

霧箱の謎： α 線の飛跡の伸びについて森 千鶴夫
Mori Chizuo

「見えないはずの放射線を目で見る！」ことができるので、放射線教育実験では拡散型霧箱の実験は人気がある。しかし、霧箱には謎が多い。1つは、 α 線の空気中での飛行時間は10 ns以下で一瞬であるのに、霧箱では一般に白い飛跡が α 線の飛行方向に伸びて行くのが目に見える。これは不思議ではないだろうか？もう1つは α 線の飛行とは逆の方向に飛跡が伸びて行くことがある。これは何かの間違いであろうか？これらについて述べる。

(I) なぜ α 線の飛跡が伸びて行くのが目に見えるのか？

拡散霧箱中で放射線の白い飛跡が目に見える。特に α 線の場合には、飛跡が α 線の飛行方向に伸びて行くのが目に見えるので感動し、いつまでも見られることになる。しかし、この現象はこれで良いのか？ α 線はこんなにゆっくりと飛行してはいないはずではないか？

式(1)は、 α 線の物質中での飛行におけるエネルギー損失に関するベータの式¹⁾である。

$$-\frac{dE}{dx} = 4\pi r_0^2 z^2 \frac{m c^2}{\beta^2} N Z \left[\ln \left(\frac{2m c^2}{I} \beta^2 \right) - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right] \quad (1)$$

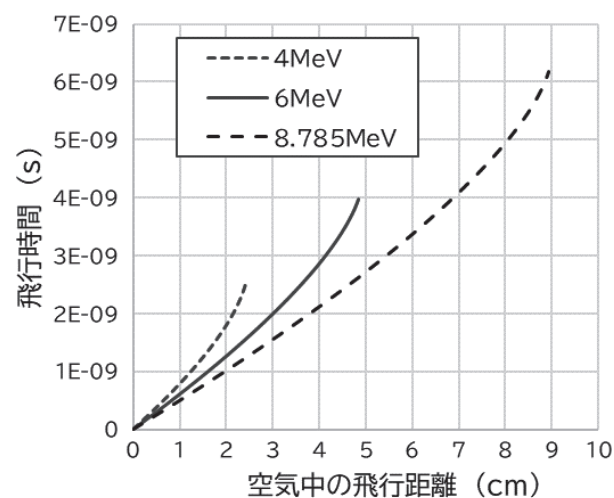
$$\text{ただし、} \beta^2 = 1 - \frac{1}{\{E/(M_0 c^2) + 1\}^2} .$$

ここで、 r_0 と m はそれぞれ電子の古典半径と静止質量であり、 z, β, E 及び M_0 はそれぞれ α 粒子の電荷量、速度の光速 c に対する比、運動エネルギー

及び静止質量である。 N, Z, I はそれぞれ空気の種類当たりの原子数、平均原子番号、平均電離エネルギーである。

式(1)から、いくつかのエネルギーの α 線に対して、空気中の飛行距離と飛行時間の関係を求めた結果を図1に示す。エネルギーが6 MeVの α 線の場合には4 nsで飛行し、 ^{232}Th の壊変系列に含まれる最大エネルギーが8.785 MeVの α 線の場合でも6.3 nsで一瞬に飛び終えている。しかし、霧箱の中の白い飛跡は図2に示すように徐々に伸びて行き、図では51 msでやっと終端まで伸びる。なぜこんなにゆっくりと伸びて行くのであろうか？

