

## 苫小牧沿岸域における海底重力調査

### Sea Floor Gravity Survey of Coastal Area of Tomakomai, Hokkaido

駒澤正夫<sup>1\*</sup>・大熊茂雄<sup>1</sup>・押田 淳<sup>2</sup>

Masao Komazawa<sup>1\*</sup>, Shigeo Okuma<sup>1</sup> and Atsushi Oshida<sup>2</sup>

**Abstract:** In order to know the shallow underground structure of the coastal area of Tomakomai, seafloor gravity investigation was conducted in September, 2012. In advance of the survey, the compilation of the existing gravity data was performed. The measurement points were arranged about 50 km along the coastline and 13 km of offings, and about 2 - 2.5-km interval, and the total number of measurement points is about 100. Unnatural local anomalies by error data are not found in the survey area, so it is shown that the accuracy of the sea floor gravity data is high. This newly measured sea floor gravity data were compiled with the existing gravity data. As a characteristic Bouguer anomaly, the contour pattern of the sea side is smoothly connected with the land side.

**Keywords:** sea floor gravity survey, Hokkaido, Bouguer anomalies, graben structure, ship-borne gravity

#### 要旨

苫小牧沖で浅部地下構造を広域的に把握するため 2012 年 9 月にほぼ 1 ヶ月をかけて海底重力調査を実施した。海底重力の測定点は沖合 13km, 苫小牧西部からむかわ町に至る海岸線に沿って 50km についてほぼ 2 ~ 2.5km 間隔に配置され, 総測点数は 100 点である。既存の陸上重力データと船上重力データと編集し, 海陸を接続した重力図を作成した。

#### 1. はじめに

編集地域は, 石狩低地東縁断層帯を陸域に含み, 南方延長域が海底重力調査域である。重力データを編集することにより苫小牧沖の浅部地下構造も広域的に把握することができる。また, 海底重力調査に先行して既存で重力データを編集することにより重力異常の概要が把握できる。例えば, 急勾配構造に対応して断層構造が推定でき, 重力測定点を有効に配置することに役立つことが期待される。

#### 2. 調査地域と編集データ

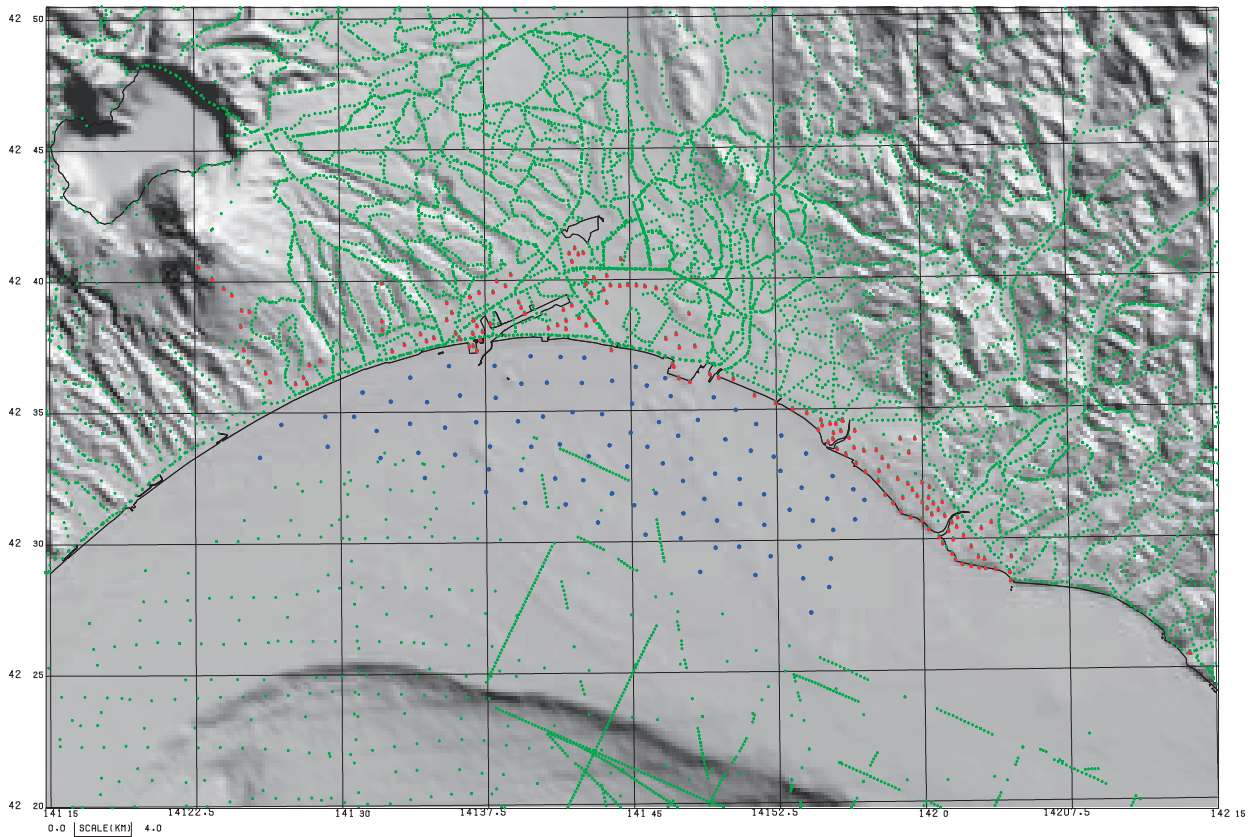
海底重力の調査範囲は, 北海道白老町, 苫小牧市, 厚真町, むかわ町の海岸線に沿った約 40km × 沖合約 10km (約 400km<sup>2</sup>) の海域部分で海底重力計を用いて重力調査を実施した。計画段階では分からなかった魚網や往来船舶及び海底地形などの状況により最小限 (500m 程度) の位置の変更を行った測定点もあった。特に, 東港岸壁に非常に近いところは, 数 100m 沖に位置の変更を行った。調査範囲の水深は概ね 50m 以浅であるが, 数点 50m を超す測点もあった。ちなみに本調査で最も深かったのは, 水深は 57.89 m であった。

