで、現在の応力蓄積状態を推定するとともに、擾乱（半割れ等）が与えられた際の推移を予測する手法を開発する。そのために、断層すべりによる地殻変動計算と断層面での応力評価を、3D不均質粘弾性構造を考慮して行うための大規模有限要素モデルを南海トラフを対象として構築するとともに、前回の南海トラフ地震以降の地殻変動データと整合する物性パラメータを推定した上で、グリーン関数を計算する。また、断層構成則と組み合わせることで、与えられた固着・すべりの後の推移の計算を実現する。履歴については、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とともに歴史地震について史料調査を実施する。陸域では掘削調査等から津波浸水や地殻変動の履歴を、海域では海底堆積物調査から地震・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。また、史料解析に基づいて歴史地震における諸現象をより正確に復元する。

## (2) サブ課題 2：地震防災情報創成研究

将来の発生が確実視され、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取り込んだ地震や津波のハザードやリスクの防災情報基盤を創生し、3つの目標を立て総合的に研究を推進する。命を守ることを目標として、津波到達時間が短い地域を対象に、「南海トラフ地震臨時情報」の効力を十分に引き出すための事前避難の診断、人口動態をモニタリングする技術の開発を行う。また、地域産業活動を守ることを目標に、製造業の盛んな地域に対して、社会様相モニタリングデータ等に基づく事態想定シミュレーション技法を開発し、社会萎縮回避や事前防災投資のための地域産業回復シナリオを作成する。さらに、大都市機能を守ることを目標に、首都圏を対象に災害シナリオをダイナミックに自動生成する仕組みを構築し、復旧オペレーションを確立する。

### (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

「南海トラフ地震臨時情報」には、同地震・津波による被害を大幅に軽減することが期待されている。しかし、本情報をはじめ不確実性を含む災害情報の効力を十分に引き出すためには、どの範囲の、どのような人々が事前避難すべきなのかに関する客観的基準、避難先及び避難方法に関する知見とノウハウが必要とされる。そこで、(g)で開発する地震防災基盤シミュレータの津波シミュレーションをベースに、事前避難の要不要の診断ツールを開発し実装する。また、臨時情報発表時の人口動態予測システムを開発し実装する。さらに、津波到達時間が短い地域での地域研究会を実施し、両システムの実装と効果検証作業を行う。具体的には、第1に、先行プロジェクト（戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第1期）で津波避難訓練支援アプリとして開発した「逃げトレ」を、訓練のたびに住民の空間移動データを標準化された形式でビッグデータとして蓄積可能なシステムとして再編し、『事前避難要不要判断ツール』として社会に実装する。第2に、空間モバイルデータを活用して、人や車の移動に伴った大規模な空間移動動態を予測・実測し、「臨時情報」発表時にどの地域でどのような人口移動が生じ、どこにどの程度の避難所が必要となるのかについてシミュレーションするための『広域人口動態予測システム』を開発し、「避難が可能なまち」を実現するためのシステムとして社会に実装する。なお、上記のツール及びシステムの実証実験のフィールド及び実装先については、高知県、和歌山県内の自治体の中から選定し実施する。

### (e) 発災時の企業の事業活動停止を防ぐ

既往の調査研究プロジェクト成果を考慮した臨時情報発表時に製造業を中心とする地域産業活動が継続するために必要となる要素を構造化し、事前防災対策と事後対応を構成要素とした産業タイムラインモデルを構築し、都市インフラとサプライチェーンの回復力のリスク評価を行う。地域の人流、物流に対しては、地震センサー、停電

情報や都市インフラのスマートデータ、自動車センサーによるプローブデータに対する減災情報利活用の高度化等を行い、臨時情報発表時の俯瞰的かつ総合的なリアルタイムでの社会様相モニタリング手法を開発する。(g)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し、社会萎縮回避や事前防災投資のための地域産業回復シナリオを作成し、サブ課題3「創成情報発信研究」と連携し、情報提供できるようにする。

