

# 柿岡に於ける小イオン数の静穏時 変化と他の空中電気要素との関係

河 村 謙

## On the Calm Day's Variations of the Small-Ion Concentrations at Kakioka and Some Relations to the Other Atmospheric-Electric Elements.

By MAKOTO KAWAMURA

### Abstract

Since January of 1951, the continuous simultaneous measurements of potential gradients, space charge densities and small-ion concentrations have been carried out at the Kakioka Magnetic Observatory. But unfortunately, the observational data of small-ions on calm days are very little compared with those of the other elements, because of the difficulties of the keeping of good instrumental conditions. So that, we could not quantitatively treat them. In the present paper, the relations among these atmospheric-electric elements were examined in some detail. At the same time, the diurnal and seasonal variations of both small-ion concentrations and small-ion ratios were described. Making use of this ratio, predominance of the occurrence of negative space charge may be easily explained. Lastly, the writer estimated the combination coefficients from Whipple's theory.

### § 1. 緒 言

柿岡に於いては、1951年1月以来、エーベルト型イオン計による小イオン数の連続観測が行われている。イオン計の構造及び小イオン数の日変化とその気象条件に対する関係とは既に菊池氏<sup>(1)</sup>によつて詳細に述べられている。イオン比に関しては青木博士<sup>(2)</sup>の最近の論文がある。更に電場と空間電荷との関係に就いては、特に高偏電場出現時に於ける空間電荷密度の変化の観測から、三崎氏<sup>(3)</sup>によつて詳細に論じられている。この報告では、柿岡に於ける小イオン数及び小イオン比の静穏時変化と、他の空中電気要素に対する小イオン数及び小イオン比の関係とに注目して、静穏日に於ける地表附近の空中電気的狀態を考察してみた。イオン数及びイオン比に対しては欠測のない静穏日の全毎時値が使用された。この様な日は4年間に98日あつた。気象条件と保守上の困難性とから、特に夏季の値は非常に少い。他要素との関係を取扱う場合には静穏日の中で両者共に欠測のない日だけが用いられた。

### § 2. 小イオン数の日変化と季節変化

第1図は小イオン数の月別日変化を示す。図から直ちに、冬季には明瞭な二重極大型の日変化をすることが認められる。早朝と日没後に極小が現われ、夜間と日中は高い値を持続する。然し

