

鳥取における全磁力経年変化について (Ⅱ)

住 友 則 彦・矢 部 征

SECULAR CHANGE OF THE GEOMAGNETIC TOTAL INTENSITY AT TOTTORI, JAPAN (II)

By Norihiko SUMITOMO and Sei YABE

Synopsis

Secular change of the geomagnetic total intensity at Tottori with respect to Kakioka magnetic observatory from 1967 to 1977 is analyzed by using the data of a proton precession magnetometer observation. The general trend of secular change changed from decreasing to increasing in 1974. But this trend is compatible with those observed in the whole area of Japan.

Properties of the various fluctuations included in the general trend of secular change are studied in details to evaluate an accuracy of detection of anomalous changes. It is concluded that an overall accuracy of the monthly mean difference between two stations is about one gamma.

1. は じ め に

鳥取微小地震観測所にて、プロトン磁力計による全磁力連続観測を1967年7月に開始して以来、すでに10年余りが経過した。1973年までの観測結果は既に報告した¹⁾²⁾。これによると、鳥取における全磁力は経年的に減少を続けていたが、減少量が年々低下する傾向にあった。その後の観測によると、1974年頃に極小期を迎えたが、その後は増加しつつある。この傾向は、日本全域で観測されていることが明らかになり³⁾、特に鳥取固有の異常変化ではないことが分った。本稿では、今までに報告してきた方法と同様に、鳥取と柿岡地磁気観測所との全磁力差をとり、鳥取の柿岡に対する相対的な経年変化を調べると共に、全磁力差に含まれる様々な変動について検討し、地震等に関連した地磁気異常変化検知能力についても考察を加える。

2. 解析基礎データ

鳥取における全磁力観測は、1967年7月から1977年12月までは1分間隔で計測していたが、それ以後は10分間隔で計測している。1計測の精度は $\pm 1\gamma$ である。1時間6回の計測値の平均をとり、hourly mean valueとして用いている。柿岡との全磁力差は、通常、この hourly mean value と柿岡における hourly mean value (これは、地磁気水平成分と鉛直成分の連続観測値の時間平均値から計算により合成されたもの) とから求めている。本稿中で用いる基礎データはすべて、これら hourly mean value の毎時差である。

鳥取—柿岡間の全磁力値毎時差は、1日を通じて一定ではない。これは、イ) 地磁気日変化の振幅や位相に地域差があること、ロ) 磁気嵐等に付随する短周期変化の形態に地域差があること、などによる。これら地域差の原因は、主に、いわゆる CA (電気伝導度異常) によるものとされ、特に、 S_q 変化の位相異常は鳥取で著しいこと (鳥取は柿岡にくらべて S_q 変化の極小期は約 40 分ほど遅れて生じる) が明かにされている⁴⁾。

毎時値差がどの程度の標準偏差を有するかを見るため、1969年1月の1カ月間について、1日の各時間毎

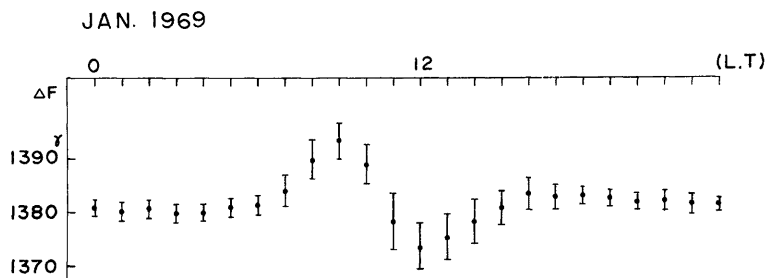


Fig. 1. Average daily variation of difference in the geomagnetic total intensity between Tottori and Kakioka.

