

電子基準点の高さについて Altitudes of GPS-based Control Stations

測地観測センター

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

Geodetic Observation Center

Toru YUTSUDO, Masao IWATA, Tomomi AMAGAI, Hideki KOJIMA,
Toshihiro YAHAGI, Basara MIYAHARA and Yuki HATANAKA

要 旨

平成14年4月に測地成果2000で公開された電子基準点成果の標高には、アンテナ架台固有のアンテナ位相特性が十分には考慮されず、高さ成分に大きなバイアスが生じていた。

2002年から2003年にかけて行ったGEONETの改造では、アンテナ交換、アンテナ架台取り付け高の統一、新たなアンテナ位相特性モデル（GSIモデル）の作成・適用を行った。これらの改造により上記のバイアスが解消され、測位解の高さ成分に大幅な向上が見られた。

新しいGEONETが行う定常解析の解のうち、最も精度の良いF2解を用いて電子基準点の標高成果を改算した。さらに結果の整合を電子基準点間の結合点検計算、及び、VLBIのコロケーション結果との差によって評価した。改算結果が測地成果2000と比べ整合性が良いことが確認できたため、2004年7月1日に改訂成果として公開した。

以上の過程までに、GSIモデルを用いて電子基準点データを解析した際の解の整合性は検証済みである。だが、基本測量及び公共測量では、アンテナ定数のみを用いて電子基準点データの解析を行っている。そこで、アンテナ定数を用いて解析を行った際の解の整合性を検証し、その結果、基本測量及び公共測量で求められている精度が保たれていることを確認した。

近年リアルタイム解析の普及に伴い、同解析における電子基準点データの需要が増している。そこで、電子基準点とローバー間で後処理キネマティック解析を行い、エポック毎の解析値のばらつきから測位解の精度を検証した。その結果、アンテナ交換後は、衛星配置によらずばらつきが小さくなることが判明した。

1. はじめに

2002年から2003年にかけて測地観測センターで行ったGEONETの改造を機に、GEONET測位解の精度の向上を目指し、電子基準点の標高成果及び測位解の高さ成分の精度について再検討を行うことにした。再検討のステップは、次の3つに分けて行っている。

1) GEONETの改造の影響：アンテナ架台取り付け高が電子基準点の測位解に与える影響を検証し、その

結果、アンテナ架台取り付け高の基準高を定めて、高さを統一する作業を行っている。基準高でのアンテナ位相特性モデル（GSIモデル）を新たに作成し、GEONETの定常解析にGSIモデルを採用するか検証を行う。

2) 標高の改算とその評価：GEONETの改造終了後の定常解析結果を使用して、標高成果の改算、計算結果の整合性の評価を行う。

3) 基本測量及び公共測量への影響：基線解析に用いるアンテナ位相特性モデルの違いが測位解に与える変化量の検証を行う。また、リアルタイム解析の測位解の安定性について検証する。

上述の検証の結果、GEONETの測位解の高さ成分に精度向上が見られた。本稿では、上述の3つにわけて報告する。

2. GEONETの改造の影響

電子基準点は、設置年度によって架台の構造が異なっており、大きく93年型、94年型、95年型（96年、97年を含む）、02年型に分かれる。各架台とアンテナの組み合わせによってアンテナ位相特性モデルが変化するため、GEONETの定常解析には、アンテナと架台の組み合わせごとに作成した個別のモデルを採用している。アンテナをTRM29659.00（チョークリングアンテナ）に交換したため、TRM29659.00と高さを合わせた各架台ごとの新しいモデルを作成する必要が生じた。アンテナ交換作業中に判明した観測点ごとのアンテナ架台取り付け高の不ぞろいから生じた測位解への影響から、GSIモデルの検証までを本章で述べる。

2.1 アンテナ架台取り付け高の影響

北海道地区から始まった電子基準点のアンテナ交換作業中に、点毎のアンテナ架台取り付け高が違うことが判明した（写真-1）。



写真-1 95年型架台のアンテナ設置状況。赤い矢印がアンテナ架台取り付け高を示す。

そこで、アンテナ交換による測位解の変化を見るために、GEONETの解析値から、アンテナ交換前後の解析結果の差を計算した。図-1は、北海道の電子基準点について、アンテナ交換前後のGEONET解析値の高さ成分のオフセットを、架台タイプ、アンテナタイプに分けてプロットしたものである。



図-1 アンテナ交換前後におけるGEONET解析値の差(高さ成分: cm)。左が94年型架台、右が95年型架台。アンテナは、青の領域がASHTECH、黄色の領域がTRIMBLEである。

北海道地区は、アンテナ交換が早期に終了したため、アンテナ架台取り付け高の調整がアンテナ交換時と同時にされていない地域である。そのため、アンテナ交換だけで生じた測位解の変化を見ることができる。位相特性がアンテナタイプと架台タイプのみによって決まるならば、同じ架台タイプ同士ではアンテナ交換のみの影響が現れるはずである。しかし、図-1から、95年型架台のTRIMBLEアンテナで最大12cmのオフセットが生じていることがわかる。95年型架台に比べて、94年型架台のASHTECHアンテナのばらつきは小さい。これは、94年型架台はアンテナの取り付けに整準台を用いているために、観測点ごとの高さの変化が小さいためと考えられる。逆に、95年型架台は自由に高さ調整ができる構造のため、観測点ごとの高さが不ぞろいになりオフセットのばらつきが生じたと推測される。