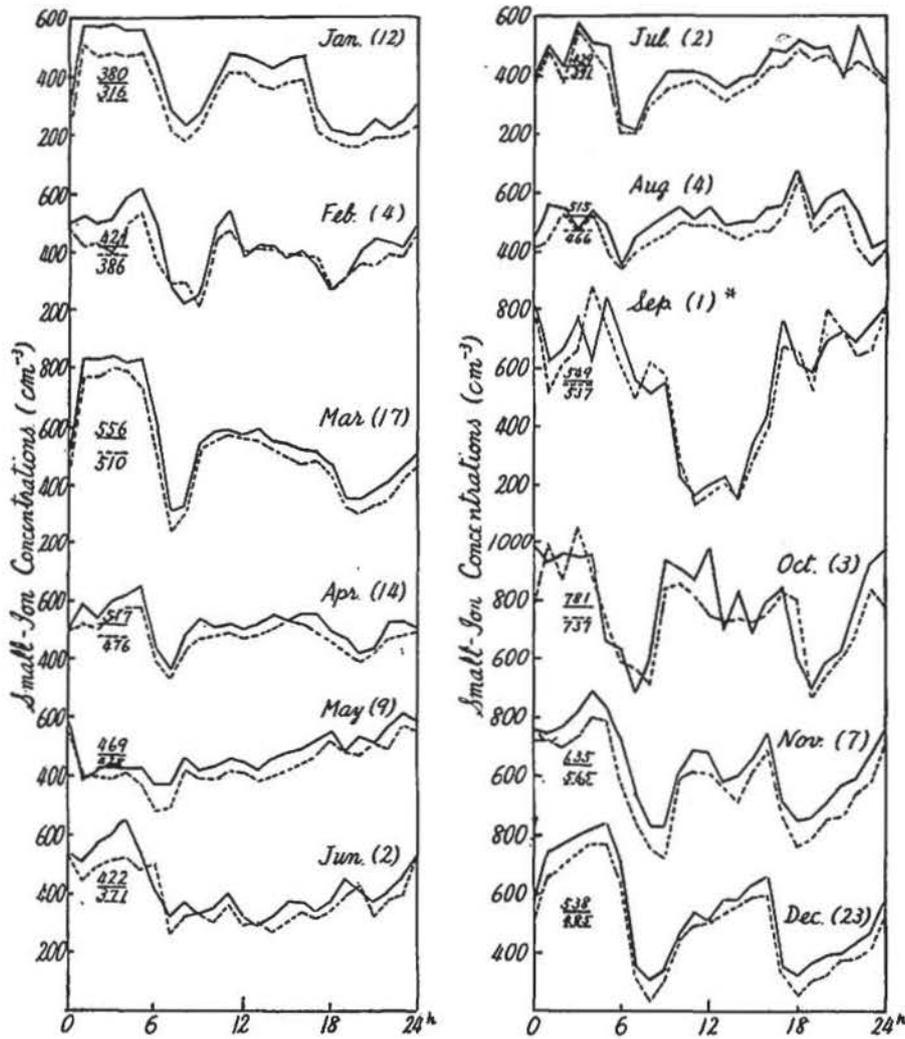


Fig. 1. Diurnal variations of the small-ion concentrations for each month. ( ): number of adopted days.

—  $n_1$ , - - -  $n_2$

\* Diurnal variation in September is abnormal, but the cause is not clear.

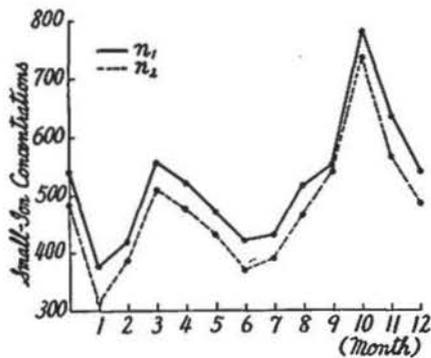


Fig. 2. Monthly mean values of the small-ion concentrations

この半日波の特徴は温暖季に近づくと共に次第に失われる。夏季の資料は少いから確定的な事を述べることは出来ないが、日変化の振幅の減少と共に冬季に示された特性も殆ど認め難くなる。早朝の減少と夜間の増加とは未だ存在するが、日中の増加と夕刻の減少とは次第に不明瞭になつてくる。特に昼間の極大の変形は著るしい。小イオン数の季節変化は第2図に与えられる。平均イオン数は冬季に小さく、特に春秋に大きい。

第3図は、比較の為に1931年から1953年迄の電場の静穏日月別日変化を表わす<sup>[4]</sup>。明らかに冬季と夏季の日変化の様子には相違がある。冬季は日出直後に一つの極大を有する明瞭な二重極大型の日変化を示すが、夏季には夕刻の極大が次第に衰退して寧ろ一日波に近い日変化を行う。又平均電場は冬季に最大となり、春

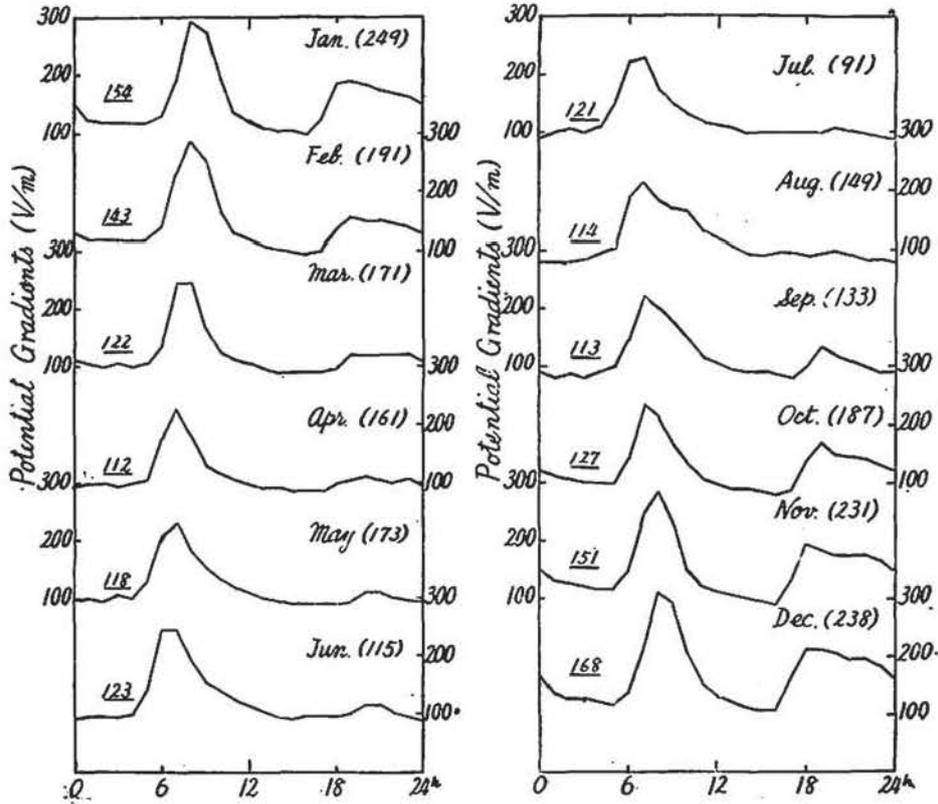


Fig. 3. Diurnal variations of the potential gradients for each Month. ( ): Number of adopted days.

