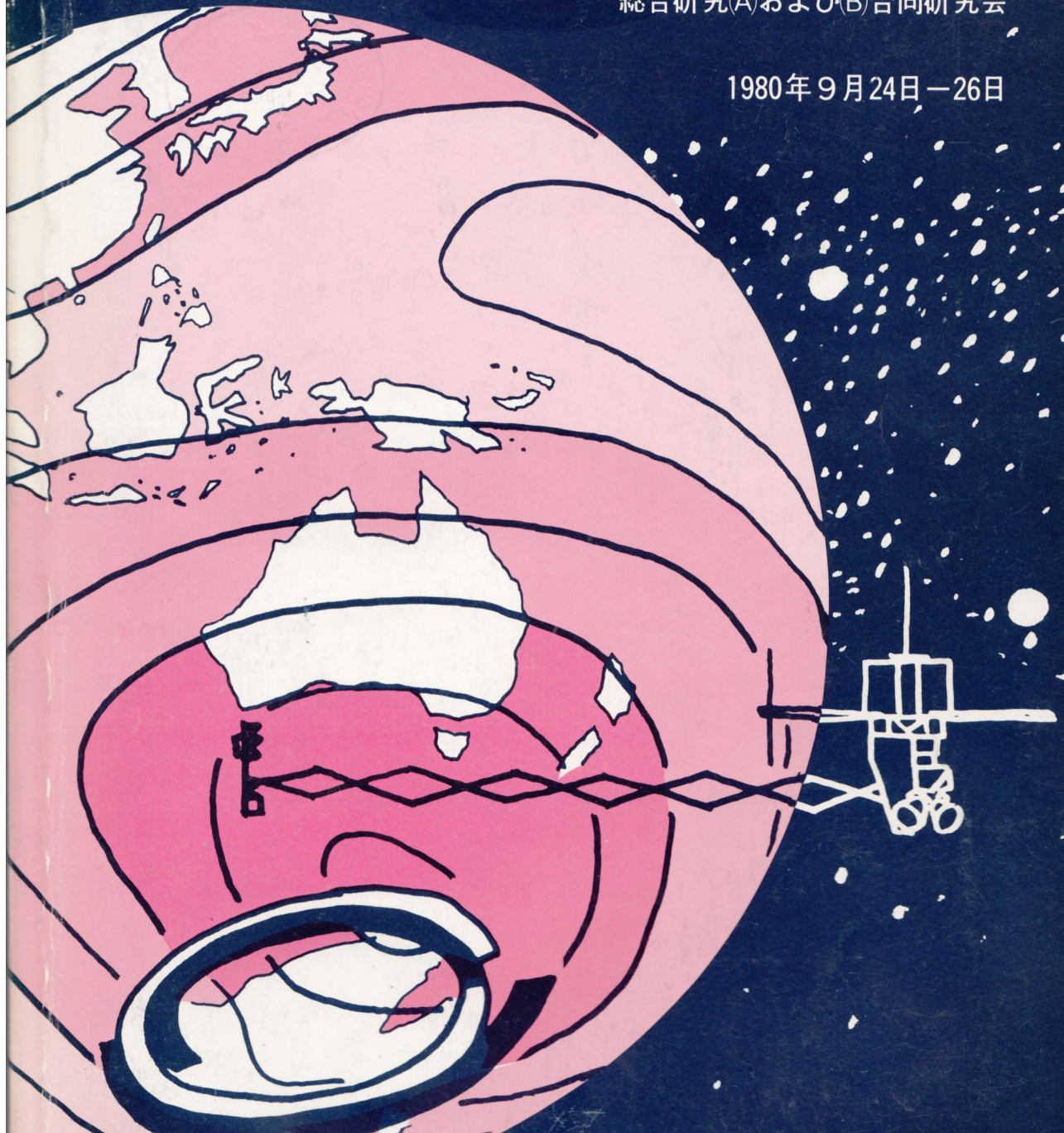


磁 場 精 密 測 定

—技術的問題克服への努力と地球物理学への貢献—

総合研究(A)および(B)合同研究会

1980年9月24日—26日



総合研究(A)「地上・海上・航空磁気測定と人工衛星観測の資料対比による
地球内外の電磁気学的研究」

代表者 福 島 直

総合研究(B)「高精度磁力計の開発とその極微小地球磁場変動観測への応用」

代表者 斎 藤 尚 生

MAGSAT 全磁力測定の高高度変化補正について (モデルスタディ)

