

第3次南極地域観測隊重力部門報告

原田美道*・鈴木弘道**

柿沼清一***・吉田新生****

REPORT ON THE GRAVITY MEASUREMENT BY THE JAPANESE ANTARCTIC RESEARCH EXPEDITION, 1958-59.

Yoshimichi HARADA*, Hiromiti SUZUKI**,
Seiichi KAKINUMA*** and Arao YOSHIDA****

Abstract

During the period of the second Japanese Antarctic Research Expedition, 1957-58, gravimeter observations were carried out on very closed pack-ice in Lützow-Holm Bay and no pendulum observation was made in the Antarctic region. A Worden gravimeter used for this measurement had a stable and small drift, which was confirmed by continuous readings at Singapore and Cape Town, and also by examining the observed closure at Cape Town after the voyage in Antarctica. Based on this experience, it was expected that the gravity value at Syowa station would be determined by means of the gravimeter with the accuracy of few milligals. Thus, the gravimeter observation only was carried out in the third expedition and the pendulum apparatus was not employed.

In the case of relative measurement of gravity between two stations with a large gravity difference by means of gravimeters, serious errors might be caused by occurrence of drift and also by uncertainty of scale factor of the gravimeters. An error in reading a large dial of the Worden

gravimeter placed on the ground at Syowa station is so small that it is safely neglected. The gravimeter was kept at Syowa station from January 26, to February 4, 1959. A drift rate, +0.29 milligal per day was observed for this period, which agrees well with a value, +0.28 milligal per day, deduced from the closure, 17.2 milligals, at Cape Town after 61.8 days' voyage in Antarctica including above mentioned period. Since stable drift was also observed at Singapore and Cape Town, it was confirmed that this gravimeter had a rather stable drift during the whole period of the third expedition. The error caused from the ununiformity of the drift on the result might be less than a few milligals.

On the other hand, no definite estimation of the uncertainty of the scale factor of the gravimeter has been obtained. As to the small dial, calibration measurements were carried out along a calibration line in Japan with a gravity difference of 202.6 ± 0.3 milligals, which was determined by the GSI pendulum apparatus, before and after each expedition.

* 地理調査所, 第2次及び第3次南極地域観測隊員. Geographical Survey Institute. Member of the Japanese Antarctic Research Expeditions, 1957-58 and 1958-59.

** 地理調査所, 第2次南極地域観測隊員. Geographical Survey Institute. Member of the Japanese Antarctic Research Expedition, 1957-58.

*** 地理調査所, 第2次, 第3次及び第4次南極地域観測隊員. Geographical Survey Institute. Member of the Japanese Antarctic Research Expeditions, 1957-58, 1958-59 and 1959-60.

**** 地理調査所, 第3次南極地域観測隊員. Geographical Survey Institute. Member of the Japanese Antarctic Research Expedition, 1958-59.

Since no calibration measurement for the large dial has been made, values given by the manufacturing company were used for calculating the gravity value at Syowa station. This fact may cause an error of few milligals on the result. Therefore, it is estimated that the final accuracy of the gravity value at Syowa station might be within a few milligals.

The result is:

$g_{\text{Syowa station}}$	=982.540
Latitude	69°00.4' S
Longitude	39°35.4' E
Height	29.2 m,

relative to

$$g_{\text{Cape Town}} = 979.6470,$$

which was determined by means of the GSI pendulum apparatus in the second expedition, 1957-58, and agrees well with the value, 979.6468, obtained by D.I. GOUGH by using a Cambridge pendulum apparatus in 1956-57.

Besides the observation at Syowa station, as-

tronomical point, five stations have been established in East & West Ongul Islands. Gravity values at these stations were determined referring to Syowa station with the relative accuracy of 0.1 milligal. Distribution of gravity anomalies in Ongul Islands is shown in Figs. 2 and 3.

Like the case of second expedition, the gravimeter was used for the measurements on very closed pack-ice in the third expedition with a probable accuracy of about ten milligals. Results of observations in pack-ice region by both expeditions are summarized in Fig. 4, in which distribution of gravity anomalies, without taking into account the depth of ocean, is shown.

The values of gravity anomaly in Lützw-Holm Bay are over +50 milligals which far exceeds the estimated error, while those at Syowa station are all negative. It is concluded from this fact that a large gradient of gravity anomaly must be existent along the coast of Lützw-Holm Bay.

