

北海道地域の三角点標高成果改定について The Revision of Altitudes of Triangulation Points in Hokkaido

測地部 岩田昭雄
Geodetic Department Masao Iwata

要 旨

2008 年 5 月 1 日に北海道本土全域の 14,528 点の三角点等の基準点標高成果を、測量の主要点として利用されている電子基準点の標高成果に準拠した数値に改定した。これにより周辺基準点の標高の整合性が向上し、より高精度な測量が実施可能になった。

また、国及び地方公共団体等においては、所有する公共測量成果を改定した標高成果と整合させることが必要となることから、この公共測量を円滑に進めるため、標高を補正するソフトウェア「PatchJGD（標高版）」を開発し、標高補正パラメータとともに国土地理院のホームページ上で公開を開始した。さらに、企画部測量指導課と調整のうえ、公共測量成果を改定する際に使用する「公共測量成果改定マニュアル」の改定を行った。このマニュアルは、作業規程の準則（国土交通省告示第 413 号）を規範として定める国土交通省公共測量作業規程の「機器等及び作業方法に関する特例」により使用可能と位置づけられている。これら公共測量での標高成果改定の負担軽減と指針を示すために開発、改定したソフトウェア及びマニュアルは、今後、地震や火山に伴う地殻変動の際の標高成果改定にも大いに利用可能なものである。

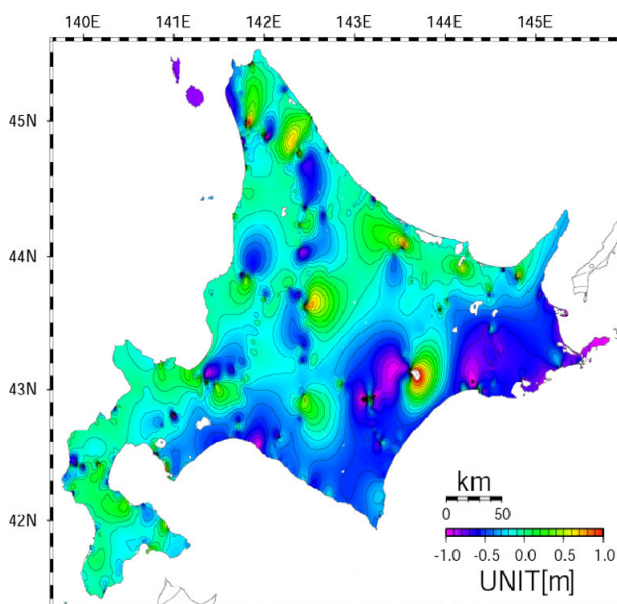
本稿は、約 100 年ぶりとなる北海道本土全域の広域な三角点の標高成果改定に用いた計算手法や得られた成果、取り組んだ施策の概要をまとめたものである。

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、電子基準点（付属標を含む）においても、最新の解析戦略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、水準点及び電子基準点と三角点と

の間の標高の不整合が生じる場合が多い。

特に北海道地域では、昭和 27 年（1952 年）十勝沖地震、平成 6 年（1994 年）北海道東方沖地震、平成 15 年（2003 年）十勝沖地震など数多くの地震や、十勝岳や有珠山などの火山活動による地殻変動、さらに旧産炭地での地盤沈下等によって全道的に標高が大きく変動しており、この間の水準測量結果によると約 100 年間で最大 2 m 近い変動を抱える地域が存在している。



図－1 水準点から求めた約 100 年間の標高変動量

このような状況の中、平成 15 年（2003 年）十勝沖地震に伴う基準点成果の修正において、歪みの大きな地域の三角点等の水平位置成果に関しては改測及び補正パラメータにより修正したものの、標高成果については未修正のままとなっていた。電子基準点については、付属標を含め標高成果も同時に修正しているため、両者の標高成果の不整合はさらに拡大し、大きな乖離が存在することになった。また、水準点においても「2000 年度平均成果」に地震に伴う変動量を補正して成果を修正しているため、三角点の標高成果のみ大きな不整合を抱えた状態となっていた。

このため、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との標高の不整合を解

消した三角点の標高成果改定を行う必要性が高まっていたため、北海道全域（離島除く）の三角点標高成果改定事業に取り組んだ。

2. 標高改定方針

今回の三角点標高成果改定では、以下の2つの条件を満たすものとしたうえで、標高成果の不整合を20cm以内に抑えることを目標として進めた。

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、公共測量での標高成果改定の負担を軽減するため、補正パラメータ方式を採用することとした。

また、これまでの調査研究結果により、水準点の設置当時から最近値による変動量と与件として補正パラメータを構築した場合、三角点の実測検証データとは補正量の整合性が十分図れないことが確認されていたため、今回の改定計算では、水準点の変動量は与件には用いないこととした。

このような方針で標高改定計算を進めることとしたため、使用するデータとして、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。）、三等三角測量時の頂天距離データ、基準点改測作業時の高低変動量の順に用いて計算を進めていく計画とした。

