南極磁気図の作成

春 山 仁*

Compilation of Magnetic Charts for Antarctic Region

Hitoshi HARUYAMA

Abstract

“Magnetic Maps 1975 of the Antarctic” has been compiled by the Geographical Survey Institute (GSI). Most of its data have been sent to GSI by countries joining to the Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR) at its request through SCAR to be submitted to the spherical harmonic analysis.

Distribution of the earth's magnetic field and its annual change are represented in seven maps corresponding to each component by the illustration of isomagnetic and isoporic lines respectively. Residual total intensity at the observation points is shown on the eighth map.

Location of the south magnetic pole is obtained. It has been moving on the Continent toward north or northwest direction and is now located at a point off the coast of Adelie Land. It appears that the dipole moment of the earth's magnetic field is still decreasing at an approximately constant rate.

I はじめに

国土地理院では、南極研究科学委員会 (SCRA) の依頼によって、昭和51年4月から南極磁気図の作成を進めてきており、昭和53年8月には完成の見込である。

SCAR は、南極観測を実施しているアルゼンチン、オーストラリア、ベルギー、チリ、フランス、日本、ニュージーランド、ノルウェー、南アフリカ、イギリス、アメリカ及びソ連の12国で構成される国際的な学術団体の1つであり、南極の科学的調査、観測に関する国際協力を行っている。

南極磁気図はこれまでにソ連、アメリカ等で作成されたことがあるが^{1,2)}、今回の SCAR の試みは、国際協力によって各国のデータを集大成しようとするものであり、国土地理院としても、

国際協力の一環として要請に応ずることとなったのである。

II 地磁気について

中低緯度地域において磁針がほぼ南北を指すことはかなり昔から知られており、羅針盤による船舶の進路決定等に利用されてきているが、このことは地球が磁気を持っているために生ずる現象であり、地球の持つ磁気のことを地磁気と呼んでいる。地磁気については、その大部分は地球流体核内部を流れる電流によって生じ、電流を定常的に維持するために流体核内に発電機と同じ原理のメカニズムが成立しているとする、いわゆるダイナモ理論が、現在では一般的に認められている。

地磁気の分布は、地球の中心部に地軸とほぼ平行に1本の棒磁石があると考えた場合の分布と比較的似ているが、その他に世界各地に地域的な異常があり、さらにそれより狭い範囲の局地的な異

* 国土地理院 Geographical Survey Institute

常も重なり合って、かなり複雑である。このように、場所によって異なる地磁気の分布を地図上に表現したものが磁気図である。

地磁気はまた、時間とともに変化する。その代表的なものは1日を周期とする日変化であり、あるいは地磁気の値が突然大きく擾乱されるいわゆる磁気嵐である。これらの変化の原因は、電離層ないしそれより外側の空間での太陽・地球間の相互作用であるとされている。その他にも、数10年程度以上の長い期間にわたって徐々に変わってゆく部分があり、永年変化と呼ばれている。このような地磁気の性質から、磁気測定の結果をまとめて磁気図を作成する際には、適当な時点(エポック)を定めて、観測値をエポックにおける値に引直すことが必要である。この引直しは、国土地理院では年度化成と呼ばれている。

永年変化を示すものとしては、年変化量がある。年度化成を行うためには年変化量に関する知識が必要なので、磁気図作成に際しては、同時に年変化量分布図も作成されることが多い。

III 磁気ポテンシャル

地磁気は、磁気ポテンシャルを考えることによって、その取扱いが比較的簡単になる。磁気物質のない空間においては、磁気ポテンシャル V が定義でき、地心を極とする極座標を (r, θ, λ) とすると、 V は微分方程式

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \lambda^2} = 0$$

を満足する。この方程式の解には球関数が用いられるが、磁気ポテンシャルの場合には、ルジャンドル陪関数 $P_n, m(\theta)$ の代りにシュミット球関数 $P_n^m(\theta)$ が用いられることが多い⁵⁾。この2つの関数は

$$\left. \begin{aligned} P_n^m(\theta) &= P_n, m(\theta) & m=0 \\ P_n^m(\theta) &= \sqrt{2 \frac{(n-m)!}{(n+m)!}} P_n, m(\theta) & m>0 \end{aligned} \right\}$$

という関係で結ばれており、シュミット球関数の具体形は

$$P_1^0(\theta) = \cos \theta$$

$$P_1^1(\theta) = \sin \theta$$

$$P_2^0(\theta) = \frac{1}{2} (3 \cos^2 \theta - 1)$$

$$P_2^1(\theta) = \sqrt{\frac{3}{2}} \sin \theta \cos \theta$$

$$P_2^2(\theta) = \frac{\sqrt{3}}{2} \sin^2 \theta$$

.....