測定点分布図を陸域データ, 船上重力データとともに第 1 図に示す。海底重力の測定点は, 計画地点に対し適宜変更している測点もあるが, 測点配置に偏りがある訳でないので, 数 100m 測点をずらしても, ブーゲー異常図を描くには問題はないと考えられる。海域の測定点数は 100 点となった。調査地域に含まれる陸域沿岸部についても同時期に陸上重力計を用いて 168 点の重力測定を実施し, 重力図編集の精度を高めた。既存の編集データについては, 駒澤ほか

\* Correspondence

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

<sup>2</sup> 川崎地質株式会社 (Kawasaki Geological Engineering Co. Ltd.)



第 1 図 測定点分布図. 緑ドット：重力測点. 青ドット：海底重力測点. 赤ドット：新規の陸上測点. 背景の陰影図は地形.  
 Fig.1 Distribution of gravity stations. Green dots: Existing Gravity stations. Blue dots: Sea floor Gravity stations. Red dots: newly Land Gravity stations. Shaded relief map denotes topography.

(2012) により平成 23 年度報告で述べている。

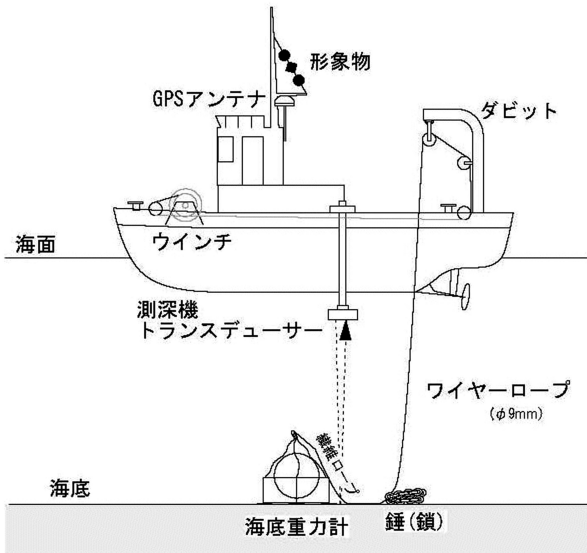
### 3. 海底地形データ

本調査海域における水深は、沖合 10km でも総じて浅く（50m 以下）海底重力計の測定能力内に十分収まっており、ウインチも小型で済み荒天待機を除けば測定能率も良好であった。海底重力データの補正で留意せねばならないのは、測点周辺で精密な地形データによる地形補正が必要であることである。今回、日本海洋データセンターによる海底地形デジタルデータ M7000 シリーズのうち当該地域である津軽海峡東部 M7006 を基礎データとして用い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。本調査域の沖合で海底地形が急激に深くなるため地形補正の精度を確保するため沖合域も含め極近傍・近傍地形補正用の 200m メッシュの DEM を作成した。なお、重力の測定は、当初、水深 50m 以浅に限って計画したが、水深値は 9.4 ～ 57.89m となった。

### 4. 調査の方法

海域での重力測定は、産業技術総合研究所で所有する海底重力計を使用した（平成 21 年度製作）（大熊ほか，2010）。使用した海底重力計は、センサー部に Scintrex 社製の CG-5/SB を利用し、更に、システム制御部やデータ収録部を加えて耐圧容器に収納されたものである。測定システムの概要を第 2 図に、測定の様子を写真 1 に示す。本システムは、海中に投入後は全てオフラインでデータを収録できるので船上から制御しながら測定せねばならない LaCoste & Romberg 社製の海底重力計（HG-22）システムに比べ簡便で、ウインチやケーブルも小型で済む特徴がある。なお、日本国内で使用可能な海底重力計としては東京大学地震研究所所有（藤本ほか，1998）のものが、平成 20 年度に本研究の一環として実施された能登半島北部沖の海底重力調査に使用された。

測定作業は平成 22 年 8 月 29 日～9 月 27 日（移動日等も含む）に実施した。このうち、移動、陸上重力測定、艀装及び艀装解除を除いた実質的な海底重力



第2図 海底重力調査の模式図。  
Fig.2 Conceptual figure of measurement of sea floor gravity.



写真1 海底重力調査。  
Photo.1 Measurement of sea floor gravity.

調査の期間は9月1日～9月24日の24日間である。内訳は調査実施日が13日、荒天待機日が11日であり、荒天率は46%であった。本海域のこの時期の荒天率は50%前後であり(船長談)、今回の荒天率は例年並みと考えられる。

実際の測定は、海底重力システムを10トン級の調査船(第三幸正丸)に搭載し、測定点においてウインチ操作で重力計を海底に着底させ、約10分(調査後半では約7分)程度海底に静止状態で設置し自動収録する方法である。調査地点までの誘導は、GPS装置と音響測深器を併用した。測定の精度は、陸上重力計と同様に重力計が如何に水平に保持されるかにかかっているが、本システムでは耐圧容器内にある自動姿勢制御機構により水平が保持され、更に、重力値はレベル補正が施される。精度は、陸上用重力計と同じで、約0.01mGalである。なお、海底重力計は、調査に先だって苫小牧～むかわ町間に設定した検定路線で器械常数のチェックを実施した。

海底重力測定は、基点港である苫小牧西港(9月1日～9月20日)と苫小牧東港(9月21日～9月24日)に設置した重力基点での閉塞測定により行った。基点での重力測定は出港前と帰港後にそれぞれ実施し、閉塞時間は1日以内とした。2基点の絶対重力値(日本重力基準網1996に準拠)は、9月26日に実施した重力値が既知である一等水準点第7305号(新中野町2丁目公園)を基準点とした閉塞測定により求めた。苫小牧西港に関しては、このほか8月31

日と9月2日に一等水準点第準基285号(苫小牧市民会館)を基点とした閉塞測定を実施している。苫小牧西港の重力値として採用した9月26日(1周目)の980412.350mgalは全4回の測定値の平均値に近く、また、ほぼ同じ重力値が8月30日の測定でも得られており、信頼性は高いと考えられる。苫小牧東港の測定は、9月26日の2回である。2回の測定結果には0.026mgalの差があるが、今回は苫小牧西港と同じ9月26日の1周目の測定結果を採用した。なお、基点の重力値を得るには、Scintrex CG-5(No.300900050)陸上重力計を用い、検証測定としてLaCoste&Romberg社製G型陸上重力計G-304を用い、両重力計での測定値に差がないことを確認した。

