

## 箔検電器の自然放電特性

投稿

Natural release of the electric charge on the leaf electroscope

森 千鶴夫

Mori Chizuo

## 1. はじめに

箔検電器は中学校や高等学校の理科実験室には必ず備えられていて、摩擦静電気の実験等に大いに活用されている。箔検電器の歴史は極めて古いが、放射線との関係では、ベクレルが自然放射線を写真乾板で発見して以来、ローリツェン検電器を箔検電器の一種とすれば放射線・放射能強度の測定に、70年ほど前まで使用されていた。

箔検電器の箔が自然に閉じて行く特性、すなわち自然放電特性は地上の自然放射線によることが早くから知られていて、エッフェル塔の上では閉じる速度が遅くなるのではと予想した実験もある。したがって、この自然放電特性はかなり詳しく検討されていると思われるが、外国の古い学術雑誌を詳細に調べればともかく、インターネットによる調査程度では見かけないようである。

筆者は箔検電器を用いて、クルックス管から放出されている X 線の線量率の測定<sup>1)</sup>、コロナ放電の

測定<sup>2)</sup>等いろいろな理科実験を試みてきたが、箔検電器で大気中の放射線量の測定を行った報告<sup>3)</sup>もあり、今回、少し詳しく箔検電器の自然放電特性を実験的に調べた。今までに気付いていたことではあるが、箔検電器が置かれている部屋等の状況によって自然放電特性は大いに異なり、やや興味のある実験結果が得られた。箔検電器を使う場合の参考になるのではと思い、報告させていただくことにした。

## 2. 実験装置

## 2.1 箔検電器と測定箱

箔検電器をいろいろな環境下に置いて測定したが、環境の1つとして、図 1A に示すように段ボールの測定箱の中に入れ、蓋を閉じて測定した。箱の内部の大きさは 24 cm×31 cm×36 cm である。図 1B は内部の拡大図で、箔検電器は市販品の Shimazu LE-1 である。図 1C は箔の開き角を外部分か

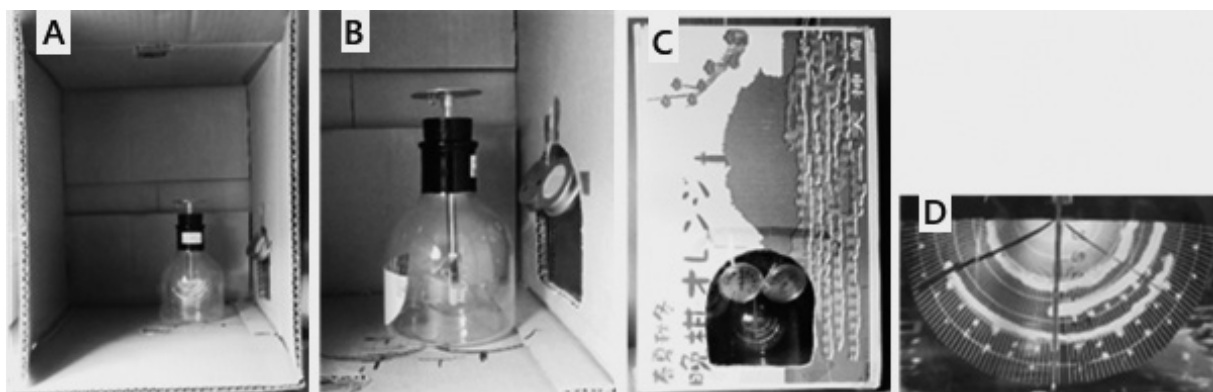


図 1 A：段ボールの測定箱の内部，B：内部の拡大図，C：外部からの観測窓，D：箔の開き角を読み取る目盛り紙と箔

ら測定する窓で、箱の側面に穴を開け、窓に透明なフィルムを張った。内部に温度計と湿度計を入れた。図1Dは箔の開き角を読み取るための半円形の角度目盛り紙で、箔検電器のガラス瓶の側面に貼った。角度目盛りの最小値は1度である。箔の開き角を読み取る場合には、視線が箔の支点と角度目盛りの中心を同一の水平線上にくるように、また、電極の垂直線と目盛り紙の角度0の線を合わせるようにすることが大切である。

