

## 7. 房総半島における地磁気全磁力くり返し 測量: 1968-1976

地震研究所 { 笹井 洋 一  
石川 良 宣

(昭和 51 年 8 月 23 日受理)

### 1. はじめに

地震の前後で地磁気に変化した、という観測例が数多く報告されている。(例えば KATO and UTASHIRO 1949, 藤田 1965, TAZIMA 1968) 強磁性鉱物や、これ等を含む岩石の帯磁率と残留磁気の圧力依存性から、これ等の地磁気変化は、地殻内の応力変化によって地殻構成物質の磁化が変化するため、と考えられている。(例えば NAGATA 1969 参照) しかし、大地震に伴なう、数 10 ないし 100 bar 以上の応力低下によって期待される地磁気変化は、数  $\gamma$  ないし 10 数  $\gamma$  程度であろう、とされている。(RIKITAKE 1968, YUKUTAKE and TACHINAKA 1967, NAGATA 1976) 地震に先行する地磁気変化量は、応力変化のみによるものとすれば、これと同程度以下であり、しかも長期間で徐々に変わるものであろうから、その検出は極めて困難である。

1960 年代にプロトン磁力計が普及して、全磁力の絶対測定は、一挙に 1 $\gamma$  の精度で、極めて簡単にかつ長期間安定に行なえるようになった。松代地震に際しては、北信地域で 6 ヶ所の固定観測点で各々プロトン磁力計が設置され、松代地域で 5 $\gamma$  程度の全磁力変化が見出されている。(RIKITAKE et al. 1967a) 我国では 1960 年代の終り頃に、野外測量のための軽便なプロトン磁力計が開発され、急速に普及した。

地震予知に有効と思われる様々な観測手段のうちで、磁気測量の利点は、広い地域を短時間でカバーできることにある、とされている。地磁気 3 成分の測量は、天測を行なう必要から天候に左右され、測定にも時間がかかる。限られた人員と経費という制約から、今の所、プロトン磁力計による全磁力の移動観測のみが、上述の要求を比較的容易に満たせる。しかし観測量は全磁力だけなので、変化を検出しても、その原因の解釈に任意性があるのはやむを得ない。

地磁気移動班は発足当初に、房総半島をプロトン磁力計による全磁力くり返し測量のテスト・フィールドとして選んだ。本稿に述べる我々の測量方法では、半島のほぼ全域に分布する 20 点以上の測点を、一週間以内で測量できる。日本では、測点周辺の人為的擾乱が、磁気測量にとって大きな悩みの種である。測点数を増やすことによって、多少のデータの欠落があっても、全磁力の経年的異常を、面的に検出しようというのが我々の狙いであった。

房総半島の磁気測量の目的と意義については、測量開始の初期に行武 (1970) によって

まとめられている。房総半島から三浦半島にかけて異常隆起が問題となっていたことから、我々の磁気測量は、地殻内の応力変化に伴う地磁気変化の検出を目的として計画された。房総半島には、国土地理院によって3ヶ所の1等磁気点が設けられ、2年程度の間隔で地磁気3成分のくり返し測量が行なわれている。我々の測量は1等磁気測量を補完し、半島内における更に局地的な全磁力経年変化の異常を検出しようとするものである。

我々は1968年から76年まで5回の全磁力測量を行ない、測量結果は速報的に地震予知連絡会に報告してきた。(地磁気移動班1970, 1972, 1976) 本稿では、我々の測量方式で得られる観測値の精度について、やや詳細に吟味する。観測値の誤差には、器械の性能等に由来するものと、外部変動磁場によるものが含まれる。後者については、房総半島の地域的特性が大きく影響するので、節を改めて議論したい。最後に、最近8年間における我々の測量結果をまとめる。

## 2. 測量方式の概要と測定値の精度

我々の測量方式は次の通りである。測量を始める前に、鹿野山測地観測所で、測量用プロトン磁力計の比較検定を行なっておく。測量は日変化の局地的差違の影響をできるだけ避けるため、午後5時以降、主として夜間に行なう。各測点において、毎分の前後に数回

測定し、平均値を毎分値として、10分間測定する。昼間のうちに測点の正確な位置をたしかめておき、夜間に車で移動しながら観測して行く。1日で3~5点程度、測量できる。

第1図に観測点の分布を示す。略号のEは我々の設置したもの、Gは国土地理院、Hは水路部の磁気点である。我々の測点の標識には、直径12mmの真鍮棒を使用している。1969年に房総線が直流電化された上に、種々の人工的擾乱を受けた測点が多い。1973年の測量に際して、人工的擾乱を受け易い測点を放棄して、その付近に新しい点を設け、更に半島北部にも測点を増やした。

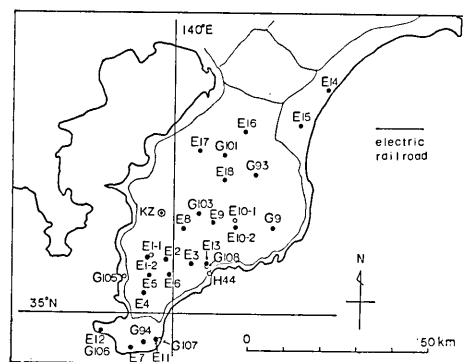


Fig. 1. The distribution of observation points. G, H and E denote stations established by the Geographical Survey Institute, the Hydrographic Office and the Earthquake Research Institute respectively. KZ indicates the Kanto Geodetic Observatory.

以下に、磁力計の器差検定、測点の選定に際しての留意事項と測点の保守状況について述べ、それ等を考慮した測定値の精度を検討する。

### (1) 磁力計の器差検定

鹿野山観測所の地磁気絶対観測室に、磁力計を置いて、毎分値を鹿野山プロトン磁力計と比較する。次式で器差  $\delta F_p$  を求める。

Table 1. Systematic differences between our instrument and the standard proton magnetometer at Kanozan.

Survey		I (1968)	II (1970)	III (1972)	IV (1973)	V (1976)
$\delta F_P$	1	$-2.9\gamma$	$-0.7\gamma$	$-0.2\gamma$	$0.1\gamma$	$-2.5\gamma$
	2	—	$-1.8\gamma$	—	$0.5\gamma$	—
$F_D$		$-3\gamma$	$-3\gamma$	$-3\gamma$	$-3\gamma$	$-3\gamma$

$$\delta F_P = \langle F_P \rangle - \langle F_{KZ} \rangle + F_D \quad (1)$$

ここで  $F_P$ ,  $F_{KZ}$  は測量用ならびに鹿野山の磁力計で測った全磁力値であり,  $F_D$  は絶対観測室と鹿野山プロトン設置点との全磁力地点差である.

第1表に各測量期における器差検定の結果をまとめてある. 器差の変動は最大  $3\gamma$  に達しており, 検出しようとする全磁力経年変化量と同程度である. 少なくとも我々の使用している磁力計に関しては, 毎回の測量に際して, 器差検定は必ず行なわなければならない, と云える.

器差が経年的に変動する原因はよく分らない. 考え得る原因の一つとして, 磁力計水晶発振子の基準周波数のふらつきがある. 第4回測量以前については, タイム・ベースの検定を行っていない. 第5回測量の直後にチェックした時には, 異常を認めなかった. プロトン磁力計では, 検出コイルに強い電流を流すので, 検出部の外装が磁化され, それが変化している可能性もある. 我々の磁力計の検出部は合成樹脂製で, 非磁性とされているが, 微量の強磁性物質が混入しているかも知れない.

検出部を  $180^\circ$  回転させて器差を求めると,  $1\gamma$  弱の差がある.  $1\gamma$  の差は次に述べる器差検定のバラツキとほとんど同程度であるが, 有意な差違と思われる. 我々の使用しているような測量用プロトン磁力計には, 程度の差はあれ, 同様の事実が認められると云う. (森俊雄・私信) 我々は測量の際には, コイルの向きを常に一定に (具体的には, 検出ケーブル側が東側になるように) して, 観測している.

検定は, 毎分測定で30分間行なっている. 毎分の全磁力差のバラツキは, 第1回検定(1968)では  $\pm 1\gamma$  であった. 第2回以降は, バラツキが大きくなり,  $\pm 3\gamma$  に達することもある. これは1969年以降に直流電化された房総線からの, 迷走電流によるノイズの影響らしい.

測量用プロトンの表示値は, 鹿野山の標準プロトン磁力計のそれに比べて,  $1\gamma$  の桁が若干不安定である. 検出部の容積 (従って S/N 比) の大小や, 増幅器の性能の差によるものであろう. 従って我々は測定時刻の前後で, 数秒間隔で3~5回測定し, 異常な値を除いて平均したものを, その測定時刻の値としている. 電車のノイズが無かった第1回検定時に, このやり方で標準磁力計と比較した結果から見ると, 我々の磁力計でも標準磁力計と同程度の信頼性をもって, 全磁力値が求められる, と云える.

実際の野外測量では, 1分毎の測定で, 10分間の平均値を求めている. 10分間平均のバラツキを見るために, 検定時の30分の測定値から, 10分平均を求めて比べてみた. 多くの場合, 10分平均は  $0.5\gamma$  以下の差の範囲で一致したが, 時には30分の間でも, 最大  $1\gamma$

程度の差を生ずる場合があった。サンプル数が少ないために、測定の間差と電車のノイズレベルの変動によって、このような見かけ上の変動を生んでいると思われる。

結論として、我々の磁気測量の観測値、即ち、測点における10分平均値と鹿野山の同時刻の平均値との差は、器械的誤差と鹿野山での電車によるノイズから来る誤差をあわせて最大  $1\gamma$  の誤差を含む、と云える。これには各測点における電車のノイズを考えていないので、房総線に近い測点では、誤差はより大きくなる。半島内陸部では、ほぼこの程度の精度で、全磁力地点差が求められる。

## (2) 測点の選定と保守状況

磁気点の保守は、経済活動によって自然の改変が急激に進められている地域では、極めて難しい。房総半島もその例にもれない。電車のノイズを避けるため、測点は少なくとも5 km 以上房総線から離れた地点を選んでは、観測時間が短かいので確かなことは云えないが、数  $\gamma$  を越えるような明瞭な電車のノイズは、今迄の所認められていない。

くり返し測量の目的からすれば、測点は将来にわたって人工的擾乱を受けることが少ないと思われる所に設けなければならない。残念ながら、房総半島ではそのような場所はほとんど無い。延べ30点の測点のうち、1976年の第5回測量時に、使えた測点は23点であった。第1回測量以来の測点が分布している半島南半部の22点のうち、この8年間を無事に生き延びたのは、わずかに4点にすぎない。

測点の選定にあたっては、なるべく地磁気勾配の小さい所を選ぶ必要がある。我々は  $5\gamma/\text{m}$  以下を基準にしている。磁力計検出コイルの範囲内で磁場傾度が大きい場合、数  $\gamma$  のふらつきを生じてしまう。また再測の時に標識が見つからない場合も時々あって、点の記から旧点とおぼしき地点で再測するしかない。その場合でも、数 cm と考えられる再測点のズレによる誤差を、 $1\gamma$  以下に押さえることが出来る。

以上のような考慮を払う結果、我々の磁気測量においては、測点の地磁気勾配から生ずる測定誤差は無視してよく、測点標識が紛失した場合の再測誤差は  $1\gamma$  以下である、と云える。

この節で述べてきたような注意を払って求めた、各測点と鹿野山との全磁力地点差は、測点が人工的擾乱を受けない限り、一応  $1\gamma$  の誤差の範囲内で有意である、と云えよう。しかし地球磁場は電離層や磁気圏内に流れる電流によって常に変動し、しかもその変化量が数10 km 離れた地点でも一様でない、というやっかいな事実がある。この外部変動磁場の非一様性によって生ずる誤差について、次節で検討する。

## 3. 外部変動磁場の非一様性による誤差

### (1) 従来の観測成果

従来の磁気測量では、日変化等の変化磁場の影響を去除するために、基準観測所における対応する測定時刻の地磁気変化量を差引く、という方法がとられて来た。これは測量地域と基準観測所（時として数百 km も離れている）の日変化などが全く同じである、と仮定している。しかし地磁気日変化は、太陽に面した電離層内の  $S_q$  電流系が、地表から見て東から西へ移動して行く進行性磁場変動であり、しかも電流系の渦の中心は日本付近を通

る。従って、例えば数百 km 離れた 2 地点で日変化の一様性を想定するのは、本質的に無理がある。又、日本においては、磁気嵐に重なった短周期変化や湾型変化の鉛直成分が、海や地球内部の不均一な電気伝導度分布によって、場所により非常に異なる変化をすることは、よく知られている。

