

プロフィールシート（事前評価）

研究課題名：地殻活動・地震動・津波の監視・予測に関する研究

（副課題1）地震観測・データ処理技術に関する研究

（副課題2）地殻活動監視・評価に関する研究

（副課題3）地震動即時予測に関する研究

（副課題4）津波の予測手法に関する研究

研究期間：2024～2028年度（5年間）

研究代表者：中村雅基（地震津波研究部長）

研究担当者：（副課題代表）山本剛靖、露木貴裕、西宮隆仁、林豊

1. 研究の背景・意義

（気象業務への貢献や社会貢献）

国土交通省交通政策審議会気象分科会は「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」（平成30年8月公表）において、地震、津波現象を的確に把握・評価し、実況や経過、見通し等について、わかり易くきめ細かに提供する等の取組を進めるべきとした。具体的には、地震活動や地殻変動を統合的に解析し現象の推移を的確に評価することで今後の地震活動の見通しについてより具体的に情報の提供を行うこと、緊急地震速報において面的な揺れの広がりや予測を提供するとともに震度だけでなく長周期地震動階級も合わせて予測技術の高度化を図ること、津波警報第一報のさらなる予測精度の向上を目指して津波データベースを改良すること、津波の実況や予想に基づき津波の第1波・最大波から減衰までの津波の時間的推移や警報・注意報の解除の見通しを提供することなどを目標として提言した。

地震調査研究推進本部は「地震調査研究の推進について―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）―」（令和元年5月31日公表）において、10年間に取り組むべき地震調査研究の基本目標として「地震動即時予測及び地震動予測の高度化」、「津波予測技術（津波即時予測技術及び地震発生前に提供する津波予測の技術）の高度化」、「海溝型地震の発生予測手法の高度化」を掲げている。

中央防災会議は令和元年5月に「南海トラフ地震防災対策推進基本計画」の一部を改正した。これに基づき、気象庁では有識者からなる「南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会」を開催し、大規模地震の発生可能性が平時よりも相対的に高まったと判断される場合、その評価結果に基づき「南海トラフ地震臨時情報（巨大地震警戒や巨大地震注意）」を公表し、一定期間警戒や注意を呼び掛け、その後も引き続き、地震活動や地殻変動の状況について「南海トラフ地震関連解説情報」を適宜発表することとしている。また、令和4年9月に「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進基本計画」の一部を改正した。これに基づき、気象庁は、当該巨大地震の想定震源域及びその周辺で大きな地震が発生した場合に、大規模地震の発生可能性が平時より

も相対的に高まっているとして、北海道・三陸沖後発地震注意情報を発表し、後発の巨大地震に備えた注意を促すこととしている。

文部科学省の科学技術・学術審議会測地学分科会が策定を進め令和5年8月にパブリックコメントを実施した「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第3次）【仮称】の推進について（建議）」（案）では、地震時の強震動・長周期地震動・津波などの災害誘因の即時予測手法の高度化が重点研究とされるなどしている。

国際的には、「国連海洋科学の10年津波プログラム実施計画(2021-2030)」が採択され、全ての津波に対して迅速な検知・把握・予測を可能にするための開発などへの集中的取り組みが、各国政府や科学者に求められる共通課題となった。

（上記のために本研究が必要な学術的背景）

二十数年前から、全国の陸域に高密度の地震観測網やGNSS観測網が展開された。また、十数年前から、熊野灘・紀伊水道沖（DONET）、房総沖から釧路沖にかけての海域（S-net）に、稠密な海底地震津波観測網が展開され、現在、高知県沖から日向灘にかけての海域に海底地震津波観測網（N-net）の新たな構築が進められている。これらの観測網を利用して、通常地震に加えスロー地震が観測され、それらの検知能力が向上してきた。その中で、固着域浅部で発生するスロー地震が報告されているが、例えば南海トラフ想定震源域全体におけるこれらの活動状況の把握や常時監視には至っていない。南海トラフ沿いや日本海溝・千島海溝沿いにおいて、大規模地震の発生可能性が平時よりも相対的に高まったと判断するには、発生した大きな地震や、南海トラフ沿いのケースではゆっくりすべりの像を、迅速・的確に評価する技術を高度化する必要がある。

震源を求めることなく地震による揺れの分布（波動場）の状況のリアルタイムモニタリングから次の揺れ（波動場）を予測する技術の研究は、気象研究所が世界に先駆けて進めているものであり、引き続き取り組んでいく意義が大きい。

