氣 象 集 誌

第 二 輯 第 十 四 卷 第 一 號

論 文

地球磁氣の原因としての水平電流に就いて (第一報)*

寺 田 一 彦

1. 緒 言

Gauss が彼の不朽の論文⁽¹⁾に於て導いた處の、地磁氣の原因が大部分地球内部にあると云ふ結果は、地球磁力は磁氣ポテンシャルより誘導し得ると云ふ事を假定しての事であつた。而も磁氣ポテンシャルを生ずべき磁氣要素を全部地球内部に假定しても、觀測値と計算値とが非常によく一致したので、此等の假定は事實を十分表はすものと見て差支へない事が判つた。其後多くの學者の研究も以上の假定を肯定するばかりであつた。

然し乍ら大氣中の種々の電氣的現象其他を考へ合せる時、此等の現象も地磁氣の幾分かに與つてゐると見るのが至當である。地球の磁場を横切つて電流が流れるならば、其處にはポテンシャルより誘導し得られない磁力が表はれてゐる筈であるが、地球内部に磁氣要素を考へた時の磁氣ポテンシャルにより地球表面上の磁力の實測値を可成りの程度まで説明し得るのであるから、磁氣ポテンシャルにより誘導し得ない項はあるとしても極く僅かのものであらう。

我々の磁力の觀測は地球表面のものである。従つてそれがポテンシャルより誘導し得ない項を含むか否かの問題は、地表を通り鉛直に流れる電流が、換言すれば地球表面附近を流れる電流の鉛直成分が存在するか否かの問題となる。此の計算は多くの誤差を伴ふ虞があるが比較的容易である。此の鉛直電流の計算は Rücker⁽²⁾を初め、Maurain、田中館の諸氏⁽³⁾が行つたのであるが、大さは大體 10^{-2} amp/km² 位で向きは處により區々であつた。L. A. Bauer⁽⁴⁾は地球全體を緯度圈に依つて分

* K. Terada: On the Horizontal Electric Current deduced from the Earth's Magnetic Force. (The First Paper). 中央氣象臺彙報, 昭和 10 年 9 月氣象學會にて講演。

(1) F. Gauss: Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus 1838 (Gauss Werke Bd. V. S. 119) 此の邦譯は嘗て東北帝國大學の山田幸五郎氏に依り行はれ、丸善より發行されたが、今は絶版となつてゐる。(科學名著集第四冊) (2) Terr. Mag. Vol. 1, 1896. (3) 例へば岡田武松: 地球磁氣學 p. 59.

(4) 此等の點に就いては例へば E. Schweidler: Die Aufrechterhaltung der elektrischen Ladung der Erde (1932) S. 53 を見よ。

けて各圈内の總體としての鉛直電流を、1900 年頃より 1920 年まで數回に互り夫々利用し得べき十分の材料を基として計算し、之が緯度圈に依り稍規則正しい變化をしてゐる事を指摘した。

其他多くの人々の研究の結果から鉛直電流が存在する事が知られるに至つたが⁽¹⁾之は畢竟地球表面近くの大氣中に何等かの形で電流が流れて居なくてはならない事を示すものであり、その地表に鉛直な成分のみが見出されたと見るのが穩當であらう。實際大體から見るも極地方では上向きの電流が計算され、赤道地方で下向きの電流が計算されたのであるし、Bauer 自身が引合に出してゐる Hertz の理論的結果と對比される様に、電流が閉回路を作つてゐると見るのが最も妥當な考へである。とにかく此の極く簡単な考へからしても、地表近くには鉛直電流と同様に水平方向の電流も存在しなくてはならない筈である。然らば此の電流も亦周囲の磁場に、ポテンシャルより誘導し得ない處の磁力を起す事になる。之が我々の實測する地表の磁力にも表はれてゐなければならぬ。此の磁力の部分を見出し、水平電流を計算すると云ふ事はさして困難ではないが、その殆んど不可能に近い理由は磁力の高さに依る變化を示す測定のない事である。従つて今までに、磁力による水平電流の計算は試みられたものを聞かない。

水平電流の計算の第一の基となるのは、磁力の高さによる變化の模様である。之が各地に於て試みられてゐない爲めに、我々は此の變化の模様を假定するより他に仕方がない。著者は先づ磁力の高さによる變化の信頼し得る假定を用ひ、之により水平電流を計算した結果を示し、併せて二、三の附帶の事項を述べる事とする。