となる。

地磁気は、地球内部が原因となる部分と、地球外部に起因する部分との和であるが、後者は前者にくらべて小さいため、球関数分析に際しては、後者を無視することが慣例となっている。その場合、微分方程式の解は

$$V = a_0 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a_0}{r} \right)^{n+1}$$

$$\{g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda\} P_n^m(\theta)$$

となる。ここで g_n^m , h_n^m はガウス係数と呼ばれる定数であり、 a_0 はガウス係数を決定する際に基準としてとられる球面の半径である。

地磁気の永年変化は、磁気ポテンシャルの変化として考えることができる。このとき変化するものはガウス係数であり、その年変化量が通常 $\dot{g}_n^m$, $\dot{h}_n^m$ と書かれる。これらの値を前式右辺のガウス係数の代りに用いれば、ポテンシャルの年変化量 $\dot{V}$ が得られる。

IV 国際標準地球磁場

これまで多くの研究者によって、種々のエポックにおけるガウス係数が求められているが、議論の基礎となるこれらの数値は共通のものを使用することが望ましいという事情があつて、国際標準地球磁場 (IGRF) が設けられた。現在までに1965年及び1975年の2つのエポックにおける数値が公表されて^{4,5)}。IGRFにおいては、 $n \leq 8$ のすべての係数及びその年変化量が定められており、その一部を表1に示す。

V 地磁気の成分

地磁気は方向と大きさを持つ、いわゆるベクトル量であり、互に独立な3つの成分であらわされる。磁気ポテンシャルの定義されている空間内の1点において、地磁気の直交3成分は

$$X' = \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta}$$

表 1 IGRF 1975 の係数

n	m	g_n^m (nT)	h_n^m (nT)	$\dot{g}_n^m$ (nT/y)	$\dot{h}_n^m$ (nT/y)
1	0	-30,186		25.6	
	1	-2,036	5,735	10.0	-10.2
2	0	-1,898		-24.9	
	1	2,997	-2,124	0.7	-3.0
	2	1,551	-37	4.3	-18.9
3	0	1,299		-3.8	
	1	-2,144	-361	-10.4	6.9
	2	1,296	249	-4.1	2.5
4	3	805	-253	-4.2	-5.0
	0	951		-0.2	
	1	807	148	-2.0	5.0
	2	462	-264	-3.9	0.8
	3	-393	37	-2.1	1.7
	4	235	-307	-3.1	-1.0

図 1

$$Y' = -\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V}{\partial \lambda}$$

$$Z' = \frac{\partial V}{\partial r}$$

であらわされる。ここで Z' は、地心に向う方向の成分であり、通常用いられている楕円体の法線方向の成分とは、わずかではあるが異なっている(図1)。この2つの方向のなす角を δ とすれば、通常の座標系での成分値は次式によって計算できる。

$$X = X' \cos \delta + Z' \sin \delta$$

$$Y = Y'$$

$$Z = Z' \cos \delta - X' \sin \delta$$

ここで X, Y, Z はそれぞれ北、東、下向きの成分である。

準楕円体の赤道半径を a 、極半径を b とし、この点の緯度、経度をそれぞれ B, L とすれば、 δ は

$$\sin \delta = \frac{\cos B \sin B}{r \sqrt{a^2 \cos^2 B + b^2 \sin^2 B}}$$

によって計算される。

地磁気ベクトルの成分としては、この他に、水平成分 H 、ベクトルの大きさ F (全磁力)、方位角 D (偏角)、水平からの傾き I (伏角) が時により使い分けられており、これらの成分はいずれも前記3成分から求められる。図2は、これらの成分の関係を示したものである。

VI データ収集

磁気図作成のために必要な観測所の月(または年)平均値及び野外測量の観測データについては、SCAR を通じ各国の国内南極委員会に対して提供を依頼した。その結果、オーストラリア、フランス、日本、ニュージーランド、南アフリカ、イギリス、アメリカ及びソ連の8カ国からデータが提供された。