1. 序

第2次南極観測(1957~1958)では、観測船“宗谷”がLützw-Holm湾内で密群氷に閉じこめられたため、昭和基地で重力振子の観測を実施できず、氷上でWorden重力計の観測だけが行なわれた。途中の寄港地Singapore, Cape Townでは、重力振子の観測が実施され、日本との比較測定が完成された¹⁾。これらの経験によつて、昭和基地での重力振子観測には、相当の困難を伴うが、Worden重力計の観測は比較的容易であり、数mgalの精度を期待できることが明らかになった。このようなわけで、第3次観測では、Worden重力計の観測だけが計画、実施され、オングル島内で昭和基地外5点、Lützw-Holm湾の密群氷上で7点観測された。なお往復の途中、Singapore, Cape Townで、第2次観測で実施された重力振子測定点での観測、および他の点との比較測定が実施された。

2. 測定値の精度

重力計による比較測定の精度は、主として重力計のdriftと定数検定の精度でおさえられる。これらによる誤差をくわしく検討しなければならない。

重力計による大陸間の比較測定は、航空機によつてすみやかに往復し、driftの影響をできるだけ小さくするのが普通である。しかるに南極観測の場合には、Cape Townを出てから帰

るまで 60 日以上かかるから、drift の影響は大きくなる。第 2 次観測では、寄港中の観測によつて drift がほぼ一様に起こることが確かめられており、Cape Town を出てから帰るまで、88.1 日間の drift が +17.5 mgal、従つて 1 日当り +0.20 mgal で比較的小さかつたので、南極地域での観測値に対して、数 mgal 以上の誤差を生じないことが結論されたのであつた。第 3 次観測についても、測定の方法は同様であり、drift の状況もまた同様であつた。両観測の全期間について、航海中および寄港中の drift を示すと、第 1 表のとおりである。使用した重力計は、両観測とも同じもので、Worden 重力計 No. 346 である。

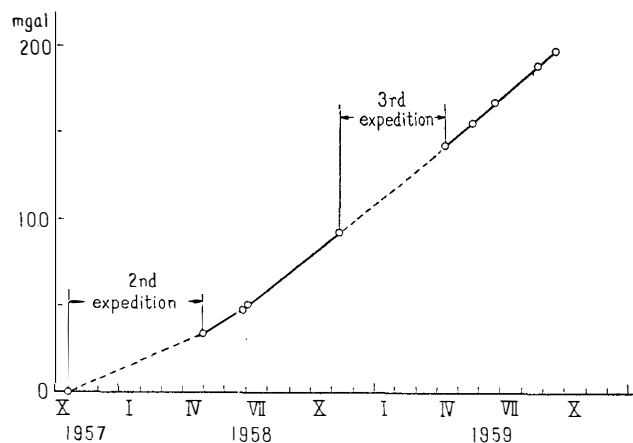
第 1 表 第 2 次及び第 3 次観測に使用された Worden 重力計の drift

Table 1. Drift rate of the Worden gravimeter used for the 2nd and 3rd J.A.R.E.

	第 2 次 観 測 Second expedition		第 3 次 観 測 Third expedition	
	日 数 Duration (days)	Drift per day (mgal)	日 数 Duration (days)	Drift per day (mgal)
Japan (before start)	—	—	44.8	+0.34
Japan → Singapore	15.2	-0.12	13.1	+0.08
Singapore	5.0	+0.02	2.9	+0.54
Singapore → Cape Town	24.5	+0.15	23.3	+0.39
Cape Town	6.8	+0.17	3.1	+0.50
Cape Town ⇄ Antarctica	88.1	+0.20	61.8	+0.28
Syowa Base	—	—	8.1	+0.29
Cape Town	3.9	+0.16	6.9	+0.32
Cape Town → Singapore	27.8	+0.17	24.8	+0.30
Singapore	6.0	+0.22	4.0	+0.37
Singapore → Japan	17.1	+0.36	13.1	+0.53
Japan (after return)	17.0	+0.23	12.1	+0.33

ただし航海中の drift は、第 2 次観測で実施された重力振子による比較測定の結果とくらべて求められた。振子の測定結果は、0.5 mgal 程度の誤差を含んでおり、後述する重力計定数の誤差もあるから、こうして求められた航海中の drift は、寄港中連続観測から決められたものより、信頼度が低い。寄港中は、重力計を振子測定点において毎日数回観測し、その間の drift を定めた。

第 1 表をみると、第 3 次観測の期間中は第 2 次観測より、一般に drift が大きい。このことは、第 2 次観測が、製作会社から送られた直後であつて、部分的に負の drift を示したこともあり、その後次第に現在の状態に落ち着いたものと思われる。寄港中の drift に大きいものがあ



第 1 図 Worden 重力計の drift の総量

Fig. 1. Total drift of the Worden gravimeter.