図3に6 MeVの α 線が1気圧の空気中を飛行する距離とエネルギーの関係及びブラッグ曲線を示す。ただし、飛程の計算値は実験値に合うように微

図1 α 線の空気中の飛行距離と飛行時間の関係

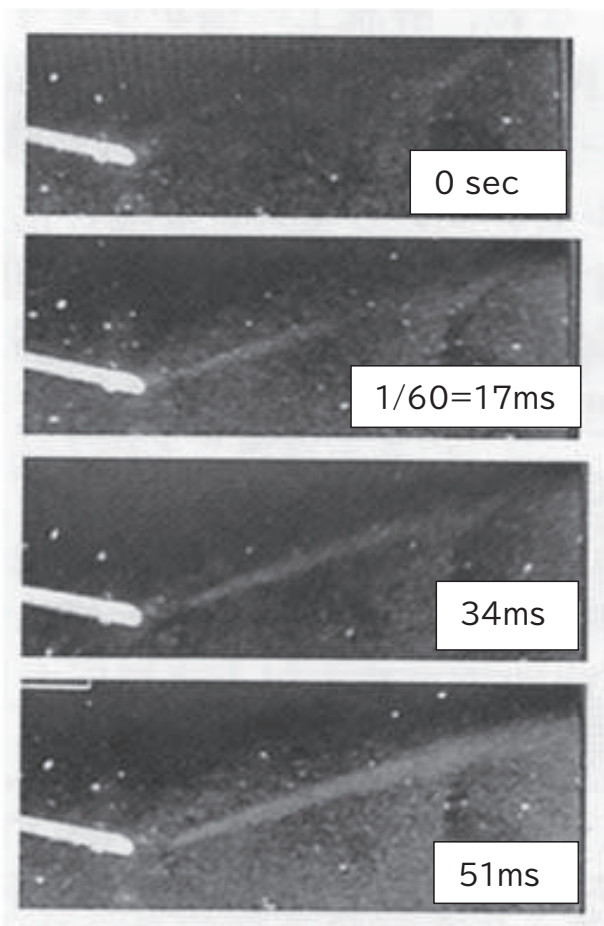


図2 α 線の白い飛跡が時間の経過と共に伸びて行く様子

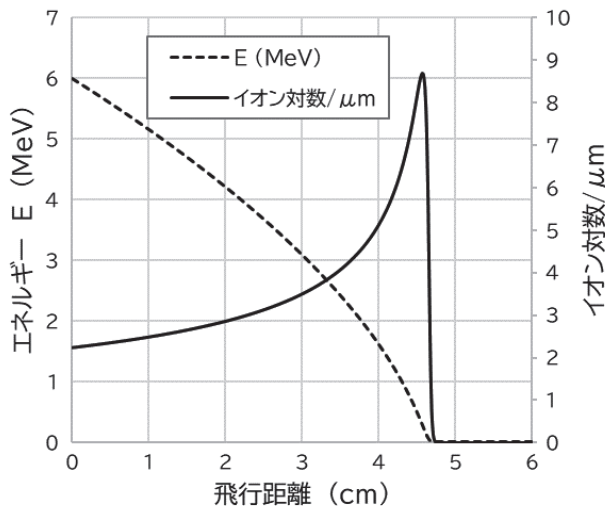


図3 6 MeVの α 線の飛行距離とエネルギーの関係及び飛行距離と単位長さ(1 μm)当たりが発生するイオン対数の関係

調整している。ブラッグ曲線の縦軸は、飛行距離1 μm 当たり生成するイオン対の数で、 α 線源の近くでは2~3個、飛行距離の終わり近くでは7~8個である。

一方、過飽和の状態にあるアルコール蒸気はイオンを核として液滴に成長するが、液滴の直径が約2~3 μm になって始めていわゆる Mie 散乱が生じて飛跡が白く見える。ヤカンから噴き出す水蒸気や雲が、埃やイオンを核として蒸気が液滴に成長し白く見える原理と同じである。図4はエタノール蒸気を供給する部分の温度が5 $^{\circ}\text{C}$ 、 α 線が飛行する部分の温度が-50 $^{\circ}\text{C}$ (過飽和度 55.6) の場所で、飛程の始めの箇所においては、1 μm 当たり3個のイオンがあり、飛程の終端近くでは7個のイオンがある状態を模式的に示す。なお、イオン対のうちの一部は再結合によって消滅すること、及びイオン対のうちの電子はやや遠くまで拡散して酸素分子に捕獲されること等を考慮すればイオンの数はイオン対の数にほぼ等しいと考えられる。飛程の始めの箇所では厚さ1 μm 、半径231 μm の円板中に含まれるエタノール蒸気がイオンのところへ拡散してきて直径2 μm の液滴に成長する。他方、1 μm 当たり7個のイオンがある箇所では厚さ1 μm 、半径約352 μm の円板中に含まれるエタノール蒸気がイオンのところへ拡散してきて直径2 μm の液滴に成長する。すなわち、3個のイオンがある箇所よりも7個のイオンがある箇所では、より遠方から拡散して来なければならない。

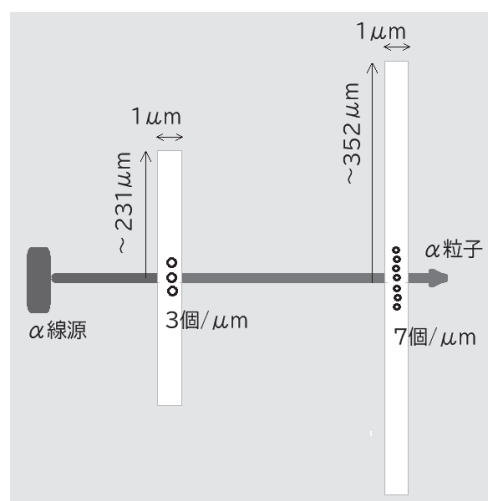


図4 6 MeVの α 線の飛跡の初期と終端における単位長さ(1 μm)当たりのイオンの数とそれぞれのイオンを核としてエタノール蒸気が直径2 μm の液滴に成長するのに必要なアルコール蒸気を含む円板の半径

