

リュツォ・ホルム湾とその沿岸地域の航空磁気測量

田島 稔・柿沼清一・吉田光雄
増田 実・吉村愛一郎*

Aeromagnetic Survey in the Vicinity of Lützow-Holm Bay, Antarctica

Minoru TAZIMA, Seiichi KAKINUMA, Mitsuo YOSHIDA,
Minoru MASUDA and Aiichiro YOSHIMURA*

Abstract: Since 1967 the aeromagnetic survey in the vicinity of Lützow-Holm Bay, Antarctica, has been carried out by JARE.

The total magnetic field was observed by means of a proton precession magnetometer, whose sensing head was towed by a cable of about 10 m in length from an airplane or a helicopter. Observation was made at intervals of 6-9 seconds and the total intensity was recorded continuously on an analogue recorder. Flight height was about 300 m for helicopter and 1000 m for airplane. Flight courses spread radially from Syowa Station, the total flight distance amounting to 2410 km.

The observed value was reduced to the common epoch of January 1, 1970, using the magnetic records of Syowa Station.

The isomagnetic chart of total force was compiled. In general aspect and tendency of the distribution is similar to that of the International Geomagnetic Reference Field 1965.0 published by IAGA Commission 2 Working Group 4, except some amounts of differences in absolute value.

Local magnetic anomalies more than 300 γ are found along the Sôya Coast and Padda Island, especially anomalies recorded over the southern part of the coast are remarkable.

1. はじめに

昭和基地付近の磁気測量は、オングル島内、および旅行中に断片的に測量された程度であり、広域の磁気測量として航空磁気測量の実施を以前から期待されていた。オングル島付近ならびに宗谷海岸の地磁気分布とその局地異常を明らかにするために、第8次観測の夏期（1967年1月）にヘリコプターにより航空磁気測量を行なって以来、9次（1968年1～2月）、10

* 建設省国土地理院. Geographical Survey Institute, Higashiyama 3-24-13, Meguro-ku, Tokyo.

次(1969年1月)はヘリコプター(シコルスキー S-61A) 11次(1970年1月)には航空機(ラサ60)により、リュツォ・ホルム湾とその沿岸地域の航空磁気測量を行なった。12次(1971年)からは内陸地域の測量を予定したが、現地の事情により測量は中止された。この期間の航空磁気測量の目的は、リュツォ・ホルム湾と沿岸地域の地球磁場の分布と、局地異常の概要を把握することに主眼をおいて測量されたものである。従って測量はなるべく等密度、等高度で行なうのが理想であるが、ヘリコプターと航空機の行動範囲の差等から宗谷海岸付近は他の地域に較べ高密度になり、又、高度も全地域同じにすることは出来なかった。

地磁気三成分を航空機上で測定することは、航空機の改造と共に多くの労力と時間を要する。しかし、地磁気成分のうち全磁力は、プロトン磁力計あるいはルビジウム磁力計により動揺している航空機上でも容易に測定することが出来る。又、測定精度を $\pm 1\gamma$ にすることも可能である。地磁気異常の様相は全磁力の測定のみでもおおむね解明することが出来るので、航空磁気測量はすべてプロトン磁力計により全磁力を測定した。以下その結果について述べる。

