

【論文】

磁気浮上電極電離箱を用いた空気イオン計測

一木博文*¹, 二神光次*¹, 川口俊郎*¹, 福田隆*², 宇都宮慶智*², 惟永和人*²

Measuring ion in the atmosphere with magnetically levitated ionization chamber

Hirofumi Ichiki, Koji Futagami, Toshiro Kawaguchi, Ryu Fukuda, Yoshitomo Utsunomiya,
Kazuhiro Korenaga

Abstract: We developed the high sensitivity magnetically levitated ionization chamber and are measuring the amount of ion in the atmosphere with high precision. This system is used to detect the amount of ion exactly without environmental gamma ray. Although the resolution of a common ion measuring instrument is about 10 cm^{-3} , with the magnetically levitated ionization chamber which we developed, about 1 cm^{-3} .

Keywords: Magnetically levitating equipment, Measurement of ion in the atmosphere, environmental gamma rays,

1. 序論

空気イオンは自然現象または人工的な作用により大気中に発生した正または負の電荷を帯びた原子・分子のことである。

この空気イオンが動植物をはじめ細菌・微生物にまで及ぼす生化学的な作用については、数多くの研究がなされており、人間のストレス低下や美容のための研究も行われている。

さらに、最近では地震活動の把握にもマイナスイオン計測の重要性が検討されている。^{1), 2)}

これらの空気イオンの効果を確証する上で、その発生量を正確に測定することは、定性的な評価から定量的な評価へとステップアップするために大変重要となってくる。

空気イオンは直接その発生量をカウントすることは出来ず、電気的方法でイオンを捕捉し、集まった電荷量の総和を電流や電圧として測定し、イオン発生量に換算する方法が主に用いられている。

代表的なイオン計測方法として「ゲルディエン法

」が挙げられる。これは捕獲したイオンを電流として高抵抗素子に流し、素子間に発生した電圧をイオン電流に換算する方法である。この方法では瞬間的に流れるイオンを捉えることが出来るが、回路ドリフトによるノイズ、リーク電流の影響が大きい。また測定値には、環境 γ 線(バックグラウンド)による電離気体分が含まれ、微小計測になるほどその影響が大きくなってしまふ。

我々は、磁気浮上の技術を用いて、高感度の磁気浮上電極電離箱を開発し、上記の課題を解決した。

一般のイオン計測器の分解能はおよそ 10 個/cm^3 であるのに対し、この磁気浮上電極電離箱ではおよそ 1 個/cm^3 でも十分測定できる。

2. 電離箱による測定

2.1 従来のイオン測定方法

従来のイオン計測方法の原理を図1に示す、尚ゲルディエン法は中空円筒型コンデンサを用いるが、説明のために簡略化した図とした。

(1) 計測容器内部に一对の電極を設け、一方が正、他方が負となるように高電圧を印加する。

*1: 工学部電気工学科

*2: 工学研究科電気工学専攻

- (2) 容器内に空気イオンが侵入すると、負電荷は正電極、正電荷は負電極に捕獲される。
- (3) 捕獲された電荷が電流として抵抗に流れることにより、抵抗両端に電圧が発生する。

- (4) 発生した電圧をエレクトロメーターで計測し、イオン電流に換算する。

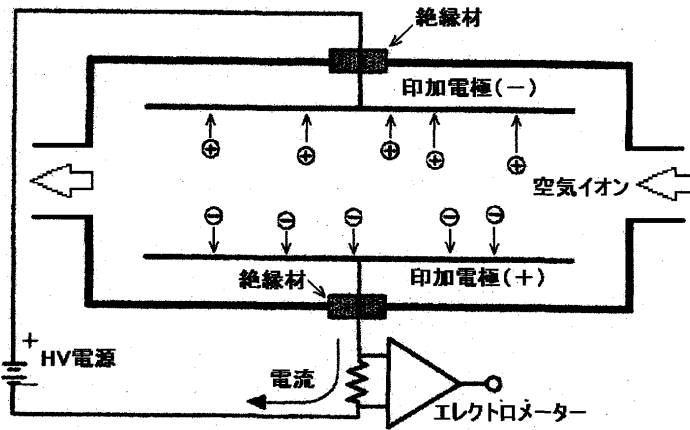


図1 ゲルディエン法によるイオン計測

2.2 従来のイオン計測の課題

この方法では印加電極が絶縁体で支持され、抵抗に流れた電流を単位時間に電極で捕獲された電荷として計測している。そのため、電極を絶縁性の高い物質で保持しても、あるいは高感度のエレクトロメーターを用いても、絶縁材からのリーク電流、電圧増幅回路のドリフトによって生じるノイズ、計測容器内に侵入した環境γ線により電離したイオン電流が計測値に含まれるため、信頼性の高い正確な計測ができなかった。