#### (f) 発災時の大都市機能の維持

南海トラフ巨大地震は国難ともいえるべき災害であり、このような状況下で東京・名古屋・大阪などの大都市機能を維持することはとりわけ重要である。特に長周期地震動の影響がある首都圏は、政治・経済・報道などを代表とする中枢管理機能が集中しており、例えば高層ビルなどの被害は首都機能維持や国全体としての災害対応そのものに少なくない影響を及ぼすと考えられる。しかしながら、平時に極めて高度かつ複合的に設計されている大都市は、一たび突発的な災害が発生した際、どの程度・どういった形で都市機能が喪失するかは詳らかにされていない。他方で今後はあらゆるものにセンサーが埋め込まれ、モニタリングが可能なスマートシティ時代を迎える。それゆえ被害量の精緻な即時的予測は技術的に可能となりつつあり、これを災害対応に運用するための社会技術が求められる。具体的には、大規模災害時に都市機能の喪失に至らないための復旧オペレーションを、その災害の特徴を踏まえた形で発災直後に示すことも可能になるものと考えられる。

本研究では、このようなスマートシティ時代における新しい防災対応手法の確立もにらんで、「都市機能の維持」に必要な対策をリアルタイムで抽出するための研究を、首都圏を対象として行う。研究の手順としては、①大都市における災害シナリオをダイナミックに自動生成する仕組みを構築し、②これを基に都市機能を維持するための対応タイムライン作成手法を確立する。このうち災害シナリオの自動生成技術は、分担者責任者が開発している定性的被害予測技術を用いる。この技術は、これまでの災害教訓から得られる膨大な災害事象の網羅的な因果データベースを機械学習を用いて構築し、それを利用して近い将来に起こりうる災害事象をリアルタイムで抽出するものであり（イベントツリー・タイムラインの形）、本研究ではこれを援用して「大都市機能の維持」に焦点を絞った検討を行う。研究の後半では社会への実装を図るが、ここでは(g)で開発する地震防災基盤シミュレータによる長周期地震動対策を対象とし、長周期地震動が大きく影響を与える都市機能として、超高層ビル等の被害（エレベータ障害等）に着目して、モデル地域における復旧状況をシミュレーションする手法を開発し、都市機能を守るための大都市圏ならではの復旧オペレーションの検討を実施する。

#### (g) 地震防災基盤シミュレータの構築

時空間的な地震発生の多様性を持つ南海トラフ地震を対象に、上記テーマ(d)～(f)

の研究で活用可能とする将来を予測する基盤となる情報として、地震や津波のハザードやそれによって引き起こされるリスク情報を創出する。具体的には、「通常と異なる現象」を地震発生の一多様性の一例として捉え、それが起こった後の時間推移を考慮した条件付きリスク評価手法の開発を行う。また、地震本部の知見を採り入れつつ、地震発生の一多様性を表現するために構築された時空間的に膨大な組み合わせからなる断層モデル群に対して、長継続時間・広帯域強震動（長周期地震動を含む）や津波遡上を安定的かつ効率的にシミュレーションできる手法を開発し、上記テーマに関連して、事前避難、産業活動及び大都市機能維持のそれぞれの地域性の観点から南海トラフの地震像を類型化する手法の開発を行い、類型化毎の代表的な広域災害シナリオを構築する。このように創出したハザード・リスク情報を格納する情報基盤を、防災科研の地震ハザードステーション（J-SHIS）、津波ハザードステーション（J-THIS）及びリアルタイム地震被害推定システム（J-RISQ）と連携できる形で地震防災基盤シミュレータとして構築し、(d)～(f)のそれぞれの目的に適した形態で提供可能とするとともにサブ課題3「創成情報発信研究」と連携して利活用を進めることで防災対策に活かす。

### (3) サブ課題3：創成情報発信研究

地域防災力の向上のために、事前準備、災害時対応及び災害後対応の各ステージで各種情報を地域の防災に活用するための情報発信の在り方を探る。サブ課題1の理学的な成果とサブ課題2の工学・社会的な成果を、地殻変動や地震活動等、異常な現象が発生した時にどのように活かすか、これまでの南海トラフ巨大地震関連のプロジェクトの地域研究会での議論も参考に、情報発信検討会を共通の防災上の特性を有する複数の地域で開催して検討する。検討には、気象庁からの臨時情報・解説情報の発表のケースを念頭に、これまで地震調査研究推進本部から公表されているハザードマップや各種情報も入力情報として使用する。研究成果を直接的に防災に活かせるよう、地域毎に異なる防災上の課題を整理し、その解決手段を講じる。つまり、単に研究成果を防災情報としてアウトプットするだけでなく、正しくかつ効果的に防災情報を利用し適切な防災行動につなげてもらう必要がある。例えば、津波浸水を考えた場合、浅い浸水深が安心情報になってはいけない。それは、浸水評価の誤差の問題のみならず、浅い浸水深は瓦礫集積や津波火災の可能性を示唆するからである。個々人の知識と経験から、各地域が防災上のリーダーシップをとって行動に移すことができる体制の構築を目指し、災害対応評価システムを構築して、本プロジェクトの成果の地域への貢献度を評価する。この評価のために、地方自治体や地域の研究者の協力を仰ぎ、特定多数における情報リテラシーを計測する。また、これらの取り組みや分析結果について、情報発信検討会を通じて地域と共有して検証し、次の防災力向上の計画へとつなげる。

