

霧箱を用いた放射線の測定

大阪大学理学部物理学科 山中研究室

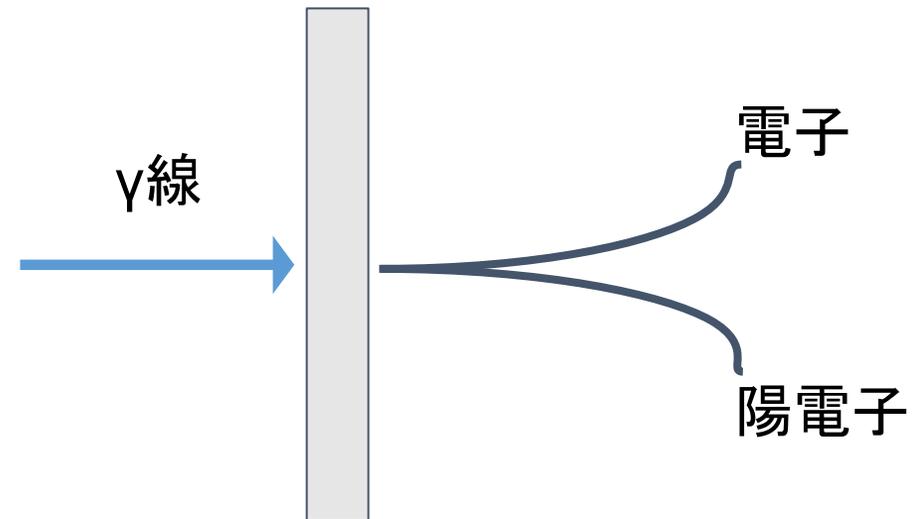
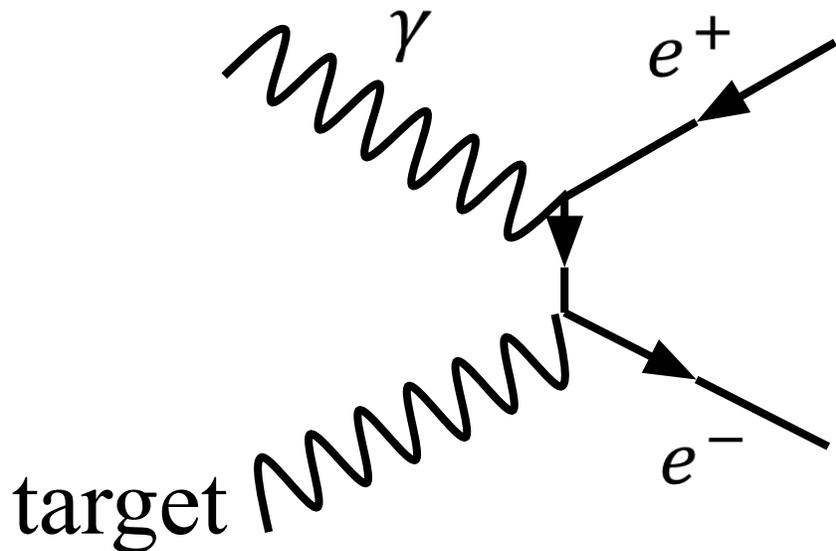
B4 久郷 莉奈

B4 村井 凜久

研究の背景

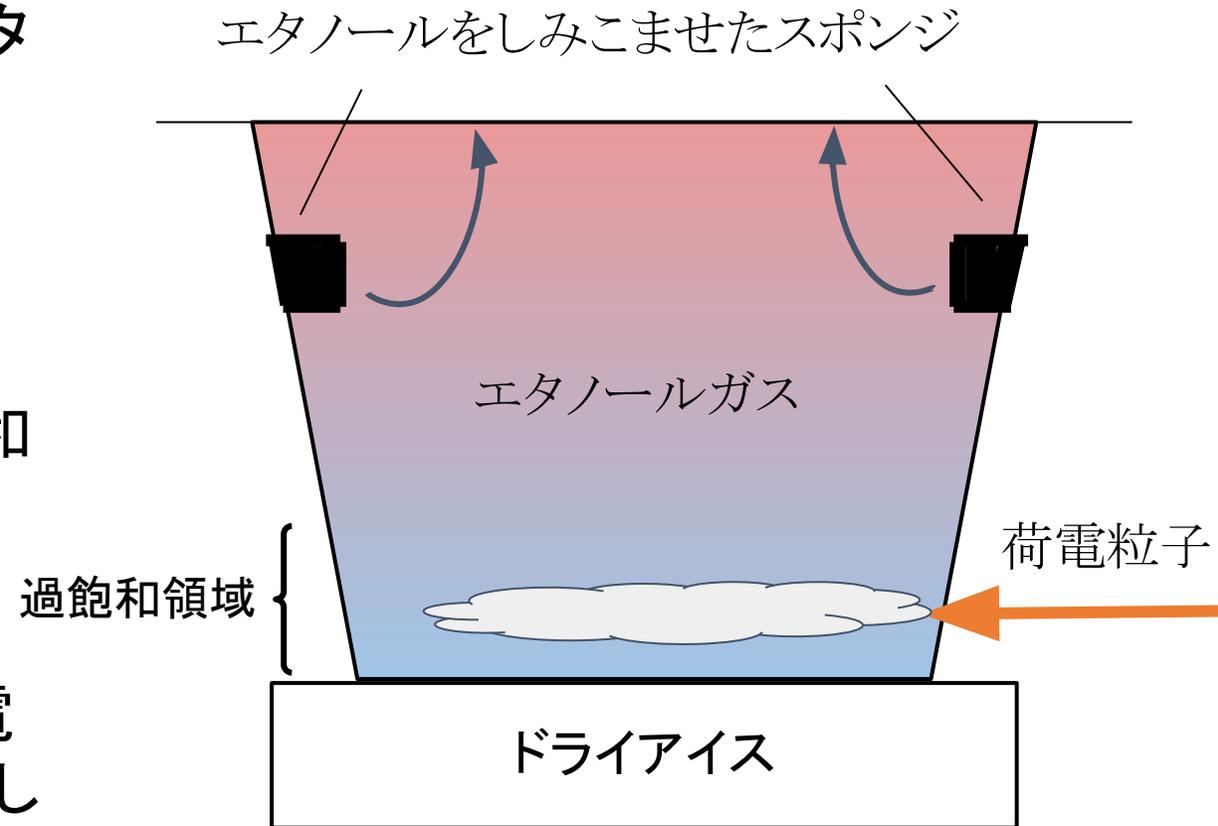
- 電子対生成を”目”で確認してみたい。

□ 霧箱なら実現可能



霧箱の原理

- 容器上部のスポンジに染み込ませたエタノールが蒸発する。
↓
- 蒸気が下部に向かって拡散する。
↓
- 気体がドライアイスに冷やされて「過飽和状態」が生じる。
↓
- そこへ荷電粒子が飛んでくると空気が電離してイオンが発生し、それを凝結核にして気体が凝結する。



