

鳥取における全磁力経年変化について

住友 則彦・矢部 征

SECULAR CHANGE OF THE GEOMAGNETIC TOTAL INTENSITY AT TOTTORI, JAPAN

By *Norihiko* SUMITOMO and *Sei* YABE

Synopsis

The continuous observation of the geomagnetic total intensity has been made by means of a proton precession magnetometer since 1967 at the Tottori observatory. The secular change at the observatory is examined in comparison with the data obtained at some observatories in Japan.

As a result of analysis, it is concluded that the apparent variation of the secular change within a few years is caused by the growth or decay of the equatorial ring current having a period of about 11 years.

1. ま え が き

地震予知研究計画の一環として、1967年に、京都大学防災研究所附属鳥取微小地震観測所にプロトン磁力計が設置された。それ以来、今日まで約7年間近くにわたってほとんど休みなく全磁力の観測が続けられている。毎日の測定値は後に述べるような一定の方式に従って、地震予知観測センターに送られている。そこでは、他の観測所の資料と共に、柿岡地磁気観測所を基準とした全磁力差が求められ、その変動が常に調べられている。

筆者らも、独自に、鳥取-柿岡間の全磁力差を詳しく調べて来た¹⁾。これによると、この全磁力差は、観測を始めて以来、ほとんど一定の割合で直線的な変化を示していた。ところが、1972年より、その変化率が少しずつ小さくなる傾向が見られるようになった。これが、地殻内部の異常変化に基づくものか、あるいは、全国的な共通の原因によるものかを調べるため、他の観測所の資料との比較を行なった。また、いわゆる normal な地磁気経年変化について若干の考察を加えたので、ここに報告する。

2. 地磁気による地震予知研究

地磁気観測による地震予知研究の一つの方向は、次の考え方に基づいている。すなわち、帯磁の強い岩石(火成岩など)に圧力を加えると、その帯磁率や熱残留磁気がいづらか変化する事実が近年明らかにされた²⁾。これを圧磁気効果 (piezo-magnetic effect) と呼んでいる。一方、今までに、大地震発生に伴って、地球磁場の強さや方向が変化したという観測報告が少くない。これらのいくつかは、地震発生に伴う地殻内応力変化に基づく圧磁気効果(これを地震磁気効果—seismo-magnetic effect—とも呼ぶ)で説明できるのではないかと考えられている³⁾。しかし、多くの場合、外部磁場の除去が完全ではないので信頼性に乏しいとも言われている。

地球磁場は時々刻々に複雑な変化をしており、その大部分が地球外部に原因を有する変動である。たとえば、地磁気日変化のように地方時に依存するもの、磁気嵐発生時に伴う短周期変化や、主として赤道環電流に帰因するDst変化などのように世界時に依存するものなど、原因や変化の形態は様々である。これらの擾乱磁場を観測値から除去するには種々の困難を伴う。地球内部の磁場変化のみを検出する場合には、これら外部磁場の変動は磁氣的ノイズと見なされ、この除去の方法が色々工夫されている。中でも、最も簡便で広く用いられる方法は、一つの基準点を設け、ここにおける観測値と、任意の地点での観測値との差を求める方法である。これは単純差法と呼ぶこともある。これによれば、世界時に依存する変化の大部分は消去されることになる。しか

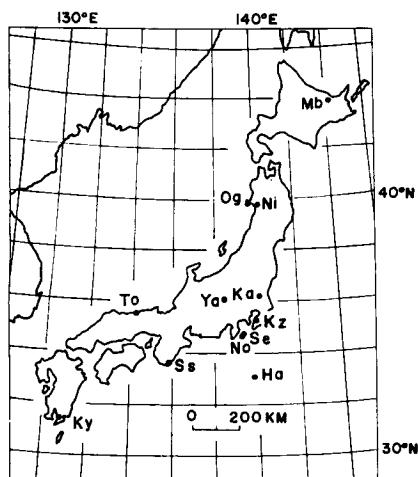


Fig. 1. Location of magnetic observatories.

