

[4] 霧箱による放射線、素粒子の観察・測定

4-1 自然放射線を観察する

宇宙線や自然界に存在する放射線の作る飛行機雲様の飛跡が見えるまで待ちましょう。飛行機雲様の飛跡が安定して見え始めたら、

1. 飛跡の観察をしましょう。どんな形のものがあるのでしょうか、また飛跡の濃さは どうでしょうか？
2. 飛跡の形、長さ、飛来方向、1 分間に出来る本数などを計測してみるのも面白いですね。
* どうして放射線源がないのに、たくさんの飛跡が見えるのでしょうか。その線源はいったいどこにあるのでしょうか、不思議ですね！

3. α 線、 β 線、 γ 線、宇宙線の観察

放射性元素から放出される放射線は α 線、 β 線、 γ 線の3種類です。

その他に上空からやってくる宇宙線があります。

- ① α 線は空気中に漂っていたラドンガスが霧箱のラップをかぶせるときに霧箱内部に取り込まれて、霧箱内部で α 崩壊して飛跡をつくります。
(濃くて短い飛跡が α 線の飛跡です。飛跡の長さは最大でも6cmくらい)



- ② β 線は建物のコンクリートや日本家屋の壁土に微量に含まれているウランやトリウムなどの放射性元素から放出されたものが霧箱に飛びこんできます。

(くねくね曲がりながら進む長い飛跡が β 線の飛跡です。(注) 曲がらず一直線に進んでいる飛跡は宇宙線のミュオンが多い)



③ γ 線は荷電粒子ではないので直接は見えません。しかし γ 線が霧箱内の気体の原子から電子をはじき出し(コンプトン散乱)、はじき出された電子の飛跡を見ることで間接的にその存在を見ることが出来ます。

(コンプトン散乱でたたきだされた電子はエネルギーが小さいので、気体中の原子にぶつかりながら少し進んでエネルギーを失って止まります。その飛跡は短く、ひよろひよろした飛跡となって現れます)



④ 宇宙線は空から降ってきますが、地球は丸いので横からもやってきます。霧箱で観察している室内へ壁や天井などのコンクリートを貫通してやってくる粒子です。

(一直線に進んでいる飛跡が宇宙線のミュオンです)



〈参考〉

昔、キャンプなどで明るい照明用としてガスランタンが用いられていた。ガスランタンのホヤとして使用されていたマントルには輝度を増すために、酸化トリウムが含まれているものがあった。このトリウムは半減期が非常に長い放射性物質である。

トリウム 232 は半減期が約 141 億年と、宇宙の年齢とほとんど変わらないくらいの寿命で、崩壊して α 線を出してラジウム 228 になる。そしてこのラジウムは半減期 6.7 年で β 線を出してアクチニウム 228 に、アクチニウム 228 は半減期 6.13 時間で β 崩壊してトリウム 228 に崩壊していく。そしてこのトリウム 228 は α 崩壊してラジウム 224 になり、さらに α 崩壊して気体のラドン 220 になる。ラドン 220 は半減期約 56 秒でポロニウム 216 になり、ポロニウムは 0.145 秒で鉛 212 に変わる。このような崩壊の系列がトリウム崩壊系列である。ウラン 238 も同様にどんどん崩壊して別の物質になっていく。そして鉛の安定核で止まる。この崩壊の系列がウラン崩壊系列である。

自然界では現在もこれらの崩壊は続いていて、できた放射性物質から放射された放射線が私達の周囲を飛び交っている。

4-2 霧箱を用いて放射線の測定や素粒子を研究する

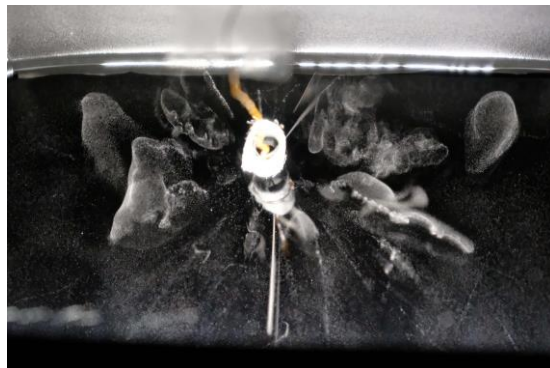
〈観察だけでなく放射線、宇宙線の研究に用いてみよう〉

4-2-1 空気中の浮遊塵に付着している放射性物質の半減期を測定し、

その物質を特定する (α線、β線がともに出ていることに注目)



浮遊塵から出るβ線 (α線も出ている)