本研究の目的

- 対生成によって生じる電子線を霧箱を用いて観測する。

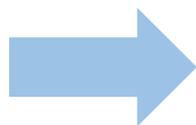
問題点① 簡易的な実験で α 線は見えたが β 線(電子線)は見えなかった。

→ α 線を用いて霧箱の最適な動作条件を調べる。

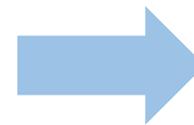
② 目視で解析することは難しい。

→ α 線の飛跡を動画で撮影し**画像解析**の手法を使う。

α 線を用いて
動作条件を最適化



β 線が見える
ことを確認

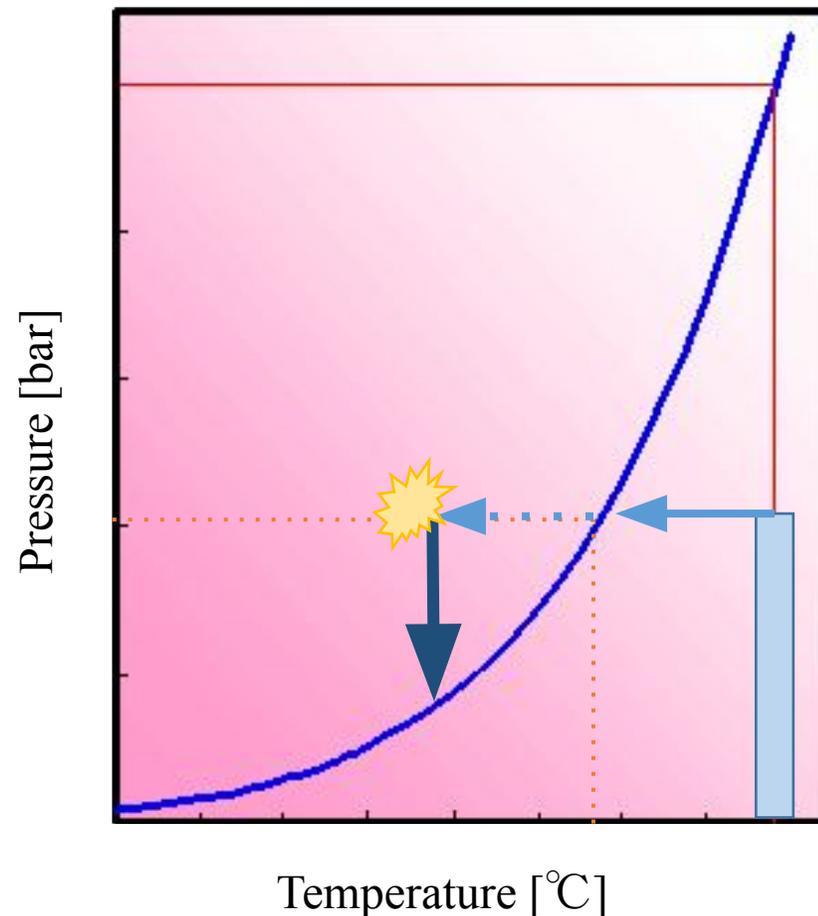


γ 線と物質との
反応を観測する

最適化の方針

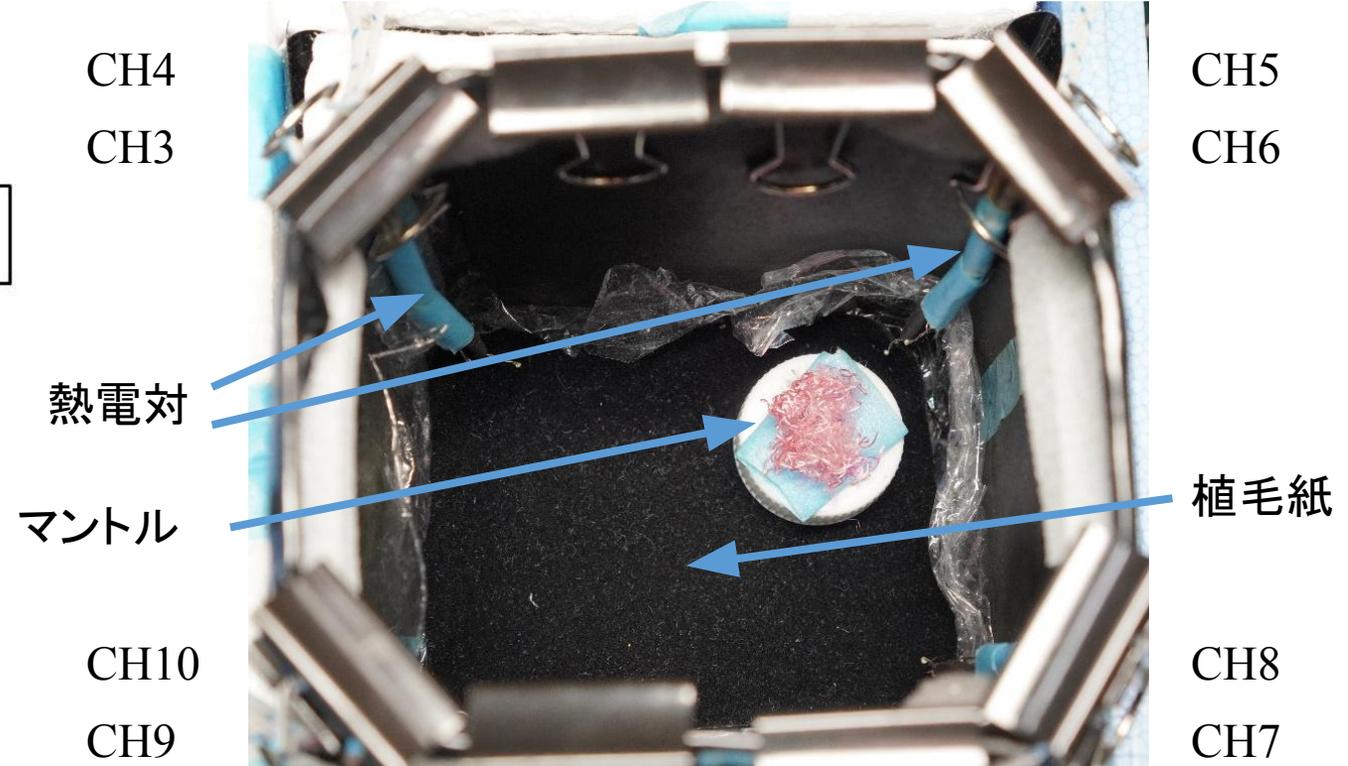
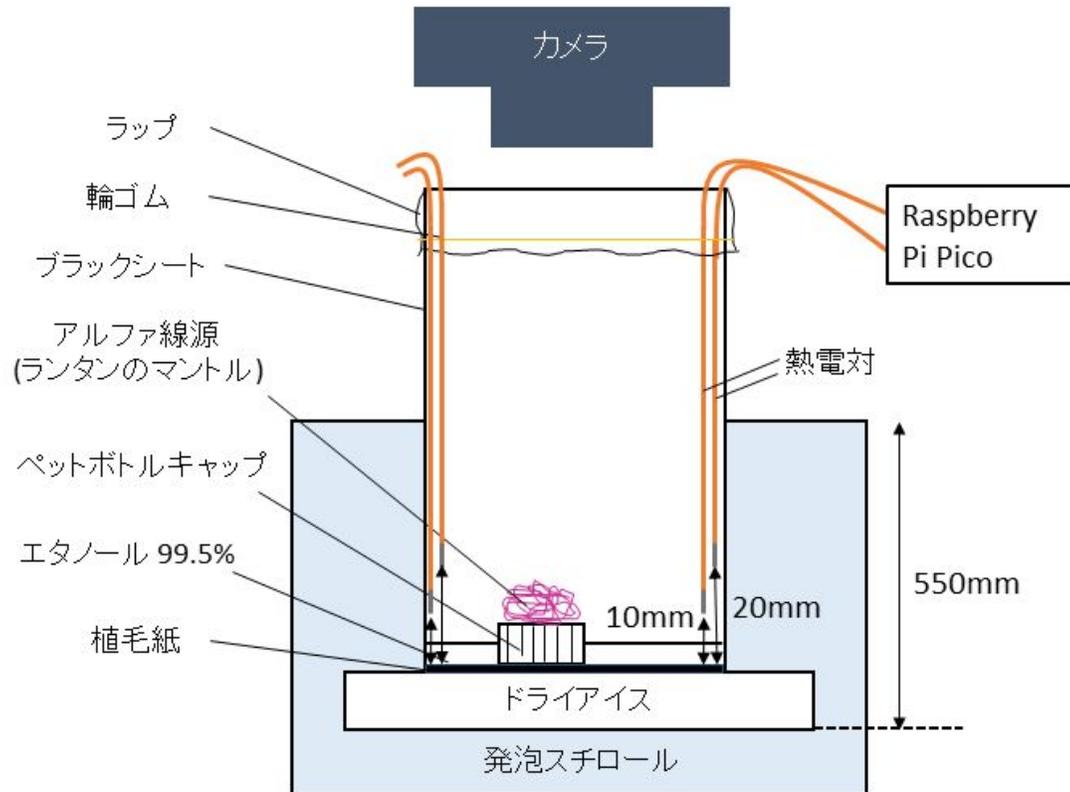
- 気体の温度を下げていくと露点に達しても液体にならず、気体の状態を維持する。これが過飽和状態である。
- ドライアイスの量が多いと、霧箱内の温度勾配も大きくなり、発生する霧の量が増える。
- エタノールの量が少ないと、十分な量の霧が発生しない。

➡ 十分な過飽和領域を確保するためには、**ドライアイスとエタノール**の量が重要なので、これらを最適化する



α線を用いた装置の最適化

- ドライアイスとエタノールの量をパラメーターとして変えながら測定する。
- 8点の温度をモニターできるように熱電対を設置した。

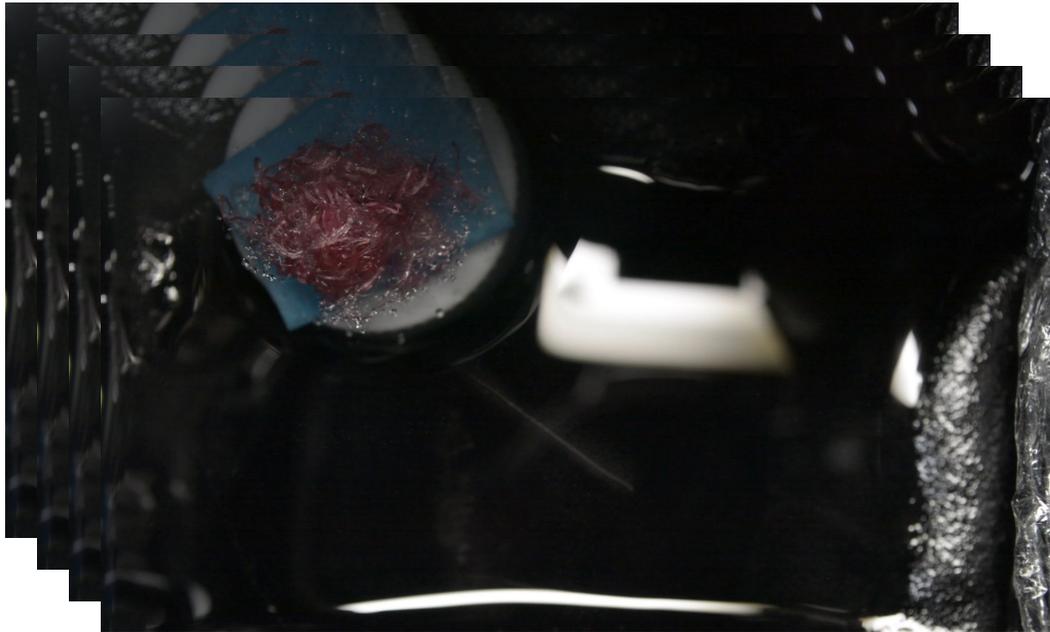


画像解析の目的

- ・霧箱の動作条件の最適化を行う際の指標として、飛跡の発生頻度を調べる
 - ・目視で定量化することが難しい、飛跡の
 - 発生時刻：放射線の発生頻度が分かる
 - 長さ：放射線の飛程が分かる
 - 角度：放射線の種類が分かる
- を調べることで、放射線の性質を系統的に理解する。

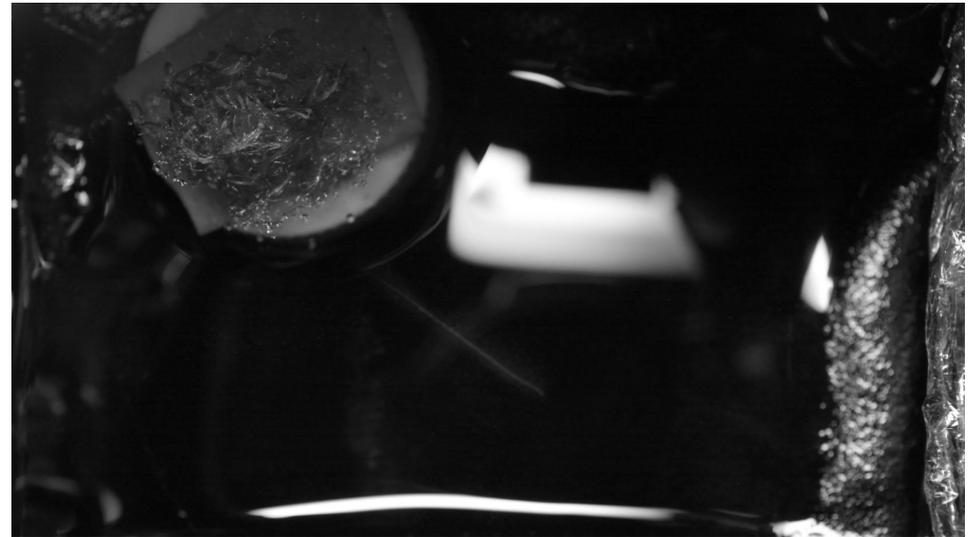
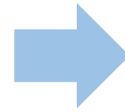
画像解析の手順(1)

- ・動画をフレームごとに分割



- ・グレースケール変換

飛跡は白いので、明るさの
情報のみにする

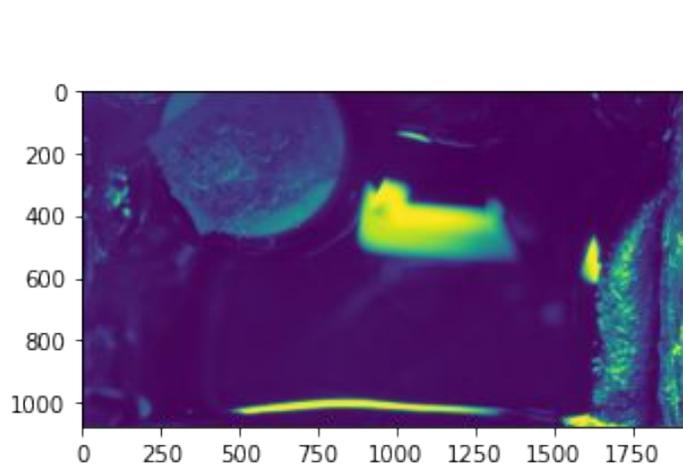


画像解析の手順(2)

