

l_1 トレンドフィルタリングによる西南日本GNSSアレイからの短期スロースリップ現象の検出

l_1 trend filtering based detection of short-term slow slip events from a GNSS array in southwest Japan

*矢野 恵佑¹、加納 将行²

*Keisuke YANO¹, Masayuki Kano²

1. 統計数理研究所、2. 東北大学

1. The Institute of Statistical Mathematics, 2. Tohoku University

1. 概要

高密度の測地学的観測の拡充により様々な沈み込み帯においてスロースリップイベント（SSE）が発見された。これらのSSEは、沈み込み帯における応力の解放と蓄積を理解するための重要な手がかりである。しかし、継続時間が短い短期SSE（S-SSE）は、目視できるほどの変位を伴わないことが多く、S-SSEの発生をできるだけ正確に把握するためには、高精度の自動検出法が必要となる。本研究では、スパース推定の一種である l_1 トレンドフィルタリングとp-値の統合を用いて、Global Navigation Satellite System(GNSS)アレイの観測データからS-SSEを自動検出する手法を提案する。提案手法は、S-SSEの開始候補点を見つけるために l_1 トレンドフィルタリングを利用し、検出の信頼値を得るためにp-値の統合を利用する。人工データによる双子実験では、赤池情報量規準(AIC)に基づく自動検出法と比較し、本手法が誤検出をほとんど起こさずにほぼすべてのイベントを検出できることを示した。さらに、提案手法を、西南日本四国西部の39のGNSS観測点の日次変位に適用し、提案手法によりすべての既知のS-SSEを検出するだけでなく、新たなイベントも発見した。これらの新検知イベントについて低周波微動との共起性やベイズ的逆解析の結果を議論する。

2. 提案手法

提案手法は、トレンドフィルタリング・隣接観測点を用いた検定・検定結果の統合を段階的に行う。図1は提案手法の概要図を表している。まず、 l_1 トレンドフィルタリング(Kim, et al., 2009)により観測系列に区分線形関数を当てはめる。当てはめた関数の節点情報を集めて検定を行う。最後に複数の観測点での検定の疑わしさを表す検定のp-値を統合する。 l_1 トレンドフィルタリングは、高次全変動正則化とも呼ばれるスパース推定の手法であり、与えられた入力の中に潜む区分多項式関数を精度良く推定することができる。正則化の度合いを表すハイパーパラメータはMallowsのCp規準を用いてデータから決定することができる。後続する検定では、 l_1 トレンドフィルタリングで得られた区分点を利用する。提案手法の精度検証のため、2004年4月1日からの2年間における四国西部のGNSSデータとこのデータから生成した人工データを利用し、解析においては二次元の変位データをアムール海プレート・フィリピン海プレートへの沈み込み方向に射影して利用した。

3. 結果

人工データを利用した比較によって、以下のことが分かった。AICの空間平均は窓幅によってイベント見逃し率・ノイズ誤検知率が変化する一方、提案手法は誤検出をほとんど起こさずにほぼすべてのイベントを検出できることが確認された。提案手法を実データに利用し、全ての既知のS-SSEを検出できるだけでなく新たな検知をいくつか発見した。これらの検知についてKato and Nakagawa (2020)のカatalogを用いた低周波微動との共起性(図2)およびMCMCを用いた逆解析の結果(図3)について報告する。

