

059

統計数理研究輯報

第 11 號

傳 播 現 象 の
統計数理的解析

I

マイクロウェーブに於ける
フェイディングの分析

昭和 28 年 1 月

28.3.20
統計数理研究所

東京都世田ヶ谷區三軒茶屋町 10

この輯報は實際問題について準備の段階から計画，実施，処理に到る間に必要な統計数理的考え方，技術を述べたものである。ぬらいは実際に役に立つ報告ということである。

之は其の性質からいつて，統計数理の研究者だけでなく，調査，分析等広くこのような実証的な仕事にたずさわる人々の参考となるようにと願つて刊行するものである。

發行所 東京都世田谷區三軒茶屋町十

統計数理研究所

編集責任者 林 知己 夫

印刷所 東京都文京區高田豐川町十三

莊文社印刷所

古 田 雄 義

傳播現象の統計数理的解析

I

マイクロウェイブに於ける

フェイディングの分析

赤 池 弘 次

前 書 き

時間と共に相関をもちながら進行する現象即ち時系列を分析してゆくことは、多くの点から重要なものである。しかしこれを解析してゆく有用な方法はまずないと言ってよいであろう。

所謂確率過程の理論としてその一つの方法は発展せられているが、技術がいたづらに枝葉末節に走り、しかも假空的仮説の下に多く展開せられ、そのみの興味に終始しているのは慨嘆に堪えない。

しかも確率過程の研究の実質的な内容からみれば、今の所きわめて単純なもの言いかえれば実際的にはきわめて実現不可能な構造をもつものであって、現実の解析には役に立たない。

例えば割目の進展のごとく、いくつかの割目のうごきが互に影響しあつて夫々の道が形成されてゆくやうなプロセスの問題、複雑な機構をもつ時系列現象等に関してはそのままでは全く手のつけよう

(2)

がない。

そこで、このような問題を別の立場から、分析をほどこしてゆき、有用な結論を導き出しうるような方法を考えてゆきたいと考えている。まず統計数理的な *formulation* をいかにしてゆくか、唯単にそのまゝをなめるのではなく問題を統計数理的な立場から妥当性を得しめ得るように、*formulate* しなほし、これに始まつて各種現象をとりあつかう方法をいろいろ工夫してゆくことが出てくる。例えばランダム過程の現象としてもものを解析したり、定質的なものに数量をあてる数量化理論を援用したり、現象の中にひそむパターンを一つの *sub-unit* として考えなおしたり、或は相関をもつパターンを表現し、そのものとして種々の解析をほどこす等の事をも考えてゆこうとするものである。

この *Series* で考えることは、因習的な時系列のとりあつかい方に終始するものでなく、今まで我々の得た別方面からの考え方を時系列の問題にとりこみ、時系列現象のことなつた取扱いを行い、現象を時系列として問題をとりあつかう本質的意味、その有用性を剔抉し、新しい理論をもきづこうとするものである。理論は独り歩きはしないのである。外国人の論文と、紙と鉛筆とゼミナール

とからだけでは眞の理論は生れないのである。現象との対応を取扱つて始めて、理論らしい理論、統計数理が生れてくるものである。

まず第一として、マイクロウエイブのフェイデイングについての資料についての解析を行った。上記した立場からフェーデイングをいかに解析すれば有用な結論が得られるかについての一つのモデルをあてえたものである。得られている資料の制限その不十分さから、結果そのものはさう完全には満足すべきものではない。

しかしこのやうな場合不完全な資料も唯すてるのではなく、なるべく用いてゆくと言う立場（それにともなう解釈の制限）も実際には大切なものである。

この中にある新しい分析方法、母集団の拡大解釈の意味、全体を覆く考え方に注意せられたい。

唯アエーディングの分析にとどまらずここで示した考え方、気持は本質的に同じ他の現象の分析にも役に立つ所がある。

以下の論述のすべてがすべて完成せられ又満足すべきものとは言えず、なお変更を経ねばならぬ所もあるが、時を追うてこの種問題の取扱いが完成されることを願って発表するものである。

第三部長 林 知己夫

目 次

§ 1. 報 告 の 概 要

- a. 分析の目的
- b. フェーディングとは何か
- c. 分析に用いられた資料
- d. 分析の結果
 1. 一回路に関する考察
 2. 多数回路に於ける実験結果と、各回路の特性との関係の分析
 3. 時系列としての電界強度記録の考察

§ 2. 分 析 の 詳 細

§§. 2.1. 一回路に関する考察

- a. 毎日のフェーディングレインダの様子と湿度との粗い相関
- b. 一日に於ける時間的变化の傾向、及びその気象要素との関係
- c. 毎日の電界の変動と気象要素との関係
- d. 各時間毎に於ける電界レベルと気象記録
- e. 電界レベルの分布を考えるとゆうことと、システマティックサンプリングの精度等について。
- f. 季節の変化による電界レベル分布の型の変化について。
- g. 電界レベルの分布函数の型を決定しようとする試みについて。
- h. 欠測継続時間がランダムであるか、とゆうことを調べる一つの試みについて。

§§ 2.2. 多数の回路に於ける実験結果と、各回路の特性との関係の分析

- a. 各回路に於ける分布の型について。
- b. 各回路に於ける電界レベル分布の様相と
回路の特性との関係。(回路決定の問題)

§ 3. 時間的变化の模様を考慮しての電界変動
(実験継続時間長決定の問題)

§ 4. 結 び

- a. 資料の貴重であるということについて。
- b. 各送受信機の特性の比較について。
- c. 実験計画の際の重点の置き方について。
- d. 分析実施者の調査対象に関する知識の不足
について。
- e. 以後の実験の方向について。
- f. この分析のとくに注意すべき限界について。
- g. そ の 他

Summary.

電気通信研究所が実施されて來た極超短波傳播試験結果の一部を昭和27年4月以降7月上旬に至る間に分析して得られた結果をここに報告する。

§ 1. 報 告 の 概 要

a. 分 析 の 目 的

極超短波のフェーディングは極めて不規則なものであり、それが如何なる要因によつて決定的に規定されるかといふことについては、現在迄の研究に於ては殆ど不明で、それに関する文献の多くに於ても、いくつかの実験結果を記述する程度にとどまり、何等の總括的結果は得られていないようである。しかしながら通信機の進歩は既に極超短波による電話中継回路網の設置を現実の問題として解決することを要求するに至っている。

ある中継回路が実用に適するか否か、即ちその回路に於けるフェーディングの程度はどの位であるか、といふことは、現状に於ては實際にその回路に於て傳播試験を行つて見るより他に知る方法が無い。これに対して、極超短波のフェーディングの原理的説明はともかく、回路設定に際し直接われわれの観測し把握することの出来る回路の特性から、その回路に於けるフェーディングの模様、その程度を相当の確からしさを以て推定することが出来るならば、現実の問題に対する知識として、極めて有効であらう。

原理的な説明が得られたにしても、それが現実の問題に対して有効である爲には、われわれが實際とらえることの出来る種々の要因及び条件と、フェーディングとの関係として表現されなくてはならない。こゝに於て、この問題に対するには統計数理的方法によらなくてはならないであらうことが明かになる。即ち、たとえある種の要因とフェーディングとの関係が單純化された条件の下に決定的に表現されたとしても、現実的問題としては、要因自体が複雑

な條件の影響の下に、或は又、理論的構成には入れきれない偶然的な他の要因が強く効いて来ることのために、恐らくゆらぎを持つ現象として、われわれに把握されることになるであらうからである。

以上の考察にもとづき、統計数理的立場に支つて、われわれの直接とらえることの出来る回路の特性と、フェーディングとの関係を種々な角度より解明し、回路設定に際して、最も有利な判断を行うことを可能ならしめることが、この分析の最終目的とされる。

b. フェーディングとは何か。

われわれが求めているのは、フェーディングに関する知識である。しからば、フェーディングとは何か、この問に答えること無くして先に進むことは灯なくして暗夜を行くようなものである。

既に専門の分野に於てはフェーディングなる概念は明確なものであるかも知れない。しかしながら、われわれが統計数理的立場から見るならば、即ち、本分析のように現実的な問題に対する解答を求めようとゆう立場から見ると、こゝでフェーディングとは、きこえるか、きこえないか、とゆうことに関係する電界変動の一様様の表現であると考えられる。ある回路が実用になるかならないか、或は2つの回路の何れをとるがより有利であるか、の判定の尺度として最も有効適切なものとしてフェーディングなる概念を把握することが必要なのである。

これは必ずしもいわゆる精密な数字によつて表現されるを要しない。たゞそれが妥当性あり客観性ある指標として表現されることが要求される次第である。この点に関しては門外漢たるわれわれは満足すべき決定に十分な知識を持っていない。

しかし、これら人間のとり上げるすべての問題は終局に於て人間と直接的な関係を持つものであるから、このような考察は何よりも必要切実なのであつて、他のすべての考察に先立つてなされなくてはならないことは明かである。以下の分析に於ては一応、電界レベルの変動に関する知識はすべてこれを“フェーディング”に關す

(8)

る知識と見做して、先に進むことにした。しかし、この点に関する不明確さは、分析の前途を不明なものとし、常に不安の念を抱かねばならなかった。即ち單に d, b によつて表現されるところの電界レベルについて、形式的な統計的方法を適用することによつて何等かの結論を得ても、それが實際電話を聞くときには殆ど何等の意味を持たないかもしれないのであつて、この種の問題に於て最も重要な利益或は損害の概念の導入が出来ないのである。

このことは、専門分野の研究者との更に密接な協同研究が必要であることを示している。

C. 分析に用いられた資料

①, a. 筑波 — 国分寺回線 (2600 M.C.) 距離 79.4 Km.

7 th ~ 29 th. Dec. 1949.

相対電界レベル毎 5 分最小値

" " " " 平均値 $\left(\frac{\text{最小値} + \text{最大値}}{2} \right)$

各時対応気象要素 (館野観測所)

湿度 (%), 気温 ($^{\circ}\text{C}$), 氣圧 (mm Hg),

b. 同回線, 20 th. Apr. ~ 3rd. May 1950

相対電界レベル毎 10 分最小, 最大, 平均値,

各時対応 E の値

② 4000 M.C.

1. 函館 — 平館 6th May ~ 1st. June 1951 66 Km.

2. 函館 — 蟹田 " " 77 Km

3. 双子山 — 大楠山 13th. ~ 28th. March 1951 54 Km

4. 双子 — 浜石 6th. ~ 18th. May 1951 47.9 Km.

5. 双子 — 谷津 1st. ~ 18th. May 1951 62.9 Km.

6. 栗ヶ岳 — 浜石 " " " 51.8 Km

7. 三方原 — 大山 27th. Aug. ~ 18th. Sept. 1951 56 Km.

8. 伊香保 — 筑波 July 1951 110 Km

9. 舞坂 — 大山 27th. Aug. ~ 18th. Sept. 1951 44 Km.

10.	袖浦 — 大山	27th. Aug. ~ 18th. Sept. 1951.	62.5 Km.
11.	筑波 — 藤岡	July 1951	91.3 Km.
12.	白羽 — 谷津	31st. Apr. ~ 18th. May. 1951.	46.1 Km.
13.	筑波 — 館林	1951.	50.5 Km.
14.	白羽 — 追分	26th. Jan. ~ 3rd. Feb. 1951.	45.2 Km.
15.	生駒 — 六甲	March 1950	40.7 Km.

各回路に於ける絶対電界レベルの各時中の毎一分間に於ける最頻値の分布。

但しこれらのデータはすべて水平偏波に關するもののみである。

得られる資料としては上述のようなもの丈であつたから、一応これによつて分析を行つたが、この資料の性質上分析は極めて局限された方向にのみ限られることになった。

フェーディングの質的分析の方向にすゝむことは不可能とゆうわけである。尚これらのデータは生のものとゆうわけではなく途中またうつしの形式になっているものが少くない。

この点データに關して幾分不安を感ずる。統計的分析に於ては、途中の如何なる段階に於て混入された誤りも決定的に終局的結果に影響するとゆうことを十分に認識してデータの処理が行われることが肝要である。

尚このように多数回の実験が行われているのであるからその間に得られた分析結果にもとづいて、必要な更に多くの知識獲得のための気象要素その他各種のデータの蒐集を心掛けなくてはならない。

今は一応これ丈のデータの内に含まれている知識より可能な限りの統計的結論を引出すことを試みるより他に方法はない。

d. 分析の結果

分析は二方向に行われた。一回路に於けるフェーディングの残幅の考察と、回路の変化とフェーディングの様相の変化の

関係の考察とである。

① 一回路に関する考察

この分析には資料 1) が用いられた。精密な結果を求めるために実際処理出来る程度の数のサンプルをとって分析を行ったのであるが、未だ資料 1) の得られた当時は、各種機器の状態も十分でなかったために、欠測値が極めて多く、以後の分析をある意味では殆ど不可能ならしめたのであるが、得られる最も確かな資料としてこれ以外になかったので、これによつて分析を行うことにした。

結局このサンプルによつては、電界レベルの 1 日 24 時間の变化の傾向は殆ど分析できない。更に問題になるのは、この欠測によつて、われわれの得ようとする知識に偏りの導入されるおそれがあるとゆうことである。

即ち欠測が無計画的且意識的に行われたような場合には、残っているデータは現実の電界レベルの様相を傳えることはできない。

たとえば、異常な電界レベルが突然現われるようなときにこれを単に経験的に見て異常であるとして捨ててしまうならば、残りのデータからはこの異常と目された現象の十分な解明は殆ど不可能であり、残っているデータのみを用いて何等かの結論を出すことがどのような意味を持つかを十分に明かにすることが出来ない。

またわかりきった例として低い電界レベルが現われた時のデータが無計画的にいつも捨てられているならば、残りのデータのみを用いて得られた結論が無意味なものとなるであろうことは明かである。

次に問題となるのは、現在要因として気象要素のみ取っているが、果してこれ丈でよいか、また同じ気象要素の記録にしても、すでに述べたモディファイされた意味でのフェーディングに対して、どのような記録の仕方が最も有利であるかという点である。

これらの問題はすべて実験計画の最も主要な問題である。これらの問題に対する正しい解答は、調査のデザイン → 調査実施 → データの獲得 → 結果の分析、その解釋 → 更に解釋の追試として、

と同時に知識の増大を目的として、最も有効であるように次の調査のデザイン → 実施 → ----- という過程をそのどの部分をもゆるかせにすることなく遂行することによつてのみ興えられる。

この過程の如何なる部分にもせよ、おろそかにされるならば、労多くして益なき実験をくりかえすことになる。

一応この分析の結果得られたところを記すと次のようである。

- ① 最小電界レベルの昼夜の平均に於ては殆ど差はみとめられない。
- ② フェーディングレインダ（最大電界レベル — 最小電界レベル、各5分間の）に於ては昼夜の差はかなり大であつて、夜間の方がレインダの平均は大であるといえよう。
- ③ 1日24時間の傾向については既に述べたように、資料の性質上積極的な結果は得られていない。
- ④ 毎日のフェーディングの状態と、気象要素との間には、両者の平均的な状態に関してかなりの関係があることが見られる。

ことに電界強度の変動率は、気圧の変動率、気温の変動率、相対湿度、と相当密接な関係にあり、定性的に言うと次のような関係があるといえる。即ち

気圧の変動率が大となると、電界強度の変動率も大となる。

この場合、気圧が高い程同一の気圧の変動に於ても、電界強度の変動率が大となる。温度（絶対温度）の変動率は、それが大となる程、電界強度の変動率は大となる。湿度（相対）は、それが大なる程電界強度の変動率は大となる。この関係は52で数式的に表現される。

電界強度そのものの平均値（毎日）、と気温、気圧、湿度、の平均値（毎日）との間には殆ど関係がない。

- ⑤ 電界強度の分布の様子については、次頁の分析との関係上、その構造に関して幾分かの知識を得ようとして、モデルによる近似を行つて見た。極めてあらひ近似であるが、何らかの意味を持つかもしれない。モデルとしては、結局、フェーディングの最

も重要な原因が反射波と直接波との干渉にありとして、回路の一般的反射係数なるものを考え、それがある程度のちらばりをもつことによつて、電界の変動が生ずるものと考えた。この近似の結果によると反射係数の分散が同一であつても、その平均値が1に近い程、電界強度の分散は大となり、0に近い程、電界強度の分散が小となるように見える。

2. 多数回路に於ける実験結果と、各回路の特性との関係の分析.

電界強度の分散の大きさと、送受信点間の距離、及びその回路の形との関係を求めて見た。この結果はかなり実用的な意味を持つものであると思うが、統計数理的に見たとき未だ十分な結果と言えないが、一応一つの方法として報告する。

その結果によると、電界強度の分散は、送受信点間の距離と共に増大し、同一距離の回路に於ては、反射点の、山、平地、海、なるに従つて、分散は大となる。この結果は更に多くの実験結果の利用と、フェーディング発生機構の解明とによつて、より妥当な型に修正されることと思う。

3. 時系列としての電界強度記録の考察

電界強度記録を時間に関係を有するものとして考察することは必要不可欠である。この点に関する考慮が拂われないと、前項に於ける分析結果は全く意味を持たないことになる。

尚このことに聯関して、実験期間の長さの決定が問題となる。

此等の問題については簡単に適用できる既存の効果的な分析方法とゆうものはない。従つて最も統計数理的な注意を拂はなくてはならない。この点の分析については、何分十分なデータを利用することゝ出来ないで、満足すべき結論を得ることは出来ないが、一応何等かの判定を行う方法を考察した。その結果のみをこゝに記述することは、内容の重要性を考えると不適当であると考えられるので、詳細は§3にゆずる。

以上を以て、一応分析の概要を終るが、分析の詳細については、次の§に於て述べられる。これらの分析は未だ不十分なものであるが、更に進んだ十分な研究は、直接、電波伝播の研究を専門とされる方々の十分な教示を仰がないならば、徒らに計算をのみ続けて、十分なる結果に至る道を失うおそれが大である。この種研究に於ける各分野の密接な共同研究の必要性が痛感される。

§ 2. 分析の詳細

分析の対象に関する何等の知識をも持たない状態より分析を始めたので、分析の進むに従つて、既に行つた分析の不適當であること不十分であることが明らかになつて来たのであるが、こゝにはその過程を順を追つてそのまま報告する。

§§ 2.1. 一回路に関する考察

最初 4000 M.C.伝播試験のデータとして、極めてフェーディングの模様と気象記録の変動の模様とが似ていると思われる日の記録を見たため、おそらく電界レベルと気象記録との関係が求られるものと考えたが、注意して見るとレベル自体と気象記録との関係は一般には極めて不明瞭なものであることがわかつた。そこで、毎日のフェーディングレインゲの様子と湿度との粗い関係を見た。

各日に次のような数量を與えた

- (i, j) i は湿度を表わす数量
 j はレインゲを表わす数量

但し

湿度については

- $i = 0$ (1日12時間以上湿度 80~100%の日)
 1 (" 50 ~ 80 % の日)
 2 (" 0 ~ 50 % の日)

(14)

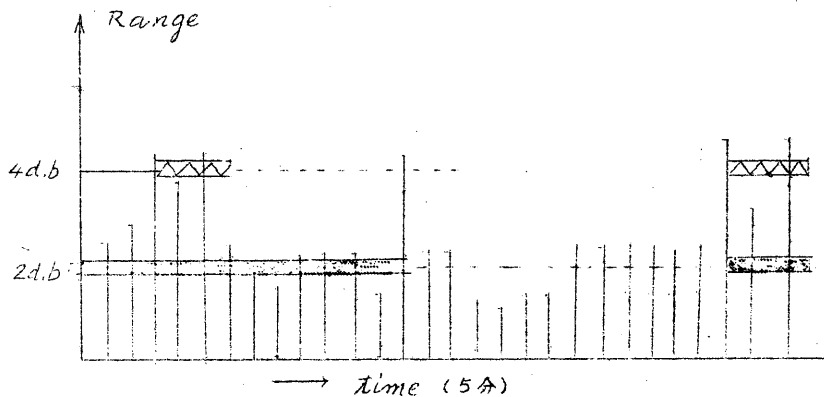
レンジについては

$j = 2$ (4 d.b. 以上のレンジの発生した時間総和 1 日 7 時間以上の日)

$= 1$ ($j = 2$ 以外の日で, 2 d.b. 以上 12 時間以上の日)

$j = 0$ ($j = 2, j = 1$ 以外の日)

レンジの時間総和をはかる際, 20 分以内に再び同一レベルを超えるならばその間の時間は総和に入れた。前後 25 分以内に独立して一回しかレベルを超えていないようなレンジは計算に入れなかった。尚レンジの分布は 1 日 24 時間一様であるとして, 欠測のある日の時間数は比例によつて引延ばした。(これは問題がある②参照) レンジの時間分布のはかり方は次の図より明かである。



▨, の長さの総和が 4 d.b. を超える時間

■, の長さの総和が 2 d.b. を超える時間に天々相当するわけである。

この結果は次表の如き分布となり, (i, j) の相関係数は,

$\rho = 0.492$ となる $j \rightarrow i$ の相関比 η は

$\eta = 0.494$ となる。

$i \backslash j$	0	1	2	$f_{i\cdot}$
0	2	2	1	5
1	3	4	1	8
2	0	2	5	7
$f_{\cdot j}$	5	8	7	20

上述の結果に於ては、 i の数量は試みに 0, 1, 2, と定めたのであるが、今相関比が最大になるような i の数量を、平均値 0, 分散 1, とするやうな条件の下に求めると次のようになる。

$$\begin{aligned} i = 0 & \longrightarrow -1.05 \\ 1 & \longrightarrow -1.34 \\ 2 & \longrightarrow +2.28 \end{aligned}$$

そしてその際の η は

$$\eta = 0.5982$$

となる。前の任意に興えた数量の順序とは、1箇所逆になるが、サンプル数が少ないのでその意味はそれ程明瞭ではない。各 j に於ける平均値は

$$\begin{aligned} j = 0 & \longrightarrow -1.22 \\ 1 & \longrightarrow -0.36 \\ 2 & \longrightarrow 1.29 \end{aligned}$$

となる。これを各 j の数量として興えたと相関比は (i, j) の相関係数となるわけであるがこれより見ると始めに等間隔に興えた j の数量は、相当妥当なものであることがわかる。

適当に数量を興えて相関係数を求める際には、その妥当性に関してこのような検討を行わないと何等意味を持たなくなる危険がある。

この結果より見るとレインチと湿度との間には、関係なしとはいえない。幾分湿度の低い日にレインチ大となる傾向があるように見える。

6. 一日に於ける時間的变化の傾向、及びその気象要素との関係。

a の分析の結果、より精密な分析を行うならば、更に何等かの傾向が認められるかも知れないと思われたのでサンプリングを利用して詳しく見ることにした。

〔0〕 母集団の構成

以下の分析を進める為には母集団の構成に関して、十分考慮することが大切である。こゝでは次のような考えに従つて母集団を構成する。即ち現在與えられている資料は

筑波国分寺回線

7 th. ~ 29 th. Dec. 1949

に於ける、毎5分間のレベルの最小値であるが、われわれの得ようとする知識は一般にこの季節に於ける、この回路のフェーディングの様相に関するものである。そこで母集団として一般にこの回路の7 th. ~ 29 th. Dec. の各5分間毎の電界レベルの最小値を考える。これに対して、現在與えられている資料はこの母集団からとられた一つのサンプルと見做されるが、こゝで更に分析可能な程度のサンプルをこれから取るといふわけである。この際のサンプリングの方法としては一時間間隔のシステムティックサンプリングによることにする。資料の性質上こゝでは毎時25分~30分間の間のレベルの最小値をサンプルとして取ることとする。

一時間の中の各5分間毎に着しく他と異つた特定の傾向を持つとは考えられないから、われわれの目的に対してこのサンプルはランダムスタートによるシステムティックサンプルと考えて良いであろう。このことがゆるされるならば、後に明かになるようにわれわれの目的に対して十分有利なサンプリングである。(この点に関しては、参照)

◎ 一日24時間には於ける時間的変化の傾向を見るといふ考えの為には、既に〔0〕に於て構成された母集団に関して更に各時間毎に電界レベルの分布が日に関せず一定であるといふことを假想しなくてはならない。サンプルより、計算の結果次のような値が得られた。

時 間 t	0	1	2	3	4	5
取られたサンプル実数 n_t	14	16	12	14	15	14
(相対)平均レベル d, b (\bar{x}_t)	9.98	9.97	9.12	8.05	8.03	7.87
変 異 係 数 ($\frac{\sigma_{x_t}}{\bar{x}_t}$)	0.49	0.54	0.51	0.55	0.52	0.48

t	6	7	8	9	10	11	12	13	14
n_t	13	12	10	10	10	9	11	10	10
\bar{x}_t	8.41	7.78	10.82	9.78	8.14	7.13	8.83	8.71	7.05
$\frac{\sigma_{x_t}}{\bar{x}_t}$	0.52	0.38	0.43	0.49	0.43	0.42	0.45	0.51	0.52

t	15	16	17	18	19	20	21	22	23
n_t	11	11	12	12	15	11	12	11	12
\bar{x}_t	9.25	10.14	8.35	9.87	9.95	9.75	9.11	8.16	8.31
$\frac{\sigma_{x_t}}{\bar{x}_t}$	0.47	0.44	0.51	0.41	0.49	0.50	0.45	0.19	0.45

この表より明かなように、各時間毎に実際とられたサンプル数は異っている。これはすでに述べた欠測によるものである。以後の分析をすゝめるに当つては常に此の点に対する十分な配慮を忘れることが出来ない。(この点については後の χ^2 に於けるランダム性の検定を参照されたい。)

とにかく、この表より見ると、一日の時間的变化の傾向は変異係数の餘りに大であることから殆ど意味を持たないもののである。

$$\text{念の爲} \quad R(i) = \sum_{t=0}^{23} \bar{x}_t \cdot \bar{x}_{t+i} \quad \left(\bar{x}_{t+i} = \begin{cases} t+i & (t+i \leq 23) \\ t+i-24 & (t+i \geq 24) \end{cases} \right)$$

を計算して見ると

(18)

$$R(1) = 1895.74 \quad R(2) = 1884.62$$

$$R(3) = 1888.38 \quad R(4) = 1899.02$$

$$R(5) = 1884.38$$

$$R(10) = 1886.07 \quad R(12) = 1890.34$$

となって、殆ど傾向はみとめられない。

◎ 次に昼夜の差について見ると

(16 時 ～ 4 時) を夜, (4 時 ～ 16 時) を昼として
16.00 ～ 04.00 04.00 ～ 16.00

最小電界レベルの各平均は、その差に於て、標準偏差の 0.75 倍であつて有意なものとは認められない。(この際夜と昼のレベルは、0.70 の相関係数を示している)

◎ フェーディングレインチに於ては、昼夜の差は、その標準偏差の 2.7 倍に及び、夜の方が大である。これはかなり着しい差と思われる。(この際、昼夜の相関係数は 0.397)

◎ 前述の電界レベルの表に対応する気象記録を見ると次表のようになる。

時 間 (t)	0	1	2	3	4	5	6		
濕度(平均) \bar{H}_t (%)	71.0	72.0	72.2	70.7	69.6	70.4	69.6		
変異係数 $\frac{\sigma_{H_t}}{\bar{H}_t}$	0.27	0.25	0.24	0.26	0.25	0.26	0.25		
気 温 T_t °C	0.9	0.7	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4		
t	7	8	9	10	11	12	13	14	15
\bar{H}_t	69.2	68.9	68.8	63.9	61.8	59.7	59.2	58.6	58.1
$\frac{\sigma_{H_t}}{\bar{H}_t}$	0.26	0.23	0.23	0.30	0.33	0.37	0.40	0.41	0.42
T_t	0.5	0.6	1.0	2.4	3.3	4.2	4.9	5.4	4.8
t	16	17	18	19	20	21	22	23	
\bar{H}_t	62.0	66.9	67.2	67.2	67.5	69.8	70.0	69.3	
$\frac{\sigma_{H_t}}{\bar{H}_t}$	0.37	0.36	0.33	0.29	0.27	0.26	0.28	0.28	
T_t	3.7	2.2	1.9	1.7	1.3	1.2	1.2	0.8	

