

日本の地磁気測量と地磁気モデル

白井宏樹・紀小麗・鈴木啓・何金蘭（国土地理院）・宇津木充（京都大）

Geomagnetic Survey and Geomagnetic Model in Japan

Hiroki Shirai, Xiaoli Ji, Akira Suzuki, Jinlan He (Geographical Survey Institute)
Mitsuru Utsugi (Kyoto University)

Abstract

The Geographical Survey Institute has conducted geomagnetic survey at the geomagnetic stations, geodetic observatories and continuous observation stations of geomagnetism in land area of Japan. The purpose of these surveys is to clarify the geographical distribution of direction and intensity of geomagnetic field and their secular variations. The results of geomagnetic surveys have been compiled in magnetic charts. At present, we are developing the geomagnetic model by SCHA.

1. はじめに

国土地理院では、日本全国の地磁気の地理的（空間）分布と経年（時間）変化を把握することを目的に地磁気測量を実施している。これら測量結果は、国土の地理情報として磁気図・偏角一覧図・地形図等で公表している。

現在磁気図に使用しているデータは、約 900 点であり平均観測点間距離が約 23km の空間分解能であるのに対して、時間分解能は 10 年間隔で公表しているため十分に表現できていない問題点がある。そのために、時間分解能の向上を目指した標準磁場の経年変化量モデル構築を進めている。これまでの日本標準磁場モデル（磁気図）は多項式展開により算出してきたが、現在は球関数展開によるモデル開発を進めている。高精度なモデルが確立すれば、火山噴火予知などをターゲットにした磁場観測に対して、火山噴火活動に起因しない時間変化項を取り除く情報を与えることができると考えられる。

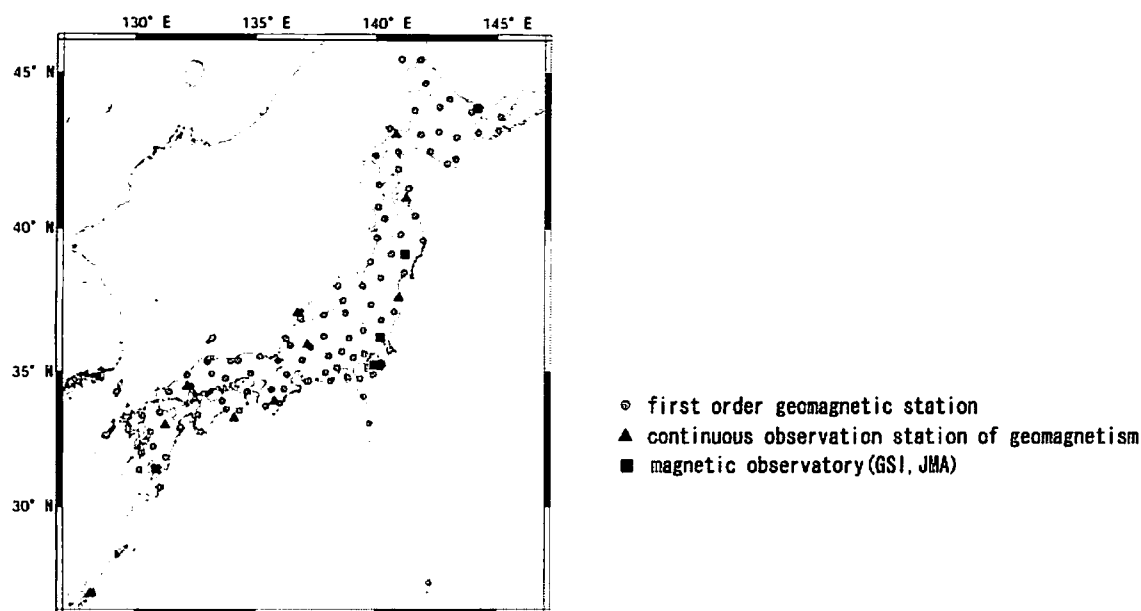
本稿は、①どのような観測を実施しているか ②多項式展開での標準磁場モデルと球関数展開での経年変化量モデルの構築と検証 ③今後の展望について報告する。

2. 地磁気測量

国土地理院の地磁気測量は、連続観測と繰り返し観測の 2 種類がある。

連続観測は、1996 年に無人観測点である地球電磁気連続観測装置を 11 点設置した（第 1 図）。これらの観測点では、プロトン磁力計とフラックスゲート磁力計で毎分値観測を行っており、約 1 年周期に磁気儀を用いてフラックスゲート磁力計の基線値を求めるための絶対観測を実施している。また、3 箇所の観測所において地磁気連続観測を実施している。

繰り返し観測は、1949 年から全国各地の経年変化を把握することを主目的に一等磁気測量を実施している。このために国家基準点である一等磁気点を約 100 点設置し 2~4 年の周期を目標に改測を実施してきたが、現在の改測点数は約 25 点に減ってきている。空間分布把握のために、改測点数と改測周期の維持は必要であると思われる。また、詳細な空間分布を把握することを目的に 1952~1970 年に全国約 850 点の二等磁気点の観測をしてきたが、現在は観測していない。なお、観測には、磁気儀とプロトン磁力計による絶対観測とフラックスゲート磁力計による変化観測を併用している。



