

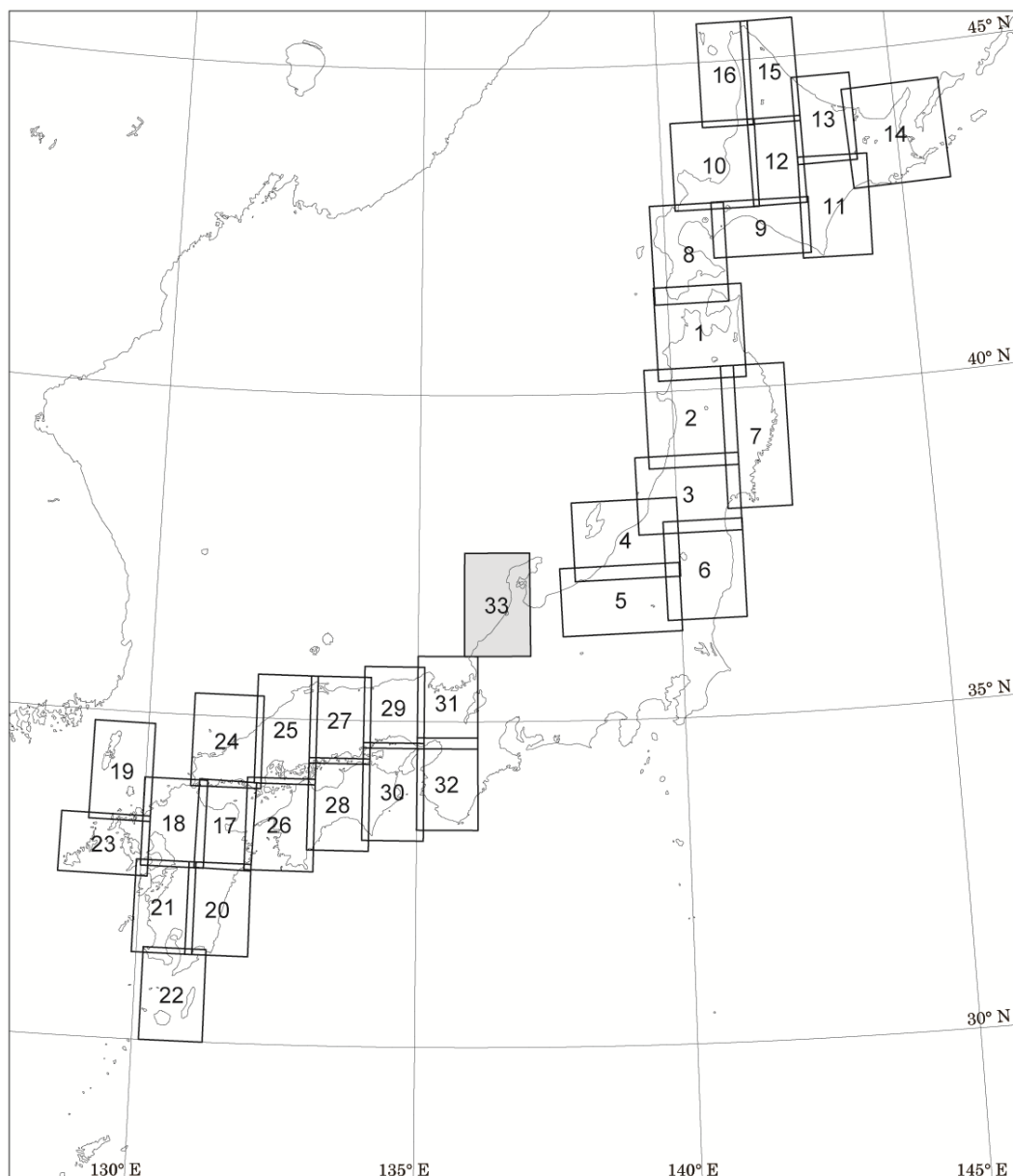
金沢地域重力図（ブーゲー異常）

Gravity Map of Kanazawa District (Bouguer Anomalies)

1:200,000

村田泰章・宮川歩夢・駒澤正夫・名和一成・大熊茂雄・上嶋正人・
西村清和・岸本清行・宮崎光旗・志知龍一・本多 亮・澤田明宏

Yasuaki MURATA, Ayumu MIYAKAWA, Masao KOMAZAWA, Kazunari NAWA, Shigeo OKUMA,
Masato JOSHIMA, Kiyokazu NISHIMURA, Kiyoyuki KISIMOTO, Teruki MIYAZAKI,
Ryuichi SHICHI, Ryo HONDA and Akihiro SAWADA



2018

金沢地域の重力異常

本重力図の図郭は、20万分の1 地勢図「金沢」、「七尾」と「輪島」の西部をカバーする北緯36度00分から37度35分、東経135度52分30秒から137度7分30秒である。

本重力図の編集においては、上記の図郭を周囲に7分30秒だけ拡張した領域のデータを処理し、最終的に図郭部分の作図を行った。拡張領域内の重力測定点は合計 47,076 点で、そのうち陸域は 20,164 点、海域は 26,912 点である。陸域で取得された測定点の内訳は、金沢大学 7,255 点、産業技術総合研究所地質調査総合センター 4,093 点、名古屋大学 3,808 点、石油天然ガス・金属鉱物資源機構 1,578 点、石油資源開発（株）1,079 点、新エネルギー・産業技術総合開発機構 961 点、富山県 921 点、国土地理院 314 点、京都大学防災研究所 155 点である。この中で、金沢大学の測定データは金沢大学重力データベース（本多ほか、2012）に収録されたデータであり、また、名古屋大学のデータは Yamamoto *et al.* (2011) に収録されたデータである。石油天然ガス・金属鉱物資源機構、新エネルギー・産業技術総合開発機構の測定データは産業技術総合研究所地質調査総合センター（2013）に、京都大学防災研究所のデータは Gravity Research Group in Southwest Japan (2001) に、それぞれ収録されている。

海域のデータについては、地質調査所白嶺丸GH78-2、GH87-2、GH87-4、GH88-2、及び、GH88-4航海（山本ほか（2000）、上嶋ほか（2002、2007））により取得された26452 点のデータ、海上保安庁海洋情報部 HM6804、HM7202航海により取得された 460 点のデータを使用した。

