

電子基準点データによる水準点の標高変動補正の検証（第3年次）

| | |
|----------|------------|
| 実施期間 | 平成 28 年度～ |
| 測地部測地基準課 | 加古 考範 高木 悠 |
| 測地部宇宙測地課 | 山下 達也 |

1. はじめに

これまで日本の標高体系は主に水準測量によって維持・管理されてきた。水準測量はきわめて高い精度で比高を観測することが出来る手法である一方、観測には多大な労力と時間を要する。そのため、広範囲にわたって有意な地殻変動が生じた際、水準点の標高成果を更新するには数箇月以上の時間を要し、その間は標高成果が現状と整合しないということが起こりうる。

一方で、国土地理院は現在全国に約 1,300 点ある電子基準点によって、地殻変動をリアルタイムかつ高精度に監視している。また、陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」の観測データを用いた SAR 干渉解析も実施するなど、日本全国の変動を継続的に監視するとともに、地震などのイベント発生時の変動情報を迅速に把握している。そこで、これらのデータを用いて、水準測量の観測日から特定の ある日（以下「基準日」という。）までの地殻変動量を補正し、基準日における標高を算出する手法が検討され、その有効性が検証されてきた（例えば、山下，2017；加古，2017）。その結果から、「電子基準点のデータを用いると長波長の地殻変動を 1cm 程度の精度で補正できること」、「短波長成分であっても干渉 SAR のデータを用いることによって 2-3cm 程度の精度で補正できること」が分かってきた。しかし、例えば地震によって震央付近で複雑な地殻変動が発生した場合、当該域では干渉 SAR の解析データによって精度良く補正を行うことができないという課題も存在する（山下，2017；兒玉ほか，2018）。

本稿では、昨年度に引き続き、電子基準点と干渉 SAR のデータを用いた補正方法の検証結果を報告する。それに加えて、上記の問題点を解決する方法として断層モデルを用いた補正を実施したので、その結果についても述べる。

2. 研究内容

今年度は鳥取地域（図-1 (a)）を検証の対象とした。鳥取地域では平成 18 年（2006 年）及び平成 20 年（2008 年）に水準測量が行われ、その後平成 28 年（2016 年）10 月 21 日に鳥取県中部地震（Mj 6.6）が発生した。これを受けて、平成 30 年（2018 年）に再び水準測量が行われた。そこで、平成 18 年及び平成 20 年の観測で得られた比高に対して、電子基準点や干渉 SAR の解析結果を用いて補正を行い、平成 30 年の観測による標高を再現できるか検証した。電子基準点データ及び干渉 SAR による補正手法は山下（2017）などと同様である。すなわち、地震時の変動は干渉 SAR の 3 次元解析結果を用いて補正し、干渉 SAR のデータが得られない地域や地震以外の地殻変動は電子基準点のデータを用いて補正した。

また、本年度は、これに加えて断層モデルを用いた補正を行った。これは、地震時変動については、断層モデルから計算された変位を用いて補正を行う手法である。今回は、干渉 SAR の解析結果及び電子基準点で検出された地震時変動を用いて推定された震源断層モデル（国土地理院，2016）を用い、地震時変位の計算には、地殻活動観測データ総合解析システム INCA（鷲谷ほか，2003）を用いた。

以上をまとめると、本研究で実施した補正方法は以下の通りとなる。

- a) 電子基準点データのみを用いた補正（以下「CORS 補正」という。）
- b) 電子基準点データと干渉 SAR3 次元解析結果を用いた補正（以下「C+SAR 補正」という。）
- c) 電子基準点データと断層モデルを用いた補正（以下「C+FAULT 補正」という。）

