

地電位差の長短兩基線觀測より見た二三の特殊變化に就いて⁽¹⁾

吉 松 隆 三 郎

On Some Special Variations of Earth-Current Potentials observed with
Two Independent Base Lines in the Same Direction, $E-W$.

by T. YOSIMATU

Abstract:— In the present paper, the writer studies the earth-potential distribution around the observatory of some special short time variations which are simultaneously recorded on the magnetograph. The method of the investigation is to study the "Difference-Curve" defined by the difference $E_{0.1} - \frac{E_{1.5}}{n}$, where $E_{0.1}$ and $E_{1.5}$ are potential differences of east-west component of base length of 0.1 K.M. and 1.5 K.M. respectively, and n is approximately equal to the ratio of two base lengths. If the current flow is uniform around the observatory, the Difference-Curve does not show any deviation from a straight line, when other factors of potentials are constant. The main results of the present investigation are following. The Difference-Curve shows usually no appreciable deviations, justifying our expectation and throwing something to the fundamental problems of earth-currents, but some abnormal exceptions are found. These abnormal variations now investigated are Bay-Type variations, Mögel-Dellinger variations and some irregular short time variations occurred during the earth-current storm. The micropulsation of rather regular period of one minute or more does not show any abnormal variation.

From these investigations, the continuous record of two potential-differences with a single instrument, say, a differential-galvanometer, is desired. The writer shortly discusses the second derivative of earth-potential and proposes some possible explanations of these characteristic variations.

1. 緒 言

著者は前論文に於て長短兩基線より差電位差 (D) を求めてみたとき地磁氣と共に現れる比較的短時間の變化でも電位差がその定つた關係より偏差する場合に往々遭つた。通常地磁氣と共に現れるが如き地電位差は略、基線長に比例する大きさを持つてゐるが斯如き特殊の場合のみ、この關係に従はないのである。従つてこれは何等かの理由に依り測定される程度の空間電位傾度が觀測地點附近に生じてゐることが考へられて興味あることと思つた⁽²⁾。本論文に於ては斯如き特殊變化の二三に就いて述べると共に前論文の差電位差の補足的論述としたい。

2. 本論に立ち入る前に地電位の空間傾度に就いて一言する。現在測定されてゐる地電位差は水平地電位差であつて、或地點の電位傾度はその基線長でその間の電位差を除したものを以て代表してゐる。水平地電流 i は適當な空間坐標 x, y, z 及び時間 t の函數であるがこれが地球全般的な一般

(1) 地電流の地方的並に局所的研究 (其の二)

(2) 同上 (其の一)

型は地磁氣の如く明かでない。嚴密には地殼が一樣でないときは媒質の異方性なども考慮に入れなくてはならず、例へば定常的な場合の地電位函數 φ がラプラスの式 $\nabla^2\varphi=0$ を充すとき、一般には

$$\sigma_{11}\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}+\sigma_{22}\frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}+\sigma_{33}\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}+2\sigma_{12}\frac{\partial^2\varphi}{\partial x\partial y}+2\sigma_{13}\frac{\partial^2\varphi}{\partial x\partial z}+2\sigma_{23}\frac{\partial^2\varphi}{\partial y\partial z}=0,$$

の如く電導度がテンソルとして入る複雑なものとなる。

しかし通常は簡単に均質一樣な地殼を考へて地表では $i_x=-\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)\sigma$, $i_y=-\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)\sigma$ と見て大過ない。電導率 σ が知れ、電位傾度 $\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)$, $\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)$ を測定すると水平地電流 i が知られる。従つて場合により電流の空間傾度 $\frac{\partial i_x}{\partial x}$, $\frac{\partial i_x}{\partial y}$, $\frac{\partial i_y}{\partial x}$, $\frac{\partial i_y}{\partial y}$ も問題となるわけである。或一ヶ所に於ける電位差丈けでは單に電流の大きさ及び方向が知れるので電流が如何なる方向に如何なる割合に變化してゐるかは判定出來ぬ、これは電流の空間傾度、即ち電位の二次微分係數を知る必要がある。例へば鑛物の地下化學作用のため、或は他の局所的原因により地電流の湧口或は吐口の如きものが地表にある場合その位置を測量するのに電流の最大傾度の方向が知れると好都合である。又日々の一般擾亂の電流系の中心地區といつたものゝ推定に就いても重要な補足的役割を持つことになる。これは他の地球物理學的現象にも同様である。しかし實際問題となると一般に電位の二次微分は非常に小さく測定は仲々困難である。地球磁氣の場合にはこのためには現在の精度を少くとも二桁位は上げなくてはならぬ。(1) 通常地電位差の變化の大きさは、 $10^{-8}\sim 10^{-6}$ v/cm. の程度と見ると大過なく、従つてその傾度はずつと小さくなる。しかし基線長を任意にとれるから或場所に於て電位差を可成大きくすることが出来るのは地磁氣と異なる所である。常設觀測所に於ける基線は色々な理由で通例數軒以内であるから、變化は略々一樣と見られ電流の空間傾度は十分小さいものである。がこゝに述べる様な場合は僅少なから非一樣性が見られ、變化が特殊の姿態を持つてゐることを知る。