これ等の結果より見るに、何日かの記録の平均によつて、毎時の最小レベルの傾向その他を考慮することは殆ど無意味であると考えられる。こゝで更により巨視的な立場に立つ即ち、レベルの分布の季節的変動、場所的変動の考察に力を注ぐか、或はまた、より微視的に、毎日の気象要素の変動と電界レベルの変動との関係の考察、フェーディング発生機構の考察、の方向に向ふかすることが必要であると考えられる。尚次のような数値が得られた。

毎時の、最小レベルの(日数に対する)平均値(前出の \bar{x}_t)とレインダの平均値との相関係数 $\rho_1 = 0.61$

毎時の、平均レベルの平均値と、レインダの平均値との相関係数 $\rho_2 = 0.36$

毎時の、最小レベルの平均値と、平均レベルの平均値との相関係数 $\rho_3 = 0.91$

毎時の、最小レベルの平均値と、最小レベルの標準偏差との相関係数 $\rho_4 = 0.81$

これらの数値の持つ意味は明瞭である。以降の分析に対して幾分有利な知識を與えるものと考えられる。

C. 毎日の電界の変動と気象要素との関係

b.の終に於て述べられた考察に従つて、分析の方向は微視的、巨視的の二方向に分れたが、入手し得るデータの制限より先づ前の方向への分析を進めることにした。データの制限とは、当時異種の実験の結果が少い、電界強度の絶対値が示に不明であつて他の実験との比較可能な知識が少い、等である。

こゝで毎日の電界の変動と気象要素との関係を見ると考えるとき母集団は1日24時間の電界レベルと気象要素との関係が一定の分布に従うものと考えることによつて構成される。以下に於ける記述を明瞭にするため次のように記号を定める。

又 \bar{x} : 最小電界レベルのサンプル日平均

(20)

\bar{p} : 気圧 (但し p を $mg\ Hg$ とすると $p = \frac{693 - p}{2}$)

\bar{H} : 湿度 (%) "

\bar{t} : 気温 ($^{\circ}C$) "

\bar{T} : 絶対温度による気温 "

σ_p : 気圧標準偏差 (一日の)

σ_x : 最小レベル "

σ_H : 湿度 "

われわれが "フェーディング" の名の下に得ようとする知識は、
元、 σ_x , $\frac{\sigma_x}{x}$ の何れかに関係するものと定めて考察をすゝめた。

これと気象要素との関係を見出そうとゆうわけである。

その関係としてはなるべく簡単で、而も、当面の目的に有効なもの
のが望ましい。

元、 σ_x , $\frac{\sigma_x}{x}$ を各日について記して見ると次のようになる。

日	7	8	9	10	11	12	13	14	15
サンプル数 n	7	12	7	0	6	0	20	20	0
\bar{x}	5.71	10.69	8.36		6.82		11.38	9.01	
σ_x	3.8	4.8	1.1		2.0		3.2	4.8	
$\frac{\sigma_x}{x}$	0.66	0.45	0.13		0.29		0.28	0.53	
日	16	17	18	19	20	21	22	23	24
n	0	0	6	24	21	19	19	21	19
\bar{x}			8.93	10.10	10.60	14.77	6.91	4.54	6.20
σ_x			2.6	3.6	4.3	5.1	2.8	2.9	3.7
$\frac{\sigma_x}{x}$			0.29	0.34	0.41	0.35	0.41	0.63	0.60
日	25	26	27	28	29				
n	21	13	21	21	7				
\bar{x}	10.11	9.59	7.21	7.43	10.23				
σ_x	3.1	4.0	3.9	2.7	3.1				

$$\frac{\sigma_x}{\bar{x}} \quad 0.31 \quad 0.42 \quad 0.54 \quad 0.36 \quad 0.31$$

フェーディングと気象要素との相関関係を見るために、 (\bar{x}, \bar{p}) (σ_x, σ_H) 等を方眼紙に打点してみたところ $(\frac{\sigma_x}{\bar{x}}, \frac{\sigma_p}{\bar{p}})$ でかなり高い相関があることが分った。計算の結果

$$\rho_{\frac{\sigma_x}{\bar{x}}, \frac{\sigma_p}{\bar{p}}} = 0.70$$

(但しこれらの計算には1日18回以下のデータしかっていない日は一日の様相を表わすには不十分であると思われるので加わっていない。この処置の妥当性については-----d. 参照)

次に、 $\frac{\sigma_x}{\bar{x}}$ と $\frac{\sigma_p}{\bar{p}}, \frac{\sigma_T}{\bar{T}}, H$ との重相関係数は

$$r = \rho_{\frac{\sigma_x}{\bar{x}}, \frac{\sigma_p}{\bar{p}}, \frac{\sigma_T}{\bar{T}}, H} = 0.863 \quad \text{となる。}$$

$$y_0 = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} \quad x_1 = \frac{\sigma_p}{\bar{p}} \quad x_2 = \frac{\sigma_T}{\bar{T}} \times 10^2 \quad x_3 = \frac{H}{100}$$

とすると、 y_0 を推定する式は

$$y_0 = 0.816x_1 + 0.305x_2 + 0.522x_3 - 0.307$$

となる。計算に利用された点について真の値と計算値との差の2乗和の算術平均 σ^2 をとると

$$\sigma^2 = \sigma_{y_0}^2 (1 - r^2) \quad \text{であるから}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{y_0}^2 (1 - r^2)} = 0.0585$$

$$3\sigma = 0.1756 \quad \text{となる。}$$

これ等の結果を得て後に、極めて異常な、フェーディングを示している12日のデータがあることが分ったので、それと、さきに観測回数が少いために捨てられたデータとにこの推定式を適用して見た。その結果を図示すると次図のようになった。尚各偏相関係数は

(22)

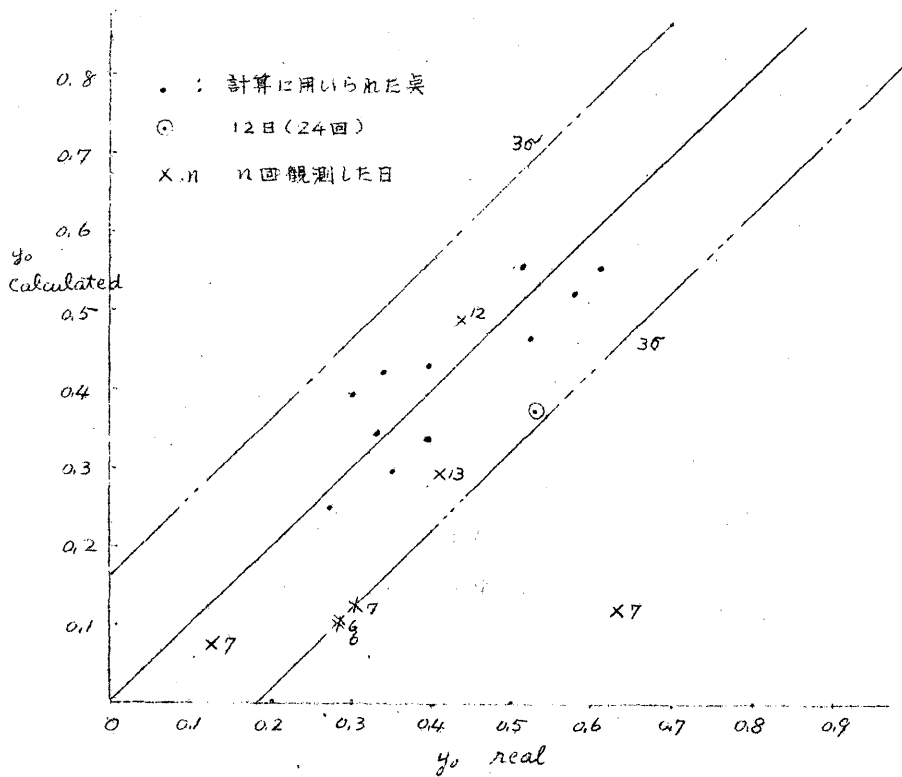
$$\rho_{y_0, x_1, x_2, x_3} = 0.710 \quad \rho_{y_0, x_2, x_1, x_3} = 0.531$$

$$\rho_{y_0, x_3, x_1, x_2} = 0.706 \quad \text{単相関係数は}$$

$$\rho_{y_0, x_1} = 0.698 \quad \rho_{y_0, x_2} = 0.111 \quad \rho_{y_0, x_3} = 0.417$$

$$\rho_{x_1, x_2} = 0.260 \quad \rho_{x_1, x_3} = 0.028 \quad \rho_{x_2, x_3} = -0.696$$

である。



次に、 \bar{y} と $\bar{P}, \bar{H}, \bar{T}$ との関係を見るに

$$\rho_{\bar{y}, \bar{P}, \bar{H}, \bar{T}} = 0.27$$

$$\rho_{\bar{y}, \bar{P}, \bar{H}} = 0.26$$

で殆ど問題にならない。

こゝで注意しなくてはならないのは、 $\frac{\sigma_p}{P}$ の意味であるこの P は実際の気圧 p に対して

$$P = \frac{693 - p}{2}$$

なる関係にある。

こゝで今 $\frac{\sigma_p}{P}$ の代わりに σ_p をとつて見ると

$$\rho_{\frac{\sigma_x}{x}, \sigma_p} = 0.29$$

次に $e^{\frac{p}{10} \times 10^{-29}} = k_p$ として $\frac{\sigma_p}{P}$ の代わりに $k_p \sigma_p$ ($\sigma_p = 2 \sigma_P$) をとると

$$\rho_{\frac{\sigma_x}{x}, k_p \sigma_p} = 0.514 \quad \text{と上つてくる。}$$

即ち σ_p に p の大なるに従つて増加するようにウエイトをつけると、 $\frac{\sigma_x}{x}$ との相関が大になることがわかる。このことには何等かの物理的意味があるであろう。

前の $\frac{\sigma_p}{P}$ は丁度その型になっていたために $\frac{\sigma_x}{x}$ と直線的な関係を持ち、従つて推定直線（回帰直線）を引くことが有意味となつたのであつて、われわれの使用可能な手段に対して適当な数量化であつたのである。

尚次のデータがある。

$$\rho_{\frac{\sigma_x}{x}, \frac{\sigma_x}{x}} = -0.88$$

$$\rho_{\frac{\sigma_x}{x}, \frac{\sigma_p}{P}} = -0.56$$

この推定直線の形及び上の相関係数より見るとさ次のようなことが考えられる。即ち、

湿度が大で、気圧、気温の変動率が大なる程電界の変動率が大となるのであるが、電界の変動率は電界の強い方で大となる傾向があるとゆうことと考え合せると、大気の状態が十分攪拌される時に電

(24)

界レベルは上るらしく思われる。(この結果は電気通信研究所に於て得られている風速をも考慮したレンジと気象要素との関係を表現する式とその内容に於て反するものではないことを後に知った。)

これ等の結果は更にフェーディングの機制的説明に利用され、又その意味も明かにされるであらうと思う。しかしながらこれ迄の結果は元自体の推定について何れ教えるところがない。この点に関して更に研究が必要である。気象要素以外の要因の考察、フェーディングに関する *valid* な知識、の増大等に注意しなくてはならない。

d. 各時間毎に於ける電界レベルと気象記録。

各時間の電界レベルと気象記録との関係を見るために各データを次のように分類して分布を取って見た。

電界レベル	x ;	$a < 5_{db} \leq b < 10_{db} \leq c < 15_{db} \leq d$
気圧	P ;	$a \leq 1 < b \leq 3 < c \leq 6 < d$
気温	T ;	$a < -2.5_{\circ C} \leq b < 0.5_{\circ C} \leq c < 3.5_{\circ C} \leq d$
湿度	H ;	$a < 50\% \leq b < 70\% \leq c < 90\% \leq d$

H

X.	P.	T.	a	b	c	d	
a	d	a	2	3			5
Alt	Alt	b	1	1	1	2	5
"	"	c		2	3	3	5
"	"	d		2	1	1	3
			1	3	8	6	18
"	c	a	1				1
"	"	b	2		1		3
"	"	c	1	2	3	3	9
"	"	d		2	2	2	4
			1	2	8	6	17
"	b	a	2				2
"	"	b	1	3	4		8
"	"	c	2	2			4
"	"	d	1				1
			1	8	6	0	15
"	a	a					0
"	"	b	3			1	4
"	"	c	2	1			3
"	"	d	5	1	1		7
			3, 18, 23,				15,

IH

X.	P.	T.	a	b	c	d	
b	d	a		2			2
"	"	b	1		2	1	4
"	"	c	2		3		5
"	"	d		2	2	9	11
			3	0	9	10	22
"	c	a	6	4	1		11
"	"	b	4	7	4	4	19
"	"	c		4	4		8
"	"	d	2	2	3	4	11
			12	17	12	8	49
"	b	a		10	2		12
"	"	b	2	2	3		7
"	"	c	1	12	5	6	24
"	"	d	6	5			11
			9	29	10	6	54
"	a	a					0
"	"	b					0
"	"	c	2	5			7
"	"	d					0
			0	2	5	0	7
			24, 48,	36,	24,		

H

X	P	T	a	b	c	d	
C	d	a	0	5	4	0	9
"	"	b	0	2	1	0	3
"	"	C	1	0	1	0	2
"	"	d	0	0	1	5	6
			1	7	7	5	20

"	C	a	1	3	0	0	4	18
"	"	b	4	0	2	8	14	
"	"	C	0	5	0	0	5	10
"	"	d	2	1	0	2	5	
			7	9	2	10	28	

"	b	a	1	4	0	0	5	8
"	"	b	1	1	1	0	3	
"	"	C	0	9	3	6	18	26
"	"	d	6	2	0	0	8	
			8	16	4	6	34	

"	a	a					0	
"	"	b		1			1	
"	"	C					0	
"	"	d					0	
			0	1	0	0		

16, 33, 13, 21

H

X	P	T	a	b	c	d	
d	d	a					0
"	"	b		1			1
"	"	C					0
"	"	d			1		1
			0	1	1	0	2

"	C	a				8	0	8
"	"	b					8	
"	"	C					0	12
"	"	d					12	
			4	6	2	8		

"	b	a	3	1			4	11
"	"	b	1			6	7	
"	"	C		1	1		2	3
"	"	d	1				1	
			5	2	1	6	14	

"	a	a						
"	"	b						
"	"	C						
"	"	d						

9, 9, 4, 14

このデータについては未だ分析を行っていないが、何分の参考になることと想着て、ここに記した。

e. 電界レベルの分布を考えるとゆうことと、システムティックサンプリングの精度等について。

一般に電界レベルの分布の型を云々することが多いので、この点について考察して見た。

このときの考え方としてはわれわれの資料は、定常な時系列からの一つのサンプルと考えられねばならない。

即ちわれわれの得る分布の型とゆうのは、各電界レベルを示す回数 n の度数の分布の極限が、各時点に於ける確率変数としての電界レベルの分布を示すものとして、得られたサンプルの分布（各電界レベルを示す度数の分布）を見ているわけである。

このためには少くとも自己相関係数に関する考察を必要とする。（上の考え方が成立するためには時間間隔が大となるにつれて確率変数が独立に近くなる必要があるから。）

すでに〔 0 〕に於て得られたサンプルを用いて自己相関係数を計算して見ると次のような数値を得る。

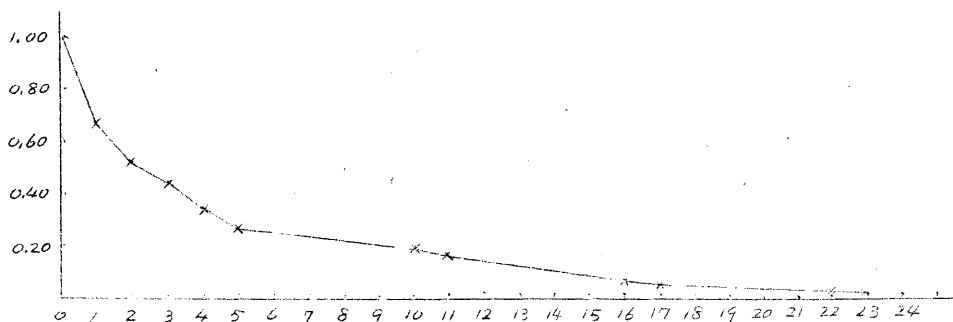
$$R(1) = 0.70 \quad R(2) = 0.55 \quad R(3) = 0.46$$

$$R(4) = 0.35 \quad R(5) = 0.29 \quad R(10) = 0.20$$

$$R(11) = 0.16 \quad R(16) = 0.06 \quad R(17) = 0.012$$

$$R(22) = 0.025 \quad R(23) = 0.008$$

これを図示すると次図のようになる。



これより見ると、時間間隔が増大するにつれて電界レベル間の相関が失われて行くことがわかる。このことより一応分布の型を考えることが許されるであろうと考えられる。

尚コレロケラムが指数函数に近い形状をなしているということから《0》の如くに母集団を想定する時、システムティックサンプリングはランダムサンプリングに比して少くとも母集団の平均値の推定とゆうことに関して有利であろうとゆうことがいえる。

(W. G. Cochran Relative Accuracy of Systematic and Stratified Random Samples for a Certain Class of Population Annals of Math. Statist. vol. XVII. 1946 参照)

(尚、分布の型については更に §2. 参照のこと。)

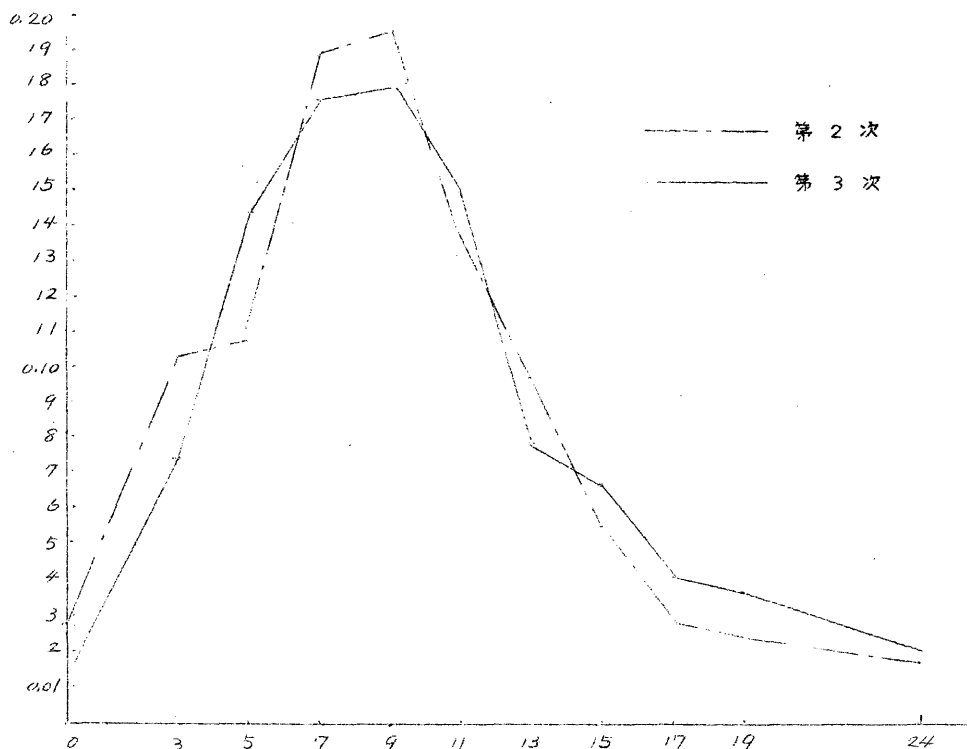
f. 季節の変化による電界レベル分布の型の変化について。

e. に於て見たところより、一応電界レベルの分布が、実験期間中の各レベルの観測された回数に相対頻によつて表わされると考へて、その型が、季節の変化によつてどの程度変るかを見た。

但し同一回線について、略：同一條件の下に、異つた季節に於て伝播試験の行われたデータとしては、筑波、国分寺回線の第2次12月(1949)、第3次4～5月(1950)しかないので、この両者の所謂分布について、 χ^2 検定を行つて見た。(但し第3次4～5月の分布はサンプリングによらないで全実験結果より求めてある。) 度数分布は次の通りである。

$x_{4.6}$	0	3	5	7	9	11	13	15	17	19	24
第2次	8	30	31	55	56	40	28	16	8	7	5
第3次	31	150	287	348	356	299	158	135	81	73	42

これより相対頻度を求めて図示すると次図のようになる。



一応ランダムサンプルの場合と同様にして計算すると

$$\chi^2 = 11.863$$

$$0.20 < p(\chi_{10}^2 > 11.86) < 0.30$$

であるから、両者は似ているものと考えて良いであろう。

即ちこの回線に関する限り、冬と春の間では、分布の型に著しい変化は認められないといえるであろう。

g. 電界レベルの分布函数の型を決定しようとする試みについて。
(この項に関しては、§§ 2.2. のa項参照)

前掲の図より見られるように電界レベルの分布の型は、筑波園分寺回線に於ては、正規曲線よりもやや偏ったものであり、 χ^2 の密度曲線にこれに似たものを見る。そこで第2次試験結果に関して、分布の平均 m 、分散 σ^2 を計算して見ると

$$m = 9.0 \quad , \quad \sigma^2 = 21.0$$

となるので、 d, b の原典をそのままにしておいて、自由度 9 なる χ^2 の分布函数と、経験的分布函数との近似の度を ω^2 -test によつて確かめて見たところ極めて両者は良く似ているとゆうことがいえるようである。但し、こゝで ω^2 -test は次のように行われたのであつて、この意味で似ているとゆうことが、当面の目標に関する知識として、どのような意味を持つかは十分考える必要がある。

$$\omega^2 = \frac{1}{12n^2} + \frac{w}{n} ;$$

$$w = \frac{1}{n^2} \sum n_k \left\{ (nF(x_k) - (i_k - 0.5))(nF(x_k) - (i_k + n_k + 0.5)) \right. \\ \left. + (n_k + 1)(2n_k + 1) \frac{1}{6} \right\}$$

x_k ; 第 k 区間の中央の座標

$$i_k = \sum_{h < k} n_h$$

n_k ; 第 k 区間に落ちる標本の数

$n = \sum n_k$ 総標本数

$F(x)$; 近似の度を見ようとする分布函数

とすると、 $F(x)$ 如何に関せず ω^2 の平均 $m(\omega^2)$ 分散 $\sigma^2(\omega^2)$ は夫々

$$m(\omega^2) = \frac{1}{6n} , \quad \sigma^2(\omega^2) = \frac{4n-3}{180n^3} ,$$

になる。(H. Cramér Mathematical Method of Statistics 参照)

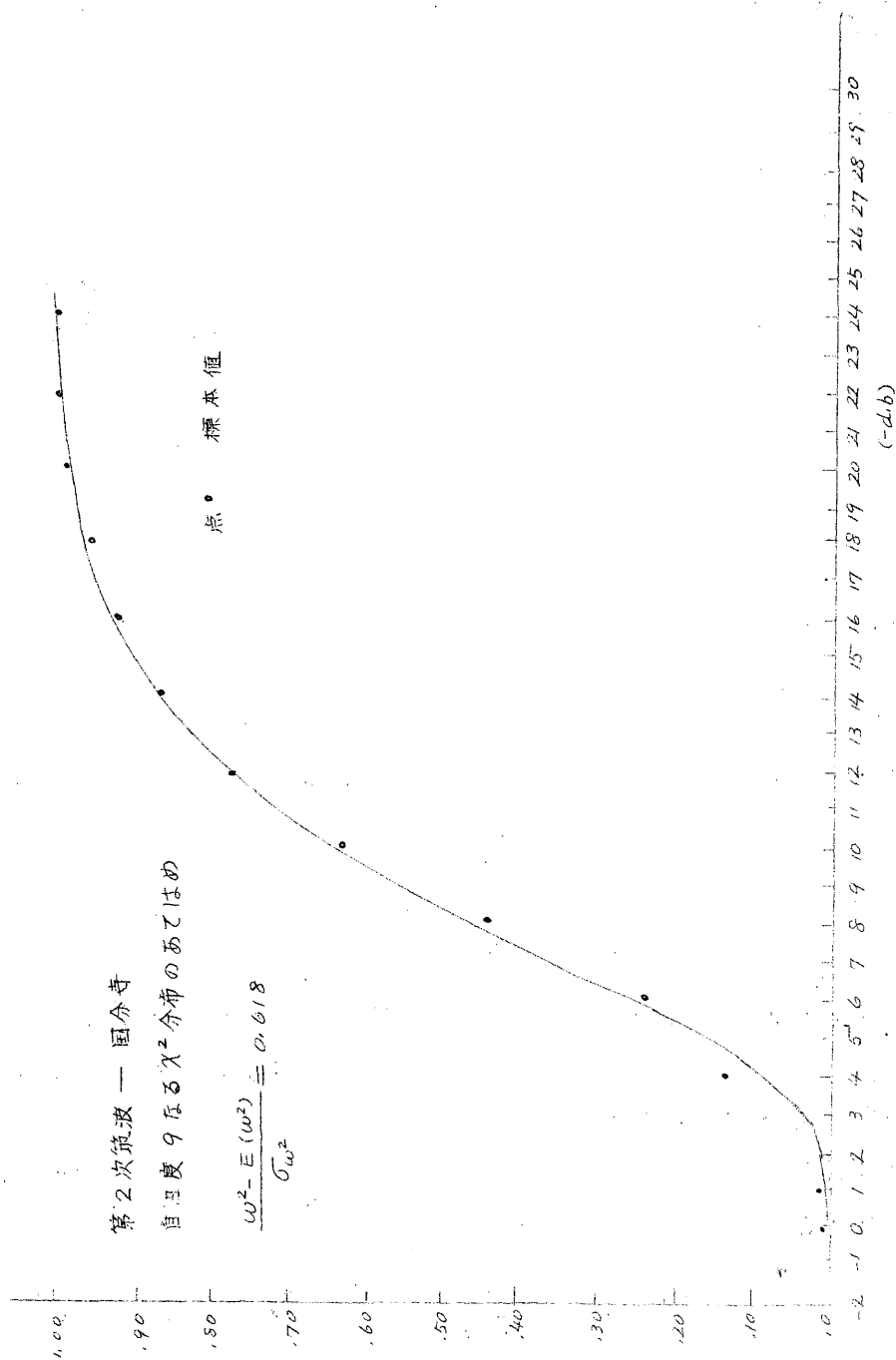
今 $F(x)$ として、自由度 9 なる χ^2 の分布函数をとつて、第 2 次試験の結果について計算して見ると

$$\omega^2 - m(\omega^2) = 0.0017, \quad \sigma(\omega^2) = 0.0027$$

となる。即ち $\frac{\omega^2 - m(\omega^2)}{\sigma(\omega^2)} = 0.618$ である。この結果より、

第 2 次試験のサンプルは自由度 9 なる χ^2 分布をなす母集団から取られたランダムサンプルに依る場合に於てかなり妥当と見做される程度の差しか示していないと考えることが出来よう。適合の度

合を図によつて見ると次のようである。



あらゆる回路に於ける電界レベルの分布の型が、このように χ^2 で fit できるならば、決定すべきパラメーターが唯一とゆうことになって、分布の平均値、分散、変異係数、の何れが求められても、それ一つで分布の型が完全に決定されてしまうことになるので極めて好都合であるわけである。しかし後ですぐわかるように、現在得られているデータに於ては決してすべての場合がこのように簡単な型を示してはいない。分布の型は極めて複雑多様である。