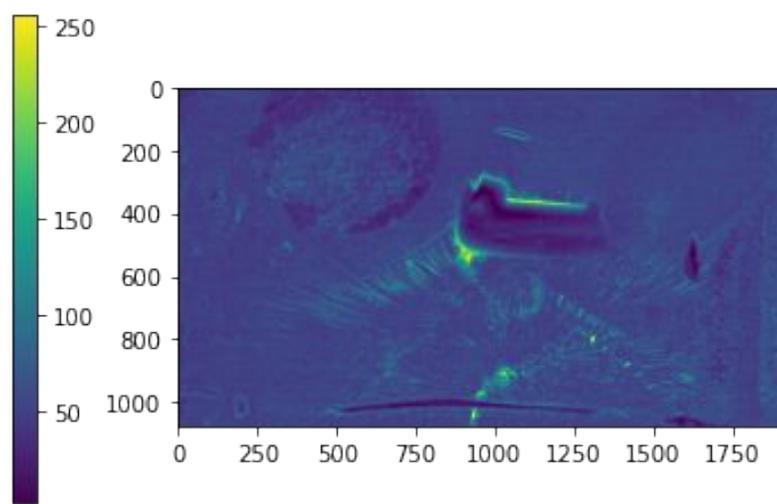
・背景差分

飛跡のない1秒間を抜き出し、明るさの平均と標準偏差を求める。

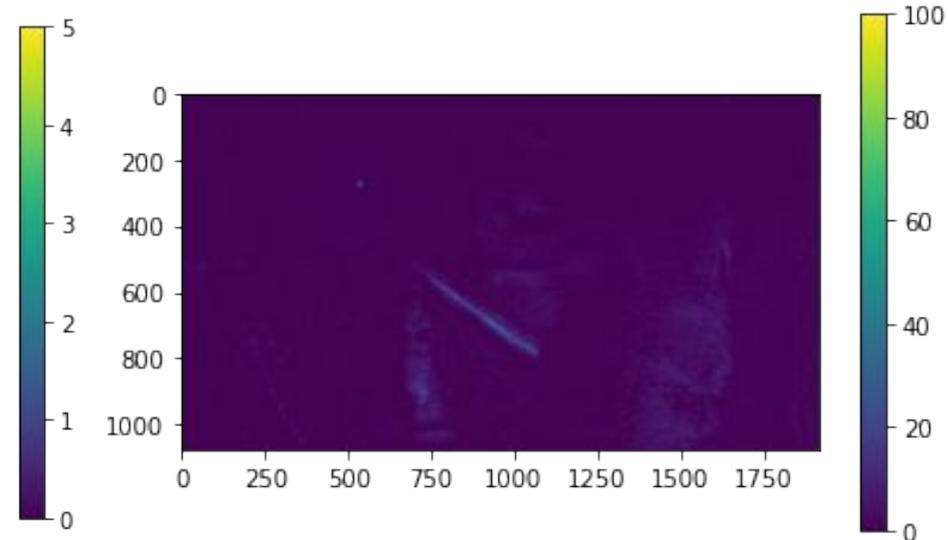
$s = \{(\text{明るさ}) - (\text{平均})\} / (\text{標準偏差})$ を計算し、差分画像を求める。



平均



標準偏差



差分

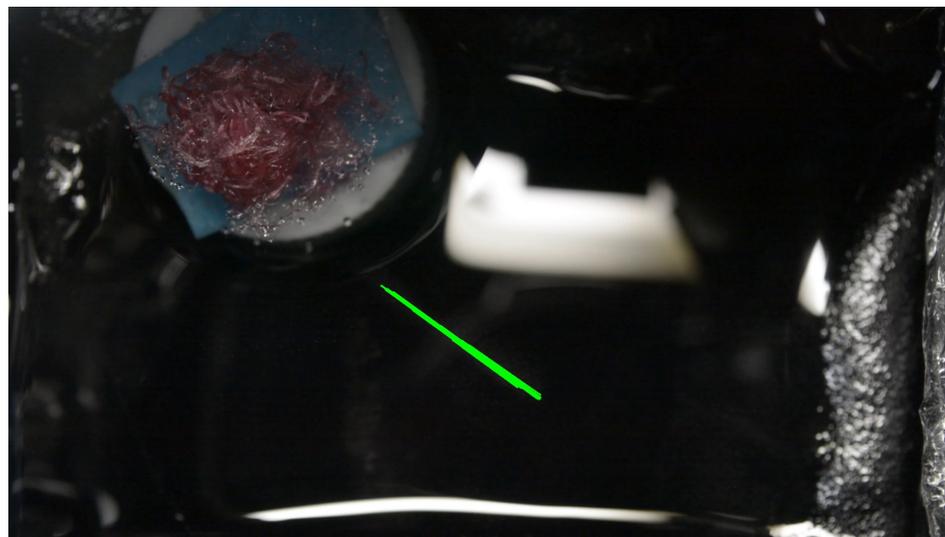
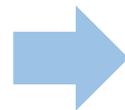
画像解析の手順(3)

- ・二値化

$s \geq 15 \rightarrow$ 白

$s < 15 \rightarrow$ 黒

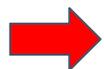
- ・ノイズ処理 (メディアンフィルタ)



- ・直線検出 (Hough変換)

検出された直線の数を数える。

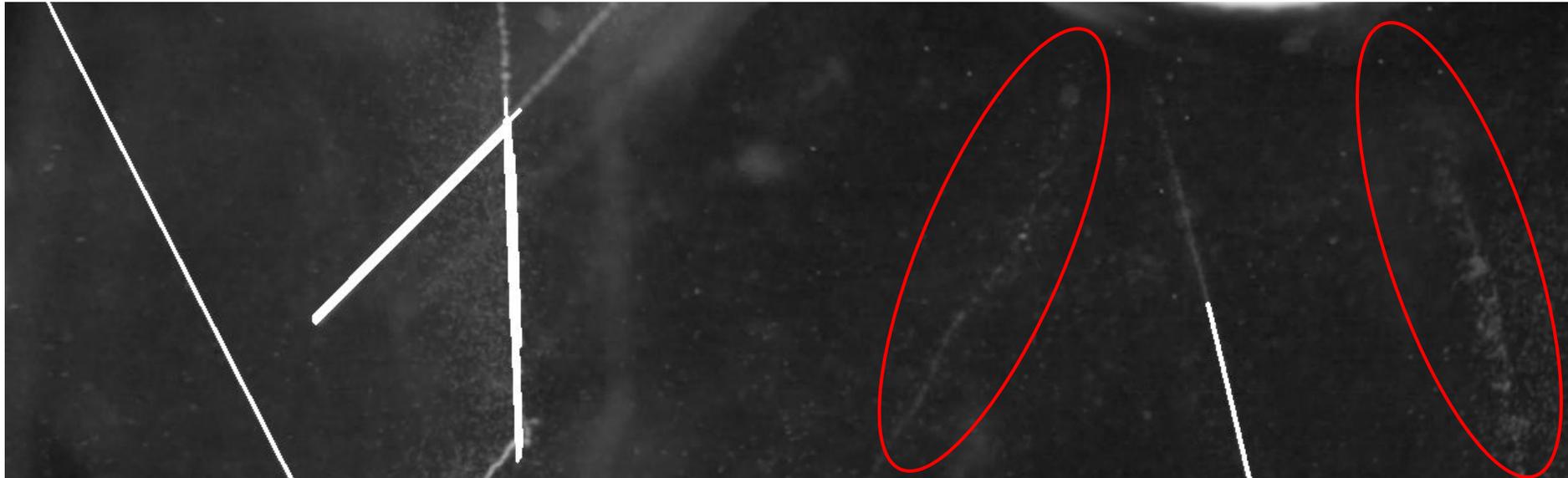
直線同士が200 pixel以上離れていれば別の飛跡とみなす。



飛跡の発生時間、長さ、角度が測定できるようになった

画像解析アルゴリズムの性能検証

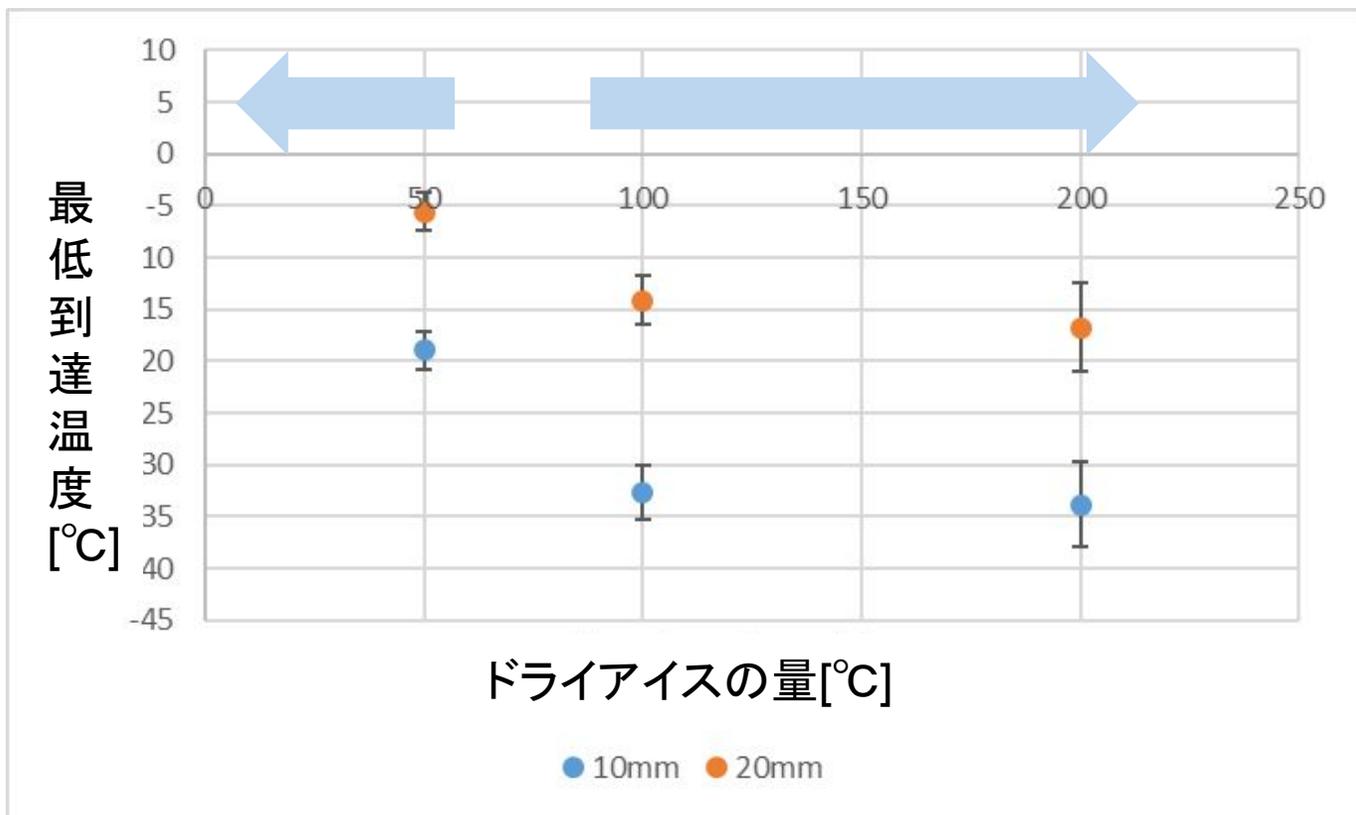
- ・画像解析で検出された飛跡の数 : 800
目視で観測された飛跡の数 : 850
- ・閾値の設定によって、実際には見えていても検出されない直線がある



