

昭和基地での水準測量と重力測量

神沼克伊*・阿部 馨**・田中 等**

Leveling and Gravity Surveys at Syowa Station, Antarctica

Katsutada KAMINUMA*, Kaoru ABE** and Hitoshi TANAKA**

Abstract: Leveling routes for detecting the ground tilt caused probably by the regional deglaciation were established by the 20th and 23rd Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-20 and -23) in East Ongul Island, Antarctica. The leveling surveys were carried out according to the first order leveling survey method of Geographical Survey Institute in Japan during the winter seasons of 1979 and 1982. The accuracy of the surveys between the leveling points was better than ± 0.4 mm.

Gravity surveys using LaCoste-Romberg gravimeter model G were also carried out in 1979 and 1982. Twenty-five gravity stations were established in West Ongul Island in 1979. The gravity at six stations out of twenty-five was also measured by JARE-19 and -22 in 1978 and/or 1981. The gravity values of the two or three independent surveys at the same station were consistent with each other within the accuracy of 0.1 mgal.

Five gravity stations were also established at the geodetic control points in small islands off Langhovde, and three stations near the water tube tiltmeter of two components at Syowa Station.

要旨: 1979年と1982年、第20次および第23次日本南極地域観測隊により、南極昭和基地に水準測量網が完成された。観測は国土地理院の一等水準測量作業規程により実施され、その精度内での結果を得た。

また、1979年には西オングル島の測地基準点を中心に25点での重力測量が実施された。1982年には、ラングホブデ沖の小島の測地基準点5点と昭和基地の水管傾斜計脇に取り付けられた水準点で重力測量を実施した。

1. はしがき

日本の南極観測基地である昭和基地はリュツォ・ホルム湾の北東端に位置し、南極大陸との間には幅 4 km のオングル海峡が横たわっている。東オングル島を含むオングル諸島をはじめとする、リュツォ・ホルム湾沿岸の露岩地帯は氷河地形を呈し、かつては氷河に覆われていたことを示している。また、大陸は沿岸まで氷床が張り出し、現在も氷河時代が続いている。

露岩地帯のあちこちには隆起てい線が見られる。この隆起てい線は氷河が後退した結果、

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

** 国土地理院。 Geographical Survey Institute, 1, Kitazato, Yatabe-machi, Tsukuba-gun, Ibaraki 305.

荷重の減少による地殻の隆起と考えられている。この隆起の証拠はオングル諸島ばかりでなく、ラングホブデ、スカルブスネスなど、大陸沿岸の露岩地帯全域でも見られる。しかし、大陸氷床の存在は、南極大陸には依然として大きな荷重のかかっていることを示している。完全に氷河の消え去ったオングル諸島の隆起と、氷床のある大陸側の隆起との間には、その隆起量や隆起のモードに大きな差があることが推定される。昭和基地では海洋潮汐の観測が1966年以来続けられているが、基盤の隆起、つまり地殻変動が観測されるような精度の観測はまだ実施されてはいない。隆起のモードが異なれば、その隆起に伴う基盤の傾斜が現れる可能性がある。この予想される傾斜を検出する目的で、基盤の傾斜観測が計画された。

1981年に、南極では初めての水管傾斜計と埋設型傾斜計が設置され、試験的な観測が始まった (KAMINUMA and SHIBUYA, 1983; KAMINUMA *et al.*, 1983; KAMINUMA and NAGAO, 1983).

同じ目的で東オングル島に水準路線の設置も検討され、1979年(第20次観測隊: JARE-20)に作業が始まり1982年(JARE-23)に一応の完成を見た。本報告ではその水準路線の設置とその測量結果について述べる。

また、1977年から大陸沿岸の露岩地帯での重力測量が精力的に実施されてきた(神沼ら, 1980; KAMINUMA and NAGAO, 1984)。その一連の測量は1979年や1982年にも実施され、その結果についても報告する。

2. 水準路線の設置とその測量

東オングル島内に初めて水準路線を設置したのは1979年の第20次観測隊であった。この最初的水準路線に沿って、1982-1983年に第23次観測隊が観測を実施するとともに、一部を増設した。観測は国土地理院水準測量作業規程一等水準測量に準拠して実施されている。設置した東オングル島内の水準路線を図1に示す。