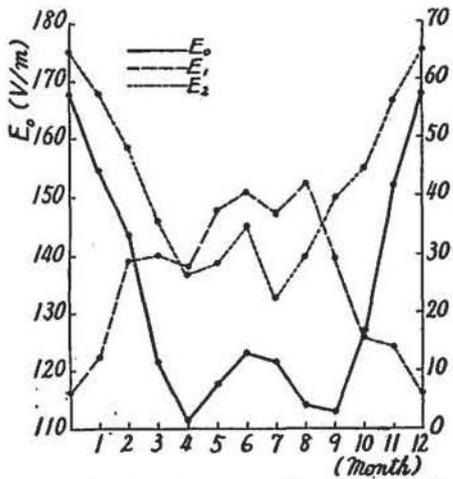


Fig. 4. Harmonic coefficients of the diurnal variations of potential gradients for each month.  
 $E_0$ : Monthly mean values,  
 $E_1$ : First harmonics,  
 $E_2$ : Second harmonics.

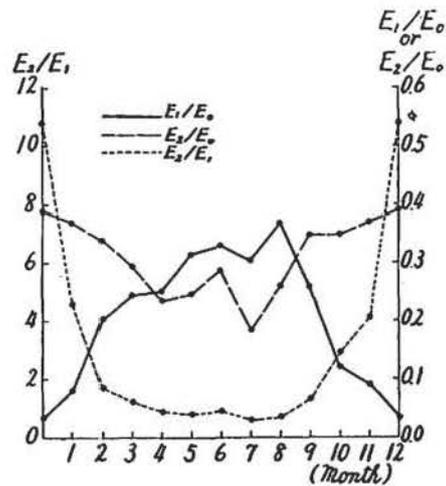


Fig. 5. Relations between the harmonic coefficients for each month  
 $E_0$ : Monthly mean values,  
 $E_1$ : First harmonics,  
 $E_2$ : Second harmonics.

秋に最も小さい(第4図)。第4図には又電場の月別日変化を調和分析した結果を図示する。一日波の振幅は夏季に向つて増大するが、半日波の振幅は却つて減少する。この関係は各振幅間の比をとつてみると一層明瞭になる(第5図)。イオン数の日変化に關してもこの関係を調べてみたが、特に夏から秋にかけての資料の不足の為に判然とした結果をうることは出来なかつたが、矢張り同じ傾向を持つ様である(第6図)。又小イオン数に於ける極小出現時の移動も電場の極大出現時の移動に略対応する様に見える。

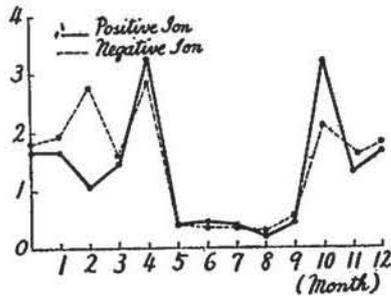


Fig. 6. Ratios of the first harmonics to the second of diurnal variations of small-ion concentrations for each month.

以上の結果から、著者の見解では、イオン数の日変化と電場の日変化との間には、かなり良い対応性があるということと、季節によつて之等の日変化を支配する原因の間に或る消長があるということが言える様に思われる。即ち、小イオン数の夜間に於ける増加は、日中下層大気中に存在した凝結核が相対湿度の増加によつて、其の上に水蒸気を凝結させることと、其の沈降とによつて失われること、及び Norinder and Siksnas<sup>[5]</sup> が指摘している様に、交換現象の停止により、地表面からの放射能物

