

日本列島とその周辺海域のブーゲー重力異常 (2004 年版)[†]

植田義夫

Bouguer Gravity anomalies (ver. 2004) of Japanese Island Arcs and its adjacent seas

Yoshio UEDA

Abstract

The Hydrographic and Oceanographic Department of Japan have been conducted marine gravity surveys since 1965. Based on these survey results, precise Bouguer gravity anomaly maps of the Japanese Island arcs and its adjacent seas were compiled by a newly developed terrain correction method (Ueda, 2003). Topographic mesh data with the size of 10" x 10" are used as basic mesh data for the terrain corrections of marine gravity survey data with line spacing about 2 mile or less, and 30" x 30" size mesh data for the marine gravity survey data at a scale of 1/500,000. For interpolations of the depths within a rectangular area defined by the 4 basic mesh data points, a weighted gradient interpolation method was used. Japanese island arcs and its adjacent continental shelf regions are covered by 6 sheets of Lambert's conformal conic projection maps. Besides, the small scale gravity anomaly maps covering whole Japanese islands and its adjacent seas including the Shikoku basin, west Philippine sea, and the northwestern part of the Pacific ocean are also compiled in two sheets.

These gravity maps recover the characteristic features of the gravity anomalies as described hereafter.

(1) In the Tohoku Japan arc, a relative positive Bouguer anomaly zone runs in N-S in parallel to the Japan trench. This positive zone is separated into two zones at about N38°00', E141°40', incoresponding to the seaward extension of the Nanbu-Kitagami geological complex.

(2) In the Suruga bay, contour lines of Bouguer anomalies are deflected northward sharply, which suggests the uplift of the lower crust beneath the Izu peninsula region. The local Bouguer anomaly highs are recognized in the inner region of the Nankai trough, such as in the vicinity of Shiono-Misaki Cape, Muroto-Misaki and Ashizuri-Misaki Cape, and in the southwest of the Tosa Bay. These anomalies may be related with the zonation of the subducting Philippine plate.

(3) Bouguer anomalies over the Okinawa trough show a convex feature reflecting the uplift of the lower crust, however, the maximum Bouguer anomaly value (~160mGal) itself is much less than that of the usual oceanic crust, which indicates the existence of the continental crust beneath the Okinawa trough.

(4) In the Izu-Ogasawara arc, a high Bouguer anomaly zone is recognized in the fore-arc region, which continues southward to the Bouguer anomaly high associated with the Ogasawara ridge. In the northern arc,

[†] Received

海上保安大学校 Maritime Safety Academy, Japan Coast Guard.
yoshio-ueda@kaiho.mlit.go.jp

Bouguer anomalies decrease step-wisely toward the inner arc, showing two sharp gradient zones to the east of the volcanic front. The across-arc boundaries separating the Izu-Ogasawara arc also confirmed, one is the “Torishima-seiho tectonic line” connecting the places around N30°30', E140°30' and N29°40', E139°00' and another is the “Nishinoshima tectonic line” connecting N27°50', E141°00' and N26°, E140°00', respectively.

(5) Bouguer anomalies in the northern part of the Shikoku basin decrease eastward with gentle gradient, and, Free-air anomalies, oppositely, increase eastward. The relative Bouguer anomaly lows are recognized over the Amami Plateau, Daito Ridge, Oki-daito Ridge as well as Kyusyu Palau ridge, which may suggest the existence of the continental crusts beneath these ridges. The Bouguer anomalies associated with basins are as follows; Kikai basin is +320mGal, Kita-Daito basin is 300~370mGal, Minami-Daito basin is 270~330mGal and that of the Philippine basin in the south of the Oki-Daito Ridge is 370~380mGal respectively. These variations reveal the different thickness of the oceanic crusts. In the Philippine basin, The gravity features change drastically at the line connecting the places around N24°, E131° and N21°, E129°, which may imply the tectonic line separating the Philippine basin in eastern and western part.

Key wards: Bouguer gravity anomaly, Free-air gravity anomaly, Japan trench, Japan arc, Suruga trough, Nankai trough, Izu-Ogasawara arc, Okinawa trough, Shikoku basin, Amami Plateau, Daito ridge, Oki-Daito ridge, Kyusyu-Palau ridge, Philippine basin.

日本語要旨

水路部は1965年から海上重力測量を実施しており、本論文はそれらの成果をもとに新しい地形補正方法を用いて求めた日本列島とその周辺海域のブーゲー重力異常図をとりまとめたものである。地形補正にあたっては、2マイル間隔の測線間隔によるデータに関しては10”地形メッシュを、一方、1/50万のスケールの大規模測量の成果については30”地形メッシュを基本メッシュとして、メッシュ自動分割法(植田, 2003)により地形補正を行った。基本メッシュ内部での水深の補間に関しては、各グリッド4点からの勾配補間法を用いた。地形補正したブーゲー重力異常データにもとづき、日本列島とその周辺大陸棚海域及び日本列島南方海域について重力異常図を作成した。今回まとめた重力異常図から、重力異常の分布に関する以下の知見が得られた。

東北日本の前弧域では相対的に正のブーゲー重力異常帯が海溝に並走するが、南部北上体の南縁線の海域への延長部の北緯38°00', 東経141°40'付近で2列に分かれる。駿河湾ではブーゲー重力異常の等値線が駿河トラフ軸部で北側に屈曲してお

り、伊豆側の下部地殻の隆起を示唆する。南海トラフの内側ではブーゲー重力異常の局地的な高異常域が潮岬付近、室戸岬、足摺岬とその周辺、土佐湾の南西部に存在する。これらの異常は南海トラフ沿いの震源のブロック化と関連する可能性がある。沖縄トラフ付近は下部地殻の隆起を示唆する相対的に凸のブーゲー異常をしめすが、そのピーク値そのものは通常の海洋性地殻に伴うブーゲー異常の半分程度しかなく、沖縄トラフ下に、大陸性地殻の存在を示す。伊豆 小笠原弧では小笠原海嶺から連続する高重力異常帯が前弧域にN-S方向に配列する。伊豆 小笠原弧北部では、ブーゲー重力異常が火山フロント側に向かって階段状に減少しており、下部地殻が地溝状の構造を持つことを示唆する。また、弧を南北に分断する2列の構造線が推定された。四国海盆のブーゲー異常は九州 パラオ海嶺側から伊豆 小笠原弧側へ緩やかな減少傾向を示すが、フリーエア異常にはこれとは逆の傾向を示す。このことは、四国海盆の地殻構造が拡大軸を対象とする構造ではなく、東西方向に漸移する構造の存在を示唆する。奄美海台、大東海嶺、沖大東海嶺、及び九州 パ

ラオ海嶺では大陸性地殻の存在を示唆するブーゲー異常の落ち込みが認められる。また、海盆に関しては、喜界海盆で +320mGal, 北大東海盆で 300 ~ 370mGal, 南大東海盆で 270 ~ 330mGal, 及びフィリピン海盆で 370 ~ 380mGal を示し、これらの海盆の地殻構造に違いが推察される。沖大東海嶺以南のフィリピン海盆では北緯 24° 東経 131° と北緯 21° 東経 129° を結ぶラインを境に重力異常の様相が急変しており、この部分がフィリピン海盆を東西に分断する構造線であると推察される。

1 はじめに

日本列島とその周辺海域の地殻構造の研究にとって、重力異常は不可欠な情報である。特に、ブーゲー重力異常図は地形による重力変化を補正しており、直感的に地下構造の特徴を捉えるのに適している。海上におけるブーゲー重力異常に関しては、いままでの測量成果をもとに、観測報告や研究論文による提供とともに、CD 媒体によるデジタルデータの利用も行われている。しかし、従来の地形補正については、測点付近を大まかな 5 面体で近似しており、地形補正の方法にはまだ改良の必要性があった。このような、従来の測点近傍の地形近似を改善する方法として、筆者はメッシュ自動分割法による近似方法を提案した。ここでは、今回の新しい近似方法を用いて作成した日本列島とその周辺海域のブーゲー重力異常図を紹介するとともに、ブーゲー重力異常図から推定される構造上の特徴について述べる。

2 重力データ

(1) 海域の重力データ

日本列島とその周辺海域の海上重力観測は、TSSG 型海上重力計の開発により、1960 年代中頃から実用化された (Tomoda and Kanamori, 1962; Segawa, 1970)。これらの成果は Tomoda and

Fujimoto (1980; 1982), Segawa and Tomoda (1976) などにまとめられている。水路部でも、TSSG 型海上重力計を測量船初代「拓洋」に搭載し、上部マントル計画 (Upper Mantle Project) の一環として日本海大和堆付近での海上重力観測を実施した。この観測は水路部による最初の海上重力観測である (Tokuhiro, A., 1966, 1967)。水路部では、昭和 42 年度から「20 万分の一の大陸棚海の基本図計画」を開始し、地震予知計画への参加とあわせて、日本列島の大陸棚海域での海底地形、地質構造、地磁気、重力の総合的な海洋測量を実施した。昭和 58 年度からは、200 海里管轄海域画定のための「50 万分の一の大陸棚調査」が開始された。海上重力計も測量船の代替時期にあわせて順次 KSS-30 型の重力計を導入することとなり、現在では、KSS-31 型への移行が行われている。この間、測量船の測位方式も、当初のデッカやロラン C から NNSS とロラン C を用いた複合測位システム、さらには、NNSS から GPS への移行、というように、順次測位精度の向上が図られてきた。特に GPS の出現により 1 桁以上海上測位精

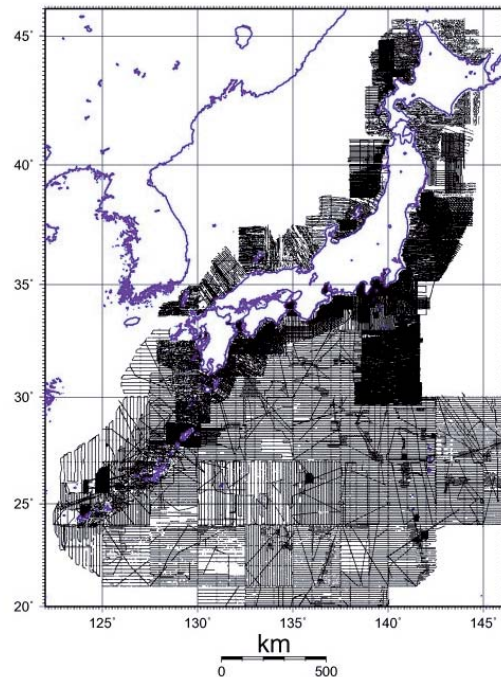


Fig.1 航跡図
Track line chart of marine gravity surveys conducted by Hydrographic and Oceanographic Department, Japan, since 1965.

度が向上したことによるエトベス補正の精度向上により、現在では条件がよければ 0.1mGal の精度での測定も可能となってきている。本論文で用いた海上重力観測の測点図を Fig.1 に示した。これらの観測成果は水路部観測報告や水路部技報に掲載されているほか (Data rept. of Hydrographic Observations ; No.1, 1966 - No.37, 2003 : 水路部技報 No.3, 1985 - No.19, 2001) デジタルデータが日本海洋データセンターからも一部が提供されている。また、これらの研究成果については水路部研究報告などに掲載されている (Ganeko and Koyama, 1981 ; Ganeko and Harada, 1982 ; 植田ほか, 1987 ; 大島ほか, 1988 ; 春日ほか, 1992 ; 春日・林田ほか, 1994 ; Ueda, 1994, 春日・小原, 1997)

(2) 陸域の重力データ

日本列島の陸域の重力異常については河野・古瀬 (1989) による 100 万分のスケールの重力異常図が作成されている。一方、デジタル重力データについては、日本重力 CD-ROM が旧地質調査所により作成刊行されている (地質調査所, 2000)。また、西南日本については Shichi and Yamamoto (part , ; 2001) によりブーゲー異常図とともに用いられたデジタルデータが CD-ROM として提供されている (Gravity research group in southwest Japan, 2001)。今回、これらの陸域部の測量データが利用できるものについては、今回の方法で、陸域部の地形補正計算をおこなった。以上のほか、海洋情報部が伊豆諸島で実施した陸上重力データも、全体からみれば少ないが、ブーゲー重力異常図の作成に用いている。

3 データ処理

3 - 1 地形補正の概要

地形補正の方法については植田 (2003) に詳述しており、ここでは概略並びに、その後の改良した内容を述べる。

地形補正計算ではメッシュ地形データを用いるが、その際のメッシュサイズとしては、陸域部および 20 万分の一の海洋測量データの地形補正には 10 秒メッシュ地形、50 万分の一の大陸棚測量データについては一部を除き 30 秒メッシュ地形を用いた。10 秒メッシュは EGG-TOPO データとして提供されているデータで、鈴木ほか (2001) により作成されたものである。30 秒メッシュ地形は今回新たに作成した。使用したデータは大陸棚測量データのほか、Smith and Sandwell (1994) により公開された人工衛星アルチメーターによる 2 分メッシュ地形を用いた。

地形補正は測点を含む基本メッシュ領域を「極近傍」、その基本メッシュの外側を囲むサイズが基本メッシュサイズの 1/2 の 12 個のメッシュを「近傍」とし、また、これらの外側にある領域については観測点との距離が 7.5km 以内を「中間」、それ以遠を「遠方」に区分した。極近傍では、任意の分割数でメッシュを細分化し、地形近似を高めた。近傍メッシュの水深については、基本メッシュおよび周囲のメッシュの水深データと測点の水深から補間により求めた。そのほか、「中間」領域は角柱による重力の解析解、「遠方」では線質量近似による重力効果を計算した。

3 - 2 地形補間法

植田 (2003) では、極近傍の水深補間について距離のべき数の和に反比例する重み付平均補間の方法を用いたが、その後の検討の結果、本方法は地形近似の方法としては必ずしも優れた方法ではないことが確認された。一般に、水深の補間方法としては、先に述べた距離のべき数和の逆数による重み付平均値から推定する方法以外に、水深の分布を曲面近似で表し、その式から求点の水深を補間する方法、面積補間による方法などがある。後者の面積補間は三角形の内部点でのパラメータの補間方法として有限要素法で広く用いられている。ここでは、上記以外の新たな方法として「重み付勾配補間法」を提示し、各補間方法との比較を行った。

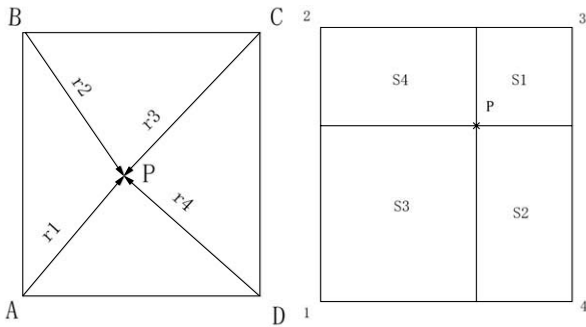


Fig.2 極近傍のグリッド
Schematic map showing the nearest area surrounding the observation point.

