

## ERRATA

Page	Line	Read	For
57	3	内筒電極	円筒電極
58	Table 2	the air-flow	tie air-flow
59	Fig.3	Ebert	EbeIT
69	Table 5	Aug.	Any
72	11	大気電場	大気電荷
	29	事なく	事となく
73	17	有益な	有役な
74	11	Journ. Atmosph.Terr.	Journ. Terr.

# 柿岡における大気小イオン数の連続自記観測並に気象要素との関係

菊 池 繁 雄

## The Continuous Registrations of the Atmospheric Small-Ion Contents at Kakioka and Some Relations to the Meteorological Elements

By SHIGEO KIKUCHI

Since the year 1951, the continuous registrations of the atmospheric small ions have been carried out using an Ebert-type ion counter and a Denshi-type long recorder. The former was made at this observatory and the later at the Yokogawa Electric Company.

Firstly the writer explains about the theory and the construction for the improvement of the recorder, whereby the leakage curves and calibrations of measuring system are automatically recorded every four hours. In the spring of 1953, it was completed at the Yokogawa Electric Company.

Next, the variations of small ions on both calm and disturbed days are described with respect to the observed data for the period 1951 to 1952. From the lack of enough observational data, we treat them qualitatively. The results are as follows;

1. On calm days, the annual mean values of small ion densities are 408 and 360 per unit volume of the air for positive and negative ions, respectively. The annual mean diurnal variation of small ion densities shows the double maximum-type with two considerable sharp minima at early morning and evening, as generally observed at land stations. The seasonal changes of diurnal variation are indistinct.

2. The disturbances are frequently subsequent to ordinary rainfalls, snowfalls, thunderstorms, fogs, hazes and dust-storms etc.

During the ordinary rainfalls, the positive ions are not influenced by the changes of rainfall intensity, but the negative ions increase linearly. It seems that this increase is chiefly due to Lenard-effect.

On the occasions of the thunderstorms, both positive and negative ions increase remarkably. We can not explain the increase in positive ions by Lenard-effect, and therefore we must consider some other possible causes.

On the foggy or hazy days, the small ion densities of both signs considerably decrease compared with the mean values of calm days. Particular, these decreases on foggy days are more pronounced in winter than in summer. It seems that this seasonal difference is related to the

mechanism of occurrence of those fogs. The decrease on hazy days may be explained with the increase of pollutions in the lower atmosphere.

Finally, we discussed about the problems on the construction of the ion-counter and the long-recorder, and on the methods of the observation.

## § 1. 緒 言

1949年当観測所において大気小イオン数の連続自記観測を計画した。イオン計は Ebert 型を参考にして当所工場にて製作し、記録器は横河電機製作所製電試型<sup>1)</sup>を購入した。測定系の漏洩及び電位計感度は毎日1~2回手動操作に依つて測定して、夫々の日における漏洩補正を行つた。1952年此漏洩測定 of 自動化を考案して横河電機製作所にて改造せしめ、1953年春完成した。現在使用中であるが極めて好結果を得ている。改良記録器の詳細については § 6 に述べた。イオン計内を流れる空気の流速記録用の熱線風速計は記録器より約半年遅れて横河電機製作所に於いて完成した。是を气象台の風洞において熱線電流対風速特性を検定した。更にイオン計内を流れる気流の整流を計る為に、色々な整流器を製作して実験した。以上の諸準備を整える為に自記観測の開始は1950年9月からである。

此論文はイオン計並に改良記録器の構造について、及び1951年、1952年の二ケ年間に得られた記録を整理して、静穏及び擾乱時における小イオン数の変化について調査したものである。当時電源状態の悪化によつて完全な記録が比較的少なかつた為、結果に十分な検討考察が出来なかつたが其概観を得る事が出来た。

静穏日における二ケ年平均値として  $n_+ = 408$ ,  $n_- = 360$  ケ/cc を得た。日変化の形は  $n_+$  及び  $n_-$  何れも多くの上陸地点に見出される二重極大型であつて、早朝及び夕方に極小が現われる。日変化の季節変化について今回の所でははつきりした事は云えない。

擾乱変化は降雨、降雪、雷雨、霧、烟霧、風塵等に伴つて現われるが、今回は降雨、雷雨、霧、烟霧について調査した。普通の降雨中においては平均的に見て、 $n_+$  は降雨強度によつて殆ど変らないが、 $n_-$  は著しく増加する。是は主として Lenard 効果に起因するものと考えられる。しかし雷雨中においては両者何れも顕著に増加する。此事は単に Lenard 効果のみでは説明し切れない。

霧の発生に依つて  $n_+$  及び  $n_-$  何れも減少するが殊に冬季において著しい。この差異の一つとして霧の発生機構の相違が考えられる。烟霧中においても霧の場合と同様な減少が見られるが、其は空気中の Pollution 増加に由来するものであろう。

終りにイオン計並に記録器の構造及び其他に関して残された諸問題について言及した。

## § 2. イオン計の構造

イオン計は水平方式にした Ebert 型であつて、集電極各部の寸法は次式によつて決定した。

$$K_e \geq \frac{g(\gamma_a^2 - \gamma_i^2)}{2lE} \log \frac{\gamma_a}{\gamma_i} \quad (2.1)$$

ここで  $K_e$  はイオンの運動度,  $g$  は流速,  $\gamma_a$  は外筒電極の内側半径,  $\gamma_i$  は内筒電極の外側半径  $l$  は円筒電極の長さ,  $E$  は内外電極間の電位差である。

寸法決定に際して最初の制限は流速の最低限界である。熱線風速計の風洞検定における最低限界は 100cm/sec であつたので、イオン計内取付位置における風速として 120cm/sec に決めた。次に  $K_e \geq 0.5$  と決めて  $\gamma_a$ ,  $\gamma_i$ ,  $l$  及び  $E$  を決定した。第1表に各部の寸法を、第1図に構造の概観を示す。

Table 1. Dimension of parts of small-ion-counter

	$2\gamma_i$	$2\gamma_a$	$l$	material
Inner electrode	mm 19	—	mm 370	Brass pipe
Outer electrode	57	55	410	Copper pipe
Supporter of inner electrode	10	—	210	Brass rod
Electrode cap	—	50	35	Brass pipe
Counter case	85	86	490	Copper pipe
Anemometer case	110	111	900	Copper pipe
Intake pipe	87	88	400	Copper pipe
Intake cap	44	45	35	Brass pipe
" "	—	86	50	Brass funnel

$\gamma_i$  : inner radius,  $\gamma_a$  : Outer radius.

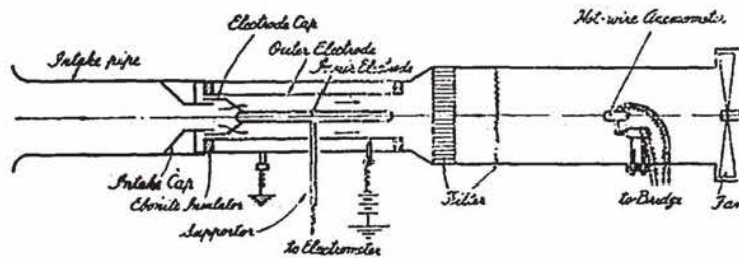


Fig. 1 A general view of small-ion-counter.