今長短兩基線が簡単に一點 0 を共通に持ち或方向に $0x_1$, $0x_2$ の如く並び、例へば現在の問題では $0x$ 方向は東西に在り、 $0x_1=100$ 米、 $0x_2=1.5$ 軒の如くで、夫々の電位差を $E_{0.1}$, $E_{1.5}$ とする。 $0y$ 軸は南北に向く。簡単に一樣で均質な媒質を考へる。この測定範圍に於ては既述の如く、電流は殆んど一樣な流れで場所による相違は十分小さく、定常電流の電位函數 φ が 0 點の周りに

$$\varphi_{xy}=\varphi_{00}+x\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)_0+y\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)_0+\frac{1}{2}\left(x\frac{\partial}{\partial x}+y\frac{\partial}{\partial y}\right)_0^2\varphi+\dots$$

の如く展開出來るとする。

然るときは

(1) S. Chapman, Terr. Mag. Vol. 41, No. 2.

$$E_{0.1} = \varphi_{00} - \varphi_{x_1 0} = - \left\{ x_1 \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_0 + \frac{1}{2} x_1^2 \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right)_0 + \dots \right\}$$

$$E_{1.5} = \varphi_{00} - \varphi_{x_2 0} = - \left\{ x_2 \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_0 + \frac{1}{2} x_2^2 \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right)_0 + \dots \right\}$$

$$\therefore E_{0.1} - \frac{E_{1.5}}{n} = - \frac{x_1^2 (n-1)}{2} \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right)_0 + \dots$$

こゝに $x_2 = nx_1$, $n=15$

即ち近似的には

$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_0 = - \left(\frac{E_{0.1}}{x_1} \right), \text{ or } - \left(\frac{E_{1.5}}{x_2} \right)$$

$$\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right)_0 = - \left(E_{0.1} - \frac{E_{1.5}}{n} \right) \frac{2}{(n-1)x_1^2} = -1.43 \times 10^{-9} \left(E_{0.1} - \frac{E_{1.5}}{15} \right)^{(1)}$$

従つて $E_{0.1}$ 或は $E_{1.5}$, 及び $\left(E_{0.1} - \frac{E_{1.5}}{n} \right)$ の差電位差を知ると 0 點に於ける電位傾度とその微分係數が知れる, $\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right)_0$ の符號は差電位差 $\left(E_{0.1} - \frac{E_{1.5}}{n} \right)$ の符號による。

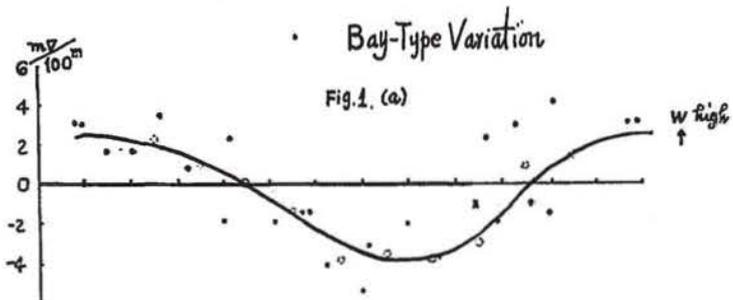
3. 次に問題の特殊變化に就いて述べる。1936年より1937年5月に至る間の利用し得た長短兩基線の記録より毎時値, 及び短時間の主な變化に着目して讀取り, 差電位差を作ると豫期の如く斯如き特別な變化はその數至つて少く, 結局兩電位差の差或はその比を精密に單一の測器により連續した測定が必要なことを痛感した。(2) 従つて現在は次に述べる型式の變化に就いて主として調査した。一箇の檢流計による測定は色々な方面に利用されて, その観測は將來に待つ價值がある。