本重力図の編集にあたり、地質調査総合センターでは2007年から2016年にかけて、両白山地の山間部と能登半島北部の重力調査を実施し、合計 863 点の重力データを取得した。このデータについては、本重力図の別稿（村田・宮川、2018）としてまとめた。この調査の一部は、隣接する重力図「名古屋地域」の調査も兼ねている。新規測定点の位置は2周波GNSS受信機によるVRS測量、あるいは高速スタティック測量により求めた。

これらのデータに適用した地形補正を除く各種の重力補正の方法は、地質調査所重力補正手順 SPEC1988（地質調査所重力探査グループ、1989）に基づいている。地形補正については、最新の地形データを使用して補正を行うため、基盤地図情報（数値標高モデル5 m）（国土地理院）、陸域観測技術衛星「だいち」標高データセット（30 mメッシュ版）（宇宙航空研究開発機構）、数値地図50 mメッシュ（標高）（国土地理院）、海底地形デジタルデータM7000（日本水路協会）、500 mメッシュ水深データ（日本海洋データセンター）、日本近海30秒グリッド水深データ（日本水路協

会）を用いて作成した30 mメッシュ標高データにより、地球の球殻を考慮して測点の周囲60 kmまで実施した。

本重力図の範囲は、岐阜県、富山県、石川県、福井県にまたがり、白山（2,702 m）を最高峰とし、南に、別山（2,399 m）、三ノ峰（2,128 m）、赤兎山（1,629 m）、白山の北には、三方岩岳（1,736 m）や医王山（939 m）などの山々が連なる両白山地と、両白山地から流れる手取川や小矢部川庄川などの河川によって形成された沖積平野を含む。能登半島は、標高 200 mから 500 m程の丘陵地帯が続く地形から成る（本図、第1図）。地質的には、両白山地は、飛騨帯の構成岩、手取層群、白亜紀の火山岩類・新第三紀の火山岩類を基盤として、鮮新世～更新世前期の九頭竜火山列と更新世中期～完新世の白山火山列に区分される火山岩が分布する（日本の地質「中部地方Ⅱ」編集委員会編、1988）。能登半島は、主に新第三紀の火山岩類が分布する（産業技術総合研究所地質調査総合センター（編）、2015）。能登半島の頸部には、七尾から羽咋にかけて幅が 1 km から 4 kmへと広がる邑知潟低地帯が発達しており、この低地帯の第四系の層厚は北東から南西に向かって厚くなるとされている（今井ほか、1965）。海域では、基盤及び金沢沖層群からなる宝達山沖隆起帯と高浜沖隆起帯の存在が示されている（岡村、2007）。また、図郭域には、山岳部の御母衣断層、牛首断層、跡津川断層や、砺波平野・邑知潟低地帯の縁辺部の断層など多くの活断層の存在が知られている（中田・今泉、2002）。

同地域には多様な地質が分布するために、単一の密度で補正して全域で地形の影響を除去することはできない。そのため、本図では地形の影響を 2.00、2.30、及び2.67 g/cm³ の密度で補正した3枚の重力図を示した。一方で、ABIC最小化法（Murata, 1993）によって求めたこの地域の最適な補正密度は 2.35 g/cm³ であった。そこで、2.35 g/cm³ で補正した重力異常を基に、ブーゲー異常図（第2図）、ブーゲー異常図を上方 2 kmに上方接続して得られた上方接続図（第3図）、大局的な傾向を取り除いた残差重力図（第4図）、重力異常の変化の度合いを示す水平微分図（第5図）を作成した。本図及び第2図から第5図に示した重力図から読み取ることができるこの地域の重力異常の特徴は、以下の通りである。

重力異常は、白山東部の山岳地帯で最も小さく、北西方向に、砺波平野、金沢平野などの平野部を得て日本海に向かって重力異常が大きくなる傾向がある（第3図）。

図郭南東部の白山周辺域に見られる -30 mGalを超える負の重力異常域は、標高の高い山岳によって地殻が上部マントルに沈み込むアイソスタシーによる効果（河野、1991）と、濃飛流紋岩などの流紋岩や花崗岩類が周囲の飛騨変成岩類に比べて密度が低いことに起因すると考えられる。

平野部の低重力異常は、中-後期中新世（N2）以降の堆積層が前-中期中新世（N1）以前の地層の上に厚く堆積していることが考えられる。駒澤（2006）は、福井平野の低重力異常や東尋坊の高重力異常を基盤の起伏によるものと考え、この地域で重力解析を実施して基盤深度等高線図を示した。

呂知瀉低地帯は北東から南西に向けて小さくなる低重力異常として観測される。呂知瀉低地帯の北側では断層の位置と重力異常の急変帯は良く一致するものの南側では両者にはずれが認められる（須藤ほか，2004）（第5図）。能登半島北部では、局所的な高重力異常は花崗岩類あるいは閃緑岩の分布に対応し、低重力異常は堆積岩の分布に対応する（澤田ほか，2012）（第4図）。

本重力図は、日本重力データベースDVD版（地質調査総合センター（編），2013）に収録されているプログラム（maplin.for）を用いてグリッドデータを作成し、JKGLIB（村田，2007）を用いて図化した。第1図から第5図は、GMT（Wessel and Smith, 1998）を用いて作成した。

Gravity Map of Kanazawa District (Bouguer Anomalies)

A new gravity map of Kanazawa district (Fig. 1) has been published. Compiled gravity data within the map area are 20,164 stations including newly added 863 gravity stations on land and 26,912 stations on sea area. All the measured gravity data were referred to the Japan Gravity Standardization Net 1975 (JGSN75) and normal gravity values were calculated according to the Geodetic Reference system 1980 (GRS80). Bouguer, terrain and other corrections were applied, following the standard procedure of gravity data processing at the Geological Survey of Japan, AIST (SPECG 1988) (GSJ Gravity Survey Group, 1989). Bouguer and terrain corrections were carried out to remove an effect of bounded spherical crust and an effect of actual topographic undulation relative to the spherical surface, respectively, within a distance range of 60 km.

