

地震予知に関する地磁気観測法

太田 枉次郎・岸 本 兆 方・見 野 和 夫
住 友 則 彦・宮 腰 潤 一 郎

SOME DISCUSSIONS ON THE GEOMAGNETIC OBSERVATIONS RELATED TO EARTHQUAKE PREDICTION

By *Masaziro Ota, Yoshimichi Kishimoto, Kazuo Mino,*
Norihiko Sumitomo and Junichiro Miyakoshi

Synopsis

According to recent study, an amount of geomagnetic variation preceding an earthquake of moderate magnitude is an order of 10 gammas. As amounts of regular and irregular variations exceed this order, it is necessary to find non-earthquake effects by preparatory observations. In this paper, some methods for elimination of ordinary variations are discussed, and results of the preparatory observations made by two proton magnetometers at the Tottori District and its neighbourhood are shown.

1. 地磁気変化異常

地殻または、マントルの中に異常現象(時間的变化)が起り、または異常状態(地域分布)が存在するとき、これらと地磁気変化との関係については次のように考えられている。すなわち、地球内部の温度、または歪の変化によって“自然残留磁気”、“帯磁率”ならびに、“電気伝導度”の変化がもたらされ、“地磁気異常”または“地磁気変化異常”として観測されるということである。こゝに“地磁気異常”とは、従来から物理探査法で言われている静的異常で、例えば、火山地帯の磁気異常がそれである。また“地磁気変化異常”とは、超高層または宇宙空間における電磁現象によって、地磁気変化が起り、それが地球内部の電気的性質の地域的な異常によって起される局地的変化異常を指し、地磁気学で言う磁気嵐などの地磁気異常現象とは区別して取扱う。なお、ここで言う地球内部の物性とは、巨視的に考えたもので、個々の岩石の物性ではない。この考え方は、火山の帯磁は巨視的で、火山を構成している岩石の磁性は微視的で、一般にこの両者は一致しないという事実から、この両者の関係についてまた一つの考察法をとる研究が行われているのと類似である。

地球内部開発計画の一事業として、地殻およびマントル中の電気伝導度の異常についての研究、観測が行なわれ、多くの成果を挙げているが、地震予知と直接結びつくところまでには、まだ至っていない。この観測は地球内部の電気伝導度の異常のために、地磁気変化型態が異なるという考えによるもので、日本国内で若干の変化異常地域が見出されている。この観測で対象としている変化は、日変化以下の短周期現象であるから、電気伝導度の異常と、地震現象との関係が明らかにされない限り、この原因による変化異常は、地震予知に関しては後に述べる“ノイズ(地震に関係のない変化の総称とする)”として取扱わねばならない。したがって、一つの予備観測としての重要性が、この電気伝導度異常観測には含まれていると言える。

2. 地震に伴う地磁気変化

加藤博士¹⁾によると、地震に伴う地磁気変化は、岩石磁気のピエゾマグネ効果が最も有力である。すなわ

ち岩石の自然残留磁気, または帯磁率は圧力によって減少し, その関係は次式で表わされる。

$$\Delta J_N = -r_N J_N \Delta e$$

$$\Delta \chi = -r_\chi \chi \Delta e$$

ここに, J_N , χ はそれぞれ自然残留磁気および帯磁率, r_N , r_χ はそれぞれの係数で, 実験値は $\sim 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{kg}$ で, Δe は歪の変化量を表す。このそれぞれに最も適当な値を入れると, 地磁気の変化量として, $\sim 10r$ 程度になる。岩石磁気のキュリー一点は約 600°C で, 一般に, 400°C 以上では磁化の強さは急に減少するから, この考えは深さ十数km以上の地震には適しない。したがって巨視的に考えた場合, $\sim 10r$ の値は地上の値と見ることが出来, 今日の計器精度からすれば十分検出可能な範囲である。

Fig. 1 は1946年12月21日南海地震前後の紀伊勝浦での, 偏角変化の様子を示したもので, 地震直前に約 $1'$ (東西分値に換算して約 $8r$) の変化が現われている。

