

新潟沿岸域 20 万分の 1 重力図 (ブーゲー異常)

1:200,000 Gravity map of the costal zone around Niigata (Bouguer Anomalies)

駒澤正夫¹

Masao Komazawa¹

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

Abstract: A new gravity map of the costal zone around Niigata has been published. Compiled gravity data within the map area are 51,709 stations including 41,502 land data, 9,233 shipborne data and 974 seafloor gravity data. This gravity map should be useful for understanding the shallow and regional underground geologic structure. The seafloor gravity measurement points were arranged within 10km offshore at every 1km interval. The characteristics of Bouguer anomalies are 1) gravity low from NE to SW is located at the Echigo Plain with steep gradients structure along east and west marginal zone 2) gravity high is located around Sadogashima Island 3) gravity low of the Echigo Plain shows a graben structure there.

Keywords: sea floor gravity survey, Niigata 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 10 km 程度) の海底重力データ計 51,709 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、1964 年の新潟地震後に行われた粟島周辺での潜水船による調査の 9 点と石油資源開発株式会社により 1958 年、1960 年及び 1966 年にわたって行われた 965 点が含まれている。石油資源開発株式会社による海底重力測定は、船上重力調査の空白域に当たる上越市直江津沖から村上市沖までの沿岸部をほぼカバーし、1 km の測点間隔で沖合 10 km までに配置されている。調査域における特徴的なブーゲー異常として、越後平野の低重力異常と佐渡島の高重力異常が存在する。越後平野の低重力異常は堆積層の厚さが 2 km を超す堆積盆構造 (graben structure) によるものである。また、越後平野西縁の出雲崎から弥彦山地に至る沿岸部には南南西 - 北北東方向に延びた高重力異常が存在することが挙げられるが、これは海底重力調査により鮮明になっている。

1. はじめに

2004 年 10 月 23 日に起こった 2004 年新潟県中越地震や 2007 年 7 月 16 日に起こった 2007 年新潟県中越沖地震の震源域を含む新潟県沿岸域については、新潟地域重力図 (広島ほか, 1993) があるが陸域のみの編集で海陸接合域の密度構造を知るためには利用できない。また、船上重力データを編集した重力図 (上嶋ほか, 1995; 森尻ほか, 1996) については、

コンター間隔が 5 mgal で陸上データとは接続されていないので詳細な構造を議論するには不十分であった。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。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 10 km 程度) では既に海底重力調査がなされている。その内容は、1964 年の新潟地震後に行われた粟島周辺での潜水船による調査 (笠原ほか, 1966) と石油資源開発株式会社により 1958 年、1960 年及び 1966 年にわたって行われた調査である。石油資源開発株式会社による海底重力測定は、船上重力調査の空白域に当たる上越市直江津沖から村上市沖までの沿岸部をほぼカバーし、1 km の測点間隔で沖合 10 km までに配置されている。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フィルター処理など特別な処理の必要がないため得られる重力異常は高精度である。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, 2010) 等で海底重力調査が行われている。

2. 編集地域と編集データ

編集範囲は、北緯 37°0'~38°35', 東経 138°0'~139°40' で越後平野や佐渡島が含まれる。陸上重力データは、41,502 点で、新潟地域重力図 (広島ほか, 1993) に準ずる。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 223 点、新エ

エネルギー・産業技術総合開発機構 (2004) の 1,689 点, 金属鉱業事業団 (現石油天然ガス・金属鉱物資源機構) (2004) の 4,307 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。北海道大学の 161 点, 静岡大学の 114 点, 名古屋大学の 683 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 385 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, 石油資源株式会社, 帝国石油株式会社, 三菱マテリアル株式会社のデータを利用させて頂いた。船上重力データは, 9,233 点で, 地質調査所白嶺丸 GH882 及び GH884 の調査航海により取得されるものである。更に, 陸上重力と船上重力の空白域 (海岸から 10 km 程度) を埋めるように 974 点の海底重力データを編集した。海底重力調査の内容としては, 1964 年の新潟地震後に行われた栗島周辺での潜水船による調査の 9 点と石油資源開発株式会社により 1958 年, 1960 年及び 1966 年にわたって行われた 965 点である。石油資源開発株式会社による海底重力測定は, 船上重力調査の空白域に当たる上越市直江津沖から村上市沖までの沿岸部をほぼカバーし, 1 km の測点間隔で沖合 10 km までに配置されている。なお, 石油資源開発株式会社による海底重力測定に使われた海底重力計 (LaCoste & Romberg 社製 HG-22) は, 大阪湾の海底重力調査 (駒澤ほか, 1998) でも使われた。