このオフセットのばらつきが、架台取り付け高の違いによるものかどうか検証を行った。観測は、アンテナ位相特性モデルを作成するための架台模型を用いて行った。なお、同じ観測データを用いてGSIモデルを作成しており、これについては(2.2)で述べる。アンテナ架台取り付け高に基準を定め、そこから高さを変化させたときの測位解の変動を調べた。解析は、24時間の観測データにBernese4.2を使用し、以下の条件で行っている。

- 1) L1, 整数値バイアスFree, 大気遅延推定なし
 - 2) L2, 整数値バイアスFree, 大気遅延推定なし
 - 3) LC, 整数値バイアスFree, 大気遅延推定あり
 - 4) LC, 整数値バイアスFix, 大気遅延推定あり
- アンテナと架台の条件を表-1に示す。

表-1 観測時のアンテナ架台の条件

アンテナタイプ	架台	基準高(cm)
TRM29659.00	02年架台	9.5
TRM29659.00	95年架台	13.5
Permanent L1/L2		12.5
TOP770779A		12.5

(基準の高さでGSIモデルを作成している)

架台取り付け高を基準高から1cmずつ動かして観測を行った。図-2は、架台取り付け高の変化に対する基線解析結果の変化量を表したものである。

図-2から、L1・L2による解析は実測値と一致がよく取り付け高が変わっても位相特性が解に与える影響は小さいことが分かる。しかし、LCによる解析では、実測値と解析値の差が1cmを超えるものが多く、最大で真位置と4cm離れる結果となった。また、モデルを作成した基準値から離れるに従って解析値と実測値の差が大きくなる傾向があり、アンテナ取り付け高の違いによる位相特性の変化が解析結果に大きく影響を及ぼすことがわかる。さらに、TRM29659.00を用いた結果は、他のアンテナを用いた結果に比べて実測値とのずれが全体的に小さく、特にLC解については、他のアンテナよりもずれが小さい。

これらの結果から、アンテナ架台取り付け高の違いが測位解に影響を与えていたと言え、特に交換前のアンテナでは強く影響を受けていたことが判明した。この検証結果より、架台取り付け高の影響をなくすため、全ての電子基準点について架台取り付け高の統一をGEONETの改造の中で行った。

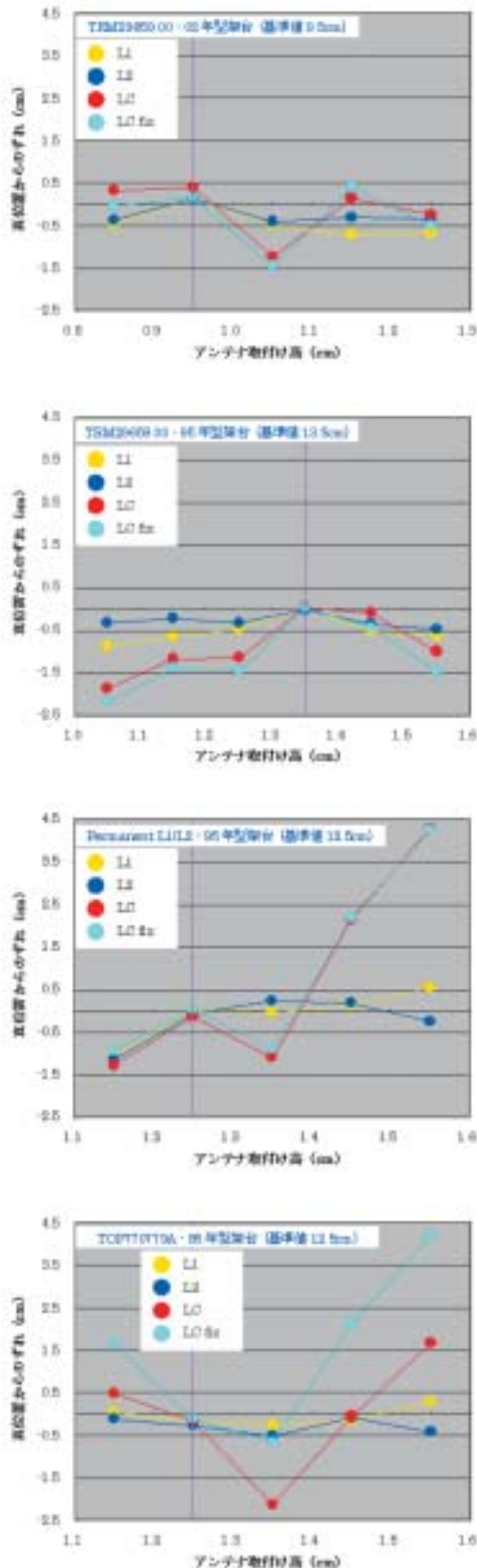


図-2 アンテナ架台取り付け高の違いによる解析結果の変化 (cm)。上から
 (1) TRM29659.00と02年型架台、
 (2) TRM29659.00と95年型架台、
 (3) Permanent L1/L2と95年型架台、
 (4) TOP770779Aと95年型架台。

2.2 アンテナ位相特性モデルの推定方法

GEONETに用いているアンテナ位相特性モデルの推定方法は、基準局のアンテナと観測局との間で行われる相対キャリブレーションである。モデル作成のための観測は観測センターの屋上で行い、基準局として三脚を設置し、その近傍にアンテナ位相特性モデル検定用の架台を置いた(写真-2)。解析には、Bernese4.2を用いている。

