

福岡沿岸域 20 万分の 1 重力図 (ブーゲー異常)

1:200,000 Gravity map of Fukuoka coastal area (Bouguer Anomalies)

駒澤正夫¹・大熊茂雄¹・上嶋正人²

Masao Komazawa¹, Shigeo Okuma¹ and Masato Joshima¹

¹ 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

² 地質調査情報センター (AIST, Geological Survey of Japan, Geological Information Center)

Abstract: A sea floor gravity survey was carried out from September to October in 2010 along the northern coastal area of Fukuoka prefecture in order to understand a shallow and regional underground structure. The measurement points were arranged within 10km offshore at about 2.5km interval and the number of measurement points became 100 points. Unnatural local anomalies are not found in the survey area, so it is shown that the accuracy of the sea floor gravity data is high. As a characteristic Bouguer anomaly, the contour pattern of the sea side is smoothly connected with the land side. Kego Fault, which passes through Fukuoka city, has a steep gradient structure which is perpendicular to the coastline in the land and breaks off on the coastline. The contour pattern is parallel to the coastline in the Hakata Bay. The high gravity anomaly extends from Noko-shima to the Shikano-shima. The low gravity anomaly exists around Umino-nakamichi, and it seems to be in extension of Kego Fault. The epicentral area of the "2005 Fukuoka earthquake", which is about 20 km north of the Itoshima peninsula, seems to be on the west edge of the high gravity block which leads to the land side.

Keywords: sea floor gravity survey, Fukuoka coastal area, Bouguer anomalies, graben structure

要 旨

本重力図は、陸上重力データと船上重力データのほか両者のデータの空白域 (海岸から 10km 程度) の海底重力データ計 12,105 点の重力データを編集して作成した。海底重力調査については、2010 年 9 月から 10 月にかけての 1 ヶ月にわたって実施された。測定点は沖合 10km, 海岸線に沿って 90km についてほぼ 2.5km 間隔に配置され、総測点数は 100 点となった。調査域には不自然な局所異常が見られず海底重力データの精度が高いことを示している。特徴的なブーゲー異常として、陸側からのコンターパターンが海側にもスムーズに繋がっている。つまり、海岸部ではコンターは海岸線に平行するようなパターンがあまり見られない。例外として、福岡市内をとる警固断層は陸側では海岸線に直交するような急勾配構造を示しているが、海岸線で途切れて博多湾では海岸線に平行なコンターパターンを示している。能古島から志賀島にかけては高重力異常が伸び、その東側の南北に伸びる低重力異常は警固断層の延長にあるように見える。糸島半島北方 20km の沖合の 2005 年福岡県西方沖地震の震源域は、陸側につながる高重力ブロックの西縁にあるように見える。

1. はじめに

本図は、2005 年 3 月に発生した福岡県西方沖地震の震源域を含む福岡県沖の浅部地下構造を広域的に把握し、更に、福岡県沿岸部の海陸接合域の重力構造を把握することを目的として作成されたものである。新たに 2010 年 9 月 9 日より 10 月 2 日に海底重力測定を実施し、それも編集している。海底重力測定は、船上重力測定に比べ測定精度が格段に良く重力図の編集においてフィルター処理など特別な処理の必要がなく高精度のものである。最近では、大阪湾 (駒澤ほか, 1998)、播磨灘 (上嶋ほか, 2006)、陸奥湾大間沖 (藤本ほか, 2009)、能登半島北部沖 (駒澤ほか, 2009) 等で海底重力調査が行われている。測定には、観測船に搭載した海底重力計をウインチ操作で海底に着地させ、静止状態で重力を測定する方法である。測定点は、海岸線に沿って 90km, 沖合 10km について約 2.5km の測定点間隔に配置され、総計 100 点の海底重力測定がなされた。なお、本地域については、福岡地域重力図 (森尻ほか, 2001) があるが陸域のみの編集で沿岸域の密度構造を知るためには不十分である。海陸を接合した日本重力図 (駒澤ほか, 1999) については、小縮尺のため詳細な構造を見るにはやはり不十分である。海陸を統一した方式で広域的且つ大縮尺の重力図を