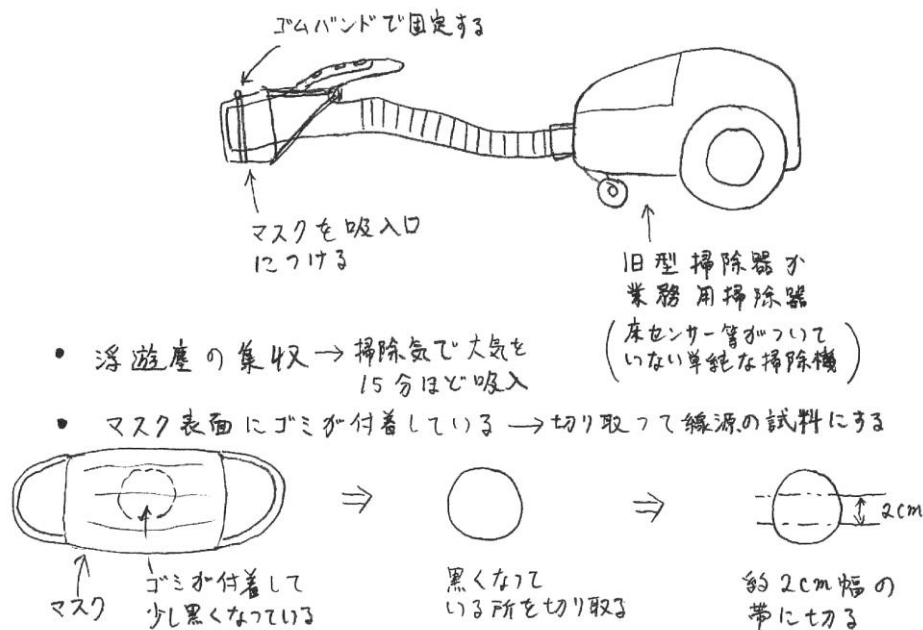


浮遊塵から出るα線 (β線も出ている)

