

## 2. 地球磁場の日、月、年平均値の変動と日平均値の変動の世界的分布

久保木忠夫

### 概要

地磁気の日平均値は外部磁場によって非常に影響を受けていて、外部磁場のじょう乱の指示量  $K$  指数とよい相関にある。この影響は水平分力が最も大きく、鉛力分力はほとんど零に近い。さらに、月、年平均値も外部じょう乱磁場の影響を受け、柿岡ではこの量が、水平分力で  $50\gamma$  に達するときがある。

このために日平均値はもちろんであるが、月平均値や年平均値も、外部磁場の影響を受けており、それを十分に考慮に入れてそれらの資料を取り扱わなければならない。とくに経年変化を議論するときには大切なことである。

$K$  指数と地磁気日平均値との変化の係数は、緯度の関数である。このため日本の固定観測所（柿岡・女満別・鹿屋・下里）の日平均値の相互差も地磁気的外部磁場のじょう乱の影響を受ける。したがって磁気測量の結果を整理する場合や、地球内部に原因する変化量を取り扱う場合には、このことを十分考慮しないと、外部磁場の影響量を完全に消去することができない。

$K$  指数と地磁気日平均値との変化の係数は、さらに太陽黒点の消長に大きく左右されるために、これらの日、月および年平均値を一定の強さの外部じょう乱磁場に引きもどすことはきわめて困難である。

しかし各観測所の日平均値の変化の比は、緯度の関数で、太陽黒点の消長に影響されない。したがって、この比を用いて平均値を一定の強さの外部じょう乱磁場の状態に引きもどすことは可能であり、かつ有効な方法である。

また日本の固定観測所の経年変化の相互の変化の比は、ほとんど一定であり、日平均値の相互の変化の比と異なるから、両者を考慮するならば、地球内部に原因する量の算出は容易である。

全世界の 40 数か所の観測所の日平均値の変化の比を求めて、その分布図を描くと、いずれの成分もほとんど磁気緯度の関数である。

日本の観測所の毎時値の相互の関係は、きわめて複雑であり、日平均値のように単純な換算の方法がない。とくに鉛直分力の日変化は、短周期変化の場合以上に複雑であり、さらに今後の研究が必要であろう。

地球磁場の日, 月, 年平均値の変動と  
日平均値の変動の世界的分布  
(第1報)

久保木忠夫\*

The Geomagnetic Variations of Daily, Monthly and Annual  
Means and World-Wide Distributions of Daily Mean (Part 1)

T. Kuboki

550.384:550.389

In the present paper the author investigates various characteristics of geomagnetic long term means, such as daily, monthly and annual means, and world-wide distributions of daily mean for the purpose of clarifying statistically the influence of the external field upon the geomagnetic mean values and of preparing some basic informations about the geomagnetic fields due to the inner part of the earth and their secular variation.

The effects of the disturbances of the external field which is expressed by the daily sum of  $K_p$ -indices appear as the decrement of about  $20\gamma$  in the horizontal intensity ( $H$ ), westward change of  $1'$  in the declination ( $D$ ) and irregular variation less than  $3\gamma$  in the vertical intensity ( $Z$ ), in Japan and her vicinity.

In the variations of daily mean values at Kakioka, Memambetsu and Kanoya in Japan,  $H$ ,  $D$  and  $Z$  are closely correlated each other and their deviations from the regression lines are at most  $\pm 4\gamma$ ,  $\pm 0.4'$  and  $\pm 5\gamma$  respectively. These values should be taken into consideration in an investigation of the internal geomagnetic field.

The mean recovery rates for the changes of daily mean values due to geomagnetic storm at Kakioka are about  $7-4\gamma$ /day increase for ssc and  $2\gamma$ /day increase for sg in  $H$ ,  $1-0.8'$ /day eastwards for ssc and  $0.3'$ /day for sg in  $D$ , and rate in  $Z$  is irregular and small amount of about one fifth of  $H$ .

In the similar way the changes of monthly and annual mean values at observatories in Japan are examined for the period from 1952 to 1962. The monthly and annual mean values are also affected by external field, and those amount are about  $20\gamma$  of decrease in  $H$ , westward change of one minute in  $D$  and less than  $3\gamma$  in  $Z$  similarly to the daily mean values.

In the variation, components  $H$ ,  $D$  and  $Z$  are closely correlated each other and

\* 地磁気観測所

their deviations from the regression lines are at most  $\pm 2-3\gamma$ ,  $\pm 0.3-0.4'$  and  $\pm 3-4\gamma$  respectively for the monthly mean, and  $\pm 2-3\gamma$ ,  $\pm 0.2-0.4'$  and  $\pm 1\gamma$  respectively for the annual mean. These deviations are a little larger than the accuracies of the observations and seem to be attributed to the characters of the inner part of the earth.

## 目 次

- |  |  |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 緒言</li> <li>2. 地磁気日平均値の変化             <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 水平分力の日平均値</li> <li>2.2 水平分力の日平均値の地点差</li> <li>2.3 水平分力の日平均値 (磁気あらし後の回復)</li> <li>2.4 偏角の日平均値</li> <li>2.5 偏角の日平均値の地点差</li> <li>2.6 鉛直分力の日平均値</li> <li>2.7 鉛直分力の日平均値の地点差</li> <li>2.8 まとめ</li> </ol> </li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>3. 地磁気月平均値の変化             <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1 水平分力の月平均値</li> <li>3.2 偏角の月平均値</li> <li>3.3 鉛直分力の月平均値</li> <li>3.4 まとめ</li> </ol> </li> <li>4. 地磁気年平均値の変化             <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1 水平分力の年平均値</li> <li>4.2 偏角の年平均値</li> <li>4.3 鉛直分力の年平均値</li> <li>4.4 その他の二、三の調査</li> <li>4.5 まとめ</li> </ol> </li> </ol> |
|--|--|

### 1. 緒言

現在日本において常時地磁気観測を行なっているのは、気象庁の付属機関である女満別・柿岡および鹿屋のほかに、水路部の下里、国土地理院の鹿野山、東北大学の女川、東京大学の大島、京都大学の阿蘇などがある。もちろんこのほかにも臨時観測所が数多くある。その目的や観測種目、資料の整理のやり方などそれぞれの観測所で異なるが、地域的に狭い日本ではかなりな密度になっている。しかし日本は南北に長く、かつ地質学的に割合複雑な構造の場所であるから、各観測所の特性はかなり異なったものである。

気象庁の3か所の観測所も最近ではそれぞれ著しく精度が向上した。柿岡は1952年ころから数段よくなり、とくに標準磁気儀が完成して連続的に使用した1958年からはめざましく精度が上がった。また女満別や鹿屋も整備が完了し、IGY以降は、高い精度が維持できるようになった。その精度は最悪に見積もっても<sup>(1)</sup>、水平分力 ( $H$ )  $2\gamma$ 、偏角 ( $D$ )  $0.2'$  および鉛直分力 ( $Z$ )  $2\sim 3\gamma$  である。また相互の比較、たとえば二つの観測所の差を求めても、その差は  $H$   $2\sim 3\gamma$ 、 $D$   $0.2\sim 0.3'$  および  $Z$   $3\sim 4\gamma$  以上の誤差を有することは全くない。もちろん毎時値・年平均値などその値により精度が異なるが、全般的にいて、標準誤差で表わして  $\pm 1\sim \pm 2\gamma$ 、 $\pm 0.1'$  になっている。精度の悪い時代には、観測所の観測

値の比較により、計算の誤りとか器械の精度のためやすがつけられたが、現在では、精度が十分向上したので、二つの観測所の比較値については、個々の値でも  $3\sim 4\gamma$ 、 $0.3'$  以上の量は、自然現象と考えるとよい。また平均が有意義に行なわれるならば  $1\gamma$ 、 $0.1'$  の量も意味のある値となる。

従来はかなり危険であった資料も、現在では十分な精度があるため、詳細な議論ができるようになった。ここではこのことを考慮に入れ、日本の観測所を中心にほかの観測所の資料も利用して調査を進めてみたい。

従来地磁気の日平均値はあまり議論されていない。しかし地磁気あらしについて  $Dst$  などの割合短い間の変動の研究は数多い。この中で日平均値の変化を取り扱ったものとしては、地磁気あらしの後で水平分力の値が急激に減少し、あらしの終相において次第に元にもどるいわゆるあらし回復効果 (post perturbation) または "after disturbance effect" といわれる現象は、古くから Bemmelen, McNish<sup>(2)</sup> をはじめとして何人かに研究されてきた。最近では Sugiura<sup>(3)</sup> により  $Dst$  について詳細な報告がなされている。しかしこれらはいずれも磁気あらしについて取り扱っており、ここでこれから取り扱う日平均値の変動と若干目的が異なっている。また Price<sup>(4)</sup> は1958年の静穏日について非周期変化 (non cyclic variation) の問題を取り扱っており、大田柁次

郎<sup>(5)</sup>も同様な  $Sq$  磁場の研究のために日々変化 (day to day variation) について全世界の資料を用いて調査している。これらはいずれも赤道環電流 (equatorial ring current) による磁場であって、その本質的なものを究明しようとする最終目標は同一であって、その研究の方法が若干異なるにすぎない。そしてほとんどが平均的な状態について論じている。

伴野<sup>(6)</sup>は柿岡における水平分力の日平均値が、 $K_p$  指数とよい相関のあることを述べている。彼は 1953 年から 1958 年の 6 年間に三つに区切って、水平分力の日平均値と  $K_p$  指数の 1 日の合計  $\Sigma K_p$  とがほぼ二次曲線の関係にあることを統計的に見いだした。水平分力は弱いじょう乱のときでも減少し、 $\Sigma K_p$  が 30 以上になると減少効果の係数は著しく大きくなり、またこの係数は太陽黒点の消長に関係深いことなどを結論している。

著者はこのじょう乱による地磁気日平均値の変化を偏角や鉛直分力についても、かつほかの観測所の場合についても調査し、その特性を明らかにしたいと考えている。とくに日本のように観測所の密度の高い所では、その微細な構造が明らかにされるであろう。そしてさらに月平均値や年平均値も外部じょう乱磁場の影響を相当大

きく受けていると考え、その量を求める調査を試みた。そして  $\Sigma K_p$  のような指数のほかにも、各観測所の値そのものの変化比を用いた調査をして、単なる相関ではなく、数値的に補正量の確かなものにしてみたい。

そして単に日本付近の特性だけでなく、全世界的な分布を求め、全般的な様子も知り、その応用の範囲も検討してみたい。

これらのことは磁気測量の場合に一定時期に引きもどす齊一化の計算に役立つし、いくつかの観測所の観測結果から、その地磁気変化が地球内部に原因するか、外部に原因するかの分離が可能になれば、応用面が著しくひろがることであろう。また経年変化を研究するには、外部磁場の影響量が十分にわかっていないと、詳しい議論はできない。

将来、地磁気を利用する地震予知の研究を行なう場合に、毎時値の変動についても十分な調査がないと、それらの解析には多くの困難が付きまとう。特に磁気傾度計の観測の場合にはすくなく必要になってくるであろう。

## 2. 地磁気日平均値の変化

ここでは女満別・柿岡および鹿屋の三つの観測所の日平均値の変動の様子を調査した。観測資料は 1958 年の

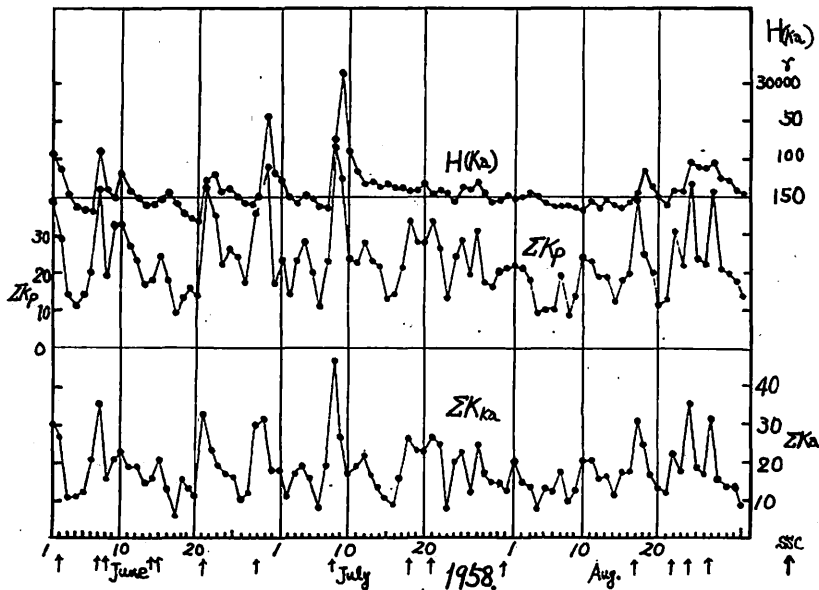


Fig. 1. An example showing day to day variations of  $H_{(Ka)}$ ,  $\Sigma K_p$ ,  $\Sigma K_{Ka}$  from June to Aug., 1958.

$H_{(Ka)}$ : daily mean values of horizontal intensity at Kakioka.

$\Sigma K_p$ : daily sum of  $K_p$ -indices.

$\Sigma K_{Ka}$ : daily sum of  $K$  at Kakioka.

値を主として用いたが、その他の年についても追加的に補足した。また参考までに示した資料の例は 1958 年の 1, 2 月の割合じょう乱の多かったときと、1958 年 11 月の静穏なときが多い。

### 2.1 水平分力の日平均値

水平分力の日平均値はあらしのときに大きく減少し、その回復に数日を要するが、あらしとはいえないじょう乱でもかなり変化している。参考までに第 1 図に柿岡の水平分力の日平均値とじょう乱の活動度として  $K_p$  指数の 1 日の合計  $\Sigma K_p$  と柿岡における  $K$  指数の 1 日の合計  $\Sigma K_{Ka}$  を示した。見やすくするために水平分力は下方に増加するとした、矢印は ssc あらしの位置を示す。第 2 図と第 3 図も同じであるが、女満別と柿岡との水平分力の差  $\Delta H(Mb-Ka)$  および  $\Delta H(Ka-Ky)$  を追加した。

これらの図から  $\Sigma K_p$  と  $\Sigma K_{Ka}$  とは完全に平行して変化していることがわかる。水平分力  $H(Ka)$  はきわめ

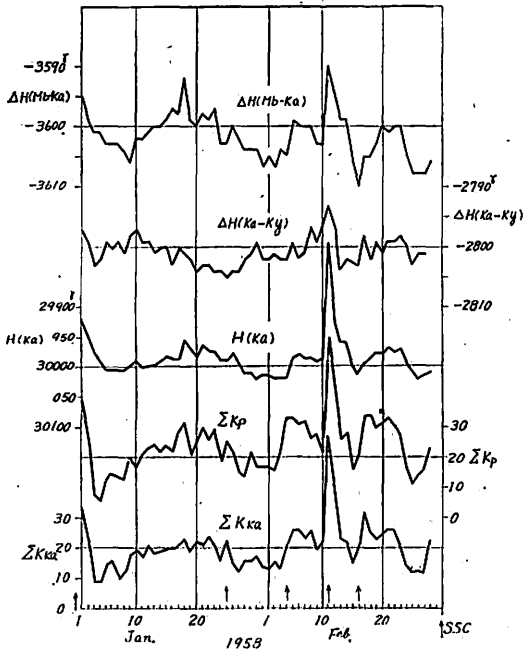


Fig. 2. An example showing day to day variations of  $H(Ka)$ ,  $\Delta H(Mb-Ka)$ ,  $\Delta H(Ka-Ky)$ ,  $\Sigma K_p$ ,  $\Sigma K_{Ka}$  for Jan. and Feb., 1958.

$\Delta H(Ka-Ky)$ : difference of the horizontal intensity at Memambetsu and Kanoya.

$\Delta H(Ka-Ky)$ : difference of the horizontal intensity at Kakioka and Kanoya.

て小さいあらしでも減少する。またあらしとはいえない単なるじょう乱に対しても  $\Sigma K_p$  と  $H(Ka)$  とは相関がよい。  $\Sigma K_{Ka}$  は湾型変化などの割合に局所的な変化を含んでいるので、  $\Sigma K_p$  より若干相関が悪い。また第 1 図や第 2 図ではめいりょうに表われているが、  $\Sigma K_p$  が増加すると  $H(Ka)$  は 1 日くらい遅れて減少する。伴野<sup>(4)</sup>の統計からもわかるように、  $\Sigma K_p$  より次式で示す  $\Sigma K_p'$  の値ならば、この遅れは少なく  $H$  との相関はさらによくなる。

$$\Sigma K_p' = \frac{1}{2}(\Sigma K_p)_0 + \frac{1}{4}(\Sigma K_p)_{-1} + \frac{1}{8}(\Sigma K_p)_{-2} + \dots \quad (1)$$

ここで  $(\Sigma K_p)_0$  は当日の値、  $(\Sigma K_p)_{-1}$ ,  $(\Sigma K_p)_{-2}$  … はそれぞれ前日、前々日…の値である。実際には第 3 項は  $\frac{1}{8}(\Sigma K_p)_{-2}$  よりさらに少なく  $\frac{1}{10}(\Sigma K_p)_{-2}$  以下で、この項でさえ無視して十分である。

しかし  $H$  と  $\Sigma K_p$  の比例係数や両者の比例関係の分散そのものを議論してもあまり意味がないので、  $\Sigma K_p$  そのものを用いて統計した。そして (1) 式の成立することを確かめる意味で  $(\Sigma K_p)_{-1}$  の係数を求めてみた。

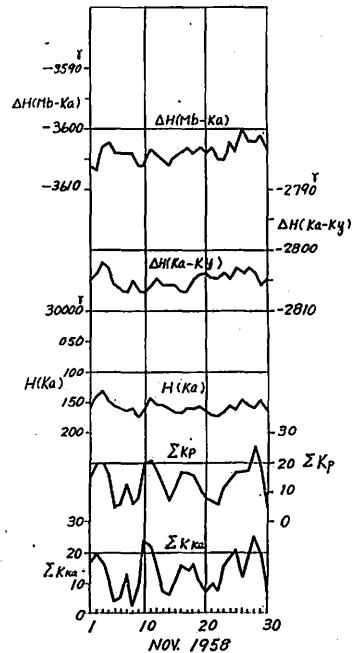


Fig. 3. An example showing day to day variations of  $H(Ka)$ ,  $\Delta H(Mb-Ka)$ ,  $\Delta H(Ka-Ky)$ ,  $\Sigma K_p$  and  $\Sigma K_{Ka}$  for Nov., 1958.

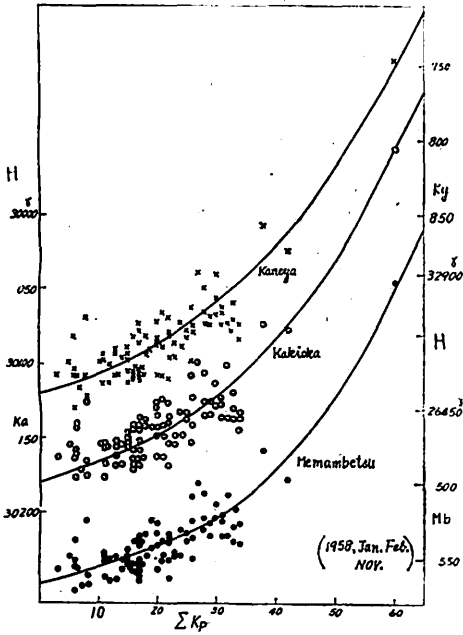


Fig. 4a. The relationship between  $\Sigma K_p$  and the horizontal intensities at Kakioka, Memambetsu and Kanoya for Jan., Feb. and Nov., 1958.

もともと  $K$  指数の中にはあらし回復効果 (post perturbation) は含まれていないのでこのように相関がよいのは一見矛盾している。  $K_{Ka}$  の調査結果によると、  $\Sigma K_{Ka}$  はその 60~70% が湾型変化によるじょう乱に起因しており、いわゆるあらしのときの水平分力の大きい減少が、  $K$  指数に寄与する量は  $K$  の値の数%にすぎない。湾型変化は中緯度地方では、水平分力を増加させる方向に変化するものがほとんどである。負の湾型変化 (negative bay) はまれにしか起こらないし、量も小さい。したがって  $\Sigma K_{Ka}$  または  $\Sigma K_p$  が増加するとき  $H_{Ka}$  はわずかながら増加するはずである。しかし、実際には反対で  $\Sigma K_{Ka}$  や  $\Sigma K_p$  が増加すると水平分力の日平均値は減少する。またいわゆる静穏日といわれる日でも  $\Sigma K_p$  と日平均値の相関がよい。これら一見矛盾して見えることも次のように考えれば説明がつく。赤道環電流は常に存在し、これによる磁場  $Dst$  が増加すると日平均値は減少する。また短時間の地磁気じょう乱 (主として湾型変化) が起こり  $K$  指数が増加するのは、  $DS$  磁場のためである。  $Dst$  の発達と  $DS$  との大きさはほぼ比例するから、  $K$  指数が増加すれば日平均値は減少する。このことが正しければ、太陽の活動状態により粒子の性質が異なるから、当然  $\Sigma K_p$  と  $H$  との関係の

Table 1. Relationship between decrease of horizontal intensity and daily sum of  $K_p$ -indices.