最初に、各架台の正確な位置を求める必要がある。(2.1)で決定した基準の高さにアンテナ架台取り付け高を調整し、三脚から各架台までの斜距離をトータルステーション、比高を水準儀を用いて観測した。その後、各架台にTRM29659.00を設置し、レドームをかぶせない状態で24時間観測を行った。基準局と架台間をL1、IGSのアンテナ位相特性モデルで基線解析を行い、それぞれの架台上の座標を求め、実測値の補正を行ったものを初期座標とした。

次に、レドームをかぶせて24時間観測を行い、モデル作成のための観測データとした。求めた初期座標を固定して基線解析を行い、位相中心のオフセット量を求めた。さらに、位相特性カーブを、仰角 10° で0次9位までの球面調和関数により推定し、アンテナ位相特性モデルとした。



写真-2 測地観測センター屋上での観測風景

2.3 アンテナ位相特性モデルの検証

2.3.1 実測値による検証

GEONET改造で宮之城(960718)では、TOP700779AからTRM29659.00へアンテナ交換、及び、アンテナ架台取り付け高を12.7cmから13.5cmに調整した。この改造の影響、及び、アンテナ位相特性モデルの検証を行うために、近くに基準局を設置し、基準局と電子基準点の間で観測を行った。最初に、基準局と電子基準点の間で、水準測量による比高観測、トータルステーションを用いた斜距離の観測を行い、実測値とする。その後、GPS観測を行い、IGSモデルとGSIモデルを使った場合の基線解析の結果から、基線ベクトルと実測値との比較を行った。基線解析は、GAMIT10.07を用いて以下の条件で行っている。

- 1) L1, 整数値バイアスFix, 大気遅延推定なし
 - 2) L2, 整数値バイアスFix, 大気遅延推定なし
 - 3) LC, 整数値バイアスFree, 大気遅延推定あり
 - 4) LC, 整数値バイアスFix, 大気遅延推定あり
- 図-3に各結果の実測値からのずれを示す。

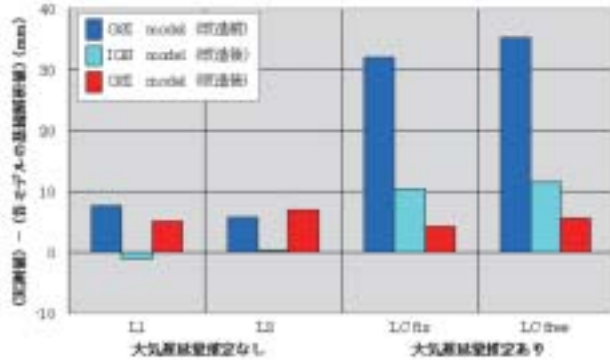


図-3 実測値と基線解析値の差 (高さ成分: cm)

図-3から、LC解ではGEONET改造後にGSIモデルを使用した場合に、実測値に最も近づくことがわかる。また、L1、L2解析も良く決まっている。GEONET改造後のIGSモデルを使用した場合は、L1、L2とLCでずれの大きさが違うことから、解析条件によって測位解へのバイアスに違いが生じていることがわかる。GEONET改造後の解析では、GSIモデル、IGSモデルとも実測値に1cmで一致しているが、GSIモデルの方が、解析条件によらず安定していることが言える。GEONET改造前にGSIモデルを使用した条件では、LC解が3cm以上離れておりバイアスが大きかったことがわかる。この結果から、アンテナ交換、架台取り付け高の統一とGSIモデルの使用によって測位解が安定したことが言える。

2.3.2 仰角マスクの変更による検証

仰角マスクを変更した場合の解析結果の変化値を検証した。これは、仰角マスクを変更することから生じる観測データの増減で、測位解がどのような変化を起こすか調べるものである。今回は、(1) GEONET改造前後、(2) IGSモデルとGSIモデルの比較、の2つに対して行っている。解析にはGEONETで使われている定常解析を用い、仰角15°の結果を基準として、仰角が20°、25°の解析結果の変化を調べた。それぞれの結果について述べる。

(1) GEONET改造前後による違い

改造前と改造後で24時間の観測データで、解析値の変化を調べた。観測データは、改造前のデータとして2002年通算日222日の24時間データ、改造後のデータには2003年通算日222日の24時間データを用いている。アンテナ位相特性モデルはGSIモデルを使用した。

図-4は、測位解の高さ成分について、仰角15°を基準として、20°、25°の解析値との差を電子基準点の番号順に並べたもの及び10mm間隔で作成したヒストグラムである。

