

## 地電流日変化及び短周期変化の異同<sup>1)</sup>

柳 原 一 夫

### On the Inequalities of the Diurnal Variations and the Short Period Variations of the Earth-Currents.

By KAZUO YANAGIHARA

The diurnal variations of the earth-currents at Toyohara, Memambetsu, Morioka, Haranomachi Owashi and Kanoya have been compared with that of Kakioka. It is shown that the simple relation (2) exist between the observed variations.

Using the constants in the relation, it is possible to ascertain whether or not the long time-variations of the effective earth-resistivities are there. The preliminary results show that the effective earth-resistivities at Kakioka and Haranomachi may vary in recent few years.

The relation between the short period variations (period 5m-30m) at Haranomachi and Kakioka is likely given by the same formula (2), and again the most probable relation which was obtained empirically, have been also shown. (formula(3)).

#### § 1. 緒 言

地電流の変化はその観測された地点によつて相当に異つてゐるが、比較的短い周期又は継続時間の変化については地磁気変化との同時性等により、それが地磁気変化と相伴つて起るものであることはほゞ確実に知ることが出来る。日変化についても地電流日変化と地磁気のそれとを比較することによつて試すことが出来る<sup>2)</sup>が実際の測定された地電流の日変化はその土地の電気伝導度に支配されて地磁気よりも複雑な様相を呈するのでどの程度上層大気中の日変化電流系に対応するものかみきわめることはなかなか困難である。しかしながらある特定の2ヶ所の地電流日変化を比較すると簡単な関係があることも知られてゐる<sup>3)</sup>ので、こゝでは日本列島の数ヶ所に散在する地電流測定点について比較してみた。

#### § 2. 使用した資料

いろいろの不規則性を除いた平均日変化を考えるためにほゞ1年以上にわたる毎時値のえられた豊原・女満別・盛岡・原町・柿岡・尾鷲・鹿屋の資料を使つた。たゞし盛岡については都合により10ヶ月分の資料によつた。又参考のために2ヶ月分の資料しかないが石垣島の日食観測の際の毎時値をも使用した。次節に述べる様に各地点の地電流日変化を柿岡におけるそれと比較する

こととしたため、柿岡の資料は他の各地点においてえらんだ期間と同じ期間のものを使用してある。各観測点の緯度・経度及び資料をえらんだ期間を次表に示す。

第 1 表

	緯 度	経 度	期 間
	N	E	
豊 原	46° 58'	142° 45'	1934
女 満 別	43 55	144 12	1950
盛 岡	39 43	141 06	1947, Jan. ~Oct.
原 町	37 37	140 56	1950
柿 岡	36 14	140 11	対応する期間
尾 鷲	34 04	136 12	1947
鹿 屋	31 25	130 53	1950
石 垣 島	24 20	124 10	1941, Sep. ~Oct.

§ 3. 平均日変化について各観測点と柿岡との比較

土地の電気伝導度が、異方性をもちテンソル ( $\sigma$ ) で表はされるときは電流と電場の関係は

$$\left. \begin{aligned} i_x &= \sigma_{xx} E_x + \sigma_{xy} E_y \\ i_y &= \sigma_{xy} E_x + \sigma_{yy} E_y \end{aligned} \right\} \text{又は} \left\{ \begin{aligned} E_x &= \alpha i_x + \beta i_y \\ E_y &= \gamma i_x + \delta i_y \end{aligned} \right.$$

と表はされる。今 ( $\sigma$ ) が、各地点毎に非常に大きく値が違つて、 $E_x, E_y$  の

各地点による違いが大部分これによると考えられるときは余り離れていない2地点A, Bについて  $E_{x,A}, E_{y,A}, E_{x,B}, E_{y,B}$ , 等を比較すると

$$\left. \begin{aligned} E_{x,B} &= a \cdot E_{x,A} + b \cdot E_{y,A} \\ E_{y,B} &= c \cdot E_{x,A} + d \cdot E_{y,A} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

と表わすことが出来る。常数  $a, b, c, d$  等はA・B2点の異方性電気伝導度によつて与えられる量である。

日変化の場合地磁気の日変化を与えるポテンシャルを

$$\psi = \sum_n \sum_m (E_n^m + I_n^m) P_n^m(\theta) e^{im(\phi+t)}$$

と与えて、これによつて誘導される地電流を2・3の仮定のもとに境界条件として解けば、 $i_x \cdot i_y$  が求められる<sup>(4)</sup>が、あまり高次の項を問題としなければ近接した2点についてその違いは ( $\sigma$ ) の違いに対して無視しうると考えられる。