Year	1953-1954		1955-1956		1957-1958	
$\Sigma K_p$	<30	>30	<30	>30	<30	>30
$\frac{\Delta H_n}{\Delta \Sigma K_p}$ $\gamma/l$	1.0	2.4	1.2	4.0	1.3	6.2
$\frac{\Delta H_{n+1}}{\Delta \Sigma K_p}$ $\gamma/l$	0.3	—	0.6	1.7	0.7	2.7
$\frac{\Delta H_{n+2}}{\Delta \Sigma K_p}$ $\gamma/l$	0.1	—	0.2	1.2	0.1	1.2
Mean of Wolf number	9.2		89.9		186.8	

(after N. Banno)

係数は時期により異なる結果になる。

第3図でもわかるが、1963年ごろの ssc あらしのない期間においても、日平均値は大きく変動しており、  $\Sigma K_p$  との相関は太陽活動期の 1957, 1958 年ごろよりもむしろよくなっている。このことは赤道環電流がいつでも存在していることを示すものである。

第4a図には  $\Sigma K_p$  と観測所の  $H$  の値との関係を示した。これは特定な月の例を示したにすぎない。伴野<sup>(4)</sup>はこの  $\Sigma K_p$  と  $H$  との関係を  $\Sigma K_p=30$  で分けて二つの係数で表わした。第1表はその統計結果である。

この表の中の  $\frac{\Delta H}{\Delta \Sigma K_p}$  は  $\Sigma K_p$  が1だけ変わったときの水平分力の減少量を  $\gamma$  で表わした値である。

この表から (1) 式がほぼ成立することがわかる。すなわち  $K$  指数が大きくなって数時間のじょう乱が起こると、当日はもちろん1~2日後の水平分力の絶対値まで減少する。そして太陽黒点の極大期にはこの  $\Sigma K_p$  の  $H$  を減少させる効果は、1日で半減するが、極小期には  $\frac{1}{3}$  程度に減少してその特性が多少異なる。これらについて伴野は見解を述べていないが、著者は後で述べる月平均値の統計結果も考え合わせて、前に述べたように、太陽からの粒子がバンアレン放射線帯 (Van Allen radiation belt) の  $V_1$  や  $V_2$  などの常に存在する帯に吸収されて、一見関係が逆になるはずの  $K$  指数と水平分力が第4図のようになると考えている。そして (1) 式が示す関係は、粒子の生存期間を示すものと想像される。

$\Sigma K_p$  が 30 をこえると、この  $\frac{\Delta H}{\Delta \Sigma K_p}$  の係数は急激に大きくなる。そして分散も非常に大きい。そして太陽

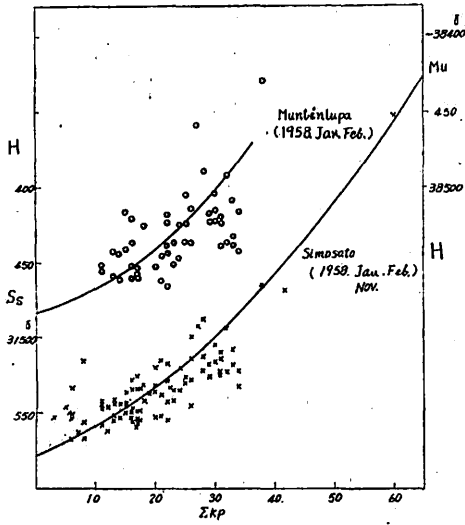


Fig. 4b. The relationship between  $\Sigma K_p$  and the horizontal intensities at Muntinlupa and Simosato for Jan., Feb and Nov., 1958.

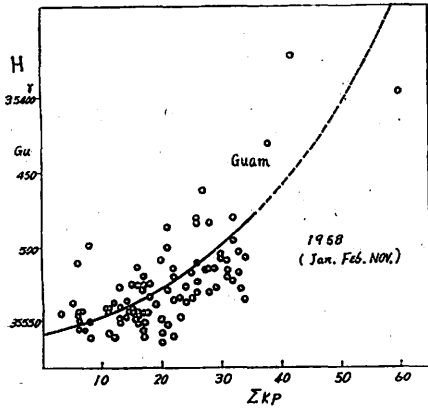


Fig. 4c. The relationship between  $\Sigma K_p$  and the horizontal intensity at Guam for Jan., Feb., and Nov., 1958.

黒点の消長に大きく左右される。これは月平均値の統計にも明らかに表われている。 $\Sigma K_p$  が 30 以上になる変化をおこすエネルギーの大きい粒子は吸収される放射線帯が異なり、Akasofu ら<sup>(7)</sup>のいうパンアレン放射線帯の  $V_3$  帯で、 $\Sigma K_p$  が 30 以下は  $V_1, V_2$  帯ではあるまいか。そして  $\Sigma K_p$  が 30 をこえると急激に大きくなるのは、もともと  $K$  指数は直線目盛りでなく  $K=4$  以上は対数目盛りになっていて、ほぼ  $\Sigma K_p$  が 30 以上になると対数的なスケールになってくる。したがって  $H$  が直線目盛りであるため第 4 図のようになり、第 1 表のごとく係

数が大きくなっている。したがって  $\Sigma K_p$  の経年的な平均値 15~20 付近の  $\frac{\Delta H}{\Delta \Sigma K_p}$  の係数について取り扱うのが、最も実用的である。

日本付近の  $H$  と  $\Sigma K_p$  との関係をみると明らかなように緯度の低い所ほど  $\frac{\Delta H}{\Delta \Sigma K_p}$  は大きい。第 4 図において、 $\Sigma K_p$  が 30 以上のところは、1958 年の前半における平均から得られた曲線を書き込んでおいた。このようにして 1958 年の日平均値と  $\Sigma K_p$  から係数  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  を、女満別 (Mb), 柿岡 (Ka), 下里 (Ss), 鹿屋 (Ky), マンティンルパ (Muntinlupa) (Mu) およびグアム (Guam) (Gu) の六つの観測所について求めた。

第 1 表によれば柿岡の値は 1.3 であるが、著者の結果では 1.6 になっている。これは前者が 1957~1958 年の平均の値のためである。第 5 図は磁気緯度と各観測所の  $\Sigma K_p=15$  における平均の傾斜  $\frac{\Delta H(\gamma)}{\Sigma K_p (=1.0)}$  (これは  $\frac{\Delta H}{\Delta \Sigma K_p}$  と同一意味である。以下同じ。) の値を記入したものである。この図の示すように赤道に近いほど値は大きい。参考までに磁気緯度  $\theta=0^\circ$  の値を 2.1 と推定して  $\cos \theta$  の線を記入しておいた。またカレッジ (College) (Co), シトカ (Sitka) (Si), フレドリックスブルグ (Fredericksburg) (Fr), ツーソン (Tucson) (Tu)

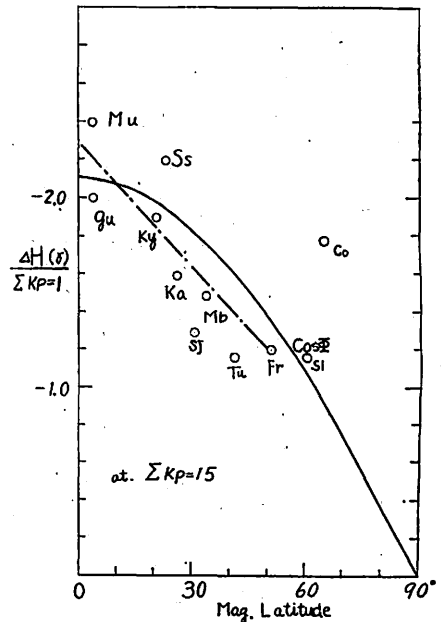


Fig. 5. Dependency of  $\Delta H/\Sigma K_p$  on geomagnetic latitude  $\theta$  near Japan.

およびサン・ジュアン (San Juan) (SJ) の5か所のアメリカ帯の値も求めたが、この緯度効果は日本付近に比べると  $\frac{1}{3}$  程度で、はるかに小さいものになる。低緯度の値がないから、詳しくはいえないが、全体に小さい。カレッジの値がとくに大きいのは、極光帯に近いためと考えられる。

磁気緯度を  $\theta$  としたとき、日本付近では  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  の値はほぼ  $\cos\theta$  に比例するであろう。また  $60^\circ$  以上の高緯度については、複雑なものになるであろう。

注意しなければならないことは、 $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  が太陽の黒点の消長よりはなはだしく異なり、経年変化が大きいので、統計する期間を長くして求めた値はあまり意味のないということである。そして一年以上の長い期間の統計をとると必ず小さい値になる。また2か月より短い期間では分散が大きくてあまり正確でなくなる。

$\Sigma K_p$  と  $H$  とは一次の関係にあるのでなく分散も大きいから、その係数はそれほど意味のあるものでない。

世界的な分布を求めてみても  $\Sigma K_p$  そのものが、それほど世界共通的なスケールでないし、直接  $K_p$  と  $H$  が関係するのでなく二次的なものであるから、 $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  の世界的分布図もそれほど意味はない。

日本付近における水平分力の日平均値は、たとえ磁気あらしのようなじょう乱のときでなく、普通に静穏日といわれるときでも、外部じょう乱磁場の影響を受けている。平均して静穏日は  $\Sigma K_p$  が10以下であるが、それでも柿岡では  $\Sigma K_p=10$  のときに  $10\gamma$  に達する。 $\Sigma K_p$  の10年以上の長い期間の総平均値は約20であるから、外部じょう乱磁場は水平分力の日平均値を  $20\sim 25\gamma$  も小さくしている。 $\Sigma K_p=0$  が絶対静穏日とはいえないが、水平分力の日平均値の最大値には上限があることから考えても、日本付近では外部磁場が水平分力において平均で  $20\sim 25\gamma$  も常に絶対値を小さくしているのはたしかである。

$\Sigma K_p$  が30以上の  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  の係数の大きい値について考えてみる。もともと分散が大きいが、平均値として  $\Sigma K_p=0$  と  $63$  との間の  $\Delta H$  を求め、これから緯度効果を求めると  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  の係数は緯度  $1^\circ$  に対して  $0.5\%$  である。一方  $\Sigma K_p=15$  のときの値は、 $1.2\%$  ではるかに大きい。すなわち大きいじょう乱のときは、水平分力の日平均値の減少の緯度効果は小さい。

日本付近における Price<sup>(4)</sup> の求めた 1958 年の静穏日

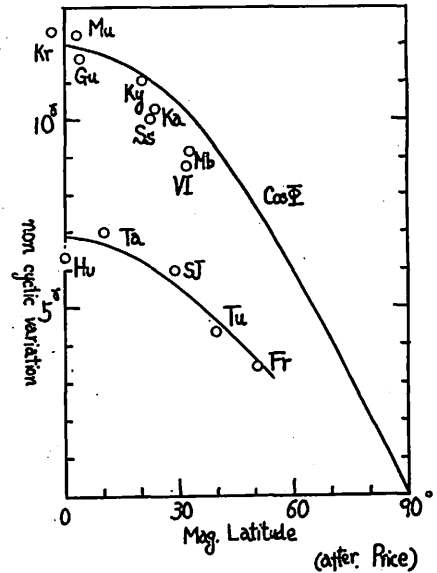


Fig. 6. Dependency of the average of non cyclic variations on the geomagnetic latitude near Japan. (after A. T. Price)

における非周期変化の年平均値の緯度分布を求めると、第6図のようになる。それによると日本付近の緯度線に沿った場合は、ほかの地域に比して2~3倍大きい緯度効果を有している。縦軸は  $\sqrt{\delta H^2 + (H\delta D)^2}$  なる水平ベクトルを表わしている。 $H\delta D$  は  $10\%$  であるから水平分力のみ表わしていると考えてよい。図の中にコロール (Koror) (Kr), ウラジオストク (Vladivostok) (VI), タツオカ (Tatuoca) (Ta) およびホアンケヨ (Huancayo) (Hu) を追加しておいた。この図は第5図とよく一致している。しかしアメリカ帯ではこれよりはるかに小さい値になっていて、少し疑問に思われるので、本誌の次号の第5節日平均値の変化の全世界的分布のところで論じたい。

## 2.2 水平分力の日平均値の地点差

すでに第2図および第3図に女満別・柿岡および鹿屋の3地点の水平分力の日平均値の地点差の例を示してある。この  $\Delta H (Mb-Ka)$  および  $\Delta H (Ka-Ky)$  は水平分力の値に比例して変化している。もちろん  $\Sigma Ka$  や  $\Sigma K_p$  ともしも相関があるが、位相が1日近く遅れている所が多い。水平分力の値自身は柿岡の値を示してあるが、ほかの観測所の値でも変わらない。1958年2月10日の大磁気あらしのときは、地点差  $\Delta H (Mb-Ka)$  および  $\Delta H (Ka-Ky)$  はそれぞれ  $20\gamma$  および  $10\gamma$  に達する変化をしているが、あまり大きくないじょう乱でも  $5\sim 6\gamma$  に達する。もちろん水平分力自身に比例しない変化が



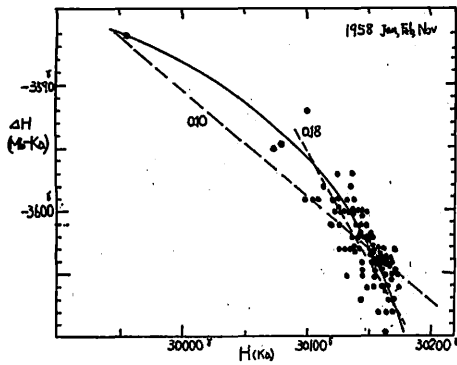


Fig. 7a. The relationship between the horizontal intensity at Kakioka,  $H_{(Ka)}$ , and difference of the horizontal intensities at Kakioka and Memambetsu,  $\Delta H(Mb-Ka)$ , for Jan., Feb. and Nov., 1958.

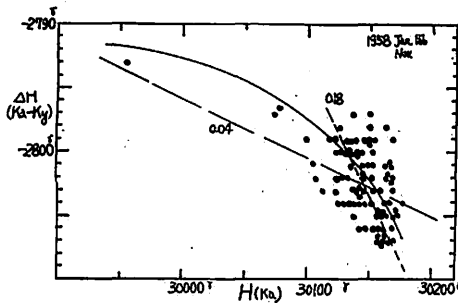


Fig. 7b. The relationship between the horizontal intensity at Kakioka,  $H_{(Ka)}$ , and difference of the horizontal intensities at Kakioka and Kanoya,  $\Delta H(Ka-Ky)$ , for Jan., Feb. and Nov., 1958.

多少残っている。これを見やすくするため第7図に  $\Delta H(Mb-Ka)$ ,  $\Delta H(Ka-Ky)$  と柿岡の水平分力との関係を示した。いずれも左上の大きくはずれている値は、1958年2月10日の大磁気あらしのときの値である。この図からだいたいの平均傾斜を求めると  $\frac{\Delta H(Mb-Ka)}{\Delta H_{Ka}} = 0.18$ ,  $\frac{\Delta H(Ka-Ky)}{\Delta H_{Ka}} = 0.18$  となる。前者の  $\Delta H(Mb-Ka)$  は  $+4 \sim -4\gamma$  の幅の中に含まれ、後者のそれは  $+6 \sim -6\gamma$  の幅に含まれる。そして大きいあらしの点はいずれもかなりはずれている。 $\Delta H(Mb-Ka)$  や  $\Delta H(Ka-Ky)$  の値が変化するのは、主として水平分力の日平均値が、外部じょう乱磁場の影響を受け、それが緯度効果を持っているためである。第5図は  $\Sigma K_p$  のよう

な値を用いているからそれほど正確でないが、 $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  の女満別と柿岡の地点差は10%ある。一方  $\frac{\Delta H(Mb-Ka)}{\Delta H_{Ka}}$  は18%でありほぼ近い値となる。柿岡と鹿屋の  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  の地点差は15%であり、 $\frac{\Delta H(Ka-Ky)}{\Delta H_{Ka}}$  は18%でよく一致する。

この  $\frac{\Delta H(Mb-Ka)}{\Delta H_{Ka}}$  などの係数は、 $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  と異なり太陽黒点の消長に左右されず、ほとんど一定である。この点、量的な取り扱いに好都合である。

$\Delta H(Mb-Ka)$  はその変化量が大きいので、第7a図でもわかるように、じょう乱の小さいときの  $\frac{\Delta H(Mb-Ka)}{\Delta H_{Ka}}$  の係数は大きく、じょう乱が大きくなると小さくなる。すなわち 静穏なときは外部じょう乱の磁場の緯度効果は大きく、じょう乱が大きいときは小さくなる。これは  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  の値でも同じことがいえる。

$\Delta H(Ka-Ky)$  はその変化量が少なくないが、第7a図のような傾向にある。また第7b図で分散が大きいのは、両観測所の緯度差が小さい割に経度差が大きいく、かつ地磁気の日変化の電流系の中心が両観測所付近を通ることが多く、電流系は日本付近で普通南下しながら通過するために、わずかな経路の変動が日平均値を左右することになると考えられる。

このように二つの観測所の地点差は、外部じょう乱磁場の緯度効果のため、じょう乱の量に比例し、とくに水平分力自身に比例して変化し、じょう乱の小さいときは変化量も小さい。

次にこのような従来行なわれた地点差を用いず、両観測所の水平分力の変化の比を用いた調査について述べる。第8aおよびb図はそれぞれ女満別・柿岡・鹿屋の1958年1月と2月の毎日の日平均値を記入した例である。これから一見してわかるように日本付近では非常に小さい分散で二つの観測所の水平分力の日平均値の変化の比が一定である。この図の例では  $\frac{\Delta H_{Mb}}{\Delta H_{Ka}}$  および  $\frac{\Delta H_{Kv}}{\Delta H_{Ka}}$  はそれぞれ0.92および1.02となっているが、この値は太陽黒点の消長などによらず一定である。そして各観測所の磁気緯度をそれぞれ  $\theta_{Mb}$ ,  $\theta_{Ka}$  および  $\theta_{Kv}$  とすると、 $\frac{\cos \theta_{Mb}}{\cos \theta_{Ka}} = 0.90$ ,  $\frac{\cos \theta_{Kv}}{\cos \theta_{Ka}} = 1.02$  となり、 $\frac{\Delta H_{Mb}}{\Delta H_{Ka}}$ ,  $\frac{\Delta H_{Kv}}{\Delta H_{Ka}}$  の値と一致する。すなわち水平分力については、外部じょう乱磁場が日平均値に与える影響の

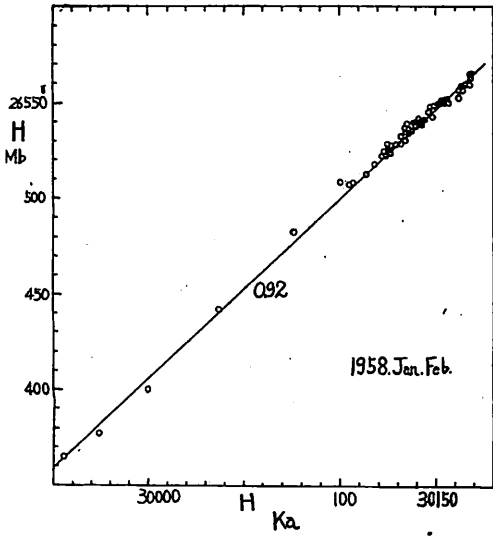


Fig. 8a. The relation between the daily mean values of the horizontal intensities at Memambetsu and Kakioka.

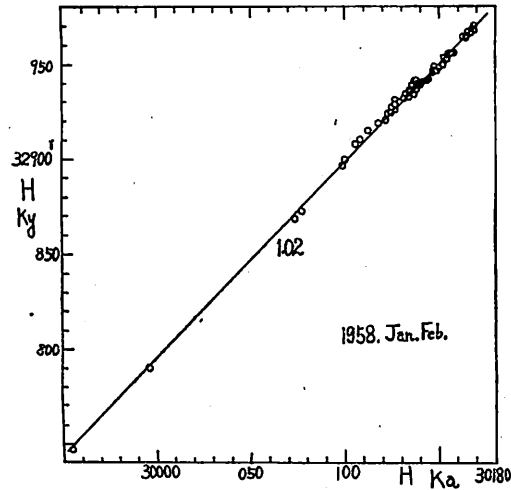


Fig. 8b. The relation between the daily mean values of the horizontal intensities at Kakioka and Kanoya.

地理分布は  $\cos \theta$  に比例するようである。

しかし詳細にみると、静穏なときはこの比から多少ずれている。第8a図で静穏なところでは0.86で少し小さい。第8b図では1.05になる。これは第7図と同じのものであり、それぞれ0.10, 0.04と記入された平均比は第8図の0.92, 1.02に相当し、0.18の値は

0.86, 1.05に相当する  $\frac{\Delta H_{Mb}}{\Delta H_{Ka}}$ ,  $\frac{\Delta H(Mb-Ka)}{\Delta H_{Ka}}$

などの意味から考えてほぼ一致したものになっている。

第8図の平均直線からの偏差を第9図に示した。一番上の線は単なる地点差  $\Delta H(Mb-Ka)$  を表わし、二番目の線は第8a図で比を0.92としたときの平均直線から縦軸の方向の量を、三番目の線は比を0.865としたときの量を  $\Delta H'(Mb-Ka)$  で示した。符号は第8図で平均直線より上方を正とした。この表示は偏角のときなどいずれも同じである。もちろん平均直線上に点があれば0である。第四番目は単なる地点差  $\Delta H(Ky-Ka)$  を表わし、第五番目のものは第8図で比を1.02としたときの偏差を示している。比を1.04とした場合もほとんど変わらない値なので、図には省略した。二つの観測所の地点差を求めるのに、単なる差をとったのでは、外部じょう乱磁場の影響は消えないが、比をとりその平均直線から毎日の日平均値がずれる偏差を求めるならば、それは

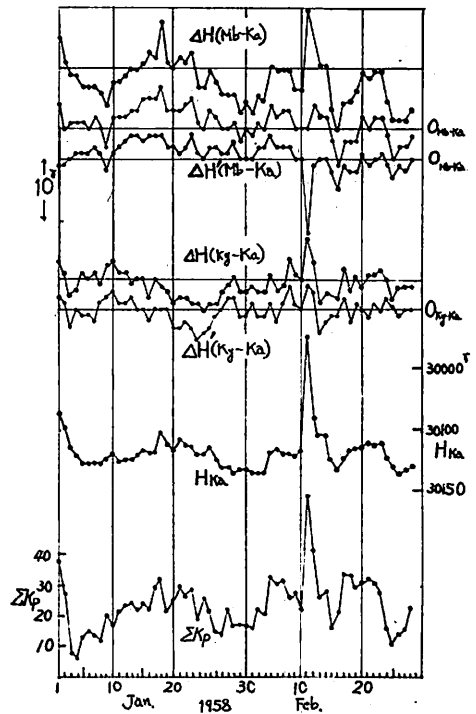


Fig. 9. The daily sum of  $K_p$  indices,  $\Sigma K_p$ , the horizontal intensity at Kakioka,  $H_{Ka}$ ,  $\Delta H(Mb-Ka)$ ,  $\Delta H(Ka-Ky)$ ,  $\Delta H'(Mb-Ka)$  and  $\Delta H'(Ky-Ka)$ ,  $\Delta H'$ 's being the deviations in ordinate from the regression lines in Fig. 8a and 8b.