海域の観測成果の充実に伴い、データ同化等による津波監視・予測の手法が国内外で盛んに研究されるようになった。今後も海底地震・津波観測網の構築が進められることから、この分野の研究成果を即時津波予測に活かすことは意義のある取り組みである。

津波は様々な要因で発生するため、現在の気象庁においても全ての津波を適切に即時予測できる体制の完成には至っていない。近年は、海域での観測網が充実し、相次ぐ国内外の津波事例で観測データも得られるようになった。これらは、多様な津波による災害の軽減に向けて、即時予測可能な対象を拡充するための研究にも活用することが期待されている。

（気象研究所の実績）

各副課題に対応するこれまでの気象研究所の実績は次のとおりである。

（副課題1）

新たな地震観測技術として光ファイバー振動計（DAS）の試験観測を陸上で行い振動観測性能を確認したうえで海底ケーブルを利用した観測を開始した。自動震源決

定については、まず課題の一つであったエアガン対策としてエンベロープ波形を用いた自己相関解析を PF 法に組み込む手法を開発し、この手法は令和 3 年 7 月に気象庁の地震処理業務システムに導入された。また、従来手法を用いて地震波を検出し深層学習 (CNN) を用いて P/S/ノイズ判定することで、従来よりも約 8 割の誤決定が抑制されることを確認した。DONET を用いた最大振幅とエンベロープ相関のハイブリッド法による浅部低周波微動検出プログラムを開発した。遠地実体波震源過程の自動解析手法を開発し、地震発生後 45 分程度ですべり分布が得られるようにした。

(副課題 2)

プレート間固着状態監視のため、南海トラフ沿いの長期的及び短期的スロースリップの客観的な時空間分布と規模推定の手法、ひずみ、傾斜、GNSS データを用いたスロースリップのすべり分布を推定する手法を開発した。

地震活動の特徴を表す指標について、統計的手法により異常度を評価する手法を開発した。

地震発生シミュレーションに最新の観測・解析結果を取り込み、東海・東南海と南海の地震連動性や長期的スロースリップの発生条件などを明らかにした。

(副課題 3)

緊急地震速報で用いる震源決定手法として、複数の種類のデータを統合して処理することで同時に複数の地震が発生した場合でも精度よく自動で震源要素を推定する手法 (IPF 法) を開発した。

新たに構築された海底の地震観測網 S-net の緊急地震速報への利用について、機器の姿勢変化を検出して異常判定する等震源要素の推定に安定して利用する手法を開発し、また処理時間が増加しないよう IPF 法を高速化した。

大きな震源域を持つ巨大地震や、連続して地震が発生して適切に震源要素が決定できない場合でも即時に震度を予測する手法 (PLUM 法) を開発し、また、PLUM 法と震源要素を用いる従来的手法を組み合わせる手法を開発した。

観測点分布が密であるが大規模地震で振幅が振り切れてしまう高感度地震観測網 Hi-net を IPF 法に取り込む技術を開発した。

(副課題 4)

千島海溝・日本海溝・南海トラフ沿いの沖合津波観測データを活用する津波即時予測手法を開発した。この手法は 2018 年度 EPOS に導入され、近地の津波予報の更新等のためのシステムとして活用され続けている。また、その後も手法を継続的に改良している。

2016 年の福島県沖の津波の事例分析から、津波予報データベースの改善策を提案した。2018 年度までにデータベースの修正が行われ、近地の津波予報の改善に活用されている。

津波の観測データに基づく経験的な減衰予測手法を開発した。この手法は 2022 年

度までに EPOS へ導入された。

2. 研究の目的

(全体)

地震や津波の発生に伴う災害を防止・軽減するため、地震発生過程・地震活動・地殻変動・地震動・津波の諸現象への理解を深め、地殻活動・地震動・津波の監視・予測技術の開発・改良を行う。

(副課題 1)

新たな技術の導入等により地震観測及び地震データ処理の自動化・迅速化等を通じた効率化・高精度化を図る。

(副課題 2)

プレート境界固着状況変化の把握精度向上、地殻活動評価手法の開発を行う。

(副課題 3)

地震動即時予測技術の精度向上、迅速化、堅牢化及びそれらに資する地震動リアルタイムモニタリング手法の高度化を図る。

(副課題 4)