2. 磁力の高さによる變化

地球磁力は Gauss, Schmidt, Bauer 等によりその大部分が地球内部に原因する事が知られた。従つて磁力の高さによる變化の近似的表示としては、磁氣要素が地球内部にある場合のポテンシャルより計算して十分である。然し乍ら更に概略の模様を見る爲めには、地球中心に磁氣能率 M を持つた小磁石を、地球磁極の方向に置いた場合に、地球の表面上に相當する地點に生ずる磁力分布が、實測結果を極く概略的に表はしてゐると云ふ事を用ひるならば、地心より r の距離にある點の磁力は α を小磁石の軸が、考へてゐる點への動徑となす角として、 $\text{grad}\left(\frac{M \cos \alpha}{r^2}\right)$ で與へられるから、地表近くの點に於ける磁力 H は、 H_0 を地表の値、 R を球形と見做した地球の半徑、 h を地球上の高さとすれば

$$H = H_0 \left(1 - \frac{3h}{R}\right) \dots\dots\dots (1)$$

で表はす事が出来る。之に依つて大體としての磁力の高さによる變化は得られたが、之は極めて簡

(1) 尤も F. Dyson 及 H. Furner は 1922 年の完全な地磁氣觀測の結果を基として Bauer と同様な試みをなし、鉛直電流は大體認められるが、十分の信頼度を持つとは云ひ難いと云ふ事を述べてゐる。(Geophys. Sup. Month. Not. R. M. S. vol. 1, p. 76)

單な假定から出發した粗雑な結果に過ぎないので、之がどの位の信頼度を持つかは長い間不明であつた。實際地球中心に小磁石を假定した結果が、地表で大體一致し、Gauss 等により地表での磁力が大部分地球内部に原因を有する事が知られたとしても、果して此等の關係が地球上の空間の各點に於て満足されるものであらうか。此等の點は尙ほ判然としてゐるものではない。

然し乍ら近時無線電信の急激なる發達は、我々に上空の電離圈の状態を窺ふに十分なる材料を提供しつゝある。地上より放出される電波が電離圈より返つて來る状況を詳細に調査すれば、電離圈に於ける磁力の大きさを掴む事が可能である。近時 Appleton 及び Builder⁽¹⁾の觀測は電離圈に於ては磁力は地球表面の 10% 位の減少を示す事を教へて居る。此の事實を (1) 式と照し合せる時、電波による磁力の觀測と (1) 式による磁力の計算とが可成りの程度まで一致する事を知るのである。

此の點よりして我々は先づ第一近似として、磁力の高さによる變化として (1) 式を採用する事としてもさ程の誤差は起らないであらう。尤も電離圈に於ける磁力の分布状態は地球表面又はその極く附近の磁力の分布状態に比べ大いに相違してゐるかも知れず、従つて (1) 式の計算によつて電離圈の磁力の數値、而も中緯度の一觀測地點に於ける數値と大體一致したとしても、之を以て直ちに (1) 式を、地表附近の任意の地點の磁力を表はすものとして採用する事は不當な點も少くないであらうが、現在の處水平電流の計算には何等かの式を假定しなければ不可能であるから、先づ (1) 式を用ひる事とするのである。上空に於ける磁力測定が各地で行はれる様になれば著者の此の取扱は或は變更さるゝ點もあらうが、第一近似としての (1) 式が根本より完全に覆へされると云ふ事は先づないと見て宜しいであらう。⁽²⁾

3. 水平電流の計算

磁場内に一つの閉曲線を考へ、その周圍に沿つて單位の磁極を一回動かす時、その磁極の爲す仕事为零でなければその閉曲線により圍まれた區域に電流が通り、その關係が

$$\oint \mathfrak{H} d\mathfrak{s} = 4\pi I \dots\dots\dots (2)$$

であると云ふ事を用ひて、各點の $\mathfrak{H}$ を知つて I を出す事が出来る。但し $\mathfrak{H}$ は磁力のベクトルで $d\mathfrak{s}$ は閉曲線の線素のベクトルであり、 $\mathfrak{H} d\mathfrak{s}$ は兩ベクトルのスカラー積であり、 I は全電流の強さである。 $\mathfrak{H}$ を Gauss 單位即 $C.G.S$ 單位で表はした時の I を 10 倍すれば電流は Ampère 單位となる。此の關係により電流を導くのであるから、地表の磁力分布のみでは鉛直電流しか出す事は出来ない。それで水平電流を出す爲めには磁力の高さによる變化が知れなければならない。

磁力 $\mathfrak{H}$ は一つのベクトルであるから、之をスカラーで表はすには三つの成分が必要である。今

(1) Proc. Phys. Soc. 44, p. 76, 45, p. 208. 尙 S. Chapman の論文 (Nature 133 793, 908) 等参照の事。
(2) 此の點に關する更に詳細なる議論は第二報に譲る事とする。

は X, Y, Z なる三成分を考へる事とする。 X は北向, Y は東向, Z は鉛直に下向の成分であるとする。各地の観測より X, Y, Z の成分が計算出来るから観測地點が多い程, 地球表面での此等の分布が推定出来る。次に此等の成分の高さによる變化は未だ知られてゐない。けれども之を次の様に考へる事が出来る。

