

GEONET 成果改定と日本のジオイド 2000 について  
**The Revision of Ellipsoidal Height of GEONET Sites and Hybrid Geoid Model, GSIGEO2000**

測地部 野村勝弘・渡辺政幸・岡村盛司・森田和幸<sup>1</sup>

Geodetic Department

Katsuhiro NOMURA, Masayuki WATANABE, Seiji OKAMURA and Kazuyuki MORITA

地理地殻活動研究センター 福崎順洋

Geography and Crustal Dynamics Research Center Yoshihiro FUKUZAKI

## 要 旨

国土地理院における GPS 連続観測システム (GEONET:GPS Earth Observation Network System) が、2002 年から 2003 年にかけて改造作業が行われ、これと並行して解析精度が高精度化された。

この GEONET システムにおける解析精度の高精度化に伴い、2004 年 7 月 GEONET 成果 (楕円体高) の改定が行われた。

全国ジオイド測量 816 点の GPS/水準法によるジオイド高は、電子基準点 108 点の GEONET 成果に強く拘束されているとともに「日本のジオイド 2000」の絶対的な標高基準面位置を与えている。

「日本のジオイド 2000」は、日本周辺の重力ジオイド・モデル JGEOID2000 を用いて、全国ジオイド測量 816 点のジオイド高データに適合するように作成されている。

GEONET 成果が改定されたことにより、全国ジオイド測量 816 点のジオイド高成果に影響が及ぶ可能性が考えられるため、「日本のジオイド 2000」に対する影響評価を行った。

評価は、改定された GEONET 成果 (楕円体高) に適切なオフセット量を補正した換算新成果を用いて、全国ジオイド測量 816 点のジオイド高データと比較、改めて作成した新混合ジオイド・モデルと「日本のジオイド 2000」との比較、実測したジオイド測量のジオイド高と「日本のジオイド 2000」との比較より「日本のジオイド 2000」に対する標高決定精度を評価した。

## 1. はじめに

GPS 等による宇宙測地技術より求めた楕円体高を容易に標高へ変換する目的で「日本のジオイド 2000」が作成された (Kuroishi et al., 2001; 図-1)。

「日本のジオイド 2000」は、永年潮汐系として non-tidal 系による ITRF94 (epoch. 1997) 座標系の GRS80 楕円体を採用している。

「日本のジオイド 2000」の作成は、日本の標高基準面位置の三次元位置座標を標準偏差で約 10cm の精度で変換できるよう基本測量及び公共

測量において実用化されている。

2002 年度から 2003 年度にかけて、電子基準点に存在していた鉛直座標値における位相特性モデルに起因するバイアスの除去を目的として、電子基準点のアンテナ機種 (Dorne&MargolinT 型のチョークリングアンテナに交換) が行われ電子基準点のリアルタイム化に向けた GEONET の改造が行われた (測地観測センター, 2004)。

この改造は、電子基準点のアンテナ位相特性によるバイアスが均一化されるなど GEONET の解析精度が高精度化された。その結果、2004 年 7 月 GEONET 成果 (楕円体高) (以下、「新 GEONET 成果」という。) が改定された。

本稿では、1) GEONET 成果 (楕円体高) の直接的な影響を評価するため「日本のジオイド 2000」作成において重力ジオイド・モデル JGEOID2000 (Kuroishi, 2001; 図-2) を適合させる全国ジオイド測量 816 点の楕円体高成果の影響量を把握する。2) 影響量を加味した全国ジオイド測量 816 点のジオイド高データを用いて、改めて混合ジオイド・モデルを作成し「日本のジオイド 2000」と比較する。3) 2004 年度、2005 年度のジオイド測量による実測したジオイド高データを用いて「日本のジオイド 2000」による標高決定精度を検証する。

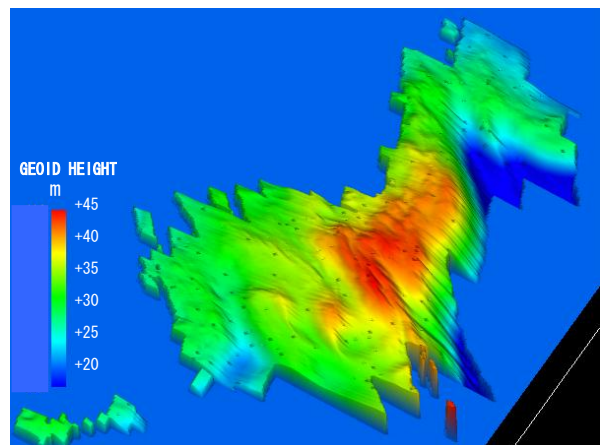


図-1 日本のジオイド 2000 の段彩陰影鳥瞰図 (Kuroishi et al., 2001)

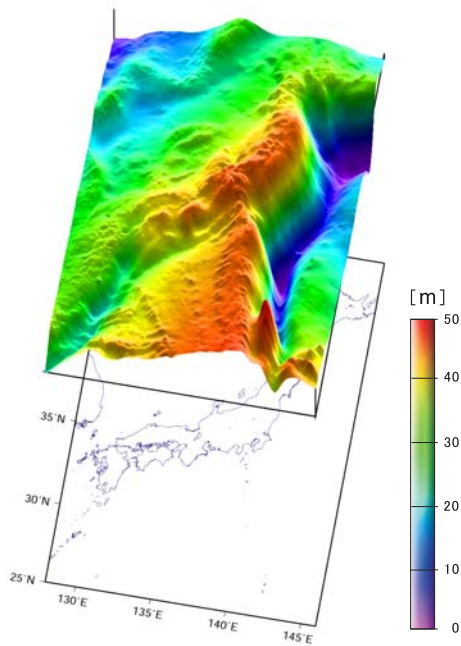


図-2 重力ジオイド・モデル JGE01D2000 の段彩陰影鳥瞰図 (Kuroishi, 2001)