2. 観測方法

11次までの航空磁気測量には、最小読定値 10γ と 1γ の二種類のプロトン磁力計を使用した。両者共測定方法および原理はまったく同じであり、プロトン信号を位相検波方式により通倍し、それを約 0.29 s の時間、カウントすることにより、カウント表示をガンマー直読に出来るようにしたものである。11次観測では、カウンター出力を D-A 変換器を通しアナログ記録方式をとった。この方式は海上磁気測量で採用しているものと同じである。8次から10次では、自動又は手動でコイルに励磁をし、 $6\text{ s}\sim 9\text{ s}$ 間かくでカウンター表示を読み取り、野帳に記録していた。アナログ記録方式によれば、連続的な記録を機上で見られるので、地磁気異常の様相や器械の状態が直ちに分かり、観測者は測定地点の確認等を行うことが出来る。図1にアナログ記録方式によるプロトン磁力計のブロックダイアグラムを示す。8次～10次では前述のようにカウンター表示を読み取る方式であったので、ミスカウントの発見のため測定中イヤホンで信号音を聞き、信号の悪いものをチェックするようにした。航空機の場合は、海上磁気測量と比べ雑音が多いので、記録整理の段階でもミスカウントと考えられるものは不採用にした。これに対し、アナログ記録方式では連続的なプロファイルが画かれるので、ミスカウントは明瞭である。図2はスカーレン付近のアナログ記録の一部である。

ヘリコプター、航空機の機体磁気の影響をさけるため、プロトン検出部をポリエステル製

表 1 観 測 状 況 表

Table 1. Detail of Observation.

年次	測定月日	測定時刻	飛行高度	測定距離	測定回数	航空機	測定器械	記録方式	概略測定コース
8次	3, Feb. 1967	h m h m 13 01~14 20	ft 1,000	km 190	240	シコルスキー S-61A	プロトン磁 力計 10r	デジタルカウ ンター読取り	昭和基地—フラットウンガー—ラングホ ブ—デースカルブスネス
	5, Feb. 1967	(器 械 故 障 の た め 測 定 は 微 少)							
9次	30, Jan. 1968	10 57~11 45	1,000	120	350	シコルスキー S-61A	プロトン磁 力計 1r	デジタルカウ ンター読取り	スカールン—白瀬水河—あずき島
	1, Feb. 1968	14 40~15 33	1,000	130	500	シコルスキー S-61A	〃	〃	昭和基地—ラングホブ—デースカールン —あずき島
10次	28, Jan. 1969	9 12~10 15	1,000	160	680	シコルスキー S-61A	プロトン磁 力計 10r	デジタルカウ ンター読取り	昭和基地—パッダ島—ネスホルメン— オースホブデ
	29, Jan. 1969	10 04~11 13	1,000	170	400	シコルスキー S-61A	〃	〃	キスターインホブデ—フレッタ湾
11次	16, Jan. 1970	8 26~12 55	3,000	720	連続的	LASA 60	プロトン磁 力計 1r	アナログ記録 方式	昭和基地—ルンドボグスマラーネ— あずき島—インホブデ—昭和基地—か らめて岬—F 16
	19, Jan. 1970	10 12~15 43	3,000	920	連続的	LASA 60	〃	〃	F 16—クック岬—西オングル島—スカ ールン—オメガ岬—F 16

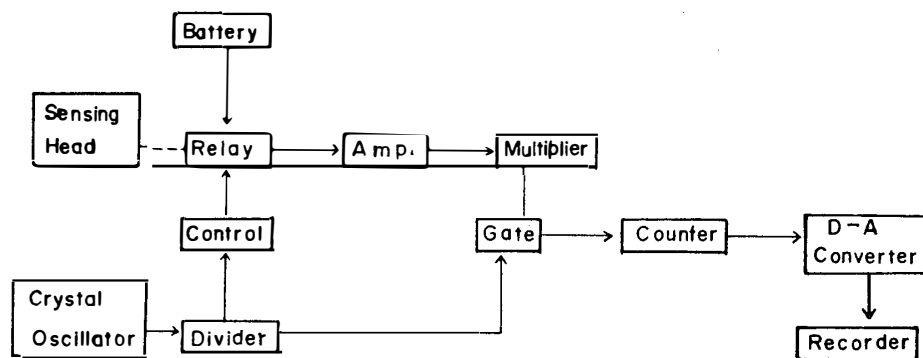


図 1 プロトン磁力計ブロックダイアグラム

Fig. 1. Block diagram of the proton precession magnetometer.