編集することにより詳細な活構造を把握することが可能となる。

2. 編集地域と編集データ

編集範囲は、北緯 $33^{\circ} 20' \sim 34^{\circ} 40'$, 東経 $130^{\circ} 0' \sim 131^{\circ} 0'$ で、海域部としては福岡県沖の唐津湾、福岡湾（博多湾）、玄界灘及び響灘の海岸に沿った約 $90\text{km} \times$ 沖合約 10km (約 900 km^2) の範囲である。海底重力調査の 100 点のほか、陸上重力データは、福岡地域重力図（森尻ほか, 2001）を主に踏襲した 3,373 点である。そのうち姫島, 玄界島, 能古島, 相島, 大島及び地島の島嶼地域の 102 点については、新たに 2010 年 9 月に取得した。なお、産業技術総合研究所地質調査総合センター（駒澤ほか, 2004）の 2,040 点, 新エネルギー・産業技術総合開発機構（2004）の 128 点については日本重力 CD-ROM にて公表されたデータを用いた。名古屋大学の 146 点, 島根大学の 53 点については Gravity Research Group in Southwest Japan(2001) による CD-ROM に収録されているものを用いた。国土地理院の 169 点については WEB 公開されているものを用いた。ほかに未公表資料として、産業技術総合研究所地質調査総合センターの 358 点のほか、九州大学の 377 点のデータを利用させて頂いた。船上重力データは、地質調査所白嶺丸の調査航海 GH772 (143 点), GH852 (7,832 点), 海上保安庁海洋情報部の測量船明洋の測量航海 HM7302 (115 点), HM7503 (542 点) の計 8,632 点である。

上記の 3 手法の調査法による計 12,105 点のデータを編集して重力図を作成した。測定点分布図は、陸域データ, 船上重力データ海底重力データの全てを本図のほか, 第 1 図にも示した。

3. 重力データの処理手法及びブーゲー異常値の算出法

ブーゲー異常図を作成するに当たり、陸域と海域について統一した手法によって各種補正を行い、重力データを編集した。地形補正に関しては、陸域・海域とも地球の曲率による球面効果を考慮した仮想扇形の集合体で近似する方法で実施した（駒澤, 1988）。地形補正に用いた標高（水深）データについては、陸域は国土地理院作成の 50m メッシュ (<http://www.gsi.go.jp/MAP/CD-ROM/cdrom.htm#10>) を用い、海域については、(財) 日本水路協会による「海底地形デジタルデータ M7000 シリーズ」 (<http://www.jha.or.jp/jp/shop/products/btdd/index.html>) の等水深線データと日本海洋情報センターによる約 500m にメッシュ化された J-EGG500 (http://www.jodc.go.jp/data_set/jodc/jegg_intro_j.html) を元データ（ランダムデータとして扱う）として地形補正に使

用する DEM のメッシュ構成に合わせてメッシュ化した。地形補正用 DEM のメッシュ構成は、極近傍及び近傍補正用の最小メッシュが約 200m, 中間用が約 800m, 遠方用が約 3200m である。また、ブーゲー補正については、陸域と同じように海水準に一致する均質地球モデルからの残差密度がブーゲー異常に反映するよう海水を地殻で置き換える操作をした（球面ブーゲー補正）。補正式については、地形補正と同じ範囲の有限の球殻（球帽）による方法によった。測定重力値は、日本重力基準網 1996 (JGSN96) に準拠させ、地球規模の広域トレンド除去（緯度補正）には正規重力式による値（測地基準系 1985）を用いた。なお、これらの処理にはフリーエア補正も含まれているが、それは厳密にはポテンシャル論的なりダクションでないためブーゲー異常値やフリーエア異常値が海水準での値と考えるのは誤りで、あくまで、陸上重力は地表面、船上重力は海面、海底重力は海底での各々測定点での値と考えるべきものである。

以上をまとめると、曲率を考慮したブーゲー異常 $\Delta g_o''$ は、

$$\Delta g_o'' = g + \rho B_s + T(\rho) + C_A - (\gamma - \beta h + 4\pi G \rho h H(h))$$

