

主放電型昼間時空電波形の周波数スペクトル (I)

仲井 猛 敏

I. 緒 言

空電波形に関する討論は、最近活潑に行われて居り、空電波形の周波数解析については Bowe⁽¹⁾⁽²⁾ が実験的に観測した結果を報告している。著者は、主放電型昼間時波形に見受けられる準正弦波形の空電波形に着目し、かかる波形に適用される周波数解析を行い、波形全体の周波数スペクトル及び波形の各サイクル毎の周波数スペクトルについて考究し、波形の周波数スペクトルの形及び距離の影響等について考察した。

II. 周波数解析

1. 波 形

波形は第1図の如く、各固有の振幅及び周期をもつ半波長正弦波の一連の連続波から成ると考え、半波を始めより順に第1半波、第2半波...と呼ぶ。又例えば、第1半波及び第2半波の如く、連続する奇数番号と偶数番号とに夫々対応する2つの半波から成る1サ

イクルを準周期と呼び、始めより順に第1準周期、第2準周期...と呼ぶことにする。

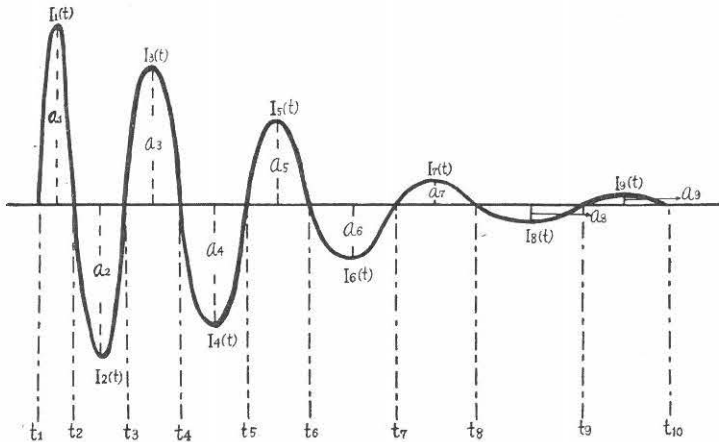
第1図の如く、記号 $t_1, t_2 \dots$ は夫々第1半波、第2半波...の始まる時間を表わし、第1半波の始まる時間 t_1 を原点に取れば、時間 $t_2, t_3 \dots$ は夫々第2半波、第3半波...が第1半波に遅れる時間を表わすことになる。又記号 $a_1, a_2 \dots$ は夫々第1半波、第2半波...の振幅を表わし、記号 $I_1(t), I_2(t) \dots$ は夫々第1半波、第2半波...の次の如き時間函数を表わすものとする。

第 n 半波の時間函数 $I_n(t)$ は次の如く定義される。即ち

$$I_n(t) = \begin{cases} (-1)^{n+1} a_n \sin \omega_n(t-t_n) & t_n \leq t \leq t_{n+1} \\ 0 & t_n > t \\ 0 & t > t_{n+1} \end{cases} \quad (1)$$

ここで ω_n は第 n 半波の角周波数を表わし、第 n 半波の準周期は $2(t_{n+1}-t_n)$ である。

第1図 数学的に取扱う波形



2. 半波、準周期及び波形の時間函数と周波数函数

上に述べた半波、準周期及びそれらの連続から構成される波形については夫々時間函数と周波数函数との間に、フーリエ変換及びフーリエ逆変換による照応が存して数学的に取り扱うことが出来る。即ち、第 n 半波の時間函数 $I_n(t)$ と周波数函数 $\Phi_n(f)$ との間には、

$$\left. \begin{aligned} \Phi_n(f) &= \int_{-\infty}^{+\infty} I_n(t) e^{-j\omega t} dt \\ I_n(t) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi_n(f) e^{j\omega t} df \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

但し、 $j = \sqrt{-1}$.

なる関係がある。上式で t, f 及び ω は夫々時間、周波

数及び角周波数である。

同様に、準周波の時間函数及び周波数函数を番号に対応して夫々 $q_1(t), q_2(t) \dots; Q_1(f), Q_2(f) \dots$ とすれば、第 n 準周波では、

$$\left. \begin{aligned} Q_n(f) &= \int_{-\infty}^{+\infty} q_n(t) e^{-j\omega t} dt, \\ q_n(t) &= \int_{-\infty}^{+\infty} Q_n(f) e^{j\omega t} df. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

なる関係が成立し、(3) の左辺の 2 つの函数 $Q_n(f)$ 及び $q_n(t)$ は、第 n 準周波を構成する半波、即ち第 $(2n-1)$ 半波及び第 $2n$ 半波の周波数函数及び時間函数により表わすことが出来る。即ち

$$\left. \begin{aligned} Q_n(f) &= \Phi_{2n-1}(f) + \Phi_{2n}(f) \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} I_{2n-1}(t) e^{-j\omega t} dt + \int_{-\infty}^{+\infty} I_{2n}(t) e^{-j\omega t} dt, \\ q_n(t) &= I_{2n-1}(t) + I_{2n}(t) \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi_{2n-1}(f) e^{j\omega t} df + \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi_{2n}(f) e^{j\omega t} df. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

となる。

波形の時間函数及び周波数函数を夫々 $I(t)$ 及び $\Phi(f)$ とすれば、同様に

$$\left. \begin{aligned} \Phi(f) &= \int_{-\infty}^{+\infty} I(t) e^{-j\omega t} dt, \\ I(t) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(f) e^{j\omega t} df. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

となるが、(5) の左辺の 2 つの函数は、半波或は準周波の周波数函数或は時間函数により次の如く表わすことが出来る。

$$\left. \begin{aligned} \Phi(f) &= \sum_{n=1}^m \Phi_n(f) \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \sum_{n=1}^m \{ I_n(t) e^{-j\omega t} \} dt, \\ I(t) &= \sum_{n=1}^m I_n(t) \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \sum_{n=1}^m \{ \Phi_n(f) \} e^{j\omega t} df. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

