

# 補足資料 2 : 放射線測定の基本

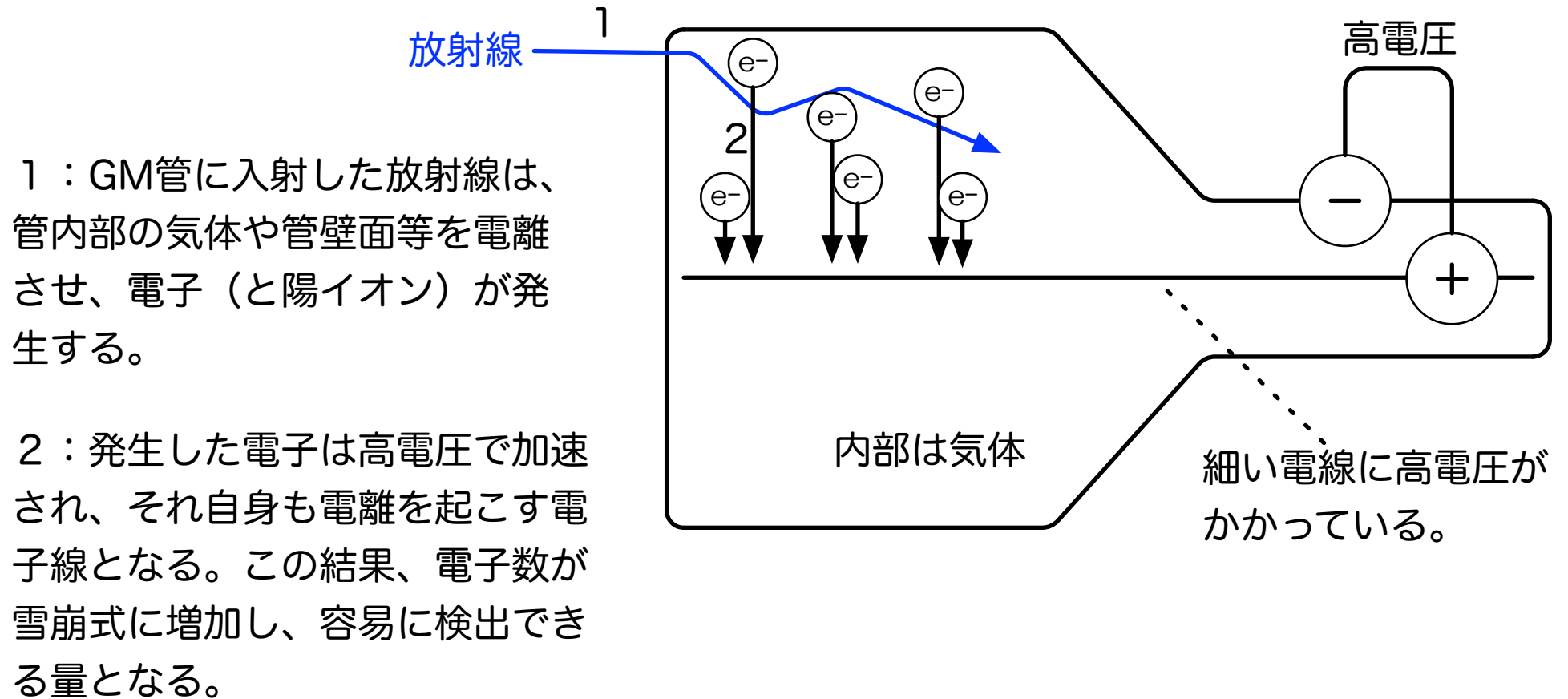
～相互作用を捉える～



あさりよしとお「放射線ってナニモノ？」

# 電流を検出する

～GM管～



※ GM管（ガイガー・ミュラー管）を用いていない放射線測定器を「ガイガーカウンター」と呼ぶのは不正確。