2.3 磁気浮上電極電離箱の開発

我々は、磁気浮上装置を用いて電荷収集電極を完全に浮上させることにより、リーク電流の影響を解消した(図2)。

浮上させた電荷収集電極に電荷を帯電すれば、

電極上の電荷は外部にリークすることなく保たれ、電離作用で発生した電子捕獲によってのみ、電極の電荷が減少する。

磁気浮上電極を適用した電離箱によるイオン計測方法は、以下のとおりである。

- (1) 電離箱内部に電荷収集電極を浮上させ、正電位(正電荷)を与える。また、電離箱内面には、導電性のあるカーボンを塗布し、接地した。(①)
- (2) 電離箱内部に電子またはマイナスの電荷を帯びた気体が侵入すると、電荷収集電極に捕獲される。(②)
- (3) 電子が捕獲されると電極表面の電荷が相殺され、電荷量が減少するので、その電荷量を計測し、イオン電流に換算する。(③)

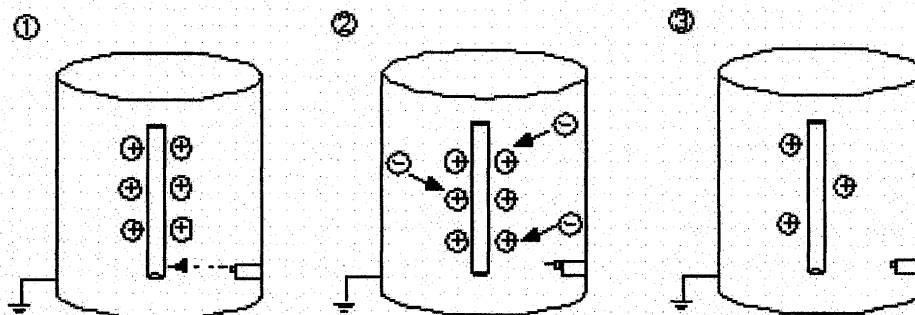


図2 磁気浮上電極電離箱によるイオン計測方法

2.4 ファラデーケージによる完全非接触化

リーク電流の影響を取り除くためには測定も日接触で行う必要がある。我々はファラデーケージを用いて静電誘導の原理で、浮上している電極から完全に非接触で電荷を計測した。これにより、回路ドリフトの影響も解消した。

図3はファラデーケージを用いた計測方法である。

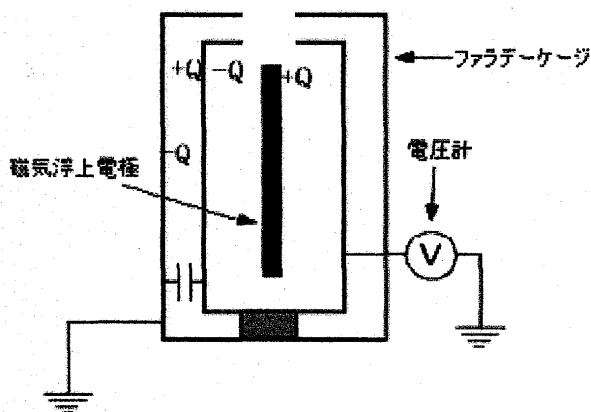


図3 ファラデーケージによる電極電荷の計測

+Q (C) に帯電した磁気浮上電極をファラデーケージで覆うと、ファラデーケージ内面に -Q (C) の電荷が誘導される、その電荷 Q は、ファラデーケージの容量を C (F)、電圧計の指示値を V とすると、 $Q = C \cdot V$ により求められる。³⁾