ドライアイスの量を変える

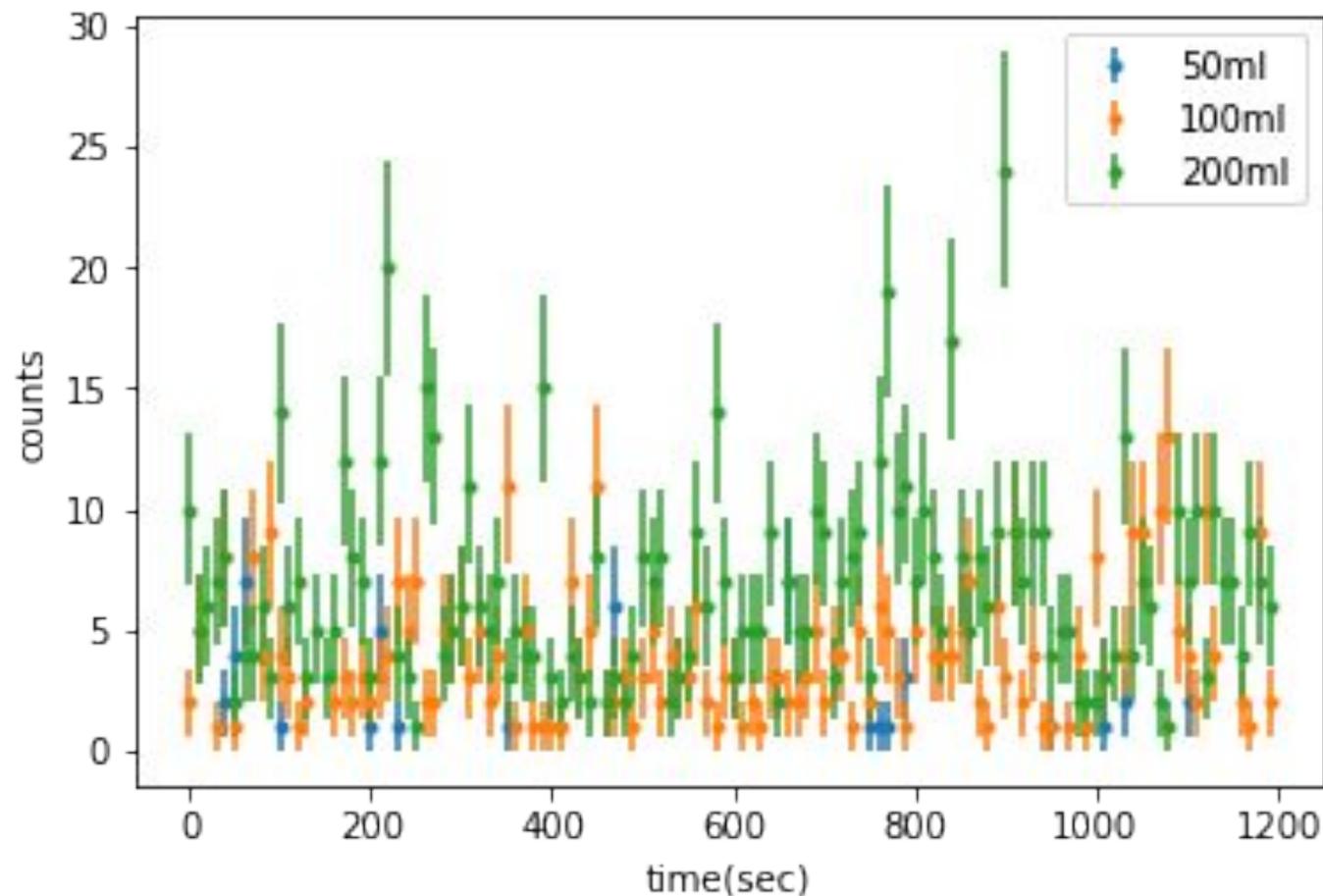
- かき氷機でドライアイスを一様な粒子状態にして体積を調整した。
- 底から10 mmと20 mmの地点の熱電対の示す最低温度の平均を取った。
- **100 mL以上であれば最低到達温度を最も下げることができた。**

ドライアイスの量と底の温度の関係



ドライアイスの量を変える

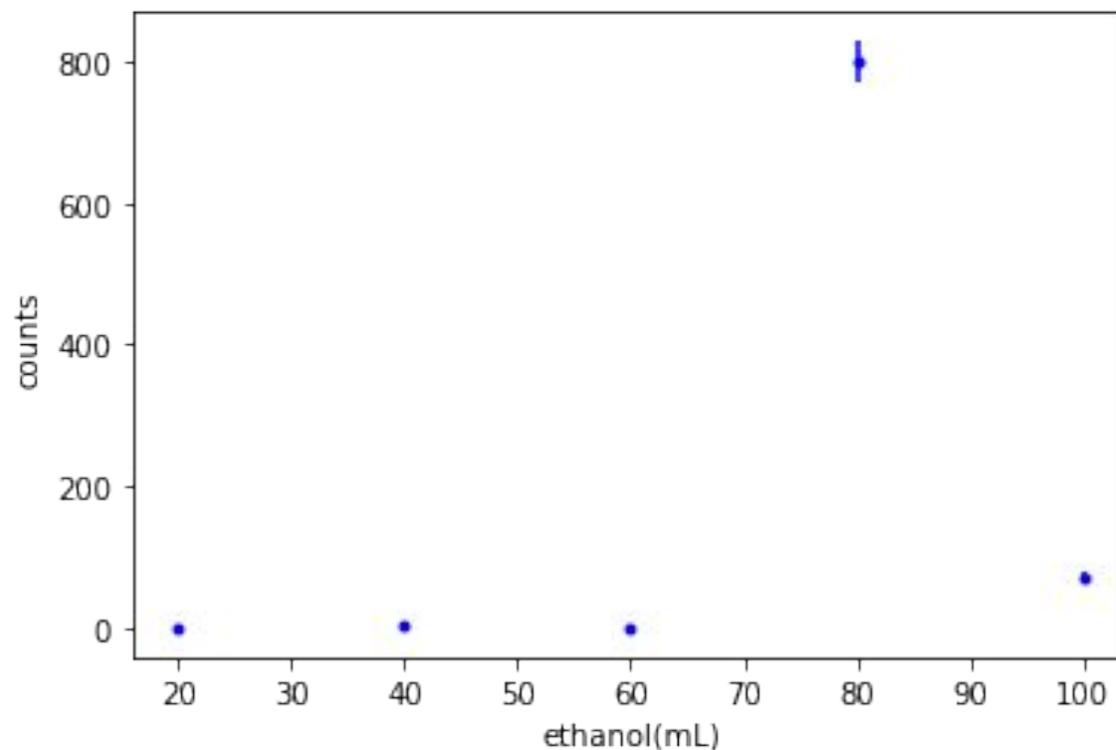
- 10秒ごとの飛跡の数を画像解析によって求めた。
 - 100 mLの時よりも200 mLのほうが飛跡は見つけやすい。
- ドライアイスの量は200 mLに決めた。**



エタノールを変えた実験の解析結果

- エタノールの量を増やすと80 で急激に飛跡の数が増えた。
- 画像解析では80 mLの時の飛跡が数えられるようスレッシュホールドを高く設定したため、20 mLから60 mLでは飛跡がほとんど0になってしまう。
- 100 mLではなぜか飛跡の数が減ってしまった。