The density values used for both Bouguer and terrain corrections are 2.00 g/cm³, 2.30 g/cm³ and 2.67 g/cm³ (shown on the map as assumed density). We provide four additional maps calculated with a reduced density of 2.35 g/cm³ i.e. the Bouguer anomaly map (Fig. 2), the regional Bouguer anomalies continued upward 2 km (Fig. 3), the gravity residual anomalies with the removal of the 2 km upward-continuation (Fig. 4) and the horizontal derivation (Fig. 5).

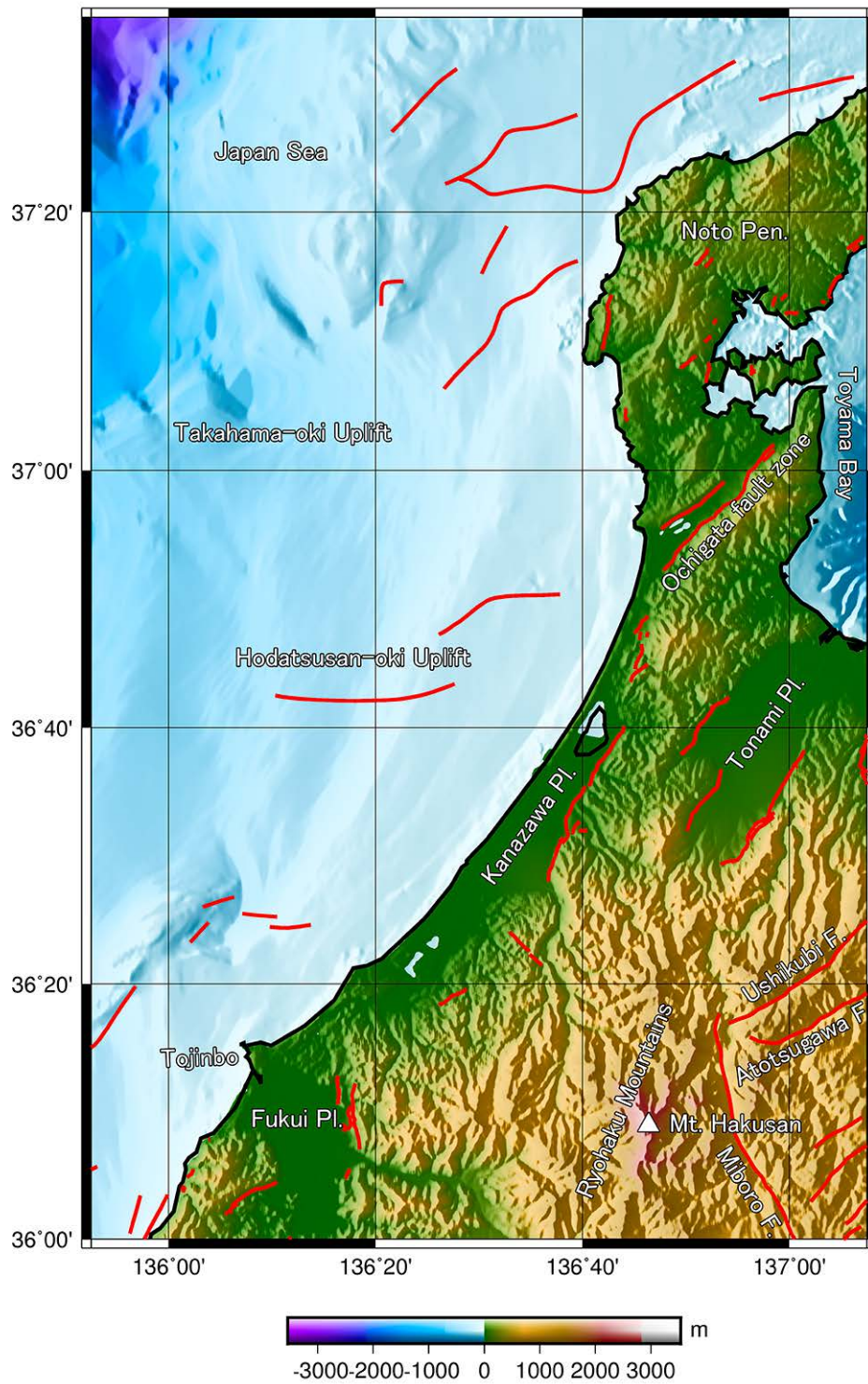
The Bouguer anomaly is the smallest in the mountainous

region of the eastern part of Mt. Hakusan and tends to have large towards the Sea of Japan through the plains of Tonami plain, Kanazawa plain, etc. (Fig. 3). The negative Bouguer anomaly under -30 mGal in the eastern part of Mt. Hakusan is thought to be due to the effect of isostasy (Kono, 1991) and the effect that rhyolite and granitic rocks are less dense than the surrounding Hida metamorphic rocks. The low gravity anomalies in the plain area are thought to be due to the thick sediments of Middle-Late Miocene or later on the basement rocks. Komazawa (2006) considered the low gravity anomaly in the Fukui plain and the high gravity anomaly at Tojinbo due to the undulation of the basement, and showed the basement depth contour map. The Bouguer anomalies in the lowland around Ochi-gata tend to decrease from northeast to southwest. On the northern part of the lowland around Ochi-gata, the location of the faults consistent with the sudden change zone of gravity anomalies, but in the south, there is a deviation from the both (Sudo *et al.*, 2004) (Fig. 5). In the northern Noto Peninsula, local high gravity anomalies correspond to the distribution of granite or diorite, and low gravity anomalies correspond to sedimentary rock distribution (Sawada *et al.*, 2012) (Fig. 4).

