

## 南極みずほ高原の地形・重力異常図の三次元表示

長尾年恭<sup>1</sup>・粟原 勝<sup>1</sup>・神沼克伊<sup>2</sup>

### Three-dimensional Topographic and Gravity Anomaly Maps in the Vicinity of Mizuho Plateau, East Antarctica

Toshiyasu NAGAO<sup>1</sup>, Masaru AWARA<sup>1</sup> and Katsutada KAMINUMA<sup>2</sup>

**Abstract:** A re-compilation of gravity data around Syowa Station, East Antarctica (68°–78°S, 25°–55°E) was made, to present three-dimensional contour maps of gravity anomalies. Ice sheet and bedrock topography contour maps were also obtained. Gravity values calculated by Potsdam System are unified to IGSN71 System, and accuracy of gravity values was evaluated. In Mizuho Plateau, some gravity anomalies had been calculated by the geoid height, and others by the height from WGS-72 ellipsoids. Therefore, to remove this confusion, we re-calculated all of gravity anomalies using the geoid height. The results are as follows: 1) An accuracy of gravity value determination is less than 3 mgal. 2) An accuracy of free air anomaly is about 10 mgal. 3) The result of bedrock elevation determination observed with radio echo sounding and that estimated from gravity data show a rather good coincidence in general. However, a detailed comparison reveals many local discrepancies between the two results. Accurate determination of bedrock topography is one of the most significant items for understanding the region.

**要旨:** 南極みずほ高原の重力データのコンパイル (68°–78°S, 25°–55°E) を実施し、三次元表示を含むグラフィカルな重力異常図を作成した。さらに氷床の形、基盤地形についても同様の三次元表示を行った。重力データは重力系 (ポツダム系と IGSN71 系) を IGSN71 系に統一した。さらに標高が NNSS により WGS-72 楕円体からの高さとして求められていた地点ではジオイドモデル (GEM10b) を用いて高さの補正を実施した。この結果、重力値そのものの測定精度は 3 mgal 以下、フリーエア異常値の誤差は ±10 mgal 以下と推定される。また、アイスレーダーによる基盤地形も重力異常から推定される基盤地形のいずれも、北西–南東方向のトレンドを示し、大局的には両者は一致する。しかし、局所的にみると両者の結果には矛盾する点も多く、アイスレーダーの測定精度の検討も含め、基盤地形の決定が今後の最大の課題の一つである。

## 1. 緒 言

南極昭和基地 (69°S, 39°E) およびその周辺地域 (みずほ高原, やまと山脈, ベルジカ山脈, セールロンダーネ山地) では地学研究の目的ばかりでなく雪氷学研究の立場からも重力測定が行われてきた。今回、この時点でこれまで得られている重力データを再整理する動機とな

<sup>1</sup> 金沢大学理学部。Faculty of Science, Kanazawa University, 1-1, Marunouchi, Kanazawa 920.

<sup>2</sup> 国立極地研究所。National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

ったのは、1) NAGAO and KAMINUMA (1988) のデータレポートが発表され、かつ内陸での行動がここ数年セールロンダーネ山地地域中心となり、みずほ高原でのデータの増加が今後しばらくは見込めないこと；2) 重力値について処理系にポツダム系と IGSN71 系が混在しており、統合の必要があること；3) 雪氷学の分野では、標高の測地基準系が従来のトラバース測量によるベッセル楕円体準拠のものから、測地衛星による楕円体基準系（現在は WGS-72 楕円体）に変更され、やはり混在していること；さらに 4) 筆者らがすぐ使用できるデータ解析のためのハードウェアが揃ったことがあげられる。

本研究では、重力データをまとめただけでなく、氷床上での標高データやアイスレーダーによる氷厚のデータも合わせて議論した。そして昭和基地周辺・みずほ高原の南極氷床の姿をグラフィカルに表現することにより、今後の研究にインパクトを与えることを目的とした。重力データは国立極地研究所のデータベースとして登録し、利用可能としたい。

## 2. 南極観測隊による昭和基地・みずほ高原での重力測定の実績とその解析

南極地域観測隊では、観測船「宗谷」の時代から重力を地球科学における最も基礎的な物理量のひとつとして、昭和基地の重力値の決定を試みてきた。そして第6次観測隊で国土地理院型重力振子を用いた測定で昭和基地の重力値が決定された (HARADA *et al.*, 1963)。現時点ではこの値を IGSN71 系 (鈴木, 1976) に変換したものが、昭和基地周辺でのすべての重力値の基準となっている。近い将来、可搬式絶対重力計が昭和基地に持ち込まれ、その精度の飛躍的向上が期待される。また第5次観測隊ではウォルドン重力計により、海氷上や 75°S までのトラバース測量の際に重力測定が行われた (大浦, 1965)。「ふじ」の時代に入ると、みずほ高原ではやまと山脈調査等の地学グループや雪氷グループによるトラバース旅行などの際に、積極的に重力測定が行われた。特に第9次観測隊では昭和基地から南極点への旅行が実行され、その際には極点まで重力測定が行われている (YANAI and KAKINUMA, 1971)。第11次観測隊ではみずほ基地 (70.7°S, 44.3°E) が建設された。

このような測定をふまえ、ABE *et al.* (1978) は昭和基地-みずほ基地ルートからサンダーコックヌナタークへ至る地域の重力測定の結果をまとめコンター図を示した。また、KAMINUMA and MIZOUE (1978) ではフリーエア異常の概念を拡張した Reduced Gravity Anomaly (瀬川 (私信) によれば、この Reduced Gravity Anomaly という単語は適当ではなく、High-level Gravity Anomaly が適当との示唆を受けている。本研究でもこの概念を用いるが、ここでは High-level Gravity Anomaly (高レベル重力異常) という言葉で使用する。) という重力異常を導入し、解析に用いている。これは大陸氷床上ではすべての点で基盤地形が測定されておらず、そのためブーゲ異常の計算ができない測定点も多い。海上での測定と違い、フリーエア異常では標高の効果が残る。このためある高度まで密度  $0.9 \text{ g/cm}^3$  の氷で埋めつくしたと仮定し、その高度でのフリーエア異常という概念である。

NAGAO and KAMINUMA (1984) では昭和基地-みずほ高原-やまと山脈での重力測定の結果から、みずほ基地-やまと山脈ルートの中に明瞭な谷地形が存在することを示し、またブーゲ異常の解析から、昭和基地を含むリュツォ・ホルム湾地域とやまと山脈地域では、モホ面の深さが約4 kmほどやまと山脈地域のほうが深いという結果を示している。さらに昭和基地-みずほ基地ルート上での第14次と第22次観測隊の重力測定結果の比較を行い、同一測定“地点”(同一ポールにより示される)でのフリーエア異常は、すべて1.5 mgal以内で一致していることを示した。長尾(1984)は、昭和基地-みずほ基地ルート上で、重力異常から推定される基盤地形とアイスレーダーから求めた基盤地形の間に大きな差異があることを示し、基盤地形の精度についての問題提起を行った。