地質調査所 中塚 正・小川克郎・小野吉彦

REDUCTION METHOD OF MAGSAT DATA TO A CONSTANT HEIGHT LEVEL USING A EQUIVALENT SOURCE TECHNIQUE

Tadashi NAKATSUKA, Katsuro OGAWA, Yoshihiko ONO

Geological Survey of Japan
1-3, Higashi-1, Yatabe-machi,
Tsukuba-gun, Ibaraki, 305, JAPAN

Abstract

Bhattacharyya(1977) developed the method to reduce the total magnetic field data obtained by satellites to a constant height level. This method is based on the reduction procedure described by Bhattacharyya and Chan (1977), in which the observed field is converted into a surface distribution of magnetic moment normal to the surface as an equivalent source. Their superior idea is to use the surface of equivalent source identical with the observation surface, and this bring us intense merit for solving the problem easily. However, they made a slight mistake in their theoretical consideration, and consequently, their method can be applied only under the approximation that the observation surface is not so high topographic.

Here we improve the reduction method so as to need no assumption. Under a slight modification of the model, similar method can be developed with no approximation. That is, using a surface distribution of vertical magnetic moment as an equivalent source, the reduction procedure is led in a same way as Bhattacharyya and Chan (1977) did. Comparative result shows that this method will give us more precise result of reduction.

Although Bhattacharyya(1977) described the reduction of total field under some approximation with respect to the magnetic field direction, the method can be expanded to an arbitrary directional component. The expanded method does not require any assumption of magnetic field direction, and it will be effective especially for the vector observation of magnetic field.

1. INTRODUCTION

筆者らは、日本周辺等の地殻構造に関する研究の第1段階として、MAGSAT データによる磁気図作成を行う予定である。MAGSAT データは、地殻構造に起因する磁気異常ばかりでなく時間的に変化する種々の情報を含んでおり、その分離の方法も問題であるが、統計的な手法で分離を行い得たとしても、衛星の軌道の高高度変化に対する補正が必要である。高高度変化のある人工衛星の全磁力測定結果を、一定高度での値へ Reduce する方法につい

ては、すでに Bhattacharyya(1977) がその理論を展開しており、その内容は等価モデルを用いた磁気データの任意曲面への Reduction (Bhattacharyya and Chan (1977))の方法を基礎にしている。

任意曲面での磁場測定結果を別の曲面での値に Reduce する方法は、Dampney(1969), Henderson and Cordell (1971), Syberg(1972)などによっても研究されているが、データ点数が多い場合に Bhattacharyya and Chan (1977)の方法がより威力を発揮する。従って、日本周辺等の限られた地域の地殻構造を詳しく調べるためには、この方法が有効な手段になると考えられる。

Bhattacharyya and Chan (1977)は、等価モデルを測定面上にもってくるという択抜したアイデアを導入したが、その理論展開を追ってみると、一部に論理の誤りがあり、結果的に unnecessary 近似を持ち込んでいることがわかった。本論では、近似なしの等価モデルによる Reduction 方法とその結果を明らかにし、MAGSAT データへの適用を考察する。

