

距離による受信空電波形の極性の変化

佐 尾 和 夫

遠距離から到来した受信空電波形が、落雷放電によるものであるか、或いは雲間放電によるものであるかを知ることが興味あることであり、更にそれらが伝搬距離によってどのように変化しているかが判明すれば極めて好都合である。雲から大地への、いわゆる落雷による放電は、垂直双極子と仮定することが出来るが、一方、雲間放電はその垂直成分にだけ着目すれば、雲中の電荷の分布は、落雷の場合の逆であるから、垂直双極子の極性は落雷と雲間放電とで相互に反転しているわけである。ところで、個々の受信波形について特にその第1半波だけに注目してその符号を観察すると、正負まちまちであり、又ことに相等しい距離から到来した波形の中にも、第1半波が正に振れるものと負に振れるものとが見られるので、これは明らかに空電源すなわち雷放電における極性の相違と考えられるものである。以下昼間と夜間に分けて波形第1半波の符号を調べることにより、雷放電の様式とその放射距離についての考察を進めたい。

昼間波形については、1959年8月上旬の観測結果に基づき、空電方位測定による空電源位置の確定している円滑性昼間型 (smooth-daytime type) 波形の極性を、空電源距離との関係において調べてみた。多くの波形の中には第1半波の振巾が小さいために符号の判別困難なものもあったのでこれらは除外し、又海上伝搬と陸上伝搬とでは区別をする必要があるので、ここでは日本から西方又は北西方に発して陸上を伝搬した空電と、日本国内又はその周辺地域に発した空電とを調査の対象とした。取扱った波形の総数は203枚で、そのうち正符号は118枚、負符号は49枚であったので、波形総数に対する負符号波形の比率は約29%であった。この結果は、Lutkin⁽¹⁾が距離800~4,000kmで求めた288枚中の負符号波形の比率32.3%とよく一致しているといえる。次に符号を距離別に調べると、先ず雷放電の極く近傍における正、負符号の比率は、石川⁽²⁾によれば夜間の測定ではあるが、空電源より70km以内での観測では、波形1293枚に対し符号判定困難なものを除き、正符号は39.7%、負符号は60.3%となっている。この中で正符号は大部分が対地放電即ち落雷であり若干は雲間放電も含まれているが、一

方負符号は総べてが雲間放電によるものであったと報告されている。次いで筆者は、距離120kmから4,000kmまでの203枚の空電波形に対して各距離毎に負符号の波形枚数をその距離における全波形枚数に対する割合で求めると、図1の●印のようになり、即ち、1,000km以

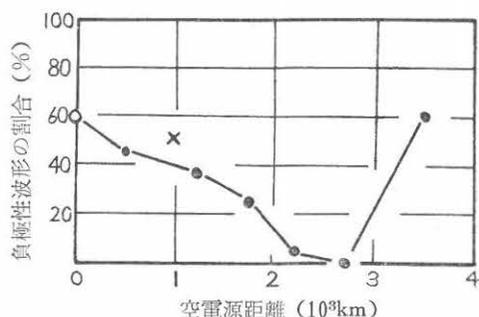


図1 負極性昼間空電波形の受信割合

内では正負ほぼ同数であったものが、距離が漸次遠くなるにつれて負符号は減少し、3,000km附近では殆んど正符号のものばかりが受信されるようになっており、この間ほぼ直線的に変化していることがわかる。即ち図1を雷放電様式からみれば、遠距離空電になる程、正符号換言すれば主に落雷の放電の受信される割合が多くなることが判り、結局雲間放電は落雷に比しその双極子能率が弱いため遠距離に到達する割合が減少するであろうと推察出来るのである。これに対して、Malan⁽³⁾によれば、約50km以内の雷放電に対し放射の強度を各周波数毎に測定している。即ち、落雷における帰閃放射振幅に対し、雲間放電の最強放射振幅の比を求め、各周波数毎にその概略値を与えているが、筆者は、100kc/s以下の周波数領域でのMalanの結果を図で示すと、図2のようになる。即ち、10kc/s附近では、雲間放電の最大振幅に比し、落雷の振幅は10倍にもなっているが、100kc/sでは双方の振幅は殆んど相等しくなっているのであって、空電波形で問題になる周波数帯では、雲間放電は落雷の約1/10の強度しかないことがこの結果から明白であり、遠距離ほど双極子能率の大きい落雷だけが受信されるという前述の考え方は当然であるといえる。なお、雲間放

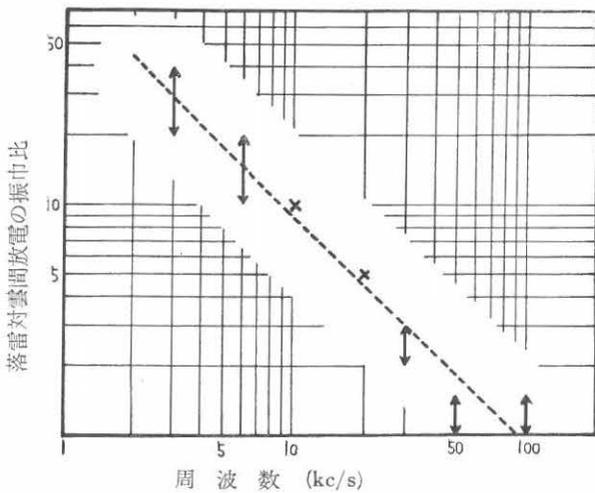


図2 落雷放電振巾と最大雲間放電振巾の比の周波数による変化 (Malan による)

