

超微粒子原子核乾板における プラズモン解析

東邦大学 森崎紘明

研究背景

NEWSdm実験

(Nuclear Emulsion for WIMPs Search direction measurement)

目的・・・暗黒物質の方向感度を持った直接検出

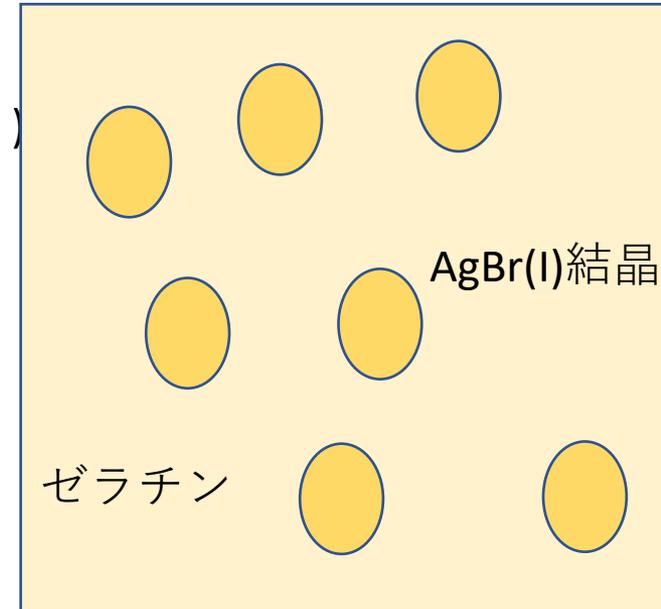
検出対象・・・WIMPs (Weakly Interacting Massive Particle)

検出器・・・超微粒子原子核乾板NIT (Nano Imaging Tracker)

暗黒物質事象(シグナル)
NIT中の原子核である
C,N,Oの反跳飛跡

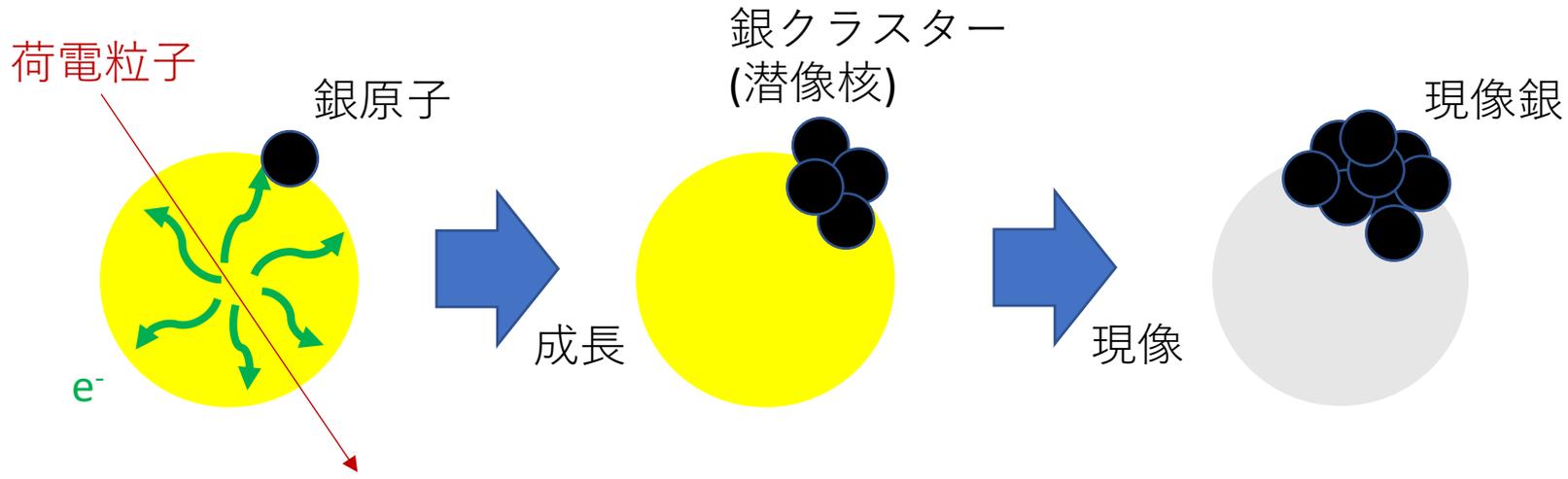
背景事象(ノイズ)
NIT中の放射性同位体で
ある ^{14}C 由来の電子事象

乳剤

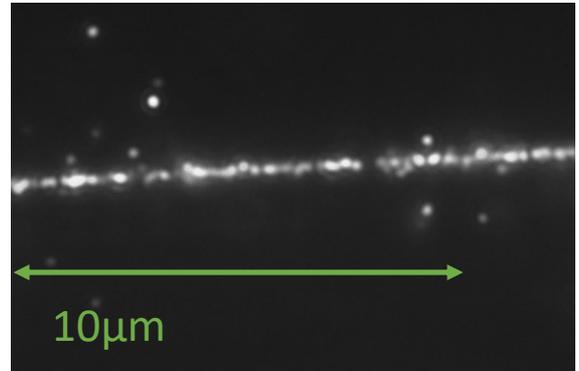


NIT中での暗黒物質事象(シグナル)と背景事象(ノイズ)
の事象識別が課題

NITの現像銀形成



- (1) NIT中のAgBr(I)結晶に荷電粒子が通過すると、その電離作用によって電子-正孔対が生じ、電子が格子間銀イオンに捕獲され銀原子生じる。
- (2) これが繰り返され、潜像核となる。
- (3) 現像処理により潜像核に電子を供給し、潜像核が成長し数十nmの現像銀となり、顕微鏡での観察可能となる。

