

電子基準点日々の座標の監視手法についての検討（第2年次）

実施期間

令和3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

小清水 寛

1. はじめに

本研究は、電子基準点に載っている多種多様なシグナルのうち、主に地盤の傾動や樹木等受信環境の影響による特異な座標変化を、日々の座標（24時間解析解）を用いて継続的に把握することを目標としている。第1年次は、全国の電子基準点から短基線網を構成し、各々の直近1か月間の基線ベクトル成分変化量を閾値に応じて電子地図上色分け表示することで、異常な座標変化をする電子基準点を視覚的に検出する取組を行った。閾値を複数用意するなどの処理により、あまり目立たない特異な座標変動を検出することがある程度可能であったが、同時に一時的な飛びやばらつきまで検出してしまふことが第一の課題であった。さらに1か月よりも長い時定数の緩やかな座標変化や、小刻みにドリフトする座標変化を継続的に把握しづらいことが第二の課題であった。

2. 研究内容

本年度（第2年次）は第1章で記述した課題に対応するための取組を実施する。特異な座標変化をする電子基準点を端点（終点）にもつ短基線の基線ベクトル成分変化の時系列データ（以下「基線時系列データ」という。）が検討の素材となることは第1年次と同様であるが、本年度は1か月より長期間（数年程度以上）の基線時系列データを対象とする。興味の対象となる特異な座標変化は、時定数の長い緩やかな座標変化や小刻みにドリフトする座標変化であるが、これらを検出するには基線時系列データの一時的な飛びやばらつきが障害となる。そこで一時的な飛びやばらつきを削除ないし軽減しつつ、基線終点における特異な座標変化に滑らかに追従するような基線時系列データ（以下「基線平滑化データ」という。）を構成するのが研究の一点目である。その上で基線平滑化データから特異な座標変化の特徴を抽出する指標をいくつか考案し、それら指標を基線時系列データのグラフ上で可視化することが研究の二点目である。さらにそれら指標から（特異な座標変化をする電子基準点を終点とする）基線の他端点（始点）の影響を極力取り除く手法についても若干検討する。

3. 得られた成果

3.1 時系列データの平滑化

基線時系列データから一時的な飛びやばらつきを軽減・削除し、基線終点における興味ある座標変化（時定数の長い緩やかな座標変化や小刻みにドリフトする座標変化）に追従するような平滑化のプロセスを検討した。最初に、基線時系列データの監視期間（数年程度以上）を、より短い単位期間（本研究では90日に設定）の1日ずらし配列に分割する。各単位期間では、離散的なフーリエ変換を用いて時系列データの高周波成分（その最小次数を本稿では nf と記載する。）をカットオフする。その際に、基線時系列データへの追従を維持するための前処理・後処理として、単位期間の基線時系列データに傾斜補正・傾斜復元などを施した（図-1）。傾斜補正は、フーリエ変換が有効に機能するために必要となる時系列データ（を滑らかに補間する関数）の周期性確保を図る処理である。このようにして得られた単位期間の時系列データは、単位期間の両端付近で基線時系列データに急激な変動が発生し

た場合、その変動に追随しきれない場合があり、この部分を、滑らかさを維持しつつ補正する必要がある。そこで次の段階として、単位期間毎に得られた時系列データを1日ずらしで貼り合わせる平均化処理を施して、トータルの監視期間に対する基線平滑化データを作成した(図-2)。なお、本研究では、カットオフする高周波成分最小次数 nf として、興味ある座標変化の特徴を捉えつつ、一時的な飛びやばらつきには追随しない値を目視により確認し、値5を採用する。樹木の繁茂によって複雑な変動(ばらつきと小刻みなドリフト)をする和田山観測点の基線平滑化データ事例を図-3に示す。青が基線時系列データ、赤が基線平滑化データである。

