

# 地殻変動補正パラメータの高頻度な更新に向けた取組

実施期間	平成 30 年度		
測地部測地基準課	高木 悠	山尾 裕美	
	加古 考範	岩田 昭雄	

## 1. はじめに

地殻変動に伴って生じるひずみの影響を低減するため、測量の分野ではセミ・ダイナミック補正が導入され（田中ほか，2006；檜山ほか，2010），これまで 10 年近く用いられてきた．セミ・ダイナミック補正では，電子基準点の測量成果と日々の座標値（F3 解）を用いて構築された地殻変動補正パラメータにより，観測日の座標が地理空間情報の基準日の座標（国家座標）に補正される（補正の過程では，「観測日」と「基準日」との双方向の補正が行われる．）．現在地殻変動補正パラメータは，一年に一度，年度初めに更新され，その年度を通して同じパラメータが用いられている．

近年，高精度単独測位（PPP）やセンチメートル級測位補強サービス（CLAS）などの測位技術の向上により，誰もがより簡単に高精度な位置情報を取得することが可能になってきた．今後はさらに測位の利活用が拡大することが期待されることから，測位により得られた位置情報を国家座標に基づいた地理空間情報に整合させる必要性が認識されてきている．ところが，測位においては，測量の分野とは異なり，「観測日」から「基準日」への一方向への補正しか行われないため，地殻変動補正パラメータに含まれる誤差が相殺されず，パラメータの補正量そのものの精度がそのまま補正結果に影響する．そのため，地理空間情報と整合させるためには，より高精度な地殻変動補正パラメータが必要になると考えられる．こうした背景を踏まえ，第 21 回測量行政懇談会の測位基盤検討部会（2018）によって，「パラメータの最適な更新頻度を検討する必要がある．」ことが報告された．

本研究では，パラメータの更新頻度を検討し，直近の 1 年間について，従来よりも高頻度である 3 か月に一度の割合でパラメータを試作した．また，試作したパラメータの精度検証として，一点抜き交差検定（LOOCV）を実施した．

## 2. 研究内容

地殻変動補正パラメータは，電子基準点の測量成果（国家座標である基準日の座標値）と今期の座標値（現行の 2018 年度版パラメータであれば，2018 年 1 月 1 日が今期となる．）の差を基に構築される．そこで，本研究においては，2018 年 1 月 1 日を今期とするパラメータをパラメータ 201801 というように，今期の年月を用いてパラメータを区別することとする．

関係各所へのヒアリングの結果から，測位の結果として得られる位置の精度として 5cm 程度が要求されることが分かった．理想的な衛星測位の精度を 2-3cm と仮定すると，地殻変動補正パラメータに要求される精度は 3cm 程度であると推定される．そこで，本研究では 3cm を一つの基準としてパラメータの精度を議論することとする．

本研究では，まずパラメータ 201701 と 201801 との差から必要な更新頻度を検討した．すなわち，今期が隣接するパラメータの差が 3cm 以内になるように更新頻度を設定した．それは，たとえパラメータに誤差がないとしても，現状のステップ状のパラメータでは，隣接するパラメータ間の差が 3cm を超える場合には，パラメータ適用期間の終期に必要な精度を保証することが出来ないからである．

次に，新たに作成したパラメータの精度検証を行った．本研究では，これまで実施されてきた内部

評価（国土地理院，2009）に加えて LOOCV を実施した．LOOCV の手順は以下の通りである．

- 1) パラメータ作成に用いた電子基準点の成果と今期座標値との差のうち，一点（A とする）の値を除く．
- 2) 1)を用いて，通常のパラメータ作成と同様に，クリギング法（統計的な内挿手法の一つ）によってパラメータを作成する．
- 3) 2)で作成したパラメータを用いて，A の値を双線形補間によって推定し，実際の値と比較する（以下では，この推定値と実際の値との差を「LOOCV 誤差」という．）．
- 4) 1)から 3)の過程を全点で行う．

### 3. 結果

#### 3.1 3 か月毎に作成したパラメータ

パラメータ 201701 と 201801 の差は最大で 8-9cm に達することが分かった（図-1a）．このことから，隣接するパラメータ間の差を 3cm 以内にするために，3 か月ごとにパラメータを作成することとし，新たにパラメータ 201804，201807，201810，201901 を作成した．パラメータ 201801 と 201804 を比較すると，期待通り，余効変動の影響が大きい東北地方を含めてパラメータ間の差が 3cm 以内に収まっていることが確認された（図-1b）．鉛直成分や他の隣接するパラメータ間の差においても概ね 3cm 以内に収まっていた．しかしながら，データ欠損などの影響でデータを用いることが出来ない電子基準点があると（以下「異常点」という．），その周りでパラメータ間の差が 3cm を超えることがあり得ることが分かった．パラメータ間の一貫性を保つためにも，このような異常点をどのように扱っていくかは，今後検討すべき課題である．