このことは, 上記の概算値とほぼ一致している。これは一例であるが, 力武博士²⁾の調査によると, 過去においては日本の資料で, これより一桁高い $\sim 100r$ の変化量を報告した研究者がある。当時は器械の精度が低く, かつ変化の地域異常の調査も不十分であったから, 今日の結果とはそのまゝでは比較できないが, なお検討の余地はある。

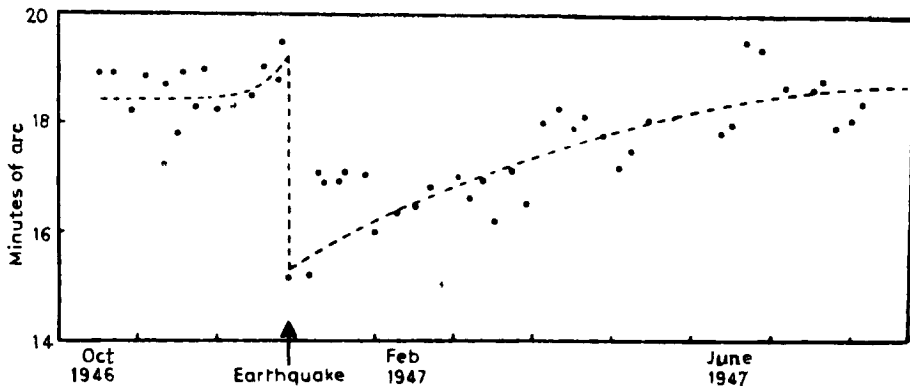


Fig. 1 Time-dependence of Declinations-values observed at Kii-Katsuura, before and after the Nankaido-Earthquake occurred on 21 Dec. 1946.

3. 地震に関係のない変化の除去

地震に伴う地磁気変化の量を“ S ”で表し, 地震に関係のない変化を“ノイズ”と呼ぶこととし, これを“ N ”で表わす。この場合, SN 比を大きくすること, すなわち“ N ”を小さくすることがこの研究観測の役割である。ここに言う“ N ”を分類すると, 器械ノイズ, 外圏ノイズ, 場所ノイズおよび内部ノイズの四つが挙げられる。前節に述べたように, S は時間的にみて, かなり長時間の変化であると推定できるから, 器械ノイズの除去としては, 長期間安定した値を示す磁力計が要求される。核磁気共鳴の原理を応用したプロトン磁力計は, この点に関しては十分満足されているから, 器械ノイズとしては“0”に近いと考えられる。外圏ノイズとは, 外圏現象による変化を指し, 時間ノイズとも言われ, 若干の常設観測所の資料によって, このノイズは除去可能である。この考えは, 近接地点では, 外圏現象が一般には緯度経度の組織的な関数になっており, 100 km 程度以内での不規則性はないという思想に基く。一方, 外圏ノイズは修正出来ても, 外圏における地球電磁気現象により地殻, またはマントル上部の電気伝導度の異常によって, 極く局地的に地下に誘起される電流が異ってくる場合がある。すなわちここで言う“場所ノイズ”が起る。場所ノイズは, 地磁気変化の周期によって大きく支配され, 表皮効果のために周期の短いほど, その影響が大きい。場所ノイ

