

LSC法によるGPS／水準測量と重力ジオイドの統合

Integration of Gravimetric Geoid and GPS/Leveling Survey by Least Square Collocation

測地部 黒田次郎・高畑嘉之・松嶋成佳

Geodetic Department

Jiro KURODA, Yoshiyuki TAKABATAKE, Masayoshi MATSUSHIMA

京都大学大学院理学研究科 福田洋一

Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University

Yoichi FUKUDA

要旨

国土地理院では、国内の一等水準路線の水準点で、直接ジオイド高を求めるGPS／水準測量を実施した。

GPS観測点は、一等水準路線網（20,000km）の約20km間隔の水準点とし、その総点数は約900点に及んだ。GPS観測点の三次元座標の決定には、IGS（国際GPS観測網）により平均された電子基準点を使用した。

観測されたジオイド高により、これまでの重力ジオイド（JGEOID93）との差異とその特徴をつかみ、LSC法（最小二乗コロケーション法）により重力ジオイドに補正を加え、新しいジオイドを決定した。

1. はじめに

近年、宇宙技術の普及に伴い、GPSによる幾何学的で高精度な測量が可能となった。このGPS測量において、水平位置成分については高精度に求めることができるが、高さの成分については、日常で使っているジオイドを基準とする標高とは異なる幾何学量となるため、これを標高に変換するための高精度なジオイド高が必要となる。

国土地理院ではこれらを背景として1993年に、過去の重力データ（重力測量4万点、海上重力45万点）とグローバルジオイド及び標高データを用いて、球面近似のFFTによるストークス積分で、日本周辺の重力ジオイドモデルを算出した。これは、それまでにない高精度なジオイドで、細部の起伏は重力異常を反映している。しかし、検証のためのGPS／水準測量との比較等で、局部的には非常に良い一致がみられたが、地域が広くなると傾きと思われる誤差が存在していることが判明した。

これを解決するためには、全国に亘るGPS／水準測量を必要な間隔で実施し、そのジオイドに重力ジオイドをフィッティングさせる必要がある。このため国土地理院では1995年に日本全国の水準点上でGPS観測を行い、データ化を行った。この観測値を使用して、これまでの重力ジオイドとの差異を分析し、LSC法により経験的な共分散係数で重力ジオイドに補正を加え、新しいジオイドを決定した。

ここでは、重力ジオイドの補正に必要なGPS／水準

測量の観測における精度の吟味と、LSC法による重力ジオイドの補正について述べる。

2. 観測の実施と精度

水準路線においてGPS観測を行うため、試験観測を重ねた結果、以下の条件で観測を行えば良好な結果が得られることがわかった。

- ① 観測点間の距離は10km～60kmで、観測時間は2波の受信機で3時間程度でよいこと。
- ② 基線解析に用いるWGS-84系の座標値は正確であること。
- ③ 水準点での観測が不可能な点は、標高のみの偏心観測で良いこと。

これらを基に、検討の結果、次の条件で観測を行うこととした。

①の観測点間距離については、4測点を路線上にとると点検のため最長基線が60km以内になること、JGEOID93の傾きの量は1～2ppmであり、仮に20km間隔で補正したとしても2～4cmであること、また、GPSの高さの精度を考慮して20kmを標準とした。

②については整備の完了した電子基準点を使用することで解決した。国土地理院では稼働している100点の電子基準点のデータを集積し、日々IGSに基づき網平均を行っている。この平均的な結果を使用することにより、GPSの基線解析の初期座標値に十分な精度で供給できること、また、全国をいくつかの地区に分けて観測しても統一した基線解析をすることが可能となった。

③については、偏心点は水準点の偏心であるため、水準測量による取り付け観測で偏心点の標高をもとめることにした。

以上の条件で観測された約900点の観測点図を図-1に示す。山岳地のデータが少ないものの離島をのぞく全国を網羅していることがわかる。

GPS観測による楕円体高の精度を、平均300kmの環による閉合差（図-2）で見ると、全体の誤差平均は±4cmであり、最大でも13cmと目標とした1ppmより非常に良い結果が得られていることが分かる。