この拡散時間の相違は計算^{2,3)}によれば約 63 ms になり、**図 2**の時間差にほぼ等しい。このようにして、 α 線の飛跡が伸びて行くのが目で見える現象を説明することができる。

このことは既に 10 年ほど前に報告し³⁾、解説記事も書いた⁴⁾が、あまり知られていないようなので、改めてここで説明させていただいた。ところが、生徒や一般の方々に対して実際に霧箱実験をする際には、このような細かなことを説明している時間的余裕はほとんど無い。しかし、白い飛跡が伸びて行くのが目で見える事象に何ら疑問を抱いていないらしい様子を見て、果たしてこれで良いのか？とあって、中部原子力懇談会主催の放射線実験セミナーにおける高校生相手の実験の際に、あえて一度だけ時間をいただいて簡単に説明したところ、後の感想文に「霧箱は奥が深いのだと感じた」との記述があった。これは、自分が実際に見た現象に潜む科学の奥深さを感じ取ってくれたのではないかとあって、少しは納得したことがある。

(II) α 線の飛跡が α 線の飛行方向とは逆の方向に伸びるという現象があるのか？

(I)の現象を報告してから、しばらくして、インターネットに報告されている霧箱の動画⁵⁾を眺めていると、(II)のタイトルのように、飛跡が α 線の飛行方向と反対の方向に伸びる現象を見つけた。これは何かの間違いかと思ったほどびっくりした。**図 5**にインターネットの動画から編集した図を、動画の作成者の山本海行^{みゆき}氏の許可を得て示す。**図 5**は人形峠の土で作ったドルストーン (Doll Stone) と呼ばれるタイルの一部を線源とした飛跡の動画のコマ撮りで、1コマは 17 ms である。飛跡はまず(A)において、線源から遠方の位置に点(矢印)として現れ、(B)では少し線源の方向に伸びている。以下、(C)から(F)へと線源に達するように伸びている。文献 5)の動画を見ていただければより明瞭である。

この不思議な動画を見てみるとやがて、(I)の現象の理由からすれば、この現象は温度分布と過飽和蒸気圧が原因であると理解することができた。以後、この理由をもとに、7、8年にわたって自宅で細々と実験を繰り返してきたが、ついに今までにこの現

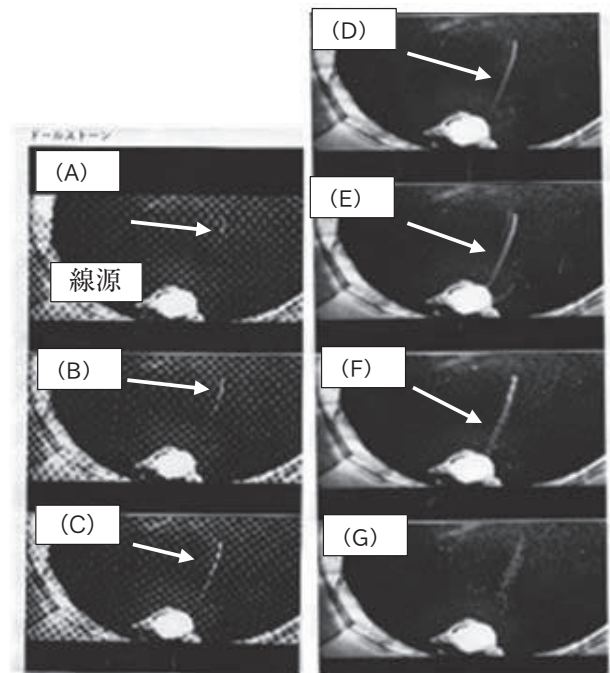


図 5 ドルストーンからの α 線の飛跡の伸び
 α 線の飛行方向と逆方向へ伸びている。(A)から(F)へ 文献 5)より

象を再現することができなかった。(I)のように、飛跡が伸びるのではなく、 β 線のように飛跡のどの位置においてもほぼ同時に現れるところまでは実験できたが、方向が逆転するまでには至っていない。そこで現在、山本氏と共に再現実験に取り組んでいるところである。

文献 5)の動画を見ていると、霧箱はまさに「奥が深く」、まだまだ検討に値する楽しい課題を含んでいると思われる。

参考文献

- 1) Nicholas Tsoulfanidis, *Measurement and Detection of Radiation*, 98 (1983)
- 2) J. Crank, *The Mathematics of Diffusion*, 69 (1975)
- 3) Chizuo Mori, *J. of Nuclear Science & Technology*, **51**, 196-200 (2014)
- 4) 森 千鶴夫, 趣味の放射線実験, 放計協ニュース, **50**, Oct. 2-4 (2012)
- 5) 山本海行, <https://umihoshi.com> 「霧箱で見る放射線, うみほしの部屋」の中の「ドルストーン」(2011年12月)

(元名古屋大学)