

# 三角点標高改算に関する調査研究（第3年次）

実施期間 平成17年度～  
測地部測地基準課 岩田 昭雄

## 1. はじめに

三角点の位置情報のうち水平位置については「測地成果2000」として改定されたが、標高については基準面に変更がないことに加え、水平位置算出に影響を与えるほどの誤差が相対的には認められないことから改定は行われなかった。このため、三角点の標高には三等三角測量以降の約100年間の地殻変動や地盤沈下等による変動が累積した状況となっている。

一方、水準点の標高は最近の観測値を用いて「2000年度平均成果」として改定され、地殻変動等による不整合が解消された値となっている。また、世界測地系移行後に測量の主要点として利用されている電子基準点（附属標を含む）においても、最新の解析によって求められた高精度な楕円体高とジオイドモデルにより2004年7月1日に標高値が改定されているため、基準点測量及び公共測量において、水準点及び電子基準点と三角点間の標高の不整合が生じており、不整合を解消した三角点の標高改定が必要となっている。

## 2. 研究内容

### 2.1 改定方針

三角点の標高改定では、以下の2つの条件を満たすものとしたうえで、現行成果の不整合を20cm以内に抑えることを目標とする。

- ①電子基準点の実用標高成果に準拠した標高値とする。
- ②水準点の2000年度平均成果とも整合を図る。

なお、全ての三角点の標高値を改測することは現実的には不可能である。そこで、効率的に標高改定を行うとともに、公共測量での負担を軽減するため、補正パラメータ方式を採用する。

さらに第3年次となる今年度においては、これまでの調査研究成果を踏まえ、約100年間の変動量が最も大きい北海道地域について引き続き検討を行い、早期に三角点の標高改定を実現することを目標とした。

### 2.2 採用する測量データ

三角点標高改算には、精密測地網高度基準点測量及び高度地域基準点測量（以下、「高度地域基準点測量」という。）のデータを用いて、三角点の標高成果を電子基準点の標高成果に結合させることとした。このデータは、三角点標高改算に関するデータ解析として、平成17年度に取りまとめられた高度地域基準点測量全国三次元網平均データを用いた。北海道地域においては、現段階の最近データが整備されている。

次のステップとして、三等三角点までの高精度かつ整合性の高い標高値を求めるため、高度地域基準点を固定点とした三等三角測量時の頂天距離（鉛直角）データによる高低同時網平均計算を行うこととした。平成17年度に取りまとめられた頂天距離データに漏れのある地域を再整備し、北海道本土全域の頂天距離データを構築した。さらに、固定点とする高度地域基準点の履歴調査を入念に行った。これまでの調査研究では、高度地域基準点から固定点を選定する際の復旧履歴調査をデータベースファイルに依存していたため、古い復旧履歴の取りこぼしが懸念された。三等三角測量時の標高成果値と現在の標高成果値を比較

し、変更のある高度地域基準点については詳しく履歴を調査し、設置当時の標石位置から変更があると考えられる点については固定点から外し、新点扱いとして網平均計算を実施した。これにより、高低同時網平均計算結果において、単位重量当たりの標準偏差 4.89 秒、新点の標準偏差全点 20cm 以内という、目標とした許容範囲内で三等三角点までの改算標高値を算出することができた。

補正パラメータの構築では、高度地域基準点測量及び頂天距離データによる改定量を採用するとともに、地域基準点及び基準点改測（以下、「基準点改測等」という。）が行われている三等三角点までについては、これら改測時の高低変動量を採用した。基準点改測等は、三等三角測量時の頂天距離データでは正確な標高が求められないと懸念される局所的な変動を抱える火山や地盤沈下地域で実施されており、改測時の高低変動量を採用することで、より信頼度の高い補正パラメータが構築可能となる。

### 3. 得られた成果

高度地域基準点測量のデータにより、電子基準点の実用標高成果に準拠した三角点改定標高を構築することとしたため、電子基準点の標高成果がどの程度、水準点成果と整合しているのか検証しておく必要がある。検証は電子基準点アンテナ底面成果を基に GPS 測量により決定されている電子基準点付属標高値と、近隣水準点から付属標に直接水準が取り付けされた測標水準値との比較で行った。北海道地域において測標水準値を有する電子基準点付属標 95 点（奥尻島 1, 2 を除く）の両者の較差は、絶対値の平均値で  $\pm 4$  cm、符号つき平均値で +2 cm、92% の 87 測点で較差 10cm 以下であった。10cm を超える較差は、海岸線部分の付属標に存在しており、ジオイドモデルの精度に依存しているように思われる。なお、同様な全国の電子基準点付属標 413 点の較差においても、絶対値の平均値で  $\pm 4$  cm、符号つき平均値で +1 cm、93% の 386 測点で較差 10cm 以下となっている。これらの結果より、電子基準点の実用標高成果を用いて三角点の標高改算を行っても、水準点の 2000 年度平均成果と十分に整合が図れることが確認できた。