2. THEORY

まず最初に, Bhattacharyya and Chan (1977)の理論を紹介すると、次の通りである。

無限曲面 S の表面に、その面に垂直なダイポールモーメント $J(\alpha, \beta, \gamma)$ が分布するモデルを考える。これによるポテンシャル $U(x, y, z)$ は、

$$U = \int_S (Jn \cdot R/R^3) ds \quad (1)$$

$$R = |R|$$

$$R = i(x-\alpha) + j(y-\beta) + k(z-\gamma)$$

$$n : \text{Unit Vector normal to the Surface } S$$

で与えられ、これによって生ずる異常磁場の外部磁場方向 (t : Unit Vector) の成分 $T(x, y, z)$ (全磁力異常) は、

$$T = -(t \cdot \nabla) U \quad (2)$$

であるから、

$$K = n \cdot R/R^3 \quad (3)$$

とおくと、

$$\begin{aligned} T &= - \int_S J(t \cdot \nabla K) ds \\ &= - \int_S (t \cdot \nabla_0 J) K ds - \int_S J t \cdot (\nabla + \nabla_0) K ds \end{aligned} \quad (4)$$

$$\nabla_0 = i(\partial/\partial\alpha) + j(\partial/\partial\beta) + k(\partial/\partial\gamma)$$

となる。ここで, Bhattacharyya and Chan (1977) は、 $(\nabla + \nabla_0)K = 0$ として、

$$T = - \int_S (t \cdot \nabla_0 J) K ds \quad (5)$$

を導いている。このとき、

$$\mu = t \cdot \nabla_0 J \quad (6)$$

とおくと、

$$T = - \int_S \mu K ds \quad (7)$$

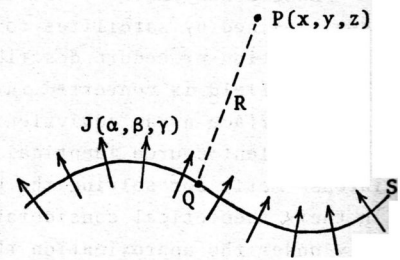


Fig.1. B & C Model

ここで、測定点 P を曲面 S 上の点 Q へ曲面に垂直に無限に近づけると、

$$T_0 = 2\pi\mu - \int_{S'} \mu K ds \quad (8)$$

となる。ここに S' は S から点 Q を除いたものである。

さて、S を測定面そのものに合致させ、その面上での μ の分布を仮定して (8) から得られる T_0 の値を測定値に一致させることを考える。これは、(8) を μ の積分方程式と考えてその解を求めることに相当する。(8) 式は、

$$\mu = \frac{T_0}{2\pi} - \frac{1}{2\pi} \int_{S'} \mu K ds \quad (9)$$

の形に変形し、 μ の近似値を与えて右辺に代入し、得られた (9) 式の値を次の段階の近似値とする Iteration によって解くことができる。なお、 μ の初期値としては $T_0/2\pi$ が用いられる。こうして得られた μ の値から (7) 式により任意の位置での磁場が計算される。

しかしながら、 $(\nabla + \nabla_0)K$ は一般的には 0 に等しくはなく、0 になるのは n が Constant すなわち S が平面の場合だけである。従って、Bhattacharyya and Chan (1977) の理論は測定面があまり大きな曲率をもたないという近似のもとにのみ成り立つ。一方、 K を定義した (3) 式に現われる n はダイポールモーメントの向きを表わしており、これを Constant にすることは、曲面の形にかかわらずダイポールモーメントの方向を固定することを意味しており、そのような変更を行えば上述のような近似を持ち込まなくてすむことを意味している。