こゝでフェーディングの内部的構造を求めようとする方向から、フェーディングの大局的様相観察の方向に進むことにする。

分析が以上の所迄進んだ時にはじめて、多数回路に於ける実験結果が得られた、とゆうことと、一面的な分析のみでは行きづまる状態に至ったからである。

例. : 検測継続時間がランダムであるか、とゆうことを調べる一つの試みについて。

時間 0 より始まったある現象が時間 t より $t + \delta t$ 間に終止する確率が、 t に無関係に略々 δt に比例するものとするとき、即ち

$$\frac{\int_0^{t+\delta t} f(t)dt - \int_0^t f(t)dt}{\int_t^\infty f(t)dt} = c\delta t + o(\delta t)$$

と考えられるならば、現象終止迄の時間長 t の分布は密度函数 $f(t) = C \cdot e^{-ct}$ を持つことになる。即ち t は自由度 2 なる χ^2 分布に従うことがわかる。

今現象終止迄の時間長として t_1, \dots, t_n , なるデータが得られたとき、各 t_i を

$$f(t)dt = \frac{\alpha^p}{\Gamma(p)} e^{-\alpha t} t^{p-1} dt \quad (\text{自由度 } 2p \text{ なる } \chi^2 \text{ 分布})$$

なる分布に従う独立確率変数と考えて、maximum likelihood 法による p の estimator を \hat{p} とすると、 \hat{p} は、

$$\frac{\Gamma'(\hat{p})}{\Gamma(\hat{p})} - \log \hat{p} = \log \left(\frac{\prod_{i=1}^n t_i^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n t_i} \right) + \log n$$

の解として與えられ、 $p=1$ のとき \hat{p} の分散は略: $\frac{0.045}{n}$ である。

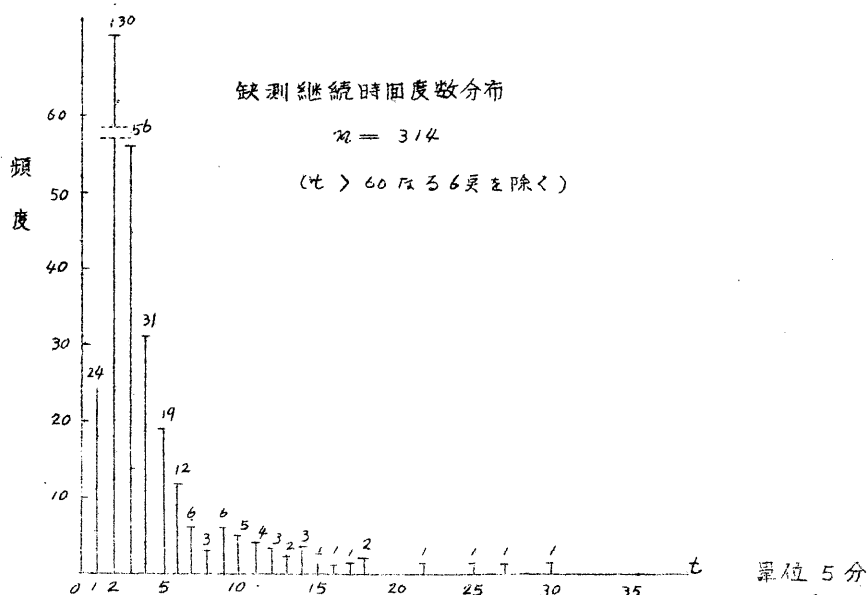
この式を見ると、 \hat{p} の決定には *scale factor* たる n は関係していないことがわかる。そこで、今與えられているデータの欠測継続時間の分布に上式を適用して \hat{p} を求めて見ると

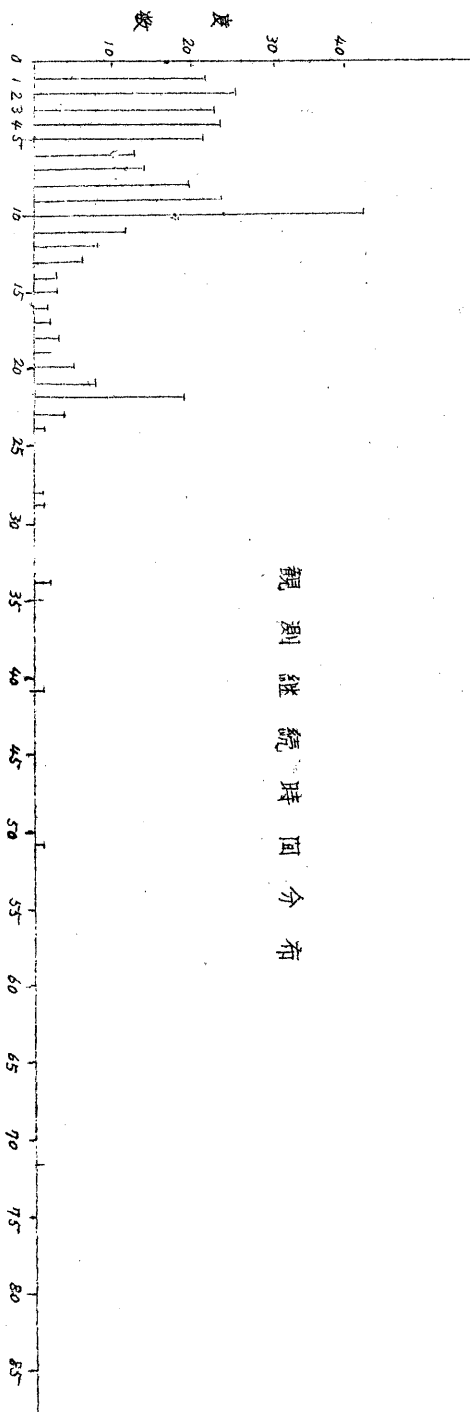
$$\hat{p} \doteq 2.08$$

$p=1$ としたときの $\sigma_p \doteq 0.045$ であるからこれでは $p=1$ という母集団からとられたサンプルと考えることはできない。

この結果は上述の、ランダムに生起する事象間の間隔に対してつくられたモデルの実用性に関する一例となるであろうが、その具体的意味については何とも言い難い。しかし、大体欠測に一定の型があつて、その型の欠測(継続時間)の頻度が極めて大であつて、上述のモデルと一致しないとゆう結果に到るのではないかと考えられる。

欠測継続時間の分布を参考のために掲げておく。





上述の方法を観測継続時間の分布，即ち誤測間隔の分布に適用してみると，

$$\hat{p} \doteq 1.54.$$

$$\hat{p} - 1 = 0.54 \doteq 12 \sigma_p$$

となる。分布は左図のようである。

本項については，

P. A. P. Moran

The Random Division of
an Interval

J. R. S. S. vol. XIII, 1951.

に依った。

尚 $\frac{\Gamma'(p)}{\Gamma(p)}$ の表については，

Jahnke & Emde Tables
of Functions P. 92.

を利用した。

§§ 2.2. 多数の回路に於ける実験結果と、各回路の特性との関係の分析

a, 各回路に於ける分布の型について

§§ 2.1. g項により、電界レベルの分布の型は、 χ^2 分布に近いのではないかとゆうことが考えられた。従つて多数の回路に於ける実験結果が得られたとき、先づこの点について見るとゆうことが当然考えられる。各回の実験に於ける分布は次のようである。

これらの分布の型を見る際には、実験継続時間長を考慮に入れなくてはならないのであるが、§§ 2.1. e項に於て見られたように大体一日位はなれると、電界レベル相互の間の相関が0になるらしく思われるとゆうことから、1日に比して、実験継続時間は十分長いと考えて一応これらの型を全部同時に見ることが許されるであらう。

(この呉に関しては§3参照)

これらの累積度数分布をとつて、 χ^2 分布のそれと比較してみると最も良く似ていると考えられる場合についても、 ω^2 について見ると、 $\omega^2 - E(\omega^2)$ が ω^2 の標準偏差の40倍程度になつてゐるものがある。

このことから、 χ^2 分布を以て近似するとゆうことが、よくないとうことは少しも言えないか、とにかく適合度の検定を公式的に適用して議論することは、この際何等有効な知識を興えないものと考えられる。それよりもむしろ、より大局的に回路の特性と電界レベル変動との関係を把握するとゆうことの方が必要であると考えられる。それに、実際に電話の回路を決定するとゆうことが時間的に限られているとのことから、少しでも回路の決定に有効な結果を求めなくてはならなくなつた。

そこでこれ迄に得られてゐる資料は前掲の如く各回路に於ける電界レベルの分布と、実験実施の季節、送受信点間の距離、であつた。

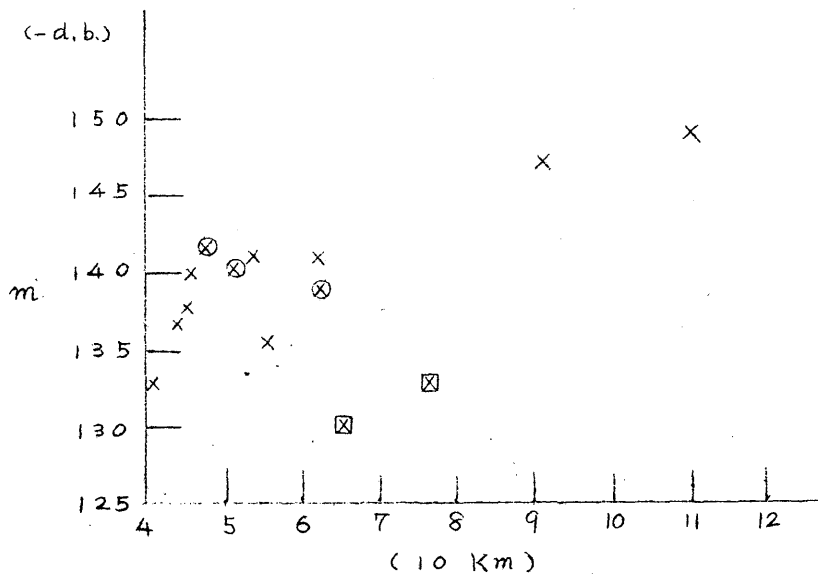
(36)

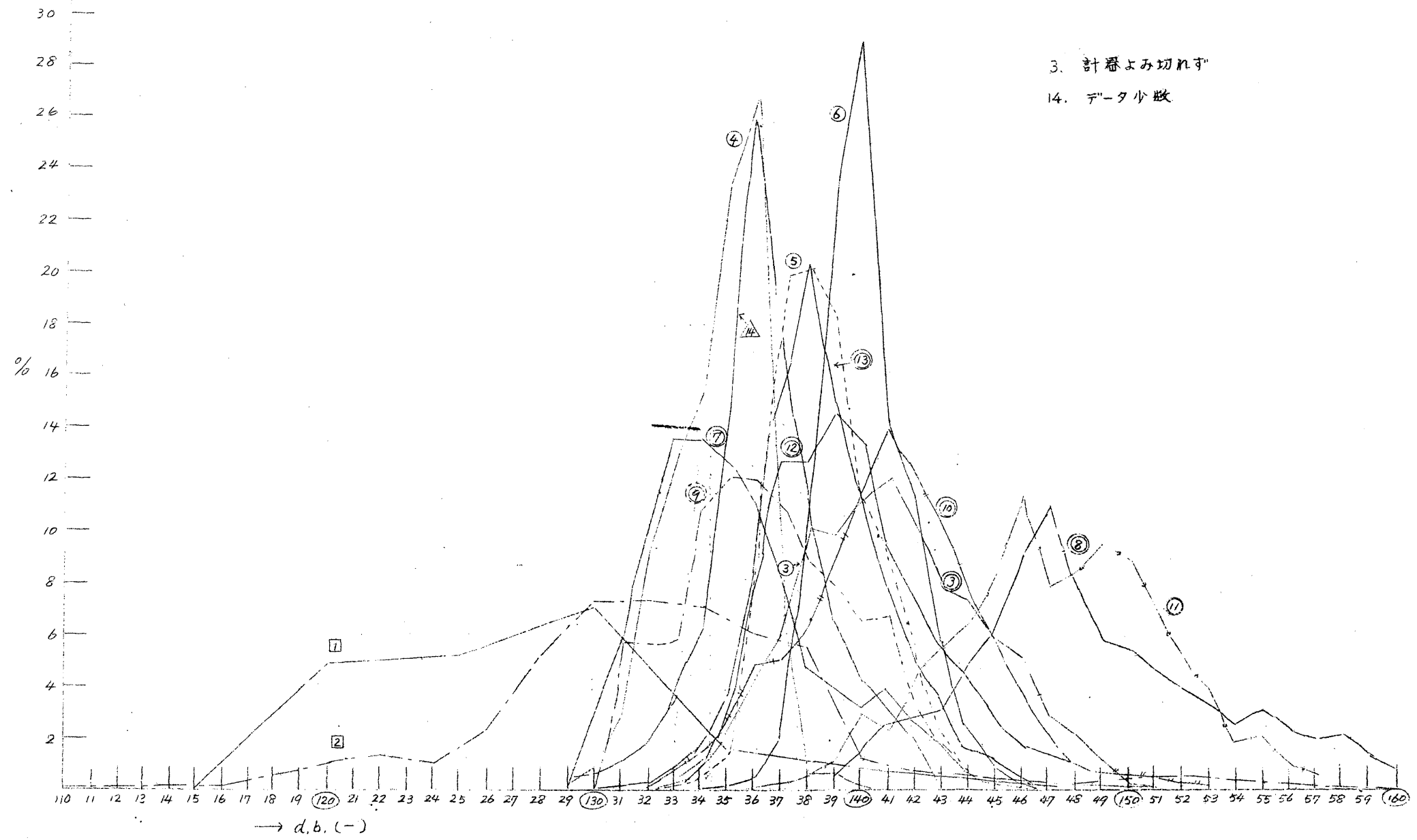
ので、これらの間の相関を見ることにした。

り、各回路に於ける電界レベル分布の様相と回路の特性との関係

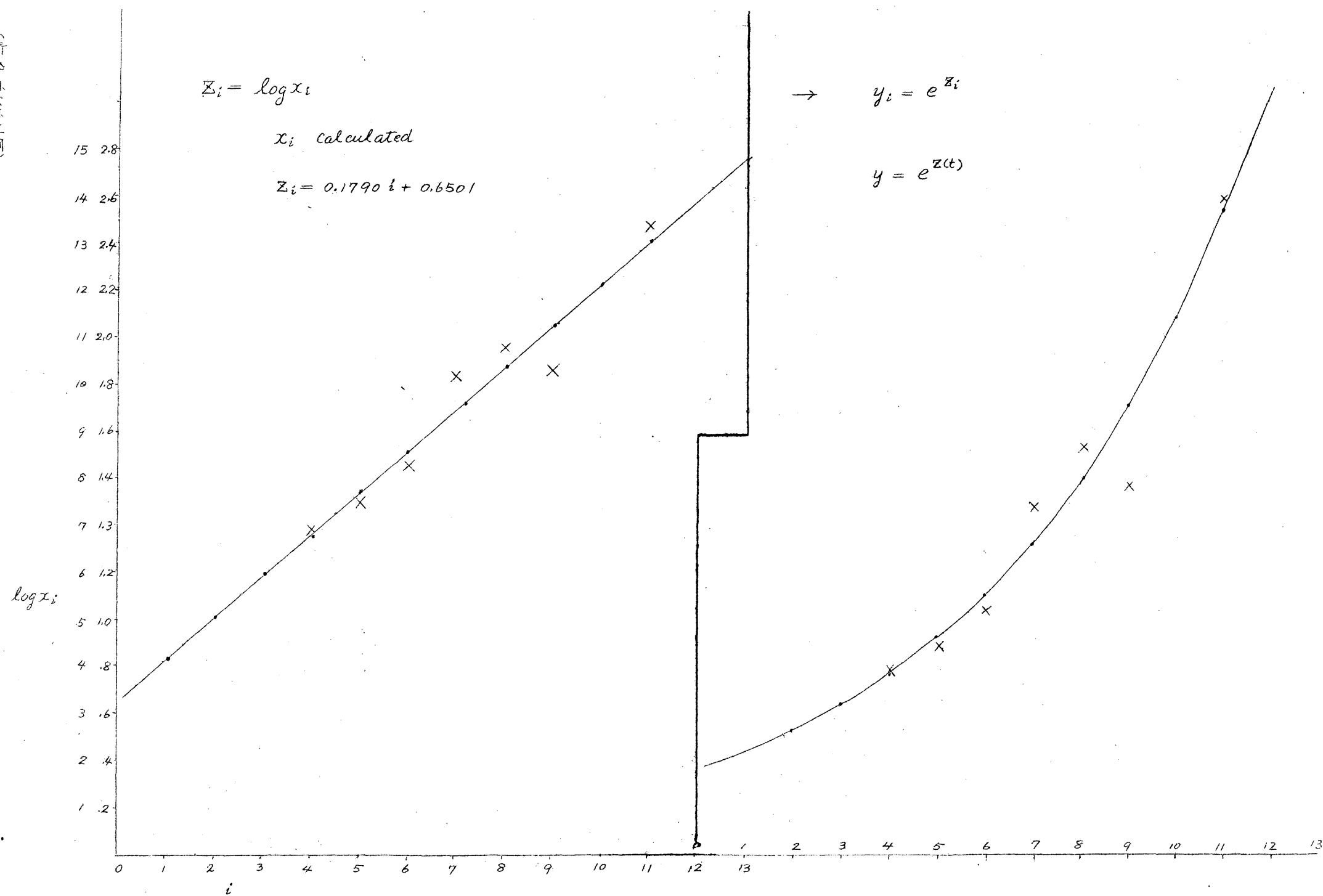
距離の電界レベル変動の様相に及ぼす影響が大であるという
ことは直ちに考えられることであるから、距離と電界レベルの平均
値、分散との相関を見ると次図のようになる。

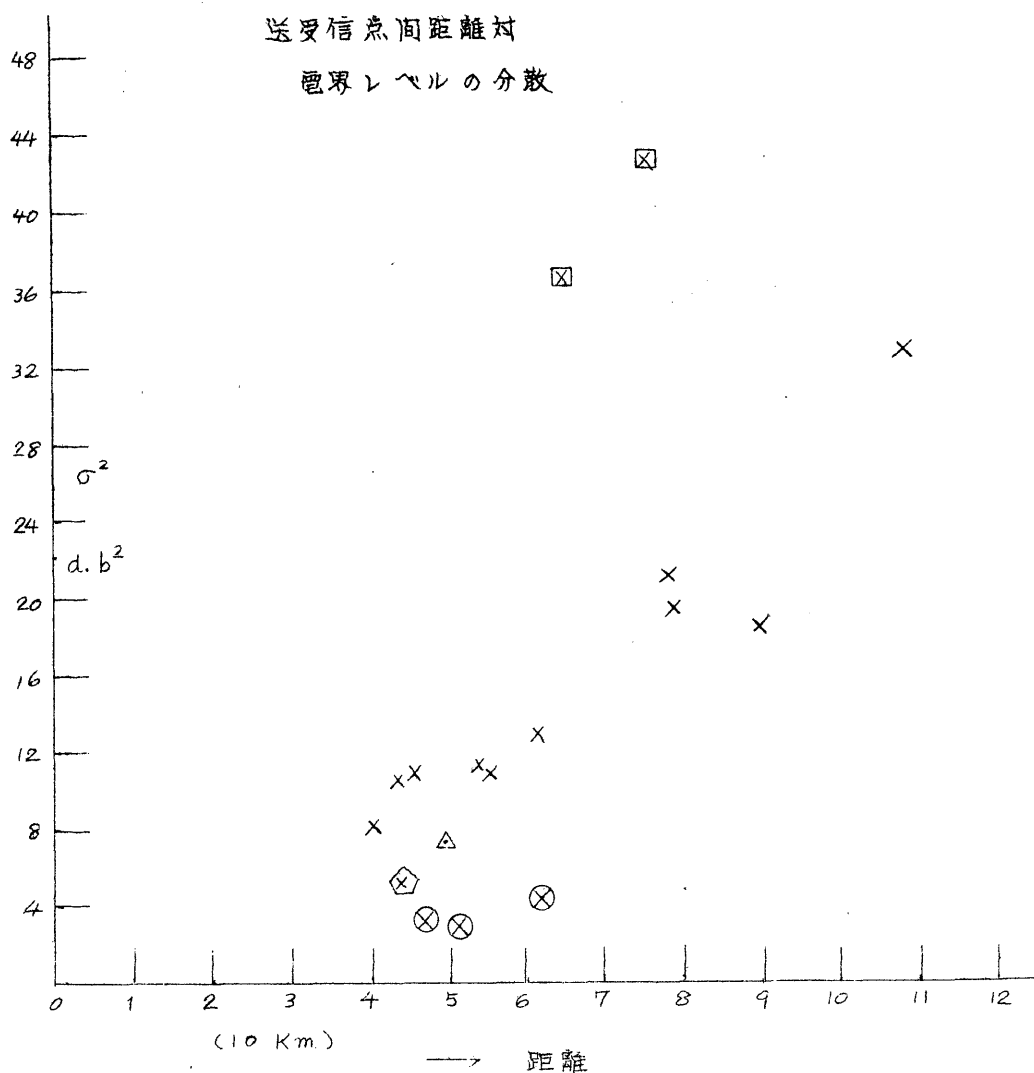
距離（送信受信地点間）対
電界レベル平均値





(折込外土間)





これらより明かなように、分散と距離との間にはかなり著しい相関が見られる。しかも更に回路の型を考慮に入れるならば、一層その関係は明かになる。即ち図中に於て

⊠ ; 反射点の海上にある回路

× ; " 平地 "

⊗ ; " 山岳中 "

であることを考えると、回路をその反射点附近の様相によつて分類すれば、各類中に於ては、分散の大きさと、送受信点間の距離との

(38)

間には、距離の増大とともに、分散が増大する傾向が明かに認められる。そこで、距離と、回路の類によつて分散の表を作ると、次の通りになる。

距離 (x) \ 類 (y)	0	1	2
4		8.2 10.6	
5	2.7 3.2	11.1	
6	4.3	11.1 13.1	
7			36.7
8		14.7 21.3	43.0
9		18.6	
11		33.0	

表に於ける類別は
☒ ----> 2, ☒ ----> 1,
⊗ ----> 0
[$10 \times l - 5, 10 \times i + 5$) (km) ----> i]

そこで、回路の類と距離と分散との大体の関係を求めるために、 (\bar{x}_i, \bar{y}_j) なる類に $x_i \cdot y_j$ なる値を與えて、実験値との関係を見る、即ち普通の最小自乗法に従つて

$$\sum_i \sum_j \sum_k (\sigma_{ij,k}^2 - x_i \cdot y_j)^2 = A$$

を最小ならしめるように x_i, y_j を定める。

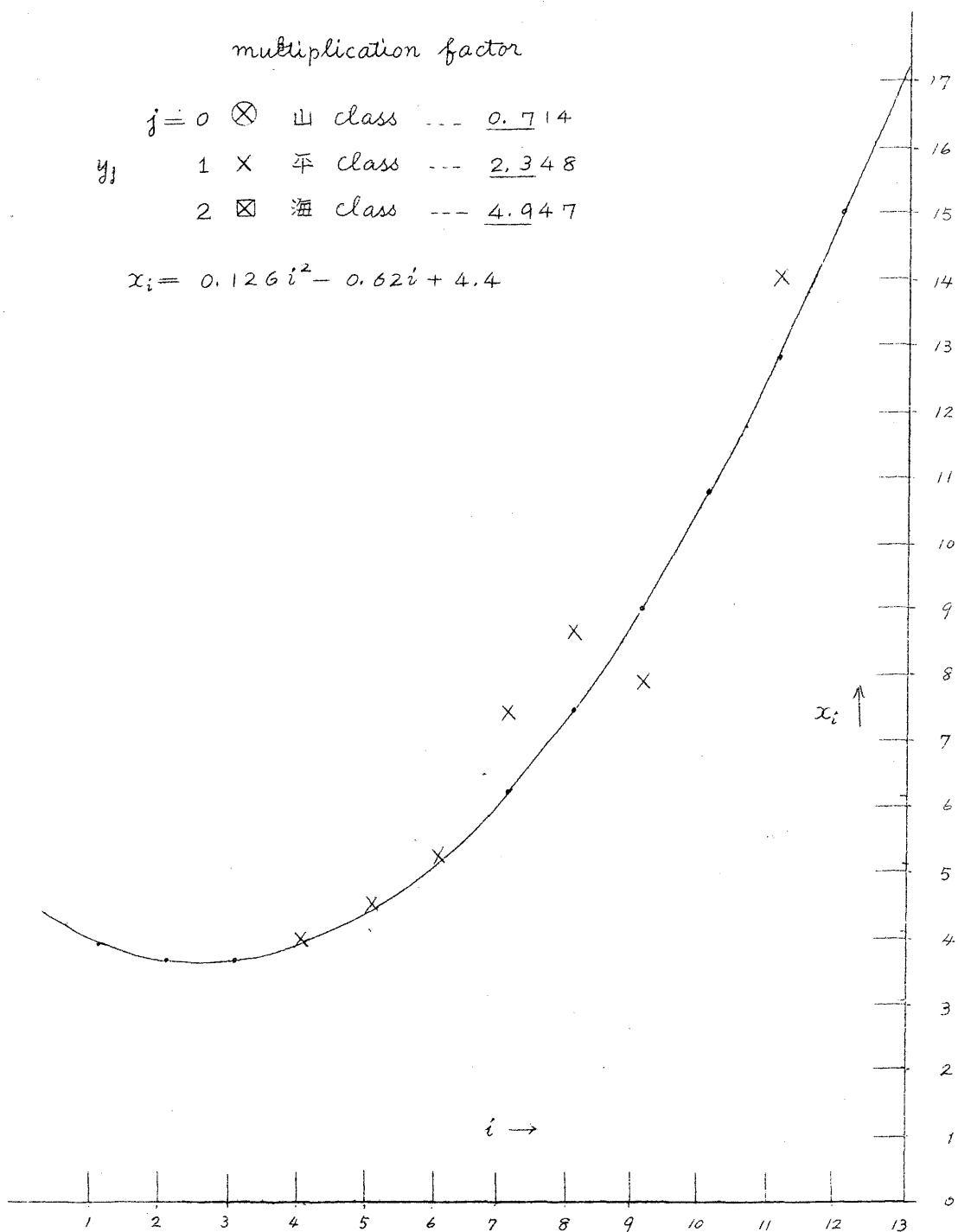
近似計算の結果得られた x_i のぐらふと y_j の値は次表の通りである。

図中の2次曲線は最小2乗法によつてこの結果にあてはめを試みたものである。

multiplication factor

$j=0$ ⊗ 山 class --- 0.714
 y_j 1 X 平 class --- 2.348
 2 ⊗ 海 class --- 4.947

$$x_i = 0.126i^2 - 0.62i + 4.4$$



(40)

次に $\log x_i$ と i との間の関係は一次式について最小自乗法を適用すると

$$Z_i = \log x_i = 0.1790i + 0.6501$$

これより $x_i = e^{Z_i}$ を求め x_i との関係を見ると次図のようになる。

こゝで次式によってあてはめを行った場合の計算値と実際値との差の二乗の平均と、 $x_i = e^{Z_i}$ による場合のそれとは夫々、
0.404 (2次式) 0.581 (e^{Z_i}) となる。

これより見ると、2次式によるあてはめの方が良いようであるが、フェーディングの機構より考えて、 $x_i = e^{Z_i}$ によるあてはめを一応とって、すでに得られている y_j と x_i とによつて、

$$S^2(i, j) = x_i y_j$$

を計算して、 σ_{ijk}^2 (実験値) と比較して見ると、表のようになる。

$\sigma_{ijk}^2 - x_i y_j$ を見ると次の表になる。

$i \backslash j$	0	1	2	
4		8.2 10.6		true (σ_{ijk}^2)
		9.20		$x_i y_j$
5	2.7 3.2	11.1		
	3.35	11.01		
6	4.3	11.1 13.1		
	4.00	13.17		
7			36.7	
			33.20	

