

## あすか観測拠点と昭和基地間の重力結合および Rundvågshettaにおける重力測量

福田 洋一\*

### Gravimetric Connection between Asuka Camp and Syowa Station, and Gravity Survey on Rundvågshetta

Yoichi FUKUDA\*

**Abstract:** Gravimetric connection between Asuka Camp and Syowa Station was established during the summer activities of the 27th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-27). Gravity measurements were carried out by using two LaCost & Romberg gravimeters model G (G-477 and -805) at Asuka Camp on December 27th and 28th, 1985, and also at Syowa Station in early January, 1986.

Although the gravimetric connection was achieved only one way, data analyses were carried out successfully using all other gravity measurements during JARE-27 to detect drift rates and other instrumental parameters.

The gravity values at Asuka Camp were relatively determined from the value at Syowa Station within the accuracy of 0.2 mgals. Although it is not satisfactory compared with the recent precise gravity measurements, the accuracy is reasonable considering rather hard situations of the gravity measurements in Antarctica.

Another gravity survey was carried out on Rundvågshetta in late January, 1986. Eight gravity stations, including five triangulation stations, one astro-geodetic station and other points, were newly established in the area. The results of the survey were also reported briefly.

**要旨:** 第 27 次南極地域観測隊 (JARE-27) の夏季観測の一環として、1985 年 12 月末から 1986 年 1 月初旬にかけて、あすか観測拠点と昭和基地間の重力結合を実施した。使用した重力計はラコステ重力計 G-477 および G-805 の 2 台である。

今回の重力結合は、あすか観測拠点から昭和基地に向かう片道だけで実施されたため、データの解析にあたっては、JARE-27 で実施されたその他の重力測定の結果も考慮し、ドリフトレートなどのパラメーターを決定するなど細心の注意を払った。その結果、あすか観測拠点の重力値は、昭和基地との相対値として 0.2 mgal 程度の精度で決定することができた。この精度は、最近の精密重力結合の精度と比較して必ずしも満足のいくものではないが、南極における種々の測定条件を考慮すると妥当なものである。

一方、1986 年 1 月の下旬に Rundvågshetta において、同地域の重力異常を調べる目的で測地基準点など新たに 8 カ所の測定点で重力測量を実施した。その結果についても報告する。

### 1. はじめに

我が国におけるセールロンダーネ山地の地学調査は、第 25 次観測隊より実施され、第 26

\* 弘前大学理学部地球科学科。Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Hirosaki University, Bunkyo-cho, Hirosaki 036.

次観測隊においては、あすか観測拠点の開設、また、第 28 次観測隊からは、同地点における越冬観測開始など、今後ますます活発な観測活動が予定されている。

特に、同地域の重力測定に関しては、第 26 次観測隊により、あすか観測拠点の西方約 2 km に位置するシール岩に重力基準点が設置され、また、同点を基準としての重力測量も実施されている (森脇ら, 1985)。

しかしながら、あすか観測拠点と昭和基地とを、短期間に直接結んでの重力測定は、いまだ実施されておらず、セールロンダーネ地域での重力基準点を確立する意味で、あすか観測拠点と昭和基地との重力結合は、早急に実施すべき課題の 1 つであった。

幸い、第 27 次観測隊では、あすか観測拠点における夏季建設作業期間を利用して、同観測拠点およびシール岩の重力基準点での重力測定を実施することができ、昭和基地との重力結合を行うことができた。本報告では、その結果について述べる。

また、1986 年 1 月には、ルンドボークスヘッタにおいて重力測量を実施する機会を得た。同地域における重力測量は今回が初めてであり、測地基準点など 8 測点で重力測定を実施したのでその結果についても報告する。

## 2. あすか観測拠点と昭和基地間の重力結合

### 2.1. 測定

あすか観測拠点における重力測定は、1985 年 12 月 27, 28 日の両日に実施した。使用した重力計は、ラコステ重力計 G-477 および G-805 の 2 台である。

測定手順は、次の通りである。12 月 27 日午後、ブライド湾内停泊中の「しらせ」より、ヘリコプターであすか観測拠点に飛び、直ちに、シール岩の重力基準点およびあすか観測拠点観測棟内において測定を行った。さらに、翌 28 日、同観測棟内で再び測定を実施した後、雪上車であすか観測拠点の北約 70 km にある 30 マイル拠点まで移動、そこでの測定を実施し、その後ヘリコプターで「しらせ」にピックアップされた。これらの測定点の位置は図 1 に示す。