影響をほとんど受けない。もちろん第7図のようにして平均的な曲線を求め、その偏差を計算しても同じであるが手数がかかる。また第8図の平均直線はじょう乱が大きくなると、少し異なる値になることは考慮しなければならない。

第9図に示した平均直線からの偏差で表わす地点差は、それぞれの観測所の観測精度から考えて、 $3\gamma$  以上の変化は有意義なものと思う。女満別・柿岡・鹿屋の3地点のこの地点差は、 $-4 \sim +4\gamma$  の変動をしており  $5\gamma$  に達するのはまれである。この変動はおそらく地球内部に原因があるものと考えている。日本のように接近した観測所では、短周期の現象でも水平分力の局地性はわずかで、日平均値にまで影響することはない。

従来は、地球内部に原因のある現象を求めるのに、二つの観測所の値の単なる差を用いて調査していたので、外部じょう乱の影響が入りやすく、せいぜい月平均以上の長い平均値を利用するにとどまっていた。今後はこの方法により、新しい資料の利用法を開拓していきたいと考えている。

またこの比  $\frac{\Delta H_{Mb}}{\Delta H_{Ka}}$  などの全世界的分布がわからないと、比が  $\cos \theta$  に比例することの確証は得られないし、日本付近の特性も十分つかめないの、それについては本誌次号で取り扱う。

前に  $\Sigma K_p$  が大きい所では、 $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  の緯度効果が  $\Sigma K_p$  の小さいときに比べて、小さくなることを述べた。この  $\frac{\Delta H_{Mb}}{\Delta H_{Ka}}$  などの値の場合もじょう乱が大きくなると1に近づく傾向が多少はある。すなわち大きいじょう乱のときには緯度効果が少なくなる。これは日本ばかりでなく同じ緯度の観測所では世界的にこの傾向がある。これは赤道環電流の半径が、じょう乱が強くなると大きくなり、静穏になると小さくなるのではないかと考える。 $\Sigma K_p$  が30をこえると  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  の値が急激に大きくなり、太陽黒点の消長に大いに左右されるなども考え合わせて、興味ある問題である。一方  $Dst$  の統計結果からは、一つのあらしの中で  $Dst$  の最小になる値の緯度分布は、 $60^\circ$  より低い緯度では  $\cos \theta$  より大きい緯度効果を持っている。第10a図はChapmanやSugiura<sup>(6)</sup>の求めた  $Dst$  の最小値について、赤道での値を1.0に斉一化して、各緯度に記入したものである。3種のあらしの赤道における値はそれぞれ  $-115\gamma$ 、 $-60\gamma$  および  $-28\gamma$  であった。これによると  $60^\circ$  以下の低緯度では  $\cos \theta$  より小さい値になっている。またあらしの大きさ

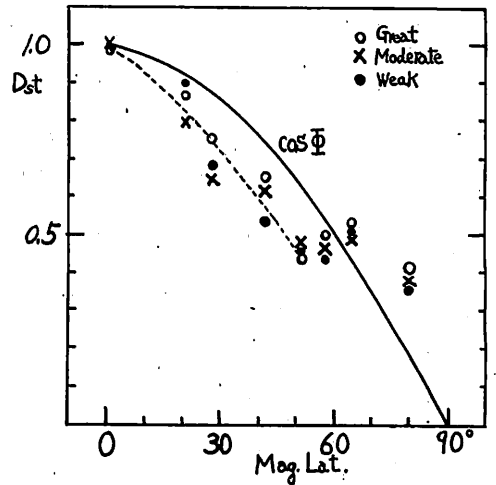


Fig. 10a. The geomagnetic latitudinal distribution of minimum  $Dst$  ( $\Delta H$ ) (after M. Sugiura) of the horizontal intensity normalized to that in the equator.

には関係しない。

日平均値の緯度分布ではじょう乱が大きくなると、 $\cos \theta$  分布より小さい緯度効果になるが、じょう乱のときの  $Dst$  の緯度分布は  $\cos \theta$  より大きい緯度効果であって、両者は相反する。これは両者の原因する赤道環電流の高さが異なり、同一の実態では説明のできないことかもしれない。あるいははじめ大きな  $Dst$  (割合早い時間を考えて) を起こすときは半径が小さく、日平均値を減少させる長い時間変化のときは半径が大きくなり、再び静穏になると低くなるとも想像される。あるいは、 $\Sigma K_p$  が30以上になるときの粒子はバンアレン放射線帯の  $V_3$  帯にはいるが次第に地球に近づいてくるのであろうか。いずれにしても興味あることなので、今後も調査を進めたい。

### 2.3 水平分力の日平均値 (磁気あらし後の回復)

あらしの後の水平分力の回復は McNish<sup>(2)</sup> により研究された例があるが、それを第10b図に示した。これは ssc あらしについての統計から求めたものである。柿岡においてもあらしの起こったときを基準として日平均値を統計すると、1日  $5\gamma$  くらいの回復であることがすぐわかる。佐野・永井および柳原<sup>(9)</sup>によれば、1957~1958年の23のあらしについて  $Dst$  および  $DS$ -field に分けて統計した結果、あらしの後の回復率は、 $Dst$  が大きくなると大きくなり、平均で  $1.0\%/hr$  である (かれらの論文の図には  $0.1\%$  となっているが  $1.0\%$  の誤り

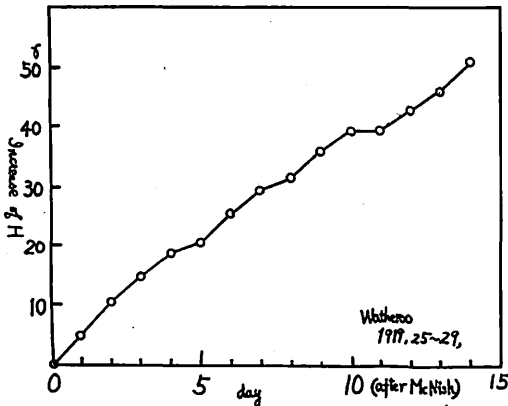


Fig. 10b. The recovery of the daily mean value of the horizontal intensity after a storm. (after A. G. McNish)

であろう).  $Dst$  の平均を  $100\gamma$  とすると約  $25\gamma/\text{day}$  の回復率となる. この量は著者が取り扱う日平均値の回復とは少し意味が異なるが, あらしの後の  $Dst$  は約4日後にもとの状態になることを意味している.

ssc を伴うあらしは割合急速に回復するが, sg あらしは長時間かかってもり; McNish のいうようには単純なものではない. この日平均値の回復の様子を知らないと今後の解析に不便なので, 1958 年の ssc あらし, 1962 年の sg あらしの割合典型的なもの 10 例について統計した.

通常あらしの大きさとして最大較差を用いて, 斉一化するために (日平均値の減少量)/(あらしの較差) の値と時間は ssc, sg の起時, あらしの最小時の発生時刻, 主相の発生時刻などをとって統計してみたが, いずれもよい斉一化は得られなかった. またあらしの最大較差と日平均値の回復との間にもそれほどよい相関はない. このため次のように統計しなおした.

水平分力の日平均値の減少や回復の基準には, 日平均値と  $\Sigma K_p$  との関係を示す第4図と同じものを, あらしの発生した月付近で求め,  $\Sigma K_p = 0$  に相当する絶対静穏日と考えられる日の水平分力の日平均値をとり, これを基準として毎日の日平均値の差をもって変化量とした. 時刻は最大減少量になった日を零日とし, この変化量を対数, 日数を普通目盛りとすると, 一つのあらしについて一つの直線か曲線になる. 零日の値は分散が大きいが, そのほかの日についてはよくそろっている. ssc あらしは5日以降, sg あらしでは7日以降になると, あらしでないじょう乱にかくされて値が不正確になるので除外

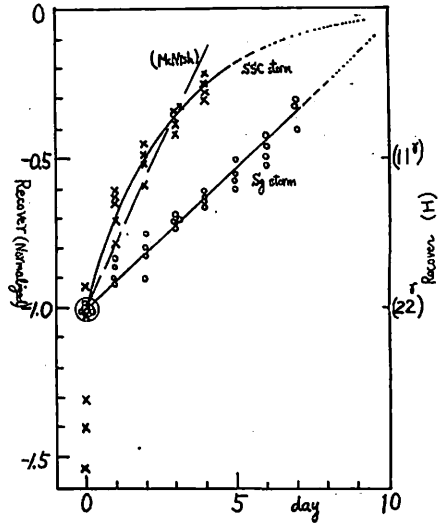


Fig. 11. The recovery of the daily mean value of the horizontal intensity after a storm. (Kakioka) The daily mean value of 0-day is minimum and taken as unit.

した. この直線は ssc あらし, 曲線は sg あらしとめいりように分れる. さらに斉一化するため零日の値を 1.0 として第 11 図に示した. ここでは見やすくするため縦軸も普通目盛りに換算しておいた. また平均の最大減少量は  $22\gamma$  であるので, 第 10 図の McNish の値を同じ尺度にすると破線のようにになる. また佐野ら<sup>(9)</sup>の求めた  $Dst$ -field の回復率は平均  $1.0\%/hr$  で  $1.5\sim 0.5\%/hr$  の幅がある. これは第 11 図の ssc と sg あらしの中間に類するあらしが含まれていることを示し, 両者は同じ結果となっている. もちろん数多くのあらしをとるならば第 11 図で ssc と sg の中間に含まれるものも多くある. そして ssc あらしは分散が大きく, McNish のように直線的な回復でなく, 対数的に変化すると考えたほうがよい. 柿岡では ssc あらしでは  $7\sim 4\gamma/\text{day}$ , sg あらしでは  $2\gamma/\text{day}$  の割合で, 水平分力の日平均値が回復していく. この割合は低緯度に行くほど小さくなり, 長い間あらしの影響が残っている. 第3図などに示される  $\Delta H (K_a - K_y)$  の変化が割合大きいのは, その影響もあるものと考えられる. また小さいあらしほどその回復率が小さいことは佐野らもいっているが, 静穏なときの  $\Sigma K_p$  と  $H$  の相関のよいこと, (1) 式で  $\Sigma K_p$  が 10 以下の小さい所で  $(\Sigma K_p)_{-1}$ ,  $(\Sigma K_p)_{-2}$  の係数が割合大きく出ていることはそれを裏書きしている.

この現象は水平分力について論じたが, 偏角もほぼ同

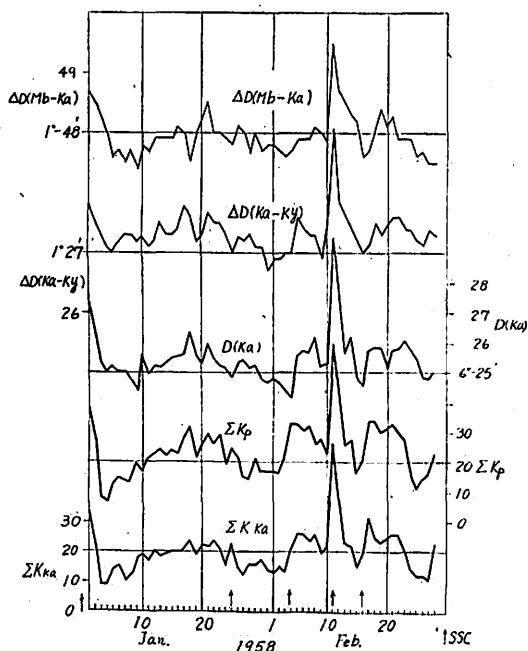


Fig. 12a. The relationship between the declination at Kakioka,  $D(Ka)$ ,  $\Sigma K_p$ , differences of the declinations at Memambetsu and Kakioka  $\Delta D(Mb-Ka)$ , and at Kakioka and Kanoya  $\Delta D(Ka-Ky)$ .

じ形で、柿岡ではあらしのときに西偏し、ssc あらしで  $1' \sim 0.8'/\text{day}$ , sg あらしで  $0.3'/\text{day}$  の回復率である。鉛直分力についてはめいりょうな傾向はなく、きわめて不規則であるが、おおざっぱに言えば水平分力の約  $\frac{1}{5}$  の量で、回復は2~3倍早い。

この現象を各地点別・あらしの種類・太陽黒点数および各成分について詳しく統計するならば、それ自身興味ある問題であろう。

以上のように磁気あらしのあとの日平均値の回復がかなり長いために、第1図に示す  $H$  と  $\Sigma K_p$  とは位相がずれて、(1)式で示される  $\Sigma K_p'$  が  $H$  とよい相関を有する結果になる。そして当然のようにあらしの性質により、この関係が変わるので  $\Sigma K_p$  と  $H$  との分散は大きくなり、かつ太陽の黒点の消長により  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  の係数は変化することになる。

#### 2.4 偏角の日平均値

これについては取り扱った研究者がない。ここでは水平分力と同じ手段で統計した。第12図は一般的傾向を示したものである。 $\Sigma K_p$  の小さいときでも柿岡の偏角

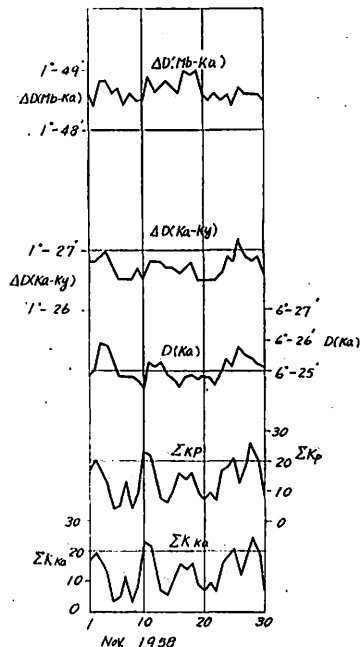


Fig. 12b. The relationship between the declination at Kakioka,  $D(Ka)$ ,  $\Sigma K_p$ , differences of the declinations at Memambetsu and Kakioka  $\Delta D(Mb-Ka)$ , and at Kakioka and Kanoya  $\Delta D(Ka-Ky)$ .

$D_{Ka}$  は  $\Sigma K_p$  とよい相関がある。水平分力と同じく位相がずれること、(1)式の  $\Sigma K_p'$  のほうが相関がよいことなどがいえる。ただ水平分力の場合と異なり、日本では南にある観測所ほど  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  が大きい。

もともと偏角の観測精度は他の成分にくらべて一番よく、絶対観測の器差の経年変化もほとんどない。したがって長期間の変動も信頼度が高い。

第13図は  $\Sigma K_p$  と各観測所の偏角の値との関係を示した。日本付近では偏角  $1'$  は約  $9\gamma$  に相当する。したがって縦軸は水平分力の場合の2倍の尺度で書かれているとみてよい。

マンティンルパでは  $\Sigma K_p$  が大きくなると偏角は東偏し、 $\Sigma K_p$  の小さいときと様子が異なる。そして季節により  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  の係数の変動は大きい。この傾向はさらにグアムでは大きく、春と秋では係数は逆になり、夏や冬では係数が零になり  $\Sigma K_p$  に無関係になる。これは赤道ジェットの位置の変動に左右されて起こる。

水平分力と同じく  $\Sigma K_p=15$  における  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  の値が、

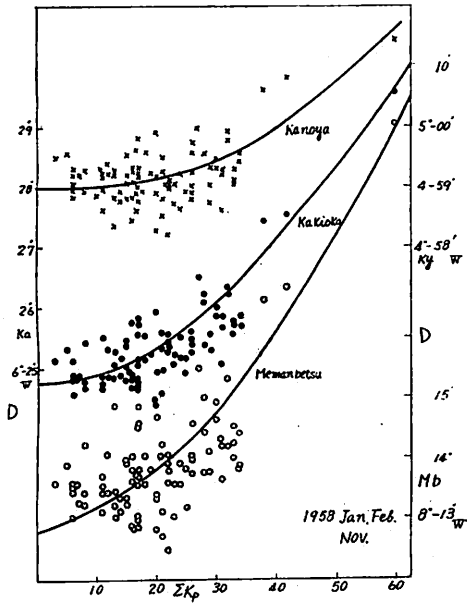


Fig. 13a. The relationship between daily sum of  $K_p$ -indices,  $\Sigma K_p$ , and the declinations at Kakioka, Kanoya and Memambetsu.

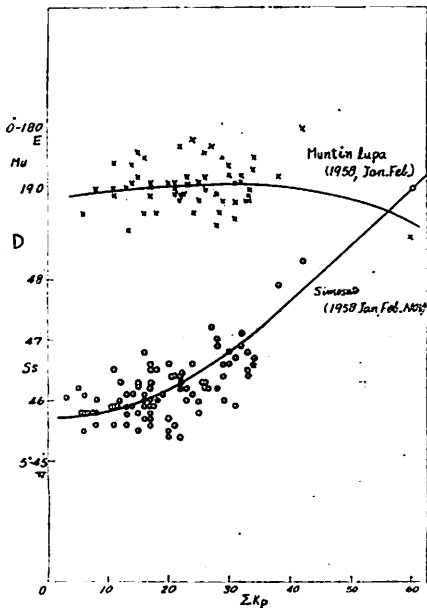


Fig. 13b. The relationship between daily sum of  $K_p$ -indices,  $\Sigma K_p$ , and the declinations at Muntinlupa and Simosato.

$\Sigma K_p=1$  だけ変わったときの  $\Delta D$  の値を分で表わして、緯度効果を求めて第 14 図に示した。日本付近ではほと

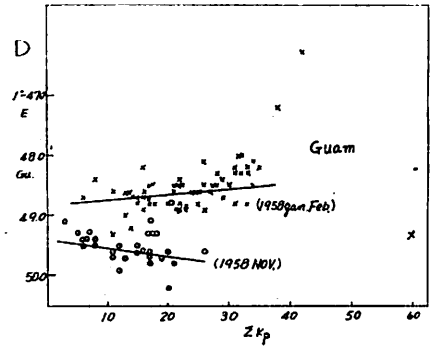


Fig. 13c. The relationship between daily sum of  $K_p$ -indices,  $\Sigma K_p$ , and the declination at Guam.

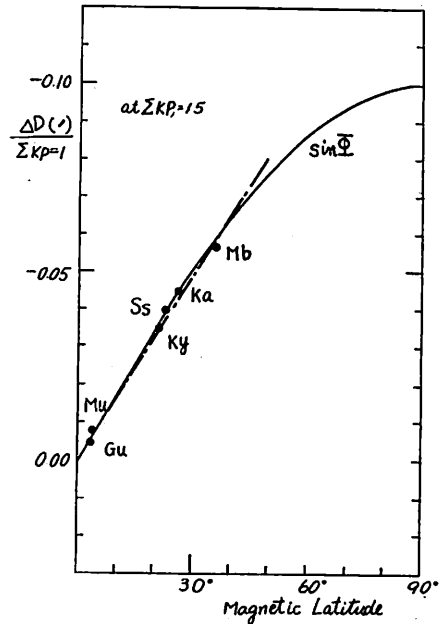


Fig. 14. Dependency of  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  on the geomagnetic latitude near Japan.

んど直線的に変わっているが、ほぼ  $\sin \Phi$  に比例すると考えてもよからう。

偏角の日平均値は日本付近では北に行くほど、じょう乱を受けて変動しやすい。図には示さないが、もとの豊原地磁気観測所 ( $\phi=46^{\circ}58'$ ,  $\lambda=142^{\circ}45'$ ) の例では日平均値の変動は柿岡のその2倍になっている。

また水平分力と同じく  $\Sigma K_p$  が 30 をこえると  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  の係数は急激に大きくなる。しかし分散はそれほど大き

くはならない。そして太陽黒点の消長によって  $\Sigma K_p$  の小さい所以上に大きく左右される。これは月平均値の統計でも明らかである。 $\Sigma K_p$  が大きい部分に対する、つまり  $\Sigma K_p=0$  と 63 に対する  $\Delta D$  から緯度効果を求めると、 $\Sigma K_p=15$  の場合とほぼ同じ比率になる。水平分力の場合のように、大きいじょう乱に対しては緯度効果が小さくなるようなことはない。

日本付近における  $\Sigma K_p=15$  のときの  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  は  $0.045'/1$  ( $0.47/1$ ) であり、水平分力の場合の  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p} = 1.67/1$  に比べて  $\frac{1}{4}$  の大きさである。これをベクトル的に加えると、 $\Sigma K_p$  が増加すると南  $14^\circ$  西の方向に係数が向く。このことは日本付近の磁気緯度線が地理緯度線と  $6^\circ$  傾いている ( $\psi = +6.0^\circ$ ) ことと関係あると考える。また Price の求めた非周期変化の水平ベクトルとほとんど直交している。これらのことは本誌次号に掲載の日平均値の変動の世界的分布 (第 2 報参照) から考えて、重要な意味を持つものである。

このように日本付近では偏角の日平均値は、水平分力と同じく、外部じょう乱磁場の影響を受けている。 $\Sigma K_p$  の長年月の平均は約 20 であるから、偏角は絶対静穏日の状態から常に約  $0.9'$  西偏させられている。

$K$  指数と偏角の日平均値が関係深いことは、あらしのときの回復の様子が大きいに関係しているが、静穏なときにも  $\Sigma K_p$  と  $D_{Ka}$ ,  $D_{Mb}$ ,  $D_{Kv}$  が相関がよいのは、水平分力で述べたと同じように、常に存在する赤道環電流の消長で説明できる。

偏角の場合は水平分力と異なり東西成分であるから、緯度効果は水平分力のように単純にならない。日本付近では確かに第 14 図のようになるが、他の経度ではそうはならない。たとえばアメリカ帯では高緯度ほど  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  の絶対値は大きくなるが符号は日本付近とは逆で負になる。もし水平分力・偏角に分けず、水平ベクトルで取り扱うならば単純な形になるであろう。偏角の  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  の緯度分布の複雑さはそれが東西の成分であるからで、正確に言えば水平分力にもその問題は含まれている。このことは第 2 報でもう一度取り扱ってみたい。

### 2.5 偏角の日平均値の地点差

すでに第 12 図に女満別・柿岡および鹿屋の 3 地点の偏角の差  $\Delta D (Mb-Ka)$ ,  $\Delta D (Ka-Ky)$  を示してあるが、これは偏角自身の変化と比例している。もちろん  $\Sigma K_p$  ともしよい相関があるが、水平分力と同じく位相が

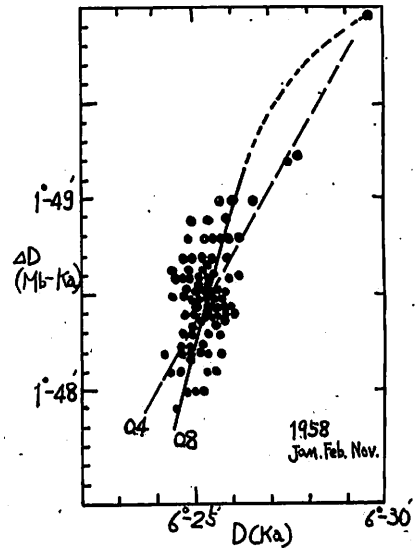


Fig. 15a. The relationship between  $D_{(Ka)}$  and  $\Delta D (Mb-Ka)$ .