$i \backslash j$	0	1	2	
8		19.7 21.3	43.0	
		18.83	39.68	
9		18.6		
		22.54		
11		33.0		
		32.21		

$i \backslash j$	0	1	2
4		-1.20 1.40	
5	-0.65 -0.15	0.09	
6	0.30	-2.07 0.07	
7			3.50
8		0.87 2.47	3.32
9		-3.94	
11		0.79	

$$S^2 = \frac{\sum_{i,j,k} (\sigma_{ijk}^2 - x_i y_j)^2}{14} = 3.89$$

$$S = 1.97$$

となる。

$$3S = 5.92$$

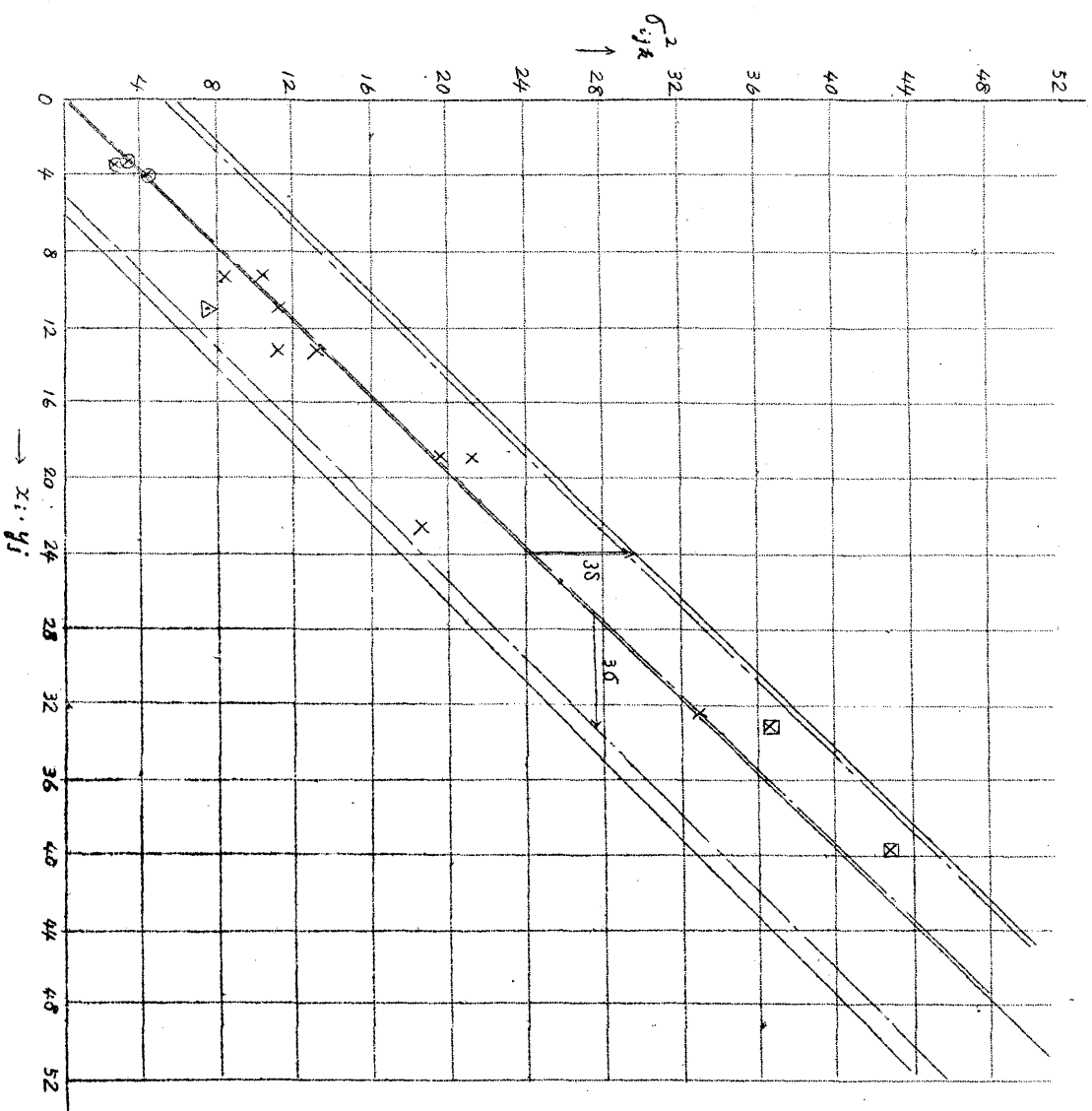
これらの結果を図示すると次図の通りである。

尚、観測値、計算値の平均値は天々

16.9 . . . 16.55 両者の相関係数は

0.99 である。

図中の鎖線は観測値の計算値上への回帰直線である。

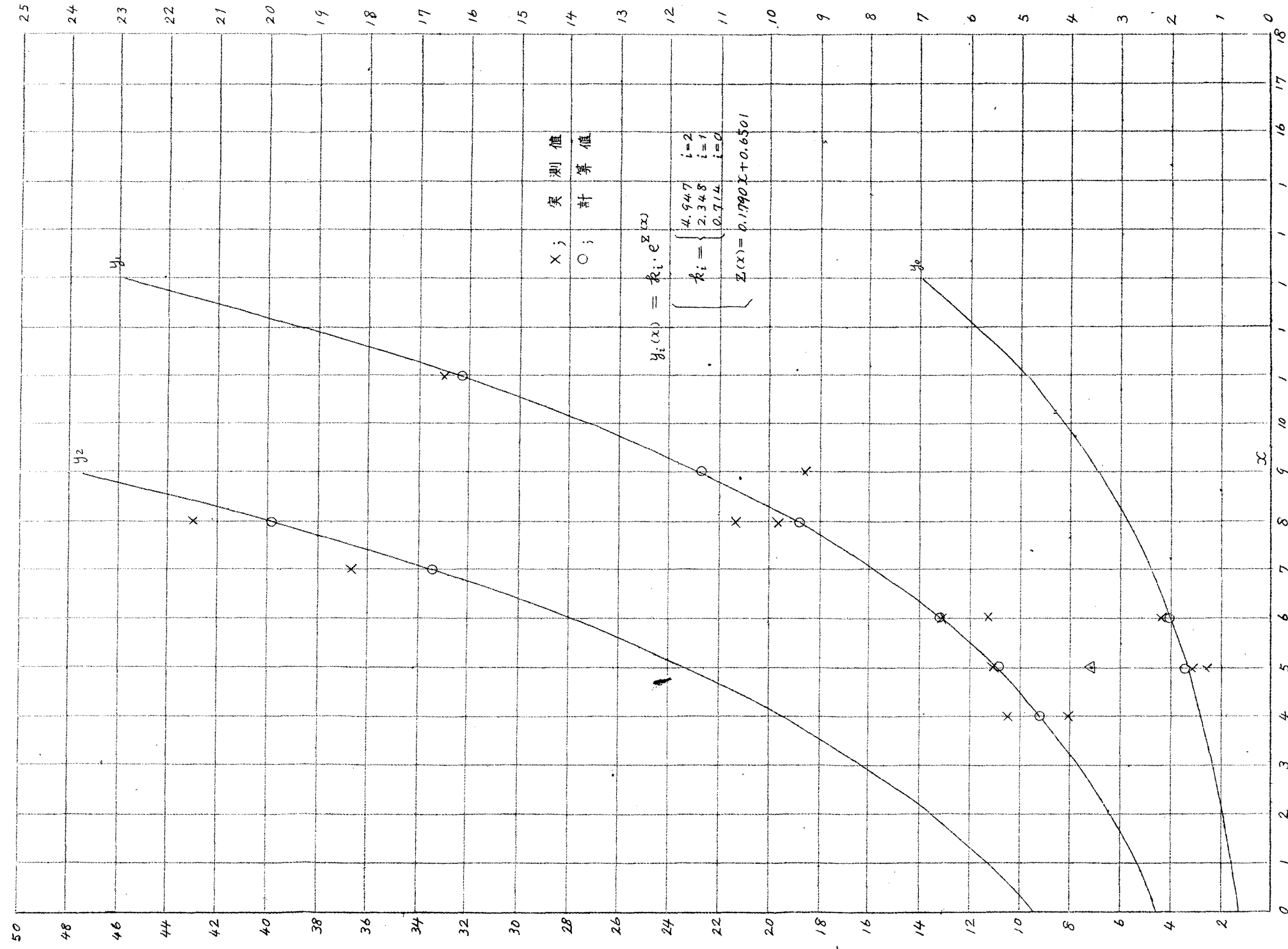


(42)

図中 σ は
 観測値の標準偏差を
 σ_t 、
 観測値と計算値の間
 の相関係数を ρ 、と
 するとき

$$\sigma = \sigma_t \sqrt{1 - \rho^2} ;$$

(折衷内士、同)



この結果より見ると、先の計算法による計算値は、全体として見るとき、餘り偏つた結果を與えてはいないことがわかる。

而もこの計算は 14 箇の実験値に対して 5 種の *parameter* を用いているのであるが、かなり簡単で統一的な結果と考えられその妥当性を裏書きする何等かの意味づけが可能であると思われる。

更にこれらの結果が得られて後 (5, 1) 類に属する実験値として、筑波一館林間の実験に於ける電界レベル分布の分散 7.24 が得られた。これが図上に Δ で表わされているが、前の結果と略一致することが見られる。この結果が更に多くの実験結果によつて確かめられることが望ましい。一応この結果は回路の決定に関して有効な知識を與えるものと考えられる。^{*註}

即ち電界レベルの分散が或程度の確からしさを以て推定することが出来るならば、更に回路の特性より電界レベルの平均値の推定が可能になれば、受信機の性能と、回路の特性とから、回路の決定に関する略、十分な知識が得られることになる。

その結果施設の経費その他とにらみ合せて、回路の決定に関して満足すべき判断が得られるであろう。

しかしながら既に掲げられた距離と電界レベル平均値との関係の図より明かであるように、一見電界レベルの平均値と距離との間に

註。但しこの分析に於て筑波一國分寺回線のデータは、他の回路に於けるデータとは異質的であることに注意しなくてはならない。

しかしフェーディングに関する他の知識より、4000 M.C と、2600 M.C とでは質的な差は現われないとゆうことと、フェーディングの変化の模様を連続的に図示した記録の一部等より短時間内に於ける電界レベルの変動は小であるとわかつたので、現段階に於ては一応これらを同時に見ることも危険は少い、即ち利益の方が損失の危険より大であろうとゆうことが、考えられたので同時に分析に用いた。

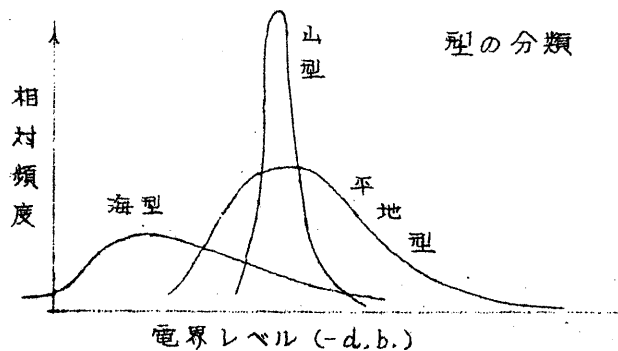
(44)

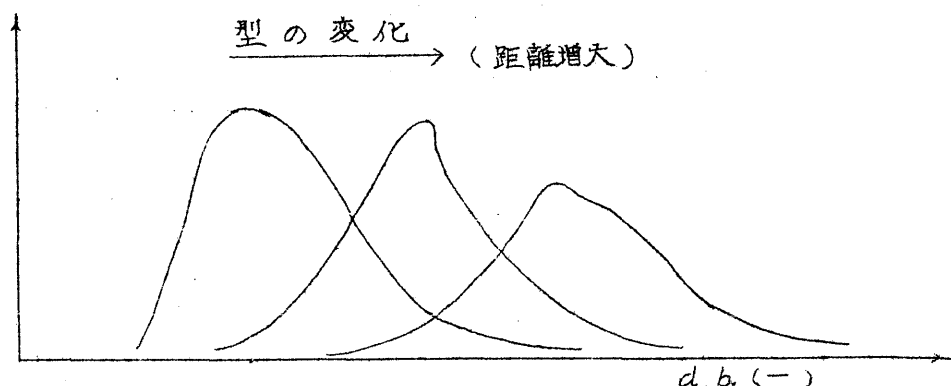
は、分散と距離との間に於ける程簡単な関係はないようである。

このことは、電界レベルの平均値と、距離との間に直線的でない関係が存在するとゆうことと、レベルの絶対値の測定の基準に相当の誤差があるとゆうこと、の可能性を考慮に入れて考察を進めることが必要であることを示していると思われる。

そこで先づ、分散と距離と回路の特性の間の関係として導いた前出の結果を、何等かのより *primitive* で、直観的な前提(モデル)から導き出すことを試みることにより、更にフェーディングの機構に関する知識を増大することを心掛けなくてはならない。

尚こゝで今一応 §2.2. a. に於て見られた各回路に於ける分布の図を見ると、それと今の結果との対応づけが極めて明瞭であることがわかる。即ち回路の型に応じて、分布の型もその大体の型が定まっているとゆうことと、更に最も実験結果の多い中間平地型の回路に対する分布の型について見るならば、それが送受点間の距離の増大とともに、大体平均が減少しつつ分散の大となる方向に変化することが見られる。これらのことを概念的に図示するならば、





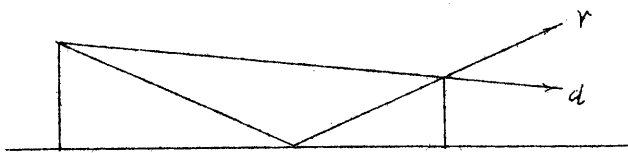
我々の考えるモデルとしてはこれらの関係を近似的に表現する最も簡単妥当性あるものが望ましい。ところか電波の研究を専門とされる方々の種々の研究発表の一部より見ると、フェーディングの発生の様相を、フェーディングの型その他によつて極く精密に決定しようとする試みのなされた結果、フェーディングの型を種々に分類して、その各々についてその様相を考察してあるため、結局フェーディングの微細構造の研究に関するものが多く、それらと実際的な問題解決との間には、未だ十分な連絡がつかず、むしろ大局的な様相は、いよいよ混沌としているかのように感ぜられた。

それから又更に、§§2.1 に於て分布の型に関する考察をなした際、電波の伝播を、拡散の問題と考えて、型の決定を行おうと試みた結果、従来電界強度の計算式として入手出来たものに於ては、電界強度を決定論的にのみ考察してあり、統計的立場よりの考察がなされていないとゆうことに気がついたので、やはり電界レベルの平均値の推定とゆうことは改めて考えなくてはならないと考えた。

そこで、フェーディングの原因として種々の要因が考えられ、単に反射波との干渉によるものと考えたのでは全く不十分であるとゆうことを聞いたのであるが、回路の中間に於けるダクトの発生その他

の要因を一々とりあげていたのでは問題が複雑になりすぎるので、一応それらを全部含めて、次のような考えの下にモデルを作つて見た。このモデルについては電波については全くの素人が考えたものであるから、各種の概念にも誤解が多くそれが全くノンセンスであるかもしれないと思うが、幾分なりともとるべき点があるならば、缺點を修正して何等かの役に立つ迄にして行きたいと考える。

そこでモデルとしては、回路の反射係数なる概念の下に、反射波と直接波との干渉の結果の様相を規定する因子として、反射波の強度と直接波の強度の比 ρ を考え、直接波は距離によつて定まる(略:)一定の強度を保つものとして、 ρ が回路の特性によつて決定される一定の分布に従つて変動すると考えたときの電界レベルの分布を求めることを試みた。この結果に於てたとえば ρ の変動区域を規定する factor, その一として平均値, が各回路の型によつて一定と考えられ、その分散が送受信点間の距離の單調増加函数と考えられ、その假定の下に前掲の分布型の変化の概念図の説明がほぼうまく行くならば、それにもとづいて更に分散の推定を行う式の妥当性も検討し得ることになるであらう。しかもこのモデルによつて、ある程度現実の良い近似が得られるとなると、電界レベルの変動の原因の一つとして考えられる気象要素の変動は各距離に対応して ρ の分散を決定するものと考えられるならば、気象要素の変動の様相が略: 同一であつても、海型、平地型、山型の各に於て、電界レベルの分布の様相が極めて異つていくことの意味を或程度明かにするものと考えられる。以上の構想より極めて粗雑ながら現実の第一近似として次のような計算を行つて見た。



受信点に於ける，直接波による電場を

$$\vec{e}_d$$

反射波による電場を

$$\vec{e}_r$$

とすると

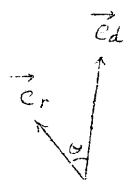
受送信に於ける電場の様相は $\vec{e} = \vec{e}_d + \vec{e}_r$ によって表わされ
ると考えられる。そこで今直接波と反射波との進行方向のなす角
は，送受信高に比して両地奥間の距離が非常に大であるとゆうこと
から，殆ど0と見做される場合が多いと考えると， \vec{e}_d と \vec{e}_r との
合成に際しては，両波の通路差にもとづく位相差をのみ考えること
になる。

こゝで $\cos \frac{\Delta l}{\lambda}$ が $[+1, -1]$ の間に一様に分布している
として計算を行うことにする。^{*} 但し λ : 波長 Δl : 通路差のこと
を数式で表現すると

λ : 波長 T : 周期 l : 距離

$$\vec{e}_d = e_d \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda} \right)$$

$$\vec{e}_r = r e_d \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l + \Delta l}{\lambda} \right) \quad \text{とすると}$$



$$\begin{aligned} |\vec{e}|^2 = |\vec{e}_d + \vec{e}_r|^2 &= e_d^2 \sin^2 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda} \right) + r^2 e_d^2 \sin^2 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l + \Delta l}{\lambda} \right) \\ &\quad - 2 r e_d^2 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda} \right) \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l + \Delta l}{\lambda} \right) \cos \theta \end{aligned}$$

$|\vec{e}|^2$ の平均値 E^2 は

註.* この実は少しく無理な近似であらう。 Δl が略 $2\pi\lambda$ を法
として $[0, 2\pi\lambda]$ の間に一様に分布していると考えて計算す
ることがより望ましい。

$$\begin{aligned}
E^2 &= \frac{1}{T} \int_0^T e_d^2 \left\{ \sin^2 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\ell}{\lambda} \right) + r^2 \sin^2 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\ell + \Delta \ell}{\lambda} \right) \right. \\
&\quad \left. - 2r \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\ell}{\lambda} \right) \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\ell + \Delta \ell}{\lambda} \right) \cos \theta \right\} dt \\
&= \frac{e_d^2}{2} + \frac{e_d^2 r^2}{2} - e_d^2 r \cos \theta \cdot \cos \frac{\Delta \ell}{\lambda} \\
&= e_d^2 \left(\frac{1 - 2r \cos \theta \cdot \cos \frac{\Delta \ell}{\lambda} + r^2}{2} \right)
\end{aligned}$$

ここで $\theta = 0$ とおいて

$$E^2 = e_d^2 \left(\frac{1 - 2r \cos \frac{\Delta \ell}{\lambda} + r^2}{2} \right)$$

$\theta = 0$ とおくことにより一応 θ と $\Delta \ell$ との相関は問題から除外されることになってしまう。

$$p^2 \equiv \frac{e_d^2}{E^2} = \frac{2}{1 - 2r \cos \frac{\Delta \ell}{\lambda} + r^2} \quad \text{として}$$

$\cos \frac{\Delta \ell}{\lambda}$ が $[1, -1]$ の間に一様に分布しているものとして p^2 の分布を求めて見る。そこで先づ、次のようなことを考える。即ち反射係数 r が $[0, 1]$ に於て、ピアソン I 型分布 (B 分布) に従うものとするのである。そうすると r の分布密度関数 $f(r)$ は

$$f(r) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} r^{\alpha-1} (1-r)^{\beta-1} \quad \text{となる。}$$

ここで $x = \frac{2}{p^2} = 1 - 2r \cos \frac{\Delta \ell}{\lambda} + r^2$ の分布を考えるとその密度関数 $g(x)$ は

$$g(x) = \begin{cases} \int_{1-\sqrt{x}}^1 \frac{f(r)}{4r} dr & x \leq 1 \\ \int_{\sqrt{x}-1}^1 \frac{f(r)}{4r} dr & \end{cases}$$

となる。

即ち

$$g(x)dx = \begin{cases} \frac{1}{4B(\alpha, \beta)} \int_{1-\sqrt{x}}^1 \frac{r^{\alpha-1}(1-r)^{\beta-1}}{r} dr dx & \text{或は} \\ \frac{1}{4B(\alpha, \beta)} \int_{1-\sqrt{x}}^1 r^{\alpha-2}(1-r)^{\beta-1} dr dx & x \leq 1 ; \\ \frac{1}{4B(\alpha, \beta)} \int_{\sqrt{x}-1}^1 r^{\alpha-2}(1-r)^{\beta-1} dr dx, & 1 < x \leq 2 \end{cases}$$

こゝで $p^2 = \frac{2}{x}$ なることから p^2 の分布密度函数 $h(p^2)$ は

$$h(p^2) = \begin{cases} \frac{1}{2B(\alpha, \beta)} \int_{1-\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{p^2}}}^1 r^{\alpha-2}(1-r)^{\beta-1} \cdot \frac{1}{(p^2)^2} dp^2 & ; p^2 \geq 2 \\ \frac{1}{2B(\alpha, \beta)} \int_{\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{p^2}}-1}^1 r^{\alpha-2}(1-r)^{\beta-1} \cdot \frac{1}{(p^2)^2} dp^2 & ; 2 \geq p^2 \geq 0 \end{cases}$$

$$\text{更に } Z = \frac{1}{2} \log p^2 = \log p$$

の密度函数 $I(Z)$ は

$$I(Z) = \begin{cases} \frac{e^{-2Z}}{B(\alpha, \beta)} \cdot \int_{1-\sqrt{2}e^{-Z}}^1 r^{\alpha-2}(1-r)^{\beta-1} dr & ; \infty \geq Z \geq \frac{1}{2} \log 2 \\ \frac{e^{-2Z}}{B(\alpha, \beta)} \int_{\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{p^2}}-1}^1 r^{\alpha-2}(1-r)^{\beta-1} dr & ; \frac{1}{2} \log 2 \geq Z \geq -\frac{1}{2} \log 2 \end{cases}$$

これより

$$I(\log \sqrt{2}) = \frac{1}{2} \cdot \frac{B(\alpha-1, \beta)}{B(\alpha, \beta)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha+\beta-1}{\alpha-1} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\beta}{\alpha-1} \right) ;$$

この結果を種々の平均値，分散を持つ r の分布に対して図示することによって，前の種々の概念的な図との関係を見るに， r の平均を $m(r)$ 標準偏差を $\sigma(r)$ とするとき

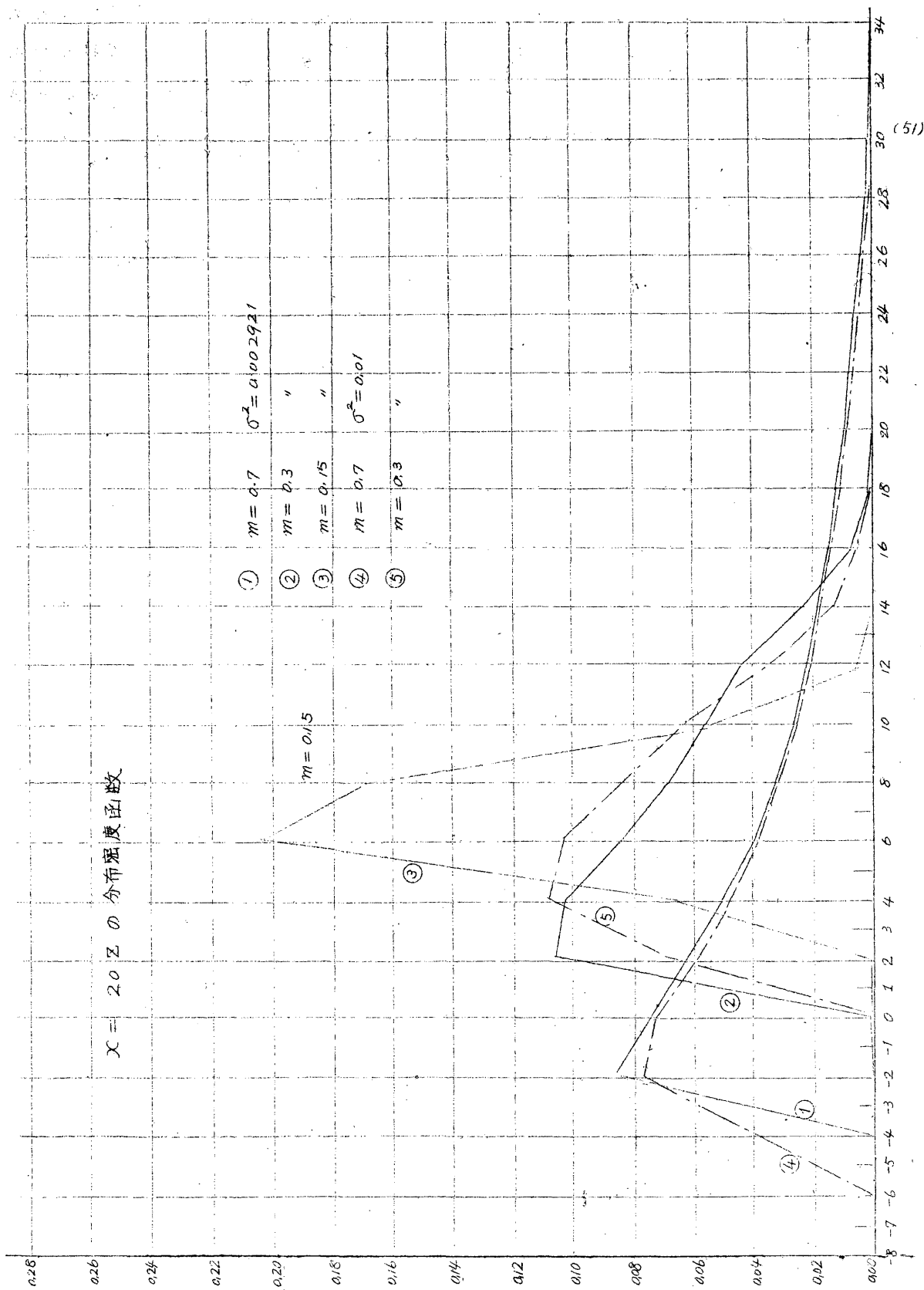
- | | | | | | |
|---|----------------|----------------|----|---------------|---------------------|
| ① | $\alpha = 5.7$ | $\beta = 2.5$ | 即ち | $m(r) = 0.7$ | $\sigma(r) = 0.054$ |
| ② | $\alpha = 2.4$ | $\beta = 5.8$ | " | $m(r) = 0.3$ | " |
| ③ | $\alpha = 6.5$ | $\beta = 42.5$ | " | $m(r) = 0.15$ | " |
| ④ | $\alpha = 1.3$ | $\beta = 6$ | " | $m(r) = 0.7$ | $\sigma(r) = 0.1$ |
| ⑤ | $\alpha = 5$ | $\beta = 7.4$ | " | $m(r) = 0.3$ | $\sigma(r) = 0.1$ |