TAZIMA (1968) は国土地理院による全国磁気測量結果を用いて、日変化の局地的差異について詳細に論じた。地磁気各成分は、日変化振幅の大きい日中では、柿岡と比べて  $10\gamma$  以上の差を示す。

全磁力日変化の地域差は MORI and YOSHINO (1970) によって詳しく調べられた。彼等は全国 8 ケ所の標準プロトン 磁気計による 1968 年 7 月の全磁力毎分値を用いて、日本各地の全磁力日変化が、振幅、位相共に、著しい相違を示すことを明らかにした。

我々は測量の能率をあげるために、各測点で 10 分間しか測定していない。上に述べた事実から、我々のような観測方式をとる限り、磁氣的静穏日と云えども、日中の観測は避けなければならない。

次に地磁気夜間値の地域的非一様性について調べてみる。RIKITAKE (1966) および RIKITAKE et al. (1968) は主として北信地域の全磁力観測データをもとに、夜間値の地域的相違による磁氣的雑音の除去について検討した。北信地域の全磁力値は、約 200 km はなれた鹿野山のそれと比較された。その結果、

①全磁力夜間値レベルの変動の振幅が、北信地域と鹿野山では異なり、前者に比べて後者の振幅が大きい。この振幅比を重みとした重価差を作ると、両者の単純差に比べて全磁力地点差のバラツキを小さく出来る。

②観測時に湾型変化のような短周期変化が重なった場合には、夜間値レベルの振幅比を重みとしても、尚かつ平均値からのズレが大きい。即ち、短周期変化の振幅比は、夜間値レベルのそれとは異なる。

この 2 種類の系統的誤差は、それを生ずる原因や、地域的特性がそれぞれ異なる。これ等については、房総半島の地域的特性に即して、以下の小節で検討する。

ここで再び MORI and YOSHINO (1970) の研究を参考にする。我々の測量方式による誤差と関係づけられる、彼等の結論を要約すると、

①  $0^h30^m$  から 10 分間の平均値と  $0^h00^m$  から 1 時間の平均値の、1 ヶ月間におけるバラツキの程度は、ほとんど変らない。即ち 10 分平均でも 1 時間平均と同程度の信頼性がある。

②いくつかの代表的観測所で、全磁力差の 1 時間平均を、毎時間ごとに作って 1 ヶ月間のバラツキを見ると、19 時から翌朝 4 時までの時間帯で、標準偏差は最も小さく、しかもその値はほぼ一定である。17 時、18 時では、標準偏差は若干大きくなるが、日中に比べれば、その半分位である。即ち、夜間であれば、観測時刻によらず、最もバラツキの小さい地点差が得られる。

③わずか 7.5 km しか離れていない、伊豆大島の野増と泉津の間で、夜間全磁力差の標準偏差は  $1.4\gamma$  と大きい。これは地磁気短周期および日変化の離島効果 (Sasai 1967) が原因である。このように顕著な地磁気変化異常は無いと思われる秋田県の男鹿と仁別は、44 km 離れていても、標準偏差は  $0.5\gamma$  と極めて小さい。

上記のような従来の観測成果をふまえると、野外磁気測量における変動磁場の非一様性による誤差を小さくするには、測量域内に、全磁力の連続記録を取る基準観測点を設けるのが良いと思われる。第一近似として、測量域内での変動磁場の大きさは一様と仮定して、基準点と各測点の地点差を求める。一方、基準点の測量期間における長時間記録を用いて、測量域から離れた標準観測所と基準点の間で、十分信頼し得る地点差を求めておく。標準観測所に対する各測点の地点差を求めたい時には、この両者を加えてやればよい。この方法は国土地理院が全国磁気測量について行なっている  $C_1$  補正 (例えば TAZIMA 1968 を参照) を、測量域内での基準連続観測を経由する形で修正したものに他ならない。

幸い、房総半島では鹿野山測地観測所という第一級の標準観測所があるので、これを上記の基準観測所として利用することができる。

## (2) 偏角と伏角の地点差による全磁力値の見かけ誤差

地磁気の夜間値レベルは、比較的静穏な時でも数  $10\gamma$  の変動を示し、特に磁気嵐後数日間にこの傾向が強い。この変動は磁気圏内の赤道環電流の消長によってもたらされ、数百 km 以上離れた観測点の間では、当然その振幅に差が出て来る。房総半島程度の範囲内では、変動量はほぼ一様であると思われる。しかし全磁力のみを測っていると、外部変動磁場が全く同じだけ変わったとしても、測定点の伏角と偏角の相違によって、見かけ上の差があらわれる。

ここで外部変動磁場と呼ぶのは、電離層や磁気圏内の電流系による時間的磁場変化と、それによって地球内部に誘導された磁場変化の和を指す。地球核に原因を持つ主磁場と地殻の帯磁による磁場は、その測点における固有磁場と呼んで区別する。

ある地点における全磁力値  $F$  は、その地点での地磁気南北成分  $X$ 、東西成分  $Y$ 、鉛直成分  $Z$  によって、次のように表わされる。但し、以下の議論では、北半球の地磁気観測の慣例に従って、 $X, Y, Z$  は北向き、西向き、下向きをプラスにとる。

$$F = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (2)$$

今、磁場の各成分を固有磁場  $F_0(X_0, Y_0, Z_0)$  と、変動磁場  $\Delta F(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$  に分ける。即ち、

$$\left. \begin{aligned} X &= X_0 + \Delta X \\ Y &= Y_0 + \Delta Y \\ Z &= Z_0 + \Delta Z \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

又、ここで次の関係を用いる。

$$\left. \begin{aligned} F_0 &= \sqrt{X_0^2 + Y_0^2 + Z_0^2} \\ \tan D_0 &= \frac{Y_0}{X_0} \\ \tan I_0 &= \frac{Z_0}{H_0} \\ H_0 &= \sqrt{X_0^2 + Y_0^2} \\ \Delta F &= \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$F_0, I_0, D_0, H_0$  はそれぞれ固有磁場の全磁力, 伏角, 偏角, 水平分力であり,  $\Delta F$  は変動磁場の大きさである.

(3) を (2) に代入し,  $\Delta F$  が  $F_0$  に比べて小さいことから, これをテイラー展開して 2 次以上の微小項を無視すると,

$$F = F_0 + \alpha \cdot \Delta X + \beta \cdot \Delta Y + \gamma \cdot \Delta Z + \frac{1}{2} \frac{\Delta F^2}{F_0} \quad (5)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \cos I_0 \cos D_0 \\ \beta &= \cos I_0 \sin D_0 \\ \gamma &= \sin I_0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

(5) 式から明らかなように, ある 2 地点で  $F_0, I_0, D_0$  が異なるならば, たとえ変動磁場が両地点で全く等しい変化をしても, 全磁力値の変化量は, 一般に等しくならない.

次に, (5) 式の右辺の第 2 項以下が,  $F$  に及ぼす影響の程度を検討する. 固有全磁力  $F_0$  は, 火山地帯等では, 場所により数千  $\gamma$  も異なることがある. しかしある地点で  $F_0 = 40,000\gamma$ , 別の地点で  $F_0 = 50,000\gamma$  という極端な全磁力差のある両地点で,  $\Delta F$  が  $300\gamma$  変化したとしても, (5) 式右辺の第 5 項による  $F$  の変化分には,  $0.2\gamma$  程度の差が生ずるにすぎない. 従って我々の測量の精度では, この項を無視してよい.

日本付近で偏角  $D_0$  は  $6^\circ$  前後であるから,  $\beta$  の値そのものは,  $\alpha, \gamma$  に比べて 1 桁小さい. しかし  $D_0 = 0^\circ$  付近での  $\sin D_0$  の勾配は大きいので, 偏角の相違による  $\beta$  の差は無視出来ない.  $\alpha$  と  $\gamma$  の値を大きく左右する伏角  $I_0$  は, 最も重要なファクターである. 一般に変動磁場は,  $\Delta X$  が最も大きい変化を示し,  $\Delta Z$  は地域差が大きいからである.

一例として, 鹿野山 ( $D_0 = 6^\circ, I_0 = 48^\circ$ ) と柿岡 ( $D_0 = 6.5^\circ, I_0 = 49^\circ$ ) という組合せについて,  $\alpha, \beta, \gamma$  の差を求めてみる. 鹿野山—柿岡の差は,  $\Delta\alpha = 0.014$ ,  $\Delta\beta = -0.004$ ,  $\Delta\gamma = -0.012$  である. 即ち, 両観測所で外部磁場の変化量が全く等しかったとしても, 変動のタイプによっては, 変化量の 2% 近い見かけの差が現われることになる.

この例から分るように,  $I_0$  が異なる両地点で  $\Delta\alpha$  と  $\Delta\gamma$  は符号が異なる.  $\Delta X$  と  $\Delta Z$  が同符号で増減するような変動に対しては, 見かけ誤差は打ち消し合って, 小さくなる. 例えば, 中央日本異常地域の湾型変化は, この型に属する. 一方, 磁気嵐主相や, 日変化の夜間レベルの変動は, 地球主磁場に反平行な双極子でよく近似される変化なので,  $\Delta X$  と  $\Delta Z$  は逆符号となり, 見かけ誤差を大きくする.

変動磁場が一様に変化したにもかかわらず, 2 つの測点で  $D_0, I_0$  が異なるために, 見かけ上, 全磁力変化に差を生じたのではないかと, 思われる観測例がある. 松代地震の際に地震研究所では, 皆神山の山頂部で約 100 m 離れた 2 地点にルビディウム磁力計を設置し, 両地点の全磁力差を  $0.01\gamma$  の精度で連続観測した. その結果, 湾型変化や日変化, 磁気嵐などで, 変動磁場の数 % にのぼる全磁力差の変化が観測された. (RIKITAKE et al. 1967b)

量的に小さいとは云え, このように超局所的な地磁気変化異常は始めて観測されたものであった. その原因について, 両地点間の表層物質の帯磁率の相違による誘導磁化の差,

気温変化による帯磁の変化，含水層と思われる地表付近の薄い良導層による電磁誘導など様々な角度から検討されたが，いずれも量的に変化を説明できなかった。(RIKITAKE et al. 1967b) 皆神山は石英安山岩質のドームで，伏角測量によれば，山頂部は周辺地域に比べて  $4^\circ$  以上も大きいような，著しい異常を示している。(RIKITAKE et al. 1966) 従って，ここで見出された全磁力差の変化異常は，両地点の伏角，偏角の相違による，見かけの変化であった可能性が強い。

この節で検討した伏角等の差による全磁力値の見かけ誤差を考慮し，更に外部変動磁場の性質について良く分っている場合には，変動磁場の地域的非一様性によるバラツキを，かなり小さく出来ることが知られている。柳原・白木 (1970) は，地磁気の夜間レベルの変動が磁気圏内の赤道環電流の消長によるものであり，この DR 成分の磁氣的緯度依存性を考慮すれば，女満別，柿岡，鹿屋などの間で，夜間全磁力差の変動を小さく出来ることを指摘した。更に FUJITA (1973) は伏角の地点差も考慮して，変動量の比例定数を定めてやり，日本全国 11 ケ所における 1970 年の全磁力夜間値に適用し，DR 磁場によるバラツキを補正した，真の経年変化曲線を得た。

これは (5) 式において， $\Delta X$  と  $\Delta Z$  の振幅比を与え，(5) 式右辺の第 2，第 4 項による見かけ誤差を補正することに他ならない。彼等の研究は力武等によって始められた重偏差による比較方式について，その物理的根拠の主要な部分を解明した，という意味でも重要である。

我々は伏角，偏角の地点差による全磁力値の見かけ誤差を，強調しすぎたきらいがあるかも知れない。この種の誤差は変動磁場の数 % にすぎないからである。しかし従来はあまり注意されなかったこの見かけ誤差の補正も，次のような理由で，今後考慮して行くべきである，と思われる。即ち，

①測点の人工的擾乱を避けるため，磁気点は辺りな場所に設置されることが多く，結果として地形的な原因から，偏角，伏角の異常な地点である可能性が強いこと。

②地磁気夜間レベルの変動は，空間的波長が大きく，時間的にゆっくりした変化なので地球内部の誘導磁場による局地的な相違は大きくないと思われる。しかし比較的静穏な場合でも数  $10\gamma$  も変化し，しかも変化のタイプが，見かけ誤差を最大にする種類のものであること，である。

見かけ誤差の補正に要する，各測点の偏角，伏角の絶対値には， $0.1^\circ$  の精度があれば十分である。又，日本付近の偏角，伏角の経年変化量は，それぞれ  $0.5'/\text{年}$ ， $2'/\text{年}$  程度である。従って測点が人工的擾乱を受けない限り，10 年以上の期間にわたって， $\alpha, \beta, \gamma$  はほぼ一定であると見なしてよい。

我々はまだ房総半島の各測点について，偏角，伏角の測量を行っていない。そこで地理院の磁気測量データによって，見かけ誤差の程度について，大体の目安をつけてみる。第 2 表に測量域内の地理院磁気点における，偏角，伏角値，およびこれから得られる  $\alpha, \beta, \gamma$  の値をまとめた。測量時期は各測点毎に大幅に異なるが，鹿野山における 1972 年 1 月の月平均値と比べ，各地点の  $\Delta\alpha, \Delta\beta, \Delta\gamma$  を求めて，同表に示してある。

地理院の磁気点は，この地域の代表的な地磁気分布を得るため，地形的にも磁気異常が小さいような平坦地に設定されている。我々の設けた測点では，より大きな異常を示す点



Table 2. Declination ( $D_0$ ) and inclination ( $I_0$ ) at the GSI stations, coefficients  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  and their differences between each station and Kanozan.