但し、 m は空電波形に見られる半波総数を表わす。

$$\begin{aligned} q_1(t) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \left\{ 2a_1 \frac{\omega_1 \cos \frac{\omega T_1}{4}}{(\omega_1 - \omega)(\omega_1 + \omega)} e^{-j\omega(t_1 + \frac{T_1}{4})} - 2a_2 \frac{\omega_2 \cos \frac{\omega T_2}{4}}{(\omega_2 - \omega)(\omega_2 + \omega)} e^{-j\omega(t_2 + \frac{T_2}{4})} \right\} e^{j\omega t} df \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \sum_{n=1}^2 (-1)^{n+1} 4 a_n \frac{\omega_n \cos \frac{\omega T_n}{4}}{(\omega_n + \omega)(\omega_n - \omega)} \cos \omega \left(t - t_n - \frac{T_n}{4} \right) df \end{aligned} \quad (9)$$

となり、(9) の右辺の被積分函数は周波数函数に時間因子を乗じたものである。

3. 半波、準周波及び波形の周波数函数を求める

計算式

(1) を用いて空電波形の各半波、各準周波及び波形の周波数函数を求める式を誘導することが出来る。

即ち第 n 半波の周波数函数は、(2) に (1) を代入すれば、

$$\begin{aligned} \Phi_n(f) &= \int_{-\infty}^{+\infty} I_n(t) e^{-j\omega t} dt \\ &= \int_{t_n}^{t_n+1} (-1)^{n+1} a_n \sin \omega_n (t - t_n) e^{-j\omega t} dt \end{aligned}$$

となり、これに $t - t_n = s$ の変数変換を行い、第 n 半波の準周期 $2(t_{n+1} - t_n)$ を T_n とすれば

$$\begin{aligned} \Phi_n(f) &= \int_0^{t_n+1-t_n} (-1)^{n+1} a_n \sin \omega_n s e^{-j\omega(s+t_n)} ds \\ &= (-1)^{n+1} a_n e^{-j\omega t_n} \int_0^{T_n/2} \sin \omega_n s e^{-j\omega s} ds \\ &= (-1)^{n+1} a_n e^{-j\omega t_n} \\ &\quad \times \frac{2\omega_n}{(\omega_n - \omega)(\omega_n + \omega)} \cos \frac{\omega T_n}{4} e^{-j\frac{\omega T_n}{4}} \\ &= (-1)^{n+1} 2 a_n \\ &\quad \times \frac{\omega_n \cos \frac{\omega T_n}{4}}{(\omega_n - \omega)(\omega_n + \omega)} e^{-j\omega(t_n + \frac{T_n}{4})} \end{aligned} \quad (7)$$

となる。上の結果を用いれば (2) より第 n 半波の時間函数を次の如く表わすことが出来る。即ち

$$\begin{aligned} I_n(t) &= \int_{-\infty}^{+\infty} (-1)^{n+1} 2 a_n \\ &\quad \times \frac{\omega_n \cos \frac{\omega T_n}{4}}{(\omega_n - \omega)(\omega_n + \omega)} e^{j\omega(t - t_n - \frac{T_n}{4})} df \\ &= \int_0^{\infty} (-1)^{n+1} 4 a_n \\ &\quad \times \frac{\omega_n \cos \frac{\omega T_n}{4}}{(\omega_n - \omega)(\omega_n + \omega)} \cos \omega \left(t - t_n - \frac{T_n}{4} \right) df \end{aligned} \quad (8)$$

となる。

準周波は第 1 準周波を例に取り、(4) の後の式に (7) を代入すれば後間函数 $q_1(t)$ は、

同様に、波形の時間函数 $I(t)$ は (6) の後の式に (7) を代入すれば、

$$I(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left\{ \sum_{n=1}^m (-1)^{n+1} 2 a_n \frac{\omega_n \cos \frac{\omega T_n}{4}}{(\omega_n - \omega)(\omega_n + \omega)} e^{-j\omega(t_n + \frac{T_n}{4})} \right\} e^{j\omega t} df$$

$$= \int_0^{\infty} \sum_{n=1}^m (-1)^{n+1} 4 a_n \frac{\omega_n \cos \frac{\omega T_n}{4}}{(\omega_n - \omega)(\omega_n + \omega)} \cos \omega \left(t - t_n - \frac{T_n}{4} \right) df \quad (10)$$

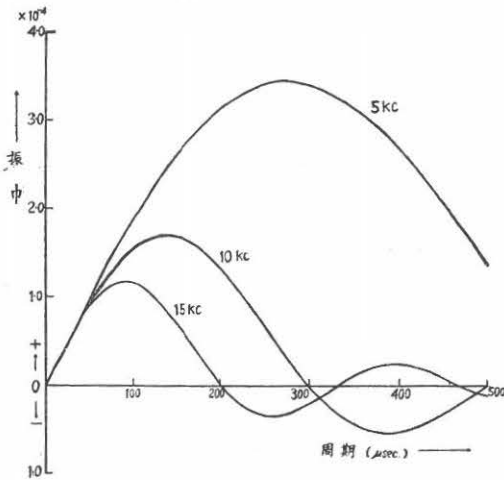
となり、(10)の右辺の被積分函数は周波数函数に時間因子を乗じたものである。

従って上の諸式から空電波形の準周波及び波形の各周波数スペクトルを計算することが出来る。

4. 図式求値法

扱て、半波、準周波及び波形の各周波数スペクトルは夫々(8)、(9)及び(10)の各時間函数を表わす無限積分の被積分函数から数値計算により求めることが出来るが、この計算は手数が掛り厄介なので、主として図式求値法による。

第2図 $\frac{\omega_n \cos \frac{\omega T_n}{4}}{(\omega_n - \omega)(\omega_n + \omega)}$ を表わすグラフ



第2図は

$$\frac{\omega_n \cos \frac{\omega T_n}{4}}{(\omega_n - \omega)(\omega_n + \omega)}$$

但し $\omega = 2\pi f$

の値を縦軸に取り半波の準周期 T_n を横軸に取って、周波数 f をパラメーターとして得られた曲線を示し、周波数 f が 5, 10 及び 15 kc の場合の曲線を例示した。即ちこれは準周期 T_n を有する正方向単位振幅半波長正弦波の周波数スペクトルにおける周波数 f の振幅値を、準周期 T_n について計算して得られた曲線である。第2図に例示した曲線の外に、1, 2.5, 6, 7.5, 9,

