

# 空電雑音の統計的測定結果について

仲井 猛敏      鈴木 義弘

## I. 緒 言

1957年6月19日から約10日間地球観測年に行われる本観測の準備観測として、空電雑音包絡線第一振幅確率分布の測定及び空電雑音の長波電界強度の測定に用いられてきた方法、即ち積分法に基づく積分電界強度の測定を行った。近年空電雑音の無線通信系に及ぼす干渉効果を客観的に評価し、究極的には通信系の信頼度の改善に資するように空電雑音の通信系に及ぼす干渉効果と雑音の種々のパラメータとの間に存在する関係が問題にされ雑音の測度としては包絡線振幅の確率分布、このモーメント、雑音インパルスの平均数等が取り上げられ研究が継続されてきた<sup>1)2)3)</sup>。今回の観測は空電雑音の測定に限定されるものであつて、本文で述べる振幅確率分布は Sullivan が報告したように<sup>2)</sup> 一対数正規分布に近似されるかの問題の調査を出発点として、異つた標準偏差をもつた対数正規分布の構成による表現法について調査し、またかような分布のモーメントの評価について考察を行った。また分布を求めるために測定された時間率の瞬間的動揺値から雑音パルス周期を求める方法を考察し、周波数 100 kc で観測したデータに適用した。また毎時刻の分布から求められる標準偏差、時間率 50、5% の振幅、実効値及び積分電界強度等各パラメータについて、それらの時刻変化等を調査した。これらの結果を本文で述べる。

## II. 測定回路

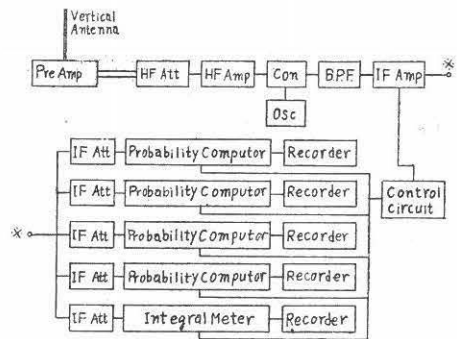
観測に用いた測定系のブロックダイアグラムを第1図に示した。この測定系は 10 m の垂直空中線、前置増幅器、主増幅器、これらに接続される同軸ケーブル、統計器4台、積分計、自動制御回路、時間信号回路等より構成される。受信周波数の可変範囲は 50 ~ 535 kc 中間周波数 30 kc、3 db 帯域幅は約 1 kc で受信機の中間周波出力は共通に各中間周波減衰器を経て積分計及び統計器に加えられ、これらは各々 50 mA の記録器に接続される。

受信周波数は本観測期間中 50 kc とした。

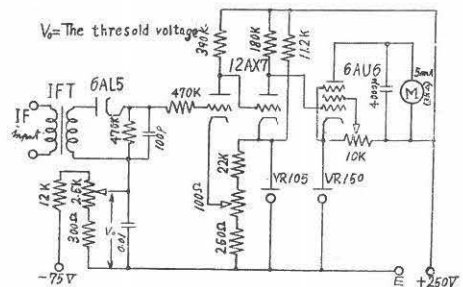
ここで統計器とは Sullivan により観測に使用され

た空電雑音包絡線振幅確率分布の測定回路である。その回路図を第2図に示した。

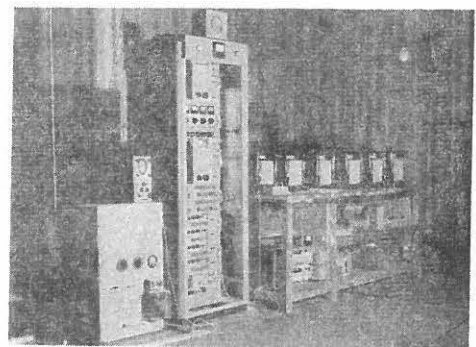
即ち受信機の雑音出力は直線検波特性をもつた2極検波器に加えられ、threshold voltage を超える雑音



第1図 測定器構成図

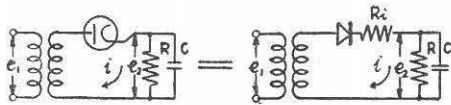


第2図 振幅確率分布測定回路図



測定器全景

出力部分だけが直流増幅され、出力回路にこの部分の継続時間に等しい幅の一定振幅 (5 mA) の電流パルスが流れ、時定数 12 秒の RC 回路を充電する。従つてコンデンサーの端子電圧は与えられた **threshold voltage** 換言すれば、それに対応した振幅強度を超える雑音振幅の継続時間の測定時間に対する比、即ち時間率を示すことになる。4 台の統計器には異つた **threshold voltage** を与え、振幅分布上の異つた 4 点を同時に記録することが出来る。積分計は既に他の処<sup>(4)</sup>で述べられているから、ここではその測定量について簡略に再記して置こう。主要回路の説明図を第 3 図に示した。この回路は積分法により、入力信号の積分強度あるいはエネルギーに比例する量を測る回路である。即ち測定量は次の数式で示される。入力電圧を時



第 3 図 積分電界強度測定器主要回路説明図

間  $t$  の函数  $e_i(t)=f(t)$  とし、積分周期  $T$  を空電雑音の継続時間に等しく取るものとすれば、回路の時定数  $RC$  を  $T$  に比し、充分大きく選んだ場合にはコンデンサーの電荷  $Q$  は

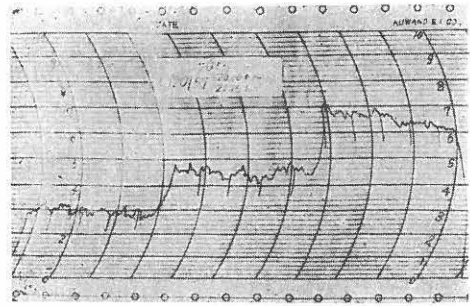
$$Q = K \frac{1}{R} \int_0^T [f(t)]^2 dt \quad (1)$$

で表わせることになり、入力信号の自乗即ちエネルギーに比例することが示されている。

### III. 観測及び整理

統計器の調整<sup>1)</sup>は観測期間中毎日 2 回約 12 時間おきに行つた。統計器 4 台では時間率の測定値は同時に分布上の 4 点しか求められないから、成可く広い確率範囲に亘る分布を細かく測定するために、毎時刻 0 分から 15 分までの 15 分間を 3 段階の測定区間に分け、5 分ごとに中間周波数段の利得を 5 db 宛変えて測定を行つた。第 4 図に示した統計器記録器の時間率の記録に見られるように **trace** の階段状の変化は各 5 分間の測定区間に対応している。測定区間が切替わる最初の 1 分間は過渡的变化を示すから時間率を示していない。

積分計の記録も減衰器の切替えに応じ類似の階段状を示したが、利得変化に即応して速かに正しい積分電界強度を示すように時定数を約 8 秒に選んだ。時間率及び積分電界強度の記録計の速度はそれぞれ約 1.2



第 4 図 時間率記録例

cm/min 及び 0.2 cm/min であつた。

測定区間 5 分ごとの時間率の測定値は各々独立の 3 つの時間的に隔つた分布を反映しているから、これら各個の分布を総合する場合に、これらの分布がいずれも同一の空電に基づくものか否かを吟味してかかる必要がある。

従つてこれら独立の分布を対数正規分布の確率紙上にプロットした時、これら分布形に差異がない場合、及び同じ **threshold voltage** に対してほとんど変化のない時間率が読み取れた場合は、同一空電雑音に基づくものと考えられるから平均し一つの分布に総合した。

次に時間率換言すれば、コンデンサーの端子電圧の読み取り方であるが、第 4 図に示されるように **trace** 上の瞬間値は測定区間中可成り脈動し、どの時点の値を読むかに従つて求められる分布形に可成り影響することが分つた。そこで統計的に恒常的なデータとしては、かような記録から時間率を如何に読み取るかと云う問題が生じた。それに関して後述の如く第 4 節で考察を行つたように、その結果に基づいて時間率の平均を取ることにした。

實際上時間の節約と労力の減少と云う点から 15 秒間隔の時間率を読み取り、その平均を取ることにしたが、また平均区間をどの位にすべきかと云う点に関して求められる分布は恒常的に一定なデータである必要があるから、次のように予備的調査を行つて、平均区間は 1 分間とした。即ち 1 日 24 回の時間率の観測データについて平均区間を 4 分間と 1 分間とに分け、各々 15 秒間隔で時間率を読み取り、それらの各平均値を比較した処、少く共低確率 1~2% 範囲まではほとんど完全な一致が得られることが分つた。