電子基準点の実用標高成果に準拠した改算標高値が求められた 4,897 点の一～三等三角点の改定量を元に、補正パラメータを構築した。補正パラメータのグリッドデータ化には Kriging 法を用いて、変動量推定を行った。構築した補正パラメータの外部評価として、過去 2 年間の調査研究と同様な平成 16～17 年度に実施した検証作業の 80 点に加え、平成 17～18 年度に実施した改測点 301 点において検討を行った。80 点の検証作業での評価結果は、表 1 のとおりであり、過去に検討され良好な結果を示した補正パラメータとも遜色のない結果が得られている。平成 17～18 年度に実施した改測点 301 点における評価結果においても、実測値に基づく改測量と補正パラメータによる補正量との比較で、改測点数の 73% にあたる 221 点が  $\pm 20$ cm、90% にあたる 270 点が  $\pm 40$ cm の較差に収まることが確認できた。評価に用

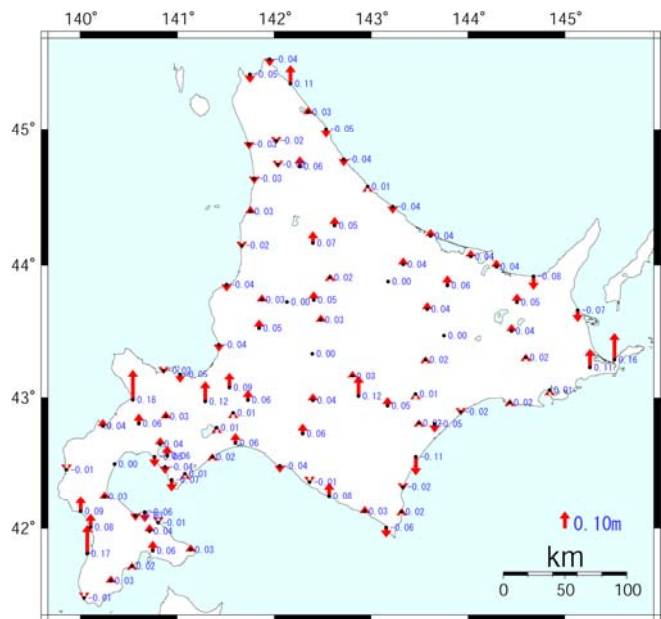


図 1 付属標標高と測標水準値との比較

表 1 検証測量点における評価結果 (単位: m)

区分	検証結果	補正パラメータ	過去の補正パラメータ
Max	0.616	0.566	0.670
Min	-0.881	-0.765	-0.743
Average	0.146	-0.007	0.126
Stdev	0.289	0.199	0.194

いた点は、成果不整合地域のため改測された四等三角点であるため、道内の整合性の悪い地域においても、ほぼこの程度の精度で補正が可能なパラメータが構築できたこととなる。

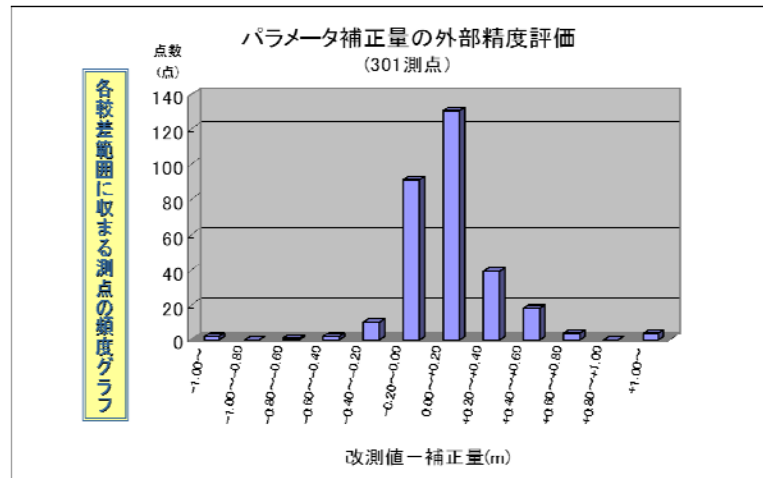


図-2 補正パラメータの外部精度評価結果

#### 4. 結論

##### 4. 1 成果改定への取り組み

今回得られた改算標高値及び標高補正パラメータは、十分に三角点標高成果改定に用いることが可能なものであることが確認できた。このため、北海道本土全域（離島除く）に位置する未改測の四等三角点及び二等多角点においても標高補正パラメータにより補正を行い、総点数 14,528 点の基準点の標高成果を平成 20 年 5 月に改定することとした。