2.1. 標高の基準

昭和基地の平均海水面は、1966年から実施されている検潮観測による(堀・塩崎, 1967)。この検潮観測点は1966-1970年(JARE-7-11)までは北の浦で行われていたが、1971年(JARE-12)に現在の西の浦に移された。以後、今日まで同所で検潮観測が継続されている。

検潮儀は水圧式で、検潮記録は地学棟でペンレコーダによるアナログ方式で記録しているほか、1983年より情報処理棟にある昭和基地の電算機システムにも入力されている。

1979年に、水準点の標高を決定するため、この検潮場に隣接して水準点 B.M. (benchmark) 1040 が埋設された。そして、1981年1月から1982年1月の間に得られた検潮記録をもとに、JARE-23 の岡、渕之上両観測隊員(海上保安庁水路部)により、平均海水面から B.M. 1040 への高さの取り付け観測が行われた。その結果、B.M. 1040 の高さ H_{1040} は次の値である。

$$H_{1040} = +2.3380 \text{ m}$$

ただし、この平均海水面の計算には諸補正は施されていない。東オングル島内の新しく設けられた水準点の標高は、すべて H_{1040} を基準に求められている。

2.2. 第20次観測隊による水準点の設置

第20次観測隊には著者の一人（田中）が参加し、1979年2月下旬から3月上旬にかけて、東オングル島中央域に水準点9点（B.M. 1025-1032 および 1040）を設置した。それぞれの水準点を図1に示す。1979年3月3日から3月6日にかけて、一部の路線について往復水準測量を実施した。その結果を表1に示す。

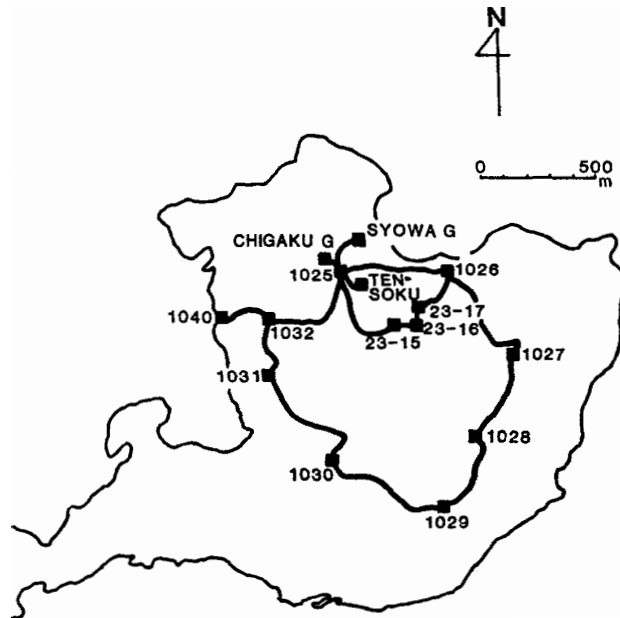


図1 東オングル島内の水準路線
Fig. 1. Leveling route in East Ongul Island, Antarctica.

表1 第20次観測隊による BM1031-BM1026 の水準測量結果
Table 1. Leveling observation value from B.M. 1031 till B.M. 1026 by JARE-20.

Date	Bench mark	Distance (km)	Height difference (m)	Remark
1979 3.3	1031	0.320	+1.8819	JARE-20
	1032		-0.0094	
3.6	1025	0.504	-0.0094	
3.6	1026	0.529	+2.5255	

2.3. 第23次観測隊による水準点の設置

第23次観測隊には著者の一人（阿部）が参加し、第22次観測隊により設置された水管傾斜計に隣接して、3点の水準点を埋設した。埋設した水準点は B.M. 23-15, -16, -17 である。観測路線は、設置されているすべての水準点を結ぶ路線とともに、昭和基地基準重力点、地学棟重力点、および天測点を結ぶ路線である。