ズに関する地磁気変化を大別すると“(1) 12時間周期と解すべき S_q (静穏日日変化) (2) 周期数時間とみるべき擾乱時湾型変化 (3) 過渡現象とみられるが数分もの (4) 数秒ないし数十秒の地磁気脈動”になる。このうち (2)~(4) の変化は日本国内 (中緯度地帯) では、外圏ノイズとしての修正は、ほとんど必要がないと思われるにもかかわらず、今日までに実施された多くの試験観測結果によると、非常な地域的差異がみられる。このことは、地殻またはマントル上部の電気伝導異常の研究に役立っていると同時に、ここに言う“場所ノイズ”に対する資料ともなるのである。この実状は非常に複雑であるが、大梗は力武博士によって行われている。(1) の S_q については、外圏現象の差違が中緯度では大きく影響を受ける。しかし次に述べるように、全磁力 (プロトン磁力計によって観測される) の S_q は各分値よりも緯度効果は少い。**Fig. 2** に外圏現象の極端に異なった2つの日の例を示す。左側 X (北) 分値は $30^\circ N$ と $45^\circ N$ で大きくその型を変えているが、 F (全磁力) はそれ程ではない。すなわち、緯度効果は F の方が少いから、修正に関しての誤差は少いということが出来る。しかし測量値 (国土地理院一等磁気測量) によって、 S_q の振幅比を調査すると **Fig. 3** に示すように、0.7~1.4 の値が分布している。この算出に10%程度の誤差はあるが、到底簡単な緯度経度の関数として表現出来そうにもない。この主原因は磁気誘導による地域差、観測地点の極端な局処性によると思われるが、ここでは議論の外で、この資料を場所ノイズの一つとして利用出来ることを提称する。

最後の内部ノイズは火山活動、地下水変動など岩石の歪でない原因による地磁気変化を総称しているもので、地磁気変化による地震予知研究の推移如何によっては、この“ N ”が“ S ”に移行する可能性がある。このことは場所ノイズの時間的変化、例えば電気伝導度の変化についても言えるが、こゝで対象としている一日以下の周期変化では、先ず“ S ”となるものはない。

次に短周期変化ではなく、永年変化について一言する。地磁気で言う永年変化は、地域差もあり、周期も多様である。このうち、いずれかがおそらく“ S ”であろうが、過去の資料によると“ S ”は永年変化にくらべて、比較的短いと思われるから、磁気測量、常設観測所の資料と比較することによって区別されるであろう。

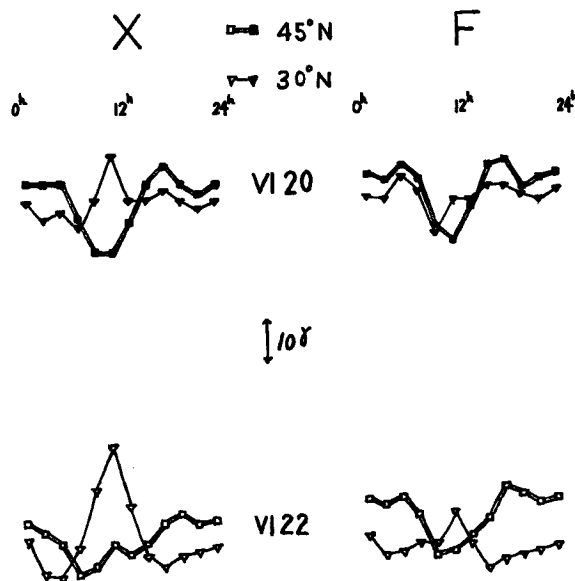


Fig. 2 Geomagnetic S_q variation of north-component X and total force F , showing their latitudinal dependency, on the two days (VI 21 and VI 22, 1934) Types of S_q show extreme examples on these two days.