海底重力の測定地点の位置測量は、DGPS航法システムで行った。DGPS航法システムは、位置精度を高めることのほか、海底重力計を海底に設置している間、調査船が定点に留まらず重力計を牽引してしまう事態を避けるためにも利用した。位置精度は約0.002'(実長約4m)以内である。海底の重力測点の水深値は、音響測深機で得られた1Hzのデジタル深度データ(喫水補正済み)を行い、最終的な水深を求めた。測点の深度は海底重力計着底時の値とし、潮位補正を施して0.05m以内の精度で決定した。潮位補正は、苫小牧港湾事務所所管の苫小牧西港験潮所の潮位観測デジタルデータ(1分値)を使用した。潮位データは短周期のローカルな変動(ノイズ)を含むため、適用前に100分の加重平均(ガウス窓)によるローパス

フィルタを施した。尚、潮位データは験潮所固有の観測基準面 (T.P - 0.96m) からの高さで提供されるため、潮位データから 0.96m 差し引いて東京湾平均水面 (T.P.) 基準 (標高) の潮位を求めた。

## 5. 重力データの処理手法及び編集

ブーゲー異常図を作成するに当たり、陸域も含め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地形の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 メッシュを用い、海域については、日本海洋データセンターによる海底地形デジタルデータ M7000 シリーズのうち当該地域である津軽海峡東部 M7006 と JEGG500 (メッシュデータ) から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。本調査域の海底地形は比較的平坦で大きな誤差を生ずることはないと考えられるが、地形補正の精度を確保するため極近傍・近傍地形補正用の 200m メッシュの DEM を作成した。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) による方法による。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りダクシオンでないためブーゲー異常値を海水準での値と考えるのは誤りで、あくまで海底 (陸域については地表面) の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  $\Delta g_0''$  は、

$$\Delta g_0'' = g + \rho B_s + T(\rho) + C_A - (\gamma - \beta h + 4\pi G \rho h H(h))$$

[ g-term ] [  $\gamma$ -term ]

となる。ただし、 $g$  は測定重力値、 $\rho$  は地殻の密度 (仮定密度)、 $B_s$  は球面ブーゲー補正值、 $C_A$  は大気補正值、 $\gamma$  は正規重力値、 $\beta$  は鉛直勾配、 $h$  は標高 (深度の場合負値) 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  $\rho_w$  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、

