

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）最先端の情報科学に基づく固体地球観測データ解析技術・モデリング技術の開発研究

（英文）Development of data analysis and modeling techniques for solid Earth science based on state-of-the-art information science

(3) 関連の深い建議の項目：

6 観測基盤と研究推進体制の整備

(1) 観測研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度かつ大規模な地震・火山噴火現象の解明

地震

火山

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地震発生確率の時間更新予測

ア. 地震発生の物理モデルに基づく予測と検証

(5) 本課題の5か年の到達目標：

本課題の目的は、固体地球科学と情報科学の専門家の緊密な連携に基づき、最先端の情報科学技術の固体地球科学分野への浸透を加速させることにより、超大容量データ・超大規模モデル時代に即したデータ解析技術およびモデリング技術を開発することである。地震火山観測研究計画（第3次）の5か年で、本課題では情報科学技術に基づき、地震波形データからの地震・低周波微動（以下、微動）検出をはじめとする観測データ解析技術を刷新し、地震・微動活動推定や地球内部構造推定をはじめとするモデリング技術の深化をねらう。具体的には、(A)深層学習に基づく地震波形連続データからの地震・微動検出技術、(B)深層学習による画像認識技術に基づく地震波形画像データからの地震・微動検出技術、(C)機械学習に基づく地震・微動の時空間分布推定技術、(D)転移学習とデータ同化に基づく地球内部構造モデリング技術を実施する。研究項目(A)では、稠密な地震観測がもつ豊かな空間相関情報を活かしたイベント検出技術や、SN比が極めて小さな観測データからのイベント検出技術を深化させる。研究項目(B)では、現代の地震波形データだけでなく、昔の地震計によって地震波形が紙に直接記録された古記録も対象とし、解析可能な時間軸を大幅に拡大することにより、地震・微動カタログの充実を図る。研究項目(C)では、研究項目(A)(B)で自動検出された地震・微動からそれらの時空間分布を推定する手法を開発し、地震発生確率の長期評価に新たな情報をもたらすことを目指す。研究項目(D)では、地震波形や地球内部構造の巨視的類似性を活かし、転移学習に基づく他地域で構築された地下構造モデルからのモデル構築技術や、そのモデルと対象地域で得られた観測データから高精度かつ高速に地下構造を推定するデータ同化技術の確立を目指す。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

本課題における5か年計画は、以下の通りである。令和6年度は、各研究項目(A)～(D)を実現するためのアルゴリズムの検討およびそれを具体的に実装するための準備研究を実施する。令和7年度は、研究項目(A)(B)においては地震・微動を検出するための深層学習モデルの開発を、研究項目(C)においては地震・微動の時空間モデリング手法の開発を、研究項目(D)においてはデータ同化手法の開発を、それぞれ実施する。令和8年度は、各研究項目において開発した手法を実データへ試験適用し、その性能評価に基づいて手法の改良を行う。令和9年度は、各研究項目において開発した手法の実データへの本格的な適用を実施し、手法を完成させる。令和10年度は、各研究項目における論文出版を行うとともに、開発した手法の公開および既存システムへの実装に向けた検討を実施する。

(7) 令和6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和6年度は、(A)深層学習に基づく地震波形連続データからの地震・微動検出技術、(B)深層学習による画像認識技術に基づく地震波形画像データからの地震・微動検出技術、(C)機械学習に基づく地震・微動の時空間分布推定技術、(D)転移学習とデータ同化に基づく地球内部構造モデリング技術という、本課題の4つの目標を実現するためのアルゴリズムの検討およびそれを具体的に実装するための準備研究を、本課題の当初計画通りに実施した。

・「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

令和6年度は、世界における情報科学を活用した地震研究の調査を踏まえた準備研究を実施することにより、本課題と関連の深い建議の項目6(1)イの目的の一つである「固体地球科学と情報科学の専門家の緊密な連携に基づき、最先端の情報科学技術の固体地球科学分野への浸透を加速させることにより、超大容量データ・超大規模モデル時代に即したデータ解析技術及びモデリング技術を開発する」の達成に向けて大きく貢献した。本課題で開発中のデータ解析技術およびモデリング技術は、将来的に地震速報／緊急地震速報技術の高速化と高精度化などに繋がるものと思われ、災害の軽減に貢献するものと考えられる。

(8) 令和6年度の成果に関連の深いもので、令和6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

Nagao, H., S. Ito, and M. Matsumura, 2024, Dominant mode extraction based on the four-dimensional variational method, 2024 27th International Conference on Information Fusion (FUSION), pp. 1-8, doi:10.23919/FUSION59988.2024.10706506,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Nagao, H., R. Kaneko, S. Ito, H. Tsuruoka and K. Obara, 2024, Detection of deep low-frequency tremors from continuous paper records at a station in southwest Japan about 50 years ago based on convolutional neural network, American Geophysical Union Fall Meeting, S21B-03

Tokuda, T. and H. Nagao, 2024, Seismic detection based on unsupervised combination of station-wise phase picks by deep learning, American Geophysical Union Fall Meeting, S11A-06