X, Y, Z 何れも高さの函数であるとして, $f(h)$ を以て代表させる事とする。 h は高さを示すもので, 之は Taylor の展開が可能であるとして,

$$f(h) = f(0) + \frac{h}{R} \left(\frac{\partial f}{\partial h} \right)_0 + \frac{1}{2!} \left(\frac{h}{R} \right)^2 \left(\frac{\partial^2 f}{\partial h^2} \right)_0 + \dots \dots \dots (3)$$

と置ける。 $\frac{h}{R}$ 即ち高さを小さくするに従つて $\left(\frac{h}{R} \right)^2$ 以下の項は零になると考へる事が出来る。その時には

$$f(h) = f(0) + \frac{h}{R} \left(\frac{df}{dh} \right)_0 \dots \dots \dots (4)$$

であるから, 磁力は地表近くでは高さの一次式で表はされると見てよい。勿論此の時は $\left(\frac{df}{dh} \right)_0 \neq 0$ を假定してゐるのであつて, 之が零ならば次の項が残る事になるのは當然である。然し一次の項を残した理由は第一近似として (1) 式が考へられてゐるからである。

諸地表近く即ち h が小さい場合は磁力の向きはさ程變化しないと考へる事が出来よう。若しも (1) 式の様に地磁氣が地球中心の小磁石より導かれるものとするれば, 伏角 δ は

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{-\frac{\partial V}{\partial r}}{-\frac{\partial V}{r \partial \alpha}} \right) = \tan^{-1} (2 \cot \alpha) \dots \dots \dots (5)$$

となるから高さによる變化を示さないのである。此の事より考へれば h が小さい限り, 磁力の向きに變化が起らないとして差支ない。

従つて磁力の大きさの式 (1) はそのまま各成分の變化を示す關係として近似的に用ひ得るものであると考へて差支ない。依て

$$X = X_0 \left(1 - \frac{3h}{R} \right), \quad Y = Y_0 \left(1 - \frac{3h}{R} \right), \quad Z = Z_0 \left(1 - \frac{3h}{R} \right)$$

と置く事が出来るのである。但し下附記號 0 は $h=0$ 即ち地表上の値を示す。

實際には之に二次的の微量が附加すべきであつて, 之を今 X_1, Y_1, Z_1 とすれば

$$X = X_0 \left(1 - \frac{3h}{R} \right) + X_1, \dots \dots \dots (6)$$

と置く事が出来る。但し X_1 等は地表上で零であるのは云ふまでもない。斯くして地磁氣の成分の空間分布が地面附近で知られたから, 之より水平電流を計算出来る。

地球磁力を各地で測定し、磁力圖を作れば各地の磁力が知られる譯であるが、地球上各點に就きその地の磁力を算出する事は殆んど出来ない。従つて經度何度毎、緯度何度毎と云ふ點での磁力の三成分を與へる。之は色々の人が試みて有益な表がある。例へば經度、緯度5度毎にとつた様な詳しいものもあるが、大體の模様を見る爲めにはさ程詳しいものに依らなくともよい。とにかく此の様な地球上の選ばれたる地點に於ての地磁氣の三成分が知られたならば、緯度經度に沿つて適當の長さをとり、夫に平行に高さ h の線をとる四邊形を作るのである。

今水平電流を計算するには、圖の様に $ABCD$ の地球に平行した區域をとり、此の周圍についての $\oint \mathfrak{H} ds$ を計算すればよい。今 AD, BC は何れも鉛直線で高さは

第 1 圖

h であるとする。此の時

$$\oint_{ABCD} \mathfrak{H} ds = \oint_{ABCD} H \cos \theta ds,$$

(但し θ は磁力と線素 ds との爲す方角である)

の關係から、磁力の線素の方向の成分に就いての値が知られて居ればよい事になるから、 AB が東西又は南北向の時は磁力の X, Y, Z 成分が出てゐれば計算は非常に容易である。この時電流は紙面の前方に向ふ成分が出る事になる。

今 AB が南北方向を向き、 A の方が南によつてゐるとすると、

$$\oint_{ABCD} \mathfrak{H} ds = \int_A^B X_0 ds + \int_B^C Z ds + \int_C^D X ds + \int_D^A Z ds \quad \dots\dots\dots (7)$$

之を計算する爲めに、先づ地上各點の値 X_0 より AB 間の X_1 の平均値を計算する。之は圖式方法で試みて大した相違なしに出来る。之を $\bar{X}_0$ とする。

$$\bar{X}_0 \cdot AB = \int_A^B X_0 ds \quad (1) \quad \dots\dots\dots (8)$$

次に

$$\begin{aligned} \int_C^D X_1 ds &= - \int_D^C \left\{ X_1 \left(1 - \frac{3h}{R} \right) + X_1 \right\} ds \\ &= - \left(1 - \frac{3h}{R} \right) \int_D^C X_0 ds - \int_D^C X_1 ds \end{aligned}$$