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

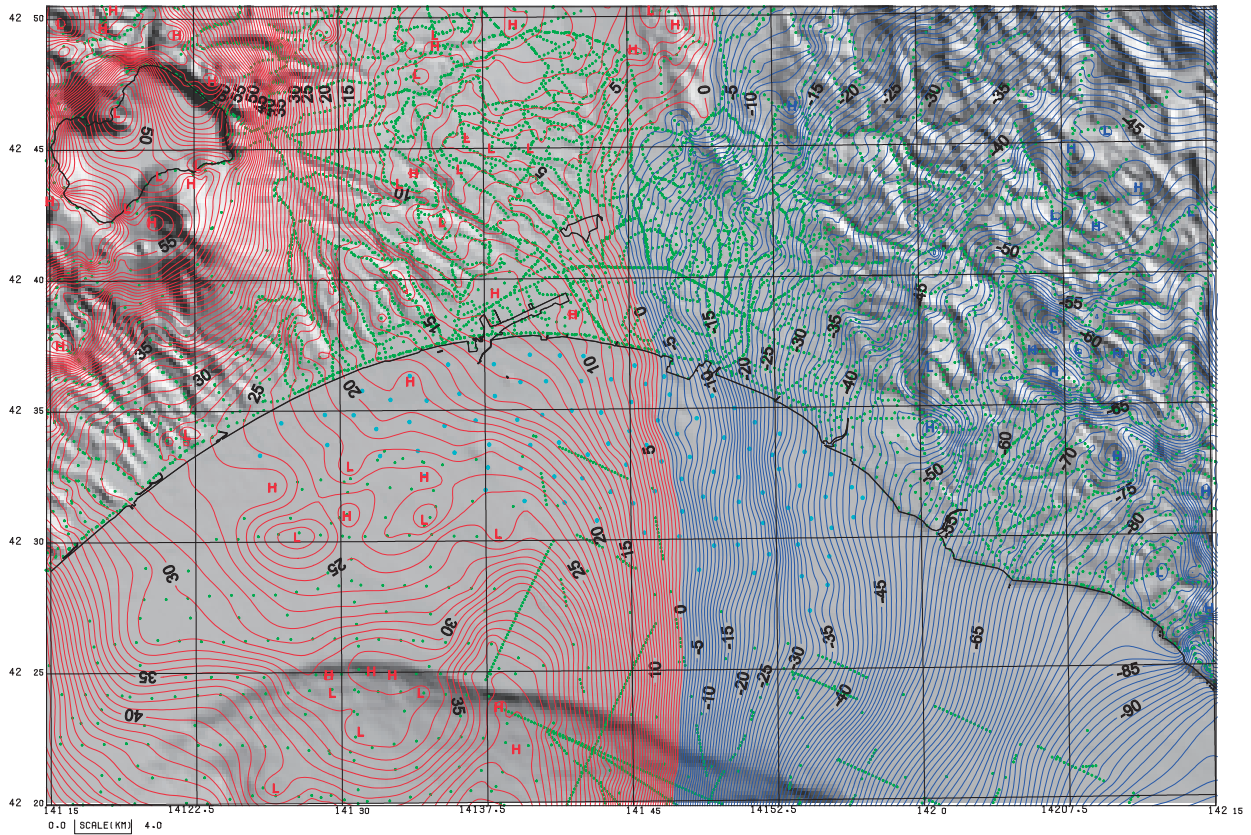
となる。但し、 $T_C$  (単位密度換算) は、測定面と地殻上面に挟まれた地形補正值、 $T_L$  (単位密度換算) は、測定面と地殻上面もしくは水面で挟まれた部分の地形補正值、 $T_W$  (単位密度換算) は、水域部分による地形補正值となる (駒澤, 1989)。