第 1 図 観測点配点図

Fig. 1 Location of geomagnetic stations

3. 磁気図

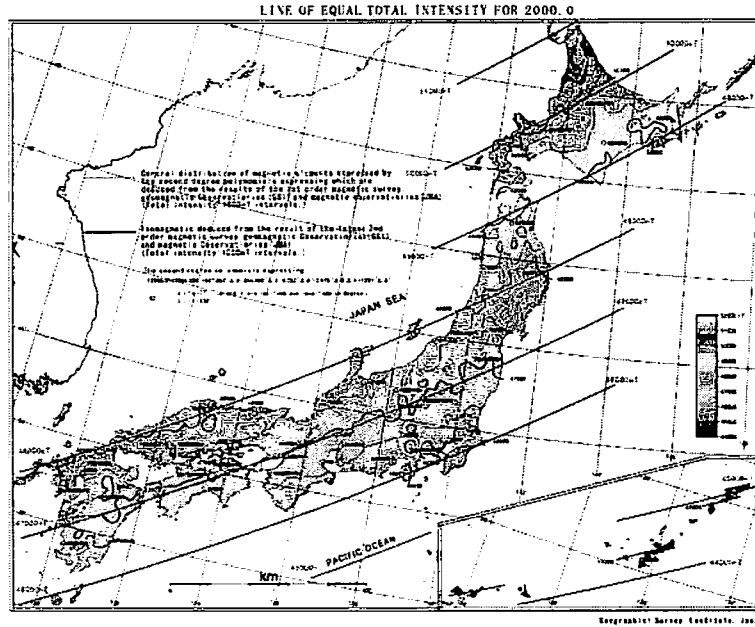
これまで磁場の空間分布を表現するために磁気図を作成してきた。これは、基準年における地磁気各成分の等値線を図化したものであり、以下では最新版の 2000.0 年磁気図について説明する。

まず観測値は、異なる時間で観測されるため基準年に化成（統一）する必要がある。連続データは年平均値、一等磁気点の離散データは日平均値を、気象庁地磁気観測所（柿岡）のデータを用いて化成している。

次に観測所（5 点）と定期的に改測された一等磁気点（26 点）のデータを用いて、各点の 1990~2000 年の 10 年間の経年変化量を求める。ここで日本周辺域の磁場分布を大局的に緯度・経度の二次多項式で表現するものと仮定し、最小二乗法により、定期的に改測が行われていない一等磁気点や二等磁気点の 10 年間の変化量を求める。最終的に 2000.0 年値は、1990.0 年値に求めた 10 年間の経年変化量を加算して算出している(Shirai *et al.*, 2005)。

前述で求められた 2000.0 年値を図化したものが磁気図（第 2 図）であり、緯度と経度の

二次多項式で表現したものが標準磁場分布式である。第 1 式は、全磁力値の標準磁場分布式を示し、約 213nT の誤差で観測データを表現している。



第 2 図 磁気図 (F:2000.0)

Fig.2 Magnetic charts (F:2000.0)

$$F = 47505.388 + 567.453 \Delta \phi - 294.499 \Delta \lambda - 0.255 \Delta \phi^2 - 2.975 \Delta \phi \Delta \lambda + 1.291 \Delta \lambda^2 \quad (1)$$

($\Delta \phi = \phi - 37^\circ \text{N}$ $\Delta \lambda = \lambda - 138^\circ \text{E}$ ϕ, λ : unit of degree)

4. 経年変化量モデル

磁場の経年変化分布を把握するために、高精度な経年変化量モデルの構築を進めており、用いた手法は、自然直交基底法と球面調和解析法である(Ji *et al.*, 2005)。

使用データは、地磁気観測所も含めた観測所データ (5 点) と連続観測点データ (9 点) で各点の配置は第 3 図で示す。データ期間は 1999～2004 年の 3 ヶ月平均値 (静穏日) を使用した。経年変化を把握するためには年平均値が望ましいが、連続観測点データ量の蓄積が少ないために、3 ヶ月平均値を使用した。

$$H = \sum_{k=1}^n X_k \cdot T_k + \delta \quad (2)$$

使用した手法について、以下で簡単に説明する。観測データは、X・Y・Z の直交成分で第 2 式のように表現する。H は各観測点の磁場連続データ、 X_k は磁場変化の空間成分、 T_k は時間成分を表す関数である。この分解には、自然直交基底法を用いる。自然直交基底法は、統計学で用いられる主成分分析法の応用で、いくつかの観測値に共通する特性を互いに独立な少数の数値関数の組 $T_1, T_2, \dots, T_k$ で表すものである。 T_k の重みが各観測点における離