SEGAWA *et al.* (1984) は海域を中心とした南極全体のフリーエア異常のコンターを作成した。このコンパイルの完成をもって、南極での重力測定も地球上の他の地域と比較できるレベルによりやく達したものと筆者らは考えている。近年、FUKUDA *et al.* (1988, 1990) による人工衛星高度計のデータと内陸での重力測定の結果を組み合わせた仕事がなされ、海域を含む広範囲の解析が行われている。彼等は重力異常を用いたゾーニングを試みている(FUKUDA *et al.*, 1990)。

### 3. 使用 デ ー タ

本研究では日本の観測隊によるラコスト重力計による測定結果のみを使用した。そのほかこの地域のデータとしては、GRUSHINSKY *et al.* (1972) による南極全体のコンパイルに、ソビエト隊の測線が1本収められている。また、大浦(1965)は75°Sまでのトラバースの際、ウォルドン重力計を用いて測定を実施した。これらのデータの活用は今後の課題である。表1には使用した重力データの出典、表2にはフリーエア異常およびブーゲ異常が求められている測定点の点数を示した。

また標高・アイスレーダーの結果については上記重力データの得られている点と、FUJII *et al.* (1986), NISHIO *et al.* (1986), NISHIO and OHMAE (1989) を用いた。これらに示されている点数を加え、標高と基盤地形の求められている点の総点数を表2に示した。

表1 使用した重力データソース一覧表  
Table 1. Summary of referenced data sources.

隊 次	出 典
9次	YANAI and KAKINUMA (1971)
10, 11次	YOSHIDA and YOSHIMURA (1972)
14次	ABE (1975)
22次	KAMINUMA and NAGAO (1984)
23, 24, 26次	NAGAO and KAMINUMA (1988)

表2 コンター図に使用された各種データの点数

Table 2. The number of data for drawing contour maps.

データの種類	点数
フリーエア異常 (=重力測定点)	2275点
ブーゲ異常	1009点
氷床地形	3594点
基盤地形	2032点

データの分布を考慮しコンパイルの範囲は  $68^{\circ}$ - $78^{\circ}$ S,  $25^{\circ}$ - $55^{\circ}$ E の範囲となった。さらにこの解析・コンパイルの特徴として; 1) 重力基準系の IGSN71 系への統一; 2) 高度が人工衛星 (NNSS) により WGS-72 楕円体からの高さとして示されている測定点ではジオイドモデルを使用し、高さの補正を実施し、重力異常を計算; 3) 個々の重力データの信頼性評価を行ったことがあげられる。

## 4. データ処理

### 4.1. 南極での重力異常・その特異性

南極、特に氷床上での重力異常を考える場合には、他の地域とはやや異なった概念が必要である。フリーエア異常については同じであるが、ブーゲ異常と地形補正についてはどこまでを補正するか、あるいはどのような概念を用いるかにいくつかの解釈がある。一般的な意味でのブーゲ補正はジオイドより上の物質 (地形) の影響を取り除くことであるが、氷床上では地表にいちばん近い第一層は氷である。この氷の密度は既知 ( $0.9 \text{ g/cm}^3$ ) として良いが、この氷の厚さ、換言すれば基盤地形そのものがよくわかっていない。またジオイド面までの補正を行うのか、海のブーゲ異常と同様に海水 (ここでは氷) を岩石 (今回は密度  $2.67 \text{ g/cm}^3$  を採用) にすべて置き換え、ブーゲ異常とするのかといった問題がある。また地形補正ができるほど現時点では地形データの整備が進んでおらず、すべて無限平板による補正を行っている。このような経緯をふまえて 2 章で述べた高レベル重力異常 (KAMINUMA and MIZOUE, 1978 (原論文では Reduced Gravity Anomaly)) の概念が生れたのである。

以下にフリーエア異常と高レベル重力異常の関係式を示す。

$$g_{hl} = \Delta g_0 - 2\pi G \rho_1 (H - h),$$

ここで  $g_{hl}$  は高レベル重力異常、 $\Delta g_0$  はフリーエア異常、 $G$  は万有引力定数、 $\rho_1$  は氷の密度、 $H$  は観測点の標高、 $h$  は高レベル重力異常を計算した高さ (本研究では  $4000 \text{ m}$ ) である。

### 4.2. 第 14 次観測隊以前の重力データ

昭和基地周辺では国際重力基準網 1971 (IGSN71: 鈴木, 1976) が設置されたあともしばらく重力測定はポツダム系によりなされていた。これらは  $13.8 \text{ mgal}$  を加え、IGSN71 系に変換した後、重力異常値を再計算した。ここでの標高はトラバース測量による海拔高度が用いられている。なお観測隊としてはじめて重力系として IGSN71 を採用したのは神沼ら (1980) の報告からである。

### 4.3. 第 22 次観測隊の重力データ

第 22 次観測隊の報告では、IGSN71 系を採用しておりそのまま採用した。この場合も標高はトラバース測量による海拔高度が用いられている。

### 4.4. 第 23, 24, 26 次観測隊の重力データ

この隊次の報告は、重力値そのものは IGSN71 系で計算されている。しかし標高データが

JMR を用いた WGS-71 楕円体からの高さで示されている。昭和基地でのジオイドと WGS-72 楕円体との高さの差については、SHIBUYA and ITO (1983) により約 33 m と測定されている。標高の 30 m の誤差は重力異常に約 10 mgal の誤差をもたらすため、ここではジオイドモデル GEM10b (LERCH *et al.*, 1979) を用いて海拔高度への変換を実施し、重力異常値を再計算した。

#### 4.5. 標高および基盤地形データ

雪氷グループにより標高の求まっている点およびアイスレーダーにより基盤地形が求められている地点のデータ (FUJII *et al.*, 1986; NISHIO *et al.*, 1986; NISHIO and OHMAE, 1989) を加えたすべての氷床・基盤地形データは表 2 のようになった。このデータについても標高が JMR で求められている点については、GEM10b ジオイドモデルを使用し海拔高度に変換した。

#### 4.6. データの吟味

今回の研究ノートではデータ精度の吟味を実施した。行った作業は、各隊次における同じ測定点および測線が交差している地点でのデータの比較、さらに横軸に距離、縦軸にフリーエア異常をとり、測線の断面図 (プロファイル) を作成した。この作業でとび離れたデータの有無のチェックを行った。

