

# 国内又はその周辺地域の空電源より発する方位の受信

佐 尾 和 夫

## I 緒 言

一般的に空電は極めて遠距離から到達するものであり、又空電の気象学への応用面から見ても、遠距離の発雷状況がわかることは興味あることであるが、一面国内の夏期の発雷予報の見地からすれば、近距離の雷に対しても、その正確な方位を知り、その源の位置を決定することが望ましい。当所の空電方位測定は、従来、周波数10Kc/sに同調した方位測定機を用いて為されつゝあり、遠距離空電の受信に対しては、測定機自身が十分な精度を持っていることは確認されているが、一方国内に発する近距離空電に対する検討の機会が乏しかった。当所は1959年8月、この目的のために空電の方位測定を行ったし、又割合近距離より発する空電の受信方位像とそれを用いる場合の空電源位置決定についての理論的検討も行ったので、それらの結果を記述するのが、本文の目的である。

このような近距離の空電に対しては、方位の像は乱れている場合が多く、従って直線的な像の場合もあるが、一般的には楕円像の場合を考えなければならない。しかし、近距離空電に対する楕円方位像に就いて、その場合の真の到来方向と受信方位像の軸方向との誤差についての研究は従来なかったように思われる。

筆者は以下のような立場に立って楕円方位像を取扱ってみた。即ち近距離伝播であるので、地表波丈を考察し、又一般的に雷放電を水平双極子と考へて、不完全導体大地上に於ける水平磁界を計算することにより方位誤差角を評価した。更にこの理論的取扱いの結果に基づき、1959年8月に国内に発生した雷の方位測定結果を整理して、略正確に雷放電の位置を求めることが出来ることを確認し得たものである。

## II 受信方位像とその誤差角の評価

方位測定機は10Kc/sに同調した垂直々交棒型空中線であり、これに誘起する起電力は水平磁界の大きさに比例する。次に雷放電はその八割迄は雲間放電であり、従って垂直成分に比し水平成分が大きい場合を考慮し、茲

では雷放電を水平双極子と考へて取扱うこととした。従って大地を完全導体と仮定すれば、地表面上にある水平双極子の界は消滅してしまうので、大地は不完全導体と仮定した。猶、前節でも述べたように空間波は茲では取扱わずに、地表波丈を考察の対象とした。又厳密には、空電は瞬間的なパルス波であり、それが10Kc/s同調回路に加わった場合のレスポンスを調べなければならないのであるが、複雑化を避けるため、単一周波数の連続波で検討したものであることを断っておかねばならない。

表式の誘導については附録に示してあるが、その結果丈を示せば、第1図にあるように、原点におかれたx軸方向の水平双極子から発する地表面上任意の点に於ける水平磁界Hは誘導界と輻射界とを考慮に入れて

$$H_r = \frac{k^2}{j\mu\omega} \sin\varphi \frac{2}{n} \frac{e^{jkr}}{r^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$H_\varphi = \frac{k^2}{j\mu\omega} \cos\varphi \frac{2}{n} \left( \frac{jke^{jkr}}{r} - \frac{e^{jkr}}{r^2} \right) \dots\dots\dots (2)$$

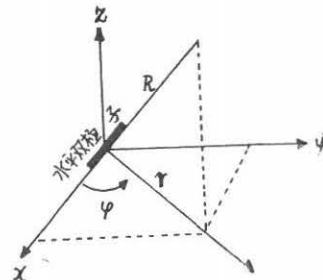
として求めることが出来る。茲でkは波の大気中の伝播定数、μは大気導磁率、nは大地の屈折率である。扱、Hの成分がH<sub>φ</sub>丈であれば、正しい到来方向を知るのに問題はないのであるが、H<sub>r</sub>が存在する場合、像の軸は真の方向から傾斜することになる。そこで、H<sub>φ</sub>成分をブラウン管上X軸にとり、H<sub>r</sub>成分をY軸にとって、Hの軌跡を求めると

$$-\cos\varphi \cdot \frac{k}{r} = A$$

$$\sin\varphi \cdot \frac{1}{r^2} = B$$

$$\tan^{-1}(kr) = \Psi$$

と置換して、時間因子を消去すれば



第1図

$$\frac{X^2}{A^2} + \frac{Y^2}{B^2} - 2\frac{XY}{AB} \cos\psi = \sin^2\psi \dots \dots \dots (3)$$