となるから、近似的には $\int_D^C X_0 ds$ として $\bar{X}_0 \cdot CD$ を使ふ事が出来る。依て

$$= - \left(1 - \frac{3h}{R} \right) \bar{X}_0 \cdot CD - \bar{X}_1 \cdot CD$$

但し $\bar{X}_1$ は X_1 の平均値で二次的の微量である。尚ほ

(1) X は北向が正であると見做す。

$$\int_B^C Z ds = - \int_0^h \left\{ Z_0 \left(1 - \frac{3h}{R} \right) + Z_1 \right\} dh = - Z_{0B} \left(h - \frac{3}{2} \frac{h^2}{R} \right) - \bar{Z}_{1B} \cdot h^{(1)}$$

$$\int_D^A Z ds = + \int_0^h \left\{ \quad \quad \quad \right\} dh = + Z_{0A} \left(h + \frac{3}{2} \frac{h^2}{R} \right) + \bar{Z}_{1A} \cdot h$$

但し $\bar{Z}_1$ は Z_1 の平均値で二次的の微小量で suffix に A, B の文字をつけたのは夫々 A 點, B 點に於けるものを意味する。

此等を合計すれば

$$\oint_{ABCD} \mathfrak{H} d\mathfrak{s} = \bar{X}_0 \left\{ AB - CD \left(1 - \frac{3h}{R} \right) \right\} - \bar{X}_1 \cdot CD - Z_{0B} \left(h - \frac{3}{2} \frac{h^2}{R} \right) + Z_{0A} \left(h + \frac{3}{2} \frac{h^2}{R} \right) + (\bar{Z}_{1A} - \bar{Z}_{1B}) h \dots \dots \dots (9)$$

となり電流は東向きのものが得られる。

同様に南向きの電流を計算する爲めに圖の様に $A'B'$ を東西方向にむけ A' を西にとれば

$$\oint_{A'B'C'D'} \mathfrak{H} d\mathfrak{s} = \bar{Y}_0 \cdot \left\{ A'B' - C'D' \left(1 - \frac{3h}{R} \right) \right\} - \bar{Y}_1 \cdot C'D' + Z_{0A'} \left(h - \frac{3}{2} \frac{h^2}{R} \right) - Z_{0B'} \left(h + \frac{3}{2} \frac{h^2}{R} \right) + (\bar{Z}_{1A'} - \bar{Z}_{1B'}) \dots \dots \dots (10)$$

を得る。茲に於て

$$AB = R\alpha, \quad CD = (R+h)\alpha$$

$$A'B' = R \sin \theta \cdot \beta, \quad C'D' = (R+h) \sin \theta \cdot \beta$$

である。但し α は A, B 二點の緯度の差, β は A', B' 二點の經度の差, θ は A', B' 點の餘緯度 (colatitude) とする。然る時は

$$\oint_{ABCD} \mathfrak{H} d\mathfrak{s} = \bar{X}_0 \cdot 2\alpha h + (Z_{0A} - Z_{0B})h$$

$$+ 3\alpha \frac{h^2}{R} \bar{X}_0 - \bar{X}_1 (R+h)\alpha - (Z_{0A} - Z_{0B}) \frac{3}{2} \frac{h^2}{R} + (\bar{Z}_{1A} - \bar{Z}_{1B})h$$

$$\oint_{A'B'C'D'} \mathfrak{H} d\mathfrak{s} = \bar{Y}_0 2 \sin \theta \cdot \beta h + (Z_{0A'} - Z_{0B'})h$$

$$+ 3 \sin \theta \cdot \beta \frac{h^2}{R} \bar{Y}_0 - \bar{Y}_1 (R+h) \sin \theta \cdot \beta - (Z_{0A'} - Z_{0B'}) \frac{3}{2} \frac{h^2}{R} + (\bar{Z}_{1A'} - \bar{Z}_{1B'})h$$

となるが、右邊の第二行目は何れも第一行目に比べ $\frac{h}{R}$ に關し高次の無限小である。何となれば X_1, Y_1, Z_1 等は (6) 式の假定より $\left(\frac{h}{R} \right)^2$ 又は夫以上の高次の小量である筈であるからである。

諸電流密度を計算する爲めに各區域の面積を先づ求める必要がある。

(1) Z は下向を正と見做す。

第 3 圖

$$ABCD = \frac{1}{2}(R+h)^2\alpha - \frac{1}{2}R^2\alpha \doteq R h \alpha$$

$$A'B'C'D' = \frac{1}{2}(R+h)^2\sin\theta\beta - \frac{1}{2}R^2\sin\theta\beta \doteq R h \sin\theta\beta$$