の標準偏差を調べた。同様な試みは、森・吉野等によってもなされている⁵⁾。Fig. 1は、各時間毎の1カ月の平均値と、標準偏差(σ)を示したものである。 S_0 変化の卓越している昼間ほど標準偏差は大きい。先に述べた、 S_0 変化位相異常のため、磁力差の平均値も系統的に変化している。地方時18~06時にかけての夜間帯では、標準偏差は 1.6γ 程度と比較的小さいが、磁力差は僅ながら地方時に依存した変化を示している。

2地点の磁力差を求める際、hourly mean valueを用いた日平均値差がよく用いられる。これは、24個の毎時差の平均値でもある。Fig. 1に見られる通り時間帯によって標準偏差が異なる。2地点の空間距離がある程度離れていたり、CAがある場合は、Fig. 1は一般的傾向を示していると言えよう。この場合、日平均値は、24コの異なる母集団から抽出した標本の平均値でもあるからこのことは留意して置く必要がある。もっとも、1日単位で考える時は、24時間の平均の標準偏差は 5.5γ 程度になるから、この平均標準偏差をもつ同一母集団からの抽出とも考えられる。したがって日平均値の標準偏差は、 $5.5/\sqrt{24} \approx 1.18\gamma$ だから、日平均値の95%信頼度は $\pm 2.2\gamma$ と見なしても良からう。

一方、夜間帯の全磁力差を見ると、その平均標準偏差は、 1.6γ 程度になる。したがって、例えば、6時間の平均では、95%信頼度は $\pm 1.3\gamma$ になり、10時間平均では $\pm 1.0\gamma$ となる。また、次節で述べる様に、月平均値差を論じる場合は、たとえ毎日の1時間平均値差や3時間平均値差でも、月平均値差の95%信頼度を $\pm 0.5\gamma$ 程度に限るならば充分利用可能なデータになり得る。

3. 経年変化

1967~1977年の間の鳥取一柵岡間の全磁力月平均値差の変動をFig. 2上段に示した。各月平均値差を求めるに当って、日平均値差や夜間数時間平均値差(例えば、18~03^hや22~03^hJ.S.T.など)など、時期によって用いたデータは異なる。また、欠測や著しい擾乱日を除くなどで1カ月のすべての日のデータを用いることが出来ない月もあった。しかし、1月当たり、最小限50時間程度の夜間値差を利用するように努めたので、数カ月の例外を除けば、月平均値差の95%信頼度は $\pm 0.5\gamma$ に入っている。したがってこの章の議論に限れば、各月とも、ほぼ、等質のデータと見なして良い。

さて、Fig. 2に示した月平均値差の変動から、平均的な経年変化の傾向を見るため、10年間の変動を時間について3次式を仮定し、それで傾向を近似すると、

$$\Delta F_{T-K} = 1375.3 - 0.08t + 0.0018t^2 + 0.0000073t^3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$(1972年7月をt=0とする) \quad S.D.=0.5\gamma$$

を得た。Fig. 2にこの経年変化曲線を実線で示した。この経年変化の傾向は、著者の一人によって、全国11カ所の観測所における全磁力観測結果と、国土地理院による42カ所の一等磁気測量成果を合せて解析して得た1969~1976年の全国的な全磁力経年変化の傾向³⁾とほぼ一致している。従って、上記解析期間においては、鳥取には特に異常な変化は無かったと考えられる。

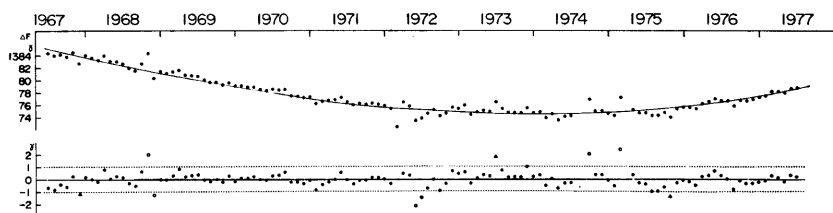


Fig. 2. Secular change of the geomagnetic total intensity at Tottori with reference to Kakioka. The solid curve represents a polynomial fit of third. Fluctuations extracted from the secular change are shown in the lower of figure.