が得られる。ψの値は周波数 10Kc/s, 距離 r=50kmとしても π/2 に近い数字となるので, (3) 式は更に簡単にする事が出来る。

ところで, フィルム上で方位像の軸の角度を読む場合, 楕円方位像はその長軸方位を読むのが最も便利であるので, (3) 式の長軸が X 軸となす角, 即ち誤差角を求めてみると, この誤差角は小さいものとして,

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{-\frac{2}{AB} \cos\psi}{\frac{1}{A^2} - \frac{1}{B^2}} \sim \frac{-\frac{\tan\psi}{kr} \cdot \cos\psi}{1 - \frac{\tan^2\psi}{k^2 r^2}} \sim -\frac{\tan\psi}{kr} \cdot \cos\psi \dots \dots \dots (4)$$

が得られる。猶, 茲では  $\frac{\tan\psi}{kr} \ll 1$  と仮定した。一方, (3) 式の示す楕円の短軸と長軸の比は,

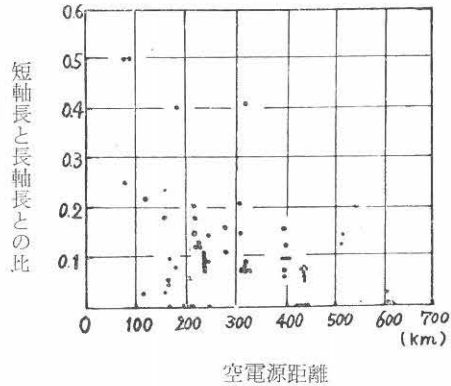
$$\frac{B}{A} = -\frac{\tan\psi}{kr} \dots \dots \dots (5)$$

であり, 従って誤差角 θ は短軸と長軸の比の数値より更に小さい (cosψ ~ 0) 数値となる事が判り, 実際問題としては方位像が楕円像の場合にも, その長軸方向を読めば, 殆んど誤差がないと言える。又当然のことではあるが, 遠距離 (r → ∞) になれば, (4), (5) 両式共消滅し, 誤差のない直線像となることは言う迄もない。

猶, ここに求めた取扱いは, 水平双極子から発する水平磁界であって雲間放電と雖も垂直成分が存在するから, これを垂直双極子と考えた場合の水平磁界が当然求められる訳である。しかしこの場合は, H<sub>φ</sub> 成分丈であるので全く問題とならず, 一方雷を詳細に見れば, その放電状態により, 垂直, 水平両成分の割合は夫々異り, 極めて繁雑となるので, ここでは水平双極子だけがあるものとして簡単に取扱ったわけである。

### III 観測結果との比較

観測結果を検討するに先立ち, 筆者は第 I 節で述べたように, 地表波丈を考察し, 空間波を取扱わなかった点について, 観測結果を一瞥する必要がある。本来空電の到来方位を読む時には, 方位像の最も外側の軌跡に対して方位角を読むのが普通である。従って最大振巾で到来した電磁波により励起される同調回路の振動電圧が考察対象である。一方それ程遠距離でなければ, 昼間の空間波は地表波よりも弱い筈であり, 従って方位像の最大振れの軌跡は優勢な地表波により励起されるものと解釈出来る。これに就いて, 1959年8月観測の国内に発生した空電の方位像の楕円性とその空電源距離との関連を