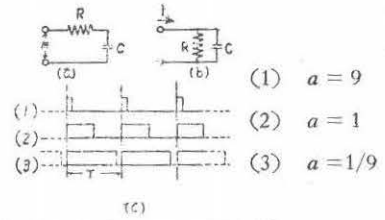
従つて 1 分間の 15 秒ごとの時間率の読みを平均すれば、統計的に恒常的なデータが求められると考えられるから、本観測の整理は総てこの方法により行つた。

IV. パルス模型

Horner は等しい振幅分布をもち、かつ通信系に及ぼす妨害度を異にする雑音パルス模型を例に挙げ<sup>2)</sup>、雑音包絡線の振幅確率分布の測定は同時に、パルス幅、パルスの平均数を測ることの必要性を述べた。ここに、与えられた threshold voltage に対し等しい時間率を示す波形は多数考え得られること、また前節で述べた通り時間率の測定記録の trace の脈動は波形構造に関係があること、またこの関係は逆に trace の脈動を測ることにより、波形構造について推論が可能であること等、以下これらのことについて述べよう。

統計器 RC 回路の充電電流は与えられた threshold voltage を超える雑音振幅の部分の継続時間に等しい幅の等振幅電流パルスの random な構成であろうと考えられる。擬最も簡単な場合として矩形状等振幅電流パルスの周期的波形を考察しよう。パルス巾を  $\tau$  sec, 非導電時間を  $a\tau$  sec 従つて周期  $T$  sec を  $(1+a)\tau$  としよう。今  $\tau/(1+a)\tau = \tau/T$  を時間率  $p$  に等しいとすれば、 $a$  は  $p$  に依存して定まりこれを  $a_p$  としよう。周期  $(1+a_p)\tau$  をもつ周期的電流パルスは  $\tau$  の値に依存して幾組でも可能であるが、またいずれも等しい時間率  $p$  を示す筈である。また同じ  $p$  に対し  $\tau$  に異なる値を与え、換言すれば異つた周期をもち等しい時間率  $p$  を示す多数の等振幅電流パルス

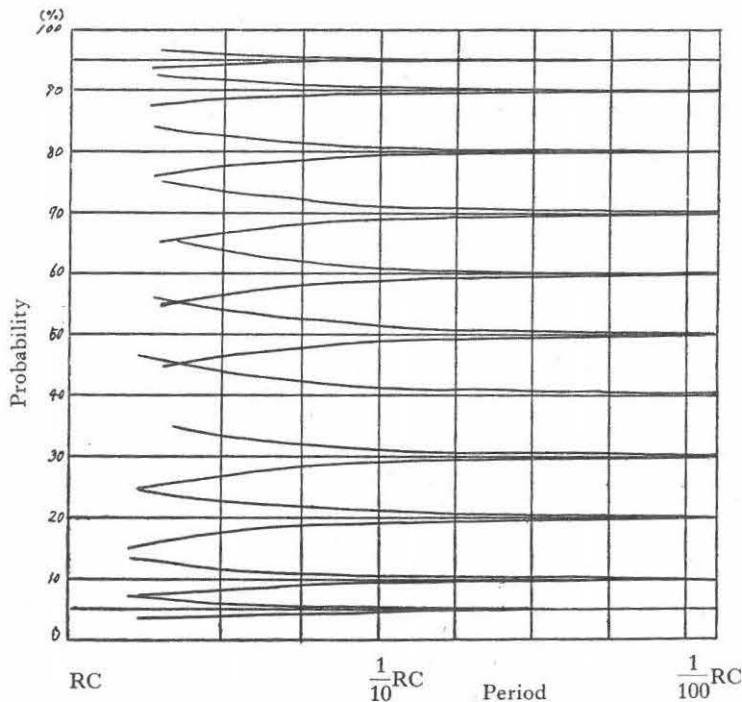
$(1+a_p)\tau_1, (1+a_p)\tau_2, \dots, (1+a_p)\tau_n, \dots$  を取り、各々固有の周期の整数倍宛時間的に継続する波形を考察すれば、この時間的に連続して合成された波形もまた等しい時間率を示す筈である。



第5図 (a) 直列 RC 回路  
(b) 並列 RC 回路  
(c) 等振幅矩形形状電圧 (電流) パルスの周期的波形

次に第5図に示したが、RC の直列回路の定電圧  $E$  に対する response は RC の並列回路の定電流  $E/R = I$  に対する response に等価である。

従つて上に考察した周期的電流パルス  $I$  に対する RC の並列回路の response は振幅  $E (= IR)$  なる周期的電圧パルスに対する RC の直列回路の response に等価である。以下後者の場合におけるコンデンサーの端子電圧を計算しよう。通電時間  $\tau$  sec, 非導電時間  $a_p\tau$ , 周期  $(1+a_p)\tau$  なる等振幅電圧パルスが RC の直列回路に加えられる場合コンデンサーの端子電圧  $V$  は



第6図

RC=α とすれば

$$\begin{aligned}
 t_0 < 0 & \quad V_0 = 0 \\
 t_1 = \tau & \quad V_1 = \frac{E}{R}(1 - e^{-\alpha\tau}) \\
 t_2 = (1 + a_p)\tau & \quad V_2 = \frac{E}{R}(1 - e^{-\alpha\tau})e^{-a\alpha\tau} \\
 t_{2n} = n(1 + a_p)\tau & \quad V_{2n} = \frac{E}{R}(1 - e^{-\alpha\tau} + e^{-\alpha(1+a_p)\tau} \\
 & \quad - e^{-\alpha(2+a_p)\tau} + \dots)e^{-a\alpha n\tau} \\
 t_{2n+1} = n(1 + a_p)\tau + \tau & \quad V_{2n+1} = \frac{E}{R}(1 - e^{-\alpha\tau} + e^{-\alpha(1+a_p)\tau} \\
 & \quad + e^{-\alpha(2+a_p)\tau} + \dots)
 \end{aligned}$$

n → ∞ において端子電圧 V<sub>2n</sub>, V<sub>2n+1</sub> の最終値は各々

$$\frac{V_{2n}}{R} = \frac{E}{R} \cdot \frac{1 - e^{-\alpha\tau}}{1 - e^{-\alpha(1+a_p)\tau}} e^{-a\alpha n\tau} \quad (2)$$

$$\frac{V_{2n+1}}{R} = \frac{E}{R} \cdot \frac{1 - e^{-\alpha\tau}}{1 - e^{-\alpha(1+a_p)\tau}} \quad (3)$$

(V<sub>2n+1</sub> - V<sub>2n</sub>) の最終値即ちコンデンサーの端子電圧の平衡状態における脈動の大きさは

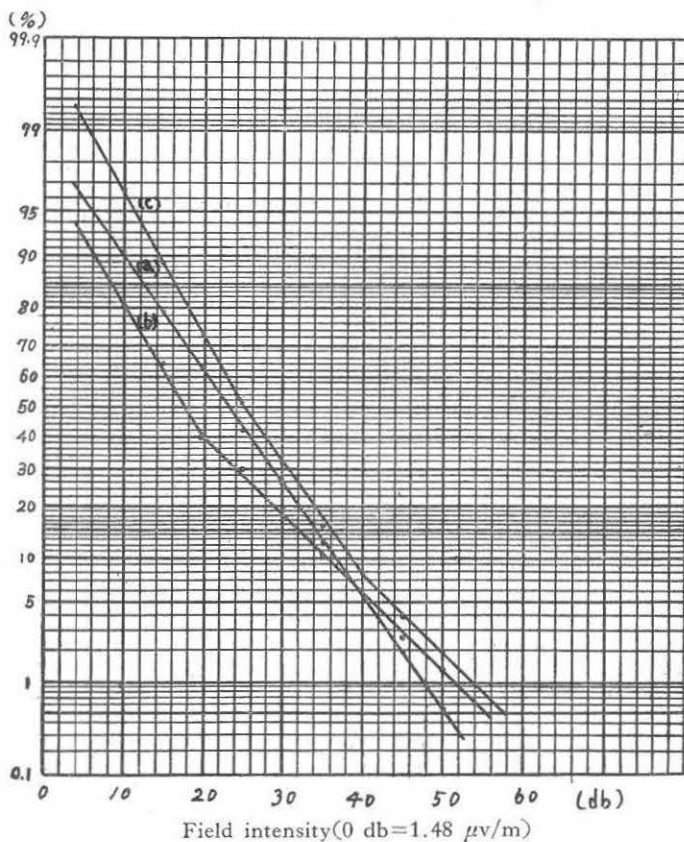
$$V = \frac{V_{2n+1} - V_{2n}}{R} = \frac{E(1 - e^{-\alpha\tau})(1 - e^{-a\alpha p\tau})}{R(1 - e^{-\alpha(1+a_p)\tau})} \quad (4)$$