さらに、国及び地方公共団体等の公共測量成果を改定標高と整合させるため、標高を補正するソフトウェア PatchJGD（標高版）の開発を行った。PatchJGD（標高版）は利便性を考慮し、既に公表及びダウンロードを許諾している地殻変動対策座標補正ソフトウェアである PatchJGD の使用方法及びデザインを踏襲して開発した。また、測量指導課と調整を図り、公共測量成果を改定する際の指針を示す「公共測量成果改定マニュアル」の見直しを行った。このマニュアルは、国土交通省公共測量作業規程第 16 条（機器等及び作業方法に関する特例）により準用可能なものとなる。

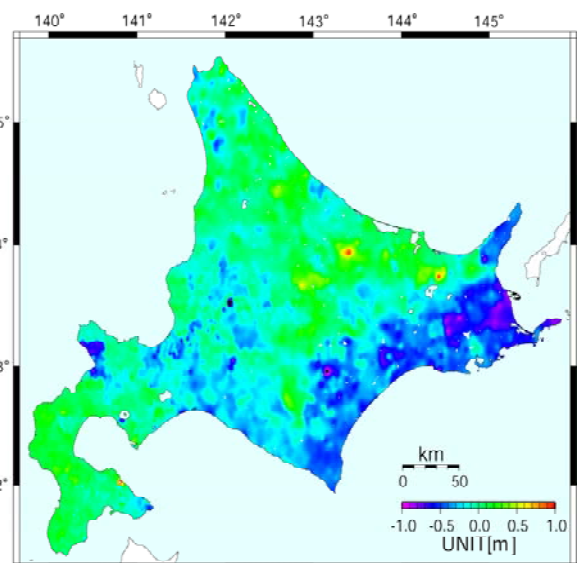


図-3 補正パラメータ構築に用いた三角点の標高改定量図

##### 4. 2 まとめ

今回の調査研究により、当初目標に掲げた不整合を 20cm 以内に抑えるとともに、電子基準点の標高成果に準拠し、水準点の 2000 年度平均成果とも整合を保った、三角点の標高改算を行うことが可能となった。今回の手法は、実際に標高改定を行った北海道地域だけでなく、全国の同様な三角点標高不整合地域でも実施可能なものである。また、標高成果改定に伴い、公共測量での負担軽減と指針を示すために開発、作成した PatchJGD（標高版）及び公共測量成果改定マニュアルは、今後、地震や火山等に伴う地殻変動の際の成果改定にも利用可能なものである。国家基準点成果のみを高精度に改定したとしても、その成果を基に作成された細部の公共測量成果の改定までをケアしなければ、国土地理院の使命を果たしたとはいえず、

今後の重要な施策につながったと考える。

公共測量成果改定マニュアルでは、標高改定については基準点成果の補正のみの記載となっている。地形図等には基準点の成果として標高数値が記載され、また、この数値に基づき等高線も今の地目では縮尺毎の規定として定められているものであり、特に詳細に描画されていないので、補正を施すことは困難との解釈である。ただし、今後作成が進むであろう数値地形図については、今後、何らかの手法で標高補正が行えるツールを提示することが望まれる。

#### 参考文献

黒石裕樹（2001）：ジオイド・グリッド・ファイルに対する処理ソフトの解説，技術報告。

安藤久，佐々木正博，畑中雄樹，田中和之，重松宏実，黒石裕樹，福田洋一（2002）：「日本のジオイド2000」の構築，国土地理院時報，97，4－8。

飛田幹男（2002）：世界測地系移行のための座標補正ソフトウェア”TKY2JGD”，国土地理院時報，97，4－9。

国土地理院（2003）：測地成果2000構築概要，国土地理院技術資料 B・5－No. 20。

湯通堂亨，雨貝知美，小島秀基，矢萩智裕，岩田昭雄，畑中雄樹（2004）：アンテナ位相特性に関する研究，調査研究年報 A・4－No. 3。

齋田宏明（2003）：三角点標高改算手法について，高等科報告書。

飛田幹男（2005）：地殻変動に伴う座標補正を行なう座標補正ソフトウェア”PatchJGD”，国土地理院技術資料 H・1－No. 5。

国土地理院（2006）：三角点標高改算に関するデータ解析作業 報告書。