

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

2019 年度 実績報告書

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

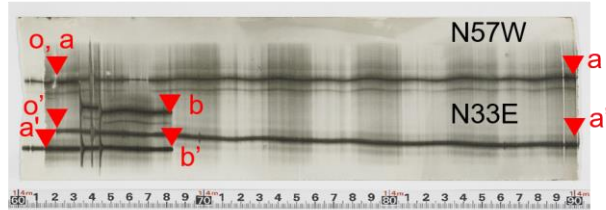
(1) スロー地震の規模・発生間隔の時間変化の理解に向けた歴史記録の解析（代表的な原著論文[1]）

巨大地震の地震間においてスロー地震の振る舞いに変化することが数値シミュレーションにより示唆されている。中でも数日～数週間かけて発生するスロースリップイベント(SSE)に関して、次の地震発生が近づくにつれ、その発生間隔が短くなりまた規模が小さくなることが報告されている。

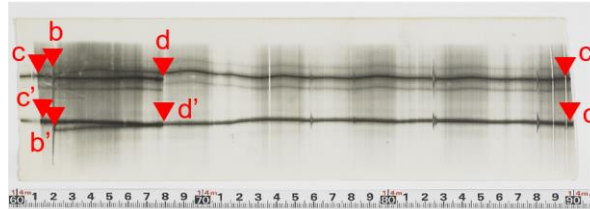
南海トラフ沿いで発生する巨大地震は100-200年周期で繰り返し発生することが歴史記録などから明らかになっているが、1944年東南海地震、1946年南海地震を最後に発生していない。地震・地殻変動観測網が発展してきた21世紀以降、南海トラフ沿いの沈み込み帯ではSSEの報告例が数多くなされている。一方で、観測網が少なかった20世紀後半についてはSSEの報告例が少ないが、この期間のSSE活動の振る舞いを把握することは、次の巨大地震の発生を理解する上で重要である。

上記のSSEの規模と再来間隔の時間変化に関する観測事実は、数値シミュレーションから示唆される結果と定性的に一致している、しかしながら、本解析では明瞭な傾斜変動が見られたSSEを1例のみ解析しているため、今後は多数の紙記録を画像認識の技術を用いて精査し、より多くのSSEの検出やその規模の推定を行う必要がある。

Period I: 11/19 13:08 – 11/26 13:27



Period II: 11/26 14:41 – 12/3 13:06



Period III: 12/3 13:13 – 12/10 12:50

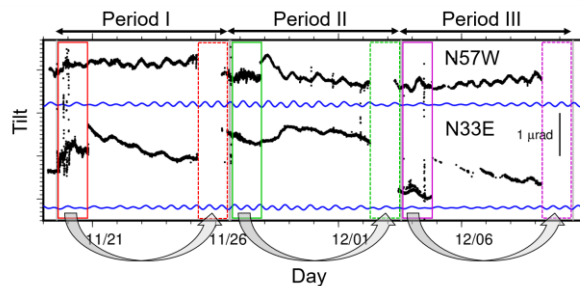
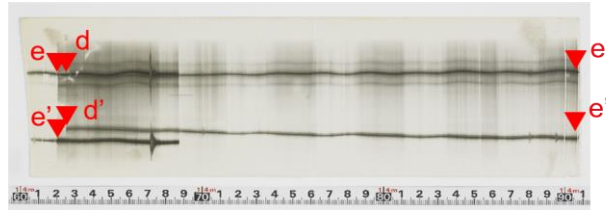


図 1: 紀州観測点におけるアナログ傾斜記録(上)とデジタル変換した傾斜記録(下)。

(2) 無視できない欠損をもつデータに対する構造正則化（代表的な原著論文[2]）

地殻には、モホロビッチ不連続面やコンラッド面など、地震波の伝播に関して急峻な速度変化をもたらす面(以下、速度不連続面)が存在する。本 CREST で進行中の課題において、このような速度不連続面をもつ領域での地震波速度の推定(地震波トモグラフィ)に構造正則化という正則化法が有用であることが明らかになりつつある。

本研究では、これらの課題に先立ち、「無視できない欠損」をもつデータに対する、グラフを用いた構造正則化法を提案した。「無視できない欠損」とは、欠損を発生させるメカニズムが観測されている値に加えて欠損している値にも依存するという取り扱いが難しいデータ欠損である。例えば、巨大地震が起こった後に地震計が故障し連続観測記録が欠損するという状況は「無視できない欠損」である。欠損を発生させるメカニズムの自由度が大きいため、「無視できない欠損」をもつモデルに基づくパラメタ推定は過適合を起こすことが知られていた。

そこで、本研究では欠損を発生させるメカニズム間に距離グラフを導入し、導入した距離グラフに基づく正則化を利用することで過適合を防いだ。更に、欠損をもつモデルの推論で使われる Expectation-Maximization アルゴリズムと組み合わせた交互方向乗数法により計算の効率化を図った。複雑なモデルでの構造正則化の利用は一般に難しい。本研究で開発した手法は実装が容易であり、地震に関連するデータ欠損への応用が期待できる。加えて、この研究から得られた知見は、構造正則化を伴う地震波トモグラフィなど様々な分野で有用である。

【代表的な原著論文】

- [1] Masayuki Kano and Yasuyuki Kano, “Possible slow slip event beneath the Kii Peninsula, southwest Japan, inferred from historical tilt records in 1973”, *Earth, Planets and Space*, vol. 71, No. 95, 2019
- [2] Kento Nakamura, Keisuke Yano and Fumiyasu Komaki, “Adjacency-based regularization for partially ranked data with non-ignorable missing”, *Computational Statistics & Data Science*, Volume 145, 2020

§ 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
 - ・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
 - ・隠れマルコフモデルを応用した地震波スペクトルデータの解析手法の開発
 - ・構造正則化に基づく地震波トモグラフィ手法の開発