となる。ただし、 g は測定重力値、 ρ は地殻の密度（仮定密度）、 B_s は単位密度換算の球面ブーゲー補正值、 C_A は大気補正值、 γ は正規重力値、 β は鉛直勾配、 h は標高（深度の場合は負値）で、 $H(h)$ は、以下とする。

$$H(h) = \begin{cases} 1 & (h < 0) \\ 0 & (h \geq 0) \end{cases}$$

水の密度を ρ_w とした陸域と海域の地形を合わせた全地形補正值 $T(\rho)$ は、

$$T(\rho) = \rho \cdot T_L + (\rho - \rho_w) \cdot T_w = \rho \cdot T_C - \rho_w \cdot T_w$$

となる。但し、 T_C （単位密度換算）は、測定面と地殻上面に挟まれた地形補正值、 T_L （単位密度換算）は、測定面と地殻上面もしくは水面で挟まれた部分の地形補正值、 T_w （単位密度換算）は、水域部分による地形補正值となる（駒澤, 1989）。また、球面ブーゲー補正を実施したことにより球殻項 ($4\pi G \rho h H(h)$) を導入した。

4. ブーゲー異常の特徴

陸域の表層の平均的な密度と考えられる 2.3g/cm^3 を仮定密度としたブーゲー異常図をカラーの段彩表示として本図を作成し、小縮尺の概略図を第 1 図に

示した。海域の調査エリアについても、起伏が大きくないため 2.3g/cm^3 の仮定密度の設定には問題はないものと考えられる。

ブーゲー異常の特徴を概略的に以下にのべる。海域については、水深が深くなく、起伏も少ないので仮定密度を変えても見た目にはコンターのパターンの違いはあまりないが、沖合の船上重力データを編集すると海底地形とは異なる構造を呈していることが判る。一方、陸側は基盤の露出が見られるところは、ここには示さないが仮定密度が 2.5g/cm^3 を超す程度でコンターのパターンが滑らかになることが判った。

特徴的なブーゲー異常として、陸側からのコンターパターンが海側にもスムーズに繋がっている。つまり、海岸部ではコンターは海岸線に平行するようなパターンがあまり見られない。例外として、福岡市内をとおる警固断層は陸側では海岸線に直交するような急勾配構造を示しているが、海岸線で途切れて博多湾では海岸線に平行なコンターパターンを示している。能古島から志賀島にかけては高重力異常が伸び、その東側の南北に伸びる低重力異常は警固断層の延長にあるように見える。糸島半島北方 20km の沖合の 2005 年福岡県西方沖地震の震源域は、陸側につながる高重力ブロックの西縁にあるように見える。

浅部構造を抽出するため深部構造に由来する広域傾向面を除去した残差重力図を作成し、第 2 図に示す。広域傾向面を上方接続 1km と設定したため、ほぼ数 km 以浅の地質構造を示している。正值は赤色の、負値は青色のコンターで表示した。また、活断層(活断層研究会編, 1991) を太い実線で併記した。残差重力の特徴としてゼロ値線が断層状構造の最急勾配構造を示し、福智山断層は明瞭に対応していることが判る。震源域は、高重力ブロックの西縁のゼロ値線上にある。

5. ブーゲー異常の格子化データ

ブーゲー異常図の描画に用いたメッシュデータはアスキーコードで書かれ、ファイル名は” grid_bouguer23.dat” とした。ひとつの格子点が各 1 行に相当し、グリッド番号、緯度と経度が度表示、重力異常値(ブーゲー異常値)がミリガル表示で順次書かれ、最後にリターンキーが添付してある。格子の大きさは、UTM 座標の 500m である。データの並びは、西から東、南から北になっている。最初の格子点データは、図面の南西端になり、北緯 33.33178 度、東経 129.98317 度に相当する。格子点数は、東西方向が 191、南北方向が 300 で、計 57,300 (=191 x 300) になる。格子点の値が補間計算できなかった欠損値はない。また、海底重力調査と 2010 年 9 月の陸上調査の測定データの計 202 点のデータを