し、地方時に依存する変化は、その地域特性が複雑であるから、基準点と観測点との距離が長くなると、この単純差法では消去しえない部分が残る。そこで、観測値の日平均値をとって日変化をならしてから磁力差を求めるか、日変化の比較的小さくなる夜間の特定時間の平均値の差をとるなどの方法が便宜的に採られる。地震予知研究・地磁気グループが採用している方法はこの後者である。すなわち、夜間、午前01時を中心とした前後20分の測定値(10分毎の測定値)の平均値を用いて、各観測所と柿岡との全磁力差が求められている。このため、各観測所から、毎日の夜間値(午前00^h40^m-01^h20^mの測定値)が地震予知観測センターに送られているのである。現在は国内11カ所で観測が行なわれている。それらの位置は第1図に示す通りである。観測の経過や結果は、地震予知連絡会報第9巻に詳しい報告がなされている⁴⁾。

3. 鳥取における全磁力経年変化

ここでは、日平均値を用いて、鳥取-柿岡間の全磁力差について調べる。全磁力差として、日平均値差の月

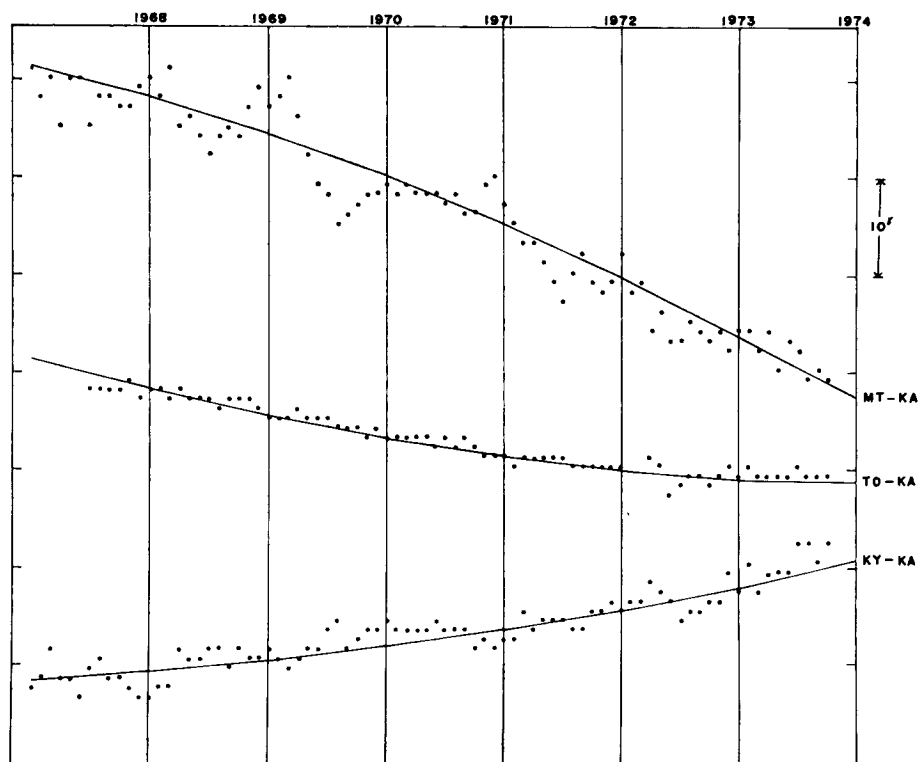


Fig. 2. Secular changes of differences of the total intensity among Tottori, Memambetsu, Kanoya and Kakioka.

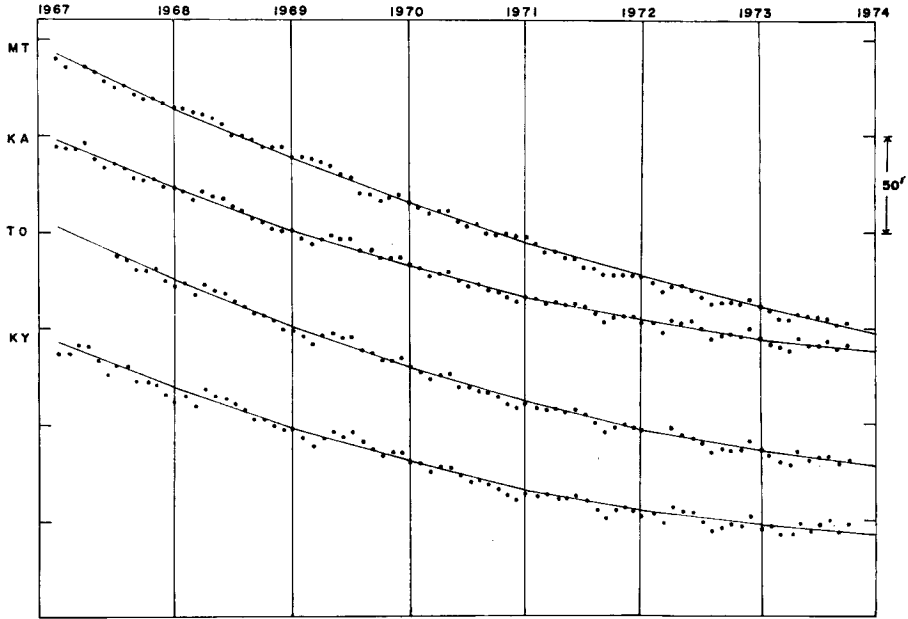


Fig. 3. Secular changes of the total intensity at Memanbetsu, Kakioka, Tottori and Kanoya.