放射線源になる浮遊塵の採集

浮遊塵の吸引道具は旧型掃除機、黒板クリーナ、ブロワー、水流ポンプなど、
空気を吸引できるものはすべて使える。

切り取ったマスク片をエナメル線の先端に円筒状に固定して霧箱内につるす

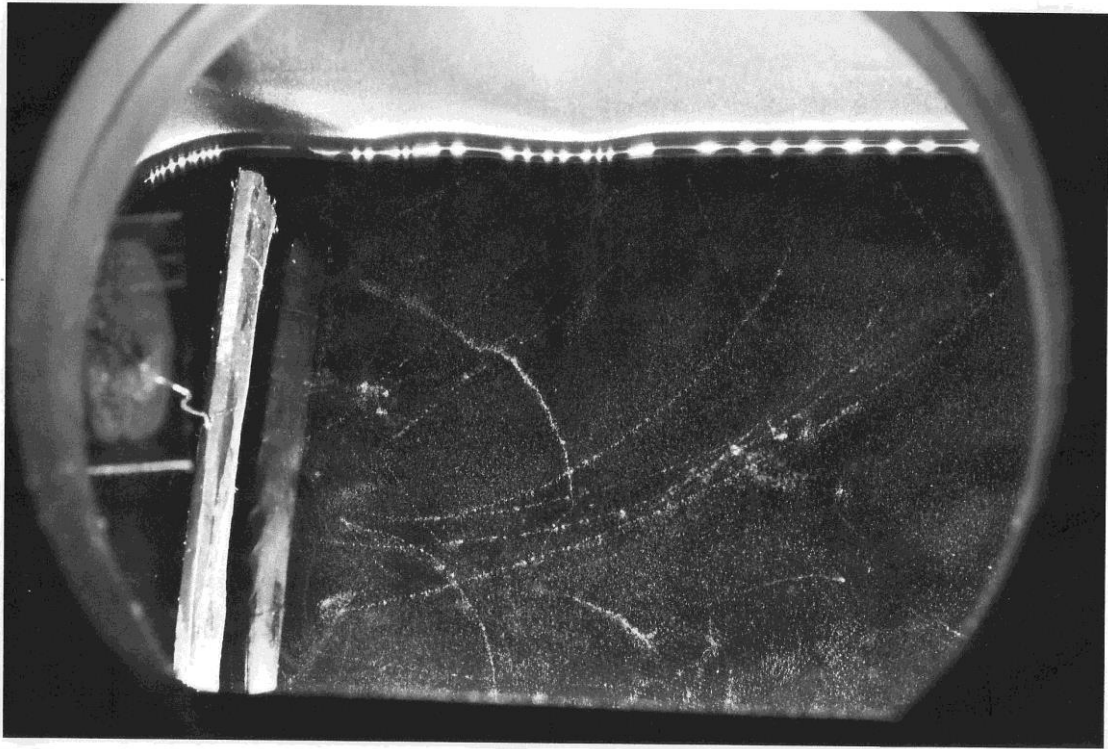


α線の半減期を求め、理科年表等でその半減期に近い放射性物質を探索する。

4-2-2 カリウム40の β 線の速度を磁場霧箱で求める

磁場中で運動する電子が受けるローレンツ力が円運動の向心力になっている

磁場中でカリウム40のベータ線を見る 1 試薬の塩化カリウムを使用

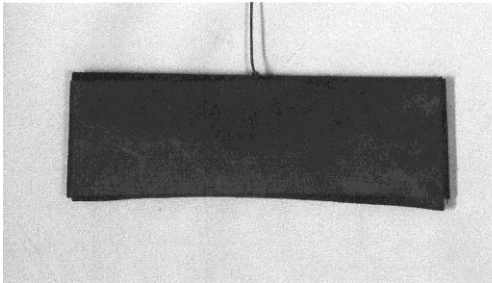


身近な単独ベータ線源として カリウム40を線源に用いる

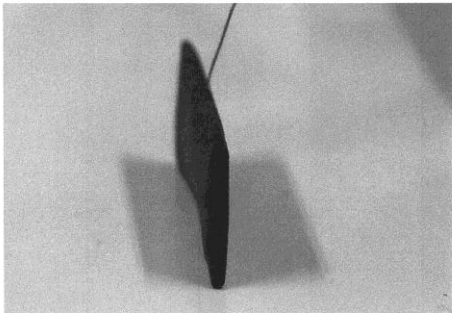
- カリウム40は天然のカリウムに約0.012%含まれている
- 塩化カリウムに含まれるカリウム40を用いる
(塩化カリウムにはカリウム元素が質量比で約52%含まれている。安定な化合物で入手も容易である)

カリウム40ベータ線源の製作

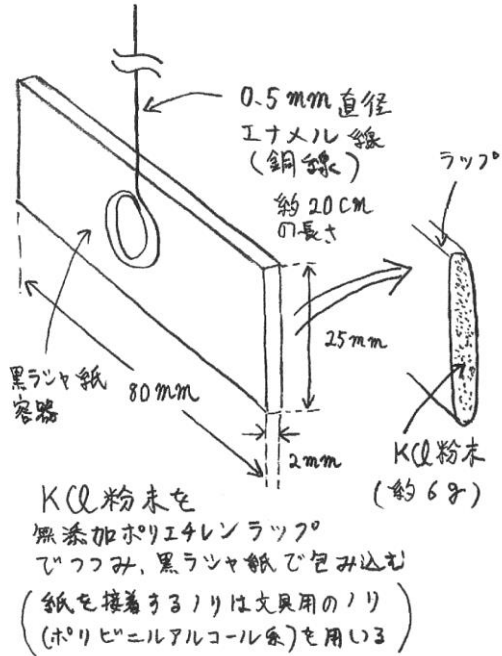
平面面積が大きく、厚さが薄い線源を作る
 カリウム40から出るβ線を遮る原子を減らすため
 (カリウム40は全質量の1/10000以下と微量)



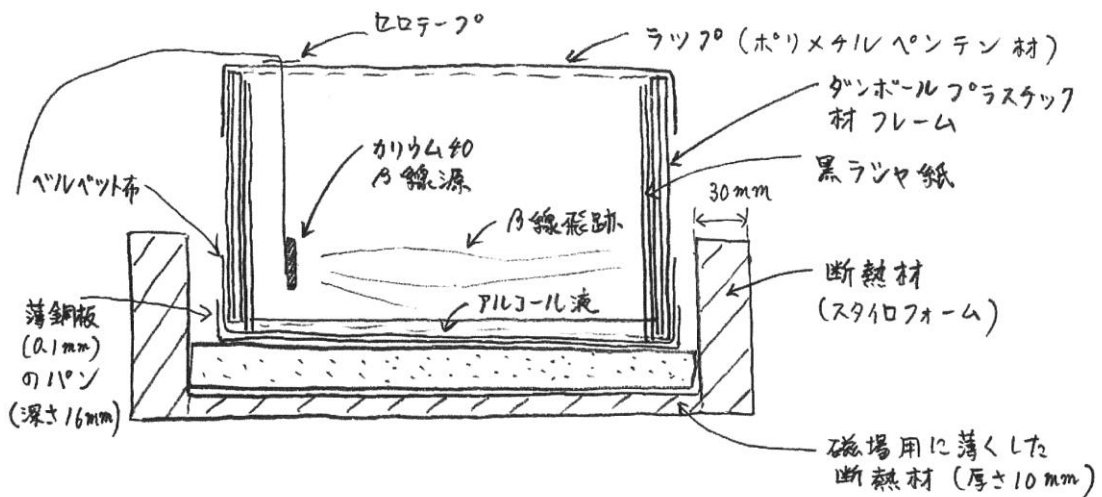
正面から見た線源 (塩化カリウム6g入り)