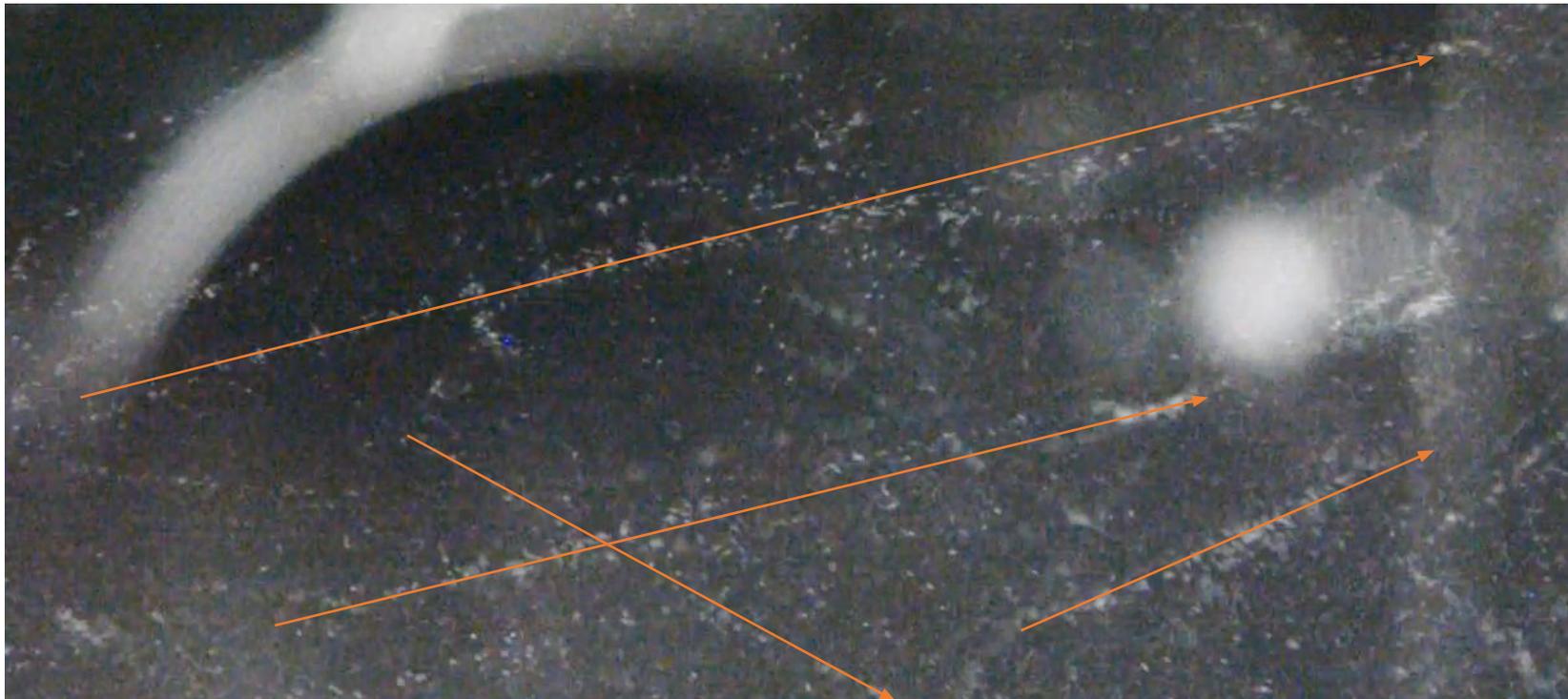
エタノールの量は80 mLに決めた。



ミューオンとβ線の観測

先ほどの条件で線源を置かないとミューオンと思われる飛跡が現れた。
β線源Sr-90をおくと大量にβ線の飛跡が現れた。

β線の様子

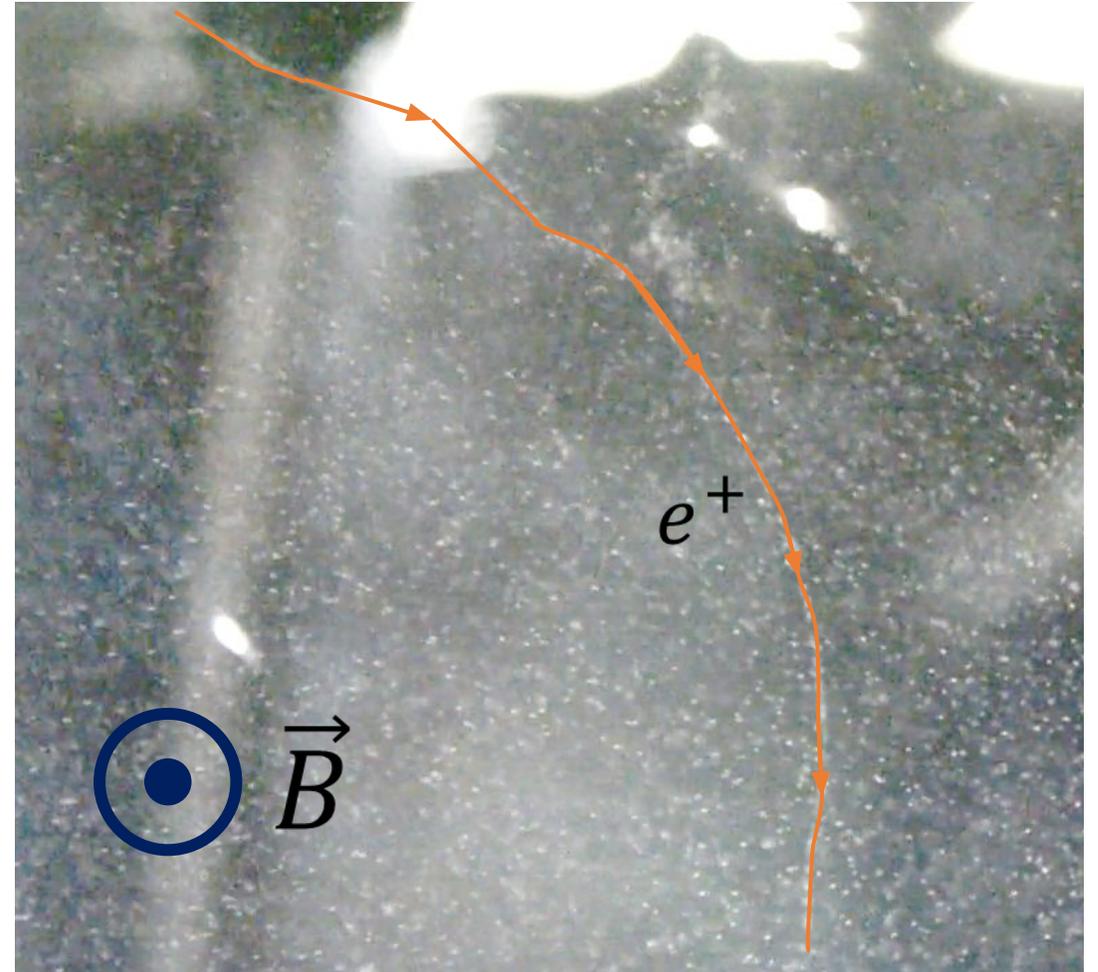


陽電子の観測

陽電子も見えるか確認した。

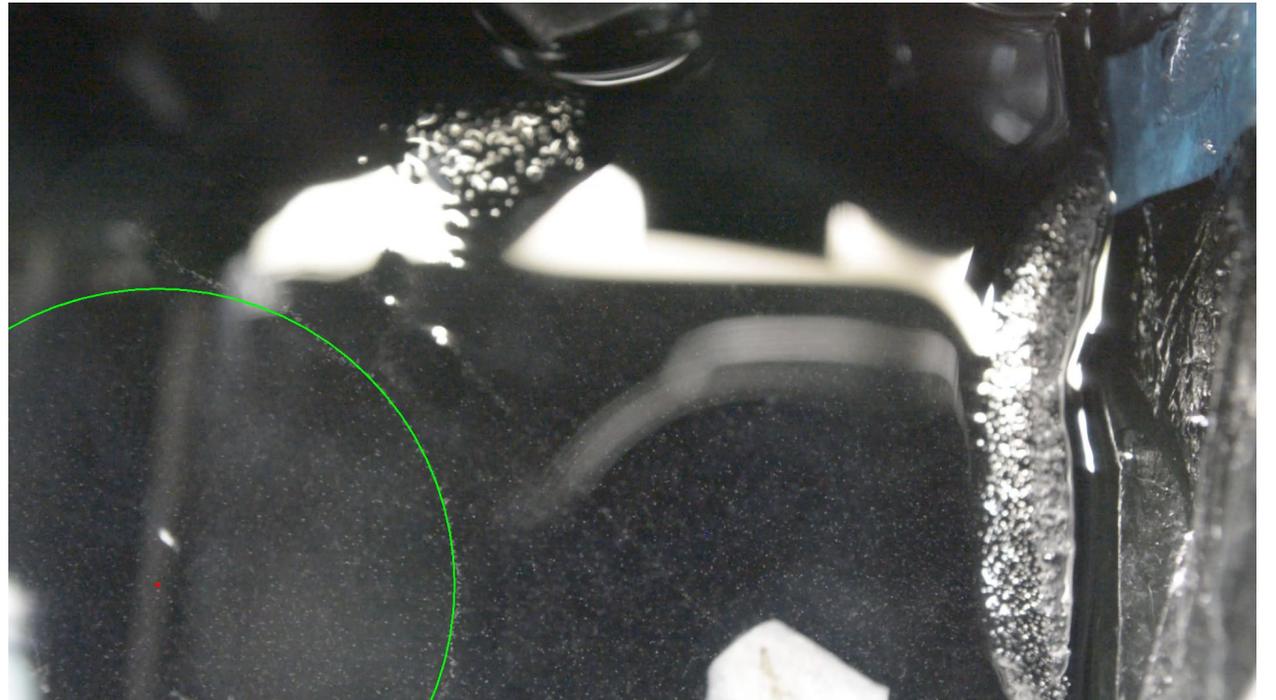
装置の底に磁石を固定し、霧箱左側に
 β^+ 線源Na-22をおくと陽電子の飛跡が現
れた。

磁場の強さは平均してN 5 mTであった。



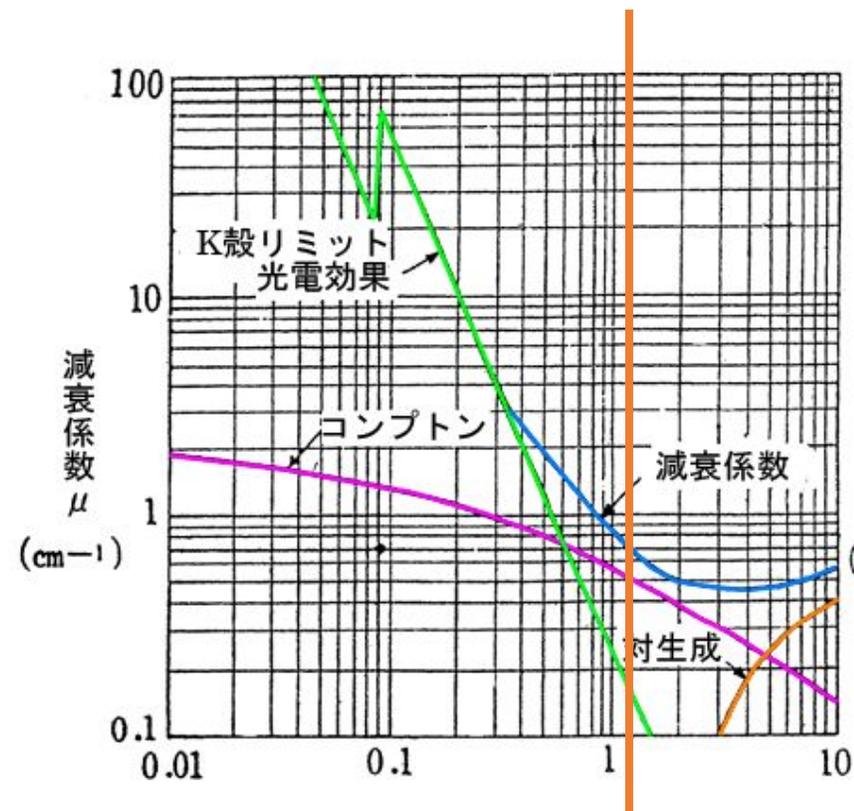
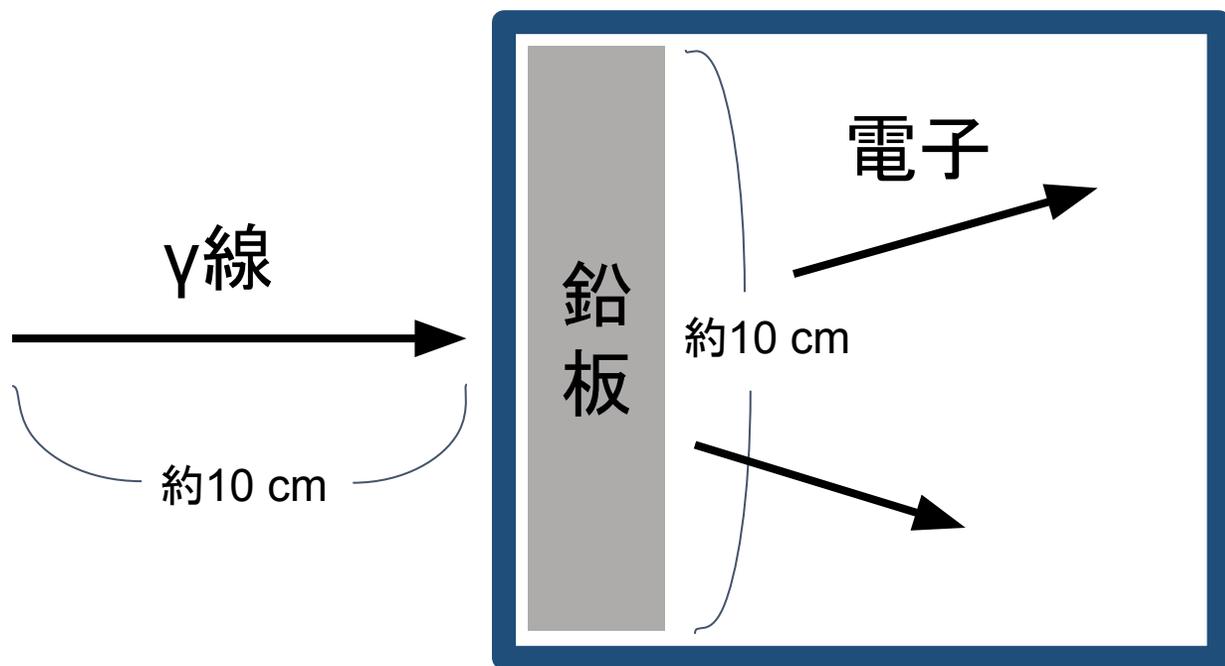
エネルギーの導出

