

11 - 7 第 251 回地震予知連絡会重点検討課題「情報科学を活用した地震調査研究」の概要

Intensive discussion - Examination of the “Earthquake Research Utilizing Information Science”

東京大学地震研究所

ERI, Univ. Tokyo

1. 背景

21 世紀初頭に始まった第三次人工知能 (AI) ブームは留まることを知らず、各分野において AI は普遍的な手法となりつつある。地震学においても、地震波検測深層学習モデルが発表された 2018 年頃から急速に AI が浸透し、地震波動場を面的に再構成する技術、昔の地震計のアナログ記録から当時の地震・スロー地震を検出する技術、地震波伝播や地殻変動の物理シミュレーションを小さな計算コストで実行可能な代替モデルの構築などに展開されている。地震学において AI をはじめるとする最先端情報科学技術の活用を促進するための大型プロジェクトが複数実施されるなど、現在の地震学においては「情報×地震」が一分野として形成されたと言っても過言ではない。

2. 課題

文部科学省「情報科学を活用した地震調査研究プロジェクト」(STAR-E プロジェクト, 研究期間: 2021 ~ 2025 年度) などを通じて様々な「情報×地震」技術要素が創出されてきたものの、現業機関への技術提供、政府の各種委員会への情報提供、および地震研究へのさらなる貢献が可能となるよう、各技術の高度化と汎用化、さらにはシステム化などが喫緊の課題である。

2-1. 情報科学を活用した地震調査研究 - 背景と現況 - (東京大学名誉教授 平田直・東京大学地震研究所 長尾大道)

「情報×地震」に関する論文数は、2018 年頃から明白に急増したことが報告されている (Mousavi and Beroza, 2022)。科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 CREST 研究課題「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」(研究代表者: 平田直, 研究期間: 2017 ~ 2022 年度) は、東京大学を中心に構築された情報科学と地震学の専門家の人的ネットワークの下、地震研究に資する多数の情報科学技術を創出し、わが国における「情報×地震」分野の創成に大きく寄与した。その後、国内 5 機関を中心に実施された STAR-E プロジェクトによって「情報×地震」分野は全国に展開され、東京大学研究課題「人工知能と自然知能の対話・協働による地震研究の新展開」(研究代表者: 長尾大道) では、主に地震波形連続データからの地震波検測 (Tokuda and Nagao, 2023; Katoh, Nagao et al., 2025) や、地震計古記録からの地震・スロー地震検出 (Kaneko, Nagao et al., 2021, 2023) のための種々の深層学習モデルを開発した。後継プロジェクトとして 2026 年度より発進した文部科学省「情報科学を活用した地震活動・地震動評価技術の高度化」(STAR-E NEXT プロジェクト) (代表機関: 東京大学, 研究代表者: 長尾大道, 研究期間: 2026 ~ 2030 年度) には国内 10 機関以上が参画しており、これまでに開発した「情報×地震」技術の実用化および現業機関への展開、さらにはわが国が世界の「情報×地震」分野をリードしていくことが期待される。

2-2. データの不完全性に対応した大地震後の地震活動および地震動ハザードの準リアルタイム時空間予測に関する研究開発（防災科学技術研究所 久保久彦）

STAR-E プロジェクトの研究課題「地震データの不完全性に対応した地震活動およびそれに伴う揺れの準リアルタイム時空間予測に関する研究開発」では、大地震直後の余震地震動ハザード情報作成に向けて、地震カタログに基づくアプローチと地震動データに基づくアプローチの両面で研究開発を行い、それぞれのハザード評価スキームの確立と内陸地震の実記録を用いた有効性の確認を達成した。さらに両アプローチの統合に向けた基礎的な検討を行い、試験的に情報統合を実施した。これらにより「短期的余震ハザード予測」の研究分野を大きく進展させることができた。さらに、沖合地震の高精度 CMT 解カタログの作成、ベイズ推定の導入・揺れの飽和の補正などの極値統計解析手法の高度化、ガウス過程回帰を用いた地震動指標・地震動波形の空間補間手法の開発、およびハイブリッドアプローチに基づく Site specific な地震動予測モデルの開発などの研究成果を挙げた。今後は各手法のさらなる高度化を図るとともに、海溝型巨大地震への展開・研究成果の社会実装への取り組みを進めていく必要がある。

