

氏名	本多 亮
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博甲第 699 号
学位授与の日付	平成 17 年 3 月 22 日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第 4 条第 1 項)
学位授与の題目	広域重力地形補正計算の高精度化と Real Bouguer Anomaly 算出の試み
論文審査委員(主査)	古本 宗充(自然科学研究科・教授)
論文審査委員(副査)	石渡 明(自然科学研究科・教授), 平松 良浩(自然科学研究科・助教授), 長谷部 徳子(自然計測応用研究センター・助教授), 河野 芳輝(金沢大学名誉教授)

学位論文要旨

Abstract

The simplest way to improve accuracy of gravity data is to improve terrain gravity correction. Accuracy of the terrain correction strongly depends on the grid spacing of digital elevation dataset used in the calculation. In and around the Japanese Islands, both 50 m mesh elevation on land area and 500 m mean bathymetric data on sea area are available. In order to simplify calculation algorithm, we generated synthesized digital elevation and bathymetry dataset, whose grid spacing is approximately 50 meters, by combining several available digital topographic data. The terrain correction program was coded simulating topography as an assembly of a rectangular parallelepiped prism and neglecting the curvature of the earth's surface. Integration of gravitational effects due to each prism on a station is truncated at 50 km. The accuracy of calculation is evaluated to be of the order of 1 mGal or less. New program can calculate terrain corrections due to both land and seafloor topographies within one procedure. The calculated terrain correction values are consistent with other works, and are more sensitive to short wavelength topographic undulations. We applied this program for nearly 600 thousands gravity measurement points in and around the Japanese Islands. Though the accuracy of gravity data was improved by new terrain correction, Bouguer Anomaly itself has a problem. By modifying the terrain correction program, so called "Real Bouguer Anomaly" was also calculated, which is strictly reduced to the Geoid. It may solve the approximation problem of the Bouguer Anomaly.

はじめに

重力データは様々な要因による誤差を含み、そうした誤差は、測定時、データ補正時双方における工夫と努力とによって取り除くことが出来る。測定時に付きまとう最大の誤差要因は座標決定精度の悪さであるが、蓄積された重力データは 100 万点に及び、これらすべてについて 1 点 1 点これを決定しなおすことは困難である。そこで、重力補正の中で最も誤差を多く含む地形重力補正に着目した。地形による重力効果の補正においては、その精度は補正計算に用いる DEM (Digital Elevation Model) のメッシュ間隔に大きく依存する。計算機を用いた地形重力補正は数多く開発されてきた。最近では陸域において本研究と同じ 50mDEM を用いた地形補正も報告されている (Yamamoto, 2002)。本研究では国内外の出来るだけ詳細な地形データを編纂し、日本列島とその周辺海域を広く覆う陸海統合 DEM を作成した。そしてその DEM を用いて陸海地形補正を重力データに適用した。地形補正によって重力異常データの精度は大幅に改善されるはずであるが、ジオイド面における値であるとされるブーゲ重力異常が厳密にはジオイド面に準拠していないという問題がある。このブーゲ異常近似の粗さはすでに指摘されているものである。近年の地下構造解析においてはそれを承知の上で、地下の密度構造が地表に及ぼす理論値との比較を行っているので、多くの場合問題は生じない。しかしながら重力異常の水平方向の勾配量を求め、他の情報との比較、検討をする場合などには、ブーゲ異常の近似の粗さは重大な問題となる可能性がある。本研究は、未だに検証がされていないこの問題について、ジオイド面までリダクションされた Real Bouguer Anomaly (RBA: Tsuboi, 1965) の算出を試みた。

DEM の作成

まず、新 DEM の作成には元になる DEM の座標系、グリッド間隔の違いの問題が大きな障害となった。座標系はデータの少ない世界測地系のデータを日本測地系に変換することで、また、グリッド間隔の違いは詳細な陸域データを差し替えながらのイタレーションを地道に繰り返す補間作業によって解決した。補