質によつて電離された小イオンの地面附近への選択的堆積によつて惹き起されるものと考えてよい様である。前者は気柱抵抗を減少させ、後者は地面附近の伝導度を増大させる。又、早朝に於ける小イオン数の減少と電場の増大とは、下層大気中に於ける凝結核—特に燃焼生成物等—の急増によるものと考えられる。早朝の安定せる気層中では、此の核は地表附近にのみ堆積するであろう。昼間には交換現象の増大に伴い、下層大気中の抵抗が一様化する。此の作用は地表附近の抵抗を早朝に比して幾分減少させるであろう。夕刻の極小も亦、安定しつゝある気層中での凝結核の増加によるものと考えられる。冬季に比して、夏季には、交換現象の継続時間が長く、其の為に朝夕の凝結核の増加時にも、気層は余り安定しておらず、此の減少はそれ程顕著には現われないのであろう。兎に角、凝結核(大イオンを含む)の発生、消滅とその対流による輸送とが、静穏時に於ける下層大気の電氣的性質を特徴づける最大要因であることを疑うことは出来ない。之が又、電場とかイオン数に局所性を与える一つの理由である。然し両者間の関係を定量的に求めることは極めて困難であろう。更に、最近、L. Koenigsfeld<sup>[6]</sup> に依れば、気団の相異による平均電位傾度の差が観測されている。気団の発生地とその履歴とに依つて、気団の氣象的性質のみならず電氣的性質も亦影響を受けるであろう。従つて上述の平行的季節変化の原因の一つとして、其の季節に卓越する気団の特性を考えることも勿論可能であると思われる。

### § 3. 小イオン比の日変化と季節変化

既に、多くの人々によつて指摘されている様に、正負小イオン数の比は通常1より大きい<sup>[7][8]</sup>。

柿岡に於ける四年間の静穏時平均値は 1.16 である。此の小イオン比の値は日変化をする。其の変化は略電場の日変化に平行する。第 7 図は冬季、春秋、夏季及び年平均の小イオン比の日変化を表わす。一年を通じて早朝と夕刻おそくに極大が現われる。電場に於いては夏季夕刻の極大は余り明瞭ではないが、イオン比に就いてはかなり顕著である。特に冬季には、夕刻から夜半にかけての極大の方が早朝の極大よりも大きい様に思われる。此の日変化の様子は青木博士<sup>(2)</sup>の結果と一致しない。又極大の出現時は厳密には電場の極大に対応しない。特に、早朝の電場の増加時には、既に小イオンは極大に達しており、又減少時には寧ろ極小値を有する傾向がある。

小イオン比の値は、冬季に最も大きく、夏季特に春秋には小さくなる(第 8 図)。此の点も電場の季節変化に類似している。

§ 4. 小イオン数と小イオン比との関係

上記の結果から推測される様に、小イオン数が増加すると小イオン比が減少するという傾向がある。第 9 図に此の関係を図示する。又、第 1 表は此の図を要約したものである。青木博士<sup>(2)</sup>に依れば、小イオン数と小イオン比との間には、何等明瞭な関係は存在しなかつた。然し、此の報告では、概略的に小イオン数と小イオン比との間の反比例的關係を指摘することが出来るであろう。此の事は、後に述べる様に、小イオン比は、大体電場に平行して変化がするが、小イオンによる空間電荷は如何なる明瞭な日変化もせず、平均的にみれば正の一定値を有するということに対応する。

§ 5. 小イオン数と電場との関係

平均的狀態に於いて、小イオン数は略電場に反比例する。第 10 図及び第 2 表は此の関係を表わしている。此の図は、電場と小イオン数との対応毎時値を用い、便宜上電場を 20 v/m 毎に区分し、それに対応する平均イオン数を求

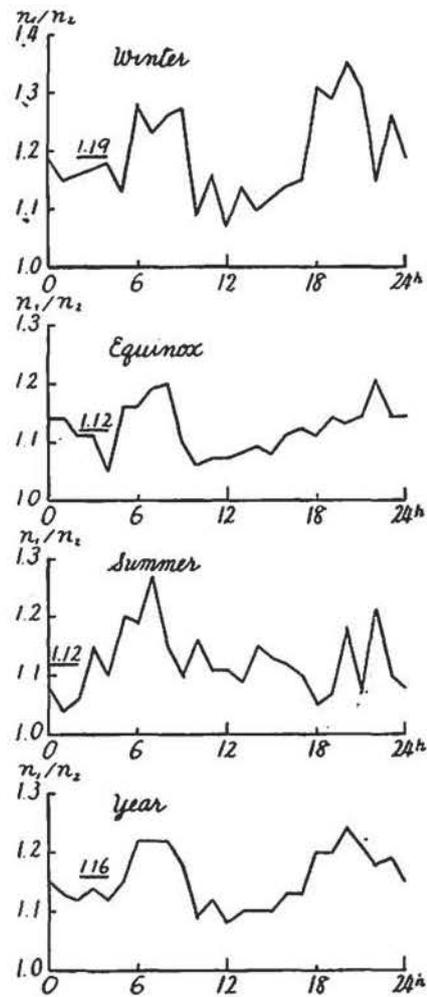


Fig. 7. Diurnal variations of the small-ion ratios for each season and year.