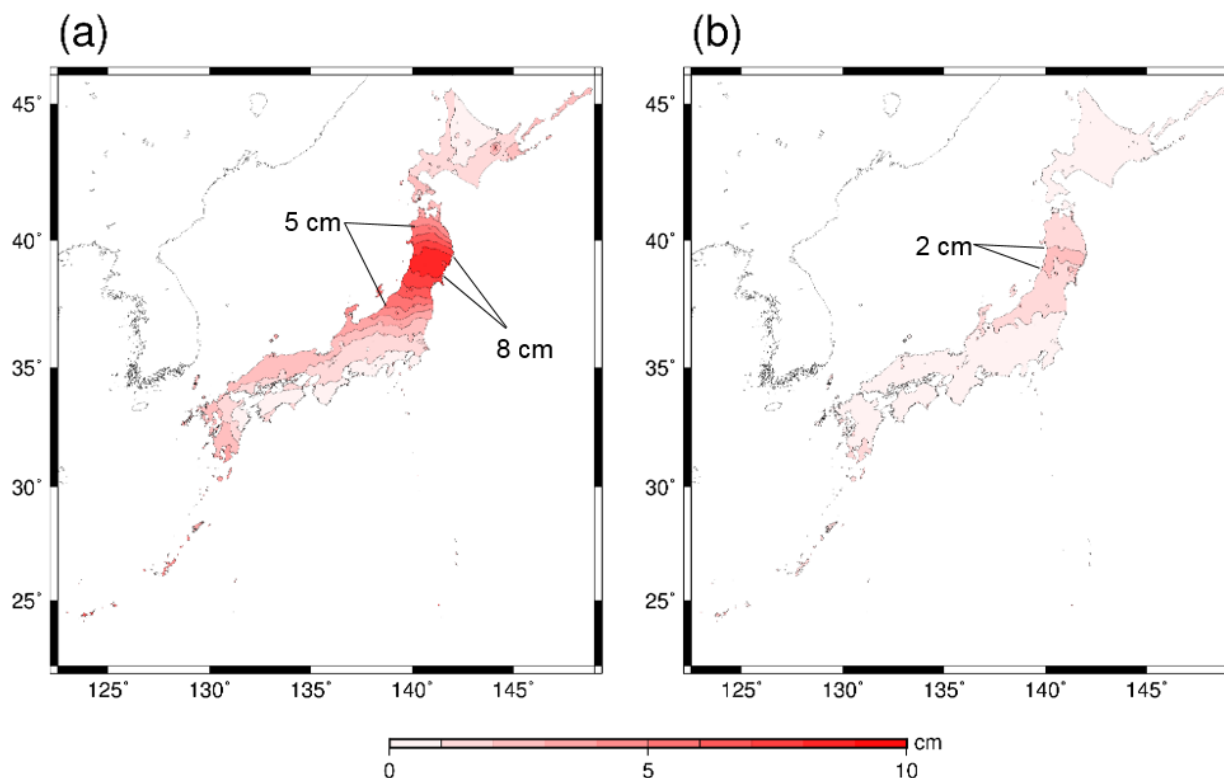


図-1 パラメータの水平成分の差の絶対値．コンター間隔は 1cm である．(a)パラメータ 201701 と 201801（1年）の差．(b)パラメータ 201801 と 201804（3 か月）の差．

### 3.2 LOOCV

パラメータ 201801, 201804, 201807, 201810, 201901 に対して LOOCV を実施した。比較のため、過去に作成されたパラメータ 201301 に対しても LOOCV を実施した。LOOCV 誤差の平均二乗誤差 (RMS) は、全てのパラメータについて、1.5-2.5cm の範囲内であり、3cm を超えることはなかった (離島が多い東京都と沖縄県の結果は RMS の計算からは除外している.)。さらに、LOOCV 誤差の累積頻度分布を見ると (図-2), パラメータが新しくなるにつれて、LOOCV 誤差が大きくなっている傾向が見られる (曲線が下がっている) が、最新のパラメータ 201901 であっても、LOOCV 誤差が 3.0cm 以内である電子基準点が 80%を超えていることが分かる。これらの結果は、現行の手法によって作成されたパラメータが、要求される精度を実現するための必要最低限を満たしていることを示すと考えられる。

また、LOOCV の結果から、LOOCV 誤差が大きい電子基準点は、どのパラメータにおいても同様な傾向であること、LOOCV 誤差が大きくなる電子基準点が西日本に偏っていることが分かった。特に、西日本に偏在する原因は、西日本の元期が古いことに依ると推察されるが、この原因を究明することも今後の課題である。