従つて地電流日変化の東西成分、南北成分をそれぞれ  $\Delta E, \Delta N$  とし添字で観測地点を表はすと (1) 式は

$$\left. \begin{aligned} (\Delta E)_B &= a \cdot (\Delta E)_A + b \cdot (\Delta N)_A \\ (\Delta N)_B &= c \cdot (\Delta E)_A + d \cdot (\Delta N)_A \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

となる。B地点として柿岡を規準にとり、A地点として豊原・女満別・盛岡・原町・尾鷲・鹿屋・石垣島のそれぞれをとることとする。柿岡の ( $\Delta N$ ) は ( $\Delta E$ ) に比して一般に小さいので、

(2) 式の上半分のみを使うこととする。

まず各観測点について第一表の期間の平均日変化の毎時値と同じ期間の柿岡のそれとを使つて (2) 式より最小自乗法により  $a, b$  の値を求める。次にこの  $a, b$  の値を使つて (2) 式の右辺

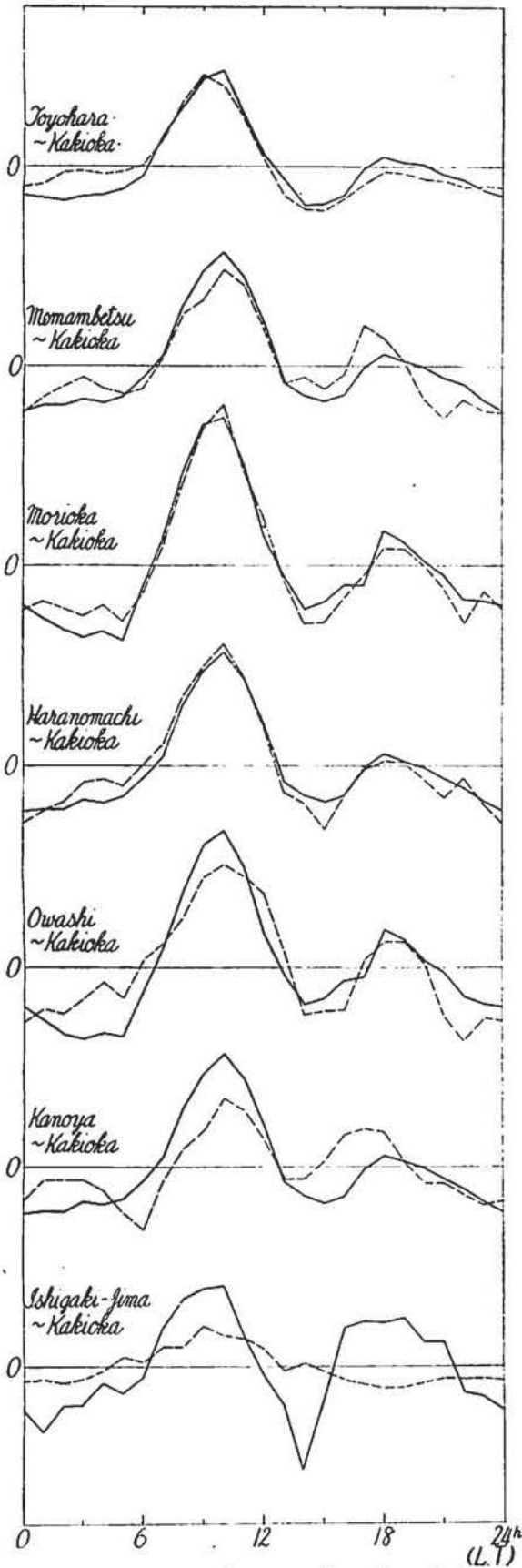


Fig. 1. The annual mean diurnal variations of the eastward component of the earth-currents observed at Kakioka (full line), and those calculated by the formula (2) using the titled station's data (broken line).

