

留萌地方北部, 初山別村周辺における重力測定 Gravity survey around the Syosanbetsu Village, Northwestern Hokkaido, Japan

田村 慎・石丸 聡・村山泰司・山本明彦*・名和一成**

Makoto Tamura, Satoshi Ishimaru, Yasuji Murayama, Akihiko Yamamoto and Kazunari Nawa

Abstract

The northwestern part of Hokkaido, is recognized as the boundary between the Okhotsk and the Amurian plates and seismically very active. Several historical records indicate that about M6.5 earthquake certainly occurred in northern Shosanbetsu village, northern part of Rumoi region, in 1874. But seismic fault and related crustal structure is unknown.

For the purpose of investigating the subsurface structure and seismic fault in this region, we performed gravity surveys and compiled pre-existed gravity data of Japan Petroleum Exploration Co., Ltd. (JAPEX), Geological Survey Institute (GSI) and Geological Survey of Japan, AIST.

We invert 2,678 gravity data for mapping the lateral density variation of the surface terrain in this area. Density distributions are calculated based on the Akaike's Bayesian Information Criterion in which optimum trade-off parameters control the smoothness of Bouguer anomaly surface against its fitness to the observed gravity. In the result, the estimated terrain density correlates well with major geological units and known faults.

A new bouguer anomaly map with calculated surficial density for assumed density is generally corresponds to geological feature. Horizontal gradient map of gravity anomaly shows that three steep horizontal gradient exists western part of anticlines.

キーワード：重力探査, 初山別村, 重力異常急変帯, 表層密度構造解析

Key words : Gravity survey, Shosanbetsu village, steep horizontal gradient zone, Terrain density analysis.

I はじめに

北海道北西部は, 北海道内陸部の中でも微小地震活動が活発な地域であり(森谷, 1986; 田村ほか, 2003), 2004年12月には留萌地方南部でマグニチュード(M)6.1の地震が発生し, 震源付近で家屋破損などの被害が発生している(田村ほか, 2005).

高橋・笠原(2005)は, 留萌支庁沿岸部の地震活動について再検討を行った結果, 1874年に初山別北部でM6.3-M6.4の地震が発生していたことを歴史資料から明らかにした. また, 田近ほか(2006)は別の歴史資料から地震の大きさはM6.5であったとし, また初山別村北部, 歌越地区周辺の海岸で地震時に発生したとされる地すべりの跡を検出した. しかし, 地表に活断層としての痕跡は見られず, 震源断層に対応する構造は把握されていない.

物理探査の一つである重力探査は, 地表の重力が地下の密度構造を反映することを利用した探査手法で, 石油探鉱・地熱資源調査・活断層調査などによく用いられている.

探査結果から算出される重力異常値が急激に変化する地域では, 地殻浅部の密度分布が水平方向に大きく変化していると推定され, その原因の1つとして地下に埋没した断層構造が示唆される. これまで, 重力異常と地震活動, 活断層などとの関連性について調査した研究が多くなされている(たとえば, 工藤・河野, 1999; 井上ほか, 2006)

今回, 1874年に発生した地震の震源断層に結びつく情報の検出を目指し, 初山別村周辺において重力測定を行うとともに, 既存重力測定資料の収集を実施し, より詳細な重力異常分布を明らかにした. さらに, 得られたデータを用いた表層密度構造解析を行い, 解析データと地質情報との対比, 解析データを用いた重力異常図の作成を行った.

II 地形・地質の概要

本研究の調査地域における地質図[脇田ほか(2009)に加筆]を第1図に示す.

調査地域は天塩山地の西部に位置し, 西側は日本海

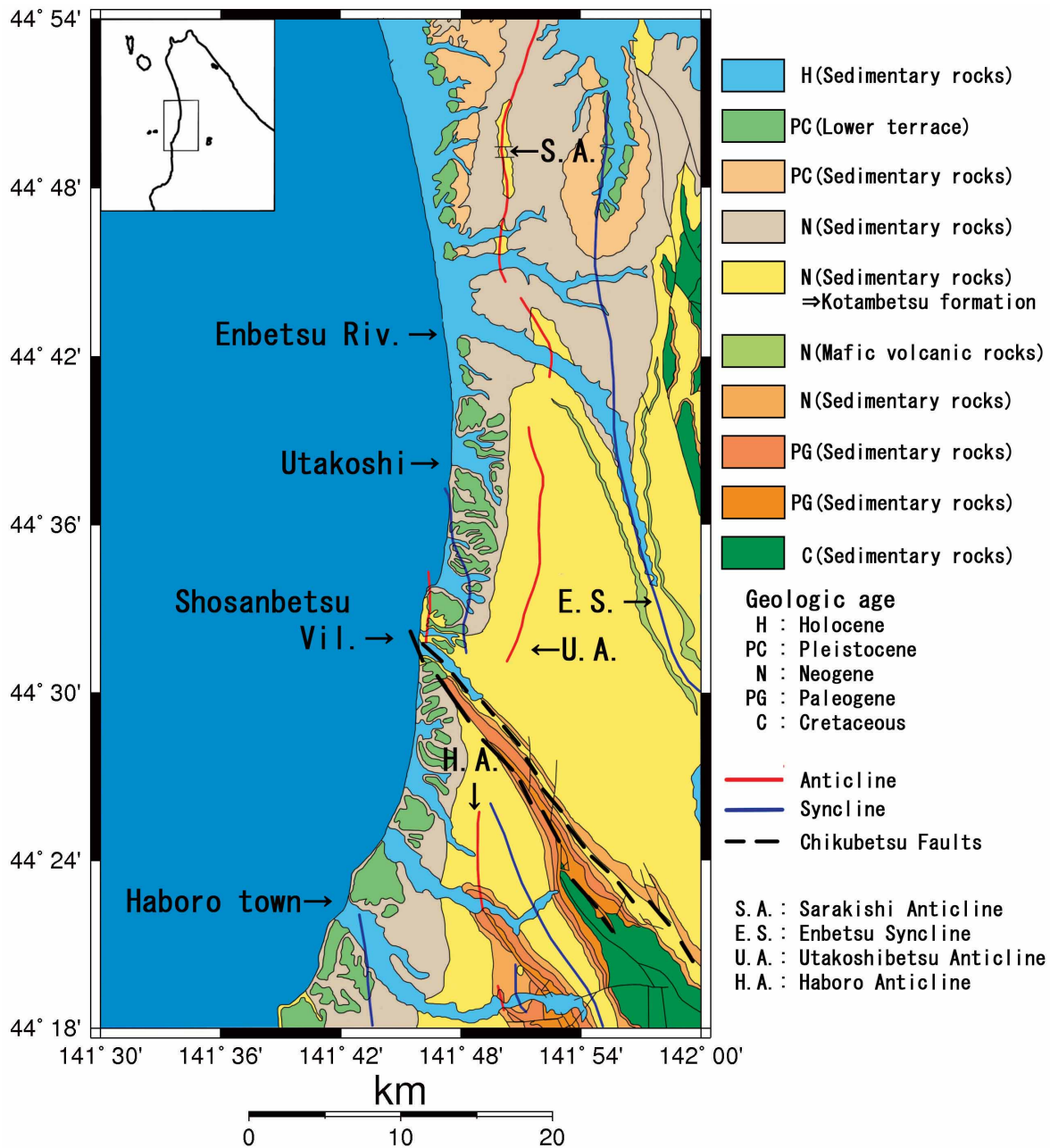
に臨み, 海岸線は南北に緩やかな弧状をなしている。地質的には白亜系・古第三系が分布する南東部を除き, 新第三系および第四系の堆積層が広く分布している。さらに, 南北走向の背斜・向斜構造が多数存在し, またこれと斜交する断層構造がみられる。

以下, 本地域を北部, 中部, 南部に大別し, 秦 (1961), 秦・対馬 (1968), 松野・木野 (1961) をもとに地形・地質の詳細を述べる。

北部地域 (44° 42' -54' N) では, 沿岸部は第四系の堆積層および段丘層が分布し, 平地および浸食された低い山地からなる。内陸部には更岸背斜と呼ばれる南

北走向の背斜構造があり, 海岸線から約5km東側に背斜軸を持つ丘陵状の山地となっている。背斜軸周辺には新第三系の堆積層が分布するが, 周辺部は第四系の堆積層からなる。さらに内陸側には遠別向斜と呼ばれる南北走向の向斜構造があり, 再び第四系の堆積層および段丘層が広く分布する。

中部地域 (44° 30' -42' N) では, 海岸部は主に前面に砂浜を持つ海食崖からなり, 後背地に開析された海成段丘が広がる。内陸部は大部分が古丹別層と呼ばれる新第三系の堆積層 (第1図, 黄色の領域) が分布する山地で占められる。山地は海拔500m以下の開析の



第1図 当該領域の表層地質図。20万分の1日本シームレス地質図DVD版 (脇田ほか, 2009) に加筆。図内赤線は背斜軸, 青線は向斜軸, 黒点線は築別断層群の位置を示す。

Fig. 1 Simplified geology map in study area. This is simplified from Wakita et al. (2009). Red lines, blue lines and black dash lines indicate anticlines, synclines and Chikubetsu Faults, respectively.