Fig.2 で示す単位グリッドについて、その周囲4点の格子点の水深から、グリッド内部のP点での水深を補間することを考えてみる。その場合、既知の水深が既知の点数は4点であるため、曲面近似ではパラメータが3個の1次平面の近似式しか決定することができない。このため、ここでは本法は採用しないこととした。P点における水深値は各補間法では次式で与えられる

(1) 距離のべき乗和の逆数による重み付平均補間法

$$D_p = \frac{\sum_{i=1}^4 D_i \cdot w_i}{w_i}, \quad w_i = \frac{1}{ar^2 + br^3 + c}$$

(2) 面積補間法

$$D_p = \frac{\sum_{i=1}^4 D_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^4 S_i}$$

(3) 重み付勾配補間法

各格子点からテーラー展開により求点Pでの水深値は次式で求められる。

$$D_p(k) = d_k + \frac{\partial d_k}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial d_k}{\partial y} \Delta y + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 d_k}{\partial x^2} \Delta x^2 + 2 \frac{\partial^2 d_k}{\partial x \partial y} \Delta x \Delta y + \frac{\partial^2 d_k}{\partial y^2} \Delta y^2 \right) + \dots$$

ここで、kは各格子点の識別記号である。

ここでは、求点の水深の補間精度は水深の勾配係数の精度に左右される。そこで、各格子点からの距離の逆数を重みとして、 D_p の重み付平均値をとり、それを水深の補間値とする。式で表すと、

$$D_p = \frac{\sum_k D_p(k) \cdot w_k}{\sum_k w_k}, \quad w_k = \frac{1}{a \cdot |r_k| + b r_k^2 + c}$$

実際の計算では、1次までの展開式を用い、重みは $a=1, b=0, c=0.01$ とした。

Fig.3にはそれぞれの方法で補間した場合の水深の等値線をしめした。この結果から、距離のべき乗和の逆数による重み付補間法では、補間した水深と周囲の水深との連続性が滑らかではなく、不自然なコンターとなっていることがわかる。一方、「面積補間法」や「重み付勾配補間法」では、周囲との連続性に不自然さはあまり見られない。「重み付勾配補間法」は計算方法も比較的簡便であり、曲面にも対応できる補間方法であり、ここでは本法を用いることとした。実際の計算では、極近傍内の直下水深が存在する場合には、まず、極近傍のメッシュを直下水深の位置を通る経緯線

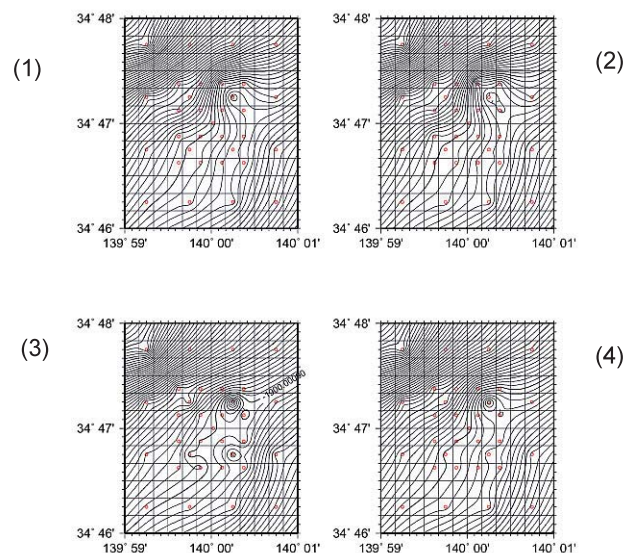


Fig.3 各方法による極近傍水深補間の結果

Comparison of the depth interpolation

(1) aerial interpolation

(2) gradient interpolation

(3) weight of inverse of distance (1/r)

(4) weight of inverse of distance power (1/r²)

で分割し，分割後のサブメッシュ内の補間点での水深を「重み付勾配補間法」で求めている．

4 重力異常図とその定性的解釈

Fig.4 から Fig.10 には，今回の方法で求めた日本周辺海域のブーゲー重力異常図をフリーエア異常図とともに示した．ここで，陸域部分は，主に旧地質調査所による公開デジタル異常値データ（地質調査所，2000）を用いている．また，Fig.11 には，四国海盆とフィリピン海盆を含む広域重力異常図を示した．ここに示したブーゲー重力異常図には，海底地形による効果を差し引いた重力異常が表現されており，海域による海底地下構造の違いが直感的に把握できる．日本列島とその周辺海域については，萩原（1984）による海溝軸に並走する正・負の異常帯の存在が明らかにされたが，今回の異常図からはさらにその詳細が明確にされるとともに，新たな重力異常帯や構造境界が見出された．Fig.12 及び Fig.13 には日本列島周辺海域及び日本南方海域の重力異常に基づく，解釈図で，以下では，各海域の動異常図と本解釈図をもとに各海域の定性的な特徴を概略的に述べることにする．なお，付図（Fig.14 ~ Fig.17）には重力・地形の代表的な断面図を参考として示している．

（1）北海道周辺（Fig.4） 千島海溝の内側にブーゲー重力異常の凹部（Fig.12：N1）があり，帯広沖の -100mGal に及ぶブーゲー重力異常の凹部へと連続する．この異常はフリーエア異常も同様な凹部となっており，日高山地の東側で北向きに方向をかえてオホーツクの負異常帯へ連続する．この負異常帯のさらに内陸側には210mgal に達する高ブーゲー異常帯（P1）が存在する．

浦河沖には -140mGal に及ぶブーゲー異常の凹部が認められる．この負異常帯は千島弧の内側の負異常帯（N1）と本来連なるものであるが，日高山地から SE へ延びる正異常帯（P2）で分断された様相を示す．日高山地に伴うブーゲー重力異常

の高まりは最大 +120mGal で北海道を南北に縦走している．浦河沖の負異常帯は北側では，稚内から焼尻付近の負異常帯へ追跡でき，また，南側では，日本海溝の陸側の負異常帯へ連続する（N2）．

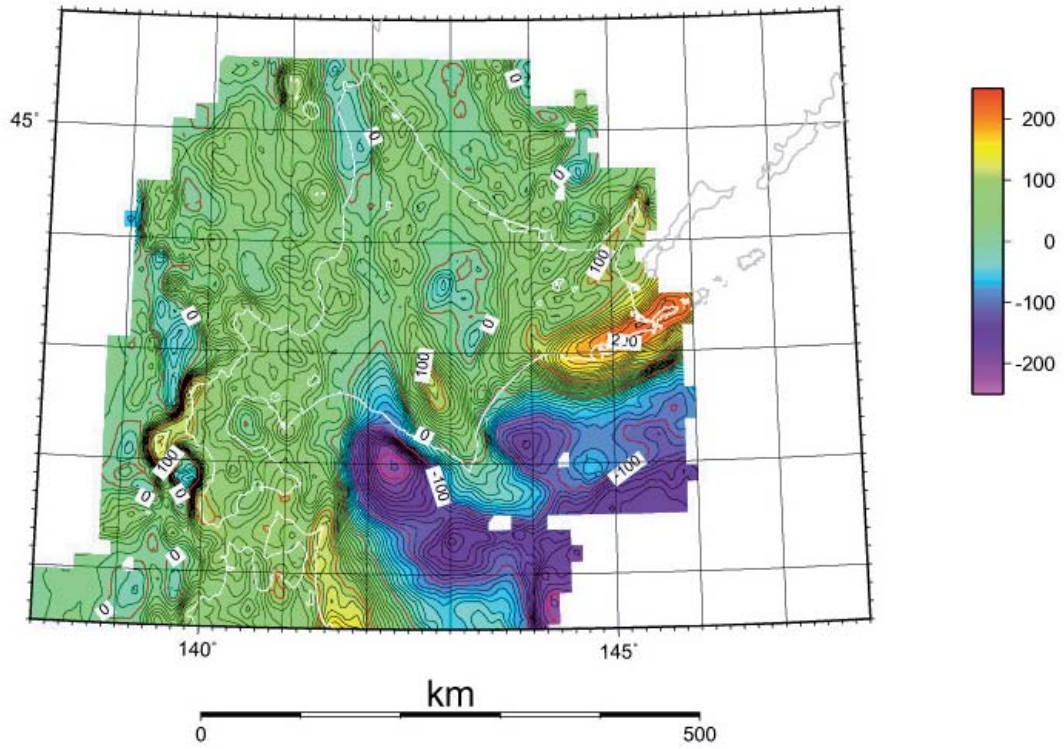
（2）東北日本（Fig.5）

ブーゲー異常図では，海溝の外側には +360 ~ 370mGal に及ぶ高ブーゲー異常帯が認められる．海溝から内弧側に向かって，相対的な負異常帯，相対的な正異常帯がそれぞれほぼ海溝軸に並走している．この正・負の異常帯は萩原（1984）により P，N ゾーンと呼ばれた異常帯である．前者の負異常帯は北側では日高沖の負異常域につらなる（N2）．また，後者の正異常帯（P3）は北緯 38 度 30 分付近で，2 列（P3，P4）に分かれるが，この部分は構造的には南部北上帯の南東延長部にあたる．一方，日本海沿岸部では，能代，秋田沖から新潟付近にかけて相対的なブーゲー重力異常の凹部が連続しており，この付近に厚い堆積層の存在が推定される（N4）．秋田沖の日本海盆では +240 ~ 250mGal のブーゲー異常が認められる．

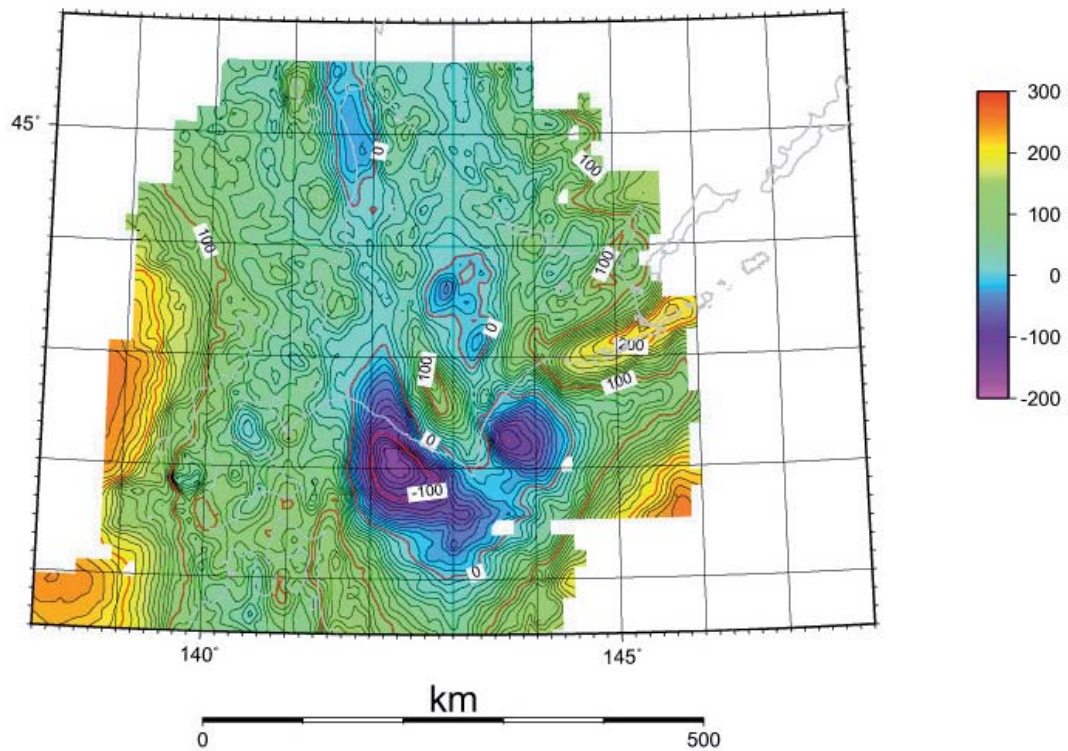
（3）関東・中部・近畿周辺（Fig.6）

海溝の 3 重会合点付近のフリーエア異常は +310mGal におよぶ．ここはブーゲー異常の凹部となっているが，値的には +120 ~ +200mGal の正の異常域となっている（TJ，N8）．この凹部は千葉県東方沖で首都圏を東西に横断する負異常域に連続する．北緯 35 度 50 分付近の日本海溝軸は第一鹿島海山が陸側に衝突しているが，この付近のブーゲー異常の等値線にも海洋地殻の断裂を示唆する屈曲が認められる．