である。即ち式を検討すれば、周期 T が時定数 RC に比して短い程 V の大きさは減少する。この状態は第 6 図にプロットした。横軸に周期 T を取り、縦軸に V<sub>2n+1</sub> 及び V<sub>2n</sub> を取つた。一對の曲線の中上側の曲線は V<sub>2n+1</sub>, 下側の曲線は V<sub>2n</sub> を示した。また V は周期 T を等しいとすれば時間率に対し 50% に関して対称的な変化を示すが、これは第 VII 節にその応用を兼ねて掲出しよう。

### V. 振幅分布の近似的表現

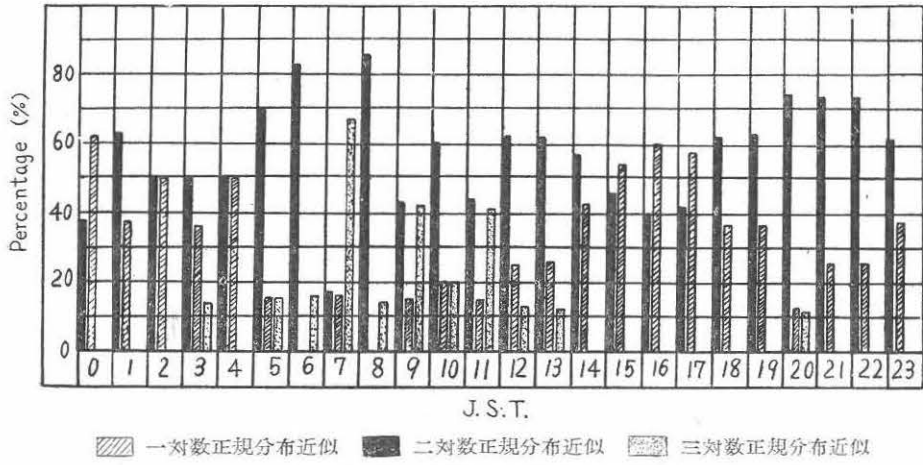
約 10 日間の観測期間中約 170 例の振幅確率分布が前述の整理方法により求められた。測定確率範囲は分布により変動があつたが、大体 90~80% から 5~1% の範囲であつた。

これらの分布は測定された時間率の平均値を対数正規分布の確率紙上にプロットし、対数正規分布に近似するか否かを調べた結果大体次の 3 分類に分つこ

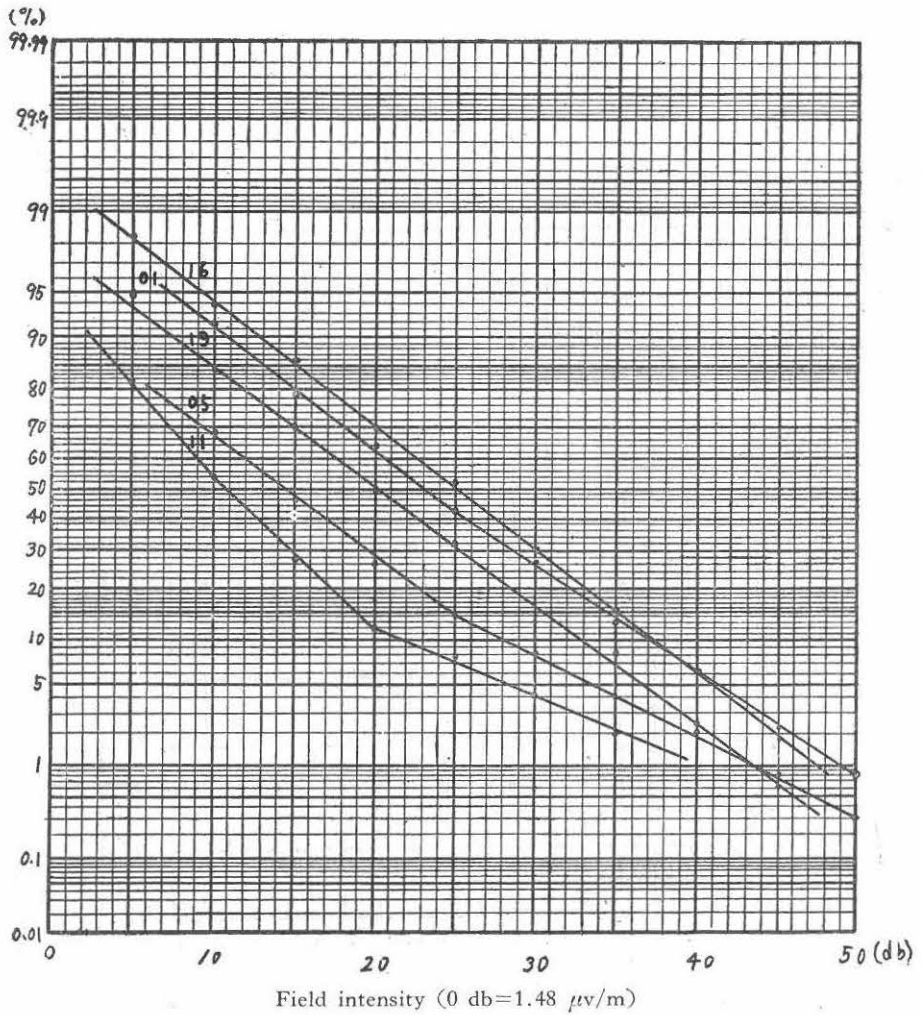


- (a) 1 対数正規分布近似例, 6月24日00時
- (b) 2 対数正規分布近似例, 6月29日03時
- (c) 3 対数正規分布近似例, 6月20日18時

第 7 図 振幅分布近似型



第8図 分布近似形式の日変化を示す図



第9図 振幅分布の例

とが出来た。

- (1) 1対数正規分布近似
- (2) 2対数正規分布近似
- (3) 3対数正規分布あるいは曲線近似

(1) は1対数正規分布に近似されるもので、対数正規分布の確率紙上で時間率の測定点は直線上に並ぶもの

(2) は測定点が同じ確率紙上折続した2つの直線上に並ぶもの、即ち振幅分布が各々標準偏差を異にする2つの対数正規分布から構成されるもの

(3) は測定点が同じ確率紙上折続した3つの直線上に並ぶもの、あるいは曲線形をなすもの、即ち3つの異つた標準偏差をもつた対数正規分布から構成されるもの。

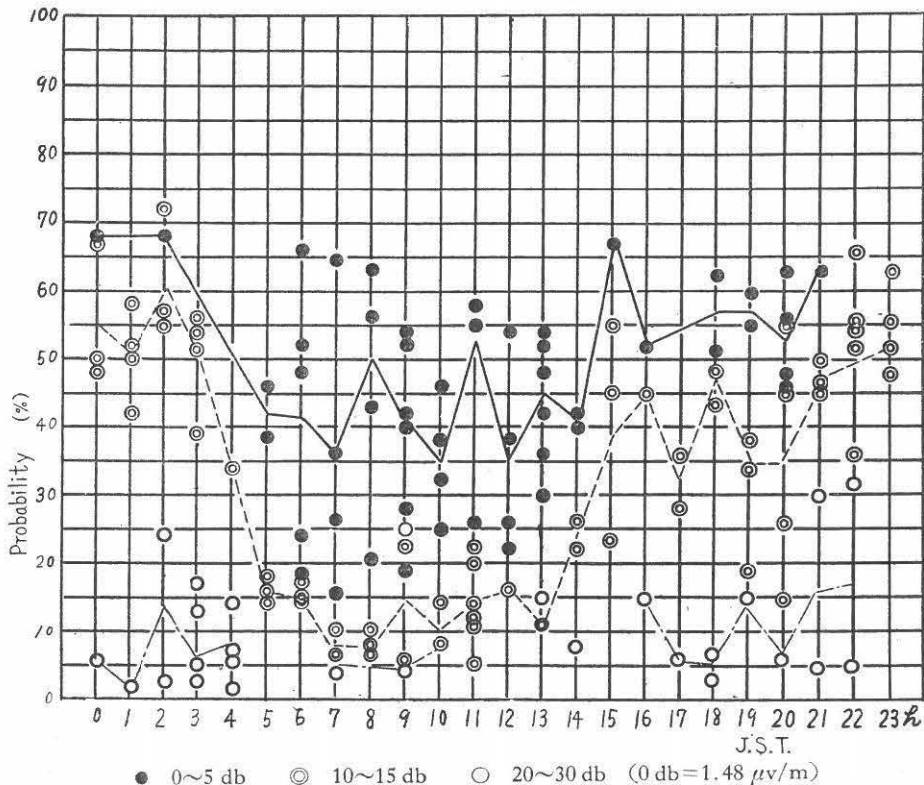
振幅分布を対数正規分布の構成により表現しその3形式を上に掲げた。その振中分布を各一つ宛第7図に掲出した。これらの近似形式は観測結果によれば時刻に依存するよう第8図に毎時刻の測定分布総数に対する比を時刻の函数として掲出した。1対数正規分布近似は比較的によく午後及び夜間に多数例観測された。大体時刻に普遍的に求められる近似型式は2対数正規分布近似であつた。