11, 12.5 及び 30 kc の周波数に関する諸曲線を求め、観測された空電波形の周波数解析に用いた。観測された空電波形から振幅 a_n 、遅れの時間 t_n 、準周期 T_n 及び角周波数 ω_n を求めて上記諸曲線を利用すれば、簡単な計算を併用して与えられた半波の周波数スペクトルにおける周波数 f の振幅

$$(-1)^{n+1} a_n \frac{\omega_n \cos \frac{\omega T_n}{4}}{(\omega_n - \omega)(\omega_n + \omega)} \quad (11)$$

が符号を含めて得られ、相対的位相角

$$\omega \left(-t_n - \frac{T_n}{4} \right) \quad (12)$$

は計算により求められる。

次に、円形方眼紙の動径上に周波数 f の振幅(11)を取り、又仮りに反時計方向の角度に相対的位相角(12)を取ると、(8)の右辺の第 n 半波の周波数函数に表わされる周波数 f の振幅及び相対的位相角を方眼紙上の一点に対応せしめることが出来る。同様に(9)及び(10)から、準周波及び波形の周波数函数に表わされる周波数 f の各振幅及び相対的位相角は、2個或は m 個の円形方眼紙上の点群に夫々対応せしめることが出来る。従って、これらの点群により表わされるベクトルの和を図上で求めれば、準周波或は波形の周波数函数に表わされる周波数 f の振幅及び相対的位相角が求められる訳である。

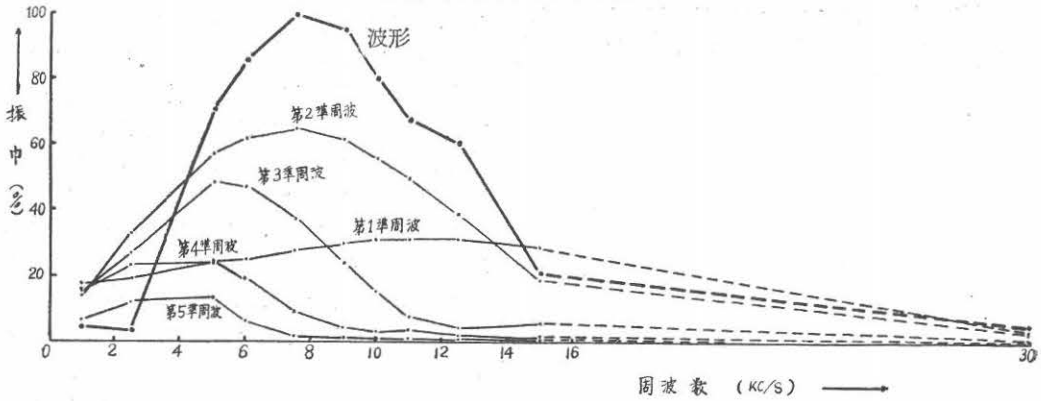
III. 準周波

II に述べた周波数解析法に基づいて図式求値法により、若干の波形の周波数スペクトルを求めた。解析した波形は主に当研究所所員が昭和29年9月6日から12日の期間豊川、秋田及び熊本の3観測地点で行った空電観測中、熊本で携帯用波形測定器⁽³⁾に記録されたものである。以下解析結果について考察する。

1. 準周波スペクトル

一半波の周波数スペクトルは、第2図から解るように、概して低周波側より高周波側へ向う一方減少の形をもっているが、一準周波の周波数スペクトルは第3図の如く、或る周波数で最大となりその両側へ向って減少する形をもっている。即ち第3図に見られるよ

第3図 波形及び各準周波の周波数スペクトル



うに、波形の周波数スペクトルと類似の形をもつから準周波の周波数スペクトルは、波形の周波数スペクトルを構成する周波数スペクトル成分と考えてよい。

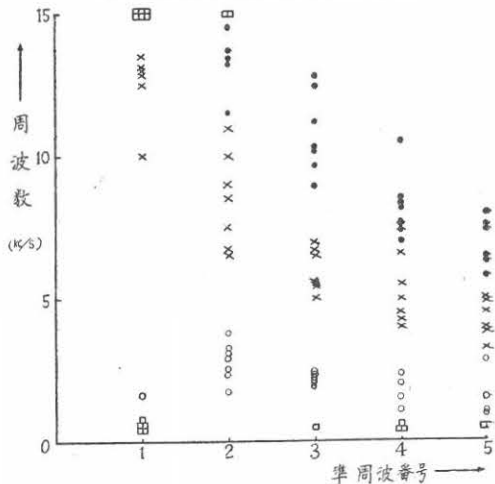
第3図は昭和29年9月8日15時10~13分の間に記録された波形に、周波数解析を行った結果から、波形及び各準周波の周波数スペクトルを図示したものであるが、両種周波数スペクトルの関係について一般の概念を与えると考える。即ち第3図から各周波数スペクトルの振幅強度の相対的關係、準周波番号の変化から周波数スペクトルに生ずる形の変化及び準周波の周波数スペクトル全体の低周波側への移行等についての諸概念が得られる。

2. 最大振幅、上方半振幅及び下方半振幅の各周波数

波形の周波数スペクトルにおいて、最大振幅及びその1/2倍の振幅をもつ高低各周波数を夫々波形の最大振幅周波数、上方半振幅周波数及び下方半振幅周波数と呼ぶこととし、準周波の周波数スペクトルについても同様に各準周波の最大振幅、上方半振幅及び下方半振幅周波数と呼ぶこととする。

扱て解析した波形について、準周波の周波数スペクトルにおける最大振幅、上方半振幅及び下方半振幅の各周波数の分布は第4図の如くなる。第4図には準周波番号を横軸に取り、準周波の最大振幅(x), 上方半振幅(●)及び下方半振幅(o)の各周波数を縦軸に取った。扱て第1準周波の周波数スペクトルを表わす曲線は周波数に関する変化が緩かた、上方及び下方半振幅の両周波数は夫々15 kc以上及び1 kc以下の周波数範囲にあるものが多く、これらの求められなかった上方及び下方半振幅の各周波数は夫々15 kc及び0.5 kc附近に口印を附して表わしている。第2準周波以下についてもこれに準じた。