進んだ低山地であり、南北に伸びる尾根部を境として西側に緩傾斜し、東側に急傾斜をなしている。一方、領域内には尾根部の西側2~3km付近に背斜軸を持つ歌越別背斜があり、東緩西急の構造をなしている。東部には、遠別向斜が北部地域から連続して分布し、遠別川が向斜軸上を流れる向斜谷をなしている。

南部地域(44°18' -30' N)は、これまでみられた南北方向の構造と斜交する北西-南東走向の築別断層群(築別背斜断層、初山別断層)の存在が特徴的である。海岸部は中部地域と同様の状況にあるが、羽幌川の河口域にあたる羽幌市街などでは第四系堆積層が分布する。内陸部は新第三系および古第三系の堆積層が分布する山地が広がり、山地内に南北走向の羽幌背斜が存在する。さらに内陸側、領域内南東部の一帯は白亜系の堆積層が広く分布する。

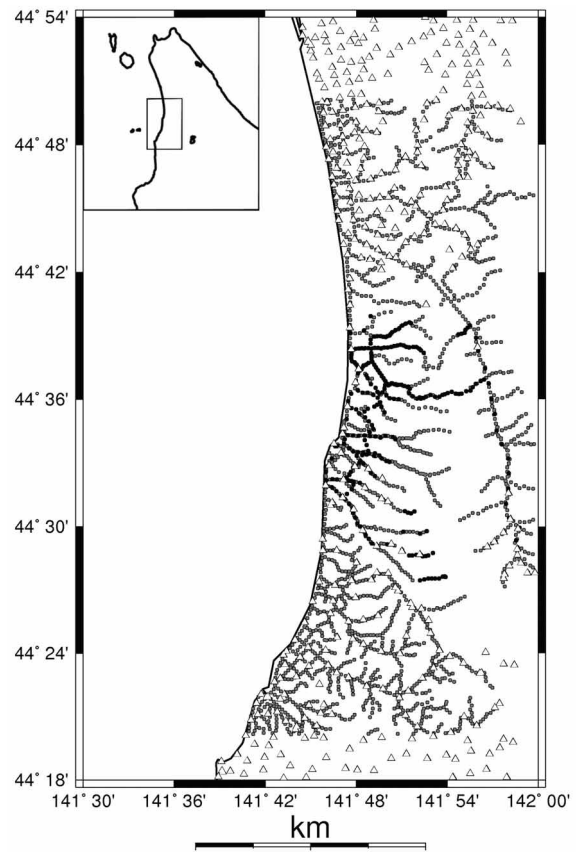
III 重力探査

初山別村周辺では、これまで国土地理院、地質調査所(現:産業技術総合研究所)、北海道大学、石油資源開発株式会社などによって重力探査が実施されている。しかし、当該地域では山間部のデータが少なく、また非公開となっているデータも多いことから、今回石油資源開発株式会社による北海道北西部の稠密重力データをはじめ、本多ほか(2009)、地質調査所(編)(2000)、国土地理院(2006)の既存探査データの収集を行い、さらに追加探査を実施した。

追加探査にあたり、今回の探査領域として初山別村~遠別町南部(北緯44°18' -54', 東経141°36' -142°)の約70×30kmの範囲を設定した。測定は2008年8月19-21日, 11月4-7日, 2009年6月30日-7月3日, 8月11日-14日, 10月6日-9日に実施し、合計276箇所測定を行った。本報告の最後に追加探査のデータを収録する(付表)。最終的に既存データとあわせて2678地点の探査データを収集した(第2図)。

探査に用いた重力計はScintrex社製のCG-3M型重力計である。本研究では閉塞測定を利用した相対測定を行うため、観測拠点の宿付付近に2008年には基準点ASH(北緯44°39'27", 東経141°51'51", 標高35.42m)を、2009年には基準点MSK(北緯44°33'39", 東経141°46'52", 標高35.94m)を設置した。これらの基準点と絶対重力既知点である国土地理院新十津川(人工衛星・重力)観測室内の一等重力点(北緯43°31'44", 東経141°50'40", 標高82.90m, 重力値980495.59mGal)との往復閉塞測定を行うことで、新しい基準点の重力値を決定した。

測定点座標は主に現地にてGPSを用いて測量した。測量にはライカジオシステムズ社製SR20GPS受信機を用いた。得られたデータは国土地理院電子基準点「遠別」の提供データを用い、ライカジオシステムズ



第2図 重力探査地点図。図中黒丸が新規に探査を実施した地点、三角印は産業技術総合研究所(2000)、国土地理院(2006)、本多ほか(2009)による公開データ。灰色丸印は石油資源開発株式会社による非公開データをそれぞれ示す。

Fig. 2 Previously and newly installed gravity stations over study region. Black solid circles indicate newly obtained data in this study. Triangles indicate previously obtained data (GSJ (2000), GSI (2006) and Honda et al. (2009)). Gray solid circles indicate unreleased data by JAPEX.

製ソフトウェア「ライカジオオフィス」を用いて解析を行った。位置決定精度は水平・標高とも10cm以内であった。

各測点で得られたデータに対し、潮汐補正およびドリフト補正、器械高補正を行い、測定点での絶対重力値を算出した。潮汐補正値は中井(1979)により算出し、潮汐補正済みの重力値について、現地基準点での開始時と終了時における重力差が時間に比例するものと仮定して、重力差を基準点での観測時刻からの経過時間に比例してドリフト補正を行った。なお、本測定で用いた重力計のドリフト値は約15μGal/h程度であった。また、器械高補正値は0.3086mGal/mで算出している。その後、ブーゲー異常値を、

$$BA = g - \gamma + \beta h - BC(\rho) + TC(\rho) + AC$$

の式から算出した。ここで
 g : 絶対重力値

γ : 正規重力値
 β : フリーエア勾配
 h : 標高
 BC : ブーゲー補正值
 TC : 地形補正值
 AC : 大気補正值
 ρ : 補正密度

である。フリーエア補正は一律に0.3086mGal/mとした。絶対重力はJGSN96に準拠し、正規重力値はGRS 1980に基づいて算出した。ブーゲー補正は半径80kmの範囲で有限の球帽による補正(萩原, 1978)によって行った。地形補正はYamamoto (2002)による球面地形補正法により算出、数値地形モデルは国土地理院の50mDEM(国土地理院, 2001)を使用した。大気補正値は0.87-0.0965hで算出した。

IV 表層密度構造解析

今回得られた稠密な重力データをもとにして重力インバージョンを行い、探査領域における地殻表層(ジオイド面以浅)の岩石の平均的な密度分布を推定する表層密度構造解析を実施した。

表層密度構造の推定にあたって、Nawa et al. (1997)によるABIC法を適用した重力インバージョン法を用いた。ABIC法は最近の情報理論を応用した方法であり、従来の密度推定方法では上手く仮定密度が求まらなかったケースでも合理的な推定値が得られることが知られている。これは、従来の手法では領域全体あるいはメッシュ化された各領域に対して真のブーゲー異常値を平面近似することで地形とブーゲー異常間の相関を排除しようとするのに対し、ABIC法では真のブーゲー異常値を観測値から計算されるブーゲー異常値にあてはめた滑らかな曲面で近似しているためである。ここで、曲面近似あるいは曲線近似において、できるだけ残差を小さくすること、できるだけ滑らかにすることは両立しない概念であり、両者の間の整合性を保つため、トレードオフパラメータを導入する必要がある。このパラメータを調節し、最適解を算出するために赤池のベイズ情報量基準(ABIC)が用いられている。