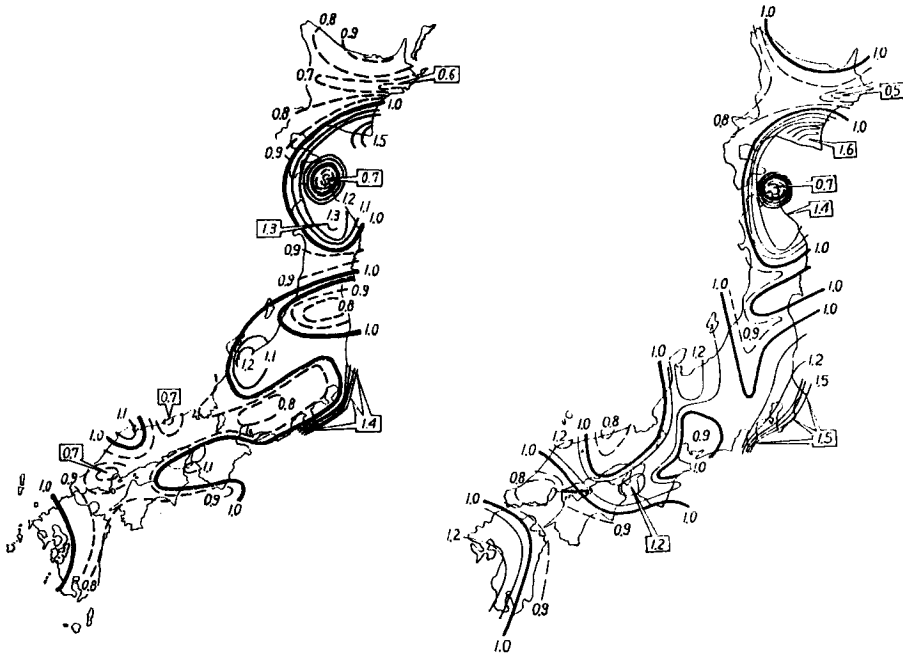


Fig. 3a S_q Anomaly in Japan, expressed by amplitude-ratios referred to value of Kakioka

Fig. 3b S_q Anomaly in Japan, expressed by amplitude-ratios which is normalized for latitudinal dependency.

4 鳥取地方における試験観測

前節の目的のために、A, B 2台のプロトン磁力計を用いて、鳥取地方で、場所ノイズ調査のための試験観測を行なった。その結果、場所ノイズか、内部ノイズか分らないが、“N”は“0”ではないことが分った。観測方法としては、Aセットを鳥取市内基準点（防災研究所附属鳥取微小地震観測所構内）に設置、常時観測を行ない、Bセットを Fig. 4 に示す地点に移動させ、それぞれ1ヶ月ないし3ヶ月の連続観測を行なった。このような期間で観測すれば、地磁気の各種変化が必ず起り、後日整理する場合に十分な資料が得られるからである。また観測地点の選定には、1) 20~50 km 離れていること 2) 中国地方山岳地帯で特異現象を予想したこと 3) 火山岩の直上での変化異常 4) 東城 (T_j) では変化量が大きいことを予想したこと、などを主眼点とした。

次にそれぞれの地点での結果を報告する。この試験観測は、第一には前節の場所ノイズを調査することにあった。このための整理方法として、鳥取基準点および他の比較点での資料を同じ期間（主として湾型変化時）についてスペクトル解析を行なって、地磁気変化を周期別に、鳥取に対する振巾比をとって調べた。その結果を Fig. 5 に示す。同図には、“智頭 C”および“松江 M”だけについて示してある。他の観測点については、今までの資料解析からだけでは顕著な結果が出なかったので省略した。全磁力 F のスペクトル解析自体には多少の問題は残るが、一応の場所ノイズの有様の目安として、次の様なことが言える。すなわち、智頭、松江の両地点の場合、鳥取に比べて周期による振巾比の差異が見られるが、この振巾比の周期への依存性は、両地点で、かなり大きな違いが見られる様である。場所ノイズを調査するという第一の目的からすれば、この様な解析をもっと詳しく行なえば、今後の観測に対して“鳥取市 T”への各地点の規準化は一応出来ると考えられるが、これらの二地点のいずれにもある20%程度の場所ノイズの原因について