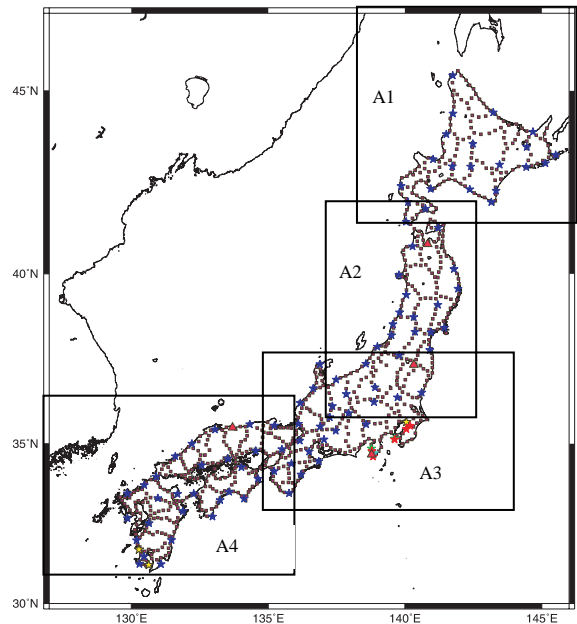
## 2. GEONET 成果改定

2002 年度から 2003 年にかけて行われた GEONET の改造は、解析精度が高精度化され GEONET 成果（楕円体高）においてアンテナ架台タイプ毎の位相特性モデルに起因する数 cm~10cm 程度のバイアスの存在が明らかになり、最適なアンテナ位相特性モデル (GSI モデル) を使用した再解析より、鉛直成分の GEONET 成果（楕円体高）に改定した。

## 3. 「日本のジオイド 2000」への影響要因

「日本のジオイド 2000」は、重力ジオイド・モデル JGE01D2000 を用いて、日本の標高基準原点である東京湾平均海水面に準拠し全国ジオイド測量 816 点のジオイド高データに基づいて作成された混合ジオイド・モデルである。

GEONET 成果（楕円体高）が改定された場合、電子基準点 108 点は、GEONET 成果に強く拘束された解析を行っているため、全国ジオイド測量 816 点の楕円体高成果に影響を与える可能性が考えられる（図-3）。標高は、Helmert の正標高補正された標高成果を用いているため、楕円体高成果の影響量はそのままジオイド高データに影響を与えることになる。



■: 全国ジオイド測量 816 点 ★: GEONET94 番台観測点  
それ以外は、GEONET95, 96, 97, 98 番台観測点  
図-3 GPS 解析で固定した電子基準点 108 点, 全国ジオイド測量 816 点の配点図

## 4. GEONET 成果改定による新ジオイド高の算出

### 4. 1 換算新成果の算出

1995 年に行われた全国ジオイド測量 816 点の GPS データを新 GEONET 成果に固定して解析を行うため、新 GEONET 成果を換算した成果（以下、「換算新成果」という。）を算出した。

1995 年に観測した GPS データを使用した解析を行うため、新 GEONET 成果に準拠する当時稼動していた GEONET 成果と既に GEONET の改造が行われた現在の成果には、GEONET 改造による人為的なオフセット量とアンテナ位相特性モデルの誤差が生じている（図-4）。

しかし、GEONET の改造が行われた現在、改造による人為的なオフセット量は推定できない。よって、当時稼動していた電子基準点 (COSMOS-GG6, GRAPES96, GEONET6) の位相特性に戻すため、畑中 (2004) が指摘した電子基準点の鉛直座標値に比較的推定しやすく最も確からしい値として、人為的なオフセット量を補正する必要がある。

この人為的なオフセット量を新 GEONET 成果に補正することにより GEONET 成果に基づく適切な位相特性モデルに補正した成果となる。

GEONET 成果の補正を行うことは、新 GEONET 成果に準拠した換算新成果が求められると同時に「日本のジオイド 2000」の直接的な影響量と変化量が求められる。

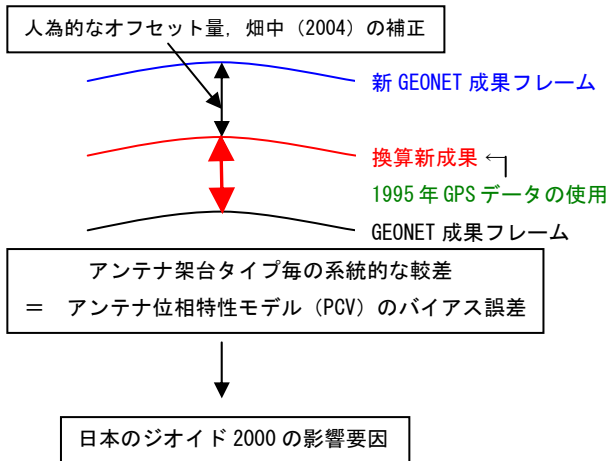


図-4 日本のジオイド 2000 の影響要因と換算新成果

#### 4. 2 換算新成果を用いた全国ジオイド測量 816 点のジオイド高データの算出

解析ソフトウェアは、「日本のジオイド 2000」作成で使用された GAMIT9.60/ GLOBK5.06 を採用し換算新成果に適合させたジオイド高データを得るため、電子基準点の座標値を換算新成果で固定した解析 (ITRF94 座標系-epoch1997, GRS80 楕円体) を行った。

#### 5. GEONET 成果の比較

表-1 は、電子基準点 108 点の GEONET 成果に対する GEONET 成果に対する換算新成果及び新 GEONET 成果の楕円体高の較差と人為的なオフセット量の較差統計を示す。

A は、換算新成果と GEONET 成果の較差、B は、新 GEONET 成果と GEONET 成果の較差、C は、人為的なオフセット量を示す。また、図-5 は、それら較差統計量を横軸に電子基準点の ID 番号、縦軸にその較差を示す。

表-1 及び図-5 から GEONET 成果に対する換算新成果及び新 GEONET 成果の楕円体高の較差は、GEONET 改造による人為的なオフセット量が補正されたことによる平均値の違い以外ほぼ同様の較差であることがわかる。また、最大 10cm 程度の較差が「日本のジオイド 2000」に影響を及ぼす可能性があることがわかった。

表-1 GEONET 成果に対する換算新成果及び新 GEONET 成果の楕円体高の較差と人為的なオフセット量の較差統計

A: 換算新成果 - GEONET 成果,  
B: 新 GEONET 成果 - GEONET 成果,  
C: 人為的なオフセット量

	Point Number	Mean (cm)	SD (cm)	Maximum (cm)	Minimum (cm)
A	108	-2.0	3.1	8.0	-11.9
B	108	0.8	3.0	5.4	-10.8
C	108	2.8	2.1	6.5	9.4