3. 標高改定計算

3.1 電子基準点標高値の検証

電子基準点の実用標高成果を用いて、三角点の改定標高を求めることとしたため、電子基準点の標高成果がどの程度、水準点の最新成果である「2000年度平均成果」と整合しているか確認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の標高値と、近隣水準点から直接水準測量により取り付けられた付属標の測標水準値との比較で行った。北海道地域においては、測標水準値を有する付属標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±4cm、符号つき平均値で+2cm、92%の87測点で較差10cm以内であった。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±4cm、符号つき平均値で+1cm、93%の386測点で較差10cm以内となっている。

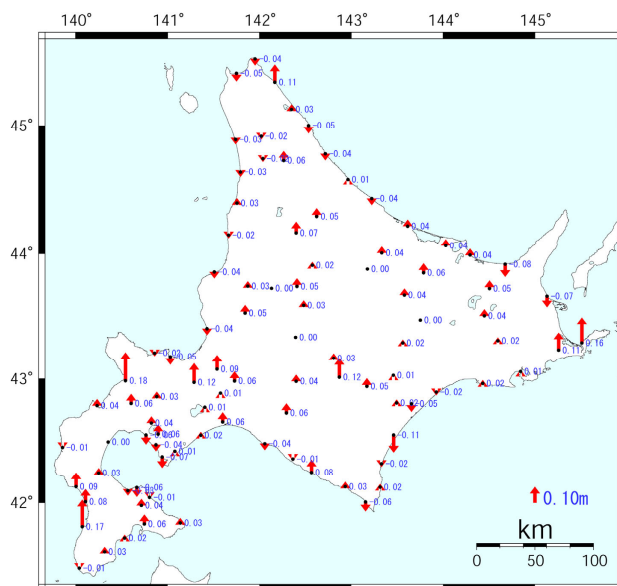


図-2 付属標標高値と測標水準値との較差

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定を行っても、水準点の「2000年度平均成果」とジオイドモデルの精度の範囲内で十分に整合が図れることが確認できた。このことは、電子基準点の実用成果に準拠して三角点の橢円体高成果を整備しておくことで、将来、ジオイドモデルが高精度に更新された際には、この橢円体高成果を基に水準点の「2000年度平均成果」ともさらに整合が図れる標高成果を構築できることになる。

3.2 高度地域基準点の標高計算

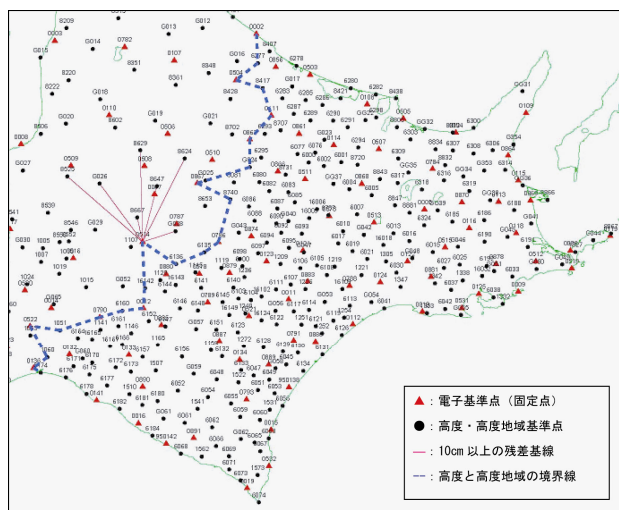
三角点標高改定計算には、高度地域基準点測量のデータを用いて、三角点の標高成果を電子基準点の標高成果に結合させることとしたため、「三角点標高改算に関するデータ解析」として、平成17年度に取りまとめられた高度地域基準点測量全国三次元網平均用データを使用した。北海道地域においては、平成19年度時点の最新測量データが整備されていた。この高度地域基準点測量全国三次元網平均用データは、以下の指針に基づき構築されている。

- ・ 重複した基線ベクトルについては、最新の観測データが採用されている。
- ・ 重複した基線ベクトルにも関わらず、ベクトル量が大きく異なる場合には、実用成果から算出したベクトル量を基準に採用データを選択している。
- ・ 偏心観測を行っている観測点については、偏心補正を行い、本点上の基線ベクトルに換算している。
- ・ GAMITによる精密基線解析結果ファイルを元に構築しているため、平均図には示されていない独立でない基線ベクトルも含まれている。（同一

セッション内の全高度地域基準点間と電子基準点から各高度地域基準点への放射状の基線ベクトルで構成されている。）

この高度地域基準点測量全国三次元網平均用データにより、総基線ベクトル 7,180 基線を用いて、電子基準点 461 点の実用成果を固定し、高度地域基準点 1,102 点の座標最確値を求めた。標高算出に使用したジオイドモデルは gsigome.ver4 ファイルである。網平均結果は、後驗的分散係数で $0.1674250634E+02$ 、単位重量当たりの標準偏差で $0.4091760787E+01$ となった。高度地域基準点 1,102 点のうち、北海道の標高改定範囲に位置する三角点として 354 点が該当した。