## 2.2 使用した他の小物品

箔検電器に荷電するアクリル樹脂板、塩化ビニールパイプ、摩擦する布、自然起源放射性物質(NORM)(カンテラの芯に $^{232}\text{Th}$ を含浸させているマントル線源、人形峠の土を入れたレンガで健康グッズのDoll stone線源)、ストップウォッチ、懐中電灯等である。そのほか、箔検電器の充電特性の測定に直流高電圧電源ORTEC 556Hを、箔検電器の静電容量の測定にマルチメータSANWA PM3を用いた。

箔検電器の上部の円形電極へ正あるいは負の電荷を与えて(荷電して)箔を開かせた。負の電荷の荷電には塩化ビニールのパイプを、正の電荷の荷電にはアクリル樹脂の板をそれぞれ布で摩擦して箔検電器の上端の円形電極に触れることによって行った。箔の開き角を最初60度にするには、まず60度以上に開かせ、A4サイズの紙を縦に半分に切り、更に半分に折って縦長にした紙の一端を持って、他端を瞬間的に軽く電極に触れ、開き角を徐々に減少させることによって行った。

箔の開き角の減少の測定は、測定箱の中で、あるいは個人的に“実験室”と称している室内や台所において、扇風機、電気温風機やガスストーブを作動させた状態等でも測定した。

## 3. 実験結果

### 3.1 箔検電器の充電特性

箔検電器の上部の円形電極に直流高電圧電源ORTEC 556Hを用いて印加した電圧と箔の開き角の関係(充電特性)を求めた。その結果を図2に示す。使用した箔検電器は現在市販されている箔検電器の中では比較的感度は高いが、他の箔検電器、例えばNARIKA LE-Aでもほぼ同様である。