観測所データについては、その他に、京都大学内にある世界データセンターで蓄積されている資料及び出版された資料も参照した。当初、南緯30度以南の27観測所のデータを収集したが、このうち6箇所は観測期間が3年未満であるため、年変化量の解析に当っては除外した。その他に、後に述べる理由により南緯30度以北にある11観測所を追加し、最終的に32箇所のデータを使用した。これらの観測所を表2に示す。

野外データについては、収集されたもののうち、南緯40度以南の海上又は陸上で、1957年以降に観測されたものを採用した。観測された成分は点により種々の組合せがあるが、独立な3成分の観測がある場合にはすべて(X, Y, Z)成分に変換して、以後の処理を行った。その他の場合には、 F または Z の観測されているものに限って採用した。これらの選択を行い、さらに後述するよ

図 2

うに不適切なデータを排除した結果、最終的に使用されたデータ数は、3成分の観測のある点が観測所を含め849点、F成分のみ8,022点、Z成分のみ712点、合計9,583点である。

VII 年度化成

地磁気の時間的変化のうち、短周期変化部分については、南極地域における観測所の分布が十分でないこと及び観測所の連続記録資料が入手されなかったことから無視し、永年変化のみを考慮して、1975.0年に化成した。

永年変化に対する補正の手順は、次のとおりである。

観測所における各成分の月または年平均値が、時間Tの3次式であらわされると仮定して

$$X = X_1 T^3 + X_2 T^2 + X_3 T + X_4 K_1 + X_5 K_2$$

$$Y = Y_1 T^3 + Y_2 T^2 + Y_3 T + Y_4 K_1 + Y_5 K_2$$

$$Z = Z_1 T^3 + Z_2 T^2 + Z_3 T + Z_4 K_1 + Z_5 K_2$$

とおき、最小二乗法により、観測所ごとに係数 $X_1, X_2, \dots, Z_5$ を決定した。このとき、Tの単位は年とする。ここで、右辺の第4項及び第5項はいずれも定数項で、通常は $K_1=1, K_2=0$ であるが、観測点が移転した場合には、移転後は $K_1=0, K_2=1$ とする。すなわち、これら2つの観測点はあまり離れていないので変化の傾向は同じであると仮定して、移転前後のデータを統一して扱うことができるようにしたものである。求められた係数の一部を、表3に示す。

この式により、1957年から1975年までの各年初における値を算出し、それらの差をとることによって、各観測所について1年ごとの年変化量が求められる。表2からわかるように、全期間にわたるデータの得られていない観測所が多いが、この場合には、データの欠けている期間のうち最初の1年については3次曲線を延長して年変化量を算出するが、それ以後については計算しないこととした。

観測所ごとの3成分の年変化量が計算されると、最小二乗法により $\dot{g}_n^m, \dot{h}_n^m$ が得られる。これらの値が1957年から1974年までの各年について計算された。ただし、観測方程式の数を考慮して、 $n \leq 4$ の合計24個について求められている。主要項の数値の変化の様子を表4に示す。

年変化量図を作成するために必要な1975.0年の年変化量のみは、この時点における3次曲線の接線の勾配から求められた。 $\dot{g}_n^m, \dot{h}_n^m$ を求めるためのその後の処理は、他の場合と同様である。

$\dot{g}_n^m, \dot{h}_n^m$ が与えられれば $\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}$ は計算できる。 $\dot{F}$ の計算式は

$$\dot{F} = (X\dot{X} + Y\dot{Y} + Z\dot{Z})/F$$

であるが、この段階ではX, Y, Z, Fが未決定である。そこでX等には、IGRF 1975によって計算された値を用いた。

これら4種の年変化量が緯度2度、経度4度ごとの格子点において計算され、各観測地点における年変化量は、格子点値から2次元の内挿によって求められた。内挿方式を用いたのは、計算量を節約するためである。