一方、「しらせ」がブライド湾からリュツォ・ホルム湾に回航した後、昭和基地での最初の重力測定は、1986 年 1 月 9 日に実施しており、あすか観測拠点と、昭和基地との重力結合は、約 12 日間でなされたことになる。

なお、重力測定の方法は、精密重力測定で通常行われているように、目視による 3 回読み取りにより、また、重力測定と同時に気圧、気温などの測定も実施した。

測定点間の移動に際しては、重力計にショックを与えないように細心の注意を払ったが、残念ながら、あすか観測拠点から 30 マイル拠点に向かう雪上車内において、雪上走行に伴う車内の激しい振動のため、G-477 の読みに、約 4 mgal のとびが生じたようである。この点については、後の解析においても十分に注意をはらった。

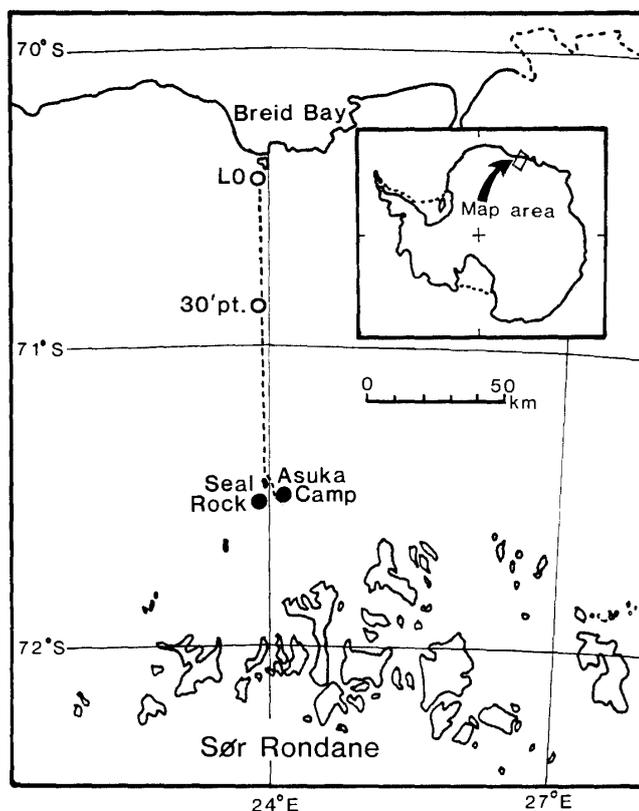


図 1 あすか観測拠点の位置  
Fig. 1. Location of Asuka Camp.

## 2.2. 解析

今回の重力測定では、残念ながら、あすか観測拠点と昭和基地との結合は片道しか実施できなかったため、重力計のドリフトを考慮すると、それだけで閉じた測定とはなりえなかった。このため、測定値の解析にあたっては、単に、あすか観測拠点および昭和基地での測定値を使用するだけでは不十分であり、第 27 次観測隊行動全体を通じての重力計の状態を考慮する必要がある。幸い、第 27 次観測隊では、海上重力計のキャリブレーションの意味もあり、「しらせ」の各寄港地においてラコステ重力計による測定も実施しているため、今回の解析にあたっては、晴海出港から帰港までのこれらの測定値全てを考慮に入れ、あすか観測拠点での重力値を決定することにした。

通常、ラコステ重力計での測定値の解析にあたっては、次のような解析方法が採用されることが多い。すなわち、

- 1) 各測定での読み取り値に、重力計ごとの常数の換算を行う、
  - 2) 地球潮汐、機械高などの補正を施す、
  - 3) 適当なドリフトモデルを仮定し、各測定点での重力値およびドリフトモデルのパラメーターを最小自乗法で同時に決定する、
- である。

しかし、今回のように1つの閉合した環が約160日もの期間に及び、しかも最大の重力差が約4.5 galにも達する測定では、この方法は必ずしも最適とは言えない。特に、重力差の点については、ラコステ重力計の製造会社から与えられている重力換算常数の精度は、せいぜい $10^{-3}$ - $10^{-4}$ 程度であることが知られており（たとえば、NAKAGAWA *et al.*, 1983), 4.5 galの重力差は、mgalオーダーでの誤差を招く可能性があり到底無視できない。