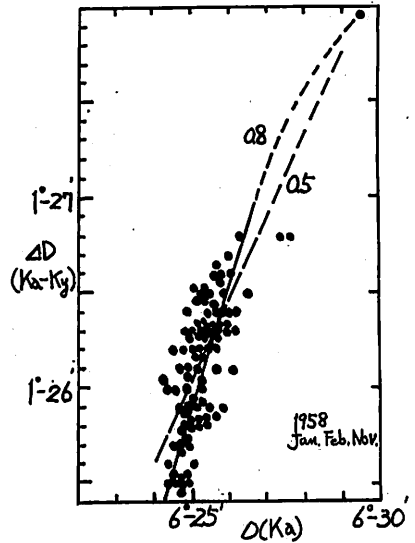


Fig. 15b. The relationship between  $D_{(Ka)}$  and  $\Delta D (Ka-Ky)$ .

少し遅れ、大きい所で一日くらいである。ただ水平分力と少し異なり、 $\Delta D (Ka-Ky)$  の変化のほうが大きい。普通  $0.7 \sim 0.8'$  の変化があるが、大きいあらしでは  $2'$  に達し、水平分力の場合とほぼ同じ程度の量である。

第 15 図は水平分力の場合と同じく  $\Delta D (Mb-Ka)$ ,  $\Delta D (Ka-Ky)$  の値と柿岡の偏角  $D_{Ka}$  との関係を示し

た。

平均の傾斜を求めると  $\frac{\Delta D(Mb-Ka)}{\Delta D_{Ka}} = 0.8$ ,  
 $\frac{\Delta D(Ka-Ky)}{\Delta D_{Ka}} = 0.7$  となる。あらしの部分まで入れると小さくなり、0.4 および 0.4、となる。分散は少し大きく  $\pm 0.5'$  である。2地点の差の変化量がたかだか  $2'$  以下であるので、水平分力の場合に比べて相関はよくない。この変化の原因は、2.4 節で述べたように外部じょう乱磁場の緯度効果である。第 14 図から係数  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  の差を求めると柿岡と女満別で 25%、鹿屋と柿岡で 20% の差があるが、第 15 図から  $\frac{\Delta D(Mb-Ka)}{\Delta D_{Ka}}$  および  $\frac{\Delta D(Ka-Ky)}{\Delta D_{Ka}}$  はそれぞれ 80 および 70% で、両者はあまり一致しない。

第 15 図でもわかるようにじょう乱の小さいときの  $\frac{\Delta D(Mb-Ka)}{\Delta D_{Ka}}$  などは大きく、じょう乱が大きくなると小さくなる。すなわち静穏のときは外部じょう乱の磁場の緯度効果は大きく、じょう乱が大きいときは小さくなる。これは水平分力の場合と同じ結果である。また  $\frac{\Delta D(Mb-Ka)}{\Delta D_{Ka}}$  などの値は太陽黒点の消長などに余り関係しない。

以上のように二つの観測所の地点差は、外部じょう乱磁場の緯度効果のためじょう乱の量に比例して変化する。第 2 報でも述べるが、緯度効果が大きいので、場所による差は複雑で、それぞれ特性が異なっている。偏角の日平均値はその変化があまり大きくはないが、東西方向の変化を意味するため、場所による特性が水平分力より、複雑であることは注意しなければならない。

次に水平分力と同じく両観測所の偏角の変化の比を用いて調査した。第 16 a および b 図はそれぞれ女満別・柿岡および鹿屋の 1958 年 1 月と 2 月の値をプロットした例である。これからわかるように、日本付近では非常に小さい分散で、二つの観測所の日平均値の変化の比は一定となる。この図の例では  $\frac{\Delta D_{Mb}}{\Delta D_{Ka}}$  および  $\frac{\Delta D_{Ky}}{\Delta D_{Ka}}$  はそれぞれ 1.36 および 0.72 となっている。この値は太陽黒点の消長などには左右されない。経年的な変化はその比自身の 10% 以内で誤差範囲である。この  $\frac{\Delta D_{Mb}}{\Delta D_{Ka}}$ ,  $\frac{\Delta D_{Ky}}{\Delta D_{Ka}}$  などの値は水平分力のように  $\cos \theta$  でなくて、 $\sin \theta$  に比例すると思われる。計算値  $\frac{\sin \theta_{Mb}}{\sin \theta_{Ka}} = 1.28$  お

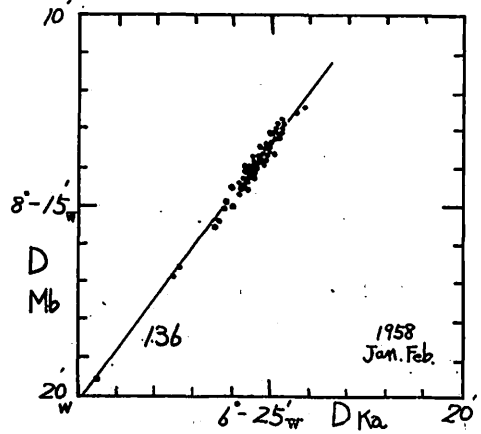


Fig. 16 a. The relationship between the daily mean values of the declinations at Memambetsu and Kakioka.

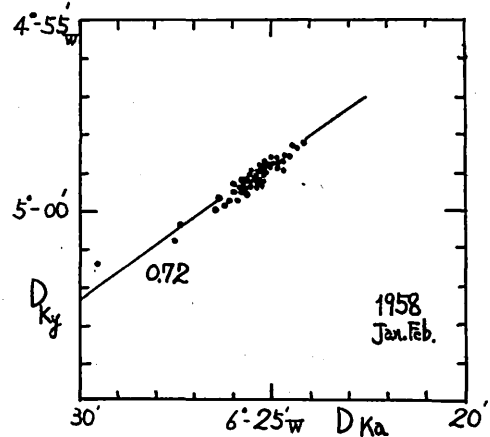


Fig. 16 b. The relationship between the daily mean values of the declinations at Kakioka and Kanoya.

よび  $\frac{\sin \theta_{Ky}}{\sin \theta_{Ka}} = 0.80$  は実測値とほぼ一致する。しかしこれが日本付近だけのことで全世界的な傾向でないのは  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  の係数と同じであり、第 2 報で再び取り扱ってみる。

第 16 図を詳しくみると、水平分力の場合と同じく、静穏な所と、じょう乱の大きい所では比は少し異なる。一般的傾向として静穏なときに、柿岡付近は日平均値の変動が少なくなる。このことは第 15 図にも表われている。  $\frac{\Delta D_{Mb}}{\Delta D_{Ka}}$  と  $\frac{\Delta D(Mb-Ka)}{\Delta D_{Ka}}$  の比較では水平分力ほど



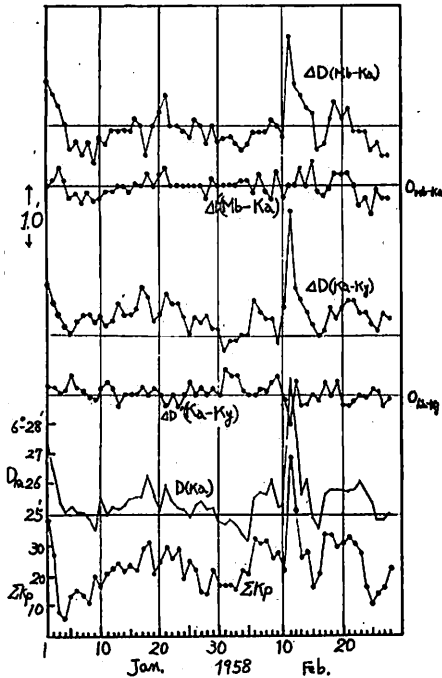


Fig. 17. The daily sum of  $K_p$  indices,  $\Sigma K_p$ , the declination at Kakioka,  $D_{(Ka)}$ ,  $\Delta D(Mb-Ka)$ ,  $\Delta D(Ka-Ky)$ ,  $\Delta D'(Mb-Ka)$  and  $\Delta D'(Ka-Ky)$ ,  $\Delta D'$ 's being the deviations in ordinate from the regression lines in Fig. 16a and b.

一致した値にはならないが、だいたい一致している。  
 第 17 図は女満別・柿岡および鹿屋の単なる差  $\Delta D(Mb-Ka)$  および  $\Delta D(Ka-Ky)$ , 柿岡の偏角  $D_{Ka}$ ,  $\Sigma K_p$  のほかに、第 16 図の平均直線からの偏差  $\Delta D'(Mb-Ka)$ ,  $\Delta D'(Ka-Ky)$  を上から第 2 および第 4 番目に記入してある。ここではあらしも含めた平均比で求めているため、 $D_{Ka}$  とごくわずかに相関が残っている。この図から単なる 2 地点の差より、このような平均直線からの偏差は外部じょう乱磁場の影響を受けないことがわかる。第 17 図の例で  $\Delta D(Mb-Ka)$ ,  $\Delta D(Ka-Ky)$  は  $2'$  くらいの変動があるが、 $\Delta D'(Mb-Ka)$ ,  $\Delta D'(Ka-Ky)$  は  $-0.4 \sim +0.4'$  くらいの変動になっていて、外部じょう乱磁場の影響はほとんどない。もちろん第 15 図のような平均曲線からの差を求めても、結果は同じであるが、手数がかかり誤差も大きくなる。このようにして求められた女満別・柿岡および鹿屋の地点差は観測精度から考えて  $0.3'$  以上の変化は有意義なものであり、この変動は地下内部に原因するものと推定されるが、水

平分力と同じく今後の調査に期待したい。

## 2.6 鉛直分力の日平均値

ほかの成分と同じ手段で統計した。第 18a および b 図には一般的傾向の一例を示した。これによる鉛直分力は  $\Sigma K_p$  とはほとんど相関がない。1958 年 2 月 11 日の大磁気あらしのような場合には、影響は現われているが、ほかの成分のように一見してわかるほどではない。

一般に鉛直分力の絶対観測は伏角と水平分力とにより行なわれ、また鉛直分力変化計自身もほかの成分に比して精度が悪い。女満別・柿岡および鹿屋では  $\pm 2\gamma$  の精度であるからかなり細かい議論ができるが、一般の観測所では日平均値や月、年平均値では約  $\pm 5\gamma$  程度のものと考えねばならない。

次に  $\Sigma K_p$  と各観測所の鉛直分力の値を第 19 図に示した。柿岡の 1958 年の鉛直分力の経年変化は約  $28\gamma$  あるので、その分だけずれて現われているが、そのまま図に示した。低い緯度では季節により傾斜が異なるのが目立つ。偏角でもそのことは多少あったが、鉛直分力はさ

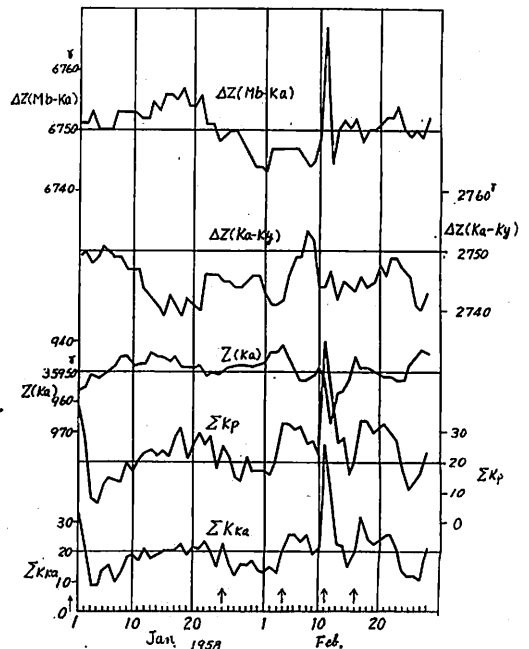


Fig. 18a. The relationship between the vertical intensity at Kakioka,  $Z_{(Ka)}$ ,  $\Sigma K_p$ , differences of the vertical intensities at Memambetsu and Kakioka,  $\Delta Z(Mb-Ka)$ , at Kakioka and Kanoya,  $\Delta Z(Ka-Ky)$ .

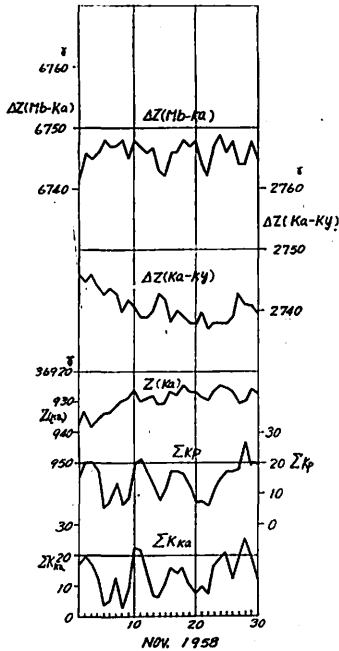


Fig. 18b. The relationship between the vertical intensity at Kakioka  $Z(Ka)$ ,  $\Sigma K_p$ ,  $\Sigma K_{Ka}$ , differences of the vertical intensities at Memambetsu and Kakioka  $\Delta Z(Mb-Ka)$ , at Kakioka and Kanoya  $\Delta Z(Ka-Ky)$ .

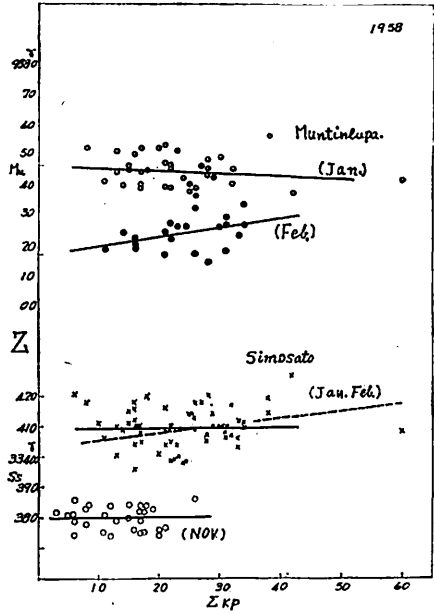


Fig. 19b. The relationship between the daily sum of  $K_p$ -indices,  $\Sigma K_p$ , and variations of the vertical intensities at Muntinlupa and Simosato.

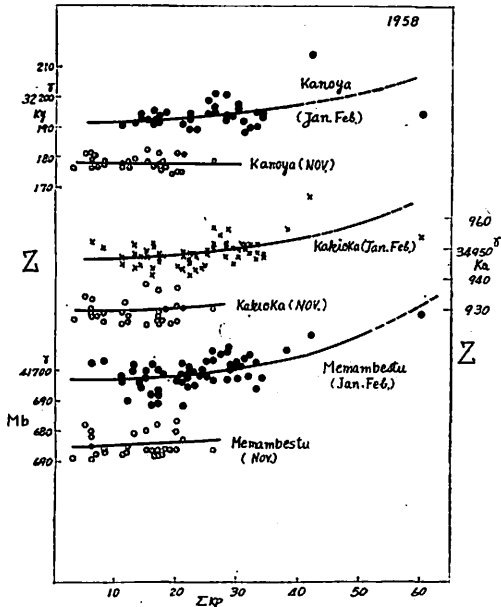


Fig. 19a. The relationship between the daily sum of  $K_p$  indices,  $\Sigma K_p$ , and variations of the vertical intensities at Kakioka, Memambetsu and Kanoya.

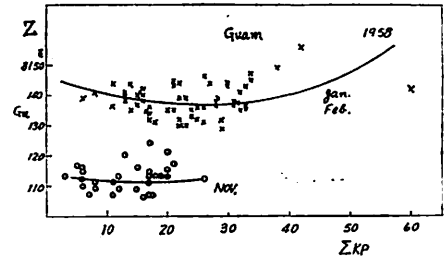


Fig. 19c. The relationship between the daily sum of  $K_p$ -indices,  $\Sigma K_p$ , and variations of the vertical intensity at Guam.

らにはっきりしている。

もともと係数  $\frac{\Delta Z}{\Sigma K_p}$  の小さいマンティンルパではそれがはっきりしている。ほかの成分にくらべて分散が少ないので、 $\frac{\Delta Z}{\Sigma K_p}$  の変化が割合ははっきりわかる。この変化は赤道のジェット電流の位置の変化により起こるものである。

また鉛直分力の変化はもともと地球内部の誘導によるものがおもで、じょう乱と鉛直分力の変化との時間的なずれが大き。日本付近の鉛直分力の  $Dst$  は水平分力より数時間早く極小になるにもかかわらず、日平均値のほうでは  $Dst$  の極小の時より半日くらい遅れる。この

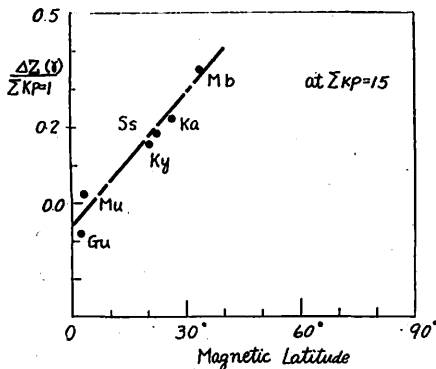


Fig. 20. Dependency of  $\frac{\Delta Z}{\Sigma K_p}$  on geomagnetic latitude, near Japan.

傾向は低緯度ほど大きい。

$\frac{\Delta Z}{\Sigma K_p}$  の値は小さく誤差が大きく求めにくい、緯度の分布を求めると第 20 図のようになる。赤道で零になり緯度に対してほぼ直線的に増加している。またほぼ  $\sin \theta$  に比例しているともいえよう。  $\Sigma K_p$  が 30 をこすと  $\frac{\Delta Z}{\Sigma K_p}$  は大きくなる傾向はあるが、水平分力のように緯度効果が  $\Sigma K_p = 30$  以上とそれ以下で異なるかどうかがよくわからない。

日本付近では  $\frac{\Delta Z}{\Sigma K_p}$  は  $0.15\gamma/1$  できわめて小さい量で、水平分力の  $1/10$  になっている。 Price が求めた非周期変化についても日本付近の鉛直分力は水平成分の  $1/10$  になっており、一致した結果を示すことは興味がある。

鉛直分力は大きなじょう乱でないかぎり、外部じょう乱磁場の影響をほとんど受けていない。  $0.15\gamma/1$  の値から計算して、  $\Sigma K_p = 20$  の平均状態でもせいぜい  $3\gamma$  の外部じょう乱磁場の影響を受けているにすぎない。

また  $\frac{\Delta Z}{\Sigma K_p}$  の世界的分布は日本付近とほぼ同じく  $\sin \theta$  に比例した分布になっている。値も日本付近のものと同様で、そして緯度が  $50^\circ$  になると  $0.3\gamma/1$  に達するから無視することはできなくなる。とくに経度変化の小さい地域では、その影響を考慮しなければならない。

このように鉛直分力の日平均値は、普通にはじょう乱による影響は考えなくてもよい。むしろ観測精度の誤差を十分考えなければならない。そして大きいじょう乱のときには、地球内部の誘導のため水平分力より位相の進むことに注意する必要がある。

## 2.7 鉛直分力の日平均値の地点差

すでに第 18 図に女満別・柿岡および鹿屋の 3 地点の鉛直分力の差  $\Delta Z(Mb-Ka)$ ,  $\Delta Z(Ka-Ky)$  を示した。この量は  $\Sigma K_p$  とほとんど相関がない。  $\Delta Z(Mb-Ka)$  は多少あるが、それは大きいあらしのときのみである。

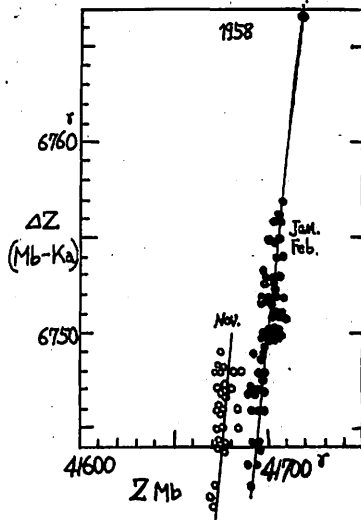


Fig. 21 a. The relationship between the vertical intensity at Memambetsu and differences of the vertical intensities at Memambetsu and Kakioka,  $\Delta Z(Mb-Ka)$ .