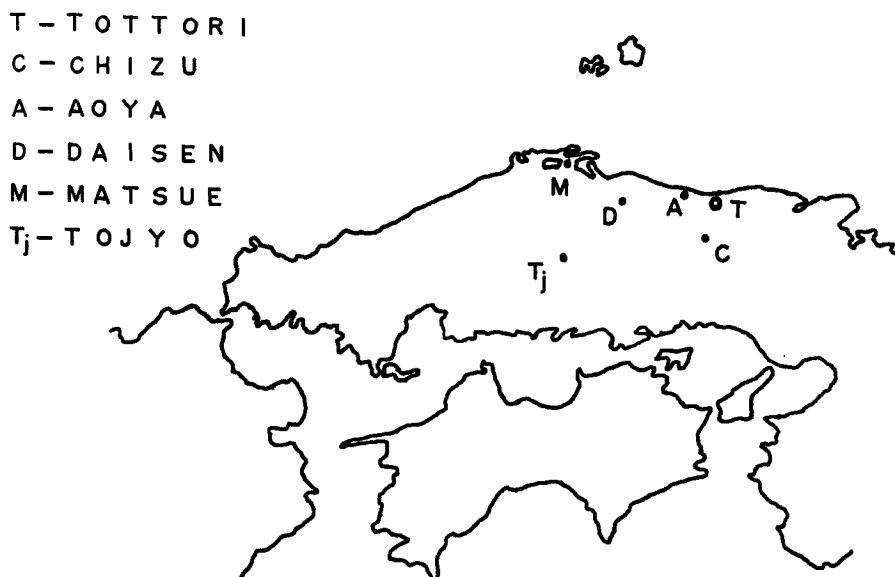


Fig. 4 The distribution of the observation stations in the Tottori District

は、ここでは未だ論ずることが出来ない。今後地磁気三成分の観測を、これらの地点で再び詳しく行なって、原因を追求するつもりである。ただ“智頭 C”に関しては、日変化の場合にも鳥取にくらべて数パーセントの振巾比増が別の資料から得られているので、中国山岳地帯について誘導磁気の可能性が考えられる。

これに反し、“松江 M”は“鳥取市 T”と立地条件（海岸に近い）がよく似ているにも拘らず、周期による振巾比がこの様に複雑なのは、なお検討の余地がある。ただ著者の一人、宮腰³⁾が地磁気三成分の観測から、“鳥取市 T”における垂直分値の変化振巾が複雑な周期特性を示していることを報告していることから判断して、“鳥取市 T”を基準観測所にするに問題があるかも知れない。

また“東城 T_j”が中国山岳地帯の中央に位置するため、山岳地帯の誘導磁気を大きく受け、“智頭 C”に似た傾向を示すのではないかという予想であったが、顕著な結果が出なかった。この点については、なお詳しい観測を必要とする。次の整理方法として、B セットによる各観測点の値と“鳥取市 T”の観測値との単純差の代表的な例を Fig. 6～Fig. 8 に示す。これらは、地磁気変化の比較的静穏な日を選んでであるが、図から明らかな様に、各地点によって単純差にある種のパターンが見られるようである。これらは、単に位相差だけの問題では解決のつかないものであって、地磁気三成分の観測を待って、スペクトル解析などによって、変化型態の詳しい様子を、振巾比、位相差などについて調べなければならないと思っている。ただ“場所ノイズ”の除去と言う観点からすれば、これらのパターンを利用して、各点の観測値を“鳥取市 T”に規準化する方法が考えられると思い、目下検討中である。

また Fig. 9 に示すように、移動観測中、“青谷 A”において、1967年11月2日の午前10時頃から、数時間の内に単純差が漸次変り、約 5 γ 変化し、そのまゝ落着いた例が見られた。これは目下のところ原因不明の現象で、内部ノイズなのか、地殻変動に関係する“S”なのか分らないが興味ある観測事実である。“松江 M”においても、多少の疑問の余地はあるが、これと良く似た現象が見られた。