集電極は同心円筒型蓄電器を構成する。外筒電極は其両端において接地した Counter case にエポナイト環を用いて絶縁して固定される。内筒電極は其中央において直角に取付けた Supporter によつて外筒電極の中心位置に支持される。

Supporter は2ヶのアンプロイド環によつて Supporter box の床に絶縁固定される。この箱の内部に電熱器を取付けて内部を乾燥させる。この箱は記録器の電位計箱の上に載せて固定される。Supporter 下部は電位計箱内に入り込み、其下端にある端子より細い導線を以て電位計に接続される。Supporter はその途中に接点を設けてあり、之を通じて記録器の自動転換器に接続される。

内筒電極の先端には第1図に示した様な cap を取付けて内筒先端における End-effect を防止してある。(2,3,4,5) この cap は3本の脚によつて内筒電極先端より30mm 前方に突出して支持される。更にこの cap と外筒電極との間に空気が流通しない様に Intake-cap の下端を内筒電極の cap の中に5mm 差込んである。

### § 3. 整流器

イオン計内部の整流を計るために、イオン計後方10cmの位置に整流器を取付け、是より更に後方25cmの位置に熱線部を設置した。

整流器は長さ5cm、外直径11cmの円筒の内部を1cm角目の隔壁によつて仕切つたものと、1mm角目の金網とを組合せて構成される。両者の間隔は整流効果が最も有効になる様に実験的に決めたもので10cmである。

次に熱線部の有効な位置を決定する為に、整流器後方20, 25, 30, 35cmの場所にそれを順次移動させて、夫々の位置において流管直断面内の風速分布を測定した。その結果25cmの位置が最も良好であつた。更に管壁による乱れを極力避ける為に、熱線部を流管の中心附近に設置した。この位置において示される中心風速と流管直断面内における風速分布とより算出した平均風速との関係は、使用した流速の大小によつて若干の変動があるが第2表に示した様に平均12%大きく現われた。依つてイオン数算出に用いる流量は、中心風速に12%の補正を行つた。

Table 2. The velocity of tie air-flow

Mean velocity cm/sec.	Velocity of the center in air-tube cm/sec.	Ratio
117	133	0.88
128	145	0.88
147	178	0.83

斯様な整流器を使用しても尙気流の乱れが若干残留するが、多くの場合約5%以下である。従つて算出した流量には風速の補正值における誤差及び残留乱れによる誤差が含まれている。若し戸外に強風が吹走する場合は吸出作用の為に逆流

を生じて、屢々30%以上の変動を生ずる。この防止装置は目下工夫している。

### § 4. Long recorder

詳細については電気試験所青木敏男博士が発表されている<sup>7)</sup>から簡単に紹介する。尙本器の改良に関しては§6に於いて述べる。

この記録器は電位計箱 Operator-box, Long recording-camera, 熱線風速計の四部に大別される。前三者を一列に接続して使用する。イオン計は電位計箱の上に載せて固定し、電位計は単繊維型を使用する。Operator-box は電位計とカメラをつなぐ光学系暗室と自動転換器及び手動用配電盤を格納してあり本器の中核をなしている。自動転換器は8ケのカムと3ケのリレーとの組合せによつて構成されていて、次の諸動作を自動的に行う。(1) 6分間毎交互に内筒電極に正或は負イオンを捕足して、其電位変化を記録する。(2) 毎時時刻の印を記録する。是等はすべて手動操作に

よつても行う事が出来る。

熱線風速計はイオン計内を流通する気流速度を記録するもので、同形同大の白金線2本をブリッジの相隣れる二辺に挿入しておき、1本を気流に露出して、他は気流より遮断する。気流のために生ずるブリッジの不平衡電流を取り出すのである。参考迄にブリッジの回路を第2図に示した。

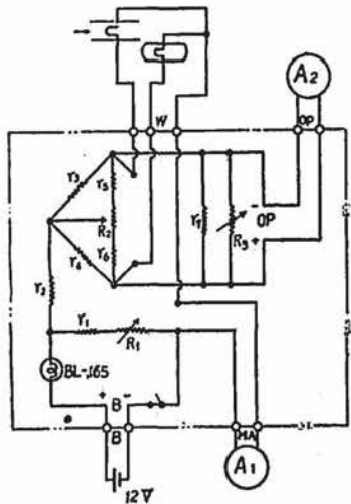


Fig. 2 Circuit of bridge.

第2図に於ける諸常数は  $\gamma_1=15\Omega$ ,  $\gamma_2=7\Omega$ ,  $\gamma_3, \gamma_4=6\Omega$ ,  $\gamma_5, \gamma_6=50\Omega$ ,  $\gamma_7=20\Omega$ ,  $R_1=200\Omega$ ,  $R_2, R_3=100\Omega$ ,  $A_1$  は全目盛 300mA の直流電流計,  $A_2$  は全目盛 1mA の記録用直流電流計である。

カメラは電位変化を光学的に記録するオシログラフ用印画紙を格納する。印画紙の送り速度は緩急二段に変換が出来て、低速度の場合は一時間 36 mm であつて、約1ヶ月間連続的に記録し得る。

電位計感度は大体  $3 \times 10^{-2} \text{V/mm}$ , 風速記録用電流計感度は  $1 \times 10^{-6} \text{Amp/mm}$  で使用している。

### § 5. イオン数算出に於ける漏洩による補正式

Ebert 型のイオン計によつて測定された電位変化より、イオン数を算出するに際して、測定系の絶縁状態が良好である場合でも通常 10% 前後の漏洩が必ず伴われる。この漏洩は第3図に示した様に其構造よりして次の二種の原因に起因するものと考えられる。第一は内筒電極の Supporter の絶縁物を通つてその電荷の一部が漏洩する為である。電位計自体の漏洩も此種に属する。第二に Supporter は外筒電極の側壁にあけた小穴を通つてイオン計の外に突出されてあるので、両電極間に電場をかけた場合たとえ新しい外気の流通が無くとも外筒電極にある電荷の一部が内筒電極へ漏洩して来る。

尚連続的に外気を吸入していると両電極表面に大気エマネーションが附着する為と思われる漏洩を生じて来るが是も上記の漏洩に加算されるものと考えられる。

依つてすべての漏洩を考慮した場合における内筒電極の電位変化の一般式は、次式によつて表わす事が出来る。

$$c \frac{dV}{dt} = -\alpha_1 V + \alpha_2 (E - V) + QW \quad (5.1)$$

ここで  $\alpha_1$  は第一の原因による漏洩係数,  $\alpha_2$  は第2の原因による漏洩係数,  $E$  は両電極間にか

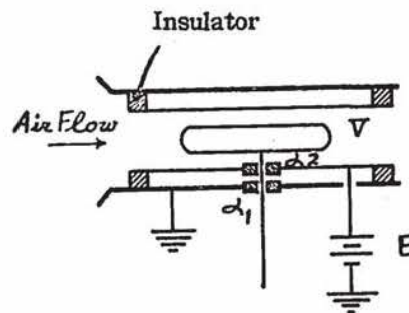


Fig. 3 A state of the leakage for Ebert ion-counter.

けた電位差,  $Q$  は小イオンによる電荷密度,  $W$  は単位時間にイオン計内を通過した空気の容積,  $c$  は全測定系の対地静電容量である.