津波災害をより軽減するため、津波事前・即時予測手法を改良する。

3. 研究の目標

(全体)

地震の観測と発生した地震の地震像を即時把握するデータ処理技術を改良する。南海トラフ沿いをはじめとするプレート境界における固着状況変化の把握精度を向上し、地震発生シナリオを構築する。地殻内変形場と地震活動の関係性を明らかにする。地震動即時予測の精度、迅速性、及び堅牢性の向上、広帯域の揺れの予測への対応、津波即時予測の効果的な改良を行う。

(副課題 1)

光ファイバー振動計 (DAS) の地震観測への利活用可能性を検証し、その特性を生かす解析手法を開発する。観測データから地震を識別する技術、発生した地震の震源要素や規模の決定精度向上、破壊領域の即時把握など地震データ処理技術を改良する。

(副課題 2)

南海トラフ沿いのプレート境界で発生するすべり分布の時間経過を把握する手法開発により、固着状況変化の把握精度を向上させる。地殻内のひずみ速度、非弾性変形場と地震活動との関係性を明らかにする。地震発生の数値モデルを改善するとともに、プレート境界地震発生シナリオを構築する。

(副課題 3)

地震動即時予測について、震源位置やマグニチュードによらずに行う震度予測手法の改善を進め、精度向上、迅速性・堅牢性を向上させる。そのため、新たな観測データを含めた揺れの分布 (波動場) のリアルタイムモニタリング手法の検討を進め、さらに、震度だけでなく、より長周期の揺れを含めた広帯域の揺れの

予測に対応する。

(副課題 4)

津波波源からの距離に応じて、波源近傍、波源からやや離れた地域、波源から遠い地域のそれぞれの予測対象について、津波即時予測の手法を効果的に改良する。

4. 研究体制

研究代表者：中村雅基

担当研究者：

- | | | |
|---------|------------|------------|
| (副課題 1) | サブ代表者：山本剛靖 | 担当研究者：6名程度 |
| (副課題 2) | サブ代表者：露木貴裕 | 担当研究者：6名程度 |
| (副課題 3) | サブ代表者：西宮隆仁 | 担当研究者：6名程度 |
| (副課題 4) | サブ代表者：林 豊 | 担当研究者：5名程度 |

研究協力者： 併任者として 20 名程度。客員研究員として 1 名程度。

5. 研究計画・方法

(副課題 1)

① 新たな地震観測技術の検討

既設の海底地震計用ケーブルを利用して DAS による長期間の観測を実施する。自然環境における地震以外の様々な現象との識別、地震波形の位相と振幅の長期安定性の評価などにより地震計としての活用可能性を検証する。ケーブル方向に密に振動観測を行える DAS の特性を生かしつつ業務に活用できる地震解析手法を検討・開発する。

② 地震データ処理技術の改善

地震の震源決定について、機械学習を利用した地震波形の識別能力向上等により自動震源の震源精度を向上させる。南海トラフ域の超低周波地震の検出手法の開発を進めるとともに、遠地地震などの誤検出の除去により浅部低周波微動の検出精度を高め、また、S-net 等他の海域を監視対象とするための技術開発を進める。前期課題で作成した南海トラフ沿いのプレート境界地震に特化した近地地震波形を用いた即時震源過程解析手法のプロトタイプの改良を進める。発生場所を限定しない場合の震源過程解析の迅速化手法を検討・開発する。

(副課題 2)

① 地震・地殻変動データによるプレート境界の固着状況監視

南海トラフ沿いのプレート境界でのすべり分布の時間変化をモニタリングする手法を開発する。また、非定常地殻変動検出ツール、スロースリップのすべり位置推定ツールを日本海溝・千島海溝沿いに対して適用し、非定常変動と変動源を把握する。

② 地殻内変形場の推定と地震活動との関係調査

測地データに基づく地殻内のひずみ速度、非弾性変形の推定などにより、地殻変動と地震活動との関係、地震発生ポテンシャルなどを考察する。統計モデルによる

地震活動の異常度の評価手法を改良する。

③ 地震発生シミュレーション技術の改良

地震発生モデルで再現可能な現象の規模を、現在の長期的スロースリップ相当から短期的スロースリップ相当にするため、メッシュ細分化、計算速度高速化を行う。また、地震性／非地震性すべりの条件としてこれまで提示されている摩擦パラメータ以外に影響を及ぼすパラメータ（周囲の a-b、a/b、収束速度など）について調査する。さらに応力蓄積に基づく地震シナリオ構築手法などを用いて、南海トラフ沿いでの大きな地震発生後に、残りの震源域で発生する地震の規模や範囲を推定する方法を開発する。また同手法を日本海溝・千島海溝の地震に対しても適用する。