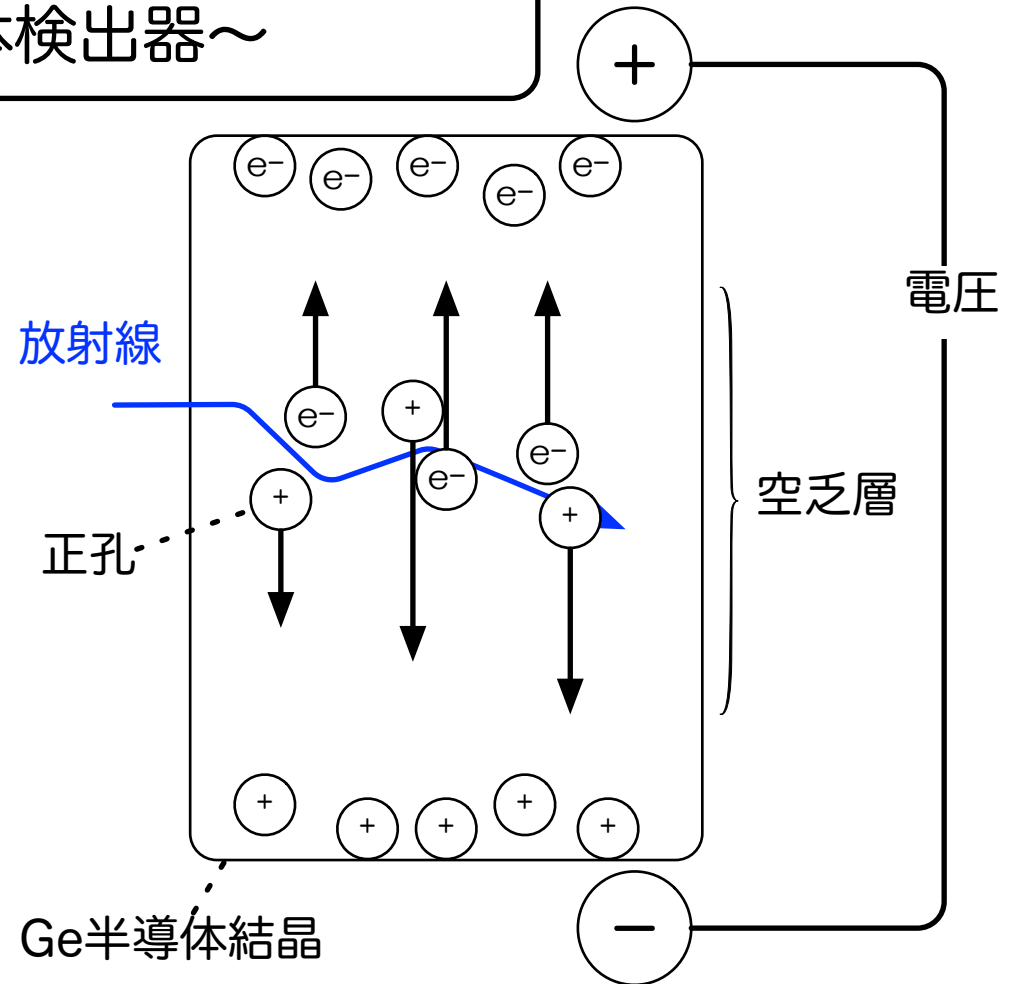
# 電流を検出する

## ～Ge半導体検出器～

Ge半導体結晶に逆電圧をかけることで、結晶内に空乏層を形成する。

空乏層に入射した放射線は、電離作用によって結晶内部に電子と正孔を発生させるため、パルス電流が生じる。