さらに、元々この手法は対象領域をひとつのメッシュとして扱い、その領域を代表するひとつの最適な推定密度を求めるものであったが、本手法はそれを拡張し、分割した各メッシュ領域の推定密度そのものをパラメータとして扱い、すべての密度値を一括して求めることが可能である。ただし、各メッシュ内には、ある程度以上の観測データが分布する必要がある。

なお、ABIC法を含めた表層密度(仮定密度)推定手法についてはYamamoto (1999)を、道内におけるABIC法を用いた表層密度構造推定の例として山本(2005, 2004)を参照されたい。

005, 2004)を参照されたい。

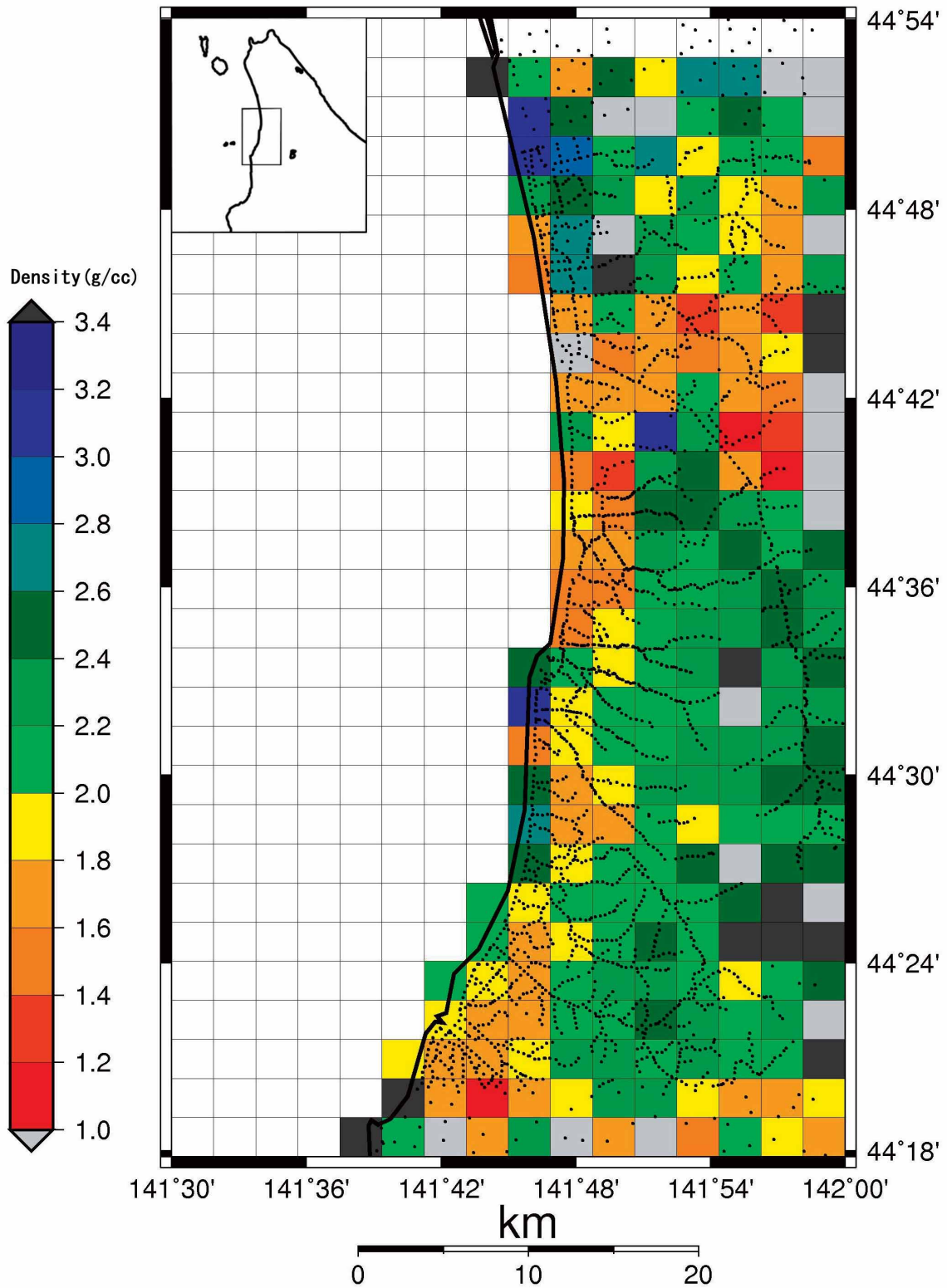
本調査ではまず対象領域全体を一つのメッシュとして表層密度を算出し、その密度として2.07g/cm³を得た。対象領域の地表を広く覆う古丹別層の平均的な密度値は凡そ2.2~2.4g/cm³とされ(本多ほか, 2007)、これより若干低密度の値が算出された。これは海岸沿いおよび北部における第四紀堆積層の存在が影響したものと考えられる。その後、メッシュの大きさを試行錯誤的に設定して解析を行った。その結果、議論可能なメッシュの大きさとして1.875'×1.25'(約2.5km四方)が得られた。

第3図に解析結果を示す。図内の赤色のメッシュは表層密度が低いと推定され、青色に近づくほど表層密度が高いと推定されたことを示す。また、空白部のメッシュはデータ不足により解析を実行しなかった範囲(主に海域)を示し、灰色および黒色のメッシュは1.0~3.4g/cm³のスケールから外れた値が算出された範囲を示す。第4図は第3図の解析の際に算出された密度誤差を示す。赤色のメッシュはほとんど誤差が無く、青色になるに従って誤差が大きくなり推定されたことを示す。ここで誤差が0.3g/cm³以上の範囲については空白としている。

これらの結果および表層地質との対比からわかる主な特徴として、以下の点が挙げられる。

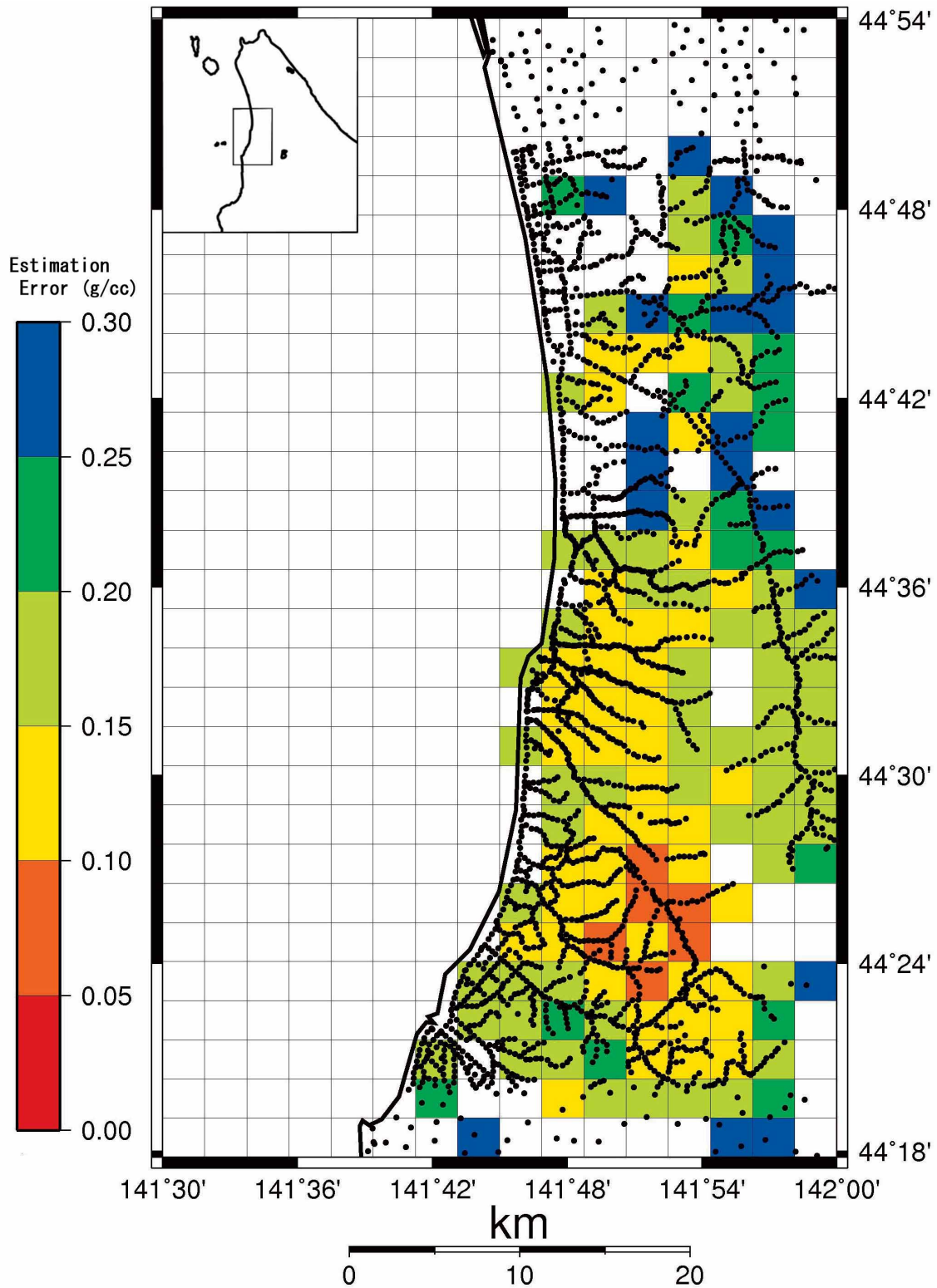
- (1) 全体的に、各メッシュの密度は低く推定され、2.0g/cm³前後の値となった。このことは、対象領域全体の表層密度として2.07g/cm³が得られたことと調和的である。
- (2) 沿岸部および北部では2.0g/cm³以下と低密度の値が得られた。これは第四系堆積層の分布域と対応する。また、密度誤差が0.3g/cm³を超えるメッシュが多くみられた。密度誤差が大きくなった要因として、平野部が多く、メッシュ内の探査地点間で標高の差が小さかったためと考えられる。
- (3) 一方、中央部~南東部では2.0~2.6g/cm³と比較的高密度の値が得られた。これは古丹別層および古第三系、白亜系の分布域と対応する。密度誤差は概ね0.2g/cm³以下と小さい値であった。
- (4) 44°30'~42'N, 141°48'E付近では、古丹別層の西側境界にあたる部分に表層密度の鮮明なギャップが検出された。これは東緩西急の歌越別背斜構造の存在と調和的である。
- (5) 北西-南東走向の築別断層群が分布している地域では、周辺より低密度の推定値が得られた。断層に伴う破碎帯が存在している可能性がある。