4. 季節変化

原変動から、平均的な経年変化を除いた残差を Fig. 2 の下段に示した。図中の白丸は磁力計の故障に伴

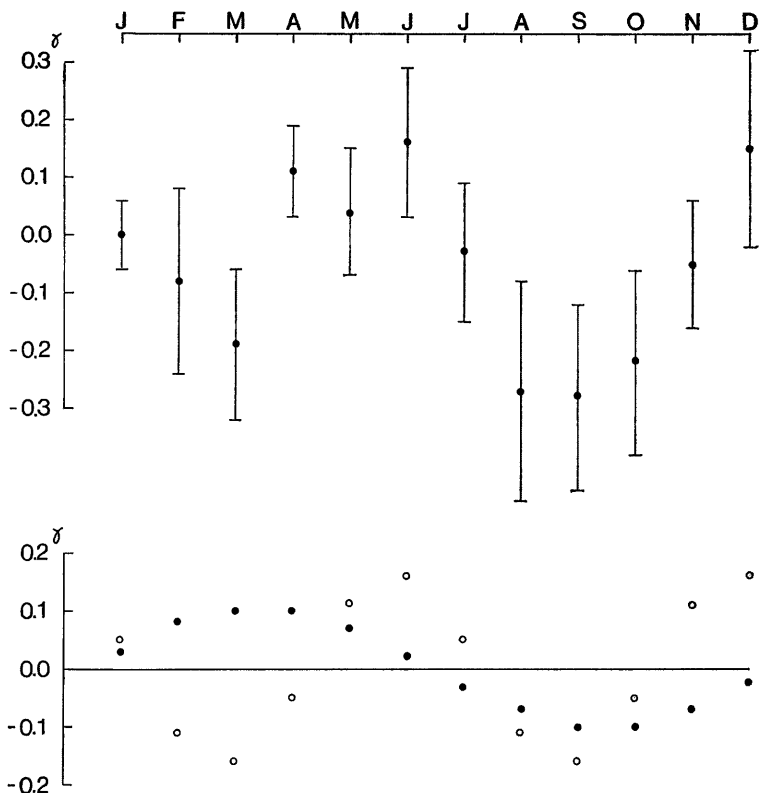


Fig. 3. Seasonal variation included in difference in the geomagnetic total intensity between Tottori and Kakioka. Annual and semi-annual constituents are shown in the lower of figure.

うデータ不良の月である。故障の多くは、計数値が不規則に変動する現象で電子回路の不良に伴うものであった。しかし、故障が復帰した後も、計数値が平均的に数 γ 偏り、数日かかって元の状態に戻る場合が幾度かあった。原因は不明である。

さて、残差の変動を見ると僅かに、年周変化らしき長周期変動が見られる。データ不良の月を除き、10年間にわたって、月毎に変動を重ね合せると、Fig. 3 の様になった。さらに、これをフーリエ級数に展開して、年周項、半年周項を抽出すると、Fig. 3 下段に示した結果を得た。それぞれの振幅は、 0.10γ 、 0.17γ である。この原因は主に、赤道環電流の季節変化によるものと考えられている⁹⁾。つまり、赤道環電流によってつくられる磁場は磁気緯度に依存するので、柿岡と鳥取の緯度差約 1.2° が僅かながらも効いていると考えられる。

ところで、赤道環電流による磁場(DR)は、磁気嵐に伴って発達・減衰するが、全磁力では嵐主相部で減少し、終相部で次第に回復する。この変化量も磁気緯度に依存し、緯度が高い程変化は小さい。今、磁気赤道上でDR磁場の強さを D とすれば、全磁力の変化分は、

$$\Delta F = D(\cos \phi \cos I - k \sin \phi \sin I) \dots\dots\dots (2)$$

となる。ここで、 ϕ 、 I は、それぞれ、観測点での磁気緯度・伏角である。また、 k は、地球内部の電気伝導度に依存する係数で、ほぼ、 $k=0.4$ 程度である⁷⁾⁸⁾。右辺括弧内の値を、鳥取および柿岡で計算すると、 0.48 、 0.47 となる。したがって、 D の約1%が磁力差に現れることになる。ところが、実際のデータについて調べて見ると、柿岡の方が2%ほど D の影響を強く受けることが分っている。 k の値が両地点で異なる性かも知れない。また、鳥取での伏角が推定値を用いているからかも知れない。いずれにせよ、DRの影響が全磁力差に及ぼす量は大きくて、 D が 100γ の時1~2 γ 程度である。全磁力差は増加のセンスになる。

先に述べた、年周および半年周変化の振幅は 0.10γ および 0.17γ 程度であったから、これらが、DRと同じ働き方をしていると仮定すると、鳥取と柿岡で2%の差だから、赤道環電流による磁場の季節変化の振幅は、5~9 γ 程度と推定される。