観測は1982年1月31日から2月2日と1983年1月16日から1月19日の間に実施した。

第23次観測隊で実施した水準測量の route number を図2に示し、それぞれの観測結果を route number ごとに示した。

表2は1982年1月31日に実施した B.M. 1040-B.M. 1032-B.M. 1025 の Route A の結果で

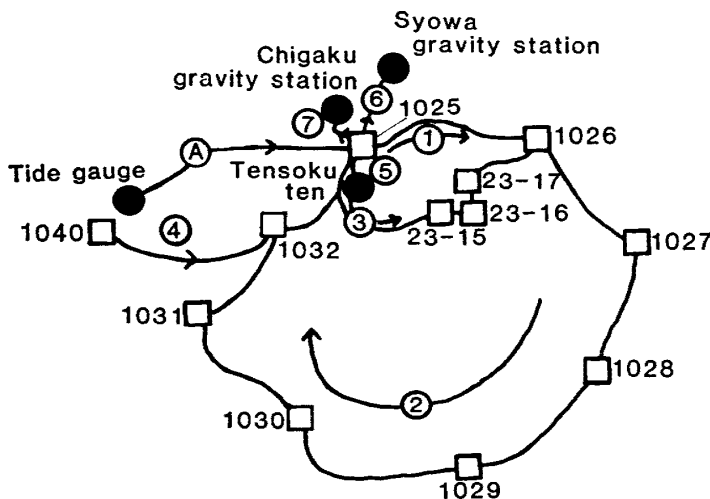


図2 水準平均網図と水準路線番号
Fig. 2. Adjustment of leveling networks.

表2 水準路線 A の測量結果
Table 2. Leveling observation value of Route A.

Date	Bench mark	Distance (km)	Height difference (m)	Remark
1982 1. 31	1040	0. 259	+15. 6227	JARE-23
	1032			
1. 31	1025	0. 576	+ 0. 0135	

表3 水準路線 No. 1 の測量結果
Table 3. Leveling observation value of Route No. 1.

Date	Bench mark	Distance (km)	Height difference (m)	Remark
1983 1. 16	1025	0. 541	-2. 5251	JARE-23
	1026			

ある。

表3は Route No. 1 で B.M. 1025-B.M. 1026 の結果を示す。表4には Route No. 1 の続きとして B.M. 1026 から図2に示したように、南側の各水準点を經由して B.M. 1025 に達する Route No. 2 の結果を示してある。

表5は B.M. 1025 から水管傾斜計に隣接した3点を通り、B.M. 1026 に達する Route No. 3 の結果である。B.M. 1025 から天測点、基準重力点、地学棟重力点への路線をそれぞれ Route No. 5, Route No. 6, Route No. 7 とし、表6, 表7, 表8にその観測結果を示す。

表4 水準路線 No. 2 の測量結果
Table 4. Leveling observation value of Route No. 2.

Date	Bench mark	Distance (km)	Height difference (m)	Remark
1983 1. 17	1026	0. 564	+12. 6313	JARE-23
1. 17	1027	0. 490	+ 2. 7528	
1. 18	1028	0. 480	- 0. 3254	
1. 18	1029	0. 553	+ 5. 2574	
1. 17	1030	0. 498	-19. 6844	
1. 18	1031	0. 346	+ 1. 8800	
1. 18	1032	0. 463	+ 0. 0125	
	1025			

表5 水準路線 No. 3 の測量結果
Table 5. Leveling observation value of Route No. 3.

Date	Bench mark	Distance (km)	Height difference (m)	Remark
1893 1. 16	1025	0. 553	+3. 7196	JARE-23 Tiltmeter attached to B.M.
1. 16	23-15	0. 030	-0. 5586	
1. 17	23-16	0. 030	+0. 2242	
1. 17	23-17	0. 399	-5. 9294	
	1026			

表6 水準路線 No. 5 の測量結果
Table 6. Leveling observation value of Route No. 5.

Date	Bench mark	Distance (km)	Height difference (m)	Remark
1982 2. 1	1025	0. 138	+11. 1369	JARE-23
	Tensoku ten			

表 7 水準路線 No. 6 の測量結果
Table 7. Leveling observation value of Route No. 6.

Date	Bench mark	Distance (km)	Height difference (m)	Remark
1982 2. 1	1025	0. 190	-4. 0898	JARE-23
	Fundamental GLA-S.T.			

表 8 水準路線 No. 7 の測量結果
Table 8. Leveling observation value of Route No. 7.

Date	Bench mark	Distance (km)	Height difference (m)	Remark
1982 2. 2	1025	0. 044	+3. 2874	JARE-23
	Chigaku GLA-S.T.			

表 9 水準路線 No. 4 の測量結果
Table 9. Leveling observation value of Route No. 4.

Date	Bench mark	Distance (km)	Height difference (m)	Remark
1983 1. 19	1040	0. 270	+15. 6225	JARE-23
	1032			

表10 水準測量に用いた器材一覧
Table 10. List of instruments used in JARE-20 and -23.