5. 地磁気変化観測の今後の課題

前節に示した鳥取地方の試験観測は、“場所ノイズ”に関して一つの資料を与えているが、所期の目的が

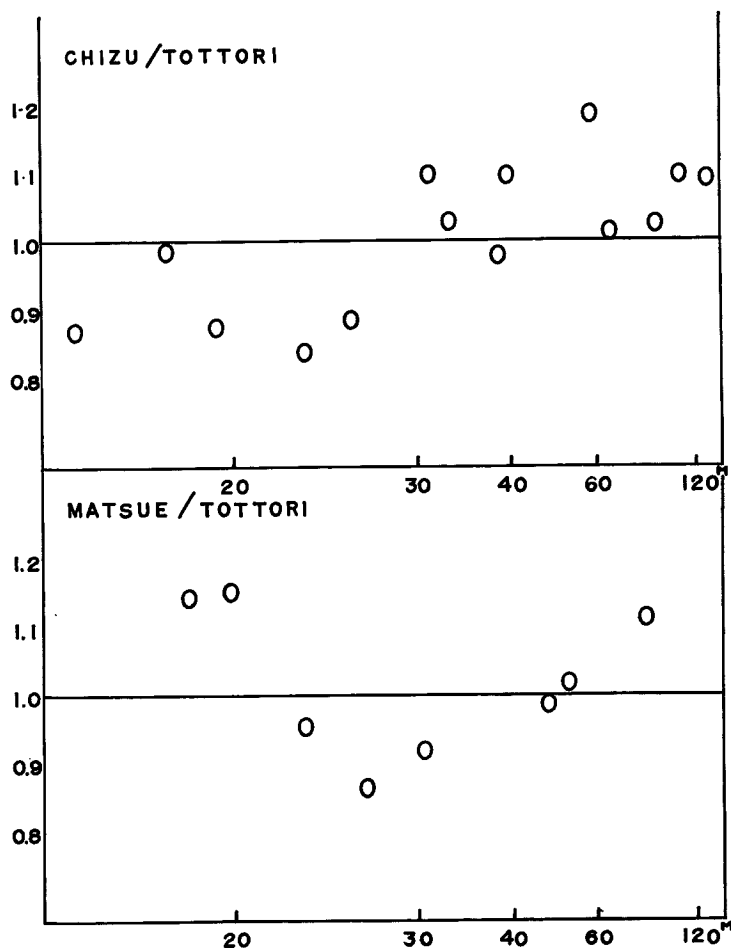


Fig. 5 Ratios of amplitude spectrum (F : the total intensity of the geomagnetic field) of Chizu and Matsue to Tottori covering the period of the substorm.

終った訳ではない。しかし今までの観測結果から、今後の観測法について次の様なことが言える。プロトン磁力計は 1 γ の精度を持っている磁力計であるから、観測結果についても、整理方法の如何によれば 1 γ までの議論が出来る。鳥取地方の比較観測は、ほぼ 20 km 離れた 2 地点を一つの場所選定規準にしているが、逆に何mまで近づければ、全く同型の変化を示すかという問題が新たに提起される。おそらく地域によって、この距離は違うであろうから、それを地域特性の一つの measure として地域差を研究することもある。この試みとして、現在鳥取微小地震観測所構内の 10 m 程離れた地点での比較観測を行っているが、機械的な誤差とは考えられない、若干の差があるようで、目下その原因を検討中である。またプロトン磁力計では、観測値がデジタル化され、印刷または紙テープにパンチされて得られるが、それらを計算機などを用いて解析する場合、ミスカウントをあらかじめチェックする手段を考えて置かねばならないことも、当然ではあるが大切な問題である。その他、統計処理の手續中に混入する可能性のある種々の“新たなノイズ”も充分考慮する必要がある。