平均値を用いたが、これは、毎月の資料から擾乱の大きい数日を除いた残りの日（平均約25日）の日平均値差の月平均値を意味している。第2図に、この全磁力差の経年変化を示した。比較例として、女満別 (Mb)-柿岡 (Ka)、鹿屋 (Ky)-柿岡間の全磁力差も一緒に示した。但し、これらの場合は、毎月の国際地磁気静穏日に当る5日間の日平均値差の月平均値を用いた。鳥取について見ると、はじめに述べたように、1972年頃から変化の様子が僅かに変わってきている。しかし女満別-柿岡間に見られる比較的短周期の変動（年変化も若干含まれているようだが）を無視すると、女満別や鹿屋と柿岡との全磁力差の変化の仕方にも鳥取の場合と共通なものが見られるようである。つまり、いずれの場合も、変化率の減少が認められる。

そこで、各観測所毎の全磁力値の経年変化そのものに戻って、その傾向を調べるため、女満別・柿岡・鳥取・鹿屋における月平均値の変化の様子を第3図に示した。短周期変動の多くは、後に述べる赤道環電流の影響と考えられる。低緯度の観測所ほど、不規則変動の振幅が大きいのはそれを示している。さて、この不規則変動をならすために、各観測所の月平均値を次式で近似した。

$$\bar{F}_i(t) = F_i(t_0) + a_i t^2 + b_i t$$

最小2乗法で、 a_i, b_i および $F_i(t_0)$ (epoch $t=t_0$ における i

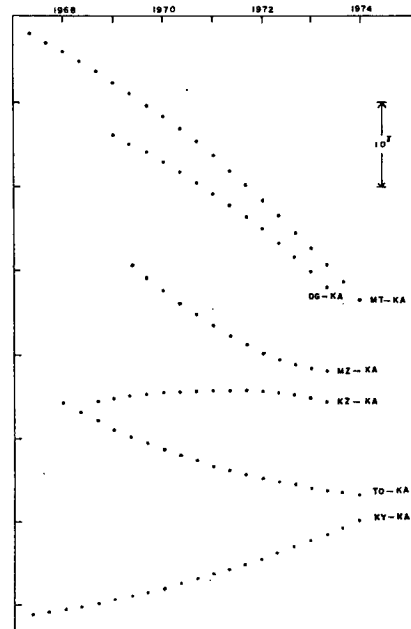


Fig. 4. Secular changes of differences of the total intensity between each observatory and Kakioka. They are approximated with quadratic curves.

Table 1 Coefficients for the equation, $F=at^2+bt+F(t_0)$, at each observatory and the annual changes of the total intensity calculated from each equation for the epoch of 1970.0 and 1972.0, respectively (Φ : geomagnetic latitude)

Station	Φ	a	b	\dot{F} (1970)	\dot{F} (1972)
Memambetsu	34.0°	0.0085	-2.46	-22.2 ^{y/yr}	-17.1 ^{y/yr}
Oga	29.7	0.0082	-2.36	-21.0	-16.3
Mizusawa	29.0	0.0144	-2.88	-21.8	-13.5
Kakioka	26.0	0.0104	-2.22	-17.4	-11.4
Kanozan	25.0	0.0089	-2.08	-17.1	-11.9
Tottori	24.9	0.0120	-2.51	-19.5	-12.6
Shimosato	23.0	0.0138	-2.45	-17.1	-9.2
Kanoya	20.5	0.0114	-2.16	-15.8	-9.2