間作業は周囲 15 分ずつデータをオーバーラップさせながら 1 度×1 度の範囲ずつ作業を進めた。生成された DEM の形式は二次元配列の形式をとる。これは XYZ (経度, 緯度, 標高値) のデータ形式に比べて扱い難いという欠点はあるものの, 容量は 4 分の 1 程度に抑えることが出来るという利点がある。本研究で作成した DEM は日本列島とその周辺海域を広く覆い, これにより我々が保持する日本列島とその周辺のほぼ全ての重力データについて, これまでに比べて凡そ 5 倍から 10 倍の詳細な海陸地形補正が可能となった。作成された 4368 個の DEM ファイルを用いてそれぞれ地形図を描画し, 正しく DEM が生成されたことを目視で確認した。総容量は 14Gbyte を超える。

地形補正計算

地形補正計算は, 用意した DEM を一辺 50m の角柱で近似して行う。ただし, 角柱の引力の解析解を算出するのは測定点近傍 3km まで, それよりも遠方は線質量に近似した。ジオイド面より上の測定点に及ぼす陸上地形による地形補正値は, 一般に採用されているように, ブーゲ板と実際の地形との差によって生じる質量過不足分の補正値として定義する。また, ジオイド面以下の測定点に及ぼすジオイド面以上の地形による地形補正値は, その地形による質量過剰分の補正値として定義する。海底地形による地形補正値は, 測定点に及ぼす海水が占める領域の質量欠損分の補正値として定義する。この場合の補正密度は陸域の計算において仮定した岩石密度と同じ密度を持った物体で海水を置き換えたときを想定し, 陸域で用いた岩石密度から海水の密度を差し引いた値とした。陸水域による効果は現段階では計算していない。地球表面は平板として扱い曲率は考慮していない。

実際に重力データに地形補正計算を適用するに先立ち, 理論地形によるプログラムチェックを行った。まず, 理論的に半球状の地形を作り出し, 開発したプログラムによってその引力値を求めた。これを半球地形による理論重力値と比較すると, 極めて良く一致した (0.1mGal 以内)。金沢大学重力グループがこれまで使用していたプログラムによる同様の検証では, 4mGal 程度の誤差が生じていたため, DEM を詳細にしたことにより精度が大幅に改善されたことが確認できた。次に実際の地形に沿って 50m 間隔に擬似測定点を発生させ, 500mDEM, 50mDEM による地形補正を計算し, 比較した。その結果, 50mDEM による補正項のほうが, 短波長の地形に対応する様子が確認でき, 実際の測定点に適用した際にも同様の効果が期待できそうである。最後に, 計算打ち切り範囲の検討を行った。実際の測定点のうち, 計算打ち切り距離の影響を受けやすいと考えられる標高の高い測定点を選び出し, 計算打ち切り距離を変化させながら補正値の変化を検討し, 50km までの計算を行うものとした。

結果と議論

新しい地形補正を適用した結果の具体的改善例を示す。

まず, 新潟富山県境付近において検証した結果, 陸域において今回補正が可能になった海水域の質量欠損による補正量は最大 2mGal に達した。地形補正項は周囲の地形による引力効果の鉛直成分であるので, この値は海岸線に近いほど, また, 標高が高いほど大きな値になっている。

次に, 邑智低地帯において従来の重力異常と新地形補正を適用した重力異常分布を比較した。この地域は測定点他地域に比べて著しく密である。検証した結果, 同地域において, 急峻な断崖崖地形による地形効果にこれまでより短波長で対応できていることが分かった。

次に, 北アルプスの険しい山岳地域における重力異常分布を新旧で比較した。図 1 に解析範囲の地形図を, 図 2, 図 3 にそれぞれ 500m, 50m メッシュによる地形補正を施した重力異常を 2mGal コンターで示す。また, 図 4 には 50m メッシュによる地形補正を施した重力異常を 1mGal コンターで示す。これによれば従来の重力異常図は 2mGal コンターでも大きな乱れが各所に見られたが, 本研究の地形補正によって, 2mGal コンターの重力異常図は非常に滑らかになり, 1mGal コンターの重力異常図もほぼ滑らかである。重力測定点の標高とその測定点が位置する DEM 標高値との間には, ほとんどの場合においてギャップが存在し, それは時には 50 m に達する。これは主として測定点の座標および標高の決定精度の問題, DEM の間隔よりも短波長の地形起伏に起因する問題である。これによる地形補正の誤差は多くの場合 1 mGal 以内である。従って現時点での地形補正の精度の限界は 1 mGal 程度であるといえる。山岳地域の重力測定は谷筋, 尾根沿いに行われる傾向にある。新しい地形補正により重力異常図は大幅に改善され, 地形の起伏の激しい山岳地域における重力異常の精度が向上したことを確認できた。