より東向及び南向の電流密度を計算出来る。

$$i_E = \frac{1}{4\pi R\alpha} \{2\alpha\bar{X}_0 + Z_{0A} - Z_{0B}\} \dots\dots\dots (11)$$

$$i_S = \frac{1}{4\pi R\sin\theta\beta} \{2\sin\theta\cdot\beta\bar{Y}_0 + Z_{0A'} - Z_{0B'}\} \dots\dots\dots (12)$$

を得る。但し磁力を C.G.S. 単位で表せば上式を 10 倍すれば電流として Ampère 単位の値を得る。

茲に注意すべき事は、電流は地上の磁力の値のみによつて計算し得る事で、 h として如何なる程度のものをとつてもよい事になるが、之に就いての詳細は後報に譲る事とする。

4. 水平電流の分布

本論文に於ては A. Schmidt の論文⁽¹⁾末尾にある數値を基とした。之は緯度 10° 毎、經度 30° 毎の區域に就いての數値がガンマーを單位として表はしてある。⁽²⁾

此等より $\bar{X}_0$ 及び $\bar{Y}_0$ を計算する。之を計算する際に著者は圖式方法を用ひた。之では勿論細かい數字を與へる事は出来ないが、本論文が大體の模様を見る事を主眼としてゐる爲めに、圖式方法で十分である⁽³⁾。然る後は (11), (12) 式により $\alpha=10^\circ$, $\beta=30^\circ$ である事を用ひて容易に電流密度を計算する事が出来るが、之は東西向きの電流にあつては緯度線各 10 度の間の平均値であり、南北向きのものにあつては經度線 30 度の間の平均値である。今第 1 表に此等の數値を示す。單位は Amp/km² であるから、相當大きな電流の流れてゐる事がわかる。即ち鉛直電流の 100~1000 倍位のものである。表中正號は東向及び南向を示すものである。

此の表を基として緯度 10 度、經度 30 度の線にて圍まれた各區域内に流入する電流と、流出する電流との差異を計算する事が出来る。之によると若し地上或る地點で正又は負の電荷の蓄積が起れば其處には電流が密集するか、或は其處より電流が流出するかする譯で恰も湧點疏點の様な事が起る筈である。處が此の計算の結果によると誤差の範圍内で電荷の蓄積がないと云ふ結果になつたのである。尤も地磁氣の兩極に近い處では磁力の變動が著しい爲め誤差が大きく出たが、大體から見て電流は地球上を循環してゐると云ふ結論を導く事が出来る。勿論之だけでは唯湧口、疏口がないと云ふだけでどう云ふ工合に電流が流れて行くのかの模様は分らない。

(1) Abh. d. k. bayer. Ak. d. Wiss. II, XIX Bd I. (2) 緯度は南北 6° までである。

(3) 極く荒つばい取扱でも、此の問題に差支へがない事は第二報誤差の處で述べる。従つて Schmidt の値の様な、觀測地點の少い時のものを採用しても大して間違ひは起らない事がわかる。

第 1 表 平均電流 (Amp/km²)東西方向 (i_e)

Long	(E)							(W)				
Lat	0	30	60	90	120	150	180	150	120	90	60	30
(N)												
60-50	1.57	0.22	-0.25	1.01	2.11	0.75	0.60	0.23	-0.43	6.13	1.64	0.20
50-40	1.19	1.01	0.91	0.81	0.15	0.18	-0.50	-1.05	-0.49	0.21	0.07	0.58
40-30	0.45	0.24	0.44	0.65	-0.09	0.17	0.95	0.79	-0.56	-0.56	1.12	1.08
30-20	-2.03	-1.53	-1.51	-1.87	-0.60	0.99	1.22	1.10	-0.25	-1.57	-0.64	1.30
20-10	-1.33	-1.07	-0.96	-1.70	-0.85	0.78	1.32	0.08	-1.29	-1.59	-1.15	-0.17
10-0	0.60	-1.04	-1.08	-0.73	-1.03	-0.45	0.87	-0.38	-0.83	-1.11	-1.01	-0.18
(S)												
0-10	1.43	0.07	-0.95	-0.54	-0.89	-0.87	-0.06	-0.11	0.53	0.09	0.19	0.20
10-20	1.52	1.88	0.14	-0.32	-2.16	-1.37	-1.12	-0.13	-0.20	1.21	1.03	1.32
20-30	1.72	2.37	1.70	1.40	-0.47	-1.08	-0.03	-0.70	-0.19	0.71	1.81	1.47
30-40	1.54	2.33	2.45	0.91	1.07	0.93	-0.49	0.64	0.32	-0.24	1.34	0.88
40-50	0.75	1.22	1.64	0.45	-2.25	-1.61	0.53	0.75	-0.20	-0.36	0.14	0.45
50-60	0.60	0.48	1.05	0.46	3.39	4.91	-0.90	-3.46	-2.87	-1.59	0.01	0.62