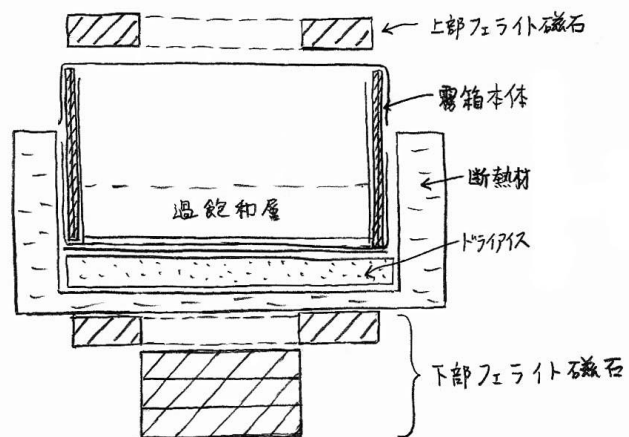
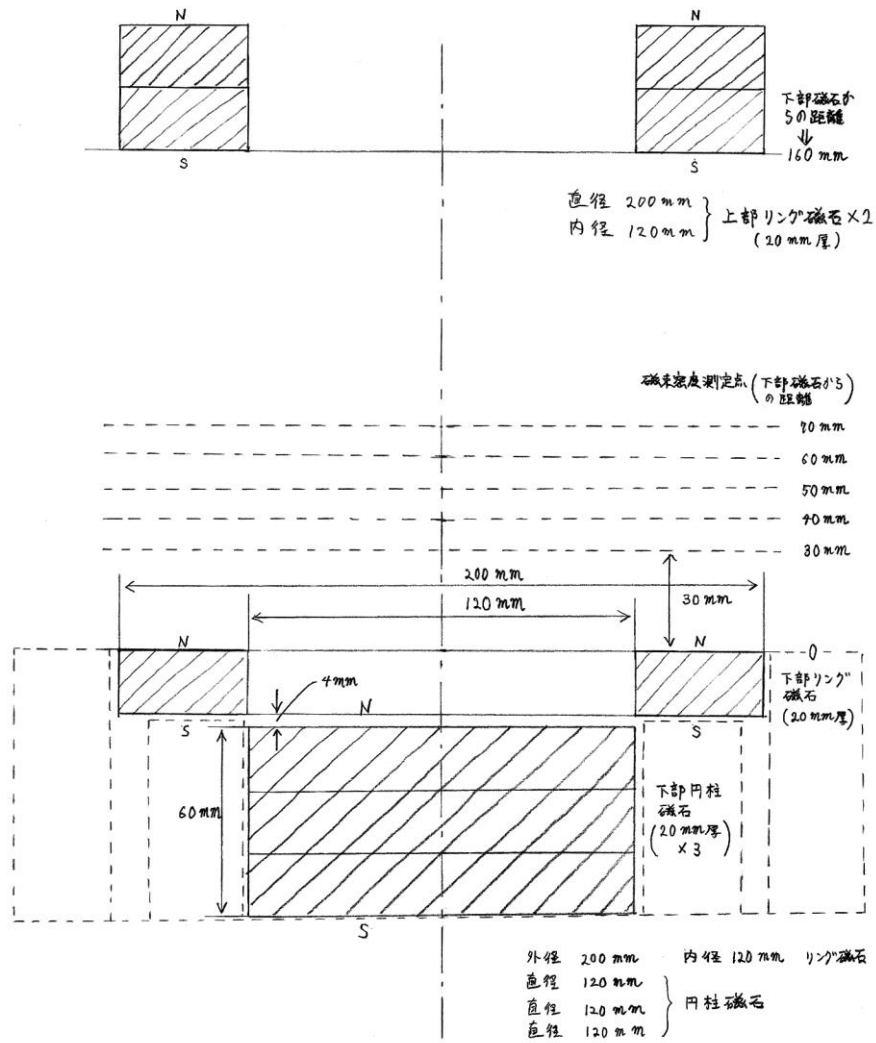
側面から見た線源