海域における重力異常図はこれまでと大きく変わったものにはならなかったが, 地形起伏が激しい海域においては重力異常が滑らかになった。また, 陸域との接続も上手くいっているようで, 紀伊半島沖の重力異常についても解析を行った。これまで河野・古瀬 (1989) による重力異常図にも現れていた紀伊半島先端部の局地的に高い重力異常は今回海底地形の影響を補正したことにより, 潮岬から 20 km ほど海洋側に中心をもち半径 25 km ほどの孤立した高まりであることがより明瞭となった。また, 地質調査所 (2000) による, 海水域による効果を補正した重力異常図とも調和的であることは, 本報告における海水域の地形補正処理に矛盾が無いことを示している。この高まりは地殻浅所に地殻の平均的な密度より高密度の巨大な岩体が存在すること意味している。1944 年の東南海地震および, やや離れるが 1946 年南海地震の震央

(Kanamori, 1972) がこの高異常域近傍にプロットされることは興味深い事実である。様々な情報を総合すると, この高重力異常の原因は, 密度はやや高いが熊野酸性岩類である可能性が高い。この地域の海底地殻が固く, 均質であるようだ。南海トラフでは凡そ 100 年周期で海溝型巨大地震が発生しており, そ

れらはセグメントごとに破壊していると考えられている。こうした地震の破壊域の水平方向への広がり是不明なことが多い。近年津波波形を用いたインバージョン (Tanioka and Satake, 2001; Baba *et al.*, 2002) によってこれらの地震のすべり量分布が見積もられている。それらによれば、岩体付近での東南海地震のすべり量は非常に小さく、南海地震のすべり量は非常に大きい。また、この高重力異常域は Ando (1975) による東南海地震で破壊するとされる幾つかのセグメント境界のひとつに位置し、石橋・佐竹 (1998) によれば、南海トラフの海溝型巨大地震がこの境界を越えて破壊することは稀である。海上重力の測定点分布に偏りがあるしその測定精度や震源位置にも不確かさがあるので、高異常域とこれらの震源との間にどのような関係があるかについてはさらに検討を要する。しかし、ここで述べてきた高重力異常域は、南海トラフで繰り返し起こる巨大地震の発生機構解明の鍵となる可能性があり、今後この地域における、より詳細且つ多方面からの調査が望まれる。

RBA 算出

開発した地形補正プログラムを応用して RBA 計算プログラムを開発した。特に標高の高い地域で RBA 補正の積分方程式の解が収束しないという問題が生じたが、緩和係数や積分範囲、グリッド間隔のコントロールによって再現性のある値が得られるようになった。RBA 算出の見通しが立ったことで、今後、ブーグ異常では正確に解釈できていなかった情報、例えば水平方向の重力勾配量の議論などもより正確に扱われるようになるだろう。

まとめと今後

日本列島を広く覆う 50m メッシュの DEM を作成した。それを用いて本研究で行った新しい地形補正により、重力データの精度は大きく向上した。特に、急峻な山岳地域においてはその効果は顕著である。また、海水域の効果も補正できたことによって、陸海の重力異常精度の向上が実現した。今後、地形補正に関しては陸水域の補正が課題として挙げられる。また、RBA を算出し、これまでの重力異常との間に無視できない差があることもわかり、これにより将来において重力異常の定量的な解析がより厳密に行えると考える。