即ち  $a(\Delta E)_A + b \cdot (\Delta N)_A$  を求め、これを各観測点における平均日変化の柿岡におけるものにひき直した値と考へて、これと柿岡で観測された平均日変化と比較する。これを第1図に示す。図中破線は前者即ち計算値を示し、実線は後者即ち実測値を示す。又各観測点の位置を第2図に示す。第1図の実測値と

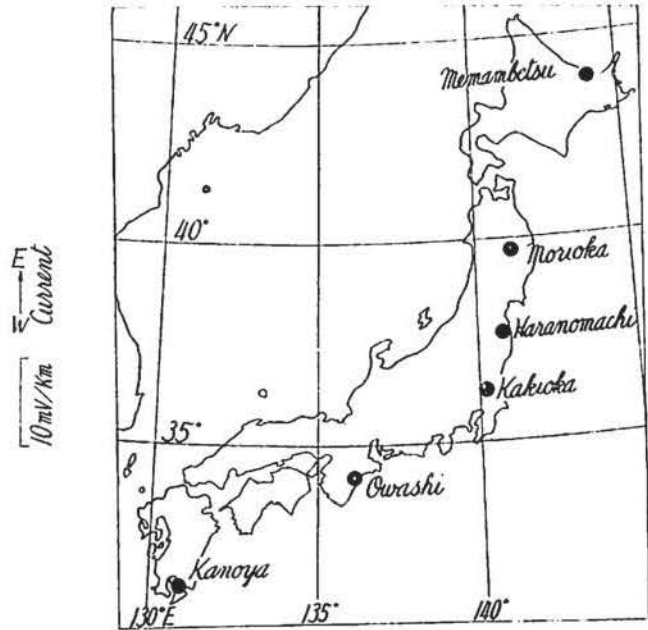


Fig. 2.

計算値とは柿岡より北方の地点についてはよく一致しているが、南方の地点については柿岡から遠くなるに従つて、一致の程度が悪くなつてゐる。南方の地点は経度が少しずれているのでこれを補正しても大した変りはない。

南方の地点であまり良く一致していないことは次節に述べる様に地磁気日変化に対応する上層大気中の等価電流系の中心が近くにあるためと考えられる。地電流日変化を2点について較べる際、その2点における  $\vec{i}$  の違いは  $(\sigma)$  に比して無視しうると考へてい

るが、上述の電流系中心がその2点の極く近傍にあるか又は極端な場合2点間を通るようなときはこの仮定は正しくないものとなる。ともかく電流系中心に対して平均的にほぼ同じ側にある柿岡より北方の地点については実測値と計算値とはかなり良い一致を示している。

常数 $a$ ,  $b$  及び一致の程度を第2表に示す。

#### § 4. 日変化電流系中心の位置との関連

第 2 表

日本の南部では地磁気日変化に極型、赤道型、その中間型等があつて、等価電流系中心の通過位置によることは良く知られた事実である。これに対応して地電流にもそれぞれ違つた傾向をもつ日変化が認められ、従つて §2 の比較が可能なのは中心の通過に対して同じ側の2点間についてのみである。柿岡より北方の地点間については年平均

	$a$	$b$	一致の程度
豊 原	2.19	-3.35	良
女満別	18.2	-6.59	良
盛 岡	1.77	0.49	非常に良
原 町	6.84	3.35	非常に良
尾 鷲	6.27	0.70	否
鹿 屋	4.62	7.78	否
石垣島	-1.24	-0.62	非常に否

日変化に関する限り赤道型日変化の寄与は小さいと考えられるので前節の取扱いにおいて各観測点の年平均日変化を柿岡におけるものに引き直した値は柿岡の実測値と良く一致している。(第1図, 第2表)

しかし柿岡より南方にゆくに従つて年平均日変化に対する赤道型日変化の寄与が次第に大きくなるので同じ方法による計算値と実測値との違いも次第に大となつている。

柿岡において赤道型日変化を示す日について考えると柿岡より南方の地点ではすべて赤道型日変化を示す筈であるから、前節の取扱いは柿岡より南方の地点に対し適当であり、北方の地点に対してはもしそこで極型乃至は中間型の日変化を示すならば適用できない筈である。

即ちこの場合は第2表の一致の程度の良否は柿岡をはきんで逆となる筈である。

柿岡において赤道型日変化を示す静穏日を 1953 年より数日択び出して、この日について女満別, 原町, 鹿屋及び柿岡に対して前節と同様に平均日変化について比較した。その結果を第3図及び第3表に示す。図中破線は各観測点——女満別, 原町, 鹿屋——の平均日変化を柿岡における