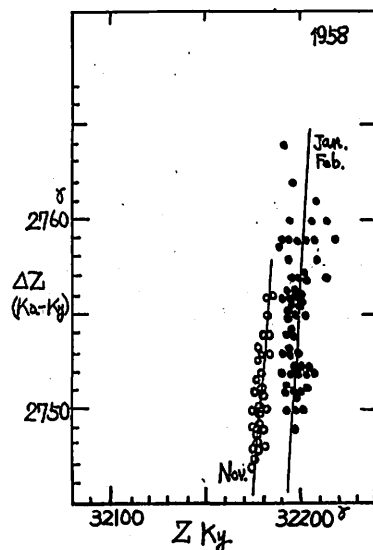


Fig. 21 b. The relationship between the vertical intensity at Kanoya and differences of the vertical intensities at Kakioka and Kanoya,  $\Delta Z(Ka-Ky)$ .

普通は  $-5 \sim +5\gamma$  くらいの変化である。

従来鉛直分力は外部じょう乱磁場の影響がなく地下内部に原因があるというので、地震との関係の調査などに利用されてきている。しかし第9図や第17図のように補正された地点差では、水平分力や偏角のほうが鉛直分力の変動よりむしろ小さくなっており、鉛直分力が資料の取り扱い上とくにすぐれているとはいえない。ほかの成分も同じく今後の研究に期待されるところが多い。

第21図は  $\Delta Z(Mb-Ka)$ ,  $\Delta Z(Ka-Ky)$  と女満別・鹿屋の鉛直分力  $Z_{Mb}$ ,  $Z_{Ky}$  との関係を示している。これからほとんど関係がなく、 $\frac{\Delta Z(Mb-Ka)}{\Delta Z_{Ka}}$ ,  $\frac{\Delta Z(Ka-Ky)}{\Delta Z_{Ka}}$

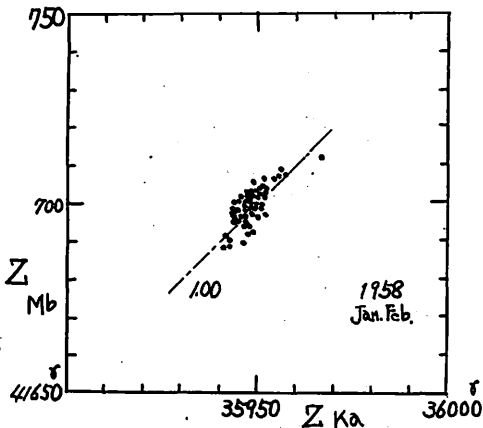


Fig. 22a. The relationship between the daily mean values of the vertical intensities at Me-mambetsu and Kakioka.

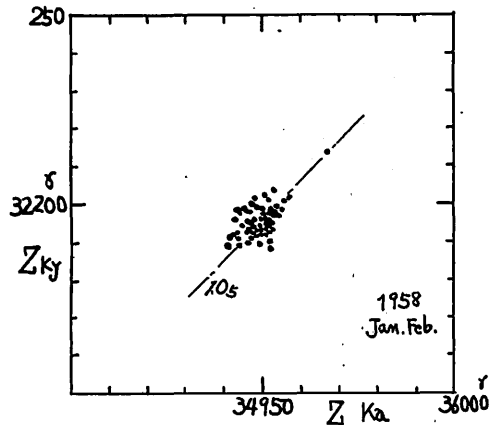


Fig. 22b. The relationship between the daily mean values of the vertical intensities at Kakioka and Kanoya.

はきわめて大きな値 1.0 となり、水平分力の 10 倍の大きさで、また第 20 図の示すと同じように緯度効果がきわめて小さいことを表わしている。

以上のように日本付近の観測所では、鉛直分力の日平均値の地点差は外部じょう乱磁場の緯度効果がきわめて小さいので、水平分力や偏角のように緯度効果を補正しない単なる差でも十分地点差だけを表わす。この地点差の日々の変動は地球内部に原因があると思われるが、それは今後の研究にしたい。とくに短周期変化に対して日本の鉛直分力の変化は異常であるが、日平均値の地点差の変動はその異常分布には関係ない。これは興味あることで *Dst*, 日変化などの周期の割合長い現象について、日本の鉛直分力の変化の地磁気異常の分布を論ずればおもしろい結果が得られるであろう。

次にほかの成分と同じく両観測所の鉛直分力の比を用いて調査した。第 22 図はそれぞれ女満別・柿岡および鹿屋の 1958 年 1 月と 2 月の値を示した。二つの観測所の日平均値の変動の比はほとんど 1.0 で、分散もほかの成分に比して大きい。また鉛直分力自身の変化が小さいので正確ではない。第 2 報で世界的分布を求めてあるが、それによるとこの比は  $\sin \theta$  に比例し、赤道での日平均値の変動はきわめて小さい。

ほかの成分ではこの第 22 図の平均直線からの偏差について述べたが、日本付近では緯度効果は考えなくてもよいほど小さく、 $\frac{\Delta Z_{Mb}}{\Delta Z_{Ka}}$  などの変化比は 1.0 であり、 $\Delta Z(Mb-Ka)$  はこの平均直線からの偏差と一致する。しかし経年変化の影響ははいるので、この平均直線からの偏差を用いるほうが便利である。これについては第 4 節でふれてみたい。緯度のはなはだしくずれた地点差を論ずるときは、単なる差は緯度効果が現われるが、それも観測精度とのかね合いになるから、使用する資料自身を検討するのがたいせつである。

## 2.8 まとめ

第 2 節で述べたことを要約すると次のようになる。

- (1) いずれの成分の日平均値も  $\Sigma K_p$  とよい相関にある。1958 年ころの係数  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$ ,  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$ ,  $\frac{\Delta Z}{\Sigma K_p}$  は日本付近で  $-1.6\gamma/1$ ,  $0.045\gamma/1$  ( $0.4\gamma/1$ ),  $0.15\gamma/1$  である。この係数は太陽黒点の消長により大きく変化し、経年変化がある。また  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  は  $\cos \theta$  に、 $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$ ,  $\frac{\Delta Z}{\Sigma K_p}$  はほぼ  $\sin \theta$  に比例した緯度分布をする。しかし  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  の世界的分布はそうに単純にならない。

(2)  $\Sigma K_p=30$  以上になるとこれらの係数は大きくなり、太陽黒点の消長による経年変化が大きくなる。これは  $K$  指数自身が対数に目盛られていることにもよるが、赤道環電流の構造とも関係がありそうである。大きいじょう乱のとき水平分力の緯度効果が小さくなることは、 $Dst$  の緯度効果と考え合わせて興味がある。

(3) 日平均値は  $\Sigma K_p$  の変化に対して半日ないし1日おくれて変化し、(1)式で定義した  $\Sigma K_p'$  と相関がよくなる。本質的にはあらしの後の日平均値の回復の様子が原因である。

(4) 柿岡のあらしの後の日平均値の回復の量は、水平分力については ssc あらし  $7\sim 4\gamma/\text{day}$ , sg あらし  $2\gamma/\text{day}$ ; 偏角については ssc あらし  $1\sim 0.8'/\text{day}$ , sg あらし  $0.3'/\text{day}$  (いずれも東偏の方向); 鉛直分力についてはきわめて小さく水平分力の約  $\frac{1}{5}$  でかつ回復の速さは  $2\sim 3$  倍である。

(5) 日平均値の変動は  $\Sigma K_{Ka}$  より  $\Sigma K_p$ , さらに  $\Sigma K_p'$  と相関がよくなるが、もともと  $K$  指数は3時間ごとのじょう乱に対する尺度であり、日平均値と  $K$  指数とは別な現象である。日平均値は  $Dst$  により、 $K$  指数は主に  $DS$  により起こされる。この  $Dst$  と  $DS$  の比例関係のために  $K$  指数と日平均値の相関がよくなる。

(6) 赤道環電流が常に存在するために、日本付近では平均で水平分力  $20\sim 25\gamma$  減少し、偏角  $0.9'$  西偏し鉛直分力  $3\gamma$  増加する外部じょう乱を受けている。

(7) 二つの観測所の日平均値の単なる差で表わす地点差は、じょう乱の状態に比例して変化する。水平分力が最も大きく鉛直分力はほとんどない。

(8) 二つの観測所の日平均値の変化比は一定で、太陽の消長などに関係しない。その比は緯度に対して水平分力は  $\cos\theta$ , 偏角と鉛直分力はほぼ  $\sin\theta$  に比例した分布をする。ただし偏角の世界的分布は複雑で日本付近のように単純でない(第2報参照)。

(9) 二つの観測所の日平均値の変化比の平均直線からの偏差は、外部じょう乱磁場の影響をほとんど受けないので、単なる地点差と異なり、おもに地球内部に原因する量であろうと考えられる。女満別・柿岡および鹿屋の相互間では、この偏差の変化は水平分力約  $-4\sim +4\gamma$ , 偏角  $-0.4\sim +0.4'$ , および鉛直分力  $-5\sim +5\gamma$  の量である。この値が何を意味するかは今後の興味ある問題であろう。それぞれの観測所の磁気緯度の差は  $Ma-Ka=8.1^\circ$ ,  $Ka-Ky=5.5^\circ$  で、緯度差が大きいため変動も大きくなるということはない。

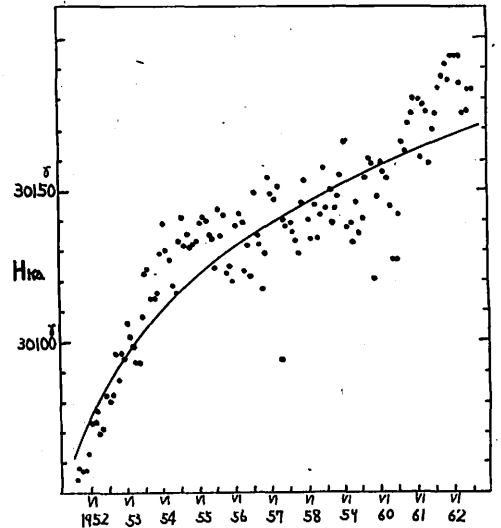


Fig. 23. Year to year change of the monthly mean values of the horizontal intensity at Kakioka for the period 1952 to 1962.

(10) Price の求めた非周期変化の日本付近の分布の値と  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  などの値を比較すると、相対的な率では、よく一致している。とくにベクトル的に加えたものの方向が一致するのは興味ある。

(11) 日平均値の変動は年平均値の変動とも考え合わせるとさらに興味ある結果が得られる(第4節参照)。

### 3. 地磁気月平均値の変化

月平均値には経年変化も考慮に入れなければならないが、日平均値がじょう乱により大きく変動されていることを、基礎にして解析してみた。調査は柿岡の値についてのみ行なったが、地点差については第4節で取り扱いたい。

#### 3.1 水平分力の月平均値

柿岡の水平分力の月平均値を1952年から1962年について第23図に示した。年平均値について最小二乗法から求めた平均曲線を書き込んだ。非常に大きくはなれた1957年9月の値は  $47\gamma$  にもなるが、一方ではその月の  $\Sigma K_p$  の月平均値は28.6で1957年の年平均値21.7に比べそれほど大きくはない。

第23図の平均曲線からの偏差  $\Delta H$  と  $\Sigma K_p$  との関係を第24a図に示す。第24b図は偏差を1か月ずらした値で、(1)式で示す関係を検討するためのものである。 $\Sigma K_p$  の1952年から1962年の間の平均は20.2であるから、その付近で  $\Delta H$  は0となっている。第24

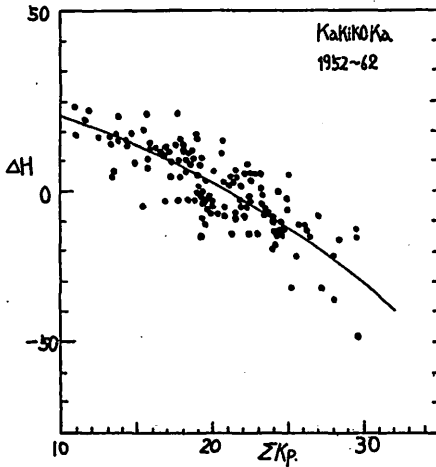


Fig. 24 a. The relationship between the deviations  $\Delta H$  of the monthly mean values of the horizontal intensity from the mean curve in Fig. 23 and  $\Sigma K_p$ . (Kakioka)

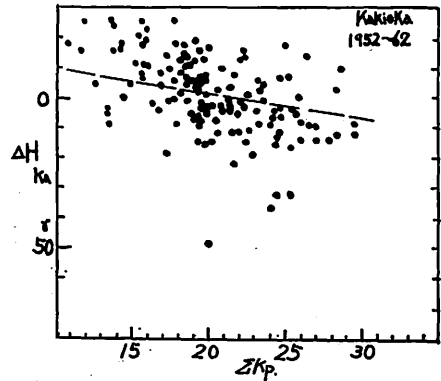


Fig. 24 b. The relationship between  $\Delta H$  retarded one month and  $\Sigma K_p$ . (Kakioka)

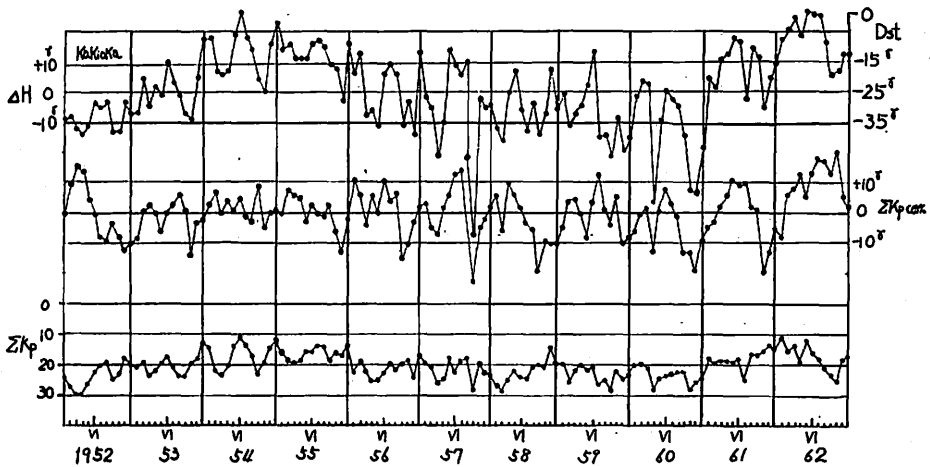


Fig. 25.  $\Delta H$  (the deviations of the monthly mean values of the horizontal intensity from mean curve), normalized  $\Delta H$  at  $\Sigma K_p = 20$  and  $\Sigma K_p$ . (Kakioka)

図から  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  は  $2.2\gamma/1$ ,  $0.8\gamma/1$  となる。これは日平均値から求めるこの期間の平均値約  $1.4\gamma/1$  にくらべてはるかに大きい。また1か月後の月平均値と  $\Sigma K_p$  との係数  $0.8\gamma/1$  もきわめて大きく、太陽黒点最大期ごろの日平均値から求めたものよりさらに大きい。

これらのことは平均に問題があり、長い間の統計で平均の係数を求めることや、 $\Sigma K_p$  の月平均値がどれだけの意味を有するかなどが疑問である。このような単純な

統計には危険性がある。

$\Sigma K_p$  の変化は半日ないし1日後の日平均値まで変動させるが、この統計の結果からは、さらに1か月後の値まで変動させている。2か月後の  $\Delta H$  と  $\Sigma K_p$  の関係から係数を求めるときわめて小さくなり  $0.1\gamma/1$  以下となる。

しかし第4節で述べるように、経年変化に第24a図の平均曲線の補正をすると、外部じょう乱磁場の変動の

影響はほとんどなくなる(4.1節参照)。ここでは同じように月平均値に、第24a図の平均曲線を用いて $\Sigma K_p$ の値を20.0に換算して、 $\Delta H$ の値を斉一化して第25図に示した。図の中で上段は第23図の平均曲線の偏差で、外部じょう乱磁場の変化を表わし、中央は $\Sigma K_p=20$ に換算した値である。 $\Delta H$ を上方を正にしてあるため $\Sigma K_p$ は逆に目盛っている。これによると、平均としてゆるい大きい変化はなくなっているが、毎年の細い変化は消されていない。これはすでに述べたように $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$ の経年変化が大きいため、正確には各年ごとに補正する必要がある。しかしこの方法で補正しても、この図の約半分の変動量になる。もともとこの $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$ の係数はそれほど正確に求まるものでないから、あまり意味あるものではない。

$\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$ の毎年の変化を示すため、第26図に1952年から1962年までの $\Delta H$ と $\Sigma K_p$ の関係を示した。第24a図では分散が大きい、1年ごとになるとそれほど大きくない。そして $\Sigma K_p$ が大きいところでは係数が急激に大きくなっている。 $\Sigma K_p$ と $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$ の関係から

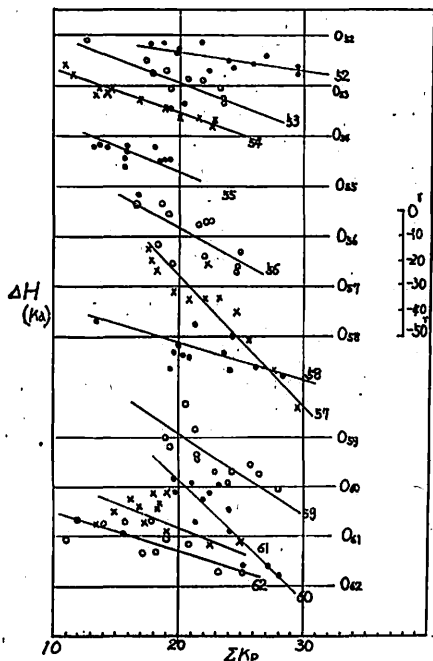


Fig. 26. The relationship between  $\Delta H$  and  $\Sigma K_p$  at Kakioka for each year of 1952-1963.

$\Sigma K_p=15$ の値を推定すると約1.8となり、日平均値から求めたものより大きい。これはやはり $\Sigma K_p$ の月平均値自身の意味の不確かさに原因するものである。第27図は $\Sigma K_p$ の大きさの変化に対する係数の変化を示している。この中で、1952、1957および1960年はいずれも $\Sigma K_p$ が大きい値になっている年である。しかし1957年は $\Sigma K_p$ の大きい部分を除くと、もっと係数は小さくなる。経年変化をほかの成分と一括して第49図に示してある。あまり意味がないが $\Sigma K_p=20$ のときの $\Delta H$ の値、ならびに $\Delta H=0$ のときの $\Sigma K_p$ の値も示したが、その性質上この値は $\Sigma K_p$ とよい相関にある。

このように月平均値は外部じょう乱磁場の影響を受け、それらは $\Sigma K_p$ とよい相関にあるが、定量的には日平均値とかなりずれたものになる。また $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$ の係数の経年変化も日平均値から求めたものよりはるかに大きいものになる。詳しい調査ではないが、女満別や鹿屋でもほぼ同じような結果が得られている。

### 3.2 偏角の月平均値

水平分力と同じ方法で特性を求めた。第28図は柿岡の月平均値を示している。平均曲線は年平均値を最小二

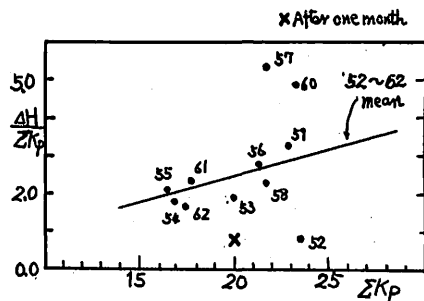


Fig. 27. The relationship between  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  and  $\Sigma K_p$  for the period 1952-1962. (Kakioka)

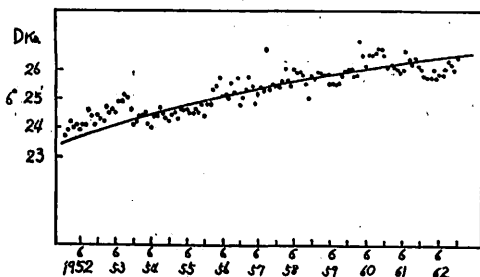


Fig. 28. Year to year change of the monthly mean values of the declination at Kakioka.