上記の 3 手法の調査法による計 51,709 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 50 m 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 500 m 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 200 m, 中間用が約 800 m, 遠方用が約 3200 m 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仮定密度の物質で置き換える操作をした。補正式については, 無限平板ではなく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 1980) 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リ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。

以上をまとめるとブーゲー異常は,

$$\Delta g_0'' = g + T(\rho) + C_A \quad (g\text{-term})$$

$$-[\gamma - \beta h + 4\pi G\rho h H(h)] \quad (\gamma\text{-term})$$

ただし,

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

地殻の密度が ρ , 水の密度が 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 2.3 g/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 2.3 g/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 2.5 g/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。

本地域を特徴づける重力異常は越後平野の広範囲低重力域で, 第四紀の新しい堆積層が厚いことを示

している。高重力異常域は、角田山から弥彦山を中心とする日本海沿いの丘陵地、佐渡島の南部域及び越後山脈から飯豊山地にかけての南南西から北北東に伸びる地域に見られ各々新第三紀から中・古生層の高密度の岩石の分布域に対応している。重力異常には深い構造による重力効果も重畳されているため 2 km の上方接続値を広域傾向面として除去し、数 km 以浅の構造を抽出した残差重力 (上方接続残差) を第 2 図に示す。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。上方接続残差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、越後平野の縁辺部がそれに相当することが判る。越後平野の西縁部は西側の弥彦山地を中心とする丘陵地と大きな落差に起因する急勾配を示し、角田・弥彦断層 (仲川, 1985) に対応している。越後平野の東縁部は、活断層 (活断層研究会編, 1991) とゼロ値線がほぼ一致している。佐渡島と本州の間には広範な残差重力の負値の領域が見られ低密度の海成堆積物が広範に分布していることを示している。更に、新発田市付近より五泉市付近に至る越後平野の東の縁辺部は向斜構造に対応した北北東-南南西方向に伸びる大きな負の残差重力が見られ、山地と大きな落差をなしている。沼沢湖周辺は残差重力の負値の領域が見られカルデラ構造に対比づけられる。

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 500 m 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 36.96783 度、東経 138.00083 度に相当する。格子点数は、東西方向が 303、南北方向が 360 で、計 109,080 (=303 x 360) になる。格子点の値が補間計算できなかつた欠損値はない。

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。オリジナルデータにノイズ除去のためのハイカットのフィルター操作を施すため精度が保証されている訳ではない。特に、沿岸域は船上重力計を搭載した中・大型船舶で調査が困難だけでなくエトベス効果の評価が困難な針路の転換点にもあたる。それに引き替え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優位性がある。

残差重力は、越後平野の東縁部や国中平野の縁辺部など活断層とゼロ値線がほぼ一致し、密度構造の遷移域の抽出に有効であることが判る。

文 献

- 藤本博巳・河野啓幸・伝法谷宣洋・押田淳・小泉金一郎・三石 普・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.
- 広島俊男・駒澤正夫・中塚 正 (1993) 新潟地域重力図 (ブーゲー異常)。重力図, no.4, 地質調査所。
- 上嶋正人・山崎俊嗣・木川栄一・森尻理恵・駒澤正夫・広島俊男 (1995) 付図 3 ブーゲー重力異常図, 佐渡島北方海底地質図。海底地質図, no.46, 地質調査所。
- 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**, no.1, 17-27.
- 笠原慶一・萩原幸男・田島広一・川田 薫 (1966) 粟島およびその周辺海底における重力測定。地震研究所彙報, **44**, 261-271.
- 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.
- 金属鉱業事業団 (2004) 金属鉱業事業団重力測定値データファイル, 日本重力 CD-ROM. 数値地質図 P-2, 地質調査総合センター。
- 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) 海水準下のブーゲー異常の考え方。測地学会誌, **35**, 349-351.
- 駒澤正夫・大田陽一・渋谷昭栄・熊井基・村上稔 (1998) 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。