フリーエア異常で見ると，駿河湾から南海トラフ沿いのフリーエア異常は -50 ~ 70mGal の負異常，相模湾では -40mGal の負異常が認められる．また，伊豆東方線（石橋，1980）に沿って，相対的に凹のフリーエア異常，銭州海嶺南縁部に -40mGal 程度の負異常が存在する．また，熊野灘沖では -90mGal に達する負異常域となっており，ここでは重力的な不均衡が顕著であることが



(a)



(b)

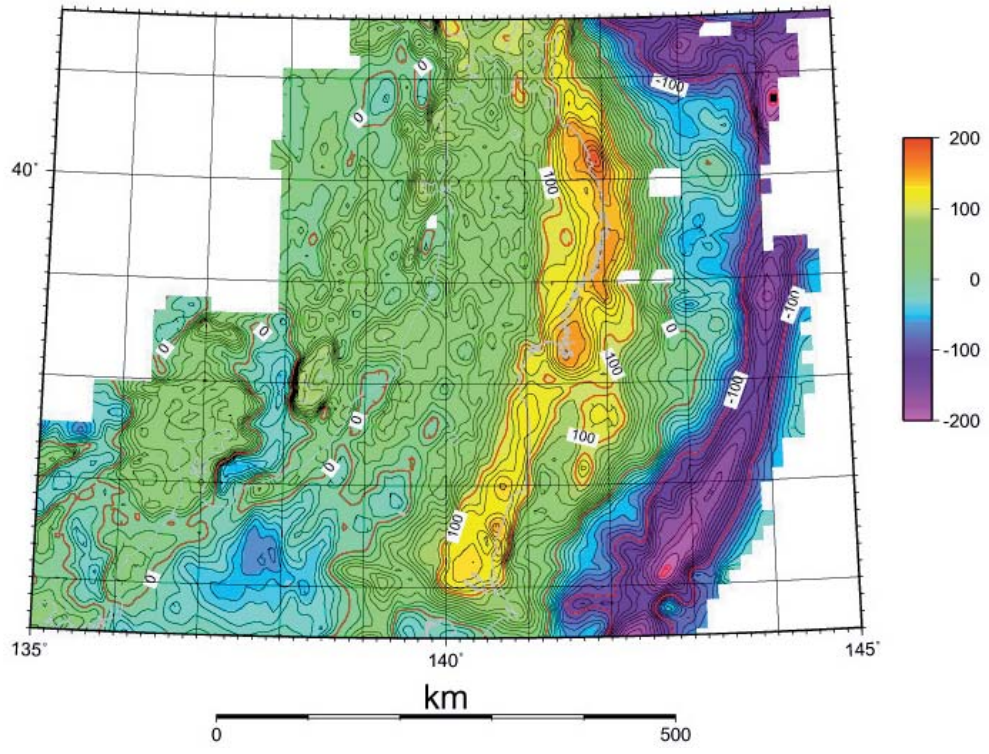
Fig.4 北海道

(a) Free-air anomaly map of Hokkaido and its adjacent seas.

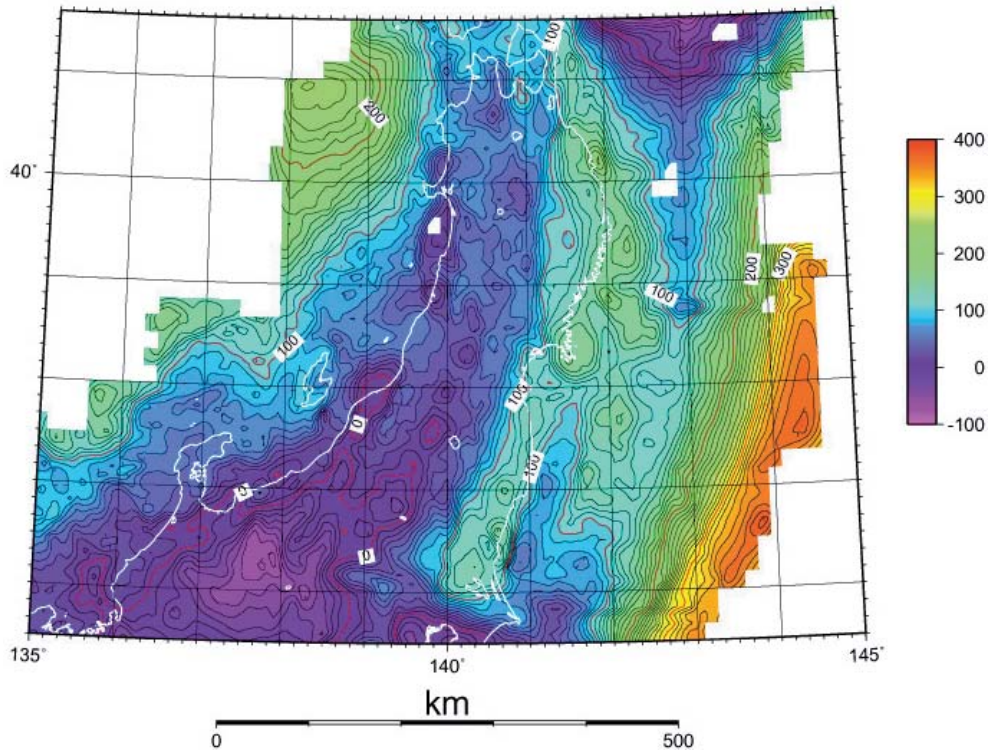
Contour interval is 10mGal

(b) Bouguer gravity anomaly map of Hokkaido and its adjacent seas.

Contour interval is 10mGal, and an assumed density is $2,670\text{kg/m}^3$.



(a)

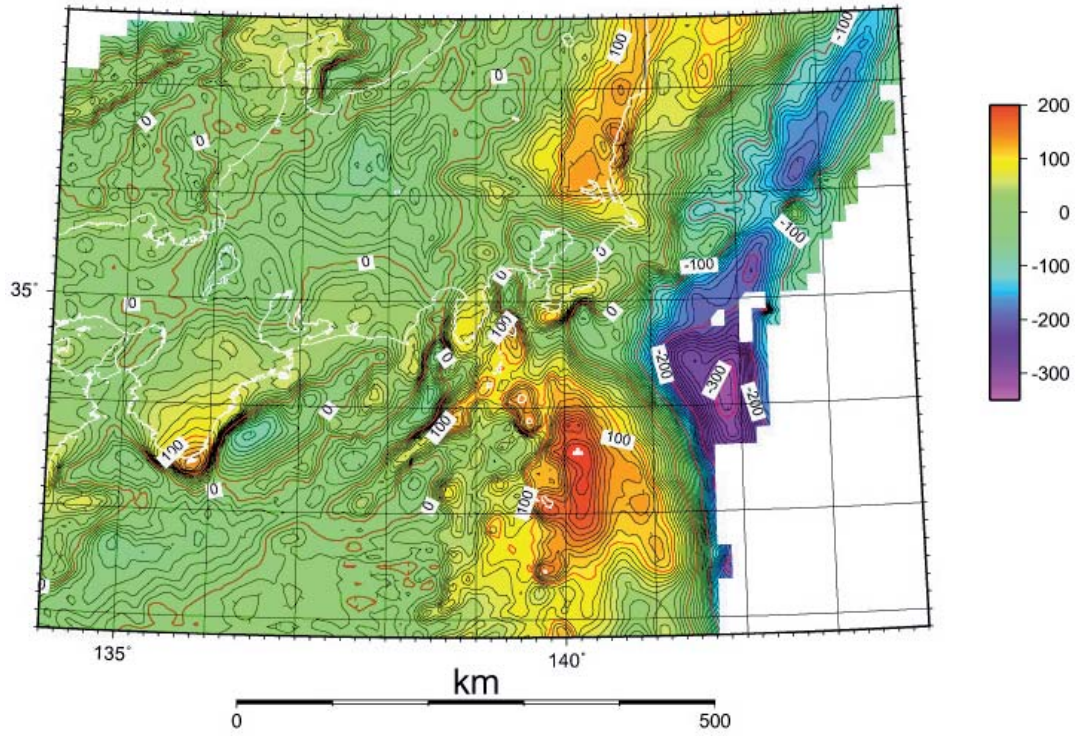


(b)

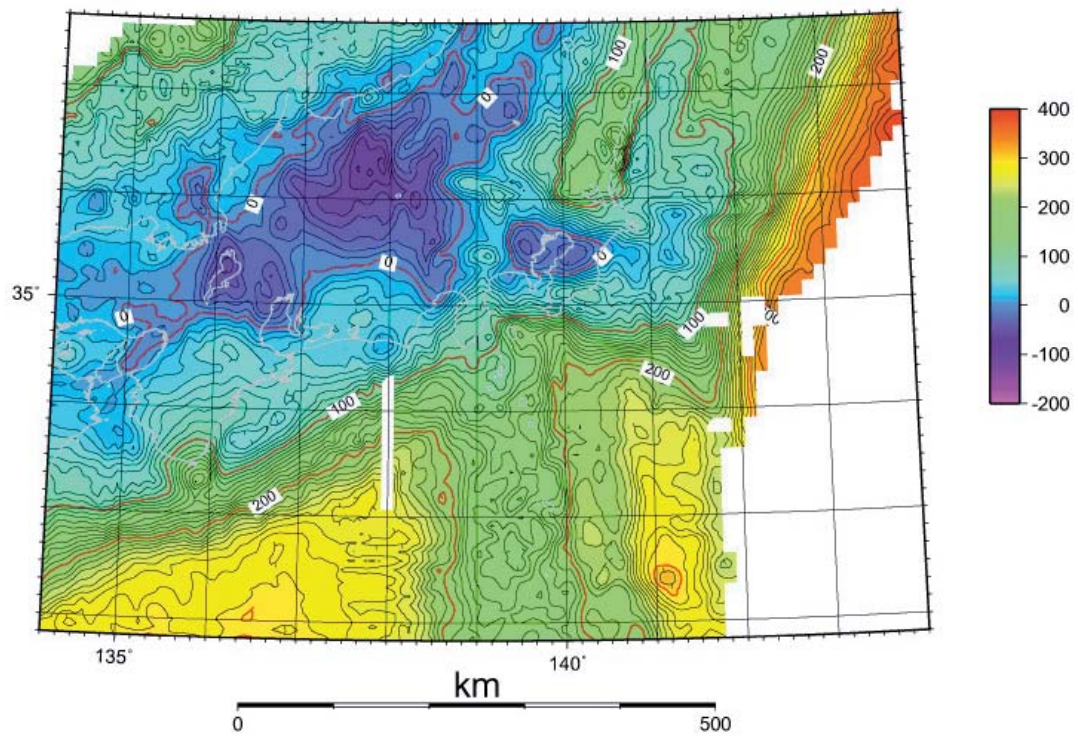
Fig.5 東北日本

(a) Free-air anomaly map of Tohoku Japan and its adjacent seas.
Contour interval is 10mGal.

(b) Bouguer gravity anomaly map of Tohoku Japan and its adjacent seas.
Contour interval is 10mGal, and an assumed density is $2,670\text{kg/m}^3$.



(a)



(b)

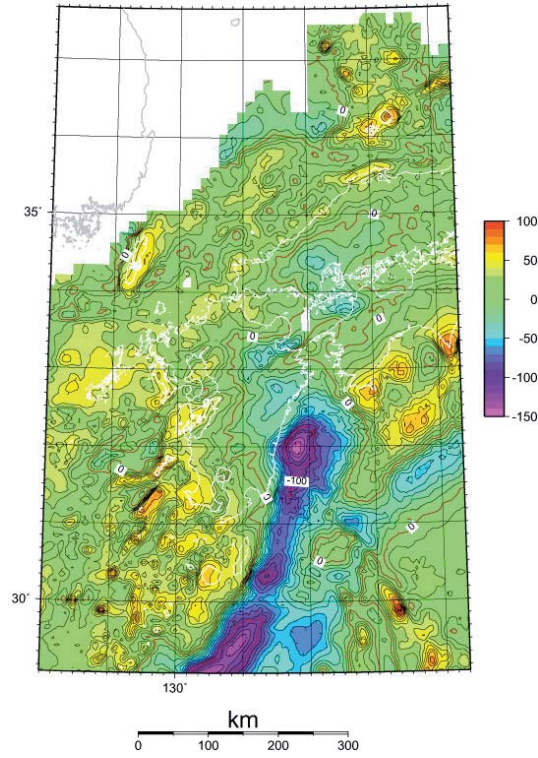
Fig.6 関東・中部・近畿周辺

(a) Free-air anomaly map of Kanto district and its adjacent seas.