(5.1) 式を  $t=0$  の時  $V=V_0$ ,  $t=T$  の時  $V=V_1$  の境界条件を以て積分し, 且観測開始直前迄内筒電極は接地されているから  $V_0=0$  である. 従つて

$$QWT = V_1(c + \alpha_1 T) - \alpha_2 ET \quad (5.2)$$

故に小イオンによる電荷密度  $Q$  は

$$Q = \frac{1}{WT} \{V_1(c + \alpha_1 T) - \alpha_2 ET\} \quad (5.3)$$

$\alpha_1$  の測定: 空気の流通を止め, 外筒電極を接地し, 内筒電極に電位  $V'$  を与えて其電位降下を測定する. (5.1) 式において  $E=0$ ,  $QW=0$  となるから

$$c \frac{dV'}{dt} = -V'(\alpha_1 + \alpha_2)$$

ここで  $t=0$  の時  $V'=V_1'$  であつたものが  $t=T$  の時  $V'=V_2'$  迄降下したと云う境界条件で積分すると

$$\alpha_1 = \frac{c}{T} \frac{V_1' - V_2'}{V_2'} - \alpha_2 \quad (5.4)$$

$\alpha_2$  の測定: 空気の流通を止め, 外筒電極に  $E$  を与えた時内筒電極の電位上昇  $V''$  を測定する. (5.2) 式において  $QW=0$  と置いた場合の  $V_1$  を  $V''$  とすればよい. 従つて

$$\alpha_2 = \frac{V''}{ET} (c + \alpha_1 T) \quad (5.5)$$

$Q$  の算出: (5.4) と (5.5) 式とより  $\alpha_2$  を消去すると

$$c + \alpha_1 T = \frac{c \frac{V_1'}{V_2'}}{\left(1 + \frac{V''}{E}\right)}$$

ここで  $V''$  は  $E$  に対して無視して良いから

$$c + \alpha_1 T = c \frac{V_1'}{V_2'} \quad (5.6)$$

依つて (5.5) 及び (5.6) 式を (5.3) 式に代入して  $\alpha_1$  及び  $\alpha_2$  を消去すると

$$Q = \frac{c}{WT} (V - V'') \frac{V_1'}{V_2'} \quad (5.7)$$

但し (5.3) 式の  $V_1$  を  $V$  で表わした.

(5.7) 式において  $V$ ,  $V_1'/V_2'$  及び  $V''$  は自動的に記録する事が出来る.  $W$  は  $V$  と同時記録された熱線電流を読取つて, §7 の第8図の検定曲線を用いて風速を求める. 之に §3 で述べた風速の補正を施して流量を算出する.

$c$  は標準蓄電器と比較測定を行つた結果 52.0cm を得た. かくして  $T$  時間 (約6分間) 内における  $n_+$  或は  $n_-$  の平均値を計算する事が出来る.

§ 6. Long recorder の改良

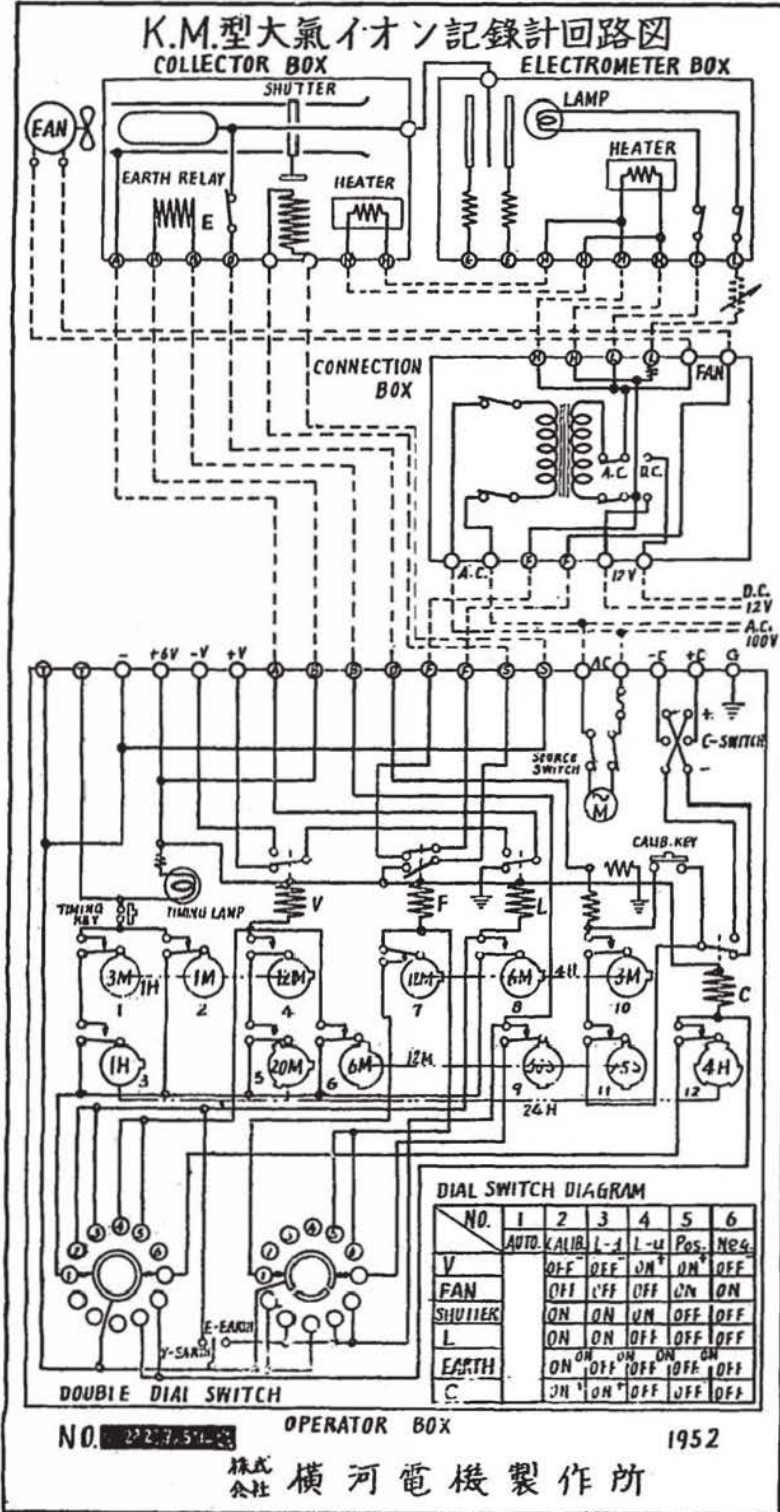


Fig. 4 Systematic circuit of the new recorder.

改良の主目的は電試型記録器において不備であつた測定系の漏洩測定自動化にあつた。併せて電位計感度の自動的測定及び電源の補足其他若干の改造を行つた。この改良に対する理論的根拠は §5 に於いて述べた (5.7) 式である。同式に示された補正項の値を一定時間毎に自動的に記録させるのである。

1952年是等の改良回路を考案して、製作はすべて横河電機製作所に依頼した。1953年春完成して現在使用中であるが極めて好結果を得ている。

第4図に改良後の回路図を示す。

(1) Operator-boxの改良

(a) 構造

カムの数を3箇及びリレーを2箇増設して夫々12箇と5箇使用する事になつた。

カムの型は第5図に示される4種あつてIV型が新設した型である。

カムは3箇づつ一本の軸に固定されていて、歯車によつて一回転が夫々12分、1時間4時間、24時間の4種に分けられる。カムの接触は磷青銅製



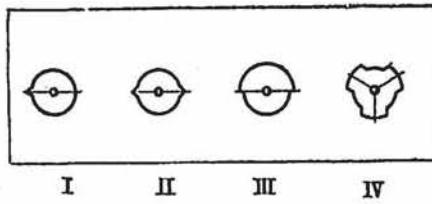


Fig. 5 Types of the cam.

板バネの先端に付けたエポナイト棒がカムの周辺を滑走してカムの突起に打当たると板バネを押し上げて接触する<sup>1)</sup>。接触によつて No. 7 のみは開回路を作り他はすべて閉回路を作る。第 2 表に各カムの接触開始時刻及び接触時間を示す。表中 \* の付いたカムは形や接触時間が変更

更或は新設されたものである。No. 1, 2, 3 のみは挿入回路も原形と変つていない。

Table 2. The beginning and the duration of the contact of cams.