Station	Obs. Epoch	$D_0$	$I_0$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\Delta\alpha$	$\Delta\beta$	$\Delta\gamma$
Kanozan	1972 Jan.	6.1°W	47.9°	0.66286	0.07124	0.74198	—	—	—
GSI 9	1971 Oct.	6.0	47.8	0.66804	0.07021	0.74080	0.0052	-0.0010	-0.0012
9-1	1974 May	6.1	47.8	0.66792	0.07138	0.74080	0.0051	0.0001	-0.0012
93	1971 May	6.1	47.9	0.66286	0.07124	0.74198	0.	0.	0.
94	1971 Nov.	6.3	47.7	0.66895	0.07385	0.73963	0.0061	0.0026	-0.0024
101	1967 Nov.	6.2	48.1	0.66393	0.07213	0.74431	0.0011	0.0009	0.0023
105	1967 Nov.	6.2	47.6	0.67036	0.07282	0.73846	0.0075	0.0016	-0.0035
107	1962 Nov.	6.3	47.7	0.66895	0.07385	0.73963	0.0061	0.0026	-0.0024
108	1962 Nov.	6.0	47.7	0.66933	0.07035	0.73963	0.0065	-0.0009	-0.0024
112	1962 Nov.	6.2	48.3	0.66134	0.07184	0.74664	-0.0015	0.0006	-0.0047

があるかも知れない。しかし第2表で見る限り、房総半島の偏角、伏角の異常はごく小さく、全磁力値の見かけ誤差も小さいと思われる。例えば変動磁場が  $100\gamma$  としても、鹿野山と比較した場合、見かけ誤差は高々  $1\gamma$  である。

### (3) 房総半島における短周期変化の非一様性

測量域内に基準観測所があり、夜間に測定する我々の観測方式では、日変化の地域的非一様性による誤差は避けることができる。又夜間値レベルの変動は、それを生ずる機構の性格からして、我々の測量域程度の範囲では、ほぼ一様であると期待される。その場合にも生じ得る、各測点での偏角・伏角の相違による全磁力値の見かけ誤差は、地理院の磁気測量結果を利用した予備的検討によれば、無視し得る程度であった。最後に残るのは、湾型変化等の短周期変化が、測量域内で一様でないことによる誤差である。ここでは、国土地理院の1等磁気測量成果を利用して、若干の検討を試みる。

我々の測量域内では、No. 9, 93, 94の3点の1等磁気点がある。1等磁気測量では、6時から22時まで、ほぼ1時間の間隔で測定が行なわれる。第2図に全ての観測例について、横軸に鹿野山の全磁力値をとり、縦軸に各測点と鹿野山と

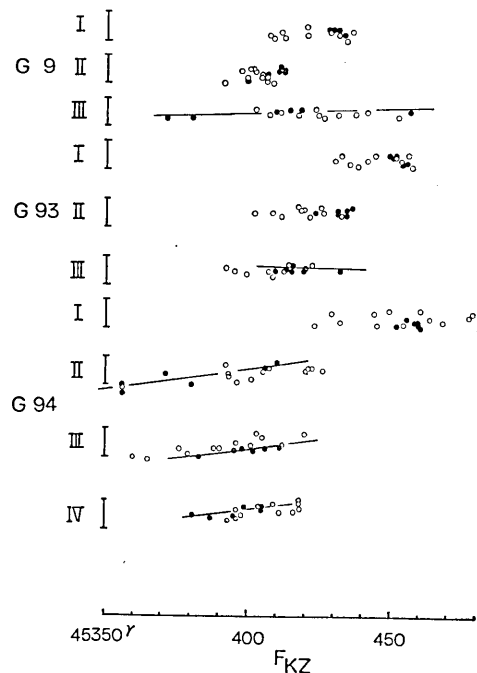


Fig. 2. Differences of the F component between the GSI station and Kanozan vs. the F component at Kanozan. Vertical bars on the left side indicate 10 gammas.

の全磁力差をプロットしてみた。グラフの左側の縦線が各々  $10\gamma$  を示す。白丸は 6 時から 16 時までの日中の変化を、黒丸は 17 時以降の夜間値を示す。

変動磁場の振幅が、各測点と鹿野山とで全く等しければ、全磁力差は一定となるはずである。しかし夜間に短周期変化が卓越している例 (G9-III, G93-III, G94-II, III, IV) については、測定誤差を考慮しても、ある傾いた直線に乗るように見える。特に G94 においては、この直線は右上りの傾向が顕著で、鹿野山に比べて短周期変化の振幅がかなり大きいことを示している。このように半島の南端部で短周期変化の全磁力振幅が大きくなる現象は、海洋誘導電流の集中による半島効果の影響であろう。紀伊半島における観測 (笹井 1969) によれば、半島の南端部では鉛直成分の振幅が極めて大きくなるので、それが全磁力値にも現われている、と思われる。

なお磁氣的に静穏な日の夜間値は、G9-I, G93-I, II および G94-I に見るように、比較的に全磁力差のバラツキが小さい。日中の変化はバラツキが大きく、ループを描く傾向もあってわずかながら位相差があるかも知れない。

Table 3. Correction coefficient  $k$  for short-period geomagnetic disturbances at the GSI 1st order stations.

Station	Date	$k$
GSI 9-1	'75 May 16	0.03
93	'75 May 21	-0.03
94	'71 Nov. 25	0.16
	'74 May 17	0.12
	'75 May 14	0.14
	Mean	0.14

夜間に短周期変化が卓越している例について、最小自乗法で次の比例係数  $k$  を求める。

$$F_P - F_{KZ} = k \cdot F_{KZ} + \text{const.} \quad (7)$$

この式から、各測点の短周期変化の全磁力振幅は、鹿野山のそれと比べて、 $100 \times k\%$  大きいということになる。第 3 表に、各測点についての  $k$  値をまとめてある。

鹿野山の連続記録から、対応する時刻の短周期変化の振幅  $\Delta F_{KZ}^S$  を求め、

$$\left. \begin{aligned} \Delta F' &= \Delta F + \delta F_K \\ \delta F_K &= -k \cdot \Delta F_{KZ}^S \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

なる量を作ると、 $\Delta F'$  が短周期変化の地域差を補正した地点差となることは、(7) 式から容易に理解される。 $\Delta F$  は我々が通常求めている、単純差による鹿野山との全磁力地点差である。

ここで大雑把に、毎回の測量における、短周期変化補正量  $\delta F_K$  を見積ってみたい。我々の測点を、半島北部 (N グループ)、中部 (M グループ)、南部 (S グループ) に分ける。各グループの  $k$  値が、それぞれ G93, 9, 94 のそれと等しいものと見なす。

一方、第 3(a)~(c) 図には、測量日の 16 時から 24 時まで、10 分毎の全磁力変化を示す。我々はほとんどの場合、短周期変化の最中に測定していたことが分る。

短周期変化の補正は、短周期変化が無い場合の夜間値レベルに引き直して比較しようとするものである。この仮想的な夜間値レベルを定義するのは難しい。例えば孤立した湾型変化の場合には、前後の静穏時レベルで与えることが可能であろう。しかし第 3 図を見ると、ほとんどの場合は短周期変化がいくつも連続して起っている。ここでは、測量日の 16

時から 24 時までの平均的全磁力値 (図中に点線で示してある) を, 仮想的な夜間値レベルとする. これからのズレで  $\Delta F_{kz}^s$  を与え, (8) 式の  $\delta F_k$  を求めて, 第 4 表にまとめた.

今迄の測量では, 極端に大きな短周期変化にぶつかっていないが, それでも S グループに属する測点では,  $1\gamma$  近い補正が必要とされる. 一方,  $k$  の値が小さい N, M グループでは, 補正量は高々  $0.4\gamma$  である. くり返し磁気測量で検出しようとするのは, 各測量期間相互の地点差の変化であるから, 隣接した期間の間で, 補正量の差を作って, 同じく第 4 表に示した. この場合は, 各測量期における短周期補正量が重なり合って, 特に S グループでは  $1\gamma$  以上の補正を必要とする場合が出て来る.

以上に述べてきた短周期変化の補正は, 大まかな目安を与えるものにすぎない. 特に半島南端部については, 半島効果の性格からして, 短周期変化の Z 成分の振幅が——従って短周期補正係数が, 測点毎にかなり異なることが予想される. 又, M グループについても G9 の値を適用することには疑問がある.

とは云え, 今迄の測量では, たまたま小振幅の短周期変化の時に観測していたこともあって, 少なくとも N, M グループに属する測点では, 短周期変化の地地的差違による誤差は, いくつかの例外を除き,  $0.5\gamma$  以下である, と云えそうである. 一方, 半島南端部, S グループの測点については, 単純地点差の経年変化量は,  $1\gamma$  以上の誤差を含む場合がある.

この節で検討して来たように, 我々の磁気測量においては, 外部変動磁場の非一様性が, 全磁力地点差の誤差を生む最大の要因である. 特に短周期変化の補正は, 不可欠である. 今後, 各測点で短周期変化を観測して, 測点毎に補正係数  $k$  を定め, 補正に正確を期したい.

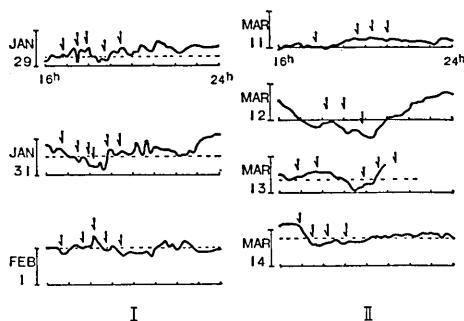


Fig. 3(a). The F component variations at the time of Survey I and II. Arrows indicate observation time in field work. Vertical bars denote 20 gammas.

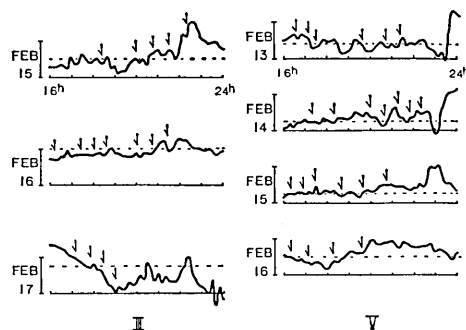


Fig. 3(b). The F component variations at the time of Survey III and V.

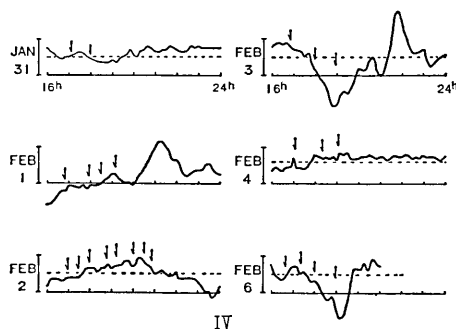


Fig. 3(c). The F component variations at the time of Survey IV.

Table 4. Corrections for short-period disturbances in units of gammas:  $\delta F_k$ .