文 献

- 地質調査所重力探査グループ（1989） 地質調査所重力補正標準手順 SPEC1988 について. 地調月報, **40**, 601-611.
- The Gravity Research Group in Southwest Japan (Representatives: Ryuichi Shichi and Akihiko Yamamoto) (2001) Gravity Measurements and Database in Southwest Japan, Gravity Database of Southwest Japan (CD-ROM). *Bull. Nagoya University Museum*, Special Rept., no. 9.
- GSJ Gravity Survey Group (1989) On the standard procedure SPEC1988 for evaluating the correction of gravity at the Geological Survey of Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **40**, 601-611.
- 本多 亮・澤田明宏・古瀬慶博・工藤 健・田中俊行・平松良浩（2012）金沢大学重力データベースの公表. 測地学会誌, **58**, 4, 153-160.
- 今井 功・坂本 亨・野沢 保（1965）5万分の1地質図幅「呂知瀉・虻ガ島地域の地質」. 地質調査所, 67+4p.
- 上嶋正人・木川栄一・駒澤正夫（2002）能登半島東方ブーゲー重力異常図. 海洋地質図, no. 59 (CD), 産業技術

- 総合研究所地質調査総合センター.
- 上嶋正人・石原丈実・木川栄一・駒澤正夫 (2007) 能登半島西方ブーゲー重力異常図. 付図 3, 海洋地質図, no. 61 (CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 活断層研究会編 (1991) 新編日本の活断層—分布図と資料—. 東京大学出版会, 437p.
- 河野芳輝 (1991) 白山の重力異常. 白山, **18**, no. 4, 10-15.
- 駒澤正夫 (2006) 福井地域重力構造図. 重力図, no. S2, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- Murata, Y. (1993) Estimation of optimum average surficial density from gravity data: An objective Bayesian Approach. *J. Geophys. Res.*, **98**, 12097-12109.
- 日本の地質「中部地方Ⅱ」編集委員会編 (1988) 中部地方Ⅱ. 日本の地質, **5**, 共立出版, 322p.
- 村田泰章 (2007) 地質情報表示ソフトウェア・ライブラリ JKGLIB ver. 2. 地質調査総合センター研究資料集, no. 455, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 村田泰章・宮川歩夢 (2018) 金沢地域重力測定データ, 重力図, No. 33, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 31p.
- 中田 高・今泉俊文編 (2002) 活断層詳細デジタルマップ. 東京大学出版会.
- 岡村行信 (2002) 20万分の1 能登半島東方海底地質図. 海洋地質図, no. 59 (CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 岡村行信 (2007) 20万分の1 能登半島西方海底地質図. 海洋地質図, no. 61 (CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (編) (2013) 日本重力データベース DVD版, 数値地質図, **P-2**, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (編) (2015) 20万分の1日本シームレス地質図 2015年5月29日版. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 澤田明宏・平松良浩・水林侑・浜田昌明・本田 亮 (2012) 重力異常から見た能登半島北部地域の地塊構造, 地震第2輯, **64**, 235-239.
- 須藤洋和・北口義啓・山本和弘・河野芳輝 (2004) 能登半島南部の重力異常と基盤構造, 地震第2輯, **56**, 363-377.
- Wessel, P. and Smith, W. H. F. (1998) New, improved version of the Generic Mapping Tool released. *EOS Transactions*, **79**, p.579.
- 山本博文・上嶋正人・岸本清行・有田正史・木下泰正・池原 研・片山 肇・佐藤幹夫・盛谷智之・中村光一・西村清和・宮崎純一・駒沢正夫 (2000) ゲンタツ瀬海底地質図. 海洋地質図, no. 50, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- Yamamoto, A., Shichi, R. and Kudo, T. (2011) Gravity Measurements and Database in Japan, Gravity Database of Japan (CD-ROM). *Earth Watch Safety Net Research Center, Chubu University*, Special Publication, no. 1.