	JARE-20	JARE-23
Precision level	Wild N3, No. 49	Wild N3, No. 383113
Precision staffs	Wild invar leveling staffs No. 1182 A, B	Wild invar leveling staffs No. 1403 A, B
Staff correction factor	-24 μ m at 0°C	-7 μ m at 0°C

1983年1月19日に実施した検潮場に隣接した B.M. 1040 から B.M. 1032 に至る水準路線を Route No. 4 とし、その観測値を表9に示す。

第20次、第23次観測隊の測量では、機器は精密水準儀 (Wild N3)、精密標尺 (Wild invar leveling staff)、棒状温度計を使用した。その器材と標尺定数とをそれぞれ表10に示す。

3. 水準測量の精度と天測点の標高

国土地理院水準測量作業規程の一等水準測量では、観測の制限として往復観測値の較差を $2.5\sqrt{S}$ mm、環閉合差 $2.0\sqrt{S}$ mm (S は観測距離、単位は km) としている。表1か表9までの観測値はすべて一等水準測量の制限内におさまっている。Route No. 1 と No. 2 の環閉

表11 水準路線 No. 1, No. 2, No. 3 の観測値の環閉合の出合差
Table 11. Closing errors of the leveling circuits of Routes No. 1, 2 and 3.

1+2 = -0.9 mm	Limitation of 2 mm \sqrt{S} km \pm 4.0 mm
2+3 = +0.0 mm	ditto \pm 4.2 mm
1-3 = -0.9 mm	ditto \pm 2.5 mm

表12 1 km 当たりの平均 2 乗誤差
Table 12. Mean square error per kilometer.

	Bench mark	Distance S	I-II μ	$\frac{\mu^2}{S}$	Remarks
1	1025	0.541	-0.6	0.67	$m = \pm \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \left(\frac{\sum U^2}{\sum S} \right) \cdot \frac{1}{n}}$ $m^2 = 0.1613$ $m = 0.40$ mm JARE-23 (I-II) Misclosure in reciprocal observation
	1026				
2	0.564	-0.7	0.87		
3	1027	0.490	0.0	0.00	
	1028				
4	0.480	-0.8	1.33		
5	1029	0.553	-0.1	0.02	
	1030				
6	0.498	+0.2	0.08		
7	1031	0.346	-0.1	0.03	
	1032				
8	0.463	-0.1	2.16		
$\Sigma=8$		3.935		5.16	

表13 各水準点の標高
Table 13. Adjusted elevations of each bench mark point, for leveling surveys.

Bench mark	Adjusted elevation (m)
1025	17.9731
1026	15.4481
1027	28.0796
1028	30.8325
1029	30.5072
1030	35.7647
1031	16.0804
1032	17.9605
1040	2.3380
23-15	21.6923
23-16	21.1536
23-17	21.3778
Tensoku ten	29.1100
Chigakutô	21.2605
Fundamental-G-Station	13.8833

合の B.M. 1025 における出合差は -0.9 mm で、これは許容制限の ± 4.0 mm の範囲内におさまる。また Route No. 2 と No. 3 の B.M. 1025 での出合差は ± 0.0 mm, Route No. 1 と No. 3 の B.M. 1025 での出合差は -0.9 mm で、それぞれの許容制限 ± 4.2 mm と ± 2.5 mm の範囲内におさまり、一等水準測量の精度は確保されている。この 3 路線の環閉合の結果の一覧を表 11 に示す。また、各観測の往復差および標準偏差を表 12 に示す。

以上の観測によって得られた各水準点および天測点、基準重力点、地学棟重力点の標高を表 13 に示す。

天測点の標高は今回の観測結果を含めて、次の 3 回の観測結果がある。

第 1 次観測隊 (1957)	29.18 m
第 5 次観測隊 (1962)	29.24
第 23 次観測隊 (1982)	29.11

第 1 次観測隊では東オングル島東岸の開水面を基準に、三角測量により高さを決定した(鍛冶・印部, 1957)。昭和基地周辺の標高は、この値を基準にして測量されている。第 5 次観測隊ではネスオイヤ島北部に検潮場を設置し、1 年間の観測を行っており、そのうち実際に利用できる 1 週間の記録から平均海水面の高さを求めている。この平均海水面から水準測