また、球面ブーゲー補正を実施したことにより球殻項を導入したことが従来と違う点となっている。

## 6. ブーゲー異常

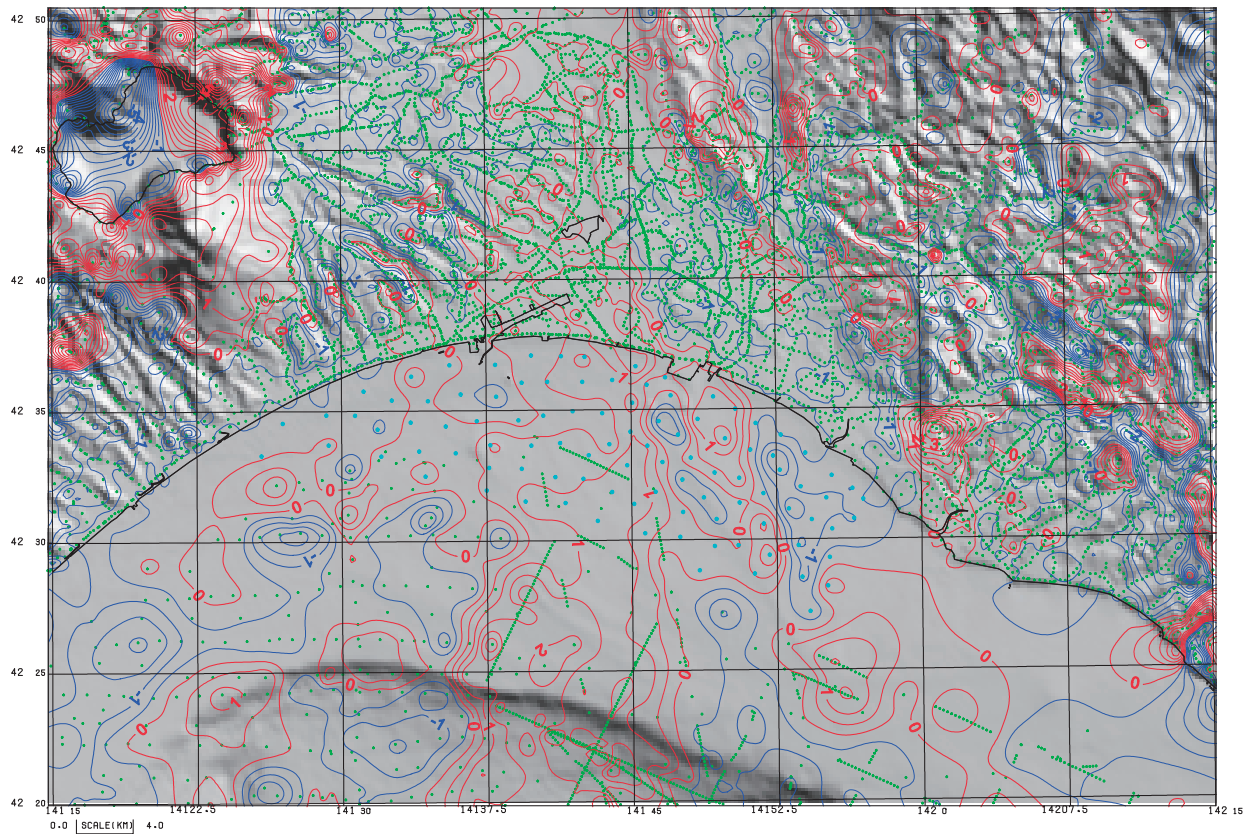
海域の調査エリアの海底は岩石の露出はあまり見られなかったが、陸域の表層の平均的な密度と考えられる  $2.3\text{g/cm}^3$  を仮定密度として編集し、ブーゲー異常図をカラーコンター表示として作成した (第 3 図)。