1. 灣型變化の差電位差

この變化は地磁氣の方面では既に多くの人々により研究されてゐる。其文献も多種多様である。

高緯度地方に特に振幅大きく, 約一時間位の間に灣狀に變化し再び初めの状態に復歸する。又その變化の途中短週期の脈動の混在する事が多く, 引き続き數日略よ似よつた週期で出現することがある。観測期間中特に判然した

第 1 圖



(1) 前論文の差電位差 $D = E_{0.1} - \frac{E_{1.5}}{k}$ の $k=14.5$ で, こゝに考へた理想的な場合と若干異なるが特殊變化の近似的取扱い, 或は又一般變化に對する相對的相違が今問題とされてゐる。

(2) この點に關しては藤原先生の御批評を感謝する。

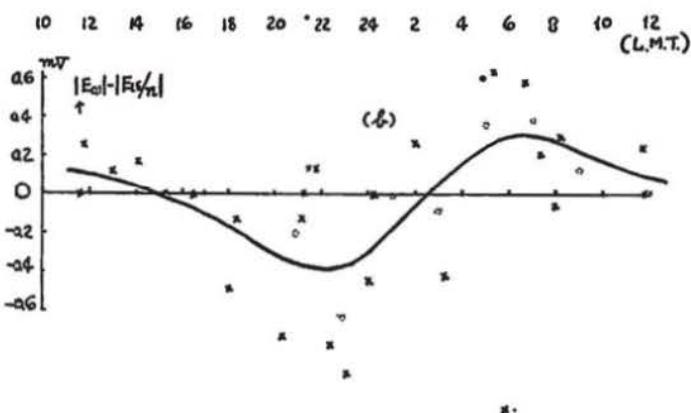
もので適當に一日中に分布した 24 回をより出したものが第 1 圖 (a) である。變化の有様は畠山氏⁽¹⁾が豊原の磁力観測より得たものと比較すると大體似たものである。第 1 圖 (b) は變化の極大値附近に於ける差電位差を $\left| E_{0.1} \right| - \left| \frac{E_{1.5}}{15} \right|$ で示してある。(a) と比較す

ると略々 $\frac{\pi}{2}$ 位の位相差が伺はれ、振幅の比は約 $\frac{1}{10}$ となつてゐる。個々の潮型變化の各時刻に於ける差電位差の偏差の大きさは變化の初めと終りの點では零で電位差が大きくなると大きくなる。

潮型變化の電流方向は他擾亂と同様に東西より略々 12 度北に傾いた直線に行きよする限定運動するが、平均方向からの偏差は日本中央標準時で 14~20 時、1~6 時の間は北方に、他の時間には南方に向く、この場合振幅 $\left| \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_0 \right| = 4.5 \times 10^{-7}$ volts/cm., $\left| \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right)_0 \right| = 7.1 \times 10^{-13}$ volts/cm. となる。