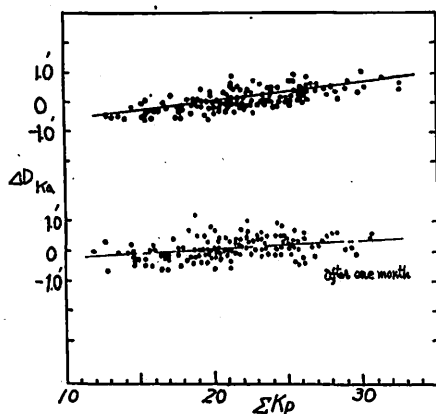


Fig. 29. The relationship between the 'deviations  $\Delta D$ ' of the monthly mean values of the declination from the mean curve in Fig. 28 and the same deviation retarded one month, and  $\Sigma K_p$ . (Kakioka)

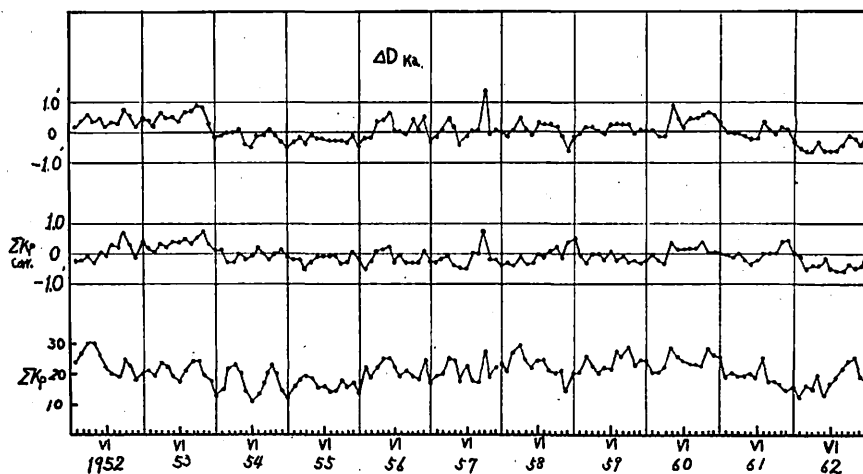


Fig. 30.  $\Delta D$  (the deviations of the monthly mean values of the declination from the mean curve), normalized  $\Delta D$  at  $\Sigma K_p=20$  and  $\Sigma K_p$ . (Kakioka)

乗法によって求めたものである。最大に離れた  $1.3'$  の値は、水平分力と同じく 1957 年 9 月である。この平均曲線からの偏差  $\Delta D$  と  $\Sigma K_p$  の関係を第 29 図の上のほうに、1 か月後偏差  $\Delta D$  と  $\Sigma K_p$  との関係を下のほうに示した。上のほうの係数  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  は  $0.07'/1$ 、下は  $0.025'/1$  で、日平均値から求めた値  $0.05'/1$  より少し大きい。これらの食い違いは水平分力と同じことに原因するのであろう。

第 30 図は偏差  $\Delta D$  のほかに  $0.07'/1$  の係数を用いて  $\Sigma K_p=20$  の値に換算したものである。値自身が小さいので、この補正はかなり有効であり、変動は約半分になっている。そして 1 年間の  $\Sigma K_p$  との対応も小さくなっている。

$\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  の毎年の変化を示すため第 31 図に 1952 年から 1962 年までの  $\Delta D$  と  $\Sigma K_p$  の関係を示した。水平分力と同じく、毎年に分けると分散が小さくなり、



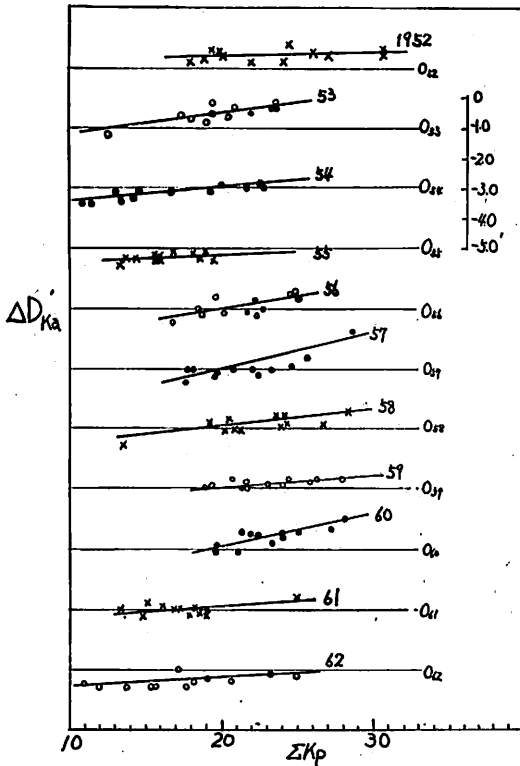


Fig. 31. The relationship between  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  and  $\Sigma K_p$  for the period 1952-1962. (Kakioka)

$\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  は正確に求められる。  $\Sigma K_p$  が 30 以上になると、  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  は大きくなるが、水平分力ほどめいりようではない。しかし水平分力の係数  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  が大きい年は同じように  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  も大きい。

経年変化についてはほかの成分と一括して第 49 図に示した。水平分力と同様に  $\Sigma K_p=20$  のときの  $\Delta D$  の値および  $\Delta D=0$  のときの  $\Sigma K_p$  の値も示した。これらの値にはいずれも目立った変化はみられない。

以上のように月平均値も少なからず外部じょう乱磁場の影響を受け、  $\Sigma K_p$  と相関があるが、定量的には日平均値から求めた係数とは一致しない。経年変化の場合についても日平均値から求めたものよりはるかに大きい。

鹿屋は柿岡とほぼ同じ特性を有しているが、女満別はかなり大きい違いになっている。そしてこれは月平均値の地点差にも現われる。とくに偏角は経年変化と日平均値の変化の比がはなはだしくずれているため、月平均値

については女満別と他の地点差は複雑である。これらについては第 4 節で再び取り扱う。

### 3.3 鉛直分力の月平均値

水平分力と同じ方法で特性を求めた。第 32 図は柿岡の月平均値を示している。これによると月平均値の平均曲線からのずれは  $\pm 4\gamma$  程度である。大きいあらしのあったときでも  $5\gamma$  ずれることはない。平均曲線からの偏差  $\Delta Z$  と  $\Sigma K_p$  の関係を第 33 図に示した。これから

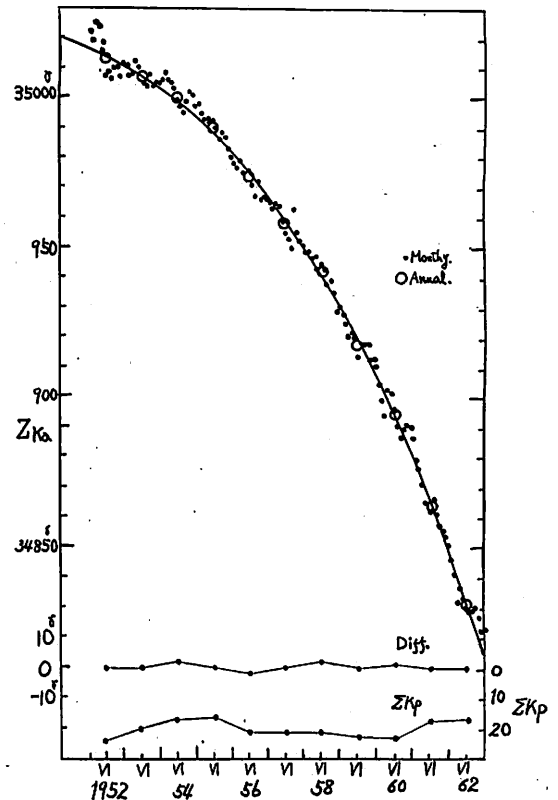


Fig. 32. The monthly and annual mean values of the vertical intensity at Kakioka. The middle curve shows the deviations of the annual mean values from the mean curve.

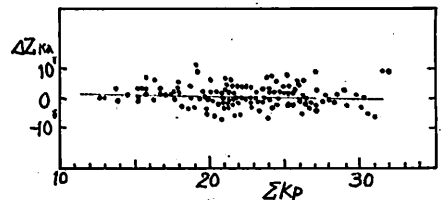


Fig. 33. The relationship between  $\Delta Z$  and  $\Sigma K_p$ . (Kakioka)

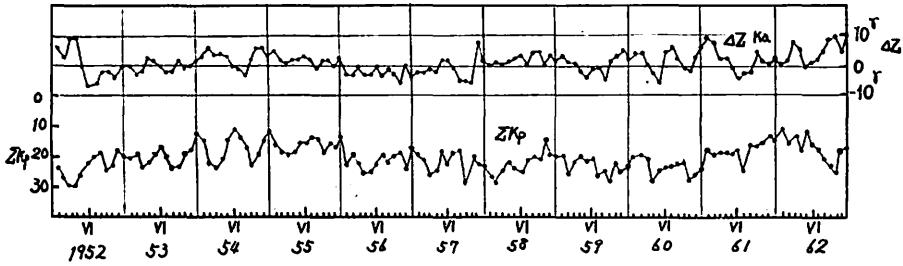


Fig. 34. The variation of  $\Delta Z$  and  $\Sigma K_p$  for the period 1952-1962. (Kakioka)

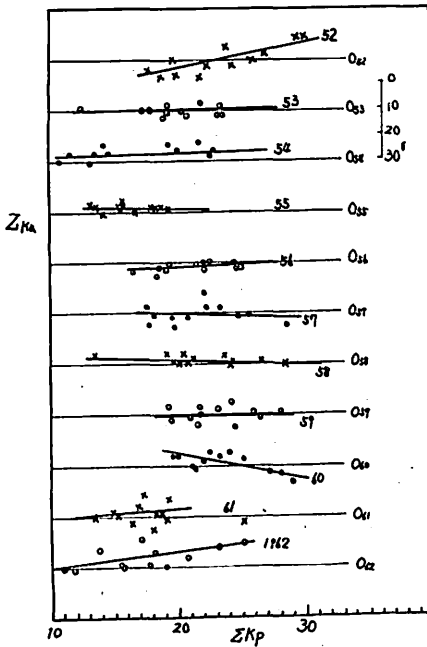


Fig. 35. The relationship between  $\frac{\Delta Z}{\Sigma K_p}$  and  $\Sigma K_p$  for the period 1952-1962. (Kakioka)

両者の間にはほとんど関係のないのがわかる。 $\frac{\Delta Z}{\Sigma K_p}$  は  $-0.10\gamma/1$  となる。これは日平均値から求めた値に近い。

鉛直分力は  $\Sigma K_p$  との関係がほとんどないから、ほかの成分のように一定のじょう乱の値に換算の必要がない。第 34 図は偏差  $\Delta Z$  と  $\Sigma K_p$  とを示してあるが、相関のありそうな年がなくもない。

念のためほかの成分と同じく、各年に分けて偏差  $\Delta Z$  と  $\Sigma K_p$  との関係を求めて第 35 図に示した。各年ごとの分散は小さくなるが、 $\frac{\Delta Z}{\Sigma K_p}$  の経年変化を議論するほ

どのものではない。水平分力や偏角ほどの規則的变化はみられない。1952 年は精度があまりよくないので確かでなく、これを除くと値が小さいところでは正、大きくなると負になる傾向がある。これは日平均値の場合と逆である。

以上のように鉛直分力の月平均値は外部じょう乱磁場にほとんど影響されない。したがって地点差なども短時間では一定である。ただ現在日本付近の鉛直分力の経年変化はきわめて大きいので、その影響が現われてくるから、資料の取り扱いには注意が必要である。

### 3.4 まとめ

月平均値は日平均値と同じく外部じょう乱の影響を受ける。これは経年変化が加わるため割合複雑になっている。第 3 節のことをまとめると次のようになる。

(1) いずれの成分も日平均値と同じく  $\Sigma K_p$  と相関がよい。この係数は 1952 年から 1962 年の平均では、 $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p} = 2.2 (0.8)\gamma/1$ ,  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p} = 0.07 (0.025)'/1$  および  $\frac{\Delta Z}{\Sigma K_p} = -0.1 \gamma/1$  で、日平均値から求めたものよりいずれも大きい。

(2) これらの係数の経年変化はきわめて大きい。

(3) 月平均値でも  $\Sigma K_p$  の変動は一か月後の値にまで影響を与える。これらの間には (1) 式の関係がほぼ成立する。

(4) 月平均値を  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  などの係数を用いて、一定の  $\Sigma K_p$  に換算してもあまりよい結果は得られない。これは (2) のためである。

(5) 柿岡の資料についてのみ調査したが、女満別や鹿屋についてほぼ同じで、さらに第 4 節で地点差のところて述べておく。

なお、世界の資料について調査すれば、さらに興味ある結果が得られることであろう。

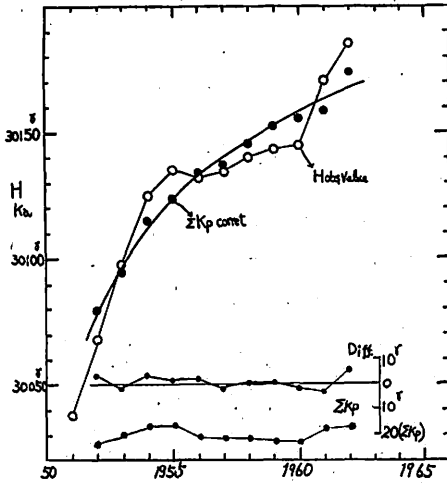


Fig. 36. The annual mean values of the horizontal intensity and their normalized values at  $\Sigma K_p=20$  (black circle) at Kakioka, 1952-1962. The middle curve shows the differences between the normalized values and their mean curve.

#### 4. 地磁気年平均値の変化

月平均値の追加調査を合わせて述べ、かつ地点差のところで、女満別や鹿屋の月平均値のことも取り扱っている。

##### 4.1 水平分力の年平均値

柿岡の1952年から1962年の年平均値をみると、かなり不規則な変化をしている。1956年から1960の5年間は、経年変化が小さくなっている。この付近は太陽黒点の最大期で  $\Sigma K_p$  の年平均値が大きい。 $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  は経年変化が大きいが、平均値として第25図から得られた平均曲線を用い、1952年から1962年の  $\Sigma K_p$  の年平均が20.1であることから、 $\Sigma K_p=20.0$  の値に換算した。第36図は観測値、 $\Sigma K_p=20.0$  に換算した値、平均曲線を示し、さらに換算した値と平均曲線との差および  $\Sigma K_p$  を下のほうに追加して書いてある。これによるとほとんど補正は完全であろう。各年ごとの  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  (第26図) の値を用いて補正しても、それほどよくはならない。それはもともと  $\Sigma K_p$  の経年変化が16.4~23.4で、割合に小さく係数の変化はそれほど影響しないからである。

平均曲線と  $\Sigma K_p=20$  に換算した値との差は、1962年の5rを除けば3r以内できわめて小さい。

また絶対値そのものは、日平均値のところでも述べたよ

うに20~25rの外部磁場のじょう乱をうけている。経年変化では  $\Sigma K_p$  の変化、正しくは外部じょう乱磁場の影響の変動だけが現われている。

赤道地方では、絶対値そのものは約30rのじょう乱を常に受けており、太陽黒点の消長の変化に比例して、経年変化は約35rの変動を受けている。これは全世界的なもので、外部じょう乱磁場がほぼ  $\cos \theta$  に比例しているから、決して無視できる小さい量ではない。

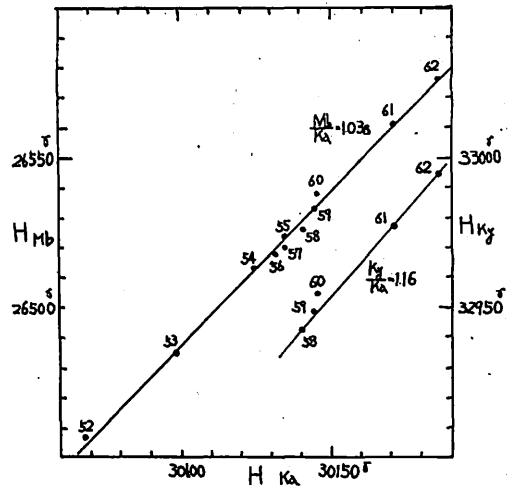


Fig. 37a. The relationship between the annual mean values of the horizontal intensities at Memambetsu, Kakioka and Kanoya.

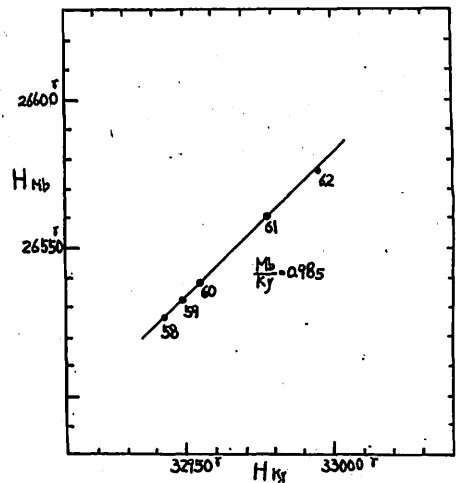


Fig. 37b. The relationship between the annual mean values of the horizontal intensities at Memambetsu and Kanoya.

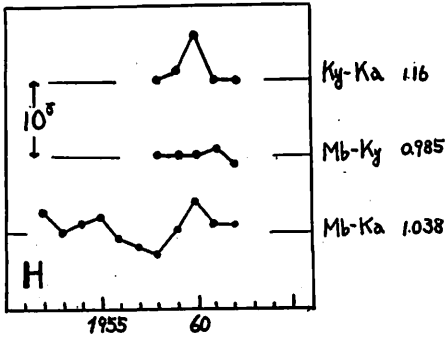


Fig. 38. The deviations in ordinate from the mean lines in Fig. 37a and b.

次に年平均値の女満別・柿岡および鹿屋の比較をしてみる。日平均値の場合と同じように、第 37 図に比をとって見た。女満別や柿岡は 1958 年の値の器差や局地量 (Locality) に基準化させてある。これによると平均直線からの偏差はきわめてわずかで、かなりの長い間これら三つの観測所の経年変化の比は一定である。この関係をはっきり見せるため第 38 図に各観測所の経年変化の比と平均直線からの偏差を示した。この偏差は 1960 年が最大で  $Ky-Ka$  で  $6\gamma$ 、 $Mb-Ka$  で  $5\gamma$  である。これは 1960 年の柿岡の水平分力の年平均値が平均の状態より  $6\gamma$  小さいことを意味する。それ以外の年では  $2\sim 3\gamma$  ずれているだけで、この程度の差は絶対観測の限界からくるものかもしれない。

この特性は日本付近のものだけかもしれないが、従来の磁気測量の結果などから求められている経年変化の日本付近の分布はこの結果と少し異なる。それは磁気測量の測定精度でなく、一定時期に換算する方法に誤差があるためと考えられる。これについては第 2 報で述べた。

次に経年変化を考えに入れて、月平均値の二つの観測所の変化比を求めた。もともと月平均値は日平均値ほどの大きい変動がないので、その変化比はあまり正確でない。第 2 表にその結果を示した。(1.00) と表示してあるのはあまり信頼できない値であるので、平均から除外した。この平均は日平均値から求めた値によく一致する。

この三つの変化比は第 3 表のようになる。

もし三者が同じく 1.00 であれば問題は簡単で、第 37 図の平均直線からの偏差は、外部じょう乱磁場の影響を受けないことになる。しかし実際には経年変化が異なる。

Table 2. The ratio of the variation of monthly mean value of horizontal intensity at Memambetsu, Kakioka and Kanoya.

Year	$Mb/Ka$	$Ka/Ky$
1952	0.95	—
1953	(1.00)	—
1954	(1.00)	—
1955	0.90	—
1956	1.02	—
1957	0.90 <sub>s</sub>	—
1958	0.95	0.98 <sub>s</sub>
1959	0.95	0.98 <sub>s</sub>
1960	0.85	0.89
1961	0.95	0.98
1962	0.90	0.98 <sub>s</sub>
mean	0.93	0.97

Table 3. The mean values of ratio of the variation of daily, monthly and annual mean value of horizontal intensity at Memambetsu, Kakioka and Kanoya.

Ratio	Daily	Monthly	Annual
$Mb/Ka$	0.92	0.93	1.03 <sub>s</sub>
$Ka/Ky$	0.98	0.97	0.86 <sub>2</sub>

二つの観測所間では外部じょう乱磁場の緯度効果と、経年変化の変化比が異なるため、外部じょう乱磁場が大きく変化すると、第 37 図の平均直線からの偏差は大きくなる。 $\Sigma K_p$  の経年変化の示すように、幸い外部じょう乱磁場はあまり経年変化しないから第 38 図のように偏差は小さい。

月平均値では  $\Sigma K_p$  の変化も大きく、外部じょう乱磁場もかなり変化するので、二つの観測所の地点差は変動する。第 39 図は月平均値について単なる地点差  $\Delta H (Mb-Ka)$ 、 $\Delta H (Ky-Ka)$  のほかに第 37 図に示してある経年変化の変化比の平均直線からの偏差の縦軸方向の量  $\Delta H (Mb-Ka)_{sec}$ 、 $\Delta H (Ky-Ka)_{sec}$  を加えた。さらに第 8 図のようにして求めた日変化の変化比を  $\frac{Mb}{Ka} = 0.92$ 、 $\frac{Ky}{Ka} = 1.02$  とし、第 37 図の年平均値 (生の値の位置、●印 (年号)) を通り、0.92 および 1.02 の傾斜を有する直線を引き、毎月の平均値をプロットしてこの直線からの偏差を求めた。この値は経年変化が大きい年では、その影響は  $2\sim 3\gamma$  になるので、その分も補

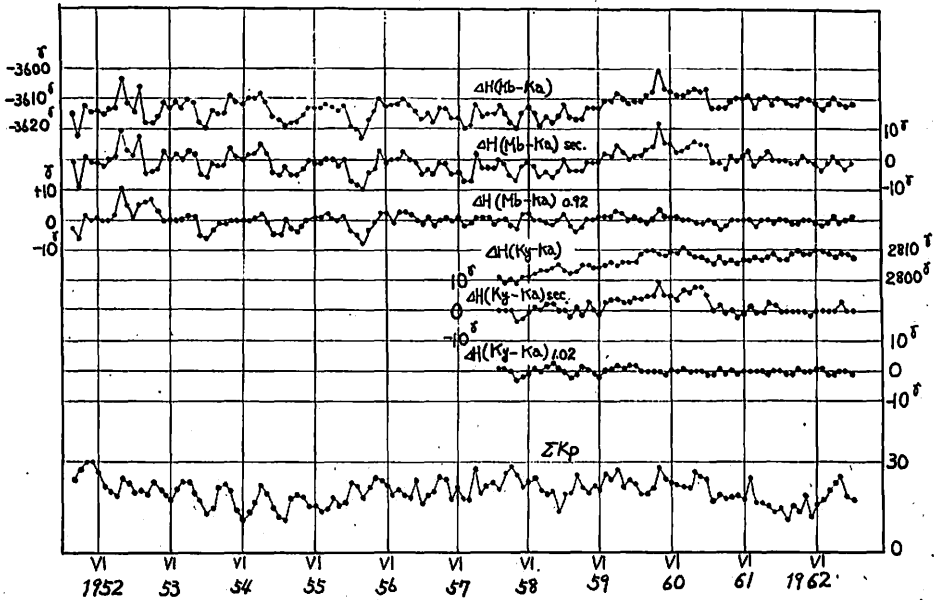


Fig. 39. The variation of difference of monthly mean values  $\Delta H(Mb-Ka)$  and  $\Delta H(Ky-Ka)$  of the horizontal intensities between Memambetsu, Kakioka and Kanoya, and their corrected values  $\Delta H(Mb-Ka)_{sec}$ ,  $\Delta H(Ky-Ka)_{sec}$ ,  $\Delta H(Mb-Ka)_{0.92}$  and  $\Delta H(Ky-Ka)_{1.02}$  for secular and daily variations, and  $\Sigma K_p$ .

