

地磁気日変化における局地場

柳 原 一 夫

概 要

地磁気日変化の等価電流系中心付近におけるふるまいを垂直成分を考慮に入れて検討した。静穏日変化の $H-Z$ 面ベクトル図を作り、その南北分布をみると全体の傾斜は中心緯度で垂直になり、南北両側では傾斜が逆になるので中心緯度が容易に求められる。また一時間毎の水平等価電流ベクトルと Z 成分値の観測点間分布を一時間に相当する経度 15° づつずらして画き時間経過を追って分布図を作ると中心緯度附近のふるまいが一層明らかになる。水平等価電流ベクトル分布の渦中心と Z 成分値の負中心とは一致して中心を示す。これらのベクトル図や分布図を各季節平均日変化について求めたものを正常状態と考えると、個々の日では局部的にこの正常状態パターンから著しくずれたものを見出すことがある。これらは局地場あるいは時間的局所場と考えなければならないものである。その著しい例について検討する。

1. は し が き

地磁気日変化はその一つ一つをとってみると、場所的に時間的に相当複雑に変化している。いわゆる擾乱とか地下電気伝導度の異常とかでは考えられないものがあるようである。近接した2地点の日変化の差をとってみても、日により時間により平均的日変化のふるまいからは説明できない差変化がみられる。そしてそれが相当に不規則であることから地下電気伝導異常のために起きたとは考え難い。またもちろん擾乱については相当な考慮を払った上での結果である。このことは更に $\text{rot } \vec{H}$ を求めること⁽¹⁾によって一層明らかになった。ここに \vec{H} は地磁気日変化の水平ベクトルを意味する。日変化が平均的ふるまいをするという仮定のもとに日本附近数地点の日変化から $\text{rot } \vec{H}$ を求めると、 $\text{rot } \vec{H}=0$ とならずに一般に $1 \sim \text{数 } \gamma/100 \text{ km}$ の値がえられる。これは垂直電流があるためではなく、日変化の平均的ふるまいという仮定がやぶられ、日変化等価電流系が形を変えながら不規則に進行していくためと考えられる。あるいは小規模の局地場ができたり消えたりすると考えられるかもしれない。

もしこのように等価電流系が局的にまたは時間的に小規模な変形をする、あるいは局地場が存在するのならば、それは多分垂直成分に大きな影響を与えるであろうと推測される。そこでここでは日変化垂直成分について考究することにする。

地磁気変化の垂直成分は地下電気伝導度異常の影響を受けやすいという欠点があるので、解析研究には不利であると考えられていた。特に短周期変化の擾乱ベクトルは場所毎に異なるきまった特定面内に抱束されることが多い。しかしこれを逆用して日変化に重なる擾乱を分離検出することも可能になるかもしれない。特定抱束面の考えは比較的一様な場について適用できるものであるので、前述のような局地場についてはこれに抱束されない。したがっ

て日変化とか擾乱とかいう区別はさておき、少くとも局地的な場の検出には有効であろう。

日変化の垂直成分も地下電気伝導度異常の影響を受けているらしいことは指摘されているが⁽²⁾、この修飾の程度を越えたものがあれば検討に値する。その一つは日変化等価電流系中心緯度の変動である。中心位置では垂直成分が極大になるはずであるので、垂直成分の分布からも中心位置がわかる。中心緯度の変動は激しいので地下電気伝導度異常の多少の影響を越えて検知される。水平ベクトルのみを考えていたのでは中心緯度附近にある比較的大きな重畳変化⁽³⁾のため等価電流系中心の意味がぼやけてしまうが、垂直成分を考慮することによってややはっきりする。この点について、中心緯度の南側父島に観測点を設けて地磁気3成分の連続観測を開始したのを機会に、検討する。

日変化等価電流系中心緯度は日日変動するが、等価電流系のパターンは大きな目でみればそのまま上り下りするともいえる。局地場があればそのパターンを著しく変えることになる。そのような例を特に垂直成分を考慮して示した。

2. 等価電流系中心緯度附近の $H-Z$ 面日変化

等価電流系中心緯度をはさんで南北に分布する女満別、柿岡、鹿屋、父島4地点 (Table 1) の1971年の地磁気日変化⁽⁴⁾を使った。これは日本標準時24時間について柿岡の K 指数の和 $\Sigma_i K$ を求め、各月毎に $\Sigma_i K$ の小さい5日を地方静穏日として定め、その平均日変化を月毎の静穏日変化 Sq としたものである。non-cyclic change の補正もしてある。