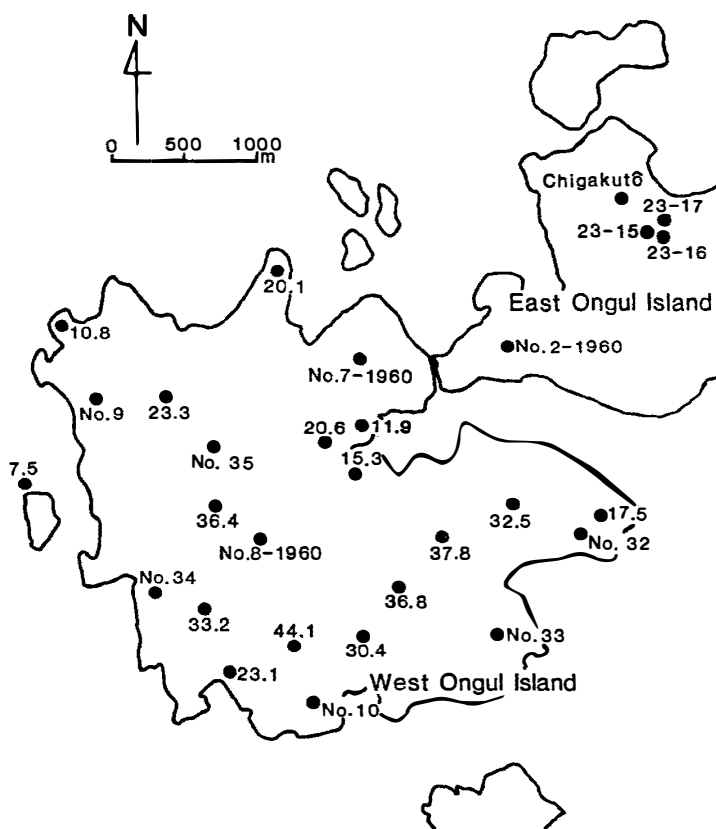


図 3 1980年, 1982年に実施した重力測定 of 東西両オングル島の測定点
Fig. 3. Gravity stations in East and West Ongul Islands surveyed in 1980 and 1982.

量で天測点に高さの取り付けが行われ、上記の値を得ている（大浦・藤野，1965）。この水準測量は簡易水準測量で、距離約 1.8 km で往復差 3 cm 程度である。

4. 重力測量

東西両オングル島の重力測量は第19次観測隊（神沼ら，1980）や第22次観測隊（KAMINUMA and NAGAO, 1984）で実施された。第20次観測隊でも1979年11月30日から12月31日にかけて、昭和基地の基準重力点を基準として実施した。測定は測地基準点または 5000 分の 1 の地形図に表示されている独立標高点の中の合計25点で行った。

また、第23次観測隊では1982年10月1日から2日にかけて、地学棟重力点を基準として、ラングホブデ沖の小島の測地基準点5点で重力測定を実施した。なお基準とした地学棟重力点の位置、標高、重力値は次のとおりである。

緯度 69°00'19.4" S

経度 39°35'16.9" E

標高 21.26 m

$g=982\ 523.75$ mgal

東西両オングル島の重力測定点を図3に、ラングホブデ沖の測定点を図4に示す。重力測

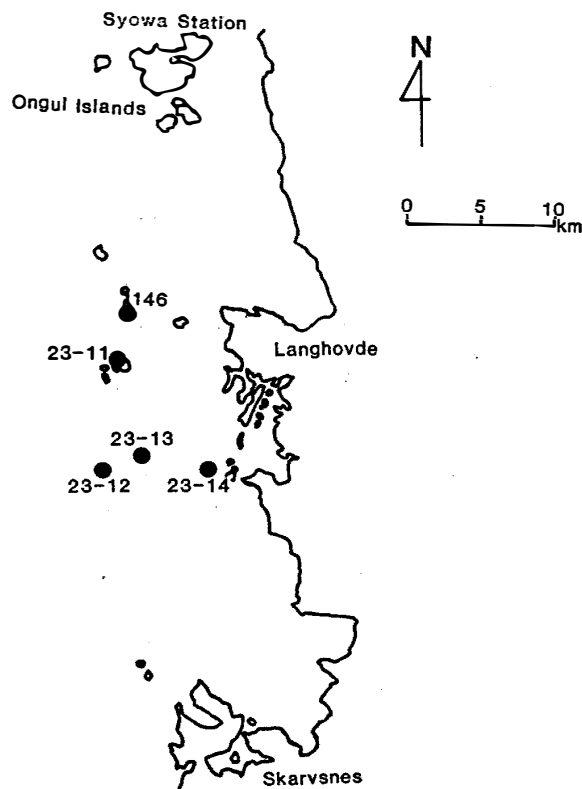


図4 1982年に実施したラングホブデ沖の重力測定点
Fig. 4. Gravity stations in the Langhovde area surveyed in 1982.