- 曲線に対して直線検出を行いその中から3つの線分を選び円を描いた。
- 右図の場合半径は $R = 1.98\text{cm}$ だった。
運動量 p は $p=300RB$ より
 $p = 29.7 \text{ keV}$
よって運動エネルギー K は
 $K = 0.862 \text{ keV}$
と求められた。
→エネルギーが小さすぎて1cmも飛べるはずがない！
多重散乱による曲線だと思われる。



γ 線と物質との反応の観測

- 厚さ約0.9 mmの鉛板に、 ^{22}Na を線源として1.274 MeVのエネルギーをもつ γ 線を照射した。



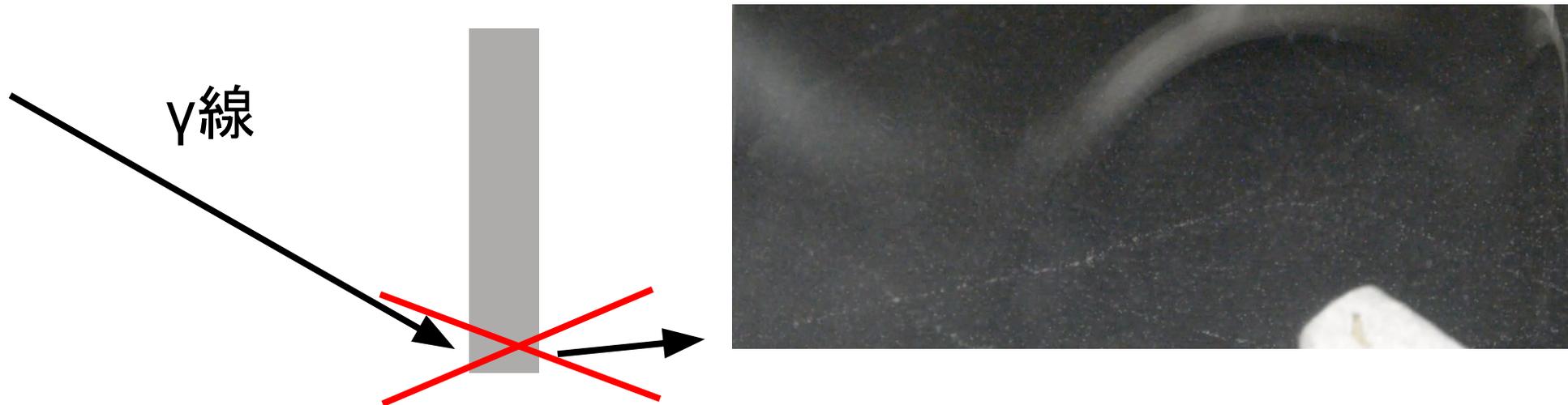
断面積の比から0.6%は対生成が起きると期待できる。

対生成の候補

- 散乱された γ 線のエネルギーは

$$E'_\gamma = \frac{1}{1 + \frac{E_\gamma}{m}(1 - \cos \theta)} E_\gamma$$

これが対生成可能な1.02 MeVを超えるには入射 γ 線とほとんど同じ向きでなければならない。20分の動画を目視で確認したところこの条件を満たす対生成と思しき候補は見つからなかった。



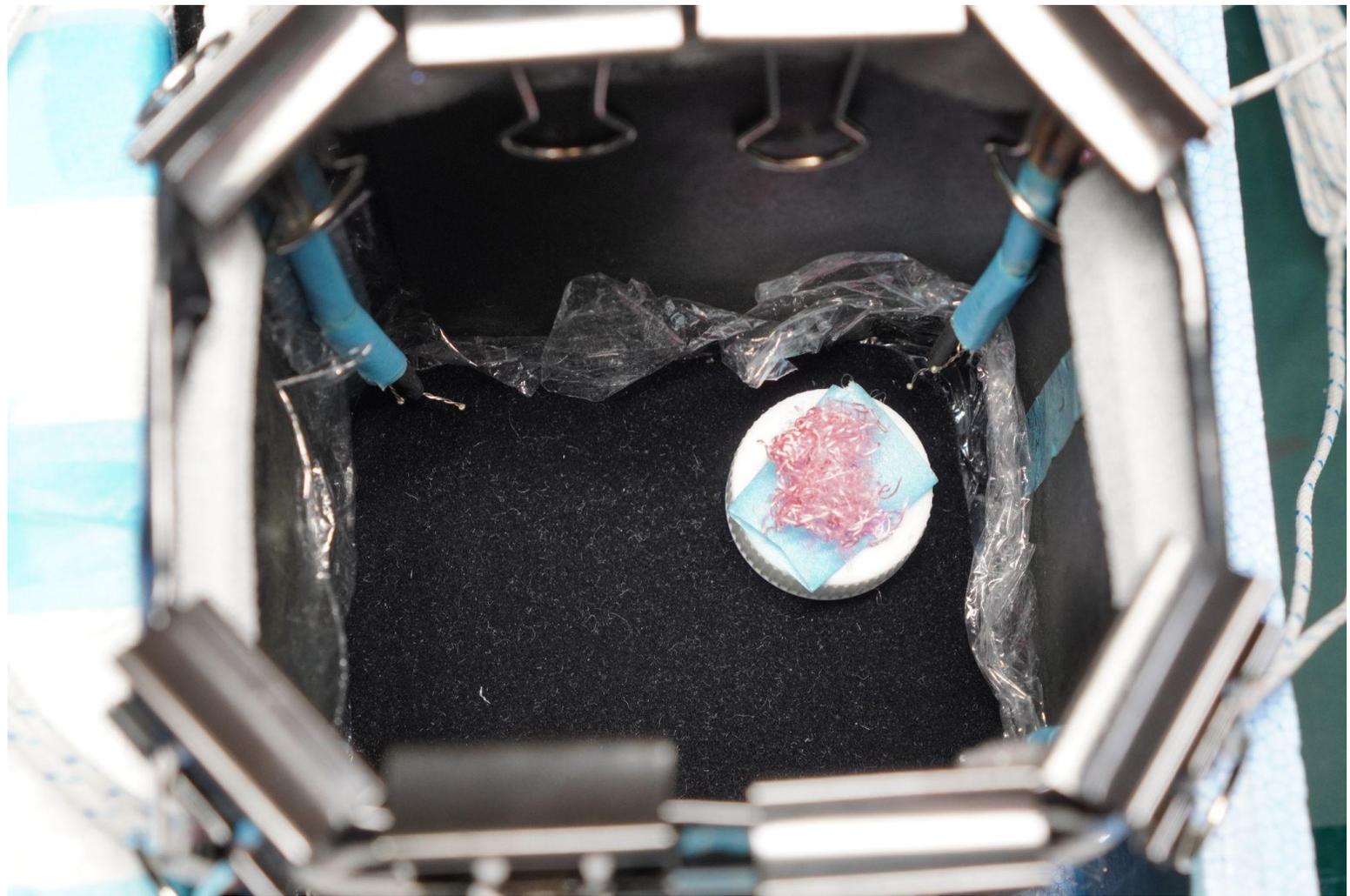
考えられる改善点

- より強力な γ 線源を用いる。
- 磁場を強くして曲率半径を小さくする。
- 線源の距離を遠ざけ単位時間当たりの飛跡の数が画像解析しやすいようにする。
- 検出効率が悪いと対生成の2本を同時に見つける確率が下がる。検出効率を導出し、それに応じてイベント数を増やす。

結論

- ・ α 線を用いて装置の最適条件を求めることができた。
- ・放射線の性質を系統的に理解するため画像解析を行った。
その結果、飛跡の発生時刻や長さ、角度が分かるアルゴリズムができた。
- ・対生成は判別できなかったが、 α 線だけでなく β^\pm 線、光電効果・コンプトン散乱による電子線、ミューオンなどの放射線を観測することができた。