この月別 Sq から季節平均を求め $H-Z$ 面で表示したものが Fig. 1 である。 H は水平

Table 1. List of observatories

	Abbreviation	Geographic		Geomagnetic
		Latitude	Longitude	Latitude
Memambetsu	MEM	43°55'N	144°12'E	34.0°
Kakioka	KAK	36°14'	140°11'	26.0°
Kanoya	KAY	31°25'	130°53'	20.5°
Chichijima	CHI	27°06'	142°11'	17.1°

分力を、 Z は垂直分力を示す。 W は冬(1, 2, 11, 12月)、 E は春秋(3, 4, 9, 10月)、 S は夏(5, 6, 7, 8月)である。図中の数字は日本標準時の時刻をあらわす。座標の原点は0時の値である。

Fig. 1 の $H-Z$ 面日変化からいくつかの興味ある事実を指摘できるが、その一つは等価電流系中心緯度である。等価電流系を地球内部部分外部部分の別なしに日変化磁場全体について考えることにすると、観測からえられた $H-Z$ 面内ベクトルは電流中心の緯度で垂直に立つはずである。そしてその南北両側では傾斜が逆になる。このようにして中心緯度を判定すると季節毎の平均日変化では大体鹿屋(KAY)のあたりにあるといえる。鹿屋より南の父島(CHI)に観測点ができたのでこの判定が容易になった。

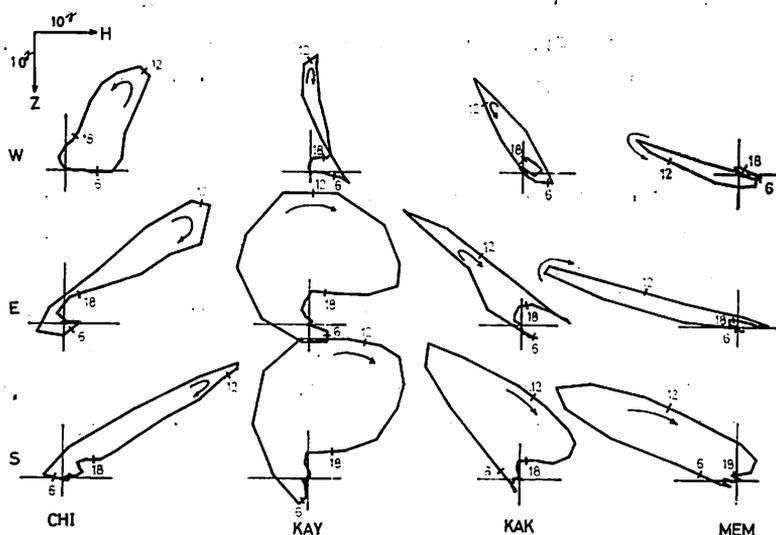


Fig. 1. Vector diagrams in $H-Z$ plane of seasonal mean Sq for 1971 at 4 observatories, Memambetsu (MEM), Kakioka (KAK), Kanoya (KAY) and Chichijima (CHI) which are located in the vicinity of the focus of equivalent current system.

しかし中心緯度と思われる鹿屋の $H-Z$ 面日変化は、冬の場合を除いて左右に極端にふくれている。すなわち H に余分な変化がつけ加わっていること⁽³⁾に相当する。この H の変化によるふくれは冬では南方(図の左側)に寄り、しかも位相が逆転している。すなわち冬の父島では回転方向が逆になっている。夏ではふくらみが北方の柿岡(KAK)や女満別(MEM)にまで及んでいるようにみえる。このふくらみは前論文⁽⁴⁾で指摘したように日変化ダイナモ電流によって生じる静電荷の南北半球不均衡によって磁力線沿いに電流を生じ、そのために余分の磁場ができたとする考えによって説明することができる。前田・松下⁽⁵⁾によれば春秋でも電流系は北半球の方が優勢であるというが、図の春秋の場合もふくらみの様子は夏のものに近い。また冬の場合は南半球電流系の優勢の程度が小さいのでふくらみも小さくなったのであろう。夏冬で H 変化の向きが逆になる(図では回転方向が逆になる)のは磁力線沿い電流の向きが逆になるからである。しかし夏冬でふくらみを示す領域が北や南にずれるのはもう少し検討しなければわからない。