この電流を測定することで放射線のエネルギーを測定できる。

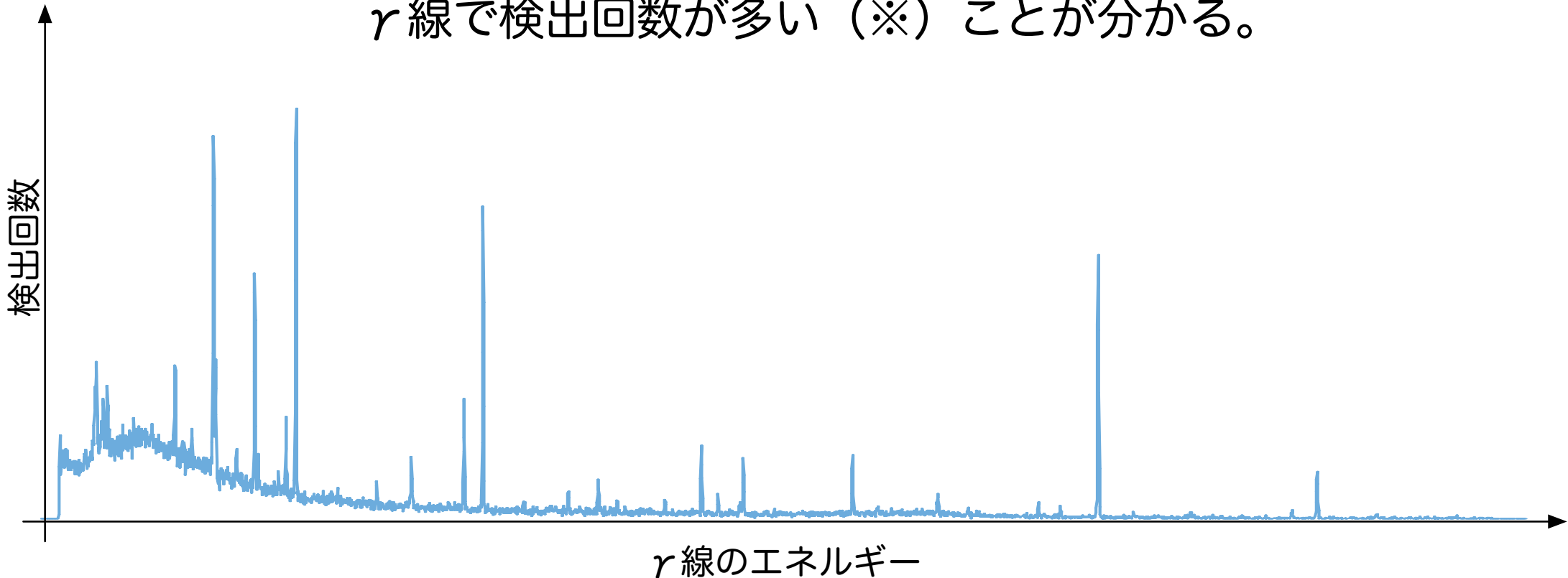
Ge半導体検出器は、**放射線のエネルギー**を正確に測定できる。このため**核種弁別能力**が高いことが最大の利点。ただし、高価であるため台数を揃えることが難しい。