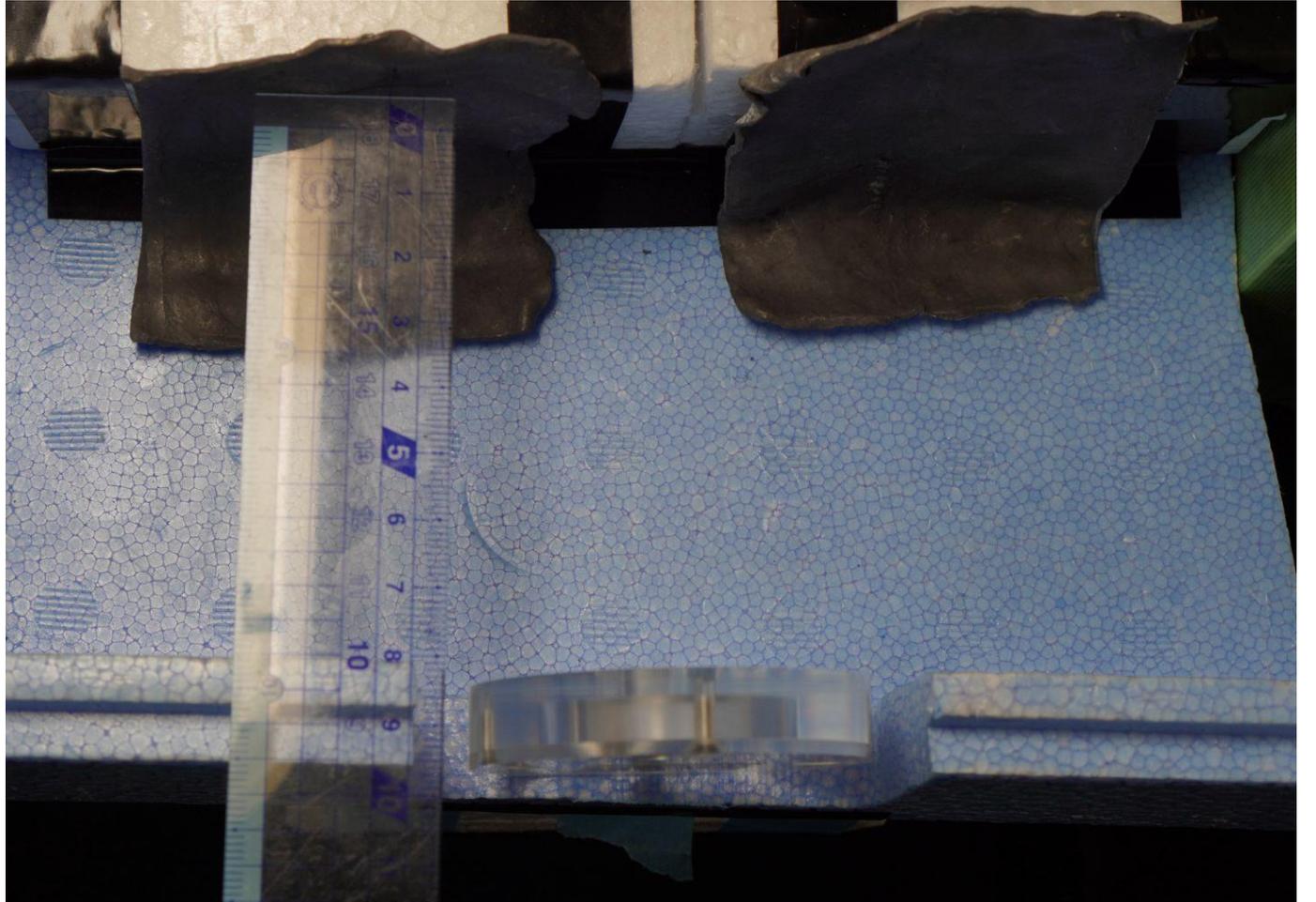
Back Up

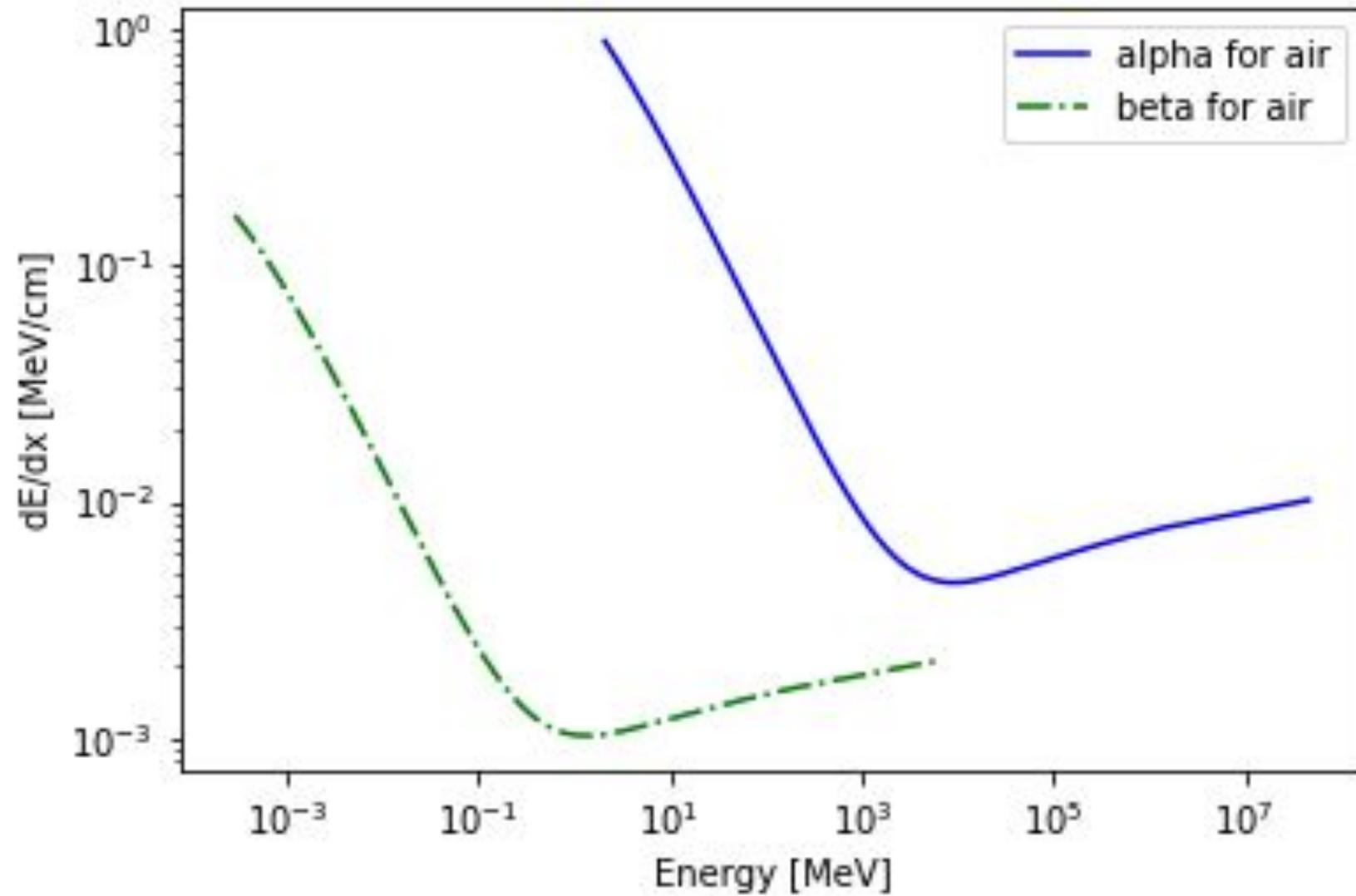


カメラの設定

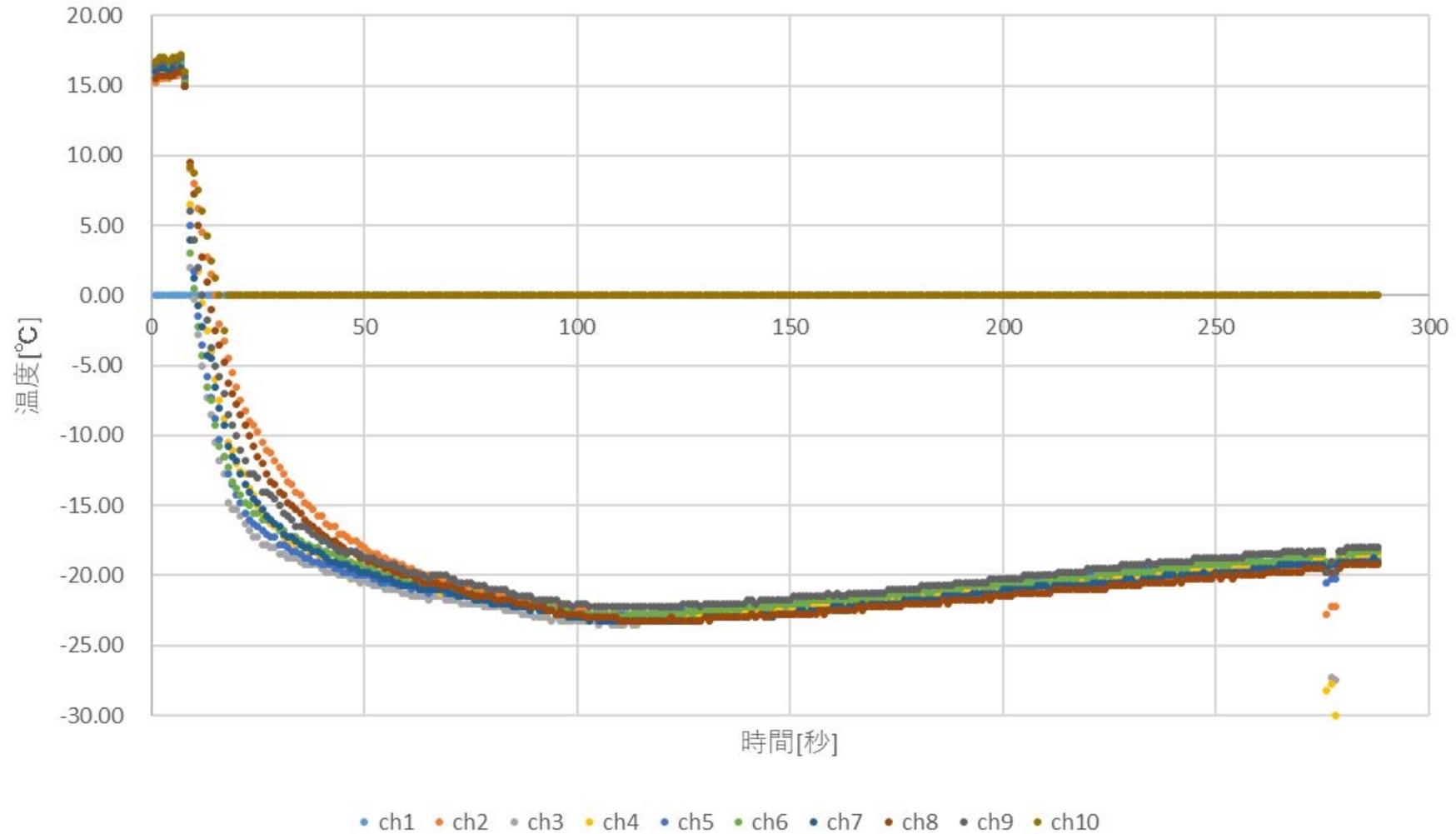
焦点距離40mm F8.0 SS1/100 ISO1000

1080P 30fps

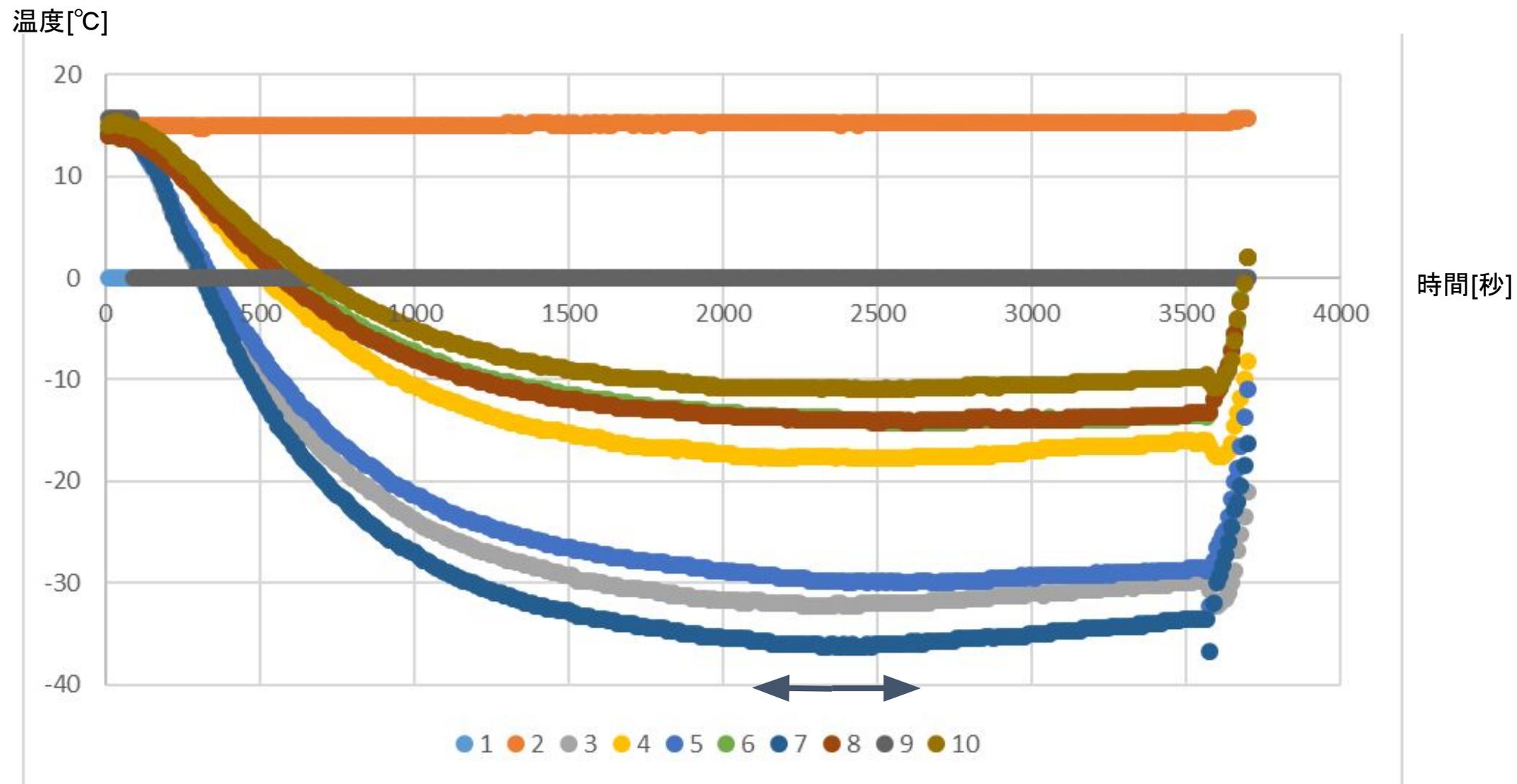




10本の熱電対を冷凍庫で冷却したときの温度変化



ドライアイス100 mLの時の霧箱内の温度変化

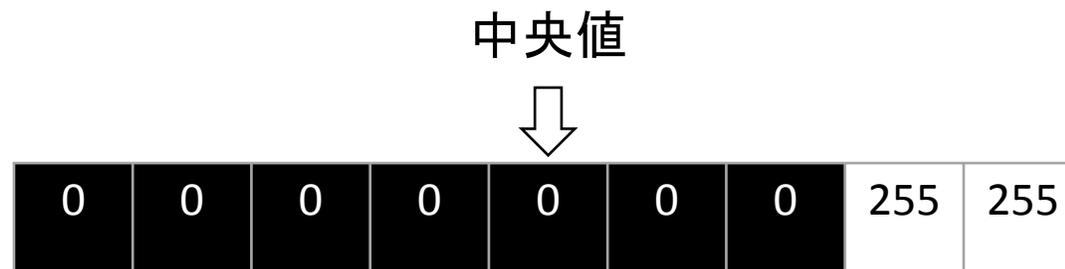
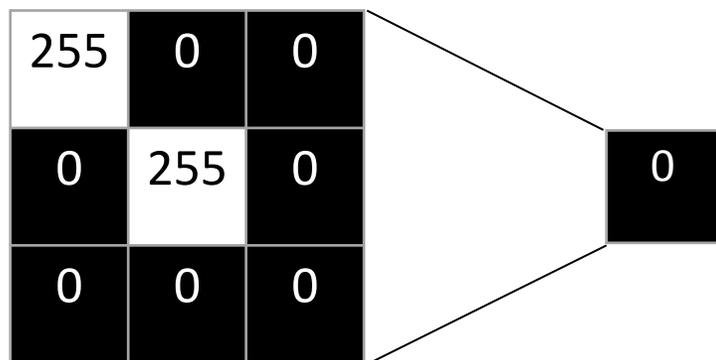


ノイズ処理

- メディアンフィルタ

...カーネル内のピクセルの明るさを小さい順に並べた時の中央値を出力する

カーネルサイズ = 3