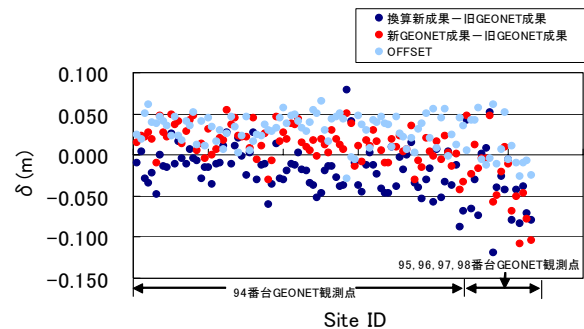


図-5 日本のジオイド 2000 構築で固定点として用いた電子基準点 108 点の較差分布

#### 6. ジオイド高データによる直接的な影響

換算新成果を固定して再解析を行った結果、得られた全国ジオイド測量 816 点のジオイド高データ (以下、「新ジオイド高データ」という。) と「日本のジオイド 2000」の作成で用いたジオイド高データ (以下、「ジオイド高データ」という。) との較差統計を表-2 に示す。また、ジオイド高の較差分布を図-6 に示す。

ジオイド高と新ジオイド高データとの較差統計では、平均-1.9cm、標準偏差 1.7cm、範囲 2.0cm から-6.9cm と約 9cm の幅をもつ。

図-6 の較差分布が「日本のジオイド 2000」作成において全国ジオイド測量 816 点のジオイド高データに与える直接的な影響量である。

この影響量は、GEONET 成果を算出する際のアンテナ架台タイプ毎の系統的な較差、すなわちアンテナ位相特性モデルの誤差である。

全国ジオイド測量 816 点のジオイド高データと新 GEONET の改造によるオフセット量を加味して再解析された全国ジオイド測量 816 点のジオイド高データの比較から、最大約 7cm 程度の較差があることがわかった。

また、図-6 のジオイド高データの較差分布は全体的に滑らかであり GEONET 成果 (楕円体高) の改定による中・長波長成分の較差を示す。較差の

大きい地域は、図-5のアンテナ架台タイプ毎の較差分布より94番台以外の観測点を固定した地域で較差が大きく、一部の半島・沿岸地域においても同様な傾向がある。

表-2 ジオイド高データと新ジオイド高データとの較差統計

Point Number	Bias (cm)	SD (cm)	Maximum (cm)	Minimum (cm)
816	-1.9	1.7	2.0	-6.9

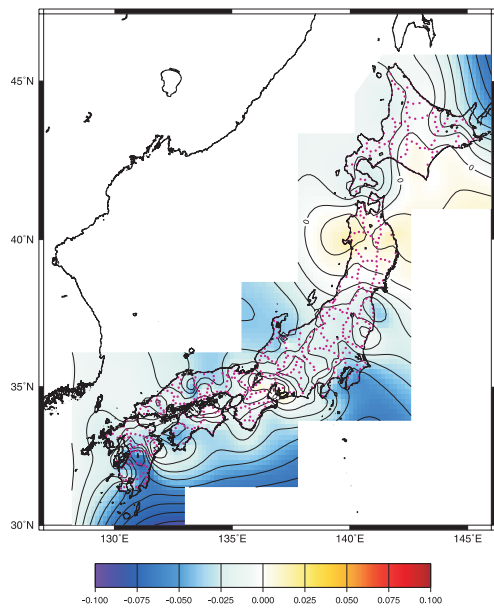


図-6 日本のジオイド2000の作成で使用したジオイド高データと換算新成果を固定した新ジオイド高データとの較差分布  
コンター間隔は1 cm, 小点は全国ジオイド測量816点.

7. 重力ジオイド・モデル JGE01D2000 と全国ジオイド測量816点のジオイド高データによるジオイド較差の影響

換算新成果を固定して再解析した全国ジオイド測量816点の新ジオイド高データと重力ジオイド・モデル JGE01D2000 とのジオイド較差を算出しジオイド高データにおけるジオイド較差を比較した。その較差統計を表-3に示す。前者の較差分布を図-7に後者を図-8に示す。

重力ジオイド・モデル JGE01D2000 と全国ジオイド測量816点のジオイド高データとの直接的な較差における標準偏差、範囲及び較差分布から明確な違いは見出せなかった。

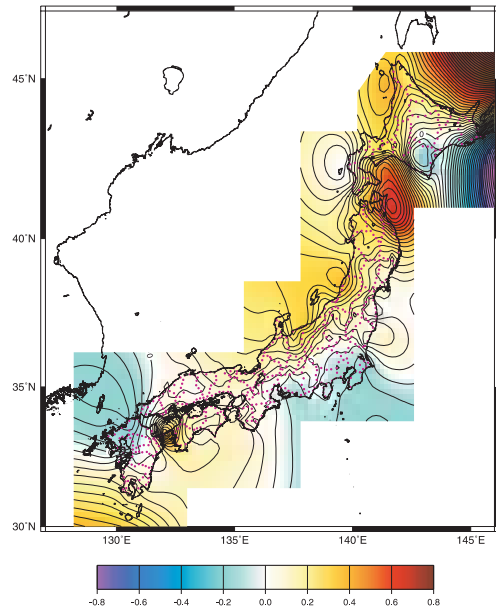


図-7 全国ジオイド測量816点のジオイド高データと重力ジオイド・モデル JGE01D2000 との較差分布  
コンター間隔は5 cm, 小点は全国ジオイド測量816点.