以上のように、今回得られた表層密度分布は、表層地質構造、断層分布と非常に良く対応する解析結果となった。一方、表層地質と対応しない密度境界の存在



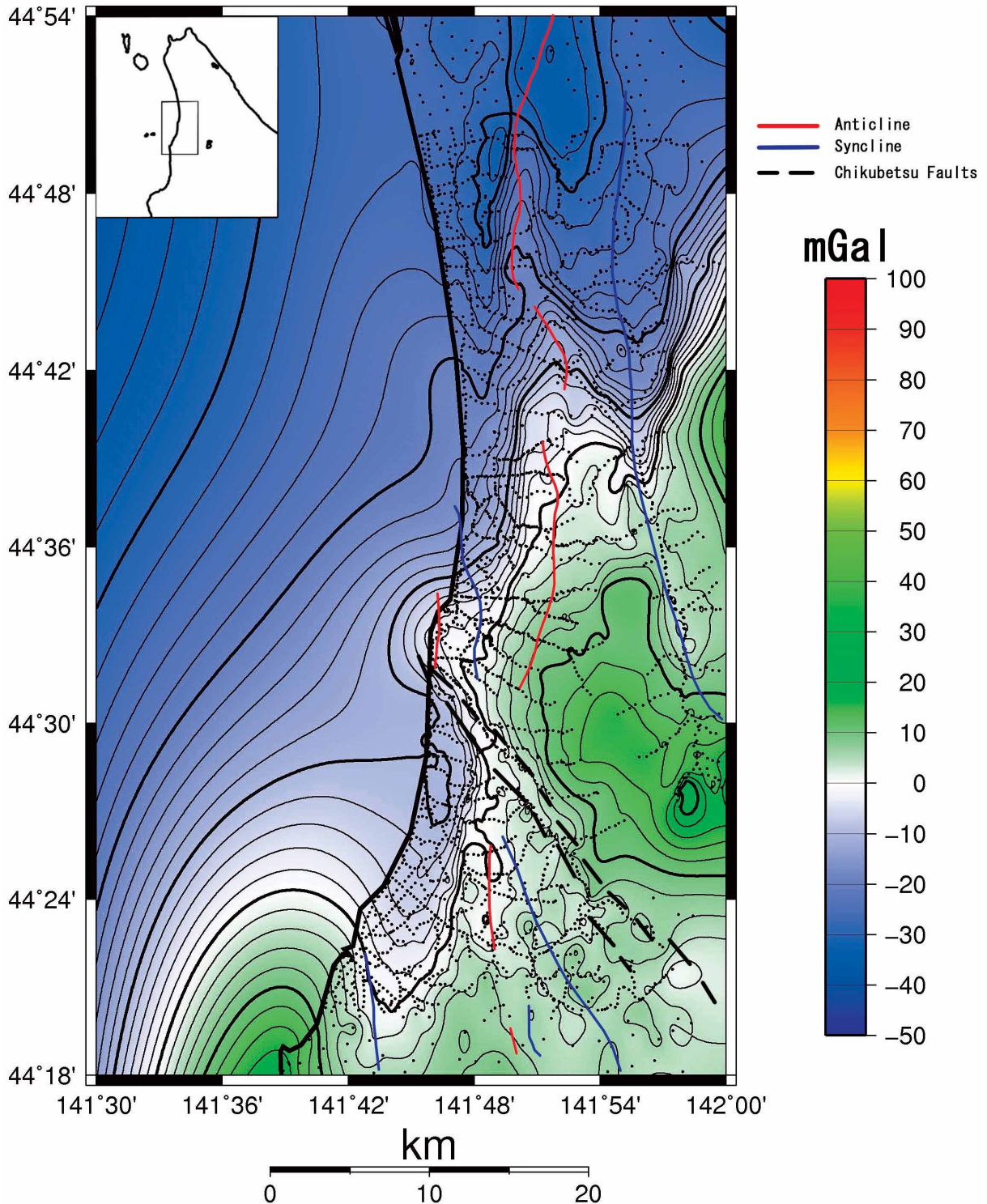
第3図 重カインバージョンによる表層密度解析結果. 探査領域を $1.875' \times 1.25'$ (2.5km四方) に分割し, 各メッシュに対する最適値を算出した.

Fig. 3 Surficial density distributions inferred from gravity inversion in study area. We divided the survey area into a set of blocks with a mesh size of $1.875' \times 1.25'$ (about 2.5×2.5 km), to the centers of which we assign a representative surficial density calculated from gravity inversion.