以上の吟味の結果、同一地点での異なる複数回の重力測定値はすべて 3 mgal 以内で一致することが確認された。しかし、重力異常の計算では、高さが 10 m 違えばフリーエア異常で約 3 mgal の差が生じてしまう。今回の場合も、同一“地点”で標高が 20 m ほど違うケースがあり、これはフリーエア異常値に約 6 mgal の影響を与える。このような海拔高度の不確定さなどを総合的に考え、みずほ高原のフリーエア異常は最大 10 mgal 程度の誤差を含む可能性がある。

言い換えれば南極の場合、緯度、経度、標高の決定方法もさることながら、“いつ”測定されたかが大きな問題である。これは氷床が流動していることから、“同じ地点”という意味が露岩の測定点を除き、測地学的に同じ地点ではなく、同じ目印の“ポール”であることがほとんどだからである。

#### 図 1 (次頁)

*Fig. 1 (opposite).*

- 図 1 (a) 得られたみずほ高原の氷床の形。インデックスマップを兼ねる。各図の a は平面図で、小さな黒丸は表 2 に示した測定点の分布を表す。  
 (b) 得られた氷床の形の鳥かん図 (三次元表示)。各図の b は上部にその投影図を示す。昭和基地北西の海上から見たイメージである。

*Fig. 1. (a) Ice sheet topography of Mizuho Plateau, East Antarctica. This figure includes indexes. All of "a" figures are of plan view. Small dots represent observation points as shown in Table 1.*

- (b) Three-dimensional scheme of Fig. 1a. The upper part of this figure shows a projection map and the lower part is a bird's-eye view from northwest of Syowa Station.*