三次元網平均計算の精度評価としては、各基線ベクトルの残差に着目して検討を行った。基線ベクトルの各成分の残差において 10cm を超えるものについて抽出したが、北海道地域に係る基線では、平成 15 年（2003 年）十勝沖地震に伴う基準点成果修正の境界に位置する電子基準点「富良野（960514）」から放射状に、高度基準点測量の観測量である 7 基線が該当した。



図－3 三次元網平均による基線ベクトル残差評価図

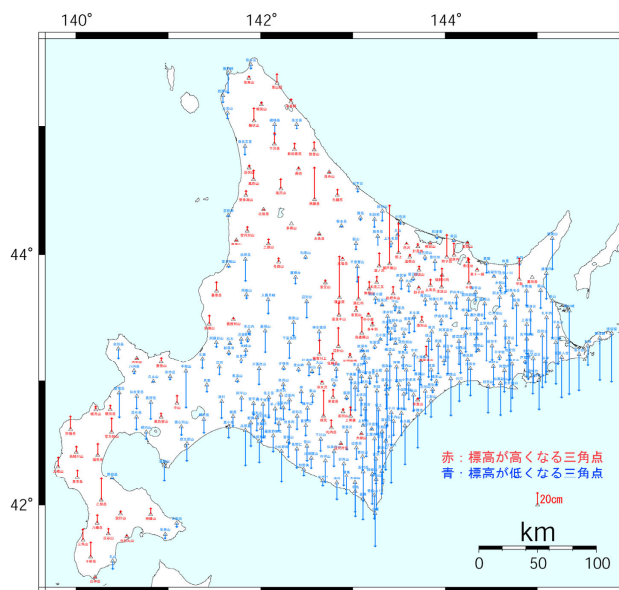
表－1 三次元網平均による基線ベクトル残差表
－残差 10cm 以上の基線を抽出－

起点番号	起点点名	終点番号	終点三角点名	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$
960514	富良野	8525	雨龍山	0.0168	0.0787	0.1330
960514	富良野	8624	安足山	-0.0229	0.0770	0.1237
960514	富良野	8629	鷹栖台	0.0168	0.0787	0.1330
960514	富良野	8647	辺別台	-0.0229	0.0770	0.1236
960514	富良野	8667	那英山	-0.0229	0.0770	0.1236
960514	富良野	G026	入霧月峰	0.0169	0.0787	0.1330
960514	富良野	G028	神女徳岳	-0.0230	0.0769	0.1237

電子基準点「富良野（960514）」は、2004 年 7 月の電子基準点標高成果改定の改定量が 156mm と、北海道内では千歳（960523）の 160mm に次いで 2 番目に大きかったことに加え、地震後の高度地域基準点

測量と地震前に実施していた高度基準点測量の新旧両データが結合する境界部に位置していたためと推測される。原因が推定でき、高度基準点測量の成果データであるため、このまま採用することとした。

この 7 基線以外では北海道内の高度基準点及び高度地域基準点で 10cm を超える残差が生じた基線は存在していなかったため、算出された標高最確値を採用することにした。高度地域基準点 354 点の改算標高値の実用成果に対する改定量を図－4 に示す。



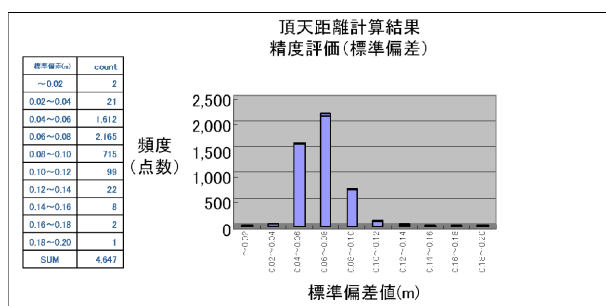
図－4 高度地域基準点の標高改定量図

3.3 頂天距離データによる標高計算

三等三角測量時の一～三等三角点の標高は、当時としては現在行っているような電子計算機による厳密計算が不可能であったため、幾つかの地区毎に分割する逐次計算が行われていたとともに、全ての観測データを用いることも不可能であったため、三角点間の距離が短かつ整合性の高い路線のみを取捨選択し、各三角点の標高を決定していた。このため、地区境(部号境)には不整合が見られる場合が多く、同一地区内においても隣接周辺三角点との整合性が十分でない場合が多い。このような状況から、高低同時網平均計算を行うことで、現在の実用標高成果値に影響されず、部号境の不整合を解消し、隣接周辺三角点との整合性の向上を図った改算標高を得ることが可能と考え、電子基準点の実用成果に準拠した高度地域基準点の改算標高値を細部の三角点に展開する方法として、三等三角測量時の全ての頂天距離データを用いた高低同時網平均計算を行うこととした。