3対数正規分布近似あるいは曲線近似は、日出日没に近い時刻及び午前の各時刻に多かつた。1日の数時刻に観測された振幅分布例を第9図に掲出した。

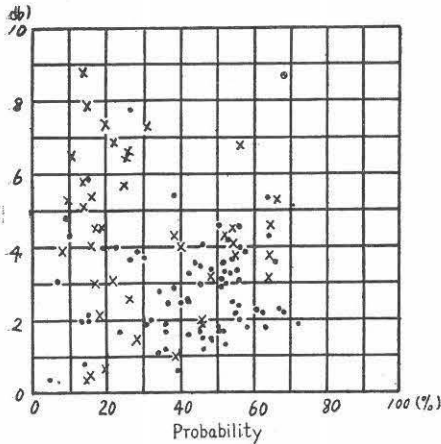
次に振幅分布が1対数正規分布から偏差を生じる確率が時刻と共に変化する模様を調べた。3対数正規分布近似の場合は偏差が振幅に2度現われるからおのおの場合について調べた。結果は第10図に時刻の函数として示した。プロットの分布は広汎で一見 random に思われるが、偏差が始まる確率に対応する振幅を各振幅分布について求め、振幅比が5 db 或いは10 db 以内にあるものを1グループに集め、各グループにつき各時刻の平均を求め実線又は点線で連結した。

少数のため脈動を示すものもあるが、第9図に示すように3つのグループ共大体類似の傾向を示すように思われる。特に中位の振幅に対応して生じた偏差については、典型的な傾向を示し、後述の通り、積分電界強度の日変動と相関があるように思われる。

次に1対数正規分布から偏差を生じた分布について、偏差の大きさを偏差が生じる確率との関係を調べた。3対数正規分布の場合に1分布について2つの偏差を生じるのでそのおのおの場合について調べた。結果は第11図に掲出した。縦軸は偏差の大きさ、即ち



第10図 偏差点の日変化を示す図



第 11 図 偏差の大きさと偏差の生じる確率との関係を示す図

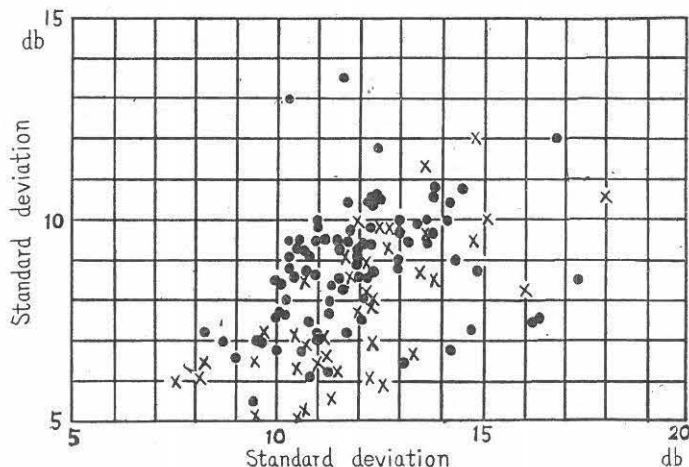
折続する 2 つの対数正規分布の標準偏差の差、また横軸は偏差が生じる確率を取った。データは 1 日の時刻を 2 つのグループに分け、1 グループは 5～12 時の期間に求められたものを × 記号で示し、他の時刻に求められたものを ● 記号で示した。

また折続する 2 つの対数正規分布の標準偏差間に相関が存在するか否かを調べるため、第 12 図に示したように、高確率側、低確率側に対応する標準偏差をそれぞれ縦軸、横軸に取った。この図のプロットの傾向は大体低確率側の標準偏差の増加に比例して、高確率側の標準偏差が増加することを示しているが、更に詳細に調べれば 2 つのグループがあり、1 グループは他のグループに比し大きい偏差をもっている。大きい偏

差を示すグループは第 11 図を参照すれば分るように 05～12 時に求められたものである。この期間に求められた他の一部分は他のグループの中へ移行している。即ち 05～12 時の期間に求められたものの一部は漸次他の時刻に求められたものと類似の特性をもつに至るものようである。

扱、偏差が生じる確率と偏差の大きさとの関係、又高確率及び低確率おのおのの側に対応する 2 つの標準偏差間の関係において上に示された傾向は、次の様に特性を異にする 2 つの雑音が重畳する結果であると考えれば説明出来るように思われる。例えば低レベルの装置雑音あるいは人工雑音、空電相互間の重畳するような場合である。積分電界強度の日変化は後述のように 05～12 時の期間は 1 日中の最低レベルを示したが、ブラウン管で空電雑音を観測した処によれば、低レベルの雑音に大振幅の空電が断続的に到来する有様が明らかであった。従つてかかる状況は低レベルの密度の高い雑音と密度の小さい高レベルの空電との重畳の結果として大きい偏差を生じるのであらうと思われる。

また積分電界強度の増加と共に空電雑音の到来速度は増加し、パルス間隔は可成り密接して来ることが観測された。従つて偏差が生じる確率は高確率側へ移行するものと考えられ、その偏差点より高確率側は装置雑音または人工雑音の影響、あるいは低レベルの空電雑音の影響が現われて重畳した雑音密度は増加するものと思われる。かように考えれば第 12 図に示したように 2 つの標準偏差の比例的関係は理解出来るように思われる。



× : 05<sup>h</sup>～12<sup>h</sup> に求められたデータ  
● : その他の時刻に求められたデータ

第 12 図 折続する分布の標準偏差の間の関係を示す図

VI. 雑音振幅実効値の評価

対数正規分布をなす雑音振幅の平均値  $\bar{X}$ , あるいは実効値は公知のように, それぞれ次の公式から求められる.

$$\bar{X} = Me^{2.65\sigma^2} \quad (5)$$

$$\sqrt{\bar{X}^2} = Me^{5.3\sigma^2} \quad (6)$$

ここで

$M$ : 50% の確率を示す限界の振幅

$\sigma$ : 標準偏差

を示す. 然し, 観測された振幅分布は測定全範囲に亘り, 1 対数正規分布により近似される場合の他に, 相当数は 2 対数正規分布により表現される連続合成分布であつて, また 3 対数正規分布の連続合成分布も観測された. 従つてかような 1 対数正規分布からの偏差が全雑音電力に及ぼす影響を決定することが必要である. また測定範囲外へ低確率範囲に近似された対数正規分布を外挿する場合には, この範囲で再び偏差が起ることも予想されるから偏差の効果を決定または評価する必要はこの外挿法に対しても生じる. 従つてまず 1 対数正規分布の各振幅区間が全雑音電力に対する寄与量を計算した.

