

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

プレート境界の固着状態変化を検出するための手法、地殻活動状態の変化を監視する手法を高度化する。また、地震発生シミュレーションにより地震活動履歴の再現と、発生した状態変化の物理的背景の理解を進める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

南海トラフ沿いで発生しているスロースリップについて、すべりの時空間分布を推定するための手法の改良を行う。地殻活動状態の変化を表す地震活動の様々な指標の特徴を調査し、それらを組み合わせた統合的指標を構築する。地震発生シミュレーションにより、千島海溝域について地震活動履歴の再現を行う。また、プレート境界の固着状態変化、地殻活動状況変化の物理的背景について考察する。

(8) 令和5年度及び計画期間中（令和元年度～5年度）の成果の概要：

・今年度の成果の概要

・ETASモデルによる予測地震数と観測地震数の比を、GNSSデータから計算した最大せん断ひずみ速度比に加えて、震央距離、D90、地震波速度構造とも空間相関を比較したが、最大せん断ひずみ速度比との正の相関が最も高く、2012年2月のデータまで拡張しても同様の傾向が見られた。これは、最大せん断ひずみ速度比が、ETASモデルの高精度化に有効である可能性を示唆している。

・能登半島における群発地震活動について潮汐との関係を調査した結果、南東部の深さ14kmより深い領域の活動のみ潮汐相関が示唆された。深部流体によって断層面が強度低下し、潮汐力の影響を相対

的に受けやすいことを反映している可能性がある。

・新潟―神戸歪み集中帯の変形構造を調査するため、GNSSデータをインバージョン解析して、地殻内で発生する非弾性変形の大きさに対応する3次元モーメント密度分布を推定した。その結果、地殻深部は一つの基盤断層を境界とした2つの地殻ブロックが相対運動するのに対し、地殻浅部は活断層に沿って非弾性変形が集中する複雑な構造をしていることが分かった。

・近地地震波形を用いた震源過程解析の自動化について、南海トラフ沿いで発生した地震を解析したところ構造不均質の影響により妥当な解が得られなかった。この影響を回避するため、あらかじめ沈み込むプレート面上に小断層を配置して三次元速度構造に基づくグリーン関数を計算しておく手法の開発を進め、プロトタイプを構築した。南海トラフ沿いでは観測事例が少ないため合成波形を作成し、開発した手法の検証を行った。

・東海大学と共同で、駿河湾における海底地震計観測を行った。

・自動震源に含まれるノイズ等の誤検知を除去するため、機械学習の一種であるアンサンブル学習（ランダムフォレストとAdaBoost）による地震ノイズ判別手法を開発した。学習の結果、AdaBoostでは震源決定数を99%以上保ったまま、ノイズを約1/5（全体の1%に相当）に低減できた。

・大地震発生後の余効変動の逐次推定・除去処理について、他の現象が同時に発生している場合にも分離して余効変動を評価できるようにし、2013年から2016年にかけて発生していた東海地方の長期的スロースリップと東北地方太平洋沖地震の余効変動を適切に分離し、長期的スロースリップの監視が行えるようになることを確認した。

・地震発生シミュレーションの計算高速化に関する手法について調査し、Hマトリクス法コードを用いることにより、これまで開発してきたコードに比べ、比較に用いたケースでは1/3程度計算時間の短縮が図られることを確認した。

・DAS（光ファイバー振動計）による東南海ケーブルを利用した海域での試験観測を開始し、浅海域における波浪によるものなどの振動現象を観測した。

・計画期間中（令和元年度～5年度）の成果の概要

地震活動・地殻変動監視手法に関する技術開発が進展した。大地震発生後の余効変動除去手法開発等、GNSSデータを用いたスロースリップの客観的検知手法の改良やひずみ・傾斜・GNSSの統合インバージョンの手法の開発などの研究が進展した。また、DONETを用いた最大振幅とエネルギー相関のハイブリッド法による浅部低周波地震（微動）検出プログラムの開発や、機械学習を併用した自動震源決定による、ノイズ等の誤検知を低減した地震カタログの作成などの成果が得られた。DAS（分布型音響センシング）の振幅再現性について、加振器を使った調査が進んだ。

地殻活動に関する統合的指標構築に向けた調査を行い、複数の地震活動に関する指標を統合して統計的に異常度を評価し、地震活動状態の変化を定量的に監視する手法を提示するなどの成果が得られた。また、GNSSデータから格子化ひずみ速度場を計算し、大きなひずみ速度を示した地域や時期を抽出するなどの調査が進展した。