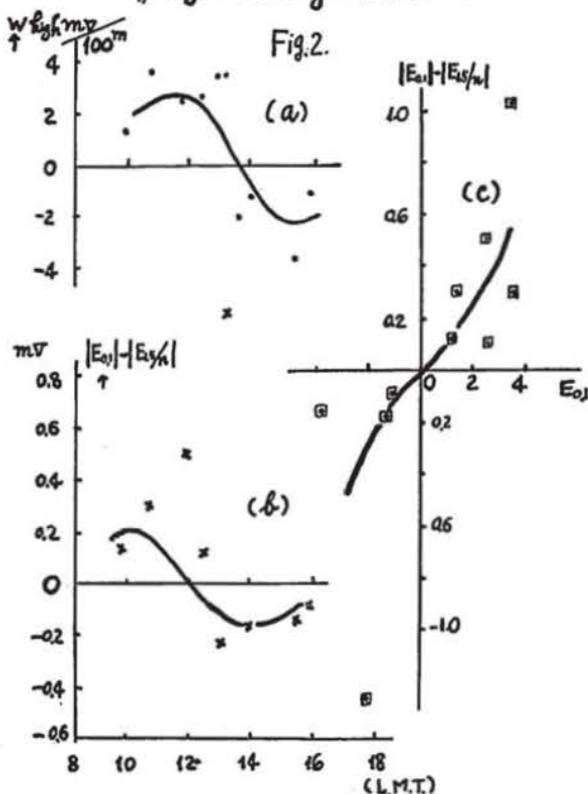
2. Mögel-Dellinger (M-D) 現象と差電位差

この現象は短波長無線通信の發達につれて極く最近問題となつたもので、無線の方では本邦でも外國でも色々な調査研究がなされてゐる。地球物理學的には現象が晝の部分にのみ限定されて起るのでいまだ廣い範圍に亙つて同時の比較観測がなく、地磁氣や地電流の變化が、無線通信の障碍と同時に起り、低緯度地方が變化大であるなど



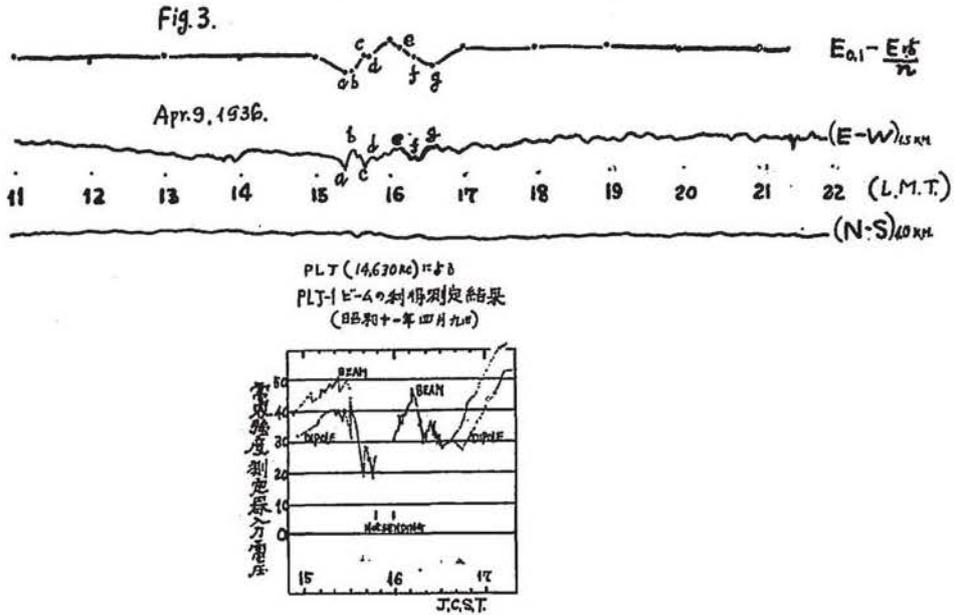
第 2 圖

„Mögel-Dellinger“ Variation.



(1) Geophy. Mag. Vol. XI. No. 1.

第 3 圖



定性的な断片的發表しか現れてゐない。しかしまとまつた研究が近い將來に現れるのも遠くはない様な機運にある。本邦に於ては今道周一氏が柿岡、豊原、青島の三ヶ所に於ける地磁氣の調査を最近發表されてこの方面の第一聲を擧げられたことはまことに嬉しいことである⁽¹⁾。この無線通信の障碍は太陽面の爆發的な輻射に因る比較的大氣の下層——E層乃至はそれ以下——の急激な電離作用によると一般に考へられてゐる。極最近太陽黒點の異常活動につれてこの現象發現の回数も増加する様な傾向がある。太陽面のもつと精しい観測が是非必要である。地電流に於ける一般的な型は、衝激的に突發して數分間に終つてしまひ、その變化の有様は急始地電流嵐の最初の部分に似てゐるものと、灣型變化の如く1時間位繼續するもの、及び初りと終りとが不明瞭で比較的時間續く場合がある。それ故現在は電位差の變化が測られる急激な場合に就いてのみ $\left| E_{0.1} \right| - \left| \frac{E_{1.5}}{n} \right|$ を求めると第2圖(b)となり、電位差の有様は(a)圖となる。突發的變化の數が少く又極狭い範圍(時間的)に密集して起る傾向があるので不十分であるが、この場合も第1圖と同様兩變化の間には大きい位相差が見られる。兩者の關係を坐標に示したものが(c)圖で上の有様を見易くしてある。兩者の平均振幅の比は約 $\frac{1}{14}$ となつてゐる。 $\left| \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_0 \right| = 5.0 \times 10^{-7}$ volts/cm., $\left| \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right)_0 \right| = 5.1 \times 10^{-13}$ volts/cm. を得る。第3圖は昭和11年4月9日の變化と、これに應ずる電界強度の測定結果*と