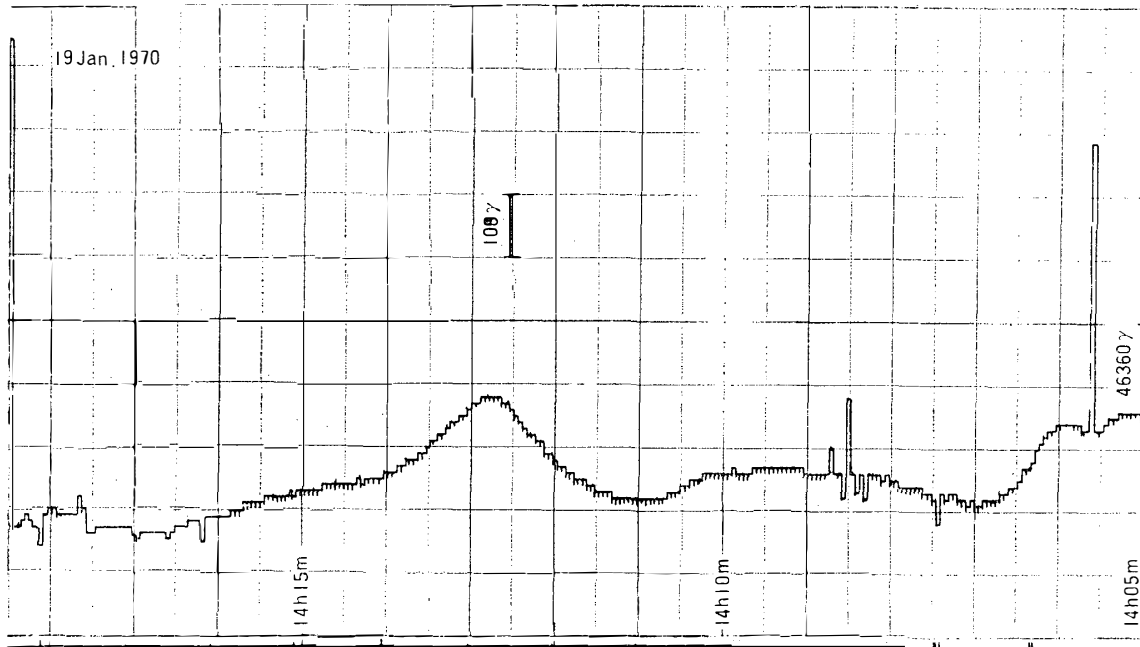


図 2 観測記録紙上の全磁力プロファイル

Fig. 2. An example of the magnetic profile on the recording paper.

の容器に入れ、キャブタイヤコード (10 C 2 V) により機体外に約 10 m 出し曳航するようにした。ヘリコプターではナイロンロープをキャブタイヤコードに添わせて出入口から機外へ出し、航空機の場合はキャブタイヤコードそのまま航空カメラ用の穴から曳航した。いずれも約 10 m の曳航であるが、航空機 (ラサ 60) の地上における機体磁気のテストでは、カメラの穴から 2 m ぐらいで影響は無視出来る程度に少なかった。

観測地点の位置は、地上の目標と時刻により地図上にコースを画き個々の観測点の位置を決定した。リュツォ・ホルム湾西部沿岸の地図は未だ不完全であるうえ、目標となる露岸が少ないため位置の誤差は東側に較べ大きいと考えられる。

3. 測 量 地 域

測量地域は図 3 の観測コース図のとおりで、リュツォ・ホルム湾とその沿岸部をほぼカバーしており、内陸地域は含まれていない。ヘリコプターおよび航空機は、ふじ船上又は、昭和基地から発着したので、観測コースはオングル島付近から放射線状になっている。そのため、昭和基地周辺の観測が特に密になっている。各次の観測状況は表 1 のとおりである。