正して求めた。この値を  $\Delta H(Mb-Ka)_{0.92}$  および  $\Delta H(Ky-Ka)_{1.02}$  の折線で示した。

この第 39 図をみると  $\Delta H(Mb-Ka)$  と  $\Delta H(Mb-Ka)_{sec}$  また  $\Delta H(Ky-Ka)$  と  $\Delta H(Ky-Ka)_{sec}$  とは変わりなく、ただ経年変化の差によるゆるい変化が  $\Delta H(Mb-Ka)_{sec}$  などでは消えているにすぎない。そしてこれらにはまだ外部じょう乱磁場の影響がかなりはいつている。しかし  $\Delta H(Mb-Ka)_{0.92}$ ,  $\Delta H(Ky-Ka)_{1.02}$  のように補正するときわめて一定になる。前者は女満別の観測精度のよくない期間で 8~10 $\gamma$  の差があるが、1956 年以降はきわめて一定し 3 $\gamma$  以上の変動はない。 $(Ky-Ka)_{1.02}$  の値では 3 $\gamma$  の差が 2 こあただけでそれ以外は 2 $\gamma$  以下で非常に一定である。これらの変動は観測精度から起るものである。

また  $\Delta H(Mb-Ka)$  や  $\Delta H(Ky-Ka)$  の値は、もし年平均値の平均曲線から月平均値が 100 $\gamma$  小さくなるとそれぞれ 10 $\gamma$ , 13 $\gamma$  と大きくなる。実際には第 25 図で示されるように特別なじょう乱でも 50 $\gamma$  であり、平均では 25 $\gamma$  である。したがって  $\Delta H(Mb-Ka)$  や  $\Delta H(Ky-Ka)$  の変動は平均で 4 $\gamma$  程度になっている。すなわち外部じょう乱磁場は女満別・柿岡および鹿屋の月平均値

の地点差を 4 $\gamma$  くらい変動させている。

吉松<sup>(10)</sup>は 1954 年から 1959 年の女満別・柿岡および鹿屋の水平分力や鉛直分力の月平均値と地震との関係を研究している。彼は外部じょう乱磁場の影響を除くため、12 か月の移動平均からの偏差ととり、さらに経年変化の差を除去するため、比例関係からの偏差を求めた。彼の求めた値は第 39 図や第 48 図の値と一致しており、またいろいろな係数も著者の求めたものに近い値である。彼によれば、この偏差と地震との関係では、2 $\gamma$  以下の小さい変動量の値を論じなければならない。したがってこの目的のためには、さらによい性能の磁気儀と、別な観測値の整理法の開発が必要になってくる。

このように水平分力の経年変化はかなり外部じょう乱磁場の影響を受けており、その取り扱いを慎重にやらねばならない。変化比は日本付近ではかなり長年月一定で、それを利用するといろいろな解析に便利である。月平均値については  $-\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  での補正は有効でないが、地点差が日平均値と同じ特性を有することから、月平均値そのものの変動は、外部じょう乱磁場にだけ影響を受けていると考えられるであろう。

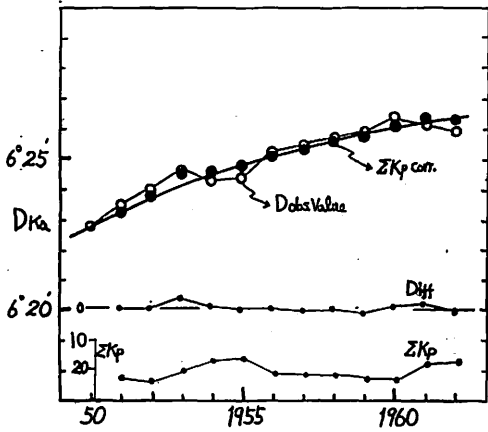


Fig. 40. The annual mean values of the declination and their corrected values for  $\Sigma K_p$  at Kakioka, 1951-1962. The middle curve shows the difference between the corrected values and the mean curve.

#### 4.2 偏角の年平均値

水平分力と同様に偏角の経年変化も外部じょう乱磁場の影響を受けている。第40図は1951年から1962年の経年変化の値、第29図の係数を用い  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  の補正をして  $\Sigma K_p = 20$  に換算した値、および平均曲線と換算した値との差を示す。この差は1953年は  $0.3'$  で最大で、他は  $0.1'$  以下で、補正は完全といえるであろう。各年ごとの  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  の値で補正してもほとんど変わりはない。係数自身が小さくかつ  $\Sigma K_p$  の経年変化も小さいからである。

このことは外部じょう乱磁場の変動が、経年変化に影響を与えているためであり、もともと日平均値のところで述べたように柿岡では約  $0.9'$  (西偏) だけ絶対値が常に影響をうけている。これは女満別では  $1.2'$ 、鹿屋では  $0.7'$  で少ない量でない。世界分布からいえば、 $60^\circ$  より低緯度では、ヨーロッパ北部・南米の南が最も大きく  $2.0'$  に達する。この地域では経年変化に対して、外部じょう乱磁場の変動は柿岡の2倍の影響を与えている。

次に年平均値の女満別・柿岡および鹿屋の比較をしてみる。水平分力と同じく経年変化の比を第41図に示した。これによると水平分力のように単純な関係がない。女満別と柿岡についてはほぼ比例関係があるが、分散が大きい。もともと経年変化が小さいので目盛りを拡大してあるが、それでも水平分力の2~3倍の分散になって

いる。1952, 1953年はかなり離れた値になっている。これは女満別の局地量 (Locality) の補正の不完全さも原因していると考えられる。

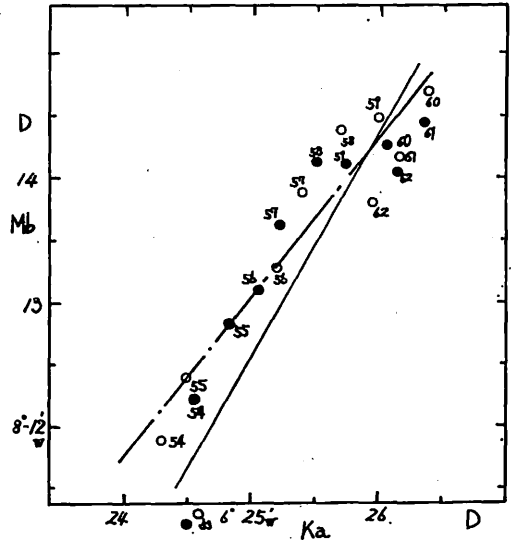


Fig. 41a. The correlation between the annual mean observed and corrected values of the declinations at Memambetsu and Kakioka.

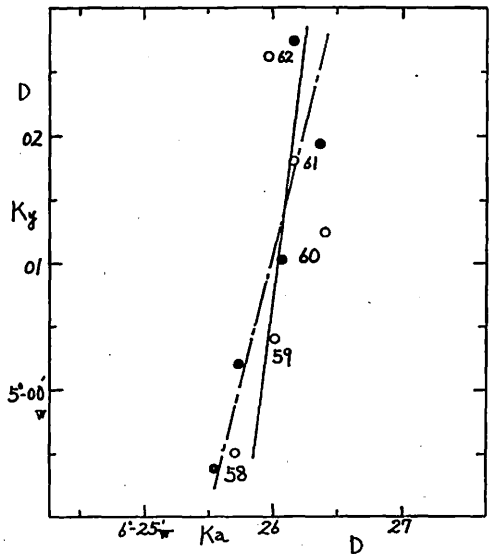


Fig. 41b. The relationship between the annual mean observed and corrected values of the declinations at Kanoya and Kakioka.

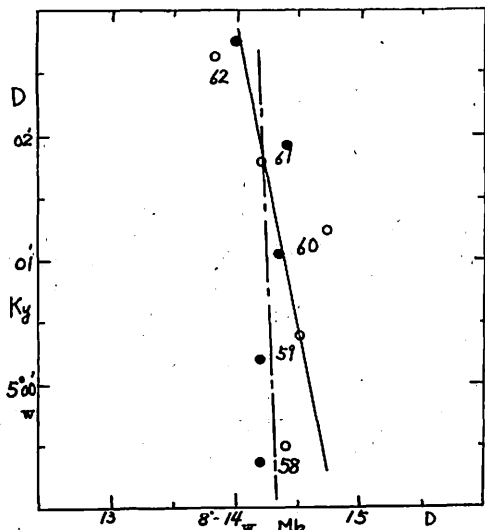


Fig. 41c. The relationship between the annual mean observed and corrected values of the declinations at Kanoya and Memambetsu.

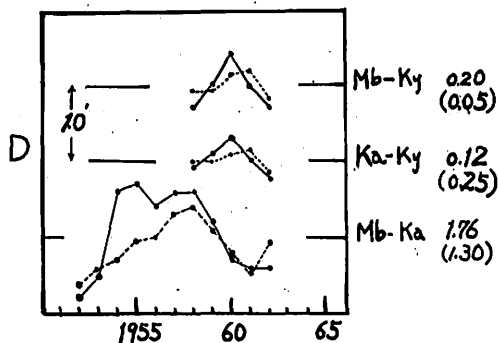


Fig. 42. The deviations in ordinates from the linear relations in Fig. 41a, b and c. The solid lines represent observed values and dotted ones corrected values.

この第 41 図の ○印は観測値である。●印は次のような値である。偏角日平均値の変化比は  $\frac{\Delta D_{Mb}}{\Delta D_{Ka}} = 1.36$ ,  $\frac{\Delta D_{Ky}}{\Delta D_{Ka}} = 0.72$  である。第 41 図でわかるように経年変化はこれとはなだしくずれて、分散も大きい。この両者間の差を除くため、第 40 図で  $\Sigma K_p = 20$  に換算した量に、それぞれ 1.36, 0.72 倍した量を女満別・鹿屋の換算量として、 $\Sigma K_p = 20$  のときの年平均に引きもどしたものが ●印である。この値では分散がかなり小さくなる。

第 42 図には各観測所の経年変化の比と平均直線からの差を示した。第 41 図で実線は観測値○印、点線は補正した値●印の平均直線を示している。この図では鹿屋に対する比は第 41 図の逆数で示してある。( )印は補正した値に対する比である。偏差は分散が大きい、補正前は Mb-Ka が  $-0.8 \sim 0.7'$  他は  $-0.3 \sim 0.4'$  であるが、補正すると  $-0.4 \sim 0.4'$ ,  $-0.2 \sim 0.2'$  となり小さくなる。

このように日本では現在、偏角の経年変化が小さいが、 $\Sigma K_p$  を補正して一定の値に換算すると、各観測所では経年変化の变化比はほぼ一定になる。また 1960 年ごろは女満別や柿岡は西偏で最大値に達しているが、鹿屋では  $1'/\text{year}$  の割合大きい経年変化をしている。

かつて、偏角の絶対観測だけを 1 日数回行ない、それを毎週 1 回くりかえす“偏角経年変化観測所”が大泊(緯度  $46^\circ 38' N$ , 経度  $142^\circ 16' E$ )・仁川(緯度  $37^\circ 30' N$ , 経度  $126^\circ 28' E$ )などにあつたので、観測年次が古いと比較してみた。毎時値から求めた年平均値と異なるので精度が少し劣るが、約  $1'$  の幅で経年変化は直線関係にある。

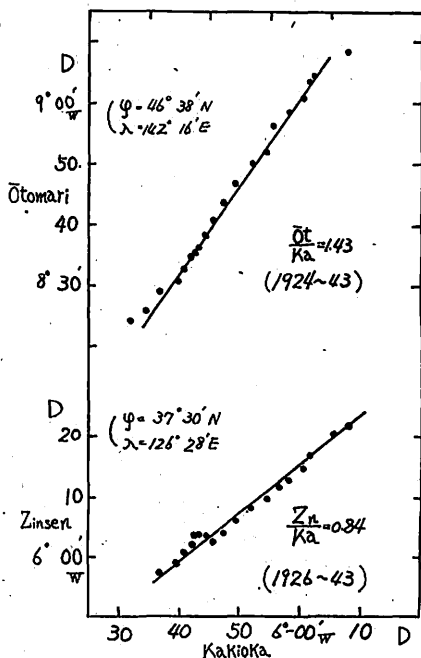


Fig. 43. The relationship between the annual mean values of the declinations at Ōtomari (Sakhalin), Zinsen (Korea) and Kakioka.

大泊	1924~1943	$\frac{\text{大泊}}{\text{柿岡}}$	1.43
仁川	1926~1943	$\frac{\text{仁川}}{\text{柿岡}}$	0.84

なお、経年変化は同じ期間、柿岡ではそれぞれ 32', 27' あった。したがってこの係数は正確に求められている。

このころと 1960 年ころを同時に比較できないが、日本付近ではかなりの長い間経年変化の地理的分布は変わらないものと考えられる。とくに大泊と柿岡との比が 1.43 であり、女満別と柿岡の比も大きく 1.30 であることは興味深いことである。仁川と柿岡の比が 0.84 なのに対し、鹿屋と柿岡の比が 10 に近く非常に大きいのは、1960 年ごろに柿岡や女満別が西偏最大値に達しているため、これ自身も興味のあることであろう。

参考までに第 43 図に大泊と仁川の年平均値と柿岡の値との比較を示した。

次に経年変化を考慮に入れて、月平均値の二つの観測所の変化比を求めた。偏角は水平分力以上に月平均値の変化が少ないので変化比は正確に求められない。とくに経年変化が大きいためその補正が不完全になりやすい。この値を第 4 表に示した。

これらの三つの変化比を列記すると第 5 表のようになる。

水平分力と同様に日平均値と月平均値の変化比は一致する。

水平分力のように日、月平均値と年平均値の変化比がそれほど差がなくとも、月平均値の地点差は、外部じょう乱磁場の影響を受けているから、偏角の場合では

Table 4. The ratio of the variation of monthly mean value of declination at Memambetsu, Kakioka and Kanoya

Year	Mb/Ka	Ky/Ka
1952	—	—
1953	1.30	—
1954	1.38	—
1955	(1.40)	—
1956	1.40	—
1957	1.20	—
1958	1.25	0.75
1959	1.25	0.60
1960	1.42	0.80
1961	1.35	0.75
1962	1.25	0.82
Mean	1.35	0.75

Table 5. The mean values of ratio of the variation of daily, monthly and annual value of declination at Memambetsu, Kakioka and Kanoya.

ratio	Daily	Monthly	Annual
Mb/Ka	1.36	1.35	1.76(1.30)
Ka/Ky	1.39	1.33, ( $\frac{1}{0.75}$ )	0.12(0.25)

$\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  の係数が小さくても、割合に大きい変動が現われてくる。

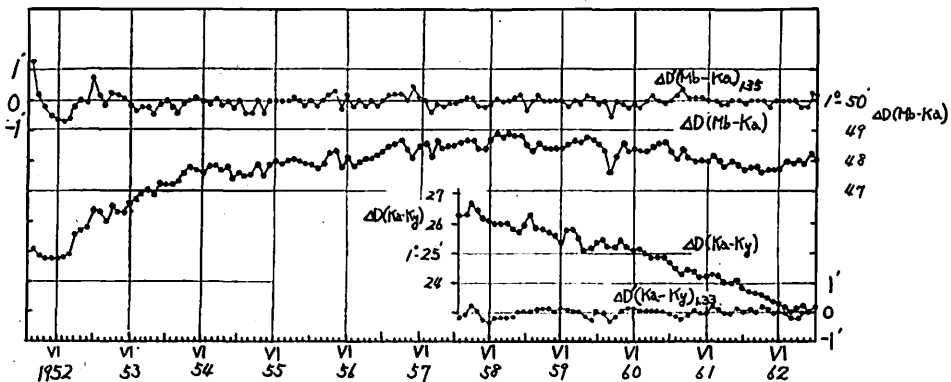


Fig. 44. The variation of differences of monthly mean values  $\Delta D(Mb-Ka)$  and  $\Delta D(Ka-Ky)$  of the declinations between Memambetsu, Kakioka and Kanoya and their corrected values  $\Delta D'(Mb-Ka)_{1.35}$  and  $\Delta D'(Ka-Ky)_{1.33}$ .



第44図には、単なる二地点の差  $\Delta D(Mb-Ka)$ ,  $\Delta D(Ka-Ky)$  のほかに、月平均値の変化比を 1.35, 1.33 (0.75)としてこの平均直線からの偏差に経年変化の補正を加えた値  $\Delta D'(Mb-Ka)_{1.35}$ ,  $\Delta D'(Ka-Ky)_{1.33}$  の折線で示した。この値はきわめて変動が小さく、観測精度の悪い1952年の一部を除けば  $\Delta D'(Mb-Ka)_{1.35}$  は 0.4' 以上の値にほとんどならない。とくに  $\Delta D'(Ka-Ky)_{1.33}$  については 0.3' に達する値は2こあっただけである。したがってこの変動はおそらく観測精度から起こるものと考えられる。単なる差  $\Delta D(Mb-Ka)$ ,  $\Delta D(Ka-Ky)$  は 0.5~0.7' の変動で大きい。

月平均値の地点差と地球内部の現象などのとの関係を調査する場合は、このことを考慮に入れて外部の影響を取り除いて資料を取り扱う必要がある。

このように偏角も少なからず外部じょう乱磁場の影響を受けており、その緯度効果は大きいので、月平均値の地点差も影響をうける。しかしそれは容易に補正して除去できる。現在そのようにして外部じょう乱磁場の影響を除いた地点差は、観測精度で変動すると考えているが、さらに調査をすすめ吉松<sup>(10)</sup>のような統計も行なってみれば、興味ある結果も得られるであろう。

### 4.3 鉛直分力の年平均値

柿岡の鉛直分力は 1951~1952 年ごろ極大値に達し以

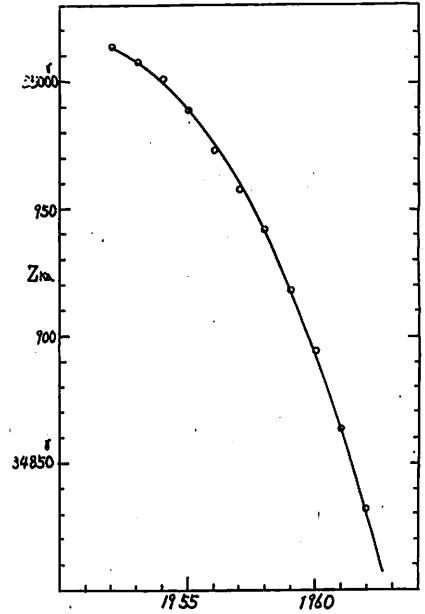


Fig. 45. The variation of annual mean values of the vertical intensity at Kakioka, 1952-1962.

降経年変化の量を加速度的に増加して、絶対値は年々減少している。第32図に示してもあるが、第45図に年平

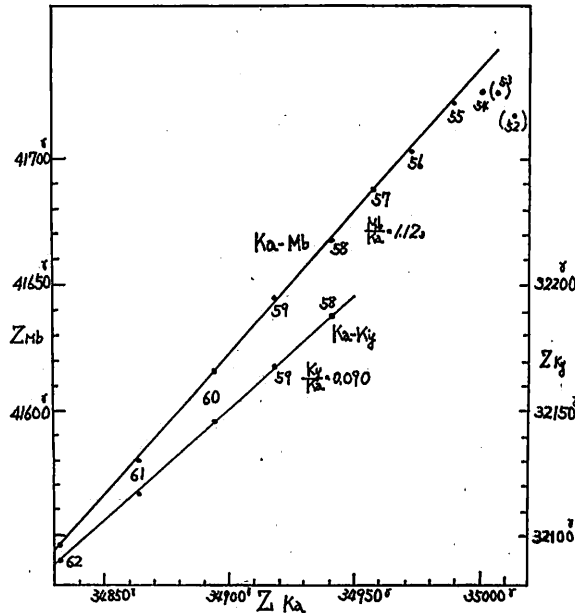


Fig. 46 a. The relationship between the annual mean values of the vertical intensities at Memambetsu, Kakioka and Kanoya.

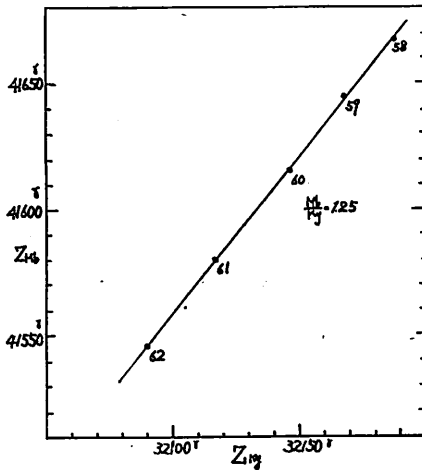


Fig. 46 b. The relationship between the annual mean values of the vertical intensities at Memambetsu and Kanoya.

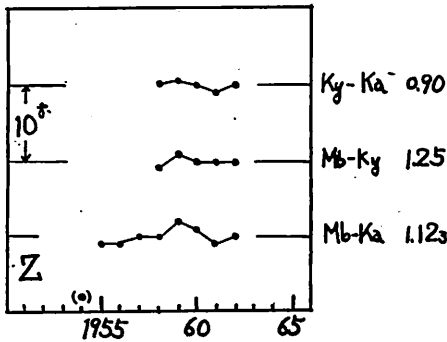


Fig. 47. The deviations in ordinates from the linear relations in Fig. 46 a and b.

均値と平均曲線を示した。この差は  $-2\gamma \sim +2\gamma$  で両者は完全に一致している。もちろんこの差は  $\Sigma K_p$  の年平均値などとは全く関係ない。細かいことをいえば 1956 年ころが平均曲線より小さい値になっている。

年平均値が外部じょう乱磁場の変動の影響を受けないのは日、月平均値の場合と同じである。最大に見積もってもその変動は  $1\gamma$  にならない。そして絶対値としては平均で  $3\gamma$  の外部じょう乱の影響が常にある。赤道ではこの量は  $0\gamma$  であるが、高緯度になると大きくなり、 $60^\circ$  で約  $10\gamma$  に達し、その変動も  $2\sim 3\gamma$  に達すると推定される。この量を高緯度の観測所の資料から直接検出することを試みたが、観測精度が十分でないため困難であった。

次に年平均値について女満別・柿岡および鹿屋の比較をした。第 46 図はその変化比を示している。各観測所

Table 6. The mean values of ratio of the variation of daily, monthly and annual mean value of vertical intensity at Memambetsu, Kakioka and Kanoya.