次に電離箱内で発生、または電離箱内を通過した電子が電極に捕獲され、t (sec) 後に Q' (C) に減少したとすると、1 秒間に発生または通過した電子の総数 N は、電子素量 e (C) を用いて、以下の式で表される。

$$N = (Q - Q') / (e \cdot t) \dots\dots(1)$$

計測するイオンが 1 荷なら、上式の N はイオン量となる。

3. 磁気浮上装置およびそれを用いたイオン計測装置の構成

磁気浮上装置全体を図4に示す、装置は電離箱、電磁石、赤外線 LED、受光ダイオード、電子回路、ファラデーケージ及び昇降装置より構成される。電磁石、赤外線 LED および受光ダイオードは電荷収集電極を一定の位置に静止させるために用いる。

電極の上端が赤外線 LED からのビーム光を一部さえぎることにより、受光ダイオード側で電極が静止位置にあることが確認される。電極が静止位置より上方向または下方向に微動すると、受光ダイオードの受光量が減少または増加するため、それに応じて電磁石の吸引力を減少または増加させる。

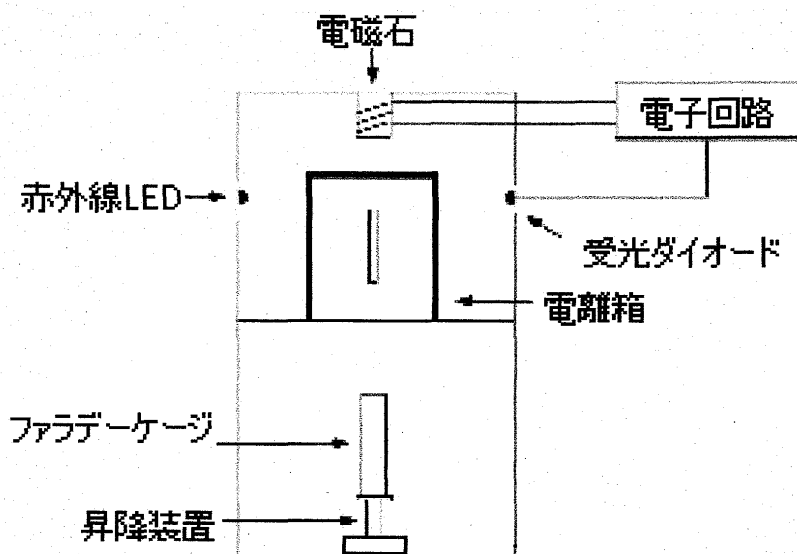


図4 磁気浮上電極電離箱イオン計測装置

静止位置に保持された磁気浮上電極に対し、昇降装置によりファラデーケージを上昇させ、電極を下部から覆いかぶせることにより、電極表面の電荷量をもれなく計測する。また、ファラデーケージ上部には、ビーム光を遮ることがないようにスリットを入れ、電極を上端まで覆いながら計測する。(図5)

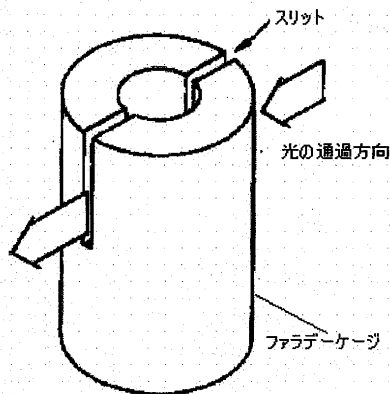


図5 スリットを設けたファラデーケージ

コンピュータを用いて、ファラデーケージ昇降機の上昇・下降、一定間隔でのファラデーケージ電圧の計測から電極電荷の計算、電離電流への換算、及びそのデータ保存など一連の作動と測定を自動的に行うことにて、長時間連続計測を可能にした。³⁾

この方法を用いた測定結果を図6に示す。

磁気浮上電極電離箱を用いて計測したイオン電流は、環境 γ 線により電離箱内の気体が電離することにより発生したイオン電流のみで 7.4×10^{-15} A となった。電離箱体積が約8 Lであることを考えると電離箱内の気体1 ccあたり約5.7個のイオンが発生したことになる。