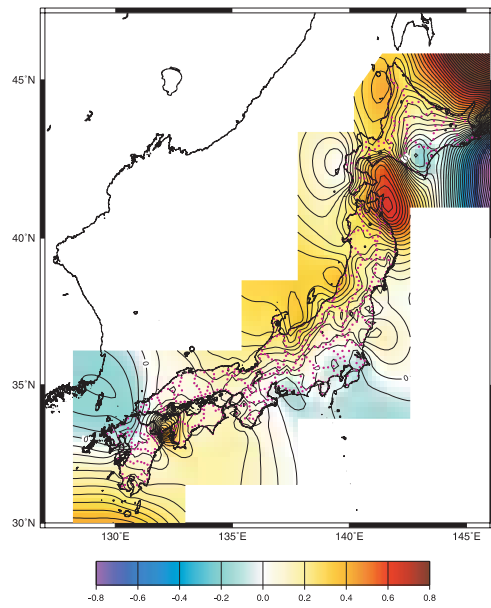


図-8 全国ジオイド測量816点の新ジオイド高データと重力ジオイド・モデル JGE01D2000 との較差分布  
コンター間隔は5 cm, 小点は全国ジオイド測量816点.

表-3 ジオイド高データと重力ジオイド・モデル JGE01D2000 との較差統計

Point Number	Bias (cm)	SD (cm)	Maximum (cm)	Minimum (cm)
816	-13.5	17.6	61.5	-79.6
816	-15.4	17.2	58.6	-80.0

(上段) ジオイド高データ - 重力ジオイド・モデル JGE01D2000 のジオイド較差  
 (下段) 新ジオイド高データ - 重力ジオイド・モデル JGE01D2000 のジオイド較差

8. 日本のジオイド 2000 への影響

「日本のジオイド 2000」と新ジオイド高データを用いた混合ジオイド・モデル (以下、「新混合ジオイド・モデル」という。) から、混合ジオイド・モデル同士のジオイド高の較差を求めた。

新混合ジオイド・モデルの作成は、2通りの手法で行った。

第1の手法は、「日本のジオイド 2000」の作成と同様の方法で行った。すなわち、ジオイド較差の共分散関数モデルを求め、求められた共分散関数モデルから最小二乗コロケーション法 (LSC) より中・長波長成分のジオイド補正モデルを求めた。この補正モデルに重力ジオイド・モデル JGE01D2000 を適合して混合ジオイド・モデルを作成する。

第2の手法は、新ジオイド高データとジオイド高データの直接的な較差量を「日本のジオイド 2000」に直接加える。

8. 1 第1の手法による新混合ジオイド・モデルの比較

8. 1. 1 ジオイド較差の共分散関数モデルと LSC によるジオイド補正モデルの比較

LSC を用いて最適で滑らかな内挿処理を行うことで、ジオイド較差の共分散関数モデルによる解析的共分散関数の比較を行った。ジオイド高データ及び新ジオイド高データによるジオイド較差の共分散関数を図-9, 10 に示す。共分散関数は全国ジオイド測量 816 点におけるジオイド較差から、任意の2点を組み合わせた全ての基線長に対し角距離 5 分毎の区間で経験共分散関数を求めたものである。その際、地域的な違いを評価するため、図-3 に示すエリア (A1~A4) の経験共分散関数も同時に求めた。

使用する解析プログラムは、国土地理院と京都大学が共同研究で開発したソース・プログラムを用いた。

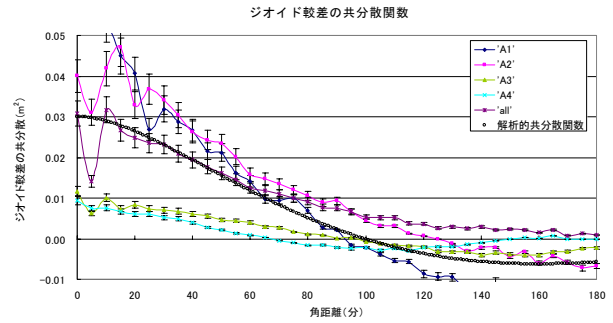


図-9 ジオイド高を使用したジオイド較差の経験共分散関数と解析的共分散関数

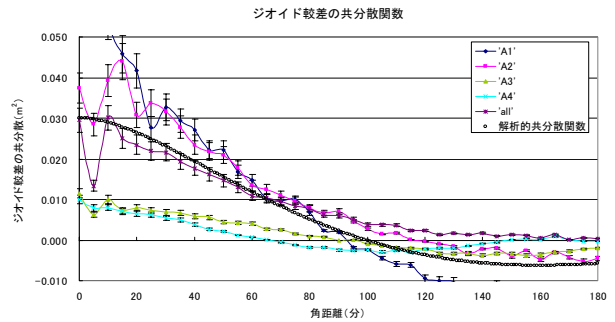


図-10 新ジオイド高を使用したジオイド較差の経験共分散関数と解析的共分散関数

新ジオイド高データを用いた解析的共分散関数の関数形は、以下のような Tscherning and Rapp (1974) の共分散関数モデルを使用し、

$N=60, R_E-R_B=5000\text{m}, C(\Psi=0)=0.03\text{m}^2$  となる  $A$  をもつ関数となった。これは現在の「日本のジオイド 2000」作成における解析的共分散関数パラメータと同じ値であることが確認された。

$$C(\Psi) = \frac{1}{\gamma^2} \sum_{n=N}^{\infty} \frac{A}{(n-1)(n-2)(n+24)} \left( \frac{R_B}{R_E} \right)^{2(n+2)} P_n(\cos \Psi)$$

$\Psi$  は角距離,  $\gamma$  は正規重力

$R_B, R_E$  はそれぞれ Bjerhammer 球の半径, 地球の平均半径

$P_n$  は正規化された  $n$  次 Legendre 多項式

解析的共分散関数のモデルパラメータが同じであることは、下式のような LSC による推定値やその共分散行列の  $C_{ss}, C_{sl}, C_{ls}, C_{ll}$  が解析的共分散関数パラメータにより計算され、異なるのはジオイド較差  $I$  とその共分散行列  $D_{ll}$  の違いだけということになる。 $D_{ll}$  は方程式系を正規化するパラメータであり解の滑らかさを決定しジオイド較差の分散値を対角成分にもつ対角行列となる。

$$s = C_{sl}(C_{ll} + D_{ll})^{-1}l$$

$$l = N_{GPS} - N_{JEOID2000} = (h_{GPS} - H_{level}) - N_{JEOID2000}$$

$$E_{ss} = C_{ss} - C_{sl}(C_{ll} + D_{ll})^{-1}C_{ls}$$

ここで、 $l$ は観測ベクトル、 $s$ は推定値を表す。

$h_{GPS}$ はGPSによる楕円体高、 $H_{level}$ は水準測量による正標高、 $N_{GPS}$ と $N_{重力ジオイド・モデル JGEOID2000}$ はそれぞれGPS/水準法によるジオイド高と重力ジオイド・モデル JGEOID2000によるジオイド高、 $l$ はジオイド較差、 $s$ はグリッド位置への内挿値である。 $C_{ss}$ 、 $C_{sl}$ 、 $C_{ls}$ 、 $C_{ll}$ は各々推定値ベクトル( $_{ss}$ )、推定値と観測値ベクトル( $_{sl}$ 、 $_{ls}$ )、観測値ベクトル( $_{ll}$ )の共分散行列で解析的共分散関数より計算される。 $E_{ss}$ は推定値誤差の共分散行列で、LSCの内挿誤差(formal error)を与える。 $D_{ll}$ はジオイド較差 $l$ の共分散行列である。