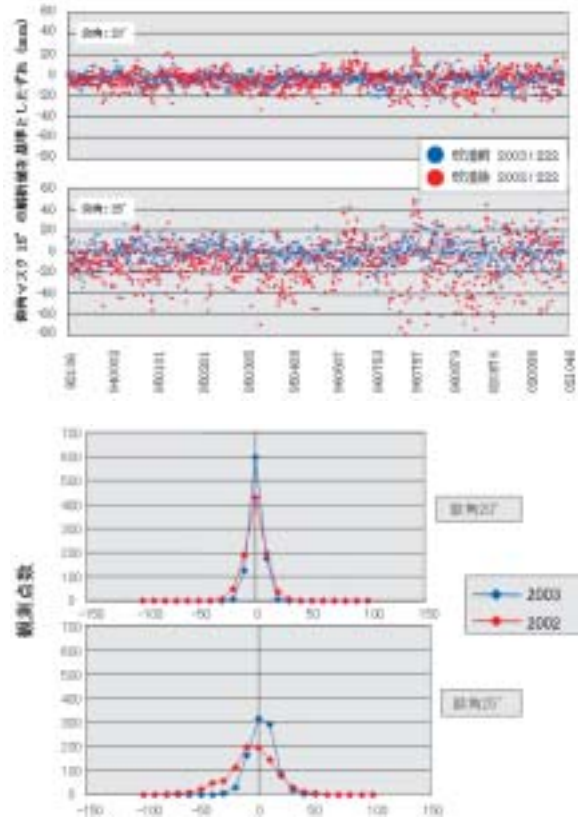


図-4 GEONET改造前後において、仰角マスクの変更を行ったときの解析値の変化 (高さ成分: mm) (上) とそのヒストグラム (下)

ヒストグラムから20°、25°とも改造後の方が改造前に比べてピークが鋭くなっていることが分かる。両方ともGSIモデルを使用していることから、改造後の電子基準点は、アンテナをTRM29659.00にしたことによって、仰角の制限によるデータ数の減少でも安定した測位解を得られると言える。

(2) IGSモデルとGSIモデルの比較

(1)と同じ改造後24時間観測データを用いて、IGSモデルとGSIモデルを使用した際のGEONETの測位解を比較した。図-5は、図-4と同様のプロットである。図-5からIGSモデルを使用した場合、仰角マスクの変更によって、95年型の架台タイプで異なったバイアスが生じている。これは、95年型架台に対して、IGSモデルの仰角方向の補正がきちんと行われていないことになり、TRM29659.00を電子基準点に採用してもレドームや架台タイプの影響が消えていないことになる。一方、GSIモデルは、架台タイプによらず一様に決まっており、仰角方向の補正がきちんと行われて

いることがわかる。この結果から作成したGSIモデルは、IGSモデルよりも仰角方向の補正が正しく行われているといえ、GSIモデルをGEONETの定常解析に採用した。

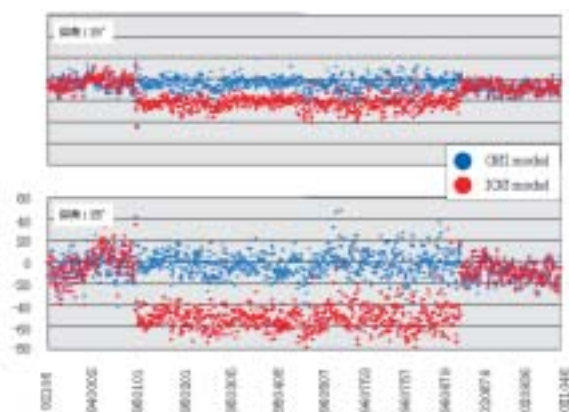


図-5 アンテナモデルの違いにおいて、仰角マスクの変更を行ったときの解析値の変化（高さ成分：mm）

2.4 結論

アンテナ架台取り付け高の違いが測位解のバイアスに影響を与えることが判明したため、架台取り付け高を統一した。架台固有のGSIモデルを作成し、IGSモデルと比較を行ったところ、GSIモデルの方が電子基準点の測位解に与えるバイアスが小さいことが示され、現在GEONETの定常解析に適用している。GEONET改造後の定常解析で得られる解の精度については、向上していることが判明している（畑中，2003）。

3. 標高の改算とその評価

測地成果2000の電子基準点公表成果には、設置年次及び機種の違いによる系統的な較差が生じていることが指摘されていた。その最大の要因は、成果算出の際に、アンテナ架台とアンテナの組み合わせによって生じるアンテナ位相特性の変化を考慮せずに計算したことである。前章までで述べたようにアンテナ架台取り付け高の統一、それに応じたGSIモデルの採用により精度の良い座標が得られるようになったので、標高の改算を行いその評価を行った。

3.1 標高改算手法

標高の改算は、2章で得られたGSIモデルを採用したGEONET解析のF2解に基づいて行う（測地観測センター，2004）。ただし現在の三角点、水準点、電子基準点の成果は、測地成果2000（ITRF94座標系、エポック1997.0）に準拠しているため、改造終了後のエポックの値をそのまま成果にすることはできず、エポック1997.0での値を求める必要がある。つまり電子基準点改造後のF2解より算出した座標値を、1997.0年まで遡

る必要がある。以下に、標高計算手法の手順を示す。

- 1) 2003/8/12-2003/9/21の解析値を使って2003年9月1日エポックの座標値を算出。
- 2) 1998/1/1から1999/12/31の2年間の解析値を用いて観測点の速度を計算。
- 3) 1)と2)を使用して1997.0エポックの座標値を算出。
- 4) ITRF2000（新GEONET座標系）からITRF94（測地成果2000座標系）へ座標変換。
- 5) 鹿島VLBI局とGEONETの整合を取るため、オフセット値を計算。
- 6) 4)で求めた楕円体高にオフセット値を補正し、その後、標高を算出。