以上のような点を考慮して、今回は次のような解析方法を採用した。

まず、読み取り値には、制作会社から与えられている常数を用い上述の1)と同様の常数換算を行う。このようにして得られた換算値を $GR_n$ として、各重力計ごとに次のような観測方程式を考える。

$$GS_n^{(j)} = F^{(j)} \cdot GR_n + \sum_{i=0}^l D_i^{(j)} \cdot T_n^i + \sum_{i=0}^k S_i^{(j)} \cdot Z_{i,n} + \varepsilon_n, \quad (1)$$

ただし、

$GS_n$  : 各測定点の重力値（概算値）に潮汐、機械高を加えた値

$F$  : 重力計常数に対する補正係数

$D_i$  :  $i$  次のドリフト係数

$S_i$  :  $i$  番目のステップ量

$T_n$  : あるエポックから測定時までの経過時間

$Z_{i,n}$  : ステップの存在するとき1, それ以外は0

$\varepsilon_n$  : 残差

また、添字 $(j)$ は、後で述べるイテレーションのステップ数を示す。

式(1)右辺の第1項は、重力計常数に対する補正項、第2項は、重力計のドリフトに関する項、第3項は、重力計の読み取り値にとびが生じた場合（いわゆる、テアー）の補正項であり、それぞれ $F$ ,  $D_i$  および  $S_i$  が求めるべき未知係数である。

ここで、もし、左辺の各測定点の重力値の内、何点かの測定点でその値が既知であれば、式(1)を基に、最小自乗法により上記の未知係数の値を求めることができる。しかしながら、実際は、左辺の値も未知であるので、次のようなイテレーション計算を実行した。

- 1) 左辺の重力値として適当な概算値を与える
- 2) 最小自乗法で未知係数を求める
- 3) 新しく求めた係数で改めて各測定点の重力値を計算する
- 4) 新しい重力値を概算値として2の計算を繰り返す

なお、当然のことであるが、ラコステ重力計での測定は、すべて重力値の相対測定であるので、その重力計常数をも未知係数とした上記の方法では、最低2つの測定点の重力値は、常に固定しておかなければならないことに注意する。

実際の計算では、式(1)の左辺の測定点として、すべての測定点を含めることもできるが、各測定点での測定精度、重力差、測定間隔などを考慮して、図2に示された晴海（東京）、

フリマントル (オーストラリア), 地学棟 (昭和基地), ポートルイス (モーリシャス), センバワン (シンガポール) での測定を用いることとし, この内, 晴海および地学棟でのそれぞれの重力値  $979773.150 \text{ mgal}$  (私信) および  $982523.750 \text{ mgal}$  (神沼ら, 1984) は固定とした. 特に, 地学棟での重力値は, 現在, 昭和基地周辺地域の重力測定の基準として広く用いられている値であり, その値を固定することにより, 今回の解析結果も同じ重力基準値に準拠して得られることになる.

このほか, あすか観測拠点と距離的にも, 時間的にも近い, 西オーストラリア大学の重力値を固定することも考えられるが, 同大学の重力値 (IGSN 71 系に換算済み) は, 今回の測定結果と, 考えられる誤差の範囲を越える食い違いを示している. 今回の測定結果だけから結論を出すことは早計であるが, 同大学の重力値そのものに疑問が残る状況であり, その値を固定することは, 見合わせた.

なお, 計算に際しての式 (1) 右辺の各パラメーターの選び方として, 重力計 G-477 については, ドリフト係数は, 1 次までとし, 読み取り値のとびについては, 先に述べた理由によるあすか-30 マイル拠点間と, 野外測定中ショックがあり理由のはっきりしている昭和基地滞在中の 2 カ所にあるものと仮定した. また, G-805 については, 重力計が, 購入直後であったことを考慮し, ドリフト係数は, 2 次までとし, 読み取り値のとびはなかったものと