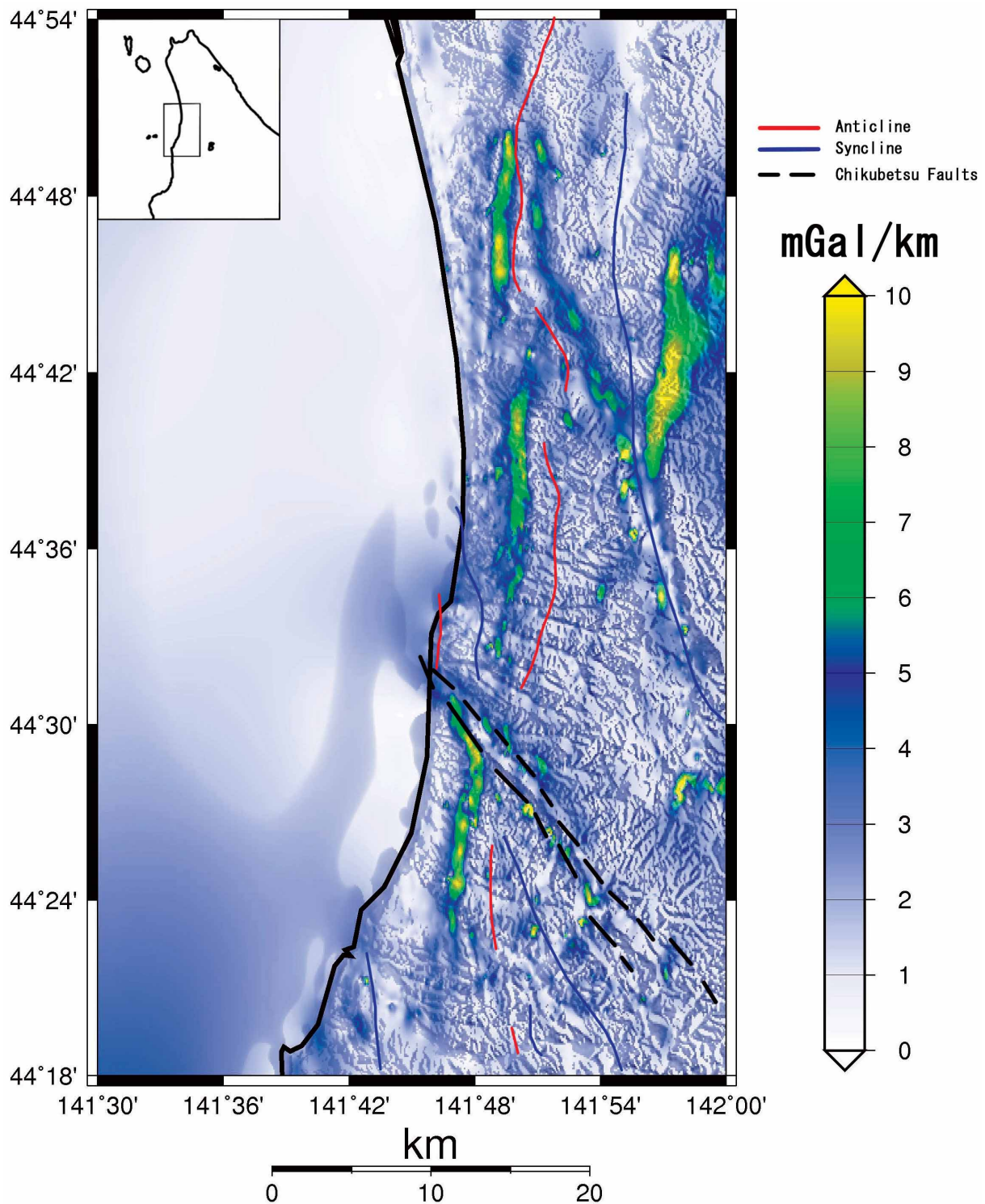
第4図 第3図の表層密度解析に対する密度誤差分布.

Fig. 4 Estimation error inferred from gravity inversion of Fig.3.



第5図 本探査で得られたデータを用いた重力異常図。仮定密度は第3図の表層密度解析結果を用い、密度誤差の大きい地点では 2.07g/cm^3 とした。黒丸は探査地点を示す。図内赤線は背斜軸、青線は向斜軸、黒点線は築別断層群の位置を示す。

Fig. 5 Newly obtained Bouguer anomaly map. Assumed density is used by surficial density distribution data in Fig.3 and also used 2.07g/cm^3 for poorly estimated area. Black circle indicate survey points. Red lines, blue lines and black dash lines indicate anticlines, synclines and Chikubetsu Faults, respectively.



第6図 ブーゲー異常勾配強度分布図. 背景に地形陰影を表示している. また, 赤線は向斜軸, 青線は背斜軸, 黒点線は築別断層群をそれぞれ示す.

Fig. 6 Distribution of horizontal gradient of the Bouguer anomaly. Digital topography (background shaded image) are superimposed. Red lines, blue lines and black dash lines indicate anticlines, synclines and Chikubetsu Faults, respectively.

を示唆する結果は得られなかった。

V 表層密度解析結果を考慮した重力異常

第5図に今回得られたデータを用いたブーゲー重力異常分布図を示す。ローカルな地表地質の影響を除いた異常図を表示するため、ブーゲー異常値を算出するにあたっての仮定密度として、表層密度構造解析でメッシュ毎に得られた値を採用した。ただし、解析されなかったブロックおよび密度誤差が大きかったブロック内のデータについては、対象領域全体の密度として得られた 2.07g/cm^3 を用いた。

得られた重力異常図は、対象領域中央部から南東部にかけて広がる正の異常域と、沿岸部および北部の負の異常域で特徴付けられる。これは表層地質の分布状況と概ね一致している。また、背斜構造部では背斜軸を中心に周辺より高い重力異常値が、向斜構造部では向斜軸を中心に低い値が得られ、さらに築別断層群付近では値のばらつきによるコンターの乱れがみられるなど、地表地質の傾向と概ね整合する結果が得られた。

しかし、探査領域中央部の歌越別背斜では、正の異常域の中心部は背斜軸の東側に存在している。このことは、深部の地質構造が地表部と大きく異なっていることを示唆する。

重力異常分布から密度急変帯に関する情報を抽出するため、勾配強度分布図を作成した。この手法は、重力異常の水平方向の微分、つまり、勾配の異常を調べることによって重力異常の急変帯を定量的に検証し、対象領域の断層場および構造ブロックのテクトニクスとの関連を調べるものである。その算出方法は、重力異常分布 B を直接、スプライン関数として与え、勾配強度の定義として、

$$\sqrt{\left(\frac{\partial B}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial y}\right)^2}$$

を採用するものである。作成された強度分布図は、勾配異常の方向性がなく、その強度のみが絶対値として示されることに注意する必要があるが、これにより重力異常急変帯を視覚的に捉えやすくすることが可能となる。

第6図に勾配強度の計算結果を示す。ここで示した勾配強度の範囲は $0\sim 10\text{mGal/km}$ であり、通常では勾配強度が $4\sim 5\text{mGal/km}$ 程度を超える場合には、明瞭な重力異常の急変帯として認識されることが多い。勾配強度分布図の中央部、 $141^\circ 48' \text{E}$ 付近にはほぼ南北の走向を持つ急変帯が3箇所検出された。

これらの急変帯は、各々の長さが約 10km あり、 $M6$ 級の地震断層となりうる規模であるが、急変部は古丹別層の西側境界部にほぼ一致する位置にあることから、検出された急変帯は表層から続く地質構造境界を反映

したものと考えられる。

ただし、2004年留萌支庁南部地震の震源域が背斜構造と概ね一致し、また背斜構造に対応する高重力異常域が検出されていること(本多ほか, 2007)、さらにこの地震を含めた北西北海道沿岸部の活構造が東傾斜の断層によるものと考えられていること(高橋・笠原, 2005)から、これらの背斜構造が活構造である可能性も考えられ、今後の検討が必要である。

VI まとめ

北海道西北部、留萌地方北部地域において、1867年に発生したとされる地震の震源断層に結びつく情報の検出を目指し、重力探査および表層密度構造解析を実施した。

重力探査データの収集にあたっては、産業技術総合研究所、北海道大学および国土地理院による公開資料に加え、石油資源開発株式会社による非公開資料を用いた。さらに、データの抜けている山間部の276地点で新たな重力探査を実施し、最終的に2678地点のデータを収集することが出来た。

表層密度構造解析にはABICインバージョン法を用い、ジオイド面以浅の岩石の平均的な密度を算出した。また、対象領域を約 2.5km 四方のメッシュに分割し、各メッシュの推定密度をひとつのパラメータとして一括算出した。

解析結果を表層地質と対比させたところ、探査領域内の新第三紀層の背斜構造に対応した高密度域が検出されるなど、表層地質と非常に良く対応していることが確認された。高密度帯の西側境界には密度構造の急変部が検出されたが、他に伏在する構造境界などの情報は得られなかった。

得られた密度分布を仮定密度とした重力異常値を算出し、重力異常図および勾配強度分布図を作製した。その結果、探査領域中央部に位置する背斜構造部には高重力異常域が検出され、その西側には異常値の急変するエリアが南北に帯状に連なって検出された。この急変帯は $M6$ 級の地震断層となりうる規模だが、既存の地質境界とほぼ一致するものであり、今後の十分な検証が必要である。

謝 辞

石油資源開発株式会社には貴重な重力探査資料を提供していただきました。アースサイエンス株式会社の岡 孝雄氏には初山別村周辺の地形・地質の詳細についてご教示いただきました。また、初山別村の方々および関係各位には重力探査に御協力いただきました。心から感謝の意を表します。