ジオイド較差の標準偏差を全国均一に0.13mとした場合、推定値の標準偏差が最小になり全国で滑らかな解が算出された。この推定値は「日本のジオイド2000」と同様の値であり、この値を用いてLSCを実行しジオイド補正モデルを求めた。

図-11、12にジオイド補正モデルとLSCの内挿誤差を示す。

内挿誤差は、ほぼ全域において一定で「日本のジオイド2000」と同様に約4cmであることがわかった。

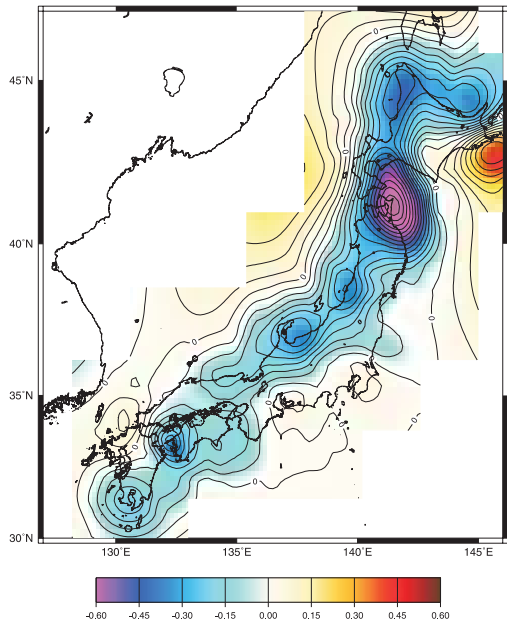


図-11 新ジオイド高データを用いたジオイド補正モデル  
コンター間隔5cm、数値の単位はm.

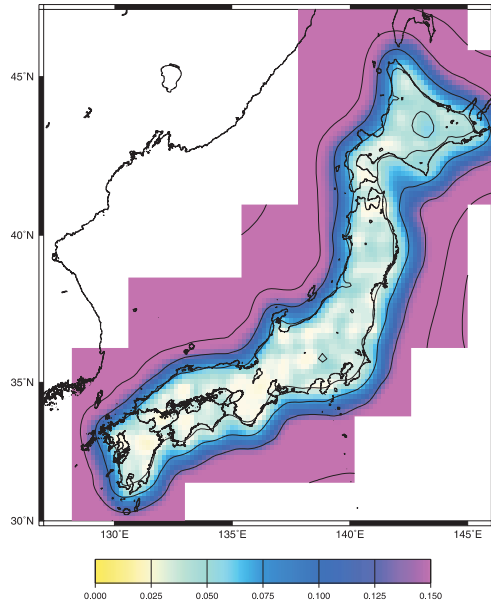


図-12 新ジオイド高データを用いたLSCによる内挿誤差  
コンター間隔5cm、数値の単位はm.

### 8. 1. 2 新混合ジオイド・モデル Hybrid Model (1)の内挿精度

ジオイド補正モデルに、重力ジオイド・モデル JGEOID2000を適合することで新混合ジオイド・モデル (Hybrid model(1))を作成した。

新混合ジオイド・モデルの内挿精度を評価するため、全国ジオイド測量816点のジオイド高データと比較を行った。この較差統計を表-4に示す。

「日本のジオイド2000」と比較しその較差である標準偏差や範囲に変動は見られない。

表-4 新混合ジオイド・モデルとジオイド高データとの比較

Used data set	Compared data set	Point number	Mean (cm)	SD (cm)	Maxi-mum (cm)	Mimi-mum (cm)
<b>GSIGE02000 model</b>						
Whole	Whole	816	-0.3	4.0	23.8	-35.8
Half_1	Half_2	406	-0.8	5.4	32.6	-47.5
Half_2	Half_1	403	0.0	4.5	17.3	-16.4
<b>Hybrid model (1)</b>						
Whole	Whole	816	-0.4	4.0	23.2	-36.9
Half_1	Half_2	406	-0.3	5.5	36.8	-33.9
Half_2	Half_1	403	-0.4	4.5	15.6	-15.5
<b>Hybrid model (2)</b>						
Whole	Whole	816	-2.3	4.3	20.9	-39.9

GSIGE02000 : 日本のジオイド2000  
Half\_1及びHalf\_2は、ジオイド高データを分割した評価

### 8. 1. 3 第2の手法による新混合ジオイド・モデル Hybrid Model (2)の内挿精度

新ジオイド高データとジオイド高データの較差量を「日本のジオイド2000」に直接加えた計算を行った。較差量を図-6に示す。中波長成分である緯度 10' ×経度 10' のグリッド間隔で作成されている。これをGMTのテンション付きスプライン補間により格子化し補正モデルを作成した。

この格子化補正モデルを「日本のジオイド2000」と同じ緯度 1' ×経度 1.5' の格子点にバイリニア補間法により内挿し「日本のジオイド2000」に直接加算して新混合ジオイド・モデル (Hybrid model (2)) を作成した。

新混合ジオイド・モデルの内挿精度を評価するため、全国ジオイド測量816点のジオイド高データと比較を行った較差統計を表-4に示す。

「日本のジオイド2000」と比較すると、平均値が-0.3から-2.3、標準偏差が4.0から4.3、範囲も多少大きくなるが「日本のジオイド2000」の精度に対する影響は小さいと言える。