いまここに、曲面 S の表面に鉛直な (z 方向の) ダイポールモーメント $J(\alpha, \beta, \gamma)$ が分布するモデルを考えると、(1)-(7) と同様にして次式が得られる。

$$T = - \int_S \mu' K' ds \quad (10)$$

$$\mu' = t \cdot \nabla_0 J \quad (11)$$

$$K' = (z - \gamma) / R^3 \quad (12)$$

また、前と同様に測定点 P を曲面 S に無限に近づけると

$$T_0 = 2\pi n_3 \mu' - \int_{S'} \mu' K' ds \quad (13)$$

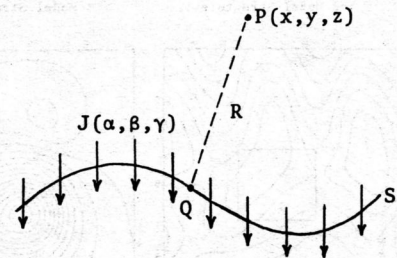


Fig.2. N etc. Model

となる。ここに、 n_3 は S に垂直な単位ベクトルの z 方向成分である。

ここで、 μ, K を新たに、

$$\mu = n_3 \mu' \quad (14)$$

$$K = K' / n_3 \quad (15)$$

と定義すると、(8) および (9) 式が得られ、前述の方法で解くことができる。

実際に (9) 式の解を求めるにあたっては、右辺の無限曲面 (または閉曲面) での積分を有限な範囲の数値積分に置きかえることになる。従って、得られる結果は特に縁辺部において若干の誤差が混入する。なおここでは、Bhattacharyya and Chan (1977) にならって 53×53 の格子点データを取扱う。

3. EXAMPLES

次に、前述の2通りの方法をモデルケースに適用した例を示す。

第3図は、Bhattacharyya and Chan (1977) (以下B&Cと略記)が示しているのと同様のモデルデータに適用した例である。第3～5図を通じて、aは測定面の高度と地下構造モデルの位置を、bはその面で測定

される磁気異常を示している。ここに、地下構造モデルのパラメータは第1表の通りである。aおよびbを原データとしてB&Cの方法によって高度 $h=7$ の平面にReduceした結果がcで、前節に述べた我々の方法(以下N etc.と略記)の結果がdである。

Block Model	A	B	C	D
Depth to the Top	2	3	1	5
Depth to the Bottom	7	7	7	15
Magnetization	20	40	20	10
Inclination	30°	72°	60°	60°
Declination	-45°	5°	10°	0°
Normal Field Direction	Inclination		65°	
	Declination		20°	

なお、cおよびdの図中の破線は設定したモデルから $h=7$ の平面での磁

TABLE 1. Model Parameters

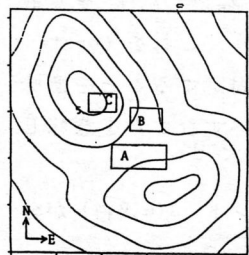


Fig. 3a. Observation Surface and Model Structure 1.

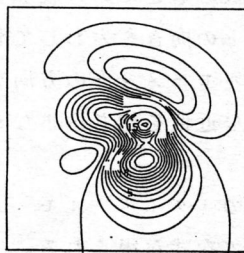


Fig. 3b. Anomaly Generated by Model Structure 1.

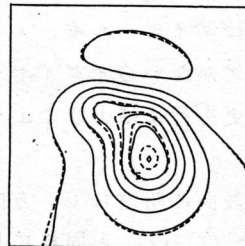


Fig. 3c. Reduction after B&C for Model 1. ($h=7$)

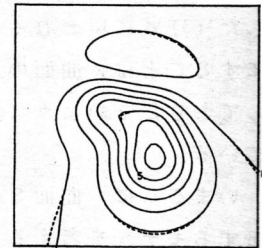


Fig. 3d. Reduction after N etc. for Model 1. ($h=7$)

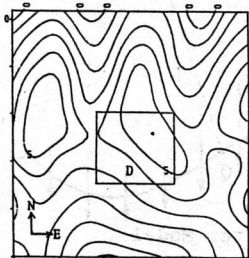


Fig. 4a. Observation Surface and Model Structure 2.

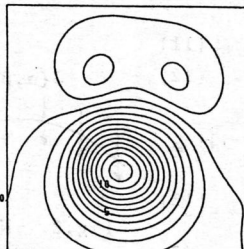


Fig. 4b. Anomaly Generated by Model Structure 2.