北海道地域においては、三等三角測量は明治 44 年（1911 年）から大正 9 年（1920 年）にかけて行われている。頂天距離データについては、平成 17 年度

「三角点標高改算に関するデータ解析作業」で整備されたデータに、漏れのあった 699 部、700 部、701 部、702 部、739 部の 5 部号のデータを追加し、北海道全域（離島除く）のデータとして再整備した。さらに固定点となる高度地域基準点の三等三角測量当時の標高成果値と実用標高成果値とを比較し、変更のある点については復旧履歴データベースファイルと合わせて、履歴調査を入念に実施し、設置当時の標石位置から移転、再設等で変更があると考えられる点については固定点から除外し、未知点扱いとして高低網平均計算を実施することとした。その結果、88 点の高度地域基準点については未知点扱いに振り替え（頂天距離データが存在しない 1 点は除く）、固定点 265 点、未知点 4,647 点の高低同時網平均計算を行った。高低網平均計算の結果は、単位重量当たりの標準偏差 4.89 秒、未知点の標準偏差全点 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三等三角測量当時の位置に基づく改算標高値を算出することができた。



図－5 高低同時網平均計算の標準偏差グラフ

未知点扱いに振り替えた 88 点の高度地域基準点を除く 4,559 点の三角点の現位置に基づく改算標高値は、

$$H_2 = H_1 + dH$$

ただし、

H_2 ：現位置に基づく改算標高値

H_1 ：三等三角測量時の位置に基づく改算標高値
(高低網平均計算による標高最確値)

dH ：(実用標高成果－三等三角測量時の標高成果)により算出した。

3.4 二次基準点測量データの利用検討

三等三角測量時の頂天距離データにより一～三等三角点の改算標高を算出したものの、局所的な変動を抱える火山や地盤沈下地域では、約 100 年前の測量データであるため、十分に現在の標高値を示していない恐れがある。このため、さらに高精度な改算標高を得るため、このような地域を対象に成果更新を目的に実施されていた精密測地網二次基準点測量

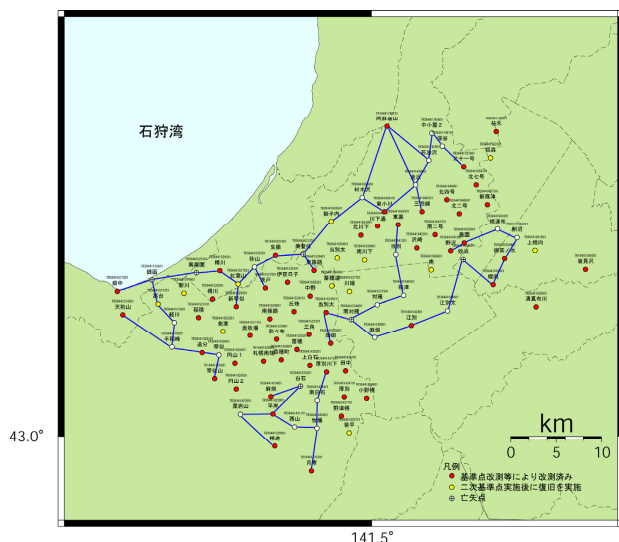
の鉛直角データの利用を検討した。北海道地域において実施された二次基準点測量は、表－2 のとおりである。

表－2 北海道地域二次基準点測量一覧

地区名	部号	点数	測量方式	実施年度	実施目的
幌延	26	10	三角混合	昭和51年度	鉱害
赤平	35	16	三辺	昭和52年度	鉱害
有珠	46	13	三辺	昭和52年度	火山
札幌手稲	48	20	混合	昭和53年度	泥炭・都市
札幌茨戸	49	17	混合	昭和53年度	泥炭・都市
札幌東	59	14	三辺	昭和54年度	泥炭・都市
札幌西	69	4	三辺	昭和54年度	泥炭・都市
月形	71	9	多角	昭和54年度	泥炭・都市
白石	72	12	多角	昭和55年度	泥炭・都市
対雁	73	6	多角	昭和55年度	泥炭・都市
江別	83	6	多角	昭和56年度	泥炭・都市
岩見沢	94	7	多角	昭和57年度	泥炭
旭川	115	11	三辺	昭和59年度	都市
函館	129	14	三辺	昭和60年度	成果不良
七飯	130	7	三辺	昭和60年度	成果不良
屈斜路	141	14	三辺	昭和61年度	震災
室蘭	G186	14	GPS	平成2年	成果不良
伊達	G193	10	GPS	平成3年	成果不良
帯広	G201	10	GPS	平成4年	—
合計 19地区		214			