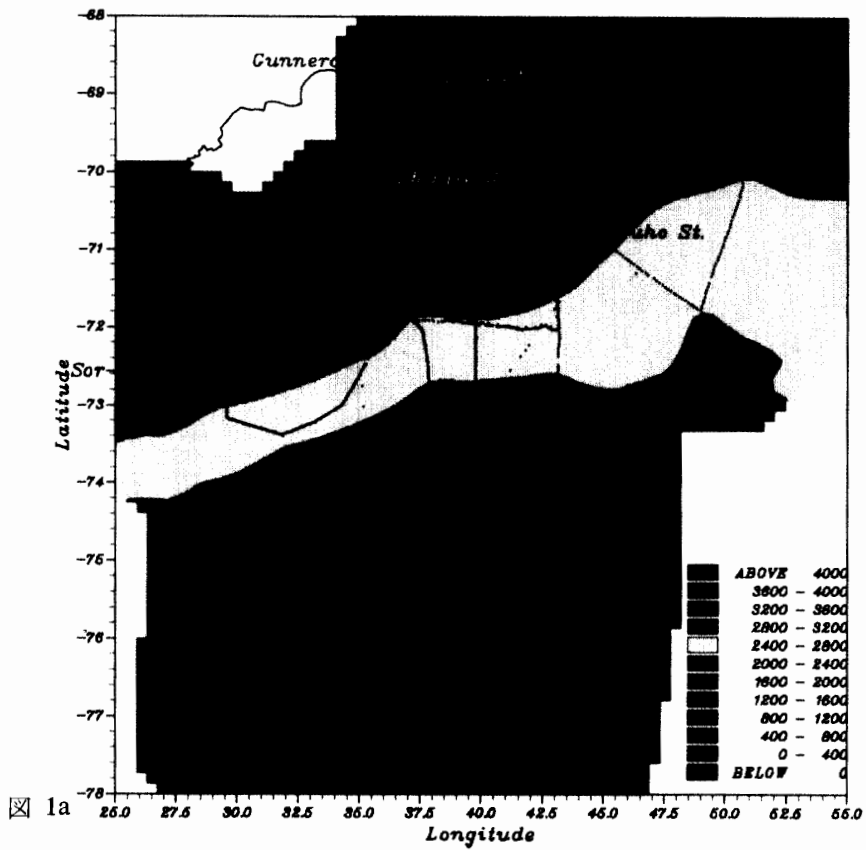


図 1a

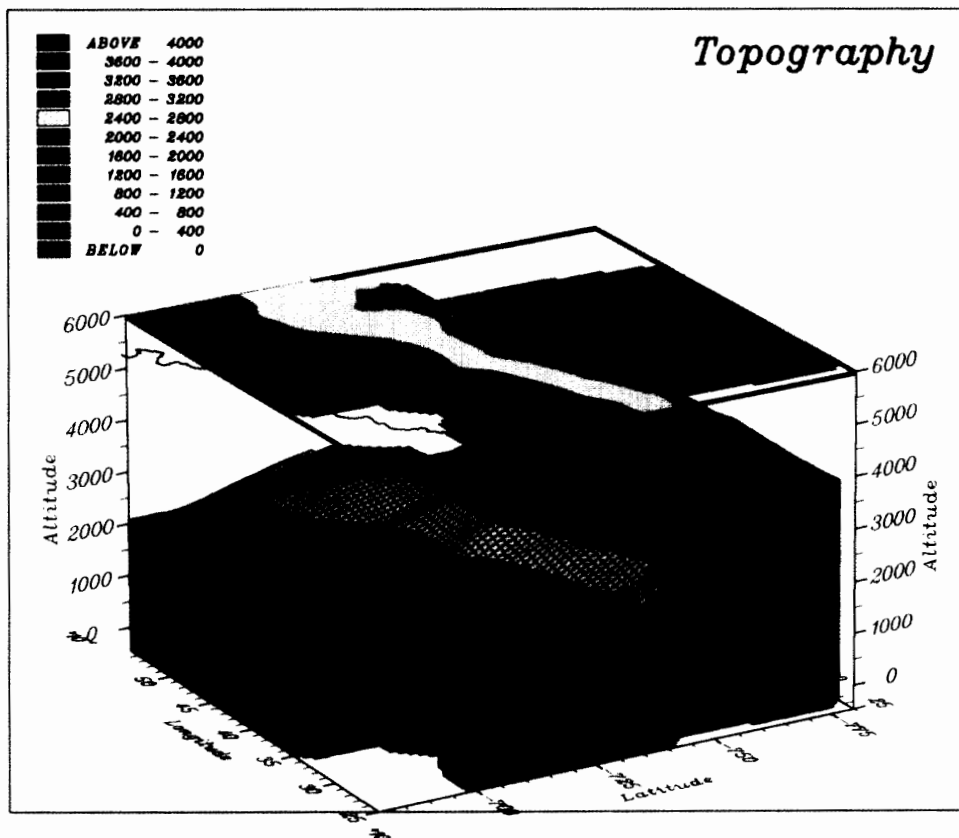


図 1b

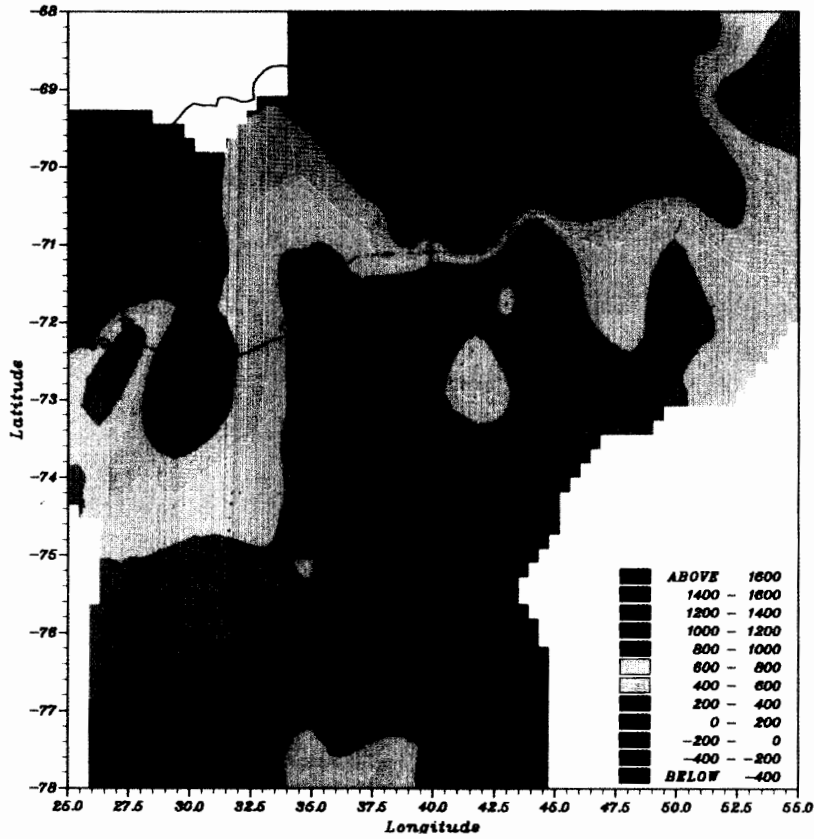


図 2

- (a) アイスレーダーによるみずほ高原の基盤地形コンターマップ
- (b) アイスレーダーによる基盤地形の鳥かん図

Fig. 2.