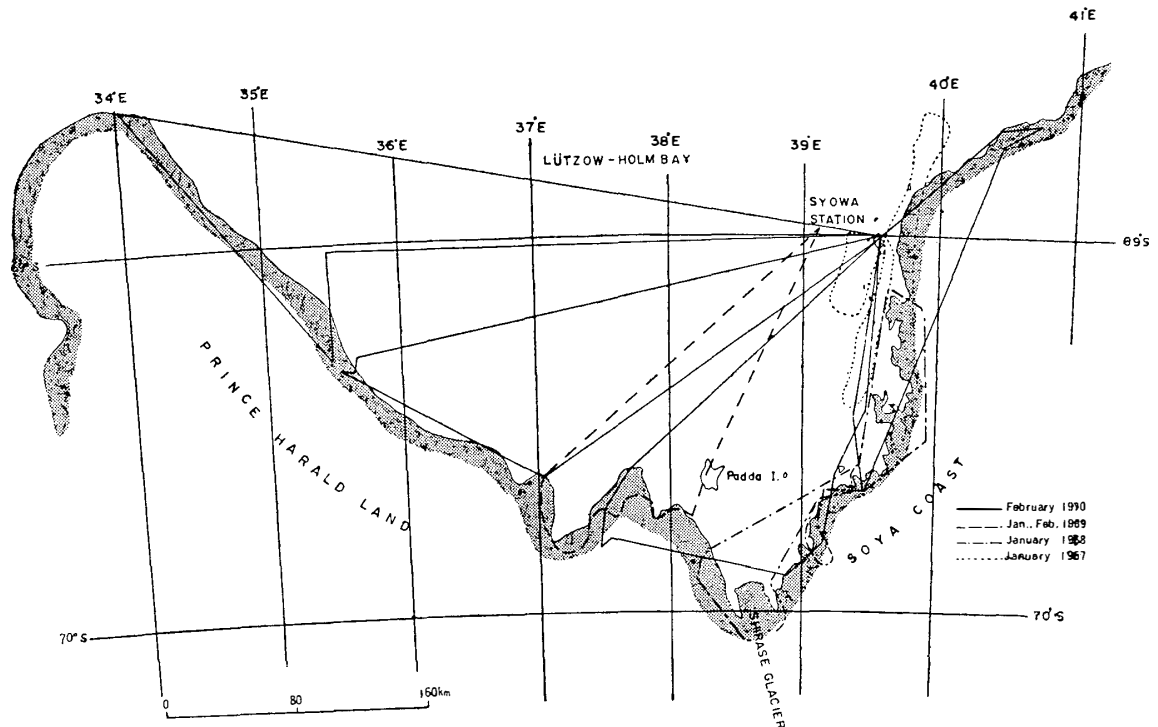


図 3 航空磁気測量観測コース

Fig. 3. Course map of the aeromagnetic survey in 1967-1970.

4. 観測値の補正

航空磁気測量には次の補正を行なう必要がある。

- (1) 年度化成 (epoch reduction)
- (2) 高度補正
- (3) 機体磁気の補正

上記(1), (2)については通常次のような補正を行なう。

C_1 補正 = (ある epoch における固定観測所の値) - (磁気測量時におけるその観測所の値)

C_2 補正 = (epoch から観測日にいたる間の固定観測所における経年変化量) - (epoch から観測日にいたる間の観測点における経年変化量)

C_3 補正 = 高度補正

以上から観測値の補正は次のようになる。

観測値の補正 = $C_1 + C_2 + C_3 + (3)$

C_1 補正は、固定観測所の transient field と経年変化量の影響を除去するものであり、

固定観測所と観測地点の transient field は同じであると仮定している．今回の観測日はほとんど地磁気静穏日であったので，今度の測量の目的からみても細かい変化磁場の補正は行なわないことにした．

観測は4年間にわたっているが，昭和基地における各年の平均値は算出されていないので，年変化量をみるため，図4に1966年より1970年までの全磁力絶対観測値をプロットした．この全体の傾斜は，昭和基地における全磁力の永年変化を表わしており，図4から読み取ると約 -120γ /年になる．これらの結果を参考にして，今回の航空磁気測量の補正を次のようにした．

