

# 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4年次）

実施期間 平成28年度～令和元年度  
測地部測地基準課 高木悠 塩谷俊治

## 1. はじめに

これまで日本の標高体系は水準測量によって維持・管理されてきた。水準測量は高い精度で比高を測定することができる手法であるが、観測には多大な労力と時間を要する。そのため、全国的な改測には10年以上を要したり、地震によって地殻変動が生じた場合に標高成果を更新するのに数か月以上を要したりするといった課題がある。

測地基準課では、迅速かつ効率的に最新の標高を算出するため、地殻変動を連続的に観測している電子基準点のデータや地殻変動を面的に把握することが可能な干渉 SAR の結果等を用いた標高の算出方法を検証してきた（例えば、山下，2017；兒玉ほか，2018；加古ほか，2019）。これは、電子基準点のデータや干渉 SAR の3次元解析の結果を用いて、過去の水準測量の観測から新たな標高を算出するまでの地殻変動量を推定し、その推定量を用いて過去に得られている比高データを補正し、新たに網平均計算を行って標高を算出するというものである。

これまでの検証により、長波長の地殻変動は電子基準点データによって1cm程度の誤差で補正可能であることや、短波長の変動も干渉 SAR の3次元解析の結果を用いることによって2cm程度の誤差で補正可能であることが分かってきた。鳥取地区における検証（加古ほか，2019）では、干渉 SAR のデータが変動域を覆うことができない場合には、断層モデルを用いた補正方法によって改善されることが示唆された。そこで、本年度は干渉 SAR の解析結果や断層モデルを用いた方法を新たに北海道胆振地区に適用し、補正の有効性を検証したので、本稿でその結果を述べる。

## 2. 研究内容

### 2.1 対象地域

本研究の対象地域は北海道胆振地区である（図-1）。この地区では、平成30年9月6日に平成30年北海道胆振東部地震（Mj6.7、以下「胆振東部地震」という。）が発生した。これを受けて測地基準課では同年11月中旬から、総距離236kmの緊急水準測量を実施し、標高成果を改定した。この地区では、路線によって異なるが、平成13年度から平成25年度の間には水準測量が実施されている。そこで、この間に得られた比高データに対し、観測日から平成30年12月1日（緊急水準測量の実施期間の概ね中間日である。）までの地殻変動量を補正し、網平均計算を実施して標高を算出し、緊急水準測量によって得られた標高に整合するかを検証した。

比高データの補正量は、電子基準点データの日々の座標値（F3解）のみを用いる方法、電子基準点データと干渉 SAR の3次元解析の結果を用いる方法、電子基準点データと断層モデルを用いる方法の3つの方法を用いて推定し、それぞれの方法によって算出された標高値を比較することで3手法を用いてどの程度まで補正が可能であるかを検証した。以下では、加古ほか（2019）に倣い、これら3つの補正方法をそれぞれ CORS 補正、C+SAR 補正、C+FAULT 補正と呼ぶ。C+SAR 補正及び C+FAULT 補正では、地震時の変動量を干渉 SAR の3次元解析の結果又は断層モデルを用いて計算した変位量で補正し、それ以外の期間における地殻変動は電子基準点データで補正した。対象地域のうち、干渉 SAR の3次元解析の結果が得られていないエリアでは、地震時を含めて電子基準点データのみで補正

量を推定した。また、本研究で用いた断層モデルは、干渉 SAR の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，2018）であり，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。

以下では，平成 30 年の緊急水準測量によって得られた標高値を現状標高，平成 13 年度から平成 25 年度の間観測された比高データに基づく標高を過去標高，過去の比高データを補正して得られた標高を補正標高と呼ぶ。補正標高が現状標高に近いほど精度良く補正できていることを意味する。

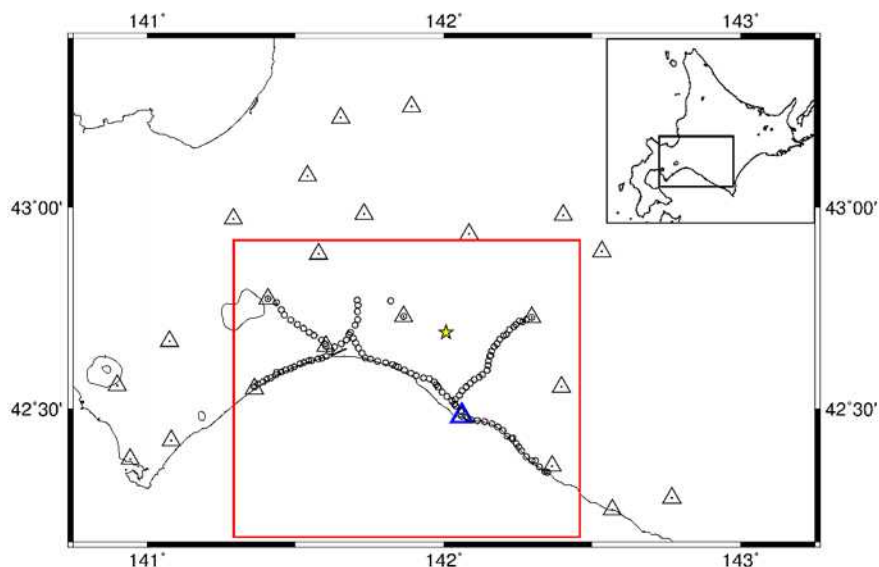


図-1 本稿で検証の対象とした北海道胆振地区。黄色の星印は胆振東部地震の震央である。白抜き丸が標高を算出した水準点，黒の三角が補正量を算出する際に用いた電子基準点を示す。青の三角は門別（950141）であり，本研究では補正に用いなかった。赤枠は図-2 で示す範囲である。