Station	Group	I	II	III	IV	V	II-I	III-II	IV-III	V-IV
G	9 M	-0.1 $\gamma$	-0.1 $\gamma$	0.1 $\gamma$	0.2 $\gamma$	-0.2 $\gamma$	0.0 $\gamma$	0.2 $\gamma$	0.1 $\gamma$	-0.4 $\gamma$
	93 N	—	—	—	0.0	0.1	—	—	—	0.1
	94 S	—	0.0	0.8	0.2	0.2	—	0.8	-0.6	0.0
	101 N	—	—	—	0.0	0.0	—	—	—	0.0
	103 M	0.0	-0.1	-0.2	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.2	0.0
	106 S	-0.6	-0.8	0.4	—	—	-0.2	1.2	—	—
	107 S	0.7	-0.6	0.4	—	—	-1.3	1.0	—	—
	108 M	0.1	0.1	-0.1	-0.1	—	0.0	-0.2	0.0	—
E	1-1 M	-0.2	-0.2	0.4	-0.1	—	0.0	0.6	-0.5	—
	2 M	0.1	0.1	0.2	-0.2	0.1	0.0	0.1	-0.4	0.3
	3 M	-0.2	0.1	0.0	-0.1	-0.1	0.3	-0.1	-0.1	0.0
	4 M	-0.1	0.1	-0.1	0.1	0.1	0.2	-0.2	0.2	0.0
	5 M	-0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.3	-0.1	0.0	-0.1
	6 M	0.2	0.2	0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.2	0.0
	7 S	0.4	-0.7	0.4	0.0	-0.4	-1.1	1.1	-0.4	-0.4
	8 M	0.1	-0.2	-0.4	0.1	0.1	-0.3	-0.2	0.5	0.0
	9 M	-0.2	0.1	-0.1	-0.2	0.0	0.3	-0.2	-0.1	0.2
	10-2 M	—	—	—	0.8	0.0	—	—	—	-0.8
	11 S	—	—	—	-0.7	-0.6	—	—	—	-0.1
	12 S	—	—	—	0.2	0.3	—	—	—	0.1
	13 M	—	—	—	-0.2	-0.1	—	—	—	0.1
	14 N	—	—	—	0.1	0.0	—	—	—	-0.1
	15 N	—	—	—	0.1	-0.1	—	—	—	-0.2
	16 N	—	—	—	0.0	-0.1	—	—	—	-0.1
	17 N	—	—	—	-0.1	0.0	—	—	—	0.1
	18 N	—	—	—	-0.6	0.1	—	—	—	0.7

#### 4. 鹿野山および柿岡を基準とした房総半島における全磁力経年変化

この節では、過去5回の測量結果を、鹿野山と比較したものを、まず報告する。この場合には、観測値に含まれる様々な誤差を小さくすることが出来る。しかし房総半島全体の全磁力経年変化を求めるには、測量域から十分離れた基準観測所と比較する必要がある。ここでは、鹿野山から約 110 km 北方にあって、日本の磁気測量の基準点とされる柿岡の全磁力値と比べた結果を報告する。

第3節で検討したように、測量域から遠く離れた基準観測所と測定値を直接比較すると、外部磁場の地域的非一様性によって、誤差が大きくなる。そこでここでは、鹿野山と柿岡の地磁気連続観測値によって、鹿野山の柿岡に相対的な全磁力経年変化を求め、この経年変化量を鹿野山を基準とした変化量に加える、というやり方をとる。両観測所の地磁気経年変化の傾向を調べておくことは、我々の測量の背景を知るためにも重要であろう。

## (1) 鹿野山を基準とした全磁力経年変化

各測点の全磁力値  $\overline{F_P}$  は, 10 分間の測定値の平均に, 器差補正を行なって, 次式で与えられる.

Table 5(a). Results of Survey I (1968 Jan. 29-Feb. 1)

Station	Date	Time	$\overline{F_P}$	$\overline{F_{KZ}}$	$\Delta\overline{F_I}$
GSI 9	Feb. 1	16 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	45,417.9 $r$	45,491.6 $r$	- 73.7 $r$
103	1	18 43	453.3	493.0	- 39.7
105	Jan. 31	21 38	228.5	484.0	-255.5
106	31	16 46	196.9	487.3	-290.4
107	31	17 58	203.6	479.4	-275.8
108	29	17 28	269.5	474.1	-204.6
HGO 44	29	16 50	113.9	475.9	-362.0
ERI 1-1	29	19 29	268.9	478.5	-209.6
2	29	18 44	322.0	473.0	-151.0
3	29	17 55	265.2	480.9	-215.7
4	31	20 33	199.1	485.0	-285.9
5	31	19 51	391.5	482.3	- 90.8
6	31	19 11	243.3	482.6	-239.3
7	31	17 27	313.3	482.3	-169.0
8	Feb. 1	19 24	464.7	489.4	- 24.7
9	1	18 10	529.5	498.6	30.9
10-1	1	17 29	410.5	494.2	- 83.7

Table 5(b). Results of Survey II (1970 Mar. 11-14)

Station	Date	Time	$\overline{F_P}$	$\overline{F_{KZ}}$	$\Delta\overline{F_{II}}$
GSI 9	Mar. 13	16 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	45,360.6 $r$	45,434.3 $r$	- 73.7 $r$
94	11	17 43	192.3	426.1	-233.8
103	13	20 36	399.1	434.9	- 35.8
106	11	19 40	049.9	429.8	-379.9
107	11	21 02	155.4	429.1	-273.7
108	14	19 04	217.3	437.2	-219.9
ERI 1-1	14	16 56	234.4	447.8	-213.4
2	14	17 32	282.6	436.9	-154.3
3	14	18 12	218.0	436.3	-218.3
4	12	18 10	134.0	423.6	-289.6
5	12	18 58	327.6	418.5	- 90.9
6	12	19 49	172.4	415.1	-242.7
7	11	20 19	258.6	429.7	-171.1
8	13	21 21	415.0	442.6	- 27.6
9	13	19 54	445.1	427.5	17.6
10-1	13	17 45	343.7	437.7	- 94.0

Table 5(c). Results of Survey III (1972 Feb. 15-17)

Station	Date	Time	$\overline{F_P}$	$\overline{F_{KZ}}$	$\Delta\overline{F_{III}}$
GSI 9	Feb. 15	18 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>	45,337.4 <sub>r</sub>	45,411.3 <sub>r</sub>	- 73.9 <sub>r</sub>
94	16	16 13	185.3	417.7	-232.4
103	15	21 29	379.8	416.2	- 36.4
106	16	17 24	037.6	420.5	-382.9
107	16	18 34	174.3	421.4	-247.1
108	17	17 10	177.9	422.4	-244.5
ERI 1-1	17	18 59	189.5	402.0	-212.5
2	17	18 24	257.8	414.6	-156.8
3	17	17 48	200.1	417.5	-217.4
4	16	21 24	176.7	426.7	-250.0
5	16	20 44	330.4	419.6	- 89.2
6	16	20 03	179.5	419.4	-239.9
7	16	18 02	255.9	420.4	-164.5
8	15	22 21	403.8	427.4	- 23.6
9	15	20 47	434.8	415.3	19.5
10-1	15	19 59	335.6	411.7	- 76.1

Table 5(d). Results of Survey IV (1973 Jan. 31-Feb. 6)

Station	Date	Time	$\overline{F_P}$	$\overline{F_{KZ}}$	$\Delta\overline{F_{IV}}$
GSI 9	Feb. 3	17 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	45,329.4 <sub>r</sub>	45,401.1 <sub>r</sub>	- 71.7 <sub>r</sub>
93	4	17 04	403.2	407.1	- 3.9
94	1	16 50	159.4	394.3	-234.9
101	6	17 22	543.6	407.5	136.1
103	Jan. 31	17 08	364.9	407.0	- 42.3
108	Feb. 2	20 51	164.6	410.6	-246.0
ERI 1-1	2	19 23	195.1	411.7	-216.6
2	2	18 47	252.5	411.0	-158.5
3	2	20 03	195.5	412.6	-217.1
4	2	16 57	146.5	403.6	-257.1
5	2	17 28	316.0	405.3	- 89.3
6	2	18 01	163.8	409.6	-240.8
7	1	18 32	228.0	397.3	-169.3
8	Jan. 31	17 51	333.7	407.8	- 24.1
9	Feb. 3	16 48	432.3	412.8	19.5
10-2	3	18 57	231.5	380.8	- 99.3
11	1	19 10	126.5	400.6	-274.1
12	1	17 57	095.9	395.4	-299.5
13	2	20 33	261.5	413.6	-152.1
14	4	19 08	458.1	413.7	44.7
15	4	18 22	427.8	410.9	16.9
16	6	16 41	391.6	406.6	- 15.0
17	6	18 01	508.1	402.2	105.9
18	6	18 58	365.9	387.7	- 21.8

Table 5(e). Results of Survey V (1976 Feb. 13-16)

Station	Date	Time	$\overline{F_P}$	$\overline{F_{KZ}}$	$\overline{\Delta F_V}$
GSI	Feb.	15 20 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>	45,340.8 $\gamma$	45,416.2 $\gamma$	- 75.4 $\gamma$
		93 19 36	416.0	419.2	- 3.2
		94 19 38	181.3	413.4	-232.1
		101 16 53	548.9	413.8	135.1
		103 17 20	375.2	412.7	- 37.5
ERI	1-2	14 21 13	250.1	417.6	-167.5
	2	14 20 40	253.7	407.3	-153.6
	3	14 21 49	197.2	414.1	-216.9
	4	13 20 44	155.2	412.8	-257.6
	5	13 21 22	327.2	414.3	- 87.1
	6	14 19 57	175.4	414.5	-239.1
	7	13 17 10	253.0	417.2	-164.2
	8	14 18 19	390.4	411.7	- 21.3
	9	15 18 42	435.6	412.6	23.0
	10-2	15 19 42	314.8	410.9	- 96.1
	11	13 16 35	147.2	419.9	-272.7
	12	13 17 49	115.7	416.1	-300.4
	13	14 22 21	269.1	416.5	-147.4
	14	16 16 20	460.4	419.2	41.2
	15	16 17 07	430.0	414.9	15.1
	16	16 18 18	403.8	412.9	- 9.1
	17	15 16 19	519.0	412.2	106.8
	18	15 17 27	398.2	415.6	- 17.4

$$\overline{F_P} = \langle F_P \rangle - \delta F_P \quad (9)$$

一方、鹿野山全磁力値としては、同観測所の絶対観測室に引き直した値を採用している。即ち、測量と対応した時刻の、鹿野山プロトン磁力計による全磁力平均値に、絶対観測室との地点差を加えたものである。

$$\overline{F_{KZ}} = \langle F_{KZ} \rangle + F_D \quad (10)$$

鹿野山を基準とした全磁力地点差  $\overline{\Delta F_{KZ}}$  は、この両者の単純差で与えられる。即ち、

$$\overline{\Delta F_{KZ}} = \overline{F_P} - \overline{F_{KZ}} \quad (11)$$

平均をとる際に、個々の瞬間値の差を作り、平均から大きくはずれる値は除いている。このバラツキは、主として電車のノイズによると考えられるが、今迄の測量では、このような例は案外少なく、ほとんどの場合に10個の測定値全部が使えて、バラツキは2~3 $\gamma$ 以下である。

$\overline{\Delta F_{KZ}}$  には、器差補正のみが考慮されている。前節で検討したように、これに更に、見かけ誤差と短周期変化の補正を行なうべきであるが、現段階では補正の基礎資料が不足し

Table 6. Secular changes in the total force intensity relative to Kanozan:  $\delta F_{KZ}$ .

Station		II-I	III-II	IV-III	V-IV
GSI	9	0.0 $\gamma$	- 0.2 $\gamma$	2.2 $\gamma$	(-3.7 $\gamma$ )
	93	—	—	—	0.7
	94	—	1.4	-2.5	2.8
	101	—	—	—	-1.0
	103	3.9	- 0.6	-5.9	4.8
	106	(-89.5)	(- 3.0)	—	—
	107	( 2.1)	( 26.6)	—	—
	108	(-15.3)	(-24.6)	-1.5	—
ERI	1-1	- 3.8	0.9	(-4.1)	—
	2	- 3.3	- 2.5	-1.7	( 4.9)
	3	- 2.6	0.9	0.3	0.2
	4	- 3.7	( 39.6)	(-7.1)	-0.5
	5	- 0.1	1.7	-0.1	2.2
	6	- 3.4	2.8	-0.9	1.7
	7	- 2.1	( 6.6)	-4.8	5.1
	8	- 2.9	4.0	-0.5	( 1.1)
	9	(-13.3)	1.9	0.0	3.5
	10-1	(-10.3)	( 17.9)	—	—
	10-2	—	—	—	3.2
	11	—	—	—	1.4
	12	—	—	—	(-0.9)
	13	—	—	—	( 4.7)
	14	—	—	—	-3.5
	15	—	—	—	-1.8
	16	—	—	—	(-1.1)
	17	—	—	—	0.9
	18	—	—	—	4.4

ているので、将来の課題としたい。従って、2節、3節の議論から、 $\overline{\Delta F_{KZ}}$  には、最大 1 $\gamma$  程度の偶差が含まれること、および半島南端部の値については、時に 1 $\gamma$  程度の短周期変化による誤差があることに、留意しておかねばならない。