ファイル名” original_gravity.dat” として収録した。なお、測定データのフォーマットは、日本重力 CD-ROM (駒澤ほか, 2004) の”重力データベース”に従った。

6. おわりに

最近では、海域での重力測定は船上重力計で実施されるケースが殆どであるが、微細な重力変化を抽出するためにはエトベス補正など解決しなければならない問題がある。つまり、オリジナルデータにノイズ除去のためのフィルター操作をしてスムージングをかけて重力図を作成することになる。実際には、図面が綺麗に見えても精度があるかどうかは、別の問題である。それに引き替え今回実施したように海底に着底させる海底重力計による測定は、陸上の重力測定と同じ精度が得られ、フィルター処理もないので測定値自体に精度の問題が生じない。そのため微細な重力異常の検出も可能で、実際に陸域データとの接合も問題なく行うことができる。

ブーゲー異常から、警固断層について陸側では海岸線に直交するような急勾配構造を示しているが、海岸線で途切れて博多湾では海岸線に平行なコンターパターンを示し、海側への連続性は確認されなかった。2005 年福岡県西方沖地震の震源域は、高重力ブロックの西縁にあることも判った。

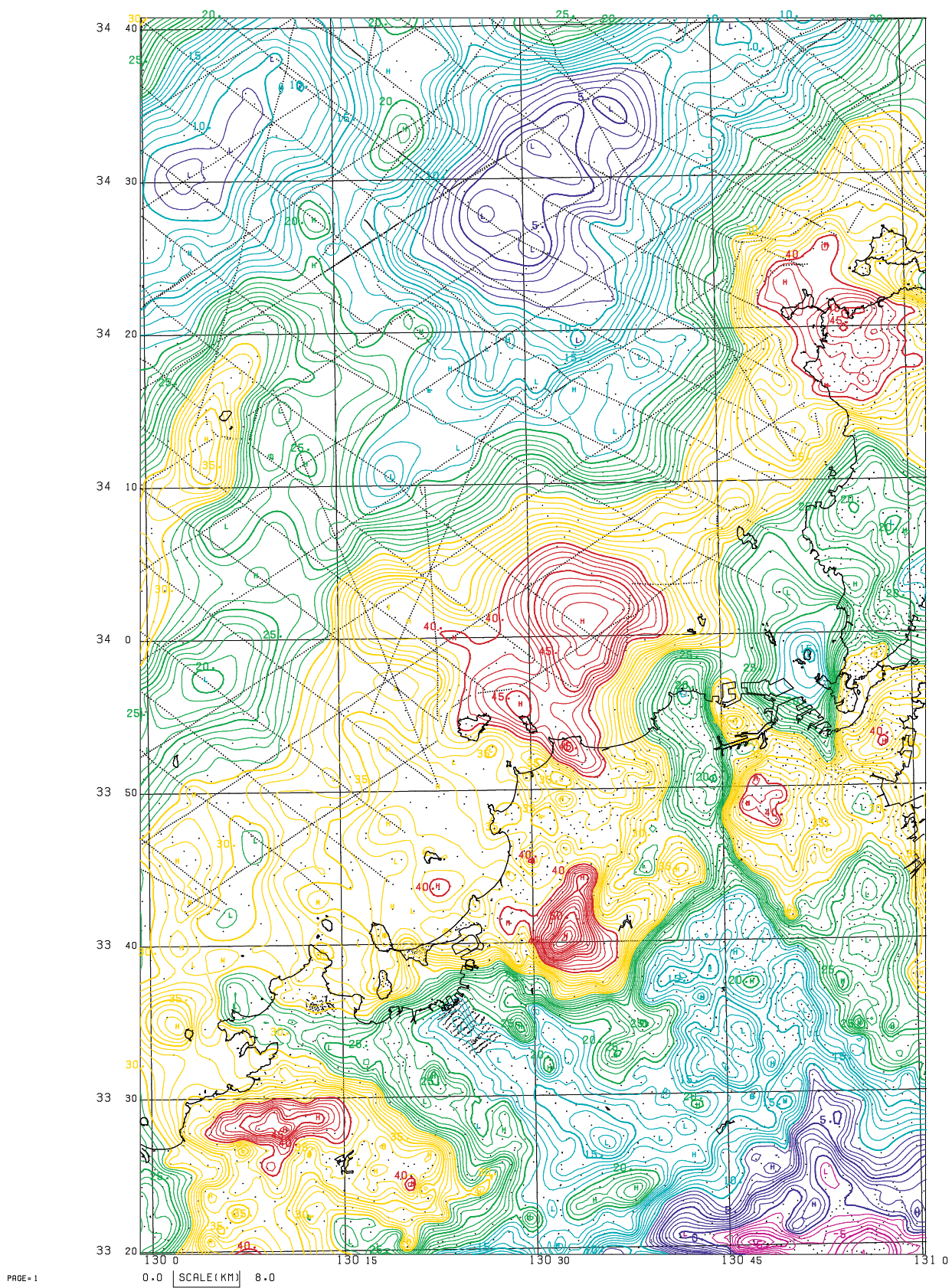
文 献

- 藤本博巳・野崎京三・河野啓幸・伝法谷宣洋・押田淳・小泉金一郎・三石 晋・岩本鋼司・金沢敏彦 (2009) 海底重力計の改造と沿岸域における海底重力測定—陸海域シームレス精密重力測定に向けて—。測地学会誌, **55**, 325-339.
- Gravity Research Group in Southwest Japan (2001) Gravity Measurements and Database of Kyoto University, Gravity Database of Southwest Japan(CD-ROM). Bull. Nagoya University Museum, Special Rept., No.9.
- 上嶋正人・石原丈実・小泉金一郎・島 伸和・押田淳・藤本博巳・金沢敏彦 (2006) 瀬戸内海播磨灘での海底重力測定。海洋調査技術, **18**, 1, 17-27.
- 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.
- 駒澤正夫 (1988) 仮想扇形地形による重力地形補正法, 測地学会誌, **34**, 11-23.
- 駒澤正夫 (1989) 海水準下測点のブーゲー異常の考え方, 測地学会誌, **35**, 349-351.
- 駒澤正夫・太田陽一・渋谷昭栄・熊井 基・村上稔 (1996) 大阪湾の海底重力調査とその構造。物理探査, **49**, 459-473.