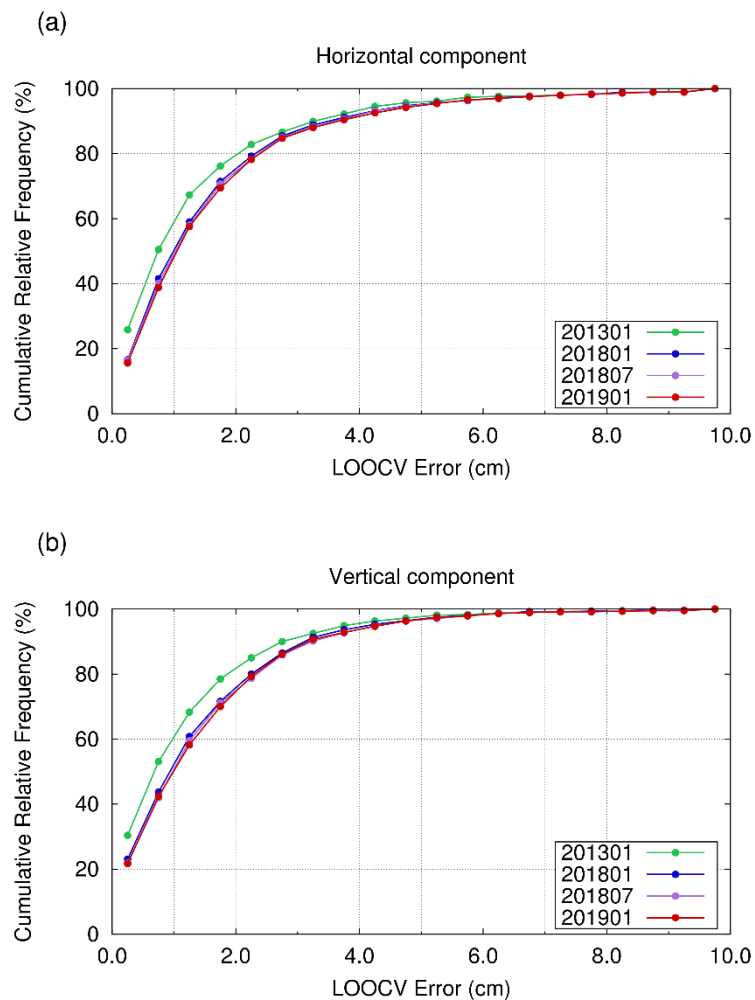


図-2 LOOCV 誤差の累積頻度分布。緑、青、紫、赤の各線はそれぞれパラメータ 201301, 201801, 201807, 201901 の結果を表す。ビン幅は 0.5cm である。(a)水平成分, (b)鉛直成分の絶対値を表す。パラメータ 201801, 201804, 201901 の結果はほとんど同じで、グラフ上では見分けがたい。

#### 4. 結論と今後

今後の衛星測位の利活用拡大を見据え、地殻変動補正パラメータの更新頻度の検討と、新たに作成したパラメータの精度検証を行った。この際、要求されるパラメータの精度を3cmと想定した。更新頻度を3か月にすると、隣接するパラメータの差を3cm以内にすることが可能であることが分かった。また、精度検証の結果からは現行のパラメータ作成手法が、必要精度を保つための最低限を満たすことが確認された。

一方、異常点が存在するとその周囲でパラメータ間の差が3cmを超えることがあることから、異常点の扱い方を検討する必要があると考えられる。LOOCVの結果からは、LOOCV誤差が大きくなる電子基準点が西日本に偏在するという結果が得られた。今後、この理由を明らかにしたいと考えている。

これまでは、パラメータの精度を評価するために内部評価が行われてきた。本研究でLOOCVを実施したことにより、LOOCVの結果もパラメータの精度を評価するための指標の一つとなり得ることが分かった。今後は精度評価の新たな指標として、LOOCVによる評価をルーチンとして実施していくことを検討したい。

また、パラメータの精度評価として、パラメータの作成には用いていないデータを使った外部評価を今後実施したいと考えている。

#### 参考文献

檜山洋平, 森下遊, 山尾裕美, 湯通堂亨, 越智久巳一, 岩田昭雄 (2010): セミ・ダイナミック補正の導入について, 国土地理院時報, 120, 55-61.

国土地理院 (2009): セミ・ダイナミック補正要領及び同運用基準, 国土地理院測地部.

測量行政懇談会測位検討部会 (2018): 位置の基準(測地基準座標系)のあり方について—準天頂衛星システムが実現する高精度測位社会を支える—, 測量行政懇談会測位基盤検討部会報告書.

田中愛幸, 岩田和美, 豊田友夫, 平井英明, 川口保, 松坂茂, 畑中雄樹, 飛田幹男, 黒石裕樹, 今給黎哲郎 (2006): セミ・ダイナミックな測地系の構築に向けた取り組みについて, 国土地理院時報, 110, 1-9.