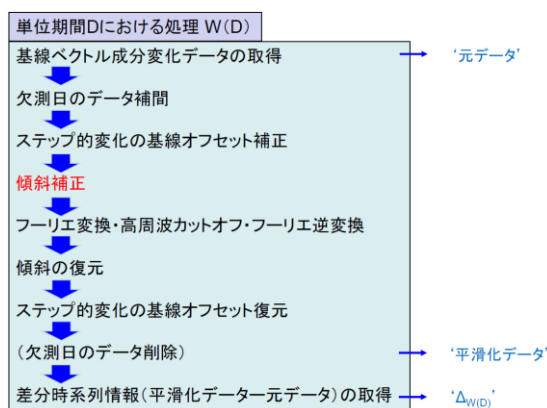


図-1 単位期間における平滑化処理

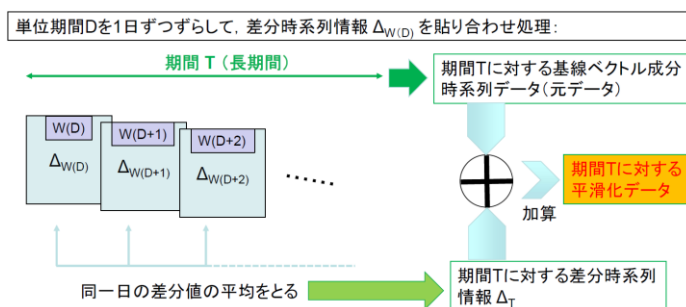


図-2 監視期間における平滑化処理

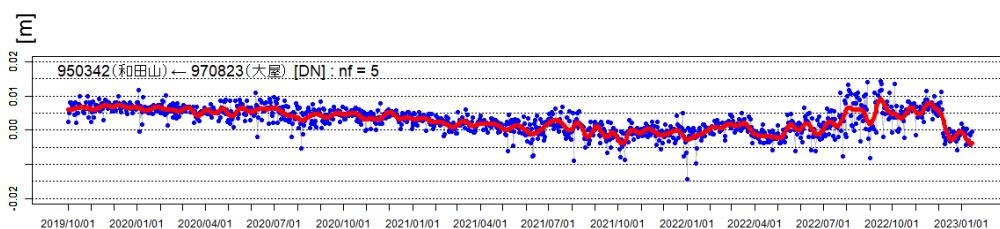


図-3 和田山観測点を終点とする基線平滑化データ事例(南北成分変化)

3.2 小刻みにドリフトする座標変化の検出事例

小刻みにドリフトする座標変化を有する電子基準点を終点とする短基線を対象として、第3.1節の手法で得られた基線平滑化データから、ドリフト変化を特徴づける屈曲点を検出する指標を検討した。検討の過程では、peak検知を利用する手法なども検討したが、最終的には、漏れ・過剰を抑制するために、データの折れ曲がり角度を近似するシンプルな指標を採用するに至った。すなわち、基線平滑

化データの縦軸（変化量）と横軸（時間）のスケール比 r を定めたいうで、着目する時点とその $\pm n$ 日目の時点の成分変化値で構成される三角形の頂角が θ 度未満の時点を屈曲点とみなす。そのような時点が連続する場合には中間日を抽出する。設定値 r , n , θ は電子基準点（の特異な座標変化のパターン）に応じて調整する必要があると思われる。 $r=0.01\text{m}/60$ 日（水平成分）、 $r=0.02\text{m}/60$ 日（上下成分）、 $n=15$, $\theta=150$ として屈曲点（緑印）を検出した能代観測点の事例を図-4 に与える。さらに、基線始点の変動に伴う見かけ上の屈曲点を極力取り除くため、能代観測点を終点とする短基線を複数（3 基線）選び、任意の二つの基線について $\pm n$ 日以内で同期しない屈曲点を基線毎に取り除く事後調整を施した事例を図-5 に与える。