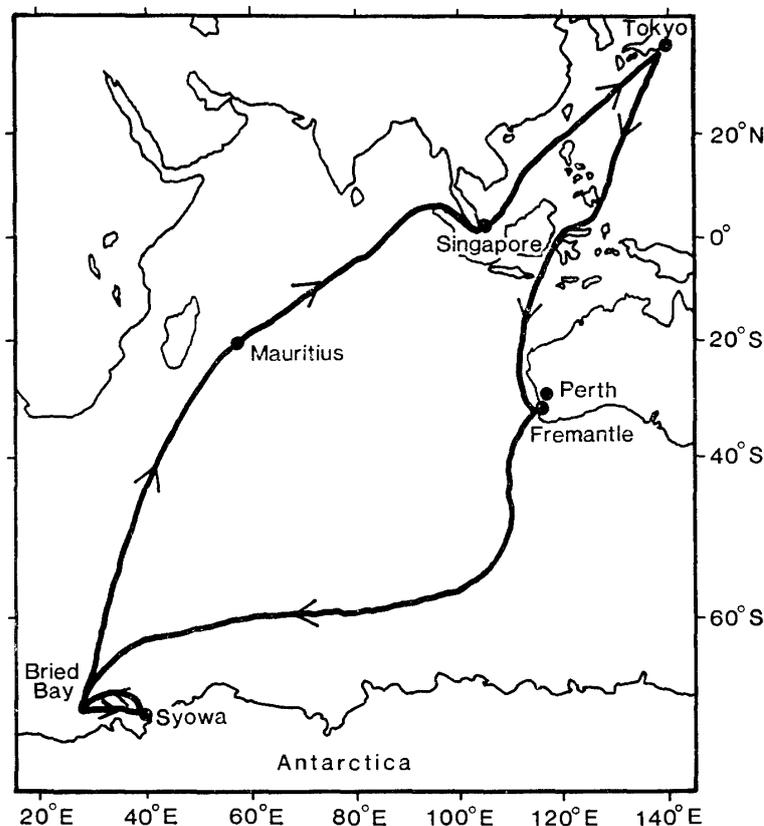


図 2 JARE-27 の「しらせ」の航跡

Fig. 2. Cruise track of Icebreaker SHIRASE during JARE-27.

仮定した。

以上のような仮定で計算を実行したところ、かなりラフな初期値から出発しても、ほぼ、20 回程度の繰り返し計算で、重力値にして  $\mu\text{gal}$  オーダーでの収束値を得ることができた。

### 2.3. 結果および考察

前節で述べた方法により得られた各重力計ごとのパラメーターを表 1 に、また各測定点での重力値を表 2 に示す。なお、表 1 の値は、測定値に対する補正量で示されていることに注意する必要がある。例えば、1 次のドリフト係数 ( $D_1$ ) が負になっているのは、重力計のドリフトとしては、正であることを示す。

表 1 を見ると、重力計の常数補正係数 ( $F$ ) が、G-477、G-805 共に 1 より小さくなっていることに気付く。一般にラコステ重力計 G 型の常数補正係数は、1 より大きくなるのが普通で (NAKAGAWA *et al.*, 1983)、G-477 および G-805 の 2 台の補正係数が偶然 1 より小さくなったとは考え難い。今回の補正係数の計算では、晴海と昭和基地地学棟での重力値を

表 1 各重力計のパラメーター

Table 1. Determined parameters for each gravimeter.

Parameters	G-477	G-805
$F$	$0.99978670 \pm 0.00008089$	$0.99973403 \pm 0.00005514$
$D_0$ (mgal)	$976358.698 \pm 0.313$	$976449.259 \pm 0.203$
$D_1$ (mgal/day)	$-0.03260 \pm 0.00417$	$-0.03235 \pm 0.00529$
$D_2$ (mgal/day <sup>2</sup> )	—	$0.00002419 \pm 0.00003490$
$S_1$ (mgal)	$3.765 \pm 0.458$	—
$S_2$ (mgal)	$-0.413 \pm 0.131$	—

表 2 重力結合の結果

Table 2. Results of gravimetric connection.