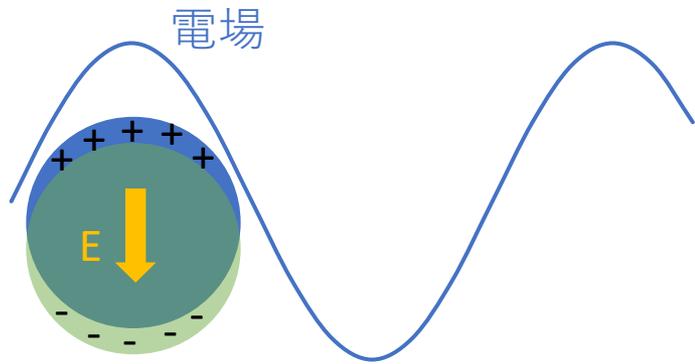


鉄イオン(28GeV)の顕微鏡画像

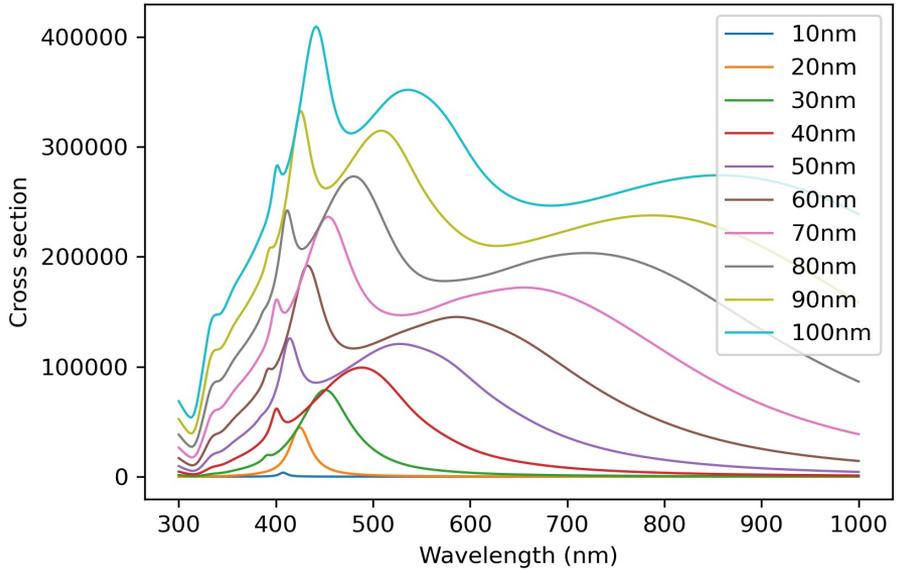
局在表面プラズモン共鳴

金属ナノ粒子に対する光学応答

入射光による反電場が電子の振動を生じさせる。その振動と入射光の振動数による共鳴。



銀のプラズモン共鳴波長の粒径依存性



金属球の分極率

$$\alpha = 4\pi r_1^3 \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\epsilon_1 + 2\epsilon_2}$$

共鳴条件

$$Re(\epsilon_1 + 2\epsilon_2) = 0$$

**現像銀はプラズモン共鳴を起こす
現像銀の形状差による異なる
光学応答が期待される！**

粒径によって、共鳴波長が異なることがわかる

プラズモン解析

従来の原子核乾板解析

現像銀密度[現像銀数/m]などの、
現像銀の**集団**での解析



現像銀密度[個数/ μm]?, 輝度、形状



プラズモン解析

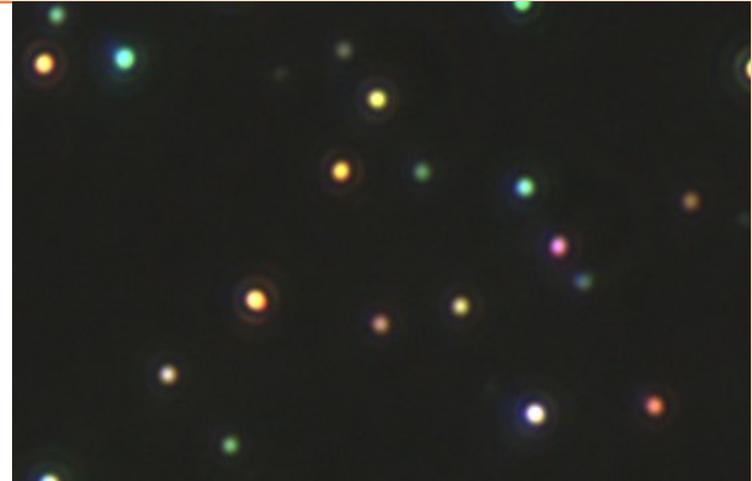
従来の解析に加えて、
個々の現像銀での色、形状の情報を
取得できる。



色?, 形状?



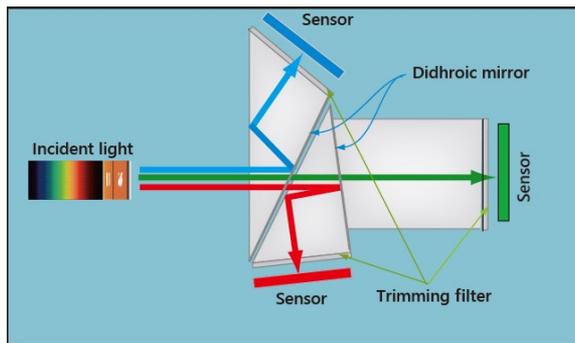
色?, 形状?