### 3. 結果

#### 3.1 電子基準点データのみを用いた補正

図-2(a)は現状標高と過去標高との差を示す。これが前回の観測から今回の観測までに生じた地殻変動といえる。本研究では電子基準点による補正を行う際，門別（950141）のデータを用いなかった。それは，図-2(a)でも見られる通り，門別の地震時の上下変動が周囲の水準点と調和しないこと，断層モデルから算出した上下変位と観測された上下変位が大きく乖離すること（国土地理院，2018）から，門別のデータは局所的な変動であり使用するのが適当でないと判断したためである。CORS 補正によって得られた補正標高と現状標高との差を図-2(b)に示す。この差が小さいほど精度良く補正できていることを表す。図-2(a)と図-2(b)は同様な結果となっており，CORS 補正によってはほとんど補正されていないことを意味している。これは，電子基準点の配置間隔に対して空間スケールが小さく，地震時の変動をほとんど補正できていないためであると考えられる。同様の結果が鳥取地区における検証でも得られており（加古ほか，2019），マグニチュードが 6~7 程度の中規模の地震による地震時変動は電子基準点のみでは補正できないことを意味している。CORS 補正による補正標高と現状標高との差の RMS は 4.1cm であった。

#### 3.2 電子基準点データと干渉 SAR の 3 次元解析の結果を用いた補正

C+SAR 補正によって得られた補正標高と現状標高との差を図-2(c)に示す。緑色で示す干渉 SAR の

3次元解析の結果を用いて補正した水準点（図-2(c)においてCで示す辺り）では、補正標高と現状標高との差が小さくなっている。補正標高と現状標高との差のRMSは3.4cmであり、CORS補正に比べて改善されていることが分かる。しかしながら、干渉SARのデータを用いて補正した水準点であっても、現状標高とは2-3cm乖離している場合がある。さらに、干渉SARのデータで補正できていない水準点では、依然として補正標高と現状標高との差はCORS補正と大きく変わらない。

### 3.3 電子基準点データと断層モデルを用いた補正

C+FAULT補正によって得られた補正標高と現状標高との差を図-2(d)に示す。地震時変動が大きかったと考えられる水準網の東側（図-2(d)の黒矢印で示す範囲）において、CORS補正やC+SAR補正に比べて現状標高との差が小さくなっている。差のRMSは2.3cmであり、3種類の補正方法のうちで最も小さかった。図-2(d)においてDで示す水準路線の交点付近は、現状標高との差が大きいが、これは断層モデルによる補正量が実際の地殻変動よりも大きくなってしまったためであると考えられる。