二次基準点測量を実施した地区を調査したところ、19 地区中、旭川、函館、七飯の単独な 3 地区においては、電子基準点と取付測量が行われている三角点が含まれていないため、現状では固定点を配置することができないことが判明した。今回の標高改定では、電子基準点の実用標高成果に準拠した三角点標高を構築することとしているため、高度地域基準点測量、または地域基準測量、基準点改測（以下、「基準点改測等」という。）が実施されている三角点が含まれている必要がある。また、二次基準点測量を実施した三角点では、総点数 219 点中、108 点においては高度地域基準点測量または基準点改測等が実施された三角点であることが判明した。言い換えれば、上記 3 地区を除いて、二次基準点測量が実施された地域で基準点改測等が再度実施されていたこととなる。また、31 点については、二次基準点測量実施後に移転または再設（亡失含む）の復旧測量が行われているため、これらの三角点においては二次基準点測量データがそのまま利用できないことも判明した。

このような状況であったが、可能な限り二次基準点測量のデータを利用する方針で検討を進めた。昭和 53 年度～昭和 57 年度に実施され接合している札幌市周辺の 9 地区の三角点配置状況図を図－6 に示す。



図－6 札幌周辺地域二次基準点状況図

状況図から分かるように、二次基準点測量を実施した 95 点のうち、56 点は高度地域基準点測量または基準点改測等が再度実施された三角点である。また、15 点（興農園、南対雁を含む）は、二次基準点測量以降に復旧測量が行われているため、二次基準点測量データを用いての標高改算は行えない。亡失点 4 点を含む 24 点の二次基準点測量データを用い

表－3 二次基準点測量データによる
改算標高値と改定量

地区名	基準点コード	点名	実用成果 標高(m)	二次改算 標高(m)	改定量(m)	頂天距離データ による改定量(m)
札幌地域	TR26441518601	銭函	8.58	8.50	-0.08	-0.17
	TR36441529701	砂山	11.22	11.05	-0.17	-0.24
	TR36441513801	鞍川	119.22	119.16	-0.06	-0.58
	TR36441510801	手榴峰	595.54	595.48	-0.06	-0.36
	TR36441429401	琴似	28.07	28.04	-0.03	-0.20
	TR36441631201	美登比	2.96	2.90	-0.06	-0.31
	TR36441638901	材木沢	70.56	70.41	-0.15	-0.17
	TR26441649501	金沢	126.24	125.80	-0.44	-0.24
	TR36441742601	石油沢	171.70	171.34	-0.36	-0.29
	TR36441745601	中小屋2	309.40	309.08	-0.32	-0.25
	TR36441744701	深谷	20.36	20.06	-0.30	-0.26
	TR36441435201	白石	28.68	28.66	-0.02	-0.17
	TR36441422601	藻岩山	531.03	531.03	0.00	-0.21
	TR36441431101	西山	92.53	92.45	-0.08	-0.17
	TR36441430401	牧場	61.73	61.62	-0.11	-0.20
	TR36441434401	南白石	20.09	19.92	-0.17	-0.13
	TR26441641301	当別	9.65	9.80	0.15	-0.35
	TR36441546301	篠津	7.27	7.22	-0.05	-0.27
	TR36441537901	対雁	8.02	7.93	-0.09	-0.42
	TR36441540001	麻畑	27.31	27.17	-0.14	-0.38
	TR36441650001	砂浜	8.14	7.84	-0.30	-0.22
	TR36441654301	幌達布	9.41	9.37	-0.04	-0.22
	TR36441653601	鮎沼	9.12	9.15	0.03	-0.11
	TR36441544801	江別太	6.32	6.14	-0.18	-0.20
				標準偏差	0.136	0.105
幌延地区	TR36741467801	太田山	171.12	170.93	-0.19	-0.38
	TR36741479401	江辺頃別2	208.21	208.33	0.12	-0.18
	TR36741375701	炭山沢	272.44	272.37	-0.07	0.18
	TR26741370601	班基平	313.18	313.04	-0.14	-0.10
	TR26741379001	幌延	112.78	112.96	0.18	-0.15
				標準偏差	0.162	0.204
赤平地区	TR36542209801	大谷ノ沢	320.88	320.89	0.01	-0.23
	TR36542301201	中幌倉	309.83	309.94	0.11	-0.17
	TR36541278901	下幌倉	43.13	43.06	-0.07	-0.20
	TR36541275701	下赤平	147.96	147.99	0.03	-0.19
	TR36541272801	一ノ沢	205.02	205.13	0.11	-0.15
	TR26541273501	石山	237.20	237.14	-0.06	-0.15
				標準偏差	0.079	0.029
屈斜路地区	TR36544325501	中島	355.16	354.96	-0.20	-0.10
	TR26544310701	樺狩山	974.44	974.42	-0.02	-0.15
	TR36544222601	育留森山	755.24	755.01	-0.23	-0.31
	TR26544237801	雄武連山	504.08	503.85	-0.23	-0.20
	TR26544139201	美羅尾山	553.95	553.66	-0.29	-0.28
				標準偏差	0.103	0.089