R. P. M.	Number of cam	Type of cam	The time of beginning	The time of duration of Contact
12 min	6	III	at <sup>m s</sup> 00.10 every 6 min	6 min.
	9*	II	// 00.00 // //	30 sec.
	11*	II	// 00.05 // //	25 sec.
1 hour	1	I	// 00.05 // 1 hour	3 min.
	2	I	// 00.05 // //	1 min.
	4*	I	// 28- // //	about 12 min.
4 hours	7	I	// 24.10 // 4 hours	12 min.
	8	I	// 24.15 // //	6 min.
	10*	I	// 21.00 // //	3 min.
24 hours	3	I	// 57.- // 24 hours	about 10 min.
	5*	IV	// 28.- // 8 hours	// 20 min.
	12*	IV	// 00.- // //	// 4 hour

リレー 5 箇の内 V, F, L, C の 4 箇は両極型で Operator box に内蔵される。E は単極型であつて Supporter の途中に取付られる。是等のうち L 及び C が新設され。F は同時に二回路の開閉を行ひ得るものに取りかえた。

#### (b) 自動回路の動作

自動転換器を構成する主要回路は V, F, L, S, T, E 及び C の七回路あつてその内 S, L, C の三回路を新設し、V, F, E の三回路の一部を変更した。

是等七回路の組合せによつて次に述べる基本的動作を行う。即ち

- (1) V, E 回路 6 分間毎に交互にイオン計の外筒電極電位を正或は負に変換せしめて内筒電極に正又は負のイオンを補足する。
- (2) V, E, F, S 及び L 回路 4 時間毎に交互に全測定系の漏洩曲線を記録する。
- (3) E 及び C 回路 (2) の動作開始直前 25 秒間電位計感度を記録する。

(4) *T* 回路 毎時刻及び 24 時間毎に異なる時刻印を記録する。

上記の内 (2) と (3) を行う事が改良の主眼であつた訳である。次に個々の回路の構成並に動作を述べる。

*V*-回路：之は *V*-リレーに対してカム No. 6 の回路とカム No. 4 及び No. 5 とが直列した回路とが並列して構成される。後者が新設されたものである。平常時におけるイオンの記録は前者によつて行われ、後者によつて 8 時間毎に 12 分間回路を閉じて正イオンに対する第二種漏洩  $V_+''$  を記録する、之に対して 4 時間遅れて負イオンに対する  $V_-''$  は前者の回路によつて行われる。

*F* 及び *S*-回路：*F* 回路は 2 箇あつたカムを 1 箇減らし且 *S* 回路を新設した。*F* 回路は *F*-リレーとカム No. 7 とが直列して、4 時間毎に 12 分間 *F* 回路を閉じて通風を止め、同時に *S* 回路を開いてイオン計入口にあるシャッターを閉じて外気の流通を遮断する。

*L*-回路：新設回路であつて *L*-リレーとカム No. 8 とが直列して構成される。4 時間毎に行われる第一種漏洩  $V_1'$  及び  $V_2'$  を記録する際に、*F* 及び *S* 回路と同時に動作して外筒電極を 6 分間接地する。

*E*-回路：之は 2 箇あつたカムを 1 箇減らして *E*-リレーとカム No. 9 とが直列して構成される。*V*-回路の開閉に際して 30 秒間回路を閉じて、同時に *C*-回路によつて内筒電極を接地し或は第一種漏洩の  $V_1'$  を与える。

*C*-回路：新設回路であつて、内筒電極に対して  $100k\Omega$  を通じて接地した回路と、 $1k\Omega$ 、カム No. 10, 11 及び *C*-リレーとが直列した回路とが並列して構成される。後者によつて漏洩記録の開始直前に 25 秒間電位計感度を記録する。

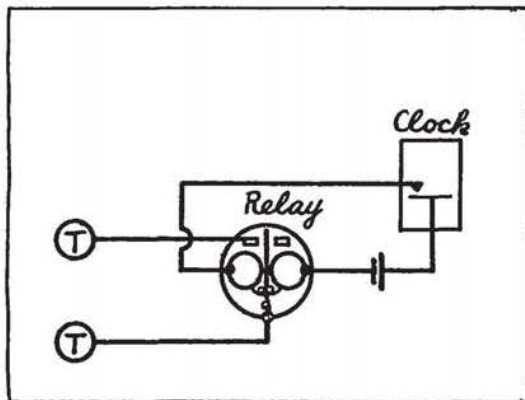


Fig. 6 Circuit of timing by the aid of the clock.

*T*-回路：これは時刻印を記録するもので殆ど変更されていない。但し電源周波数の変動がある場合はカムを使用せずに刻時時計から刻時する為に第 6 図の様に接続する。此場合 Timing key は抜いておく。

(c) 手動回路並に操作

手動用配電盤には Double dial-switch, *S*-switch, *E-V* switch, Calibration-key, Timing-key の 6 箇のスイッチがある。是等の数に変更はないが、自動回路の変更に伴つて其用途は殆どが変更された。回路は第 4 図に示してある。

Double dial-switch のツマミを持つて端子 No. 1 より No. 6 迄順次回転する事によつて (b) 項

で述べた基本動作を行う事が出来る、

*S*-switch はカムの駆動用電動機の開閉を行うもので変更されていない。

$E-V$  switch は  $E$  側に倒せば何時でも内筒電極を接地する。之は電位計の像の調整に際して使用する。次に  $V$  側に倒せば何時でも外筒電極を接地する事が出来る。

$C$ -switch は感度用電源の符号を転換する。

Timing-key は時刻印の取出しをカムによるか、刻時時計によるかの転換器であつて、前者の場合は押し込んでおく。

Calibration-key は電位計感度を測定する際に 栓 を押し込んで使用するもので変更されていない。

次に Double dial-switch の操作手順を述べる。即ち

端子 (1) Auto : すべての自動転換器が動作して常時記録が行われる。此場合 スキッチ  $S$  は on,  $E$  は off とし, Calibration-key は抜いておく。

端子 (2) Calib : 電位計感度を測定する場合に使用する。Calibration-key を押し込み,  $C$ -switch を上方に倒して, ツマミを (2) に廻せば正側感度が得られ, 下方へ倒せば負側感度が得られる。栓を抜けば電位計を零位にする事が出来る。

端子 (3)  $L-d$  : 漏洩  $\alpha_1$  を測定する場合に使用する。Calibration-key を押し込み,  $C$ -switch を上方に倒してツマミを (3) に廻せば  $\alpha_{1+}$  を, 下方に倒しておけば同様に  $\alpha_{1-}$  が得られる。

端子 (4)  $L-u$  : 漏洩  $\alpha_2$  を測定する場合に使用する。Calibration-key を抜いておきツマミを (4) に廻せば  $\alpha_{2+}$  が得られる。 $\alpha_{2-}$  は第4図に示してある端子 (+ $V$ ) と (- $V$ ) を交換して同様な操作によつて得られる。

端子 (5) Pos. : 各スイッチを Auto の状態において, ツマミを (5) に廻せば正イオンの観測を行う事が出来る。

端子 (6) Neg. : (5) と同様操作によつて負イオンの観測を行う事が出来る。

## (2) 電源の改造

停電時に際して交流電源を直流に転換する為の変換スイッチを内蔵した電源箱を増設した。回路は第4図に示してある。之より各リレー, ファン, 光源及び電熱器への電力を供給する。

## (3) 電位計箱の改造

光源回路に直列していた固定抵抗を箱の外へ出して摺動型として, 光源の明るさを変更し得る様にした。併せて従来の固定抵抗が箱内部の電熱の役をする為に生じた過熱を防ぐ事が出来た。