表14 東西両オングル島の重力測量結果

Table 14. Gravity data in East and West Ongul Islands and the Langhoyde region.

	Station	G-value	Normal (mgal)	F-ANO (mgal)	B-ANO (mgal)	Latitude	Longitude	Height (m)	Date
East Ongul Island	Chigakutô	982 523.75	549.45	-18.27	-20.65	-69°0.3'	39°35.3'	21.26	1979 12.31
West Ongul Island	No. 10	982 522.76	551.47	-14.54	-19.36	-69 2.3	39 32.2	43.14	11.30
	44.1	982 522.33	551.47	-14.67	-19.61	-69 2.3	39 32.0	44.10	11.30
	33.2	982 525.73	551.07	-14.22	-17.94	-69 1.9	39 31.0	33.20	11.30
	23.1	982 527.68	551.27	-15.59	-18.18	-69 2.1	39 31.5	23.10	11.30
	No. 34	982 528.35	551.07	-14.82	-17.37	-69 1.9	39 30.5	22.76	11.30
	36.4	982 524.84	550.66	-13.72	-17.80	-69 1.5	39 31.1	36.40	11.30
	No. 8	982 522.33	550.87	-12.95	-18.29	-69 1.7	39 31.6	47.69	11.30
	No. 35	982 523.52	550.46	-13.01	-17.75	-69 1.3	39 31.1	42.34	11.30
	32.5	982 522.68	550.66	-17.09	-20.09	-69 1.5	39 34.2	32.50	12.04
	17.5	982 524.73	550.66	-19.66	-21.62	-69 1.5	39 35.3	17.50	12.04
	No. 32	982 520.08	550.77	-17.27	-21.82	-69 1.6	39 34.9	40.65	12.04
	15.3	982 527.25	550.66	-17.83	-19.54	-69 1.5	39 32.7	15.30	12.04
	36.8	982 523.14	550.97	-15.60	-19.72	-69 1.8	39 33.0	36.80	12.04
	37.8	982 522.46	550.77	-15.77	-20.00	-69 1.6	39 33.5	37.80	12.04
	No. 9	982 525.26	550.36	-12.95	-17.04	-69 1.2	39 29.9	36.56	12.06
	10.8	982 530.35	550.06	-15.50	-16.71	-69 0.9	39 29.5	10.80	12.06
	23.3	982 528.01	550.26	-14.19	-16.80	-69 1.1	39 30.5	23.30	12.06
	20.6	982 527.04	550.46	-16.19	-18.50	-69 1.3	39 32.0	20.60	12.06
	11.9	982 527.84	550.36	-17.98	-19.31	-69 1.2	39 32.7	11.90	12.06
	No. 7	982 522.01	550.16	-15.58	-19.82	-69 1.0	39 32.6	37.92	12.06
20.1	982 526.31	549.75	-16.38	-18.63	-69 0.6	39 31.7	20.10	12.07	
No. 2	982 522.06	550.06	-16.84	-20.57	-69 0.9	39 34.1	33.34	12.07	
No. 33	982 523.10	551.17	-16.90	-20.64	-69 2.0	39 34.1	33.39	12.07	