### 3.2 測定箱の中での放電特性

測定箱(Box)の中で測定した放電特性を図3に

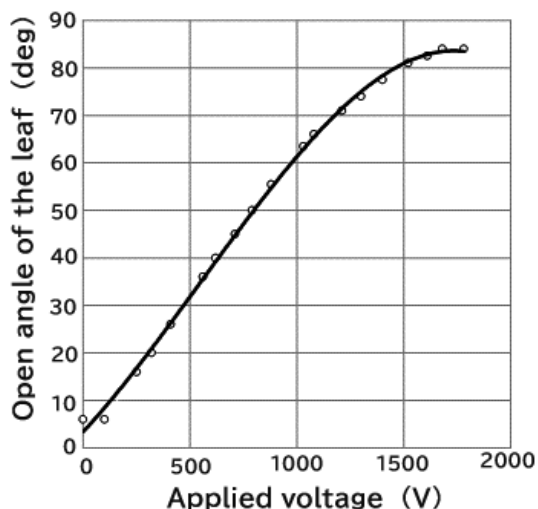


図2 箔検電器の電極に印加した電圧と箔の開き角の関係

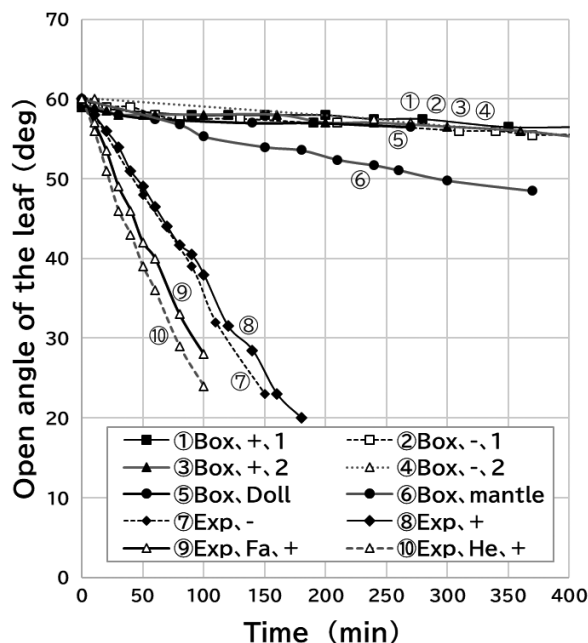


図3 測定箱及び実験室の中で箔検電器の箔の開き角が時間の経過と共に減少して行く様子

〔①Box,+1〕は箱(Box)の中で正電荷(+)を荷電して開いた角の1回目の測定結果を示す。Expは実験室、Faは扇風機、Heは温風機を示す

示す。線源を置かない状況での自然放電特性を、正電荷の荷電(+), 負電荷の荷電(-)の場合について、図中の①②③④で示す。それぞれ交互に合計4回行なった。〔①Box,+1〕は箱の中で正の電荷を荷電し、1回目に測定したことを示す。4回の測定では、開き角の減少は非常に少なく、また荷電の正負にはほとんどよらないことが分かった。

箱の上面に、5mm×10cm×10cmのアクリル樹脂板を置き、その上に⑤Doll stone線源(Doll)、⑥

マントル線源 (mantle) 等を置いた。アクリル樹脂板はβ線が箱の中に入らないようにするためである。それぞれの場合の結果を図3に同時に示す。マントル線源の場合には、箔の開き角度の減少は速く、γ線がかなり出ていることを示す。

### 3.3 通常の室内での放電特性

測定箱の外の通常の室内 (実験室と呼んでいる, Exp) での測定結果を図3の⑦, ⑧に示す。「⑦ Exp,-」は実験室で負の荷電をした場合である。⑦, ⑧は共に開き角の減少はかなり速い。これも荷電の正負にはよらない。実験室で扇風機 (Fa) を箔検電器とは別の方向に向けて「中」の風量で作動させた場合⑨には、させない場合⑦⑧より更に約1.5倍速い。送風型の電気温風機 (He) を作動させた場合⑩には減少はより速くなり、エアコンを作動させた場合には更に速くなるが、エアコンの型によると思われる。

### 3.4 ガスストーブ作動下での放電特性

台所でガスストーブを作動させた場合を図4に示す。ガスストーブは燃焼ガスを室内に放出するタイプで、ガスを床面に近く、床面にほぼ平行に食卓上にある箔検電器とは異なる方向に放出している。図