対数正規分布に対し次の公式が用いられる.

$$x = m + \sigma t \quad (7)$$

ここで

$x$ : 空電雑音包絡線の振幅の対数

$m$ : 50% 確率を示す限界振幅の対数

$\sigma$ : 対数正規分布の標準偏差

$t$ : 変数

また変数  $t$  は正規分布函数  $\varphi(t)$ , 蓄積密度函数  $\phi(t)$  と次の関係で表わされる.

$$P = \varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \quad (8)$$

$$\phi(t) = \int_{-\infty}^t \varphi(t) dt \quad (9)$$

今対数目盛の  $x$  の全範囲を一定の長さ  $\Delta x$  ごとに分割し, 各区間の上限, 下限に対応してそれぞれ,  $t_q, t_r$  としたまたその区間の一点例えば中央点を  $x_s$  とすれば平均振幅  $\bar{X}$  及び実効値  $\sqrt{\bar{X}^2}$  は近似的に次のように表現される. 即ち

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \int_0^\infty E p(E) dE \doteq \sum_s E_s \{\phi(t_q) - \phi(t_r)\} \\ &= \sum_s E_s \Delta \tau \quad (10) \end{aligned}$$

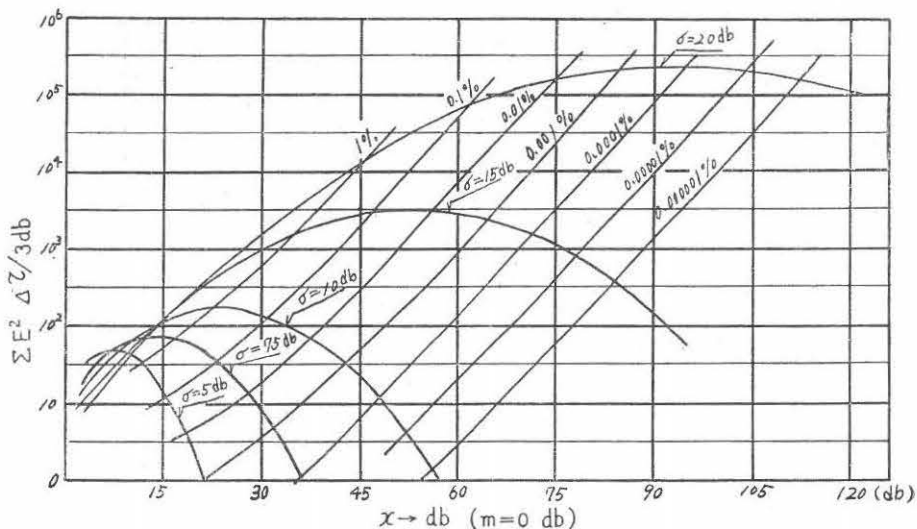
$$\begin{aligned} \sqrt{\bar{X}^2} &= \sqrt{\int_0^\infty E^2 p(E) dE} \doteq \sqrt{\sum_s E_s^2 \{\phi(t_q) - \phi(t_r)\}} \\ &= \sqrt{\sum_s E_s^2 \Delta \tau} \quad (11) \end{aligned}$$

ここで

$E$  = 空電雑音包絡線の振幅

$$E_s = (\text{anti log } x_s) \quad (12)$$

である. この近似式は特に実効値あるいはその自乗値に対し標準偏差が各 5, 7.5, 10, 15 及び 20 db をもつ対数正規分布について行つた. 即ち  $(\text{ant log } x_s)^2 \times \Delta \tau$  を計算尺により計算した. 標準偏差の大きい場合は 50% より高確率側の影響が無視されるので, 本計算は 50% の限界振幅より大きい振幅範囲についてのみ行つた. 即ち  $m = 0$  db から始め標準偏差が 5, 10, 20 db の組に対しては 0.2 db または他の組に対しては 0.3 db ごとに計算した. 振幅  $E_s$  即ちその対



第 13 図  $\sum E^2 \Delta \tau / 3 \text{ db}$  の図



数  $x_s$  に対応して変数  $t$  は(7)式より求められ、 $\phi(t)$  の値は統計科学研究会編「新編統計数値表」から引用した。

0.2 db あるいは 0.3 db 区間ごとに求めた  $E^2 \Delta \tau$  を 3 db 区間ごとに集計し、各区間の最大振幅の函数として第 13 図に掲出した。縦軸は  $\sum E^2 \Delta \tau$  (3 db 区間の和) を示し、横軸は各区間の最大振幅に取つた。ここで 50% 振幅  $m$  は 0 db に取つた。

次に  $m=0$  db から始まる区間に対する  $E^2 \Delta \tau$  の蓄積和を求め区間幅の函数として第 14 図に掲出した。ここで縦軸は  $E^2 \Delta \tau$  の蓄積和を示し、横軸は区間幅即ち最大振幅に取つた。

標準偏差が各 5, 7.5, 10, 15 及び 20 db に対応する曲線上に、1, 0.1, 0.01, 0.001, 0.0001, 0.00001, 0.000001% の確率に対応する点を取り、それぞれ等確率曲線で結んだ。これらの等確率曲線から全雑音電力に及ぼす影響の大きい確率範囲は標準偏差が大きくなるに従つて低確率範囲に移行する状態が容易に理解出来る。従つて異つた標準偏差をもつ雑音分布に対して、主要なエネルギーを測定するのに必要な dynamic range の概略的な値を求めることも出来る筈である。

上の計算結果を 1 対数正規分布からの偏差が全雑音電力にもつ影響を決定するのに利用出来る。今 5, 7.5 あるいは 10 db の標準偏差をもつた対数正規分布が

各 5, 1 あるいは 0.1% のいずれかの確率で他の標準偏差 15 db の対数正規分布に接続する場合を考察しよう。まず次の 3 つの場合の実効値を求めよう。即ち

(1) 5, 7.5 あるいは 10 db の標準偏差をもつた対数正規分布が全確率範囲で測られる場合。

(2) 15 db の標準偏差をもつた対数正規分布が全確率範囲で測られる場合

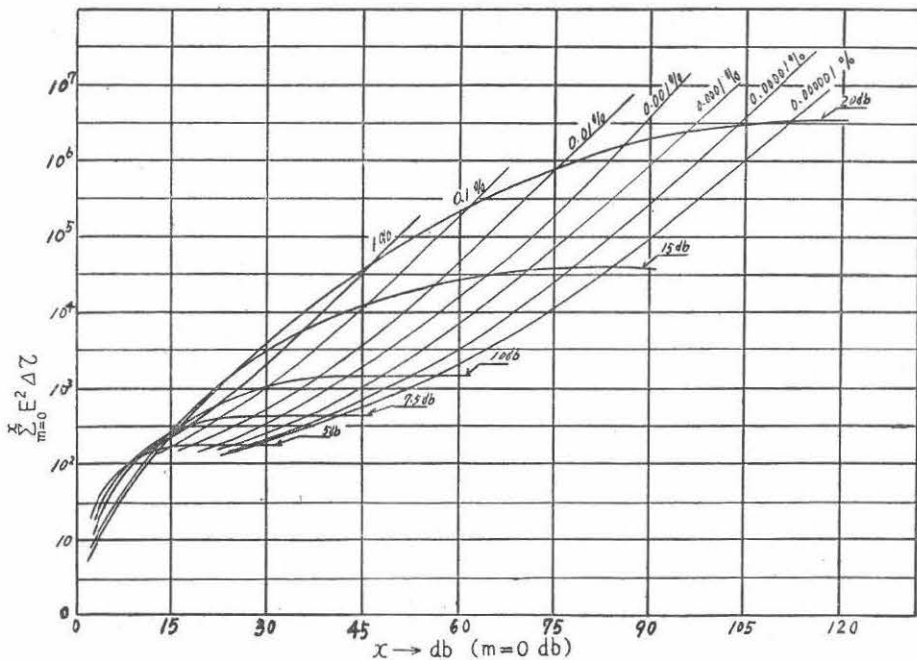
(3) 偏差を示す分布即ち 2 つの標準偏差が (5, 15 db), (7.5, 15 db), (10, 15 db) の組み合わせで求められる 2 対数正規分布の合成分布にして、偏差が上記の 3 つの確率点でそれぞれ 15 db 分布へ移行する場合。