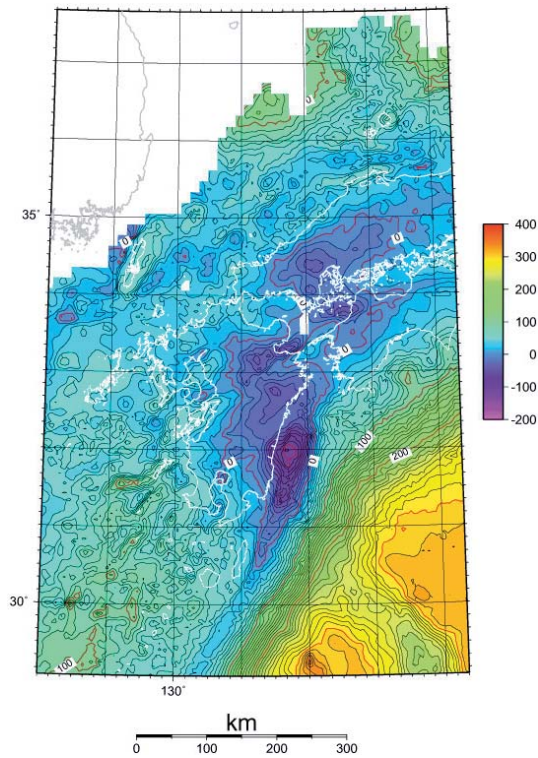
Contour interval is 10mGal.

(b) Bouguer gravity anomaly map of Kanto district and its adjacent seas.

Contour interval is 10mGal, and an assumed density is $2,670\text{kg/m}^3$.



(a)



(b)

Fig.7 九州・中国・四国周辺

(a) Free-air anomaly map of Kyusyu and its adjacent seas.

Contour interval is 10mGal.

(b) Bouguer gravity anomaly map of Kyusyu and its adjacent seas.

Contour interval is 10mGal, and an assumed density is $2,670\text{kg/m}^3$.

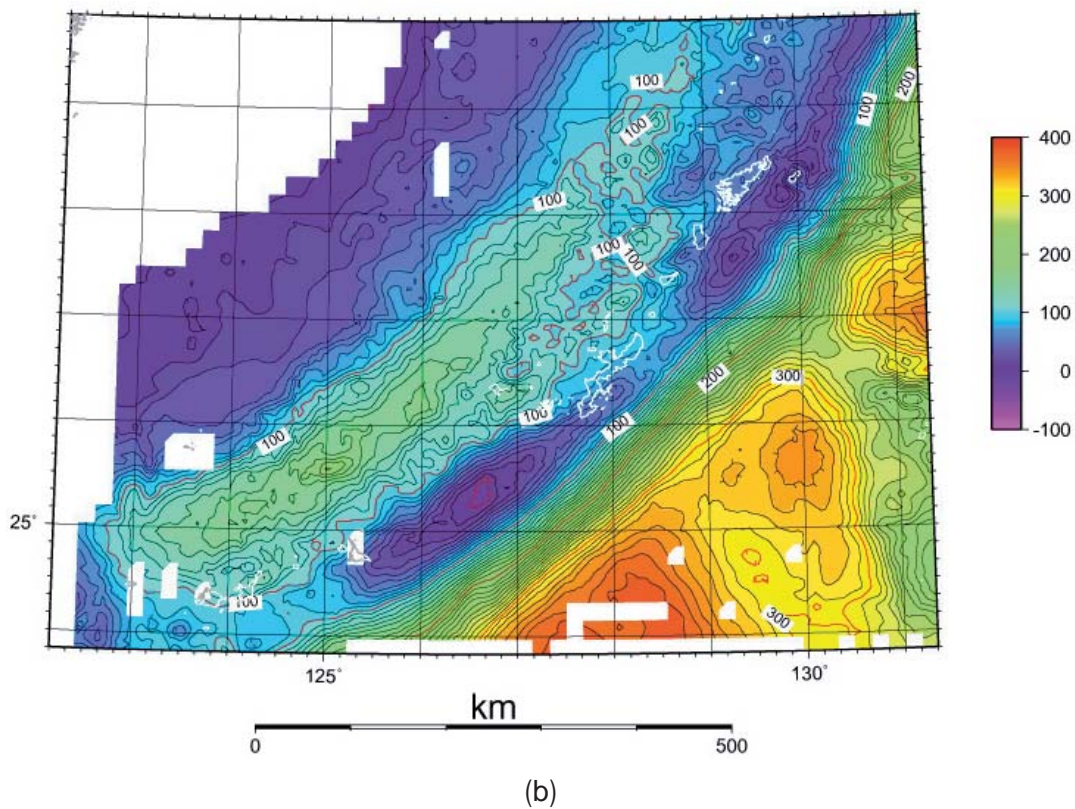
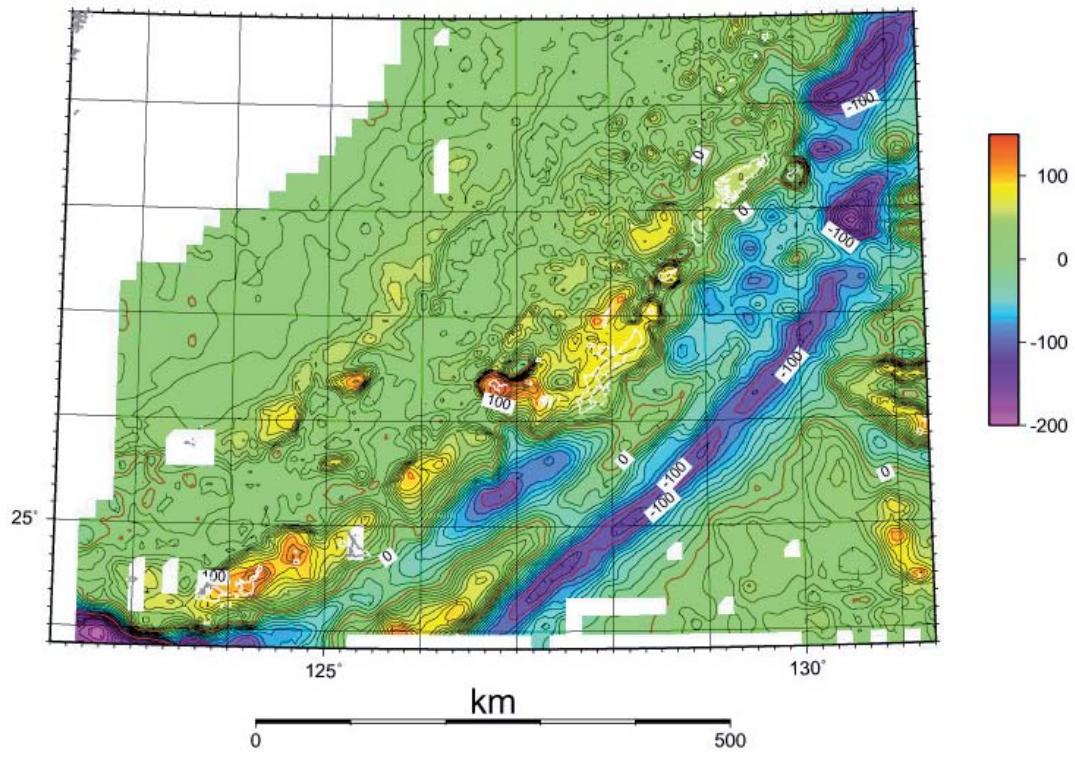
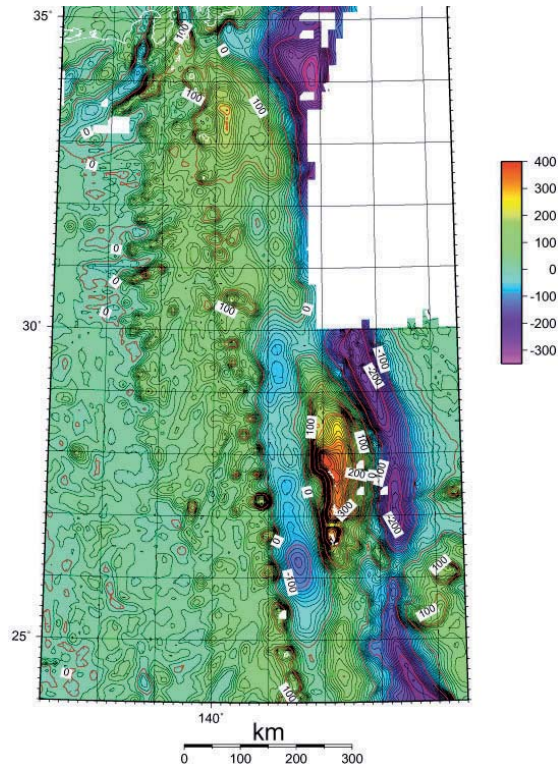
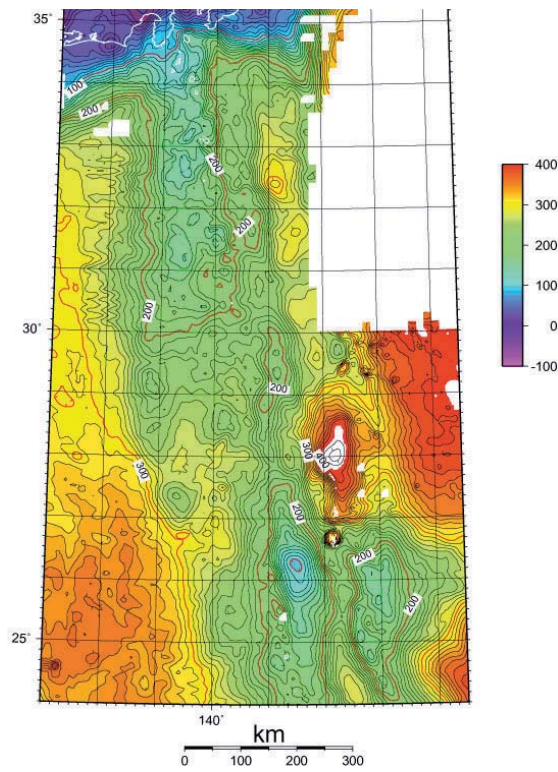


Fig.8 南西諸島

- (a) Free-air anomaly map of Nansei-Shoto (Ryukyu-Islands) and its adjacent seas. Contour interval is 10mGal.
- (b) Bouguer gravity anomaly map of Nansei-Shoto (Ryukyu-Islands) and its adjacent seas. Contour interval is 10mGal, and an assumed density is 2,670kg/m³.



(a)

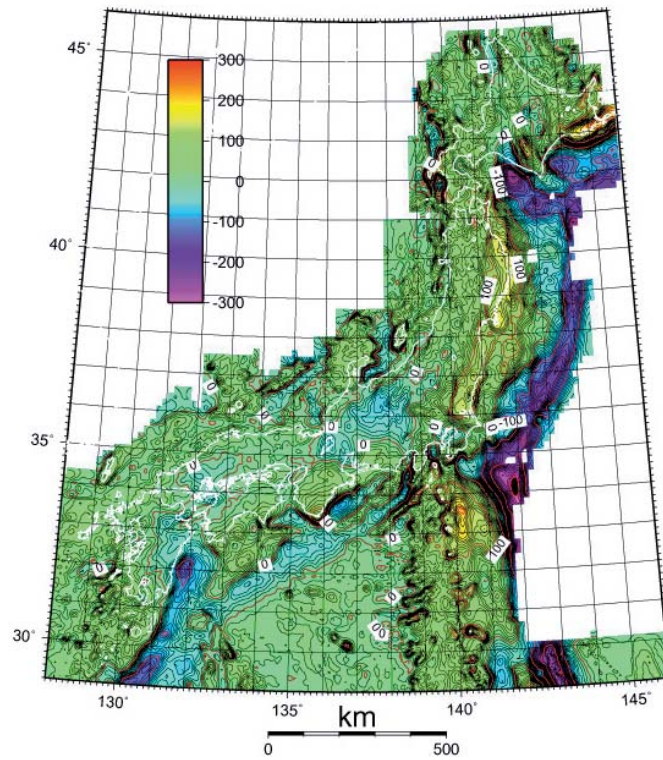


(b)

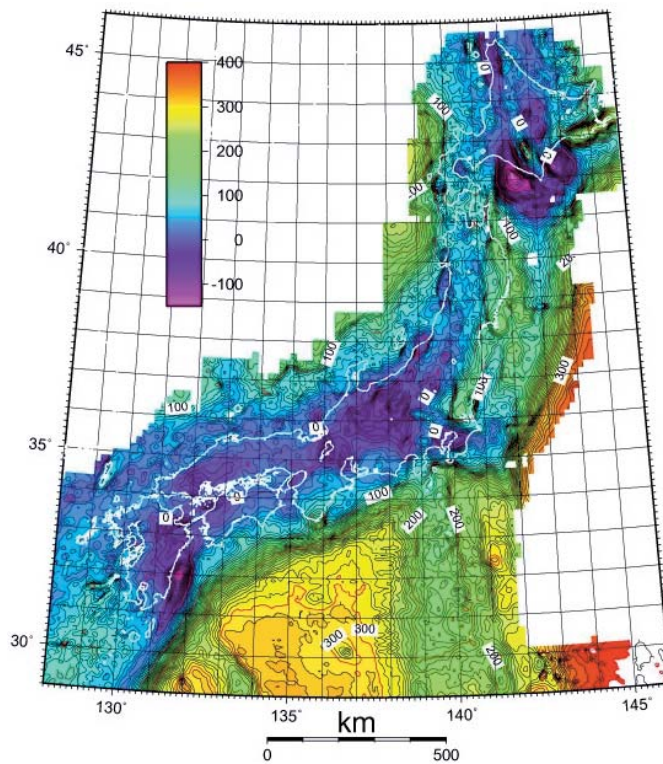
Fig.9 南方諸島

(a) Free-air anomaly map of Nanpo-Shoto (Izu-Ogasawara Islands) and its adjacent seas. Contour interval is 10mGal.