第4図 準周波の周波数スペクトルにおける最大振幅及び半振幅周波数の分布

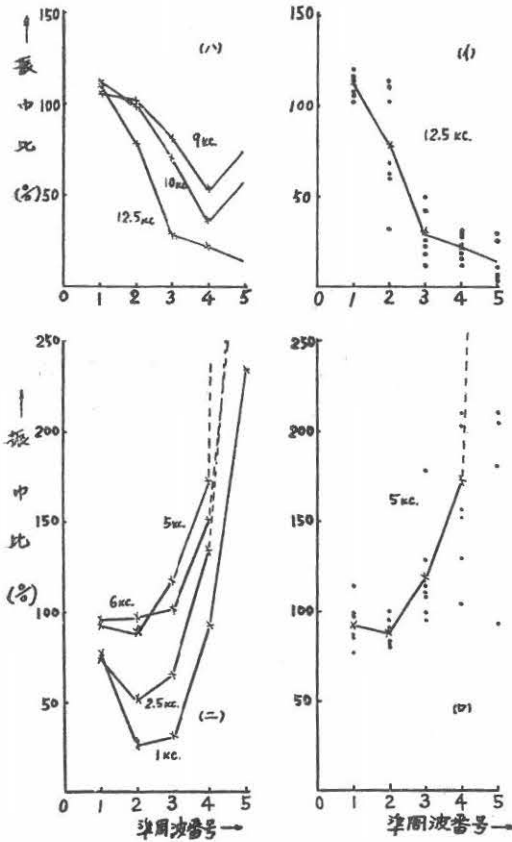


第4図の諸周波数に関する分布は、若干の波形に関するもので、最大振幅、上方及び下方半振幅の各周波数とも、多少ある周波数範囲に拡がることを示したが、3周波数とも準周波番号の増加に伴う低周波側への移行を示し、移行速度は最大振幅及び上方半振幅の両周波数において又低い準周波番号で急である。

3. 各周波数の相対的振幅強度

IIIの2に述べたことについて、準周波の周波数スペクトルの形が番号と共に変化する有様を、周波数7.5 kcの振幅に対する各周波数の相対的振幅比を取って示せば第5図の如くなる。第5図(イ)、(ロ)、(ハ)及び(ニ)はいずれも、準周波番号を横軸に取り相対的振幅比を縦軸に取った。第5図の(イ)及び(ロ)は夫々周波数12.5及び5 kcの相対的振幅比を表わす点のちらばり具合を示して居る。番号毎にかかる点の平

第5図
各準周波の周波数スペクトルにおける周波数の振幅
上と同一の準周波の周波数スペクトルにおける
周波数 7.5 kc の振幅



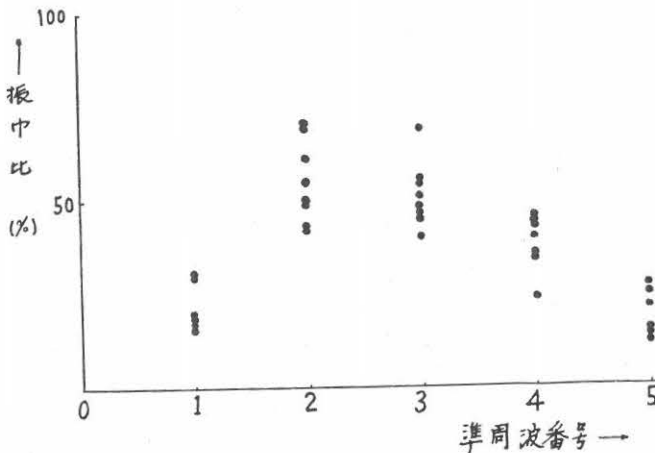
並点を結べば第5図(イ)及び(ロ)の平均折線が得られる。かかる平均折線を若干の周波数について求め第5図(ハ)及び(ニ)に示した。第5図(ハ)及び(ニ)は夫々 7.5 kc 以上及び 7.5 kc 以下の諸周波数に分けて示しているが、概して逆の傾向を示し、第5準周波で各平均折線は共に上向を示して居る。これらは準周波の周波数スペクトルが番号と共に低周波側へ移行することに対応して居り、例えば第5図(ハ)の 100% 以上の値は、最大振幅周波数が 7.5 kc より高い場合であり、100% 以下の値は 7.5 kc より低い場合である。

第5図(ハ)及び(ニ)の第5準周波の周波数スペクトルにおける各周波数の相対的振幅比の増加或はその非常に大きい値は、第5準周波の周波数スペクトルが低周波側に移行し、その急変化部分が通過して緩慢な変化部分が 7.5 kc の周波数附近に入るからである。尚、第5図(ロ)及び(ニ)に点線で連結線を示してあるのは、スケール外の点につながることを表わしている。

4. 波形及び準周波の各周波数スペクトルにおける最大振幅の相対的強度

各準周波が波形の周波数スペクトルにどんな割合で寄与するかをみるのに、各準周波の周波数スペクトルにおける最大振幅を波形のそれに対する百分比を以て表わせば第6図の如くなる。準周波番号を横軸に取り、上の振幅比を縦軸に取った。従って最大振幅の大きいさからのみみれば、波形の周波数スペクトルに対する寄与は第2及び第3準周波が主として働いていることが解る。

第6図 各準周波の周波数スペクトルにおける最大振幅の百分比
波形の周波数スペクトルにおける最大振幅



IV. 波形の周波数スペクトル

解析を行った波形の周波数スペクトルを第9図-1, 2及び3に示した。周波数を横軸に取り、周波数の振幅を縦軸に取った。A~Dの波形は昭和29年9月8日9時10~13分、E~Gの波形は同日15時10~13分及びHの波形は翌日の9時10~13分の各観測期間に、熊本で携帯用波形測定器に記録されたものである。I~Kの波形は昭和29年3月の観測期間に、豊川でW-60型の空電波形測定器⁽⁴⁾に記録されたものである。これらの3月の波形は準周波及び以下の考察には含まなかった。

1. 波形の周波数スペクトル

IIIの準周波において考察した波形について、各周波数スペクトルを周波数7.5kcの振幅に対する百分比を以て一緒に表わせば第7図の如くなる。横軸に周波数を取り、縦軸に百分比を取った。