ベータ線源は霧箱内に設置する

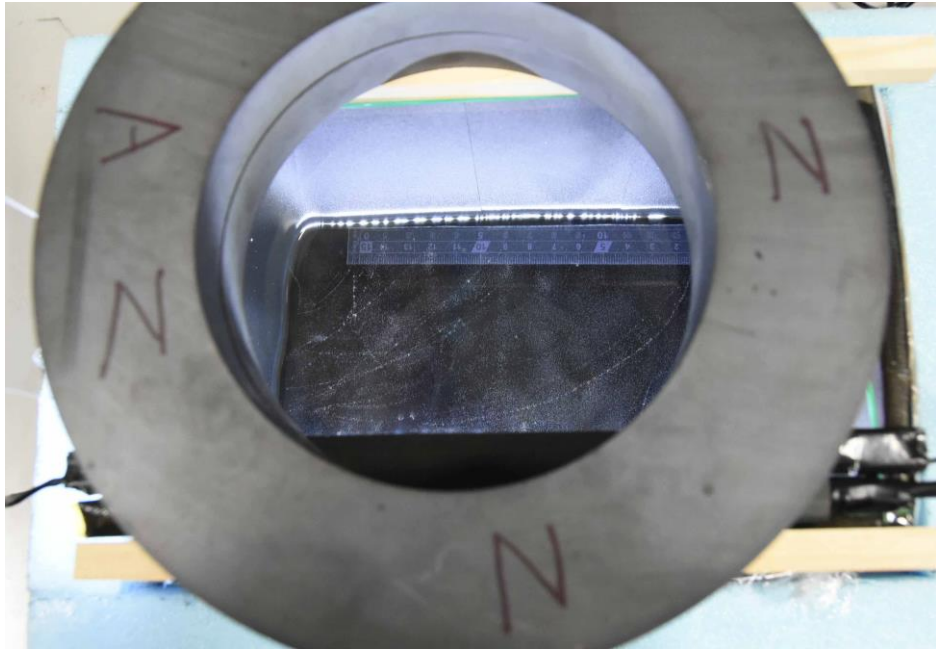


磁場霧箱に用いる磁場発生装置（フェライト永久磁石を使用）



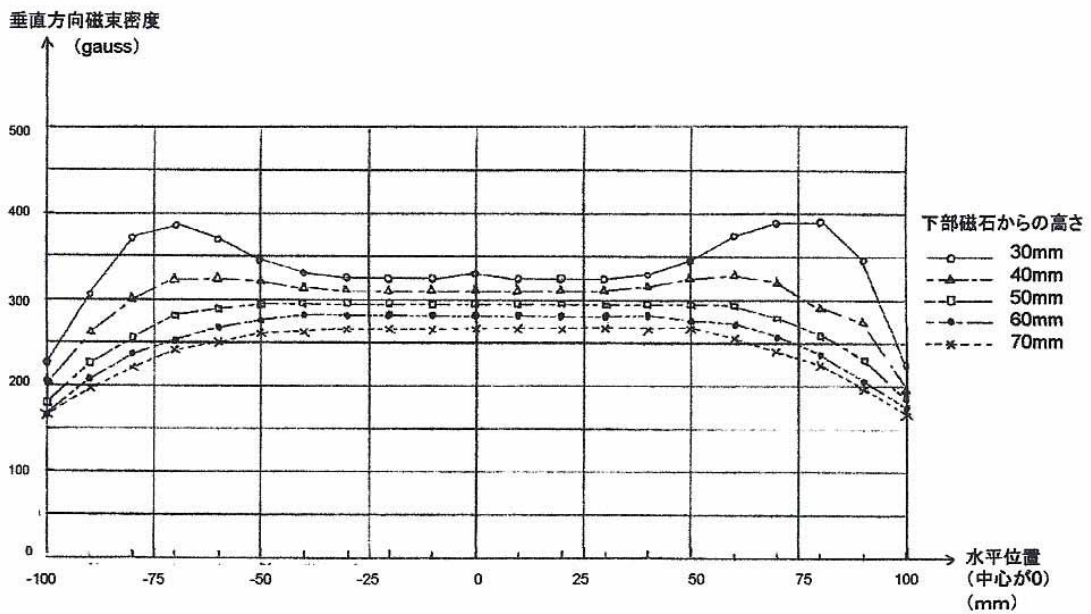
図のように断熱材ごと霧箱を上下の磁石群で挟んで使用する

上部はリング磁石になっている



磁場の磁束密度は飛跡が観察される位置で大体 300 ガウス=0.03 テスラ前後になる

霧箱の上下に磁石群を配置した新磁場装置 垂直方向磁束密度



4-2-3 大型霧箱を用いて宇宙線の素粒子反応を探索する

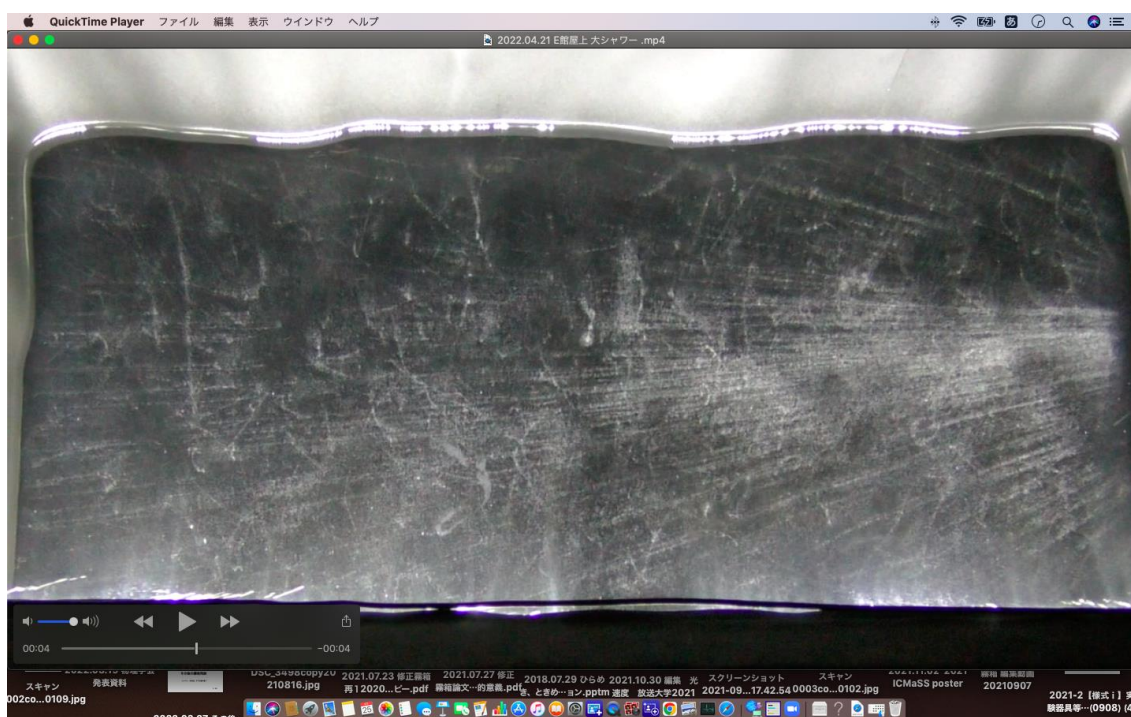
*大型霧箱を用いると宇宙線によって引き起こされるレアな素粒子反応をとらえることができます。簡単に可視化できる霧箱の特徴を生かして素粒子の世界を探索しましょう。写真は大型霧箱で見た環境放射線の飛跡です。