この余分の変化があるため、 H だけから等価電流系中心緯度を求めるのはやや困難であったが、 Z 成分を考慮することにより $H-Z$ 面日変化全体の傾斜をみてその判定が容易になった。

次に目につくのは夕方と朝方の特有な変化である。例えば図の春秋の場合をみると夕方 18 時過ぎを中心として左側に大きくへこんでいる。朝方は丁度これと反対に右側にでっ張っている。左右すなわち H の変化とみるよりも上下すなわち Z の変化に着目すべきかもしれない。夕方は Z 負すなわち上向きの変化、朝方は Z 正すなわち下向きの変化といえ

る。これは春秋のみならず全体についてみられるようである。Zに顕著な変化があることは相当局所的なもの、すなわち朝あるいは夕という限られた地域におこるのかもしれない。例えば電離層トロイダル磁場⁽⁶⁾が朝夕の電気伝導度減少域でもれ出したものであるかもしれない。

日変化等価電流系中心位置は日日変動し、Fig. 1 に示した平均から大きくずれることもある。このようにずれた日の H-Z 面日変化パターンを極端な日について考えてみよう。この場合 1971 年は必ずしも適当ではない。可なり静穏な年であるとはいえ個々の日については擾乱の残っていることが多く適当な静穏日を見つけるのが困難であった。それでもっとも近い静穏年の 1964 年から例を引き出した。Fig. 2 に 1964 年 1 月 15 日の H-Z 面日変化を示す。このときはまだ父島の観測はない。図の下段には Fig. 1 の冬のものと比較のため示した。この日は $\Sigma K_i=4$ で比較的静穏であり等価電流系中心は極端に北にずれていた。

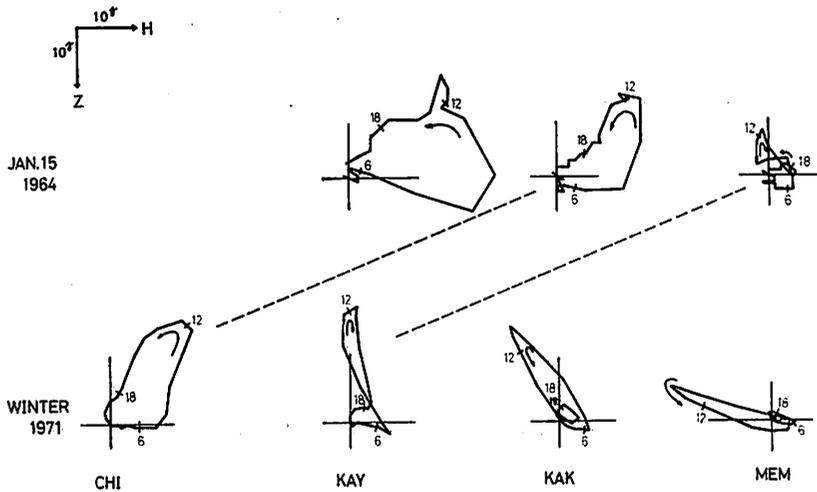


Fig. 2. Vector diagrams in H-Z plane of daily variation on January 15, 1964 (upper) and of the winter mean Sq in 1971 (lower). Northward shift of the current system is considerable on the day.

一日だけの日変化が多少ギクシャクしているのはやむをえないが、全体としてのパターンをみると、1964 年 1 月 15 日の例は下段に示した冬の平均日変化のパターンを北にずらしたような形になっている。図中破線に対応を示したように、女満別は鹿屋の冬平均に、柿岡は父島の冬平均に近い形となっている。鹿屋はもっと南のものに対応するのであろう。

ここに示したものは極端にずれた場合の一例であるが、一般に H-Z 面日変化のパターンは電流中心位置の変動につれて全体として南または北にずれるようである。

3. 水平電流ベクトルと垂直成分分布

前節では日変化を $H-Z$ 面で考えた。もっと正確には3成分を使って等価電流系を画くべきであろう。しかし今考えているような電流中心附近の細かい分布を、しかも時間経過を追って調べようとするには観測点の数が不十分である。そこで前記4地点の H, Z, D 3成分を使って Fig. 3 のような水平電流ベクトルと Z 成分値の分布図を作った。縦軸は地理的