た改算標高を求めるため、二次基準点測量の観測図に基づき、状況図に青線で示した平均図により高低網平均計算を行った。二次基準点測量を実施した 13 点を全て基準点改測で改測済みの昭和 52 年度「有珠地区」を除き、他の地区においても同様な方法により、二次基準点測量データにより未改測点の改算標高値を求めた。求められた改算標高結果は、表－3 のとおりである。

二次基準点測量データによる改算標高値の実用成果に対する改定量を評価すると、頂天距離データによる改定量に比べ全体としてバラツキが大きい結果となった。これは、三等三角測量網に比べ、二次基準点測量データによる改算網の網が弱いためと推測され、周辺三角点との整合性が十分でない改算標高が求められていると懸念された。このような結果を受け、今回の標高改定計算においては、二次基準点測量データは利用しないこととし、代替として補正パラメータ構築には基準点改測等の高低変動量を積極的に利用することとした。

3.5 特殊な処理を行った三角点

高度地域基準点については、平成 19 年度に復旧測量作業を実施中の 5 点の三角点を除き、全国三次元網平均計算で求めた改算標高を改定標高値とした。また、基準点改測等や平成 14 年度以降に電子基準点を既知点として移転（再設法による）、再設された三角点については、原則として、頂天距離データによる改算値を用いるのではなく、現実用成果のまま改定しないこととした。これは、頂天距離データによる改算値より高精度で、かつ電子基準点成果に基づく標高成果を既に有しているためである。ただし、平成 17 年度に十勝沖地震に伴い基準点成果が修正された範囲で、基準点改測等が実施されていた三角点については、その際に既知点とした電子基準点の標高成果修正量の平均値をオフセットとして実用成果に補正した標高を改定標高とした。

また、幌別（TR26341408701）、汐首山（TR36240475701）、藻岩山（TR36441422603）の 3 点の屋上標は、各地上標識の頂天距離データによる改定量を補正量として、実用成果に補正し改定標高を算出した。

4. 標高補正パラメータ

4.1 標高補正パラメータの構築

一～三等三角点の標高改定量に基づき、四等三角点及び公共測量の標高成果を補正するための標高補正パラメータの構築を行った。標高補正パラメータは、地殻変動対策座標補正プログラム PatchJGD 用の座標補正パラメータ作成に準じて構築した。パラメータ構築に用いる変動データは、一般的には一～三等三角点の改算標高値の実用成果に対する改定量と

したが、基準点改測等が行われた一～三等三角点については、改測時の高低変動量とした。(図-7 参照)

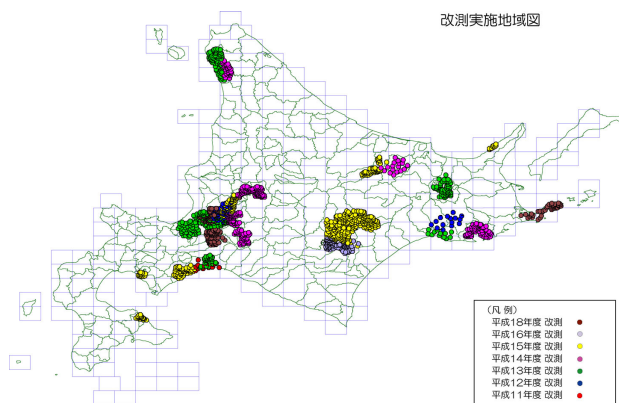


図-7 基準点改測等の実施状況図

これにより、三等三角測量時の頂天距離データでは正確な改算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帯においても、より信頼度の高い補正パラメータが構築可能となる。

一～三等三角点4,914点の変動データを整理したが、周辺三角点と明らかに変動データの様相が異なる17点は除外点としたため、4,897点の変動データを与件として補正パラメータを構築した。Transform3.4を用いて、グリッドデータ化はKriging法により各3次メッシュコード南西角グリッド上の変動量推定を行った。なお、補正パラメータファイルは、PatchJGD用の座標補正パラメータと同様に、3カラムのスペース区切りファイルとして、3次メッシュコード、推定標高変動量、予備データ(ダミー:0.00000を入力)で構成した。