5. 短周期変動

前節に述べた残差変動から、長周期変動を除いても、なお、まだ不規則な変動が残る。これは、日々の擾乱磁場の影響と考えられる。Fig. 4 は、夜間平均値差の日々の変動の例である。下段には、擾乱の指数である K の、柿岡における夜間21~02時の平均値を示した。これを見ると、全磁力差は、 K が大きき時は数日にわたって減少していることが分る。これは、鳥取のBay型変化の振幅が、CAのため、柿岡に比して平均約3割小さいことによる。この例をFig. 5に示した。夜間のBay型変化は、磁場増加のセンスになるこ

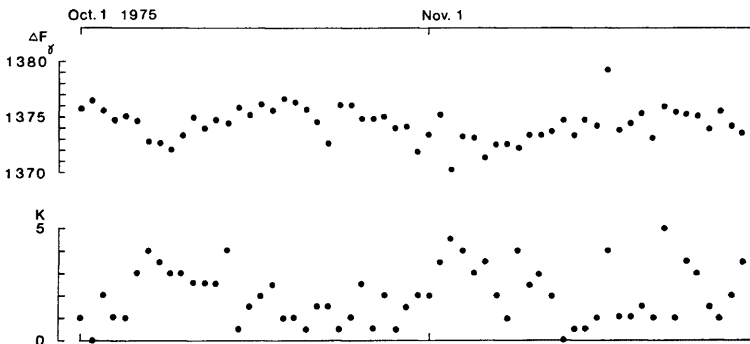


Fig. 4. Day to day variation of the night time (18-03^h in local time) mean difference in the geomagnetic total intensity between Tottori and Kakioka. Night time mean value of K index at Kakioka is shown in the lower of figure.

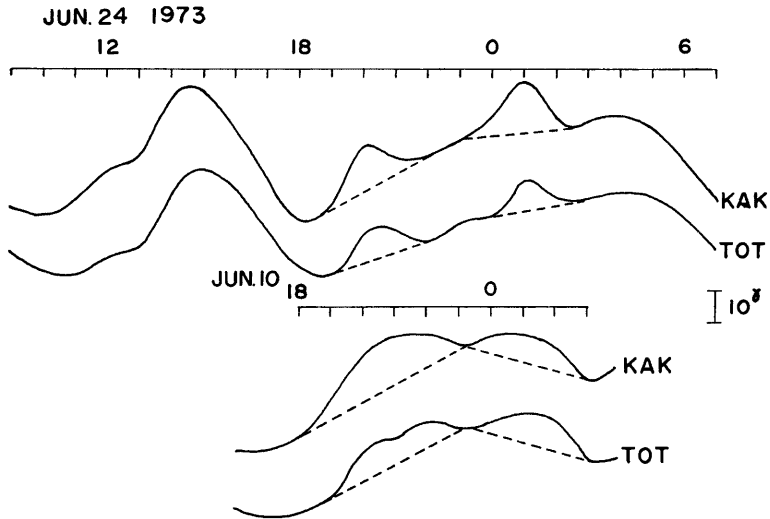


Fig. 5. Some examples of the geomagnetic Bay type variation observed at Tottori and Kakioka.

とが多いので、全磁力差は減少のセンスになる。

Duration の短い変動は平均操作でほぼ除去されるが、Duration が数時間におよぶ変動や、短い Duration の変動でも一夜に引き続いて生じる時は、これらの影響が一定方向に加算され、たとえ平均をとっても充分除き得ない。これらの変動を除く方法として、weighted mean difference 法が提案されているが⁹⁾、今の場合、必ずしも有効とは言えない点がある。それは、今、変動が Bay 型変動 (ΔB) と DR 変動 (ΔD) の 2 種の要因から生じていると仮定すると、鳥取、柿岡の全磁力は、それぞれ、

$$F_T = F_T^0 + \Delta B_T + \Delta D_T \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$F_K = F_K^0 + \Delta B_K + \Delta D_K \quad \dots\dots\dots (4)$$