観測時点からエポックまで年変化量を積算し、これを観測値に加えれば、エポックに化成した値

表 2 年度化成に使用した地磁気観測所

名 称	国 名	位 置		期 間
		緯 度	経 度	
Amberley	ニュージーランド	-43°09'	172°43' E	1947~74
Argentine Island	イギリス	-65 15	64 16 W	1957~67, 75, 76
Byrd	アメリカ	-79 59	120 00 W	1957~61
		-80 01	119 31 W	62~65, 67, 68
Dumont d'Urville	フランス	-66 40	140 00 E	1957~58
		-66 40	140 01 E	60, 62~74
Gnangara	オーストラリア	-31 47	115 57 E	1958~75
Halley Bay	イギリス	-75 31	26 37 W	1957~66, 75
Macquarie Island	オーストラリア	-54 30	158 57 E	1951~75
Mawson	"	-67 36	62 53 E	1955~75
Mirny	ソ 連	-66 33	93 01 E	1957~74
Molodezhnaya	"	-67 40	45 51 E	1965~73
Novolazarevskaya	"	-70 46	11 49 E	1961~73
Port-aux-Français	フランス	-49 21	70 12 E	1957~69, 72~74
Sanae	南アフリカ	-70 18	2 22 W	1962~70
		-70 19	2 20 W	72~75
Scott Base	ニュージーランド	-77 51	166 47 E	1957~59, 64~75
South Pole	アメリカ	-89 59	13 19 W	1959~71
Syowa Base	日 本	-69 00	39 35 E	1958~62, 66~76
Toolangi	オーストラリア	-37 32	145 28 E	1941~75
Trelew	アルゼンチン	-43 15	65 19 W	1957~70
Vostok	ソ 連	-78 27	106 52 E	1959~61, 63~73
Watheroo	オーストラリア	-30 19	115 53 E	1919~58
Wilkes	"	-66 15	110 35 E	1957~66
Alibag	インド	18 38	72 52 E	1957~73
Apia	ニュージーランド	-13 49	171 47 W	1958~74
Fredericksburg	アメリカ	38 12	77 22 W	1957~75
Honolulu	"	21 19	158 00 W	1957~75
Huancayo	ペルー	-12 03	75 20 W	1957~74
Kakioka	日 本	36 14	140 11 E	1957~75
Logrono	スペイン	42 27	2 30 W	1957~73
Sitka	アメリカ	57 04	135 20 W	1957~75
Sodankylä	フィンランド	67 22	26 39 E	1957~75
Sverdlovsk	ソ 連	56 44	61 04 E	1957~75
Yakutsk	"	62 01	129 43 E	1957~73

が得られる。

VIII データの吟味

年度化成の終わったデータについては、まず IGRF 1975による計算値との差を求めた。主な目

的は、収集された原データからパンチカードを作成する際の誤りを発見することであり、これらの誤りは訂正された。

その他に一連の海上測定において、原データの経度の符号が混乱しているグループが発見され

表 3 Z の永年変化式の係数

観 測 所	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
Amberley	-.03	1.35	10.4	-55,189.1	—
Argentine Island	.01	- 1.81	151.0	-38,057.0	—
Byrd	-.46	19.31	-148.0	-58,542.1	-58,388.9
Dumont d'Urville	-.91	45.35	-662.6	-68,310.0	-68,119.0
Gnangara	-.09	4.87	- 81.5	-53,069.5	—
Halley Bay	.84	-41.89	715.8	-47,259.6	—
Macquarie Island	-.05	2.33	- 1.9	-64,572.5	—
Mawson	-.12	7.72	- 53.9	-48,945.3	—
Mirny	-.09	5.61	- 35.1	-60 487.8	—
Molodezhnaya	-.52	40.80	-896.6	-37,132.5	—
Novolazarevskaya	.45	-25.46	584.3	-43,893.7	—
Port Français	-.10	10.27	-251.9	-42,568.7	—
Sanae	-.25	14.49	-147.9	-38,411.3	-38,476.4
Scott Base	.04	- 2.48	133.3	-70,389.5	—
South Pole	-.57	26.75	-287.3	-56,331.9	—
Syowa Base	-.11	7.07	- 5.7	-43,725.8	—
Toolangi	.01	.18	- 11.0	-56,321.8	—
Trelew	-.17	6.96	- 50.6	-18,783.4	—
Vostok	.06	- 5.37	232.2	-63,269.3	—
Watheroo	.02	.58	- 40.6	-51,977.7	—
Wilkes	.82	-26.66	322.1	-66,350.4	—

注) 時刻の原点は, 1900.0年である。

た。これらのうち, 明らかに符号が間違っていると考えられるものは訂正し, 正しいと考えられるものと共に採用したが, 誤りかどうかははっきりしないものは不採用とした。