	Daily	Monthly	Annual
$Mb/Ka$	1.02	1.0	1.12 <sub>a</sub>
$Ka/Ky$	1.00	1.0	1.11

とも非常によく一致しており、その平均直線からの偏差は第 47 図に示すように 1952~1954 年以外では、1959 年で  $2\gamma$  ずれているのみでその他は  $1\gamma$  以内で一致している。これらは 1952~1954 年の女満別の観測精度が悪く、かつ絶対観測器械がたびたび交換され、器差の補正が十分でなかったこと、鉛直分力が極大期にあったためと考えられる。偏角の年平均値の変化比が極大期の 1960 年ころに分散の大きいことと同じ現象である。

女満別の鉛直分力の経年変化を見ると極大期が 1954.3 年ごろになる。したがって柿岡の極大期 1951.5 年より 2.8 年遅れている。このことは経年変化を取り扱う上ではきわめて興味あることなので、女満別の観測精度を十分再検討し、今後とも研究を進めていきたい。

月平均値自身の変動はきわめて小さいので、他の成分のように二つの観測所の変化比を求めることはできないが、割合変化の大きいところから求めた二つの観測所間の月平均値の変化比は 1.0 になる。まとめると日、月および年平均値の変化比は第 6 表のようになる。

鉛直分力では、二つの観測所の地点差は、単なる差に経年変化の補正をすれば十分である。第 48 図は単なる地点差  $\Delta Z (Mb-Ka)$ 、 $\Delta Z (Ky-Ka)$  および第 46 図の平均直線からの偏差  $\Delta Z' (Mb-Ka)_{sec}$ 、 $\Delta Z' (Ky-Ka)_{sec}$  を示した。これをみると観測精度の悪い 1954~1955 年は変動が大きい、それ以降は値は一定して変動は小さい。 $\Delta Z (Mb-Ka)$  などは経年変化の差のためゆるく変動しているが、 $\Delta Z' (Mb-Ka)_{sec}$  は一定し 1956 年以降では  $5\gamma$  より大きく変動したところはない。とくに IGY 以降の整備された観測設備になってからは  $3\sim 4\gamma$  以内となっている。 $\Delta Z' (Ky-Ka)_{sec}$  については 1958 年の 1 月から 4 月までは変化計の基線値のドリフトなどのため精度が落ちて少し変動がある。しかし最も大きいところが 1961 年 8 月の  $-4\gamma$  だけで、そのほかはすべて  $3\gamma$  以下で一定している。これは水平分力にくらべて若干大きい、予想以上に小さい量である。そしてこれらは、やはり観測精度からくる変動と考えられ

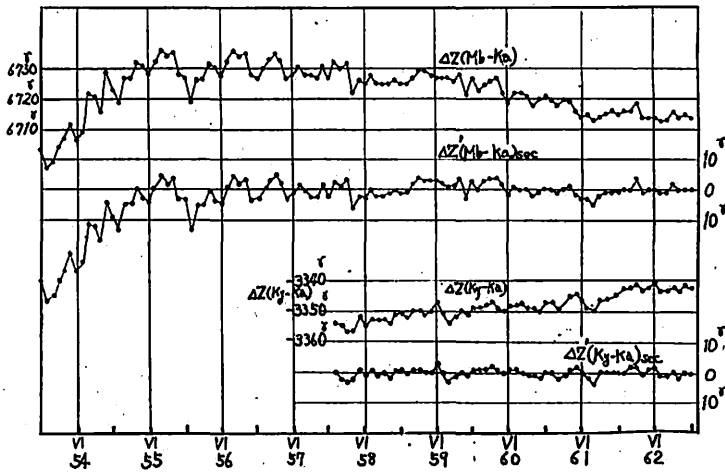


Fig. 48. The variation of differences of monthly mean values  $\Delta Z(Mb-Ka)$  and  $\Delta Z(Ky-Ka)$  of the vertical intensities, between Memambetsu, Kakioka and Kanoya, and their corrected values  $\Delta Z'(Mb-Ka)_{sec}$  and  $\Delta Z'(Ky-Ka)_{sec}$ .

る。女満別・柿岡および鹿屋の相互の距離はほとんど 1,000km で同じで、磁気緯度の差も  $8.1^\circ$  および  $5.5^\circ$  であまり変わらない。したがって、1957 年以前の  $(Mb-Ka)_{sec}$  の変動は、それ以降の変動が少ないことを考え合わせて、観測精度に原因があるといえる。

このように鉛直分力は外部じょう乱磁場の影響をうけることが少ないので、その資料の取り扱いには割合に容易である。また経年変化の変化比も 1.0 に近いから都合よい。ただ 1955 年以降の日本付近の経年変化はきわめて大きく約  $30\gamma$  あるのでこれについての取扱いは注意を要する。

#### 4.4 その他の二、三の調査

すでに述べた 4.2 節と 4.3 節では同一の問題を取り扱った部分がある。第 49 図は月平均値を利用して求めたいろいろな値を一括して図示した。上から第 1 番目は  $\Sigma K_p$  および  $\Sigma K_{Ka}$  の経年変化を示す。第 2 番目は水平分力の経年変化の平均曲線から年平均値がずれる偏差  $\Delta H$  と  $\Sigma K_p = 20.0$  に換算したときの偏差  $\Sigma K_{p, coll}$  を示す。第 3 番目は各年の月平均値と  $\Sigma K_p$  の関係から求めた  $\Delta H = 0$  になるときの  $\Sigma K_p$  の値を示す。第 4 番目は  $\Sigma K_p = 20$  のときの  $\Delta H$  の値を示す。第 5 番目は  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  の値 (実線) と  $\Sigma K_p = 20$  に換算した  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  (点線) を示す。以下偏角と鉛直分力について同じことを示している。この図の中で第 2 番目の  $\Delta H$  と第 3 番目の  $\Delta H$  とは意味が異なるが、3.1 節および 3.2 節などに詳しく説明してある。また鉛直分力については

$\Delta Z = 0$  のときの  $\Sigma K_p$  の値はほとんど意味がないので除いてある。

この図から月平均値から求めた  $\Sigma K_p$  の影響  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$ ,  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  および  $\frac{\Delta Z}{\Sigma K_p}$  (これはめいりょうでないが) の値が大きな経年変化を示していることがわかる。これらの経年変化は  $\Sigma K_p$  が 30 以下のときに、伴野の求めた第 1 表の  $\frac{\Delta H_n}{\Sigma K_p}$  の  $\Sigma K_p$  が 30 以下のときの経年変化よりはるかに大きい。しかし 30 以上のときの経年変化ほど大きくはない。伴野は  $\Sigma K_p$  と水平分力の値の関係が  $\Sigma K_p = 30$  のところで二つに分れる 2 本折線で代表されるといっているが、著者のいうように第 4 図の示す平均曲線で表わしたほうが正確である。とくに  $\Sigma K_p$  の平均の状態 15~20 付近の  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  などの値の変化率は大きいから、注意しなければならない。このような意味では第 49 図の  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  の経年変化も第 1 表の値も一致している。 $\frac{\Delta Z}{\Sigma K_p}$  はあまりはっきりした変化はないが 1958 年ころが最大になる傾向がある。

このような経年変化があると同じように年変化も現われてくる。第 50 図は柿岡の 1952 年から 1962 年の月平均から求めた水平分力・偏角および鉛直分力の年変化を  $\Delta H$ ,  $\Delta D$  および  $\Delta Z$  で表わしている。この値に月平均値から求めた  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  および  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  の補正を行なった値を ●印で示してある。 $\Delta H$  は補正しない前は振幅

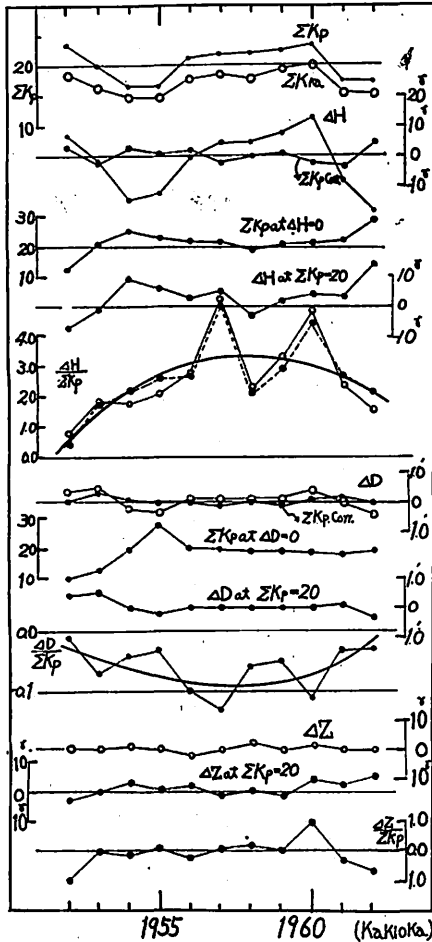


Fig. 49. The secular variations of  $\Sigma K_p, \Sigma K_{ka}, \Delta H, \Delta H$  corrected for  $\Sigma K_p, \Sigma K_p$  at  $\Delta H=0, \Delta H$  at  $\Sigma K_p=20, \frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  (solid),  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  corrected for  $\Sigma K_p=\text{const}$  (dotted),  $\Delta D$  normalized  $\frac{\Delta D}{\Sigma K_p}$  at  $\Sigma K_p=20$ , etc at Kakioka, 1952-1962.

10γの年変化があったが、補正すると振幅3γに減少した。ΔDは0.25'の振幅が0.1'に減少した。ΔZ自身はもともと振幅1.5γで小さく、変化の形は3月と9月が極小になる。参考までにΣKkaとΣKpをのせてある。ΣKkaはあまりはっきりした変化を示していない。

これら外部じょう乱磁場の強さとしてΣKpを用いて代表させているが、それ自身は月平均値になるとその意味が弱くなり、 $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$ などの係数を用いて換算すること

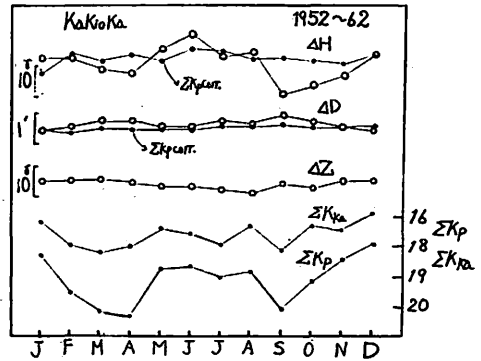


Fig. 50. The seasonal variation of  $\Delta H, \Delta D, \Delta Z$  (white circles) and their corrected values  $\Sigma K_{ka}$  and  $\Sigma K_p$  at Kakioka, 1952-1962.

はあまり推奨されることでない。それは係数の経年変化が大きいという表面上の理由ばかりでなく、本質的にK指数が長い時間に対するじょう乱を表わす量としては適当でないからである。Sugiura<sup>(8)</sup>は赤道Dstの毎時値が $A_p$ ときわめてよい相関があることを述べているが、これはΣKpでやってもかなりよい相関であり、日平均値とΣKpの関係のときのように位相のずれはほとんどない。すなわち短い時間のじょう乱を表わす量としては適当であるが、長い時間に対して十分でない。月平均値になるとさらに相関が悪く、日平均値から求めた $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$

に相当する $\frac{\Delta Dst}{\Sigma K_p}$ の値とあわなくなり、分散も大きい。

したがってこのような係数を用いて換算を行なうより、日平均値などの値そのものの変動を外部じょう乱磁場と考えて資料を取り扱ったほうがよい。とくに日本のように狭い地域での磁気測量の値の斉一化、2地点の観測値の差を用いる調査のときは変動量そのものと、2地点間の変化比を用いたほうが有効である。

次にSugiura<sup>(8)</sup>の赤道Dstの毎時値を用いて調査してみた。彼の求めたDstは、平均磁気緯度22°の低い緯度の8か所の観測所の水平分力の毎時値を用いて計算されたものである。この8か所の中には柿岡も含まれている。

第51図は1958年の1月と2月について柿岡の水平分力の日平均値とSugiuraのDstの毎時値の表から計算された日平均値との関係を示している。比を計算すると静穏なときには比 $\frac{\Delta H_{ka}}{\Delta Dst}$ は0.75で、じょう乱の部分も含めると0.88となる。この値はほかの月でも同じ

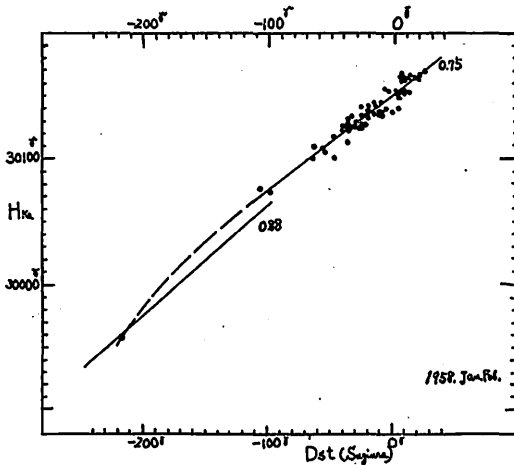


Fig. 51. The daily mean values of the horizontal intensity at Kakioka and those of the equatorial *Dst* (by M. Sugiura).

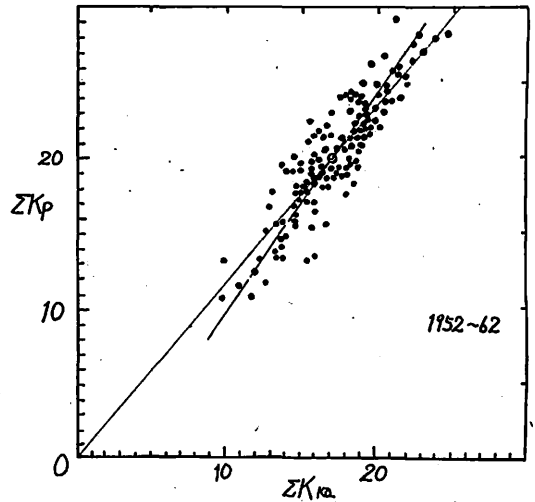


Fig. 52. The relationship between  $\Sigma K_{Ka}$  and  $\Sigma K_p$  (monthly mean value) 1952-1962.

値になる。これは静穏なときのほうが *Dst* の変動が大きいことを意味する。日平均値の2地点の変化比の調査の結果でも、静穏なときは低緯度ほど日平均値の変動が大きい傾向にある事実と一致する。しかしながらこの  $\frac{\Delta H_{Ka}}{\Delta Dst}$  の値は  $\frac{\cos \theta_{Ka}}{\cos \theta_{0q}}$  に等しいはずで、柿岡では、0.90である。実際には静穏なときは0.75ではるかに小さい。このことは日平均値の静穏なときの柿岡・女満別および鹿屋の日平均値の変化比に比較して、その差が少し大きすぎる。2.2節で述べたと同じ考えで説明するには困難と思われる。これについては今後の研究をさらに進めたい。なおこの *Dst* の絶対値は統計期間の平均値を用いて出しているし、各観測所の経年変化がそれぞれ異なるから、それほど意味がない。世界的な磁気測量や、経年変化を議論する場合はこの *Dst* の月平均値や絶対値は重要になる。このためには各観測所の経年変化を十分考慮に入れ、*Dst* の月平均値を算出するならば、それは  $\Sigma K_p$  などとは異なり数値的に利用価値の高いものになるであろう。今まで述べた結果から、 $\Sigma K_p$  などを仲介にすると月平均値と日平均値の変動の様子にはかなりの差のあることがわかる。しかし二つの観測所の変化比を利用すれば日平均値と月平均値は同じ特性をもつことがわかり、いろいろな解析が容易になる。

外部じょう乱磁場の強さの月平均値は第25図の  $\Delta H$  と第30図の  $\Delta D$  を組み合わせれば、ほぼ求まるが、絶対値をあらかじめ加える必要があり、1か所の観測所

の値からは正確に求められない。しかし、第5節の結果を加味すると赤道上で値は、おおざっぱにいて、第25図の  $\Delta H$  の  $0\gamma$  の位置を  $-25\gamma$  にした値と考えるとよい。

参考までに  $\Sigma K_p$  と  $\Sigma K_{Ka}$  の月平均値を比較して、第52図にそれを示した。平均して  $\Sigma K_p$  は  $\Sigma K_{Ka}$  より1.47倍大きい変化を示す。中央の◎印は1952~1962年の平均位置を示し、これと原点を通る直線を書き込んでいるが、両者は比例していないし分散も大きい。また毎年ごとに分けてみると、分散は小さくなるがその比は1.1~1.8と変化し、太陽黒点最大期において値が小さくなり、極小期で大きくなり、 $\Sigma K_{Ka}$  は小さい値になりやすいことになる。第49図でも第50図でも  $\Sigma K_{Ka}$  は  $\Sigma K_p$  に比して変化が小さい。もともと割合高緯度の観測から決められた  $\Sigma K_p$  を低緯度に原因のある現象と直接関係づけることは無理であるが、 $\Sigma K_{Ka}$  の月平均値を用いて  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  などの係数に相当するものを求めると、これの経年変化が多少小さく現われてくる程度で、本質的にいろいろな相関がよくなるということはなく、全般的にいてやはり汎世界的な値である  $\Sigma K_p$  を用いたほうがよい。

#### 4.5 まとめ

月平均値についても合わせて調査してあるが、第4節をまとめると次のようになる。

(1) 年平均値は外部じょう乱磁場により、柿岡では

平均して水平分力  $20\sim 25\gamma$  減少, 偏角  $0.9'$  西偏, および鉛直分力  $3\gamma$  増加の影響を受ける. また外部じょう乱磁場の変動のため水平分力  $30\gamma$ , 偏角  $0.9'$ , および鉛直分力  $1\gamma$  の変動をうけ経年変化が乱される.

(2) (1) の変動は月平均値より求めた  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  などの補正を行なえば, ほぼ除去される.

(3) 年平均値について各観測所間の変化比を求めると, 長時間について一定で平均直線からの偏差はきわめて小さい. 変化比  $\frac{Mb}{Ka}$  および  $\frac{Ka}{Ky}$  はそれぞれ  $H$  1.03<sub>8</sub>, 0.86<sub>2</sub>;  $D$  1.76 (1.30), 0.12 (0.25);  $Z$  1.12<sub>8</sub>, 1.11 である.

(4) 経年変化を補正して月平均値の各観測所間の変化比を求めると次のようになる.  $\frac{Mb}{Ka}$  および  $\frac{Ka}{Ky}$  で表わすと,  $H$  0.93, 0.97;  $D$  1.35, 1.33;  $Z$  1.0, 1.0 である. この値は日平均値から求めた値  $H$  0.92, 0.98;  $D$  1.36, 1.39;  $Z$  1.02, 1.00 に等しい.

(5) (3), (4) の関係を利用して月平均値の地点差の変動を求めると, 外部じょう乱磁場に影響されない量となり, その変動は観測精度がよくなると小さくなり, 1958年以降の変動の幅は  $H \pm 3\gamma$  ( $Ka=Ky$  では  $\pm 2\gamma$ ),  $D \pm 0.4'$  ( $\pm 0.3'$ ) および  $Z \pm 4\gamma$  ( $\pm 3\gamma$ ) できわめて小さい.

(6) 月平均値を利用して  $\frac{\Delta H}{\Sigma K_p}$  などの値の経年変化を求めるときわめて大きい. また長い期間の平均をとるとこれらはすべて小さい値に算出されるので, この係数で補正するには十分な注意が必要である.

(7) Sugiura の  $Dst$  と柿岡の水平分力の日平均値の比較をしたが, 予想より少し小さい変化比になっている.

(8)  $\Sigma K_p$  と  $\Sigma K_{Ka}$  の比較をした. また  $\Sigma K_p$  は短期間の変動はよく表現するが, 長い期間については十分なものでないから, 月平均値や経年変化を論ずるには, 平均曲線からのずれ  $\Delta H$  などのような値そのものを利用したほうがよい.

(9) 外部じょう乱磁場の大きさの月平均値は第 25

図と第 30 図の  $\Delta H$ ,  $\Delta D$  に絶対値 (これは  $\Sigma K_p$  との関係から推定するほかはない) を加えて, 計算すれば求まる. 大雑ばにいて赤道での大きさとしては, 第 25 図  $\Delta H$  の  $0\gamma$  の位置を  $-25\gamma$  と考える量である.

#### 参考文献

- (1) 久保木忠夫 (1963): 技術報告 (柿岡地磁気観測所). 3, 2 (10), 120~246.
- (2) S. Chapman and J. Bartels (1940): "Geomagnetism Vol. 1." Oxford at the Clarendon press., (p. 292-296 参照)
- (3) M. Sugiura (1963): Hourly Values of equatorial  $Dst$  for the IGY. NASA Publication, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, June, 1963.
- (4) A. T. Price (1963): The Noncyclic Variation during Quiet Days. J. geophys. Res., 68, 6383~6389.
- (5) 大田経次郎 (1964): 第 35 回日本地球電磁気学会発表 (1964. 5. 30).
- (6) 伴野登 (1962): 水平分力の減少と  $K_p$  インデックスの関係, 地磁気観測所要報. 10, No. 2, 43~46.
- (7) S. I. Akasofu and S. Chapman (1961): The Ring Current, Geomagnetic Disturbance, and the Van Allen Radiation Belts. J. geophys. Res., 66, 1321~1350.
- (8) S. Chapman and M. Sugiura (1958): Geophysical Institute, AFCRC-TR-58-266.
- (9) 佐野幸三・永井正男・柳原一夫 (1962): IGY 中の磁気あらしの  $Dst$  および  $DS$  の解析 (II). 地磁気観測所要報, 10, No. 2, 1~18.
- (10) 吉松隆三郎 (1962): 地磁気常時観測結果と地震 (1). 地磁気観測所要報, 10, No. 2, 107~117.

(1965年3月2日原稿受理)