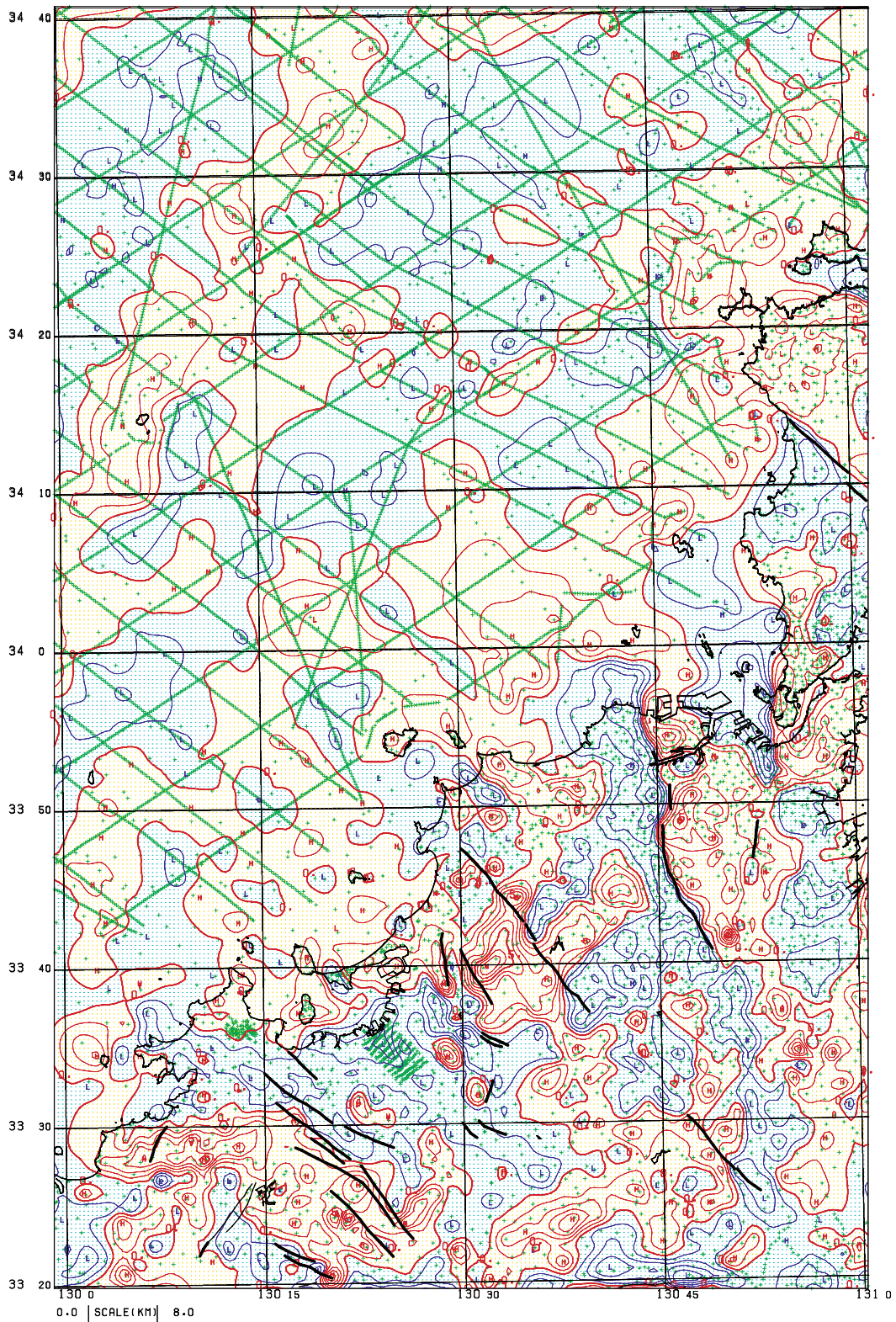
- 駒澤正夫・広島俊男・石原丈実・村田泰章・山崎俊嗣・上嶋正人・牧野雅彦・森尻理恵・志知龍一・岸本清行・木川栄一 (1999) 日本重力図 (ブーゲー異常). 地質調査所.
- 駒澤正夫・広島俊男・石原丈実・村田泰章・山崎俊嗣・上嶋正人・牧野雅彦・森尻理恵・志知龍一・岸本清行・木川栄一・三品正明 (2004) 地質調査所測定点データファイル. 日本重力CD-ROM 第2版, 数値地質図 P-2, 地質調査総合センター.
- 駒澤正夫・大熊茂雄・金澤敏彦・藤本博己 (2009) 能登半島沖における海底重力調査. 平成20年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 地質調査総合センター速報, no.49, 71-80.
- 森尻理恵・広島俊男・駒澤正夫・牧野雅彦・村田泰章・名和一成・西島潤・茂木透 (2001) 福岡地域重力図 (ブーゲー異常), 重力図, no.18, 地質調査所.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2004) 新エネルギー・産業技術総合開発機構重力測定値データファイル. 日本重力CD-ROM 第2版, 数値地質図 P-2, 地質調査総合センター.

(受付: 2012年2月5日, 受理 2012年4月24日)

福岡沿岸域 20 万分の 1 重力図 (ブーゲー異常)



第 1 図 ブーゲー異常. 仮定密度 = $2.3\text{g}/\text{cm}^3$. コンター間隔: 2.5mGal . 測定点分布: 黒ドット.
 Fig. 1 Bouguer anomalies. Assumed density = $2.3\text{g}/\text{cm}^3$. Contour interval: 2.5mGal . Gravity stations: Black dots.



第2図 福岡沿岸域の残差重力。上方接続2kmを広域トレンドとして除去し、コンター間隔は2.5mgalで表示した。測定点分布：緑ドット。太い実線は活断層（活断層研究会編，1991）。

Fig. 2 Residuals in and around Fukuoka coastal area. Regional trend is removed with upward continuation of 2km, and contoured at 2.5mGal interval. Gravity stations : Green dots. Thick short solid lines indicate active faults.