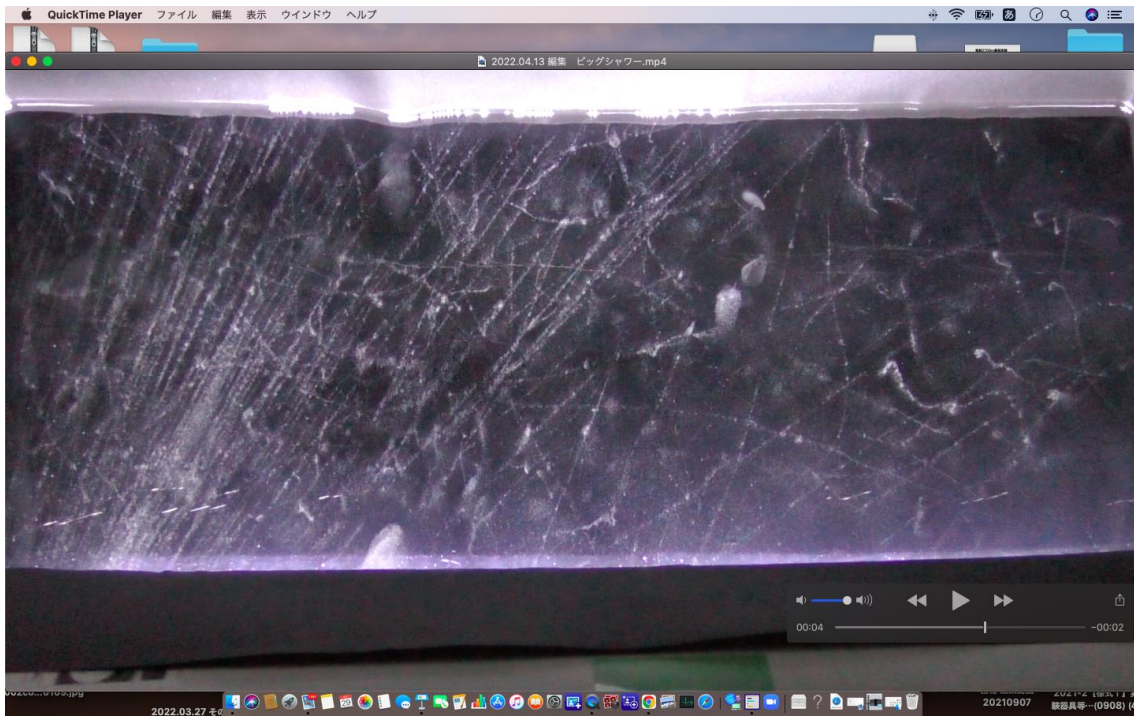


*大型霧箱でとらえた宇宙線によるレアな素粒子反応

- ① シャワー現象、②対生成、③中性子線による反跳陽子線

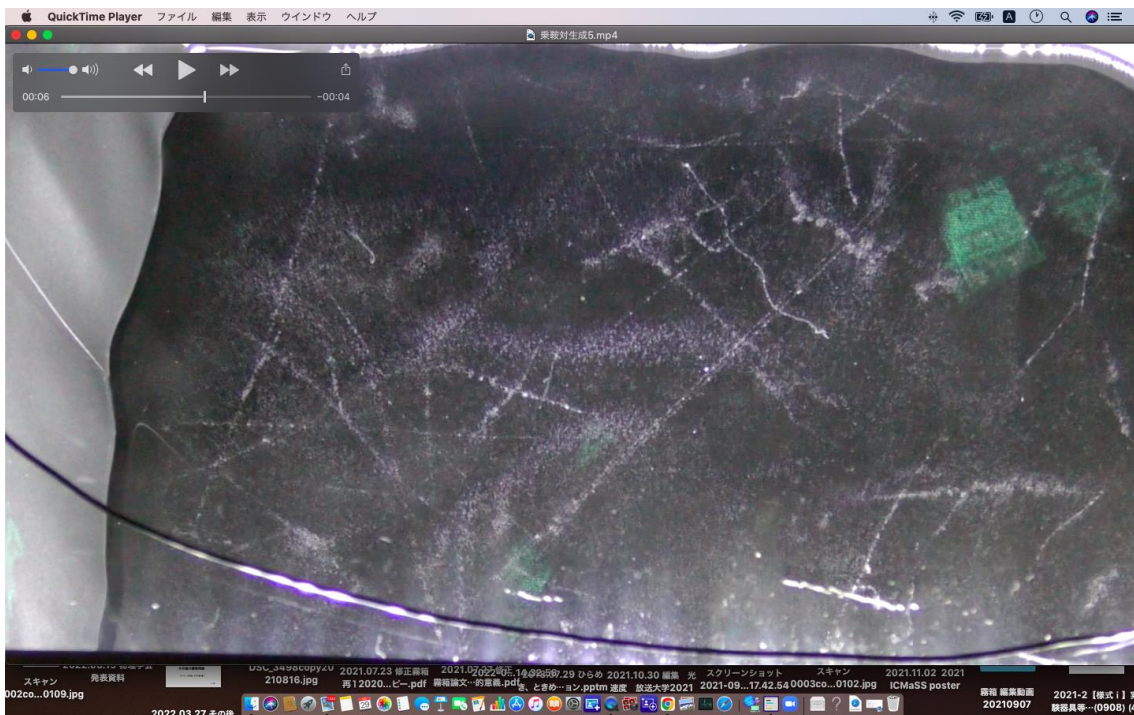
① 鉛ブロック中で発生した宇宙線によるカスケードシャワー（飛跡は電子線）



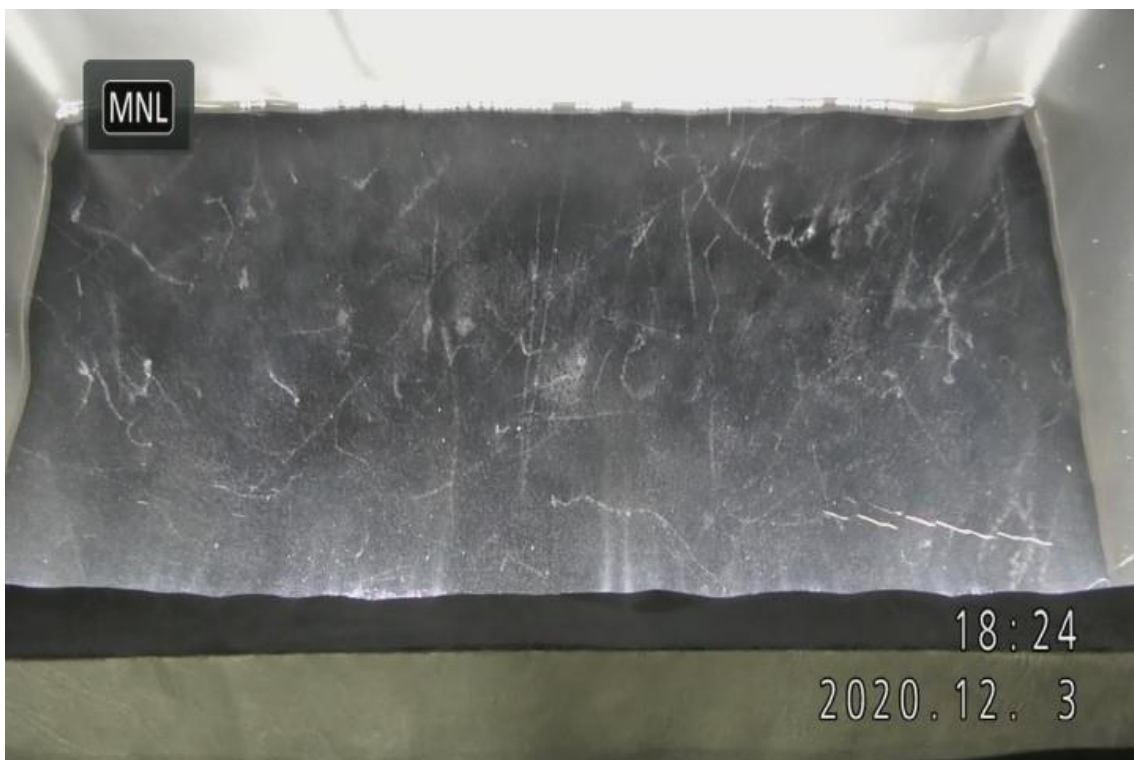


- ② 宇宙線の γ 線による e^+ 、 e^- の対生成