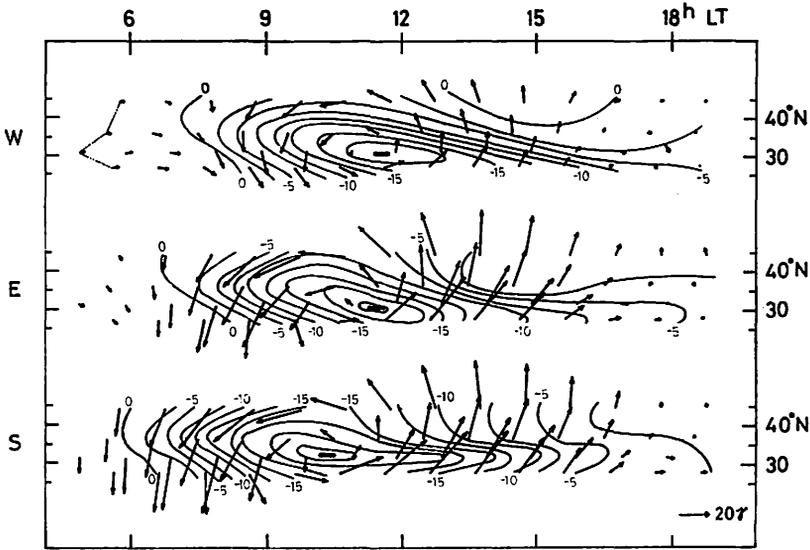


Fig. 3. Local time distribution of equivalent horizontal current arrows and Z values for seasonal mean Sq in 1971 at the 4 observatories. Z values are shown by contour lines at 2.5γ intervals.

緯度、横軸は地方時である。日本標準時で与えられる一つの毎時平均値について考えると4地点で地方時が異なるから、各地点の位置は図の左上に示したように分布する。この例は日本標準時5.5時(5~6時の平均値に対応する)のものである。この各地点位置からその時刻の水平電流ベクトルを画き、 Z 成分値を記入する。これを日本標準時1時間毎の各時刻について行い、 Z 成分値については等値線を引いて各点毎の値に代用する。このようにして1971年各季節の平均 Sq についてえられたものが Fig. 3 である。 Z 成分等値線は 2.5γ ごとに引いた。等値線の端に記入した数字はこの値である。負中心は太い負記号で示した。

もしも日変化等価電流系が形や大きさを変えないで太陽と共に緯度圏に沿って移動していくものならば、この図は真の等価電流系に対応するものを意味するであろう。Fig. 3 は季節平均であるからややこの意味に近い。 Z 成分等値線群がいびつになったり、線の込み具合が不均衡であったりするのは、もしかしたら地下電気伝導度異常のせいかもしれない。

水平電流ベクトルの分布で示される渦中心と Z 成分等値線の負中心とはほとんど一致し等価電流系中心位置を示す。当然のことながらその中心緯度は前節の結果と一致し、鹿屋

(地理緯度 31.4 度) のあたりにある。しかしこの図からは経度 (地方時) 上の位置もはっきりし、夏早い時刻にあることが明瞭に認められる。

4. 異常日変化

いままで正常な日変化について考えてきた。正常というよりも平均的なというべきかもしれないが、前2節のようなパターンが大きく変らないことを正常ということにしておく。この意味で等価電流系中心位置の単なる上り下り (北または南へのずれ) はパターンを大きく変えないので正常である。

これに対して日によってはパターンを大きく変えるような異常なものがある。しかし通常の日日は擾乱が重なっているので検出が困難である。はしがきにも述べたように通常の擾乱に対しては $H-Z$ 抱束面の考えを適用して擾乱部分を除外することも可能であるが、まず静穏な日について異常なもの存在を確認しておくことが必要であろう。

このような日の一例として 1964 年 6 月 5 日をえらび $H-Z$ 面日変化を Fig. 4 に、水平電流ベクトルと Z 成分値の分布図を Fig. 5 に示した。この時期の正常日変化と比較するために、1964 年 5 月から 8 月までの夏季について $\sum_i K \leq 9$ の日 19 日をえらんで平均 Sq を求め、この平均 Sq についての同様の図を Fig. 4 の下段および Fig. 5 の 2 段目に示してある。問題の日 6 月 5 日は $\sum_i K = 7$ であるのでこの中に含まれている。また各 3 時間毎の K_p および K の値は Fig. 5 の上部に示した。 K の値が 3 つあるのは左から順に女満別、柿岡、鹿屋のそれぞれの K をあらわす。