Station	Gravity value (mgal)	Error* (mgal)	Latitude	Longitude	Height (m)
Harumi	979773.150**	0.454	35°38.6' N	139°46.6' E	2.0
Fremantle, Booth No. D	979401.308	0.311	32 3.1 N	115 44.6 E	3.5
Univ. of Western Australia	979380.711	0.174	31 58.5 S	115 47.0 E	10.0
Seal, Gravity Station	982402.516	0.261	71 31.5 S	24 4.2 E	983.0***
Asuka, Observation room	982386.319	0.223	71 31.6 S	24 8.3 E	930.5***
30 mile point	982521.986	0.023	70 53.0 S	23 55.0 E	344***
Chigakuto, Syowa station	982523.750**	0.406	69 0.3 S	39 35.3 E	21.3
Port Louis, Berth No. 2	978906.139	0.046	20 9.0 S	57 30.0 E	2.0
Sembawang, Berth No. 6	978070.783	0.184	1 27.8 N	103 50.1 E	2.8
Sembawang, North gate	78070.851	0.104	1 27.9 N	103 50.1 E	3.0

\* Maximum gravity difference among the measurements.

\*\* Gravity values are fixed as the references.

\*\*\* Geodetic values were determined by JMR observations.

既知として求めたが、この仮定が必ずしも妥当でなかったと考えられる。

晴海での重力値は、国土地理院の重力基準点での重力値を基準に国内の重力結合の結果得られた値であるので、絶対値で 0.2 mgal 程度の精度を有していると考え、今回の結果は、昭和基地での重力値が、実際より若干小さ過ぎる可能性を示していることになる。昭和基地での絶対重力測定が望まれる由縁である。

表 1 におけるその他の各パラメーターは、ドリフトレート、テアーの量などほぼ予想していた値であり、妥当なものと思われる。

今回の重力結合の第 1 目的であるあすか観測拠点での重力値としては、表 2 に示されたようにシール岩の重力点で 982402.516 mgal、あすか観測拠点観測棟内で 982386.319 mgal の値を得た。また、昭和基地地学棟との重力差としては、それぞれ -121.234 mgal および -137.431 mgal である。なお、これらの値の精度であるが、絶対値に関しては、基準点での絶対重力精度が不明であるため言及できないが、昭和基地との相対精度に関しては、表 2 の第 2 列に示した各測定点での最大の食い違い量や、表 1 での各パラメーターの誤差、また、昭和基地とあすか観測拠点間での重力差がそれほど大きくない点などを考慮すると、0.2 mgal 以上の精度を有しているものと考えることができる。この値は、最近の精密重力測定の精度を考えると必ずしも満足のいくものではないが、今回の測定が、片道測定であったこと、移動手段として一部雪上車を利用せざるをえなかったことなどを考え合わせるとまず妥当なものと思われる。今後、航空機を全面的に利用し、できるかぎり短期間に往復測定を実施することにより、さらに高精度の重力結合が望まれる。

### 3. ルンドボックスヘッタにおける重力測量

1986 年 1 月 24 日から 26 日にかけて、ルンドボックスヘッタにおいて同地域の重力異常を調べることを目的として重力測量を実施した。測定点は、図 3 に示すとおりである。なお、図中の斜線部は、池の位置を示している。

測定は、昭和基地地学棟重力点を基準としルンドボックスヘッタのヘリポートに仮の基準点 (G1) を設け、その間は往復測定により、また、その他の測定点については、仮の基準点で、ループを閉じる方法により実施した。各測定点間の移動は、昭和基地とルンドボックスヘッタのヘリポート間は、ヘリコプターにより、そのほかは徒歩である。なお、測定に使用した重力計は、G-477 である。

測定結果は表 3 に、また、フリーエアおよび単純ブーゲー異常図を図 4 および図 5 に示す。なお、表 3 の重力値は、昭和基地地学棟の重力値を 982523.75 mgal として計算したものである。また、各測定点の位置ならびに標高は、1/25000 の地形図 (図名ルンドボックスヘッタおよびルンドボックスヘッタ西部) によったが、G1 および G2 の各測定点の標高については、簡易ハンドレベルによる海水面からの高さを用いた。測定点 G1 は、先に述べたよう