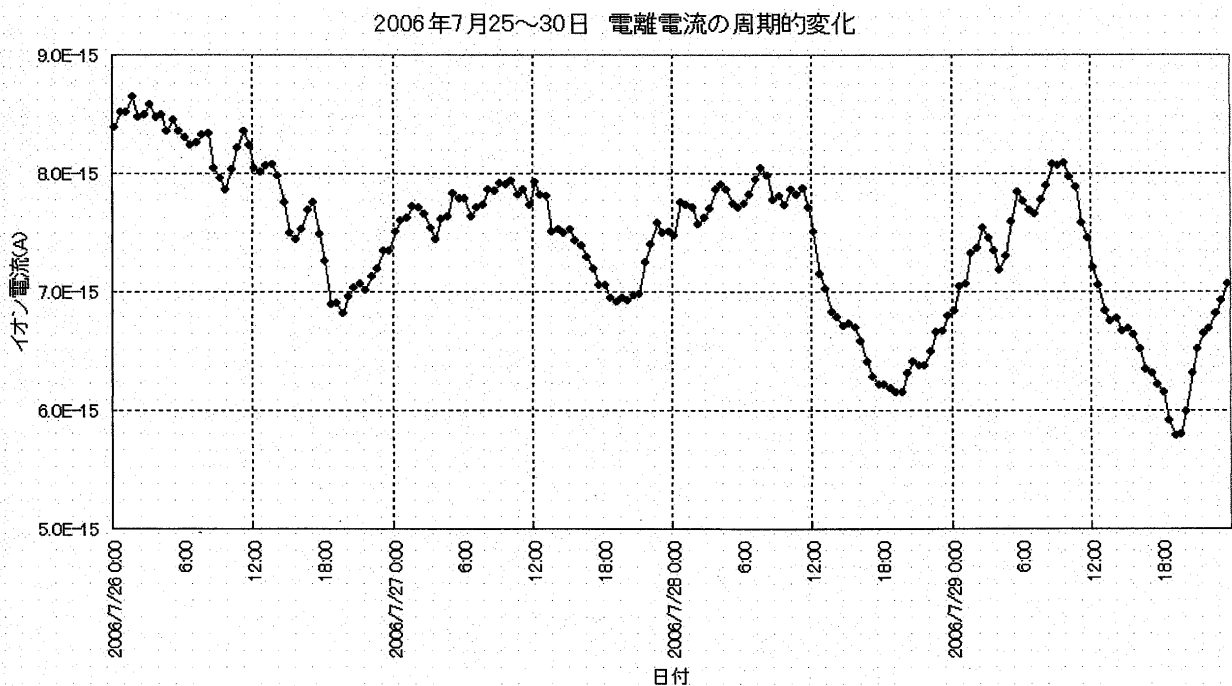


図6 電離電流の周期的変化

4. 磁気浮上イオン計測装置を用いた大気中のイオン測定。

4.1 大気イオン計測システム

図6のグラフより、大気中のバックグラウンド(環

境 γ 線)を計算すると、約 $0.09 \mu\text{Sv/h}$ である。

この装置を用いて、大気中にごく微量存在するイオンが可能か否かを確認するため、同じサイズの磁気浮上電極電離箱を複数台用意し、おのおの別の条件で計測した(図7)。

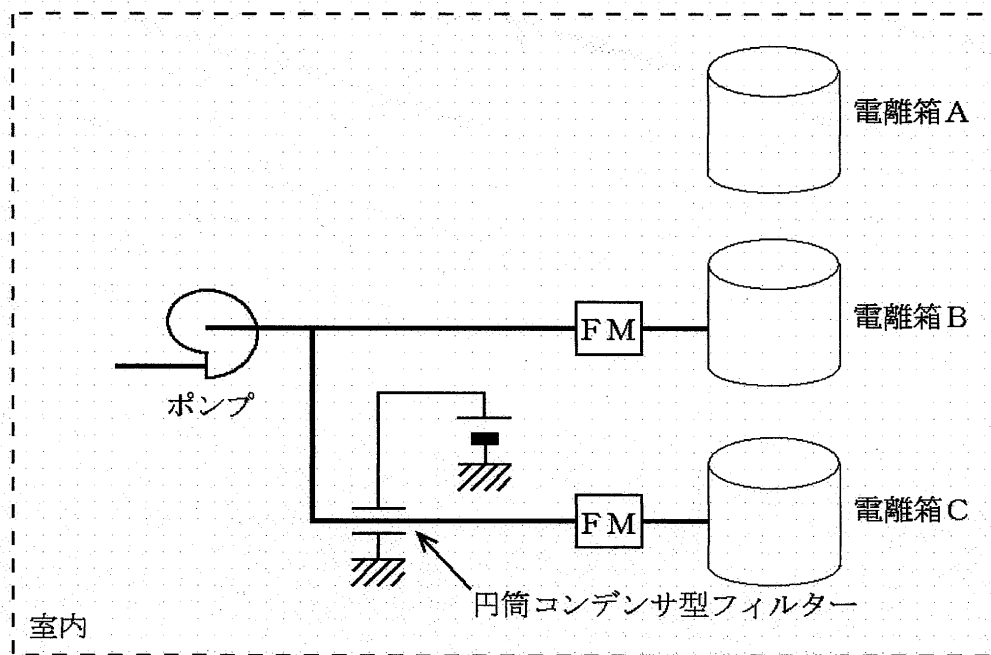


図7 電離箱による外気イオン計測

1台は外気を電離箱内に導入せず、環境 γ 線による電離イオンのみを計測する(電離箱A)。

残りの2台はポンプで室内の空気を吸入し、うち1台はそのまま電離箱Bへ、残りの1台は高電圧(約1kV)を印加した中空円筒型コンデンサ内を通過させた後電離箱Cへ導入した。