(b) Bouguer gravity anomaly map of Nanpo-Shoto (Izu-Ogasawara-Islands) and its adjacent seas. Contour interval is 10mGal, and an assumed density is $2,670\text{kg/m}^3$.



(a)



(b)

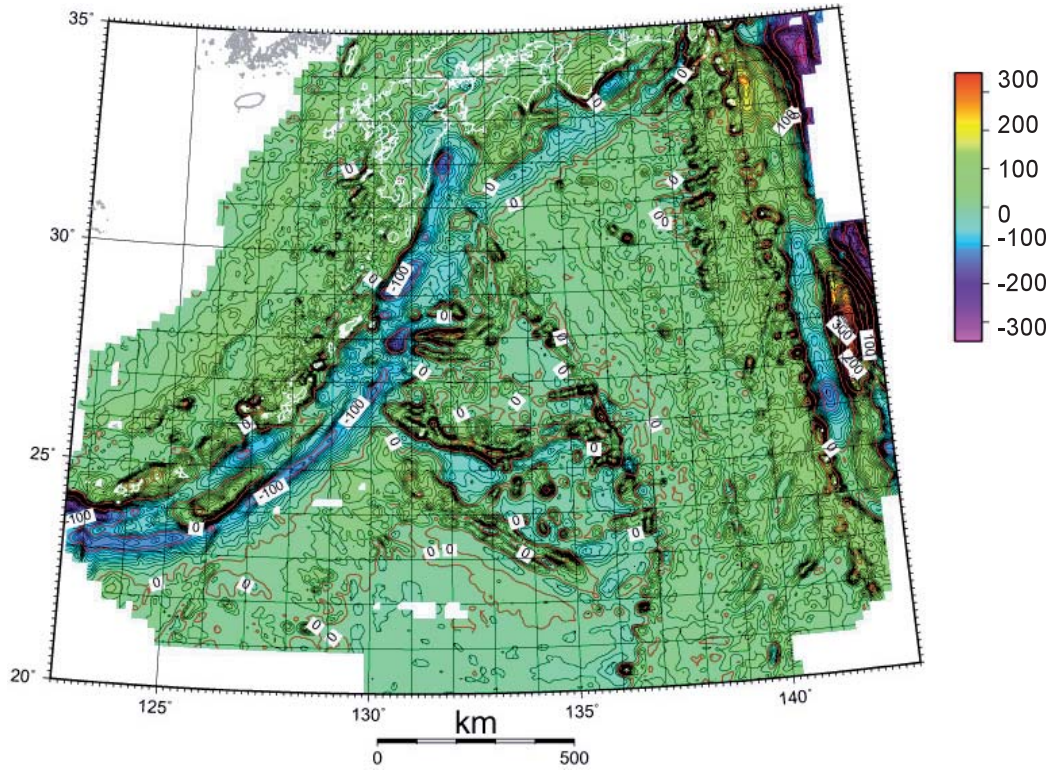
Fig.10 日本列島

(a) Free-air anomaly map of Japanese Islands and its adjacent seas.

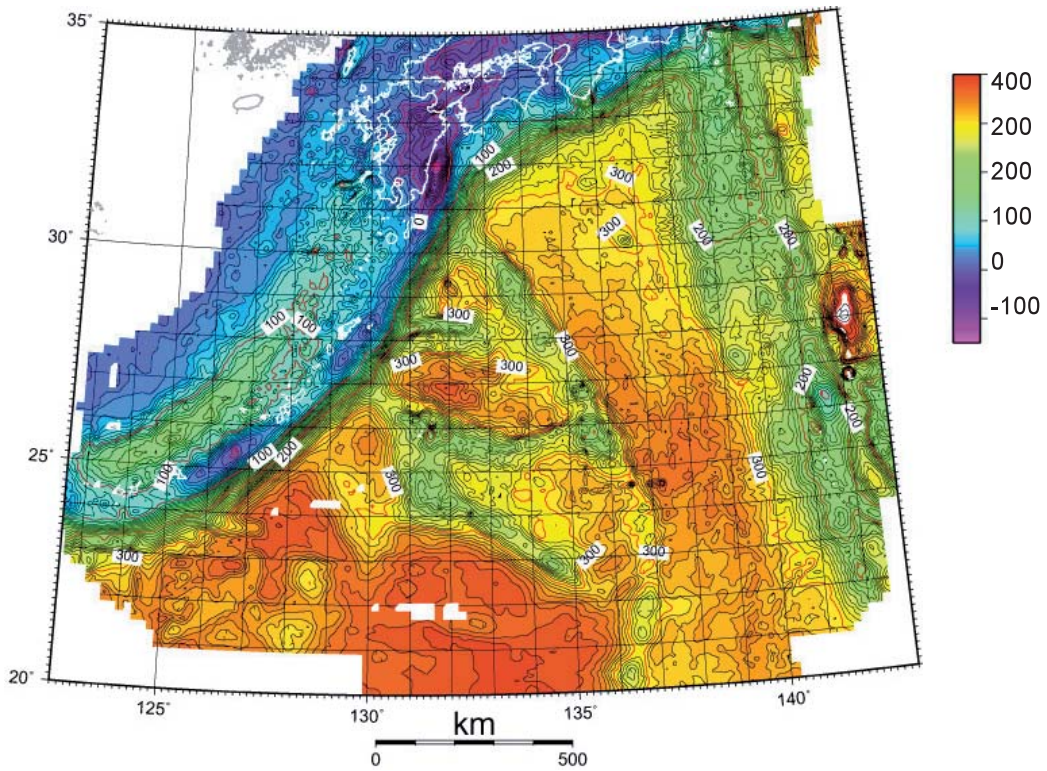
Contour interval is 10mGal.

(b) Bouguer gravity anomaly map of Japanese Island and its adjacent seas.

Contour interval is 10mGal, and an assumed density is $2,670\text{kg/m}^3$.



(a)



(b)

Fig.11 南方海域

(a) Free-air anomaly map of the southern seas of Japan, Contour interval is 10mGal.

(b) Bouguer gravity anomaly map of the southern seas of Japan, Contour interval is 10mGal, and an assumed density is $2,670\text{kg/m}^3$.

わかる (瀬川, 2000)。

銭州海嶺はフリーエア異常では +100mGal に達する異常が顕著に認められる。ブーゲー異常との関連では、四国海盆北縁部に認められる北西方向に延びる Outer gravity high (ZR) の凸部に相当していることはその成因と関連して注目すべきであろう。駿河湾では、駿河トラフ軸付近がブーゲー異常の急変部となっており、伊豆側下部地殻が隆起していることが推察される (Fig.15; T5 断面)。フリーエア異常では御前崎沖から南西方向に延びる外縁隆起帯とその内側の前弧海盆に伴う正および負の異常域が認められる。この付近の

ブーゲー異常では外縁隆起帯の特徴はうすれるものの、前弧海盆に対応する凹状の異常域が遠州灘沖及び熊野灘沖に認められる (L1, L2)。潮岬付近ではブーゲー異常が相対的に +100mGal 程度の正異常域が存在する (A)。このようなトラフ軸の内側に局地的に存在する正異常域は規模は異なるが、室戸岬付近 (B: +20 ~ 30mGal), 土佐湾西部 (C: +40mGal), 足摺岬付近 (+20mGal) にも認められる。潮岬付近の重力異常の原因としては酸性岩体によるものとする考えもあるが (本多・河野, 2004), ブーゲー異常が相対的に正であることから、より密度の高いプレートのひずみによっ

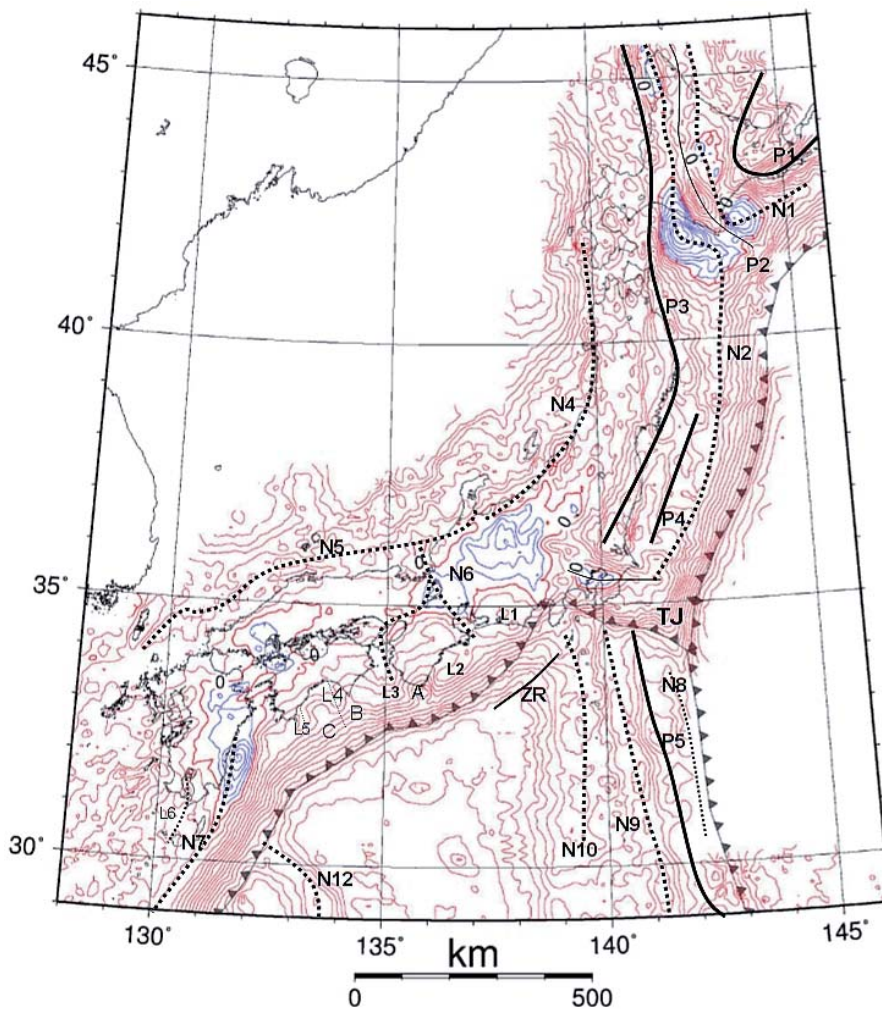


Fig.12 日本列島とその周辺海域ブーゲー重力異常図の解釈図

Zonations of the Bouguer gravity anomalies of Japanese Islands and its adjacent seas.
 P1 to P5 mean positive gravity anomaly zones, and N1 to N10 mean negative anomaly zones.
 L1 to L6 also mean relative low anomaly zones. A, B, and C mean local positive anomalies.
 ZR means arrangement of the Zenisu Ridge.

て生じた構造とも考えられる．日本海側では若狭湾の北部から琵琶湖さらに，伊勢湾へと連なるブーゲー異常の凹部（N6）が認められるが，この付近は沈み込んだフィリピン海プレート上面温度の谷部に対応していることが注目される．

（4）九州・中国・四国付近（Fig.7）

日向灘にはフリーエア異常で - 140mGal に達する負異常が認められるが，ここはブーゲー異常でも - 100mGal の負異常域となっている．この負異常域は南西諸島海溝沿いに SSW へ連続する

（N7）．

九州・パラオ海嶺の北縁部はブーゲー重力の凹部となり相対的に 80mGal 程度の落ち込みが認められる（N12）．日本海側では，北陸沿岸付近から若狭沖，隠岐海峡付近を通り，対馬東側に追跡できるブーゲー異常の凹部が断続的に認められる（N5）．一方，隠岐島は + 70mGal の正異常を示す．鹿児島湾から南方にかけてはブーゲー異常は相対的に 30mGal 程度の凹異常域となっており（L6），鬼界カルデラでは 30 ~ 40mGal の凹異常がみとめられる．このような特徴は下部地殻の凹