文 献

- 井上直人・楠本成寿・竹村恵二 (2006): 重力異常からみた活断層・地震活動・地殻変動. 月刊地球, 号外, 54, 233-238.
- 地質調査所 (編) (2000): 日本重力CD-ROM. 数値地質図P-2, 地質調査所.
- 萩原幸男 (1978): 地球重力論. 共立全書, 242p.
- 秦 光男 (1961): 5万分の1地質図及び同説明書「初浦」, 地質調査所, 68p.
- 秦 光男・対馬坤六 (1968): 5万分の1地質図及び同説明書「遠別」, 地質調査所, 37p.
- 本多 亮・神山裕幸・山口照寛・市原 寛・茂木 透 (2007): 2004年留萌支庁南部地震震源域の重力測定. 北海道大学地球物理学研究報告, 70, 27-41.
- 本多 亮・笠原 稔・茂木 透 (2009): 北海道北部地域の重力測定 (その2). 北海道大学地球物理学研究報告, 72, 203-218.
- 国土地理院 (2001): 数値地図50mメッシュ (標高), CD-ROM (日本-I).
- 国土地理院 (2006): 重力データ検索 (http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/gravity/grv_search/gravity.pl).
- 工藤 健・河野芳輝 (1999): 西南日本の重力異常勾配と地震活動との関連. 地震第2輯, 52, 341-350.
- 松野久也・木野義人 (1961): 5万分の1地質図及び同解説書「築別炭砒」, 北海道開発庁, 49p.
- 森谷武男 (1986): 浅い地震活動と起震歪力から見た北海道のテクトニクス, 地研専報, 31, 475-485.
- 中井新二 (1979): 実用的な起潮力計算プログラム, 緯度観測所彙報, 18, 124-134.
- Nawa, K., Y. Fukao, R. Shichi and Y. Murata (1997): Inversion of gravity data to determine the terrain density distribution in shouthwest Japan, J. Geophys. Res., 102, 27703-27719.
- 田近 淳・田村 慎・川上源太郎・高橋浩晃・濱田誠一・志村一夫 (2007): 1874年北海道初山別の地震に関する補足的資料: 斜面崩壊を中心に. 北海道立地質研究所報告, 78, 175-182.
- 田村 慎・笠原 稔・森谷武男 (2003): 臨時地震観測による北海道北部地域の微小地震活動と地殻構造. 地震第2輯, 55, 337-350.
- 田村 慎・川上源太郎・鈴木隆広・岡崎紀俊・岡 孝雄 (2005): 平成16年12月14日に留萌支庁南部で発生した地震の現地調査報告—地質被害・地震動・温泉への影響—. 北海道立地質研究所報告, 76, 113-128.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (編) (2003): 20万分の1数値地質図幅集「北海道北部」. 数値地質図G20-1, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 高橋浩晃・笠原 稔 (2005): 留萌支庁沿岸部の地震活動と北海道北部のテクトニクス. 北海道大学地球物理学研究報告, 68, 199-218.
- 脇田浩二・井川敏恵・宝田晋治 (編) (2009): 20万分の1シームレス地質図DVD版. 数値地質図G-16, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- Yamamoto, A. (1999): Estimating the optimum reduction density for gravity anomaly: A theoretical overview, J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., 11, 3, 577-599
- Yamamoto, A. (2002): Spherical Terrain Corrections for Gravity Anomaly Using a Digital Elevation Model Gridded with Nodes at Every 50m, Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII (Geophysics), 11, No.6, 845-880.
- 山本明彦 (2004): 重力インバージョンによる北海道東部の表層密度分布. 北海道大学地球物理学研究報告, 67, 31 1-325.
- 山本明彦 (2005): 重力インバージョンから求めた北海道石狩地域の表層密度分布. 北海道大学地球物理学研究報告, 68, 109-125.

付表 重力データ一覧。仮定密度は 2.67g/cm^3 とした。絶対重力はJGSN96に準拠している。B.A.はブーゲー異常値、T.C.は地形補正値。

Appended Table Observed gravity data. Assumed density is 2.67g/cm^3 . Gravity values are referred to JGSN96. B.A.: Bouguer Anomaly. T.C.: Terrain Correction.