と表わせる。 F_T^0, F_K^0 は主磁場の値で短期間には変動しない。ここで、前節で述べたように、ほぼ、 $\Delta D_T \approx \Delta D_K (= \Delta D)$ であり、 $\Delta B_T \approx \alpha \Delta B_K$ が成り立つと仮定し、(3) 式より (4) 式の α 倍を引くと、

$$F_T - \alpha F_K = \Delta D(1 - \alpha) + F_T^0 - \alpha F_K^0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。 ΔD の項が無視できる場合は、(5) 式の右辺は、短期間では一定値をとるので、いわゆる weighted mean difference 法によって、 ΔB が消去されたことになる。しかし、 ΔD が大きくかつ上式右辺の α が大きい場合、 ΔD の影響が残ってくることになる。 $\Delta B, \Delta D$ を同時に消去するには、少なくとも 3 か所の観測データを必要とする。これは、別の機会に論じる。ここでは、短周期変動の影響が数日にわたって継続する場合、磁力差は常に減少する事実があることの指摘にとどめる。

6. 異常変化

Fig. 2 の下段の残差変動を見ると、白丸印の月を除けば、ほとんどは、 $\pm 1\gamma$ 以内 ($2\sigma = 1.2\gamma$) に入っている。しかし、▲印の変動は 2σ の範囲を越えている。この内、1973 年 7 月は特に変動が目立っている。Fig. 6 は、当該月を含む 4 か月間の毎日の変動（夜間 10 時間平均値差）を示したものである。これを見ると、7 月の平均値は明かに、他の月にくらべて大きい。約 1γ の増加でこれは t 検定でも有意な変化であった。全磁

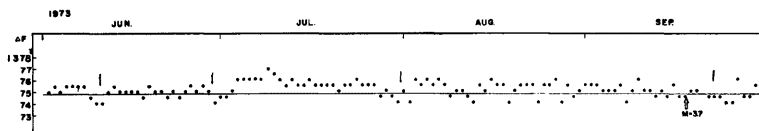


Fig. 6. Anomalous change appearing in difference in the geomagnetic total intensity between Tottori and Kakioka. The monthly mean difference in July is one gamma larger than those of other months. Black arrows represent occurrences of magnetic storms. An earthquake, of which epicentral distance was about 10 km from Tottori, occurred on 14 in September, 1973.

力差の増加を擾乱磁場の影響で説明するには、DR 磁場が7月に増大（全磁力の減少）したと考えねばならないが、特にその様に長期にわたっての増大は無い。短周期磁場の影響は、Fig. 6 矢印で示したところで磁気嵐が発生しているが、いずれも、全磁力差減少のセンスである。

ところで、図中に、白い矢印で示した9月18日に、鳥取観測点南東約10kmにM3.7の地震が発生している。また、同月21日に、少し距離は遠いが、鳥取の南方約50kmにM5.0の地震が発生している。後者は、10年間の観測期間中で、鳥取微小地震観測所の観測網内での最大地震である。上に述べた変動がこれらの地震に前駆した現象であるか否かは今直に論じることは資料不足で出来ない。今後、更に充分な検討が必要と思われる。

7. 検 知 能 力

今まで述べて来たように、鳥取一柿岡間の全磁力差は様々な周期成分の変動を含んでいる。これらの多くは、地球外部に原因を有する様々な擾乱磁場の地域差によるものである。すべての周期成分にわたって、か

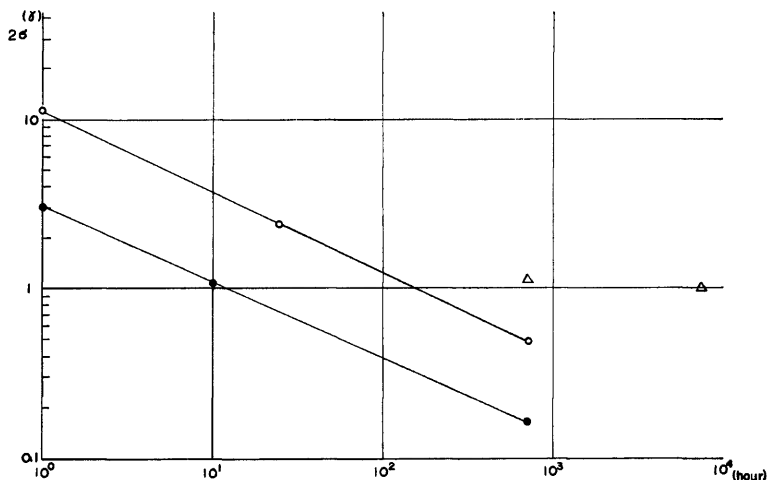


Fig. 7. Double standard deviation for mean difference in the total intensity between Tottori and Kakioka versus time interval with which the data is averaged. Values shown by open and closed circles are simply calculated by using the standard deviation for the usual hourly mean differences and the night time hourly mean differences, respectively. Also, the value for one month interval shown by (Δ) is calculated from fluctuations included in the secular change from 1967 to 1977. And, another (Δ) for one year interval is estimated from an accuracy of the distribution of secular change in Japan.