地震発生シミュレーションについて、メッシュの細分化、計算の高速化に着手し、短期的スロースリップの再現に向けた成果が得られた。

そのほか、エネルギー収支を考慮した地震発生シナリオ構築の手法を提案し、南海トラフ沿いで発生するプレート境界地震に適用した。また、地震活動に関し、前兆的群発地震活動に基づく地震予測手法によって明らかにされた前震活動の特徴、能登半島における群発地震活動と潮汐との関係、豊後水道の深部微動と潮汐との関係などの研究が進展した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(9) 令和5年度の成果に関連の深いもので、令和5年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

安藤忍, 小林昭夫, 2023, 干渉SAR時系列解析手法を用いた御前崎周辺の定常的な地殻変動, 気象研究所研究報告, 71, 1-11, <https://doi.org/10.2467/mripapers.71.1>, 査読有, 謝辞無

気象研究所, 2023, 全国GNSS観測点のプレート沈み込み方向の位置変化, 地震予知連絡会会報, 110, 20-24, 査読無, 謝辞無

気象研究所, 2023, 南海トラフ沿いの長期的スロースリップの客観検知, 地震予知連絡会会報, 110, 20-24, 査読無, 謝辞無

報,110,287-289,査読無,謝辞無

気象研究所,2023,内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測,地震予知連絡会会報,110,307-310,査読無,謝辞無

小林 昭夫,2023,GNSSデータによる非定常地殻変動検知手法の改良ー共通ノイズ除去手法の改善・日向灘への対象領域の拡張・余効変動を除去した非定常変位監視手法の提案ー,気象研究所研究報告,71,13-23,<https://doi.org/10.2467/mripapers.71.13>,査読有,謝辞無

工藤祥太, 下條賢梧, 溜瀧功史,2023,1次元畳み込みニューラルネットワークを用いた地震波形検測.,験震時報,86,4,査読有,謝辞無

Panayotopoulos, Y., H. Baba and T. Nishimiya,2023,Ocean Bottom Seismometers in Suruga Bay reveal a shear zone inside the Philippine Sea plate

slab,Tectonophysics,861,<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.229902>,査読有,謝辞無

Saito, T., and A. Noda,2023,Mechanically Coupled Areas on the Plate Interface in the Kanto Region, Central Japan, Generating Great Earthquakes and Slow-Slip Events,Bulletin of the Seismological Society of America,113,1842-1855,<https://doi.org/10.1785/0120230073>,査読有,謝辞無

Takemura, S., Y. Hamada, H. Okuda, Y. Okada, K. Okubo, T. Akuhara, A. Noda, & T.

Tonegawa,2023,A review of shallow slow earthquakes along the Nankai Trough,Earth, Planets and Space,75,164,<https://doi.org/10.1186/s40623-023-01920-6>,査読有,謝辞無

Tamaribuchi, K., S. Kudo, K. Shimojo, and F. Hirose,2023,Detection of hidden earthquakes after the 2011 Tohoku earthquake by automatic hypocenter determination combined with machine learning,Earth, Planets and Space,75,155,<https://doi.org/10.1186/s40623-023-01915-3>,査読有,謝辞無

溜瀧功史, 工藤祥太, 下條賢梧,2023,機械学習を併用した自動震源決定による微小地震の検出,地震予知連絡会会報,110,455-458,査読無,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

弘瀬冬樹, 溜瀧功史, 小林昭夫, 前田憲二,2023,非定常ETASモデルによる背景地震確率を考慮した能登半島の群発地震と潮汐との関係,日本地球惑星科学連合2023年大会,

弘瀬冬樹, 溜瀧功史, 小林昭夫, 前田憲二,2023,非定常ETASモデルによる背景地震確率を考慮した能登半島の群発地震と潮汐との関係,日本地震学会2023年度秋季大会

勝間田明男, 島淳元, 西宮隆仁,2023,能登半島で発生している群発地震について(2),JpGU meeting 2023,SSS10-P03

木村久夫, 山本剛靖, 小林昭夫, 露木貴裕,2023,日本全国を対象とした地殻変動の異常検出の試み,JpGU meeting 2023

Kodera, Y.,2023,Automatic classification of tectonic tremors with an unsupervised machine learning algorithm,JpGU meeting 2023

Kodera, Y.,2023,Automatic unsupervised classification of tectonic tremor signals in continuous seismic records,第28回国際測地学地球物理学連合総会 (IUGG2023)

野田朱美, 齊藤竜彦, 福山英一,2023,新潟ー神戸歪み集中帯の測地学・地質学的観測を説明する深さ依存の変形構造,JpGU meeting 2023

野田朱美,2023,プレート境界の力学的カップリング・インバージョン:地震シナリオの不確定性評価に向けて,震源インバージョンワークショップ~震源インバージョンは地震現象をどこまで解像できるのか~,S08

Noda, A., and T. Saito,2023,Mechanical plate coupling along the Sagami trough estimated from GNSS data and implication for the generation mechanism of great thrust-type earthquakes and slow slip events,International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2023