この3台の磁気浮上イオン計測装置を同じ場所で同一時刻に計測することで、計測場所内に存在するバックグラウンドにより電離した気体の量と共に、①外気に含まれるバックグラウンドにより電離した気体の量、②外気に含まれるイオン量、をA、B、Cそれぞれの差をとることにより計測できると

考えられる。

円筒コンデンサ型フィルターは外径30mm、長さ300mmの中空アルミ製パイプの内部に太さ1mmの銅線を通し、絶縁物で固定する構造とし、その銅線に1kVの高電圧を印加した。また、銅線を支える絶縁物に穴を開け、コンデンサ内にポンプからのエアが流れるようにした。(図8)

このフィルターにより、エアに含まれるマイナスイオンや電子は確実に除去され、 R_n 等の環境 γ 線を発生する物質を含む粒子を電離箱内に吸引することで、その粒子からの γ 線により電離したイオンが計測されることが考えられる。

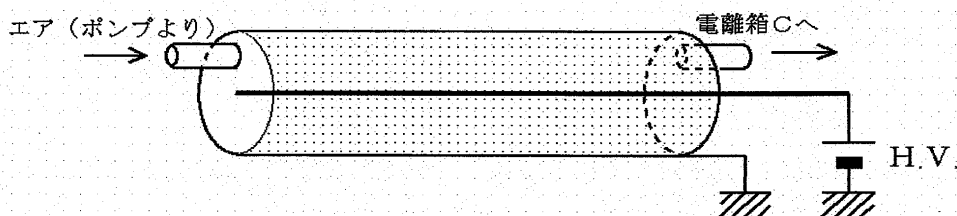


図8 円筒コンデンサ型フィルター

4.2 3台同一条件での測定

まず、ポンプ、イオンフィルターを稼働させず、電離箱A~Cを同じ条件で計測し、同じ傾向を示すかどうかを確認した。(図9)