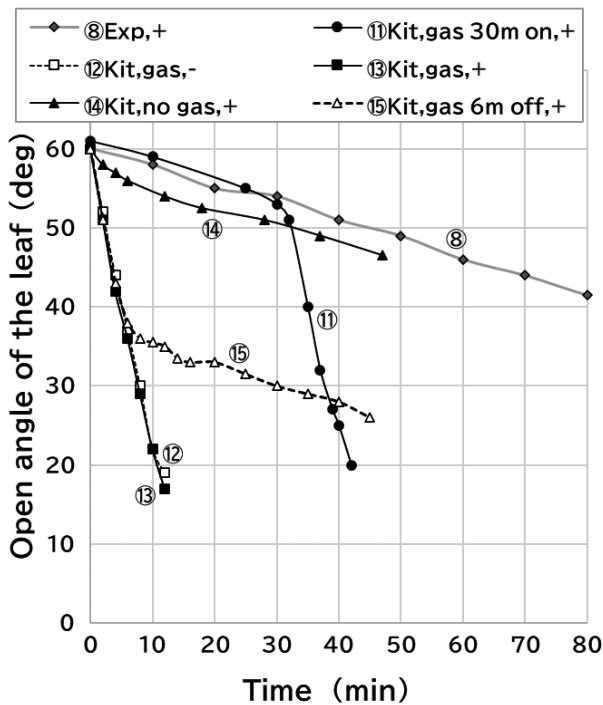


図4 台所でガスストーブを作動させた場合の箔の開き角の減少  
 「⑫ Kit, gas,-」は台所 (Kitchen)、ガスストーブ作動、負の荷電、を意味する

中の「⑧ Exp,+」は比較のために実験室で測定した図3の⑧を示す。「⑩ Kit, gas 30 m on,+」は台所で正電荷を荷電し、30分後にガスストーブを作動させた場合で、作動とほとんど同時に箔の開き角は急激に減少している。「⑫ Kit, gas,-」と「⑬ Kit, gas,+」はガスストーブ作動中に箔に負あるいは正に荷電して60度に関させた場合で、最初から急激に角度は減少している。「⑭ Kit, no gas,+」はガスストーブの作動を停止してすぐの特性で、「⑧ Exp,+」とほとんど同じである。「⑮ Kit, gas 6 m off,+」はガスストーブの作動中に測定を始め、6分後に作動を停止した場合である。ガスストーブは作動中に非常に多量のイオンを放出していることが分かる。

## 4. 検討

環境省の報告<sup>4)</sup>によれば、我が国の自然放射線強度は木造住宅の1階では0.04 μSv/hである。今回測定した2階では、やや恣意的ではあるが、0.02 μSv/h (Gy/h) であるとすると。この強度は、 $5.56 \times 10^{-13} \text{C}/(\text{g} \cdot \text{h})$  の電荷を空气中に生じ、 $5.8 \times 10^4$  イオン対/(g・min)を生じる。段ボール箱内の有効体積は、箱の内部の体積から箔検電器、温度計、湿度計の体積を差し引いて25213 cm<sup>3</sup>とした。この体積の標準状態の空気質量は  $25213 \times 1.3 \times 10^{-3} = 32.8 \text{g}$  である。段ボール箱の内部では空洞原理が成り立っているとすれば、 $5.56 \times 10^{-13} \text{C}/(\text{g} \cdot \text{h}) \times 32.8 \text{g} = 1.82 \times 10^{-11} \text{C}/\text{h}$  の正及び負の電荷 (イオン) が自然のγ線によって生じる。

図3より、箱の中の自然放電では500分で角度は約4度減少している。したがって、1時間あたりは0.48度の減少である。図2より、箔検電器の箔の40度の角度変化は700Vの電圧変化に相当する。したがって、0.48度は8.4Vの減少である。静電容量はマルチメータSANWA PM3で測定して2 pF (± 0.5 pF) なので、1時間あたりの放電電荷は  $2 \times 10^{-12} \times 8.4 = 1.68 \times 10^{-11} \text{C}/\text{h}$  である。この値は段ボール内で空气中に作られる前述の計算による電荷量  $1.82 \times 10^{-11} \text{C}/\text{h}$  にほぼ等しい。すなわち、箱の中での箔の角度の減少は環境のγ線によって作られたイオンによるものであると考えてよい。

マントル線源を置いた場合には、自然放射線による減少よりも約3倍速い減少を示しているため、この線源からのγ線による線量率は、線源から箱内の



実効的な位置、約 15~20 cm において自然放射線による線量率の約 3 倍、すなわち、0.06  $\mu\text{Sv/h}$  であることが分かる。

遮蔽箱の外の通常の室内での開き角の自然減少は箱の中よりも約 17 倍速い。これは検電器の上部の電極の電圧（箔の開き角が 60 度の場合の電圧は約 950 V）が、遠くの空気中のイオンを引き寄せさせるためであると思われる。単純に箱内と比較した計算によれば約 56 cm の遠くから引き寄せていることになる。いま仮に箔検電器の上部の電極を直径 3 cm の球として、950 V の電圧が印加されている場合において 56 cm の位置から電極までイオンが到達するのに必要な時間は、イオンの移動度<sup>5)</sup>を  $1.61 \times 10^5$  (cm/s) (V/cm)<sup>-1</sup> (Pa) として計算すれば、22.2 s になる。