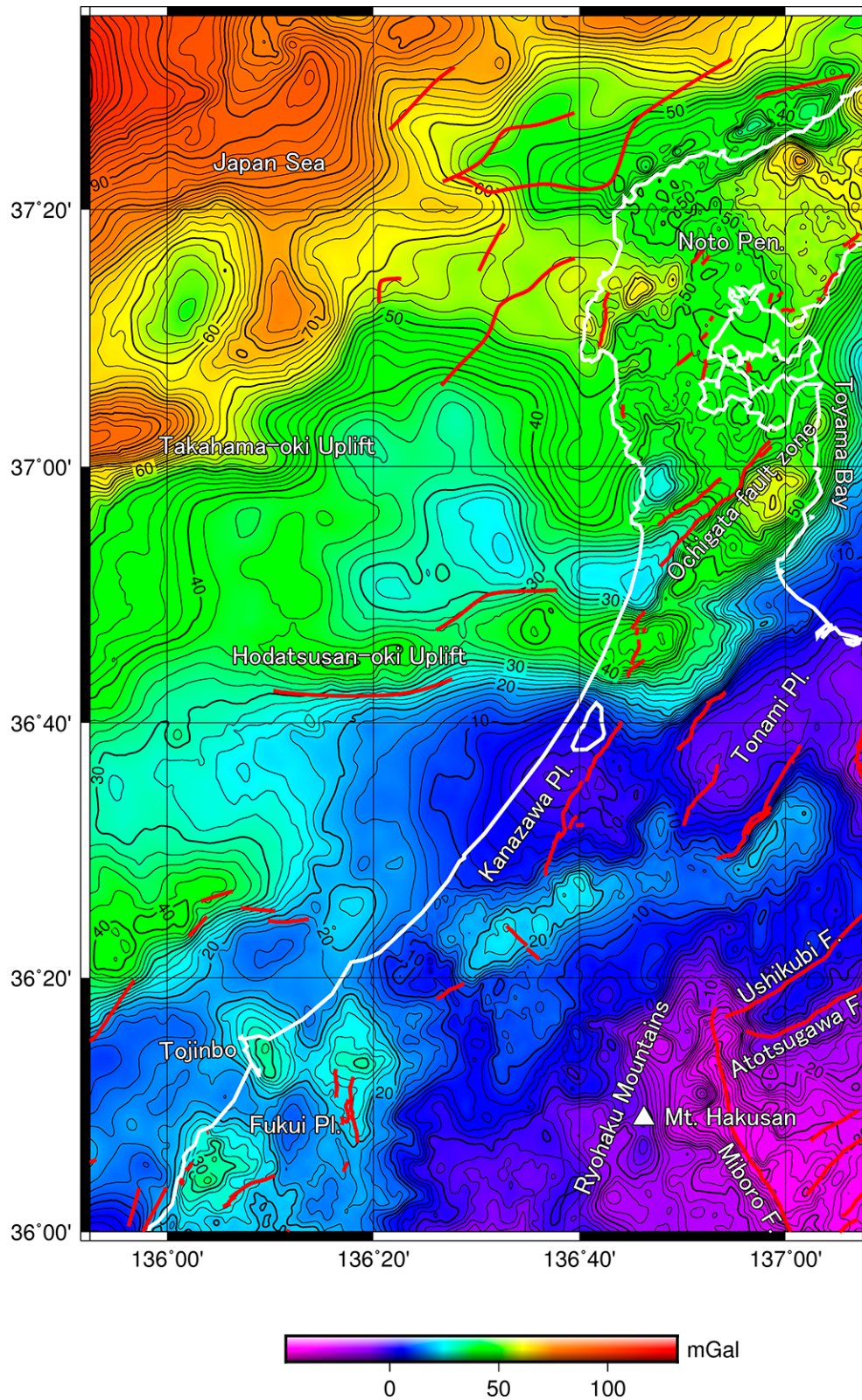


第1図 地形図

国土地理院の基盤地図数値標高モデル（5 mメッシュ）、宇宙航空研究開発機構のALOS全球数値地表モデル（AW3D30）、日本水路協会のM7000シリーズ海底地形デジタルデータを使用して作図した。陸域の赤実線は活断層（中田・今泉（2002））、海域の赤実線は断層（山本ほか（2000）、岡村（2002、2007））を示す。

Fig. 1 Topographic map.

Fundamental geospatial data (5 m grid elevation) issued by the Geospatial Information Authority of Japan, ALOS Global Digital Surface Model (AW3D30) of Japan Aerospace Exploration Agency and M7000 Digital Bathymetric Chart of Japan Hydrographic Association are used to make map. Red solid lines in land area indicate active faults (Nakata and Imaizumi, 2002). Red solid lines in sea area indicate faults (Yamamoto *et al.* (2000), Okamura (2002, 2007)).

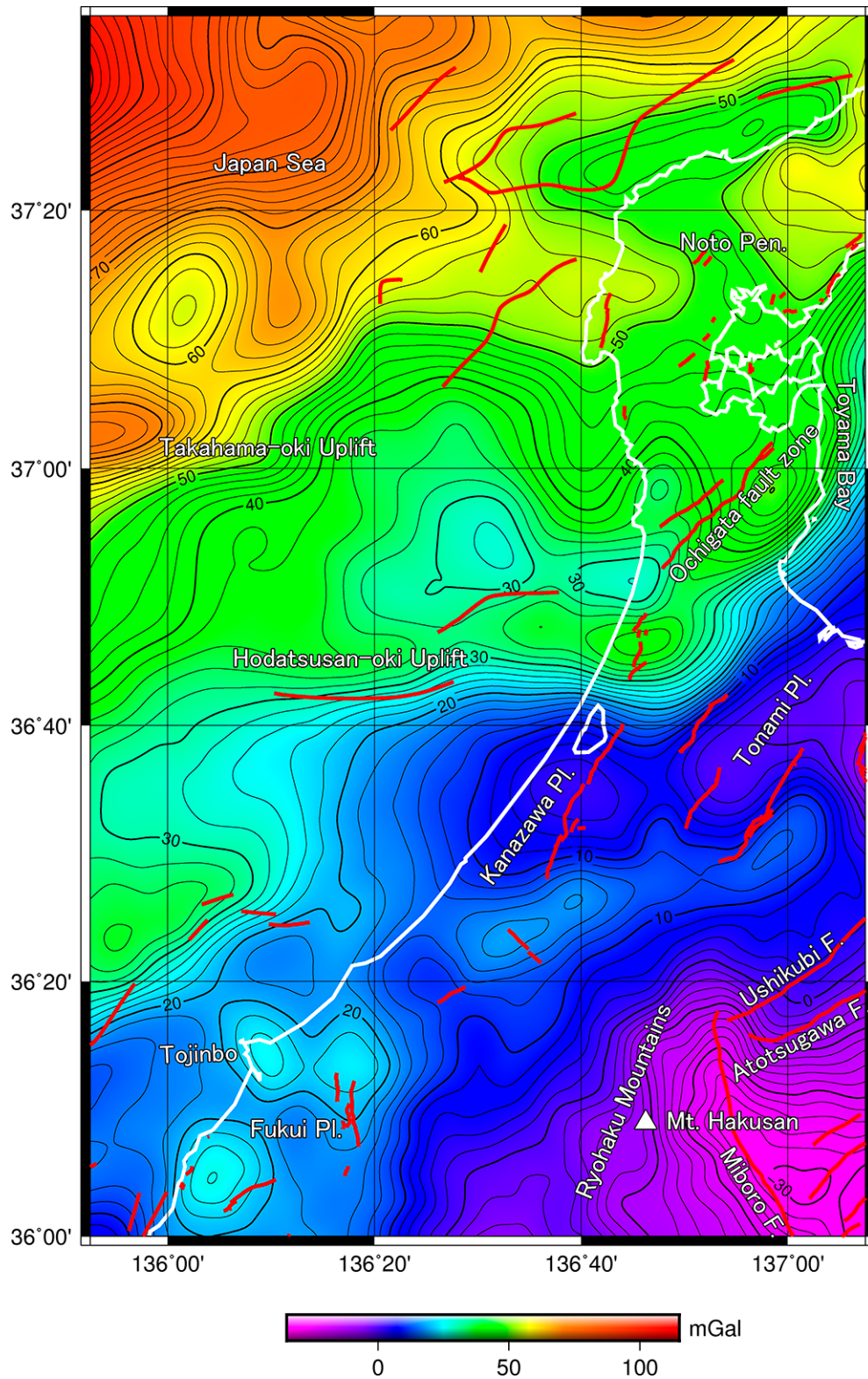


第2図 重力図（ブーゲー異常）（仮定密度：2.35 g/cm³）

コンター間隔：2 mGal. 第1図と同じ活断層・断層を赤実線で示した.

Fig. 2 Gravity Map (Bouguer Anomalies) (Assumed Density: 2.35 g/cm³)

Contour interval is 2 mGal. The same faults as in Fig. 1 are indicated by red lines.