 静止質量 0 の γ 線から質量が存在する 電子、陽電子のペアが発生。
 $E=mc^2$

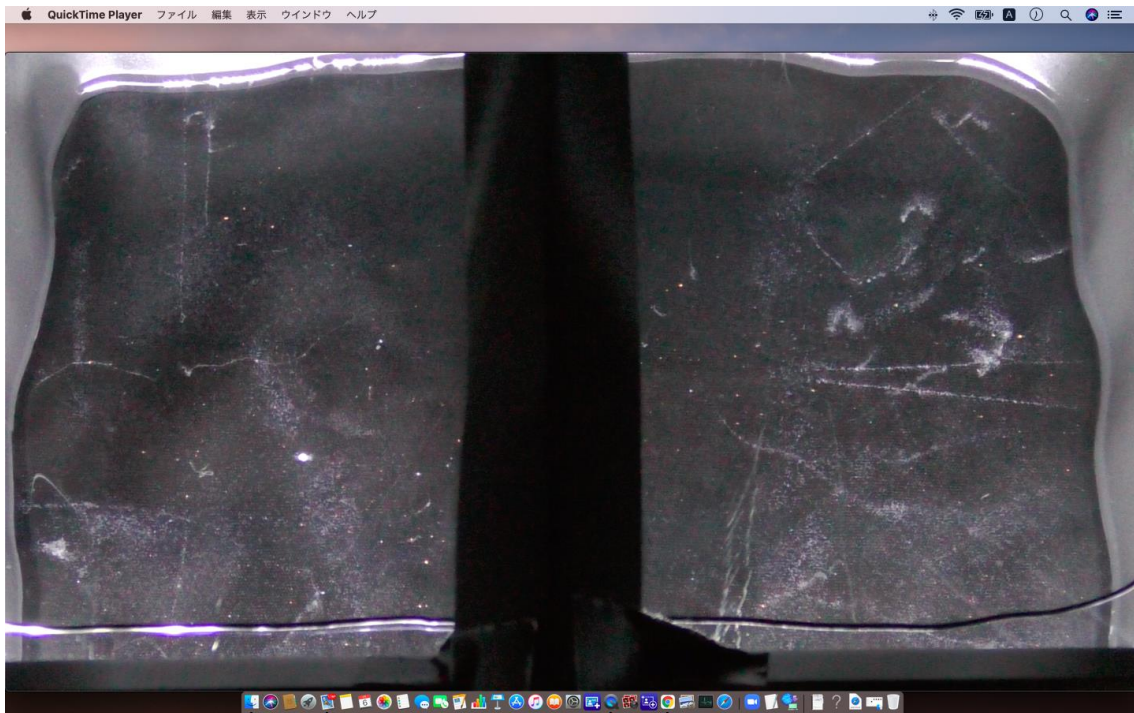
- a. 中央左下から右上に向かって宇宙線の**高エネルギー γ 線**が入射した。
対生成で、 e^+ 、 e^- のペアが空間から発生した。(ほとんど広がらない)



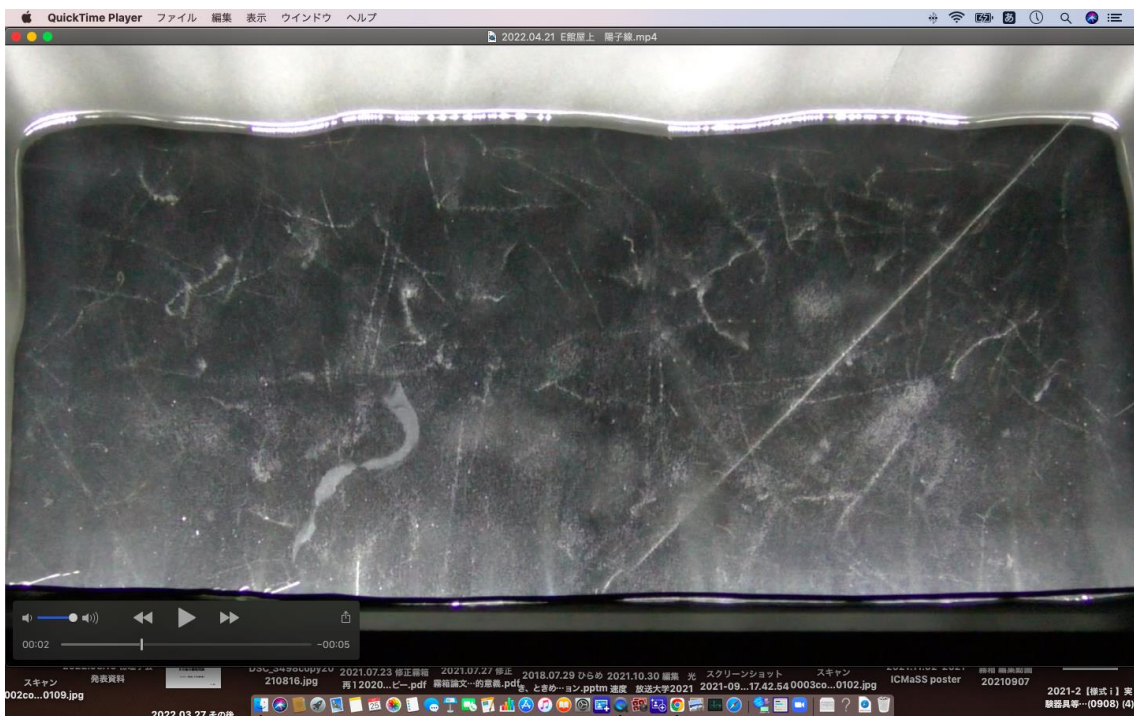
- b. 画面中央下から上に向かった**中低エネルギー γ 線**が対生成を起こした



- c. 左から右に進む中低エネルギー γ 線によって鉛板中で対生成が起こった
(霧箱中央に6mm厚の鉛板を設置している)



- ③ 宇宙線の中性子線によって玉突きされて飛び出した陽子の飛跡=反跳陽子線
(α 線と同程度の濃い飛跡だが、長い飛跡を作る。
水素原子を多く含んだ物質の水素原子核がたたき出された)





[参考文献]

宇宙線 小田稔著 裳華房
原子物理学 シュポルスキー著、玉木英彦他訳 東京図書