## 1. 1 研究概要の説明

### (1) 研究者別の概要

| 所属機関・部局・職名       | 氏名    | 分担した研究項目及び研究成果の概要                                                                                                                 | 研究実施期間                      | 配分を受けた研究費(円) | 間接経費(円)    |
|------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------|------------|
| 国立研究開発法人海洋研究開発機構 | 小平秀一  | プロジェクト研究代表・サブ課題1責任者。<br>プロジェクト全体については、サブ課題1・2・3の連携を意識した議論・検討を行った。<br>サブ課題1については、3課題の連携を構築し地震・地殻活動モニタリングシステム構築を進めた。                | 令和2年7月22日<br>～<br>令和3年3月31日 | 85,016,153   | 25,504,845 |
|                  | 堀 高峰  | サブ課題1c責任者。<br>粘弾性構造テストモデルを構築して、精度評価まで実施した。                                                                                        |                             |              |            |
|                  | 仲西理子  | サブ課題1a分担者。<br>既存・新規調査研究成果の収集とともに、それらを取り入れた速度構造モデル更新の仕組みの構築、及びモデルのマルチパラメータ化の方針や手法の検討を進めた。                                          |                             |              |            |
|                  | 飯沼卓史  | サブ課題1b分担者。<br>プレート境界でのすべり・固着に対する長期孔内観測システムでの歪・傾斜応答について、既存の有限要素モデルを局所的に細分化する手法の実装及び高精細化されたモデルを用いての計算を実施し、現実的な3D構造モデルを用いたグリーン関数を得た。 |                             |              |            |
|                  | 今井健太郎 | サブ課題1cおよび3分担者。<br>サブ課題1cでは史料に基づいた履歴調査を行い、中世のイベントでは史料と津波堆積物を組み合わせて検討する重要性を示した。<br>サブ課題3では、津波浸水だけでなく、津波瓦礫堆積分布の情報が事後復旧には重要であることを示した。 |                             |              |            |

|                               |      |                                                                                                                              |                                               |            |            |
|-------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------|------------|
| 国立研究<br>開発法人科学<br>防災技術研究<br>所 | 藤原広行 | サブ課題 2 責任者。<br>サブ課題 2 について、4<br>つのテーマ間での調整<br>を行い、連携体制が構築<br>できた。                                                            | 令和 2 年<br>7 月 22 日<br>～<br>令和 3 年<br>3 月 31 日 | 75,347,693 | 22,604,307 |
|                               | 汐見勝彦 | サブ課題 1 a 責任者。<br>3 D 構造モデルを用い<br>た自動震源計算システ<br>ムについて基本設計を<br>実施し、システムの主要<br>部分を構築した。                                         |                                               |            |            |
|                               | 中村洋光 | サブ課題 2 g 責任者。<br>地震防災基盤シミュレ<br>ータについてシステム<br>のハードウェアの導入<br>及び設計ができた。                                                         |                                               |            |            |
|                               | 高橋成実 | サブ課題 3 責任者。<br>サブ課題 1 とサブ課題<br>2 の連携を通じて、研究<br>成果の可視化と地域と<br>の成果共有・理解の体制<br>を構築することができ<br>た。                                 |                                               |            |            |
| 国立大学<br>法人東北<br>大学大学<br>院     | 太田雄策 | サブ課題 1 b 責任者。<br>断層モデルの推定不確<br>実性を含めた推定アル<br>ゴリズムの開発について<br>着手し、数値実験によ<br>ってその性能評価を行<br>ない、一定の精度で推<br>定が可能であるという<br>結果が得られた。 | 令和 2 年<br>7 月 22 日<br>～<br>令和 3 年<br>3 月 31 日 | 5,165,385  | 1,549,615  |
| 国立大学<br>法人京都<br>大学防災<br>研究所   | 矢守克也 | サブ課題 2 d 責任者。<br>事前避難要不要判断ツ<br>ールの開発について、シ<br>ステムの基本構成につ<br>いて検討し、プロトタイ<br>プを作成した。                                           | 令和 2 年<br>7 月 22 日<br>～<br>令和 3 年<br>3 月 31 日 | 30,045,385 | 9,013,615  |