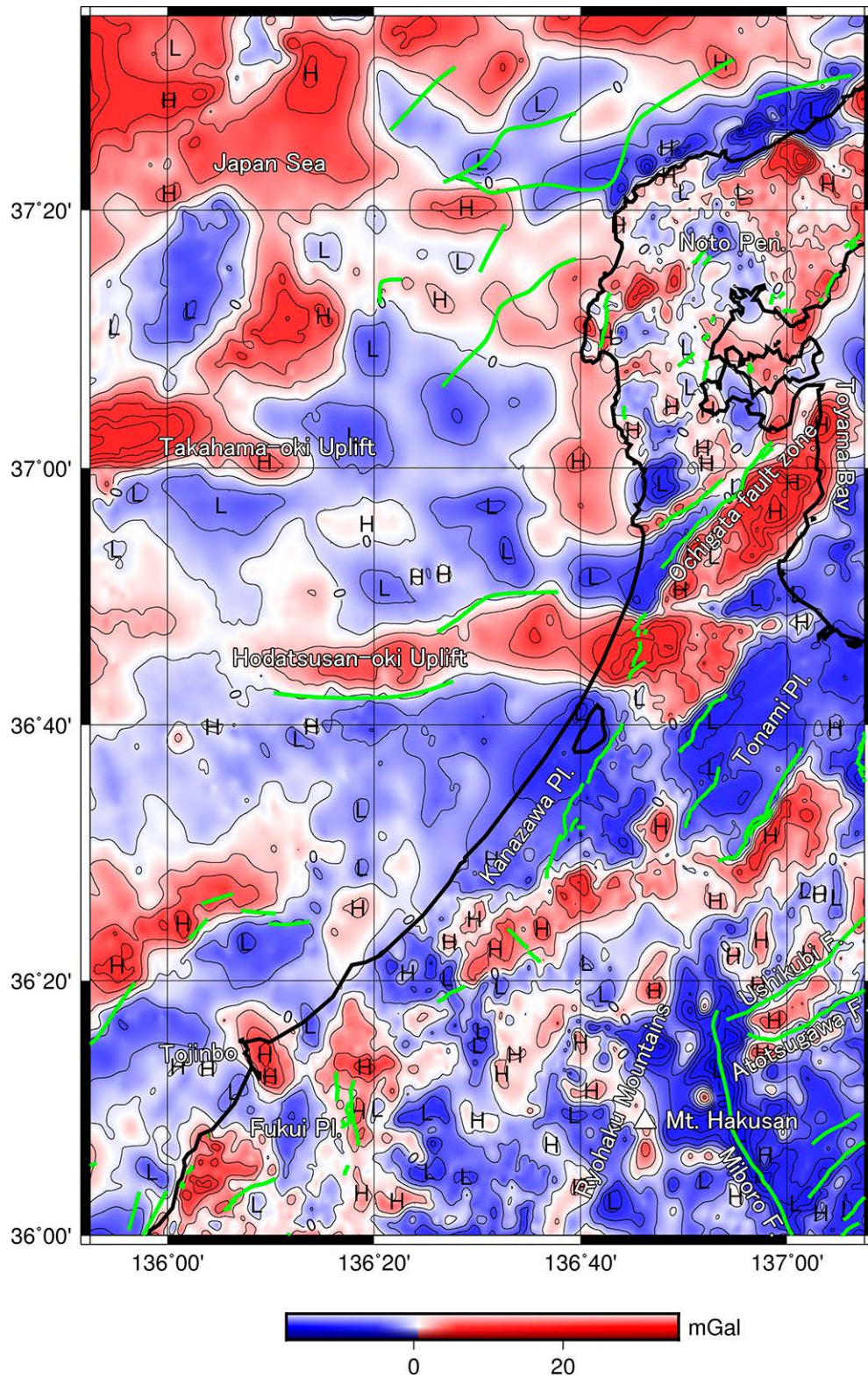


第3図 上方接続図

仮定密度が 2.35 g/cm^3 の重力図（第2図）を2 km上方接続。コンター間隔：2 mGal。第1図と同じ活断層・断層を赤実線で示した。

Fig. 3 Regional Bouguer anomalies with a 2 km upward-continuation

Contour interval is 2 mGal. The same faults as in Fig. 1 are indicated by red lines.