電において放射される空電は、雲間放電中、突発的に輝度の強いKチェンジに対応するものと考えられており、ストリーマが電荷密度の高い領域に到達して、高い電流密度で放電した時に生ずるものと推察されている。

ところで、図1において、距離が3,000kmをこえると負符号波形が急増する傾向が目立つが、筆者はこれに対しては、3,000km以速でも同様に落雷による空電が受信されたものと解釈している。即ち、落雷による空電ではあるが、距離が遠くなると、伝搬時の位相推移により符号が逆転するものであると考えられるからである。以下この点について Wait(4) による導波管モード理論を用いて極く大雑ぱくに考察すると、垂直双極子による受信電界強度表式中、距離に依存する位相の項は、1次モードだけを考えて

$$e^{j\frac{\omega}{c}D} \{1 - \text{Re}(S_1)\} \dots \dots \dots (1)$$

で表わすことが出来る。ここでCは光速、 ω は角周波数、Dは伝搬距離、 S_1 は境界条件によって定まる1次モードの固有値(複素数)で ω の関数である。そこで空電波形波頭の周波数を12kc/sと仮定すれば、この周波数における $\text{Re}(S_1)$ は、HoweとWait(5)によれば、大地を完全導体とし、又電離層のパラメータ $B=0.2$ (換言すれば $\omega_r=1.3 \times 10^6 \text{sec}^{-1}$ 、電離層の高さ72.5kmに相当)の時、 $\text{Re}(S_1)=0.9962$ である。そこで(1)式から、符号が変化をする距離 D_0 は(1)式を $e^{j\pi}$ に等しいと置いて得られる式を解いて、 $D_0=3.3 \times 10^3 \text{km}$ が得られる。即ち、 $3.3 \times 10^3 \text{km}$ 以内は符号の変化がないことが判り、図1の約3,000kmにおける符号の変化は、雷放電様式

によるものではなく、伝搬の位相推移によるものであると言える。ただ、個々の空電源がその源における雷放電電流の位相の周波数スペクトルに相違があるために、符号逆転の距離が多少相違してくることが考えられ、3,500kmでは、その約6割が負符号に転じていることがわかる。

一方夜間の電離層反射型波形に対して以上の考察を行うとき、この場合は電離層反射型波形であるので、その伝播距離はほぼ1,500km以内であると簡単に考えて、距離的には細分せず一括して取扱うこととした。電離層反射型波形には、いわゆる規則性ピークR型(rounded regular peak型)と規則性ピークP型(peaked regular peak型)と2種類があるので、この両者に対して、波形の最初のピークの符号を、記録フィルム上で調査した。勿論最初のピークの符号が明瞭に断定出来ないものは省略した。ここに調査の対象としたのは、1958年9月と1959年8月の2観測期間中の波形に対し、掃引時間が適当であって波形の観察の容易なものに対してだけ集計したものであって、方位測定による空電源位置決定のないものも多数含まれている。波形総数204枚に対する結果を示すと、表1の

表1 夜間規則性ピーク型波形の型式による極性の割合

観測年月	規則性ピークP型		規則性ピークR型	
	正	負	正	負
1959年8月	1	45	35	13
1958年9月	6	14	55	35
小計	7	59	90	48
計	204			

ようになり、以下のようなことが結論出来る。第1に、夜間1,500km以内での発雷で受信される正符号と負符号との割合は、97:107であり、この数字は昼間時の値に比べてさほど変化はないこと。(この値は図1に×印でプロットした)第2に、元来負符号のピークは落雷では生ぜず雲間放電のみによって生ずるものであるが、表1によれば、負符号のうち59枚(55%)は規則性ピークP型であり、48枚(45%)は規則性ピークR型であるので、雲間放電からはP型とR型と両者の波形が放射されるものであることが言える。第3に、正符号は殆んど規則性ピークR型に集中しており、従って、落雷からは殆んど規則性ピークR型波形が観測されるものであると言える

ようである。これらの数字は、今後更に観測を増すことによつて多少の増減はあるかも知れないが、大勢は狂わないと考えられるので、以上の資料を集計して結果を導いたものである。

以上、筆者は約3,000kmまでの空電波形を受信出来る程度に測定機を調節した場合の受信空電波形が、主として落雷に起因するものか、或いは雲間放電に起因するものかを確かめるため、その第1半波の符号に着目して、雷放電の様式により伝搬距離がどのように変化するかを調査したものであり、更に夜間の電離層反射型波形については、落雷からは大部分が規則性ピークR型が受信され、又雲間放電からは規則性ピークR型と規則性ピークP型とがほぼ半数ずつ受信されることがわかった。

謝 辞

空電研究所長金原教授からは、絶えず御指導と御激励

をいただき常々感謝申し上げている。観測波形の資料整理と浄書は、林光子嬢の御助力に負うものであり併せて謝意を表する。

文 献

- (1) Lutkin, F. E. : Proc. Roy. Soc., **A171**, 285, (1939).
- (2) Ishikawa, H. : Proc. Res. Inst. Atmospherics, Nagoya Univ., **8A**, 262, (1961).
- (3) Malan, D. J. : Recent Adv. Atmos. Elect., L. G. Smith, Ed. 557, (Pergamon Press, New York, N. Y., 1958).
- (4) Wait, J. R. : Proc. IRE, **45**, 760, (1957).
- (5) Howe, H. H. and Wait, J. R. : VLF Symposium Paper 36 presented to the VLF Propagation Symp., Boulder, Colo., (1957).