Epoch は最終の航空磁気測量時の1970年1月とする．年変化量については，図4から算

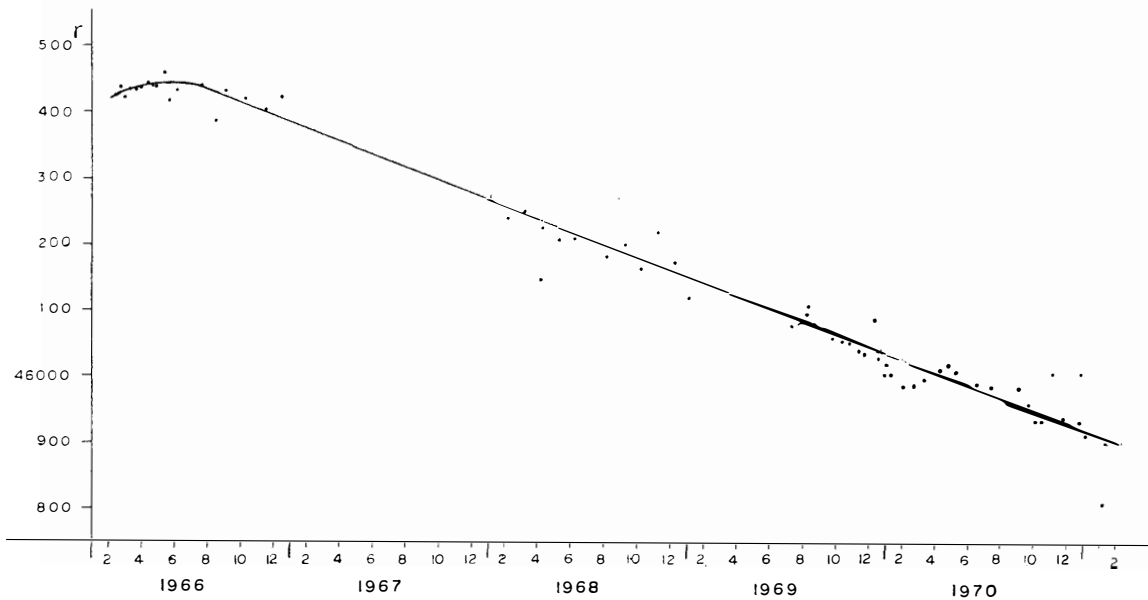


図4 昭和基地における全磁力絶対観測値の変化(1966~1970)

Fig. 4. Results of the absolute measurement of total force at the Syowa Station from 1966 to 1970, showing a great secular variation.

出したものを加えればよいわけであるが，実際に補正してみると，各コースの交点でどうしても補正を加えた観測値に違いが生じてくる．これは各観測コースの位置の精度によるものであり，磁気異常地域で交差した点では当然その違いも大きくなってくる．従って図4で算出した経年変化量を一律に加えることは，矛盾が多く最良の方法とはいえない．全観測コースをみると，1970年の観測コースは過去3年の観測コース全部に交差している．そこで各コース毎の交点における観測値の差をとり，各年次毎にその平均値を計算し，算出した平均値を補正量として各コースに補正した．この方法で算出した補正量と図4の経年変化から求め

た補正量の差は、異常地域を除けば±30r程度であるのでこの方法を C₁ 補正とした。

C₂ 補正については、前述のとおり昭和基地と観測地点の年変化量の差であるから、今回の観測範囲からみても問題にならない量である。参考までに International Geomagnetic Reference Field 1965.0* により、1970年値を計算した。その結果からみると C₂補正は最大1年間で4rである(図5)。