南北方向 (i_s)

Long	(E)				(W)							
Lat	0-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-150	150-120	120-90	90-60	60-30	30-0
N 60	-1.10	-1.78	-0.40	-0.11	2.00	0.83	-1.47	-1.62	3.47	-1.74	1.64	0.45
50	-0.31	-1.20	-0.95	-0.64	2.16	0.80	-0.76	-0.89	-0.91	1.01	1.96	-0.15
40	-0.15	-0.99	-0.69	-0.21	1.78	0.95	-0.40	-1.12	-0.67	0.89	1.33	-0.17
30	0.01	-1.00	-0.72	0.29	1.48	0.57	-0.38	-0.49	-0.79	0.07	1.14	0.21
20	-0.12	-0.86	-0.64	-0.36	0.98	0.32	-0.31	-0.02	-0.37	-0.29	0.25	1.35
10	-0.25	-0.83	-0.30	-0.69	0.38	0.17	0.16	0.30	-0.21	-0.26	-0.17	1.68
0	0.24	-0.79	-0.37	-0.56	0.28	-0.16	0.51	0.37	-0.04	-0.38	-0.50	1.33
S 10	0.68	-0.47	-0.43	-0.39	0.21	-0.42	0.47	0.30	0.24	-0.56	-0.50	0.88
20	0.55	0.20	-0.25	0.27	-0.01	-0.58	-0.01	0.41	-0.16	-0.65	-0.62	0.84
30	0.43	0.33	-0.28	1.01	0.22	-1.07	0.22	0.20	-0.63	-1.16	-0.48	0.73
40	0.31	0.38	0.04	0.95	0.26	-0.64	-0.33	0.28	-0.42	-1.82	-0.33	0.58
50	0.23	0.51	0.80	2.55	-0.05	-1.87	-0.52	0.73	-0.34	-2.35	-0.57	0.43
60	0.51	0.50	1.58	1.72	-1.08	1.50	1.03	0.59	-1.33	-4.03	-0.85	0.70

此の水平電流の分布を見る爲めには、更に前表より内挿法により経度 10 度、経度 30 度の各交点に於ける東西、南北兩電流の値を出し、之を合成したものゝ大きさと方向とを出さなければならない。第 2 表には斯くして計算した電流の大きさと向きとが緯度 10 度毎、経度 30 度毎の経緯度線の各交点に就いて與へてある。表中の角度は南より東にまはつて計つたものを正、西にまはつて計つたものを負とする。

此の表を基として、中間の各点の電流の模様を圖式内挿法により推定し、之を用ひて電流の流動の圖を描く事が出来る。(第 4 圖)

第 2 表

経度	(E)							(W)				
緯度	0	30	60	90	120	150	180	150	120	90	60	30
N 50	1.4 100°	1.0 140°	1.1 160°	1.2 130°	1.4 60°	0.8 30°	0.1 70°	0.9 -150°	1.0 -140°	3.2 90°	1.7 30°	1.0 20°
40	0.8 100°	0.8 130°	1.1 140°	0.9 120°	0.9 0°	1.4 10°	0.4 40°	0.4 -160°	1.0 -150°	0.2 -60°	1.3 30°	1.0 50°
30	0.8 -80°	1.0 -120°	1.0 -150°	0.6 -110°	0.9 -20°	1.2 30°	1.1 80°	1.0 110°	0.8 -150°	1.1 -110°	0.6 30°	1.4 60°

20	1.8 - 70°	1.4 -110°	1.4 -120°	1.9 -110°	0.8 - 70°	1.1 50°	1.3 90°	0.6 100°	0.8 -100°	1.6 -100°	0.9 - 90°	0.8 50°
10	0.8 - 30°	1.2 -120°	1.2 -120°	1.3 -110°	1.0 -100°	0.3 30°	1.1 80°	0.3 - 30°	1.1 - 90°	1.4 -100°	1.1 -100°	0.6 - 20°
0	1.3 50°	0.6 -120°	1.2 -120°	0.8 -130°	1.0 -100°	0.7 - 80°	0.5 70°	0.5 - 30°	0.2 - 40°	0.6 -110°	0.6 -140°	0.4 0°
10	1.7 60°	0.9 80°	0.6 -140°	0.6 -130°	1.5 - 90°	1.1 -100°	0.6 - 90°	0.4 - 20°	0.3 30°	0.7 100°	0.8 130°	0.8 80°
20	1.8 70°	2.2 80°	0.9 90°	0.5 90°	1.3 - 90°	1.3 -100°	0.6 -120°	0.5 - 60°	0.3 - 50°	1.0 110°	1.6 120°	1.4 90°
30	1.7 70°	2.4 80°	2.1 90°	1.2 70°	0.7 40°	0.4 -170°	0.5 -150°	0.2 - 10°	0.2 160°	0.9 160°	1.8 120°	1.2 80°
	1.2 70°	1.8 80°	2.1 90°	0.8 50°	0.7 - 60°	0.4 -120°	0.5 180°	0.7 90°	0.1 150°	0.8 -160°	1.1 140°	0.7 80°
50	0.8 60°	0.9 70°	1.5 60°	1.7 20°	1.4 30°	1.9 -120°	1.2 -170°	1.9 - 90°	1.5 - 80°	1.7 -140°	1.5 180°	0.5 100°