# 電流を検出する

～Ge半導体検出器～

御影石（花崗岩）から出る $\gamma$ 線を測定すると、特定のエネルギーの $\gamma$ 線で検出回数が多い（※）ことが分かる。

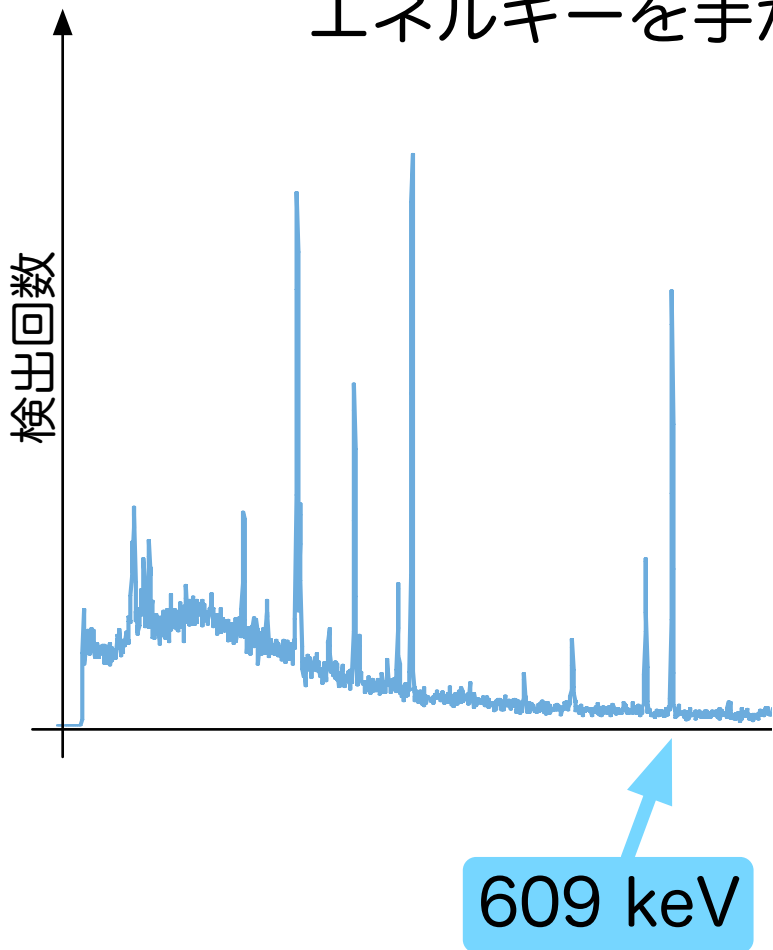


※このような図を「スペクトル」と言い、検出回数の多い場所を「ピーク」という

# 電流を検出する

～Ge半導体検出器～

核種ごとの $\gamma$ 線のエネルギーはデータベース化されているため、エネルギーを手がかりに核種を同定することができる。

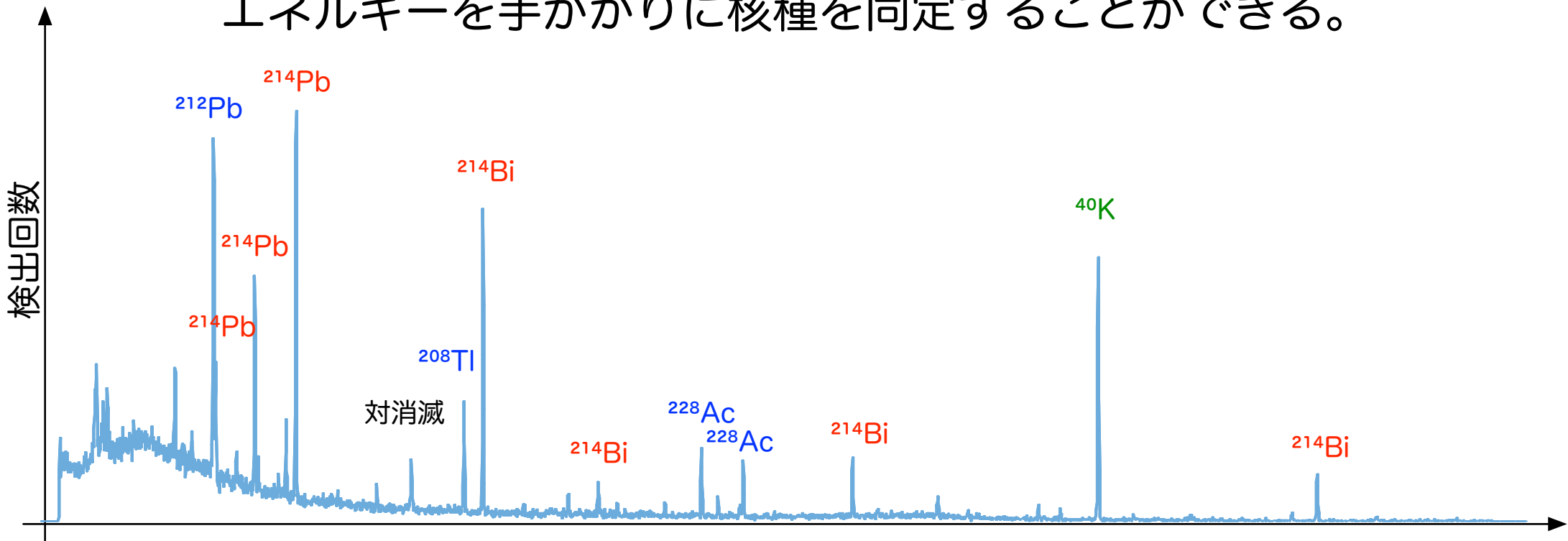


	核種名	半減期	エネルギー (keV)	放出比
	<b><math>^{214}\text{Bi}</math></b>	19.7m	<b>主要</b> $609.31210$	46.1%
人工	$^{103}\text{Ru}$		主要 $610.332$	5.4%
人工	$^{108\text{m}}\text{Ag}$		主要 $614.3710$	89.7%
人工	$^{106}\text{Ru}$		$616.3317$ D	0.8%
人工	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	252.23d	$620.3461$ }	2.7%
人工	$^{132}\text{I}$		$621.02$ }	2.0%
人工	$^{106}\text{Ru}$		主要 $622.23$ D	9.8%
人工	$^{132}\text{I}$		$630.229$	13.7%
人工	$^{125}\text{Sb}$		$636.154$ }	12.1%
人工	$^{131}\text{I}$		$636.9732$	7.2%
人工	$^{124}\text{Sb}$	60.203d	$645.824$ }	7.2%
人工	$^{132}\text{I}$		$650.62$ }	2.7%

# 電流を検出する

～Ge半導体検出器～

核種ごとの $\gamma$ 線のエネルギーはデータベース化されているため、エネルギーを手がかりに核種を同定することができる。



$^{214}\text{Pb}$   $^{214}\text{Bi}$  .....  $\rightarrow$   $^{238}\text{U}$ の子孫核種

$^{228}\text{Ac}$   $^{212}\text{Pb}$   $^{208}\text{Tl}$  ...  $\rightarrow$   $^{232}\text{Th}$ の子孫核種