に対応する結果として次の図を得た。（但し $x = 20$ として x の密度函数を示す）

これより見るに略前述の概念図の要求する所の結果を示しているように思われる。尚この際，山型，平地型の場合に，海型に於けるよりもより高い近似を興えているようである。このことは海型の場合に於ては鉄割によるかたよりとともにダクト等による影響がやはり上述のモデルの枠の内に入らないとゆうことを意味するものではないだろうか。ともかくこのことより，前掲の電界レベルの分布と，回路の特性との関係を概念図の線に沿って考えることも，或る程度意味を持つのではないと思われる。しかも特に注意すべき点は，変動の著しい海型回線のレベル分布の平均値が，むしろ同一距離に於ける他の型の回路の平均値よりも高いとゆう事実（前掲距離対レベル平均値の図）を，このモデルに基づく計算結果がやはり示しているとゆうことである。このことより電界レベルの平均値の距離に対する関係を求める際には，やはり回路の型を考慮しなくては，正しい結果を得ることが出来ないであろうことが予想される。

そこで距離と電界レベルの平均値との関係を見るのに各同一分布型の類について見る必要があるが，今は比較的実験結果の多い平地型についてのみ考察することにする。

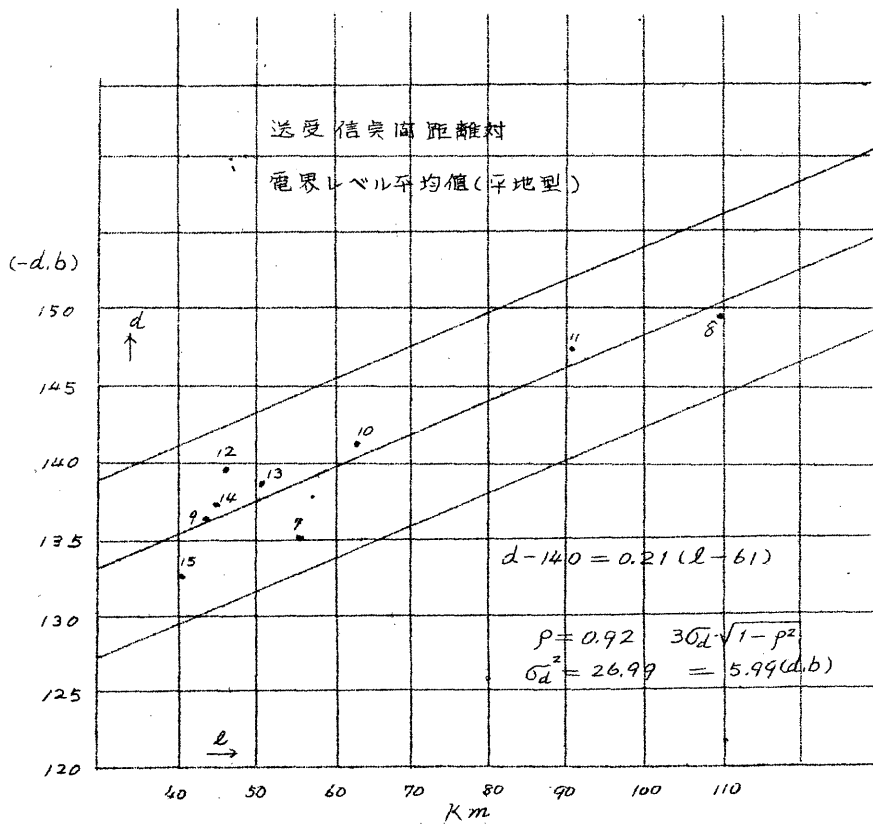
$X = 20 Z$ の分布密度函数



(52)

距離 (Km)		電界レベル平均値 (d.b)
12	46	139.8
7	56	135.3
8	110	149.5
9	44	136.5
10	63	141.2
11	91	147.4
13	51	138.8
14	45	137.4
15	41	132.6

このデータより両者の間には、略々直線的な関係が認められるので、距離より電界レベルの平均値を推定する直線を求めて見ると次のようになる。



この結果を用いて、海型、山型、の平地型よりの差の平均を求めて見る。

	距離(Km)	平均値(d, b)	計算値	$\Delta = \text{平均値} - \text{計算値}$	Δ の平均
海	① 66,	130	141	-11	-10.5
	② 77,	133	143	-10	
山	④ 48,	142	137	5	+0.6
	⑤ 62,	139	140	-1	
	6 52	140	142	-2	

このことより、やはり前の計算による図に於ける海型、平地型、山型の間の関係が相当実際の結果に合っていることがわかる。

こゝで海型の場合の平均値が異常に高いが、それには、分布の型よりも推察されるように、外クト等の影響による高電界強度の出現と、極く電界レベルの低い時の記録がとり切れないとゆうこと、等の事情が大きく影響しているものと考えられる。とにかく、以上の結果は極めて少数の実験結果をもとにして得られたものであるから、未だ十分な信頼を得ることは困難であるが、測定機の誤差のオーダーを考慮するならば、現在早急に解決を求められている回路決定の問題に対する一応の解答になるかと思われるが、この点については実際、回路決定の仕事に従事して居られる研究者の判断に俟つ次第である。上述の結果を使い易い形に書いて見ると次のように

(54)

なる。

即ち、電界レベルの平均値の推定値として、平地型に対して求められるものを取り（これは、山型と平地型とはその差がわずかであるという事実と、海型に対しては低目に出るという事実から実用上差支ないと思われる）。

とくに海型の回線の決定にあたっては少しく細心の考慮が要求される、分布の分散の推定値を前述の推定式によつて求めるならば、回路決定の規格たる、 S/N 50 d.b. 以内 99% によつて、受信機の性能が決定されれば、回路の良否は、次の式によつて判定される。

送受信間距離 ; l , (km)

回路の型 ; j , $j = \begin{cases} 0 & \text{山} \\ 1 & \text{平地} \\ 2 & \text{海} \end{cases}$

推定レベル平均 ; $m(l)$, (距離 l に於て)

” 分散 ; $\sigma^2(l, j)$, (j 型回路, 距離 l)

受信機ノイズレベル ; N , (d.b.)

とすると上記の判定条件の表現として

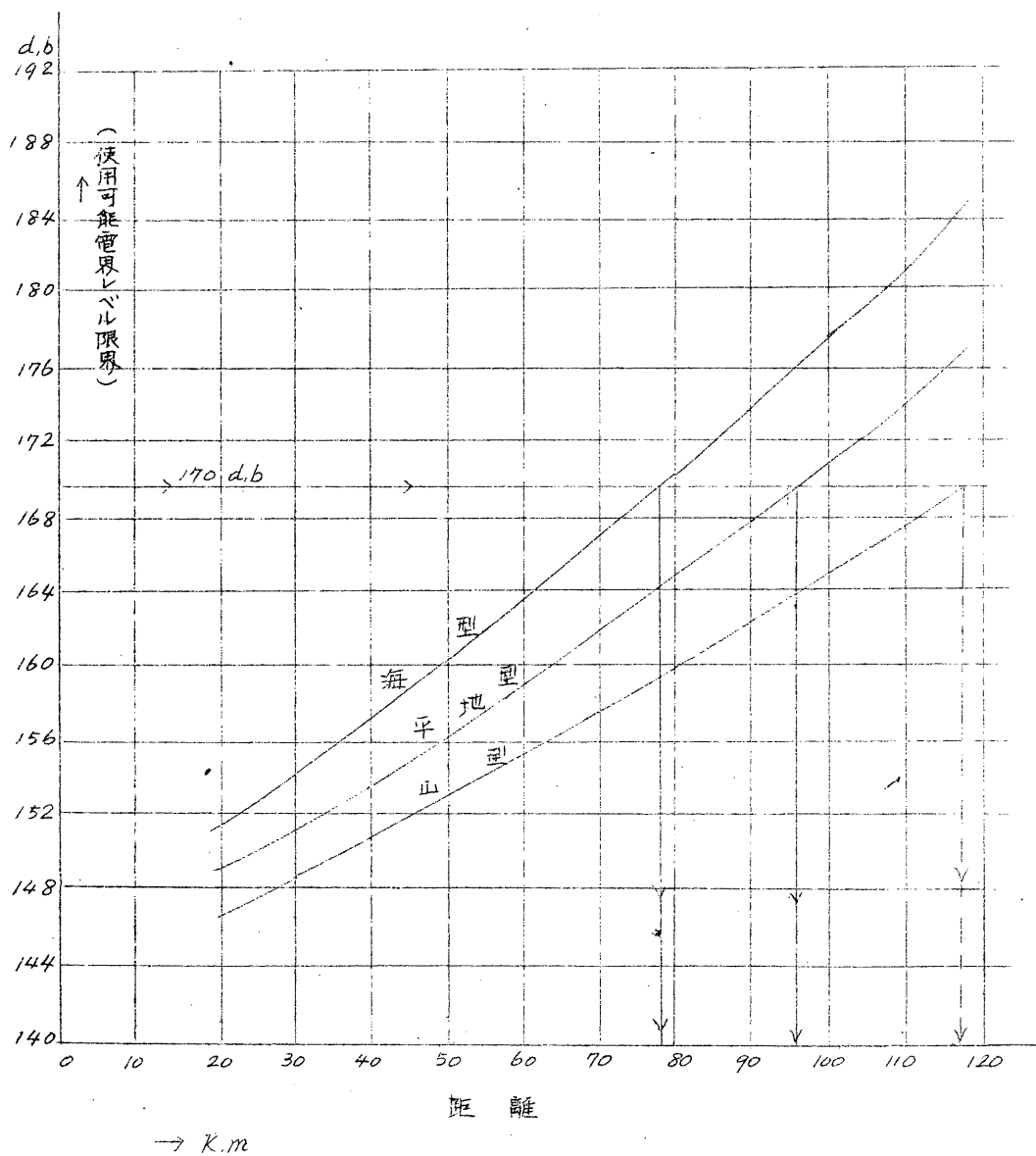
$$3(\sqrt{\sigma^2(l, j) + 5.92}) + (m(l) + 5.99) - N \geq 50$$

が得られる、但しこの式は、実際の電界レベルの分布の平均値、分散が、夫々距離に対して平均に於て直線的、指数函数的関係にあつて、それらが各距離に於て同一の分散をもつものと考えられるときに意味を持つものであることを注意しなくてはならない。

$$3(\sqrt{\sigma^2(l, j) + 5.92}) + (m(l) + 5.99)$$

を図示して見ると次のようになる。

回路決定方式図 (一案)



§ 3. 時間的変化の模様を考慮しての電界変動.

前§迄に於て述べられたのは、主として一実験期間内に於ける電界強度記録全体に関する特性を表現するような各種の統計量に関する考察についてであつた。

しかしながらこのような統計量の持つ意味を明確にするとゆう意味からも、更にまたより微視的に、時間と共に変化する電界変動の微細構造を考察するといふ意味からも電界変動記録の時間的変化の模様(いわゆる時系列としての)の考察を缺くことは出来ない。

但し現在当面の要求に対する利用価値を考慮して上述二方向の研究を適当に進めることが必要である。

従つてこれからの分析に於ては常に調査対象の特性に関する十分な洞察が要求されるのであつて、形式的にある種の解析法を適用することによつて有効な結果を得ることは出来ない。時系列としてのデータの解析は種々の困難を含むのであるが、上述諸点に留意して解析を行おうとするならば、各方面からの検討により、種々な角度からの知識の総合的に示唆するところのものとして、各時点に於ける電界レベルの時系列としての性格に関する幾分かの解析は行い得ると考えられる。

一般に多く論ぜられてゐるのはいわゆる定常な時系列についてであるが、われわれは先づ次のことに最も注意しなくてはならないと考える。

即ち、時間と共に変化して行く現象に於てはそのような現象の、要求される程度の時間長内に於ける変動の様式に関する全体的知識を先づ獲得することを試みるのでない限り、何等明確な知識を得ることは出来ないといふことと、終局に於ては、より確かな、人類の歴史に比較して十分の長さを持つと考えられる程度の長い間定常と見做される要素への還元、即ち理論的な構造の解明による以外は何等決定的なことは言い得ないといふことである。

しかしながら、こゝで取扱われる当面の現象が、おそらく或る意味の定常性を有するであろうとゆうことは、電波傳播の様相を考えるとときに当然予期されることではある。

こゝで最も肝要な次の問題に遭遇する。即ち、実験の継続期間はどの程度と定めたら良いか、とゆう問題である。

これに対する回答は決して簡単ではないと考えられる。

既に述べたように時間と共に変動する現象の解析に於ては、ある一定の與えられた時間長に關する相対的な議論しか行えないと考えられるから、前出の問に答えるためには、どのような期間内に於ける電界変動の様相を知ろうとするかを先づ明確にしなくてはならないし、またその期間内に於ける電界変動の様式に關する知識もあらかじめ用意されているのでなくては、実験以前に実験の計画を嚴密にたてることは殆ど不可能と言えるであろう。

しかしながら、電界変動がある意味で定常性を持つべきであろうとゆう予想は、電界変動の定常性は、比較的短時日の現象中に表現されるであろうとゆうことを意味するものと考えられるわけである。

この點に留意する時、次のような解析方法が考えられる。

即ち日々その日の記録を集計分析して、各方面の結果が一致して定常的傾向を表現しはじめる時期を以て一応最短実験期間とするとゆうのである。過去の知識が全然得られない場合に於ては、このような方法が唯一の可能な実験期間決定の方法と考えられる。

勿論可能な限りより長期間にわたる実験を各所に於て実施し、以てこのような方法の妥当性を検討することを忘れてはならない。

しかして以上の方法によつて一応決定される最短実験期間の各種地異、季節に於ける値により以後の実験計画に於ては適當と見做される実験期間長が決定されることになる。

以上の點に留意しながら、現在手許にある記録の分析を試みて見ると次のようである。

1. 電界強度記録平均値の変動

実験開始後、毎日それ迄に得られた全記録（但し適當数抽出して）の平均値を計算する。

2. 電界強度記録分散の変動

上述の平均値に対応する分散を記録に関して計算する。

3. 累積度数分布の変動

実験開始後毎日それ迄の全記録の累積度数分布を求める。

以上の方法を適用可能な限りのこれ迄の分析に用いられた記録に適用した結果は次の通りである。（尚これらの記録に於ては、利用し得るデータの数が日によって異っているので、それをも考慮しなくてはならない。）

図の1の1～1の3の例に於ては24日即ち実験開始後18日目に当る日の附近より略定常的な様相を示していることを三者一様に示している。図2、1、2、2の例に於ては両者ともに未だ定常に至っていない。この例に於ては実験期間は15日である。

尚、この例に於ては前例に比較して最初より、相当もれなくデータがとられてあるので、次のことが見られよう。

即ち、図2、2より見るに記録の分散は初め実験日数の増加と共に増大している。これはいわゆる系列相関の存在によるものと考えられる。図3に於ては僅かに平均値の変動の様相しか見られずこれを以ては未だ定常、非定常の判断は殆ど不可能である。

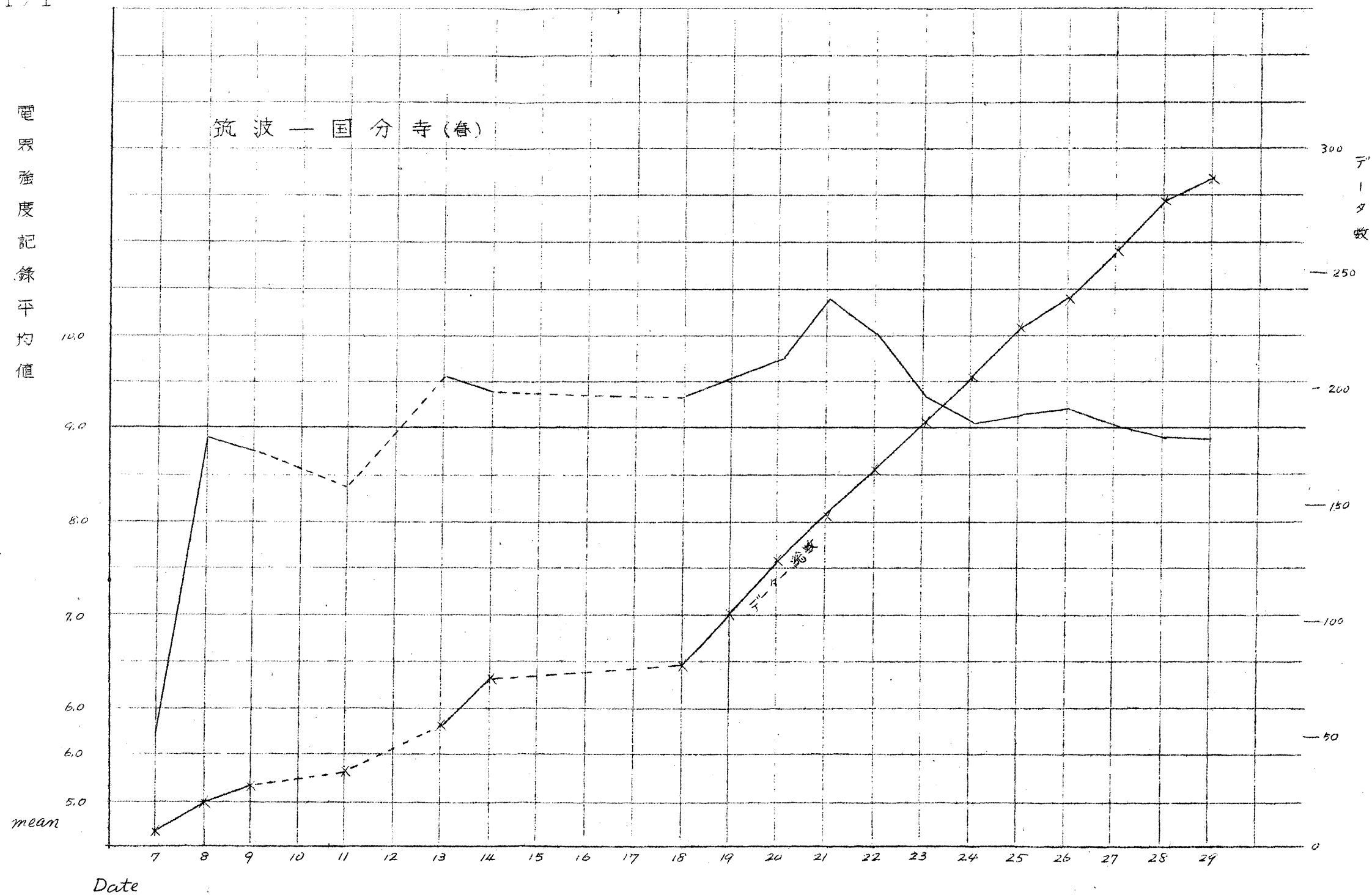
さてもし以上のような解析法に少しく数量的判定法を導入しようとする、この程度の実験期間を以ては未だ少しく不十分であるように考えられる。即ちようやく定常と見られる様相を示し始めている図の1の1～1の3の例に於ても、定常的な様相を示し始めてから6日間程度迄のデータしかないから、この程度では日のorderの平均値、分散、の上下変動の一方向への傾向性或は週期性の検出を試みようとしても僅かに6箇のデータしか無いことになる。

こゝで以上のような考察によつて得られる結果は最初述べた二方

1 / 1

電界強度記録平均値

筑波一國分寺(春)



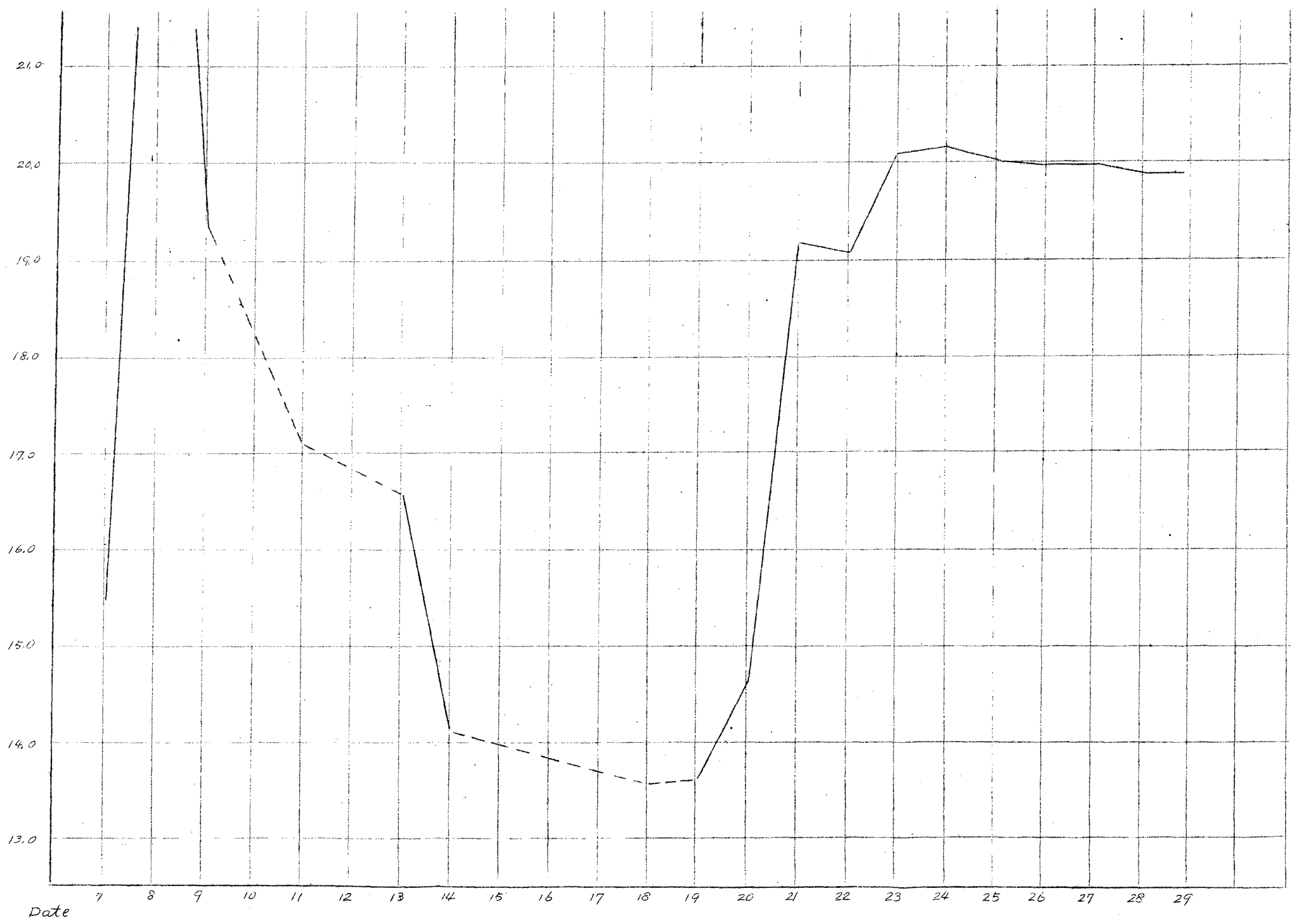
(内15折込、B)

26.0

1, 2

電界強度記録分散

σ^2



向の研究の中、電界強度記録全体に関する特性値としての統計量の意味を明確にするようなものである。

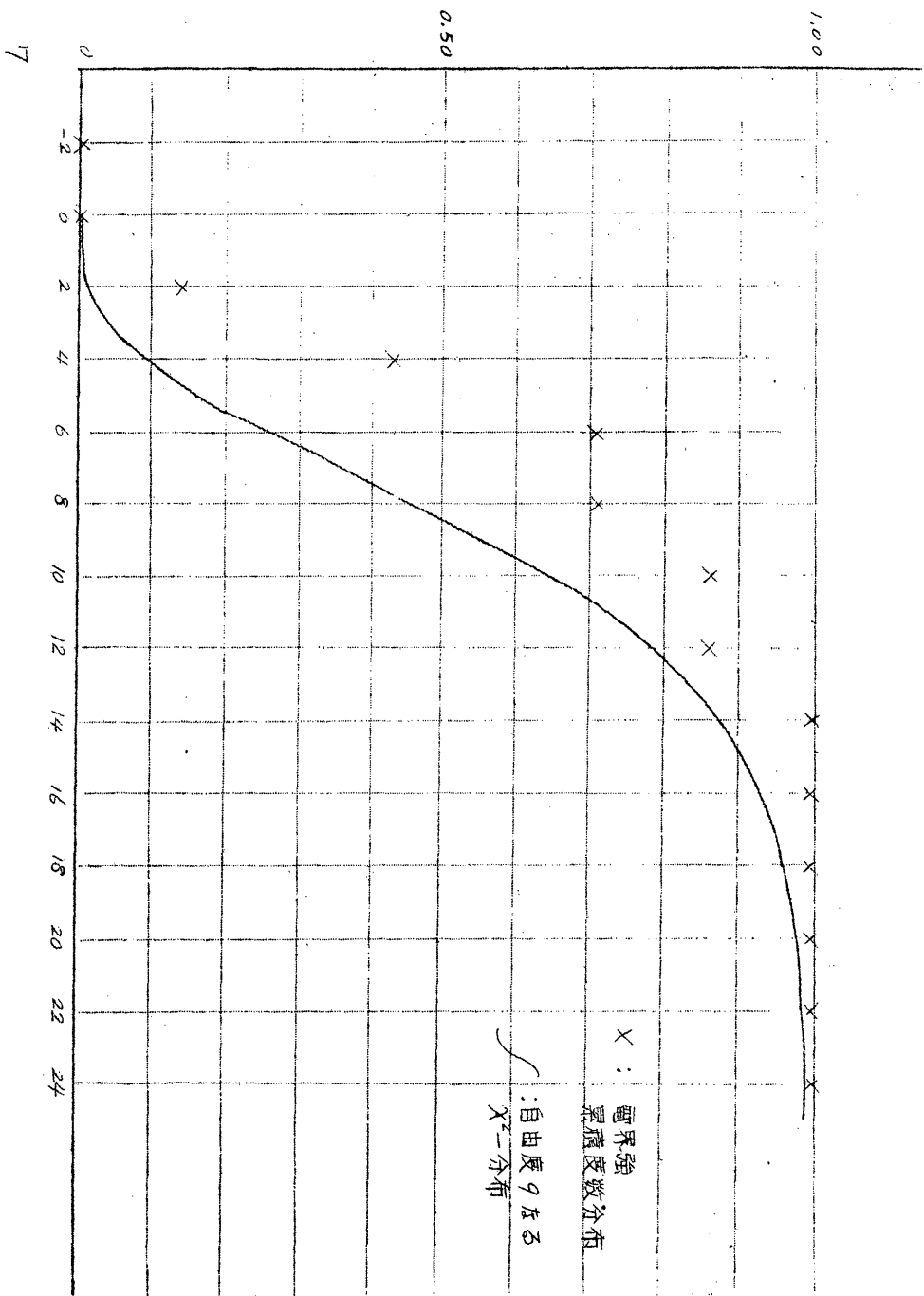
これらの結果は一回路に於ける電界強度の分布を考えることの妥当性、従つて前§に於ける分析の意味づけをなすものと考えられる。

即ち各時間の個々の記録を以つてある発生機構（即ち無限母集団）より得られたサンプルと考えると、これらの間には相関が存在して、その統計的処理は極めて困難となるのであるが、われわれの当面の要求に対して、各時間の個々の記録の性質よりも、全体としての様相即ち前§で考察されたような統計量により有効な知識を興えるものと判断されるならば、これらの統計量乃至は分布そのものを、この無限母集団より得られたところの一つのサンプルとして処理する前§の方法が適当であると同時に妥当であると考えられるのである。