これらの実効値を求め、次の比を計算しよう。

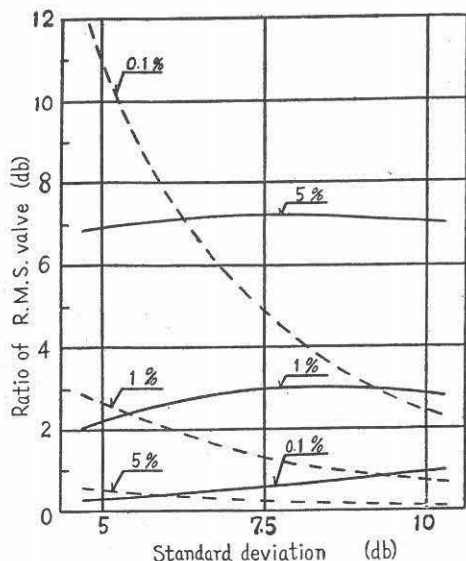
$$(A) = \frac{(3) \text{ の場合の実効値}}{(1) \text{ の場合の実効値}} = \frac{\text{実際の分布の実効値}}{\text{構成分布の実効値}}$$

$$(B) = \frac{(3) \text{ の場合の実効値}}{(2) \text{ の場合の実効値}} = \frac{\text{実際の分布の実効値}}{\text{構成分布の実効値}}$$

(A) 及び (B) に示した 2 つの実効値の比について求めた結果を実線及び点線で第 15 図に示した。点線は原の折続合成分布を 15 db の対数正規分布に置き換えた場合、また実線は原の折続合成分布を 5, 7.5, 10 db の標準偏差をもつたいずれかの対数正規分布で置き換えた場合に求められた実効値の誤差を示



第 14 図  $\sum_m E^2 \Delta \tau$  の図



第 15 図 実効値比を表わす図

したものである。横軸は高確率側の対数正規分布の標準偏差を取った。縦軸には実効値の誤差を db で取った。

上の数値計算結果及び図から若干の結論が得られる。

(1) 2つの異つた対数正規分布から構成される分布は、求められる実効値に若干の誤差を認めれば、2つの分布のうち雑音電力に大きい寄与をなす分布に置き換えることが出来る。この誤差は上図に示されるように確率と、2つの対数正規分布の偏差の程度によつて変わる。

(2) 振幅分布の測定限界について、即ち振幅分布の主要エネルギー部分を測定範囲内に入れるためにどの確率まで測定すれば良いかと云う問題に対して図から若干の定量的結論が求められる。即ち低確率範囲が 15 db の対数正規分布であると仮定した場合、振幅分布が 0.1% 確率まで測定されたとし、それ以下の確率範囲はこの分布を外挿して、実効値を求める時は、最大誤差は大体 1 db あるいはそれ以下である。

もし振幅分布が 1% まで測定されたとし、同様に外挿を行つて実効値を求める時は、最大誤差は大体 1~3 db 程度である。

次に 2乃至 3 対数正規分布から構成された複合分布からその雑音全電力あるいは実効値を評価する他の方法を考察しよう。この方法は第 14 図に示した曲線が使用される。標準偏差としてそれぞれ 10, 15 db をもつた 2つの対数正規分布から構成される複合分布が確率 1% で折続する場合を例に取ろう。振幅分布が対

数正規分布から構成される確率範囲における電力寄与量は、第 14 図 10 db 一曲線上確率 1% の点を読みれば容易に求められる。

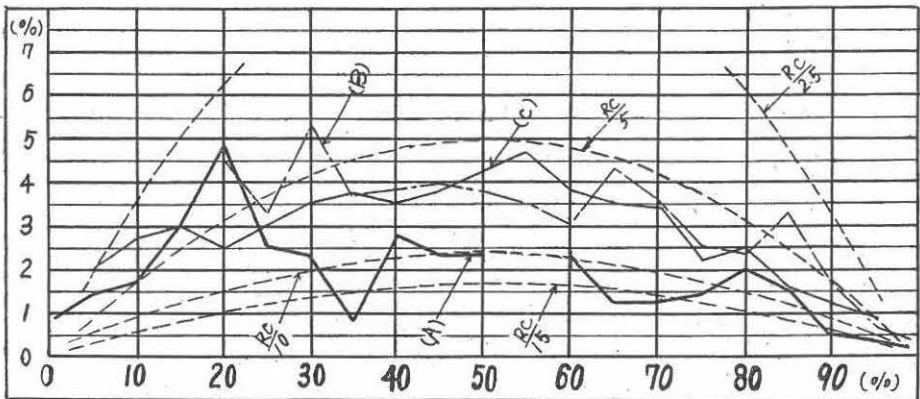
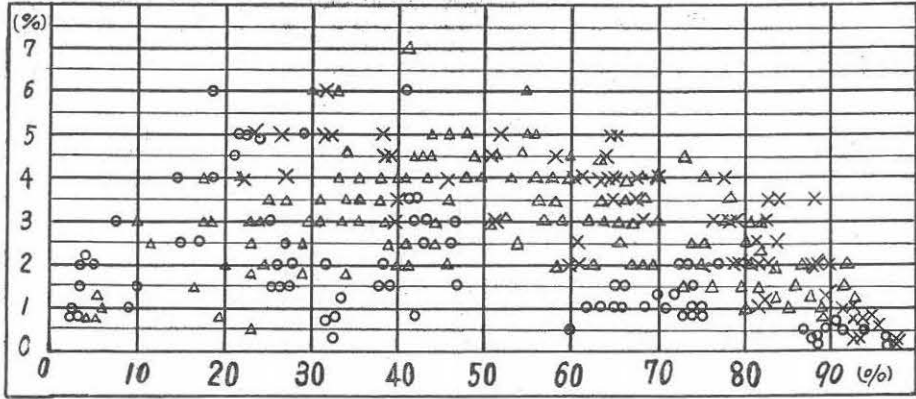
また 15 db 一对数正規分布により構成される 1% 以下の確率範囲における電力寄与量は第 14 図 15 db 一曲線上確率 1% の点から読んだ値と (6) 式に標準偏差を 15 db と与えて求められる実効値の自乗との差から求められる。これらはいずれも 50% 振幅を共に 1 として求めた相対電力を示しているが 2つの対数正規曲線が複合分布を構成する場合は、相当する 50% 振幅は両振幅分布についておのおの異なるから換算を行う必要がある。この 2つの 50% 振幅の比は第 14 図を用いれば、10 db 一曲線、15 db 一曲線上 1% の点に対応する振幅、即ち 2つの 1% 振幅の比に等しい。例えばこの振幅比の ( $<1$ ) 自乗を前述の通り 15 db 一对数正規分布から求めた電力寄与量にかける。これと 10 db 分布から 1% 以上の確率範囲で求めた電力寄与量との和を取れば、これは複合振幅分布の 50% 振幅を 1 とした場合の相対的全雑音電力を表わす。またその平方根は雑音振幅の実効値である。

曲線を用い雑音全電力あるいは雑音振幅の実効値を評価する方法は、2つまたは 3つの対数正規分布から成る複合振幅分布に対し、偏差が全雑音電力または実効値に及ぼす影響を決定するのに用いられる。またここに述べた計算は雑音電力に限つたけれども、雑音振幅の平均値について言えば、前述の (10) 式について数値計算を行い、類似の曲線を求めて置けば、複合分布に起る偏差が平均値に及ぼす影響を決定することが出来る。然し乍ら、この場合は高確率範囲の寄与は無視出来ないからほとんど全確率範囲に亘つて計算を行い、これに基づいて求められる曲線を用意せねばならない。

## VII. パルス間隔

第 IV 節に時間率の記録は、trace が脈動することを述べ、電流パルスの周期的波形に対する RC 回路の response からこの脈動の性質を説明した。扱 100 kc の空電雑音の測定において得られた時間率の記録から、脈動の大きさを測つておいたので第 IV 節で得た結果を適用してみよう。観測装置及び観測方法は第 II, III 節で述べたのと同じである。記録計の速度は毎分 0.5 cm である。

データは記録から trace の最大脈動幅の 5 分間の平均を目視により求めた。この幅は 5 分間の trace の平均即ちデータが求められる時の時間率及び時刻に依存する変化を示した。これはデータをプロットし



(A) 昭和 32 年 4 月 30 日 16 時 00 分 ~ 20 時 05 分  
 (B) 昭和 32 年 4 月 30 日 20 時 06 分 ~ 23 時 15 分  
 (C) 昭和 32 年 5 月 1 日 00 時 00 分 ~ 05 時 15 分

第 16 図 最大振動値と確率との関係を示す図

た第 16 図及び第 17 図の各上面の図に示されている。

両図において横軸は時間率、縦軸は上述の最大脈動幅を示し、異つたマークは異つた電流計の記録に対応している。また 5% 幅の各確率範囲内に含まれるプロットの平均を異つたグループごとに求め、両図の各下面のグラフに折線で示した。プロットの変化状況は 50% の時間率を中心に左右に大体対称的な傾向を示し、低確率及び対称的な高確率の範囲で若干非対称であつた。