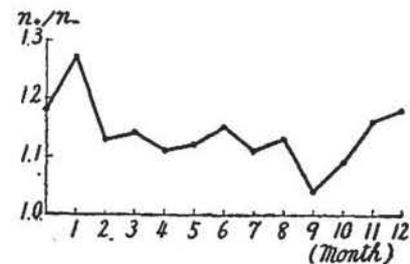


Fig. 8. Monthly mean values of the small-ion ratios.

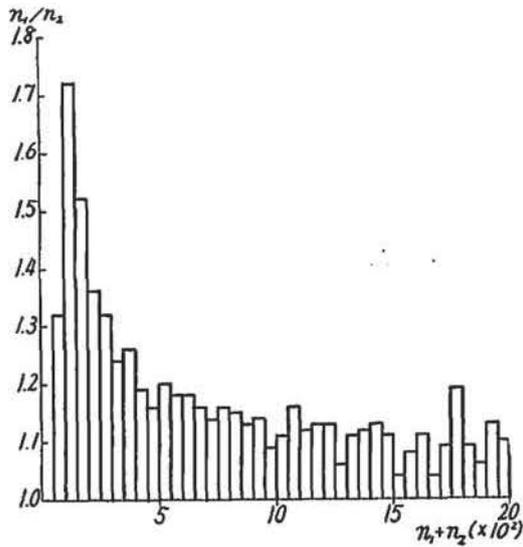


Fig. 9. Relation between the total small-ion concentrations and the small-ion ratios.

Tabl 1 Relation between the small-ion concentrations and small-ion ratios

Range of the total small-ion concentrations	Mean values of the small-ion ratios	Number of data
0 ~ 200	1.53	43
200 ~ 400	1.23	222
400 ~ 600	1.18	364
600 ~ 800	1.16	426
800 ~ 1000	1.13	375
1000 ~ 1500	1.12	513
1500 ~ 2000	1.09	213
>2000	1.06	145
Mean	1.16	2304

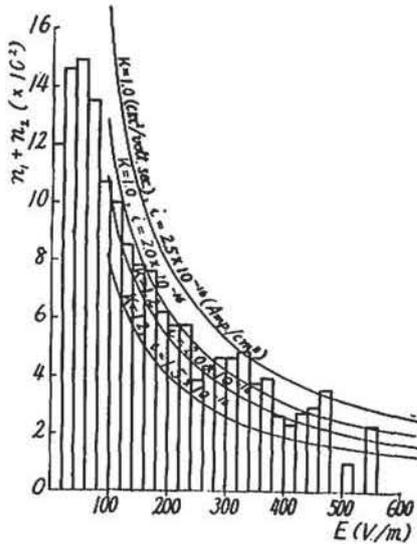


Fig. 10. Relation between the potential gradients and the total small-ion concentrations.

Table 2 Relation between the potential gradients and total small-ion concentrations or small-ion ratios.

Range of the potential gradients	Mean values of the total small-ion concentrations	Mean values of the small-ion ratios	Number of data
0~100	1266	1.11	814
100~200	351	1.16	846
200~300	494	1.27	201
300~400	409	1.27	45
400~500	296	1.37	10
>500	187	1.63	3
Mean	975	1.15	1919

めたものである。電場が非常に小さい場合 (40 v/m 以下) と非常に大きい場合 (400 v/m 以上) とは対応値の数が少い為に、余り良い関係を示さないが、中間の電場値に対しては、かなり明瞭な関係が認められる。我々は 1954 年夏季に、柿岡に於ける正負小イオンの平均易動度を伝導度と小イオン数との同時観測結果から概算した。其の結果に依れば、

$$K_1 = 1.01, \quad K_2 = 1.12 \quad (\text{cm}^2/\text{volt. sec})$$

である。此の易動度はまた日変化をする。其の値は夜半から早朝に大きく、日中に減少する。

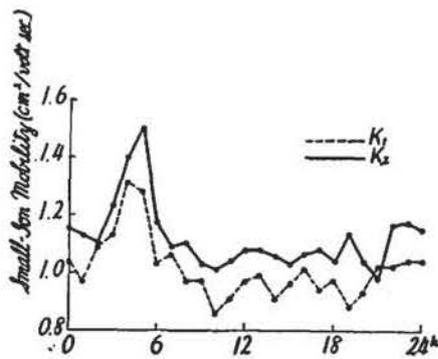


Fig. 11. Diurnal variations of the small-ion mobilities of both signs.