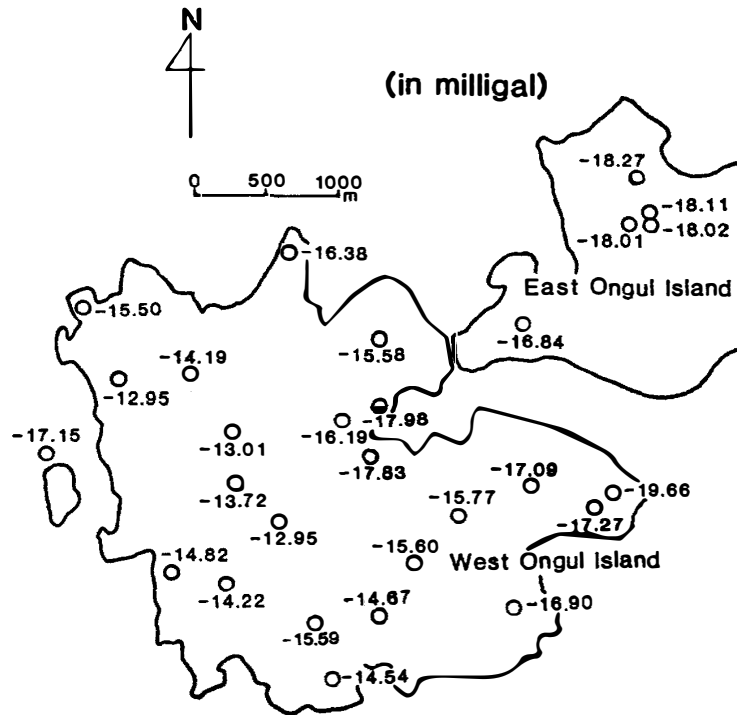


図 5 東西両オングル島のフリーエア異常
 Fig. 5. Free air gravity anomalies in East and West Ongul Islands.

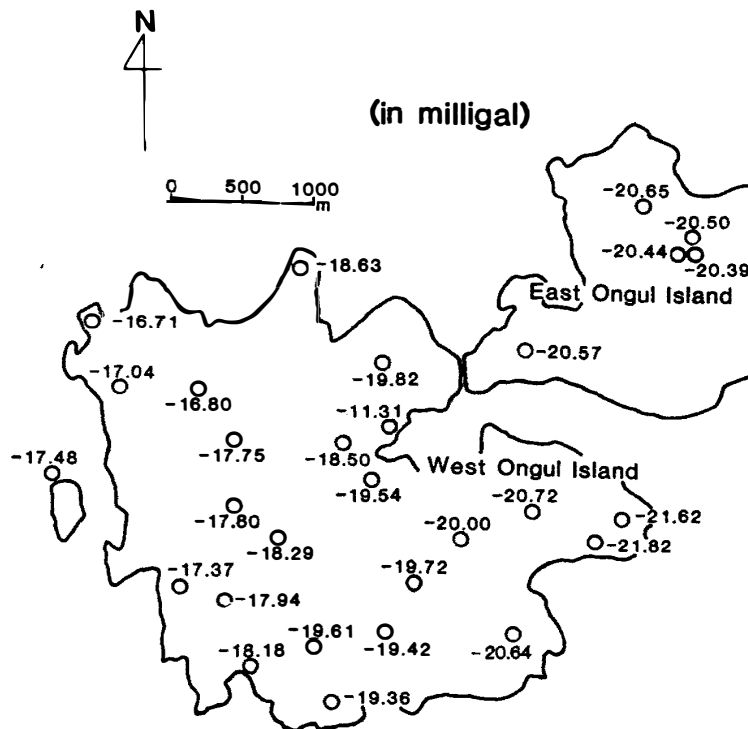


図 6 東西両オングル島の単純ブーゲ異常
 Fig. 6. Simple Bouguer gravity anomalies in East and West Ongul Islands

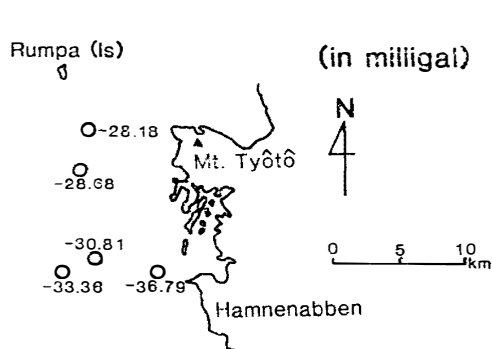


図7 ラングホブデ沖の重力フリーエア異常図
Fig. 7. Free air gravity anomalies in the Langhovde area.

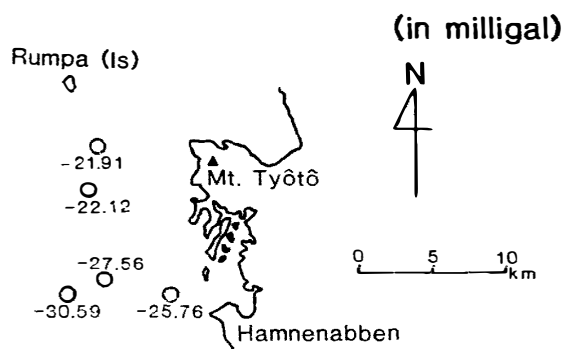


図8 ラングホブデ沖の重力単純ブーゲ異常図
Fig. 8. Simple Bouguer gravity anomalies in the Langhovde area.