一方第 IV 節に述べたように、最終値  $V$  即ち脈動の平衡値を方程式 (4) から色々のパルス周期について求め、第 16 図及び第 17 図に点曲線で示した。これらの曲線は同一のパルス周期については左右対称形を示し、点曲線に附したパラメータは各パルス周期 12/20, 12/15, 12/10, 12/5, 12/2.5 秒を示した。12 秒は統計器出力回路の時定数である。

大体の傾向としては最大脈動幅は 20~30% 確率までは、大体夜間の方が昼間より大きい値を示し、それ以下では昼間の方が大きい値を示している。また計算曲線とデータの平均曲線との適合から判断すれば昼夜共低確率に進む程パルス周期は大きい傾向がある。

次に各グループのデータについて計算曲線と平均曲線との適合から評価したパルス周期は次の如くであつた。

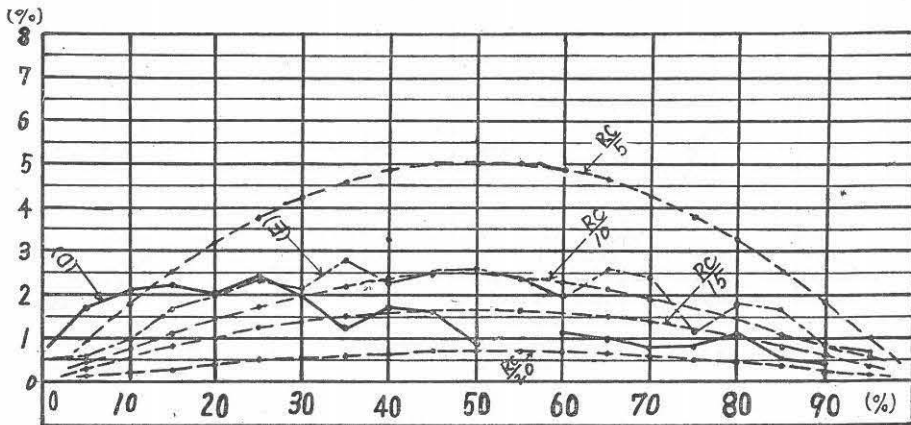
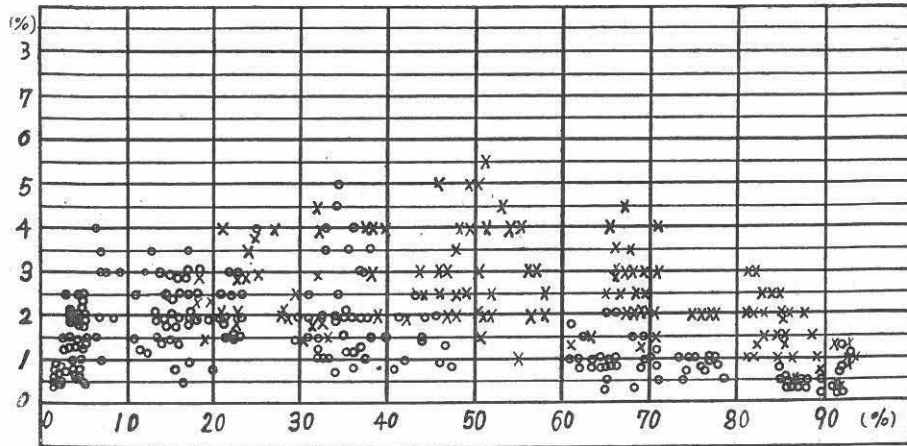
(1) データ (A)

パルス周期は 30% の確率までは大体  $1.2 \pm 0.4$  秒位、低確率では一層大きい周期を示す。最大パルス周期は大体 3.5 秒位である。

(2) データ (B) 及び (C)

パルス周期は 35% の確率までは大体  $1.7 \pm 0.5$  秒位、低確率では一層大きい周期を示す。最大パルス周期は大体 4.8 秒である。

(3) データ (D)



(D) 昭和 32 年 5 月 1 日 06 時 00 分 ~ 20 時 15 分

(E) 昭和 32 年 5 月 1 日 21 時 00 分 ~ 5 月 2 日 06 時 15 分

第 17 図 最大振動値と確率との間の関係を示す図

パルス周期は 35% の確率までは大体 0.8 秒より短く、低確率では一層大きい周期を示す。最大パルス周期は大体 4.8 秒である。

#### (4) データ (E)

パルス周期は 30% の確率までは大体  $1.2 \pm 0.4$  秒位、低確率では一層大きい周期を示す。

平均最大パルス幅は求められた周期に対応する時間率を掛けることにより求められる。ここに用いたデータは観測時期及び周波数の異つた空電雑音の観測記録から利用したもので、本文で主に討論した 50 kc の空電雑音のデータと比較が出来ない。またここでは求められたパルス周期あるいはパルス幅のオーダが他の観測により求められたものと比較は行わない。ここではパルス周期またはパルス幅を求める方法と、大体のオーダを挙げるに止め、十分な討論はデータの蓄積を待つて行い度い。

## VIII. 色々のパラメータの変化

空電雑音包絡線振幅確率分布から求められる色々のパラメータ及び積分電界強度の日変化について述べよう。又積分電界強度と雑音振幅の実効値とを比較しよう。実効値、平均値、標準偏差等を求めるため、測定された振幅分布を測定範囲外の確率範囲へ外挿を行った。又振幅分布が 2 乃至 3 対数正規分布から構成される複合振幅分布については、主要分布、即ち全雑音電力に及ぼす影響の大きい 1 対数正規分布から求めた。

### (1) 標準偏差

標準偏差は対数正規分布確率紙に描いた振幅分布から求め、第 18 図に時刻の函数としてプロットした。第 18 図から見られるように、分散及び大きさの時刻変動は後述の通り積分電界強度との間に相関があるように思われる。即ち 03 時頃から 11 時頃まで標準偏

差の値は大きい分散を示している。午後電界強度が高いレベルを示す時刻では分散は減少し、 $11 \pm 1$  db 位の値を示すが、日没後 3~4 時間は標準偏差の大きい分散と共に若干増加し、 $12 \pm 2$  db 位の値を示している。夜間の大体一定な高レベルでは分散は再び減少し、 $11.5 \pm 1.5$  db 位の値を示している。