計算手法のフローチャートを図-6に示す。

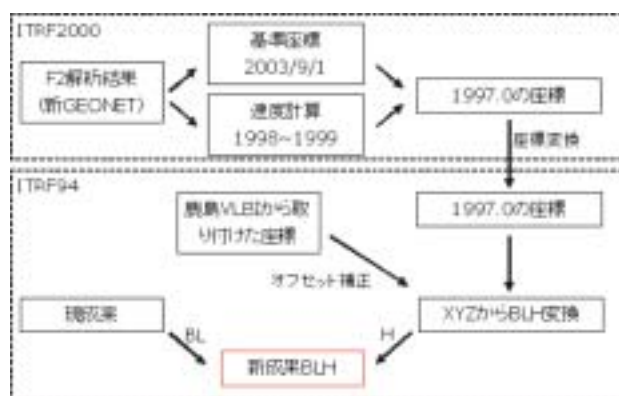


図-6 標高計算のフローチャート図

ただし、2)の速度を求める期間で有意な変動がある観測点については、この計算手法から除外し、改算値が決まった観測点を既知点として、GAMIT/GLOBKを用いて算出している。しかし、以上の手法では、2003年9月1日からエポック1997.0に戻した際に、秋から冬にかけての変動を考慮していない。このような季節変動を含む年周変化の取り扱いが今後の課題である。

3.2 改算値の検証

3.2.1 結合点検計算

今回の改算で得られた新標高の検証として、基準点測定の解析結果を用いた結合点検計算を行った。東北・近畿・九州の各地方測量部の平成15年度基準点測量作業において、電子基準点間の結合較差が許容範囲を超過した路線及び許容範囲は超過しないものの較差が大きい路線について、改算値で再計算を行った。結果を表-2に示す。

表-2から、新標高により較差が改善されたことがわかる。特にアンテナ交換前は異機種間であった路線については、大幅な改善が見られた。男鹿1-天王、関ヶ原-八日市、八日市-土山、鹿児島川内-宮之城間の路線では、20cmあった較差が3cm以下に改善さ

れているのが分かる。

しかし、兵庫県村岡地区の3路線（赤字）については、許容範囲内であるものの較差が拡大しており、この結果についてさらに検証を行った。この地域は観測地域の比高差が約1,000mあり、大気遅延などの影響を無視できない条件下にある。そこで、GAMITを用い

て大気遅延パラメータを推定した精密基線解析を行ったところ（表-3）、較差が改善された。路線によっては大気遅延の影響を受けると推察できる。

全体的には較差が改善されており、改算値により各地域の電子基準点間の整合性が良くなったと言える。

表-2 旧標高成果と新標高成果による結合較差の比較

地測	地区名	路線(自)	路線(至)	測地成果 2000 の較差(m)	許容範囲(m)	改算値の較差(m)
東北	男鹿	940030 (男鹿1)	960552 (天王)	-0.190	0.201	-0.025
	矢島	950192 (鳥海)	960554 (湯沢)	-0.200	0.210	-0.160
近畿	岐阜	970812 (関ヶ原)	940062 (八日市)	0.207	0.272	0.042
		940062 (八日市)	950325 (土山)	-0.201	0.261	-0.027
	大阪 兵庫	950332 (亀岡)	940067 (箕面)	0.167	0.201	0.055
		960646 (兵庫日高)	970823 (大屋)	-0.174	0.201	-0.184
		950341 (村岡)	970823 (大屋)	-0.118	0.210	-0.161
		950341 (村岡)	950342 (和田山)	-0.144	0.201	-0.156
九州	鹿児島	970835 (鹿児島川内)	960718 (宮之城)	-0.197	0.192	-0.030

(黒がアンテナ交換前に異種機間だった路線。赤が同機種間だった路線)

表-3 大気遅延を推定した解析結果による較差の比較

路線(自)	路線(至)	現成果較差(m)	改訂較差(m)	GAMIT 解析 (L3 大気遅延推定) 結果による較差(m)
960646 (兵庫日高)	970823 (大屋)	-0.174	-0.184	-0.037
950341 (村岡)	970823 (大屋)	-0.118	-0.161	0.093

3.2.2 コロケーション観測値による検証

VLBI観測局のうち、つくば32mと新十津川3.8mで電子基準点とのコロケーション観測結果が得られている。このコロケーション観測の値を用いて新標高の評価を行った。国内VLBI観測に重みをおいたGSIグローバル解の座標をVLBIの固定座標として用い、コロケー

ションデータを加算して、つくばIGS局 (TSKB) と新十津川 (942001) の座標を算出した。VLBIから取り付けた値と改算値との差を表-4に示す。両観測点とも楕円体高の較差は、2cm内に収まっており、新標高成果はVLBIとも整合が取れていることが言える。

表-4 VLBI取付観測値と改算値

つくばIGS局 (TSKB)	B (dms)	L (dms)	H(m)
VLBIから取り付けた値	36:06:20.4484	140:05:14.9881	67.246
改算値	36:06:20.4496	140:05:14.9896	67.258
差	-0.0012	-0.0015	-0.012

新十津川 (942001)	B (dms)	L (dms)	H(m)
VLBIから取り付けた値	43:31:43.7566	141:50:41.1939	118.774
改算値	43:31:43.7566	141:50:41.1946	118.761
差	0.0000	-0.0007	0.013