Noda, A.,2023,Stress accumulation on the plate interface in the Kanto region and rupture scenarios for great thrust-type earthquakes,関東地震100年国際シンポジウム

野田朱美,2023,測地データから推定された新潟ー神戸歪み集中帯の変形構造と活断層の関係,「長岡平野西縁断層帯の地震活動性に関する調査研究」研究委員会

野田朱美, 齊藤竜彦,2023,プレート境界の力学的固着の推定と巨大地震シナリオ構築への応用,第16回日本地震工学シンポジウム

中川茂樹, 青山裕, 高橋浩晃, 前田拓人, 山本希, 鶴岡弘, 青木陽介, 内田直希, 前田裕太, 大見士朗, 中道治久, 大久保慎人, 松島健, 八木原寛, 汐見勝彦, 植平賢司, 上田英樹, 下山利浩, 溜瀧功史, 大竹和生, 本多亮, 関根秀太郎, 2023, マルチプラットフォーム次世代WINシステムの開発 (3), 日本地震学会2023年度秋季大会

直井誠, 溜瀧功史, 大柳修慧, 加藤慎也, 2024, 一元化震源データを利用した深層学習検測器の再学習の試み, 東京大学地震研究所共同利用研究集会

西宮隆仁, 弘瀬冬樹, 2023, 疑似観測波形を用いた南海トラフ地震の近地震源過程解析の試み, JpGU meeting 2023, SSS07-P06

西宮隆仁, 弘瀬冬樹, 2023, 南海トラフ沿いのプレート間地震を対象とした近地震源過程解析手法, 日本地震学会2023年度秋季大会

溜瀧功史, 木村久夫, 2023, 自動震源カタログによる2011年東北地方太平洋沖地震後の内陸地震活動度の定量評価, JpGU meeting 2023

Tamaribuchi, K. and H. Kimura, 2023, Detection of hidden earthquakes after the 2011 Mw9.0 Tohoku earthquake and their relation to regional crustal deformation, 第28回国際測地学地球物理学連合総会 (IUGG2023)

Tamaribuchi, K. and H. Kimura, 2023, Relationship between inland seismicity and crustal deformation after the 2011 Tohoku earthquake derived from the refined earthquake catalog, Asia Oceania Geosciences Society 20th Annual Meeting (AOGS2023)

溜瀧功史, 2023, 地震識別手法の高度化に基づく地震動即時予測の改善と特異な地震活動の解明, 日本地震学会2023年度秋季大会, S20-04

溜瀧功史, 木村久夫, 弘瀬冬樹, 山本剛靖, 2023, 2011年東北地方太平洋沖地震後の内陸地震活動と地殻変動の関係, 日本地震学会2023年度秋季大会

溜瀧功史, 2024, 機械学習を実装した自動震源決定システムの開発 (その2), 東京大学地震研究所共同利用研究集会

田中昌之, 小林昭夫, 2023, DASで捉えた人工振動の振幅について (2), JpGU meeting 2023

田中昌之, 2023, 光ファイバセンサの発展と地震観測への活用, 第41回レーザセンシングシンポジウム, S2

田中昌之, 2023, 分布型音響センシング (DAS) を用いた東南海沖ケーブルでの振動観測, 日本地震学会2023年度秋季大会

露木貴裕, 2023, 今津・敦賀での地殻変動連続観測記録における長期的変化, JpGU meeting 2023, SGD02-P10

Panayotopoulos, Y., H. Baba, T. Nishimiya, 2023, Seismological evidence of a shear zone inside the Philippine Sea plate slab in Suruga Bay, 日本地震学会2023年度秋季大会

Yamada, M., K. Tamaribuchi, S. Wu, and D.Y. Chen, 2023, IPFx: extended integrated particle filter method for earthquake early warning and application to the international networks, AGU Fall Meeting 2023, NH13C-0691

山田真澄, 鶴岡弘, 溜瀧功史, 2024, ETASモデルを考慮した震源推定: 能登半島地震のケーススタディ, 東京大学地震研究所共同利用研究集会

(10) 令和5年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

項目: 地震: 地殻変動: ひずみ計観測

概要: 石井式三成分ひずみ計の常時観測を行った。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 福井敦賀山泉 35.6178 136.0700

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開中 (データベース・データリポジトリ・Web)

<https://crust-db.sci.hokudai.ac.jp/db/login.php>

項目: 地震: 地震: 海底地震観測

概要: 駿河湾において自己浮上式海底地震観測を行った。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 静岡 34.6923 138.5584

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

(11) 次期計画における課題名：

地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁気象研究所地震津波研究部

他機関との共同研究の有無：有

東京大学,富山大学,東海大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：気象研究所企画室

電話：029-853-8535

e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL：http://www.mri-jma.go.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：露木貴裕

所属：気象研究所地震津波研究部