

2017 年度採択研究代表者

平田 直

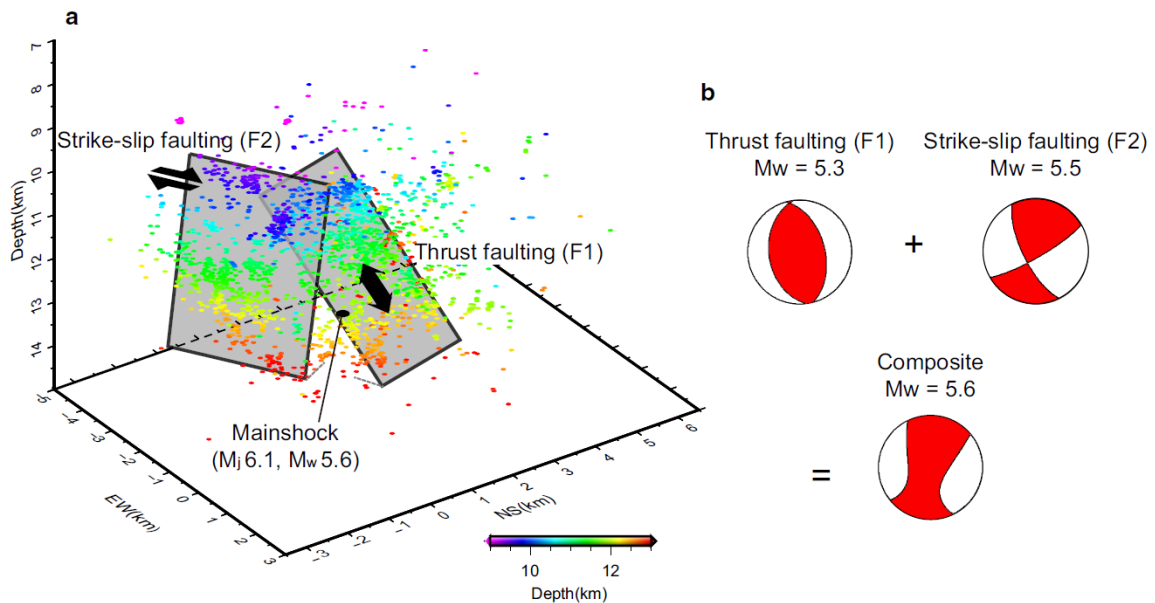
東京大学地震研究所  
教授

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

### (1) Matched filter 法の適用による微小地震活動の検出

2018 年 6 月 18 日に発生した大阪府北部地震 (Mw5.6) を含む約 2 週間分の観測波形データに対して Matched filter 法を適用することで、大阪府北部地震に関連した一連の地震活動を検出し、その発生位置を高い精度で推定した。[1] Matched filter 法は地震波形の相似性を利用した解析手法であり、従来の自動検出法では難しい微小な地震も検出することができる。推定された詳細な震源分布およびその時空間変化から、北北西－南南東走向の東側傾斜 (約 45 度) の逆断層が最初にずれ、約 0.3 秒後に東北東－西南西走向の高角傾斜の横ずれ断層に破壊が伝播し、その後は同時に断層運動が起きていたことが推察された。また、震源域の北部延長では地震活動が遅れて活発化しており、地殻内で非地震的な変形が引き起こされた結果だと解釈される。



## (2) データ同化に基づく長周期地震動の再構成

中～大規模地震では、震源近傍の強い揺れのみならず、より遠方まで届く「長周期地震動」が発生する。この長周期地震動は平野部に位置する都市圏の高層ビル群に大きな揺れをもたらすことから、防災・災害軽減のための最重要項目の一つと目されてきた。この研究では地震発生直後に推定が困難な震源や震源における断層運動に一切依拠することなく、リアルタイムに観測される地震観測記録に対して3次元不均質構造中の地震波伝播の数値モデルを逐次的にデータ同化し、その同化された数値モデルから長周期地震動の即時数値予測が実現可能であることを示した。同様の方法はすでに二次元的に伝播する津波に対して提案されその高度化が進んでいるが、地震波については三次元空間中を伝播するため、地表のみの地震観測記録ではデータ同化が困難であると考えられていた。本研究は、その対象を長周期地震動という準二次元的に伝播する波動を対象とすることで地震波動伝播についても正確な同化と予測を実現したこと、また、現実的な三次元不均質地球内部構造を加味したデータ同化と予測が、現在稼働のスーパーコンピュータで実時間よりも高速に実現可能であることを示したことにその特色がある。

## (3) 地震観測点自動選択に資する対比較モデルの提案

多点地震観測網を用いた地震波形の解析において、SN比を向上させるために複数の観測点を取捨選択したり統合したりすることが行われる。選択・統合の際には何らかの選好規準による観測点間の比較が必要である。このような二者間の選好に関する統計モデルは対比較モデルと呼ばれる。参考文献[3]では潜在的な選好の時間変化を考慮した対比較モデルを提案した。提案モデルを用いた解析の一例として、大相撲の数十年間の対戦成績をもとに各力士の強さを(時代をこえて)評価し、手法の有用性を確認した。この手法は全ての比較対のデータを必要とはしない(大相撲のデータで言えば、時代の違う力士同士の対戦成績は得られず、また同世代だからと言って対戦しているとは限らない)。提案モデルは、次のような形でデータ駆動的な観測点選択・統合への応用が可能である:まず、各観測点が記録した波形データのクオリティ(例えばSN比)に基づいて、観測点に優劣をつける。なお、先述したようにこの際に全ての観測点の対を比較する必要は無

い. 得られた優劣に提案モデルを適用すると, よりロバストかつ効率的に, 観測点選択の規準を構築できる. 更にこの提案モデルは選好(優劣)の時間的变化を考慮することが可能なため, 首都圏地震観測網(MeSO-net)のような, 時間帯によって雑音の傾向が変化する観測への適用は特に有望と言える.

【代表的な原著論文】

[1]Aitaro Kato and Taku Ueda, "Source fault model of the 2018 Mw 5.6 northern Osaka earthquake, Japan, inferred from the aftershock sequence", *Earth, Planets and Space*, Vol. 71, Issue. 11, 2019.

[2]Takashi Furumura, Takuto Maeda, and Atsuki Oba, "Early forecast of long-period ground motions via data assimilation of observed ground motions and wave propagation simulations", *Geophysical Research Letters*, Vol. 46, pp. 138–147, 2019. doi: 10.1029/2018GL081163

[3] Kenji Araki, Yoshihiro Hirose, and Fumiyasu Komaki, "Paired comparison models with age effects modeled as piecewise quadratic splines", *International Journal of Forecasting*, Vol. 35, Issue. 2, pp. 733-740, 2019

## § 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 教授)
- 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「基礎データセット」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
  - ・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
  - ・既存の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
  - ・観測点配置を考慮した畳み込みニューラルネットによる地震検出法の開発
  - ・畳み込みニューラルネットを利用した波形特徴量抽出とその解釈
  - ・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
  - ・アレイ信号処理を用いた多点観測網における地震波形解析
  - ・独立成分分析やモデル選択を導入した群発地震の震源に関する推論手法の開発