Mendo-Perez, G., H. Nagao, S. Katoh and M. Shinohara, 2024, Use of sequential models to detect seismic event detection and phase identification using Distributed Acoustic Sensing records of seafloor cable in Sanriku, Japan, American Geophysical Union Fall Meeting, S21G-3492

Shinya, K., H. Nagao, M. Imaizumi and Y. Iio, 2024, Enhancement of phase picking models using deep learning by addressing the label imbalance problem, American Geophysical Union Fall

- Kusui, T., H. Nagao, S. Ito, S. Katoh and T. Tokuda, 2024, Acquiring a stochastic differential equation representation to characterize low-frequency tremors from seismic waveform data using deep learning, American Geophysical Union Fall Meeting, S23B-3508
- Nagao, H., 2024, Four-dimensional variational method for data assimilation and its applications to models in solid Earth science, 2024 Japan-Taiwan Joint Workshop on Inverse Problems and Related Topics
- 徳田智磯, 長尾大道, 2024, 複数観測点の波形を用いた地震検出手法: 観測点ごとに得られた深層学習による検出結果の統合, 日本地震学会秋季大会
- 加藤慎也, 長尾大道, 今泉允聡, 飯尾能久, 2024, ラベル不均衡問題への対処による深層学習を用いた走時読み取りモデルの強化, 日本地震学会秋季大会
- Mendo-Pérez, G., H. Nagao, S. Katoh, M. Shinohara, 2024, Development of deep-learning methods for seismic event detection in seafloor DAS data: creation of training/validation datasets, 日本地震学会秋季大会
- 楠井俊朗, 長尾大道, 伊藤伸一, 加藤慎也, 徳田智磯, Acquiring a stochastic differential equation representation to characterize tremors from seismic waveform data using deep learning, 日本地震学会秋季大会
- 長尾大道, 2024, 地震ビッグデータ解析の最前線, シンポジウム「あたらしい統計科学」
- 徳田智磯, 長尾大道, 地震検出モデルの転移学習: マルチプル・クラスタリングに基づく判別手法を用いた二段階アプローチ, 統計関連学会連合大会
- Nagao, H., S. Ito, and M. Matsumura, 2024, Dominant mode extraction based on the four-dimensional variational method, 27th International Conference on Information Fusion
- 加藤慎也, 長尾大道, 今泉允聡, 2024, 深層学習を用いた走時読み取りモデルの問題解決に向けて, 第38回人工知能学会全国大会
- 加藤慎也, 長尾大道, 飯尾能久, 片尾浩, 澤田麻沙代, 富阪和秀, 2024, 深層学習を用いた複数トレースを入力とする深部低周波地震検知手法の開発, 日本地球惑星科学連合大会
- 森川耕輔, 長尾大道, 高原健, 平田直, 2024, 地震波と地震カタログの統合による本震直後の早期余震活動推定, 日本地球惑星科学連合大会
- 徳田智磯, 長尾大道, 2024, 少量データに適用可能な地震波検出モデルの転移学習: マルチプル・クラスタリングを用いた二段階アプローチ, 日本地球惑星科学連合大会
- Mendo Pérez, G. and H. Nagao, 2024, Creating slow earthquake template catalogs with You Only Search Once algorithm, 日本地球惑星科学連合大会
- 柳田真輝, 徳田智磯, 加藤慎也, 長尾大道, 2024, 最適輸送理論に基づく地震波形データからのイベント検出とその分類, 日本地球惑星科学連合大会
- 楠井俊朗, 長尾大道, 伊藤伸一, 2024, 深層学習を用いた地震波形データからの低周波微動を特徴づける確率微分方程式表現の獲得, 日本地球惑星科学連合大会

(9) 令和6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:

(10) 令和7年度実施計画の概要:

令和7年度は、研究項目(A)深層学習に基づく地震波形連続データからの地震・微動検出技術、および研究項目(B)深層学習による画像認識技術に基づく地震波形画像データからの地震・微動検出技術においては、深層学習モデルの開発を、研究項目(C)機械学習に基づく地震・微動の時空間分布推定技術に

おいては、地震・微動の時空間モデリング手法の開発を、研究項目(D)転移学習とデータ同化に基づく地球内部構造モデリング技術においては、データ同化手法の開発を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

長尾 大道（東京大学地震研究所）,小原 一成（東京大学地震研究所）,加藤 愛太郎（東京大学地震研究所）,鶴岡 弘（東京大学地震研究所）,中川 茂樹（東京大学地震研究所）,伊藤 伸一（東京大学地震研究所）,福島 孝治（東京大学大学院総合文化研究科）,今泉 允聡（東京大学大学院総合文化研究科）

他機関との共同研究の有無：有

寺田 吉壺（大阪大学大学院基礎工学研究科）,森川 耕輔（大阪大学大学院基礎工学研究科）,内田 雅之（大阪大学大学院基礎工学研究科）,矢野 恵佑（統計数理研究所）,加納 将行（東北大学大学院理学研究科）,廣瀬 慧（九州大学マス・フォア・インダストリ研究所）,松井 秀俊（滋賀大学データサイエンス学部）

(12) 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：東京大学地震研究所

電話：

e-mail：

URL：<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/nagaoh/>

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：長尾 大道

所属：東京大学地震研究所