観測所の全磁力値)を求めた。1967.0年を t_0 とし、 t は月単位にとった。第3図に書き入れた曲線はこの方法によって求めたものである。各観測所とも、比較的良く2次曲線に乗っているようである (S.D $\approx\pm 1.8\gamma$)。地磁気研究グループの資料から、男鹿 (Og)、水沢 (Mz)、鹿野山 (Kz)、下里 (Sm) などの資料を用いて、同様な2次曲線近似を行ない、各観測所毎の係数 a_i および b_i を求め、先の結果と合せて表1に示した。但し、地磁気研究グループの資料から求めたものは、日平均値を用いて求めた女満別・柿岡・鳥取・鹿屋にくらべて若干精度に差異がある。また、これらの曲線を用いて、各観測所と柿岡との全磁力差を第4図に示した。これを見ると、いわゆる単純差の経年変化の傾向は、場所によってかなり異なることがわかる。この中には、異常変化が含まれる観測所があるかも知れないが、その変化を検出するのは簡単ではない。というのは、経年変化の normal な分布を決定することが容易でないからである。ここにいう normal な経年変化とは、地球核内に原因を有する全地球的ないしは地域的な規模の経年変化を言う。

4. normal な経年変化

経年変化の原因の大部分は、地球核内にあると考えられている。この経年変化には、非双極子磁場の西方移動によるものとか、停滞性磁場の盛衰によるものが含まれる。いずれの場合でも、非双極子磁場異常の規模から考えると、これの変化が日本列島程度の地域では、地理的に複雑な分布をしたり、短期間(数年程度)に分布のパターンが変化するとは考え難い。ここで、試みに日本における全磁力経年変化の normal と思える分布を求めて見よう。

先に求めた、各観測所の2次曲線から、1970.0年と1972.0年を epoch にして経年変化の年変化量を計算した。これらは表1の第4～5欄に記した。これらの値を用い、日本における経年変化の分布を、緯度(ψ)・経度(λ)の一次関数と仮定して、各 epoch について表わすと、

$$1970: \dot{F} = -19.14 - 0.782(\psi - 37^\circ) + 0.243(\lambda - 138^\circ)$$

$$1972: \dot{F} = -12.84 - 0.907(\psi - 37^\circ) + 0.220(\lambda - 138^\circ)$$

を得た。これを第5図に示した。実線は1970.0年、点線は1972.0年を epoch にした時の分布である。経年変化量は僅か2年間で著しく変化している。また、変化量が増大している方向(ほぼ北々西)にも若干の変化が見られる。この様な短期間での変化を地球内部の原因に帰することは難しい。原因を別に考えねばならない。

ところで、先に示した、2次曲線の2次項の係数(a)は緯度に依存するように思えるので、これを磁気緯度に対してプロットとしたものを第6図の上段に示した。一方、筆者らの一人¹⁾や藤田⁵⁾は、赤道環電流の影響を除去するための Dst 補正係数(a)を各観測所毎に求める試みをしている。藤田によって求められた a を第6図2段目に示した。さらに、森らが⁶⁾、weighted difference method (2地点間の全磁力差を $F - \beta F'$ として求める方法)を用いる際に、各観測所と柿岡との組合せで求めた weight β も同図3段目に示した。 a と a