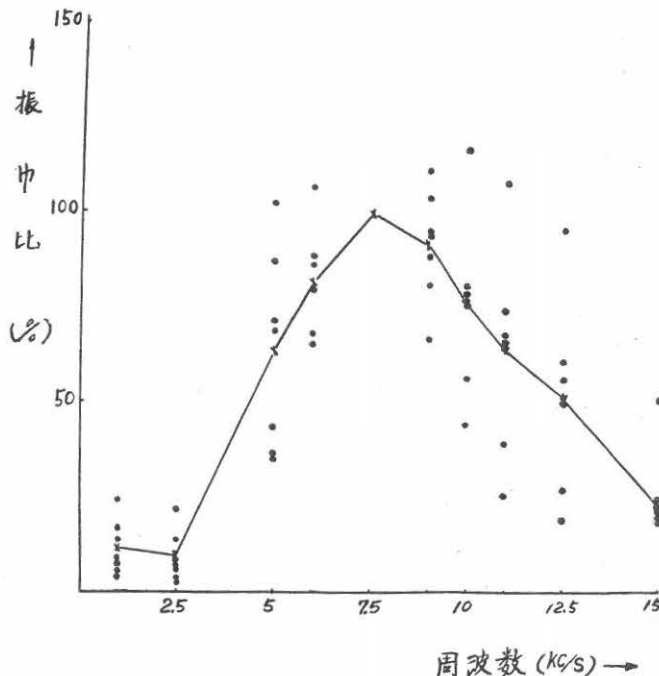
擬て、以下に波形の周波数スペクトル及びIIIに扱った準周波の周波数スペクトルとの関係について考察する。

解析した波形の周波数スペクトルにおける最大振幅、上方及び下方半振幅の各周波数は夫々6~10kc, 9.5~14.5kc及び3.5~5.5kcの各周波数範囲に在る

が、これを準周波毎最大振幅及び半振幅周波数の分布を表わす第4図とくらべると、波形の最大振幅周波数に関する6~10kcの周波数範囲は、第4図から第2準周波の最大振幅周波数に関する変化範囲と大略一致し、又第3準周波に関する同上の変化範囲の上半にかかっている。又波形の上方半振幅周波数に関する9.5~14.5kcの変化範囲は、第2及び第3準周波の同じ周波数に関する変化範囲に大略一致している。従って第6図の第2及び第3準周波が波形の周波数スペクトルに対する寄与の大きいことから、波形の周波数スペクトルにおける最大振幅及び上方半振幅の両周波数、従ってこの両周波数附近の周波数範囲は主として、第2及び第3準周波に影響されると考えられる。

この関係については、準周波毎の最大振幅及び半振幅周波数分布を表わす第4図、準周波の周波数スペクトルにおける各周波数の相対的振幅強度を表わす第5図及び準周波の周波数スペクトルにおける最大振幅を、波形の周波数スペクトルにおける最大振幅に対する百分比で表わした第6図から考察することが出来る。以下第4準周波の周波数スペクトルについて考える。第4準周波の周波数スペクトルにおける最大振幅周波数は第4図から平均を取ると約5kcになる。又

第7図 解析した波形の周波数スペクトルにおける各周波数の振幅分布



×は各周波数の振幅平均値を表わす

第5図から第4準周波の周波数スペクトルにおける周波数5kcの相対的振幅比は約170%であり、これは周波数7.5kcの振幅に対するものであるから、逆に周波数7.5kcの周波数5kcに対する相対的振幅比は100/170となる。又第6図から第4準周波の周波数スペクトルにおける最大振幅周波数即ち5kcの振幅は、波形の周波数スペクトルにおける最大振幅に関して表わせば、平均約40/100である。この上に得た2つの数を掛ければ、第4準周波の周波数スペクトルにおける周波数7.5kcの振幅を、波形の周波数スペクトルにおける最大振幅に関して表わしたものになる。即ち4/17がこれである。第4準周波の周波数スペクトルにおける他の周波数の振幅を、波形の周波数スペクトルにおける最大振幅に関して表わすには、第5図(ハ)及び(ニ)において、第4準周波に関する各周波数の縦軸の読みに4/17を掛ければよい。各準周波の周波数スペクトルにおける周波数7.5kcの振幅を、波形の周波数スペクトルにおける最大振幅に関して表わすことは同じようにして出来る訳で、第1,第2,第3及び第4準周波に関して夫々約1/5, 1/2, 1/2及び4/17となる。これらの数を9kc及び5kcの両周波数について使用すれば、9kcの場合には、第1,第2,第3及び第4準周波による振幅に対する寄与は夫々21, 51, 41及び13となり、第2及び第3準周波が主たる影響を有して居る。又5kcの場合には、第1,第2,第3及び第4準周波による振幅に対する寄与は夫々18.6, 44, 58及び41となり、高番号の準周波まで影響が大きいことが解る。これらの数値は、平均に関するもので、例えば5kcの周波数の場合には第5図(ロ)に見られるように、点のちらばりによる変化があることは明らかである。

扱て、再び波形及び準周波の両周波数スペクトルの間の関係に戻るも、前者における下方半振幅周波数は3.6~5.6の周波数範囲に在って、第4及び第5準周波の周波数スペクトルの最大振幅周波数の変化範囲によく一致し、又第3準周波に関してその変化範囲の下半にかかっている。従って、波形の周波数スペクトルの下方半振幅周波数附近の周波数範囲は、これら高番号の準周波の影響が大きいと考えられる。