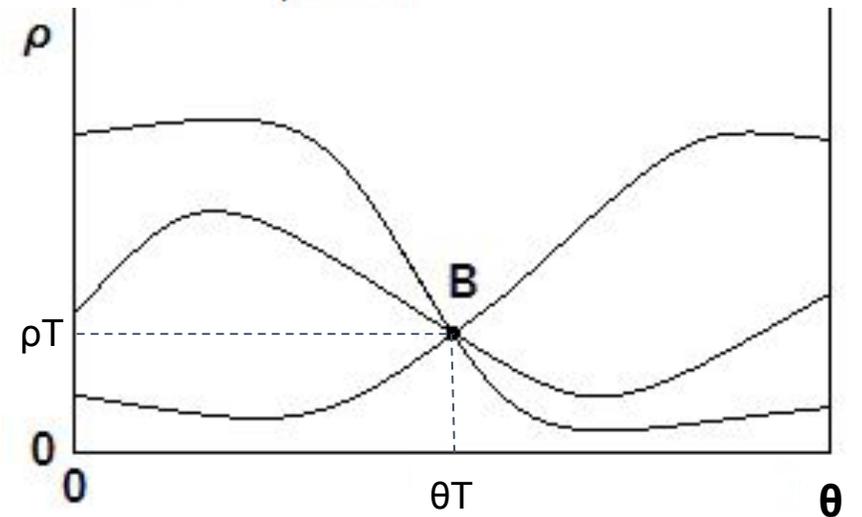
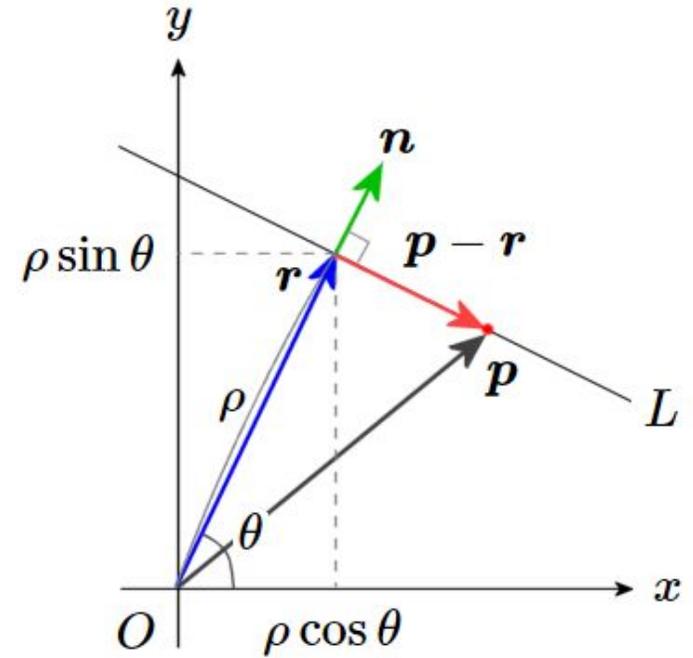


直線検出

- Hough変換

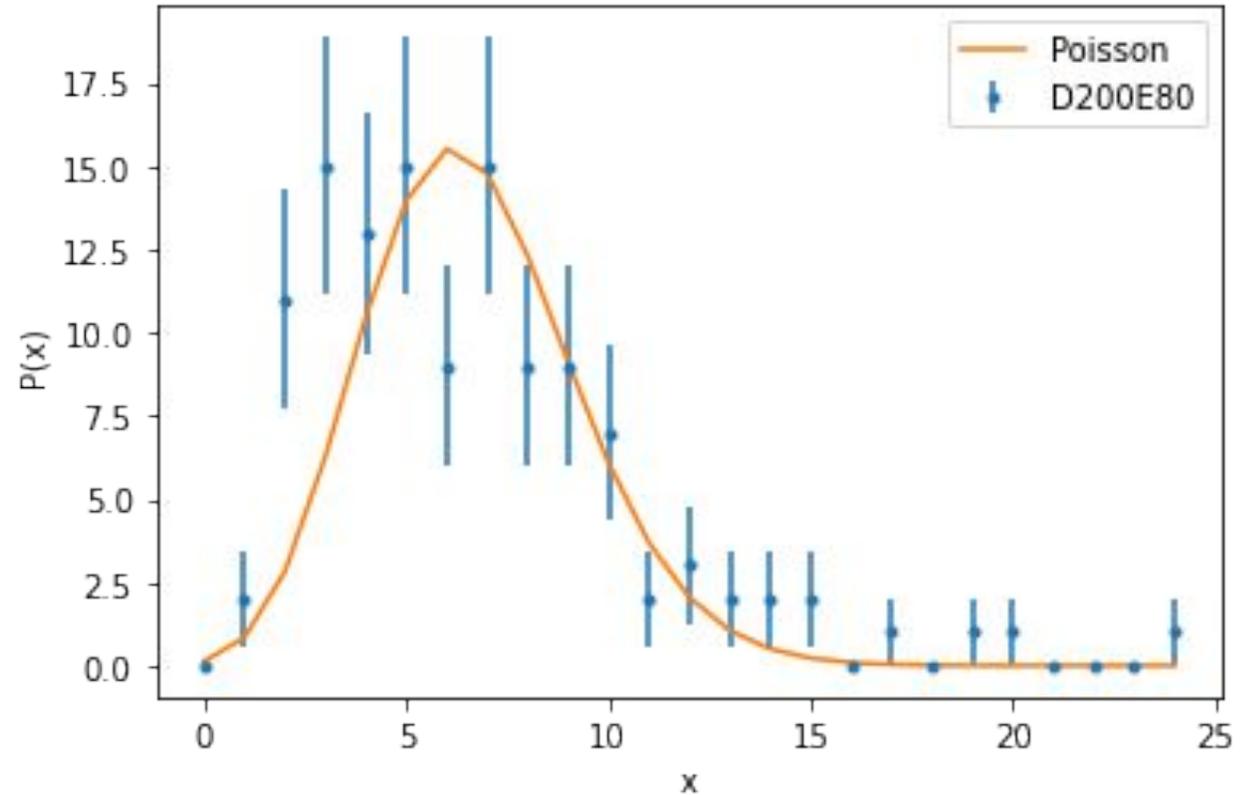
直線Lの方程式： $x\cos\theta + y\sin\theta = \rho$

画像中のすべての画素(x, y)に対して直線の式を満たす (θ, ρ) の組み合わせを計算すると、真の直線パラメータ (θ_T, ρ_T) 付近に交点ができる。



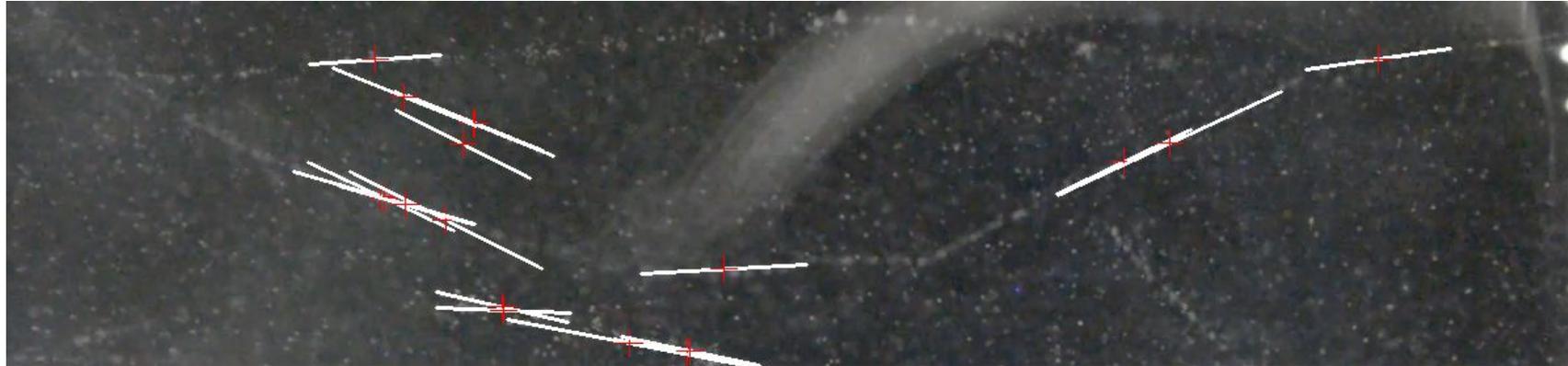
ポアソン分布

- ・ α 線の動画 (ドライアイス200ml, エタノール80ml) を用い、10秒ごとの飛跡の数をプロットした。
- ・平均値6.67のポアソン分布をプロットしたところ、大体一致した。



円検出

- 直線検出を行い、検出された直線の中心をとる。



- 飛跡上の点を3点選び出し、これらを通る円を描く。