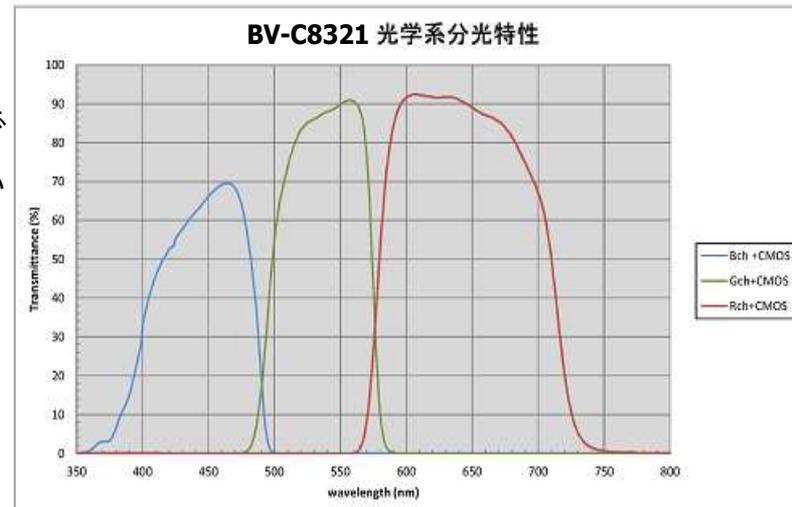
C30keVサンプル

プラズモン共鳴によって
現像銀が色づいている⁵!!

色解析セットアップ



プリズムカメラ
1ピクセルが色ごとに取得するので色の解像度が高い



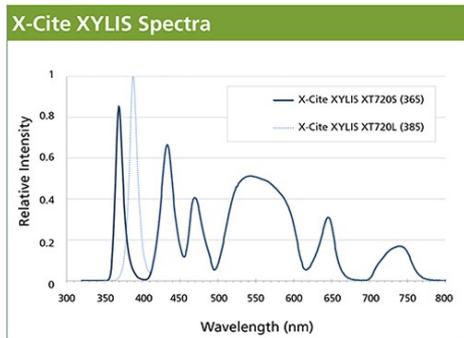
プリズムカメラ

プリズム(偏光、無偏光)

光源



2021,update
分光特性が高い



サンプル

事象識別

NITに入射する粒子の dE/dx の違いにより、現像銀の形状が異なる。
その形状差からプラズモン共鳴による光学情報(色情報)に違いが見られることが期待。

➡ NIT中において個々の現像銀での粒子識別ができる！！

暗黒物質事象
炭素イオン
(NITでの反跳原子核の疑似飛跡)

背景事象
電子事象
(ガンマ線照射サンプル)

の光学情報を用いて、粒子識別が可能か検証し、
その手法の確立を目指す。

画像解析

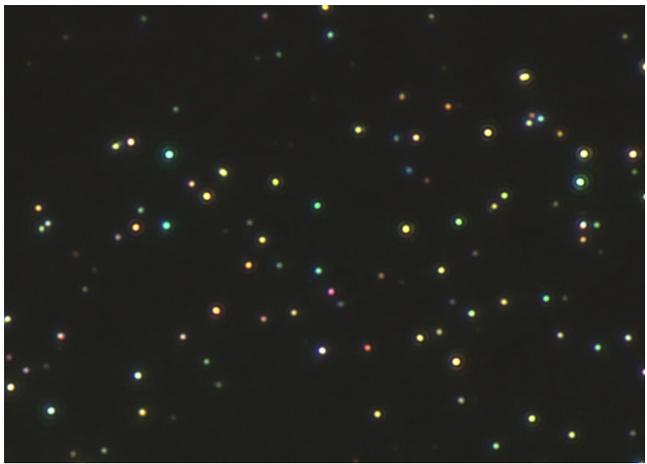
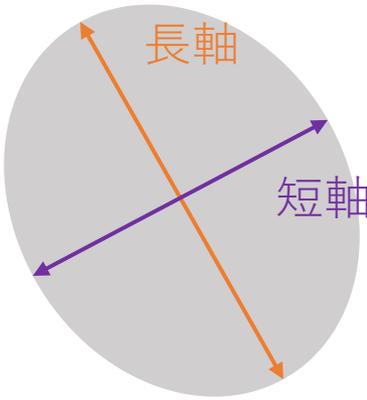
+

機械学習

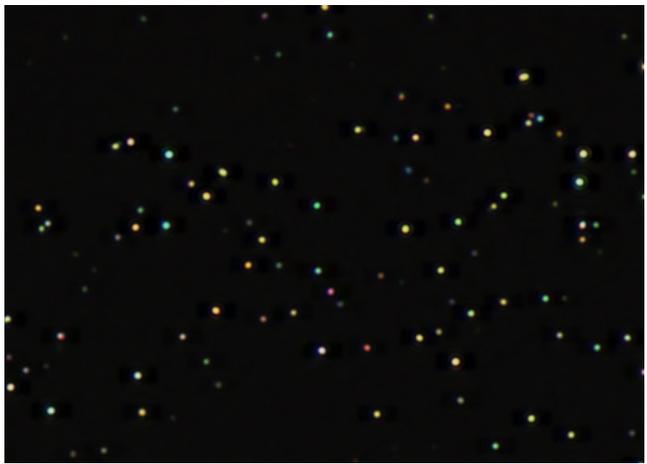
	E[MeV]	dE/dx [keV/10nm]
electron	0.02	0.2
C	0.03	0.68