第5(a)～(e)表に、各測量期における、 $\overline{F_P}$ ,  $\overline{F_{KZ}}$ ,  $\overline{\Delta F_{KZ}}$  をまとめた。更に第6表には、隣接した測量期の間の全磁力経年変化量を示す。即ち、第  $j$  期と第  $k$  期測量との間の、鹿野山を基準とした全磁力経年変化量  $\delta F_{KZ}$  は、

$$\delta F_{KZ}(k-j) = \overline{\Delta F_{KZ}}(k) - \overline{\Delta F_{KZ}}(j) \quad (12)$$

で与えられる。これを各測点について図示したのが、第4図(a)～(d)である。( ) でくくった値は、人工的擾乱を受けたものである。

第4図に示された全磁力地点差の経年変化を見ると、鹿野山に相対的な変化量は極めて小さい。変化量は 2 $\gamma$  前後で、既に検討してきた測量誤差をわずかに越える程度である。



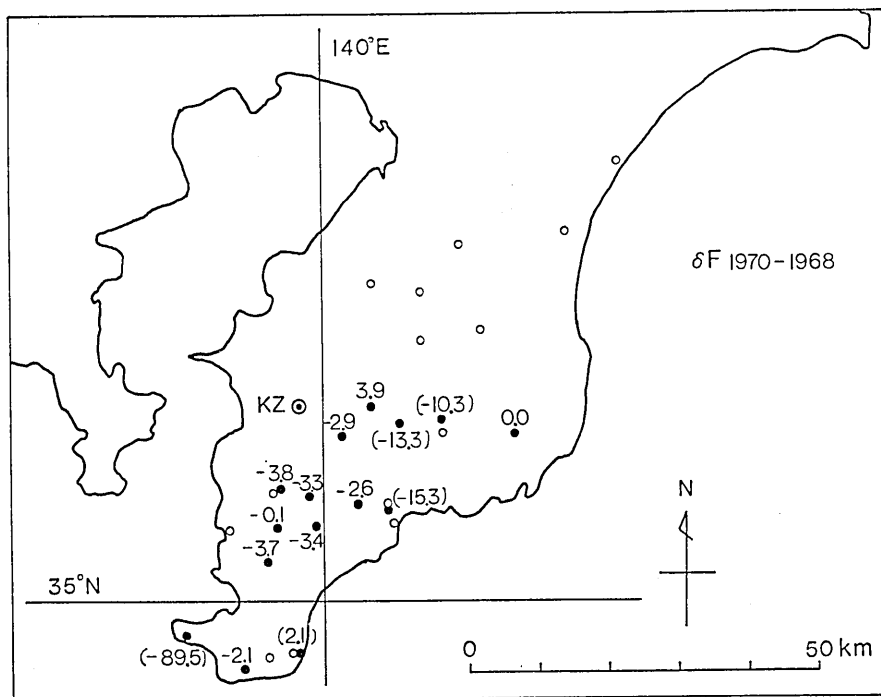


Fig. 4(a). Secular changes in the total force intensity relative to Kanozan, during the period 1968-1970, in units of gammas.

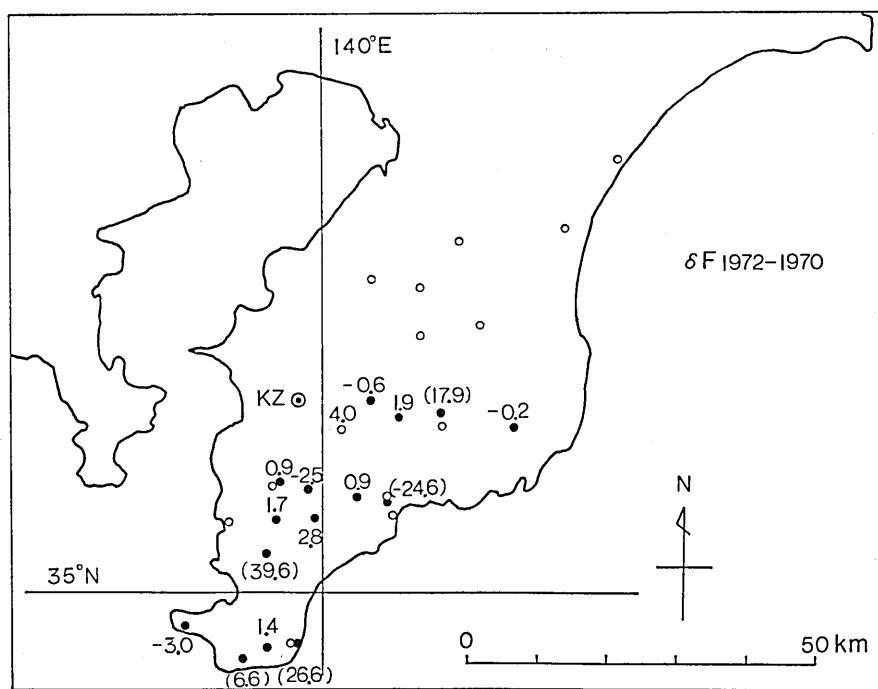


Fig. 4(b). Secular changes in the total force intensity relative to Kanozan, during the period 1970-1972, in units of gammas.

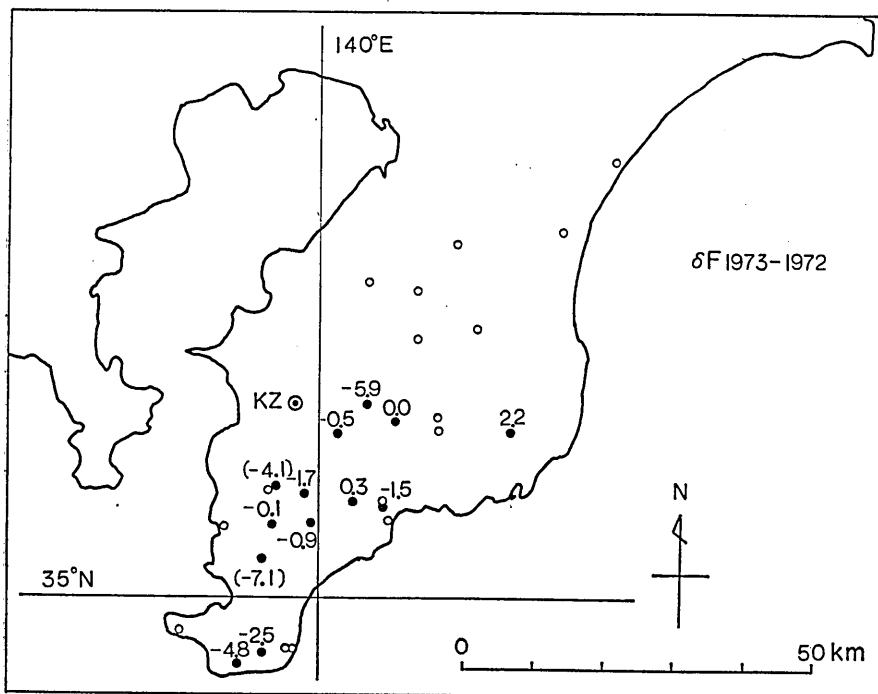


Fig. 4(c). Secular changes in the total force intensity relative to Kanozan, during the period 1972-1973, in units of gammas.

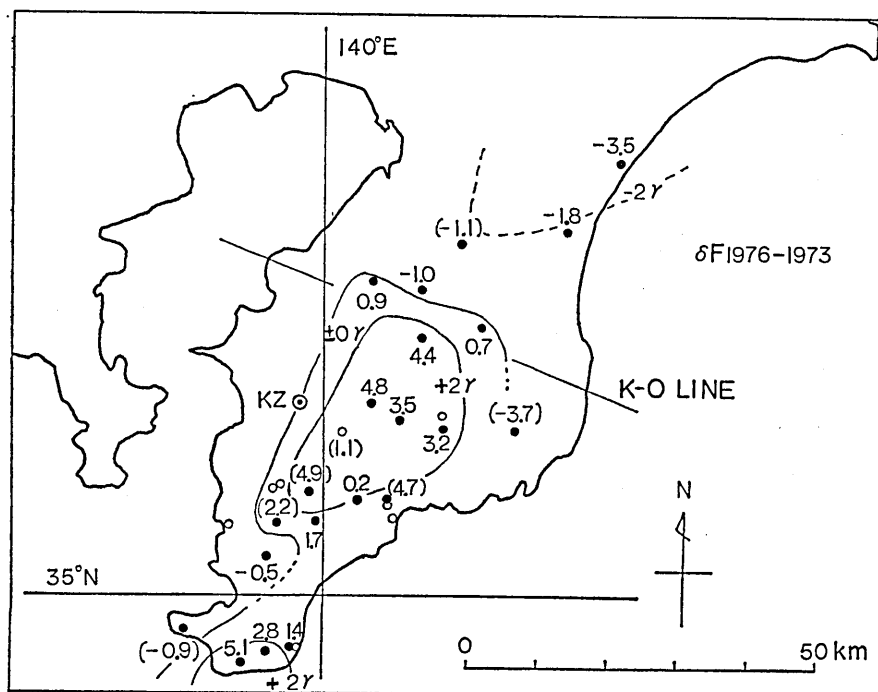


Fig. 4(d). Secular changes in the total force intensity relative to Kanozan, during the period 1973-1976, in units of gammas.

しかし各測量期毎の変動は、ほぼ一様に増減の傾向を示し、単なる測定誤差とは云い切れないように思える。各測量毎の経年変化の傾向として、次の点が指摘できる。

- ①1968—70年 半島南半部で  $2\gamma$  程度の減少。
- ②1970—72年 半島南半部で  $1\sim3\gamma$  増加。
- ③1972—73年 半島南半部で  $1\sim3\gamma$  減少。測量間隔が短かいが、変化量は大きい。
- ④1973—76年 北部で減少、南部で増加というはっきりした傾向が出た。一応、 $2\gamma$  の差は有意と考えて、第4(d)図のようなコンターを引いてみた。

## (2) 鹿野山と柿岡の地磁気経年変化

地震予知研究計画の一環として、デジタル方式の標準プロトン磁力計が導入されたのは、1968年頃からである。これ等磁力計群の夜間観測値を用い、地震予知研究地磁気グループによって、各地の全磁力経年変化が定期的に報告されている。(地震予知研究地磁気グループ, 1973, 1974) 実際のデータ処理では、毎日  $0^h40^m$  から  $1^h20^m$  までの間の10分間隔で5ヶの全磁力値を、全月について平均した全月平均値、ならびに磁氣的静穏日のみ選び出した静穏日月平均値を算出している。我々の用いたデータは、既に発表されている1968年7月から1973年5月迄の全月平均と、1974年12月までの未発表の整理結果(国土地理院地殻調査部による)、および1976年2月迄の未整理データを写させていただいて、我々が整理したものである。

第1回測量期(1968年1月~2月)には、両観測所とも、地震予知用プロトンの記録は無い。幸い、国土地理院によって、1962年4月から1972年12月までの、鹿野山における地磁気3成分の毎時間平均値が発表されている。(Geographical Survey Institute 1967, 1970, 1971a, b, 1973, 1975) 一方、柿岡地磁気観測所からは、同様な年報が出されているので、既発表の1974年12月迄のデータを使用した。(Kakioka Magnetic Observatory 1962-1974) プロトン磁力計による値との一致をはかるために、毎日  $1^h\sim2^h$  JST の時間帯平均値の全月平均を使用し、H成分とZ成分から全磁力値を計算した。

第5(a)図に、鹿野山および柿岡における水平成分、鉛直成分の月平均値を、第5(b)図に偏角および全磁力の月平均値を示した。全磁力値は、予知連会報への報告値に合うように、各観測所の絶対観測室と地震予知用プロトン磁力計との地点差を補正してある。1968年7月から1976年2月迄のプロトン磁力計による全磁力値は、見易くするために、鹿野山について  $30\gamma$ 、柿岡について  $20\gamma$ 、グラフ上で上方にずらした。

月平均値の変動は、H成分に最も大きく現われている。H成分が大きく減少する月の、対応するZ成分は増加を示し、この変動が主として、磁気嵐の主相によることは明らかである。鹿野山、柿岡ともに、1962年から1972年頃までは  $17\sim18\gamma/\text{yr}$  程の割合で、全磁力が減少している。第5(a)図によれば、これはHおよびZ成分、特にZ成分の急激な減少によるものである。1973年頃から全磁力の減少速度が鈍り、75年には若干増加の傾向さえ示しているのは興味深い。最近のデータは欠落しているが、柿岡において、1973年頃からH成分とZ成分が横ばい状態になっている。

地磁気永年変化の様相が、時に急激な変化をする例は、水野(1971)によって指摘されている。柿岡においては、1940年代を通じてZ成分は増え続けていたが、1951年をピー

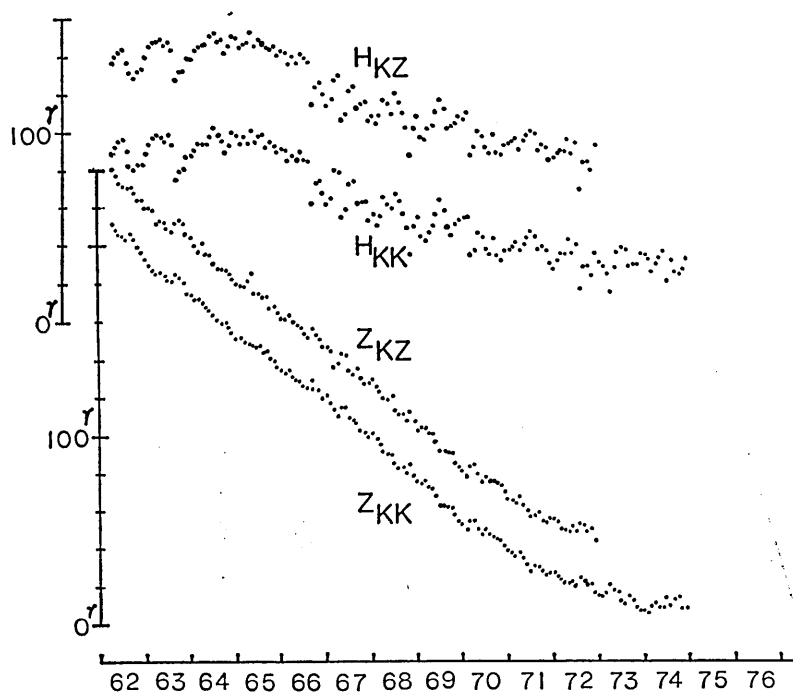


Fig. 5(a). Monthly mean of night-time values of the H and Z components at Kanozan (KZ) and Kakioka (KK).