るのは、その間に付近の比較測定を行ない、重力計を動かしたためと考えられる。1957年10月重力計を購入して以来、driftの総量は第1図に示した通りであつて、1958年4月からほぼ一様とみなすことができる。

第3次観測では、1959年1月26日から2月3日まで8.1日間、重力計を昭和基地において観測することができた。この間のdriftは1日当たり+0.29 mgalであり、これを含むCape Town・南極地域往復間のdrift、+0.28 mgalとよく一致している。よつてこの往復の間、driftは+0.28 mgal/日として補正した。もしこの間でdriftが一様に起こつていなければ、昭和基地の重力値に誤差を生ずる。その大きさを明らかにすることはできないが、この間のdriftの総量17.2 mgalより遙かに小さく、2~3 mgal以下と考えられる。

次に問題となるのは重力計の定数——calibration factorである。Worden重力計にはlarge dialとsmall dialとがある。small dialで測定できる範囲は、約80 mgalに過ぎないから、それより重力差が大きい場合、resetせずに比較測定するにはlarge dialによらねばならない。small dialについては、東京——柿岡検定線（重力差 202.6 ± 0.3 mgal、重力振子による比較測定値）で検定した。その結果は次の通りである。

第2表 Small dialの定数
Table 2. Calibration of small dial constant.

観測年月日 Date of observation	Calibration constant mgal/division	備考 Remarks
——	0.1047(7)	製作会社から与えられたもの Value of the constant given by the maker
1957 X	0.1045 ₈	
58 VI	0.1045 ₃	
VIII	0.1044 ₅	
IX	0.1044 ₃	
59 V	0.1042 ₆	
VII	0.1043 ₀	
X	0.1041 ₄	

第2表をみると、与えられた値と第1回の検定結果とでは2/1,000の差であり、これは振子による比較測定値の誤差と同程度である。しかしその後の検定では減少する傾向をみせており、減少量は定数決定の相対的精度1/1,000を超えていることに注意しなければならない。

本重力計は測地用で、large dialによつて赤道から緯度76°付近まで、測定できるものであるが、このように重力差の大きい範囲について検定することができなかつたため、large dialについては、製作会社の検定結果をそのまま使用した。その精度は明らかでないが、small dialの場合などから想像して、1/1,000程度は確実であろう。これはCape Town・昭和基地間、約3,000 mgalに対して3 mgalとなる。large dialについても定数の経年変化があるかもしれないが、small dialの場合より小さいことが予想される。しかしlarge dialについても、重力差3,000 mgal以上の間を、飛行機で速やかに往復測定するような、完全な検定を実施す

ることが必要である。

以上のように、定数の誤差は drift より大きい影響をおよぼすことがある。これらにくらべて重力計の観測——読み取り自体の誤差は遙かに小さい。small dial の読み取りは 1/10 目盛即ちほぼ 0.01 mgal まで、単観測に対する標準偏差は 0.03 mgal 程度である。large dial については、1 目盛以下の端数は読まないが、small dial を併用して観測する場合の標準偏差も 0.1~0.2 mgal に過ぎない。これらを総合して、昭和基地の重力測定値の精度は数 mgal と考えられる。

一方密群氷上の測定については、前回の報告でのべたとおり、氷の上下運動のため、観測値の精度は約 10 mgal と考えられる。この場合には drift の非一様性および定数から生ずる誤差は問題にならない。

3. 測 定 結 果

Ongul 島内での測定結果は第 3 表に示したとおりである。昭和基地天測点では 5 回の観測があり、おのおのに drift の補正をしてから平均した。比較測定の基準点として、Trigonometrical Survey Office, Cape Town の振子測定の結果 $979,6470 \text{ cm/sec}^2$ ¹⁾ をとつた。これは 1956~57 年、Cambridge 振子によつて GOUGH がえた値、 $979,6468 \text{ cm/sec}^2$ ²⁾ ともよく一致している。

第 3 表 オングル島における重力観測結果

Table 3. Results of gravity measurement in Ongul Islands.