画像解析による情報取得

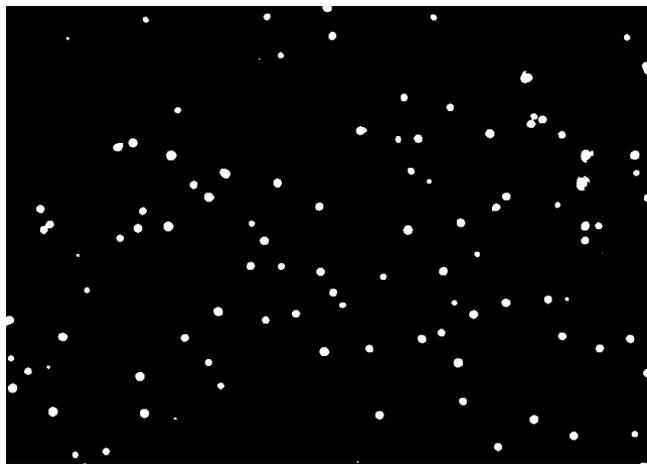
輪郭検出した事象



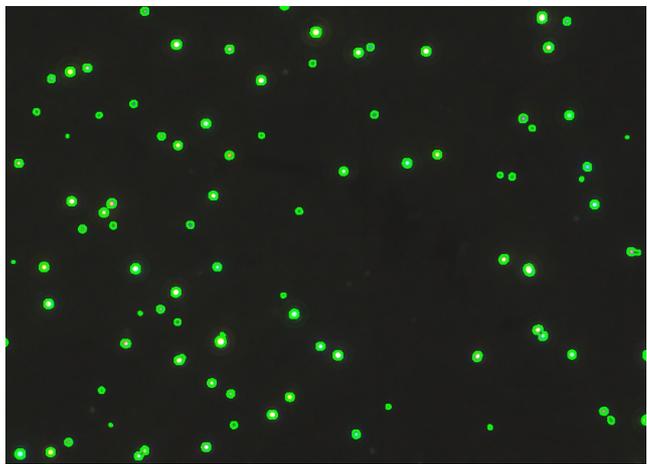
1.元画像



2.画像フィルタ



3.二値化



4.輪郭検出

Bch
1pixel 毎に、Gch を取得
Rch

現像銀毎にそれぞれの色で
足し合わせる。

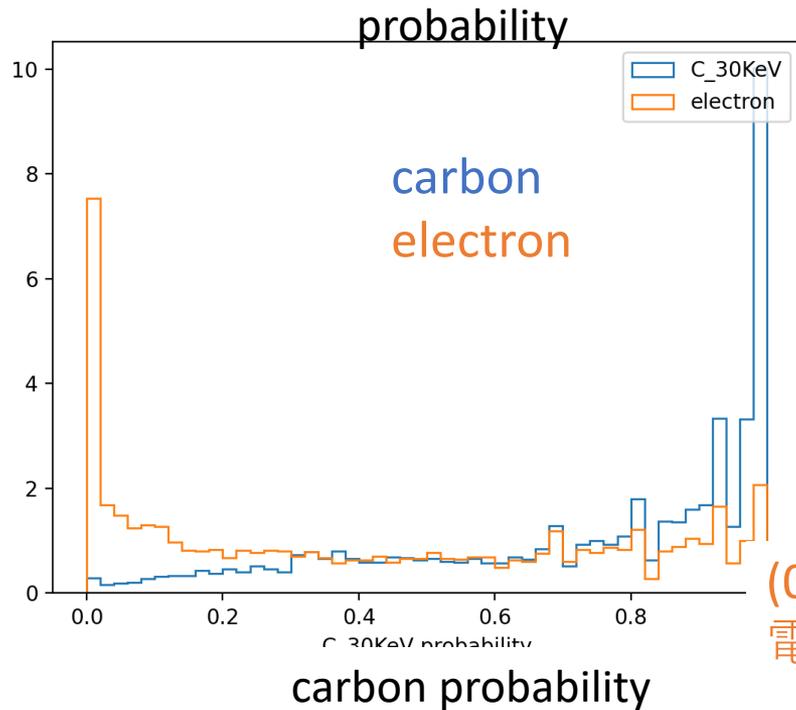
$$\text{平均輝度値} = \Sigma \text{Bch} / \text{Area}$$