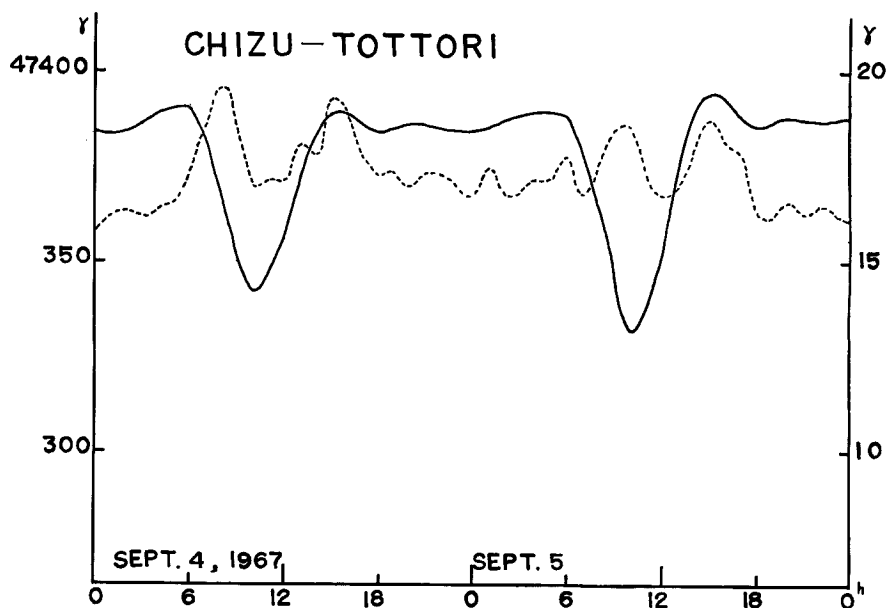


Fig. 6 The simple differences of the total intensity of the geomagnetic field between Chizu and Tottori. solid line: total intensity at Tottori (lefthand scale)
broken line: difference between C and T (righthand scale)

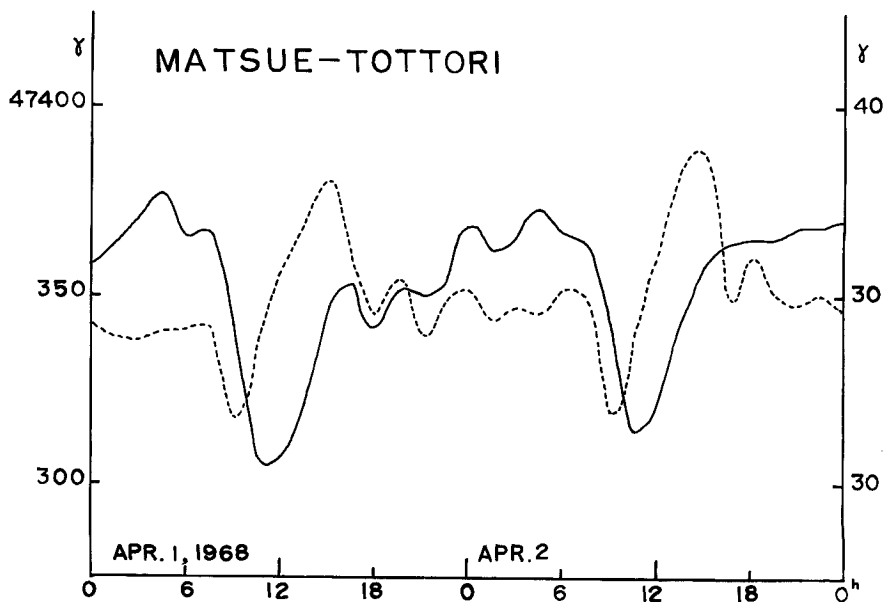


Fig. 7 The simple differences of the total intensity of the geomagnetic field between Matsue and Tottori
solid line: total intensity at Tottori (lefthand scale)
broken line: difference between M and T (righthand scale)