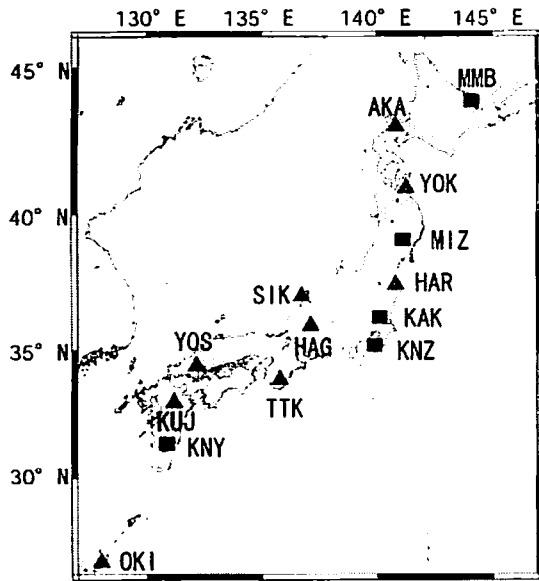
散的な空間関数 X_k となる。今回は第 4 成分までの T_k を用いた。

離散的な空間関数から磁場の連続的な空間関数を求めるために、球面の一部に対する調和関数展開を用いる(Haines, 1985)。これは全球モデルの IGRF (International Geomagnetic Reference Field) でも類似した手法を用いているが、今回のような日本付近のみに限られた領域では、球面の一部 (Spherical Cap) において調和的となる関数の組を用いる。第 3 式は、磁場スカラーポテンシャル (V) の表現式であり、 a は基準球面の半径 (6371.2 km)、 (r, θ, ϕ) は 距離、余緯度、経度である。第 4 式のような sturm liouville の境界条件によりガウス係数 (g_k^m, h_k^m) を算出する。今回は、 $37^\circ \text{ N} \cdot 137^\circ \text{ E}$ を極として余緯度を 15° のキャップを想定し、5 次までガウス係数で解析を行った。

$$V = a \sum_{k=0}^{K_{\max}} \sum_{m=0}^k (a/r)^{n_k(m)+1} (g_k^m \cdot \cos m\phi + h_k^m \cdot \sin m\phi) \cdot P_{n_k(m)}^m(\cos\theta) \quad (3)$$

$$\begin{cases} \frac{dP_{n_k(m)}^m(\cos\theta_0)}{d\theta} = 0 & (k-m = \text{even}) \\ P_{n_k(m)}^m(\cos\theta_0) = 0 & (k-m = \text{odd}) \end{cases} \quad \text{or} \quad (4)$$

作成した経年変化量モデルの精度について調査した。第 1 表では、作成した時空間モデルの入力値と出力値の RMS 誤差を示した。概ね 3nT 以下であるが、MMB、AKA、OKI の周辺部の観測点誤差は、キャップ中心部の観測点誤差より小さい傾向を示している。これは、それらの観測点配置の不均一によるものと考えられる。このような検証方法の他に、実測値での検証も進めているが、検証データが十分にそろわないために今後の課題でもある。



第 3 図 観測点配置図

Fig.3 Location of observation points

第 1 表 入力値と出力値の RMS 誤差
Table 1 RMS-error of input data and
output data (nT)

Station	RMS ΔX	RMS ΔY	RMS ΔZ
MMB	0.7	0.2	0.4
AKA	0.5	0.3	0.6
YOK	0.7	0.6	0.8
MIZ	0.7	0.4	1.2
HAR	2.2	3.0	1.6
SIK	1.7	2.4	1.9
KAK	1.7	2.1	1.1
HAG	0.7	2.5	1.1
KNZ	1.0	1.7	0.5
TTK	0.5	0.6	0.9
YOS	0.3	0.7	1.4
KUJ	0.4	1.7	1.4
KNY	0.3	2.1	0.6
OKI	0.2	1.3	0.8

5. まとめ・展望

本稿では、日本の地磁気分布を二次多項式展開による標準磁場モデルと球関数展開による経年変化量モデルの算出に関して述べた。経年変化量モデルは、3nT の RMS 誤差で観測データを表現できることがわかった。

今後、球関数展開による日本地域の標準磁場モデル (JGRF) の構築を目指している。モデル構築の空間分解能の維持には、定期的かつ広域的な観測が必要不可欠であるが、観測点数は減少してきたため、各機関とも連携して更なる観測データの共有化が望ましい。また、空間分布を詳細に把握するため、作業効率の高い航空磁気測量などの手法を用いることもひとつの解決方法と考えている。

謝辞

本研究の解析には、気象庁地磁気観測所、海上保安庁海洋情報部の地磁気観測データを利用させていただきました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- G. V. Haines (1985), Spherical cap harmonic analysis, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 90, pp. 2583-2591
- Ji, X., H. Shirai, A. Suzuki, J. He, M. Utsugi (2005), Three components (X, Y, Z) Regional Model of geomagnetic Field Changes in Japan with the continuous observation Data, XIth IAGA workshop on geomagnetic observatory instruments, data acquisition and processing Proceedings, pp290-295
- Shirai, H., A. Suzuki (2005), Geomagnetic Survey by Geographical Survey in Japan, XIth IAGA workshop on geomagnetic observatory instruments, data acquisition and processing Proceedings, pp256-260