$$\text{楕円率} = \text{長軸} / \text{短軸}$$

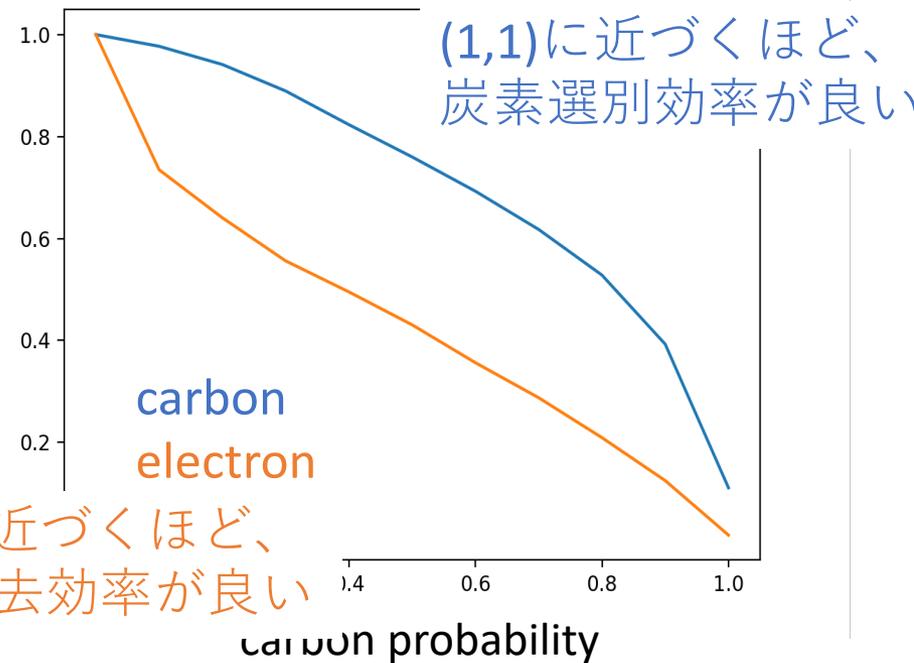
グレースケール情報での事象識別

学習データ

- ・ 事象のグレースケールの平均輝度値
- ・ 事象の面積
- ・ 事象の楕円率

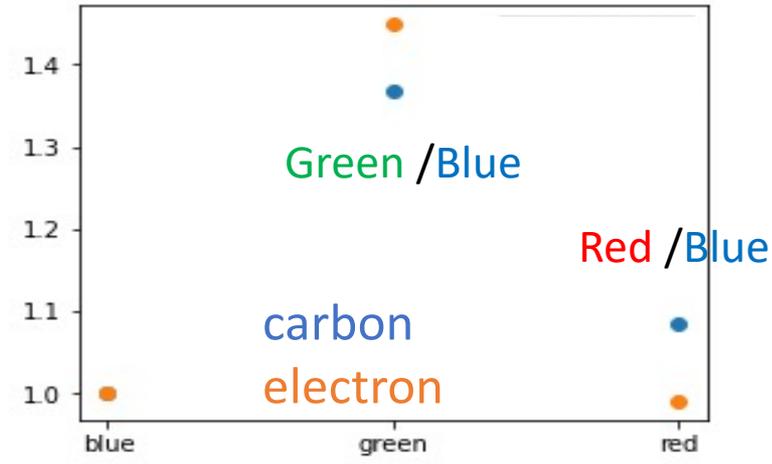
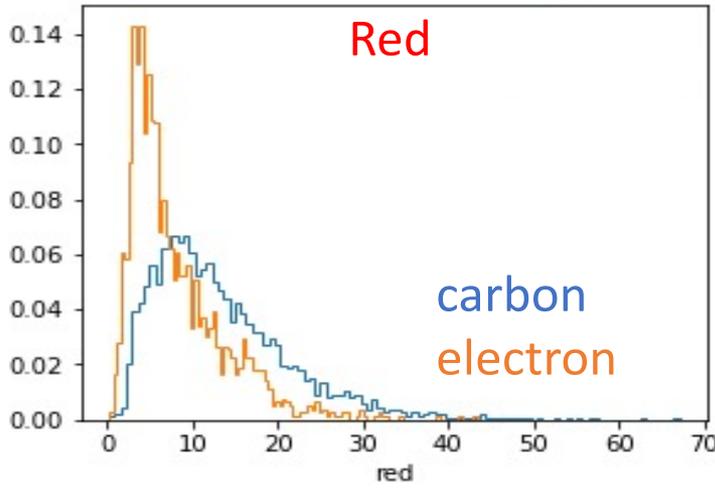
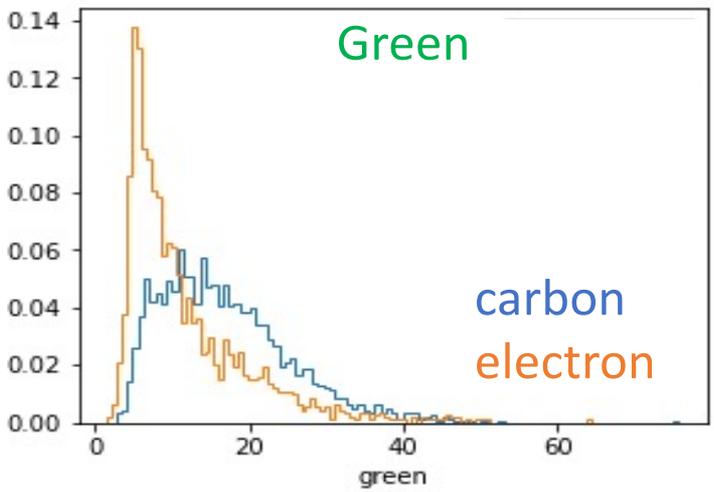
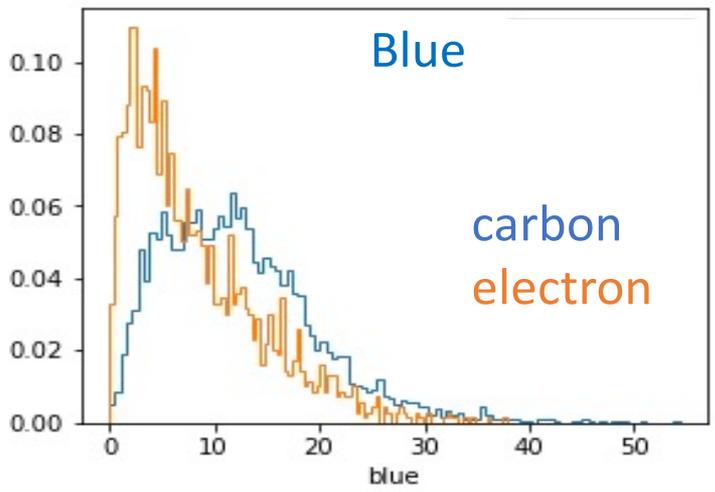