第2図 受信方位像に対する楕円の程度と空電源距離との関係

調べてみると次のようになる。豊川で受信した方位像について, その総数の約1/4はブラウン管上の scale over であったので之を省き, 他の総べてに対して, 方位像の短軸の長さに対する長軸の長さの比をとり, 之と空電源距離との関係を描いたものが第2図である。この結果をみると, 短軸の長さに対する長軸の長さの比は1/10~2/10程度のものであり, 又1/10程度の楕円は略直線に近いので考察しないことにすれば, 2/10程度の楕円像の空電は距離的には300km以内であることが認められる。従って空間波よりは地表波が優勢であると考えて良からう。更に第2図から距離が近くなる程楕円性が著るしくなることが判り, 地表波丈で楕円像を生ずる説明が必要となるのである。

扱, 1959年8月上旬に行った空電方位観測のフィルムから, 特にその楕円方位像に着目して日本国内又はその周辺で発したと思われる空電源の位置を求めることを試みた。約一週間行ったこの観測期間中の方位測定結果を整理した処, 以下のようなになった。勿論それらの方位像は楕円, 直線区々であり, 楕円像はその長軸角度を読み, 直線像はその角度を読むことに依り, 又略同一方向の方位は纏めて群として取扱った。15回9群を例にとると, その中には9個の空電を含み, その中の2個の空電方位像を例示すると, 写真1に○印で包んだ番号がこれに該当し, これを観察すると楕円像の長軸は直線像とほぼ等しい方位を示していることが判る。更に他の一例は, 写真2に示すように, これは15回15群に属する2個の空電方位像であって, 前述と同じようなことが言える。

このようにして観測期間中に国内に発生した空電源群の一覧は第1表に示す通りで, 25個の空電源群に対し, 国内各地において略正確に位置を求めることが出来た。

但し、総数の約1割に相当する空電源群は、位置決定が困難であったことをつけ加えねばならない。

猶、前節の(5)式に示すように、楕円像の短軸と長軸

の比は伝播距離にも依存するが、水平双極子を観測点から望む角度 $\theta$ にも依存するので、楕円像の形は、空電相互に著るしく相違することは期待出来ることである。

第 1 表

日	時	回	群	群に含まれる空電個数	空電源群の位置	備	考
3	18	4	5	15	御岳附近		
3	18	4	1	4	御岳附近		
3	19	5	5	10	乗鞍附近		
4	15	9	6	11	乗鞍附近		
4	15	9	14	2	富山南方		
4	15	9	12	3		中部山岳地帯ではあるが、正確には求まらない。	
4	19	12	16	12	松山附近		
4	19	12	17	3	豊後水道		
4	22	13	14	13	東支那海 熊本西南約400km		
5	13	15	9	9	香川県		
5	13	15	10	7		鳴門海峡から徳島県附近であるが正確には求まらない。	
5	15	16	3	3	舞鶴附近		
5	15	16	1	3	兵庫県北部		
5	15	16	8	5	和歌山附近		
5	15	16	14	6	四国中部		
5	15	16	10	13		三重県又は伊勢湾であるが正確に求まらない。	
5	15	16	6	6	淡路島附近		
5	15	16	15	3	津附近		
5	15	16	12	6		伊勢湾から紀伊水道にまたがるが正確には求まらない。	
5	15	16	5	2	岡山県中部		
5	17	17	12	3	伊丹附近		
5	17	17	13	2	福知山附近		
5	17	17	4	5	飛騨高原		
5	17	23	12	6	天草灘		
6	18	25	11	4	福知山附近		
6	18	25	12	3	兵庫県中部		
6	18	25	16	4	榛名山附近		
7	17	31	1	5	榛名山附近		
4	17	10	16	10	宮崎県北部		