Stn.	Latitude (° N)	Longitude (° E)	Alt. m	G-obs. mGal	BA. mGal	TC. mGal	Stn.	Latitude (° N)	Longitude (° E)	Alt. m	G-obs. mGal	BA. mGal	TC. mGal
ASH	44.65977	141.86028	35.42	980576.703	-4.23	0.87	66	44.65484	141.92035	50.74	980573.588	-2.90	1.85
MSK	44.56319	141.77733	35.94	980568.199	-4.40	0.35	67	44.65231	141.91918	56.66	980573.239	-1.53	2.18
1	44.56341	141.77920	37.32	980567.450	-4.91	0.34	68	44.65158	141.91602	63.57	980572.629	1.20	4.09
2	44.55769	141.82079	51.58	980568.132	-0.43	0.81	69	44.65110	141.91263	66.84	980572.753	1.11	3.20
3	44.63993	141.79391	8.35	980568.866	-16.28	0.17	70	44.47722	141.97711	186.15	980541.504	8.07	2.21
4	44.63917	141.79472	8.56	980567.690	-17.31	0.20	71	44.48925	141.97577	189.28	980541.678	7.31	1.75
5	44.63987	141.79922	12.48	980566.662	-17.71	0.14	72	44.49913	141.97948	155.07	980550.328	8.13	1.54
6	44.63995	141.80270	13.38	980567.048	-17.14	0.15	73	44.50683	141.96796	139.64	980551.886	7.40	2.98
7	44.64026	141.80632	12.42	980567.568	-16.82	0.16	74	44.51811	141.96454	153.65	980550.169	6.50	2.06
8	44.64013	141.80994	17.56	980568.135	-15.17	0.22	75	44.52990	141.96706	139.30	980552.483	4.19	1.33
9	44.64022	141.81361	16.51	980568.795	-14.75	0.20	76	44.54192	141.96755	113.78	980553.947	0.32	2.10
10	44.63967	141.81659	13.82	980569.434	-14.56	0.23	77	44.55370	141.96718	109.89	980555.098	-0.47	1.98
11	44.63630	141.81674	16.34	980569.526	-13.61	0.29	78	44.56450	141.96021	96.87	980559.965	0.80	1.93
12	44.63447	141.81683	17.23	980569.119	-13.73	0.24	79	44.57545	141.95435	106.44	980559.839	1.98	2.34
13	44.63198	141.81695	16.84	980569.408	-13.24	0.28	80	44.58841	141.95257	83.91	980567.140	3.17	1.84
14	44.62938	141.81790	18.81	980568.647	-13.42	0.24	81	44.60006	141.94884	78.88	980569.396	3.22	1.68
15	44.62728	141.81989	19.78	980568.842	-12.83	0.26	82	44.61240	141.94579	70.05	980571.896	3.39	2.19
16	44.62527	141.82177	20.43	980569.303	-12.00	0.31	83	44.62417	141.94167	59.94	980574.447	2.20	1.50
17	44.62290	141.82401	21.85	980569.187	-11.46	0.48	84	44.63816	141.93427	53.50	980574.027	-1.08	1.18
18	44.62076	141.82602	24.42	980569.330	-10.47	0.63	85	44.64835	141.93169	49.97	980572.842	-4.08	0.98
19	44.61861	141.82804	26.50	980569.468	-9.77	0.58	86	44.53638	141.76728	6.12	980572.090	-4.00	2.29
20	44.61646	141.83007	26.73	980570.246	-8.65	0.69	87	44.53732	141.77391	13.06	980571.922	-2.76	0.42
21	44.61425	141.83216	27.93	980571.116	-7.30	0.73	88	44.53708	141.77900	16.47	980571.736	-2.15	0.52
22	44.61213	141.83416	29.25	980572.003	-6.08	0.61	89	44.53710	141.78586	28.76	980569.897	-1.52	0.58
23	44.61179	141.83684	31.47	980572.270	-5.24	0.72	90	44.53633	141.79155	28.56	980570.675	-0.62	0.67
24	44.61231	141.84003	34.41	980573.821	-2.90	0.98	91	44.53553	141.79750	36.91	980568.661	-0.96	0.63
25	44.61183	141.84341	40.03	980573.533	-1.80	1.22	92	44.53450	141.80397	42.97	980567.723	-0.32	0.92
26	44.61135	141.84662	37.73	980574.521	-0.76	1.68	93	44.53586	141.79505	34.29	980569.343	-0.80	0.65
27	44.61140	141.85000	39.73	980574.733	-0.72	1.12	94	44.53303	141.79703	51.39	980565.229	-0.62	1.33
28	44.61048	141.85332	41.19	980574.455	-0.28	1.46	95	44.52934	141.79545	77.83	980559.371	-1.47	0.81
29	44.61000	141.85723	43.83	980574.164	0.43	1.90	96	44.52576	141.78976	55.35	980562.750	-1.86	1.13
30	44.60822	141.85911	42.75	980573.795	0.28	2.17	97	44.52154	141.78793	27.41	980567.334	-2.98	0.53
31	44.60479	141.85832	46.45	980573.382	0.45	1.72	98	44.51770	141.79270	26.97	980567.398	-2.41	0.78
32	44.60437	141.82049	18.64	980570.025	-13.00	0.31	99	44.51456	141.79586	30.18	980566.815	-2.15	0.71
33	44.60406	141.82420	14.64	980571.269	-12.28	0.58	100	44.51084	141.79667	41.56	980564.376	-2.08	0.65
34	44.60405	141.82765	20.92	980571.451	-11.05	0.36	101	44.50718	141.79899	46.17	980562.748	-2.32	0.80
35	44.60472	141.83101	20.16	980572.811	-9.53	0.73	102	44.50242	141.80128	52.50	980559.993	-3.28	0.91
36	44.60475	141.83461	23.66	980573.883	-7.74	0.76	103	44.50000	141.80447	53.68	980560.301	-2.65	0.78
37	44.60411	141.83822	23.02	980575.670	-6.04	0.83	104	44.49716	141.80755	50.77	980560.661	-2.50	0.89
38	44.60412	141.84175	28.63	980577.023	-2.47	2.02	105	44.49325	141.81066	57.35	980558.178	-3.12	1.11
39	44.60426	141.84531	30.61	980577.356	-2.27	1.53	106	44.49039	141.81402	58.14	980558.176	-2.44	1.37
40	44.60430	141.84889	32.51	980577.407	-2.20	1.24	107	44.48678	141.81734	76.36	980554.646	-2.33	1.11
41	44.60428	141.85220	35.11	980576.911	-1.80	1.58	108	44.48462	141.82242	80.40	980554.382	-1.44	1.27
42	44.60422	141.85517	35.46	980576.954	-2.00	1.15	109	44.52436	141.78337	17.96	980569.431	-2.94	0.59
43	44.60408	141.85827	43.51	980575.930	-1.28	1.29	110	44.52793	141.77842	13.97	980569.960	-3.46	0.65
44	44.60429	141.86261	42.53	980576.133	-0.71	1.89	111	44.53071	141.77412	9.41	980570.980	-3.76	0.48
45	44.60423	141.86598	49.10	980575.658	0.12	1.89	112	44.53191	141.76786	3.50	980571.025	-5.18	0.28
46	44.63985	141.86960	46.03	980575.789	-0.29	1.83	113	44.53885	141.78967	62.69	980562.997	-2.13	0.37
47	44.63855	141.87119	47.50	980575.578	-0.17	1.76	114	44.54077	141.79273	54.68	980565.022	-1.60	0.61
48	44.63665	141.87410	52.16	980574.699	-0.09	1.62	115	44.54318	141.79443	47.74	980566.759	-1.36	0.70
49	44.62866	141.81360	19.55	980567.174	-14.72	0.20	116	44.54665	141.79681	78.48	980560.456	-2.34	0.30
50	44.62729	141.81073	23.78	980565.474	-15.43	0.24	117	44.55013	141.80358	56.49	980565.497	-1.51	0.72
51	44.62594	141.80790	35.90	980562.143	-16.29	0.21	118	44.55165	141.80474	46.42	980567.980	-1.37	0.49
52	44.62390	141.80629	50.53	980558.575	-16.76	0.24	119	44.55620	141.80675	53.83	980566.590	-1.51	0.70
53	44.62258	141.80404	48.19	980558.590	-17.16	0.17	120	44.55687	141.81163	37.29	980570.397	-1.20	0.51
54	44.62455	141.80244	45.55	980559.201	-17.23	0.19	121	44.55970	141.81310	51.73	980567.299	-1.50	0.73
55	44.62692	141.80090	45.78	980559.052	-17.55	0.18	122	44.56404	141.81154	69.96	980562.816	-3.00	0.53
56	44.62873	141.79872	50.56	980557.681	-18.08	0.25	123	44.56796	141.80948	41.31	980568.726	-3.16	0.44
57	44.62983	141.79563	45.17	980559.073	-17.80	0.30	124	44.57152	141.80911	29.54	980570.630	-3.69	0.64
58	44.63215	141.79463	41.19	980560.094	-17.78	0.29	125	44.57117	141.80273	28.23	980570.451	-4.36	0.37
59	44.63482	141.79477	24.63	980563.835	-17.62	0.20	126	44.57141	141.79676	25.24	980570.725	-4.80	0.27
60	44.63713	141.79507	8.02	980566.925	-17.97	0.24	127	44.57175	141.79090	21.33	980570.938	-5.44	0.22
61	44.63861	141.79302	5.71	980567.989	-17.56	0.17	128	44.57202	141.78619	15.36	980571.846	-5.72	0.22
62	44.64383	141.81602	34.52	980562.282	-17.22	1.03	129	44.56855	141.78749	13.34	980573.799	-3.80	0.27
63	44.64712	141.81591	25.78	980566.128	-15.93	0.49	130	44.56511	141.78676	30.15	980570.038	-3.96	0.26
64	44.65822	141.92486	44.29	980572.166	-6.93	0.82	131	44.56158	141.79234	31.35	980570.370	-3.04	0.29
65	44.65635	141.92252	44.62	980572.456	-5.61	1.62	132	44.55928	141.79693	35.48	980569.929	-2.43	0.32

付表 続き

Appended Table. continued.

