

# 統計的手法を用いた地殻変動の分析（第1年次）

実施期間

令和2年度～令和4年度

地理地殻活動研究センター

地殻変動研究室 宗包 浩志

## 1. はじめに

電子基準点の座標変化から地殻変動を抽出してモデル化を行う際、一般的には、地殻変動シグナルとノイズの分離は解析者の主観で行われる。すなわち、解析者が、座標変化の特徴から関与している物理過程を推定し、対応するモデルを設定した上で、最小自乗法などを用いてモデルパラメータを推定する。ただし、適切なモデルの設定には解析者の経験が必要である。特に座標変化に複数の物理過程が関係する場合には、座標変化からどのような物理過程が関与しているか判断することが困難であるため、適切なモデルを設定することは熟練した解析者にとっても容易なことではない。

上述のような、観測された時系列がどのような物理過程を反映しているか判断するという問題は、地球科学において普遍的な課題となっており、主に気象分野を中心に、各観測点における観測時系列からなる物理変動場の全体を統計的に分析することで、関与している物理過程毎に対応する時系列を分離し、モデルの設定を支援する試みがなされてきた。

統計的な分析には、主成分分析(Principal Component Analysis; PCA)(e.g., Hotelling, 1933)や独立成分分析(Independent Component Analysis; ICA)(e.g., Stone, 2004)などがよく用いられる。それらは、いずれも物理変動場を、空間パターンとその時間変化から構成されるモードに展開するものである。一般的にそのような展開方法は無限に考えられるが、主成分分析や独立成分分析は、各モードに対して直交性や独立性などの制約を加えることで、一意に分解が定まるようになっている。それらのモードはあくまで統計的に得られたものであり、単一の物理過程を反映している必然性はないが、モードを適切に混合することで、多くの場合物理的な解釈が可能であることが知られている。また、独立成分分析においては、異なる物理過程による変動には独立性が成立することが期待されることから、主成分分析に比べて物理的な解釈がより容易になることが期待されている。

以上のことを踏まえ、電子基準点の座標変化から地殻変動シグナルとノイズとを分離するための統計的分析ツールを整備した上で、様々な地殻変動現象についてケーススタディーを行い、地殻変動シグナルとノイズの分離が可能であるか評価することを試みる。

## 2. 研究内容

本研究では、電子基準点の座標変化から地殻変動シグナルとノイズとを分離するための統計的分析ツールを整備した上で、既知の地殻変動現象について、電子基準点の座標変化に対して統計的分析ツールを適用し、地殻変動とノイズの分離が可能かを検証する。

本年度は、統計的分析ツールの整備及び短期的スロースリップ（以下「短期的 SSE」という。）についての試行を行う。

## 3. 得られた成果

国土地理院ではこれまで電子基準点の座標変化から地殻変動シグナルとノイズとを分離する統計的分析ツールとして、電子基準点誤差分析システム（宗包, 2015）を整備してきた。電子基準点誤差分析シ

システムでは、電子基準点の座標変化から、主成分分析法及び独立成分分析により、各モードの空間パターン及び時間変化を推定することが可能である。今年度はそれを改良し、主成分分析の各モードの解釈を容易にするため、バリマックス基準を用いて各モードを混合する回転主成分分析法 (e.g., Jolliffe, 2002) を実装した。

次に、改修したシステムを用い、2019年11月に志摩半島で起こった短期的SSEについて、回転主成分分析法による解析を行った。この短期的SSEは、深部低周波微動の観測から、2019年11月10日から11月19日にかけて発生したことが知られており、モーメントマグニチュードは5.8であった(防災科研, 2020)。解析に用いた電子基準点は、東経135°~138°、北緯33.5°~36°にある計216点である。解析期間は2019年8月16日~2020年2月11日の180日を取り、8月16日~11月4日までの80日のデータを用いてデトレンドを行っている。また、解析にはシグナルノイズ比の高い水平成分のみを用いた。

図-1に、解析の結果得られたモードの空間成分の第1成分から第3成分を示す。第1成分の赤線で囲った部分に南東向きの変動が集中して見られる。また、図-2にそれぞれのモードの空間成分に対応する時間成分を示す。第1成分の時間変化は11月中に局在している。これらの特徴は、この短期的SSEについてプレート面上のすべりを仮定してモデル化して得られた地殻変動の特徴とよく一致する(国土地理院, 2020)。図-3にモード毎の還元率を示す。今回の短期的SSEのシグナルは、電子基準点の座標のばらつきに比べても小さく、短期的SSEに対応する第1成分は座標値のばらつき全体の約15%を説明するにすぎない。今回の解析では、このような微小なシグナルに対してもシグナル抽出が可能であることが示された。