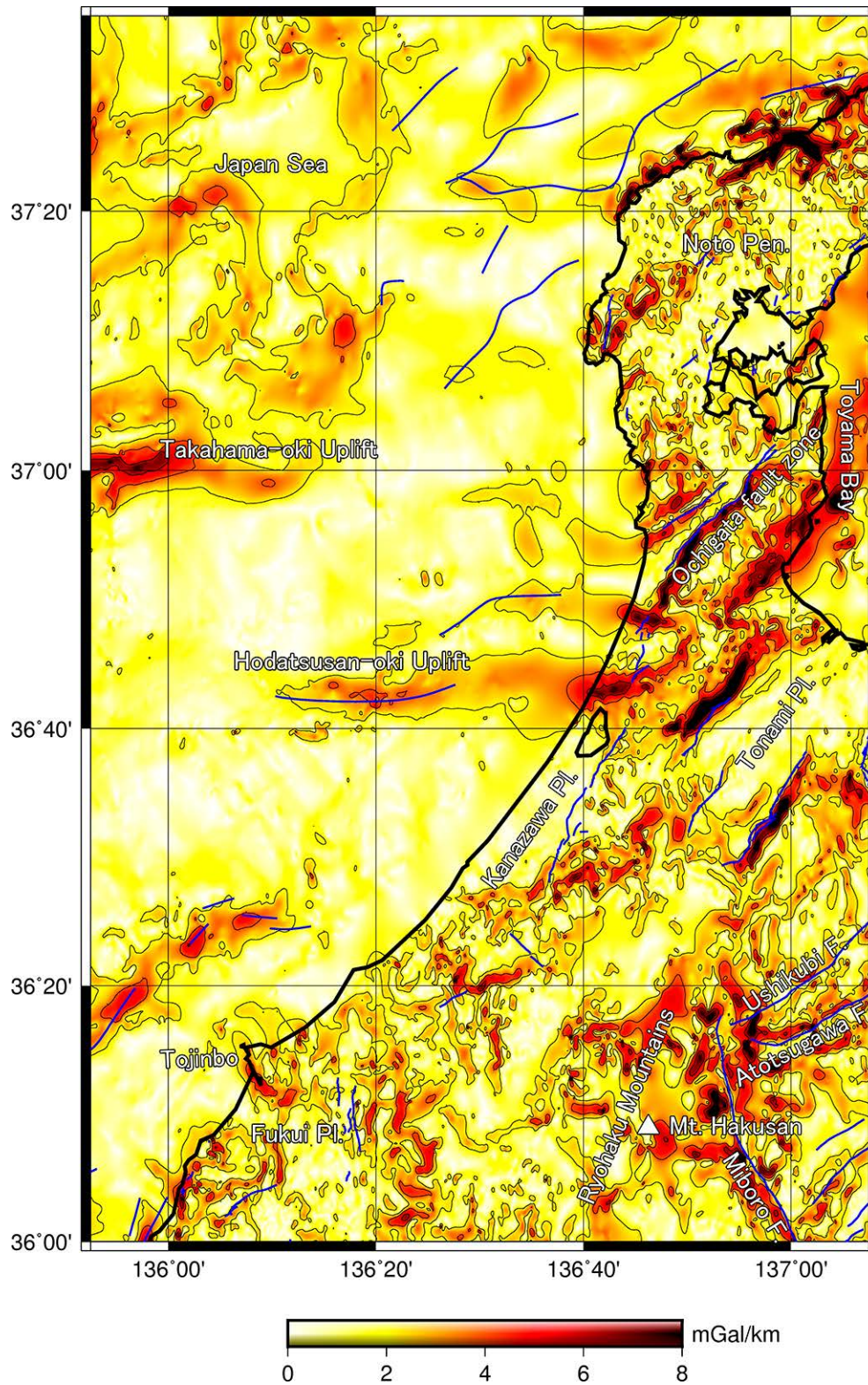


第4図 上方接続残差図

仮定密度が 2.35 g/cm^3 の重力図（第2図）から上方接続図（第3図）を差し引いた残差重力図。コンター間隔：2 mGal。第1図と同じ活断層・断層を緑実線で示した。

Fig. 4 Residual Bouguer anomalies with the 2 km upward-continuation removed

Contour interval is 2 mGal. The same faults as in Fig. 1 are indicated by green lines.



第5図 水平微分図

仮定密度が 2.35 g/cm^3 の重力図（第2図）から計算した。コンター間隔： 2 mGal/km 。第1図と同じ活断層・断層を青実線で示した。

Fig. 5 Horizontal gradients of the Bouguer anomalies shown in Fig. 2

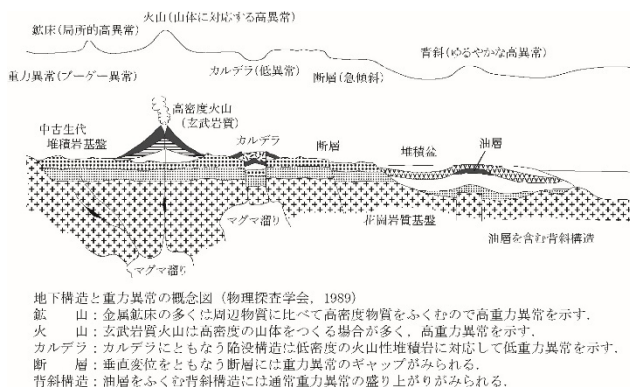
Contour interval is 2 mGal/km . The same faults as in Fig. 1 are indicated by blue lines.

重力異常について（解説）

1. 重力異常と密度構造

地球重力場は、地球の全質量があたかも地球の中心に集中しているかのような成分に地球の自転による遠心力の成分が合成された標準的な重力場（980 Gal 程度）と、地下構造による密度の不均質性から生ずる擾乱場からなる。後者を重力異常（大きくても数10 mGal程度）という。なお、Gal（ガル）という表記については、ガリレオ・ガリレイに因むが、SI 単位でないため表記については特に決まりはなく、gal と表記されることもある。

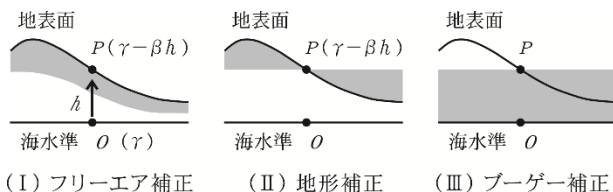
標準的な重力場は、密度構造が緯度・経度方向には変化を伴わず半径方向だけに変化を伴う重力効果（引力）と地球の自転による遠心力が合成された標準モデルの重力である。重力異常は、その標準モデルからずれた不均質の密度構造から生じているものである。つまり、この重力異常（観測値）を求めれば、その観測値を説明する不均質構造を得ることができる。重力探査の対象となる模式的な地殻構造を付図1 に示す。



付図1 地殻構造と重力異常の概念図
（物理探査学会編，1989 に加筆修正）

2. ブーゲー異常の算出と物理的な意味

ブーゲー異常の算出過程を付図2に従って説明する。



付図2 ブーゲー異常の概念図
（駒澤，1998 に加筆修正）

(I) γ は O 点での正規重力値であるが、フリーエア補正

を施すことにより、P 点での地球の標準的な重力値になると考えられる。したがって、

$$\Delta g_0' = g - \gamma + \beta h = g - (\gamma - \beta h)$$

で与えられるフリーエア異常は、P 点での重力値 g と地球の標準モデルである楕円体の外側にあたる P 点での理論重力値 $(\gamma - \beta h)$ との差である。つまり、フリーエア異常は測点標高での値であって海水準での値ではない。ただし、 h は測点標高、 β は均質地球モデルから得られる標準的な重力の鉛直勾配である。