ここで縦軸はイオン電流、つまり1秒間に磁気浮上電極に付着したイオンの電荷量で、実測値を3点零時平滑化した値である。

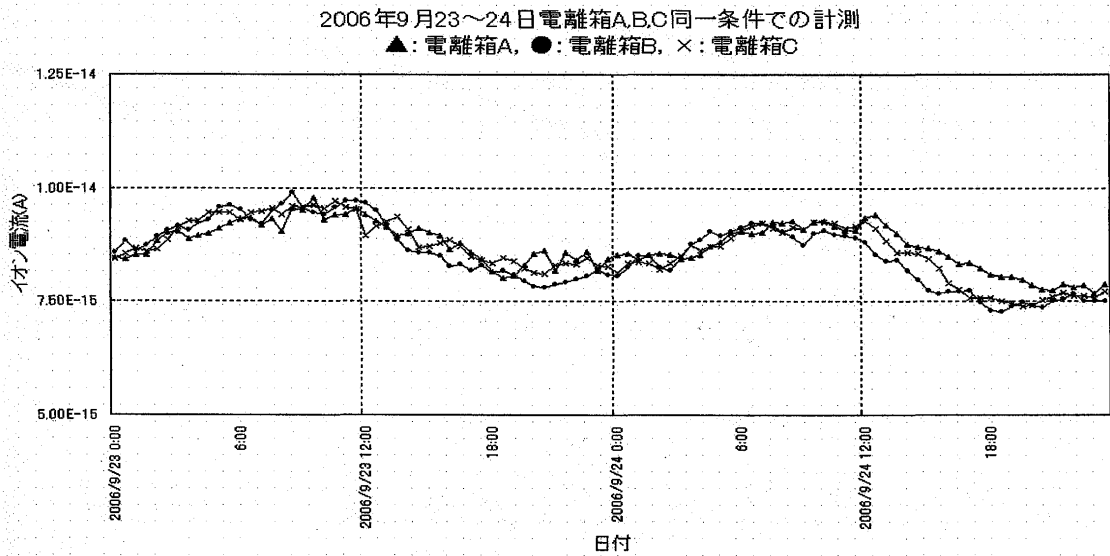


図9 電離箱A・B・Cを同一条件で計測した結果

各実測値と3点零次平滑化した値との差(偏差)は、その標準偏差 σ の2倍以内(95.4%の信頼性)に収まっていることから、統計学上平滑化した値を実測値と同等と考えて差し支えないと考えられる。⁴⁾

3つのグラフを比較すると、各時間における差は平均2%程度で、時間的な傾向は一致している。

また、平均値はそれぞれ電離箱A： $8.55 \times 10^{-15}A$ 、電離箱B： $8.66 \times 10^{-15}A$ 、電離箱C： $8.73 \times 10^{-15}A$ と±1%の差となっていることからこれらは、バツ

クグラウンドの影響を計測した結果と考えられる。

4.3 外気イオン測定結果

次に、外気イオン及びマイナスイオン発生器による電離箱A, B, Cの変化を測定した。(図10) このグラフは室内エアを循環させ(領域I)、24時間後にイオンフィルター稼動(領域II)、さらに24時間後にマイナスイオン発生装置を稼動させた場合(領域III)の計測結果である。