まず Fig. 4 の $H-Z$ 面日変化の全体の傾斜からみると 6 月 5 日は夏平均とそう著しくは違ってないようにみえるが、パターンとしてみると可なり違いがある。特に柿岡の午前中

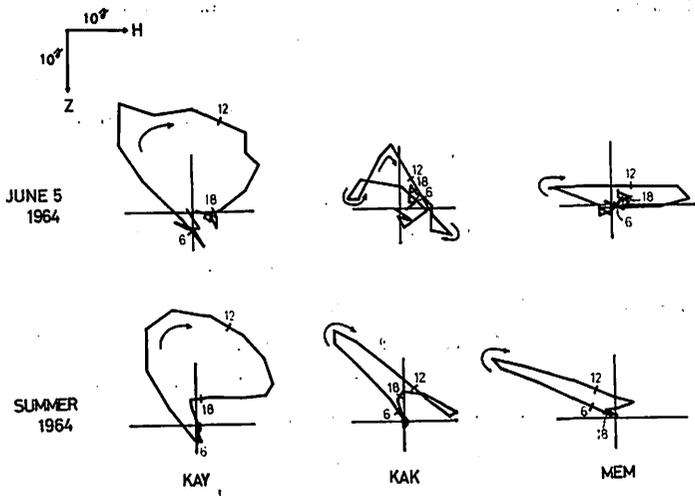


Fig. 4. Abnormal pattern of vector diagram on June 5, 1964 (calm day) compared with the normal pattern of the summer mean Sq in the same year.

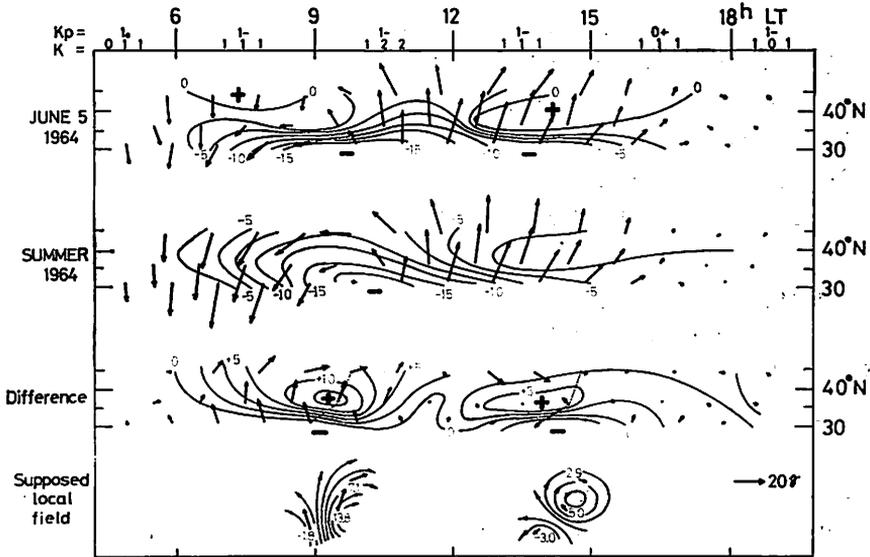


Fig. 5. Abnormal pattern (top row) of the distribution of equivalent horizontal current arrows and Z values on June 5, 1964 (calm day) compared with the normal pattern (2nd row) of the summer mean Sq in the same year. Equivalent current pattern of the local field (lowest figure) is deduced from the difference (3rd row) between the abnormal distribution and the normal one.

が左ななめ下方に折れ曲っていることと女満別の 12 時以降右へつき出ていることが著しい。通常の擾乱についての地下電気伝導度異常の抱束面が柿岡では $4Z/4H \approx +0.6$ であらわされることを考えると、午前中の折れ曲りはほとんど 90° ずれていてとても通常の擾乱とは考え難い。