観測点 Station	緯度 Latitude	経度 Longitude	真高 Height	観測年月日 Date of obs.	g	g_0	g_0''	γ_0	$g_0 - \gamma_0$	$g_0'' - \gamma_0$
Syowa station	69°00.4' S	39°35.4' E	29.2m	1959 I. 26	982.539 95					
				" "	540 13					
				II. 2	539 93					
				III. 3	540 15					
				" "	540 37	982.549 1	982.545 8	982.554 9	mgal -5.8	mgal -9.1
mean	540 1	549 1	545 8	554 9						
East Ongul Point 1.	69 00.6	39 35.2	43.4	I. 26	537 0	550 4	545 5	555 1	-4.7	-9.6
" 4.	69 01.1	39 35.6	35.4	II. 3	537 7	548 6	544 7	555 6	-7.0	-10.9
" 5.	69 00.4	39 36.8	41.2	" "	534 0	546 7	542 1	554 9	-8.2	-12.8
" 6.	69 00.7	39 36.5	40.7	" "	535 5	548 1	543 5	555 2	-7.1	-11.7
West Ongul Point 7.	01.0	32.6	40.3	II. 2	540 1	552 5	548 0	555 5	-3.0	-7.5
" 8.	—	—	—	" "	543 3	—	—	—	—	—

重力計を昭和基地においた間に、東 Ongul 島内 4 点、西 Ongul 島内 2 点の観測が行なわれた。これは天測点を基準点とする比較測定であり、small dial だけで測定できるものであ

る。従つて測定結果の絶対値は、天測点の値と同じ誤差を含んでいるが、比較測定としては 0.1 mgal の精度をもっており、定数の誤差は問題にならず、もちろん **drift** の影響も補正されている。

東 Ongul 島の観測点は、第 1 次観測で設置した三角点である。これらには永久標識はのこされていながつたが、付近の最高点であるから、観測の際位置の狂いはなかつたと思われる。位置と高さは第 1 次観測の三角測量の結果である。西 Ongul 島では、まだ三角測量が実施されていない。観測点 2 点のうち 1 点は、第 3 次観測で撮影した航空写真から標定したが、他の 1 点については、空中三角測量をその付近まで延長することができないため、位置、高さがしれていない。