年度化成に際して短周期変化を無視したこと, 収集されたデータはすべて転記されたものであること等を考慮して, 前記の吟味を終えた後なおその差が2,000nT 以上あるものについては, 採用しなかった。これによって, 自然的あるいは人為的原因によって生ずる可能性のある大きな誤りが, データから除去されたと考えている。

IX データの調整

エポックに化成されたデータから磁気図を作成するには, いくつかの方法がある。第1は, データに忠実に, フリーハンドでコンター線を描くもので, 狭い地域での分布を詳しく調べるのに適している。

第2は, 各成分が経緯度の2次式であらわされたと仮定して, 最小二乗法によってこれらの式を決定する方法である。この方法は, 日本程度の広さの地域での分布を, 世界的規模の分布の一部として考える場合に有効である。国土地理院で作成している国内の磁気図の場合にはこれら2種のコンターを重ねて表示してある。

南極磁気図の場合には, 観測点の数が少なくかつ地域的に偏っていること, 1成分の観測しかない点が多いこと, 地域内に地理極及び磁極を含むこと等から, これら2つの方法とも適切ではないため, ポテンシャルの球関数展開式による第3の方法を採用した。すなわち, 磁気ポテンシャルを微分して得られる X, Y, Z 及び F の式を観測方程式として, 最小二乗法によりガウス係数を求め, それを用いて分布図を描くという方法である。諸種の事情を考慮して, 今回は $n \leq 12$ とした。この場合, 未知数としてとられるガウス係数は, 総計

168個である。

磁気ポテンシャルは本来、地球全域に適用される性格のものである。収集されたデータは南緯40度以南のものであり、地域的に偏った分布のデータを使って解を求めると正しい結果が得られないことが多い。このような事態を避けるためには、

表 4 ガウス係数の年変化量の経年変化

年	$\dot{g}_1^0(\text{nT/y})$	$\dot{g}_1^1(\text{nT/y})$	$\dot{h}_1^1(\text{nT/y})$
1957	14.1	-1.3	-3.4
58	15.8	-.3	-3.3
59	17.0	.4	-3.4
60	17.6	3.7	-1.9
61	19.6	6.2	-2.0
62	20.2	6.1	-2.5
63	20.9	6.5	-3.3
64	21.9	7.3	-3.6
65	21.2	5.6	-4.4
66	23.1	7.2	-4.8
67	23.4	9.8	-7.0
68	23.8	10.4	-7.3
69	23.8	10.7	-8.7
70	24.5	10.7	-11.0
71	25.5	11.5	-9.3
72	24.4	12.0	-12.0
73	24.3	12.4	-13.5
74	21.0	9.1	-17.2

表 5 求められたガウス係数

n	m	$g_n^m(\text{nT})$	$h_n^m(\text{nT})$	$\dot{g}_n^m(\text{nT/y})$	$\dot{h}_n^m(\text{nT/y})$
1	0	-30,164		24.4	
	1	-2,026	5,690	14.5	-16.8
2	0	-1,920		-23.2	
	1	3,003	-2,016	2.3	-3.9
	2	1,580	-43	9.4	-22.9
3	0	1,306		-4.2	
	1	-2,158	-397	-13.7	6.9
	2	1,269	254	-9.1	4.7
	3	800	-248	.6	-8.0
4	0	960		-2.7	
	1	818	169	2.6	0.0
	2	476	-264	-5.5	-0.5
	3	-391	28	-5.9	3.7
	4	240	-306	3.2	-1.1

データの欠けている地域に追加データが必要であるが、実際問題としてこれらは入手できないので、IGRF 1975による計算値をデータと見なして追加した。これらの計算は、南緯60度から北緯60度までは経緯度各10度ごとの格子点、それ以外の地域では緯度10度、経度20度ごとの格子点、合計540点について行われた。

年度化に際してポテンシャルの年変化量を用いた理由及び11観測所を追加した理由も、これと同様である。

このようにして求められた、エポックにおけるガウス係数を、先に得られたその年変化量とともに表5に示す。

X 磁気図の作成

求められたガウス係数及びその年変化量を用いて、各成分及びその年変化量を格子点において計算した。格子点の間隔は、緯度は1度ごとであるが、経度は緯度により異なり、次のとおりである。