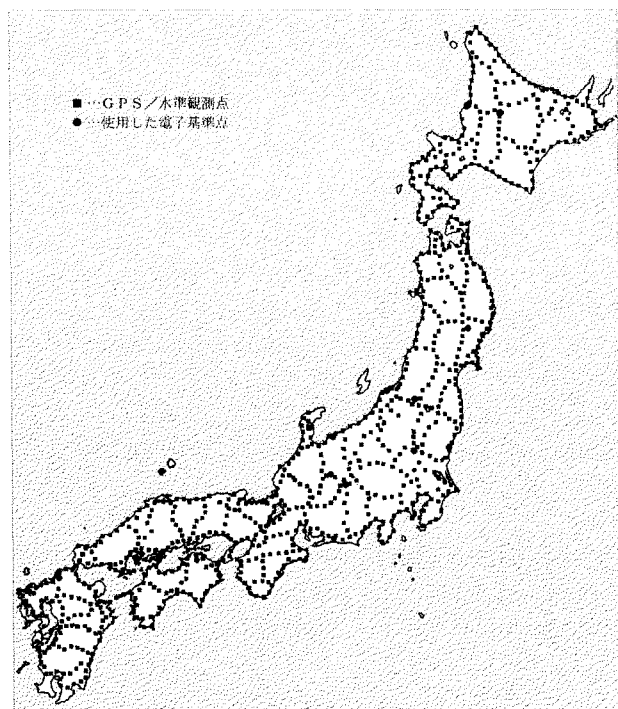


図-1 GSP/水準 観測点一覧

3. LSC法による重力ジオイドの補正

GPS/水準測量によるジオイドは、重力異常をストークス積分して得られる重力ジオイドとは全く独立なジオイドデータを与えるため、その結果は、既存の重力ジオイドの評価や改良の目的に大きな威力を発揮することが期待できる。

重力ジオイドは、日本列島および周辺海域の最新の重力データを使用して、球面近似のFFT法によって計算された $3' \times 3'$ 格子上のデータセットである。これまでの研究によって、短波長域における十分な分解能と高い精度を有していることは確認されているが、一方で、VLBI、SLR等による長基線でのジオイド比高との比較や、他のジオイドモデルとの比較等から、東西方向の傾斜、あるいは長波長域での揺らぎを持つらしいことも指摘されていた。そこで、GPS/水準測量のジオイド高を使い、重力ジオイドの長波長域での揺らぎの特徴を調べ、GPS/水準ジオイドに最も適合するような重力ジ



図-2 GSP楕円体高の環閉合

オイドに対する補正量を求めることで、モデルの持つ長波長域での誤差を取り除くことにした。

具体的な手順としては、まず、揺らぎの統計的な特徴を調べるために、両者の食い違い量についての経験的な共分散関数を求め、その後、GPS測定点における食い違い量を、LSC法を用いた最適内挿法で空間的に均質に内挿し、重力ジオイドに対する補正量を求めた。

口絵2は、このようにして得られた重力ジオイドに対する最終的な補正量を示したものであるが、この図からも、重力ジオイドが全体として東西方向の傾斜を持っていたことが確認できる。また、両者の差には、単純な多項式等で表現するには困難な、より短波長での食い違い成分がわずかではあるが含まれることも明らかになった。

4. 高精度ジオイド

重力異常を詳細に反映した重力ジオイドと高密度なGPS/水準データにより、LSC法による誤差の推定を行い、これに基づく補正計算を実施し決定した。結果のデータは、WGS-84系の3'×3'グリットのジオイドデータとしてまとめられた。この結果を図で表したものが口絵1で、コンターは20cm間隔とした。

東日本の太平洋側は日本海溝に大きく沈み込み、中央日本は日本アルプスを中心に東北地方まで大きく盛り上がり、北海道地方と九州地方は低い傾向がある。日本全体としてジオイドは、全地球的にみると高い位置にある。

この新しいジオイドの精度については、修正されたジオイドとGPS/水準ジオイドとの差を求め、その統計量を計算した結果、RMSは6.9cmであった。

このジオイド成果の使用にあたっては、補間プログラムで任意地点の座標を入力することにより、その地点でのジオイド高が得られる。この結果をGPS測量で求められた楕円体高に補正すると、標高が求められる。

5. まとめ

日本全国に及ぶGPS/水準の観測が非常に高精度に行われた結果、詳細で精密な重力ジオイドをさらに正確なジオイドに改良することが可能になった。この新しいジオイドの決定により、宇宙技術によるGPS測量等の幾何学量と地球物理量の結合が実用レベルで可能になった。測地測量の分野では早急にこのジオイドを取り入れることにより、測量の効率化が図られるであろう。また、今後は、全国に配備された電子基準点と結合させた単独測定で全国どこでも精度の良い（平地でRMS 7 cm, 山地でおおむね20cm）標高が得られるようになる。高精度なジオイドを求めていくことは、宇宙技術を活用した地球物理量の計測技術の向上をはかっていくことになる。

なお、GPS/水準測量データを用いた重力ジオイドの補正の計算については、京都大学との共同研究により実施した。

参 考 文 献

Yuki Kuroishi (1995) Precise Gravimetric Determination of Geoid in the Vicinity of Japan, Bull. GSI, 41, 1-93.