に、仮の重力基準点として設置したものであり、また、G2 は海岸線近くでの測定点の空白を補う意味で追加したものである。

そのほか、フリーエア異常ならびにブーゲー異常の計算に際して採用したパラメーターな

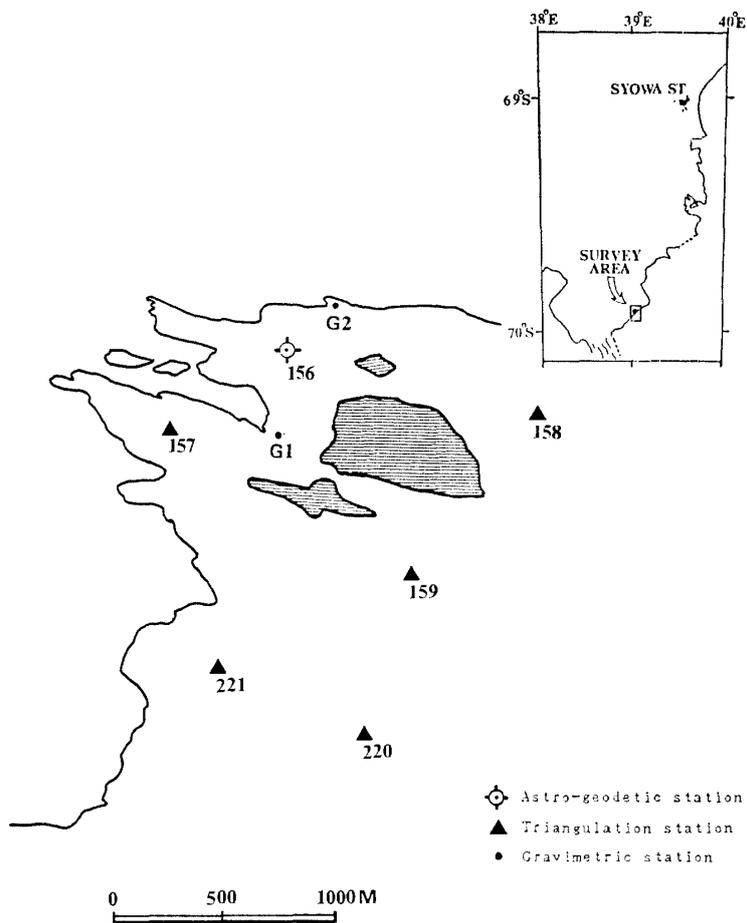


図 3 ルンドボークスヘッタにおける重力測定点の位置  
 Fig. 3. Locations of gravity stations in Rundvågshetta.

表 3 ルンドボークスヘッタにおける重力測量結果

Table 3. Results of gravity survey on Rundvågshetta.

Station	Latitude	Longitude	Height (m)	Gravity (mgal)	Free-air (mgal)	Bouguer (mgal)
G1	69°54.3' S	39°0.9' E	5.80*	982 566.161	-35.21	-35.86
G2	69 54.0	39 1.3	8.90*	982 565.689	-34.44	-35.43
156	69 54.1	39 1.0	44.70	982 557.537	-31.64	-36.64
157	69 54.3	39 0.2	38.80	982 558.745	-32.45	-36.79
158	69 54.0	39 2.8	54.10	982 556.336	-29.84	-35.90
159	69 54.7	39 1.9	104.00	982 545.828	-25.63	-37.27
220	69 55.1	39 1.5	159.30	982 534.176	-20.61	-38.44
221	69 54.9	39 0.6	88.10	982 547.921	-28.64	-38.50

\* Values are determined from sea surface by means of hand level.