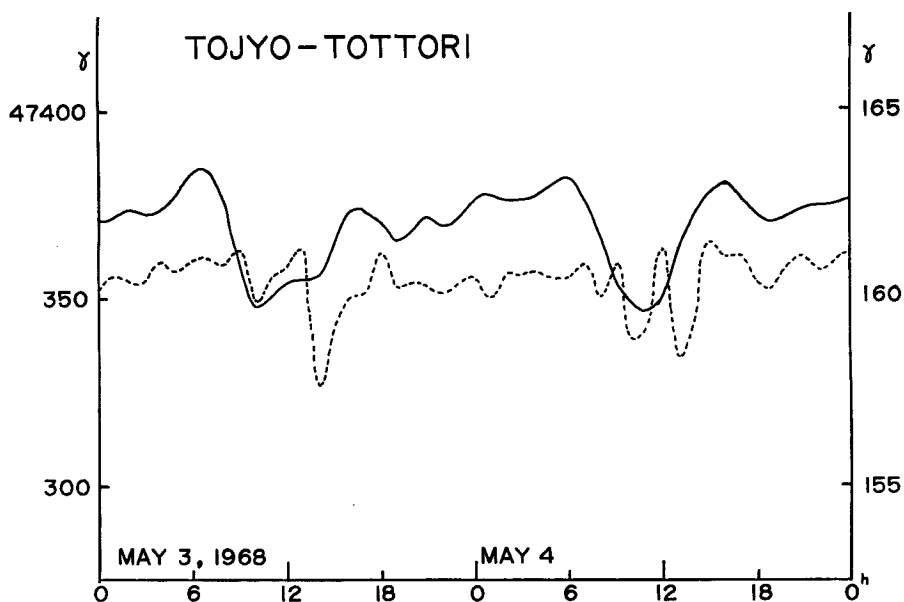


Fig. 8 The simple differences of the total intensity of the geomagnetic field between Tojyo and Tottori
 solid line: total intensity at Tottori (lefthand scale)
 broken line: difference between T_j and T (righthand scale)

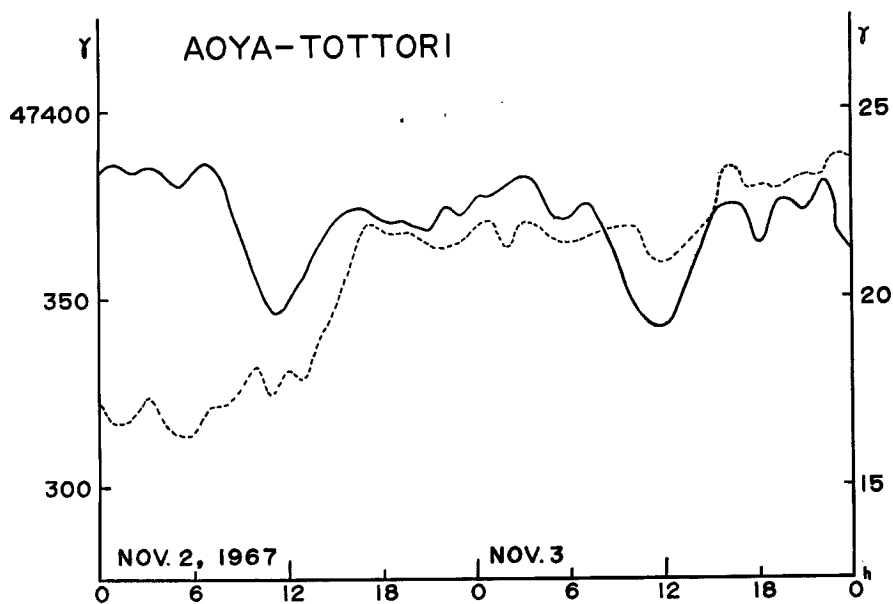


Fig. 9 A typical example of the variation of the simple differences between Aoya and Tottori
 solid line: total intensity at Tottori (lefthand scale)
 broken line: difference between A and T (righthand scale)

謝 辞

この報告に際し、観測上の便宜を与えて下さった、理学部地球物理学教室一戸時雄教授、また観測および整理に関し終始、惜しめない御尽力をいただいた鳥取微小地震観測所々員、矢部征氏に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 加藤愛雄：地震に伴う地磁気変化に関する研究のまとめ，東京大学理学部地物研シンポジウム No. 3, 1966年8月，1～20頁。
- 2) T. Rikitake: Geomagnetism and Earthquake Prediction, Tectonophysics, 6 (1) 1968, p. 60
- 3) 宮腰潤一郎：鳥取における地磁気変化の特性，CA シンポジウム報告（未印刷，1969年3月予定）。