## § 7. 検 定

### (1) 熱線速風計の検定

風速対熱線電流特性の検定は中央気象台の風洞において行つた。風速を 1 m/sec. より 5 m/sec. の範囲において, 約 50 cm/sec. づつ変化させて対応する熱線電流を測定した。更にブリッジの一

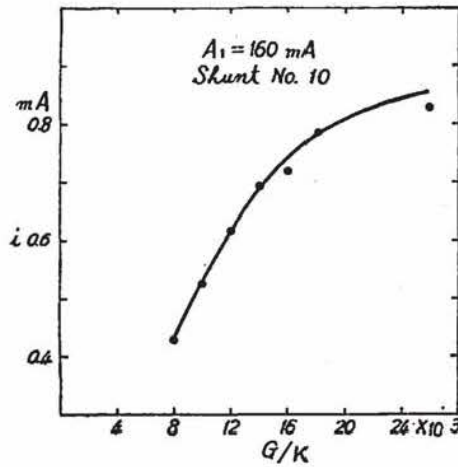


Fig. 7 Characteristic curve of hot-wire anemometer

次電流を 120 mA より 200 mA迄 10mA づつ変えて、都合 9 種の曲線を得た。第 7 図に其一例を示す。

此際記録用電流計は運搬取扱いが面倒であつたので別の電流計（全目盛 1.5mA、内部抵抗 8.25 Ω）を代用した。その為自記観測においては前者に直列に 0.79 Ω を補償して使用している。

(2) 記録用電流計の検定

第 8 図に示す回路を組立てて寸法値  $S$  を測定する。

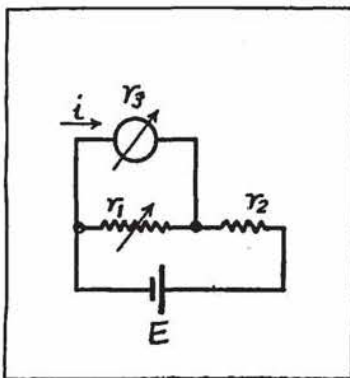


Fig. 8 Measuring circuit for scale values

第 8 図において  $\gamma_1 = 5 \sim 20 \Omega$ ,  $\gamma_2 = 1500 \Omega$ ,  $\gamma_3 = 7.46 \Omega$  (電流計内部抵抗),  $E = 1.5V$  である、然るとき電流計に流れる電流  $i$  は

$$i = \frac{E\gamma_1}{\gamma_2(\gamma_1 + \gamma_3)} \quad \text{但し } \gamma_2 \gg \gamma_1$$

$i$  によつて生ずる記録紙上における振れを  $D$  とすると、 $S$  は次式で与えられる。

$$S = \frac{E\gamma_1}{\gamma_2(\gamma_1 + \gamma_3)} \cdot \frac{1}{D}$$

$S$  の値は大體  $1 \times 10^{-6}$  Amp/mm 程度である。

§ 8. イオン計の設置

本記録器は所謂暗室を必要としないので、事務室——庁舎より南西に約 300 米離れている——の半分を観測室に改造して設置した、北側の窓より Intake-pipe を突出して、内側においた機械台に据付けた。Intake-pipe の高さは地上 180 cm、窓より 30 cm である。此上に 2m x 4m の廂を作つて採取口附近の電場に対して多少の遮蔽を行い、併せて降雨の際に飛沫がかゝらない様にした。

§ 9. 観測結果

1951~52年に得られた記録を整理して静穏及び擾乱時における変化を調査した。当時電源状態が

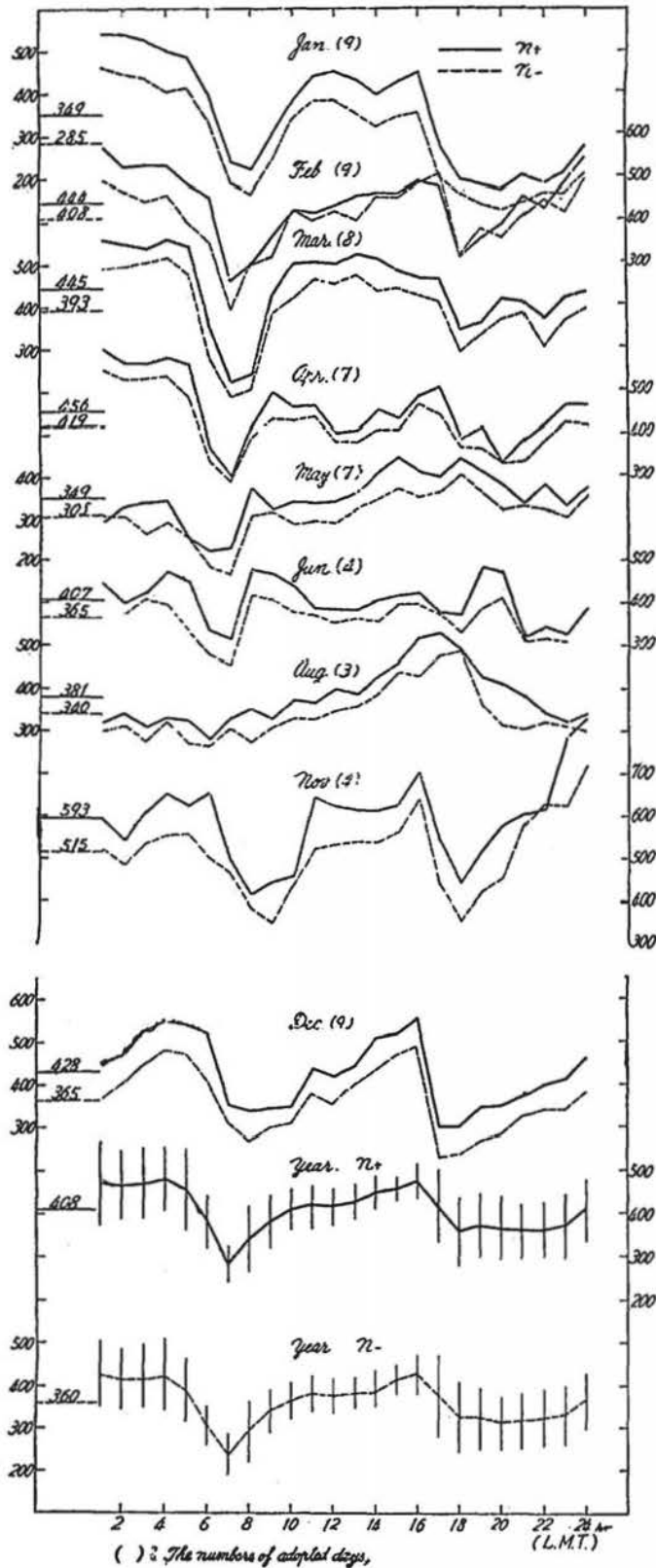


Fig. 9 Diurnal variations of small ion contents for each month and year.