(a) *Bedrock topography of Mizuho Plateau observed with radio echo sounding.*

(b) *Three-dimensional scheme of Fig. 2a.*

図 2a

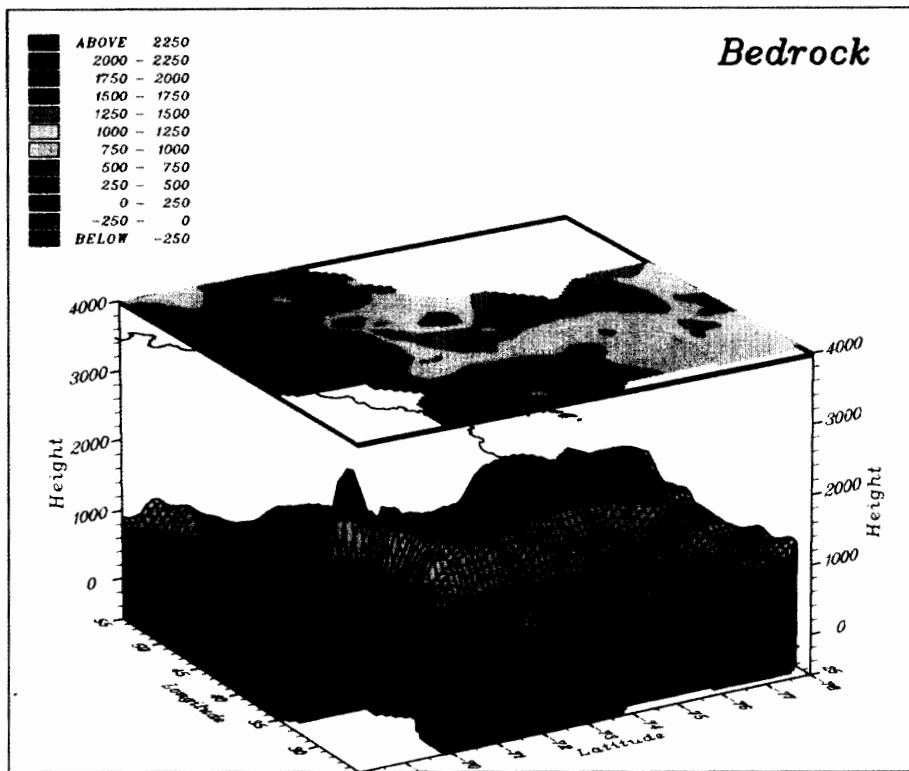


図 2b

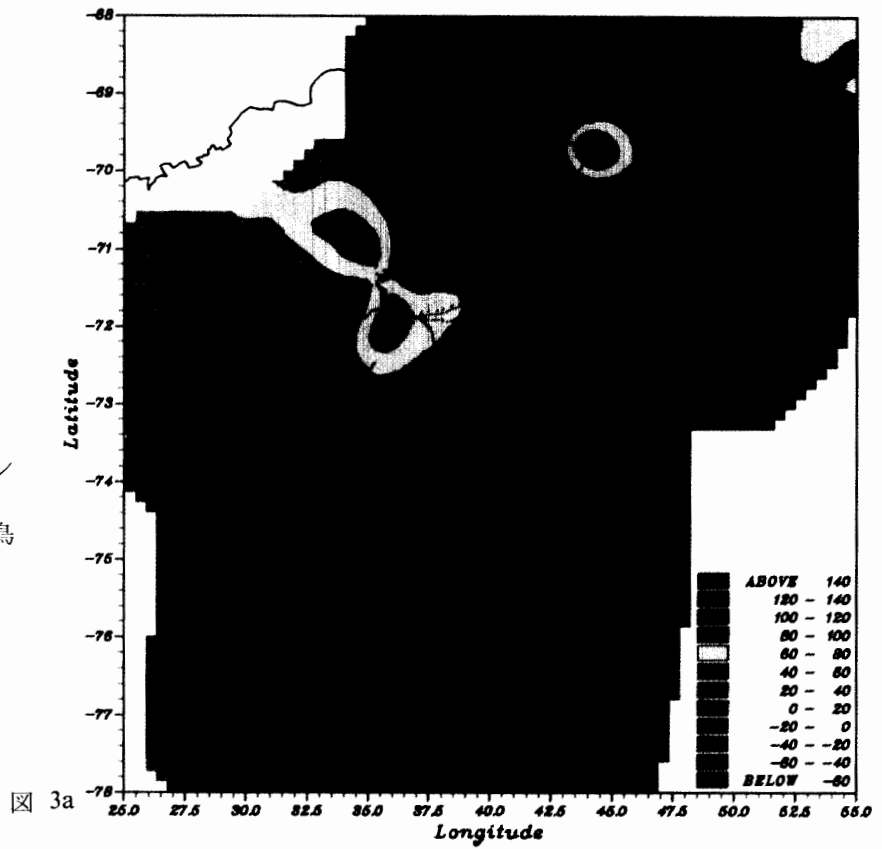


図 3  
 (a) フリーエア異常コン  
 ターマップ  
 (b) フリーエア異常の鳥  
 かん図

Fig. 3.  
 (a) Free-air anomaly  
 contour map.  
 (b) Three-dimensional  
 scheme of Fig. 3a.

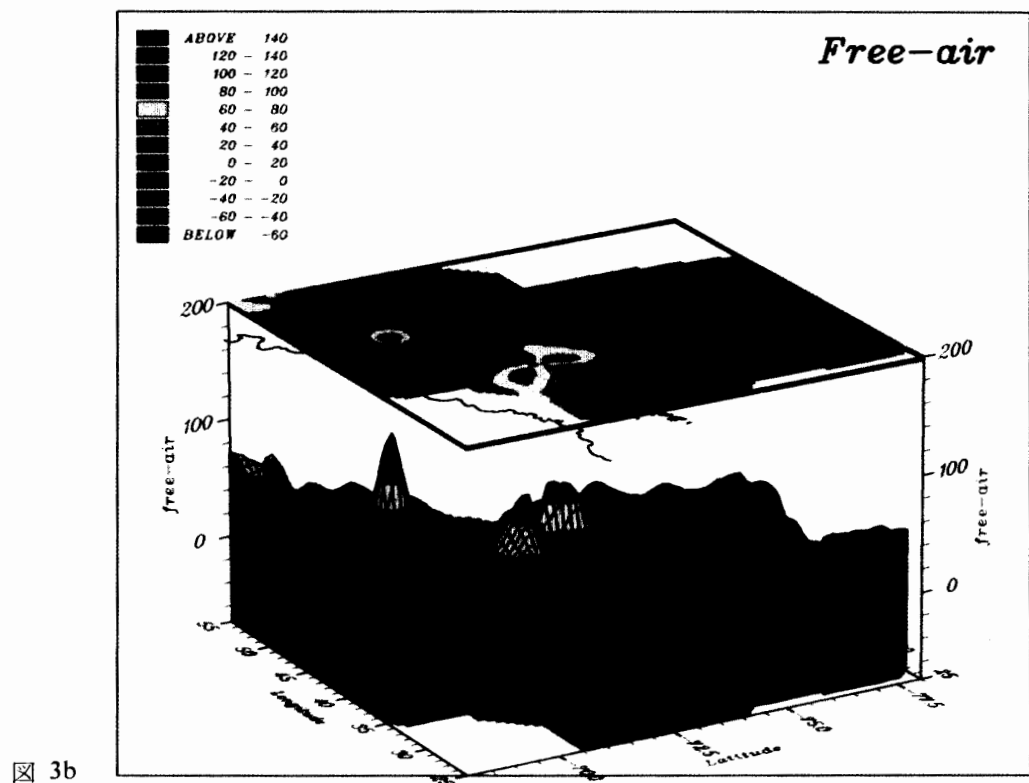


図 3b



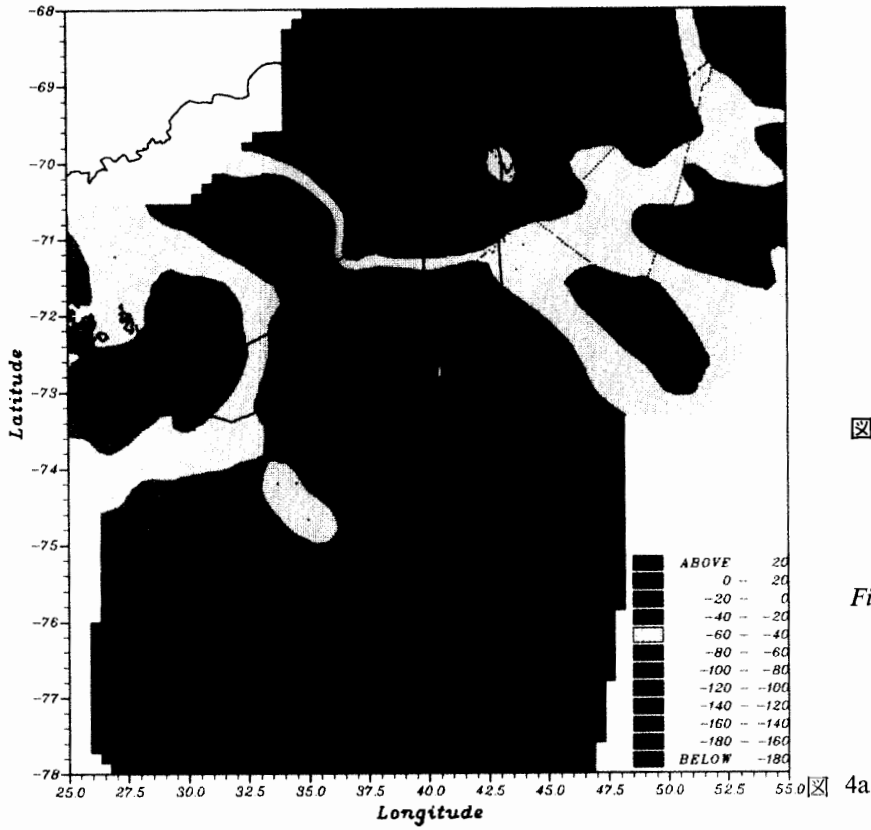


図 4  
 (a) 高レベル異常のコン  
 ターマップ  
 (b) 高レベル異常の鳥か  
 ん図

Fig. 4.  
 (a) High-level gravity  
 anomaly contour map.  
 (b) Three-dimensional  
 scheme of Fig. 4a.