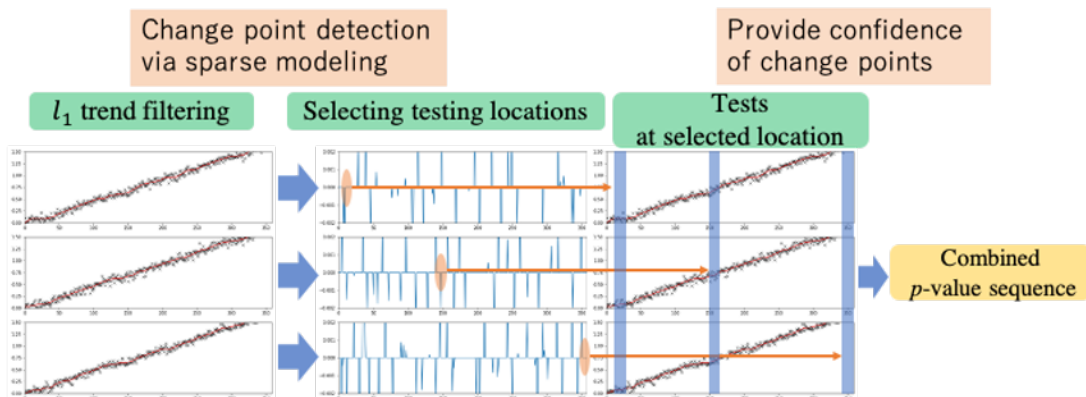


図1：提案手法の概要図

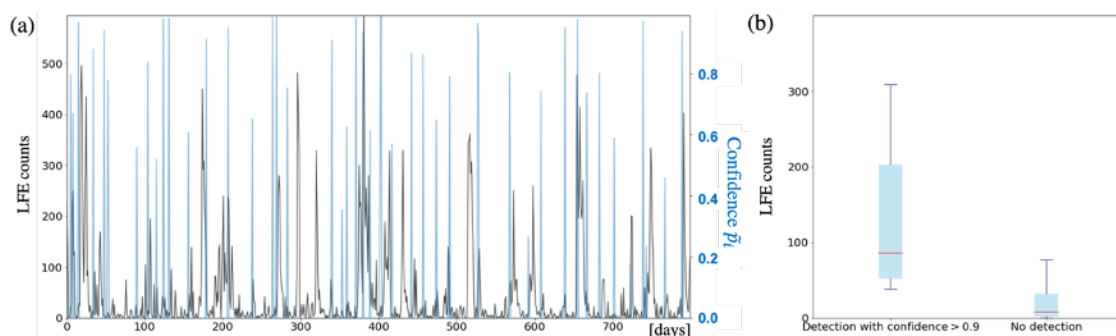
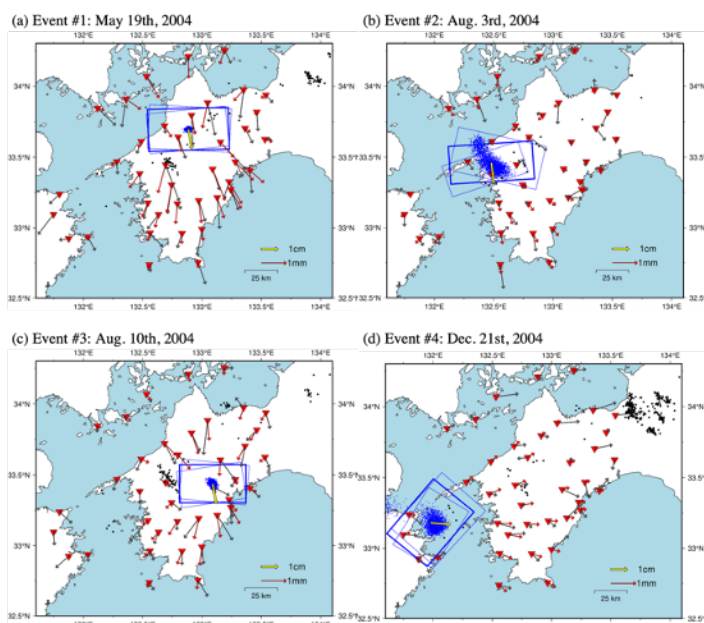
図2：(a) 提案手法の検知確からしさ(青線)とKato & Nakagawa (2020)カタログの低周波微動の日次平均(黒線)。(b) 検知日 ± 3 日と検知なし日の低周波微動数の箱ひげ図。

図3：新検知の逆解析例：観測点(赤逆三角)、断層位置の事後標本(青点)、断層の大きさ(青四角)、観測すべりベクトル(黒矢印)、事後平均に基づくすべりベクトル(赤矢印)、微動震源(黒点)。