電流の單位は Amp/km², 角度は南より東廻りに測つたものを正, 西廻りに測つたものを負とす.

第 4 圖

第2表より各緯度の平均値をベクトル的に計算すると第5圖の如くなり, 各緯度の平均値は殆んど完全に東西方向を向いてゐる. 北緯 30°, 南緯 10° 位を境として電流の東, 西の向きが變つて居り, その大さは最大値も 1amp/km² に達しない.

此等の表と圖とより導き得る主な結果は次の如くである.

- (1) 電流は赤道附近は大體西向きである.
- (2) 電流は中緯度地方では大體東向きである.
- (3) 此の主流の中に渦動が存在する. 渦動は赤道附近の西向の電流を境として南北に對峙して存

在する。

(4) 北半球の渦動は從つて時計の針の方向に廻轉し、南半球のは之と反對の方向に廻轉してゐる。此の渦動は主なもの南北半球に夫々二つ宛存在し、東經、西經夫々 90° 位の處で經度にして大體 180° 隔つた點にある。

(5) 此等の中央に夫々廻轉の向きを反對とする小さい渦動が存在してゐるが、大體として此等は前のに比べ高緯度にある。⁽¹⁾

第4圖を見ると磁氣赤道に關して、緯度に就いてよりも更に明な對稱形をしてゐる様に見えるので、之に就いて更に取扱つて見る。此時、取扱を簡單にする爲め次の簡略法を行ふ。即ち磁極を含む子午線面内では東西方向は磁氣赤道の東西方向と大體一致し、之に直角な子午線面内では東西方向を大體北の磁極の餘緯度に相當する角⁽²⁾だけ傾けると磁氣赤道に大體平行になると考へる。更に地球を以上二つの子午線を中央に含

第 6 圖

む區域四個に分けて、各區域内では大體として上の考

へが適用されると見て、磁極を極とした時の各緯度（磁氣緯度と呼ぼう）に就いて平均的の模様を調査して見た。之によると、大抵磁氣赤道に平行な成分が出て居り、赤道の處だけに西向きの電流があり、他は大抵東向きとなつた。然し乍らその大さは地理學的緯度の値より小さくその半分以下である。第6圖には、赤道の南と北とで平均した模様を圖示してある。但し平均の時には、南北半球が赤道に對し對稱的であると見たから、北半球の北向きのものと南半球の南向きのものとは相殺せず重ね合さる様になる。右に磁氣緯度による變化を示し、同じ事を地理學的緯度に就

第 5 圖

(1) 尤も南半球では以上と模様が十分違ふ様であるが測定が少いから北半球のものにより多くの重きを置くべきであらう。(2) 今は大體を示せばよいから、之を 20° とつた。

いて試みたものは左に示してある。之によつて見ると磁氣緯度による水平電流の變化は地理學的緯度に於けるよりも顯著でない事がわかる。尤も高緯度地方のは觀測値が少いから十分信賴出來ない。之は他面水平電流の原因を考へる上に一つの暗示を與へる事とならう。

第4圖の電流の動きの有様を一見すれば、之が氣流の分布と甚だ似通つた變動をしてゐるのに氣がつくのであらう。即ち氣流に於ても赤道地方では東風が卓越し、中緯度以上では西風が卓越して居り、南北半球の中緯度地方には高氣壓部が點在し、氣流は其處より北半球では時計の針と同じ方向に、南半球では之と反對方向に流れ出してゐると云ふ事實と對比する時、電流と氣流との流動の模様は如何にもよき一致を示してゐる事を見るのである。

偕此の一見甚だ似通つた變動をしてゐる電流と氣流との間に如何なる程度に關聯があるものであらうか。若し此の關聯の模様が説明し得るとすれば、地磁氣の一部分を大氣中の現象に依るものと解する事も可能となるのではなからうか。従つて此の點の究明は地球物理學的に甚だ大きな問題の一つでなければならぬ。今次に簡単に此の點に觸れる事としよう。