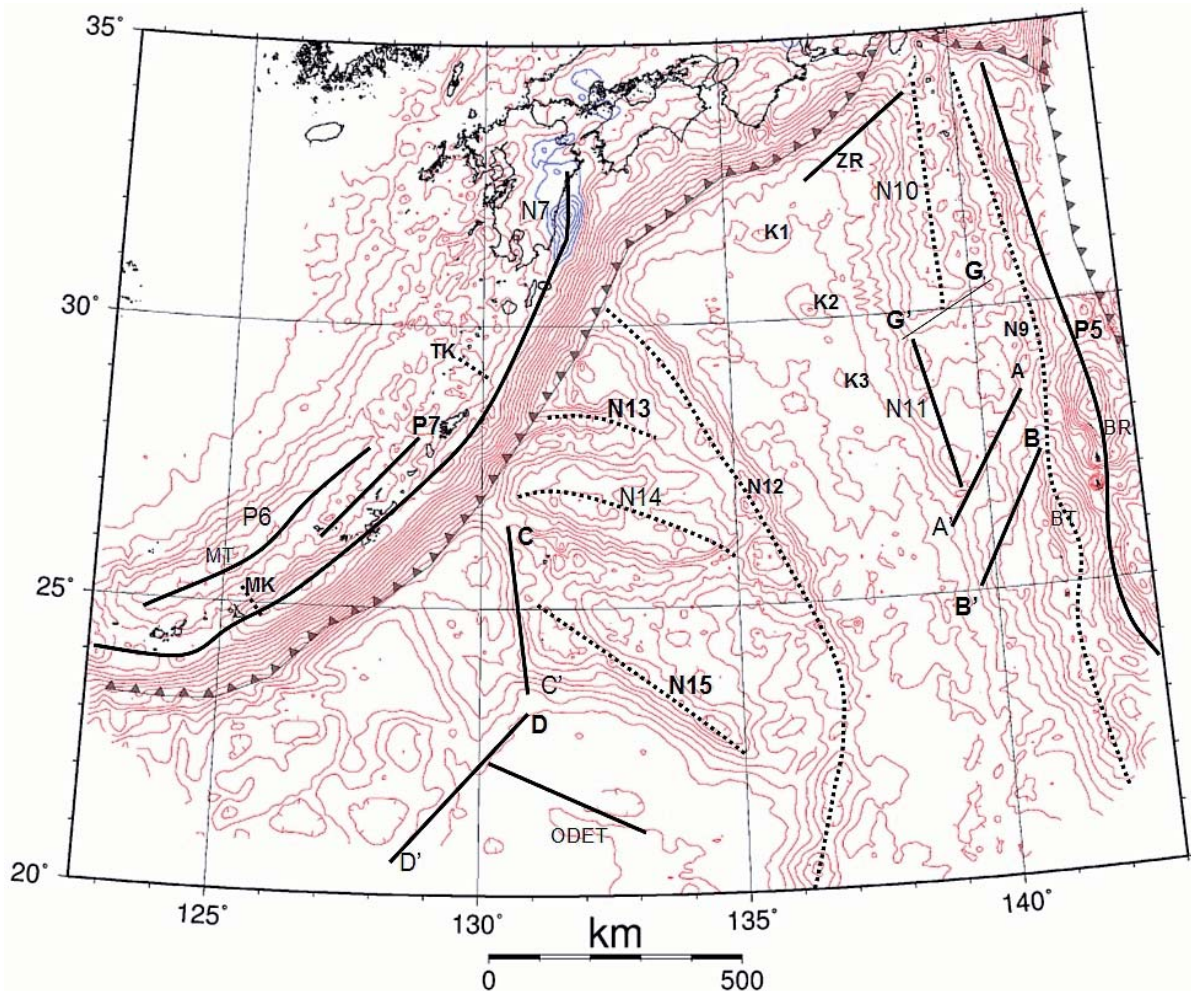


Fig.13 日本南方海域のブーゲー重力異常図の解釈図

Zonations of the Bouguer gravity anomalies of the southern seas of Japan.

P5 to P7 mean relative positive anomaly zones, and N10 to N15 mean relative low anomaly zones. K1, K2, K3 are locations of the Kinan seamounts. TK means Tokara channel, Mk; Miyako gap, MT; Miyako seamount, respectively. The lines G-G', A-A', B-B', C-C', and D-D' are tectonic lines revealed by gravity anomaly characteristics. ODET means Oki-Daito escarpment.

部にカルデラが形成されたことを示唆する。その他の特徴としては、甌島列島、宇治群島、草垣島などの第三系の島列がブーゲー異常でも明瞭な凸部の異常域となっており、これらの島の基盤が密度の高い岩体で形成されていることが推察される。

(5) 南西諸島周辺 (Fig.8)

南西諸島海溝沿いには -110mGal 程度のフリーエア異常が認められる。海溝より外側のフィリピン海側では +340 ~ +370mGal のブーゲー異常を示す。海溝軸内側のブーゲーの凹部は日向灘沖から連続するもので、奄美大島東方から沖縄・宮古深海平坦面付近につらなり、そのピーク値は 0 ~ +10mGal である (N7)。この凹異常帯の陸側では、不明瞭ながら沖永良部島西方から久米島にかけて相対的な正のブーゲー異常帯 (P7) が認められる。南西諸島弧では弧を横断するトカラ凹地、慶良間海裂などの構造線が存在するが、ブーゲー異常からはトカラ凹地に伴う凹異常域 (TK) や宮古鞍部に伴う等値線の湾曲 (MK) が認められるものの、顕著なものではない。沖縄トラフはフリーエア異常ではアイソスタシーが成り立っていることが推定されるが、ブーゲー異常では +150mGal 程度の異常を示す (P6)。沖縄トラフでの凸状のブーゲー異常は、下部地殻の隆起を示すが、一般的な海洋性地殻に伴うブーゲー重力異常の半分程度の値しかなく、むしろ大陸性地殻の存在を示唆する。宮古海山は沖縄トラフ内で最も高い +190mGal の異常 (MT) をしめすが、この異常は宮古海山が密度の高い岩体から構成されていることを示唆する。

(6) 伊豆 小笠原諸島周辺 (Fig.9)

伊豆 小笠原海溝付近のフリーエア異常の極小値は -220 ~ -200mGal を示すが、小笠原海台が衝突する付近では -40mGal 程度となる。一方、ブーゲー異常では小笠原諸島のやや北寄りに最大 +420mGal の異常が認められる (BR)。この正異常域は伊豆 小笠原弧北部の前弧域に連なり、

青ヶ島東方では +310mGal の異常を示す (P5)。この正異常域の背弧側はブーゲー異常の相対的凹部となっており、小笠原トラフ付近から北部の前弧域にまで連続性が認められる (N9)。そして、その境界部は重力異常の急変帯として追跡される。伊豆 小笠原弧北部 (特に北緯 31 度以北) では、さらにその内側に階段状のブーゲー異常の落ち込みが認められる。伊豆 小笠原弧北部ではブーゲー異常は火山フロントの背弧側で凹部となり、その値は概ね +140 ~ 150mGal である (N10)。この凹部は G ライン (Ueda, 1994; N30° 30', E140° 30' と N29° 40', E139° 00' を結ぶ線で以後、鳥島西方構造線と仮称する) を境にそれ以南では、西側へずれ西七島海嶺付近が最凹部となる。伊豆 小笠原弧の南北を分断する構造線としては孀婦岩構造線 (A-A') (湯浅・村上, 1985; N28°, E140° 付近を NNE-SSW に通過する境界線で大町海山と天保海山の東縁を境する) が知られているが、重力的には、西之島西方と金曜海山の東縁を結ぶライン (B-B') (N28°, E141°, N26°, E140° を結ぶラインで、ここでは西之島構造線と仮称する) が明瞭で、この境界線以南では、伊豆 小笠原弧としての負異常帯は内弧側でなく、前弧域で最凹部となる。ちなみに小笠原トラフのブーゲー異常は +100mGal の異常を示す (BT)。小笠原海台が衝突する付近では、ブーゲー異常は相対的に凹異常域となっており、大陸地殻の厚化を示唆する。

(7) 日本南方海域 (Fig.11)

日本南方海域については、3km x 3km メッシュ地形によるブーゲー重力異常図が春日ほか (1992; 1994) によりまとめられている。今回のブーゲー異常図では、作図範囲を伊豆 小笠原弧北部、南海トラフから日向灘海域にまで包含するとともに、北緯 24 度以南のフィリピン海盆もその範囲に加えている。

イ 四国海盆・パレスベラ海盆

フリーエア異常は海山や崖の部分を除けば、0 ~ 30mGal で、傾向としては東側に向かって漸増

する傾向を示す。ブーゲー異常の範囲は概ね 300mGal 以上の大きさを示し、北緯 25 度付近では最大 360mGal に達する。25 度以北では、フリーエア異常とは逆に九州パラオ海嶺側から東に向かって漸減する傾向が認められる。また、紀南海山列の海山の付近は相対的に凹部となっており、海山の根の存在を暗示させる。北緯 23 度以南のパレスベラ海盆では、四国海盆とは逆に、西七島海嶺側でブーゲー異常が大きく、また、重力異常はリッジの配列に沿った NE - SW 方向を示す。

ロ 九州パラオ海嶺

フリーエア異常は海嶺の起伏を反映した局地的な異常を示す。特に、海嶺の東側で負異常が点在している。一方、ブーゲー異常では地形的起伏に対応する異常は殆ど見られず、ブーゲー異常は全体的に相対的な凹部となっており (N12)、大陸性地殻の厚化を示す。北緯 25 度 30 分付近でブーゲー異常は +200mGal となり、四国海盆と比べて 160mGal 程度の落ち込みを示す。一方、北緯 22 度 30 分から北緯 24 度 50 分では、九州パラオ海嶺に沿ってブーゲー異常が最も大きい値 (+290mGal) を示す。この付近は海嶺の方向が変化する部分に相当しており、その影響が現れていると推察される。

ハ 奄美・大東海域

西側を南西諸島海溝、東側を九州パラオ海嶺、南側を沖大東海嶺の南縁部で囲まれた海域は奄美・大東海域とも呼ばれており、フィリピン海盆のテクトニクスでも未解決の課題が多いところである。

本海域の北側から、喜界海盆、奄美海台、北大東海盆、大東海嶺、南大東海盆、沖大東海嶺というように、海盆と海台・海嶺が相互に配列している。

各海盆のフリーエア異常は海山などの存在付近を除けば、概ね 0mGal に近く、アイソスタシーが成立していることを示唆する。大東海嶺の南縁部に沿っては、50 ~ 60mGal の負異常域が認められ

る。一方、ブーゲー異常は、北部の喜界海盆では +320mGal 程度、北大東海盆では 300 ~ 370mGal、南大東海盆では 270 ~ 330mGal のブーゲー異常を示しており、北大東海盆が最も海洋性地殻の特徴を示現しており、他の 2 海盆では、四国海盆並の地殻構造を有すると推定される。奄美海台・大東海嶺・沖大東海嶺では、ブーゲー異常は相対的に凹部となっており、それぞれその極小値は 210mGal、190mGal、200mGal を示す (N13, N14, N15)。大東海嶺と沖大東海嶺は東経 132 度以西で大陸性地殻が最も発達しており、それ以东では 250mGal 程度のブーゲー異常となる。一方、その西縁部にあたる東経 130 度 30' ~ 40' 付近はブーゲー重力の急変部となっており、構造線を形成していると推察される (C-C')。

ニ フィリピン海盆

沖大東海嶺以南のフィリピン海盆は、370 ~ 380 ~ mGal のブーゲー異常の等値線に見るように、本図中では海盆としてはブーゲー重力異常が最も大きい海域である。図中 D - D' で示したラインを境に、西側では大陸性地殻の発達を示唆するブーゲー異常の凹部が点在し、一方東側ではブーゲー異常は沖大東海底崖付近での落ち込みを除けば比較的の平坦な様相を示す。フリーエア異常でも、西側では 0 ~ 30mGal、で等値線の複雑な湾曲が認められるが、東側ではほぼ -10 ~ 0mGal で非常に平坦な分布を示す。このことから、D-D' 付近がフィリピン海盆を東西に分ける構造線に相当する可能性がある。

5 結論

今回、新しく開発したメッシュ自動分割法により、日本列島とその周辺大陸棚海域、及び、四国海盆、フィリピン海盆を含む日本南方海域のブーゲー重力異常図を作成した。また、この成果をもとに重力異常の定性的な解釈を行った。これらの図には、本紙面では述べつくされていないものも

あるが、以下のことが明らかとなった。

(1) 東北日本の前弧域では相対的に正のブーゲー重力異常帯が海溝に並走するが、南部北上体の海域への延長部の北緯 38° 00', 東経 141° 40' 付近で 2 列に分かれる。

(2) 駿河湾ではブーゲー重力異常の等値線が駿河トラフ軸部で北側に屈曲しており、伊豆側の下部地殻の隆起を示唆する。

(3) 南海トラフの内側ではブーゲー重力異常の局地的な高異常域が潮岬付近、室戸岬、足摺岬とその周辺、土佐湾の南西部に存在する。これらの異常は南海トラフ沿いの震源のブロック化と関連する可能性がある。

(4) 沖縄トラフ付近は相対的に凸のブーゲー異常を示しており下部地殻の隆起が推定される。しかし、ブーゲー異常値のピーク値は ~ 160mGal であり、通常の海洋性地殻に伴う異常値に比べて半分程度の大きさでしかなく、大陸性地殻の存在が推定される。

(5) 伊豆 小笠原弧では小笠原海嶺から連続する高重力異常帯が前弧域に N-S 方向に配列する。

伊豆 小笠原弧北部では、ブーゲー重力異常が火山フロント側に向かって階段状に減少しており、下部地殻が地溝状の構造を持つことを示唆する。また、弧を南北に分断する 2 列の構造線（鳥島西方構造線、西之島構造線）が推定される。

(6) 四国海盆のブーゲー異常は九州 パラオ海嶺側から伊豆 小笠原弧側へ緩やかな減少傾向を示すが、フリーエア異常にはこれとは逆の傾向を示す。奄美海台、大東海嶺、沖大東海嶺、及び九州 パラオ海嶺では大陸性地殻の存在を示唆するブーゲー異常の落ち込みが認められる。また、海盆に関しては、喜界海盆で +320mGal, 北大東海盆で 300 ~ 370mGal, 南大東海盆で 270 ~ 330mGal, 及びフィリピン海盆で 370 ~ 380mGal を示し、これらの海盆の地殻構造に違いが推察される。

(7) 沖大東海嶺以南のフィリピン海盆では北緯 24° 東経 131° と北緯 21° 東経 129° を結ぶラインを境に重力異常の様相が急変しており、この部分がフィリピン海盆を東西に分断する構造線であると推察される。

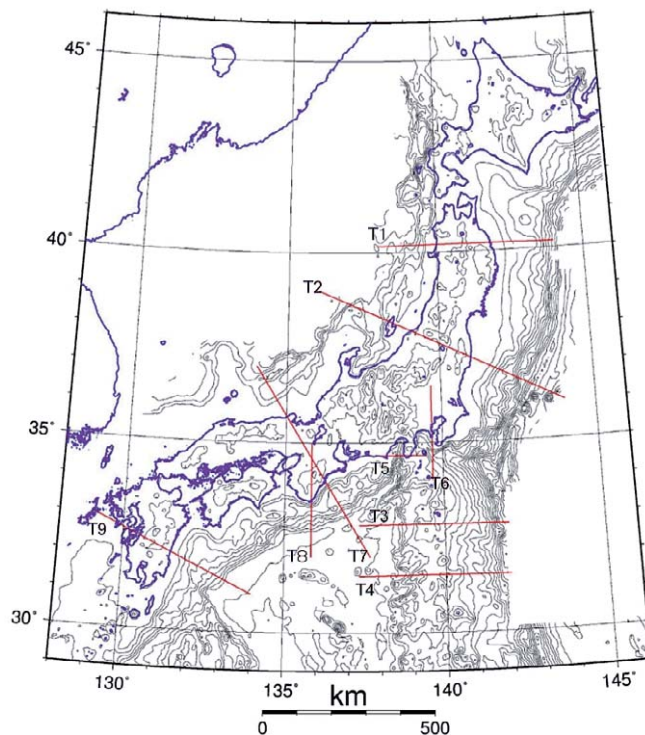


Fig.14 日本列島とその周辺海域の地形と断面線の位置図
Topography and location map of selected lines of profiles along T1 to T9.