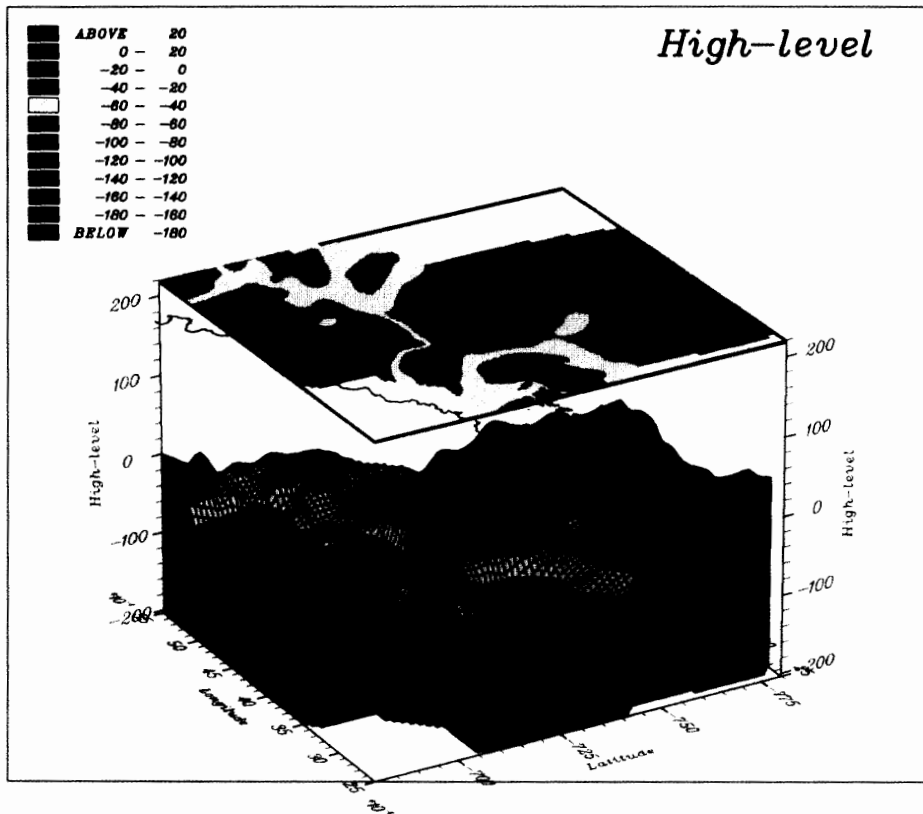


図 4b

図 5

- (a) ブーゲ異常コンターマップ
- (b) ブーゲ異常の鳥かみ図

Fig. 1.

- (a) Bouguer anomaly contour map.
- (b) Three-dimensional scheme of Fig. 5a.