第 3 表

	$a$	$b$	一致の程度
女満別	-2.23	-0.19	非常に否
原 町	4.44	1.04	良
鹿 屋	3.74	3.81	やゝ良

ものに引き直したもの即ち計算値を、又実線は柿岡における実測値を示すことは第1図と同様である。又図の下半分に地磁気水平分力の平均日変化を柿岡と女満別について示してある。第3図, 第3表を第1図, 第2表と比較すると女満別, 鹿屋に

ついては計算値と実測値の一致の程度が丁度逆になつていることがわかる。原町は柿岡に極めて近いのでいづれの場合も良く一致しているのであろう。

こゝで日変化といつているのはすべて太陽日変化であるが、鹿屋においては太陰日変化もかな

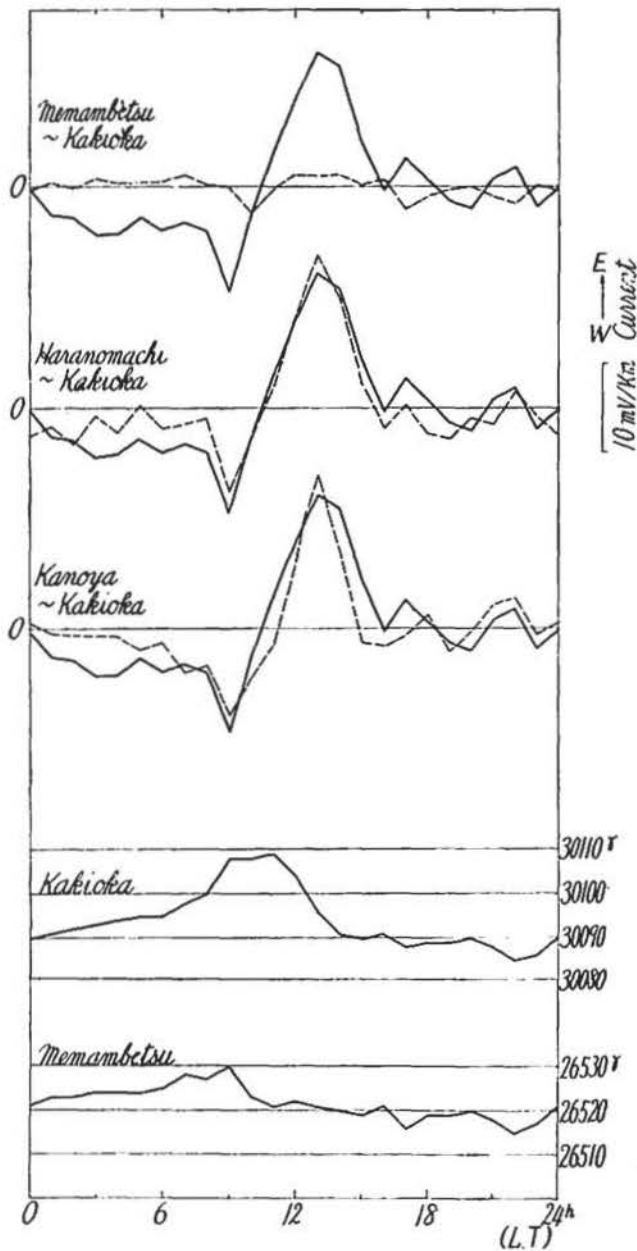


Fig. 3. 'Equatorial type' diurnal variation (at Kakioka). UPPER HALF: The diurnal variations of the eastward component of the earth-currents observed at Kakioka (full line), and those calculated by the formula (2) using the titled station's data. LOWER HALF: The diurnal variations of geomagnetic horizontal component.