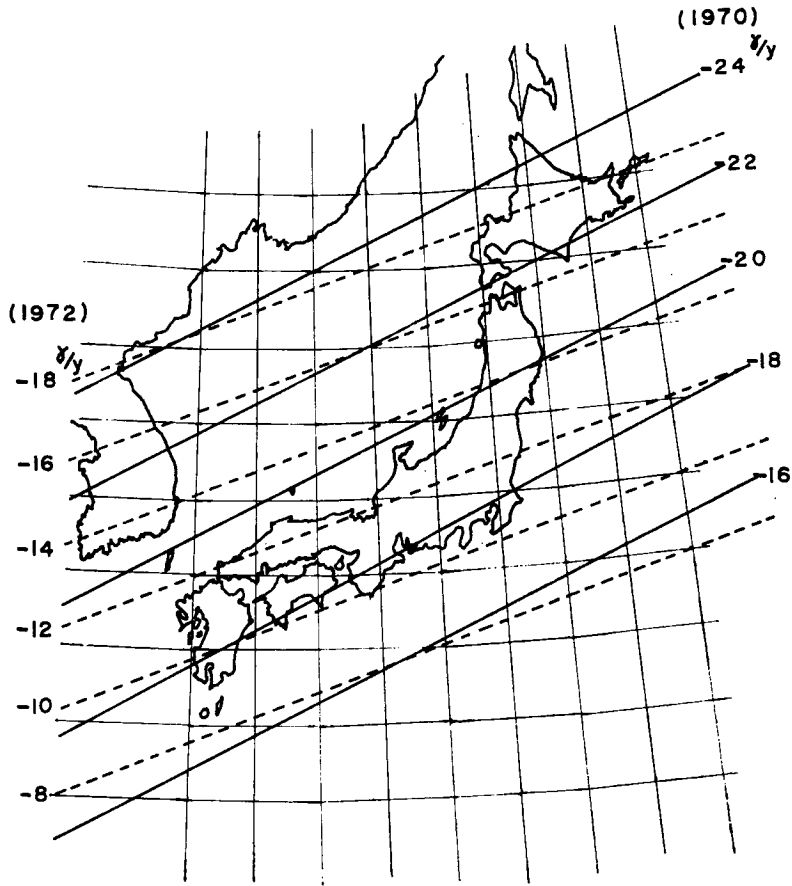


Fig. 5. Chart of annual change of the total intensity for the epoch 1970.0 (solid line) and 1972.0 (dotted line) over Japan.

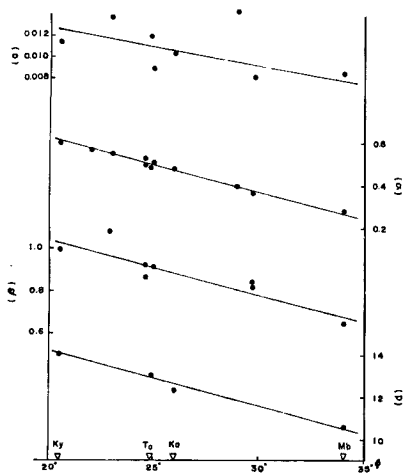


Fig. 6. Correlations between a , α , β , p and the geomagnetic latitude.

a : coefficient for the quadratic term in a power series in time.

α : coefficient for the equatorial Dst correction.

β : weight value in the weighted difference method.

p : amplitude of the 11-year variation of the total intensity associated with the sun spot cycle.

がほぼ似た傾向を示すことが分る。これから a が赤道環電流に関係していることが想像される。 a と β の相関については後に述べる。

さて、この赤道環電流とは、地球の半径数倍のところで、磁気赤道上を地球をとりまいて西向きに廻っている電流のことである。磁気嵐の時は、その勢力が急に増大し、数日を経過して徐々に減衰する。このため、地球磁場（水平成分や全磁力）は初め著しく減少し、数日後はほぼ元に戻る。ところが、この電流のいくらかは、常時存在しており、半年や一年周期で変化しているといわれている⁷⁾。さらに、行武⁸⁾によれば、太陽の11年周期の活動にも依存して僅かではあるが盛衰を繰り返している電流も同時に存在することが明かにされている。つまり、地球磁場には、これらの赤道環電流のつくる磁場が常に附加されていることになるが、この附加磁場の絶対量は不明と言える。この附加磁場が地域的に一律であれば、さし当り問題はないが、実際には緯度の関数になるから、日本の北と南ではその影響が若干違ってくる。このため、経年変化が見かけ上場所によって異なってくる上、さらに、この電流の盛衰にも関連して、時期的にも若干変化すると思われる。例えば、この附加磁場は、1964～1965年頃は極小、1968～1969年頃は極大であり、また現在は1975～1976年頃の極小期に向っていると見えよう。

いま手許にある比較的長期間の資料（1964～1973年）を用いて、女満別・柿岡・鹿屋・鳥取（1967～1973年）について、それぞれ静穏日月平均値を

$$F_i = F_i(t_0) + p_i \cos \frac{2\pi}{11 \times 12} (t - \delta_i) + q_i t$$

とおいて、最小自乗法で p_i, q_i および δ_i を求めた。 t_0 は 1964.0 年にとり、 t は月単位とした。これによると、

	p	q	δ
女満別	10.6 γ	-1.72 γ /month (-20.6 γ /year)	13.5 month
柿岡	12.3	-1.38 (-16.5)	10.5
鳥取	13.0	-1.38 (-16.5)	16.9
鹿屋	14.0	-1.23 (-14.7)	11.6