3.3 新標高値と最新の電子基準点座標値の比較

2004年9月1日の基準座標から、エポック1997.0まで遡ったため、地殻変動による座標のずれが解消されたことになる。エポック1997.0の座標である改算値及び測地成果2000の成果値が、GEONET改造終了後の電子基準点の位置とどれくらいずれがあるか検証した。GEONET改造後の電子基準点の座標に2004年1月1日エポックのF2解を採用している。F2解と改算値、測地成果2000との間で標高の差を計算した。図-7は、F2解を基準にして求めた高さの差を各地域ごとにプロットしたものである。2003年9月26日に起きた十勝沖地震の影響が見られる北海道地域についてはばらつきがみられるものの、それ以外は、改算値の方が測地成果2000よりもF2解に近い。このことから、改算値の方が、現在の電子基準点の位置と整合が取れていることが言える。

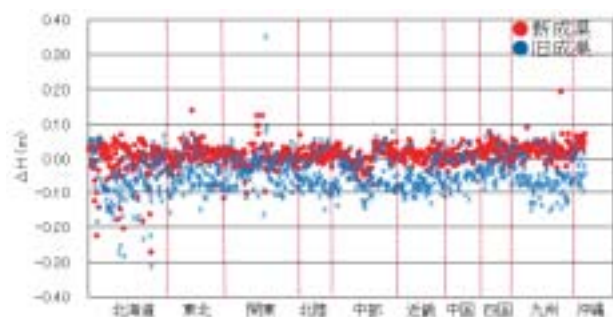


図-7 2004年1月1日の電子基準点の位置と新・旧の成果値とのずれ(高さ成分:m)

3.4 結論

改算した標高成果は、結合点検計算により、電子基準点間の整合が向上していることが判明した。VLBIのコロケーション結果とも整合が取れており、最近のGEONETの解析値と比べてもずれがあまり生じていない。この評価結果を受けて、標高成果の改訂を行い、2004年7月1日に公表した。

4. 基本測量及び公共測量への影響

4.1 基本測量及び公共測量への影響

3章まで行われた検証は、電子基準点にGSIモデルを使用している。しかし、現在の基本測量及び公共測量におけるGPS測量は、アンテナ定数(米国の測量局NGS(National Geodetic Survey)が求めたL1アンテナ位相オフセットの上下成分値)を用いて基線解析を行っている。これらの測量への影響を見るために、電子基準点にアンテナ定数を用いたときのローバー側の測位解の変化を検証した。

検証に用いたモデルは、アンテナ定数を用いた解析として、IGSモデルの位相中心オフセット(PCO)である。また、IGSモデルの位相特性モデル(PCV)ま

で用いた場合、GSIモデルを用いてPCOだけを使う場合、PCOとPCVを使う場合の解析を行った。

4.1.1 電子基準点架台にIGSモデルを使用した場合の試験観測

電子基準点にIGSモデルを使用した場合、ローバーの測位解がどのように変わるか調べた。観測量は、(2.1)で行ったアンテナ位相特性モデル作成時のデータを使用している。基線解析は以下の条件で行った。

- 1) L1, 整数値バイアスFix, 大気遅延推定なし
- 2) L2, 整数値バイアスFix, 大気遅延推定なし
- 3) LC, 整数値バイアスFix, 大気遅延推定なし

このときに、アンテナ位相特性モデルを表-5の組み合わせで解析を行った。イメージ図を図-8に示している。

表-5 電子基準点と基準局間の基線解析時に用いたアンテナ位相特性モデルの組み合わせ

	ローバー	電子基準点
(1)	IGS : PCO	IGS : PCO
(2)	IGS : PCO	GSI : PCO
(3)	IGS : PCO,PCV	IGS : PCO,PCV
(4)	IGS : PCO,PCV	GSI : PCO,PCV

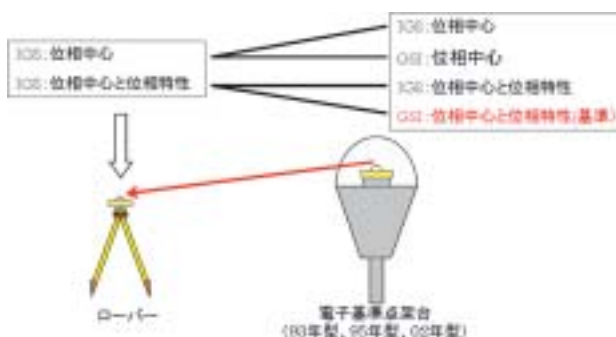


図-8 電子基準点と基準局間の基線解析時に用いたアンテナ位相特性モデルの組み合わせ

表-5の(4)を用いたときの測位解を基準として、他のパターンと測位解の差を評価した。図-9は、測位解の高さ成分の差をアンテナと架台の組み合わせごとに分けて図示したものである。TRM29659.00の場合、モデルの違いによる測位解の差は、どの架台タイプでも約1cm以内に収まっている。逆に、改造前のアンテナでは、最大で5cm以上のずれが生じている。このことから、TRM29659.00では、GSIモデル、IGSモデルのどちらを使用しても1cmの幅で決まり、架台とアンテナの組み合わせによる固有の影響が小さくなったことがわかる。

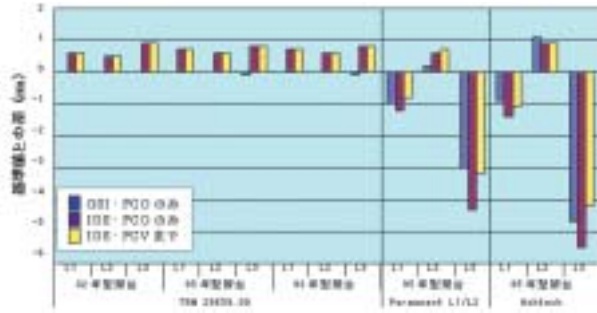


図-9 モデルの違いによる電子基準点測位解の変化 (高さ成分 : cm)