また、平成 18 年及び平成 20 年の観測に基づく標高を「過去標高」、平成 30 年の観測に基づく標高を「現状標高」ということとする。

3. 結果

3.1 電子基準点データのみを用いた補正

図-1 (a) に補正に用いた電子基準点、図-1 (b) に現状標高と過去標高の差を示す。過去標高と現状標高の間には最大で 4cm 程度の差があることが分かる。図中の赤い矢印で示す範囲は、干渉 SAR によって鳥取県中部地震に伴う地震時変動が検出された地域で、過去標高（平成 18, 20 年に観測）と現状標高（平成 30 年に観測）の差にも地震の影響とみられる変動が見られる。

まず、電子基準点のみを用いた補正（CORS 補正）を行った。これまでの研究から、補正に用いる電子基準点は取捨選択する必要があることが分かっている（例えば、山下, 2017）。本研究では、電子基準点データを精査した結果、鳥取（021014）のデータは補正には用いないことにした。それは、鳥取（021014）における変動が、隣接する電子基準点と整合せず、周囲の変動を代表していないと判断したからである。図-1 (c) と図-1 (d) に鳥取（021014）を除外した場合と含めた場合の結果を示す。これらの図から、電子基準点のみでは地震時の変動は補正できていないことが分る（図-1 (c), (d) の赤い矢印で示す範囲）。さらに、鳥取（021014）を含めた場合、それ以外の範囲でも補正がうまくいっていない。実際、両者について、現状標高からの差の標準偏差を計算すると、鳥取（021014）を含めた場合には 1.67cm, 含めない場合には 1.31cm となり（表-1）、除外しない場合では、補正が適切に行われていないと判断できる。そこで、以降で行う干渉 SAR や断層モデルを用いた補正の場合にも、鳥取（021014）を除外した。なお、これらの補正における最大較差は鳥取を除外した場合と含む場合とでそれぞれ-5.66cm と-5.83cm であった（表-1）。

ただし、鳥取（021014）を除外すると判断できたのは、現状標高が分かっているからであり、現状標高が分からない場合は判断をすることが出来ない。どの電子基準点を用いるかの判断方法は、今後の検討課題である。

3.2 干渉 SAR 3 次元解析の結果を用いた補正

地震時の変動を干渉 SAR の 3 次元解析結果（国土地理院, 2016）を用いて補正を行った結果を図-1 (e) に示す（C+SAR 補正）。C+SAR 補正を行った場合、地震時の変動が観測されている地域であっても、2-3cm 程度で現状標高と一致していることが分かる。現状標高との差の標準偏差は 0.98cm, 最大較差は-3.47cm であり（表-1）、CORS 補正に比べて改善されたことが分かる。このことから、鳥取地域についても、電子基準点では捉えることのできない短波長の変動に対しては、干渉 SAR の解析結果を用いた補正が有効であることが示された。しかしながら、干渉 SAR の解析結果が得られた場所と得られていない場所の境界（図-1 (e) の黒い矢印で示す場所）で、大きなとびが生じており、このような不整合にどのように対処すべきかを考える必要がある。

3.3 断層モデルから計算された地震時変位量を用いた補正

断層モデルにより推定された地震時変位を用いて補正した（C+FAULT 補正）結果を図-1 (f) に示す。C+FAULT 補正の場合、地震の変動域においても 2-3cm 程度の差で現状標高と一致している。実際、現状標高との差の標準偏差は 0.97cm, 最大較差は-3.63cm であり（表-1）、C+SAR 補正と遜色が無い。

地震時変動が観測された地域において現状標高との差が大きいのは、地震時変動の隆起／沈降の境目に近い位置である(図-1(f)の黒い矢印で示す範囲).このような範囲では、モデルを使った C+FAULT 補正ではなく、実データを用いた C+SAR 補正を適用した方が良いと考えられる.一方、C+SAR 解析ではとび値が生じてしまっていた場所は、C+FAULT 補正ではなめらかにつながっている.このことは、非干渉や衛星の軌道の関係で実データが得られない範囲では、断層モデルを用いることが有効となりうることを示唆している.