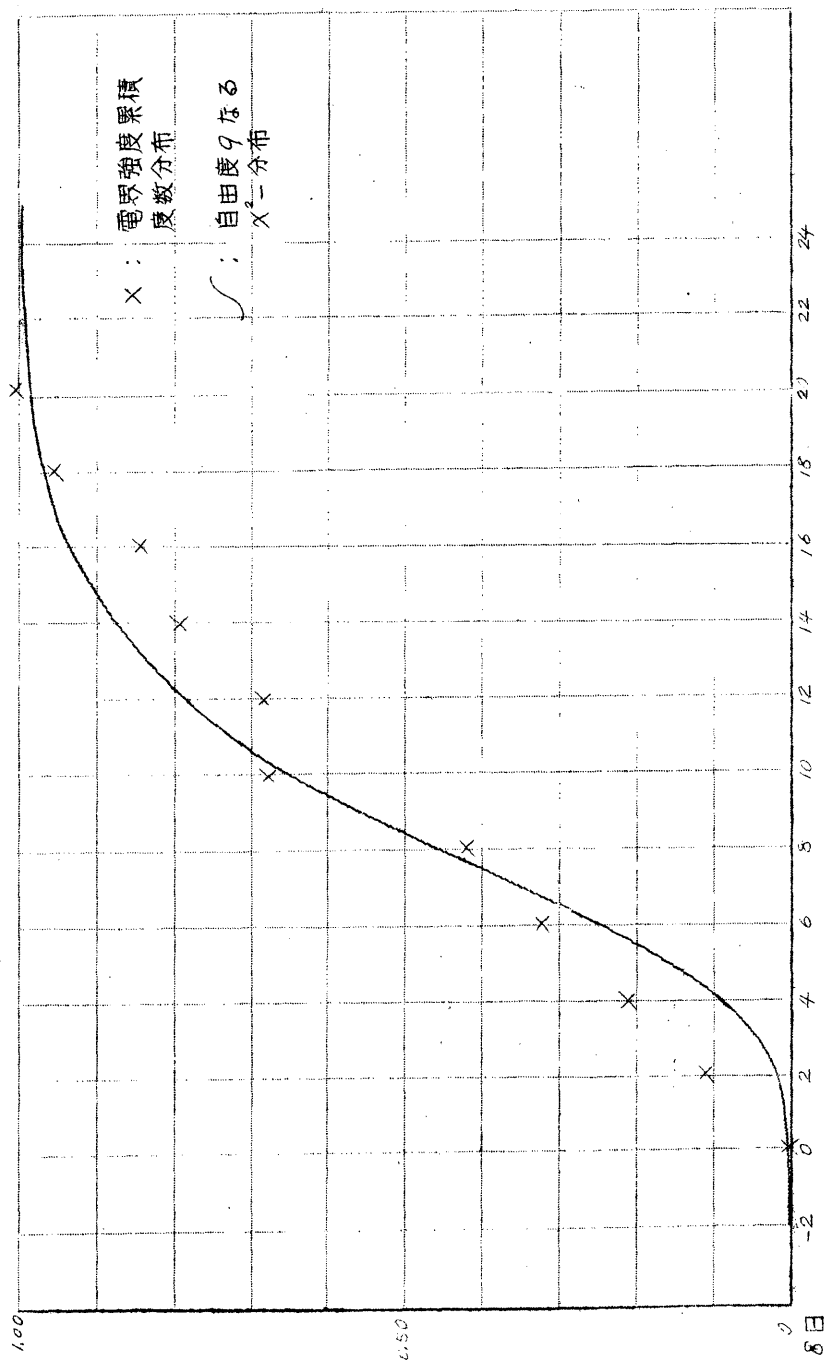
更に次の考察がなされる。

図1の例に關して、一応定常性が現われる程の期間実験が行われたものと考え、そのコレログラムは前出の通り減衰して0に漸近するような型であることが見られるから、少くとも24時間程度の長さを周期とするような傾向はあり得ないと推測される。

(60)

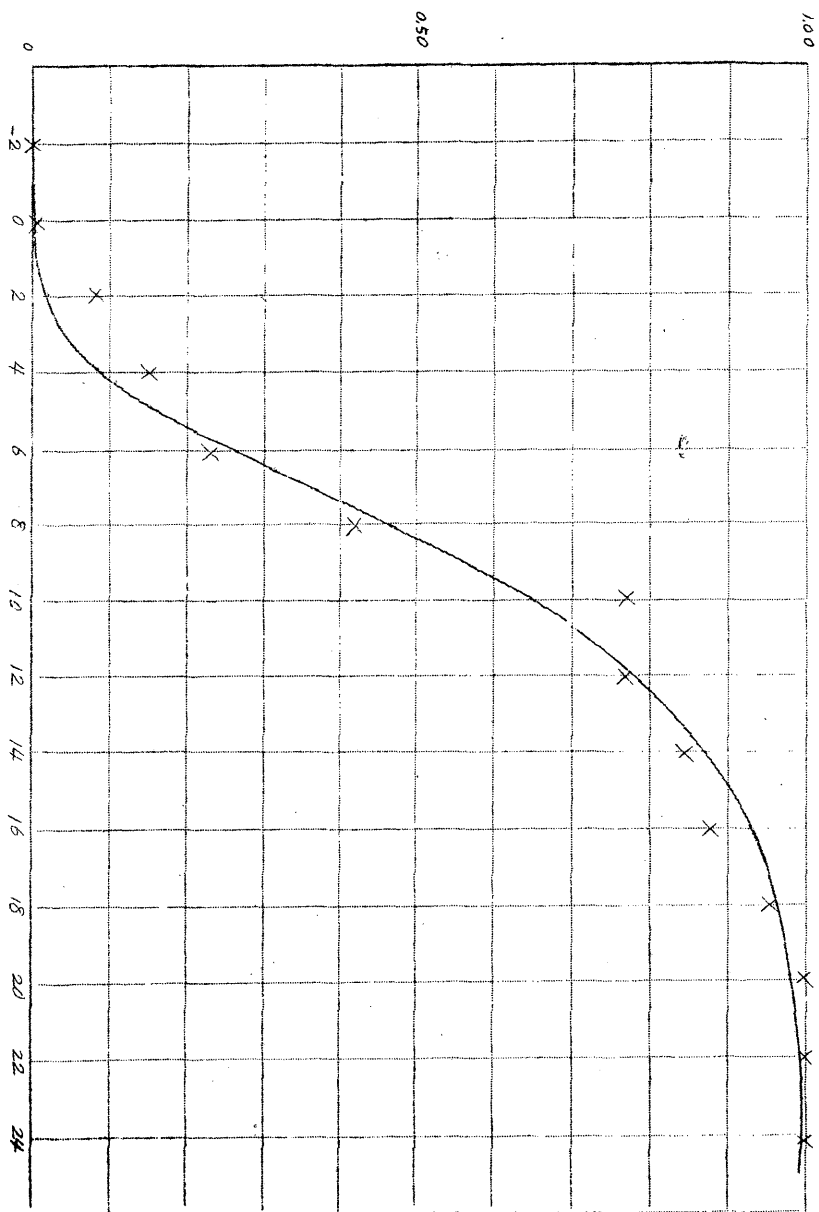


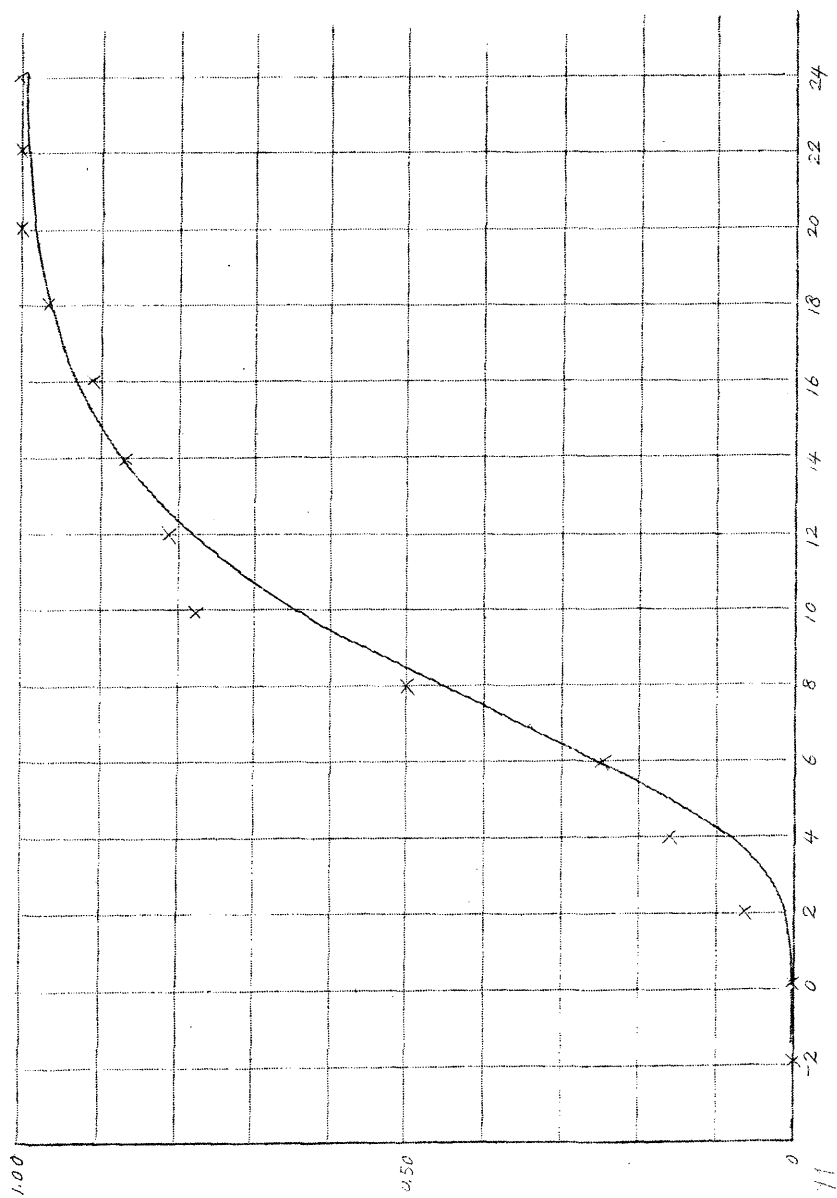
1.3



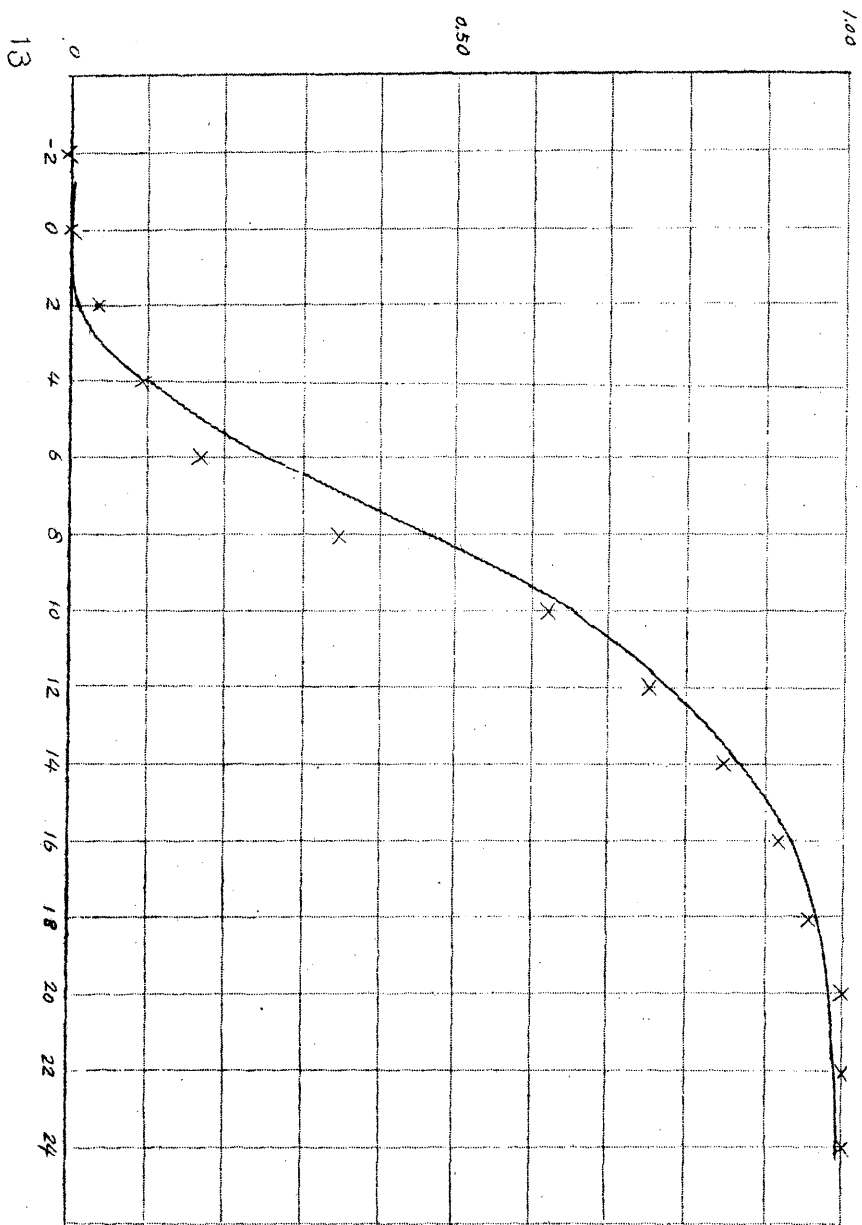
(62)

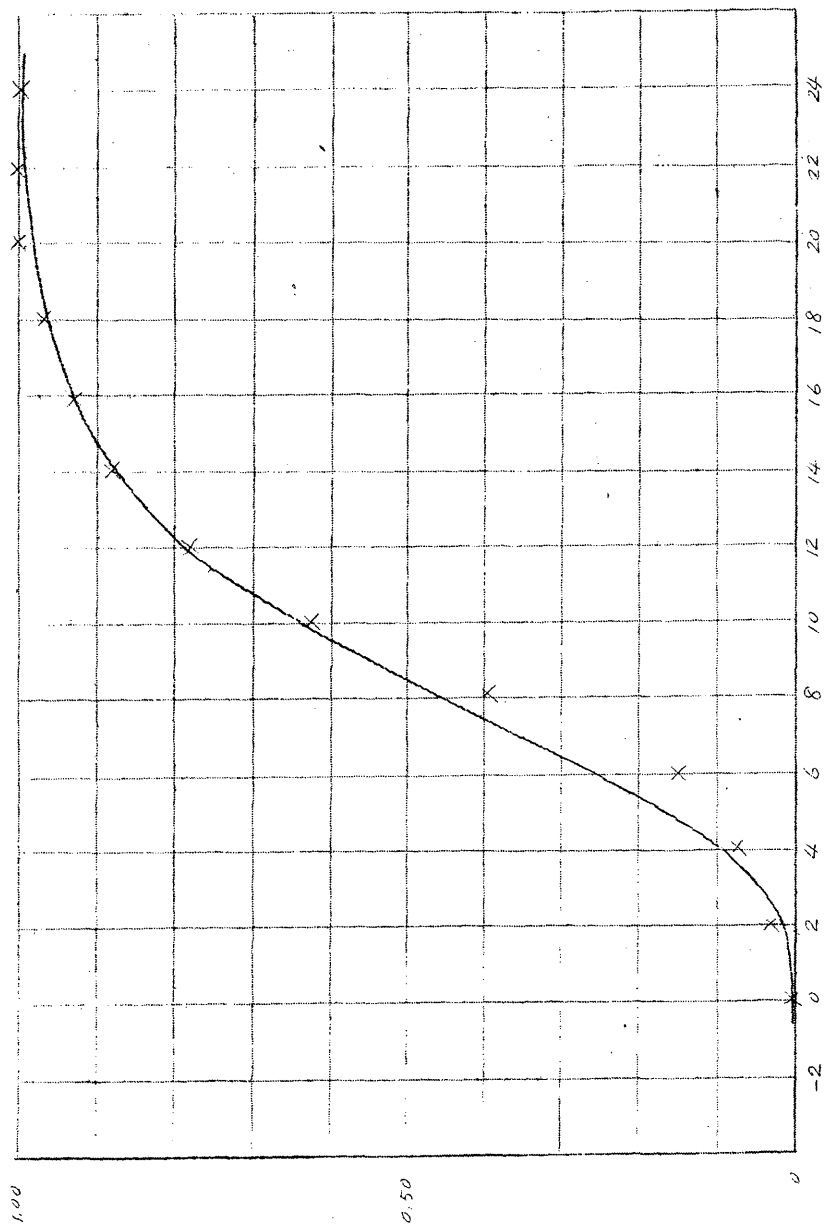
9



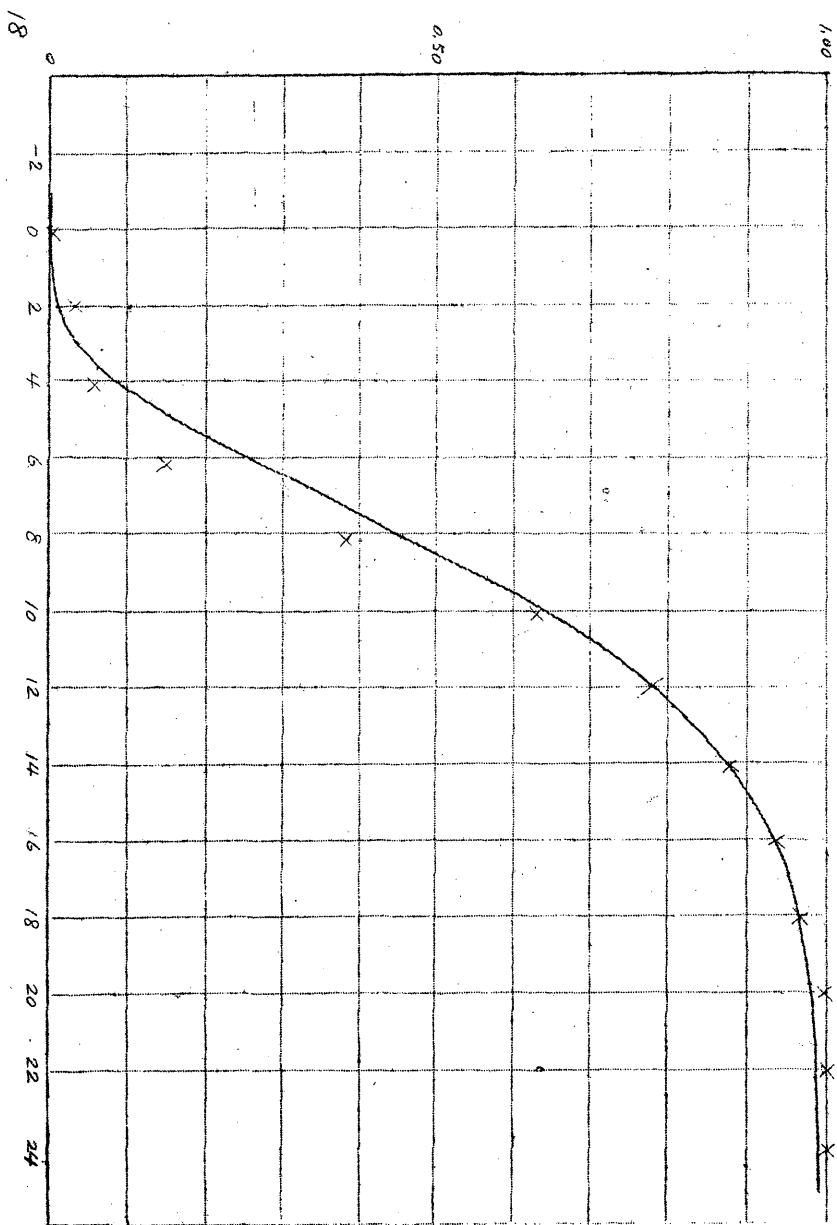


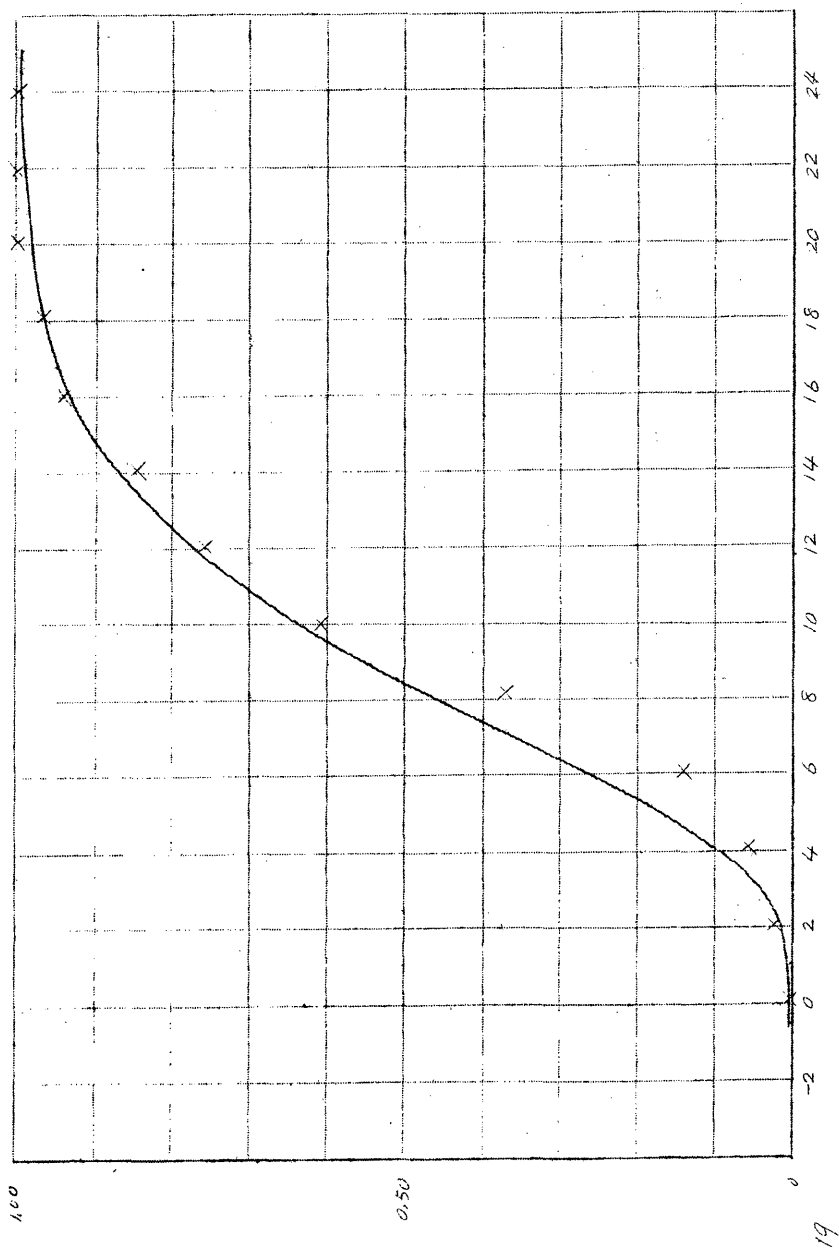
(64)





(66)



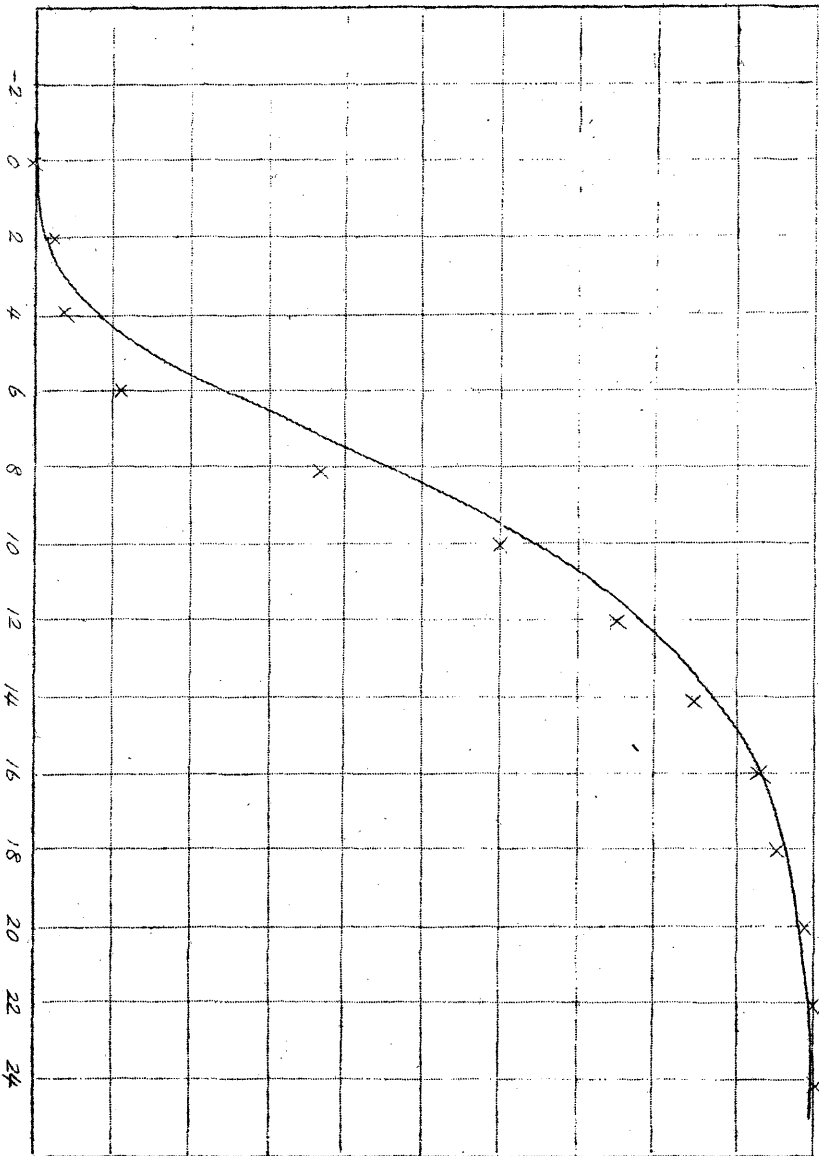


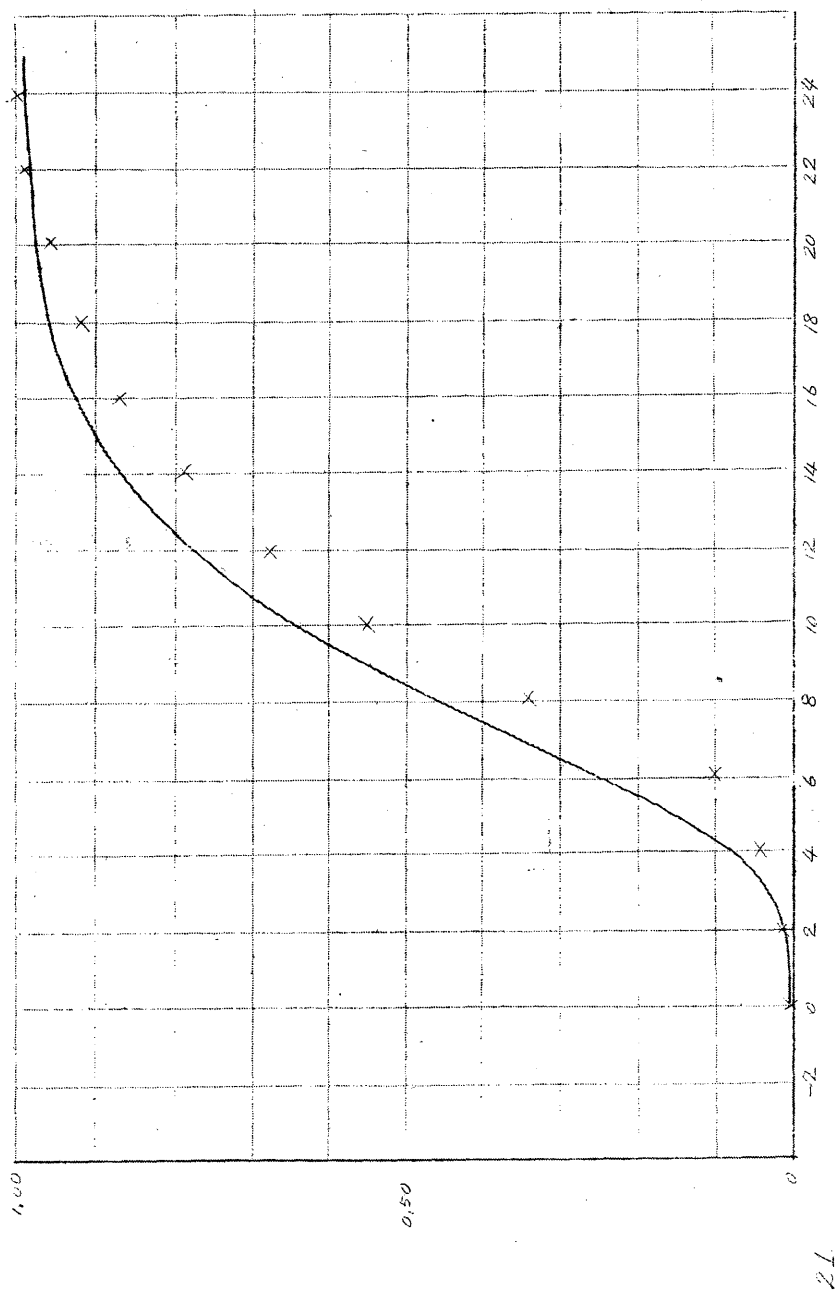
(68)