識別効率



例えば、炭素らしさ50%以上の炭素事象は、80%ある。

現像銀の色情報

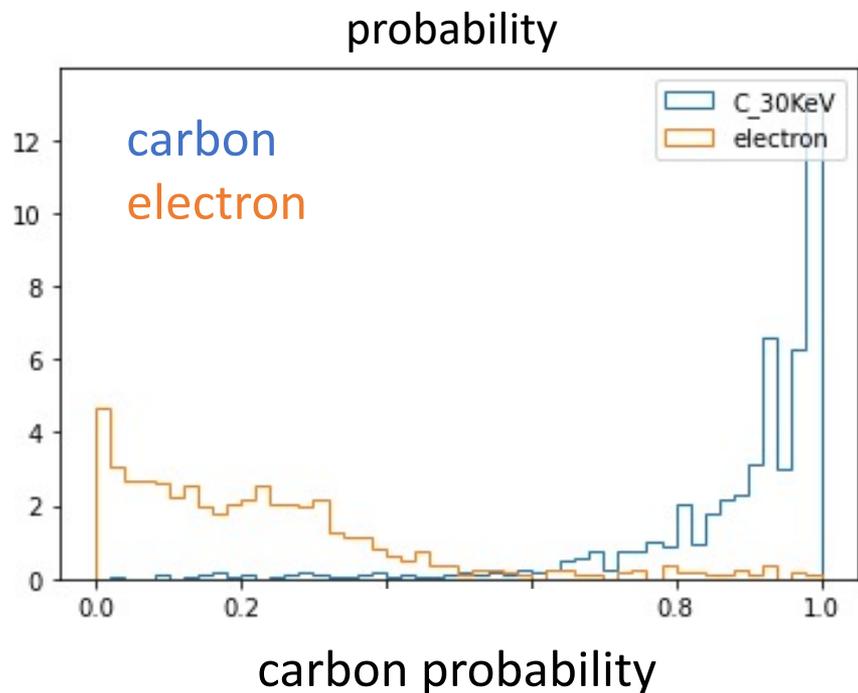


粒子ごとのgrainの光学情報のスペクトルの差が見られた。
炭素事象の方が、スペクトルに広がりがある。
炭素事象による事象が長波長にシフト

プラズモン解析を用いた事象識別

学習データ

- ・ 事象のBlue、Green、Redの平均輝度値
- ・ 事象の面積
- ・ 事象の楕円率



識別効率

eff

(1,1)に近づくほど、
炭素選別効率が良い

C_30KeV
gamma

carbon
electron

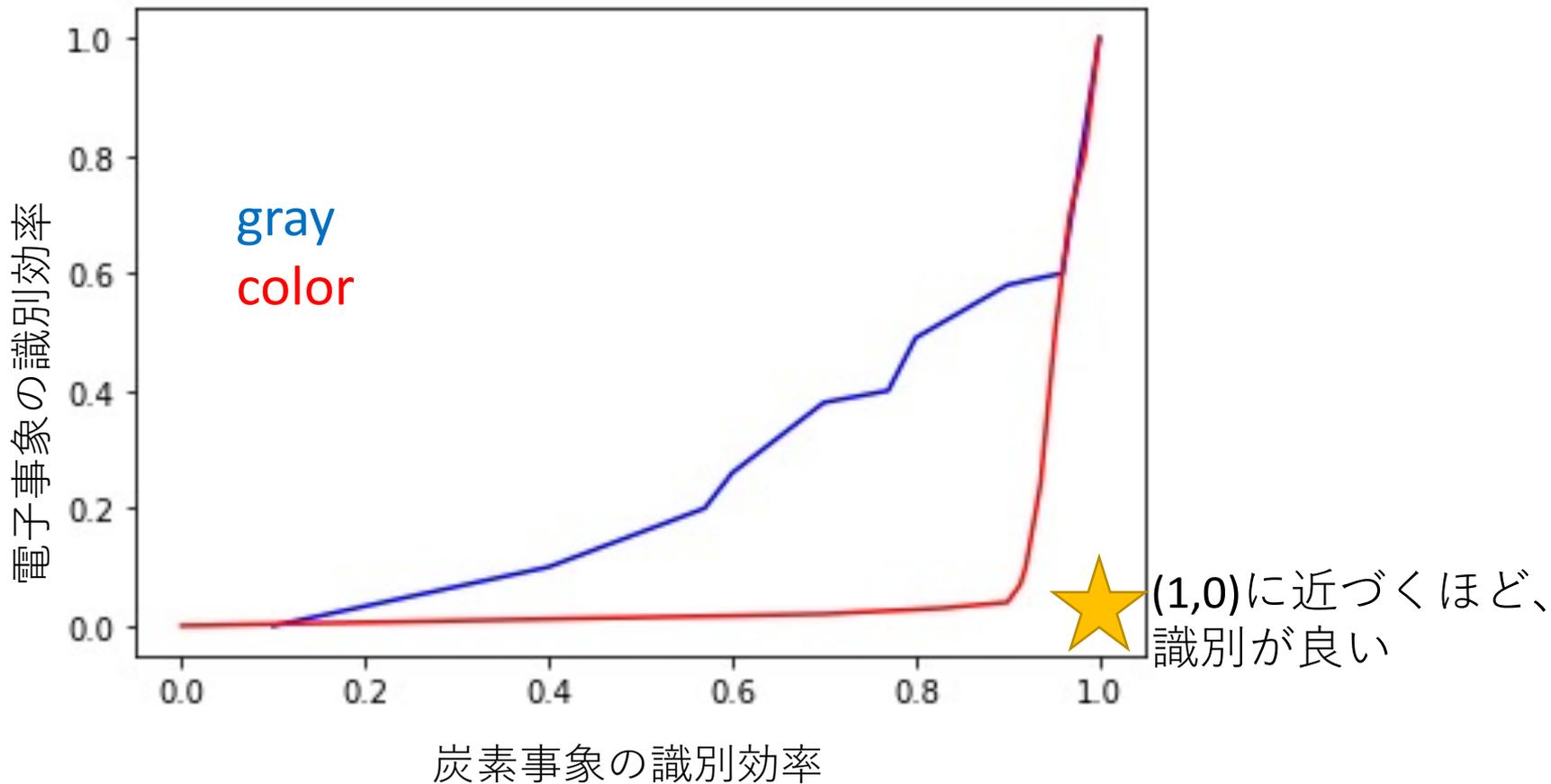
Detailed description: A Receiver Operating Characteristic (ROC) curve showing the identification efficiency (eff) on the y-axis (ranging from 0.0 to 1.0) versus the carbon probability on the x-axis (ranging from 0.0 to 1.0). Two curves are shown: C_30KeV (blue line) and gamma (orange line). The C_30KeV curve starts at (0,1) and remains near 1.0 until a carbon probability of about 0.6, then drops to 0 at 1.0. The gamma curve starts at (0,1) and drops sharply to about 0.15 at a carbon probability of 0.5, then continues to drop to 0 at 1.0. The area between the curves is labeled 'carbon' (blue) and 'electron' (orange).