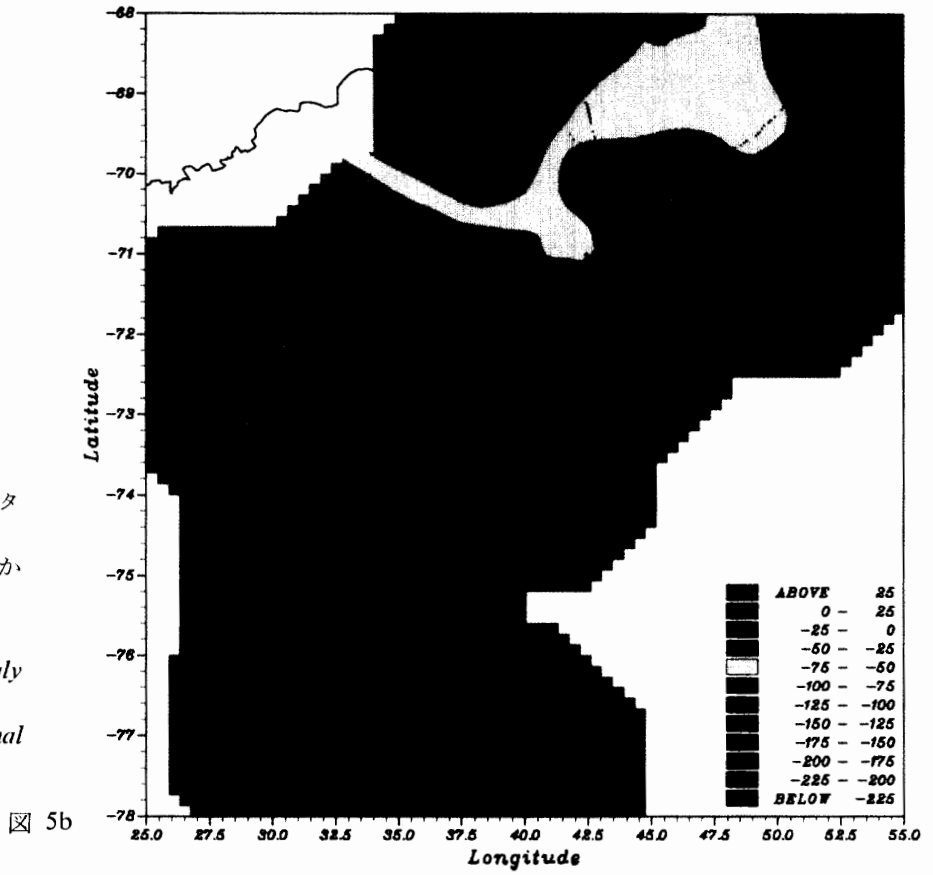


図 5b

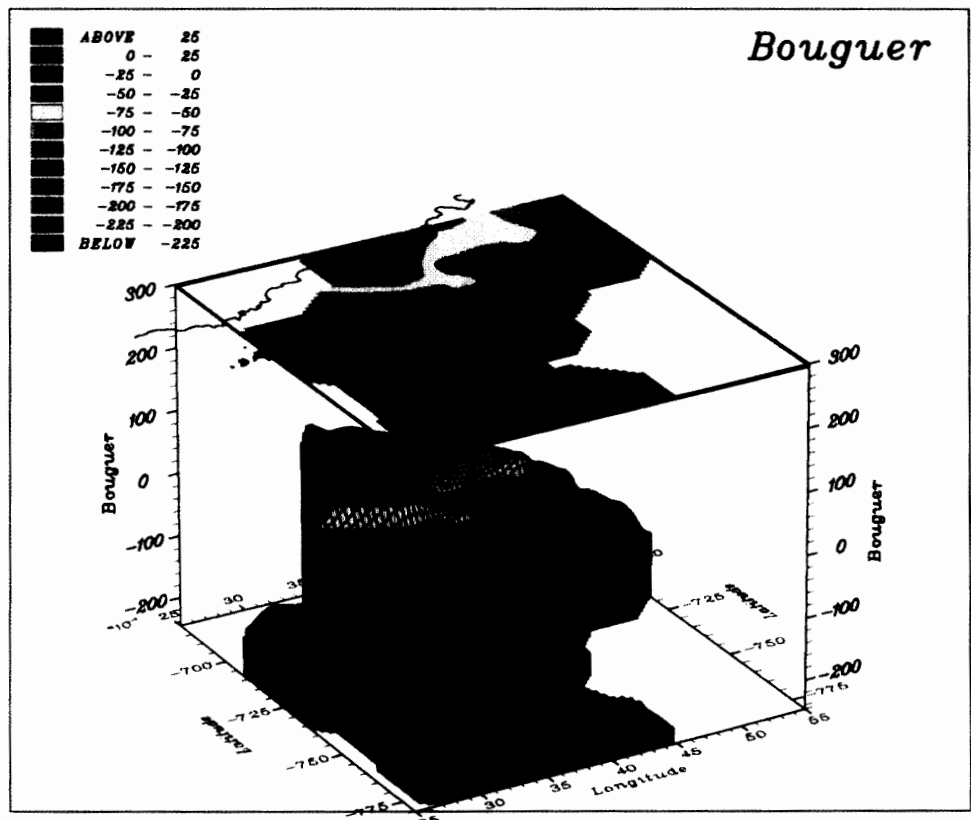


図 5a

標高・基盤地形データセットについてのデータの吟味では、基盤地形データに同一地点で 300 m 以上の差のあるものが多数見いだされた。今回は重力に目標をしばったため、データを取り除くことはせず、そのまま使用した。今後オリジナルデータの測定状況やどのような方法で測定したかを調査し、それぞれの報告についてもう一度精度の吟味が必要であろう。

#### 4.7. データの補間・コンタリング処理

一般に、重力測定結果および地形等の測定点あるいは観測点が二次元平面にランダムに分布するデータから、コンピューターによりコンタリングを行う場合、規則的な格子データを作成する必要がある。今回は対象地域 ( $68^{\circ}$ - $78^{\circ}$ S,  $25^{\circ}$ - $55^{\circ}$ E) を緯度方向に 75 グリッド、経度方向に 70 グリッドに分割して補間計算を行った。この場合、実際のメッシュ間隔は緯度方向では約 15 km、経度方向については  $72^{\circ}$ S の緯線上で約 15 km となる。補間は BRIGGS (1974) の方法を用いた。この方法は金属板の弾性理論を応用したもので、薄い金属板が板面上のいくつかの点に不規則に分布する力（この場合、観測点の位置と観測値がこれに相当）によって、板が変位を起こすというモデルである。この時、金属板の曲率を最小にするような曲面を求める方法である。次に補間に際し、データの存在しない地点をどう扱うかが問題となる。今回は各格子点につき、緯度・経度方向とも 10 グリッド以内に測定値が全く無い場合は、コンターを表示しなかった（図中で白くなっている地点）。

以下に示す 5 組の図は平面図とその三次元表示とからなっている。各図の a はそれぞれの平面図で、小さな黒丸は表 2 で示した測定点の分布を表わしている。図 1-4 の各 b 図では昭和基地の北西方向からの鳥かん図（三次元表示）を示し、同じ方位（北  $50^{\circ}$  西）・仰角（水平面から測って  $20^{\circ}$ ）となっている。さらに、上部にはそのデータを投影した。投影図には海岸線とやまと山脈、セールロンダーネ山脈が示されている。図 5b は昭和基地の南西方向（南  $30^{\circ}$  西、仰角は同じく水平面から測って  $20^{\circ}$ ）からの鳥かん図である。

### 5. 得られたコンターマップ

図 1a, b に氷床の形を示す。また図 1a はインデックスマップを兼ねる。氷床の形はこれまで得られている結果 (NISHIO and OHMAE, 1989) と調和的であるが、より細かな起伏が見いだされている。白瀬氷河の流域では氷床高度が周囲より低くなっているのが特徴である。また昭和基地とリュツォ・ホルム湾をはさんで反対側（対岸）には測定点はないが、湾の形がよく外挿されている。

図 2a, b のアイスレーダーによる基盤地形では、やまと山脈付近の高まりやサンダーコックスナターク、みずほ基地南の顕著な高まりが見いだされる。さらにグンネラス堆とやまと山脈を結ぶ地形の高まりが認められる。しかし内陸側の  $75^{\circ}$ S,  $40^{\circ}$ E を中心とした南北に伸びた地形の高まりはコンピューターによる補間の影響と考えられる。

図 3a, b にフリーエア異常を示す。また図 4a, b は高レベル重力異常である。いずれも短

波長は地形の凹凸を表わしていると考えられる。とくに高レベル重力異常はモホ面が水平であればそのまま基盤地形を表わす概念であり、南極ではフリーエア異常より役に立つ概念と筆者らは考えている。図 3a, b のフリーエア異常の短波長には基盤地形の凹凸と氷床そのものの凹凸が含まれる。図 3a, b では顕著に示されているみずほ基地北方の高まりが、図 4a, b ではあまり見られないのが大きな特徴である。

図 5a, b にブーゲ異常を示す。ここでは氷(密度  $0.9 \text{ g/cm}^3$ )をすべて岩石(密度  $2.67 \text{ g/cm}^3$ )で置き換えたモデルを用いた。この場合ブーゲ異常は基本的にモホ面の起伏を表わしていると考えられる。図 5a, b からモホ面が海岸から内陸方向に深くなっている傾向がよく見られる。

## 6. 考 察

図 2a, b (基盤地形) と図 4a, b (高レベル重力異常) を比較すると、図 2a, b に顕著なみずほ基地南方の高まりが重力異常から全く見えない。重力の結果には全く高まりは見られず、アイスレーダーは氷の内部反射をとらえた可能性があるかと推測している。また、図 2a, b の説明で述べたように、やまと山脈から南へ伸びる大きな高まり ( $75^\circ\text{S}$ ,  $40^\circ\text{E}$  を中心とする高まり) が図 4a, b では見えない。これは図 4a, b では南極点までの重力測定の結果が加わり、コンピューターによる格子データ作成上の誤差が減少したためである。