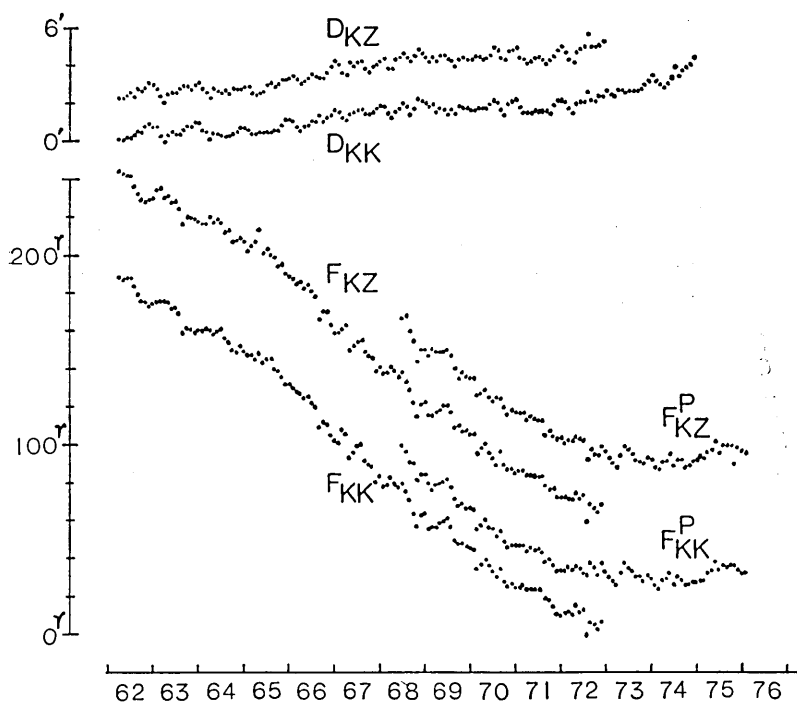


Fig. 5(b). Monthly mean of night-time values of the D and F components at Kanozan (KZ) and Kakioka (KK). The superscript P denotes the F component by proton precession magnetometers.

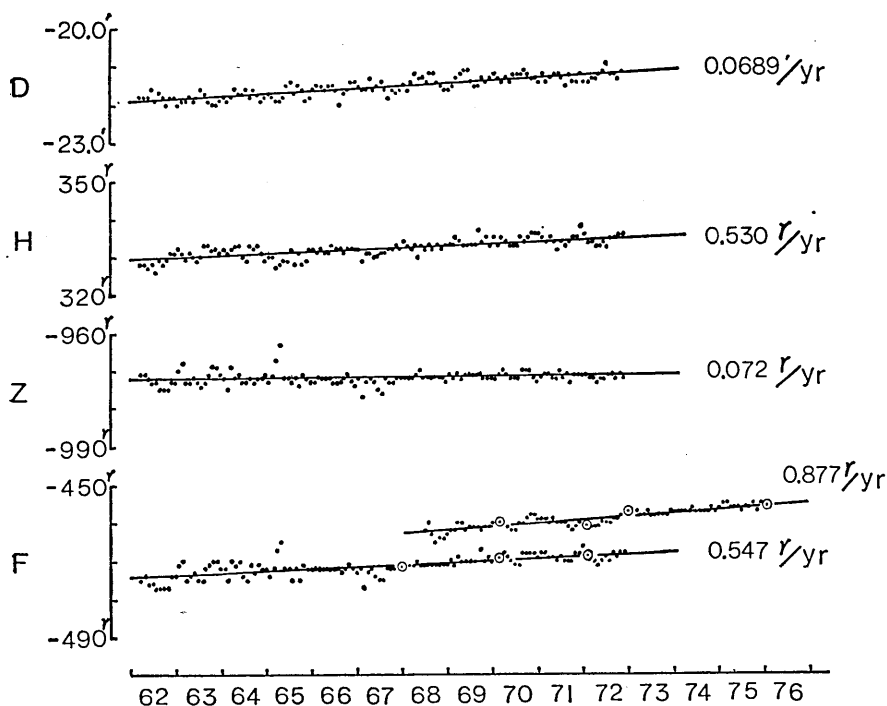


Fig. 6. Monthly mean of night-time values of the simple differences of each component between Kanozan and Kakioka. The upper graph in the F component is obtained by proton magnetometers, while the lower one from variographic data.

クに、急激な減少に転じた。TAZIMA, MIZUNO and TANAKA (1976) によると、このような Z 成分の永年変化のピークは、1950 年から 1970 年にかけて、太平洋側（日本）から、シベリアを経てウラルの観測所に出現した。これは地球核表層部に原因を持つと思われる優勢な非双極子磁場の移動によるものではないか、と推測されている。最近現われた全磁力の経年的減少傾向の停滞も、広域にわたる非双極子磁場の変化を示すものと思われる。

次に各成分について、鹿野山と柿岡の月平均値の差を求めて、第 6 図に示す。プロトン磁力計によるものは、 $10r$  上方にずらしてある。全磁力差の、変化計によるものと、プロトン磁力計によるものとは、データの質が多少異なるにもかかわらず、大体良い一致を示している。全磁力については、鹿野山では柿岡に比べて、相対的に増加を続けている。全磁力経年変化の様相が変わったように見える 73 年以降でも、この傾向に特に顕著な変化は見られない。

H, D, Z 成分について見ると、最も永年変化の大きい Z 成分が、鹿野山と柿岡ではほとんど差は無く、H および D 成分において、鹿野山の相対的な増加が目立っている。つまり、鹿野山における全磁力の相対的な増加は、H 成分の増加を反映したものである。各成分の差について、経年変化を直線にあてはめ、最小自乗法で求めた回帰直線と、年変化量も、第 6 図に示した。

Table 7(a). "Normal" rate of changes in the geomagnetic field at Kanozan and Kakioka, together with their differences. These are estimated from coefficients of mean quadratic isoporic lines in Japan for epoch 1970.0. (After TAZIMA et al. 1976)

Component	Kanozan	Kakioka	KZ-KK
$\dot{D}$	0.2042 $\gamma/\text{yr}$	0.1322 $\gamma/\text{yr}$	0.0720 $\gamma/\text{yr}$
$\dot{H}$	- 5.342 $\gamma/\text{yr}$	- 5.982 $\gamma/\text{yr}$	0.640 $\gamma/\text{yr}$
$\dot{Z}$	-17.642 $\gamma/\text{yr}$	-18.149 $\gamma/\text{yr}$	0.507 $\gamma/\text{yr}$
$\dot{F}$	-16.688 $\gamma/\text{yr}$	-17.601 $\gamma/\text{yr}$	0.913 $\gamma/\text{yr}$

Table 7(b). Observed rate of changes in the differences of geomagnetic components between Kanozan and Kakioka.  $F_{PR}$  is obtained from data by proton magnetometers, while  $F_{VAR}$  from variographic data ( $H$  and  $Z$  components). The difference between the observed rate and "normal" one ( $\delta\dot{M}$ ) is also given in the last column.

Component	Period		$\delta\dot{M}$
	'62 Apr.-'72 Dec.	'67 Jul.-'72 Jun.	
$\Delta\dot{D}$	0.0689 $\pm$ 0.0040 $\gamma/\text{yr}$	0.0504 $\pm$ 0.0125 $\gamma/\text{yr}$	-0.0216 $\gamma/\text{yr}$
$\Delta\dot{H}$	0.530 $\pm$ 0.039 $\gamma/\text{yr}$	0.649 $\pm$ 0.112 $\gamma/\text{yr}$	0.009 $\gamma/\text{yr}$
$\Delta\dot{Z}$	0.072 $\pm$ 0.045 $\gamma/\text{yr}$	0.240 $\pm$ 0.091 $\gamma/\text{yr}$	-0.267 $\gamma/\text{yr}$
$\Delta\dot{F}_{VAR}$	0.547 $\pm$ 0.050 $\gamma/\text{yr}$	0.765 $\pm$ 0.108 $\gamma/\text{yr}$	-0.148 $\gamma/\text{yr}$
$\Delta\dot{F}_{PR}$		'68 Jul.-'76 Feb.	
		-0.877 $\pm$ 0.078 $\gamma/\text{yr}$	

しかし、ここに示された鹿野山と柿岡の経年変化の差は、日本全体の地磁気経年変化の傾向から見ると、特に異常なものとは云えない。最近、TAZIMA et al. (1976) によって、日本における 1970.0 年の地磁気経年変化分布が発表されている。彼等は 1967.5 年から 1972.5 年の、女満別、柿岡、鹿野山、下里、鹿屋の各観測所における経年変化、および地理院による全国 1 等磁気測量成果を用いて、年変化量分布を、日本付近について経緯度の 2 次式で近似したものを求めている。そこで、彼等の得た係数を使用して、鹿野山と柿岡について、各成分の正常な年変化量  $\dot{M}_{KZ}, \dot{M}_{KK}$ 、およびそれ等の差  $\Delta\dot{M}_{\text{nor}} (= \dot{M}_{KZ} - \dot{M}_{KK})$  を計算して、第 7(a) 表に示す。一方ここにまとめた実測値から、各成分の差の年変化量  $\Delta\dot{M}_{\text{obs}}$  を最小自乗法で求めた結果を、第 7(b) 表に示す。特に期間を同じくする 1967 年 7 月から 1972 年 6 月までについて、観測値と正常年変化量との差  $\delta\dot{M} (= \Delta\dot{M}_{\text{obs}} - \dot{M}_{\text{nor}})$  を作って、同じく 7(b) 表に示しておく。

TAZIMA et al. (1976) は上述の分布を求めるに際して、観測所のデータには、磁気測量データに対して 10 倍の重みをつけているので、鹿野山と柿岡の年変化量の差が、平均的な年変化量の差と大体一致するのは当然である。第 7(b) 表の比較から、鹿野山と柿岡の  $H$  成分の差は、日本付近の平均的傾向の表われであるのに対して、 $Z$  成分の年変化量

の差の小さいことの方が、むしろ異常と云える。D 成分の年変化の差も、正常値からのズレが大きいようである。

平均的な年変化量分布は、主として非双極子磁場の変化を反映していると思われる。従って、鹿野山と柿岡の地磁気各成分差の年変化量の正常値からのズレ  $\delta \dot{M}$  は、地殻上層部の帯磁の変化を示している可能性がある。しかしそのズレはいずれの成分をとっても、 $0.3\gamma/\text{yr}$  より小さい。また、柿岡と鹿野山はわずか 110 km しか離れていないので、地球核に原因を持つとされる非双極子磁場の空間的拡がりから考えて、両地点の経年変化の差は、ほとんど地殻上層部の帯磁の変化によると見なす考え方もあり得る。その場合でも、各成分の年変化量の差は  $1\gamma/\text{yr}$  以下であって、TAZIMA (1968) が明らかにしたように、大地震発生と対応付けられる  $2\gamma/\text{yr}$  以上の年変化量の異常は示していない。

このように、観測所のデータで見る限り、房総半島で特に異常な地磁気経年変化が進行しているとは云えない。ただし、1976 年 2 月迄のデータが得られている全磁力差については、第 7 (b) 表によれば、最近になる程、年変化量の差が大きくなっているように見えるのは興味深い。

### (3) 柿岡を基準とした全磁力経年変化

第 6 図に見られるように、夜間全磁力差の月平均値は、数  $\gamma$  のふらつきを示す。これは主として DR 成分の地域差と、偏角、伏角の差による見かけ誤差、および短周期振幅の地域差によるものと思われる。これ等を補正するには、DR 成分の変動量についての資料等も必要とするので、容易ではない。ここでは各測量期を含む前後 3 ケ月の全磁力差の平均値をもって、各測量期における鹿野山の柿岡に相対的な全磁力地点差とする。

第 8 表に、変化計およびプロトン磁力計からもとめた全磁力差の経年変化量をまとめた。測量期間の II-I については変化計による値を、III 期以降はプロトン磁力計によるものを採用し、III-II 期については両者の平均を使用する。採用した値も第 8 表に示してある。

この柿岡に対する鹿野山の全磁力差経年変化量  $\delta F_{KZ-KK}$  を用いて、柿岡を基準にした、各測点における経年変化量  $\delta F_{KK}$  は、

$$\delta F_{KK} = \delta F_{KZ} + \delta F_{KZ-KK} \quad (13)$$

で与えられる。各測量期についての  $\delta F_{KK}$  は、第 9 表にまとめてある。これを図示したのが、第 7 (a) ~ (d) 図である。

Table 8. Observed secular changes in the  $F$  component at Kanozan relative to Kakioka during adjacent survey periods. Subscripts  $VAR$  and  $PR$  indicate those obtained from variographic and proton data respectively.  $\delta F_{KZ-KK}$  is the adopted value.