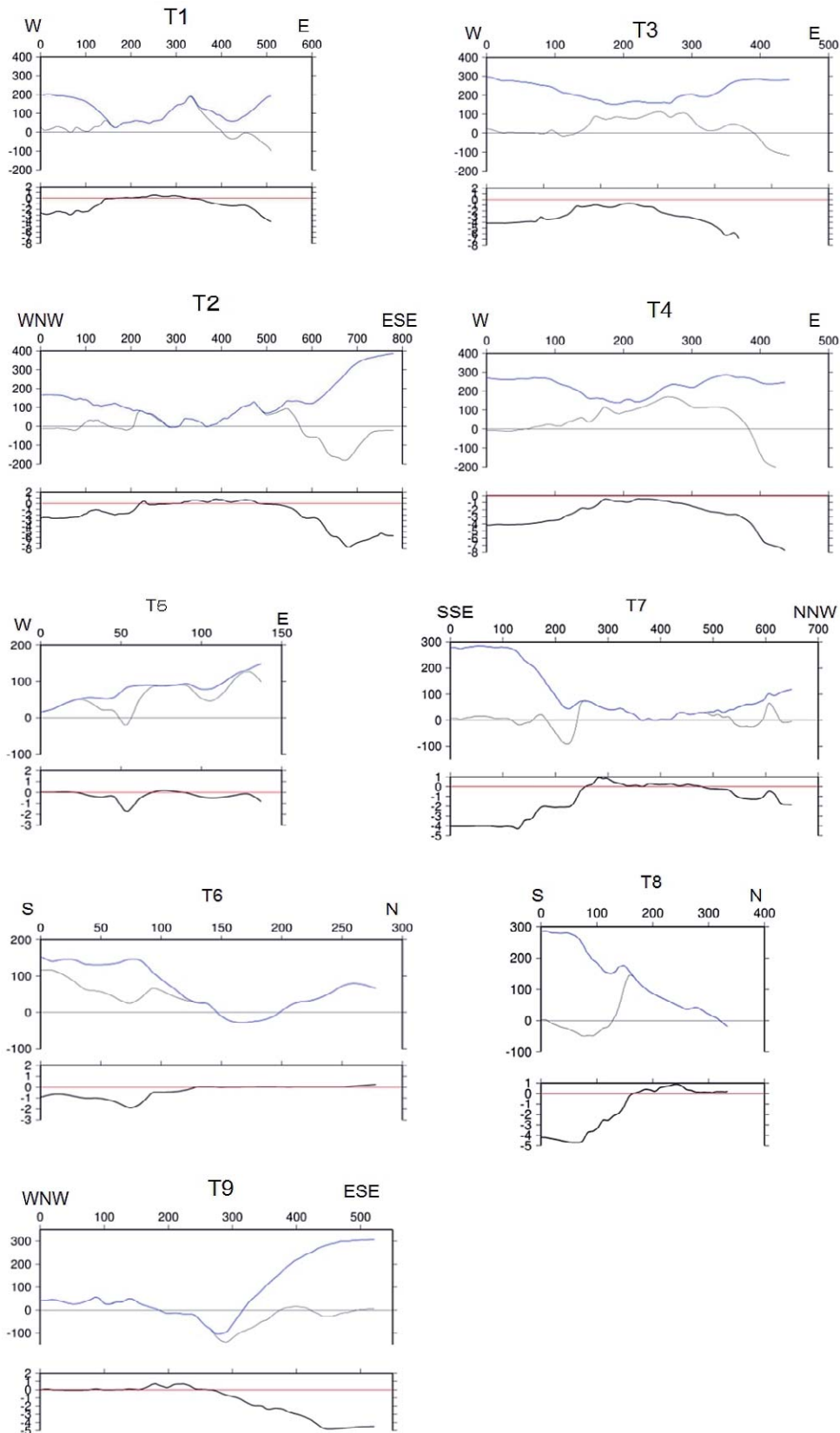


Fig.15 日本列島とその周辺海域の地形と重力異常の断面図 (T1 to T9)

Transects of topography and gravity anomalies along T1 to T9.

Upper column : Free-air anomaly is shown by a black line and Bouguer anomaly by a blue line in mGal unit.

Lower column: Topographic cross-section is shown by black line in km unit.

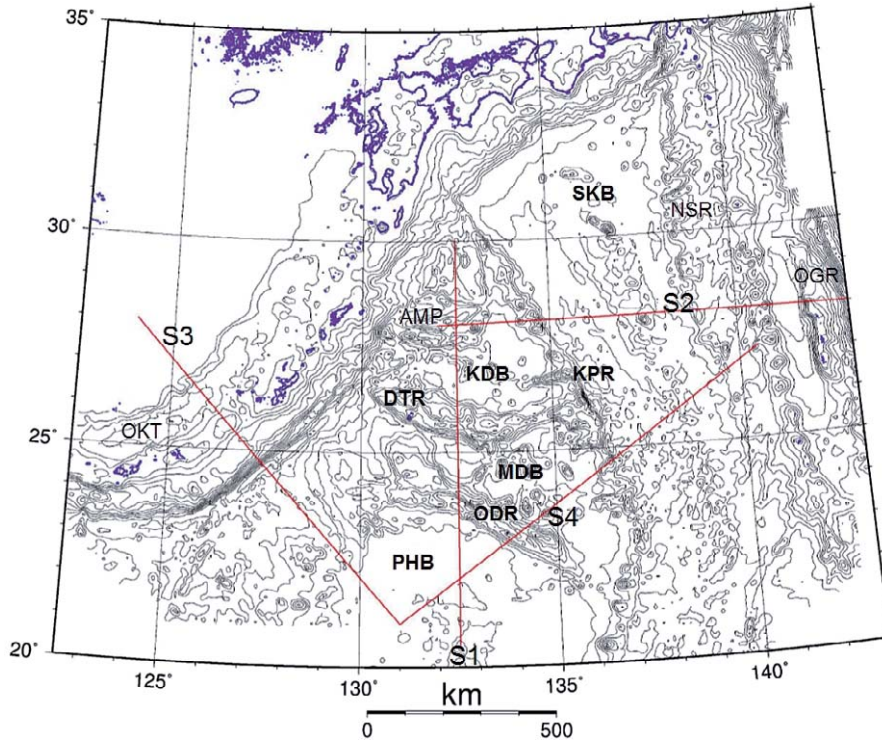


Fig.16 日本南方海域の地形と断面線の位置図
Topography and location map of selected lines of profiles along S1 to S4.

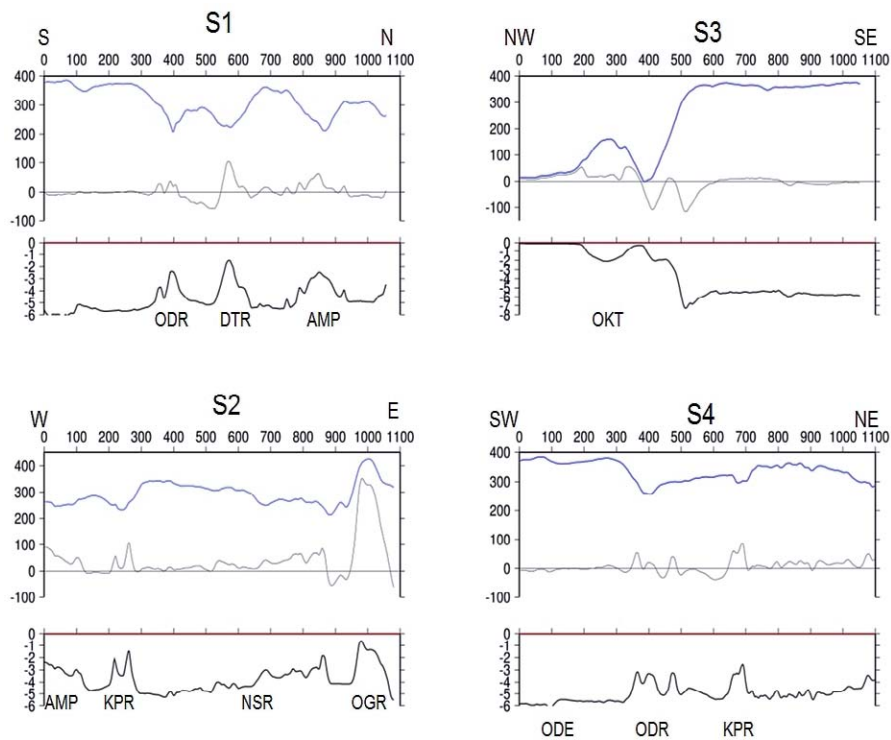


Fig.17 日本南方海域の地形と重力異常の断面図 (S1 to S4)
Transects of topography and gravity anomalies along S1 to S4.
Upper column : Free-air anomaly is shown by a black line and Bouguer anomaly by a blue line in mGal unit.
Lower column : Topographic cross-section is shown by black line in km unit.

謝 辞

本論文をまとめるに際し、海洋情報部日本海洋データセンターから MGD77 データの提供を受けた。記して感謝の意を表す。また、本論文は過去の水路部時代を含めた長年の測量成果に基づく結果であり、その測量ならびにデータ処理に携わった多くの方々に敬意を表します。本論文の図面の作成には GMTV.3.4 を用いた。

参考文献

- Ganeko, Y. and Koyama, K. (1981), Gravity data file of the Hydrographic Department and estimation of block mean gravity anomalies, *Rept. Hydrogr. Res.*, 16, 103-120.
- Ganeko, Y. and Harada, Y. (1982), Gravity anomalies around Japan, *Rept. Hydrgr. Res.*, 17, 163-180.
- Gravity Reseach Group in Southwest Japan (Representatives : Shichi, R. and Yamamoto, A.) (2001), Gravity database of southwest Japan (CD-ROM).
- 本多 亮・河野芳輝 (2004), 2004 年紀伊半島沖地震震源域及び周辺地域における海底地形補正を施した重力異常, *2004 年秋季地震学会ポスターセッション PK06*.
- 萩原幸男 (1984), 2 次元フィルター法による重力ゾーニング, *測地学会誌*, 30, 1-16.
- 石橋克彦 (1980), 伊豆半島をめぐる現在のテクトニクス, *月刊地球*, 2, 110-119.
- 春日茂・加藤幸弘・木村信介・沖野卿子・大陸棚調査室員 (1992), 本州南方海域の島弧海溝系及び背弧海盆の特徴, - 水路部による地球物理学的調査結果の概要, *水路部研究報告*, 28.
- 春日茂・林田政和・大陸棚調査室員 (1994), 日本近海地磁気・重力異常図の刊行と日本南方海域の地磁気異常分布, *水路部研究報告*, 30, 329-344.
- 春日茂・小原泰彦 (1997), 日本南方海域に存在する急崖の形成過程, *水路部研究報告*, 33, 39-52.
- 河野芳輝・古瀬慶博 (1989), 100 万分の 1 日本列島重力異常図, 東京大学出版会。
- 大島章一・高梨政雄・加藤茂・内田摩利夫・岡崎勇・春日茂・川尻智敏・金子康江・小川正泰・河合晃司・瀬田英憲・加藤幸弘 (1988), 沖縄トラフ及び南西諸島周辺海域の地質・地球物理学的調査結果, *水路部研究報告*, 24, 19-44.
- Segawa, J. (1970), gravity measurements at sea by use of the TSSG, part 2, *J. Phys. Earth*, 18, 203-284.
- 瀬川爾朗 (2000), 東海・伊豆諸島海域における地球物理観測の成果 (地形・重力・地震・GPS など), *月刊地球*, 22, 768-776.
- Segawa, J. and Tomoda, Y. (1976), Gravity measurements near Japan and study of the Upper Mantle beneath the Oceanic Trench-Marginal Sea Transision Zones., in *The geophysics of the Pacific Ocean Basin and its margins, Geophys. Monogr.*, 19, AGU, 35-54.
- Shichi, R. and Yamamoto, A. (2001), List of gravity data measured by Nagoya university, *Bull. Nagoya Univ. Museum Sp. Rept.*, 9 part, 257.
- Shichi, R. and Yamamoto, A. (2001), List of gravity data measured by organizations other than Nagoya university, *Bull. Nagoya Univ. Museum Sp. Rept.*, 9 part, 318.
- Smith, W. H. F. and D. T. Sandwell (1994), Bathymetric prediction from dense satellite altimetry and sparse shipboard bathymetry, *J. Geophys. Res.*, 99, 21803-21824.
- 鈴木 亨・浅田昭・永田豊 (2001), 高密度水深データを用いて画像化した日本周辺の海底地形, *2001 年度海洋調査技術学会講演要旨集*。
- 地質調査所 (編) (2000), 日本重力 CD-ROM, 数値地質図, P-2.
- Tomoda, Y., and H. Kanamori (1962), Tokyo surface ship gravimeter -1, *J. geodetic*