参考文献

- Ando, M. (1975) : Source mechanisms and tectonic significance of historical earthquakes along the Nankai Trough, Japan, *Tectonophysics*, **27**, 119-140.
- Baba, T., Y., Tanioka, P. R. Cummins, and K. Uhira (2002) : The slip distribution of the 1946 Nankai earthquake estimated from tsunami inversion using a new plate model, *Phys. Earth Planet Inter.*, **132**, 59-73.
- 地質調査所 (2000): 地質調査所 (編) 日本重力 CD-ROM, 数値地質図 P-2.
- Kanamori, H. (1972) : Tectonic Implications of the 1944 Tonankai and 1946 Nankaido Earthquakes, *Phys. Earth Plant. Interior*, **5**, 129-139.
- 河野芳輝・古瀬慶博 (1989) : 100 万分の 1 日本列島重力異常図. 東京大学出版会, pp. 76.
- Tanioka, Y. and K. Satake (2001) : Detailed coseismic slip distribution of the 1944 Tonankai earthquake estimated from tsunami waveforms, *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 1075-1078.
- Tsuboi (1965) : Calculations of Bouguer Anomalies with Due Regard to the Anomaly in the Vertical Gravity Gradient, *Proc. Japan Acad.*, **41**, 386-391.
- Yamamoto, A. (2002) : Spherical Terrain Corrections for Gravity Anomaly Using Digital Elevation Model Gridded with Nodes at Every 50m, *J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII (Geophysics)*, **11**, 845-880.