次に C₃ の高度補正であるが、地磁気の地理的分布が広域で規則的であり、局地的な大きな異常のない地域については、次のようにして地上のデータから $\partial F/\partial Z$ を求めることができる。すなわち $\text{div } F=0, \text{rot } F=0$ から、

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial R} &= -\frac{1}{R} \left(\frac{\partial Z}{\partial \varphi} + X \right) \\ \frac{\partial Y}{\partial R} &= \frac{1}{R \cos \varphi} \left(\frac{\partial Z}{\partial \lambda} - Y \cos \varphi \right) \\ \frac{\partial Z}{\partial R} &= \frac{1}{R} \left(\frac{\partial X}{\partial \varphi} - \frac{1}{\cos^2 \varphi} \frac{\partial(Y \cos \varphi)}{\partial \lambda} - X \tan \varphi - 2Z \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

より、地磁気南北成分 X, 東西成分 Y, および鉛直成分 Z の鉛直勾配を地上における X, Y, Z の水平方向の勾配から計算できる。一方、 $\partial F/\partial Z$ は、

$$\frac{\partial F}{\partial R} = \frac{1}{F} \left(X \frac{\partial X}{\partial R} + Y \frac{\partial Y}{\partial R} + Z \frac{\partial Z}{\partial R} \right) \dots\dots\dots(2)$$

で表わされるから(1)式を(2)式に代入して $\partial F/\partial R$ を計算できる。昭和基地周辺の地上磁気測量のデータは極めて乏しいが、水平勾配を他の資料から求めて $\partial F/\partial R$ を計算すると -2r / 100 m となる。又、前述の I. G. R. F. で高度 0 m と 1,000 m で計算した結果でも同じになる。補正量としては 1,000 m で -20r となり、各コースの高度によりそれぞれ補正を加えた。

機体磁気の影響については、前述したとおり影響を無視できるところまで、プロトン磁力計検出部を機外に曳航した。航空機(ラサ60)の場合は、尾翼又は主翼の先端で影響が無くなるので、あらかじめ検出部を取り付けるようにすれば能率的である。

5. 等磁力線図

図6は reduced value により画いた等磁力線図である。Epoch は観測値の補正の項で述べたように最終観測時の1970年1月16日から1月19日であるが、ほぼ静穏日であるのでこの等磁力線図の epoch は1970年1月として問題はない。又、この図の精度はほとんど次の

* IAGA Commission 2 Working Group 4, Analysis of the Geomagnetic Field (1969), J. Geophys. Res., 74 (77), 4407-4408.

2つによって決まる。つまり、epoch reduction と位置の精度である。Epoch reduction は前述のように異常地域以外では $\pm 30\gamma$ 程度であり、今回の補正方法では観測コース交点の位置の誤差もこの中に含まれていることになる。しかし、観測コースは必ずしも直線でないので、個々の位置についても当然ある程度の誤差は免れられない。位置の精度を直接確認することはできないが、等磁力線図(図6)および I. G. R. F. 1970年(図5) から地磁気分布の水平方向の勾配は約 $12\gamma/\text{mile}$ であり、位置の不確かさによりこのわりあい誤差を生ずることになる。従って全体としての精度は $\pm 40\gamma$ 以下であると見なせるので、等磁力線の間隔は 100γ とした。観測値の補正の項で述べたとおり、異常地域において、各コースの交点で若干矛盾が生じた個所は、等磁力線を画くに当たって1970年観測値を重視した。観測コースの粗密により全体が等精度ではないが、リュツォ・ホルム湾と沿岸地域の地磁気分布の様相を捉えているといえよう。

6. 地磁気分布の様相

図6の等磁力線図から、一見してリュツォ・ホルム湾の東側、即ち宗谷海岸に異常が多く見られる。異常は露岸地域に集中しており特に宗谷海岸南部およびパッダ島北部に 300γ 以上