### 8. 2 ジオイド高データを分割使用した外部評価

第1の手法に対して、独立したジオイド高データを用いて外部評価を行うため、表-3に示す全国ジオイド測量816点のデータセット (Half\_1及びHalf\_2) を2つの均等な点コード順に並べ偶数及び奇数のデータセットに分割し、一方のデータセットでモデル作成を行い、もう一方のデータセットのジオイド高で比較を行い、2組のジオイド高データによる外部評価を行った。

その結果、新混合ジオイド・モデルとジオイド高データとの2組の較差は、平均はそれぞれ-0.3cm, -0.4cm、標準偏差は5.5cm, 4.5cmであり内挿精度と調和的であった。また、以上の結果から「日本のジオイド2000」との比較においても調和的であることがわかった。

### 8. 3 「日本のジオイド2000」と新混合ジオイド・モデルの比較

第1・第2の手法によって作成された新混合ジオイド・モデルと「日本のジオイド2000」と比較評価を行った。第1, 第2の手法の較差は、表-5より平均値はそれぞれ-2.0cm, -0.1cm、標準偏差は2.0cm, 1.4cm、範囲は21.0cm, 21.7cmであり、表-2のジオイド高の較差における精度と調和的であるが、範囲が8.9cmから21.7cmと大きくなっている。

表-5 日本のジオイド2000と新混合ジオイド・モデルとの較差統計

Point Number	Mean (cm)	SD (cm)	Maximum (cm)	Minimum (cm)
816	-2.0	2.0	5.1	-15.9
816	-0.1	1.4	5.8	-15.9

(上段) : 第1の手法 (Hybrid model (1))

(下段) : 第2の手法 (Hybrid model (2))

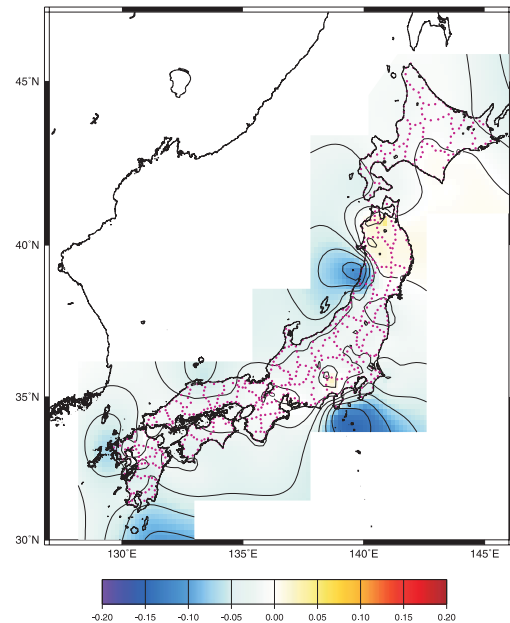


図-13 新混合ジオイド・モデルと日本のジオイド2000との較差分布

新混合ジオイド・モデルと「日本のジオイド2000」の較差分布を図-13に示す。

較差分布は、全国的に滑らかな較差分布をしているが、東北地方の日本海側と相模湾付近にジオイド高の較差が局所的に大きい個所が存在する。

この局所的な短波長の原因を探るため、共分散関数を使用した評価を行った。評価は、全国ジオイド測量816点の新・ジオイド高データの較差 (図-14) と、新混合ジオイド・モデルと「日本のジオイド2000」との較差 (図-15) から図-3に示す地域毎に区分した共分散関数におけるデータの特性を調べた。

地域毎に区分したA1からA4より、東北地方の日本海側の地域であるA2は、図-14と比べ図-15の重力ジオイド・モデルを適合して作成されたジオイド・モデルのジオイド高の共分散関数がほぼ全域の角距離において振動しており、短波長成分における重力ジオイド・モデル JGE0ID2000の系統誤差と、中・長波長成分のジオイド高データにおける誤差と考えられる。

また、相模湾付近を領域とする A3 においても、70 分の角距離で振動しており、同様の影響が考えられる。

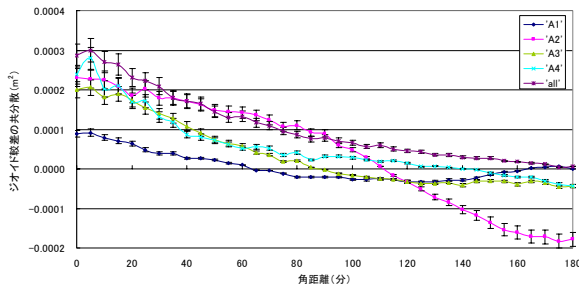


図-14 全国ジオイド測量 816 点の新・ジオイド高データの較差における共分散関数

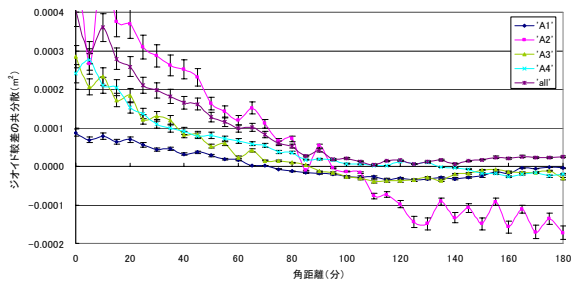


図-15 新混合ジオイド・モデルと日本のジオイド 2000 との較差における共分散関数

## 9. 「日本のジオイド 2000」の標高決定精度

### 9. 1 新ジオイド高データによる「日本のジオイド 2000」の標高決定精度

新 GEONET 成果を用いた時、「日本のジオイド 2000」における標高決定精度を全国ジオイド測量 816 点の新ジオイド高データと「日本のジオイド 2000」との較差統計を表-6 に、較差分布を図-16 に示す。