2-3. 情報科学を用いたスロースリップ検出と断層すべりモニタリングの高度化（京都大学防災研究所 加納将行）

日本列島の地殻変動は、国土地理院による GNSS 観測網である GEONET 設立以降、約 30 年にわたり定常的に監視されている。また近年では民間 GNSS 観測網の利活用も検討されており、これらも合わせると日本列島では 4,000 点以上の GNSS 観測網が利用可能となる。本講演では、このような稠密 GNSS 観測網の利用を念頭に、プレート境界で発生する短期的スロースリップ (SSE) の検出、断層すべりモニタリングの高度化、に向けて開発した情報科学技術手法の紹介を行った。短期的 SSE の検出については、観測時系列の線形トレンドの変化点であると考え、観測記録のみから SSE を検出するスパース推定手法 (Yano and Kano, 2022)、および地震波検出に使われる深層学習を単観測点の時系列に適用する手法 (Tanaka et al., 2025) について、手法の概要と適用結果、現状と課題を紹介した。断層すべりモニタリングについては物理深層学習を用いた摩擦特性の空間分布を推定する手法を紹介 (Fukushima et al., 2025; Fukushima et al., preprint) し、同手法による豊後水道 SSE 発生域の摩擦特性推定結果とそれに基づく SSE の短期推移予測の試行結果を紹介した。

2-4. 物理情報深層学習を活用した南海トラフ域震源決定システム・地下構造アンサンブル推定手法の開発（海洋研究開発機構 縣亮一郎）

プレート沈み込み帯の地震活動を高精度に把握するには、複雑な地下構造を反映した 3 次元速度構造モデルの構築と、それに基づく震源決定が不可欠である。しかし、従来のグリッド・メッシュ表現では、モデル作成、走時計算、震源決定、不確実性評価に大きな計算量とデータ量を要する。そこで、物理情報深層学習 (PINN) を用い、南海トラフ域の 3 次元速度構造モデルの作成と活用を高度化する手法を検討している。既存の 3 次元速度構造モデルに対する走時場を PINN で学習し、震源決定に組み込むシステム HypoNet Nankai を開発した。数値実験では、従来法と整合的な震源決定を高速に実行できることを確認した。さらに、PINN とアンサンブル推定を組み合わせた不確実性定量化付き走時トモグラフィ手法を紀伊半島沖の実データに適用し、3 次元速度構造の推定と信頼性評価を軽量に実現できる可能性を示した。

2-5. 深層生成モデルを用いた地震ハザード評価－現状と展望－（東京大学大学院工学系研究科 糸井達哉）

本報告では、深層生成モデルを用いた地震ハザード評価の現状と将来展望について整理する。従来の確率論的地震ハザード評価（PSHA）では、加速度応答スペクトルなどの地震動強さ指標とその超過確率が評価される。一方、構造物の詳細な耐震性能評価には時刻歴波形が必要であり、加速度応答スペクトルに集約した情報を再び波形へ変換する過程でバイアスが生じる可能性がある。そこで、地震動波形を直接生成する枠組みの構築が求められている。

報告者らは、日本国内で発生した地殻内地震（ $M_w > 5$ ，断層最短距離 100 km 以下）の K-NET 観測記録 2,712 波形を学習データとして利用し、深層生成モデルとして敵対的生成ネットワーク（GAN）の一種である StyleGAN2 を採用し、マグニチュード，断層距離，地盤条件を反映した地震動時刻歴波形を生成する手法を構築した（Matsumoto et al., 2024）。

構築した地震動生成モデルを用いることで、地震動波形ベースの PSHA が可能となった（Matsumoto et al., 2026）。また、生成された多数の地震動を直接構造物へ入力することで、従来よりも一貫性の高い耐震性能評価が期待できる。また、大量の応答解析に伴う計算負荷を低減するため、転移学習を用いたサロゲートモデルを組み合わせ、高忠実度モデルの応答を効率的に推定する手法も検討されている（Ishikawa et al., 2026）。

深層生成モデルを含む地震動モデルの信頼性確保のためには、多様で高品質な観測記録の蓄積が不可欠である。K-NET や KiK-net に加え、自治体震度計などの波形データを統合した情報基盤の整備が期待される。また、応答スペクトル中心のデータベースを地震動波形まで含む形へ拡張することで、波形ベースの地震ハザード評価のさらなる高度化が可能になる。

3. まとめ

人間社会を一変しつつある AI は、科学技術分野においても徐々に普遍的な手段となりつつある。AI の最大の弱点として、これまで人間の頭脳で理解可能な説明能力の欠如が指摘され、地震学を含む、対象の理解に重点を置いてきた分野で活用する際の障壁となっていた。しかしながら、大規模言語モデルを活用した説明可能 AI 技術も急速に進展してきており、近い将来、地震学においても AI の活用による大きなパラダイムシフトが起こることを予感させている。地震研究のあり方を一変させるポテンシャルを持つ「情報×地震」分野を確固たるものとするためにも、STAR-E NEXT プロジェクトが中心となり、多分野間の争奪戦が激化しつつある情報科学の専門家とのさらなる連携強化や、将来の「情報×地震」分野を支える若手研究者の発掘と育成、および「情報×地震」研究を実施している諸国との国際連携を継続していく必要がある。

（平田 直・長尾 大道）

HIRATA Naoshi・NAGAO Hiromichi