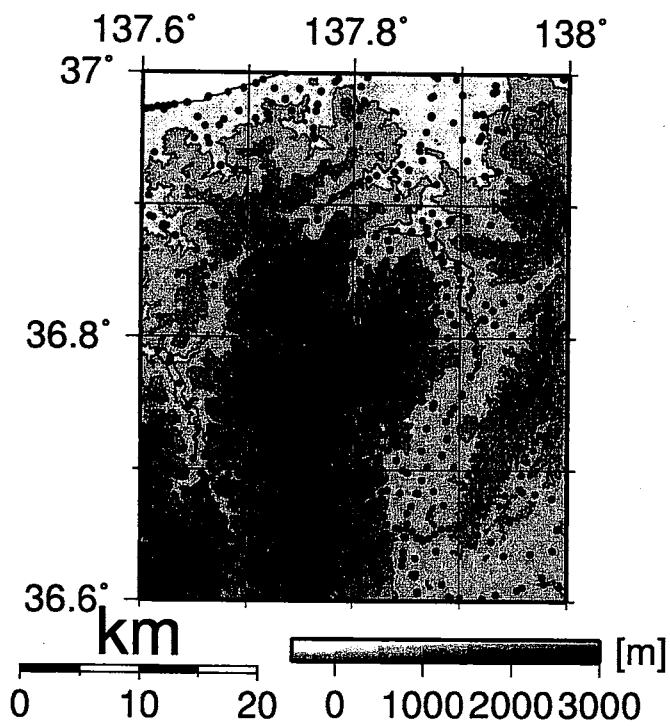


图 1

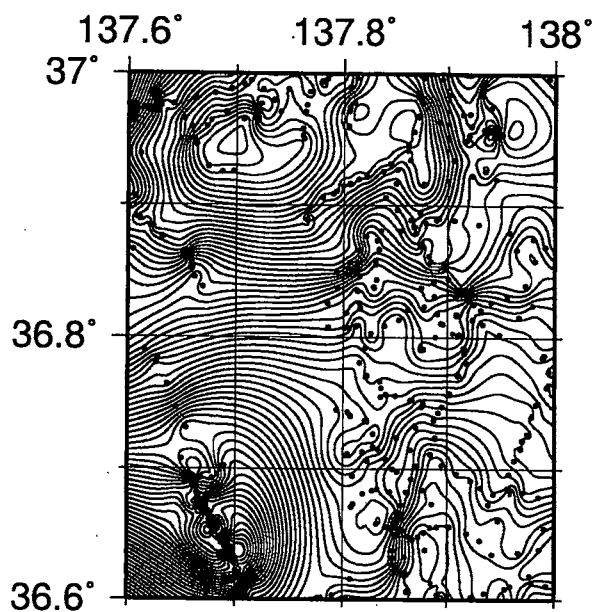


图 2

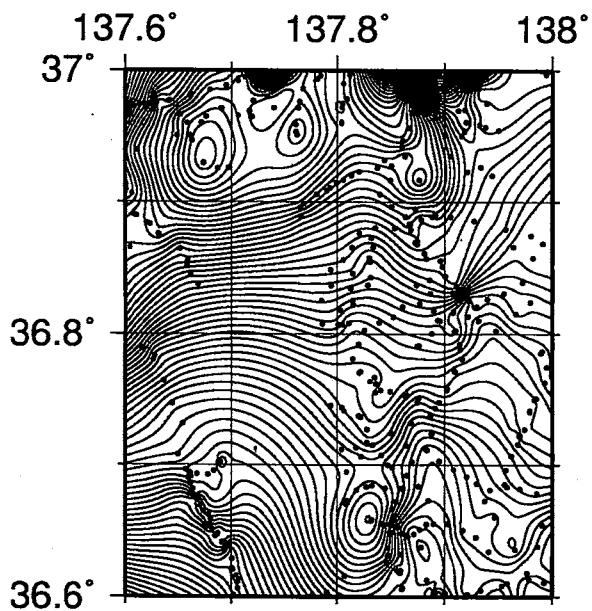


图 3

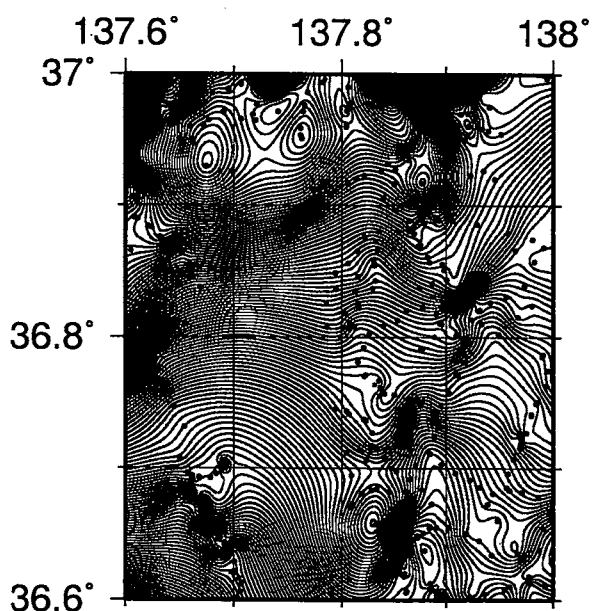


图 4

学位論文審査結果の要旨

本多亮君の研究は、ブーゲー異常計算の精度向上をはかり、高精度のブーゲー異常図を作成し、これに基づき地球内部構造の推定を行ったものである。

本研究においては、最初に日本列島周辺海域を含めた広い地域について、各種の数値地形データを統合して50mメッシュ地形データを生成した。次いで、新たに地形補正計算プログラムを作成し、あわせて実用的な計算条件を決定した。これらの地形データと地形補正プログラムを用いて、日本列島および周辺海域の60万点以上の重力データについて地形補正量などを再計算し、より高精度のブーゲー異常図を作成した。今後この異常図は地球科学の重要なデータとなると期待される。実際本研究では、巨大地震の震源過程との関連が想定される紀伊半島沖の高重力異常の起源とそれが持つ意味について議論している。ブーゲー異常に関する問題の一つとして、ブーゲー異常は高さが異なる点での値であり同じ規準面において定義された値ではないという不都合な点がある。これを同じジオイド面上の値に引き戻すためには更なる計算処理が必要である。この操作が正しく行われて初めて地下構造を良く反映した重力異常(リアルブーゲー異常)が求まる。本研究ではこのリアルブーゲー異常の計算を試み、その問題点を明らかにした。この問題の全面的解決には至らなかったが、課題を明らかにした点は大いに評価される。以上の点から、本研究は博士の学位に値するものと判断した。