通常の室内で自然放射線によって単位時間に発生するイオン対  $dn/dt$  (前述の  $5.8 \times 10^4$  イオン対/(g·min) = 1.26 イオン対/( $\text{cm}^3 \cdot \text{s}$ )) が再結合によってのみ消滅するとすれば、式  $dn/dt - \alpha n^2 = 0$  が成り立つ。ただし、 $n = n_+ = n_-$  とする。また、 $\alpha$  は再結合係数<sup>5)</sup>で、約  $2 \times 10^{-6} \text{cm}^3/\text{s}$  である。これらの式から  $n$  を求めると、約  $8 \times 10^2$  イオン対/ $\text{cm}^3$  が得られる。実際にはイオンは拡散によって壁や物体に触れればすぐに電荷を失い中性になるのでこの値よりもかなり小さな値であると思われる。また、箔検電器が置かれている場合には、箔の開き角を 60 度に調節している間に、イオンは前述のように 22 s 程度ですみやかに箔検電器に移動し、 $8 \times 10^2$  イオン対/ $\text{cm}^3$  のような濃いイオン対は保たれない。このようなことから、図 3 の減少線⑦、⑧を理論的に説明するのはやや困難であるが、状況の理解はできる。扇風機や電気温風機を作動させると減衰は速くなる。ガストーブのようにイオンを多量に発生している場合には減少は一層速い。このことは、箔検電器のそばにロウソクを点火してすぐにその炎を 10 cm 以内に近づければ、箔はすぐに閉じることからも納得できる。

なお、湿度の影響であるが、箔検電器の電極とガラスの部分の間の絶縁体がホコリ等で汚れている場合には、これらが湿気を含み、電荷が漏洩する原因

になるが、あらかじめよく拭いて汚れを除いておくと、電荷の漏洩はほとんどないようである。ただし、梅雨時等で湿度が実質的に 100% に近くなるような場合には、影響は考慮しなければならないと思われる。温度の影響もあまりないようである。

## 5. まとめ

箔検電器の箔の開き角度が自然に減少していく、いわゆる自然放電特性について調べた。測定箱の中に箔検電器を入れて測定することによって、自然放電は自然放射線によって空気中に作られたイオンが箔検電器の電極の電圧によって引き寄せられ、電極の電荷が中和されて減少するためであることが計算との比較によって分かった。箱の中での測定において、箱の外にマントル線源や Doll stone 線源を置いて、線源から放出されている  $\gamma$  線の強度を調べた。

遮蔽箱の外の通常の室内での開き角の自然放電は箱の中よりもはるかに速い。これは検電器の上部の電極の電圧が、箱の中よりも広い空間の空気中のイオンを引き寄せさせるためである。また、室内の空氣の動きによって、自然放電特性は大いに異なる。扇風機で室内にゆるやかな風を発生させると減少はより速くなる。電気温風機やエアコンを作動させると一層速くなる。扇風機やエアコンの作動によって空氣が動いている場合には、箔検電器の遠くで発生したイオンも減少をもたらすからである。また、ガストーブ等のように炎がある場合には、多量のイオンが発生するので減少は極めて速い。これらの基本特性は、箔検電器の教育実験において有用であると思われる。

## 参考文献

- 1) 森 千鶴夫, 他, *RADIOISOTOPES*, **69**, 1-12 (2020)
- 2) 森 千鶴夫, 他, 日本放射線安全管理学会誌, **20** (2), 45-51 (1921)
- 3) 高木義雄, 化学と教育, **47** (4), 280-281 (1999)
- 4) <https://www.env.go.jp>chemi>rhm>, 環境省 環境放射線の計測 (2023 11 19 参照)
- 5) W. J. Price, 放射線計測, 79-80 (1964)

(元名古屋大学)