今回の結果は、断層モデルを用いた補正が一定程度有効であることを示しているが、断層モデルによる補正を空間的にどの範囲まで用いるかは、今後検討していく必要があると考える.

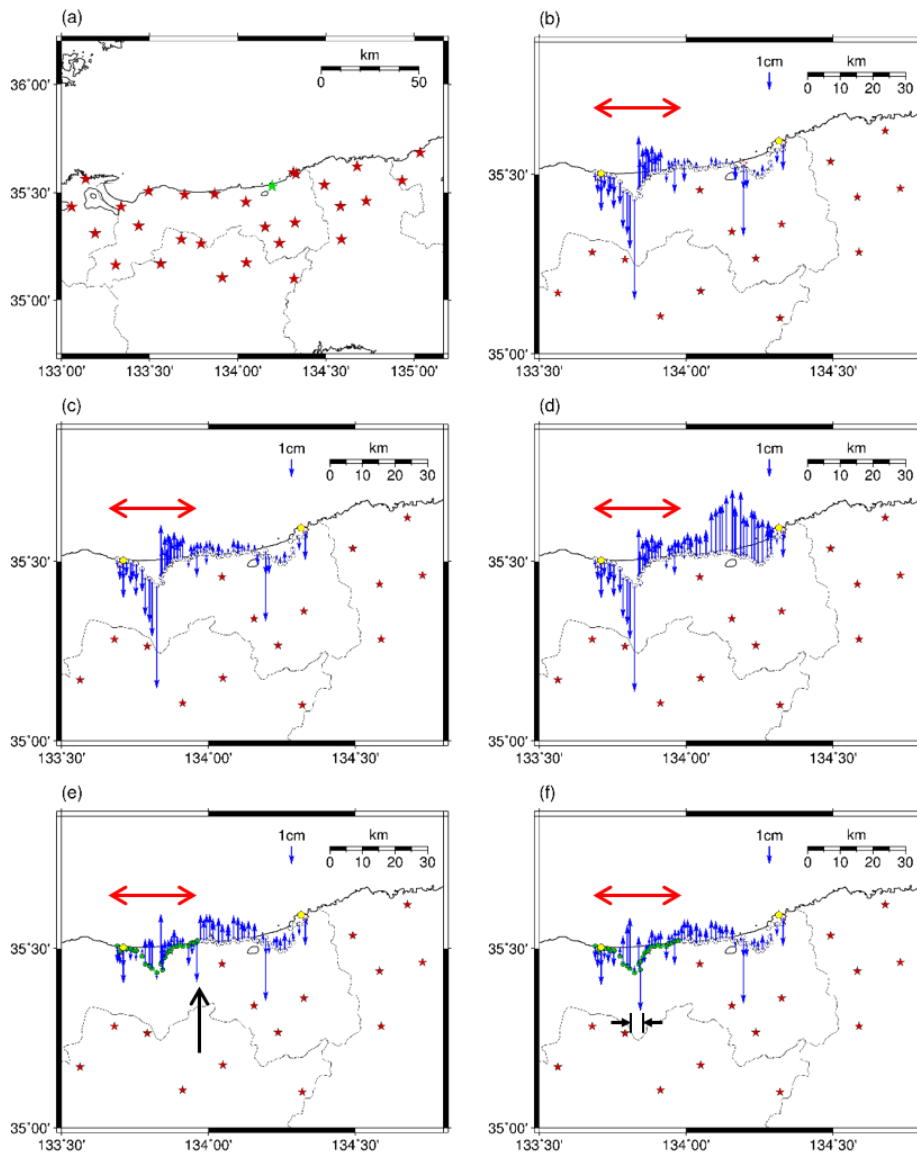


図-1 (a)補正に用いた電子基準点. (b)過去標高と現状標高の差. (c)-(f)は各種補正を行った結果から得られた標高と現状標高との差を示しており、それぞれ(c)鳥取(021014)を除いた CORS 補正. (d)鳥取(021014)を含めた CORS 補正. (e)C+SAR 補正. (f)C+FAULT 補正である. 赤色と緑色の星が電子基準点の位置を表し、緑色の星は鳥取(021014)である. 青色の矢印が差を表す. 丸は水準点であり、黄色が固定点、緑が干渉 SAR 又は断層モデルを用いて補正を行った点、白がその他の水準点を示す. 赤い矢印は干渉 SAR で地震時変動が検出された範囲である.