(II) P 点より高い部分の質量を除去し、低い部分に質量を追加して測定点と同じ平板状の地形の重力値に補正する（地形補正）。

(III) 標高 h の平板状地形の重力効果を除去する（ブーゲー補正）。

(IV) 最終的に、地表面から海水準まで仮定密度 ρ の効果が除かれて、ブーゲー異常には ρ からずれた分の密度構造によるものだけが反映することになる。

上記の処理をまとめると、ブーゲー異常は次式で表現できる。

$$\Delta g_0'' = g - \gamma + (\beta - 2\pi G\rho)h + \rho T + C_A$$

ただし、 G は万有引力定数、 ρ は岩盤の密度（仮定密度）、 ρT は地形補正、 C_A は大気補正である。

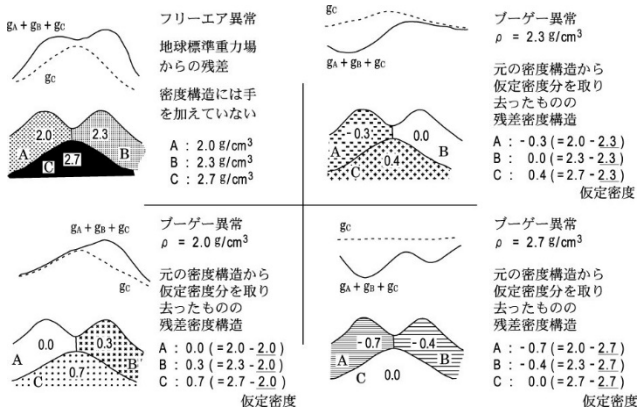
3. 表層密度とブーゲー異常の仮定密度の関係

ブーゲー異常は、仮定密度（もしくは、補正密度）のとり方で地形との相関度が異なることから、地形が凹凸をもっていれば表層密度の推定ができる。更に、表層の影響を除去した基盤構造などの深部構造による成分の抽出に利用される。

仮定密度の推定の方法としては、(1) 岩石試料の密度測定による方法、(2) 標高に対して重力の小さくなる割合から推定する方法、(3) ブーゲー異常図と地形図を見比べる方法、が挙げられる。(1) については、岩石のサンプリングは必然的に風化していない状態のものが多くなり偏りが生ずるので、必ずしも表層密度を反映しているとは限らないが、少なくとも岩石サンプルからの密度値は表層密度の上限を与えることになる。(3) については、実際に数種類の仮定密度のブーゲー異常図を作成し、地形図との相関を目視して地形図との相関の最も小さいものを選べば良い。付図3に仮定密度によるブーゲー異常のパターン変化の様子を示す。

仮定密度が大きくなるに従い、ブーゲー異常値が全体的に小さくなっていくのと、地形と正相関の上に凸から逆相

関の下に凸に変化していくのがわかる。地形のパターンと無相関なものが表層密度（最適な仮定密度）である。



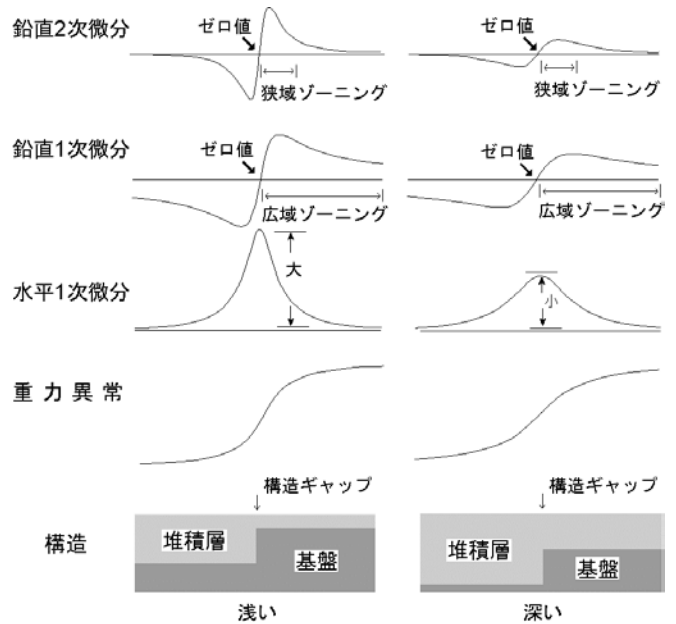
付図3 仮定密度によるブーゲー異常のパターン変化の概念図
(駒澤, 1998に加筆修正)

4. 地質構造に関連する浅部異常の抽出

フィルターリングは、重力異常や磁気異常から有為な情報を抽出し、定性的な解析・解釈を進めるのに有効な手法である。重力解析で構造抽出に利用されるものに、大規模・深部構造に対応する長波長成分を抽出するローパス・フィルター（或いは、ハイカット・フィルター）、微細・浅部構造に対応する短波長成分を抽出するハイパス・フィルター（或いは、ローカット・フィルター）がある。微分フィルターはハイパス・フィルターに含まれる。また、注目する規模・深度に対応した成分を抽出するバンドパス・フィルターがある。

フィルター操作が最も一般的に使用されるのは、断層等の構造境界の抽出である。従来、そうした目的には、水平微分（水平勾配）や鉛直2次微分が利用されてきた。水平微分は、直感的に理解し易いが、微分値の大小で構造や落差の大きさを判断しがちで、深い構造を過小評価しがちになる。一方、鉛直2次微分は、深度に関係なく構造境界で値がゼロになる性質がありよく利用されてきたが、短波長成分がノイズ成分と区別つかなくなるため、線状構造の抽出

は難しい点があった。一方、鉛直1次微分は過度のハイパス・フィルターにならず、鉛直2次微分ではノイズゾーン（狭域ゾーンニング）となっていたところが広域ゾーンニング地域となり構造境界が把握しやすくなることがある。落差が同じで深さが違う簡単な事例を模式的に付図4に示す。段差構造からある程度離れると重力差は同じになるが、水平微分を見ると構造が浅い程値が大きくなることわかる。つまり、構造の深度決定の推定には、微分値が有効であることを示している。当然、意味のある水平微分を得るには測点間隔が十分細かく取られていることが必要である。



付図4 落差が同じで深さが違う簡単な事例のフィルター図
(駒澤, 1998に加筆修正)

5. 文献

- 物理探査学会編（1989）図解物理探査。物理探査学会，239p。
駒澤正夫（1998）物理探査ハンドブック。手法編第8章，433-471，物理探査学会編。

平成 30 年 3 月 1 日発行

許可なく複製を禁ずる

著作権所有・発行者

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター

〒 305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 7
[https://www.gsj.jp/
inquiries.html](https://www.gsj.jp/inquiries.html)

AIST17-G15036

Geological Survey of Japan, AIST © 2018