り大きいことが知られている<sup>(5)</sup>。前節のように年平均日変化においては太陰日変化はほぼ消去されていると考えられるが、この節の場合のように数日——勿論太陽日における——の平均では十分消去されていないかもしれない。これが第3図における鹿屋に関する一致の程度を大巾には良くしない原因の一つかも知れない。

§ 5. 常数  $a$ ,  $b$  の翌年への外挿及びその変化について

前2節における常数  $a$ ,  $b$  は年平均日変化の毎時値より最小2乗法で求め再びその毎時値を使つて一致の程度をみているが、これを別の年の資料に適用したらどうであろうか。これには常数  $a$ ,  $b$  が今関係している2ヶ所の電気伝導度の函数であるため、それが時間的に余り変化しない場合でないと適用出来ない。

そこでなるべく時間的に近接したときという意味で翌年をとり原町のみについて1951年の適当な月の平均日変化について第2表の  $a$ ,  $b$  即ち1950年の資料より求めた常数を使つて柿岡における値に引き直してこれと柿岡における実測値と比較して第4図に示す。この図においても計算値と実測値とが非常に良く一致していることから、一面において電

気伝導度があまり変化していないことが知られると同時に他方第1図、第2表の一致の程度が最小

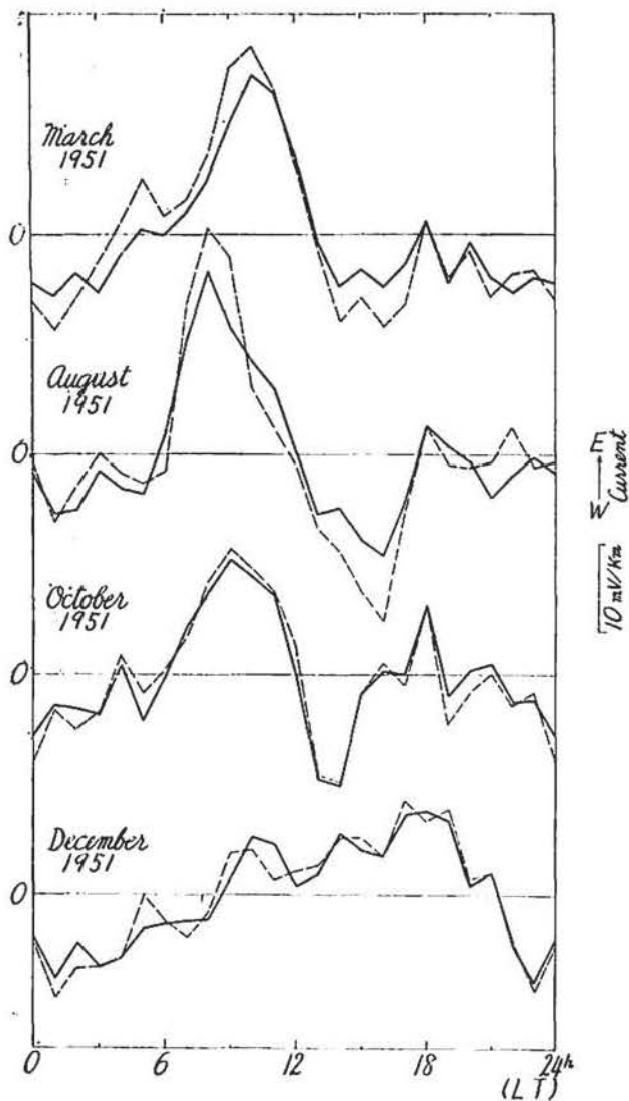


Fig. 4. The monthly mean diurnal variations of the eastward component of the earth-currents observed at Kakioka (full line) and those calculated by the formula (2) using Haranomachi's data and the constants  $a$  and  $b$  in Table (2).

2乗法による最確値という意味以外の一致であることが知られる。

しかし一方第2表と第3表における原町の常数  $a$ ,  $b$  を比較してみると相当の違いがあることが認められる。前者は1950年の資料、後者は1953年の資料より求めた値であるからこの間に原町と柿岡の電気伝導度のいずれか又はその両方に変化があったことを意味する。常数  $a$ ,  $b$  は電気伝導度の値そのものではなく2地点のその値に関係するから直接その変化を知ることは出来ないが、幾つかの地点間で比較することによって何処の電気伝導度に変化があったか知ることが出来るであろう。

この意味で常数  $a$ ,  $b$  の時間的变化を求めることは興味ある事柄であるが、この論文の目的ではないので別の機会に述べることにする。ただし第3表の常数  $a$ ,  $b$  は数日の平均日変化から求めたものであるのでその値を更に確かめるために適当な月平均日変化から求めた  $a$ ,  $b$  を第4表に示す。