(1) 昭和十二年四月九日氣象學會月次會發表その他電波研究會に於ける講演。(本要報に掲載)

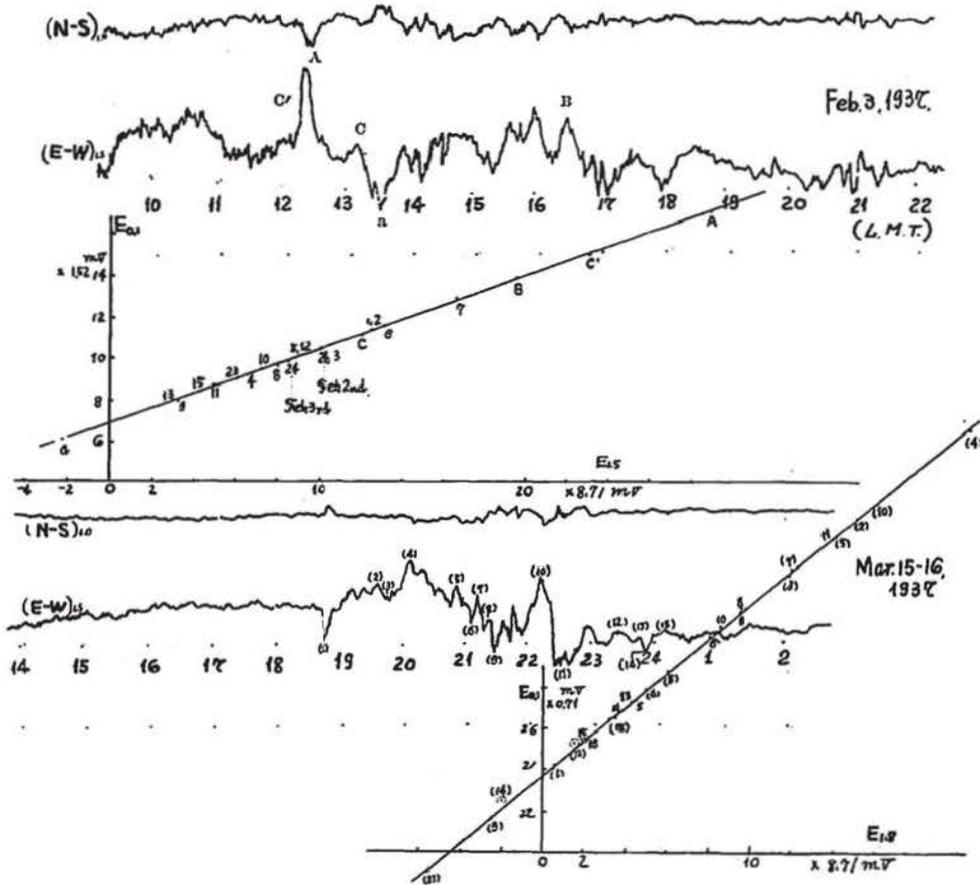
* 電氣學會雜誌, 第56卷第577號

を併記し、電波異常との関係の一端を示し参考に資する。

3. 地電流嵐と差電位差

地電流嵐時に於ては大小種々の型の變化が不規則に數時間乃至數十時間に亘つて活動するもので、差電位差の問題に關してはまことに興味ある機會である。果してこの様な不規則な、而も世界全般に亘つて起る變化の中どの部分が差電位差を呈するかを期間中の主要なものに就いて調べてみたが、その結果は現象そのものは汎世界的に起つても、その烈しい活動のため随分局所的に擾亂が起つてもよささうに思つた筆者の豫期に反して、非常にその様な場合少く、而もそれは長時間に亘つての變化といふよりは宛もさきの灣型變化や、(M-D) 現象の如く短時間の變化であることが

Fig. 4.