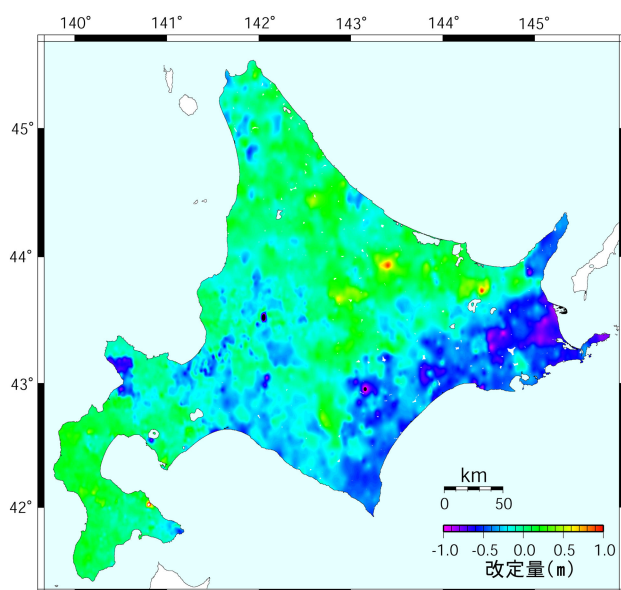


図-8 標高補正パラメータ構築に用いた三角点の標高改定量(4,897点)

4.2 標高補正パラメータの評価

構築した補正パラメータの外部評価として、過去の調査研究で試作した補正パラメータにおいても評価に使用している平成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四等三角点301点を新たに用いて検討を行った。

表-4 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

80点の検証作業での評価結果は、表-4のとおりであり、過去に検討され良好な結果を示した試作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、実測値に基づく改定量と補正パラメータによる補正量との比較で、評価点総数の73%にあたる221点が±20cm、90%にあたる270点が±40cm以内の較差に収まることが確認できた。評価に用いた三角点は、成果不整合地域に位置する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は補正が可能なパラメータが構築できたこととなる。

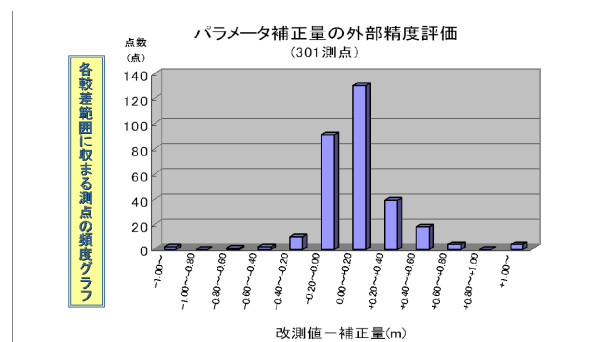


図-9 標高補正パラメータの外部精度評価結果

構築した補正パラメータを用いて、北海道内の9,443点の四等三角点及び二等多角点等の標高補正を行い、改定標高値を算出した。

以上今回採用した一連の標高改定計算手順をまとめると、図-10のような流れとなる。

三角点標高成果改定計算手順

電子基準点実用成果に基づき高度地域基準点標高値を算出

高度地域基準点標高値を固定し、三等三角測量時の高度角を用いた高低同時網平均を行い改算標高値を算出

局所的な変動地域帯は電子基準点を用いた改測における標高変動量を採用

一～三等三角点の改定量により道内全域(離島除く)の標高補正パラメータを構築

構築した標高補正パラメータにより、四等三角点、二等多角点等の標高成果を補正

図-10 実施した三角点標高改定手順

5. 標高補正ソフトウェアの開発

四等三角点等の補正パラメータによる補正標高値の算出には、座標補正プログラム PatchJGD を使用し、出力ファイルを編集して対応したが、公共測量成果の改定を考慮すると、ユーザがトラブルなく簡便に精度を確保した標高補正を行うためには、標高補正用のプログラムを開発する必要がある。座標補正プログラム PatchJGD を参考に、標高補正のみを行う標高補正プログラム「PatchJGD (標高版)」の開発を行った。地震等に伴う地殻変動によって生じた基準点成果の補正については、その様相により水平位置のみが対象になる場合と、標高を含めて対応しなければならない場合、または範囲が想定されるため、開発した補正プログラムは、あえて座標補正を切り離し標高補正のみを行うツールとした。

PatchJGD (標高版) はユーザの利便性を最重点として、既に公開及び利用されている座標補正プログラム PatchJGD のダウンロード方法、使用方法及びデザインを踏襲した。国土地理院ホームページ上に掲載し、Web 上の GUI 入力セルにデータを入力して1点ずつ補正する Web 版と、ユーザが補正パラメータとともにプログラムファイルをダウンロードし、個々の Windows パソコンにインストールして使用するタイプがある。パソコンにインストールして使用するプログラムでは、入力セルにデータを入力して1点ずつ補正する方法と、あらかじめ入力データファイルを準備することで、複数点の処理をまとめて一括変換して出力ファイルに保存する方法が可能となっている。また、逆補正や補完の詳細表示などのオプションも座標補正プログラム PatchJGD と同様に備えている。なお、どちらのタイプの補正においても、補正標高値結果は 0.001m 単位に四捨五入して表示(出力)され、結果に違い生じない。

また、企画部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」の改定を行った。作業規程の準則には、新たに復旧測量として、改測、改算についても規定されていることから、マニュアルは補正ソフトウェアによる座標及び標高の補正に限定したものとなっている。ただし、地形図等には基準点の標高数値が記載されているとともに、この数値に基づき等高線も詳細に描画されているため、補正ソフトウェア等により図に補正を施すことは現状では困難なことから、標高補正については基準点成果の補正のみを規定している。