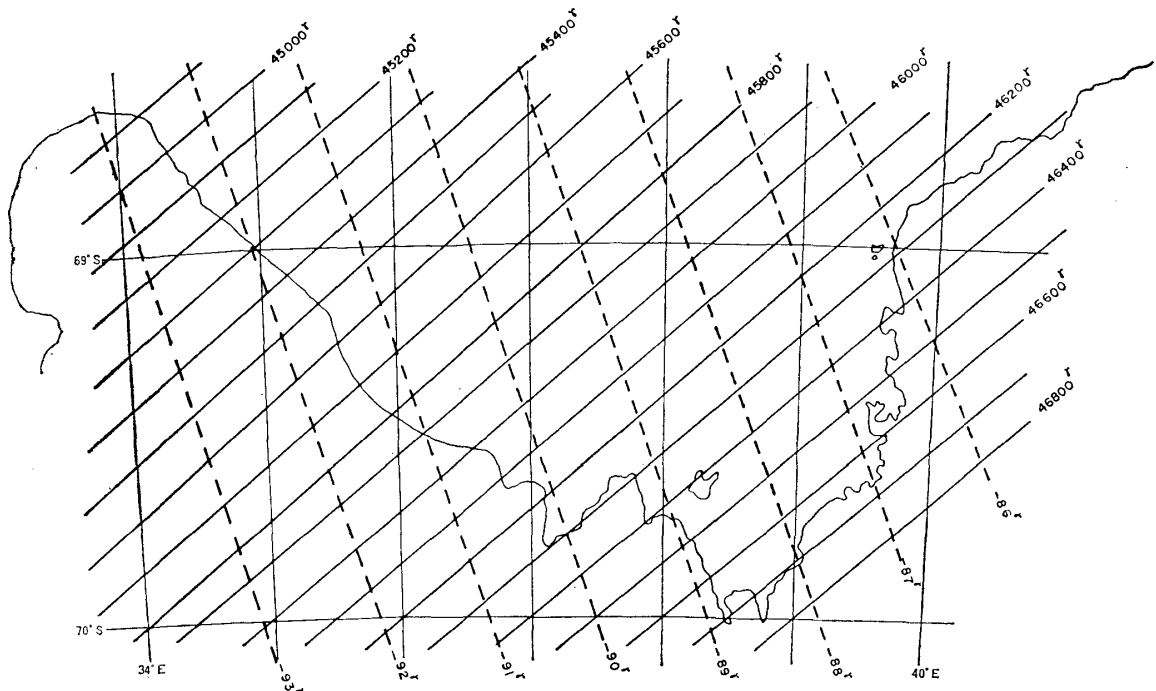


図5 International Geomagnetic Reference Field から計算した全磁力分布と年変化量(1970)
 Fig. 5. Distribution of total magnetic intensity and its annual change for 1970, calculated from the International Geomagnetic Reference field.