較差統計は、新・ジオイド高データの較差量を「日本のジオイド 2000」に加えて内挿精度で評価した結果は調和的であることがわかった。

表-6 新ジオイド高データと日本のジオイド 2000 との較差統計

Point Number	Mean (cm)	SD (cm)	Maximum (cm)	Minimum (cm)
816	-2.3	4.3	20.9	-39.9

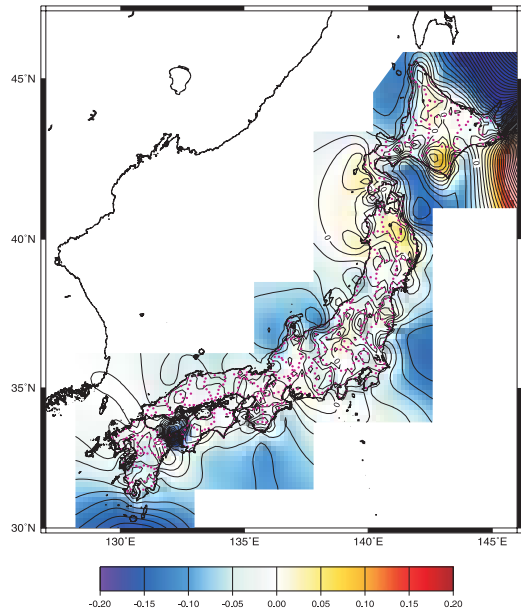


図-16 日本のジオイド 2000 と新ジオイド高データの較差分布  
コンター間隔 2.5cm, 小点は全国ジオイド測量 816 点, 数値の単位はm.

## 9. 2 ジオイド測量作業による「日本のジオイド 2000」の標高決定精度の評価

### 9. 2. 1 ジオイド測量作業による精度検証

離島・半島地域のジオイド・モデル精度検証作業として、2004 年度は佐渡, 能登, 下関, 加世田, 鹿児島地区と 2005 年度は積丹半島, 天草, 熊本, 長崎, 大村, 佐賀地区の実測データを用いて精度検証を行った。

これら検証地区の解析は、GPS データを用いて GEONET 成果及び新 GEONET 成果を固定して解析を行い「日本のジオイド 2000」との較差を定量的に算出した。

GEONET 成果を固定した解析は、GPS 観測した周辺の電子基準点におけるアンテナ位相特性を考慮した解析を行った。

解析条件は、「日本のジオイド 2000」と同じ解析ソフトウェアを用いた。

ジオイド測量点の配点密度は約 5 km~20km 間隔で行い、観測時間は全国ジオイド測量で行った 3 時間から倍の 6 時間の観測を行った。

標高成果の算出は、「2000 年度平均成果」と同じ手法で水準測量から Helmert の正標高補正された成果値を採用した。

### 9. 2. 2 ジオイド測量作業による精度評価

精度評価は、楕円体高決定精度を重視し以下の 3 つのグループに分けて解析を行った。



## 1) グループA

ジオイド・モデル作成の既知点とした電子基準点 108 点の GEONET 成果を用いたケース

(主に 94 番台電子基準点)

## 2) グループB

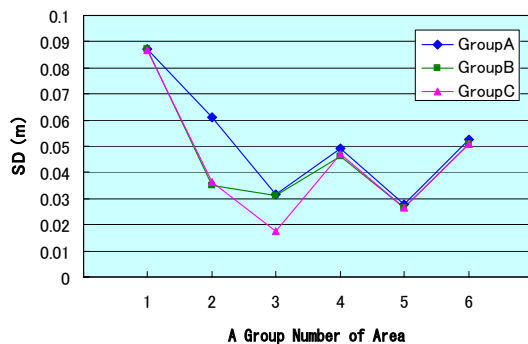
電子基準点 108 点の新 GEONET 成果を用いたケース

## 3) グループC

電子基準点 108 点以外の観測点も含めたケース

検証結果を表-7に示す。グループBとグループCの新 GEONET 成果を固定した解析結果の比較は、ジオイド・モデル作成で使用した電子基準点 108 点以外の観測点も含めた精度的な違いは、ほとんど見られない。一方、グループAとグループCの比較では、明らかにグループCの方が標高決定の精度が良いことがわかった。また、図-17より、能登地区における標準偏差は6.1cmから3.7cm、下関地区では3.2cmから1.8cm、それぞれ低減されている。

範囲は、18.1cmから12.1cm、11.3cmから6.3cmになり、新 GEONET 成果に改定されたことによって「日本のジオイド2000」に対する標高決定の精度が改善された。



検証地域番号

1: 佐渡 2: 能登 3: 下関 4: 加世田 5: 鹿児島

6: 積丹半島

GroupA: GEONET 成果, 94 番台観測点

GroupB: 新 GEONET 成果, 94 番台観測点

GroupC: 新 GEONET 成果, 94 番台観測点+その他の観測点

図-17 各グループにおける日本のジオイド2000とジオイド高データとの標高決定精度

表-7 2004 年度・2005 年度ジオイド測量から求めたジオイド高データと日本のジオイド 2000 との較差統計

Area	Point Number	Mean (cm)	SD (cm)	Maximum (cm)	Minimum (cm)
<b>GroupA</b>					
Sado	13	-0.1	8.7	13.3	-13.1
Noto	16	1.9	6.1	10.5	-7.6
Shimonoseki	13	-1.6	3.2	6.5	-4.8
Kaseda	16	4.8	4.9	21.0	-1.6
Kagoshima	24	2.5	2.8	7.2	-2.7
Shakotan	13	-11.5	5.2	-3.1	-17.9
<b>GroupB</b>					
Sado	13	1.0	8.7	14.3	-12.1
Noto	16	-1.4	3.5	3.8	-8.3
Shimonoseki	13	-1.6	3.1	6.4	-4.7
Kaseda	16	-0.7	4.6	15.0	-6.8
Kagoshima	24	-4.9	2.7	0.3	-10.0
Shakotan	13	-10.2	5.1	-3.2	-16.5
<b>GroupC</b>					
Sado	13	3.6	8.7	17.7	-9.3
Noto	16	0.1	3.7	6.3	-5.8
Shimonoseki	13	-0.8	1.8	3.5	-2.8
Kaseda	16	-0.8	4.7	14.9	-7.4
Kagoshima	24	-6.5	2.6	0.3	-11.0
Shakotan	13	-10.3	5.1	-3.4	-17.2
KyushuW	32	-1.5	2.9	2.5	-8.8