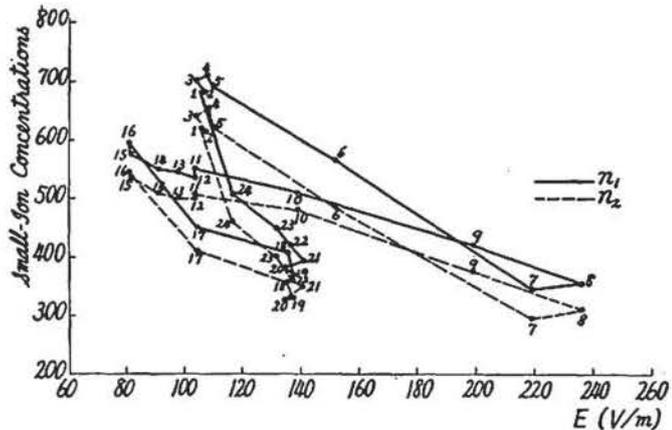


Fig. 12. Vector diagram showing the diurnal variations of potential gradients and small-ion concentrations for year.

第11図は、此の易動度の日変化を示す。第10図の曲線は、種々の垂直電流値と平均易動度とを仮定してえられる電場—イオン数曲線である。平均値から、静穏時には、垂直電流は約  $1.5 \sim 2.5 \times 10^{-16}$  Amp/cm<sup>2</sup> 程度であると考えられる。第12図は電場—小イオン数の日変化曲線を表わす。空地電流は一日周期の日変化をすることが判る（之は冬季、春秋に特に明瞭である）。易動度の日変化を考慮すれば此の傾向は一層強められるであろう。電流の極大は早朝に表われ、夕刻に極小に達する。此の電流の夜半から早朝にかけての増加は、夜間の気柱抵抗の減少にも依るが、それよりも汎世界的雷活動度の極大値に一致することが注目されるべきであろう<sup>[9][10]</sup>。結局、此の増加には地表と上層高伝導度層との間の電位差が或る役割を演じているものと考えられる。

§ 6. 小イオン比と電場との関係

小イオン比と電場との日変化の平行性に就いては既に述べた。此処ではその毎時値の対応性を調べてみた。其の結果は第13図に示される。之は又第2表に要約されている。恐らく、之は地表附近に於ける極作用の結果であろう。特に小イオン数が小さい場合を除いては、通常

$$n_1, n_2 \gg n_1 \sim n_2$$

であり、観測資料によると、 $n_1 \sim n_2$  は平均的には、常に一定の正値をとるから、

$$n_1/n_2 = 1 + \frac{A}{n_1 + n_2}, \quad A = 2(n_1 - n_2)$$

と書くことが出来る。又前節に依れば、平均的にみて、

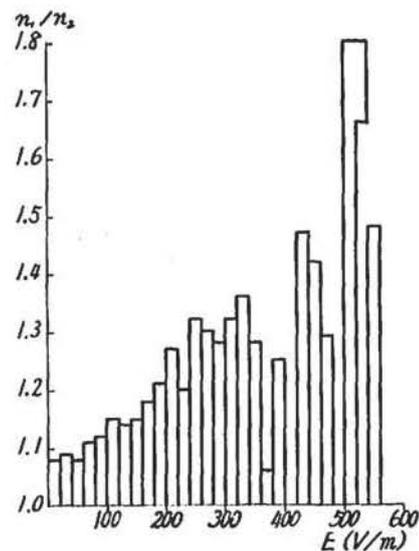


Fig. 13. Relation between the potential gradients and the small-ion ratios.

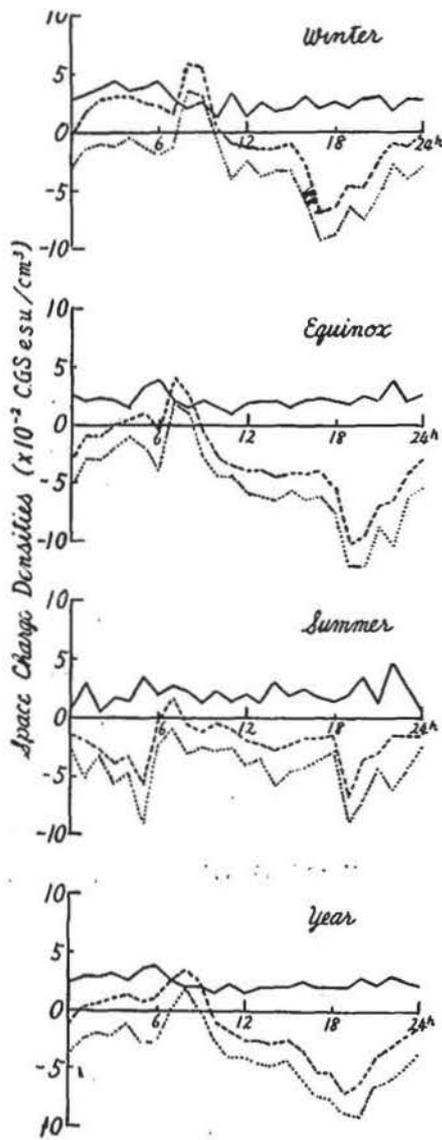


Fig. 14. Diurnal variations of the space-charge densities for each season and year.