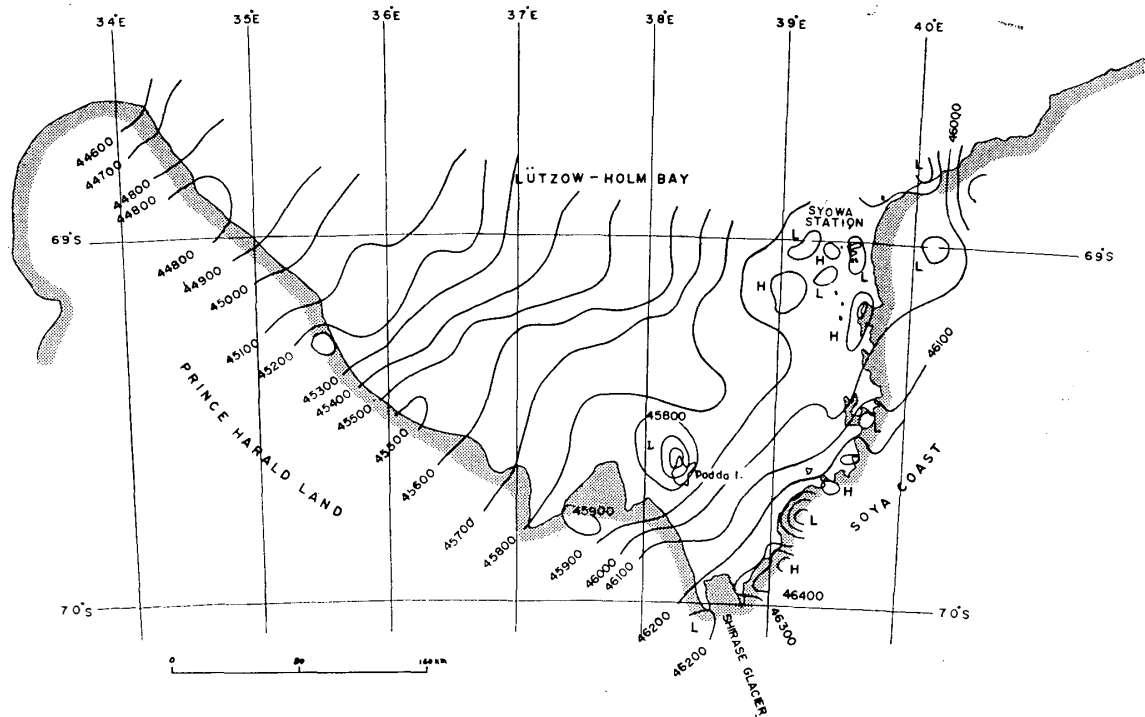


図 6 リュツォ・ホルム湾とその沿岸地域の全磁力等磁力線図 (Epoch, Jan. 1970)

Fig. 6. Contours of total magnetic intensity over Lützow-Holm Bay and its vicinity (Epoch, Jan. 1970).

の異常が認められ、宗谷海岸南部に隣接した正、負のアノマリーが注目される。磁気異常を量的に求めるには、リュツォ・ホルム湾付近に適合した全磁力の平均的分布式が必要であり、通常は地上における磁気測量の結果から2次式で表わされる。現在はこの地域に最も適合した式は無いので、前述の I.G.R.F. により計算し、図5はその結果を図化したものである。今回の航空磁気測量の等磁力線図と較べると絶対値で約 500r の差があるが、この程度の差はやむをえないものと考えられる。しかし、南北勾配はそれぞれ 13r/mile であり、等磁力線の傾斜も同じであるので、これを標準的な全磁力分布とみると、オングル島周辺と宗谷海岸南端が正のアノマリーであり、反対にパッダ島周辺、あずき島から大陸側が負のアノマリーであることがわかる。

7. ま と め

今回の航空磁気測量は、第8次の夏期にヘリコプターでオングル島付近から宗谷海岸スカルブスネス周辺までの観測をしたのが始まりで、その後9次、10次はヘリコプターにより観測したが、人員輸送の往復等を利用して観測したものが多く、計画的に行なったのは航空機

を利用した11次のみである。12次以後、長期的な観測計画により、内陸地域へ拡げる予定であったが、航空機の事情により11次で打ち切りの形になった。

本文は4年間にわたって少しずつ観測したデータをまとめたもので、データを処理するに当たって、epoch reduction が最も苦勞するところであり、年変化量が100 σ を越すようなところでは、reduction の良否が精度を大きく左右することになる。従って南極地域では、ある地域を集中的に短期日のうちに測量を完了させることが肝要である。今回の測量結果から露岸地域の異常等について地質、重力等の資料と共に解析されなければならないが、現時点では解析に十分な資料は得られていない。今回の観測は第一段階であり、今後地上における観測と相まって、より高精度な観測をしていかなければならない。

おわりに本測量に深い理解をいただいた各次の観測隊長、ふじ艦長ならびに多大な協力をいただいた林幹治隊員、森岡昭隊員、航空関係者に深く感謝いたします。

（1972年4月28日受理）