Stn.	Latitude (° N)	Longitude (° E)	Alt. m	G-obs. mGal	BA. mGal	TC. mGal	Stn.	Latitude (° N)	Longitude (° E)	Alt. m	G-obs. mGal	BA. mGal	TC. mGal
133	44.55878	141.80219	29.23	980571.678	-1.79	0.39	204	44.45825	141.87488	160.38	980543.674	7.31	2.62
134	44.55857	141.80765	33.28	980571.342	-1.11	0.60	205	44.45768	141.87026	146.41	980544.468	5.33	2.55
135	44.55754	141.81397	39.29	980570.134	-1.13	0.51	206	44.47723	141.85827	124.45	980552.600	7.54	2.71
136	44.55588	141.81961	48.27	980569.212	0.00	0.65	207	44.47782	141.86593	137.38	980551.320	8.63	2.60
137	44.55609	141.82544	52.27	980569.959	2.40	1.54	208	44.47774	141.87115	146.26	980549.327	8.27	2.47
138	44.55353	141.82867	50.34	980570.513	2.23	0.96	209	44.47682	141.87662	158.76	980546.670	9.06	3.38
139	44.55179	141.83337	58.86	980569.673	3.45	1.19	210	44.47734	141.87936	166.31	980545.350	9.00	3.20
140	44.55093	141.83672	65.99	980568.413	3.76	1.27	211	44.47928	141.88438	184.19	980541.614	10.25	4.85
141	44.55572	141.80057	38.16	980569.454	-1.72	0.66	212	44.47656	141.87320	150.07	980547.917	8.50	3.26
142	44.54959	141.80829	51.97	980566.744	-1.14	0.69	213	44.47740	141.86162	131.81	980552.094	8.14	2.39
143	44.54555	141.81289	61.78	980564.599	-0.92	0.75	214	44.65959	141.85463	35.22	980576.409	-4.64	0.77
144	44.54234	141.81629	67.95	980563.687	-0.36	0.72	215	44.66058	141.85867	35.21	980576.718	-4.24	0.95
145	44.53973	141.82058	75.27	980563.631	1.96	1.42	216	44.51229	141.85366	140.50	980552.759	8.00	3.03
146	44.56341	141.77700	35.89	973952.654	-4.41	0.38	217	44.51190	141.86404	165.54	980547.852	8.77	3.75
147	44.57110	141.81525	35.82	980570.463	-2.77	0.46	218	44.51058	141.86044	155.23	980549.684	8.45	3.51
148	44.57072	141.82143	36.90	980571.020	-1.85	0.57	219	44.51109	141.85704	147.43	980551.393	7.66	2.59
149	44.56994	141.82693	40.56	980571.830	0.03	0.85	220	44.45826	141.87487	159.50	980543.716	7.22	2.67
150	44.57131	141.83218	47.40	980571.667	1.80	1.57	221	44.45914	141.87918	166.15	980543.207	8.21	2.94
151	44.57026	141.84034	51.81	980571.833	2.75	1.39	222	44.45912	141.88307	175.43	980541.233	8.42	3.29
152	44.56861	141.84310	50.83	980573.257	3.82	1.07	223	44.45913	141.88690	189.17	980537.854	8.68	4.24
153	44.57445	141.81475	77.46	980560.015	-5.25	0.54	224	44.45901	141.89110	202.82	980535.733	8.47	3.45
154	44.57692	141.81884	80.53	980559.647	-5.43	0.35	225	44.46053	141.89512	215.75	980533.973	8.77	3.11
155	44.57979	141.81728	71.84	980560.437	-6.57	0.39	226	44.46077	141.89716	227.23	980531.578	8.64	3.14
156	44.58257	141.81397	40.27	980566.755	-6.50	0.59	227	44.46028	141.89816	230.82	980530.233	8.18	3.28
157	44.58570	141.80982	30.60	980567.593	-7.82	0.63	228	44.49450	141.87000	176.11	980545.323	8.77	2.63
158	44.59044	141.80923	65.60	980558.491	-10.59	0.51	229	44.49640	141.87761	208.27	980538.567	8.85	3.31
159	44.59266	141.81309	72.29	980557.123	-10.81	0.54	230	44.60111	141.87338	80.16	980567.949	2.21	1.95
160	44.59423	141.81990	82.97	980555.851	-10.33	0.34	231	44.61214	141.93159	117.91	980561.266	3.88	3.88
161	44.59563	141.82304	83.82	980556.130	-10.00	0.35	232	44.60934	141.92659	192.63	980551.861	7.52	2.00
162	44.60123	141.82391	43.23	980564.836	-9.64	0.48	233	44.60631	141.92082	305.52	980520.646	-1.18	2.06
163	44.60460	141.82558	75.95	980557.504	-10.98	0.36	234	44.60451	141.91590	275.88	980527.222	-0.58	1.74
164	44.60530	141.82885	49.97	980564.866	-8.65	0.49	235	44.49603	141.85196	122.78	980554.173	7.00	2.63
165	44.60824	141.83126	33.96	980569.631	-7.22	0.57	236	44.60429	141.91294	233.97	980536.612	1.00	2.14
166	44.61125	141.83203	30.66	980570.888	-7.01	0.44	237	44.60582	141.90518	176.47	980548.471	1.37	2.10
167	44.63514	141.79496	24.57	980564.195	-17.27	0.23	238	44.60400	141.89740	109.68	980562.971	3.22	2.40
168	44.63268	141.79478	37.38	980561.264	-17.43	0.26	239	44.60214	141.89136	94.72	980565.324	3.12	2.72
169	44.63016	141.79531	45.04	980559.384	-17.53	0.31	240	44.60350	141.88166	79.47	980568.415	2.11	1.74
170	44.62909	141.79847	49.60	980558.364	-17.62	0.25	241	44.60205	141.87675	73.26	980569.862	2.96	2.23
171	44.62725	141.80071	46.38	980559.181	-17.32	0.19	242	44.60196	141.88663	84.55	980566.896	2.32	2.33
172	44.62533	141.80226	49.72	980558.683	-16.99	0.19	243	44.60346	141.89490	103.87	980563.650	2.64	2.23
173	44.61896	141.81109	55.33	980558.353	-15.63	0.21	244	44.60493	141.90059	147.07	980555.027	2.41	2.27
174	44.61647	141.81276	62.11	980557.081	-15.32	0.23	245	44.60455	141.90940	193.66	980545.167	0.96	1.49
175	44.61187	141.81626	67.70	980556.598	-14.19	0.32	246	44.60696	141.92560	190.05	980546.038	1.27	1.86
176	44.60895	141.82126	74.06	980556.377	-12.92	0.30	247	44.60954	141.92819	154.02	980553.841	2.65	2.76
177	44.60578	141.82352	76.12	980556.697	-11.89	0.32	248	44.61449	141.93701	82.14	980568.793	2.97	2.69
178	44.60337	141.83313	39.41	980569.528	-5.68	0.70	249	44.61560	141.94076	64.45	980572.980	2.41	1.52
179	44.60087	141.83685	43.98	980569.757	-3.99	1.04	250	44.60055	141.87133	68.65	980570.246	2.00	1.66
180	44.60027	141.84183	48.90	980571.274	-1.10	1.38	251	44.60157	141.86986	67.47	980570.209	2.04	2.06
181	44.60006	141.84686	55.55	980570.827	0.13	1.73	252	44.60053	141.86723	59.02	980572.088	1.71	1.42
182	44.59770	141.82650	43.55	980565.973	-7.67	0.93	253	44.60236	141.86225	53.58	980572.734	1.71	2.01
183	44.59403	141.82793	50.42	980565.697	-6.49	0.71	254	44.65816	141.85085	26.73	980577.526	-4.92	0.91
184	44.58969	141.83121	59.95	980565.338	-4.57	0.72	255	44.65599	141.84743	24.77	980578.351	-4.14	1.06
185	44.60368	141.81871	33.52	980565.449	-11.06	0.58	256	44.65449	141.84337	22.65	980578.524	-4.29	1.01
186	44.60506	141.81267	28.02	980565.386	-12.34	0.57	257	44.65275	141.83953	21.86	980577.347	-5.31	1.17
187	44.60508	141.80719	23.96	980565.475	-13.11	0.51	258	44.65126	141.83804	21.76	980576.194	-6.75	0.77
188	44.60728	141.80192	21.15	980565.388	-14.14	0.31	259	44.65015	141.83650	23.94	980575.015	-7.55	0.62
189	44.58865	141.80380	19.72	980568.555	-9.16	0.73	260	44.64962	141.83438	24.95	980573.328	-9.11	0.50
190	44.59219	141.79989	16.79	980568.202	-10.80	0.33	261	44.64896	141.83245	25.35	980572.631	-9.72	0.45
191	44.59314	141.79478	13.84	980567.895	-11.64	0.46	262	44.64908	141.83010	23.31	980571.948	-10.91	0.35
192	44.59450	141.79081	12.87	980567.455	-12.57	0.29	263	44.64972	141.82306	22.00	980570.194	-13.09	0.24
193	44.58443	141.78963	36.49	980563.595	-10.65	0.52	264	44.65220	141.79387	12.45	980566.801	-18.67	0.15
194	44.57710	141.78660	18.20	980569.542	-7.92	0.23	265	44.65422	141.80882	14.93	980567.951	-17.21	0.16
195	44.55728	141.78381	59.97	980564.024	-3.45	0.22	266	44.64944	141.81978	16.40	980570.321	-14.00	0.28
196	44.54349	141.76671	6.13	980573.390	-3.18	0.45	267	44.64963	141.82710	22.23	980571.119	-12.06	0.29
197	44.54743	141.76723	14.61	980573.062	-2.17	0.48	268	44.66539	141.81596	46.53	980560.625	-19.24	0.26
198	44.55349	141.77342	51.62	980565.944	-2.78	0.27	269	44.61180	141.83447	31.59	980571.760	-5.92	0.53
199	44.59852	141.79137	24.62	980564.214	-13.78	0.38	270	44.61107	141.83521	31.51	980571.846	-5.75	0.56
200	44.60433	141.79470	21.85	980564.553	-14.57	0.32	271	44.61273	141.83904	34.12	980573.335	-3.18	1.28
201	44.62029	141.80218	32.76	980562.375	-16.10	0.26	272	44.61205	141.84185	36.47	980574.028	-1.77	1.48
202	44.48601	141.83435	79.88	980557.605	1.95	1.67	273	44.61120	141.84493	39.43	980574.299	-0.83	1.48
203	44.48161	141.85041	102.26	980555.819	6.01	2.72	274	44.56319	141.77732	35.50	980568.121	-4.56	0.35