表-1 各補正によって得られた標高と現状標高との差の平均値と標準偏差.

| 補正の種類 | 平均値 (cm) | 標準偏差 (cm) | 最大較差 (cm) |
|-----------------------------|----------|-----------|-----------|
| CORS 補正 (鳥取 (021014) を含む) | 0.61 | 1.67 | -5.83 |
| CORS 補正 (鳥取 (021014) を含まない) | -0.09 | 1.31 | -5.66 |
| C+SAR 補正 | 0.28 | 0.98 | -3.47 |
| C+FAULT 補正 | 0.16 | 0.97 | -3.63 |

4. 結論

地震の発生前後に水準測量が行われた鳥取地域を対象とし、水準点に対する標高変動補正の有効性を検証した。補正には、電子基準点データ、干渉 SAR3 次元解析結果、断層モデルによる地震時変位の計算値を用い、異なるデータを用いた補正の結果を比較した。結果は以下のとおりであった。

1. 補正に用いる電子基準点の選び方によって補正結果が大きく変わる場合がある。
2. 電子基準点のみでは地震時変動を補正できない。
3. 干渉 SAR 3 次元解析結果を用いた場合、2-3cm 程度の差で現状標高に整合した。
4. 断層モデルを用いた場合も、2-3cm 程度の差で現状標高に整合した。地震時変動の隆起／沈降の境目付近で、現状標高との差が大きくなった一方で、断層モデルによる補正と電子基準点のみの補正との境界では結果がなめらかにつながった。

1.については、これまでの検証結果でも指摘されたことであり、電子基準点の取捨選択方法は今後の検討課題である。2.から 4.の結果が得られたのは、鳥取県中部地震に伴う地震時変動の空間スケールが、電子基準点の間隔よりも小さかったためであると考えられる。電子基準点のみでは補正できなかったのはこのためであると推察される。一方で、九州地域における検証(山下, 2017)に引き続き、空間スケールが小さな変動に対する干渉 SAR の解析結果を用いた補正の有効性が示された。さらに、干渉 SAR のデータが得られない場合には断層モデルを用いた補正が有効となりうることが示唆された。他の地域でもこれらの手法が適用できるか、引き続き検証したいと考える。

謝辞

「だいち 2 号」の原初データは、国土地理院と宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の間の協定に基づき提供されました。「だいち 2 号」の原初データの所有権は、JAXA にあります。

参考文献

- 加古考範 (2017) : 電子基準点データによる水準点の標高変動補正～東北地域における検証～, 平成 29 年度高等測量研修.
- 兒玉篤郎, 加古考範, 山下達也 (2018) : 電子基準点データによる水準点の標高変動補正の検証 (第 2 年次), 平成 29 年度調査研究年報, 18-21.
- 国土地理院 (2016) : 平成 28 年 (2016 年) 10 月 21 日鳥取県中部の地震関連, 国土地理院地理地殻活動研究センター, <http://www.gsi.go.jp/cais/topic161027-index.html> (accessed 19 Mar. 2019).
- 鷺谷威, 西村卓也, 村上亮, 今給黎哲郎, 赤坂望 (2003) : 地殻活動観測データ総合解析システムの開発, 国土地理院時報, 101, 33-43.
- 山下達也 (2017) : 電子基準点データによる水準点の標高変動補正—九州地域における検証—, 平成 28 年度測地部測地基準課技術報告書.