20

0.50

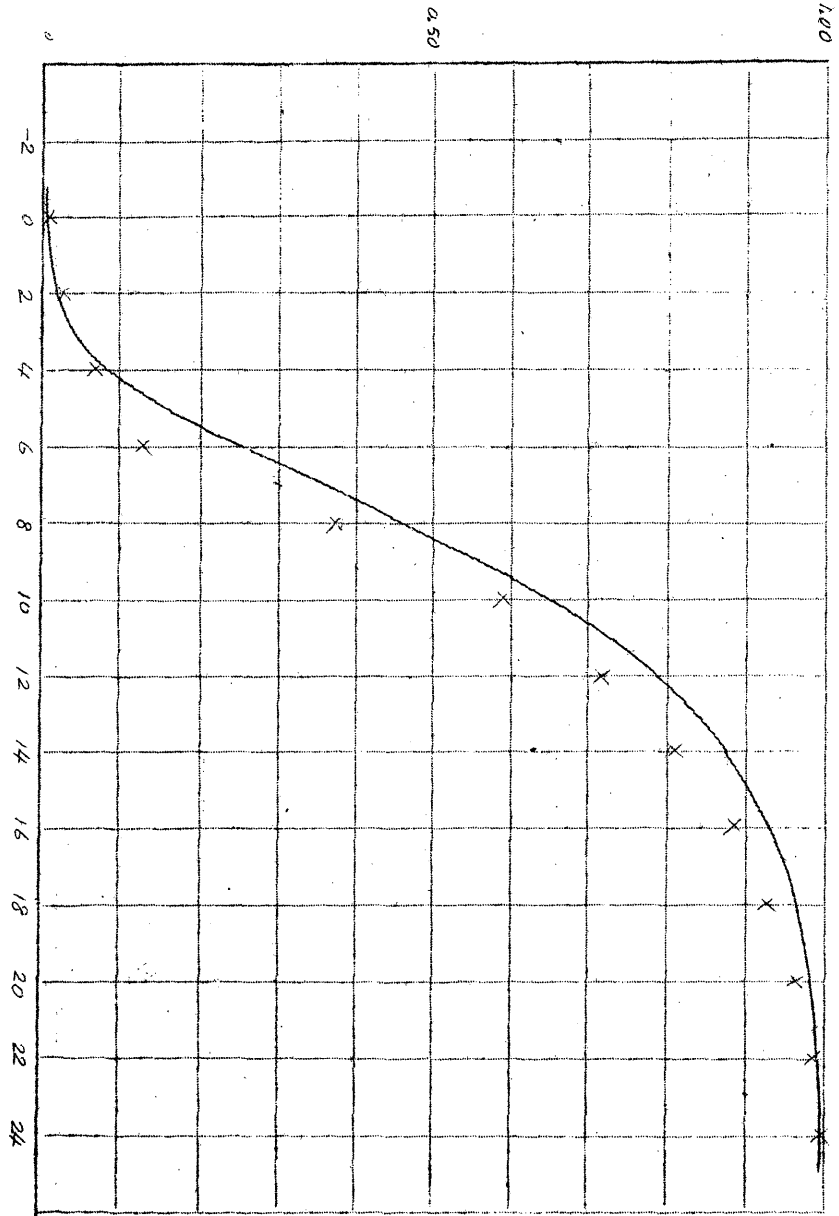
1.00

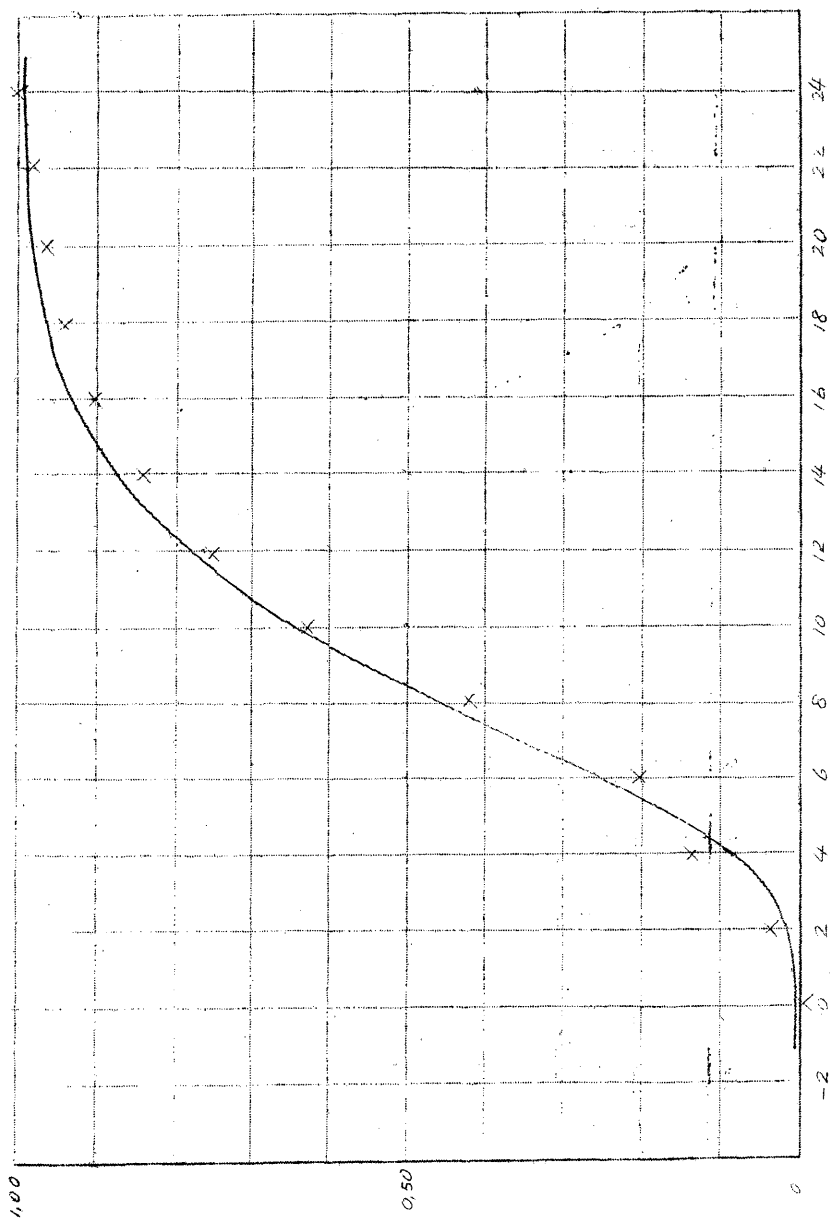


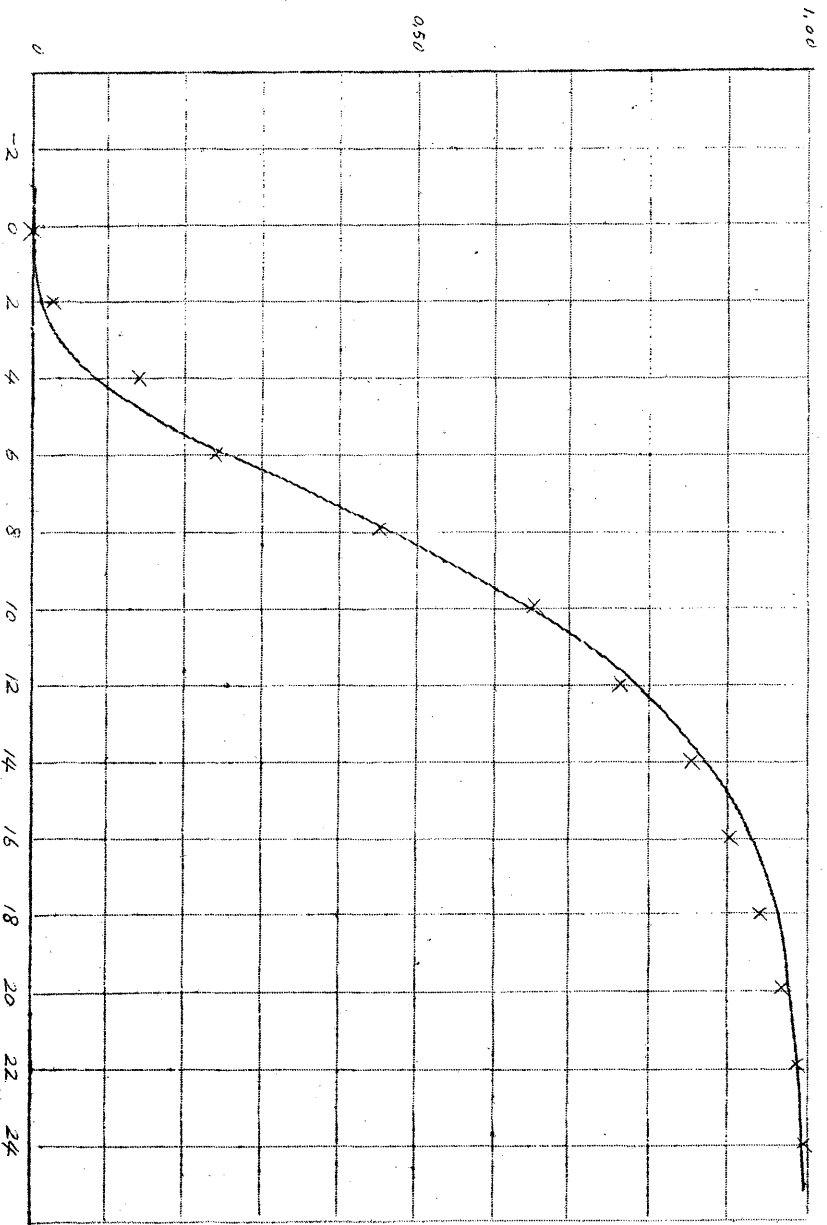


(70)

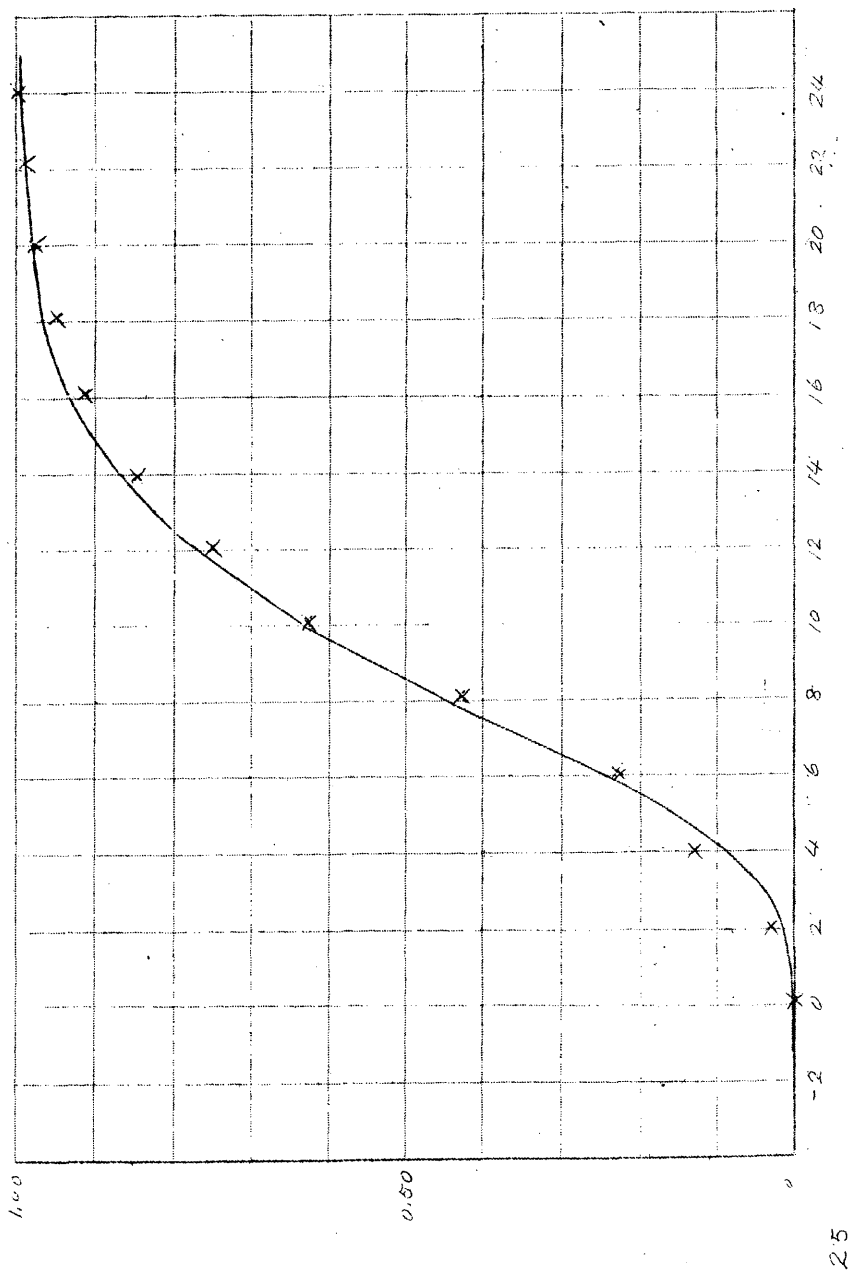
22





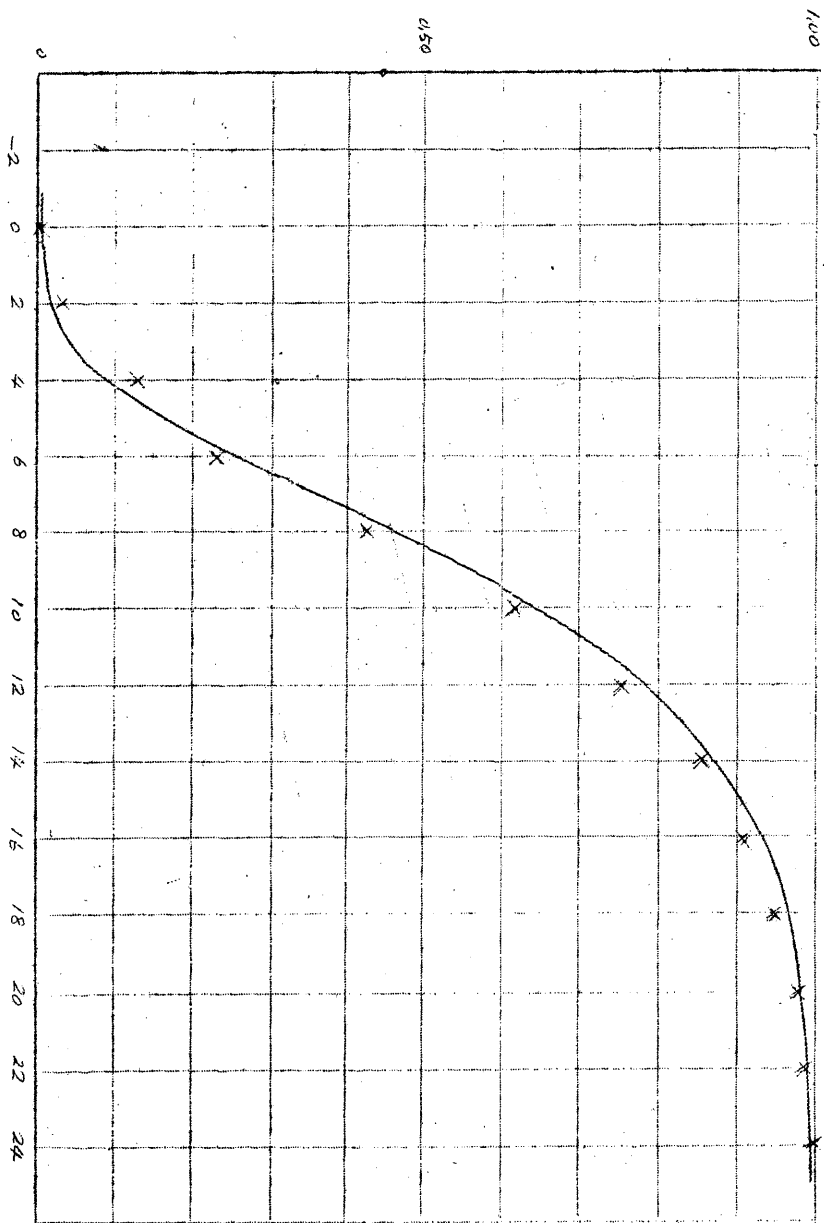


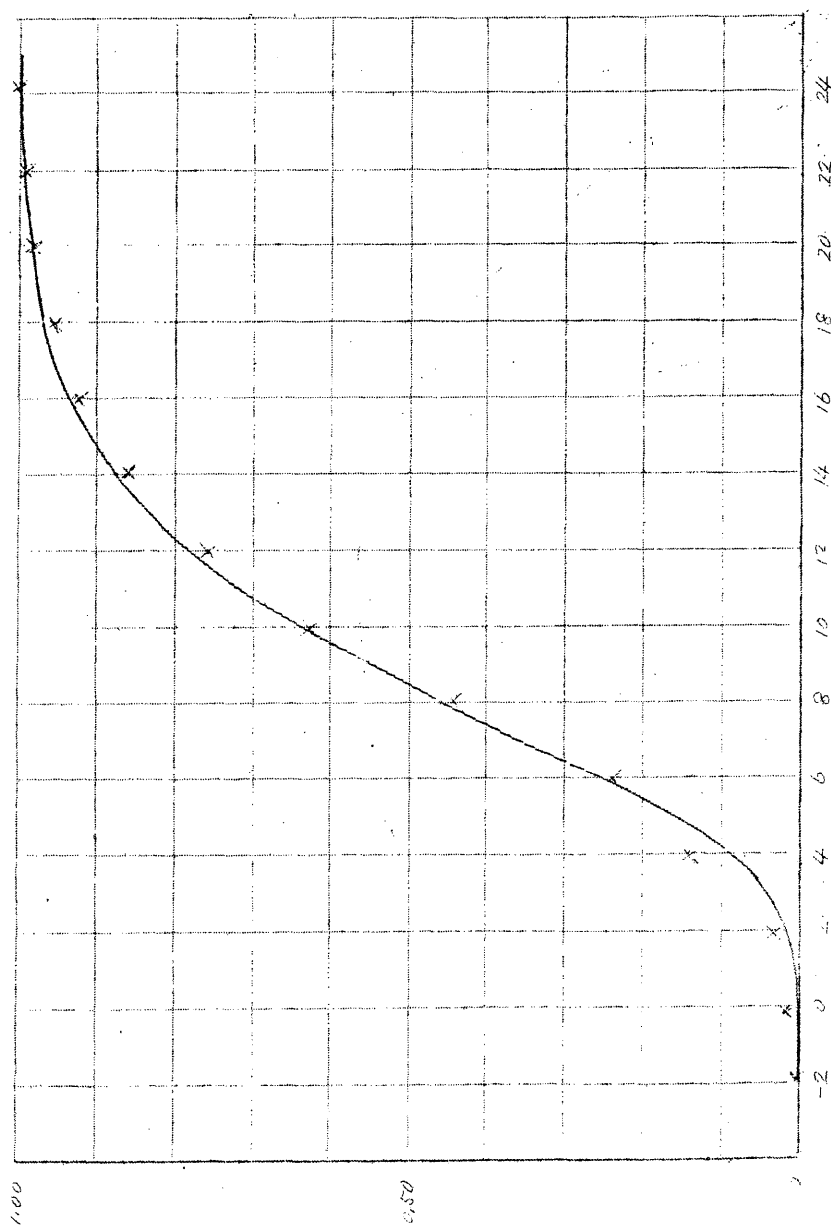
(.72)



(74)

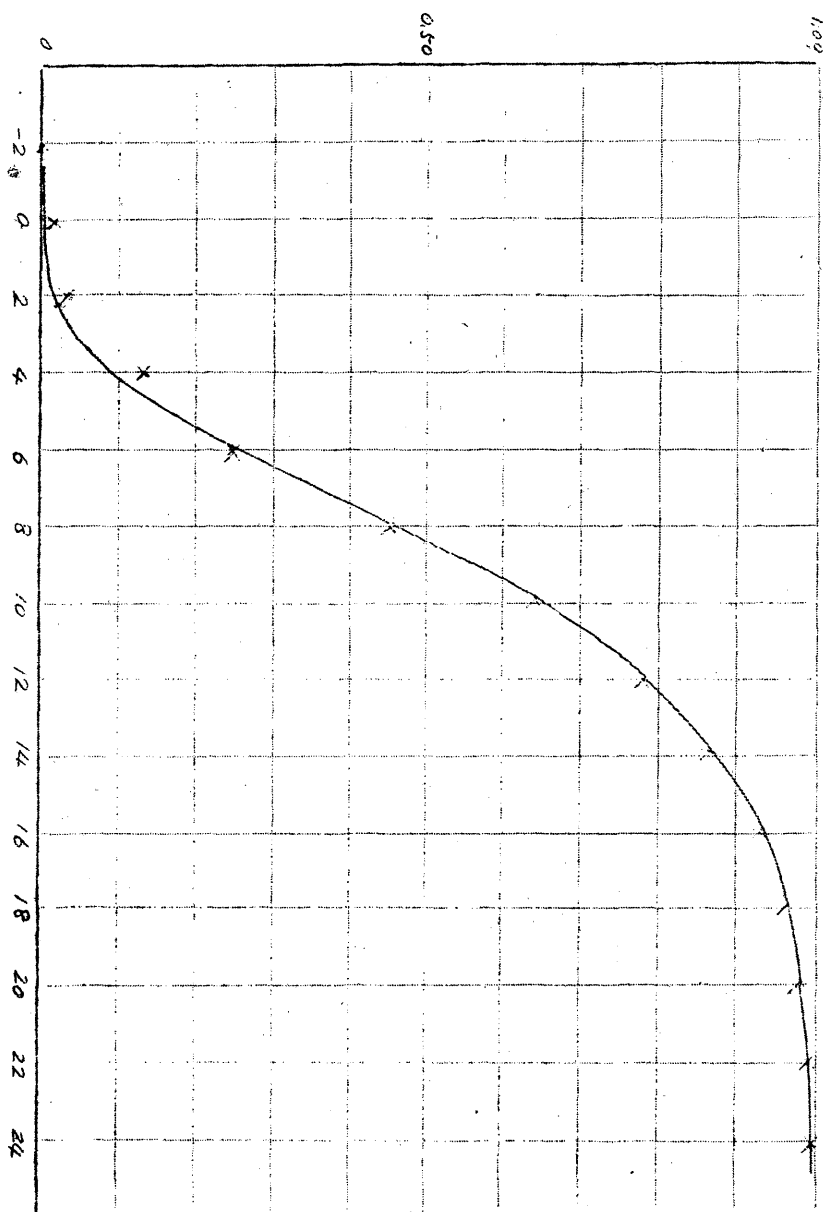
26

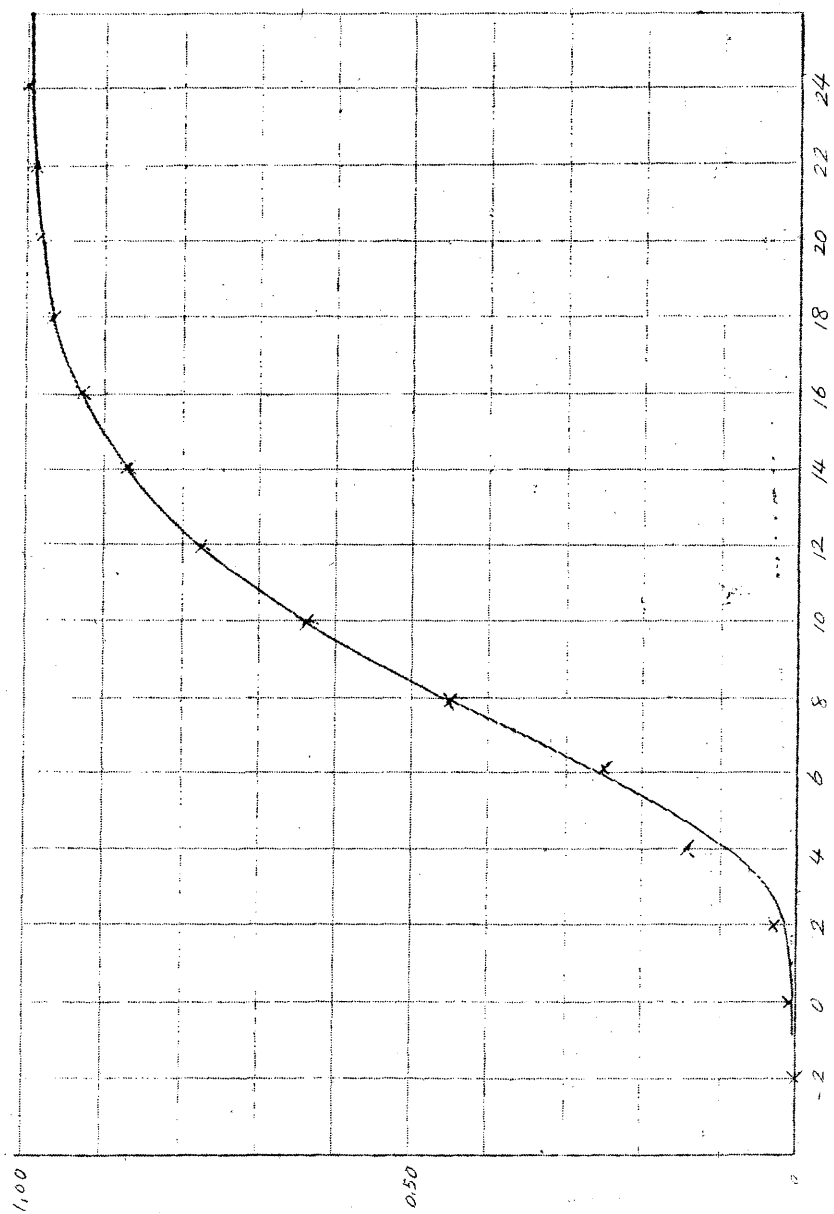




(76)