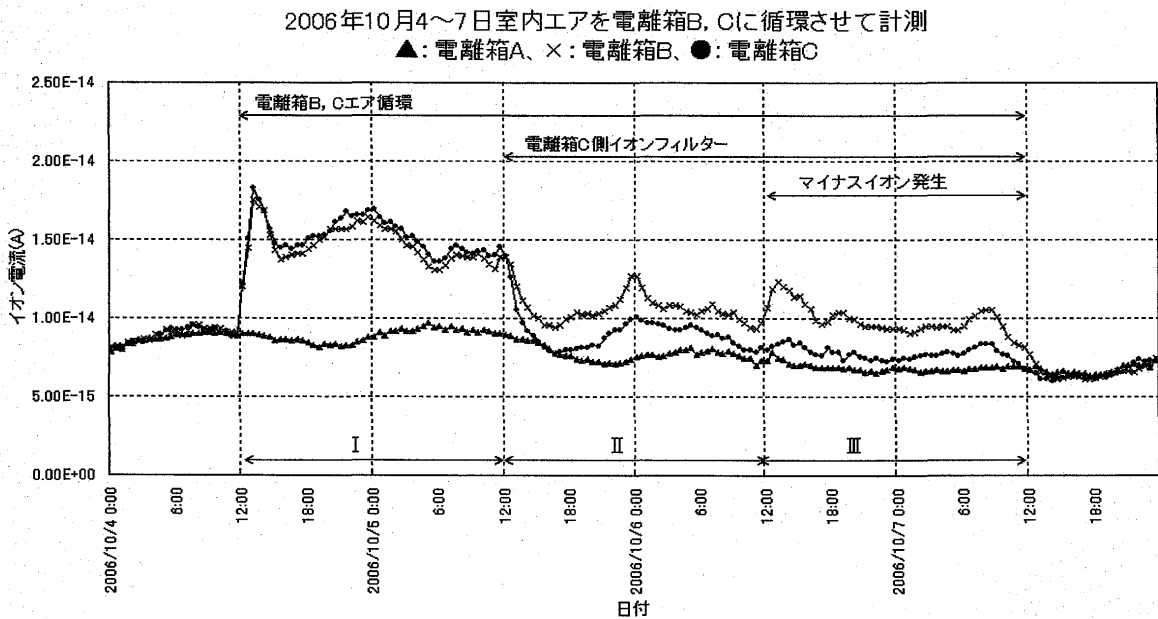


図10 電離箱A,B,Cの計測結果

電離箱B, Cの計測結果は絶対量は異なっているものの、時間的に同じ変動を示している、この両者

の差を図11に示す。

2006年10月4～7日室内エアを電離箱B, Cに循環させて計測
電離箱B, Cの差

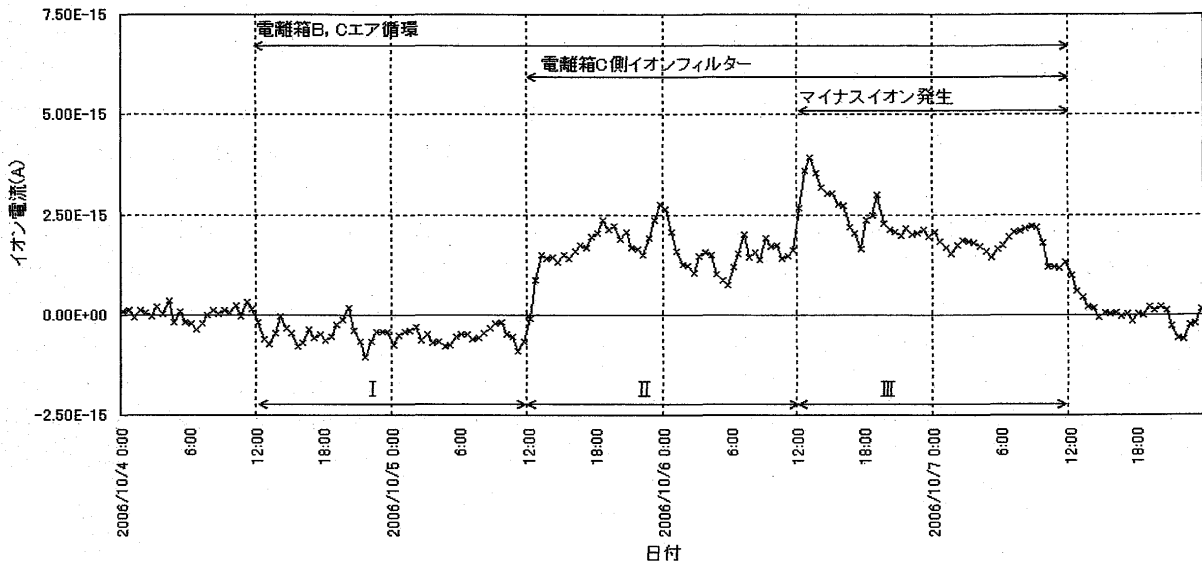


図 11 電離箱 B, C の計測結果の差

領域Ⅱでは、イオン電流の差は平均 $1.7 \times 10^{-15} \text{A}$ となり、領域Ⅰと比べ、約 $2.3 \times 10^{-15} \text{A}$ の差が見られる。この値は循環エアに含まれるマイナスイオンを計測したものと考えられる。

また、領域Ⅲでは最初だけイオンが著しく計測さ

れているものの、徐々に計測値が低くなっている。これはマイナスイオン発生装置に見られる特徴だと考えられる、平均で $2.6 \times 10^{-15} \text{A}$ の差が見られる。