この表には1950年及び1951年の  $a$ ,  $b$  の値も共に示してあるのでその時間的变化の傾向を知ることが出来る。

#### § 6. 短周期変化に対する同様の比較

数分から数十分程度の比較的周期の短い変化に対して §2の方法がどの程度に適用出来るか、又適用出来るなら常数  $a$ ,  $b$  従つて有効電気伝導度が周期の違いによつてどう変るかということをおこの節で考えてみよう。

筆者は以前原町と柿岡の短周期変化を比較してその間に経験式

第4表 原町対柿岡の場合の常数 a, b

時	a	b
1950	6.84	3.35
1951*	6.84	3.35
1953, Jan.	5.26	1.48
1953, mar.	4.55	1.07
1953, June.	4.04	0.88
1953, July.	4.00	1.02
1953, 赤道型 日変化	4.44	1.04

\* 1951年の値は年平均日変化の毎時値より最小2乗法により直接求めたものではなく、第4図からは1950年の値が適用出来ると考えられるのでそのまま採用した。

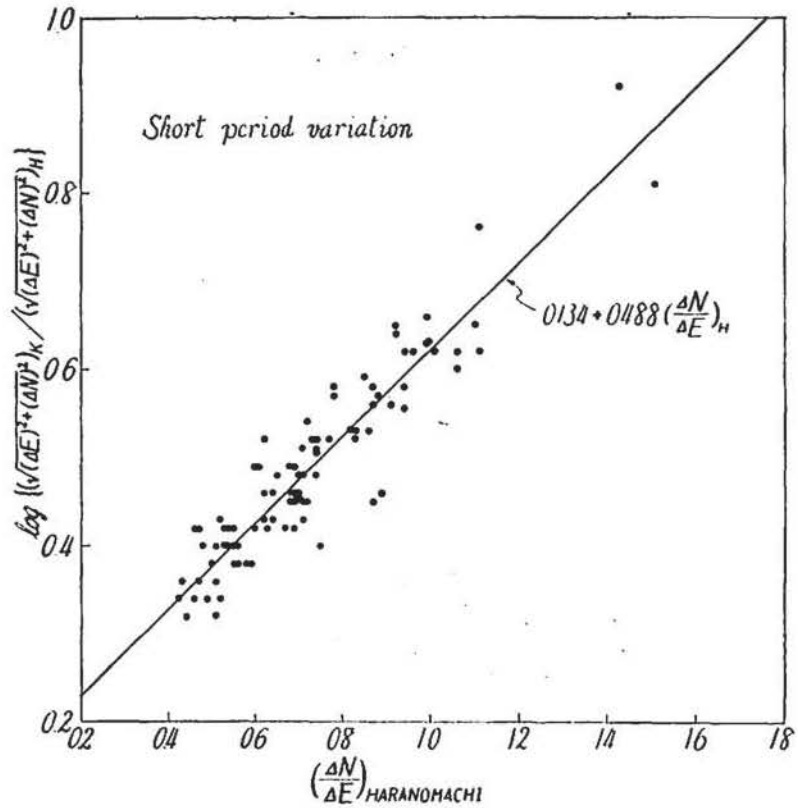


Fig. 5.

$$\log \left\{ \frac{\left( \sqrt{(\Delta E)^2 + (\Delta N)^2} \right)_K}{\left( \sqrt{(\Delta E)^2 + (\Delta N)^2} \right)_H} \right\} = k \cdot \left( \frac{\Delta N}{\Delta E} \right)_H + K \dots \dots (3)$$

をえている<sup>[6]</sup>。こゝに $\Delta E$ ,  $\Delta N$ は短周期変化の振巾の東西成分, 南北成分を表はし添字  $K$ ,  $H$ はそれぞれ柿岡及び原町において観測された値であることを意味する。又,  $k$ ,  $K$ はいずれもある常数である。採用した資料は1951年9月9日から同年10月10日までの期間に柿岡と原町に同時に起つた短周期変化94ヶである。この場合(3)式に良く合うのは夜間に起つた変化についてであつて昼間においてはこれからかなり距つた変化が認められることは既に報告してある<sup>[7]</sup>ので、こゝでは前者についてだけとつてある。