Period	$\delta F_{VAR}$	$\delta F_{PR}$	$\delta F_{KZ-KK}$
II-I	2.0 $\gamma$	—	2.0 $\gamma$
III-II	0.7	-0.7 $\gamma$	0.0
IV-III	—	3.5	3.5
V-IV	—	1.5	1.5

Table 9. Secular changes in the total force intensity relative to Kakioka:  $\delta F_{KK}$ .

Station		II-I	III-II	IV-III	V-IV
GSI	9	2.0 $\gamma$	- 0.2 $\gamma$	5.7 $\gamma$	(-2.2 $\gamma$ )
	93	—	—	—	2.2
	94	—	1.4	1.0	4.3
	101	—	—	—	2.5
	103	5.9	- 0.6	-2.4	6.3
	106	(-87.5)	(- 3.0)	—	—
	107	( 4.1)	( 26.6)	—	—
	108	(-13.3)	(-24.6)	2.0	—
ERI	1-1	- 1.8	0.9	(-0.6)	—
	2	- 1.3	- 2.5	1.8	( 6.4)
	3	- 0.6	0.9	3.8	1.7
	4	- 1.7	( 39.6)	(-3.6)	1 0
	5	1.9	1.7	3.4	3.7
	6	- 1.4	2.8	2.6	3.2
	7	- 0.1	( 6.6)	-1.3	6.6
	8	- 0.9	4.0	3.0	( 2.6)
	9	(-11.3)	1.9	3.5	5.0
	10-1	(- 8.3)	( 17.9)	—	—
	10-2	—	—	—	4.7
	11	—	—	—	2.9
	12	—	—	—	( 0.6)
	13	—	—	—	( 6.2)
	14	—	—	—	-2.0
	15	—	—	—	-0.3
	16	—	—	—	( 0.4)
	17	—	—	—	2.4
	18	—	—	—	5.9

1968年から70年にかけては、柿岡と比べても、半島南半部において、全磁力の減少が顕著である。その後全磁力は、相対的に増加を示している。1973年から76年にかけては、房総半島中央部から南部にかけて、少なくとも5~6 $\gamma$ に達する全磁力の増加が見られる。半島北部では、柿岡に比べて負の異常を示しているが、全磁力の増加が強調されている一方、測点の不足から、正負の境界は明確ではない。

以上にまとめてきた測量結果を見ると、全磁力地点差の変化は、いくつかの区域ごとにある似たような傾向で変動しているように見える。個々の測点の変化量には、1 $\gamma$ 前後の誤差が含まれるので、測量域をいくつかの小区域に分け、区域毎の傾向を求めてみる。測量域を第8図のように、南からA~Eの5区域に分け、各区域内の人工的擾乱を受けなかった測点について、経年変化量を平均する。5回の測量の間の変動を示したのが第9図である。A区域は短周期補正量が大いS地域にあたるので、第5表の値を用いて補正



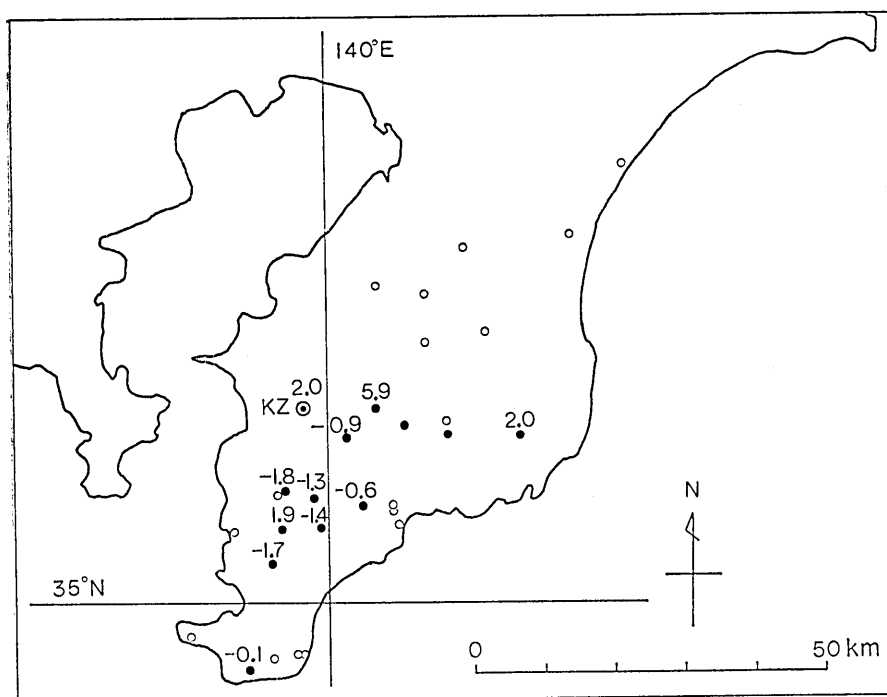


Fig. 7(a). Secular changes in the total force intensity relative to Kakioka, during the period 1968-1970, in units of gammas.

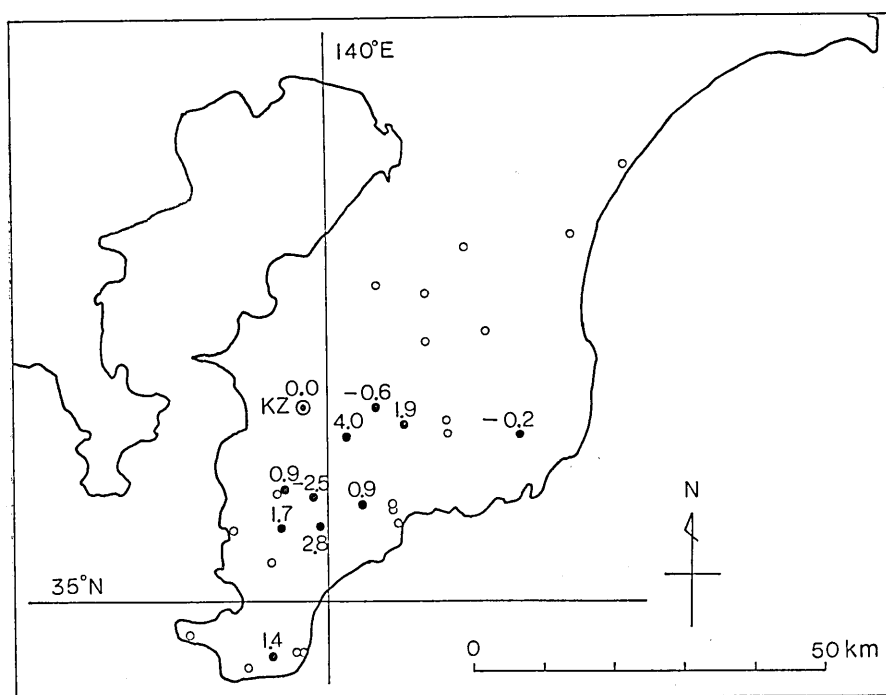


Fig. 7(b). Secular changes in the total force intensity relative to Kakioka, during the period 1970-1972, in units of gammas.



した結果も白丸で示した。他の区域についても補正値を求めたが、平均すると補正しない場合とほとんど変わらなかった。

個々の測点では、人工的擾乱によって、測量開始以来の変化量を確定できない。ある区域で3~6点の測定がある時、その区域については、8年間の平均的な変化量を知ることも出来る。鹿野山を基準にした場合、A、B区域は増減をくり返しながらも、8年間で全磁力は減少傾向にあり、C区域では増加している。一方、柿岡を基準に比べると、A、B、C区域とも、全磁力は増加する傾向にある。特にC区域の増加が目立っている。しかし変化量自体はそれ程大きくなく、年変化量になおすと、1 $\gamma$ /yr もしくはそれ以下である。

## 5. 考 察

房総半島については、最近の地殻変動の様相が水準測量等によって知られている。我々の測量結果とも興味ある対応が見られるので若干の考察を行なう。但し議論はきわめて定性的である。

水準測量による房総・三浦半島の上下変動の経年変化については、国土地理院がまとめている。(測地部、地殻活動調査室1973) 東京湾渡海水準成果を利用して、水準網平均をやり直した結果では、1965-1968・69年に房総半島南端部に3cmの隆起があったものが、1968・69年から71年にかけて、隆起の中心は三浦半島南部および房総中部に移動し、房総南端部は沈降に転じた。更に1973年にかけては、全体に南西方向への沈降が卓越し、結局1965-73年についてみると、両半島ともに、中央部から先端部に行く程沈降量が増えるという、関東大地震以来の長期的傾向と全く一致するパターンが残った。

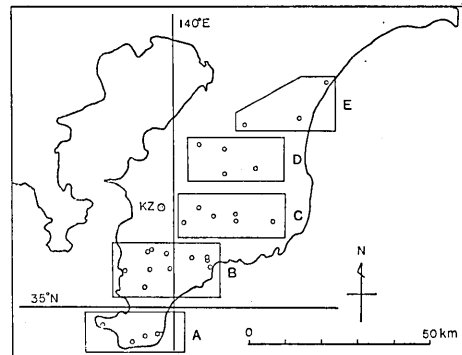


Fig. 8. Five sub-zones which divide the surveyed area.

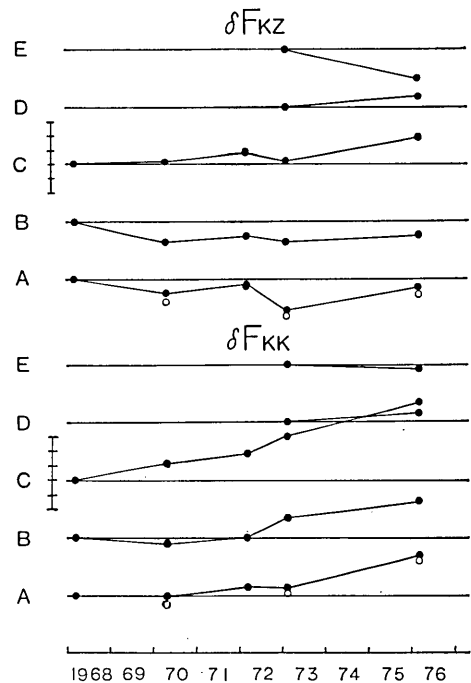


Fig. 9. Average secular changes in the total force intensity in each sub-zone, relative to Kanozan ( $\delta F_{KZ}$ ) and to Kakioka ( $\delta F_{KK}$ ). Vertical bars on the left side indicate 10 gammas. Hollow circles in the A sub-zone show corrected values of errors due to short-period disturbances.