6. まとめ

今回取り組んだ北海道地域の三角点標高成果改定点 14,528 点の内訳は、表-5 のとおりである。

表-5 標高成果改定点数の内訳

区分	処理点数	改定点数	改定除外点数	理由
高度地域基準点(改算)	358 点	349 点	4 点	範囲外(離島部)
改定点数349点の内訳	I△ 185 点 II△ 69 点 III△ 95 点		5 点	平成19年度復旧測量実施中
頂天距離データによる改算	4,561 点	4,371 点 ¹⁾	189 点 ⁴⁾	1 点 既知点処理済み 平成14年度以降の復旧測量点
地域基準点測量 ¹⁾		(4,322 点)	49 点	既知点とした電子基準点の修正量を補正
基準点改測 ²⁾		(4,265 点)	57 点	既知点とした電子基準点の修正量を補正
頂天距離データによる改算量を使用	3 点	3 点		既知点
基準点改測時の高低変動量を使用	7 点	7 点		既知点
以上総数4,381点の内訳	I△ 18 点 II△ 831 点 III△ 3,532 点			頂天距離データなし
新設四等三角点	54 点	54 点		既知点とした電子基準点の修正量を補正
基準点改測(四等三角点)	301 点	301 点		既知点とした電子基準点の修正量を補正
補正パラメータによる変換				
一等三角点(基線端点)	2 点	2 点		
四等三角点	7,099 点	7,099 点		
国境点	139 点	139 点		
小等三角点	45 点	45 点		
二等多角点	2,158 点	2,158 点		
合計	14,724 点	14,528 点		

¹⁾既知点とした電子基準点の修正量が“0”のため、補正されなかった10点を除く。

²⁾既知点とした電子基準点の修正量が“0”のため、補正されなかった210点を除く。

^{3,4)}後に平成18年度に改測された石狩、根室地区に位置する二等三角点2点、及び三等三角点22点が含まれていたことが判明。³⁾は4,347 点、⁴⁾は213点となる。

基準点の成果改定量の状況としては、プラスでは最大+0.93m(紋別郡遠軽町)、マイナスでは最大-1.58m(函館市)となるが、補正パラメータの量としては、基準点改測等の高低変動量に加わるため、プラスでは最大+1.19m(茅部郡鹿部町)、マイナスでは最大-1.80m(歌志内市)となっている。

今回の取り組みにより、当初目標に掲げた不整合を 20cm 以内に抑えけるとともに、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、三角点の標高改定の手法をほぼ確立することができた。今回の手法は、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行可能なものであると考えている。測地部では、平成 22 年度から本格導入を計画している「セミ・ダイナミック補正」には、3 次元要素での補正が必要であり、導入にあたっては既設基準点の標高成果の整合を図っておくことも重要と考え、高度地域基準点測量の実施を追う計画で、同様な全国の標高成果不整合地域においても、今後標高改定を進めていく計画である。

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、改定した 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広範な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、その意味でも今回の一連の取り組みは、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が、今後作成が進む数値地形図データについても、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。

謝 辞

標高補正ソフトウェア PatchJGD (標高版)の開発にあたって、座標補正ソフトウェア PatchJGDの開発者である飛田幹男氏(地理地殻活動研究センター地殻変動研究室長)より指導・助言を頂くとともに、座標補正ソフトウェア PatchJGD を参考として利用することにも快諾いただいた。また、これまでに取り組んだ三角点標高改定に伴う改算手法について、齋田宏明氏(測地部物理測地課ジオイド係)に多々ご教授頂いた。以上の方々に深く感謝いたします。

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, No.97, 25-30。
- 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, No.97, 31-51。
- 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。
- 湯通堂 亨, 岩田昭雄, 雨貝知美, 小島秀基, 矢萩智裕, 宮原伐折羅, 畑中雄樹(2005):電子基準点の高さについて, 国土地理院時報, No.106, 21-30。
- 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。
- 土井弘充, 白井康友, 大滝三夫, 斉藤 正, 湊 敏弘, 千葉浩三, 井上武久, 住谷勝樹, 菅原 準, 田中愛幸, 齋田宏明, 矢萩智裕, 小島秀基, 湯通堂 亨, 雨貝知美, 岩田昭雄(2005):平成15年(2003年)十勝沖地震に伴う基準点成果の改定, 国土地理院時報, No.108, 1-10。
- 田中愛幸, 齋田宏明(2005):三角点標高改定に伴う改算手法について:技術報告。
- 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。
- 齋田宏明, 田中愛幸(2006):アンテナ位相特性に関する研究(第1年次), 調査研究年報 A・4 - No.4。
- 岩田和美, 田中愛幸(2007):アンテナ位相特性に関する研究(第2年次), 調査研究年報。