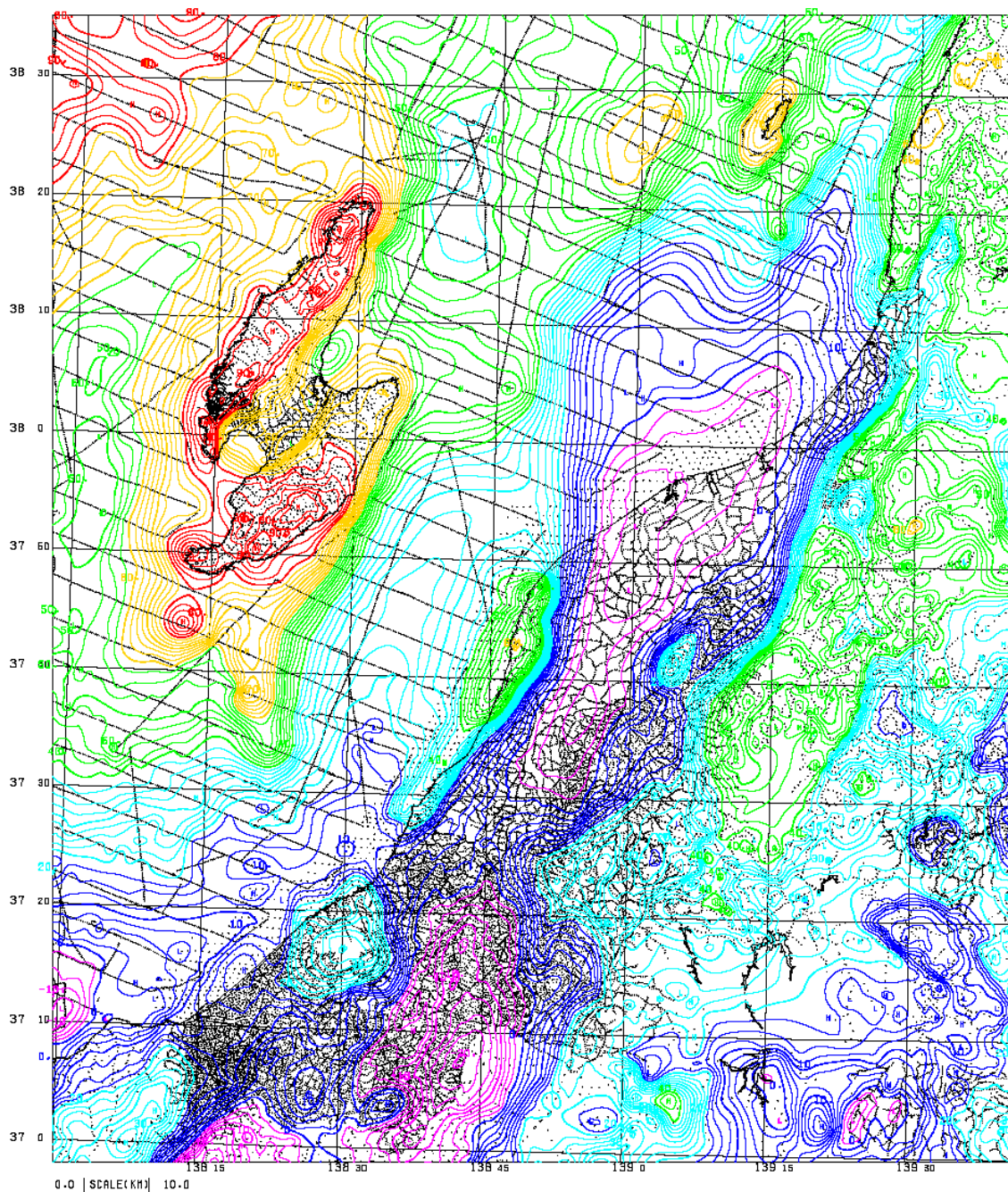
駒澤正夫・広島俊男・石原丈実・村田泰章・山崎俊嗣・上嶋正人・牧野雅彦・森尻理恵・志知龍一・岸本清行・木川栄一・三品正明 (2004) 地質調査所重力測定値データファイル, 日本重力 CD-ROM. 数値地質図 P-2, 地質調査総合センター.

森尻理恵・山崎俊嗣・上嶋正人・木川栄一・石原丈実・広島俊男・駒澤正夫・大熊茂雄・中塚 正・三品正明・斉藤和夫・岡本國徳 (1996) 付図3 ブーゲー重力異常図, 栗島周辺海底地質図. 海底地質図, no.47, 地質調査所.