第5図に  $\log \left\{ \frac{\left( \sqrt{(\Delta E)^2 + (\Delta N)^2} \right)_K}{\left( \sqrt{(\Delta E)^2 + (\Delta N)^2} \right)_H} \right\}$  と  $\left( \frac{\Delta N}{\Delta E} \right)_H$  の関係を示す。

又 §2の(2)式の上半分を变形すると

$$\frac{(\Delta E)_K}{(\Delta E)_H} = b \cdot \left( \frac{\Delta N}{\Delta E} \right)_H + a \dots \dots (4)$$

となつて(3)式と同様な比例関係の式がえられるのでこの2つの式について、日変化及び短周期変化のそれぞれに対して相関係数を求めてみよう。これをそれぞれの常数值と共に第5表に示す。日変化としては1951年10月の月平均日変化を、短周期変化としては上述の資料94ヶを採用

した。又この場合  $(\Delta E)$  ,  $(\Delta N)$  としては日変化には毎時値を、短周期変化にはその振巾をとつてある。

第 5 表

	日変化	短周期変化
相関係数 $\gamma$ (3)式*	0.97	0.94
相関係数 $\gamma$ (4)式**	0.92	0.83
$k$	0.544	0.488
$K$	0.133	0.134
$a$	6.55	6.50
$b$	3.53	3.37

$$* \log \left\{ \frac{\left( \sqrt{(\Delta E)^2 + (\Delta N)^2} \right)_K}{\left( \sqrt{(\Delta E)^2 + (\Delta N)^2} \right)_H} \right\} \text{ と } \left( \frac{\Delta N}{\Delta E} \right)_H$$

との相関係数

$$** \frac{(\Delta E)_K}{(\Delta E)_H} \text{ と } \left( \frac{\Delta N}{\Delta E} \right)_H \text{ との相関係数}$$

(3) 式, (4) 式いづれの場合も日変化, 短周期変化ともに相関係数はほぼ 1 に近くてその式は両地点の振巾の関係を充分表わしうる式と考えられるが, もし比較するならば日変化短周期変化ともに (3) 式の方が相関係数が大で (4) 式によるものとの差は 1% の危険率をもつて有意といえる。

即ち個々の場合には簡単な §2 の取扱いによるよりももつと十分に関係を表はしうる実験式をうる事が出来る。たゞし §2 の方法によつても 0.92, 0.83 という高い相関係数があるから一般には充分である。

(3) 式, (4) 式における常数  $k, K, a, b$

等を日変化, 短周期変化について求めてみると第 5 表の通りであつて両変化についてはほぼ一致しているといつて差支えない程度である。従つて今考えている程度の変化の周期に対して有効な電気伝導度は大して違いがないと考えられる。たゞし周期 1 分以下の脈動のような変化に対しては同じような取扱いをすると常数  $k, K, a, b$  等ははかなり違つた値となつて, 等価電流系の分布の違いを無視すれば, 有効電気伝導度の違いが表われてくる。

### § 7. 日々の変化に対する応用

ある 1 日間の日変化に対しても §2 の方法が適用出来る筈であるが不規則な短周期の変化が重畳してくると求めた常数の値の誤差が大となる。こゝでは逆に平均日変化から求めた常数を使つて日々の変化に対する一致の程度を求めてみよう。この場合も短周期変化の重畳による不規則性が表れるが, 前節にみられるように日変化, 短周期変化に対する常数はほぼ変わらないのでその不規則性は多少軽減される。第 6 図に原町と柿岡の 1953 年 3 月 13 日から 3 月 20 日までの毎時値について求めたものを示す。実線は柿岡の  $(\Delta E)_K$  の実測毎時値, 破線は原町の毎時値より計算した  $4.55 (\Delta E)_H + 1.07 (\Delta N)_H + \text{constant}$  を示してある。4.55 及び 1.07 は第 4 表の 1953 年 3 月の欄の常数  $a, b$  である。

かくして一地点の観測値から他の地点の観測値を類推することが出来ればいろいろの場合例えば所謂汎世界的地電流を除いて局所的な変化を知りたい場合等に有効であろう。こゝにえられた結果はまだ個々の変化に対して充分といえないが統計的には適用しうらと思う。