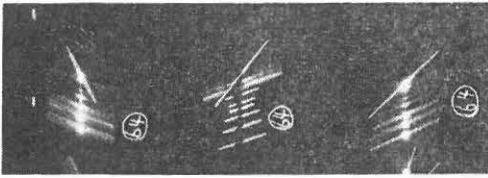


写真 1

国内空電源の方位像

- 左端フィルム……熊本の方位像
- 中央フィルム……豊川の方位像
- 右端フィルム……水沢の方位像



写真 2

国内空電源の方位像

- 左端フィルム……熊本の方位像
- 中央フィルム……豊川の方位像
- 右端フィルム……水沢の方位像

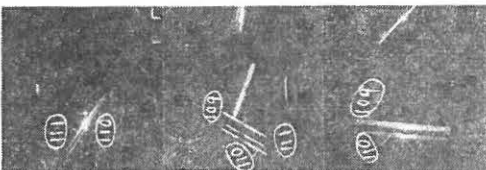


写真 3

国外で中距離空電源の方位像

- 左端フィルム……熊本の方位像
- 中央フィルム……豊川の方位像
- 右端フィルム……水沢の方位像

次に国外の空電に眼を向けると、それらは距離的にも遠くなるので、写真(3)にその一例を示すように、3観測地共殆んど直線像となっており、又それらの交点は云う迄もなく一点に会して、空電源位置を正確に求めることが出来る。これらの空電源群は第2表に朝鮮、太平洋上に於いて得られたものを掲げた。

第 2 表

日 時	回 群	群に含まれる空電個数	空電源群の位置
3 15	2 11	5	北鮮平壤附近
3 17	3 1	9	北鮮平壤西方100km附近
3 17	3 5	3	南鮮京城附近
3 17	3 6	7	北鮮平壤西方100km附近
3 18	4 2	6	北鮮平壤西方100km附近
3 18	4 8	5	北鮮平壤西方100km附近
3 19	5 2	2	北鮮新義州附近
6 15	23 7	2	太平洋鳥島附近
6 23	28 4	3	太平洋鳥島東方250km附近

#### IV 結 言

国内又はその周辺地域のように、比較的近距离の雷からの受信空電方位像について、それが楕円又は一層乱れた像の場合に対する正しい到来方位角とその誤差の考え方について、筆者は雷放電を水平双極子と仮定して、不完全導電性大地上の水平磁界を計算することに依り、楕円像の長軸は殆んど誤差なく正しい到来方位を示すものであるとの結果を得た上で、これを基礎として1959年夏季の国内の雷を対象とした観測結果を取纏め、約1割を除いて、ほぼ正確に空電源位置を求めることが出来たことを述べたものである。従って又現用の10Kc/s同調の方位測定機でその儘、比較的近雷の方位測定を行っても、実用上は差支えないことが結論出来た。

#### V 謝 辞

金原所長の不断の御指導に対し、心から御礼申上げると共に岩井助教授を始めとする空電研究部門の方々の空電測定に対する御協力には常々感謝している。又資料の取纏めに当っては、林光子氏の御努力によるものであって、あわせて謝意を表す。猶、本観測は1959年8月岩手県水沢市の緯度観測所並びに熊本市の九州電波監理局の御厚意によりなされたものであって、共に厚く御礼申上げる。

## 附 録

有限導電率大地上にある水平双極子から発する水平磁界

座標軸は第1図のようにとり、ヘルツ双極子は  $\Pi_x$ ,  $\Pi_z$  の両成分を有するものとする。この場合デカルト直交座標系による水平磁界は

$$H_y = \frac{k^2}{j\mu\omega} \left( \frac{\partial \Pi_x}{\partial z} - \frac{\partial \Pi_z}{\partial x} \right)$$

$$H_x = \frac{k^2}{j\mu\omega} \frac{\partial \Pi_z}{\partial y}$$

である。ここで、 $\Pi_x$ ,  $\Pi_z$  については次式(1)を用いる。

$$\begin{aligned} \Pi_x &= -\frac{2j}{kn} \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{e^{jkR}}{R} \right) = -\frac{2j}{kn} \frac{z}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left( \frac{e^{jkR}}{R} \right) \\ &\sim \frac{2}{n} \cdot z \cdot \frac{e^{jkR}}{R^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_z &= \frac{2j}{kn} \cos\varphi \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{e^{jkR}}{R} \right) = \frac{2j}{kn} \cos\varphi \frac{\partial R}{\partial r} \frac{\partial}{\partial R} \left( \frac{e^{jkR}}{R} \right) \\ &\sim -\frac{2\cos\varphi}{n} \left( \frac{r \cdot e^{jkR}}{R^2} + \frac{jre^{jkR}}{kR^3} \right) \end{aligned}$$