2. 周波数スペクトルの単峰性と双峰性

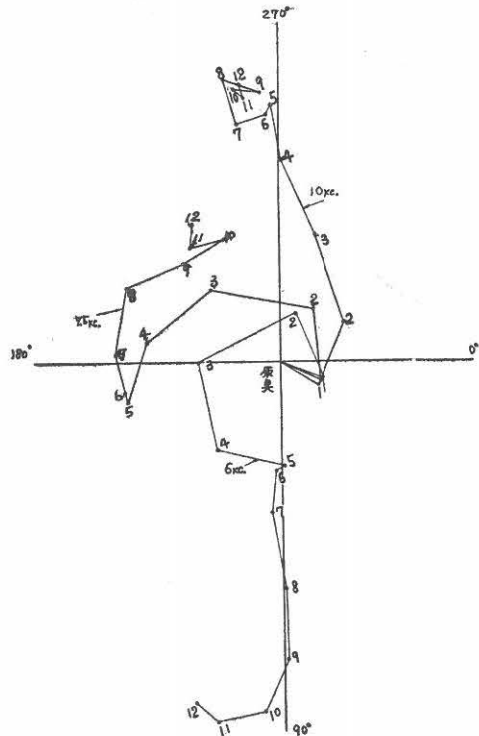
第9図-1, 2及び3に掲出した11例の波形に関する周波数スペクトルの形は、大多数は単峰性を示し、Cの波形のみ著しい双峰性を示した。扱て、B及びCの両波形は、昭和29年9月8日9時10~13分の観測期間に記録されたものであり、又豊川、秋田及び熊本の

3観測地点において、空電源を指示する各の方向線は、いずれも±1.5°以内の一致を示した。従って、この両波形の空電源は、可成り近接すると推論されるのである。記録された両波形をくらべると、波形の始めの数半波はかなり類似点があるが、著しい差異がそれ以後の半波に見られる。即ちCの波形は半波、振幅が始めより漸次減少するが、振幅減衰の後再び振幅が確立して、長い準周期の半波が比較的大振幅で連続する。

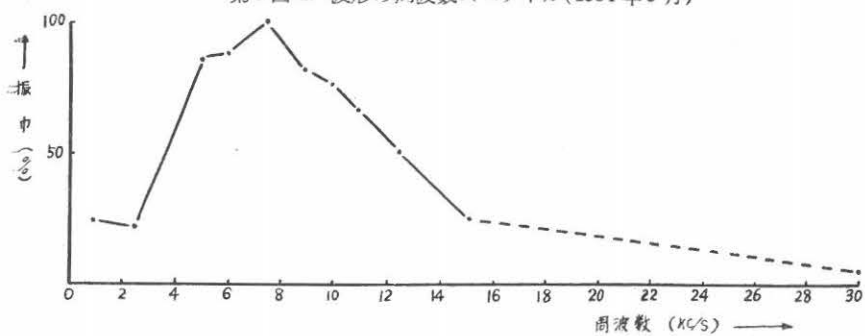
かようなCの波形の半波による構成が、周波数スペクトルの双峰性に関係するかどうか、図式求値法により周波数スペクトルを求める過程を調べてみる。第8図は第9図-1C波形の周波数6, 7.5及び10kcの各振幅を求めるベクトル合成図を示し、各周波数に関する0~1, 1~2及び2~3...の諸ベクトルは夫々第1半波、第2半波及び第3半波...が各周波数の振幅に寄与するベクトルであり、0~12の3ベクトルは、周波数6, 7.5及び10kcの各振幅及び相対的位相角を表わす合成ベクトルである。

第8図から、第1半波より第6半波までの寄与を表わす0~6の3ベクトルをくらべると、周波数10, 7.5及び6kcの順に振幅が大きくなり、第9図-1B波形の周

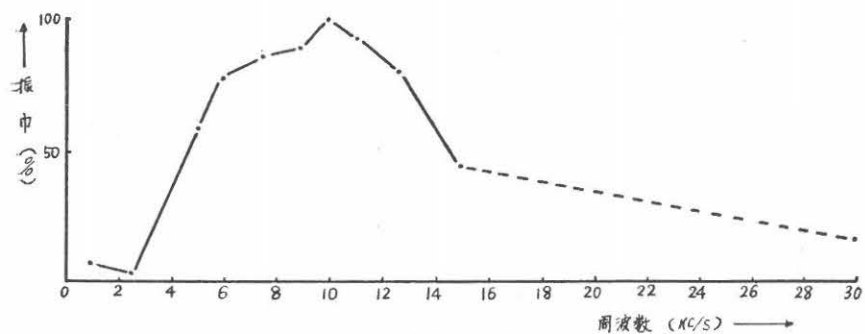
第8図 ベクトル合成図



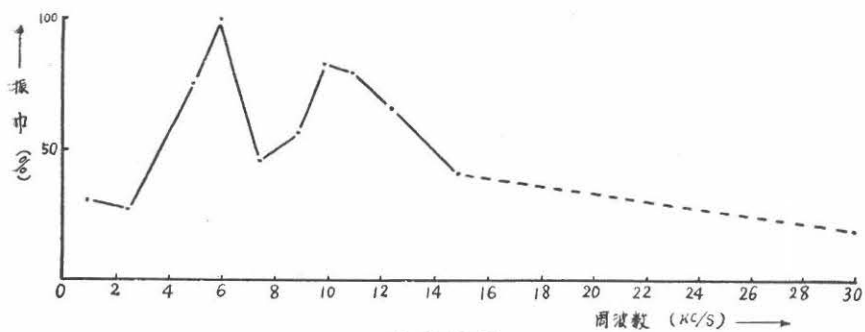
第9図-1. 波形の周波数スペクトル(1954年9月)