極めて悪かつた為、完全な記録が比較的少かつたが、一応平均的な状態を知る事が出来た。細部に亘る様子や電位傾度、伝導度、空間電荷等との相関については、資料の集積を待つて調査したい。

#### (1) 静穏日における変化

静穏日として一応電位傾度において選定された日をそのまま採用して統計した。各月の採用日数は第9図の( )内に示した。7月、9月、10月は各1例しかなかつたので統計から除外した。

年平均値として  $n_+ = 408$ ,  $n_- = 360$ ,  $n_+/n_- = 1.13$  を得た。平均的に見て  $n_+$  の方が  $n_-$  より大きい、之は地表面附近における Electrode effect の現はれである。併し個々の毎時値について見ると、 $n_-$  が大きくなる事が屢々起つている。その出現が系統立つてゐるかどうかは判然としなかつた。

第3表に出現頻度を示す。日変化については第9図に月別及び年平均値を示した。年平均曲線には毎時刻における信頼限界(信頼係数95%)を示した、更に級内分散と級間分散の分散比を求めてみると  $n_+$  については3.27,  $n_-$  では2.49となり、信頼係数95%におけるF値より大きいので、日変化の存在は有意である事が云える。扱て年平均で見ると、

Table 3. Frequency of appearance of  $n \rightarrow n_+$

Time	22 <sup>h</sup> —4 <sup>h</sup>	5 <sup>h</sup> —10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup> —17 <sup>h</sup>	18 <sup>h</sup> —23 <sup>h</sup>
Frequency				
Number	31	34	16	28

夜間及び日中に増加し、早朝 6<sup>h</sup>~8<sup>h</sup>と日没時 17<sup>h</sup>~19<sup>h</sup>に極小が現はれている。斯様な二重極大型変化は陸上において多く見られる型である<sup>(8,7,8,9,10,11,12)</sup>。

所が月別に見ると此型が必ずしも年間を通じて現われなくて、特に夏季は大部異つた日変化をするように見受けられる。

然し夏季の資料は数例に過ぎなかつたので、余り確かな事は云えない。一般に空中電気における他の諸要素には判然たる季節変化が知られているので、イオン数にも其存在が期待される。

(2) 擾乱時における変化

降雨、降雪、雷雨、霧、烟霧、風塵に際しては、個々の記録を一見して著るしい擾乱変化を見る事が出来る。こゝでは降雨、雷雨、霧、烟霧に伴う変化について調査した。

(a) 降雨に伴う変化

降雨中におけるイオンの記録より6分間毎の平均イオン数を計算し、同時刻における雨量を雨量計記録紙より読取つた。気象観測露場はイオン観測室より約300米離れている。用いた資料は風が極く弱かつた10月31日20<sup>h</sup>09<sup>m</sup>~11月1日04<sup>h</sup>00<sup>m</sup>, 1951; 11月28日, 15<sup>h</sup>04<sup>m</sup>—23<sup>h</sup>00<sup>m</sup>, 1951; 1月11日, 04<sup>h</sup>57<sup>m</sup>—11<sup>h</sup>05<sup>m</sup>, 1952 の3日であつて、読取回数は169箇であつた。是等に基いたイオン数と降雨強度との関係を第4表及び第10, 11図に示す。尙同時刻における電位傾度の平均値も示した。降雨強度の単位は mm/6min, 電位傾度は V/m である。

Table 4. Variation of small ion contents during ordinary rainfalls.

Rainfall intensity		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
$n_+$	Mean value	337	325	272	303	279	268	398	310	—
	Frequency	21	20	22	12	6	6	1	1	—
$n_-$	Mean value	369	376	475	703	893	1079	799	933	1249
	Frequency	16	20	21	10	5	4	1	4	1
pot.	Mean value	+15	-156	-263	-434	-302	-310	—	-322	-235
	grad.	Frequency	34	47	42	26	12	8	—	5

第10図より  $n_+$  は降雨強度によつて殆ど変化しないと云えよう。第11図より  $n_-$  の変化は降雨強度が0.2以下の場合には変化を認め難いが、0.3以上になると直線的に増加している。そこで降雨強度が0.3以上の場合について相関係数を求めてみると、 $0.625 \pm 0.06$  (信頼係数95%に於いて) となり、其有意性を検定して見ると  $t=7.2$  となり母相関係数  $\rho=0$  における理論的限界値2.0よ

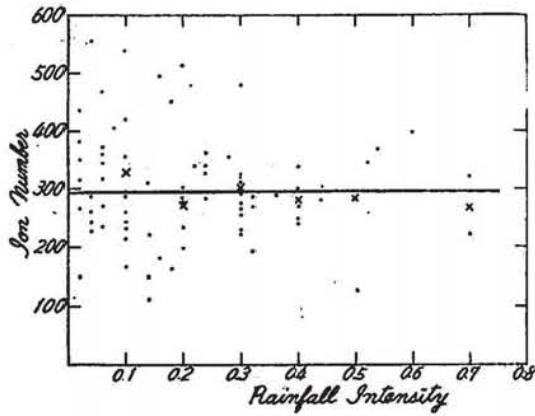


Fig. 10 Relation between positive ion contents and rainfall intensity.

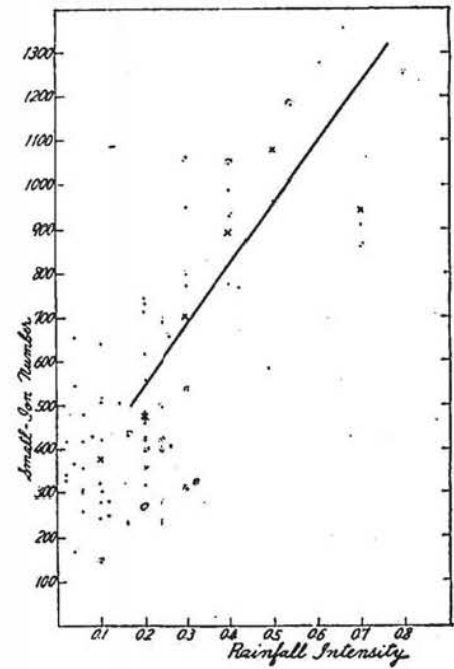


Fig. 11 Relation between negative ion contents and rainfall intensity.

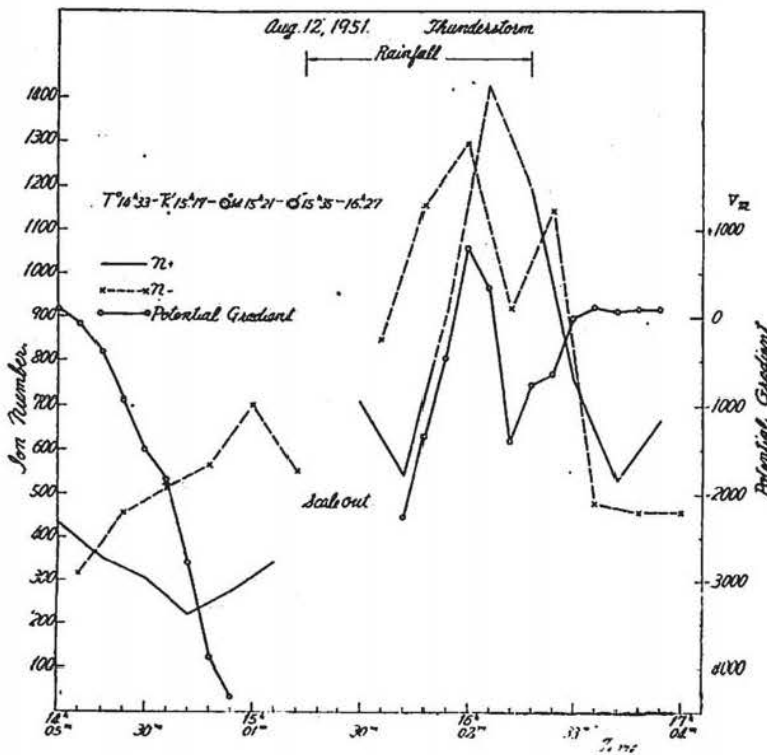


Fig. 12 Variation of small ion contents during thunderstorms.