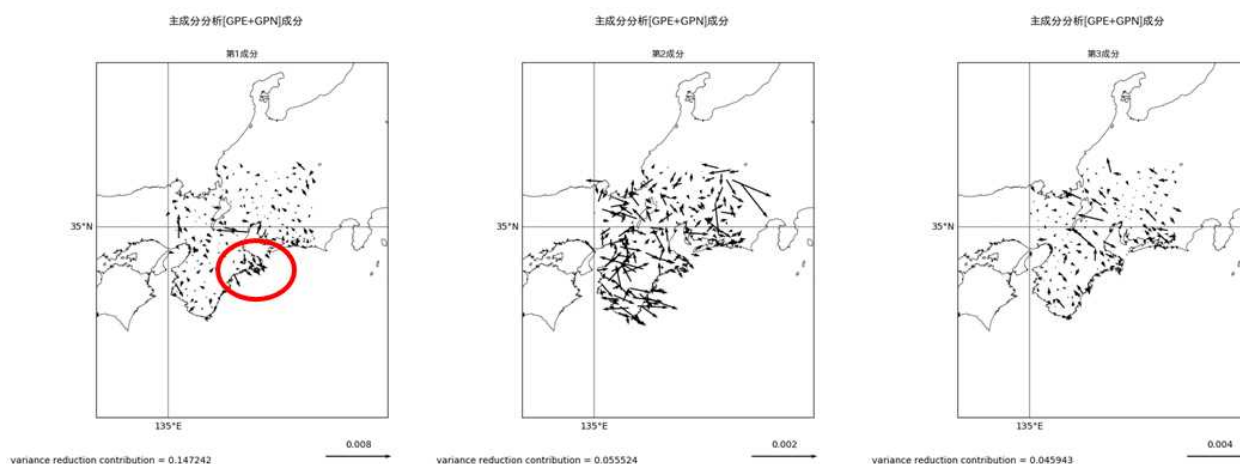


図-1 主成分分析の結果得られたモードの空間成分

### 主成分分析[GPE+GPN成分]

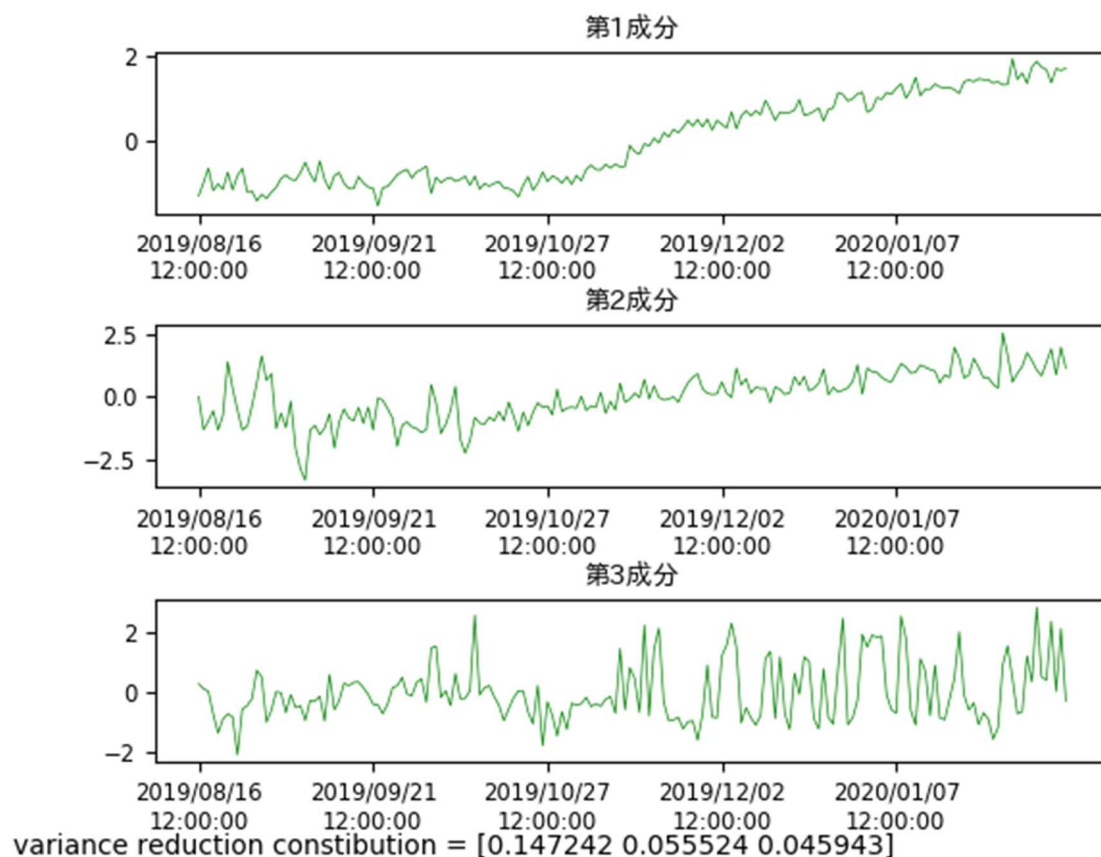


図-2 主成分分析の結果得られたモードの時間成分

### 主成分分析[GPE+GPN成分]

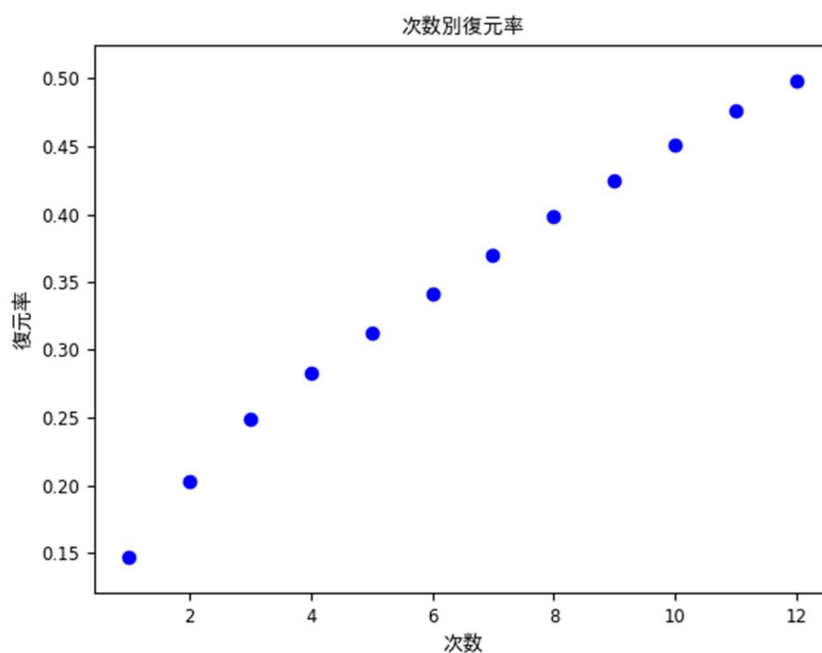


図-3 主成分分析のモード毎の復元率

#### 4. 結論

今年度は電子基準点誤差分析システム（宗包，2015）を改修し，回転主成分分析法を実装した上で，2019年11月に志摩半島で発生した短期的SSEに適用し，地殻変動シグナルの抽出が可能であるか調査した．その結果，第1成分に短期的SSEに対応したシグナルが抽出できていることを確認した．

今回，短期的SSEに対応するシグナルが，入力した座標変化データのばらつきの約15%と微小であったにもかかわらず，単一のモードで復元可能であったことは，本手法が微小な地殻変動シグナルも分離可能であることを示唆する．次年度以降は，さまざまな地殻変動現象，とりわけ複数の現象が同時進行している火山性地殻変動などに本手法を適用し，適用可能性を評価するとともに，得られた地殻変動シグナルについて，定量的な評価が可能かどうかについても検証を行う予定である．

#### 参考文献

- 防災科研 (2020) : 西南日本における短期的スロースリップイベント (2019年11月~2020年4月), 地震予知連絡会会報第104巻.
- Hotelling, K. (1933): Analysis of a complex of statistical variables into principal components, *Journal of Educational Psychology*, 24, 417-441.
- Jolliffe, J.T. (2002): Rotation and interpretation of Principal components. In: *Principal Component Analysis*. Springer Series in Statistics. Springer, New York.
- 国土地理院 (2020) : 近畿地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報第104巻.
- 宗包浩志 (2015) : 地殻変動監視能力向上のための電子基準点誤差分析の高度化に関する研究 (第3年次), 平成26年度国土地理院調査研究年報, 122-124.
- Stone, J.V. (2004): *Independent component analysis: a tutorial introduction*, MIT Press.