(0,0)に近づくほど、
電子除去効率が良い

carbon probability

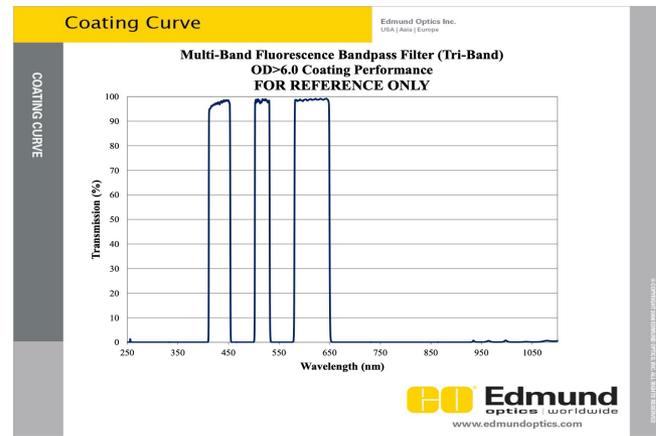
例えば、炭素らしさ50%以上の炭素事象は、90%以上ある。

グレースケールと色情報の識別能比較



色情報によって識別能が向上！

多波長解析



プリズムカメラ



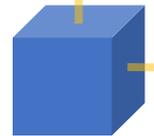
バンドパスフィルタ2



プリズムカメラ



プリズム(偏光、無偏光)
ビームスプリッタ



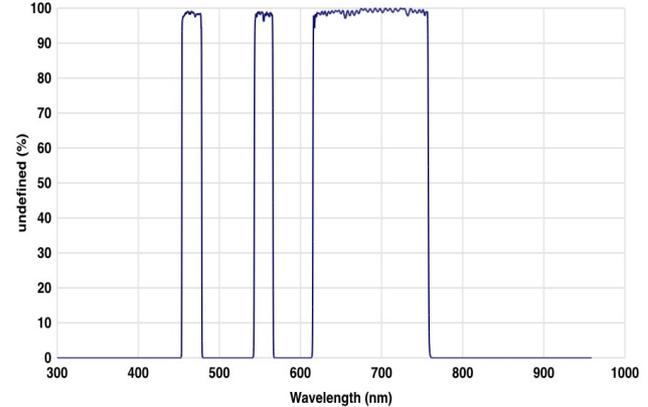
光源
(Xcite)



バンドパスフィルタ1

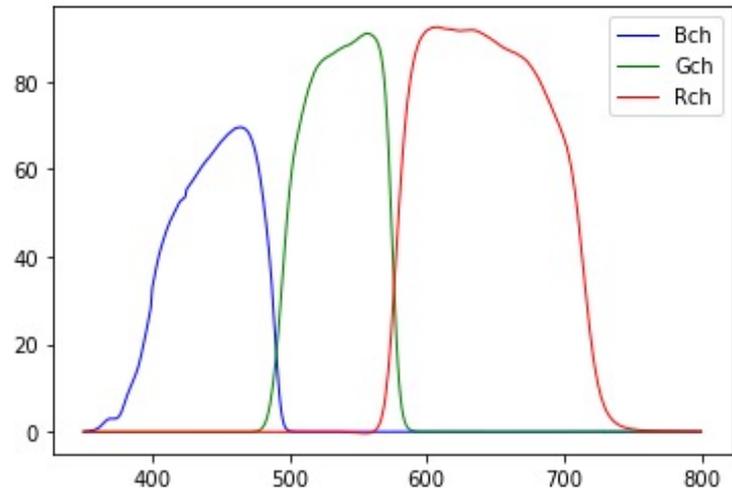


NIT



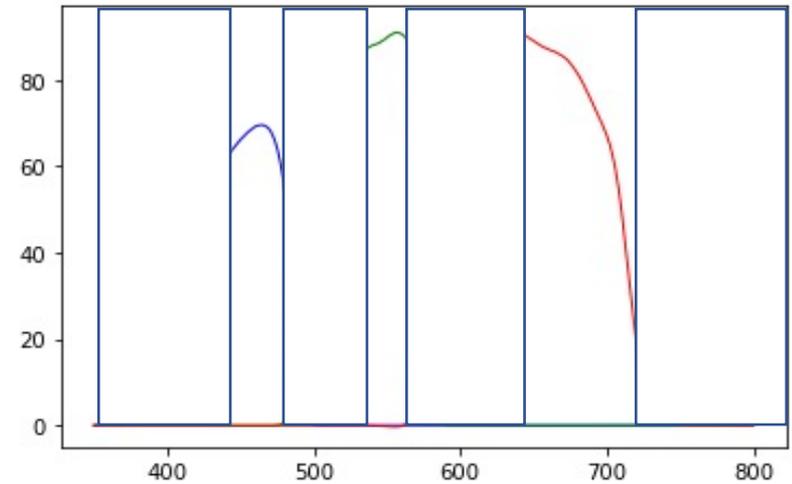
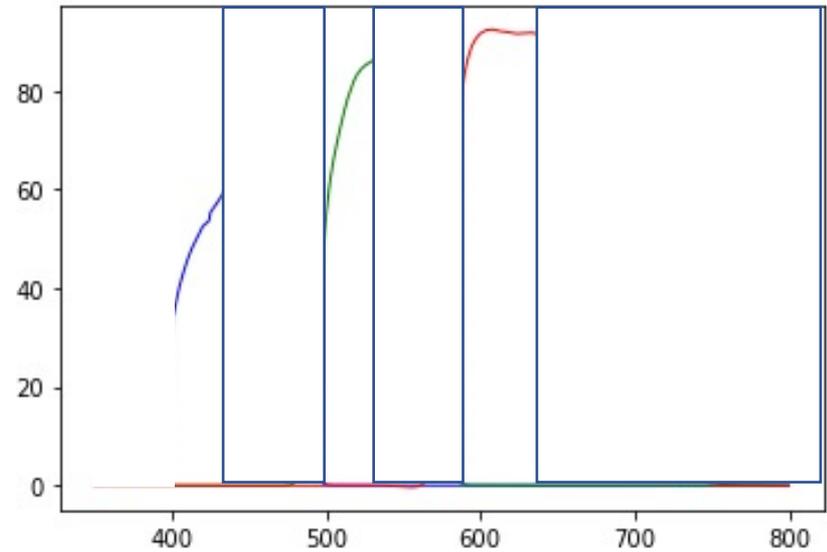
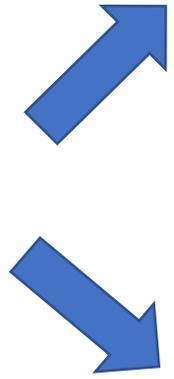
バンドパスフィルタで取得波長を狭くする