表15 西オングル島測地基準点における重力測量結果の比較
Table 15. Comparison of gravity values at the same control point measured by JARE-19, -20 and -22.

Station No.	1979	1978 (1)	1981 (2)
No. 7 (WES 05)	982 522.01 mgal	983 522.17 -0.16	982 522.03 -0.02
No. 8 (WES 04)	522.33	522.32 0.01	522.29 0.04
No. 9 (WES 11)	525.26	— —	525.22 0.04
No. 10 (WES 03)	522.76	522.77 -0.01	— —
No. 34 (WES 14)	528.35	— —	528.26 0.09
No. 35 (WES 06)	523.52	— —	523.54 -0.02

量の結果を表14に示し、それぞれの地域のフリーエア異常と単純ブーゲ異常を図5-8に示す。

西オングル島の測地基準点では、第20次観測隊ばかりでなく、第19次(1978)、第22次観測隊(1981)でも測定を実施しており、それらの結果の比較を表15に示す。1978年と1979年の観測結果の比較では、測地基準点 No. 7 が -0.16 mgal とやや大きな値を示したが、ほかの2点は 0.01 mgal の範囲におさまっている。また1981年の結果では No. 34 が 0.09 mgal と大きいほかは、他の4点はともに ± 0.04 mgal 以内である。これらの結果から、西オングル島の重力測定は、ほぼ 0.1 mgal の精度は得られていると考えられる。

5. ま と め

第20次および第23次観測隊で実施した昭和基地付近の水準測量、重力測量の結果を報告した。

今回の水準測量で測定された標高は水圧式検潮儀によって、1981年1月から1982年1月までの検潮観測により求められた平均海水面の高さを基準として標高を決定した。従来の高さと比較すると、天測点で -7 cm 程度の差が生じているが、第1次観測隊の観測で決めた標高

は、よく決まっているといえよう。水準点の標高は、他の基準点の標高（たとえば東オングル島の地形図の標高）とは区別しなければならないので注意が必要である。

今回の水準測量で決定された標高を用いて、第20次および第22次観測隊の重力測定値から、地学棟重力点の重力値を決定した。また、傾斜計に隣接した水準点の重力値は、地学棟重力点の重力値を使用し求めた。

第20次観測隊で測定した西オングル島内の重力値についても、地学棟重力点の重力値を使用し、再計算をおこない決定した。

謝 辞

基準点測量、重力測量、水準測量に協力していただいた第20次、第23次観測隊の隊員の皆様に厚くお礼申し上げます。特に第23次観測隊では夏の建設期間にもかかわらず、星合隊長以下皆様のご協力で水準環を作ることができた。

また、データ整理にご協力いただいた田中 穰国土地理院測地第一課長ほか重力係の皆様にお礼申し上げます。

文 献

- 堀 定清・塩崎 愈(1967)：海洋. 第7次南極地域観測隊（夏隊）報告（1965-1966）. 東京, 南極地域観測統合推進本部, 139-144.
- 鍛治晃三・印部英一(1957)：1956-57年度地形測量部門報告. 南極資料, 1, 17-28.
- KAMINUMA, K. and NAGAO, T. (1983): Ground tilt observations at Syowa Station, Antarctica. Part 2. Water-tube tiltmeter. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, 28, 33-41.
- KAMINUMA, K. and NAGAO, T. (1984): Gravity survey in Lützow-Holm Bay and the Mizuho Plateau, East Antarctica, 1981. JARE Data Rep., 89 (Earth Sci. 1), 59-87.
- KAMINUMA, K. and SHIBUYA, K. (1983): Geophysical investigation in the eastern part of Lützow-Holm Bay, Antarctica. Antarctic Earth Science, ed. by R. L. OLIVER *et al.* Canberra, Australian Academy of Science, 519-521.
- KAMINUMA, K., NAGAO, T. and ITO, K. (1983): Ground tilt observations at Syowa Station, Antarctica.
- 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.
- Part 1. Borehole tiltmeter. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, 28, 27-32.
- 大浦浩文・藤野和夫(1965)：昭和基地における潮汐. 南極資料, 24, 14-17.

(1984年7月27日受理)