第 3 表中、 g_0 , g_0'' はそれぞれ、

$$g_0 = g + 0.3086 h$$

$$g_0'' = g + 0.3086 h - 2\pi k \rho h$$

ただし、

g : 高さ $h \text{ m}$ における重力実測値

k : 万有引力の定数

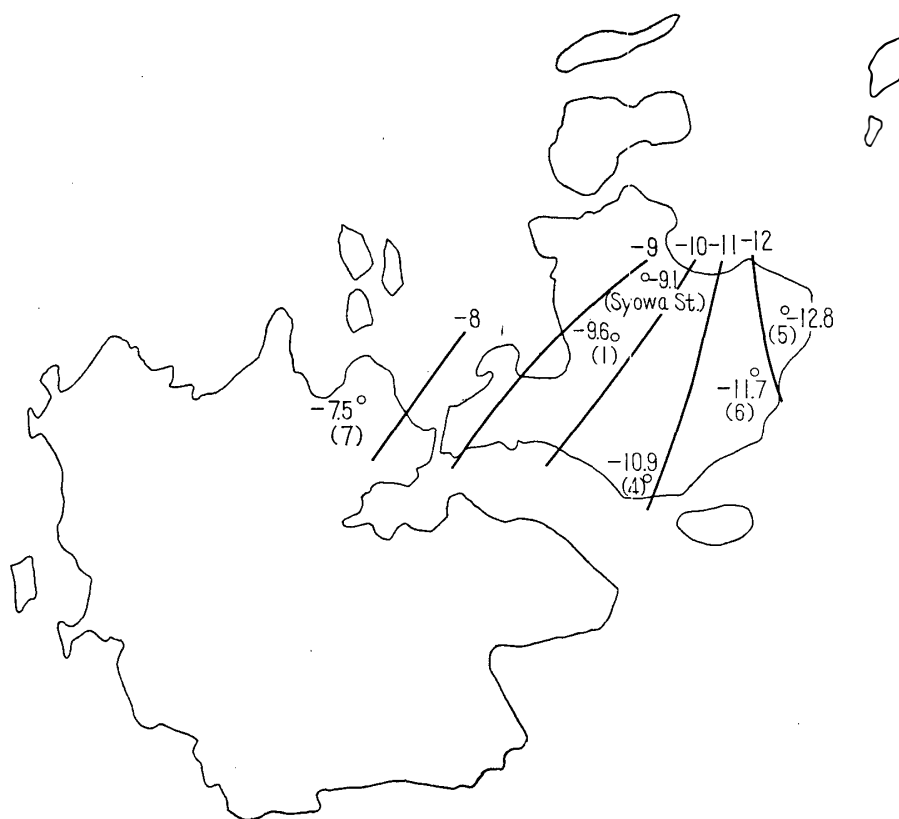
ρ : 地殻をつくる岩石の密度

で表わされ、重力実測値にそれぞれ高度補正、**BOUGUER** 補正をした値である。密度は普通の



第 2 図 オングル島の高度異常

Fig. 2. Distribution of free air anomalies in Ongul Islands (in milligal).



第3図 オングル島のブーゲー異常

Fig. 3. Distribution of BOUGUER anomalies in Ongul Islands (in milligal).

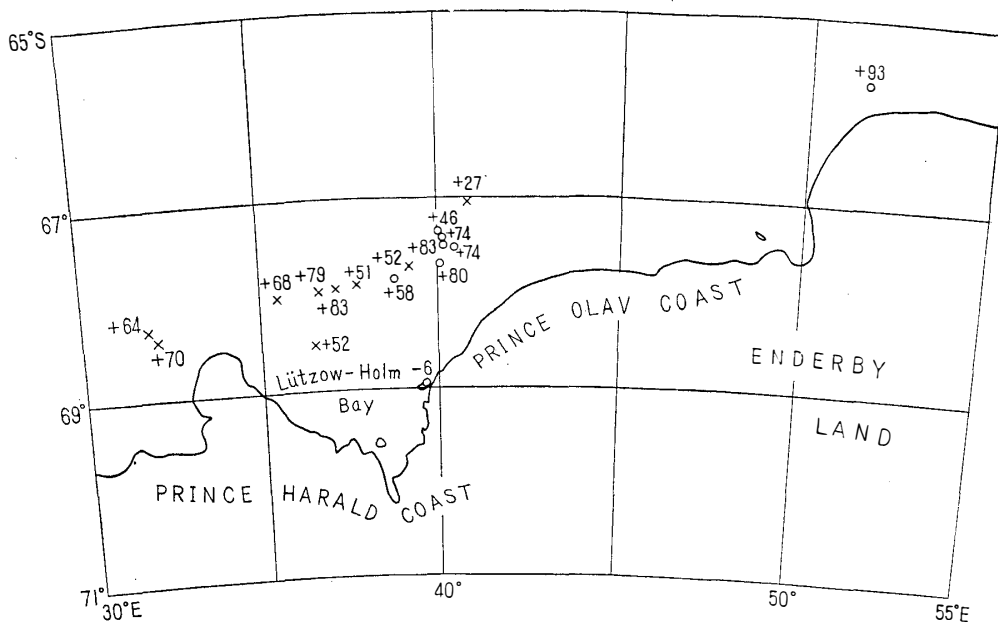
第4表 リュッツォウホルム湾における重力観測結果

Table 4. Results of gravity measurement in Lützw-Holm Bay.

緯度 Latitude	経度 Longitude	水深 Depth	観測年月日 Date of obs.	g	γ_0	$g-\gamma_0$ (mgal)	備考 Remarks
67°04' S	40°50' E	3875m	1957 XII. 26	982.460	982.433	+27	2nd expedition
45	39 12	3280	1958 I. 5	529	477	+52	
51.5	37 43.5	3395	12	535	484	+51	
56.7	07.8	1975	17	572	489	+83	
68 00.5	36 39.0	2360	20	572	493	+79	
03.4	35 30.0	1690	23	564	496	+68	
27.0	32 18.5	375	30	591	521	+70	
19.9	31 50.0	510	II. 1	577	513	+64	
32.0	36 30.0	880	9	582	526	+52	
"	"	885	10	575	"		
"	"	895	14	577	"		
65 41	51 31	2500	1959 I. 2	982.434	982.341	+93	3rd expedition
67 24	40 02	2780	11	501	455	+46	
28.3	08.0	2750	12	533	459	+74	
31	11	3300	"	545	462	+83	
33	27	3120	13	538	464	+74	
43	05	2025	17	555	475	+80	
52	38 50	3265	23	542	484	+58	