我々が全磁力測量を開始して以来の結果は、前節にまとめた通りである。房総半島南部について注目すべき点は、1968年から70年にかけての全磁力減少と、その後の増加傾向であろう。水準測量との間に若干の時期的ズレはあるが、半島南部が隆起を示した時期に全磁力が減少し、沈降に転じてからは増加しているように見えるのは興味深い。

房総半島の光波測量から推定される広域応力場は、大体南北方向の圧縮であると云われる。(例えば藤田1974を参照)地殻が現在の地球磁場方向に帯磁しているとすれば、このような圧縮力の下では、帯磁の変化として、南向き成分、およびその半分程度の下向き成分が期待される。南向きの帯磁変化によって、地表ではH成分が増加する。一方、下向きの帯磁増加がかなり広い地域で全く一様に起るならば、Z成分の変化は外部に表われないが、局地的なものであれば、その真上ではZ成分は増加するであろう。結局、地表ではH成分の増加が特に顕著であるはずで、これは全磁力の増加をもたらす。勿論、広域応力が一様とする根拠は無いし、地殻内の帯磁は一様ではないから、このように単純な類推から、全磁力経年変化を直ちに、地殻上部の応力変化に結びつける訳にはいかない。しかし房総半島地域に働らく南北圧縮力が一時的に弱まって、半島南部の異常隆起がもたらされたものとすれば、全磁力の減少という観測事実と定性的には調和する、と云い得る。

1973年から1976年にかけて現われた、房総半島中部から北部にかけての正負の異常も注目値する。この全磁力変化は、この地域に特有なものというより、単に広域にわたる全磁力経年変化のパターンを反映しているにすぎない可能性もある。例えば行武他(1974)は、東海地方の全磁力くり返し測量によって、1971-73年に御前崎付近では八ヶ岳に比べて、6~8 $\gamma$  全磁力が増加していることを見出したが、この変化量は中部日本太平洋岸における全磁力経年変化の傾向から推定されるものと、ほとんど一致することを指摘している。房総半島についても事情は同じで、前節で調べた通り、房総半島では南へ行く程、全磁力経年変化量は相対的に増加する傾向がある。しかし柿岡と比べても、半島北部は有意な負異常を示すし、正異常の中心は、半島南端部よりは中央部にあるように見える。即ち、第4(d)図もしくは第8(d)図に示された異常は、広域にわたる全磁力経年変化の傾向を考慮しても、なお有意な変化であると思われる。但し測量間隔は3年間あるので、年変化量としては最大でも2 $\gamma$ /yr程度である。

この異常分布は、正負の境界の地下に、地球磁場方向に帯磁した磁気双極子が生じたかのような形をしている。このような全磁力変化が、地殻内の応力の変化によるものとすれば、東西方向の圧縮と、それに共役な南北方向の張力によって、局地的に帯磁が強められている可能性がある。吉川(1971)や貝塚(1974)によると、関東大地震に伴う50 cm隆起線であった木更津と大原を結ぶ線は、同時に地質学的に調査された第四紀地殻変動の、相異なる2つのタイプの境界でもある、と云われる。即ち、この線以南は元禄一大正型の相模トラフに沿った大地震による隆起の蓄積を特徴とする地震性地殻変動区であり、以北では東京湾北部付近に中心を持つ、関東造盆地運動による傾動を示す地区である、とされている。全磁力の正負異常の境界が、大体この木更津一大原線と一致するのは興味深い。また、正負の境界を延長した先は、川崎付近の最近の隆起域につながる。1973-74について、この付近を通る水準測量結果がある。(測地部1975)境界付近の前後約10 kmにわた

って、1 cm 程度の隆起が見られるものの、測量誤差を考慮すると、特に異常な変化とは云えないのかも知れない。半島北部地域では測点も少ない上に、まだ1回しか再測していないので、性急な結論は出せない。今後の測量によって、変化の有無を確かめて行きたい。

本稿では、我々の行なっている全磁力くり返し測量の精度について、様々な角度から吟味することを主眼とした。全磁力の経年変化から、半島内の地殻応力変化を、ある程度定量的に推定するには、房総半島の磁氣的構造と、地殻を構成する岩石や土壌の帯磁率、自然残留磁気、磁気歪係数の測定など、岩石磁気学的調査が必要である。我々はこの面について未だ全く経験が無いが、機会を得て調べて行きたい。

### 謝 辞

この磁気測量は、力武常次教授が地震研究所に在職中に、同教授の指導の下に始められたものである。又、毎回の測量は下記の方々によって行なわれた。

第1回 (1968年) 萩原幸男・笹井洋一・下村高史・長谷川信雄

第2回 (1970年) 行武 毅・萩原幸男・笹井洋一・吉野登志男・本蔵義守・春日友幸

第3回 (1972年) 笹井洋一・吉野登志男・春日友幸

第4回 (1973年) 笹井洋一・吉野登志男・春日友幸

第5回 (1976年) 笹井洋一・石川良宣・鈴木 正

以上の方々に、深く感謝いたします。建設省国土地理院鹿野山測地観測所の方々には、磁力計の検定に際して、また基準観測値の提供などで大変御世話になっている。又、国土地理院測地一課からは、貴重な磁気測量成果を利用させて頂き、同院地殻調査部観測課長瀬戸孝夫氏からは、全磁力経年変化の未発表整理結果を、快く提供して頂いた。更に気象庁柿岡地磁気観測所からは、基準観測値を提供して頂いている。以上の各機関の方々に心から感謝いたします。

第2回から第4回にかけての測量結果の整理には、本所の吉野登志男氏の御協力を得た。又、柿岡地磁気観測所森俊雄氏から、磁力計検定の問題点等について、有益な助言と議論をして頂いた。両氏に深く感謝いたします。

### 文 献

地磁気移動班 (1970), 房総半島南部における地磁気全磁力調査, 地震予知連絡会会報, **3**, 24-27.

地磁気移動班 (1972), 房総半島南部地磁気全磁力調査, 地震予知連絡会会報, **8**, 62-66.

地磁気移動班 (1976), 房総半島における全磁力くり返し測量: 1968-1976, 地震予知連絡会会報, **16**, 31-35.

藤田尚美 (1965), 新潟地震に伴う地磁気の変動. 測地学会誌, **11**, 8-25.

FUJITA, N., (1973), Secular change of the geomagnetic total force in Japan for 1970, *J. Geomag. Geoelectr.*, **25**, 181-194.

藤田尚美 (1974), 最近の関東南部における地殻変動と地殻歪, 垣見・鈴木編「関東地方の地震と地殻変動」, ラテイス社, 193-203.

Geographical Survey Institute (1967, 1970, 1971a, b, 1972, 1973, 1975), Geomagnetic observation at Kanozan Observatory, *Bull. Geograph. Sur. Inst.*, **12**, p 65; **15**, p 61; **16**, p 19; **17**, p 1; **19**, p 1, **21**, p 45.

貝塚爽平 (1974), 関東地方の島弧における位置と第四紀地殻変動, 垣見・鈴木編「関東地方の地震と地殻変動」, ラテイス社, 99-118.

- 柿岡地磁気観測所(1962-1974), 柿岡地磁気観測所報告(柿岡)地磁気.
- KATO, Y. and S. UTASHIRO (1949), On the changes of the terrestrial magnetic field accompanying the Great Nankaido Earthquake of 1946, *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, Ser. 5, **1**, 40-41.
- MORI, T. and T. YOSHINO (1970), Local difference in variations of the geomagnetic total intensity in Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **48**, 893-922.
- 水野浩雄(1971), 地球磁場の impulsive な変化について, 日本地球電気磁気学会 1971 年春季大会予稿集.
- NAGATA, T., (1969), Tectonomagnetism, *I. A. G. A. Bull.*, **27**, 12-43.
- NAGATA, T., (1976), Tectonomagnetism in relation to seismic activities of the earth's crust: Seismo-magnetic effect in a possible association with the Niigata Earthquake in 1964, *J. Geomag. Geoelectr.*, **28**, 99-111.
- RIKITAKE, T., (1966), Elimination of non-local changes from total intensity values of the geomagnetic field, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44**, 1041-1070.
- RIKITAKE, T., (1968), Geomagnetism and earthquake prediction, *Tectonophysics*, **6**, 59-68.
- RIKITAKE, T., Y. YAMAZAKI, Y. HAGIWARA, K. KAWADA, M. SAWADA, Y. SASAI, T. WATANABE, K. MOMOSE, T. YOSHINO, K. OTANI, K. OZAWA and Y. SANZAI (1966), Geomagnetic and Geoelectric Studies of the Matsushiro Earthquake Swarm (1), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44**, 363-408.
- RIKITAKE, T., Y. YAMAZAKI, M. SAWADA, Y. SASAI, T. YOSHINO, S. UZAWA, T. SHIMOMURA and K. MOMOSE (1967a), Geomagnetic and Geoelectric Studies of the Matsushiro Earthquake Swarm (5), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **45**, 395-416.
- RIKITAKE, T., T. YUKUTAKE, M. SAWADA, Y. SASAI, T. WATANABE and H. TACHINAKA (1967b), Geomagnetic and Geoelectric Studies of the Matsushiro Earthquake Swarm (6), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **45**, 919-944.
- RIKITAKE, T., T. YOSHINO and Y. SASAI (1968), Geomagnetic noises and detectability of seismo-magnetic effect (1), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **46**, 137-154.
- SASAI, Y. (1967), Spatial dependence of short-period geomagnetic fluctuations on Oshima Island (1), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **45**, 137-157.
- 笹井洋一(1969), 中部日本における地磁気変化異常, CA 研究グループ「日本における Conductivity Anomaly 研究」II, 43-55.
- 測地部・地殻活動調査室(1973), 関東南部の上下変動, 地震予知連絡会会報, **10**, 24-29.
- 測地部(1975), 関東南部の上下変動, 地震予知連絡会会報, **13**, 31-33.
- TAZIMA, M., (1968), Accuracy of recent magnetic survey and a locally anomalous behaviour of the geomagnetic secular variation in Japan, *Bull. Geograph. Sur. Inst.*, **8**, 1-78.
- TAZIMA, M., H. MIZUNO and M. TANAKA (1976), Geomagnetic secular change anomaly in Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, **28**, 69-84.
- 柳原一夫・白木正規(1970), 地球内部地磁気変化検出に影響する外部磁場変化, 日本地球電気磁気学会 1970 年春季大会予稿集.
- 吉川虎雄(1971), 山崎直方先生と変動地形の研究, 地理評, **44**, 552-564.
- 行武 毅(1970), 房総南部の磁気測量, 東京大学地震研究所地震予知観測センター資料, 第 1 号, 59-63.
- YUKUTAKE, T. and H. TACHINAKA (1967), Geomagnetic variation associated with stress change within a semi-infinite elastic earth caused by a cylindrical force, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **45**, 785-798.
- 行武 毅・吉野登志男・小山 茂・本蔵義守・鈴木喜吉(1974), 東海地方における地磁気全磁力測量, 地震予知連絡会会報, **12**, 123-130.
- 地震予知研究計画・地磁気グループ(1973), 地震予知研究計画にもとづく地磁気全磁力観測, 地震予知連絡会会報, **9**, 109-126.
- 地震予知研究計画・地磁気グループ(1974), 地震予知研究計画にもとづく地磁気全磁力観測 1972-1973 年, 地震予知連絡会会報, **12**, 151-160.

7. *Repeated Magnetic Survey of the Total Force Intensity  
in the Boso Peninsula: 1968-1976.*

By Yoichi SASAI and Yoshinobu ISHIKAWA,  
Earthquake Research Institute.

Precise measurements of the total force intensity with a Proton precession magnetometer have been carried out in the Boso Peninsula at about 2-year intervals since 1968. The present survey aims at detecting a probable tectonomagnetic effect associated with the anomalous upheaval of the Boso Peninsula in the early 1970's. The accuracy of observed secular changes is examined in detail, with special reference to errors caused by some instrumental and artificial noise, and those due to local differences of the time-varying geomagnetic field of external origin. The former ones are found to be at most 1 gamma, the latter more than several gammas, if we compare observed data with those simultaneously recorded at a distant observatory. Continuous records of the total force at Kanozan Geodetic observatory serve as a standard. The said observatory is situated at the center of the surveyed area, hence errors due to the external field are greatly reduced, namely by 1 gamma or so.

Local secular changes in the total force intensity relative to Kanozan are shown in Figs. 4(a)-(d). Monthly mean of night-time values of the H, D, Z and F component at Kanozan are compared during the years 1962 to 1976 with those at Kakioka Magnetic Observatory, about 110 km north of Kanozan. On the basis of the above data, local secular changes relative to Kakioka are also obtained, as shown in Figs. 7(a)-(d). The local field decreased by about 2 gammas or more during 1968 to 1970, when the southern part of the peninsula showed an anomalous upheaval amounting to 3 cm or thereabout. The local field turned out to show an increase since 1970, when the land deformation returned to a tilting of the peninsula towards the south-western tip, which is the general tendency observed during years since the Great Kanto Earthquake in 1923. Another type of the local anomaly was found from 1973 to 1976, with negative changes in the northern part and positive in the middle and southern parts of the peninsula.