電子基準点日々の座標の監視手法についての検討（第 1 年次）

実施期間　　令和 3 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

電子基準点の座標には既に知られているように，地殻変動以外にも多種多様の異常なシグナル（ノイズ）が載っており，その把握は，地殻変動監視や測量基準点としての機能保持にとって重要である．電子基準点の日々の座標（24 時間解析解）を用いて検出可能な異常シグナルの事例としては，地殻変動以外に，局地的な地盤の影響（地すべり，工事・凍上現象・揚水等に伴う基盤の傾斜），周辺環境の影響（樹木の繁茂），気象の影響（台風や前線の通過）などが挙げられ，その変動パターン・時間スケールは実に多種多様である．したがって，それら全てを過不足なく検出する洗練された時系列処理手法が存在することは期待できない．むしろ，非常にシンプルな時系列処理手法と複数の閾値を組み合わせて，異常シグナルを効率的に検出・表示・蓄積するプロセスを構築することが現実的であると思われる．本研究では，電子基準点の日々の座標（F3/R3：～2021/12/26，F5/R5：2022/01/02～）を入力データとして，検出～表示～蓄積に至る効率的な工程の構築を試みた．

2. 研究内容

異常シグナルの源となる電子基準点（以下「挙動不審点」という．）の検出・表示・蓄積の工程を以下のような手順で構築する．

2.1 基線ベクトルの成分変化量の取得

目的とする電子基準点の位置の変化量は，他の基準となる電子基準点と結んだ基線ベクトルの時系列変化を通じて把握され，基準局が不動であるという仮定のもとで図-1 のように（⊿E,⊿N,⊿U）と成分表示される．本研究では GNSS 測量における水平方向と高さ方向の観測精度の違いを考慮に入れて，⊿H=√（⊿E²+⊿N²）と|⊿U|の各々に，電子基準点の様々な異常シグナルをもたらす変動をとらえるための閾値を複数，階層的に設ける（後述，第 2.3 節参照）．

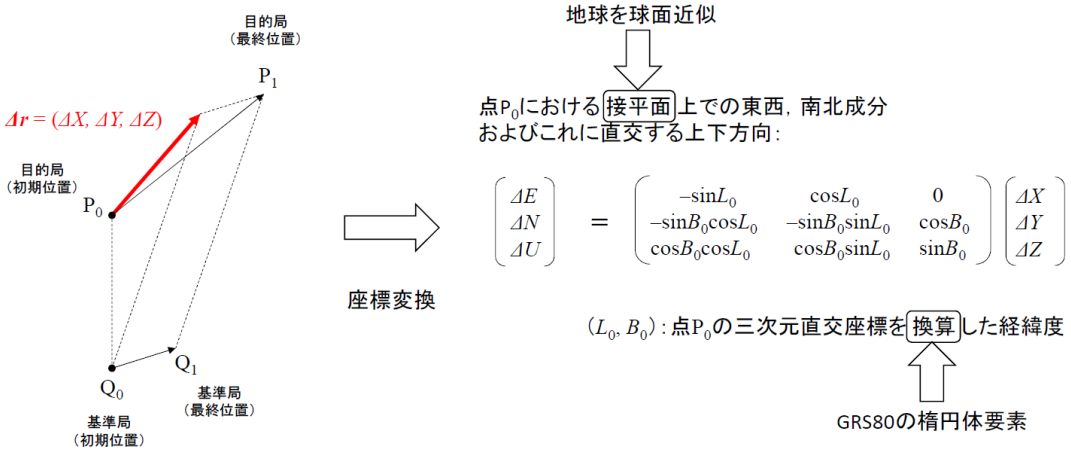
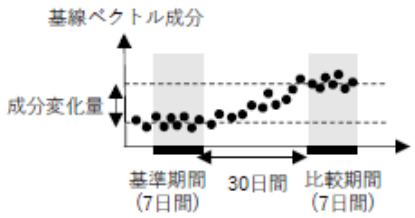