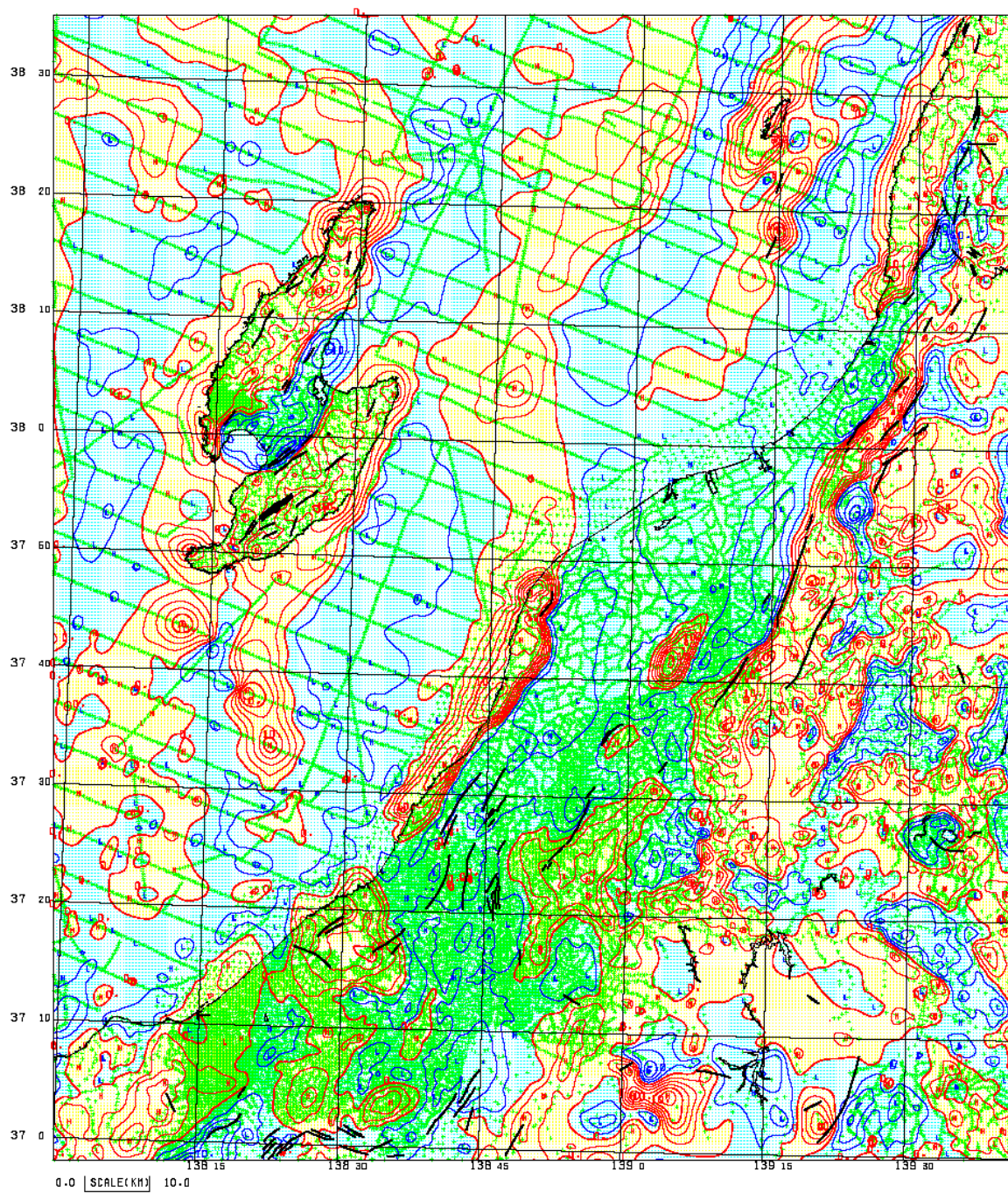
仲川隆夫 (1985) 新潟平野の上部更新統・完新統—とくに沈降現象との関係について—. 地質学雑誌, **91**, 619-635.

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. 数値地質図 P-2, 地質調査総合センター.

(受付:2010年10月1日, 受理:2010年12月19日)



第1図 ブーゲー異常. 仮定密度 = 2.3 g/cm³. コンター間隔 = 2.5 mGal. 測定点分布 = 黒ドット.
Fig. 1 Bouguer anomalies. Assumed density = 2.3 g/cm³. Contour interval = 2.5 mGal. Gravity stations = Black dots.



第 2 図 新潟沿岸域の残差重力. 上方接続 2 km を広域トレンドとして除去し, コンター間隔は 2.5 mgal 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 Niigata coastal area. Regional trend is removed with upward continuation of 2 km, and contoured at 2.5 mGal interval. Gravity stations = Green dots. Thick short solid lines indicate active faults.