図-11 モデルの違いによる測位解の変化 (高さ成分 : cm)

4. 1. 2 基準点測量にIGSモデルを使用した場合の測位解の変化

平成16年度に北陸、中部、四国の各地方測量部で行われた基準点測量作業の観測データを用いて、(4. 1. 1)と同様の検証を行った。エリアは、富山県、三重県、高知県である。観測に使ったアンテナと受信機を表-6に示す。基線解析は、(4. 1. 1)と同じ条件で行った。電子基準点を既知点として使うときに、表-5と同じモデルの組み合わせで行っている。基線解析のモデルの組み合わせを図-10に示す。

表-6 基準点測量で使ったアンテナ, 受信機

	アンテナ	受信機	観測時間
富山県	Compact L1/L2 with GP	GP-DX1	2時間 5分
三重県	Compact L1/L2 with GP	Trimble 4000SSI	3時間 30分
高知県	Zephyr Geodetic with GP	Trimble 4000SSI	2時間 10分

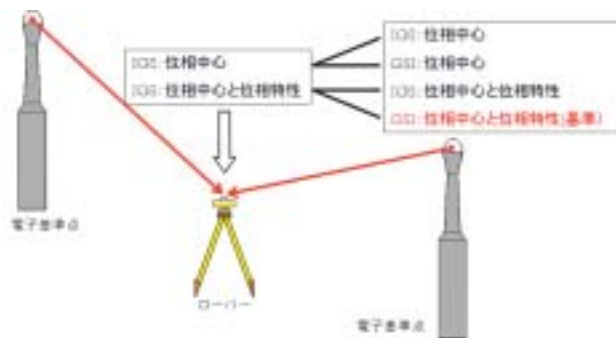


図-10 新点の座標を求めるときのアンテナ位相特性モデルの組み合わせ

表-5の(4)を用いたときの測位解を基準として、他のパターンと測位解の差を評価した。図-11は、各地域ごとに測位解の差の高さ成分を示したものである。高さのずれは、3cm以内に収まっておりGSIモデル、IGSモデルのどちらを利用して基本測量及び公共測量で求められている精度は保たれていることが分かる。

しかし、水平成分について、傾向が異なる観測点が見られた。図-12は、各地域ごとに測位解の差を南北成分、東西成分で示したものである。富山で行われた観測結果の東西成分の差が、他の地域より大きくなっている。これは、電子基準点側のモデルに関係せず、ローバー側にアンテナ位相特性モデルにPCOしか使わないか、PCOとPCVを使うかで傾向が変わることを意味する。また、今回使用した観測データの時間は、2時間~3時間の観測時間であることから、衛星配置による影響もあったと思われる。以上から、アンテナの種類、観測時間などで、アンテナ位相特性モデルの影響が変わってくる場合があるため、基本測量及び公共測量においても、ローバー側にアンテナ位相特性モデルを使う方が、より高い精度が得られることがわかった。

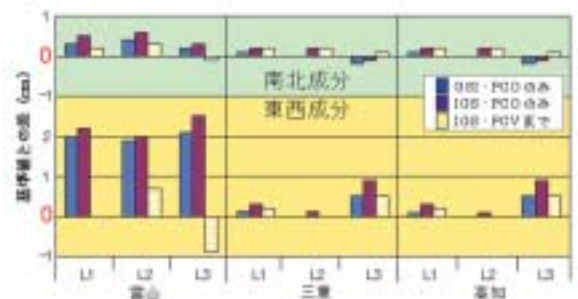


図-12 モデルの違いによる測位解の変化 (上が南北成分、下が東西成分 : cm)

4. 2 リアルタイム解析への影響

電子基準点の観測データをリアルタイム解析に用いたときに測位解がどれくらい安定しているか検証を行った。リアルタイム解析はエポック毎に解析を行っているため、エポック毎の測位解の安定性を後処理キネマティック解析を用いて調べている。解析ソフトには、Trimble Total Controlを使い、L1を使って解析を行った。アンテナ位相特性モデルには、IGSモデルとGSIモデルを用いている。観測量は、(2. 1)で行ったアンテナ位相特性モデル作成時のデータである。図-13は、TRM29659.00の解析結果と真位置とのずれを時系列でプロットしたグラフである。ここで真位置とは実測で

求めた高さである。また、衛星数とPDOPの値も表示しておく。同様に、Permanent L1/L2の結果を図-14に示す。

アンテナ交換前に使用していたPermanent L1/L2では、衛星数やPDOPの影響を受けているが、TRM29659.00では安定して解析を行っている。アンテナ位相特性モデルの違いによる影響は、IGSモデルの結果が真位置に対して多少のバイアスを生じていることを除けば、大きな違いは見られない。このことより、アンテナ交換を行ったことで、測位解が衛星数、PDOPによらず安定したといえる。