緯 度	経 度 間 隔
40° S ~ 60° S	1°
61 ~ 80	2
81 ~ 85	6
86 ~ 89	12

これらの格子点値から、内挿によってコンター線の通る位置を定め、これを次々に追跡してコンター線を描いた。

作成図は、7種の各成分について成分値及びその年変化量を1枚に描き入れたもの7枚、及びFの化成値から計算値を減じた残差の分布図1枚、合計8枚である。前者は基図上に赤及び青のコンター線で描かれており、後者は残差を7段階に区

表 5 つづき

n	m	$g_n^m(\text{nT})$	$h_n^m(\text{nT})$
5	0	- 221	
	1	364	33
	2	274	133
	3	- 16	-136
	4	- 169	-101
6	5	- 38	76
	0	59	
	1	55	- 23
	2	8	117
	3	- 218	78
	4	8	- 40
7	5	- 10	- 13
	6	- 115	- 5
	0	75	
	1	- 53	- 84
	2	5	- 27
	3	7	- 2
	4	- 19	3
8	5	- 8	30
	6	17	- 17
	7	- 11	- 11
	0	- 13	
	1	11	34
	2	- 9	- 30
	3	- 1	9
	4	- 22	- 7
9	5	11	3
	6	- 14	20
	7	17	- 14
	8	0	- 20
	0	- 2	
	1	2	2
	2	2	6
	3	- 3	- 2
	4	2	2
9	5	4	- 3
	6	- 3	5
	7	0	4

表 5 つづき

n	m	$g_n^m(\text{nT})$	$h_n^m(\text{nT})$
10	8	- 3	- 1
	9	0	0
	0	- 1	
	1	- 3	- 3
	2	2	2
	3	0	- 2
11	4	2	1
	5	- 4	- 1
	6	4	- 2
	7	- 2	- 5
	8	4	1
	9	1	1
	10	0	0
12	0	3	
	1	1	- 5
	2	- 1	1
	3	- 1	0
	4	1	- 3
	5	- 3	2
	6	2	- 2
	7	- 1	1
12	8	0	1
	9	- 4	- 4
	10	2	- 1
	11	- 1	0
	0	2	
	1	1	2
	2	0	- 4
	3	- 1	4
	4	- 5	1
12	5	9	2
	6	- 7	1
	7	6	6
	8	- 7	- 5
	9	8	7
	10	- 6	1
	11	4	1
	12	0	- 1

分し、区分ごとに色分けした丸印で、同じ基図上の観測点の位置に表示されている。従って、後者は観測点の分布図も兼ねているが、Zの観測しかされていない点は表示されていない。

基図は縮尺1,500万分の1のステレオグラフィック投影によるもので、南極を中心として南緯55度以南の地域について記載されている。

XI ま と め

磁気図作成のための理論は周知のものであり、作成に当って力を注いだのは、与えられた条件の下でいかに効率的に作業を進めるかということであった。例えば、シュミット球関数は計算中にしばしば使われるので、あらかじめ

$$P_n^m(\theta) = \sin^m \theta \sum_{i=0}^{n-m} a_{nmi} \cos^i \theta$$

として a_{nmi} を求めておき、 θ が与えられれば直ちに計算できるようにした。 a_{nmi} の計算には、通常用いられる漸化式あるいは直接計算式ではなく新しい関係 $P_n^m(\cos \theta)$ を導入して漸化式

$$P_n^m(\cos \theta) = \frac{1}{\sqrt{(n+m)(n-m+1)}} \frac{d}{d(\cos \theta)} P_{n-1}^{m-1}(\cos \theta)$$

を用いた。この関数とシュミット球関数とは

$$\left. \begin{aligned} P_n^0(\theta) &= \frac{1}{\sqrt{2}} P_n^0(\cos \theta) \\ P_n^m(\theta) &= \sin^m \theta P_n^m(\cos \theta) \quad m \geq 1 \end{aligned} \right\}$$

という関係にある。

今回の計算では、データとして IGRF 1975 による計算値を加えてあることから、南極地域においては実際の分布と IGRF の分布との加重平均が得られていると考えることができよう。また、観測点の高さを無視し、高度補正を行わなかったことから、得られた分布は楕円体面上のものというよりも、地表での分布に近いと考えられる。

ガウス係数から、磁極の位置及び双極子モーメントが求められる。

磁極は水平成分が消失する点として定義されるが、今回の結果によれば、南磁極の位置は

$$B = 65.8^\circ \text{ S}$$

$$L = 139.3^\circ \text{ E}$$

である。この値は、アメリカで求められたものと殆んど一致している。南磁極は、南極大陸内部にあってアデリーランドの沿岸に向かって移動しているとされていたが、今回の結果は従来の移動方向の延長線上にあり、完全に海上に出ていることが注目される(図3)。