り遙かに大きく此相関関係は有意である事が云える。

(b) 雷雨に伴う変化

当地は雷雨が襲来すると大抵停電する為に、資料が甚だ少く6月22日, 1951; 6月23日, 1951; 8月12日, 1951の三例しか得られなかつた。

(a) 項同様にして降雨強度との関係を調べたが、第11図のような簡単な関係が見られない。然し著しい特徴としては $n_-$ のみならず、 $n_+$ も顯著に増大し且必ずしも $n_-$ の方が $n_+$ より大きいとは限らないようである。第12図に实例を示す。斯様な实例は最

近 H. Norinder 其他<sup>(13,14,15,16)</sup>も示している。

(c) 電位傾度との関係

比較的電位傾度が大きく且降雨を伴わない雷について調べた。資料は8月11日及び12日、1951の二例であつたが、極作用の傾向を見る事が出来る。第13図にこの関係を示す。正電場は小さいので判然としないが、負電場の増加に伴つて大体直線的に  $n_+$  は減少し  $n_-$  は増加している。

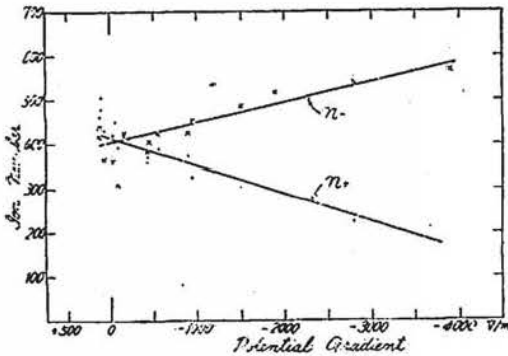


Fig. 13 Relation between small ion contents and potential gradient.

(d) 霧及び烟霧に伴う変化

従来より霧或は烟霧中においては伝導度が減少する事が知られているので、小イオン数は減少する事が期待される。今回の観測期間中において視程の同時値が無かつたので、平均的状态のみについて調査した。霧の場合は発生前後において晴天であつた日について夜間の19<sup>h</sup>より9<sup>h</sup>迄、烟霧の場合は晴天無風であつて、日中明瞭に観測された日について、10<sup>h</sup>から18<sup>h</sup>に亘つてイオン数の毎時値を用いた。前者

Table 5. Small ion contents during foggy days.

Winter					
Date	Period	$n_+$	$n_-$	$n_+/n_-$	Pot. grad. (V/m)
Dec. 21, 1951	19 <sup>h</sup> ~ 24 <sup>h</sup>	144	110	1.31	282
Dec. 28, 1951	19 ~ 24	184	111	1.66	248
Dec. 31, 1951 ~ Jan. 1, 1952	20 ~ 9	160	129	1.24	503
Average		162 ± 16	120 ± 11	1.35	344
mean values on calm days(1951-52)	20 ~ 9	365 ± 32	328 ± 37	1.11	174*
Summer					
July 7, 1951	1 ~ 8	221	177	1.25	217
" 22, "	1 ~ 8	384	332	1.16	97
" 23, "	1 ~ 8	334	264	1.27	117
" 28, "	1 ~ 8	270	252	1.07	251
" 29, "	3 ~ 9	380	346	1.10	230
Any, 8, "	1 ~ 8	345	321	1.07	101
		321 ± 28	281 ± 26	1.14	169
mean values on calm days, 1951-52	1 ~ 8	417 ± 33	367 ± 30	1.15	150*

\* : Mean values from 1931 to 1940.



は9例、後者は4例あつた。第5表及び第6表に夫々の平均値を示す、尙信頼係数95%における信頼限界も出してある。

Table 6. Small ion numbers during hazy days.

Date	Period	$n_+$	$n_-$	$n_+/n_-$	Pot. grad. (V/m)
June 6, 1951	10 <sup>h</sup> ~ 18 <sup>h</sup>	192	174	1.10	108
Aug 13, "	10 ~ 15	309	254	1.22	156
" 15, "	9 ~ 16	272	246	1.11	193
" 19, "	10 ~ 18	266	231	1.15	138
Average		254 ± 24	222 ± 18	1.14	149
Summer mean values on calm days, 1951-2.	10 ~ 18	425 ± 16	381 ± 20	1.12	107*

\* : Mean values from 1931 to 1940.

第5表により夏と冬に分けて、霧の日と静穏日における平均値の差、夏季と冬季における平均値の差及び第6表により烟霧の日と静穏日における平均値の差の有意性(信頼係数95%)を検定した結果を第7表に示す。

Table 7. Examination of the significance.

	$n_+$	$n_-$	t
Winter foggy days and calm days	11.14	12.45	2.00
Summer foggy days and calm days	2.80	2.60	2.00
Foggy days in summer season and winter season	8.15	8.95	2.00
Hazy days and calm days	7.12	5.45	2.03

第7表により信頼係数95%を以て、夫々の平均値の差は有意である事が云える。従つて(1)霧によつて小イオン数は静穏日の値より減少する、(2)冬季の霧の方が夏季のそれより減少が大きい、(3)烟霧によつても同様に減少する、と云う事が云える。

## § 10. 結果の検討

### (1) 降雨に伴う変化:

普通の降雨中におけるイオン数変化の原因として考えられるものは (a) 雨滴が地物或は地表面に衝突して生ずる Lenard 効果, (b) 卓越した負の雷場による Electrode effect, (c) Nuclei における変化, (d) 雨水が地面に滲透する為に大気中に放出されるエマネーション量の変化, 等であ

る。

(b) 項による影響：普通の降雨中における電場は殆ど負であり、其大きさは多く 1000V/m 以下であつて、高々 2000V/m 程度である。若し小イオンと電場との関係が第 13 図に示された程度であると仮定すると、負電場による影響は 200ヶ/cc 以下と云うことになる。従つて此程度のものは第 10 図に示された  $n_+$  については判別し得ないし、又第 11 図に示された  $n_-$  の増加量に対しては問題にならない位少ない。

(c) 項による影響：普通の降雨中において Nuclei は一般に減少し<sup>17)</sup>、強雨になると寧ろ増加する<sup>9,14)</sup>と云われる。然しこの変動の定量的な関係は余り明瞭でない。

(d) 項による影響：降雨中においては雨水の滲透によつて地中空間にあつたエマネーションが追い出される結果、大気中では増加の傾向があり、降雨後暫くの間は地中空間が雨水によつて充填されている為に放出が減少すると云われる<sup>14,18,19,20,21)</sup>。

是等諸原因は何れも小イオン数の変動に何等か寄与している事は確かであるが、それ等の綜合された因果関係を解析する為には、上記諸要素の同時観測値を得る事が望ましい。然し乍ら少なくとも  $n_-$  における著るしい増加は、Lenard 効果に主として由来するものではないかと考えられる。

## (2) 雷雨に伴う変北

雷雨に伴う変化の特徴は、 $n_-$  のみならず  $n_+$  も著るしく増加する事であつて、Lenard 効果の外に有力な原因が存在する事を思わせる。考えられる原因としては、電場が甚だ大きくなる事——数千V/m 以上数万V/m に達する——及び其正負の変動が急激である事、従つて地物による尖端放電によつて多量のイオンの発生が期待される。又電光放電によるイオン発生も考えられる。勿論前項に述べた諸原因の影響も存在するはづである。是等の関係は仲々複雑なものであろう。

## (3) 霧及び烟霧に伴う変化

此場合における小イオン数の減少は霧粒或は Pollution 粒に小イオンが捕足されて、より大きいイオンに転化する事が主原因であらう。尙夏季と冬季とにおける霧の影響が異なる原因の一つとして霧の発生機構の相異が考えられる。当地は冬季無風晴天な夜間において地表近くに顕著な輻射霧を屢々発生する。