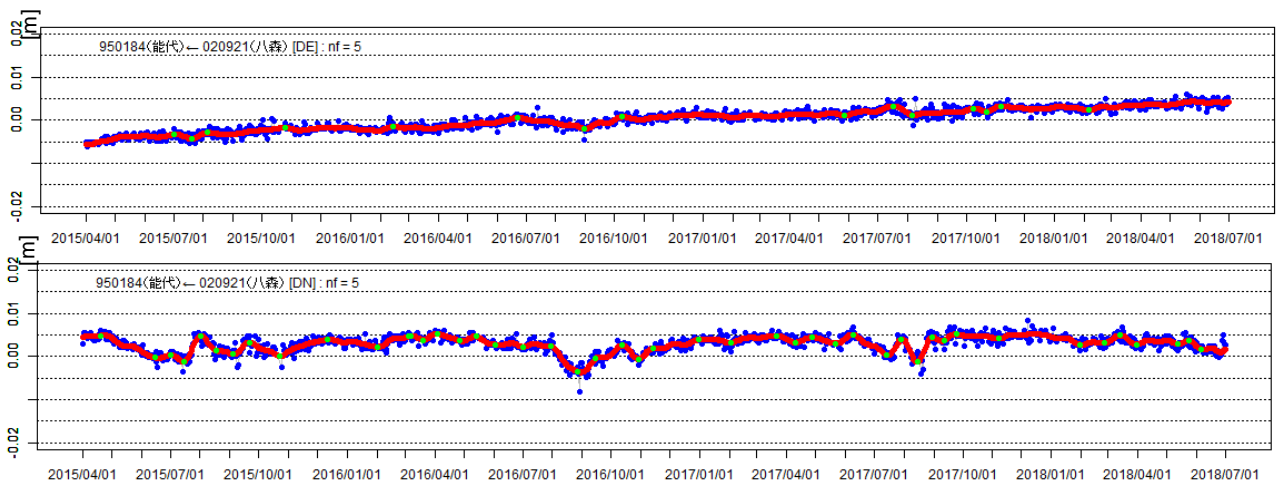


図-4 能代観測点を終点とする基線の屈曲点検出事例（東西・南北成分変化）

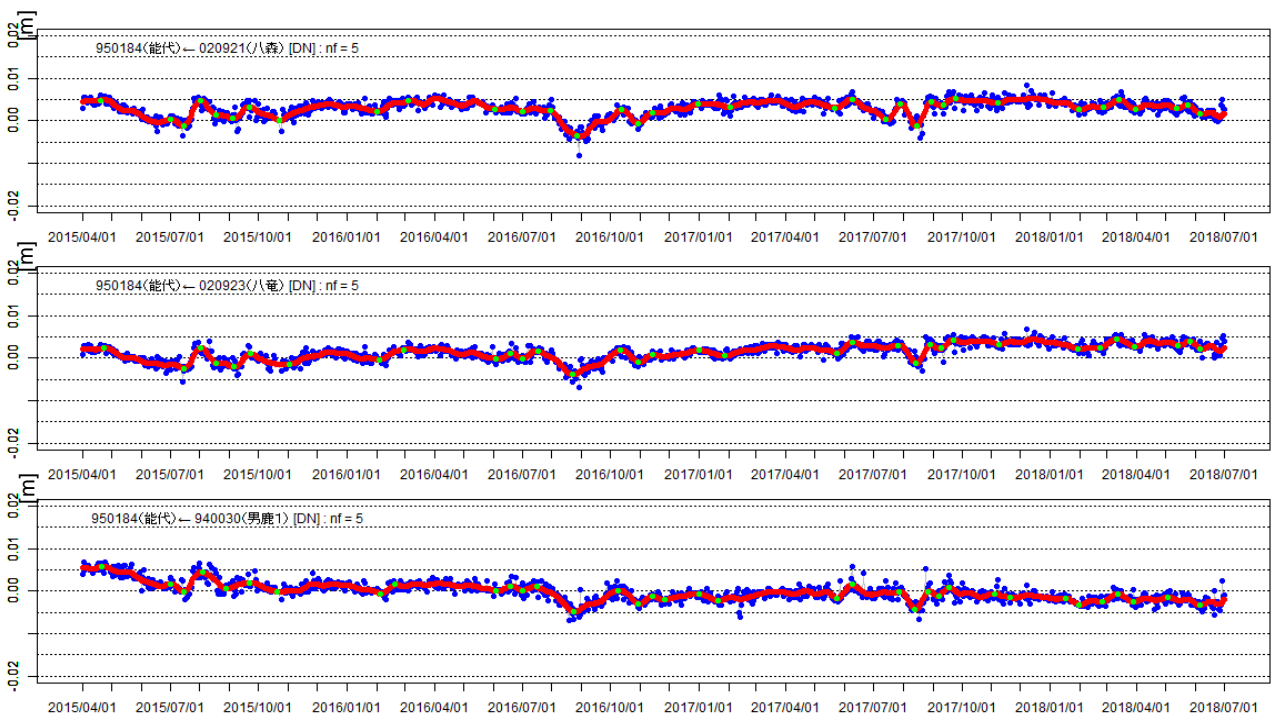


図-5 能代観測点を終点とする複数短基線による検出屈曲点調整事例（南北成分変化）

3.3 緩やかな変化の視覚的検出

短距離の基線時系列データを見たときに、基線を含む領域における地殻変動場の影響とは異なる、時定数の長い緩やかな変化が断続的に加わっており、それが単一の電子基準点に起因する事例が複数見受けられる。電子基準点付近の地盤の地すべり変動や傾斜がその典型例である。そのような電子基準点を終点とする短基線を対象として、第 2.1 節の手法で得られた基線平滑化データから、緩やかな変化を特徴づける期間を視覚的に検出する指標を検討した。本研究では、各時点においてその前後±45日の基線平滑化データから変化率を推定してプロットする移動平均変化率グラフを作成した。さらに変化率の変動を与える要因や方向（例えば地形の影響や降水量など）を可能な範囲で推定したうえで、特徴期間（緩やかな変化が加わっている期間）を検出するための主観的な閾値を設定し、閾値を超える変化率を与える時点を着色表示する。図-6 では、小清水・熊木(2006) によって地すべりの影響が指摘されている静岡峰山観測点を終点、近傍の静岡2観測点を始点とする基線について、推定される地すべり方向と整合する基線ベクトル南北成分の移動平均変化率を取得（閾値内が青、閾値超過が赤）し、その時期と配色を基線ベクトル南北成分変化の時系列に反映させる（緑色のプロットは平滑化する前の基線時系列データである）。但し、始点の影響に伴う見かけ上の変化を極力取り除くために、移動平均変化率については、基線端点（始点）として、静岡2以外に5観測点を追加し、取得される6基線の移動平均変化率を平均（図-7参照）したデータで差し替える処理を施した。