次に、電離箱 A, C の値の差をとったグラフを図 12 に示す。

2006年10月4～7日室内エアを電離箱B, Cに循環させて計測
電離箱A, Cの差

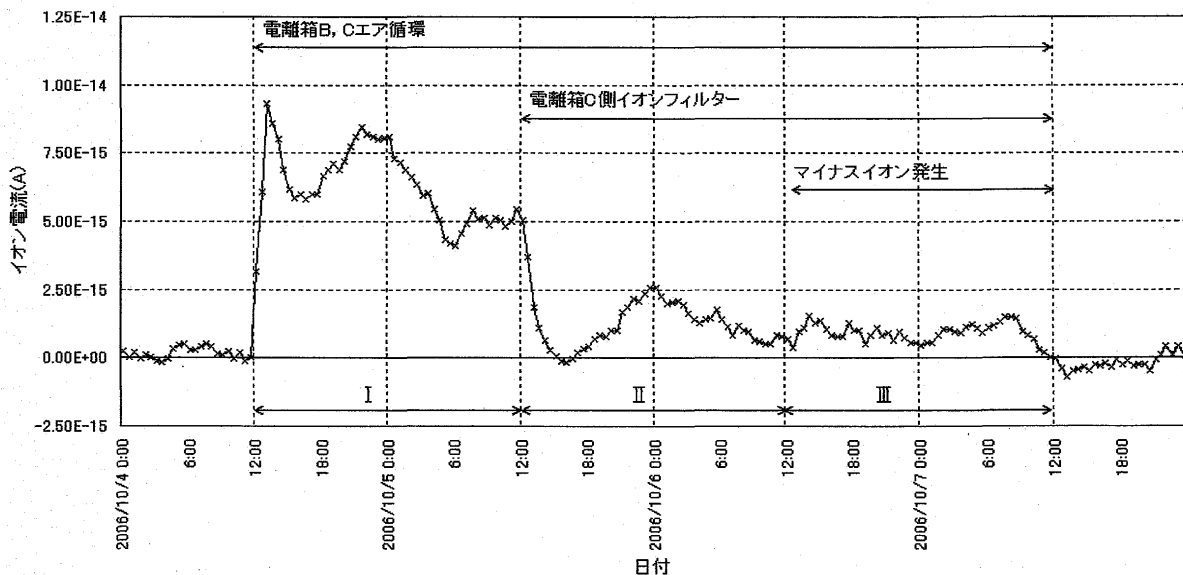


図 12 電離箱 A, C の計測結果の差

領域Ⅰの平均値は $6.4 \times 10^{-15} \text{A}$ で、この値は室内のイオンと室内に浮遊する微粒子に含まれるラドン

(Rn)等からの環境 γ 線により電離したイオンの合計値と考えられる。

領域Ⅱの平均値は $1.2 \times 10^{-15} \text{A}$ 、領域Ⅲの平均値は $9.2 \times 10^{-16} \text{A}$ と近い値を示す、これは環境 γ 線の影響によるものと考えられる。図 11 の領域Ⅰと領域Ⅱの平均値の差は約 $5.2 \times 10^{-15} \text{A}$ で図 10 の領域Ⅰ、Ⅱの差と同様に循環エアに含まれるマイナスイオンを計測したものと考えられるが、値が 2 倍以上の差がある、これについては今後検討していく。

5. 結論

我々は、磁気浮上電極電離箱が外気に含まれるイオン及び、外気中の環境 γ 線により電離するイオンを極めて高精度に計測を行うことができることを確認した。今後は、計測値の解析・評価を行い、より正確な大気中のイオン計測技術を構築すると共に、マイナスイオン効果や地震予知のための定量的な評価に結び付けていく。

文 献

- 1) 琉子友男, 佐々木久夫編著「空気マイナスイオン実用ハンドブック: バイオ・農畜産・医療・環境生理」人間と歴史社, 2003.10
- 2) 琉子友男, 佐々木久夫編著「空気マイナスイオン応用事典」人間と歴史社, 2002.4 P121-125
- 3) 川口 俊郎「磁気浮上電離箱とこれを用いた低レベル放射線自動計測システムの開発に関する研究」九州大学博士論文(2003)
- 4) Glenn, F. Knoll, Radiation Detection and Measurement (Third Edition), pp94-96, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, N.J. (1999)