概略の特徴を以下にのべる。沿岸部については、水深が深く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する。一方、陸側は基盤の露出が見られるところを中心に仮定密度が  $2.3\text{g/cm}^3$  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、海岸部では東部の日高町～新ひだか町の沿岸部を除いて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。

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 4 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 以内の浅部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。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、石狩低地東縁断層帯と対比が良いことが判る。また、苫小牧は正值域を示すが、それは南に海域に伸び、基盤が隆起していることを示している。また、苫小牧東港の南方 5km ほどのところから崖状の地形が南南東に 15km ほど伸びているが、今回の海底重力調査から崖の下側で負の上側で正の残差重力を呈することが判っ



第3図 苫小牧沿岸域のブーゲー異常. 仮定密度は  $2.3\text{g}/\text{cm}^3$ . コンター間隔は  $2.5\text{mgal}$ . 緑ドット: 重力測点. 背景の陰影図は地形.  
 Fig.3 Bouguer anomalies of Coastal Area of Tomakomai Area. Assumed density is  $2.3\text{g}/\text{cm}^3$ , and contoured at  $2.5\text{mgal}$  interval. Green dots: Gravity stations. Shaded relief map denotes topography.



第4図 苫小牧沿岸域の残差重力. 上方接続  $1\text{km}$  を広域トレンドとして除去し, コンター間隔は  $0.5\text{mgal}$  で表示した. 緑ドット: 測定点分布. 背景の陰影図は地形.  
 Fig.4 Residuals of Coastal Area of Tomakomai Area. Regional trend is removed with upward continuation of  $1\text{km}$ , and contoured at  $0.5\text{mgal}$  interval. Green dots: Gravity stations. Shaded relief map denotes topography.

たが、何らかの活構造か、崖の上側の密度が堆積環境により単に小さいだけかは、ほかのデータも併せて検討する必要がある。

### 文献

- 藤本博巳・押田 淳・古田俊夫・金沢敏彦 (1998)  
: 海底重力計の開発, 海洋調査技術, 10, 1,  
25-38.
- 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) : 海水準下測定のプロローグ異常の考  
え方, 測地学会誌, 35, 349-351.
- 駒澤正夫・大熊茂雄・上嶋正人 (2012) : 苫小牧沖の  
重力データの編集, 平成 23 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.59, 97-100.
- 大熊茂雄・駒澤正夫・押田 淳 (2010) : 海底重力計  
の製作と実海域試験, 平成 21 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.54, 95-103.