となった。この p_i を先の第6図最下段に示した。2次式近似の a_i よりも緯度に対してよりよく直線に乗るようである。用いた資料の期間が充分長くないため、精度の点では問題（位相などに）が残るが定性的には、赤道環電流の影響の傾向をほぼ表わしていると言えよう。この影響が経年変化量におよぼす大きさを柿岡について見積ると、解析期間が一年の場合は、最大値で約 16.7 γ /yr, 5年では 14.8 γ /yr, 10年では 10.7 γ /yr 程度になる。言いかえれば、柿岡における直線的な年変化量 -16.5 γ /yr が、約5年間ぐらいで -23 γ /yr から -10 γ /yr 程度に変わり得ることを意味する。これを、女満別の柿岡に相対的な経年変化量について見るならば、normal な変化量に -1 γ /yr から +1 γ /yr までの見かけの年変化量が附加されることになる。鹿屋の場合は、全く逆の sense で量的にはやはり、1 γ /yr 程度が附加されることになる。これらの見かけの変化量は、地震予知研究の立場からは無視しがたい量であると思えるので、normal な経年変化量の分布を求める際に充分な考慮が必要であろう。

この赤道環電流の影響を完全に除去する方法は、今のところ見当らない。杉浦の Dst 指数を用いて通常の Dst 補正をする方法は、この長周期変動に対しては用いられない。というのは、杉浦の指数は、特定のいくつかの観測所の H の年平均値を用いた reference level からのずれとして求められているからである。つまり磁気嵐時などの短期間に生じる磁場の変動を表わしているに過ぎないのである。もっとも、赤道環電流の年変化は含まれているようである。

ここで、考えられる一つの方法は、weighted difference 法の採用である。先に第6図に示したように、Dst 補正係数 (a) が緯度に依存するのと同じように、weighted difference 法の weight (β) も緯度に依存することがわかる。このことは、weight (β) は、各観測点が Dst 変化の影響を受ける割合を示していると言えよう。したがって、この weight を用いる限り、赤道環電流の影響は、短周期成分も長周期成分も、原理的には消去し得ると思われる。しかし、このためには、充分精度の高い β の決定と、基準観測所の真の経年変化量(赤道環電流の影響を充分に除去したもの)の決定が必要であろう。後者は、長期間の観測から求め得る量である。

5. あとがき

地震に伴う地磁気異常変化を検出するためには、短周期の外部磁場の除去に努めることは無論のことであるが、normalな経年変化量分布の決定にも十分な考慮がはられねばならない。上に述べたように、太陽活動に伴う長周期の変動が見かけ上、経年変化として混入し、しかもそれが緯度の関数であることを考慮すると、あるepochについて求めたnormalな分布が適用できる期間は、せいぜい数年以内であると言えよう。柿岡を基準にする限り日本の南北両端の地域の柿岡に相対的な経年変化量は、見かけ上、5年程度の期間で2 γ /yr位変化する。したがって、地震予知研究の立場に限るならば、たとえば日本を数個のブロックに分けて、ブロック内に基準観測所を設け、それと、各野外磁気点などにおける測定値の差の変化を調べるのがより実際的な方法と言えよう。プロトン磁力計による全磁力の観測ならば容易に実行しうると思われる。

なお、鳥取では、微小地震観測所における全磁力の連続観測の他に、鳥取市近辺の鹿野・用瀬・若桜・下津黒などの各磁気点で毎年1回の観測を行ない、観測所との磁力差を求めている。今までのところは、顕著な変化は認められない。

おわりに、有用な資料を提供下さった柿岡地磁気観測所ならびに地震予知研究計画・地磁気研究グループに対して心から感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 住友則彦：中国地方における全磁力の連続観測（1）—鳥取での経年変化—，測地学会誌，第16巻，第4号，1970，pp. 232-238.
- 2) Nagata, T.: Basic magnetic properties of rocks under the effects of mechanical stresses, *Tectonophysics*, Vol. 9, No. 2/3, 1970, pp. 167-195.
- 3) Nagata, T.: Application of tectonomagnetism to earthquake phenomena, *Tectonophysics*, Vol. 14, No. 3/4, 1972, pp. 263-271.
- 4) 地震予知研究計画・地磁気研究グループ：地震予知研究計画にもとづく地磁気全磁力観測，地震予知連絡会報，第9巻，1973，pp. 109-126.
- 5) Fujita, N.: Secular change of the geomagnetic total force in Japan for 1970.0, *J. Geomag. Geoelectr.*, Vol. 25, 1973, pp. 181-194.
- 6) Mori, T. and T. Yoshino: Local difference in variations of the geomagnetic total intensity in Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Vol. 48, 1970, pp. 893-922.
- 7) 柳原一夫・白木正規：地球内部地磁気変化検出に影響する外部磁場変化，日本電磁気学会第47回講演会，1970.
- 8) Yukutake, T.: The solar cycle contribution to the secular change in the geomagnetic field, *J. Geomag. Geoelectr.*, Vol. 17, 1965, pp. 287-309.