- ..... Total space charge ( $\rho$ )
- Space charge due to small-ion ( $\rho_s$ )
- ..... Space charge due to large ion ( $\rho_l$ )

$$n_1 + n_2 \propto 1/E$$

であるから,

$$n_1/n_2 = 1 + B \cdot E$$

が成立つ。従つて、空地電流や易動度等を仮定すれば、イオン比は近似的に電場の一次函数として示されるであろう。

### § 7. イオン数と空間電荷との関係

柿岡に於いては、平均空間電荷は通常負である。然し、其の日変化には規則性があり、多くは早朝に正の空間電荷が観測される。第14図の破線は全空間電荷の日変化を表わす。同時に、夫々大イオン及び小イオンのみによる空間電荷も示されている。小イオンによる空間電荷は実測値であり、何等明瞭な日変化をしない。大イオンによる空間電荷は

$$e(N_1 - N_2) = \rho - e(n_1 - n_2)$$

から計算されたものである。但し、 $\rho$  は全空間電荷密度である。大イオンによる空間電荷密度  $\rho_l$  の平均値と小イオンによる空間電荷密度  $\rho_s$  の平均値とは、符号は別として、略同程度の大きさを有する。然し、 $\rho_s$  は  $\rho$  の日変化には余り寄与せず、 $\rho$  の日変化は主として  $\rho_l$  の日変化に依るものと考えられる。次に述べる様に、イオン平衡式より、

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = h \left(\frac{N_1}{N_2}\right), \quad h = \frac{\eta_{20} \cdot \eta_{21}}{\eta_{10} \cdot \eta_{12}}$$

が一般に成立つ。但し、 $\eta_{10}$ 、 $\eta_{20}$  は夫々正負小イオンと凝結核との結合係数、 $\eta_{12}$ 、 $\eta_{21}$  は夫々正負小イオンと反対符号の大イオンとの結合係数である。通常  $h$  は1よりも大きい。従つて、 $n_1 > n_2$  なる場合にも、必ずしも、 $N_1 > N_2$  ではない。唯、 $\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$

$> h$  なる場合に初めて  $N_1 > N_2$  になる。近似的に見れば、 $\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$  は略  $h$  に等しいから、 $\rho_l$  は

$$\rho_l = \frac{e}{2h} \left\{ \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 - h \right\} (N_1 + N_2)$$

として現わすことが出来る。従つて、 $\rho_i$  は大イオンの数と  $\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 - h$  との積に比例する。但し  $\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$  と電場とは互に無関係ではなく、既に述べた通り、 $\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$  は電場従つて略大イオンの数と共に増加する。従つて電場が大きくなつて、 $\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 > h$  に達した時に初めて  $\rho_i > 0$  となる。之は早朝の正空間電荷の出現を説明するのに都合が良い。又電場が余り大きくなく、 $\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 < h$  である場合には、たとえ、大イオン数は増加しても、 $\rho_i$  は相変わらず負値を取る。従つて、柿岡に於いて負の空間電荷が卓越するのは、小イオン数が割合に大きく、従つて小イオン比が小さく、一般に  $\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 < h$  となることによるものと考えられる。三崎氏<sup>[3]</sup> は  $h$  は 1 に等しいと仮定した。此の場合には  $n_1 > n_2$  ならば、必ず  $N_1 > N_2$  でなければならない。従つて空間電荷は常に正であることが期待される。観測された負空間電荷は雑音と見做されている。然し、之迄多くの観測者<sup>[7]</sup> が指摘している様に、 $\frac{n_1}{n_2}$  は 1 よりも大きな値を取るが、近似的に  $N_1$  は  $N_2$  に等しいという事実も無視出来ないであらう。

### § 8. 結合係数

各結合係数を求める為には、小イオン数の観測と同時に、大イオン数や凝結核の観測も行わねばならない。 $\frac{N_0}{N}$  の値に関しては種々の値が得られているが、 $10^3 \sim 10^4$  程度の凝結核の値に対しては多くは約 2.5 という値を取る様に思われる<sup>[7]</sup>。此の事実から、各結合係数値を概算してみた。計算には Whipple の関係式<sup>[7]</sup>を採用した。その結果、各係数は次式で表わされる。

$$\eta_{10} = \frac{4\pi e \left\{ K_2 \left( \frac{N_0}{N} \right) + K_1 \left( \frac{n_1}{n_2} \right) \right\}}{\left( \frac{n_1}{n_2} \right) \left\{ \left( \frac{N_0}{N} \right)^2 - 1 \right\}}$$