※KyushuW: 天草, 熊本, 長崎, 大村, 佐賀地区の総称

表-8 2004 年度・2005 年度ジオイド測量から求めたグループAとグループCのジオイド高の較差統計

Area	Point Number	Mean (cm)	SD (cm)	Maximum (cm)	Minimum (cm)
Sado	13	3.7	0.4	4.4	3.0
Noto	16	-0.5	3.9	3.0	-6.7
Shimonoseki	13	0.8	2.0	2.9	-3.0
Kaseda	16	-5.6	1.2	-2.7	-6.7
Kagoshima	24	-9.0	1.2	-7.0	-11.0
Shakotan	13	1.3	0.6	1.9	-0.7

表-8は、グループAとグループCの実測したジオイド高データによる直接的な較差統計である。

表-8のジオイド測量によるジオイド高の較差量と、全国ジオイド測量816点の新・ジオイド高データによる較差量(表-2)の比較から、実測したジオイド高データの較差の最大は鹿児島地区

で約 4.0cm, その他は概ね較差分布の範囲内と言える。また, 天草, 熊本, 長崎, 大村, 佐賀地区の標高決定精度の評価は, 精度が約 3.0cm であり「日本のジオイド 2000」の精度範囲内であることがわかった。

## 10. まとめ

GEONET システムの解析精度の高精度化に伴い GEONET 成果 (楕円体) が改定され「日本のジオイド 2000」への影響を評価した。

「日本のジオイド 2000」は, 重力ジオイド・モデル JGE0ID2000 を用いて日本の標高基準面位置である GPS/水準法によるジオイド高データに適合しているため, その影響は全国ジオイド測量 816 点のジオイド高データに含まれていることがわかった。

また, 影響の直接的な要因は, GEONET 成果におけるアンテナ位相特性モデルの誤差であることが明らかになった。

また, GEONET 改造による人為的なオフセット量を補正した換算新成果を使用し全国ジオイド測量 816 点のジオイド高データの影響量は最大約 7 cm

程度の影響があった。さらに, 影響量を加味して作成した新混合ジオイド・モデルと「日本のジオイド 2000」との比較においても同様の結果が得られた。よって「日本のジオイド 2000」の精度から判断するとジオイド・モデルの影響は少ないものと考えられる。

離島・半島地域のジオイド測量による検証結果においても「日本のジオイド 2000」における影響は少ないことがわかった。

「日本のジオイド 2000」に対する標高決定の精度評価では, 電子基準点を測定の基準点として用いる場合, 新 GEONET 成果を使用することによって精度が低減される傾向がわかった。

国土地理院では, 全国すべての地域で均一な確度で標高決定を行うため, できるだけ多くの電子基準点に標高取り付けを行いジオイド・モデルの高精度化を行っていく予定である。

## 謝 辞

本論をまとめるにあたり, 地理地殻活動研究センター黒石裕樹宇宙測地研究室長のご指導を仰ぎました。ここに記し感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- Kuroishi, Y., H. Ando, Y. Fukuda (2002) : A new hybride geoid model for Japan, GSIGEO2000. Journal of Geodesy, 76, 428-436.
- Kuroishi, Y., H Denker (2001) : Development of improved gravity field models around Japan. IAG Symposia, 123:MG Sideris (ed) , Gravity, Geoid, and Geodynamics 2000, 317-322.
- Kuroishi, Y (2001) : A new gravimetric geoid model for Japan, 重力ジオイド・モデル JGE0ID2000. IAG Symposia, 123:MG Sideris (ed) , Gravity, Geoid, and Geodynamics 2000, 329-333.
- Nakagawa, H., K.Wada, T. Kikkawa, H. Shimo, H. Ando, Y. Kuroishi, Y. Hatanaka, H. Shigematsu, K. Tanaka, and Y. Fukuda (2004) : Development of a New Japanese Geoid Model, "GSIGEO2000", Bulletin of the Geographical Survey Institute, 49, 1-10.
- Tscherning, C. C., R.H.Rapp(1974) : Closed covariance expression for gravity anomalies, geoid undulations, and deflection of the vertical implied by anomaly degree variance models. Rep 208, Department of Geodetic Sciences, The Ohio State University, Columbus.
- Wessel, P., Smith, W.H.F. (1991) : Free software helps map and display data, EOS Trans. Amer. Geophys. U., 72, pp. 441, 445-456.
- 安藤久, 佐々木正博, 畑中雄樹, 田中和之, 重松宏美, 黒石裕樹, 福田洋一 (2002) : 「日本のジオイド 2000」の作成, 国土地理院時報, 第 97 集, 25-30.
- 岩田昭雄, 宮原伐折羅, 湯津堂亨, 雨貝知美, 千田進一 (2004) : 技術報告書「電子基準点標高改定について」.
- 黒石裕樹 (2000) : 日本のジオイドの重力手法による精密決定, 測地学会誌, 第 46 巻, 第 1 号, 1-20.
- 黒田次郎, 高畑嘉之, 松島成佳, 福田洋一 (1997) : LSC 法による GPS/水準測量と重力ジオイドの統合, 国土地理院時報, 第 87 集, 1-3.
- 測地観測センター (2004) : 小特集 : 電子基準点 1, 200 点の全国整備について, 国土地理院時報, 第 103 集, 1-52.
- 測地成果 2000 作成概要編集委員会 (2003) : 測地成果 2000 作成概要, 国土地理院技術資料 B-5 No. 20.

- 野村勝弘, 福崎順洋, 渡辺政幸 (2005) : 電子基準点標高改定による日本のジオイド 2000 への影響の評価と改良ジオイド・モデルの検討, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集, D005-P004.
- 野村勝弘, 渡辺政幸 (2005) : 電子基準点楕円体高改定による「日本のジオイド 2000」への影響の評価と改良ジオイド・モデルの検討について, 国土地理院技術報告書,
- 畑中雄樹 (2006) : 地球センサーとしての GPS 連続観測網の高度化—GPS 観測量に含まれるシグナルとノイズの分離—, 測地学会誌, Vol, 52, No. 1, 1-19.
- 畑中雄樹 (2004) : 人為的座標オフセットの推定手法について.
- 福崎順洋 (2004) : 電子基準点楕円体高改定のジオイド・モデル「日本のジオイド 2000」への影響の検証結果について, 基準点成果改定連絡会資料.
- 湯通堂亨, 岩田昭雄, 雨貝知美, 小島秀基, 矢萩智祐, 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, 第 106 集, 21-30.