図-1　基線ベクトルの成分変化量

2.2 基線長と観測期間の設定

異常シグナルを検出する上で最初に検討しなければならないパラメータは，第 2.1 節で記述した目的局と基準局の基線長と，基線ベクトルの成分変化量を取得するための観測期間である．長距離基線の時系列変化では，定常的なプレート運動等に伴う経年変化を異常シグナルとして検出してしまう懸念，距離と相関して増大するノイズを異常シグナルとして検出してしまう懸念がある．観測期間については,長すぎると年周等の周期的変化や経年変化を異常シグナルとして検出してしまう懸念がある．いわゆる「差の差」を取得して周期変化や経年変化を相殺することはある程度可能であるが，古いほうの期間の異常シグナルを検出してしまう場合や，毎年ほぼ同じ時期に発生する（揚水による基盤の傾斜のような）異常シグナルまでも相殺してしまう場合があるので，今回は試作にとどめた．本研究では，基線長を 50km 未満，観測期間を約 1 か月に設定する．なお，比較的頻繁に発生する座標値の飛びを異常シグナルとして検出してしまうことを抑制するために，観測期間を構成する基準期間と比較期間の座標値は各々7 日間平均をとることにする（図-2）．



彩色	⊿H [cm]	|⊿U| [cm]
赤色 —	0.75 以上	1.5 以上
橙色 —	0.50 ～ 0.75	1.0 ～ 1.5
黄色 —	0.25 ～ 0.50	0.5 ～ 1.0
灰色 —	0.00 ～ 0.25	0.0 ～ 1.5

図-2　観測期間と閾値（彩色規準）

2.3 挙動不審点検出アルゴリズムの設定

第 2.2 節で設定した（基線長，観測期間）は短距離・短時間であり，特に広範囲で発生する非定常地殻変動（余効変動・ゆっくりすべり）を検出するには短すぎる．本研究では異常シグナルが観測される電子基準点が孤立して存在するような場合を想定し，それら（孤立的）挙動不審点を検出することを主たる目標とする．この目標を達成するために，短距離の（疑似的な）基線網を張り巡らし，各基線ベクトルの変化に彩色を施すような視覚的アルゴリズムを適用する．彩色は直近 1 か月の基線長成分⊿H，|⊿U|の変化量がある閾値を超えたときに発生させる．これによって彩色基線が放射状に射出する頂点に位置する電子基準点を挙動不審候補点として検出することができる．更なる工夫は，⊿H 若しくは|⊿U|各々の（彩色のための）閾値を複数，階層的に設定することである（図-2）．これによって，誰もがすぐに識別できるような異常シグナルだけでなく，じっと目を凝らさないと識別できないような微細な異常シグナルもある程度抽出することが可能となる（図-3）．

なお，本研究では，彩色された基線を上乗せ情報（KML）として作成し，WEB 地図上に表示させる自動処理を行った．上乗せ情報を構成する基線数は約 5000 に達するため，この KML を表示するプラットフォームとしては地理院地図サイトのような非プラグインソフトウェアではなく，GoogleEarth のようなプラグインソフトウェアが有効である．