多波長解析

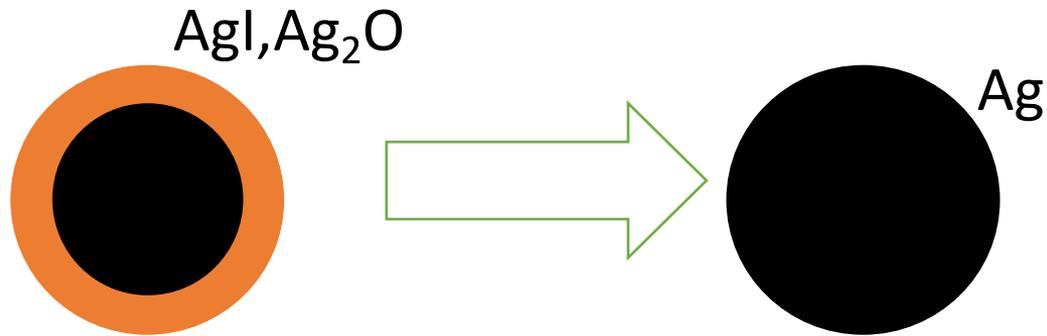


プリズムカメラの取得波長

バンドパスフィルタで取得波長を狭くして
多波長同時撮像が可能に
機械学習にかけるパラメータが増える！！

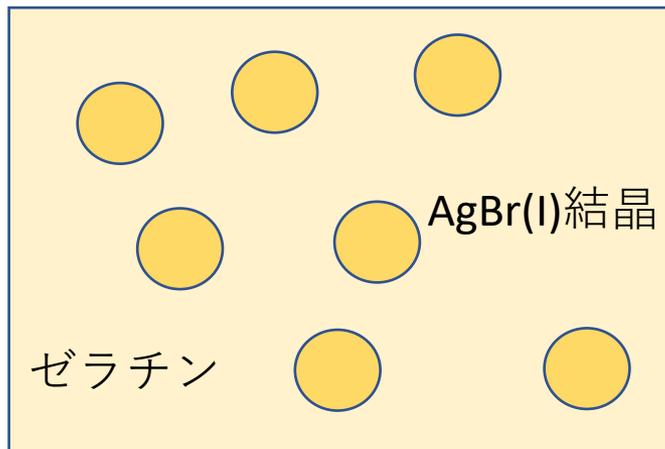


プラズモン共鳴効率の向上



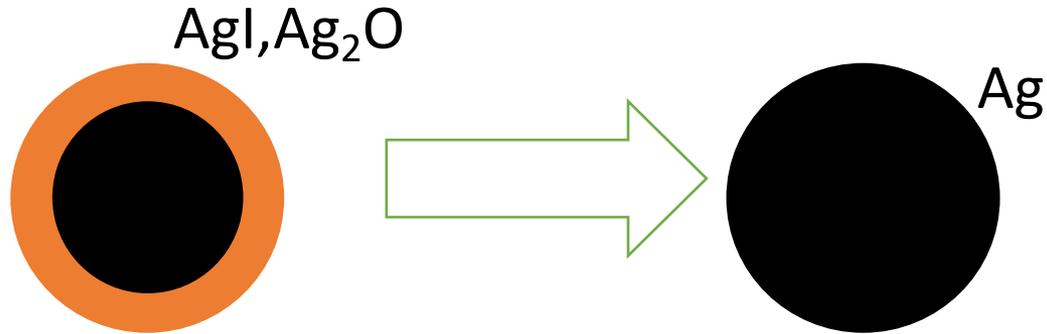
現像銀の表面が、純粋な銀ではなくAgIやAg₂Oでコーティングされ、プラズモン共鳴に影響があり色情報に影響があり、また輝度が低下している可能性がある。元素分析等で調べる必要がある。

乳剤



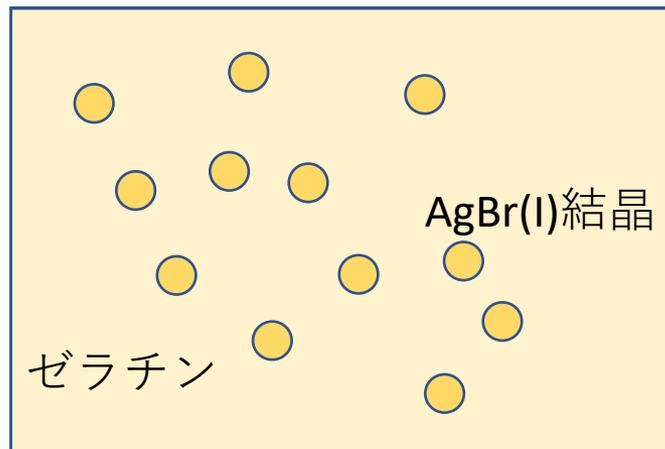
通常NITのAgBr結晶粒径:70nm

プラズモン共鳴効率の向上



現像銀の表面が、純粋な銀ではなくAgIやAg₂Oでコーティングされ、プラズモン共鳴に影響があり色情報に影響があり、また輝度が低下している可能性がある。電顕で元素分析等で調べる必要がある。

乳剤



AgBr結晶サイズを、小さくすればNITの分解能が向上する。
→現像銀のサイズも小さくなり、輝度を下がってしまうので、輝度を上昇させる必要がある。

まとめ

- NITにおいて、プラズモン共鳴を用いた現像銀の解析を行い、個々の現像銀での解析方法の手法を提案した。
- 多波長解析によって、学習させる情報を増やし、識別能の向上を目指す。
- プラズモン共鳴効率の向上でのNITの分解能向上のために、例えば、現像方法の改善が必要である。