従って

$$\frac{\partial \Pi_x}{\partial z} = \frac{2}{n} \left( \frac{e^{jkR}}{R^2} + z \cdot \frac{\partial R}{\partial z} \frac{\partial}{\partial R} \frac{e^{jkR}}{R^2} \right)$$

$$\frac{\partial \Pi_z}{\partial x} = \frac{\partial r}{\partial x} \frac{\partial \Pi_z}{\partial r} = -\frac{2\cos^2\varphi}{n} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{r \cdot e^{jkR}}{R^2} + \frac{jre^{jkR}}{kR^3} \right)$$

茲で、 $r$  又は  $R$  は -2乗の項迄とるものとして  $\frac{\partial}{\partial r}$  ( ) の項を計算すると

$$\frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{r \cdot e^{jkR}}{R^2} + \frac{jre^{jkR}}{kR^3} \right) \sim \left( \frac{jkr^2}{R^3} + \frac{1}{R^2} - \frac{2r^2}{R^4} - \frac{r^2}{R^4} \right) e^{jkR}$$

となる。又同様に

$$\frac{\partial \Pi_z}{\partial y} = \frac{\partial r}{\partial y} \frac{\partial \Pi_z}{\partial r} = -\frac{2\cos\varphi \sin\varphi}{n} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{e^{jkR}}{R^2} + \frac{j \cdot e^{jkR}}{kR^3} \right)$$

が得られる。そこで座標系を円錐座標系に変換して、 $H_r$ ,  $H_\varphi$  を求めると、 $H_x$ ,  $H_y$  との関係式は

$$H_r = \cos\varphi H_x + \sin\varphi H_y$$

$$H_\varphi = -\sin\varphi H_x + \cos\varphi H_y$$

であるので

$$\begin{aligned} H_r &= \frac{k^2}{j\mu\omega} \left( \cos\varphi \frac{\partial \Pi_z}{\partial y} + \sin\varphi \frac{\partial \Pi_x}{\partial z} - \sin\varphi \frac{\partial \Pi_z}{\partial x} \right) \\ &= \frac{k^2}{j\mu\omega} \sin\varphi \frac{\partial \Pi_x}{\partial z} = \frac{k^2}{j\mu\omega} \sin\varphi \frac{2}{n} \left( \frac{e^{jkR}}{R^2} + z \frac{\partial R}{\partial z} \cdot \frac{\partial}{\partial R} \frac{e^{jkR}}{R^2} \right) \\ H_\varphi &= \frac{k^2}{j\mu\omega} \left( -\sin\varphi \frac{\partial \Pi_z}{\partial y} + \cos\varphi \frac{\partial \Pi_x}{\partial z} - \cos\varphi \frac{\partial \Pi_z}{\partial x} \right) \\ &= \frac{k^2}{j\mu\omega} \frac{2\cos\varphi}{n} \left( \frac{jkr^2 e^{jkR}}{kR^3} + \frac{e^{jkR}}{R^2} - \frac{3r^2 e^{jkR}}{R^4} + \frac{e^{jkR}}{R^2} + \frac{\partial R}{\partial z} \frac{\partial}{\partial R} \frac{e^{jkR}}{R^2} \right) \end{aligned}$$

茲で受信点を地表面上  $z=0$  におけば、 $R=r$  となり

$$H_r = \frac{k^2}{j\mu\omega} \sin\varphi \frac{2}{n} \frac{e^{jkR}}{r^2}$$

$$H_\varphi = \frac{k^2}{j\mu\omega} \cos\varphi \frac{2}{n} \left( \frac{jke^{jkR}}{r} - \frac{e^{jkR}}{r^2} \right)$$

が得られる。

## 引用文献

- (1) Sommerfeld, A. Partial Differential Equations in Physics. 1949. pp. 263—264.