3成分をあらわした Fig. 5 ではパターンの違いが一層はっきりする。6月5日のパターンはその下に示した夏平均の正常日変化パターンと同種のものとは考え難い。特に Z 成分値の分布にその違いがよくでている。中心緯度（図では父島がないので鹿屋が下端になっていてそのあたりが中心緯度に当る）の北側に午前と午后に Z 正の領域が発達し、中心緯度との間で Z の傾度が大きく、等値線が込んでいる。したがってこのあたりに局地的な場の存在が推測される。それをもう少しはっきりさせるために6月5日のものから夏平均を差し引いたものが3段目に示した図である。これによれば中心緯度の北側の午前と午后に Z の大きな正の領域のあることが確認できる。中心緯度の南側に対応する Z 負の領域がありそうにもみえるが、残念ながらこのときはまだ父島の資料がないのでよくはわからない。

Fig. 5 の3段目までの図は前節 Fig. 3 の所で述べたような方法で画いたものであるから、そのまま地域的分布を示していることにはならない。日変化電流系が形や強さを変えないで太陽と共に動いていくのならそのまま空間的分布を示すことになるが、この例のように局地的なまた時間の限定された場を考える場合には、定義通り固定地点における分布が時間

の経過と共に変わっていく様子を示したものと考えなければならない。

この意味の図から局地場のもっとも発達した時刻、つまり Z がもっとも大きく正になった時刻として 9.5 時と 14.5 時をえらび、局地場をあらわす等価電流系を推定したものが Fig. 5 最下段の図である。この時刻における 3 段目の図中 3 地点の位置は点線でつないで示してある。最下段の図の水平電流ベクトルの根元に記した数字は Z 成分の γ 値である。両時刻共双極子型の局地場が存在したもののように思われる。これが時間と共に消長した形も少し変えたが、大体同じ位置に止まっていたもののようにみえる。

6月5日の例は極端な場合を示したものであるが、少し弱くまた分布も異なるが同じような局地場の存在は相当多くみられる。あるいは常にあるといった方がよいかもしれない。通常は擾乱にかくれてみつけにくいものであろう。また平均日変化ではいろいろな局地場が相殺されて表にあらわれない。

この局地場の原因が何であるかはまだわからない。しかし Z 成分のふるまいから考えて通常の意味の擾乱ではない。とするとダイナモ作用の要素である風か電離層電気伝導度の局地的変化である可能性が強い。

参考文献

- (1) Yanagihara, K., Apparent divergence of Sq currents, Memo. Kakioka Mag. Obs., 14, No. 2, 1-7 (1972).
- (2) Rikitake, T., I. Yokoyama and S. Sato, Anomaly of the geomagnetic Sq variation in Japan and its relation to the subterranean structure, Bull. Earthquake Res. Inst., Univ. Tokyo, 34, 197-235 (1956).
- (3) Yanagihara, K., Geomagnetic variations near focus of Sq current vortex, Memo. Kakioka Mag. Obs., 14, No. 1, 1-8 (1971).
- (4) Shiraki, M., Geomagnetic solar daily variations at the middle latitude and the day-to-day variability of equivalent overhead current system, Memo. Kakioka Mag. Obs., 15, 19-30 (1972).
- (5) Matsushita, S. and H. Maeda, On the geomagnetic solar quiet daily variation field during the IGY, J. Geophys. Res., 70, 2,535-2,558 (1965).
- (6) Fukushima, N., Three dimensional electric current and toroidal magnetic field in the ionosphere, Report Ionos. Space Res. in Japan, 22, 173-195 (1968).

Local Field in Geomagnetic Diurnal Variation

Kazuo YANAGIHARA

Abstract

Geomagnetic diurnal variation S_q in the vicinity of the focus latitude of the equivalent overhead current system is studied, Z component being taken into consideration. Vector diagrams of diurnal variation in the vertical plane ($H-Z$ plane) are drawn for seasonal mean S_q of 4 observatories, Memambetsu, Kakioka, Kanoya and Chichijima (Fig. 1, Table 1). North-South distribution of general inclination of the vector diagram in $H-Z$ plane gives a good base for determining the focus latitude, as the vertical one must be at the focus. For a single day diurnal variation, northward or southward shift of the focus often occurs, and it is clearly seen in the distribution pattern of the vector diagram (Fig. 2).

A better expression of S_q field in the vicinity of the focus is given by the local time distribution of simultaneous equivalent horizontal current arrows and Z values of the 4 observatories (Fig. 3). Negative center of Z value coincides with the vortex center of the current arrows. Sometimes considerable local fields are found superposed upon the normal pattern of these distributions (Figs. 4 and 5). They are not considered to be a kind of known disturbance fields, but seem to be caused by local change of ionospheric wind or conductivity which is the main factor of the dynamo action.