（副課題 3）

① 揺れの分布（波動場）の予測手法の高度化

地震のリアルタイムの揺れの分布（波動場）を初期値とした波動伝播計算と地盤増幅特性の補正によって、震度のみならず広帯域の地震動の分布を正確かつ即時的に予測する手法を開発する。より猶予時間が長く、精度の高い地震動即時予測が可能となるよう、不均質な地震波減衰特性を波動伝播計算に取り込む技術開発を行う。

② 揺れの分布（波動場）のリアルタイムモニタリング手法の高度化

①を達成するため、周波数依存性を持つ地盤増幅特性の推定とそのリアルタイム補正、観測点での地震波形の時系列の特徴に基づいた地震波伝播の推定等により、幅広い帯域における地震動の分布とその伝播の様子を即時的に把握する技術開発を行う。

（副課題 4）

① 波源近傍の津波予測

津波発生場の性質の把握を通じて事前津波予測データベースの改善点を見出し、発生直後で津波の観測値がほとんど得られない段階で予測する必要がある波源近傍の即時予測手法を改良する。

② 波源からやや離れた地域の津波予測

津波到達までの間に沖合で観測されるデータの活用技術を高め、津波波源からやや離れていて発生から到達までの時間がやや長い地域での津波の即時予測手法を改良する。

③ 波源から遠い地域の津波予測

津波伝播計算において、非線形性を表現する計算手法の改良を進めるとともに、計算結果の品質を診断する手法の開発を行い、津波波源から遠い地域の津波の予測手法を改良する。

また、津波伝播計算手法の改良成果によって、津波予測データベース及び沖合で観測されるデータを活用した即時予測手法における波源近傍等の簡便な沿岸波高の予測手法と、津波の時間的推移の予測手法の改良も図る。

6. 研究年次計画（研究フロー図を添付）

(副課題 1)

<中間評価時の到達目標>

DAS による長期間の観測を行い、長期安定性の評価を含む地震計としての活用可能性を検証する。機械学習を利用した地震波形の識別能力向上等により自動震源の震源精度を向上させる。浅部低周波微動・超低周波地震に関して検出精度を向上させる。南海トラフ沿いのプレート境界地震に特化した近地地震波形を用いた即時震源過程解析手法を開発する。

(副課題 2)

<中間評価時の到達目標>

プレート境界でのすべり分布の時間経過を把握する手法を開発する。南海トラフ沿いで利用している非定常地殻変動検出ツール、スロースリップのすべり位置推定ツールを日本海溝・千島海溝沿いに適用するための改良をする。測地データに基づく地殻内のひずみ速度、非弾性変形推定手法を開発、改良する。地震発生モデルで短期的スロースリップ現象の再現を行う。また、南海トラフ沿いで発生する大規模地震について、応力蓄積に基づく地震シナリオ構築を行う。

(副課題 3)

<中間評価時の到達目標>

リアルタイムモニタリング、揺れから揺れを予測する手法、予測対象の広帯域化、それぞれについて、その時点のリアルタイムの観測データから行えること、将来的にリアルタイムで観測データが入手可能となれば出来ることなどを整理する。

(副課題 4)

<中間評価時の到達目標>

発生状況について得られる情報がごく限られる発生直後の段階において、津波波源分布の推定の不確実性が沿岸での津波の予測に及ぼす影響を評価する。また、沖合の観測データを逐次的に活用して津波波源分布や波動場を推定する手法を改良する。さらに、津波数値計算における非線形性の表現を向上させるための計算手法を改良する。

7. 研究の有効性（気象業務への貢献や社会貢献など）

本研究が目標とする成果は、緊急地震速報の予測精度向上、迅速化、及び長周期地震動予測への対応、適時適切な津波即時予測に基づく情報の改良、並びに南海トラフ地震や後発地震の的確な評価と見通しについてのより具体的な情報の提供に結びつく。

地震や津波に関する警報・情報の精度向上、迅速化、及び内容の充実は、情報の利便性を高め、情報の受け手がよりの確に防災・減災行動を取れるようになることが期待される。