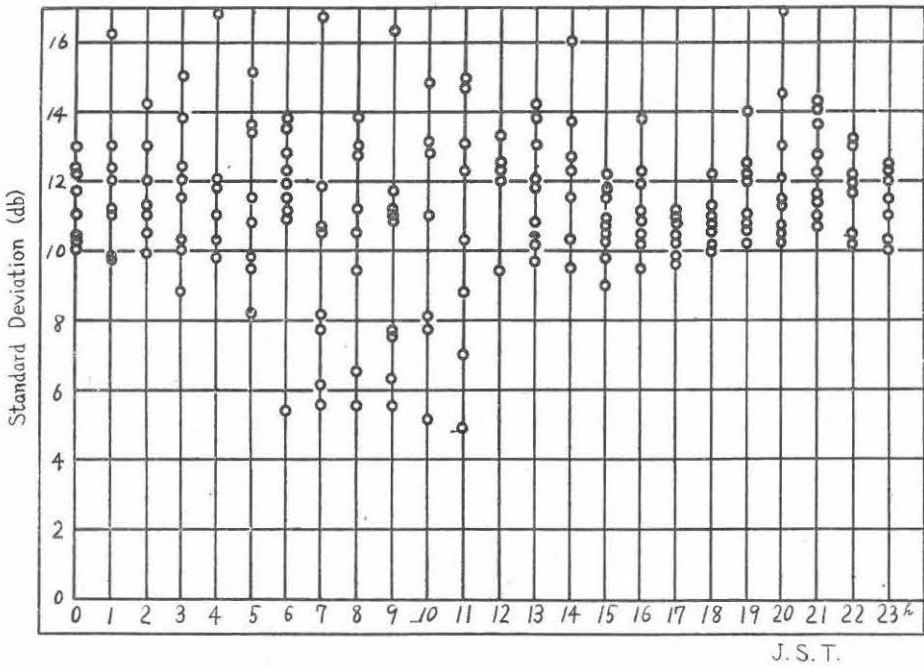
(2) 50% 及び 5% 振幅

振幅確率分布から上述のように、確率 50% 及び 5% に相当する振幅を求め、約 10 日間の毎時刻の平均

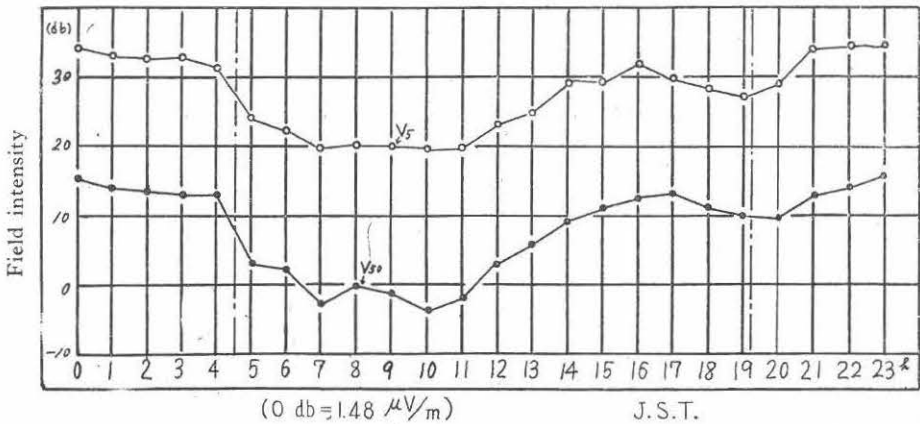
を時刻の函数として第 19 図に掲出した。大体並行的変動を示すが、大体 20 db 位の振幅比をもっている。電界強度の低い期間は若干大きい振幅比を示している。

(3) 時間率

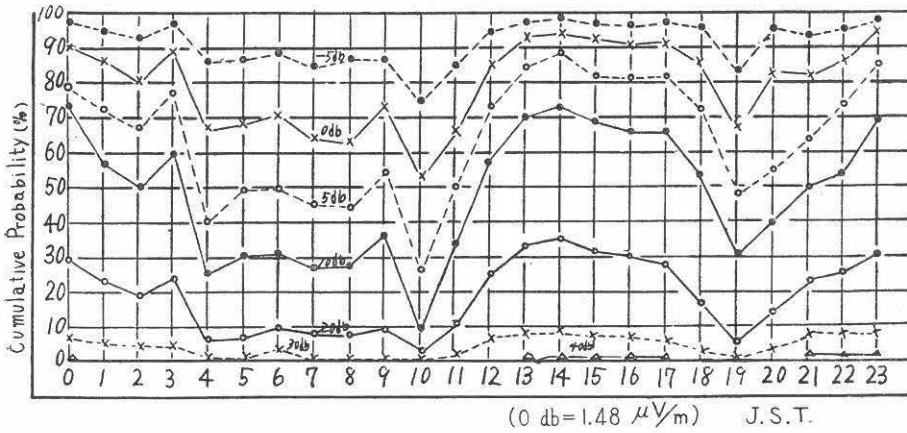
振幅分布から一定の電界強度を超える時間率を求め、1日の例を第 20 図に掲出した。示された曲線は順次 5 乃至 10 db の電界強度比に対応している。後述の通り、積分電界強度の日変動と比較すれば、



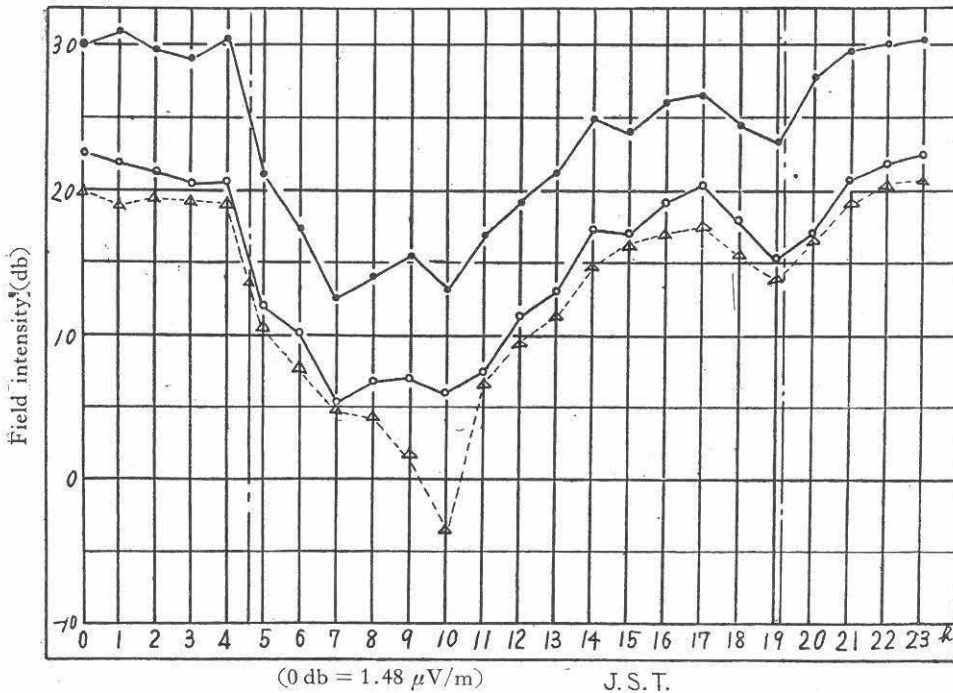
第 18 図 標準偏差の日変化を示す図



第 19 図 50% 振幅  $V_{50}$ 、5% 振幅  $V_5$  の日変化を示す図



第 20 図 時間率の日変化を示す図



第 21 図 △：積分電界強度 ●：実効値 ○：平均値

時間率は、日出、日没における電界強度及び 10 時の電界強度の減少にそれぞれ対応した減少を示している。

(4) 実効値、平均値、積分電界強度

雑音振幅の実効値は第 VI 節で考察した結果に基づき、1 対数正規分布の場合は方程式 (6) から求めた。また 2 乃至 3 対数正規型分布から構成される複合振布分布については、その中の主要な 1 対数正規分布について同様に方程式 (6) を用いて求めた。また積分電界

強度との比較の便宜上、実効値の評価に用いた同じ分布について再び方程式 (5) を用いて平均値を求めた。

積分電界強度は時定数 8 秒、毎時刻測定時間 15 分の記録中、最初の 5 分間の記録から取った。

上述の実効値、平均値あるいは積分電界強度は毎時刻につき、約 10 日間の平均を求め、第 21 図に時刻の関数としてプロットした。

第 21 図から実効値と積分電界強度とは 08 時から 10 時の期間を除外すれば、大体並行した傾向を示

し、平均値と比較すれば大体 2～3 db 以内で適合する値を示している。

## IX. 結 論

本文で述べたことで若干の結論が得られる。

(1) 空電雑音包絡線の振幅確率分布は、装置雑音又は人工雑音の混信のない場合は、0.5～1%の確率範囲で対数正規分布により近似される。然しかような場合でも中及び低確率では他の対数正規分布に折続することが多いように思われる。

なお、一層低い確率範囲の振幅分布の測定が必要である。

(2) 振幅確率分布から求められた色々のパラメータは各種積分電界強度との相関を示す。

実効値と積分電界強度はほとんど時刻において比例関係を示し、前述のように平均値とは 2～3 db 以内で適合する。

(3) 大振幅雑音のパルス間隔、パルス幅は時間率の記録から概略の評価が求められるかも知れない。

## X. 謝 辞

この研究は地球観測年経費により製作された測定器を用い、地球観測年の準備観測から得たデータを整理したもので、文部省並びに本研究に絶えず御関心を寄せられ、御激励下さった研究所長金原教授に厚く謝意を表します。またこの研究に有用な助言を寄せられた佐尾助教授、整理、計算に御助力下さった杉田氏に厚く謝意を表します。

## 文 献

- 1) S.P. Hersperger, W.J. Kesser, A.W. Sullivan, J.D. Wells: Progress Report No. 5, 1 July-30 September, 1954.
- 2) F. Horner, J. Harwood: I.E.E. Part B No. 5, November, 1956.
- 3) A.D. Watt, E.L. Maxwell: I.R.E., Vol. 45, No. 1, pp 1-128, January, 1957.
- 4) 鎌田, 中島: 空研報告, 3, 1-2. Dec. 1952. 24頁.