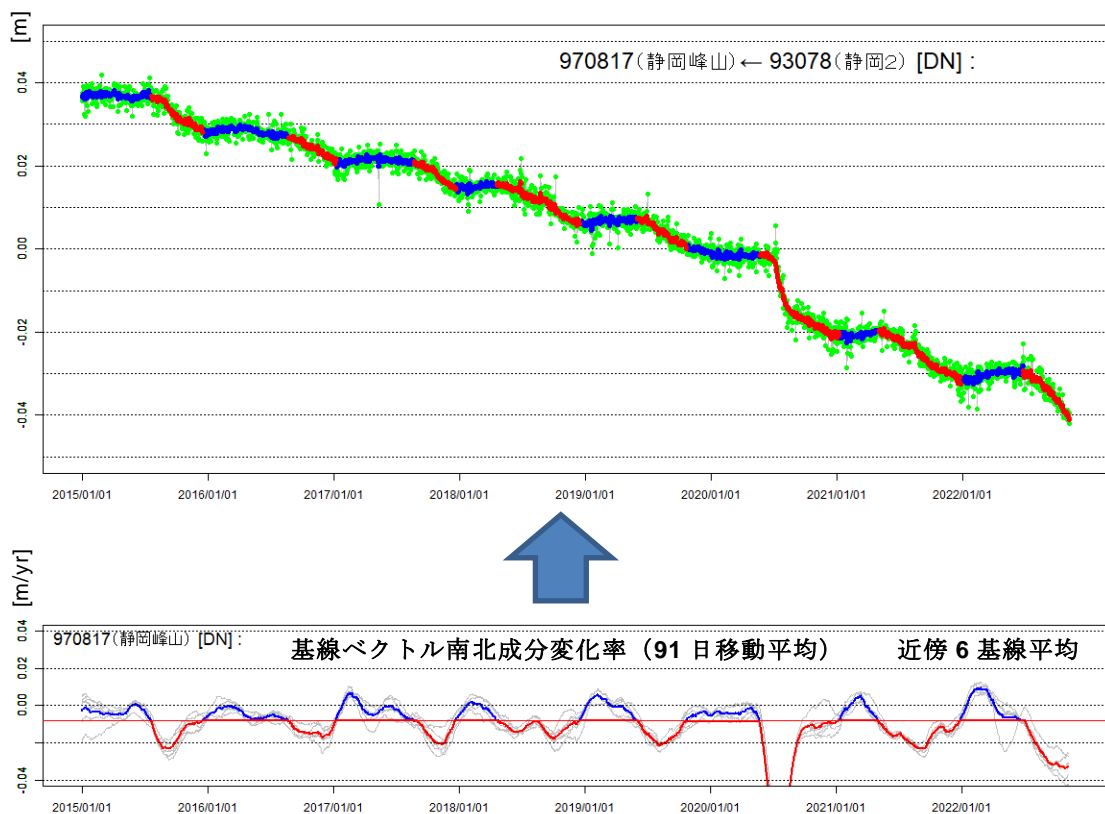


図-6 静岡峰山観測点を終点とする複数短基線による特徴期間検出事例（南北成分変化）

【平均するにあたっての留意事項】

異なる基線の変化率(の時系列情報)同士を平行移動して(どちらかへ)あわせこむ前処理が必要

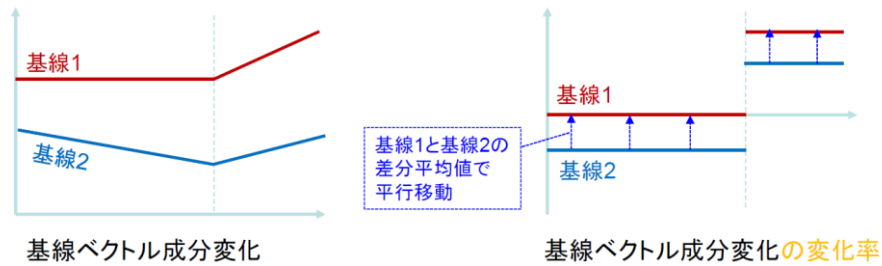


図-7 複数基線の成分変化率を平均するための前処理

4. 結論

2年間にわたる本研究では、電子基準点の周辺環境（地盤，受信）の状況変化に伴う特異な座標変化を，日々の座標から視覚的に検出する取組を行った．第1年次では，基線毎の検出指標を基線網図の空間の中で検出したが，基線毎の検出指標自体は短期間の基線ベクトル成分変化量を閾値で分類する素朴なものであった．第2年次では基線毎の検出指標を精緻化することを目指し，第1年次の指標では継続的に検出することが困難な基線ベクトル成分の変化を検出する手法の開発を試みた．

今後は，手法の改善を目指すとともに，本研究で得られた手法を地殻変動監視へ応用する（例えば小刻みにドリフトする座標変化検出の手法を短期的ゆっくりすべりの直感的検出に適用するなど）ことを試みたい．

参考文献

小清水寛，熊木洋太（2006）：国土地理院のGPS連続観測網（GEONET）によって検出された地すべり変動，日本地球惑星科学連合大会予稿集，<https://www2.jpгу.org/meeting/2006/pdf/Y153/Y153-006.pdf> (accessed 27 Feb. 2023).