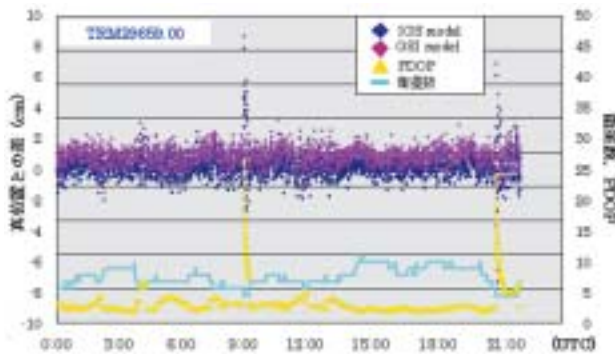


図-13 TRM29659.00を使用したときのエポック毎の測位解の高さ成分 (cm)。同時に、衛星数、PDOPも示す。

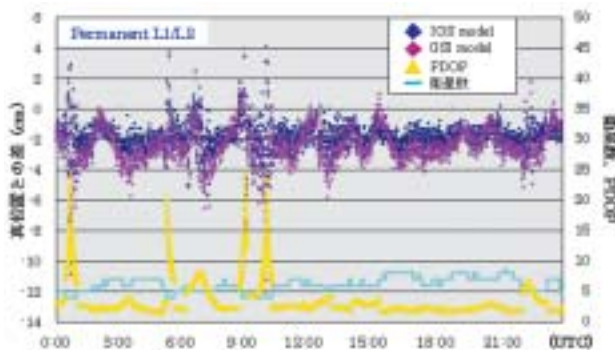


図-14 Permanent L1/L2を使用しときのエポック毎の測位解の高さ成分 (cm)。同時に、衛星数、PDOPも示す。

4.3 結論

各架台タイプの電子基準点にIGSモデルを適用して

基線解析を行っても、測位解の変化は小さく1cm以内に収まっていた。これは、電子基準点の個体差が小さくなったことによる。新点の座標を求めるときに、電子基準点にIGSモデルを適用して解析を行っても新点の測位解は、3cm以内の変化で収まっており、この精度は、基本測量及び公共測量でも十分と言える。しかしアンテナによってはモデルの取り扱いに注意をする必要がある。また、(2.3)でIGSモデルを使用したときに仰角マスクに変化があると、測位解にバイアスを生じることが判明しているため、観測及び基線解析の条件に注意する必要がある。

後処理キネマティック解析結果から、改造後の電子基準点は、エポックごとの測位解のばらつきが小さくなっていった。このことから、電子基準点をリアルタイム解析に使用したときは、時間によらず安定した解が得られることになる。

5. まとめ

GEONETの改造によって、アンテナと架台取り付け高から生じていた電子基準点の個体差は小さくなった。個体差が小さくなり、新しいGSIモデルをGEONETの定常解析に用いることで、電子基準点の測位解に与えるバイアスが小さくなっている。

電子基準点の標高成果改訂は、2004年7月1日に公表した。これにより、改訂前の成果で行った基準点測量の電子基準点間の結合較差が、改訂成果を用いることで大幅に改善されることとなった。

TRM29659.00に交換したことによって基本測量や公共測量の基線解析に、電子基準点用に作成されたGSIモデルを用いず、IGSモデルを使用しても新点算出の測位解が、基準点測量及び公共測量の制限を満たすことがわかった。電子基準点リアルタイム解析も、観測の時間帯によらず安定した測位解が得られていることが判明した。このことより、電子基準点を既知点にしたリアルタイム解析も、改造前より安定した測位解が得られると言える。

これらの検証から、電子基準点を使った基線解析が、改造前よりも精度の良い測位解が得られるようになったと言える。

参考文献

- 栗原 忍, (2002): VLBI観測データのグローバル解析に関する研究 (第1年次), 調査研究年報 (平成14年度), 国土地理院技術資料A・4-No.1 21-24
- 栗原 忍, (2003): VLBI観測データのグローバル解析に関する研究 (第2年次), 調査研究年報 (平成15年度), 国土地理院技術資料A・4-No.2 35-38
- 測地観測センター: 電子基準点1,200点の全国整備について, 国土地理院時報, 103, 1-51.
- 測地成果2000構築概要編集委員会 (2003): 測地成果2000構築概要, 国土地理院技術資料B・5-No.20
- Hatanaka et al. (2001a): Calibration of antenna-radome and monument-multipath effect on GEONET-Part1:

Measurement of phase characteristics, Earth Planets Space, 53, 13-21.

Hatanaka et al. (2001b): Calibration of antenna-radome and monument-multipath effect on GEONET-Part2: Evaluation of the phase map by GEONET data, Earth Planets Space, 53, 23-30.

畑中雄樹, (2003): 新GEONETシステムのためのデータ解析戦略, 日本測地学会第100回講演会 要旨, 45-46.

宮原伐折羅, 畑中雄樹, 石本正芳, 丸山一司 (2003a): アンテナ取り付け高の違いが測位解のバイアスに及ぼす影響について, 地球惑星科学関連学会2003年合同大会予稿集, D008-003.

宮原伐折羅, 畑中雄樹, 湯通堂亨, 千田進一, 雨貝知美, 岩田昭雄, 石本正芳 (2003): 新GEONETで使用するアンテナ位相特性モデルについて, 日本測地学会第100回講演会 要旨, 43-44.

宮原伐折羅, 畑中雄樹, 湯通堂亨, 千田進一, 雨貝知美, 岩田昭雄, (2004): 電子基準点の高さの見直しについて, 地球惑星科学関連学会2004年合同大会予稿集, D008-005.

湯通堂亨, 畑中雄樹, 岩田昭雄, 雨貝知美, 小島秀基, 矢萩智裕 (2004): 電子基準点の高さ見直しについて (その2), 日本測地学会第102回講演会 要旨, 69-70.