場合のように 2.67 とした。なお地形補正は考慮してない。γ₀ は重力の国際式で与えられる標準重力値である。高度異常 $g_0 - \gamma_0$ 、および BOUGUER 異常 $g_0'' - \gamma_0$ の分布を第 2 図、第 3 図に示した。

密群氷上の観測結果は第 4 表のとおりである。この表には第 2 次観測の結果もあわせて記してある。重力異常の計算では、観測点の海面上の高さは無視し、海の深さも考慮に入れていない。従つてこれは陸地についての高度異常に相当するものである。この分布は第 4 図に示してある。



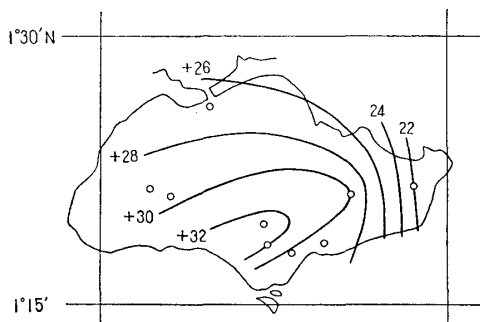
第 4 図 南極の高度異常

Fig. 4. Distribution of free air anomalies in Antarctica (in milligal).

×……第 2 次観測 Observation by the 2nd expedition, 1957~8
 ○……第 3 次観測 Observation by the 3rd expedition, 1958~9

第 4 図をみると、第 2 次、第 3 次両観測で観測点が近いものについては、誤差の範囲内で一致している

とみなすことができる。重力異常の大きさは +50 mgal 以上であり、これは誤差の範囲を超えている。このことから、大陸の縁約 150 km の間に、かなり大きい重力異常の傾斜を考えねばならない。



第 5 図 シンガポールのブーゲー異常

Fig. 5. Distribution of BOUGUER anomalies in Singapore Island (in milligal).

なお往復の途中 Singapore で、第 2 次観測の際測定した 7 点を再測した。その結果を第 2 次観測の結果とまとめて第 5 表に示した。BOUGUER 異常の分布は第 5 図のとおりである。この図には前回の

報告で、高さがしれなかつたため除外した点も含んでいる。

第5表 シンガポールにおける重力観測結果

Table 5. Results of gravity measurement in Singapore Island.

観測点 Station	緯度 Latitude	経度 Longitude	真高 Height	日付 Date	g	g_0	g_0''	γ_0	$g_0 - \gamma_0$	$g_0'' - \gamma_0$	密度 Density of crust
University of Malaya	1°19.1' N	103°49.1' E	19.20 m		978.08050	978.08643	978.08447	978.0517	+34.7	+32.8	2.44
Mount Elizabeth (1)	1 18.3	103 50.2	19.21	A	07982	08575	08380	0517	+34.0	+32.1	2.42
" (2)	1 18.3	103 50.2	18.53	A	08007	08579	08391	0517	+34.1	+32.2	"
Raffles Museum	1 17.8	103 51	8.02	A, B, C, D	07984	08231	08147	0516	+30.7	+29.9	2.49
Kallang Airport	1 18.4	103 52.5	3.05	A, B	08062	08156	08125	0517	+29.9	+29.6	2.42
Jurong BM 23	1 20.5	103 41.5	7.96	A, B	08000	08246	08159	0518	+30.7	+29.8	2.61
Nanyang University	1 20.7	103 41.4	28.87	A, B, C	07561	08452	08130	0518	+32.7	+29.5	2.66
Woodland BM 33	1 26.8	103 46.3	7.78	B, C	07756	07996	07914	0523	+27.7	+26.8	2.52
Changi Stand. BM 4	1 21.4	103 58.3	27.52	B, C	06856	07705	07398	0519	+25.2	+22.1	2.66
Singapore Airport	1 20.9	103 54.2	12.89	B, C, D	07941	08339	08193	0518	+31.6	+30.1	2.70

日付 Date A 1957, X, 7
B 58, IV, 11
C 58, XI, 25
D 59, III, 31

オングル島内の観測は、村内・北村両隊員によるものである。寄港地での測定については、現地機関の方々にお世話になった。ここに厚く感謝する次第である。

文 献

- 1) 原田美道・鈴木弘道・大橋伸一：第2次南極地域観測隊重力部門報告。南極資料。No. 6, 334~345 (1959).
- 2) D. I. Gough: A new determination of the differences in gravity between the N. P. L. Teddington and the South African fundamental and secondary stations. The Geophysical Journal, 1, 298~307 (1958).