

計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の
開発と応用

2017 年度採択研究代表者

2020 年度 年次報告書

平田 直

東京大学 地震研究所

特任研究員

次世代地震計測と最先端ベイズ統計学との融合によるインテリジェント地震波動解析

§ 1. 研究成果の概要

本研究課題では、地震超ビッグデータ解析からモデリングに至るまで、最先端ベイズ統計学に基づいて一貫通貫に行うインテリジェント地震波動解析システムの構築を目指し、現在はそれに組み込む各技術要素の開発研究を実施している。本システムは基礎解析技術と応用解析技術に大別され、多種多様な地震計測データから研究対象に合わせて解析すべき観測点を自動選択し、高精度に地球内部起源の振動現象を検出する基礎解析技術によって得られた情報を、固体地球に関する総合的な理解を深める様々な応用解析技術に継ぎ渡す。さらに、それによって得られた知見を再び基礎解析技術の高度化に活かすよう、将来的にはフィードバック機能を実装する計画である。

2020年度は、基礎解析技術として、本研究課題に新規参画した東北大学工学研究科グループが中心となり、現象に合わせて解析すべきデータを自動選択する地震観測点選択アルゴリズムの開発に着手した。また、観測点配置を考慮した地震波自動検出のための深層学習器の構築を継続実施した。手法の性能評価用標準データとして公開準備を進めている「首都圏観測地震波形データセット」によって検証したところ、誤検知率・見逃し率を大幅に改善することに成功した。さらに、通常の地震とは異なるタイプの地球内部起源の振動現象である深部低周波微動を高精度に検出するため、相互情報量を導入した新しいマッチドフィルタ法の開発に着手した。

応用解析技術については、地殻内速度不連続面に適応した地震波速度トモグラフィ手法、マルコフ連鎖モンテカルロ法に基づく応力降下量の高精度推定手法、ガウス過程回帰の導入による本震直後の余震発生頻度予測手法、地震波動場再構成手法、データ同化に基づく断層面摩擦パラメータの高精度推定法など、地震発生メカニズムや地球内部構造の解明に資する数多くの手法開発を継続実施した。

§ 2. 研究実施体制

(1) 東大地震研グループ

- ① 研究代表者: 平田 直 (東京大学地震研究所 特任研究員)
- ② 研究項目
 - ・地震計測ビッグデータの特性検証, ならびに利活用可能性の検討
 - ・開発手法の性能評価のためのデータセットの構築
 - ・観測点選択アルゴリズムの高度化
 - ・データ同化アルゴリズムの高度化
 - ・地震波動場再構築手法の高度化
 - ・応力降下量推定手法の高度化
 - ・相互情報量を導入した新規マッチドフィルタ法の開発
 - ・インテリジェント地震波解析システムの構築

(2) 東大情報理工グループ

- ① 主たる共同研究者: 駒木 文保 (東京大学大学院情報理工学系研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・地震波解析手法の統計学的評価
 - ・地震波の局所定常性を利用した地震波の波形分離法の開発
 - ・地震計測データ解析のための方向統計学の深化
 - ・多観測点の空間配置情報を組み込んだ CNN による地震検出法の開発
 - ・有効観測点の疎性や, 観測点の SN 比を考慮した観測点自動選択法の開発
 - ・構造正則化に基づく地震波速度トモグラフィ手法の開発

(3) 東北大工学研究科グループ

- ① 主たる共同研究者: 野々村 拓 (東北大学大学院工学研究科 准教授)
- ② 研究項目
 - ・地震観測点の最適選択アルゴリズムの開発
 - ・スパースセンサー最適化技術にベイズ手法を取り入れた高度化
 - ・地震波動場のダイナミクスを表す低次元モデルの構築

【代表的な原著論文情報】

- 1) Nakai, K., K. Yamada, T. Nagata, Y. Saito, and T. Nonomura, “Effect of Objective Function on Data-Driven Greedy Sparse Sensor Optimization”, *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 46731–46743, 2021.
- 2) Nagata, T., T. Nonomura, K. Nakai, K. Yamada, Y. Saito, and S. Ono, “Data-driven Sparse Sensor Placement Based on A-optimal Design of Experiment with ADMM”, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 21, No. 13, pp. 15248–15257, 2021.
- 3) Yano, K., T. Shiina, S. Kurata, A. Kato, F. Komaki, S. Sakai, and N. Hirata, “Graph-Partitioning Based Convolutional Neural Network for Earthquake Detection Using a Seismic Array”, *Journal of Geophysical Research–Solid Earth*, Vol. 126, Issue 5, 2021, doi:10.1029/2020JB020269.
- 4) Morikawa, K., H. Nagao, S. Ito, Y. Terada, S. Sakai, and N. Hirata, “Forecasting Temporal Variation of Aftershocks Immediately After a Main Shock Using Gaussian Process Regression”, *Geophysical Journal International*, Vol. 226, Issue 2, pp. 1018–1035, 2021.
- 5) Shiina, T., T. Maeda, M. Kano, A. Kato, and N. Hirata, “An Optimum 2D Seismic-Wavefield Reconstruction in Densely and Nonuniformly Distributed Stations: The Metropolitan Seismic Observation Network in Japan”, *Seismological Research Letters*, Vol. 92, No. 3, 2021.
- 6) Ito, S., T. Matsuda, and Y. Miyatake, “Adjoint-based Exact Hessian Computation”, *BIT Numerical Mathematics*, Vol. 61, pp. 503–522, 2021.