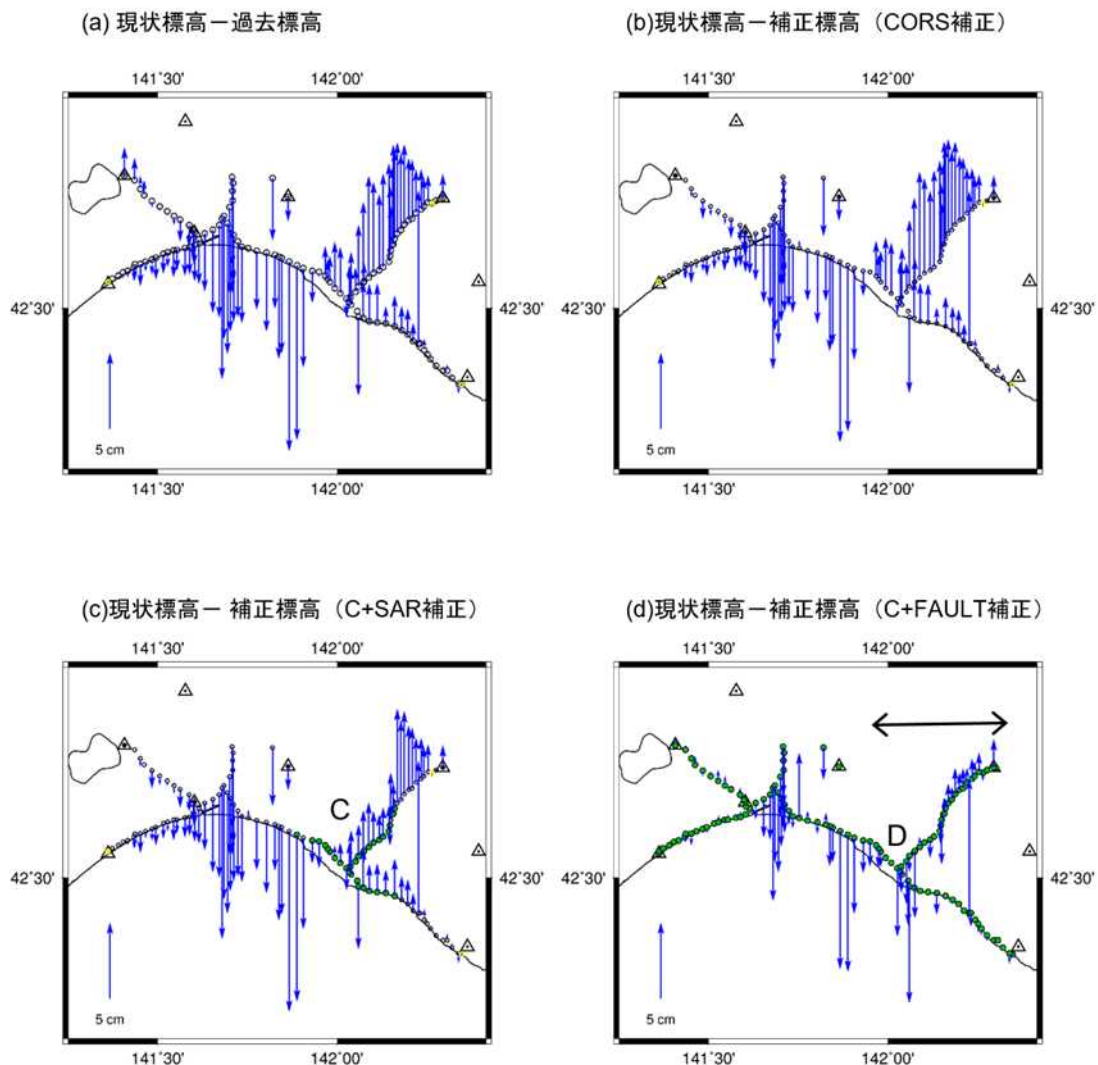


図-2 標高の差。青色の矢印が標高差を表す。丸と三角はそれぞれ水準点と電子基準点を表し、黄色の丸と緑の丸はそれぞれ固定点と電子基準点データ以外のデータも用いて補正量を算出した点である。(a)現状標高と過去標高との差。(b)CORS補正による補正標高と現状標高との差。(c)C+SAR補正による補正標高と現状標高との差。(d)C+FAULT標高と現状標高との差。

#### 4. まとめ

本稿では、平成 30 年北海道胆振東部地震が発生した北海道胆振地区を対象とし、各種測地データやモデル計算値によって補正した比高データを用いて網平均計算を実施することによって得られた標高（補正標高）が直接水準測量による現状標高と整合するかを検証した。その結果、電子基準点データを用いて補正した場合、地震時の変動は補正できていないことが分かった。これは鳥取地区における検証と同様の結果であり、中規模地震による地震時変動のような電子基準点の設置密度よりも短波長の変動は補正できず、電子基準点データ以外の情報を活用する必要があることを示していると考えられる。実際、干渉 SAR のデータを用いることにより、補正標高は現状標高に近づいた。断層モデルを用いて補正した場合、補正標高はさらに現状標高に近づいた。今回の補正において断層モデルを用いた方法が最も良かった理由は、北海道胆振地区では干渉 SAR の解析結果が得られた地域が狭く、補正できる範囲が限定的であったのに対し、断層モデルによる補正は水準網全体に適用することができたためであると考えられる。このことは、干渉 SAR の解析結果が得られる範囲が限られていても、それを用いて適切な断層モデルを構築することができれば、より広い範囲にわたる地震時変位を推定することができることを示している。

今回の補正計算では、断層モデルを用いた補正を行うことにより、差の標準偏差として 2cm 程度まで補正が可能であることが分かった。しかしながら、海岸付近の水準点を中心として、補正後も現状標高と差が 2cm を超えるような点が見られた。原因の一つとして液状化の影響が考えられる。現状では、このような非常にローカルな変動を補正することは難しいと言わざるを得ない。これまでの結果から、様々な測地データを用いた補正方法を用いることにより、数 cm 程度の精度までの補正が可能であることが分かってきた。しかしながら、ローカルな変動の影響や観測データの不足などにより、必ずしも全点で安定してこの精度が達成できるわけではなく、今後は測地データを使った補正と実測とを組み合わせ、最適な標高成果の管理方法を検討する必要がある。

#### 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，高木悠，山下達也（2019）：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），平成 30 年度調査研究年報，20-23.
- 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（2018）：平成 30 年北海道胆振東部地震の震源断層モデル（暫定），国土地理院地理地殻活動研究センター，<https://www.gsi.go.jp/cais/topic180912-index.html> (accessed 12 Mar. 2020).
- 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.