どは、次に示す。

標準重力式 重力式 1967  
 フリーエア勾配 0.3086 mgal/m  
 仮定密度 2.67 g/cm<sup>3</sup>  
 地形補正 なし

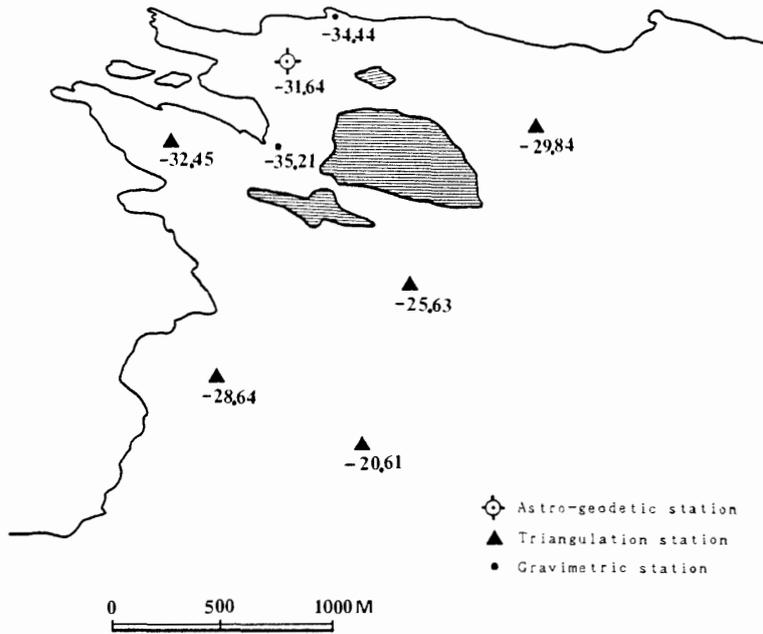


図 4 ルンドボークスヘッタのフリーエア異常図  
 Fig. 4. Free-air gravity anomalies in Rundvågshetta.

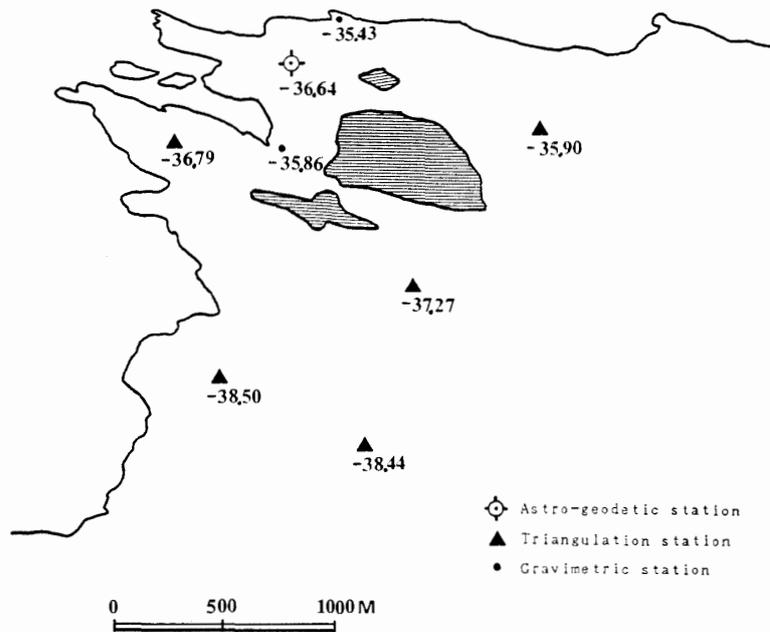


図 5 ルンドボークスヘッタの単純ブーゲー異常図  
 Fig. 5. Simple Bouguer gravity anomalies in Rundvågshetta.

表3のブーゲー異常の値を見ると各測定点間での違いはそれほど大きくなく、重力測定精度や、仮定密度の不確かさ、地形補正を施していないことを考慮すると同地域内において、測定点ごとに有為な差があるかどうかを判定することは困難である。しかしながら、一般的な傾向として、リュツォ・ホルム湾沿岸地域のブーゲー異常は、白瀬氷河に向かって南へいくほど小さくなることが知られているが、今回の測定結果もその傾向と矛盾しない。

図6を見ると、標高とフリーエア異常の間はかなり良い正の相関があることに気付く。この関係を、地形による質量の過不足がそのまま重力に反映されたためと考え、この地域の平均的な密度は、最小自乗法で求めた両者の勾配  $0.09282 \text{ mgal/m}$  の値から  $2.21 \text{ g/cm}^3$  と推定される。一方、標高とブーゲー異常の関係については、負の相関を示しているように見えるが、ブーゲー異常の値については、先に述べたように、不確定な要素が多いため、必ずしも意味あるものかどうかは不明である。例えば、当然のことであるが、仮定密度を先に述べた  $2.21 \text{ g/cm}^3$  としてブーゲー異常を計算すると、図6のような負の相関は、見られなくなるはずである。