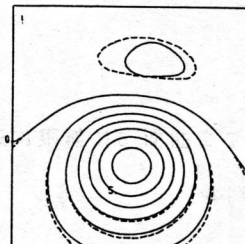


Fig. 4c. Reduction after B&C for Model 2. ($h=7$)

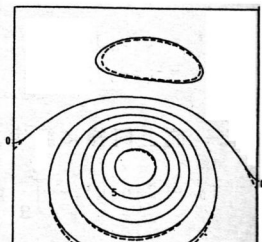


Fig. 4d. Reduction after N etc. for Model 2. ($h=7$)

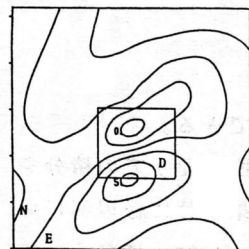


Fig. 5a. Observation Surface and Model Structure 3.

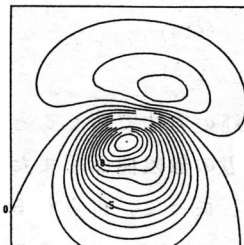


Fig. 5b. Anomaly Generated by Model Structure 3.

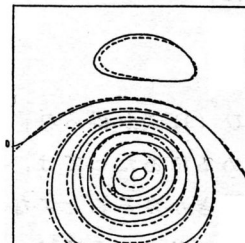


Fig. 5c. Reduction after B&C for Model 3. ($h=7$)

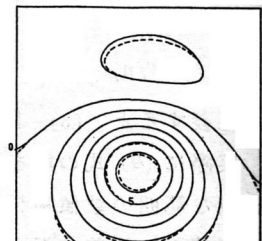


Fig. 5d. Reduction after N etc. for Model 3. ($h=7$)

気異常を理論的に求めた結果を示す。

第4図は、測定面の形状をやや複雑にした例であるが、第3図・第4図の場合とも、大局的には B&C の結果よりも N etc. の結果がやや優れている。しかしコンターに差異が見られるのは、概ね傾度のゆるい位置であり、値としての差はさほど大きくはない。

つぎの第5図は、測定面の勾配変化を部分的に大きくした場合の例を示している。この例では、両者の結果に歴然たる差異が見られ、このようなモデルの場合には B&C の方法が適当でないと言える。

また、前節に述べた Iteration における収束の状態を、第3～5図の例について示したものが、第6～8図である。このように、解の収束の上からも N etc. の方法がより良い結果を得ている。

4. APPLICATION TO MAGSAT DATA

以上の議論はすべて、全磁力についてのもので、また、外部磁場の方向 t が Constant とみなせる程度のあまり広くない区域を想定したものである。しかし、人工衛星のデータは全地球規模のデータを提供しており、その一部のみを抽出して解析する場合においても、通常 t の変化を考慮する必要がある。Bhattacharyya(1977)はこの点を考えて、(9)式により t の分布を求めるまでは t を Constant とみなし、その μ の分布から(7)式により任意曲面上の磁場を求める段階で t の変化を考慮に入れる方式を示している。これは、等価モデルを測定面自身の上に設定しているため、測定点から離れた位置に置かれるダイポールモーメントの影響が相対的に小さく、 t の値の多小の変化は無視できると考えられるので、あまり問題のない近似であろうと思われる。

一方、MAGSAT は三成分の磁場データを提供しており、これを有効に利用することが望

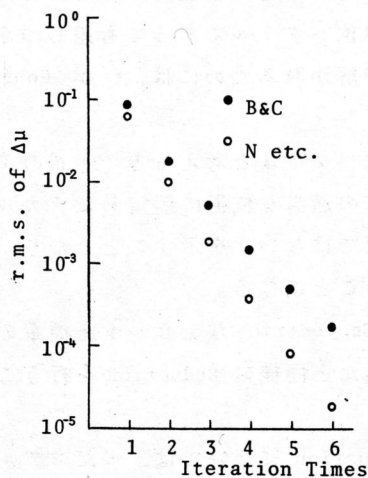


Fig. 6. Convergency (Model 1.)