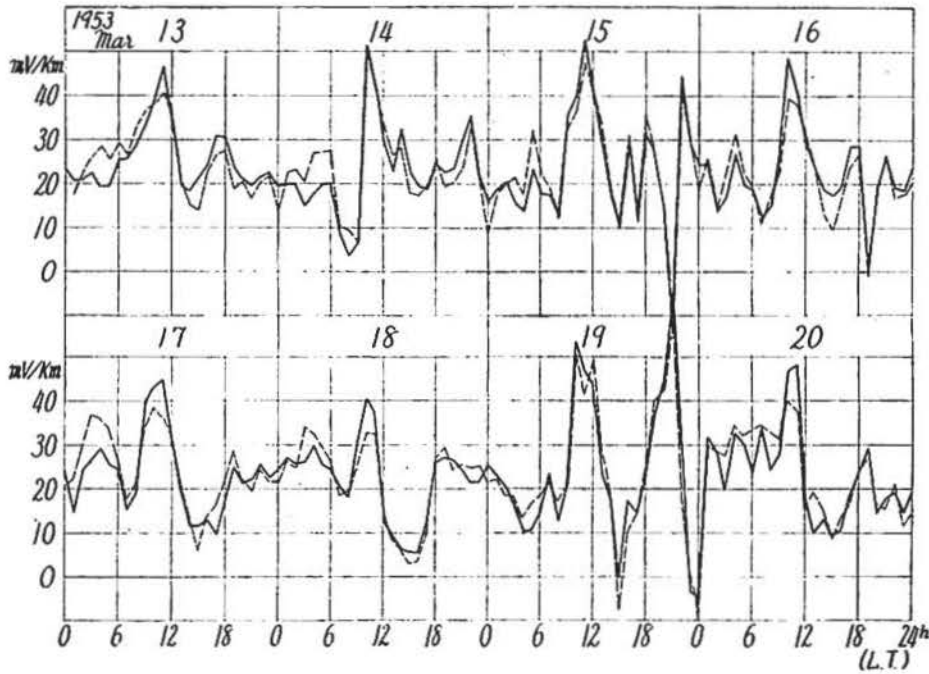


Fig. 6. The day-to-day change of the eastward component of the earth-currents,  $(\Delta E)_K$ , observed at Kakioka (full line) and the calculated one by the formula,

$$(\Delta E)_K = 4.55(\Delta E)_H + 1.07(\Delta N)_H + \text{constant},$$

where  $(\Delta E)_H$  and  $(\Delta N)_H$  are the hourly values of the eastward and northward components, respectively, of the earth-currents observed at Haranomachi. When the west electrode is at high potential (i. e., eastward currents flow), positive values are taken.

### § 8. 結 言

地電流の変化は場所毎にその有効電気伝導度の違いによつて非常に異つて表われるので、ある一地点の平均日変化に対する例えば気象要素の日周変化等による二次的の影響等の有無が直接には明瞭でない。こゝでは柿岡を基準として豊原・女満別・盛岡・原町・尾鷲・鹿屋の年平均日変化を簡単な方法で比較してそれ等が統一的に説明されるものであつて上述の様な影響のおそれの少いことを示した。即ちそれ等の観測された日変化は見掛上非常に異つていても日変化電流系の有効電気伝導度によつて修飾されて表わはれたものといえる。

一方ある2地点の観測値から常数  $a$ ,  $b$  を時間の函數として求めることによつて、有効電気伝導度の時間的変化の日安をうる事が出来る。又数分までの周期の変化に対しては有効電気伝導度が周期の違いによつては大して変わらないことを考慮してある地点の観測値から他の地点のそれを類推することが可能である。

## 参 考 文 献

(1) この報文の一部の概要は

K. Yanagihara, Rep. of Ionosph. Res. in Japan Vol. VIII. No. 2 (1954), 93, に Short Note  
として報告してある。

(2) J. Bartels and W. J. Rooney, Terr. Mag., 37 (1932), 53.

(3) 吉松, 中央気象台欧文彙報, 19, 193 (昭和24年).

(4) H. Ertel, Veröff. d. Prusz. Met. Inst., Nr. 391 (1932).

平山, 気象集誌, 第2輯, 13, 456 (昭和10年).

畠山, 中央気象台欧文彙報, 12, 189 (昭和13年).

(5) 横内(幸), 大島 日本地球電気磁気学会講演 1954年10月.

(6)(7) K. Yanagihara, Rep. of Ionosph. Res. in Japan Vol. VI, No. 4 (1952), 215. (但し概  
要のみ)