- soc. Japan*, 7, 116-145.
- Tomoda, Y., Fujimoto, H. (1980), Free-air and Bouguer gravity anomaly in the West Pacific calculated from sea gravity data obtained by T. S. S. G., *J. Geod. Soc. Japan*, 26, 258-266.
- Tomoda, Y. and Fujimoto, H. (1982), Maps of gravity anomalies and bottom topography in the Western Pacific, *Bull. Ocean Res. Inst.*, Univ. Tokyo.
- 植田義夫・中川久穂・平岩恒広・朝尾紀幸・久保田隆二 (1987), 東京湾・南関東周辺の重力異常と深部構造, *水路部研究報告*, 22, 179-206.
- Ueda, Y. (1994), Study on crustal structure of Japanese Island arcs as revealed from magnetic and gravity field analysis, *Rept. Hydr. Res.*, 30, 61-174.
- 植田義夫 (2003), 地形メッシュ自動分割法による重力地形補正, *海洋調査技術*, 15, 17-27.
- 湯浅真人・村上文敏 (1985), 小笠原弧の地形・地質と孀婦岩構造線, *地学雑誌*, 94, 47-66.
- 水路部技報の参考文献
- 永野真男・桂忠彦・池田清・林田政和・春日茂・小山薫・宗田賢二・打田明雄 (1985), 大東海嶺西部の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 3, 26-33.
- 内田摩利夫・荻野卓司・池田清・林田政和・小山薫・春日茂・宗田賢二・富安義昭・宗田孝次・福島秀生・白井宣好・川井仁一 (1985), 大東海嶺東部の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 3, 34-41.
- 池田清, 桂忠彦・内田摩利夫・小山薫・春日茂・林田政和 (1986), 沖縄トラフ西部の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 4, 17-24.
- 春日茂・荻野卓司・池田清・内田摩利夫・小山薫・林田政和 (1986), 沖縄トラフ北部の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 4, 25-32.
- 小山薫・桂忠彦・池田清・内田摩利夫・春日茂・永野真男・林田政和 (1986), 南高鵬海山付近の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 4, 39-46.
- 植田義夫・平岩恒広・堀井良一 (1986), 東京湾北部の海上重力測定, *水路部技報*, 4, 130-135.
- 河合晃司・堀井孝重・岡崎勇・内田摩利夫・春日茂・小川正泰・岩淵洋・金子康江・瀬田英憲・桂忠彦 (1987), 沖縄トラフ中部の大陸棚速報, *水路部技報*, 5, 20-31.
- 小川正泰・毛戸勝政・堀井孝重・岩淵洋・金子康江・河合晃司 (1987), 火山列島付近の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 5, 32-39.
- 瀬田英憲・内田摩利夫・岡崎勇・春日茂・小川正泰・金子康江・河合晃司・堀井孝重・桂忠彦・岩淵洋 (1988), 男女海盆の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 6, 1-13.
- 小川正泰・毛戸勝政・内田摩利夫・金子康江・瀬田英憲 (1988), トカラ火山列島付近の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 6, 14-23.
- 林田政和・長岡信治・加藤茂・春日茂・小川正泰・瀬田英憲・内田摩利夫・河合晃司 (1989), 奄美海台東部の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 7, 25-38.
- 加藤幸弘・高梨政雄・金子康江・河合晃司 (1989), 奄美海台西部の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 7, 39-48.
- 登崎隆志・金子康江・毛戸勝政・堀井孝重・岩淵洋・小川正泰・河合晃司 (1989), 「火山列島」の大陸棚調査, *水路部技報*, 8, 72-80.
- 登崎隆志・金子康江・加藤幸弘・瀬田英憲・春日茂・河合晃司 (1989), 「小笠原海台」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 8, 81-84.
- 林田政和・高梨政雄・池田耕作・金子康江・加藤幸弘・小川正泰・春日茂 (1989), 「四国海盆中部」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 8, 85-91.
- 林田政和・金子康江・長岡信治・瀬田英憲・岡崎勇 (1989), 「西七島海嶺南部」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 8, 92-97.
- 林田政和・長岡信治・加藤幸弘・瀬田英憲・加藤茂・井本泰司・小川正泰 (1989), 「父島」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 8, 98-104.

- 池田耕作・金子康江・加藤幸弘・瀬田英憲・加藤茂・岡崎勇・岩渕洋・河合晃司(1989),「南西諸島海溝東部」の大陸棚調査, *水路部技報*, 8, 105-116.
- 山内明彦・登崎隆志・長岡信治・加藤幸弘・島川康江・林田政和・高梨政雄(1991),「西七島海嶺北部」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 9, 19-25.
- 篠美幸・池田清・登崎隆志・長岡信治・加藤幸弘・島川康江・瀬田英憲(1991),「膠州海山」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 9, 26-31.
- 木村信介・登崎隆志・長岡信治・山内明彦・林田政和・高梨政雄(1991),「四国南方」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 9, 32-38.
- 霜鳥史郎・加藤幸弘・沖野郷子・山内明彦・木村信介・林田政和・池田清・長岡信治(1992),「沖ノ鳥島北方」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 10, 60-66.
- 平尾昌義・沖野郷子・山内明彦・木村信介・登崎隆志・林田政和・篠美幸・池田清(1992),「沖大東海嶺」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 10, 67-73.
- 山崎誠一・平尾昌義・加藤幸弘・山内明彦・霜鳥史郎・登崎隆志・長岡信治・沖野郷子・篠美幸・木村信介(1992),「西マリアナ海盆北端部」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 11, 85-93.
- 山内明彦・春日茂・加藤幸弘・鶴沢良文・霜鳥史郎・寺井賢一・木村信介・沖野郷子・沖野陸登(1992),「小笠原海台北東方」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 11, 94-99.
- 鶴沢良文・春日茂・島村国雅・霜鳥史郎・沖野郷子・木村信介・沖野陸登・寺井賢一(1994),「伊豆・小笠原海溝南部」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 12, 94-100.
- 鬼丸 尚・春日茂・鶴沢良文・霜鳥史郎・山崎誠一・加藤幸弘・山内明彦・西澤あずさ・寺井賢一・平尾昌義(1994),「小笠原海台東端部北方」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 12, 101-107.
- 星野二郎・春日茂・林田政和・加藤幸弘・島村国雅・山崎誠一・霜鳥史郎・西澤あずさ・山内明彦・寺井賢一(1994),「小笠原海溝東端部」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 12, 108-114.
- 井上渉・春日茂・鬼丸尚・霜鳥史郎・星野二郎・島村国雅・林田政和・山崎誠一・鶴沢良文(1995),「沖ノ鳥島東方」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 13, 120-125.
- 霜鳥史郎・加藤幸弘・鬼丸尚・井上渉・山内明彦・島村国雅・林田政和・山崎誠一(1995),「南硫黄島南方」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 13, 126-132.
- 瀬田英憲・春日茂・星野二郎・井上渉・鶴沢良文・島村国雅・鬼丸尚・山崎誠一・霜鳥史郎(1996),「沖ノ鳥島」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 14, 36-43.
- 井上渉・大森哲雄・春日茂・島瀬勇二・瀬田英憲・星野二郎・飯塚正城・鬼丸尚・霜鳥史郎(1996),「沖ノ鳥島西方」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 14, 44-50.
- 飯塚正城・清水直哉・島瀬勇二・小原康彦・大森哲雄・岩渕洋・瀬田英憲・星野二郎・鬼丸尚(1997),「沖ノ鳥島南東方」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 15, 53-59.
- 飯塚正城・島瀬勇二・小原康彦・春日茂・大森哲雄・岩渕洋・清水直哉・瀬田英憲・星野二郎(1998),「沖ノ鳥島南方」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 16, 63-69.
- 西嶋静恵・内田摩利夫・楠勝浩・井上渉・飯塚正城・春日茂・星野二郎(1997),「沖大東島南方」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 16, 70-77.
- 井上渉・牛島学・楠勝浩・小原康彦・神田静恵・黒田義春・清水直哉・飯塚正城(1999),「沖大東海嶺南西方」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 17, 70-74.
- 牛島学・楠勝浩・小原康彦・神田静恵・大森哲雄・春日茂・黒田義春・清水直哉・星野二郎・飯塚正城・瀬田英憲(1999),「沖ノ鳥島南西方」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 17, 75-82.

- 中山正則・熊坂文雄・牛島学・春日茂・神田静恵・黒田義春・飯塚正城・内田摩利夫・星野二郎・山崎誠一・清水直哉・井上渉・楠勝浩(2000), 「沖縄島南方」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 18, 11-23.
- 杉山伸二・熊坂文雄・小原康彦・牛島学・春日茂・神田静恵・黒田義春・飯塚正城・内田摩利夫・星野二郎・山崎誠一・清水直哉・井上渉・楠勝浩(2000), 「宮古島南方」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 18, 24-35.
- 真角聡一郎・熊坂文雄・杉山伸二・牛島学・小川正泰・神田静恵・飯塚正城・中川正則・井上渉(2001), 「男女海盆」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 19, 23-29.
- 速見浩一・永蔵克己・阿部博・真角聡一郎・熊坂文雄・林田政和・杉山伸二・牛島学・鮫島真吾・池田俊一・神田静恵・打田明雄・小原康彦・飯塚正城・中川正則・山崎誠一・井上渉・及川幸四郎(2001), 「南鳥島西方」「南鳥島」「南鳥島東方」の大陸棚調査速報, *水路部技報*, 19, 30-50.
- Takemura, T., Yanagi, T., Ganeko, Y. (1971), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 6, 19.
- Takemura, T., Yanagi, T., Tomioka, Y. (1972), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 7, 23.
- Takemura, T., Yanagi, T., Nisiya, S. (1974), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 8, 29.
- Takemura, T., Yanagi, T., Tomioka, Y. (1975), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 9, 42.
- Yanagi, T., Tomioka, Y., Katsuno, K. (1976), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 10, 49.
- Yanagi, T., Tomioka, Y., Katsuno, K. (1977), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 11, 76.
- Ganeko, Y., Yanagi, T., Kubo, K. (1978), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 12, 55.
- Yanagi, T., Matsumoto, K., Nisisita, A. (1979), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 13, 48.
- Ganeko, Y., Yanagi, T., Nisisita, A. (1980), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 14, 59.
- Ganeko, Y., Harada, Y., Komatu, Y. (1981), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 15, 44.
- Ganeko, Y., Harada, Y., Komatu, Y. (1982), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 16, 64.
- Ganeko, Y., Harada, Y., Koyama, K., Fitinoue, S. (1983), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 17, 88.
- Ganeko, Y., Harada, Y., Koyama, K., Hiraiwa, T. (1984), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and

水路部観測報告の参考文献

Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy

Tokuhiro, A. (1996), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 1, 43.

Tokuhiro, A. (1967), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 2, 29.

Sugimoto, K., Yanagi, T. (1968), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 3, 22.

Takemura, T., Yanagi, T., Ganeko, Y. (1969), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 4, 13.

Takemura, T., Yanagi, T., Ganeko, Y. (1970), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 5, 33.

- geodesy, 18, 85.
- Ueda, Y., Harada, Y., Hiraiwa, T. (1985), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 19, 99.
- Ueda, Y., Harada, Y., Horii, R., Hiraiwa, T. (1986), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 20, 90.
- Ueda, Y., Asao, T. Hiraiwa, T. (1987), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 21, 122.
- Ueda, Y., Nakagawa, H., Onodera, K., Nagaya, Y. (1988), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 22, 36.
- Yanagi, T., Onodera, K., Ito, H., Kato, T. (1989), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 23, 34.
- Yanagi, T., Mihara, S., Yamano, H. (1990), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 24, 63.
- Yanagi, T., Mihara, S., Yamano, H. (1991), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 25, 40.
- Ono, F., Mihara, S., Okumura, M. (1992), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 26, 44.
- Ono, F., Mihara, S., Kato, T., Usijima, M. (1993), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 27, 44.
- Ono, F., Kato, T., Usijima, M. (1994), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 28, 52.
- Kato, T., Usijima, M., Tugawa, T. (1995), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 29, 64.
- Okumura, M, and Toyama, S. (1997), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 31.
- Okumura, M, and Toyama, S. (1998), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 32.
- Suzuki, A., and Sakamoto, H. (1999), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 33.
- Suzuki, A., and Sakuma, K. (2000), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 34.
- Kato, T., and Suzuki, A. (2001), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 35.
- Kato, T. (2002), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 36.
- Kato, T. (2003), Data report of Hydrographic Observation, series of astronomy and geodesy, 37.