地磁気を、地心に置かれた棒磁石によるものと

その他のものとに分けた場合、棒磁石の強さ(双極子モーメント) M は、

$$M = (a_0)^3 \sqrt{(g_l^0)^2 + (g_l^1)^2 + (h_l^1)^2}$$

であらわされる。今回の結果を使って計算すると、

$$M = 8.0 \times 10^{25} \text{ e. m. u.}$$

となった。 M は過去100年以上にわたって減少を続けており、この値もその減少傾向と一致している(図4)。

図3 磁極の移動

図4 双極子モーメントの変化
(力武常次:「地球電磁気学」による)

図5 コンピュータから出力された偏角図

計算はすべて国土地理院のコンピュータ NE AC 2200/500を用いて行われ、コンター線及び観測点の図上位置は X-Y プロッタにより出力された。図5は、出力された図の一部である。計算に際して必要な定数としては、IGRF で採用されているものと同じ

$$a_0 = 6371.2 \text{ km}$$

$$a = 6378.160 \text{ km}$$

$$f = (a - b) / a = 1/298.25$$

を用いた。

謝 辞

SCAR を通じて行ったデータ収集の依頼に応じて、下記の諸機関からデータ或いはデータに関する情報が提供された。

Department of Natural Resources, Australia

Department of Science, Australia

Institut de Physique du Globe de Paris, Université Pierre et Marie Curie

National Institute of Polar Research, Japan

Ocean Research Institute, University of Tokyo

Department of Scientific and Industrial Research, New Zealand

Council for Scientific and Industrial Research, South Africa

Bernard price Institute of Geophysical Research, University of the Witwatersrand

British Antarctic Survey, United Kingdom Geophysical and Polar Research Center, University of Wisconsin-Madison

Geological Survey, United States of America

Academy of Sciences of the USSR

これら諸機関の 関係者及び 終始連絡の 任に当られた SCAR 事務局長 G. E. HEMMEN 博士、貴重な助言を与えられた SCAR 固体地球物理ワーキンググループ幹事 C. R. BENTLEY 教授に対し、深甚の謝意を表する。

本事業を開始するにあたり、次の諸氏によって“南極磁気図作成ワーキンググループ”が組織された。

小口 高、国分 征(東京大学理学部)

行武 毅(東京大学地震研究所)

友田好文、小林和男(東京大学海洋研究所)

平沢威男(国立極地研究所)

大島章一(海上保安庁水路部)

田島 稔、藤田尚美、春山 仁(国土地理院)

これらの方々にはその会合において、また個別にも種々の有益な指導助言をいただいた。極地研究所長永田武博士、国土地理院鈴木弘道博士、同水野浩雄氏からも指導激励をいただいた。ここに厚く御礼を申し上げる次第である。

また、ソフトウェアの開発を分担された塚原弘一氏並びに本事業の完遂のために労力を提供された国土地理院地磁気係、計算係及び地図管理部の関係者諸氏に対し、謝意を捧げる。

文 献

- 1) Glavnoye Upravleniye Geodezii i Kartografii MG SSSR (1966) : Atlas Antarktiki I, 34-38, Moscow.
- 2) BEHRENDT, J. C., and C. R. BENTLEY (1968) : Magnetic and Gravity Maps of the Antarctic, Antarctic Map Folio Series, Folio 9, American Geographical Society, New York.
- 3) CHAPMAN, S., and J. BARTELS (1951) :

- Geomagnetism, 2, 611-612, Oxford University Press, London.
- 4) IAGA Commission 2 Working Group 4 (1969) ; International geomagnetic reference field 1965.0, *J. Geophys. Res.*, 74, 4407-4408.
- 5) IAGA Division I Study Group Geomagnetic Reference Fields (1976) : International geomagnetic reference field 1975, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 44, 733-734.
- 6) PEDDIE, N. W., and E. B. FABRIANO (1976) : A model of the Geomagnetic field for 1975, *J. Geophys. Res.*, 81, 2539-2542.
- 7) 力武常次(1972) : 地球電磁気学, 87-88, 岩波書店, 東京.
- (1978年6月30日受理)