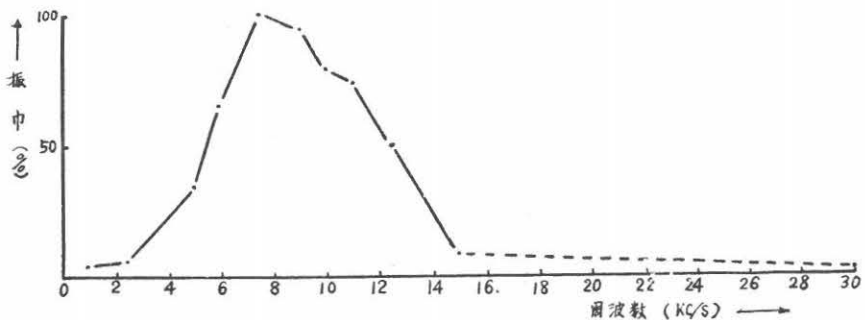
A. ⑩ 10-36



B. ⑩ 10-37

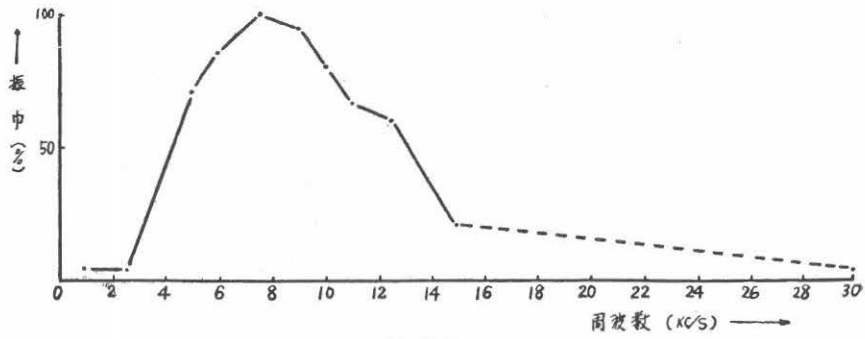


C. ⑩ 10-71

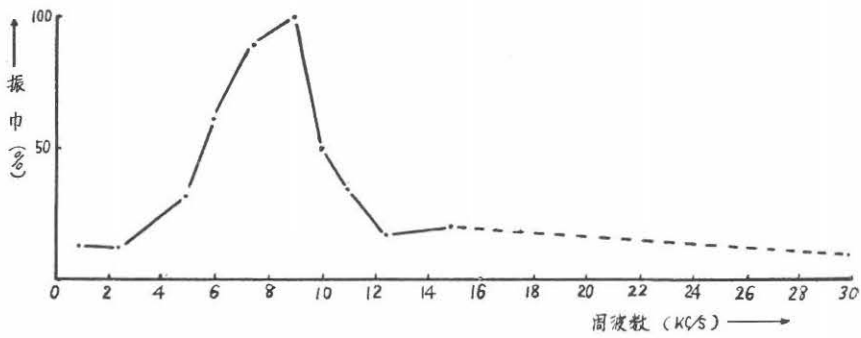


D. ⑩ 10-73

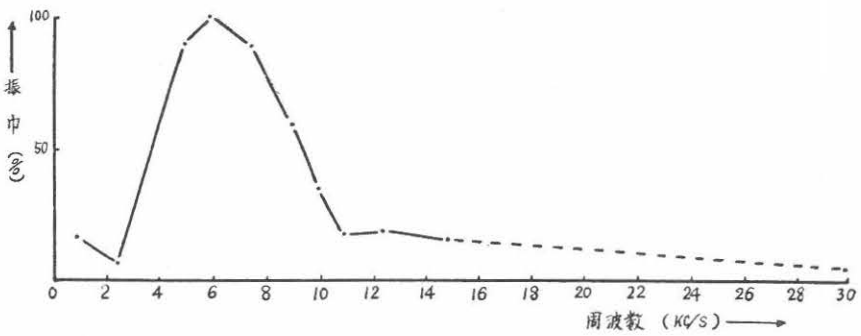
第9図-2. 波形の周波数スペクトル (1954年9月)



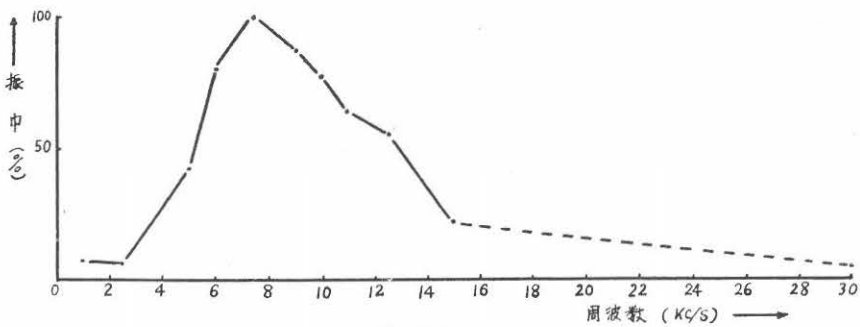
E. ⑬ 10-34



F. ⑬ 10-44

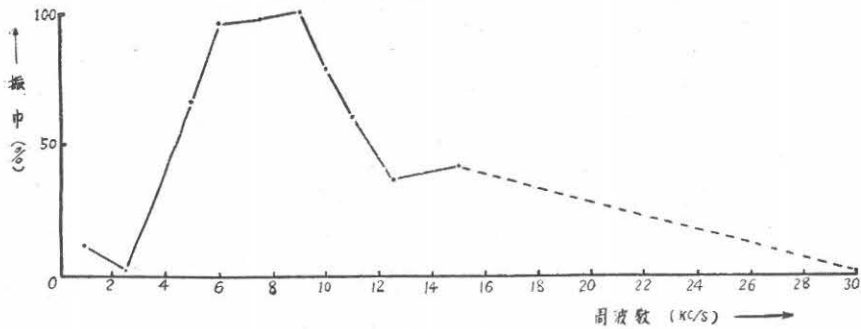


G. ⑬ 10-45

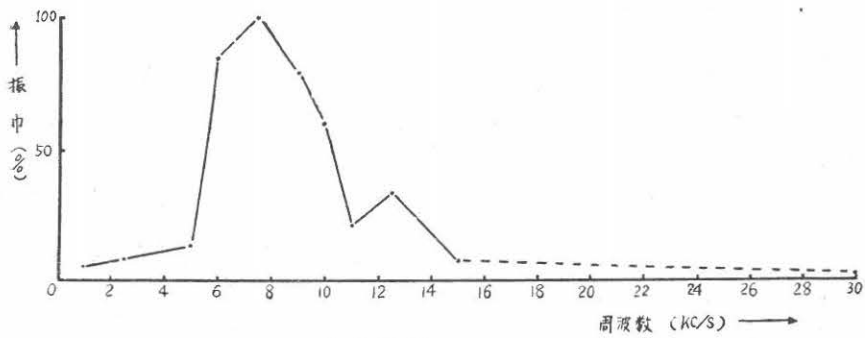


H. ⑬ 10-28

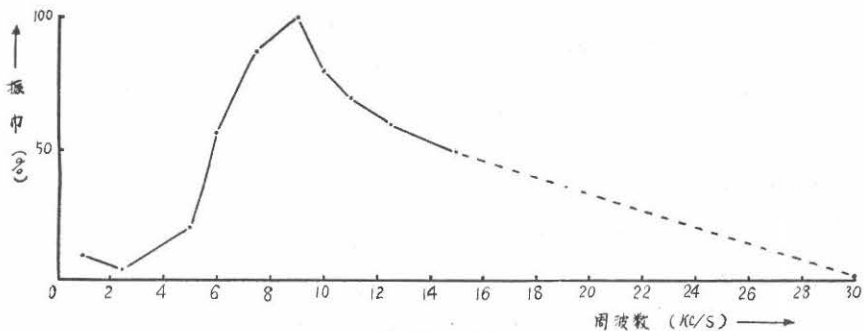
第9図-3. 波形の周波数スペクトル (1954年3月)