第 4 圖

多い様で、その一、二の例を第 4 圖に示しておく。上圖は可成大きい嵐の最も變化の大きい部分丈であるが主だつた變化には異常は見出されぬ。下圖は急始嵐の一例であるが異常と見られるのは

番號 (13)-(15) の部分の小變化のみである。この様な事實は嵐そのものゝ起り方や起る場所といったものに就いて何事か暗示する様に思はれると同時に、差電位差を與へる變化は特殊變化と見る外はない。

4. 脈動と差電位差

脈動は週期數秒から數十分に至る比較的規則正しい變化で、これらに關しては畠山、著者達の小論がある⁽¹⁾。この脈動に就いては差電位差は殆んど見られなかつた。唯週期1分以下のものは現在の自記装置が一時間が1.5 糎に相當するのであまり早くなく、別の調査が必要である。

5. 以上は地磁氣と共に現れる顯著な現象の中長短兩基線の電位差の測定の結果より電位分布の非一様性を示す様な特殊變化の二三に就いて述べたがこれに就いて若干考へてみる。

差電位差を構成し得る理由には測定装置を含む人爲的方面か、電流の媒質たる地殻、或は自然現象そのもの、若しくはその兩者の混合したものが考へて居る範圍に於て非一様性を持つてゐると考へねばならぬ。測定装置に於て若し讀取りの誤差に關係するかどうかには、目的の現象に比して他の部分の讀取りの數が非常に多いにかゝらず異常を與へぬ。又灣型變化や(M-D)變化に類似する變化は日常數多く、時に嵐時に於てはめづらしくないにかゝらず差電位差を見せぬ。例へば既述の如く急始嵐の初めの部分は(M-D)變化と型が非常によく似てゐるが異常はない(第4圖参照)。即ちこの様な特殊變化に於てのみ讀取りの誤差あるとは思はれぬ。若し又檢流計の固有週期の相違(兩檢流計は5秒及び3秒の週期)に關係するなれば電流の大きさと週期とに關係して檢流計を流れる電流の方向によらないにかゝらず、東西電位の高低が異ると差電位差も矢張異なり、これでは説明出來ぬ(第2圖参照)。又異常變化のあるものが全部は見かけ上短い週期を持たぬこともこの考に若干反對する。かくてともかく測器の方による誤差は考へることは困難である。若し地殻の性質と電流の方向に依存するならば日變化や其他同じ方向を採る變化に就いても矢張異常あるべきであるが然らず。結局は現象自身に因ると見るのが至當となつた。

灣型變化でも(M-D)變化でも僅々一時間内外に終り、事前状態に復歸するところをみると、原因は比較的短時間に消滅し、イオンの結合係數の相當大きい比較的大氣の下層部分に現象が發現するのではないかと推量されるが、電離層の研究からはE層若しくはそれ以下の部分の電離が突發的に増加することが云はれてゐる。この様な場合、現象が單一な電流系のみでなくこのため局所的異常擾亂が生じ、或は又平常の場合には電流系の位置と觀測點との相對的距離の大なるため利かなかつた様な不規則な變化がこの様な場合電流系の位置の相違のため影響が現れ來るかもしれない。即ち原因上下の所在の問題である。或周波數の電流とその高周波が混在してゐる様な場合、電

(1) 氣象集誌第二輯、第一卷第十號、第十二卷第九號、第十四卷第九號。

流の傾度は兩周波數の比の如何によつて相當の値を得ることが出来る。實際變化の型は單純なものでなく、半週期的或非週期的のものがあり灣型變化では短週期の振動の混在するのが特徴の様になつてゐる。この様な實際はこの方面の可能性に別に反對しない。或は又考へる變化の電流圏の中心が觀測地に非常に接近し、その部分の電流傾度が急峻な様な場合は日變化の如きものに比して、すつと大きい電位の二次微分を與へるかもしれない。即ち電流系の水平的位置の問題である。

現在我々は同時の地理的觀測結果を持たぬ故に、單に一ヶ所のみ結果よりはこれ以上進んだことは結論し難いことを遺憾とせねばならぬ。上に考へた可能性が果して實在するや否やはこの廣い觀測結果に待つ外はない。

終りに臺長閣下及び前文發表當日御懇切なる御批評を下された藤原先生、御援助を得た今道周一所長、又氣象學會に於て代讀された畠山氏に對して深謝して擱筆する。

(昭和 12 年 6 月)