かる擾乱磁場を除去する理想的な方法は無い。現段階では、ある期間の平均操作（荷重平均を含む）に頼る他はない。従って、ある期間についての平均値がどの程度の信頼度を有するかを調べておくことは、異常変化検出の目安として大切であろう。Fig. 7 は、縦軸に平均値標準偏差の2倍を、横軸に平均をとる期間を時間で示したものである。例えば、日平均値の95%信頼度は約 2γ であり、夜間10時間平均の場合は約 1γ であることを示している。また、1ヵ月平均値を用いる場合、 0.8γ 以上の変化なら検出可能と言える。但し、図中の●や○印は、第2節で論じた全磁力差の hourly mean value の標準偏差から単純に計算したものである。1ヵ月間平均に相当するところに示した△印は、10年間の観測から平均的な経年変化を除去した残差の標準偏差から直接に推定した値で、長周期変動の影響を含んでいるので若干大きな値になっている。また、1年間に相当する期間の信頼度を、やはり△印で示したが、これは、全国的な経年変化傾向を求める際の不確定性を考慮して推定した値である。年変量 1γ 以上の異常ならば検出できると考えている。

地震等に関連した異常変化が出現する継続期間や変化量も不明な点が多い。連続観測によって全磁力差を調べている2地点が、鳥取と柿岡程度の距離の場合、月平均値差で $\pm 1\gamma$ を越える変化が検出可能な限界と思われる。これは、磁力計の精度に依存するというよりは、むしろデータ処理方法に大きく依存すると考えられる。

8. ま と め

鳥取と柿岡の全磁力差を10年間の資料を用いて調べた結果、次の点が明かになった。

イ) 全磁力差は、1974年頃に極小値をとる変化をしたが、全国的な傾向とくらべて、特に異常な変化は含まれていないと思われる。

ロ) 全磁力差には、年周、半年周変化が含まれ、振幅は、ほぼ、それぞれ 0.10 および 0.17γ である。

ハ) DR 磁場の影響は、高々、2%程度で、全磁力差増加のセンスになる。

ニ) Bay 型磁場変化等の影響は、鳥取の方が柿岡にくらべて約3割小さく、夜間の場合は、定方向に加算される。すなわち、擾乱日には、全磁力差は減少する。この傾向は数日間続くことがある。

ホ) 1973年7月に見られる全磁力差の増大は、(ハ)(ニ)では説明し得ない変化で、同年9月に発生した鳥取周辺の地震活動との関連があるかも知れない。

ヘ) 鳥取-柿岡間の全磁力差に含まれる異常変化は、月平均値を用いる場合、 $\pm 1\gamma$ が検出可能な限界である。

以上のことは、鳥取-柿岡という特定の2地点についての結論であるが、空間距離が500km程度、磁気緯度がほぼ等しい条件の場合は、かなり一般性があると思われる。

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）—鳥取での経年変化について—，測地学会誌，第16巻，第4号，1970，pp. 232-238.
- 2) 住友則彦・矢部 征：鳥取における全磁力経年変化について，京都大学防災研究所年報，第17号B，1974，pp. 83-89.
- 3) 住友則彦：地殻活動に関連した地磁気永年変化異常，地震予知研究シンポジウム，1976，pp. 145-155.
- 4) 住友則彦：全磁力 S_t 変化位相異常について，日本におけるCA研究，1973，pp. 90-95.
- 5) 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.
- 6) 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，日本地球電磁気学会第47回講演会，1970.
- 7) 住友則彦：地磁気永年変化の局地的異常の検出法について，九十九地学，第8号，1973，pp. 22-31.

- 8) Fujita, N.: Secular change of geomagnetic total force in Japan (1970. 0), J. Geomag. Geoelectr., Vol. 25, 1973, pp. 181-194.
- 9) Rikitake, T.: Elimination of non-local change from total intensity values of the geomagnetic field, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 44, 1966, pp. 1041-1070.