$$\eta_{20} = \frac{4\pi e \left\{ K_2 + K_1 \left( \frac{n_1}{n_2} \right) \left( \frac{N_0}{N} \right) \right\}}{\left( \frac{N_0}{N} \right)^2 - 1},$$

$$\eta_{12} = \frac{4\pi e \left( \frac{N_0}{N} \right) \left\{ K_2 + K_1 \left( \frac{n_1}{n_2} \right) \left( \frac{N_0}{N} \right) \right\}}{\left( \frac{n_1}{n_2} \right) \left\{ \left( \frac{N_0}{N} \right)^2 - 1 \right\}},$$

$$\eta_{21} = \frac{4\pi e \left( \frac{N_0}{N} \right) \left\{ K_2 \left( \frac{N_0}{N} \right) + K_1 \left( \frac{n_1}{n_2} \right) \right\}}{\left( \frac{N_0}{N} \right)^2 - 1}.$$

今  $\frac{N_0}{N} = 2.5$  と仮定し、又上記の平均易動度、平均イオン比を用いれば、

$$\eta_{10} = 1.18 \times 10^{-6},$$

$$\eta_{20} = 1.40 \times 10^{-6},$$

$$\eta_{12} = 3.01 \times 10^{-6},$$

$$\eta_{21} = 3.43 \times 10^{-6},$$

となる。

## § 9. 結 論

イオン数の観測は測定装置自身の性質及び保守上の困難性から種々の誤差が生ずる。又正負小イオン数は、厳密には同時に観測されていない。更にイオン数は瞬時値として観測されず、柿岡では、6分間の平均値として観測される。以上の諸点から、余り正確な値を期待することは出来ないが、結果として、次の様なことが言える様に思われる。

1. 静穏時に於ける正負小イオン数の年平均値は夫々  $n_1=516$ ,  $n_2=467$  であつた。其の日変化及び季節変化は電場の変化に略対応する。即ち、電場の増加は小イオン数の減少に、電場の減少はイオン数の増加に伴う。両者の関係は交換現象を考慮して初めて完全に説明出来る様になるものと思われる。
2. 通常正小イオン数は負小イオン数より大きい。小イオン比の年平均値は約 1.16 である。此の小イオン比は日変化と共に季節変化も行う。之等の変化は大體電場の変化に平行する。之は主として、地表附近に於ける極作用の結果であろう。静穏日日変化程度の弱い電場に於いても、此の関係は明らかに認められる。
3.  $\frac{n_1}{n_2}$  はかなり変化するが、小イオンによる空間電荷は殆ど一定の正の値を示す。又  $\frac{N_1}{N_2}$  は 1 に近く、大イオンによる空間電荷は、小イオンによる空間電荷と同じ程度の大きさを持つが、イオン平衡式から期待される様に、日変化をし、通常は負の値を取ることも稀ではない。
4. 柿岡に於ける地表附近の負の空間電荷の卓越と、其の日変化の様子とは、上記のイオン比の日変化から想像出来る。一般に、凝結核の少い田舎では、此の様な現象が見られるのではなからうか。

終りに臨み、終始御指導と御鞭撻を賜りました吉松所長並びに横内地球電気課長に厚く御礼申し上げます。更に屢々有益なる御助言を賜りました電気課員諸氏に衷心より謝意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 菊池繁雄, 地磁気観測所要報, 第7巻, 第1号 (1954).
- (2) 青木敏男, 加藤敬二, 電気試験所彙報, 第18巻, 第8号 (1954).
- (3) 三崎方郎, 地磁気観測所要報, 第6巻, 第2号 (1953).

- (4) 柿岡地磁気観測所報告, 第八冊, 第九冊, 第十三冊, 第十五冊, 第十八冊
- (5) H. Norinder, and R. Siksna Arkiv för Geophysik, Bd. 1, Heft 10 (1950).
- (6) L. Koenigsfeld, Thunderstorm Electricity, Chapter III (1953).
- (7) J. A. Chalmers, Atmospheric Electricity, Chapter III (1949).
- (8) G. R. Wait, Compendium of Meteorology, Atmospheric Electricity, Ions in the atmosphere (1951).
- (9) H. Israël, G. Labmeyer and H. W. Kasemir "Studien über das Atmosphärische Potentialgefälle," I ~ VI, Terr. Magn., Vol. 53 (1948); Ann. d. Geophys., t. 5, (1949); Journ. Atmosph. Terr. phys., Vol. 1 (1950); Arch. Met. Geophys. Biokl., A, Bd. 3 (1951); Bd. 5 (1952).
- (10) H. Wichmann, Das Gewitter, 3. Gewittertheorie, 6) Gewitterprobleme (1950).