28

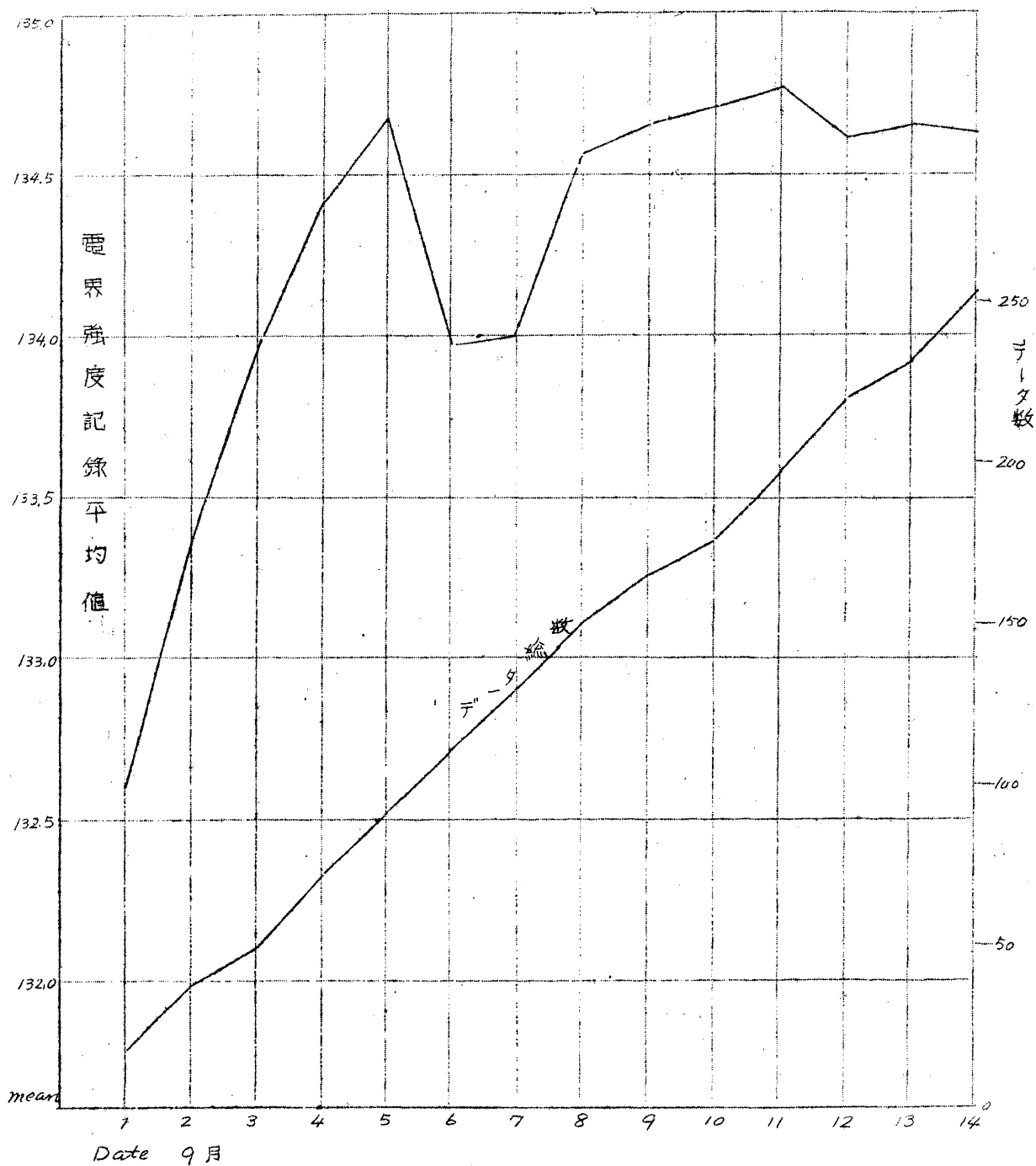




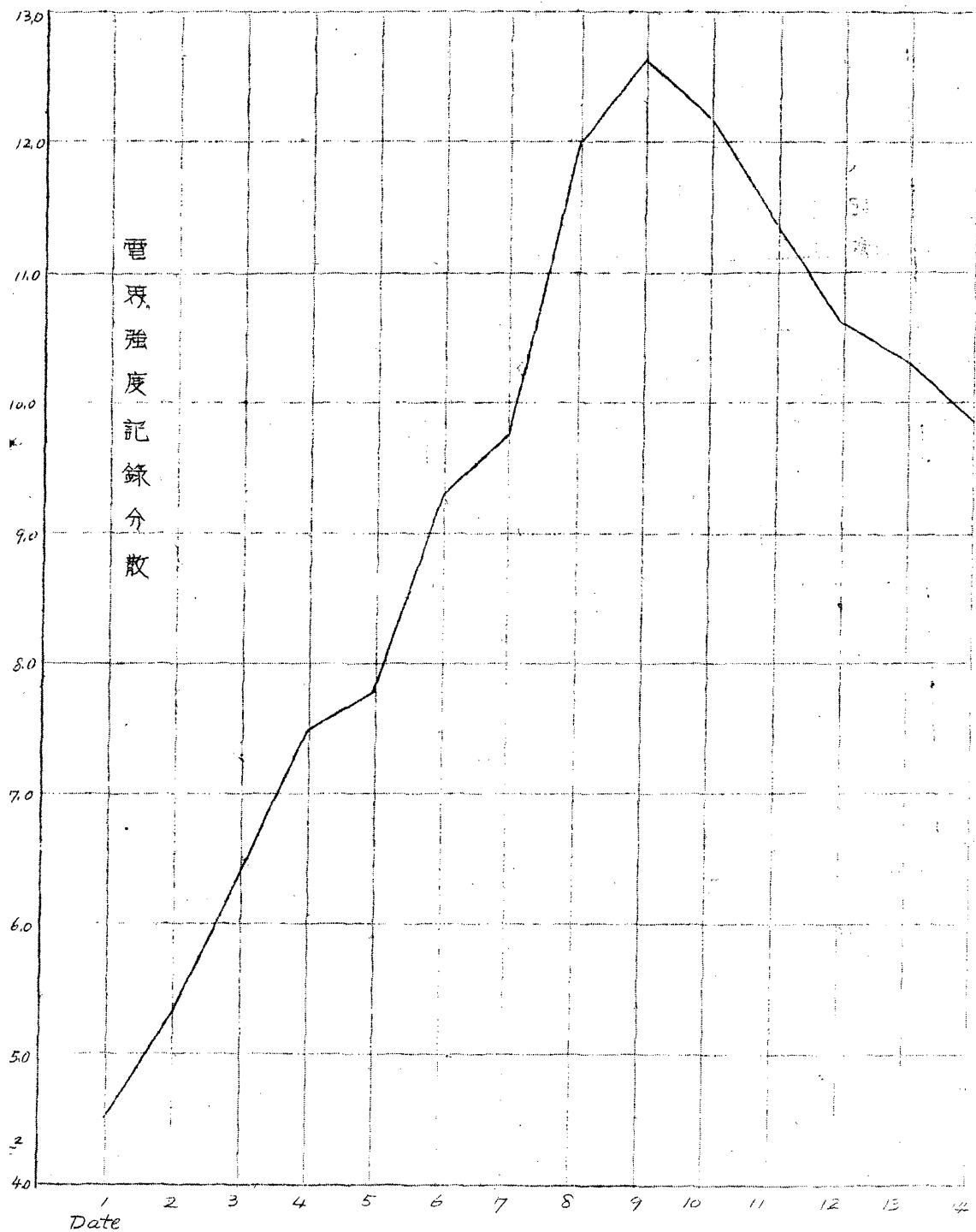
(78)

9月 2, 1

筑波一國分寺(秋)

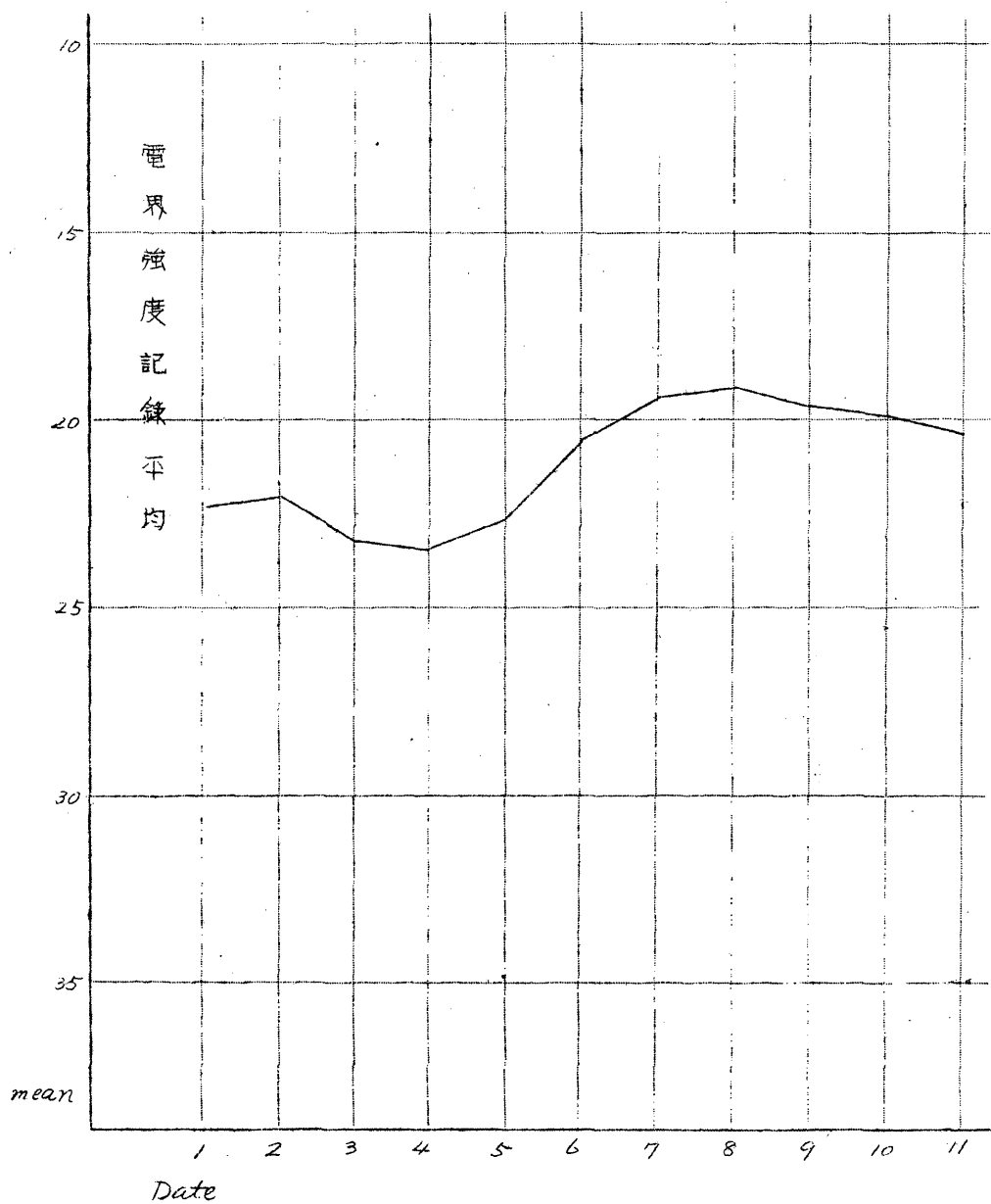


9月 2, 2



(80)

3



こゝで更に電界強度の変化が線型自己回帰的であると考えてそのようなモデルをあてはめると次のようになる。

適当な時間単位に関して、時刻 t に於ける電界強度を X_t にて表わすとき X_t は ε_t を互に無相関な一定型の確率変数として

$$X_t + a_1 X_{t-1} + a_2 X_{t-2} + a_3 X_{t-3} = \varepsilon_t$$

なる確率定差方程式をみたすものと考え、図1の例に於ては1時間を時間の単位として§1に於て利用されたデータにあてはめを行うと、

$$X_t - 0.611 X_{t-1} - 0.072 X_{t-2} - 0.075 X_{t-3} = \varepsilon_t$$

のようになる。

このようなモデルに従うものとして系列相関係数を計算して見ると図4に於ける×印の通りになる。これは○印にて表わされる実験値と相当に良く一致する。これによつてもこの例を定常的であると判断することはかなり妥当と考えられよう。

尚、図中・印は

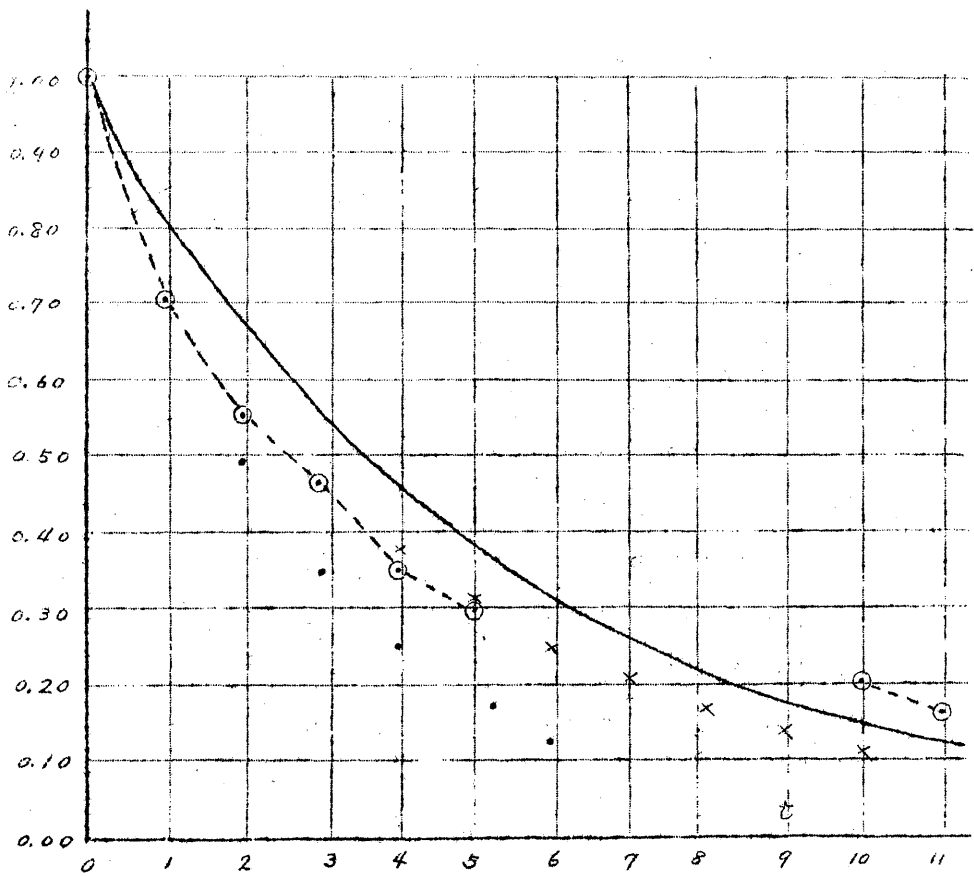
$$X_t + a_1 X_{t-1} = \varepsilon_t$$

なるモデルをあてはめたときの系列相関係数の計算値、実曲線は図に示されてある○の対数値に最小自乗法を以てあてはめた $e^{-\lambda t}$ 型の曲線である。これらに比較して前述のモデルがより良い一致を示していることが見られる。

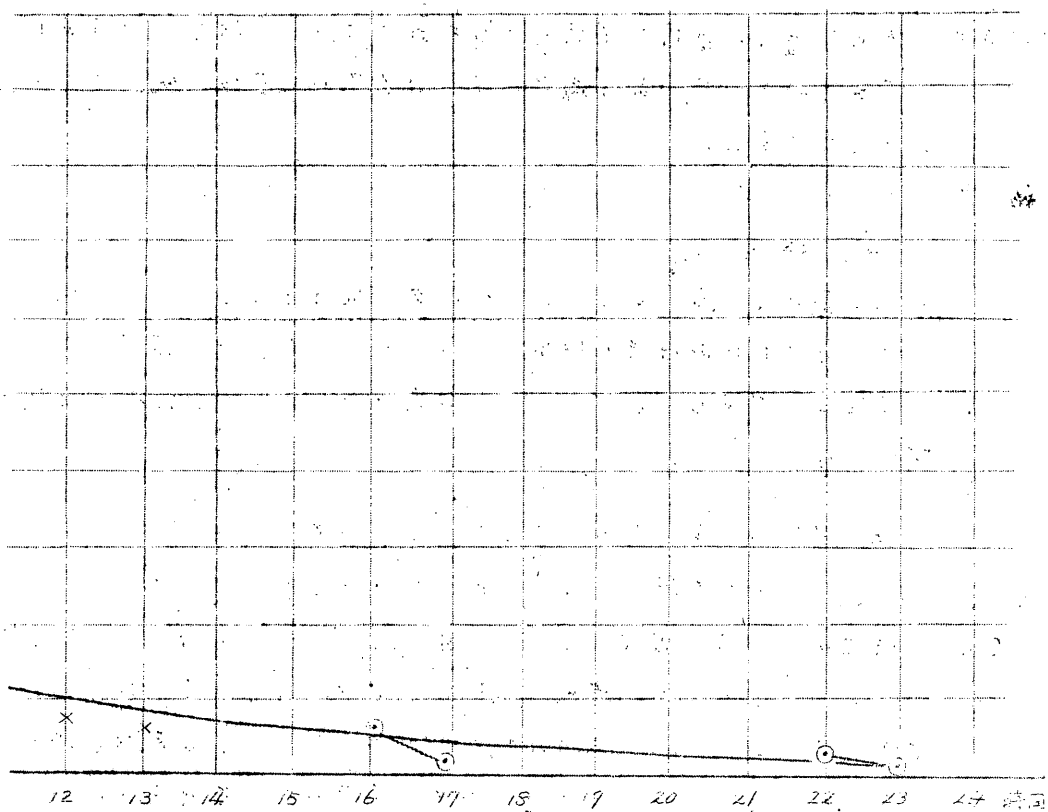
これはまた定常性を裏書きする一結果と考えられる。

(82)

Correlogram



(Tsukuba - Kakebunji)



本§の考察は更に十分なる研究によって、統計的に明確に定式化することが必要なることは勿論であるが、この§の目的はこれらの考察によつて一応実験期間長決定の問題に対する一つの解答を試みることと、前分析に於ける記録値の平均、分散、累積度数分布等をはじめすべての統計量の、時間に関係を有する変量として電界強度を理解する際の意味づけとを試みることにあつたのである。

即ち20日間程度の実験期間長を持った実験の結果によるこれらの統計量は、前述の意味の定常性の顯現に十分な程度の記録によつて得られたものとして、一応その回路のその期間に於ける特性量として採用することの妥当性を検討しようとするものである。

更にこの§の分析を発展させるためには以上の諸結果に留意しつつ実験計画を立て、より適當と見られる資料の獲得を試みることが是非必要である。

§ 4. 結 び

以上を以て一応、いくらかの分析の可能性を見ることゝ出来たがこゝでこれらの分析の結果の意味するものと、その限界とをもう一度振返つて見ることによつて、現在迄の分析の統計数理的意義を明確ならしめたい。

α. 資料の貴重であるという点について

(データを捨ててはならないという点について)

既に缺測の持つ意味については述べてあるが、缺測でなくて、データを捨ててしまった結果、缺測として現われている場合が考えられるのであるが、これがわれわれにとつてどのような意味を持つものであるかは、これ迄の分析の過程を振返つて見るならば明かであろう。 実にデータを捨てるということは、調査或は実験を放擲するに同じである。 残つたデータのみによつては、分析は困難を極め、分析結果の解釋も殆ど不可能になる場合が多い。

数多の努力を傾けて行われる調査或は実験の結果の持つ重要性を考えるならばどのようなデータであろうともその貴重さは十分に認識されなくてはならない。

しかしてこの認識は実に調査(実験)の計画よりその分析、次の調査(実験)、に至る一貫した見通しとこれらの調査(実験)の行われる目的についての十分な理解とに基づくのである。

b. 各送受信機の特徴の比較について

§2. の分析に用いられた資料は、同一機番による記録ではないから、この点に関する注意が必要である。 §2. の分析がそのまま意味をもつためには、各機番間の特性の差が、各回路の特性の差に比して、電界強度の平均値、分散、等に及ぼす影響が極めて小であることが必要である。結局、各機番の特性の明確な把握がなされない限り、この点に関して決定的なことは言えない。

しかしながら各機番の特性を知るためには更に測定装置の精度の問題があるので、これらに関して直ちに十分な知識を得ることは困難であろうと考えられるが、実験を実施される研究者がこの点に十分留意されて、一方、測定装置の改善を計られると同時に、他方、たとえ数量的に明確な特性を知ることができなくても、各機番の特性をできる丈齊一ならしめるように努めて居られるのであるから、§2. の分析がその妥当性を持つであろうと考えられる。

何れにせよこの点に関する十分な注意は、これからの実験計画に於て必要不可欠のものである。

C. 実験計画の際の重点の置き方について

この分析の結果を見ると、電界強度の記録は種々の要因によって変動の様相が決定されているのであつて、決して單純な要因のみによつて決定されるものではないものようである。このような時に、実験を進展させて行くためには、先づ最も電界強度の変動に大きな影響を持つような要因、即ち各回路に於ける電界強度分布を一つ

のサンプルと考える立場、或は各時の電界強度をサンプルと考える立場に於て、これらのサンプルの分散の増大に最も大きく影響するような要因の変化と、フェーディングの様相の変化との関係を考察し明確化することが大切である。次にこのような要因の変動にもとづくフェーディングの変化を除外乃至は考慮しつつ次に大なる影響を及ぼすと考えられる要因との関係を考察して行くようにする。

このようにして、先づ当面の要求に対して、最も有効な知識、或は最も制御しやすい知識、の獲得からはじめて、逐次微細なフェーディングの様相に関する知識を獲得して行くように計画することが、可能な限りの時間と費用の制限の下で最も有効な実験を行うために先づ要求されるであろう。徒らに部分的な結果の精密ならんことを求めて全体との関聯を見失わないようにすることが大切である。

この爲には得られた結果を直ちに集計分析し、回線実用化に有効な知識をその重要さに従つて分類して行くことが望ましい。

d. 分析実施者の調査対象に関する知識の不足について。

この分析の過程を通じて終始痛感されたことは、分析を行う者が、電波一般に関する十分な知識を簡単に得ることが出来ないということに対する不満の念である。このようなことが統計数理的考察に於て致命的であることは言を俟たない。

この点に関しては、このような分析に於ては、各専門分野の十分な知識の合流を計る事となしには価値ある結果を得ることは殆ど不可能となるであろうことと、貴重な実験も、その真の意義は実にこの段階に於てのみ明かとなるものであることを再認識することによつて、以後の実験、分析に於ける各種専門分野の知識の完全なる合流の実現を希う次第である。

e. 以後の実験の方向について

もし上述の分析結果が、何等かの有用性を持つならば、これからの実験はその結果を検討し、更に改良し、精密化することをその計

画の一項目として加えなくてはならない。即ち少い実験を以てより有意義な結果を得るためには、これまでの分析によって得られた一応の知識を完全に利用することを心懸けなくてはならない。

具体的に述べるならば、回路の良否は、その回路の地形的特性と、回路の長さとの大なる関係を有するらしいことが分つているのであるから、各回路の型の類別に関して更により定量的に明かにすること、各型の内部に於て、フェーディングの度合と、回路長との関係を明瞭ならしめるような実験を計画すること等がある。

しかもこれらの実験は、その数が少数であるとういうことを考えて、一つの実験の結果も無駄にならないようにするため、実験、記録の方法に計画的統一性を持たせなくてはならない。

記録の仕方が異質的であるために、他のデータと共に分析することが不可能になるような場合をつくってはならない。

フ. この分析の特に注意すべき限界について。

すでに明かなように、この分析に於ては、フェーディングの質的分析に関しては何も触れていない。この欠はこの分析の本質的な限界である。

フェーディングの質的様相即ちきこえ方の分析は、当然この分析のようなフェーディングの大局的量的様相の把握とゆる知識の増大の上に立つて始めて、その方向及び結果に対する見透しを得ることになるのである。しかして、この質的様相分析の段階に於てこそ、既に概要その他に於て述べたように、統計数理的方法がその真面目を發揮しなくてはならない。こゝに於ては人間はその地位を、分析の方法に於て、考え方に於て、大きく占めることになるのであり、單なる傳習にのみよらないところの、有効性を旨指しての質的量的表現、即ち数量化の思想が強力に押進められなくてはならない。

この段階の分析迄完全に行われて始めて、回路決定に関する正しい判断が行われることになる。この意味で、前述の回路決定図は

一つの過渡的段階に於ける結果であることを十分銘記する必要がある。更に新たな実験を計画する際には、この方向の分析のことを考慮に入れることが必要であるし、又、既得の資料に関するこの方向の分析が必要である。

g. その他

通研月報に発表されたところを見ると、回路のクリアランスその他を見るために、精密な地型模型を利用されることを試みて居られるとのことであつたが、このような試みの極めて有意義であることは、これ迄の分析の結果より明かである。更に干涉の模様自体も模型によつて試みられるに至るならば、その結果の価値は絶大なものであると思われる。

以上を以て本報告は一応完結するのであるが、報告の完成後諸般の情勢よりこの分析結果の公表をさしひかえなくてはならないことになり、且その後の研究も停止されて今日に至つた。従つて、分析結果の批判、及びその改善等に関しても僅かに昭和27年10月29日研究所内講究会に於ける“傳播現象の一解析”としての発表の際の二三の議論にとどまり、最も希求されたところの専門分野からの意見による是正、発展もそれを行うことが出来なかつた。

昭和27年4月乃至7月の研究結果の報告として極く限られた資料にもとづくこの不完全な分析結果を報告することはその意味で極めて不満とする所であるけれども、分析の過程の一例として或は現在でもその存在意義が認められるのではなからうかと考えられる。

今後更に各方面からの比正によつて、過誤の是正に留意すると同時に、このような問題の提扶されて、各専門分野の研究の進歩と、統計的方法の進歩とが並行して行われる機会の多く與えられんことを願つて本報告を終り度い。

Summary

An analysis on the fading of microwave

Hirotsugu Akaike

Hitherto, we have not had any definite results of the experiments on the fading of microwave. To draw some useful results from the experimental data for practical purpose, and to design an efficient experiment, it seems to be inevitable to use the mathematico-statistical methods. Getting some data from the Electrical Communication Laboratory, the author tried to get some appropriate results for deciding where the relay offices should be settled. He observed some relations between the field intensity of microwave and atmospheric phenomena. But it offers only a microscopic information, and the microscopic properties of a span is rather required.

Observations about many spans of several types suggest the existence of relation between the distribution of field intensity and the type as well as the length of span.

Thinking that the interference between the direct wave and reflected wave to be the cause of fading, the author constructed some stochastic model for the pattern of reflection and introduced the idea of generalized reflection coefficient of the span.

By using this idea, he got some formulae for the decision about acceptance of a span. Some methods of quantification is used here, and offered rather satisfactory results.

There are two main problems about the experiments of microwave transmission. The problem of finding the rule for deciding the proper span, and the problem of deciding the suitable length of the time for the continuation of the experiment. He got some results about the latter problem as well as about the former.

Some types of sequential procedures will be most efficient for this problem, but the definite stochastic formulation is not performed in this paper.

Much more carefully designed experiments will be indispensable for the effective formulation of this process.

This is an issue of the projected series of reports entitled "The Research Report of the I. S. M."

"The Research Report of the I. S. M." publishes the reports of researches done in the application of Statistical Mathematics such as initial preparations, study designs, practical procedures and handling of data.

The series aims to be beneficial not only for the theoretical workers, but for research workers who are engaged in the practical problems of surveying, analysis and so on.

Editor	Chikio Hayashi
Published by	The Institute of Statistical Mathematics 10, Sangenjaya-cho, Setagaya-ku, Tokyo
Printed by	Sobunsha Co. 13, Takata toyokawa-cho, Bunkyo-ku, Tokyo

The Research Report of the I.S.M.

Number 11

Statistical analysis of
propagation phenomena

I

An analysis on the fading of microwave

January 1953

The Institute of Statistical Mathematics

10, Sangenjaya-cho, Setagaya-ku, Tokyo