I. ⑩ 10-9



J. ⑩ 10-12



K. ⑩ 10-13

波数スペクトルにおける傾向に一致する。又第7半波以後即ちC波形の半波振幅再確立後の連続半波による影響は0~12の3ベクトルから、周波数6kcにおいて振幅増加著しく、周波数10kcにおいては振幅増加僅少で、周波数7.5kcにおいては却って振幅を減少させている。以上のベクトル図の追跡から、第9図-1 C波形の周波数スペクトルは、半波振幅再確立後の連続半波に基づくことが理解されるが、これは又第9図-1から、同じ空電源附近に発生したと推論される波形中の一つ、即ちB波形は単峰性の周波数スペクトルを示し、他の一つ、即ちC波形は双峰性の周波数

ベクトルを示したことに現われていると考えられる。

3. 波形の周波数スペクトルと距離

a. 空電源の位置

波形の周波数スペクトルと距離との関係について、解析した波形若干について考察するため、空電源位置及び距離は次の如く定める。

1. 空電源位置は従来通り3交合法、即ち豊川、秋田及び熊本の3観測地点における各空電方位測定器の指示する3方向線の一致点とするが、一致せぬ場合は、一方向線の最少移動角度で一致する点とした。

2. 同時刻の空電観測期間中、即ち毎観測時の10~13分及び20~23分の間に記録された全空電の中、3方向線が $\pm 1^\circ$ 以内で一致する空電は同一空電源に発するものと見做し、同一群に入れ、同一群に属する空電の距離を考慮した。

3. 豊川、秋田及び熊本の3観測地点の中、一地点欠測のとき記録された波形で、一方向線のブラウン管面の方位像が楕円であるものは距離不確定とした。

b. 周波数スペクトルの最大振幅周波数と距離との関係

波形の周波数スペクトルと距離との関係を考察するとき、最大振幅周波数が距離とどんな関係にあるか。第1表に解析した波形の距離及び最大振幅周波数とを掲出した。

第1表第1列のA, B...の諸記号は、第9図-1, 2及び3の周波数スペクトルの波形を呼ぶのに用いる。⑩, ⑬及び⑯は夫々昭和29年9月8日9時、昭和29年9月8日15時及び昭和29年9月9日9時に行われた各観測回を表わして居り、A波形の⑩10-36は昭和29年9月8日9時10~13分の間に記録された番号36の空電を表わして居る。第2列括弧内に表わす数は、IV, 3, aに述べた同一群に属する空電源距離の変化範囲を示した。

第1表より、観測期間中9時の観測時に記録された波形として、A~Dの4つの波形を取れば、距離1200~1400 kmの変化範囲で最大振幅周波数は7.5 kcを示し、距離3500~4000 kmの変化範囲において、最大振幅周波数は10 kc及びIV 2に述べた周波数スペクトルの双峰性により6及び10 kcを示した。又15時の観測時に記録された波形としてE, F及びGの3

つの空電波形を取れば、距離1500~2100 km, 2400~2700 km及び2600~3700 kmの各変化範囲において夫々6, 7.5及び9 kcの最大振幅周波数を示した。又A~Gの7つの空電波形を一括して取れば、距離1200~2700 km, 2600~3700 km及び3500~4000 kmの各変化範囲において夫々6~7.5 kc, 9 kc及び6~10 kcの最大振幅周波数を示した。従って解析した波形については、9時及び15時の各観測期間に記録された波形に区別した場合、或は両者の波形を一括した場合共に、波形の周波数スペクトルにおける最大振幅周波数は大体、距離と共に高周波側へ移行する傾向があると考えられる。

V. 結 言

以上、主放電型昼間時波形中の準正弦波型の波形若干について、本文に述べる処の周波数解析を行い、波形の周波数スペクトルとその成分と考えらるべき準周波の周波数スペクトルとの関係について若干考察し、又9月の観測期間に記録された波形として、周波数スペクトルの単峰性と双峰性及び距離との関係について考察した。解析した空電波形の数が少いため、勢い討論は限定されたが、今後尙多くの波形についてこの方法を適用したい。

VI. 謝 辞

本研究は、金原所長の御指導下に、岩井助教始め当所装置関係諸氏の御協力により観測された空電資料に基づいてなされ、研究中は始終佐尾助教の御助言及び御激励を受け、又整理、計算は、前田、杉田両嬢の労を煩わした次第で、ここに金原所長始め関係助教、助手及び職員の方々に深謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) *Bowe, P. W. A.: Phil. Mag., 42, 121 (1951).*
- (2) *Bowe, P. W. A.: Phil. Mag., 44, 833 (1953).*
- (3) 空電研究所報告, 第3巻, 第1-2号, p. 43 (昭27).
- (4) 空電研究所報告, 第3巻, 第1-2号, p. 37 (昭27).

第1表

| 波 形 デ ー ト | 距 離 (km) | 最大振幅周波数 (kc) |
|------------|------------------|-----------------|
| A. ⑩ 10-36 | 1200 | 7.5 |
| B. ⑩ 10-37 | 3500 | 10 |
| C. ⑩ 10-71 | 4000 | 6, 10 |
| D. ⑩ 10-73 | 1400 | 7.5 |
| E. ⑬ 10-34 | 2600 (2400~2700) | 7.5 |
| F. ⑬ 10-44 | 2600 (2600~3700) | 9 |
| G. ⑬ 10-45 | 1700 (1500~2100) | 6 |
| H. ⑯ 10-28 | 不 確 定 | 7.5 |