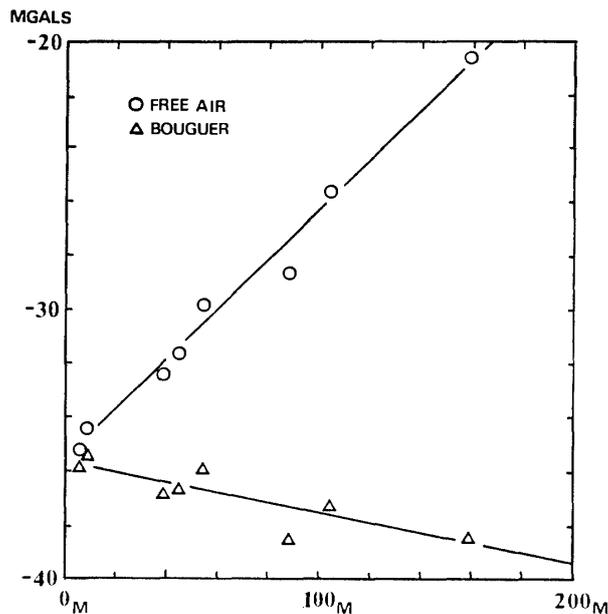


図6 ルンドボークスヘッタにおける重力異常と標高の関係  
Fig. 6. The relationships between gravity anomalies and altitudes in Rundvågshetta.

#### 4. ま と め

第27次南極地域観測隊の夏季観測の一環として実施した、あすか観測拠点と昭和基地間の重力結合とルンドボークスヘッタにおける重力測量の結果について報告した。

あすか観測拠点と昭和基地間の重力結合では、測定が片道であったこと、また、移動の一部に雪上車を利用せざるを得なかったことなど重力結合という意味では必ずしも最適の条件ではなかったが、測定に2台の重力計を使用できたことや、解析にあたり十分な注意を払う

ことにより、相対精度として 0.2 mgal を上回る重力結合をなしえたと考えられる。

今後、セールロンダーネ地域での本格的な地学調査に伴い、同地域における重力測量もその重要性を増してくると思われるが、今回の重力結合は、その際の重力基準値を与えるものとして貴重なものである。しかしながら、最近の精密重力結合と比べると、精度的には、必ずしも満足のいくものではないので、今後、繰り返し重力結合を行うことにより、さらに精度の向上を計ることが必要であろう。

ランドボックスヘッタにおける重力測量は、今回初めて実施されたものであり、リュツォ・ホルム湾沿岸地域での重力データ蓄積という意味で価値あるものである。陸上における重力測定は、他の地球物理学的観測に比べ比較的容易に実施できるので、今後も機会のあるたびに重力測定を実施し、データの蓄積ならびに精度の向上を計ることが望ましい。

### 謝 辞

国立極地研究所の神沼克伊教授には、観測計画の段階からデータ整理に至るまでさまざまな助言ならびに協力をいただいた。深く謝意を表す次第である。また、重力測定を実施するにあたり、多忙な夏季作業期間中にもかかわらず数々の便宜を計っていただいた吉田栄夫観測隊長をはじめ第 27 次南極地域観測隊隊員の各位に心から感謝の意を表す。

南極といった特殊な地域で観測を行うにあたっては、輸送ならびに観測支援にあたられる倉田艦長はじめ、「しらせ」乗組員各位の協力が不可欠であった。ここに改めてお礼申し上げる。

### 文 献

- 神沼克伊・阿部 馨・田中 等 (1984): 昭和基地での水準測量と重力測量. 南極資料, 83, 62-74.  
NAKAGAWA, I., NAKAI, S., SHICHI, R., TAJIMA, H., IZUTUTA, S., KONO, Y., HIGASHI, T., FUJIMOTO, H., MURAKAMI, M., TAJIMA, K. and FUNAKI, M. (1983): Precise calibration of scale values of LaCoste & Romberg gravimeters and international gravimetric connections along the Circum-Pacific zone (final report). Kyoto, Kyoto Univ., 117 p.  
森脇喜一・白石和行・岩田修二・小嶋 智・鈴木平三・寺井 啓・山田清一・佐野雅史 (1985): セールロンダーネ山地地学調査報告 1985 (JARE-26), 南極資料, 86, 36-107.

(1986 年 7 月 14 日受理; 1986 年 8 月 11 日改訂稿受理)