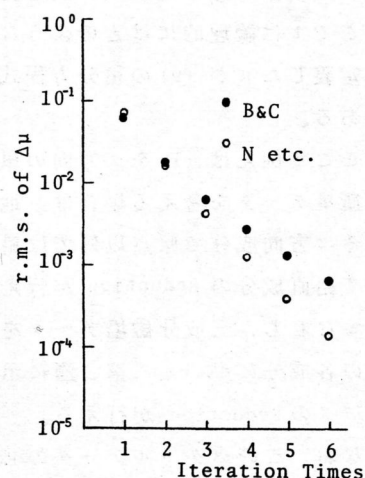


Fig. 7. Convergency (Model 2.)

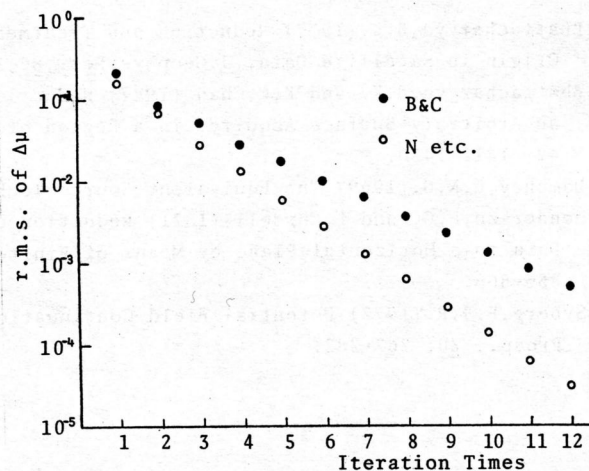


Fig. 8. Convergency (Model 3.)

まれる。第2節の理論式に立ち帰ってみると、全磁力の枠をはめたのは(2)式であるが、ここで t は論理的にはどのような単位ベクトルであっても差しつかえない。ただ、(6)式で定義した μ が(9)の積分方程式で解かれるためには、 t が Constant であることが必要である。

ここで例えば、 T を z 方向の単位ベクトルと考えると(2)式の T は磁場の鉛直成分(人工衛星データを考える場合は、地球の適当な位置に固定したデカルト座標系 (x,y,z) における z 方向成分で原点以外では鉛直ではない)を示すこととなり、(9)および(7)式によって鉛直成分の Reduction が行えることになる。

すなわち、三成分磁場データを Geocentric なデカルト座標系の三成分として表現し、その各成分について、第2節に示したと同様の Reduction を行うことによって、ベクトルデータの Reduction が行える。

なお、このベクトルデータの Reduction については、未だモデルケースについても適用した結果を得ていないが、今後その検討を行いたい。

REFERENCES

- Bhattacharyya, B.K. (1977) Reduction and Treatment of Magnetic Anomalies of Crustal Origin in Satellite Data, *J. Geophys. Res.*, **82**, 3379-3390.
- Bhattacharyya, B.K. and K.C. Chan (1977) Reduction of Magnetic and Gravity Data on an Arbitrary Surface Acquired in a Region of High Topographic Relief, *Geophysics*, **42**, 1411-1430.
- Dampney, C.N.G. (1969) The Equivalent Source Technique, *Geophysics*, **34**, 39-53.
- Henderson, R.G. and L. Cordell (1971) Reduction of Unevenly Spaced Potential Field Data to a Horizontal Plane by Means of Finite Harmonic Series, *Geophysics*, **36**, 856-866.
- Syberg, F.J.R. (1972) Potential Field Continuation between General Surfaces, *Geophys. Prosp.*, **20**, 267-282.