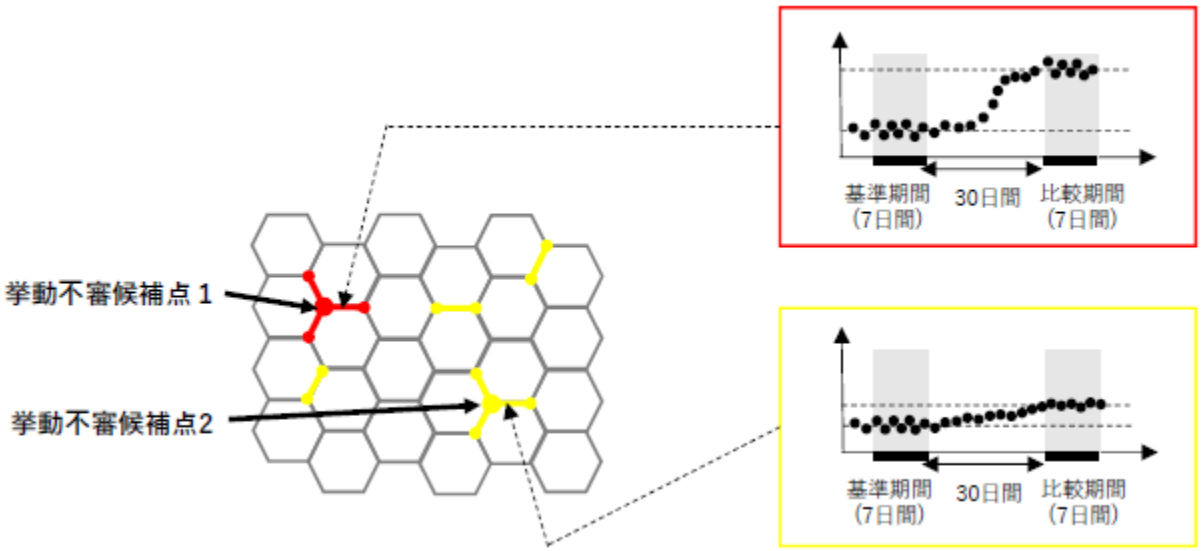


図-3　挙動不審候補点の抽出イメージ

2.4 挙動不審点の確定作業

検出した挙動不審候補点について，実際に異常シグナルが含まれるか否かを最終的に確定する作業は目視が必要である．冒頭に述べたように異常シグナルの変動パターン・時間スケールは多種多様であり，（例えば）基準期間若しくは比較期間において間欠的に発生する座標値のとびが，閾値を超える⊿H，|⊿U|をもたらすような場合もあるからである．

目視作業を無理やりスキップ（する自動処理を考案・実装）するのではなく，その代わりに目視作業を効率化する工夫を凝らすというのが，本研究の基本的な設計思想である．このために，挙動不審候補点を端点とする（第 2.3 節で構成した基線網を構成する）基線ベクトル成分の時系列グラフ（短期・長期）を自動的に出力するプログラムを追加し，効率的に目視点検できるような機能を整えた．

2.5 確定した挙動不審点情報の表示と蓄積

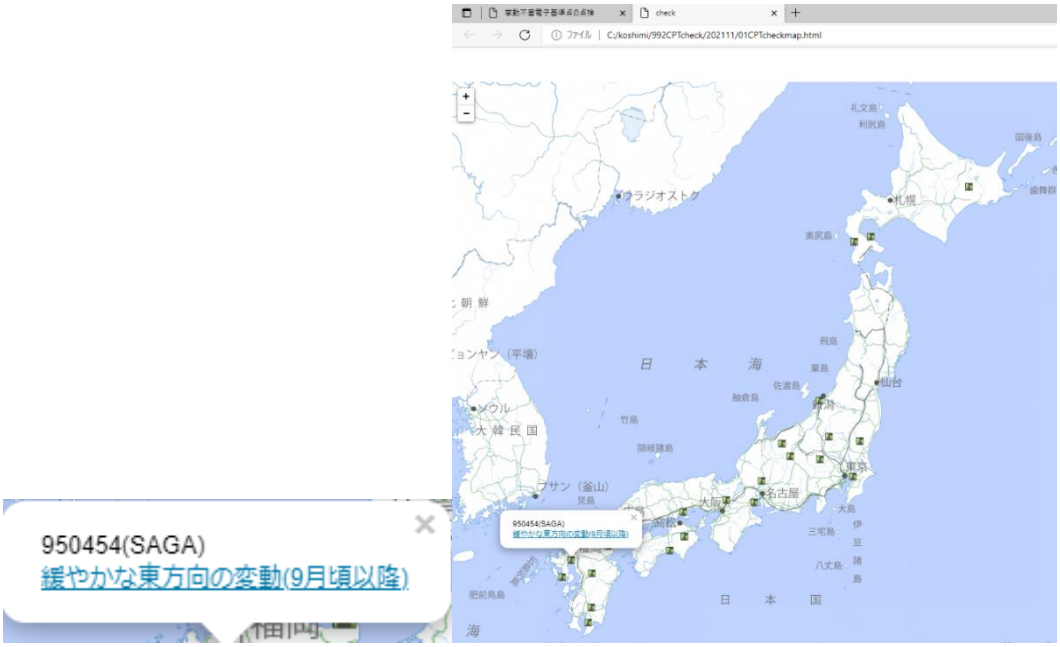
挙動不審点を表示・蓄積させる仕組みは複数考えられるが，本研究では地理院地図を表示するプラットフォームである‘Leaflet’を採用し，「Leaflet（背景地図表示記述）＋Leaflet（上乗せ情報記述）」という組み合わせを想定し，Leaflet コード（JavaScript＋HTML）を出力するスクリプトを作成した．この組合せの利点は挙動不審点の表示をローカル環境で実行できる（サーバのような大仕掛けが不要な）こと，及び，上乗せ情報を KML で記述して Leaflet に取り込む仕組みの複雑さを回避できることである．デフォルトで地理院地図を背景表示できるため，異常シグナルをもたらす局地的な要因（地形的背景）を分析することも可能である．