5. 大氣環流と水平電流

氣流の變動即ち大氣の環流と、此の地磁氣より計算されたる水平電流とに關聯があるか否かを見るのは、後者を前者により説明し得るか否かと云ふ事であり、之は氣流により運ばれる電荷より計算した電流が果して上の値と同一となるか否かの問題と同一であらう。

偕大氣中の電位差の測定を各地、各高度に於て試みて見れば、平均的に見て大氣中には過剰な正電荷が浮遊してゐなくてはならないと云ふ結果になる事はよく知られた事實である。従つて平均的に見れば、大氣中には過剰な分だけの正電荷のみが存在してゐると見て差支へない。此の電荷はやはり小 ion 又は大 ion の形として存在すると見做すのが穩當であらう。

然らば此の正電荷は如何なる變動をするかと云へば、先づ上空と地表との間に存在する鉛直電位傾度に従つて地表に向つて移動するであらう。此の移動は一つの電流(傳導電流)として表はれ、その大きさは大約 $2 \times 10^{-6} \text{ Amp/km}^2$ である。次に大氣の運動の爲めに電荷自身が運ばれるが爲めに生ずる鉛直方向の電流(對流電流)が生ずるが、之は空間電荷を ρ 、大氣の鉛直の速度成分を G とすれば ρG であるから、 G は 1 cm/sec 、 ρ は 10^{-7} e.s.u とすれば此の電流は傳導電流よりも小さくなる。⁽¹⁾

従つて水平方向の氣流の動き等を考へに入れるとしても、イオン電流としての鉛直電流の 10^6 倍近くも大きい處の地磁氣より計算された電流が、氣流の動きより説明し得るとは考へられない。

尤も上記のイオン電流の大きさは、晴天時の時の話であり、他の天候の時には一般には絶對値の甚だ多き電流が存在する筈であるが、雷雲の如き電氣的擾亂のある時を考へに入れるとしても全地球に對して平均して考へる時は、地磁氣より計算された電流をイオン電流より説明するのは困難で

(1) 例へば Kähler: Einführung in die atmosphärische Elektrizität.

ある。

従つて第 4 圖が大氣の環流系の模様と非常によき一致を示してゐるに拘らず、地磁氣より計算された電流はイオン電流としては説明する事が困難となつたのである。實際地磁氣より計算される鉛直電流すらイオン電流として説明し得ずに、未解決のまゝ残されてゐる現状であるから、之より遙に大きい水平電流がイオン電流より説明し得ないのは當然の事であらう。

6. 結 語

以上數項に互つて、A. Schmidt の材料を基として水平電流の存在に就いて記述し來つたが、之が存在し得る爲めには更に完備した他の材料によつても同一の結果に到達しなければならず、又測定計算の誤差如何をも十分考慮しなければならない。此等に就いては現在著者が調査し、十分水平電流の存在を確認する事が出來た様である。⁽¹⁾ 然らば可成り大きな値を持つてゐる此の水平電流が如何なる形で存在すべきものであるかに就いては、今後の調査に待つべきであるが、地磁氣の高さによる變化の假定の中に此の解決の鍵が握られてゐるのではないかと思ふ。⁽²⁾ 即ち本論文で導いた水平電流はやはり上空の電離圈附近に姿をかくしてゐるものゝ如くであるが、此の究明は今後の大きな問題の一つでなければならない。

本論文の第一報を草するに當つて岡田臺長、藤原博士及び昌山、本多の兩氏の御指導に對し謝意を申し述べる。

(昭和 10 年 10 月 於中央氣象臺)

粘 性 大 氣 運 動 論 (其の一)*

石 丸 雄 吉

目 次

§ 1. 緒 言	§ 6. 渦動軸と摩擦軸との關係
§ 2. 粘性大氣の運動の一般關係式	a) 定常流の場合
§ 3. 補助函數に就いて	b) 不定常流の場合
§ 4. 三次元に於ける風と氣壓傾度との關係	§ 7. 地球回轉に依る渦性のみの影響に就いて
a) 定常流の場合	§ 8. 二次元に於ける地球回轉に依る渦性の影響
b) 不定常流の場合	a) 水平流の場合
§ 5. 二次元に於ける風と氣壓傾度との關係	b) 經度圈に沿ふ流れの場合
a) 定常流の場合	c) 緯度圈に沿ふ流れの場合
b) 不定常流の場合	d) 等壓線が緯度圈に平行に配布せる場合

(1), (2) 此等の講演は 11 月 8 日氣象學會で爲され、その詳細は近く本誌に掲載される筈である。

* Y. Isimaru: On the Motion of Air in the Viscous Atmosphere. (1st Paper). 中央氣象臺彙報.