今後は、これまで得られているアイスレーダー結果の測定時期と方法による差異を検討して行きたい。これは現時点では個々のアイスレーダーによる氷厚測定結果自身に、多くの自己矛盾を含んでいるからである。同一測定点でもその差が  $300 \text{ m}$  に達することもあり、筆者らとしてはどの値が最も信頼できるものなのか判断できない。また昭和基地-みずほ基地ルートの途中では、過去複数回の測定を行っているが、いずれの測定でも基盤岩からの反射が得られないような地点があり、氷厚が非常に大きいとの結論が報告されているが、重力の測定結果からはそのようなことは考えにくい。以上のことから、南極では重力測定が地形推定の有効な手法となることが改めて確認されたと確信する。また氷床の厚さはたかだか数  $\text{km}$  であるのに対し、モホ面の平均的な深さは、昭和基地-みずほ基地間の人工地震により約  $40 \text{ km}$  と求められている (IKAMI and ITO, 1984)。今後、高レベル重力異常を用いてスペクトル解析を実施し、モホ面の起伏に由来すると考えられる長波長成分と、基盤地形に由来すると考えられる短波長成分の分離を行い、重力からみた基盤地形図の作成を試みたい。そして重力測定の結果とアイスレーダーの測定結果の両者を総合的に取り扱い、みずほ高原の基盤地形・マントルを含めた地下構造の問題を考えていきたい。

## 謝 辞

国立極地研究所西尾文彦助教授(現北海道教育大学教授)には、JAFÉ Data Reports に掲載された雪氷データのデジタルファイルを提供して頂いた。三次元コンターマップの作図

は金沢大学理学部地学科物理地学講座のビューレット・パッカード社製エンジニアリングワークステーション9000シリーズモデル360SRXとユニラス社・ユニマップ2000ソフトウェアを使用した。なお、この研究は国立極地研究所の平成元年度・2年度一般共同研究「リュツォ・ホルム湾およびみずほ高原における重力異常図の作成」の一環として行われた。初稿の原稿に対し有益な助言を下された東京大学海洋研究所の福田洋一博士、国立極地研究所の吉田栄夫教授にお礼申し上げます。原稿の整理をして下さった国立極地研究所の中村史子さんに感謝します。

### 文 献

- ABE, Y. (1975): Gravity data. JARE Data Rep., **28** (Glaciology 3), 114-119.
- ABE, Y., YOSHIMURA, A. and NARUSE, R. (1978): Gravity anomalies and bedrock relief in Mizuho Plateau. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, **7**, 37-43.
- BRIGGS, I. C. (1974): Machine contouring using minimum curvature. Geophysics, **39**, 39-48.
- FUJII, Y., KAWADA, K., YOSHIDA, M. and MATSUMOTO, S. (1986): Glaciological research program in East Queen Maud Land, East Antarctica, Part 4, 1984. JARE Data Rep., **116** (Glaciology 13), 1-70.
- FUKUDA, Y., SEGAWA, J. and KAMINUMA, K. (1988): Gravity mapping around the Japanese Antarctic stations. Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci., **2**, 30-40.
- FUKUDA, Y., SEGAWA, J. and KAMINUMA, K. (1990): Geoidal undulation and gravity anomaly around the Japanese Antarctic stations estimated from both satellite altimeter data and surface gravity data. Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci., **4**, 108-118.
- GRUSHINSKY, N. P., KORYAKIN, E. D., STROEV, P. A., LAZAREV, G. E., SIDOROV, D. V. and VIRSKY, N. F. (1972): The catalog of the gravity stations in Antarctica. Tr. Gos. Astron. Inst., Mosk. Gos. Univ., **42**, 115-311.
- HARADA, Y., KAKINUMA, S. and MURATA, I. (1963): Pendulum determination of gravity differences between Tokyo, Mowbray and Syowa Base. Nankyoku Shiryô (Antarct. Rec.), **17**, 35-50.
- IKAMI, K. and ITO, K. (1984): Deep crustal structure along the profile between Syowa and Mizuho Stations, East Antarctica. Mem. Natl Inst. Polar Res., Ser. C (Earth Sci.), **15**, 19-28.
- KAMINUMA, K. and MIZOUE, M. (1978): Modes of gravity anomaly distributions in relation to the crustal structure of the Antarctic Continent. Nankyoku Shiryô (Antarct. Rec.), **61**, 32-39.
- KAMINUMA, K. and NAGAO, T. (1984): Gravity survey in Lützow-Holm Bay and the Mizuho Plateau, East Antarctica, 1981. JARE Data Rep., **89** (Earth Science 1), 59-87.
- 神沼克伊・国見利夫・大滝 茂 (1980): 南極・竜宮岬と昭和基地付近での重力観測. 南極資料, **70**, 149-157.
- LERCH, F. J., KIOSKO, S. M., LAUBSCHER, R. E. and WAGNER, C. A. (1979): Gravity model improvement using Geos 3 (GEM 9 and 10). J. Geophys. Res., **84**, 3897-3920.
- 長尾年恭 (1984): 重力から見た昭和基地周辺の地形の特徴—特に大陸氷床下の基盤地形について—. 南極資料, **82**, 20-29.
- NAGAO, T. and KAMINUMA, K. (1984): Estimation of the crustal structure and the bedrock topography by the gravitational method around Syowa Station. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, **33**, 1-8.
- NAGAO, T. and KAMINUMA, K. (1988): Gravity survey in the Mizuho Plateau. JARE Data Rep., **132** (Earth Science 4), 1-32.
- NISHIO, F. and OHMAE, H. (1989): Glaciological research program in East Queen Maud Land, East Antarctica, Part 8, 1986-1987. JARE Data Rep., **148** (Glaciology 17), 1-59.
- NISHIO, F., OHMAE, H. and ISHIKAWA, M. (1986): Glaciological research program in East Queen Maud Land, East Antarctica, Part 3, 1982. JARE Data Rep., **110** (Glaciology 12), 1-36.
- 大浦浩文 (1965): 昭和基地より、南緯75度までの旅行およびクック岬への旅行における重力測定について. 南極資料, **25**, 86-107.

- SEGAWA, J., MATSUMOTO, T. and KAMINUMA, K. (1984): Free air gravity anomaly of Antarctic region. Spec. Map Ser. Natl Inst. Polar Res., No. 3.
- SHIBUYA, K. and ITO, K. (1983): On the flow velocity of the ice sheet along the traverse route from Syowa to Mizuho Stations, East Antarctica. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, **23**, 260-276.
- 鈴木弘道 (1976): 国際重力基準網 1971 と日本重力基準網 1975. 測地学会誌, **22**, 112-129.
- YANAI, K. and KAKINUMA, S. (1971): Measurement of gravity along the traverse route Syowa-South Pole. Report of the Japanese traverse Syowa-South Pole 1968-1969. JARE Sci. Rep., Spec. Issue, **2**, 131-150.
- YOSHIDA, M. and YOSHIMURA, A. (1972): Gravimetric survey in the Mizuho Plateau-West Enderby Land area, East Antarctica, 1969-1971. JARE Data Rep., **17** (Glaciology 1), 168-203.

(1990年12月3日受付; 1991年2月7日改訂稿受理)