3. 得られた成果

まず，第 2.2 節のパラメータ（基線長と観測期間）及び第 2.3 節のアルゴリズムと閾値に基づいて基線網を構成し，各基線について，基線ベクトルの成分変化量と彩色属性を付与した基線網の KML ファイルを出力するプログラムを作成した．つぎに，第 2.4 節の基線成分変化グラフを出力するプログラムを作成した．最後に，第 2.5 節の Leaflet スクリプト出力プログラムを作成した．以上が本研究で作成したプログラム群であり，オープンソースの汎用的な言語（OpenJDK，グラフ描画には R）を用

いている．

これらのプログラム群を駆動して作成されたデータ，及びそれらを表示する HMTL ファイルは地理地殻活動研究センターの共有スペースに保管されている．この共有スペースには週 1 回の作業で検出された挙動不審点を，月ごとに類別して蓄積されている．HTML ファイルの表示例を図-4 に示す．



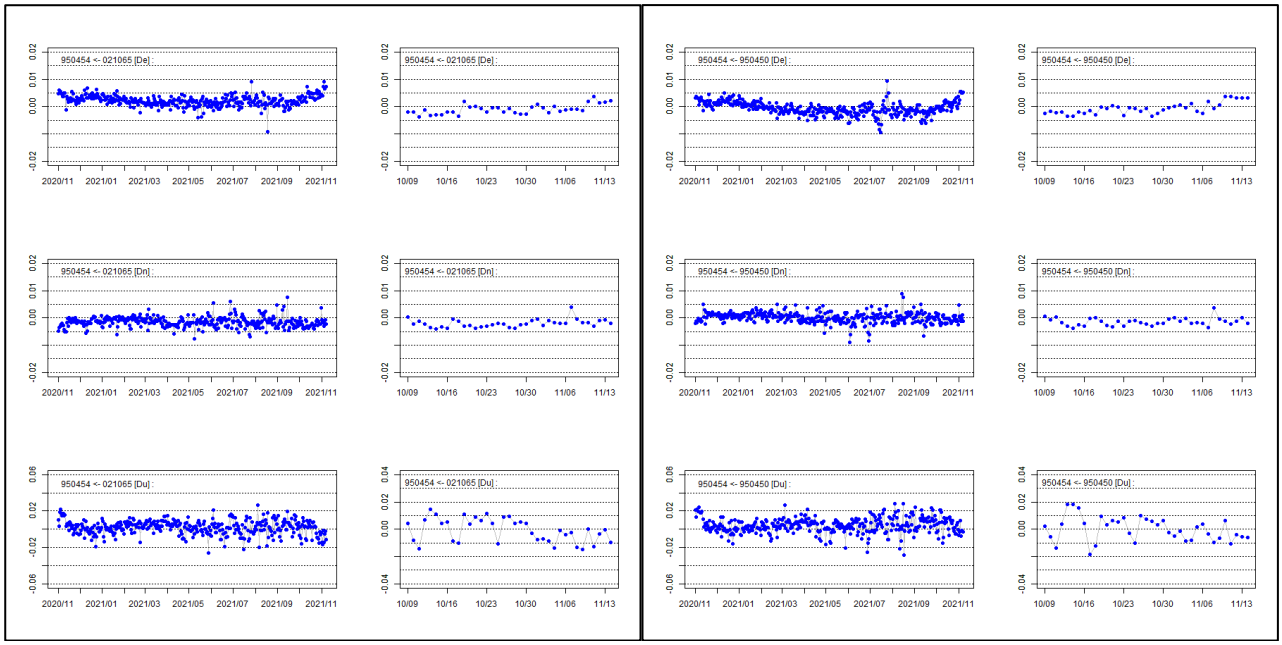


図-4　HTML ファイル表示例

挙動不審点は月ごとに地理院地図上に集約される．

挙動不審点アイコンをクリックすると以下の属性情報が得られる．

・異常シグナル概要記述（ポップアップ）

・挙動不審点を端点とする複数の基線ベクトル成分時系列グラフ（リンク）

4. 結論

本研究では単距離基線網を派生し，直近 1 か月という比較的短い観測期間を設けることによって，孤立的な挙動不審点を検出するアルゴリズムと，さらに検出した挙動不審点を表示・蓄積する手軽な仕組みを考案し，検出・表示の作業を週 1 回のペースで繰り返すルーチンを整えた．

他方，例えば西高東低型の気圧配置や台風・前線の通過に伴って，広域で連続的（非孤立的）に発生する挙動不審点を安定的に検出する場合，基線網の派生の仕方にもう少し工夫の余地があるかもしれないので，今後の検討課題とする．