一方夏季の場合は梅雨に伴われる前線霧が多い。従つて此場合は他所から絶えず新鮮な空気の移入が考えられるので、減少程度が比較的少いのではなからうか。

## § 11. イオン計並に記録器及び其他に関する諸問題

(1) 内筒電極に大、中イオンの一部が捕足される為の影響：イオン計の設計に際して用いた(2.1)式は運動度が  $K_0$  に等しいか、或いは大きいイオンはすべて捕足され、他のイオンは  $K/K_0$  の割合で捕足される事を意味する。従つて § 5 のイオン数算出式には後者による補正を行う必要がある。

今運動度が  $K$  と  $(K+dK)$  との間にあるイオン数を  $dn$  とすると  $dn=f(K) dK$  で表はされる。従つて内筒電極に捕足されるイオンの総数  $N$  は次式で与えられる。

$$N = \int_{K_0}^{\infty} f(K) dK + \frac{1}{K_0} \int_0^{K_0} K f(K) dK$$

上式の第二項が補正項である。今の所 Ionspectrum の実態が判らないので、第二項もすべて小イオンであると仮定して算出した。

(2) 流量測定における誤差：通例集電極後部に流量計或は風速計を設置して測定するのであるが、内部を流通する気流の非一様性、及び管壁による乱れの発生がある為の誤差を伴う。元来斯様な細い流管内の整流を計る事並にその状態の測定は甚だ困難である。従つて有効な整流器を作る事が至難になる。精度の高い流量計を以て直接流量を測定する事が望ましい。

(3) Intake pipe の表面電荷による影響：Intake pipe は接地して観測室の窓より戸外の電場内に突出してあるから、大気電荷の変動によつて吸入されるイオン数に変化を生ずる事が考えられる。この影響は電場が甚だ大きく変化した場合には考慮しなければならない。

(4) イオン数分布に及ぼす建物の影響：大気電場は建物によつて歪められる結果、建物附近におけるイオン数分布は自由大気中とは異つて来る。電場においては通例平面更正と云う操作によつてその補正が行われているが、イオンの場合にも類似の操作を施す必要がある。但し此操作は測定自体が甚だ困難である為、従来何所でも行われていない。理論的には建物が球形及び廻転楕円体である場合について与えられている<sup>23)</sup>。

(5) イオン計内部に附着する大気中のエマネーションの影響：1ヶ月間位連続的に外気を吸入していると、判然たる原因が無くても、徐々に漏洩が増加して来て、単に絶縁部の清掃のみによつては直らない事が多い。斯様な場合は集電極を研磨する事によつて完全に良くなる。

思うに大気中の放射性物質の附着に由来するものと考えられる。

(6) 記録器の特質（電試型及び改良型）：

(a) 適当なイオン計と組合せて大、中、小夫々のイオン観測、及びその他の充電式の静電気の連続観測に応用し得る。

(b) 全体の構造が軽量堅固で、且全体が4部分になり夫々に格納箱が備えてあつて運搬に至便である。

(c) 動作が確實且操作が簡単で、長期に亘る連続観測に充分耐え得る。

(d) 光学的に臭素紙に記録する方式であるが、所謂通常の暗室を要せず、明るい室内で使用し得る事、及び Operator-box 上面の小窓を明けると、臭素紙にカブリを生ずる事となく何時でも自由に現象像を見る事が出来る。

(e) 原理的に厳密な意味での正負イオンの同時観測を行い得ない事、及び6分間の平均値の

みしか得られない事が残された問題となる。single sign のみの記録を行う場合は構造を可成り簡単になし得るので、今後機会を待つて実現を計り度い、又瞬間値の記録には真空管電位計を用いれば良い。

(7) 静穏日の撰択法：従来より静穏日としては各国何れも大体気象学的に静穏と見做し得る日を撰定基準として来た——但し其限界は必ずしも一様ではない——柿岡に於いても同様な考えに基づいて、先づ電位傾度における静穏日を撰定して、そのまゝ他の要素における静穏日としているが、物理的見地より果して妥当であるかどうか問題となつていた。イオンの個々の記録を見ると、電位傾度の擾乱日と見做された場合においても、明らかな日変化を見得る事が屢々ある。

最近 H. Israël 及び H. W. Kasemir<sup>(23,24,25,26,27,28)</sup> が電氣の見地から定常、及び非定常状態に大別して統計すべき事を提唱している。

## § 12. 結 び

柿岡において大気小イオンの連続自記観測の実施に当り、その機会を作つて頂いた前所長今道周一博士を初め、電試型記録器の購入に際して御紹介の勞を頂いた電氣試験所青木敏男博士、又記録器の改造に際して、細部に亘る設計並に改造工作を引き受けて下さつた横河電機製作所の田岡設計課長、中村工作課長、田中芳正氏等の御盡力に負う所極めて大であつた。厚くお礼申し上げる。

尙イオン計の設計をして頂いた気象測器工場設計課長吉成邦雄技官、イオン計の工作をして頂いた当所工場長吉田喜太郎技官外工作係員の方々、及び漏洩補正に関して有役な助言を頂いた地球電氣課三崎方郎技官に深謝致す次第である。

(昭和 28 年 8 月)

## 引 用 文 献

- 1) 青木敏男：電試彙報 Vol. 13, No. 2, 1948.
- 2) Swann, W.F.G. : Terr. Mag. Vol. 19, 205—218, 1914.
- 3) " " Vol. 21, 99—102, 1916.
- 4) Nichols, E.H. : " Vol. 21, 87—99, 1916.
- 5) Gish, O.H. : Beitr. z. Geophys. 35, 1—5, 1932.
- 6) 青木敏男：電試研究報告 No. 494, 1948.
- 7) " 電試彙報 Vol. 17, No. 8, 1953.
- 8) Hess, V.F. : Beitr. z. Geophys. 22, 256—314, 1929.
- 9) Hogg, A.R. : " 41, 1—31. 1934.
- 10) Wait, G.R. : Terr Mag. 36, 111—131, 1931.
- 11) Wait, G.R. and O. W. Torreson : Terr. Mag. 39, 111—119, 1934.
- 12) Weiss, R and R. Steinmayer : Beitr. z. Geophys. 50, 238—251, 1937.
- 13) Wait, G.R. and Mc Nish : Month. Weath. Rev. 62, 1—4, 1934.
- 14) Siksna. R. : Archiv f Geophys. B. 1, Nr. 10, 237—246, 1951.

- 15) Norinder, H and R. Siksna : Archiv f. Geophys. B. 1, Hf. 10, 1950.
- 16) " " : " B. 1, Nr. 7, 1950.
- 17) Landsberg, H. : Kosmis. Phys, III, 153—252, 1932.
- 18) Covllen, L. : Terr. Mag. 51, 37—44, 1946.
- 19) Kovach, M. : " " 45—56, 1946.
- 20) " Amer. Geophys. Union, 25, 563—571, 1944.
- 21) " " 26, 241—248, 1945.
- 22) Ishikawa, G. and Others : Journ. Geomag. and Geoelect. Vol. 4, No. 1, 1952.
- 23) Israël, H and G. Lahmeyer : Terr. Mag. 53, 373—386, 1948.
- 24) Israël, H. : Ann. d. Geophys. t. 5, fasc. 3, 196—210, 1949.
- 25) " Journ. Terr. Phys. Vol. 1, 26—31, 1950.
- 26) Kasemir, H.W. : Arch. Met. Geophys. Biok. A III, H $\frac{1}{2}$ , 84—97, 1951.
- 27) " " B. 5, No. 1, 56—70, 1952.
- 28) Israël, H.u. H.W. Kasemir : " " B. 5, No. 1, 71—88, 1952.