|                                 |       |                                                                                                                                                      |                                               |              |              |
|---------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------|--------------|
| 国立大学<br>法人東海<br>国立大学<br>機構名古屋大学 | 平山修久  | サブ課題 2 e 責任者。<br>産業タイムライン構築、リアルタイム社会様相把握について、都市インフラデータモデル、産業構造モデルを構築して、南海トラフ臨時情報発表時の社会活動の萎縮状況に関する結果が得られた。                                            | 令和 2 年<br>7 月 22 日<br>～<br>令和 3 年<br>3 月 31 日 | 39, 589, 231 | 11, 876, 769 |
|                                 | 中井健太郎 | サブ課題 3 分担者。<br>ボーリング柱状図を分析し、解析対象河川の二次元的な地層構成を把握した。                                                                                                   |                                               |              |              |
| 国立大学<br>法人東京<br>大学              | 廣井 悠  | サブ課題 2 f 責任者。<br>・災害因果データベースの拡充について朝日新聞記事を機械学習することで、6 ヶ月間の災害連関図の結果が得られた。<br>エレベータ復旧オペレーション方針の検討について文献調査やヒアリング調査を実施して、復旧過程をシミュレーションするために考慮すべき項目が得られた。 | 令和 2 年<br>7 月 22 日<br>～<br>令和 3 年<br>3 月 31 日 | 15, 119, 231 | 4, 535, 769  |
| 国立大学<br>法人東京<br>大学地震<br>研究所     | 篠原雅尚  | サブ課題 1 b 分担者。<br>プレート境界付近の地震活動把握について海底観測網整備を行い、長期海底観測を開始した。                                                                                          | 令和 2 年<br>7 月 22 日<br>～<br>令和 3 年<br>3 月 31 日 | 43, 593, 847 | 13, 078, 154 |
| 国立研究<br>開発法人<br>産業技術<br>総合研究所   | 穴倉正展  | サブ課題 1 c 分担者。<br>海域および陸域の地震・津波履歴について、主に堆積物の分析を行い、発生年代や再来間隔に関するデータが得られた。                                                                              | 令和 2 年<br>7 月 22 日<br>～<br>令和 3 年<br>3 月 31 日 | 24, 700, 000 | 7, 410, 000  |
| 国立大学<br>法人香川<br>大学              | 金田義行  | サブ課題 3 分担者。<br>情報リテラシー向上研究として複数小学校で地震津波アンケート調査を実施し、知識等で地域性が存在する結果が得られた。                                                                              | 令和 2 年<br>7 月 22 日<br>～<br>令和 3 年<br>3 月 31 日 | 3, 000, 000  | 900, 000     |

|                    |      |                                                                                |                                     |           |         |
|--------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------|---------|
| 国立大学<br>法人徳島<br>大学 | 馬場俊孝 | サブ課題3分担者。<br>情報リテラシー向上に<br>ついて、各県の県民意<br>識調査を調査し、住民<br>への防災知識の伝達状<br>況を明らかにした。 | 令和2年<br>7月22日<br>～<br>令和3年<br>3月31日 | 1,500,000 | 450,000 |
|--------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------|---------|

## (2) 研究実施日程

| 業務項目                             | 実 施 日 程 |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |
|----------------------------------|---------|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|
|                                  | 4       | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 |
| 【理学研究】(サブ課題1: 地殻活動情報創成研究)        |         |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |
| (a) 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 |         |   |   |   | ← |   |    |    |    |   |   | → |
| (b) 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   |         |   |   |   | ← |   |    |    |    |   |   | → |
| (c) 3Dモデル・履歴情報を用いた推移予測           |         |   |   |   | ← |   |    |    |    |   |   | → |
| 【工学・社会科学研究】(サブ課題2: 地震防災情報創成研究)   |         |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   |   |
| (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   |         |   |   |   | ← |   |    |    |    |   |   | → |
| (e) 発災時の企業の事業活動停止を防ぐ             |         |   |   |   | ← |   |    |    |    |   |   | → |
| (f) 発災時の大都市機能の維持                 |         |   |   |   | ← |   |    |    |    |   |   | → |
| (g) 地震防災基盤シミュレータの構築              |         |   |   |   | ← |   |    |    |    |   |   | → |
| 【地域連携】(サブ課題3: 創成情報発信研究)          |         |   |   |   | ← |   |    |    |    |   |   | → |