$^{40}\text{K}$

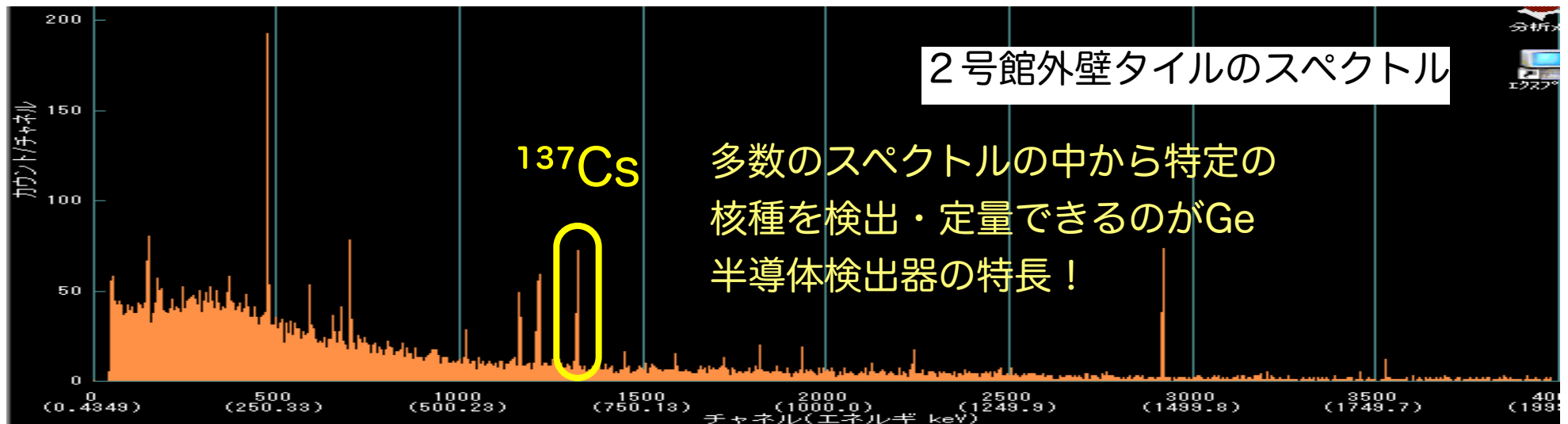
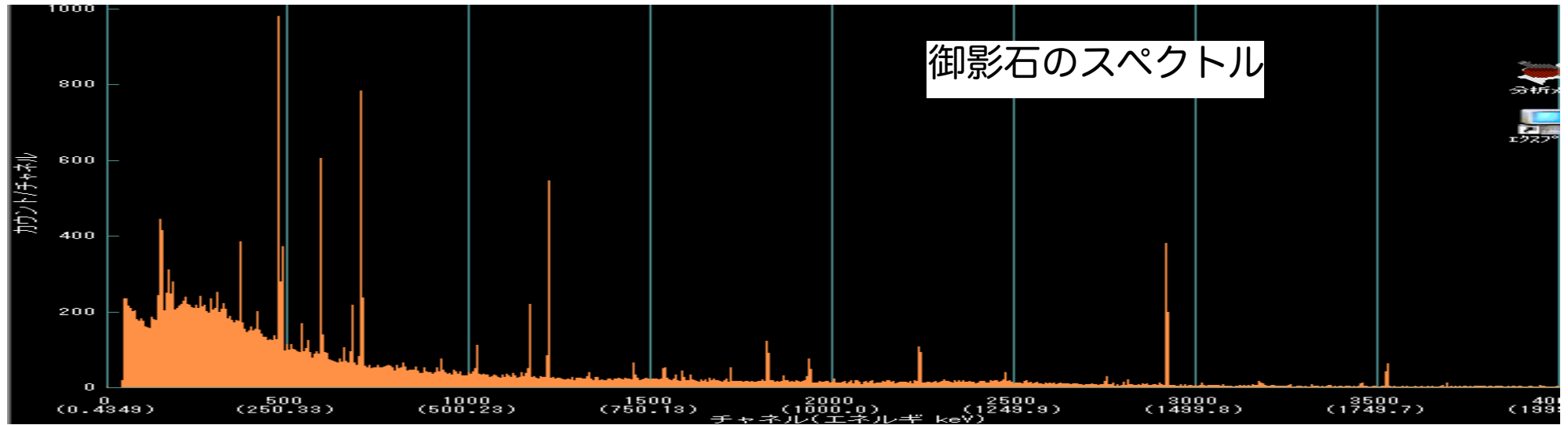
「子孫核種」については  
補足資料3を参照

このスペクトルから、御影石には $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$ が含まれていることが分かる (※)。

※  $^{238}\text{U}$ や $^{232}\text{Th}$ が含まれている直接の証拠はないが、例えば $^{228}\text{Ac}$ は半減期が6.15hしか無いいため、供給源となる $^{232}\text{Th}$ が共存していると考えるのが自然である。

# Ge半導体検出器測定例

～御影石と2号館外壁のタイルの比較～



# 化学反応を検出する

～霧箱～

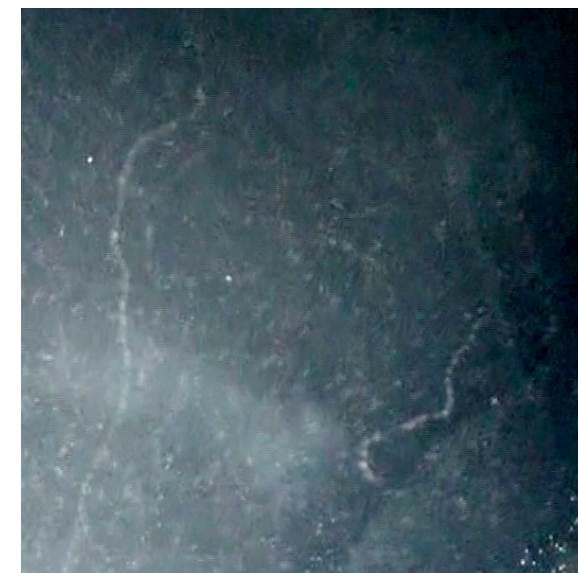
霧箱という装置を用いることで、以下の原理で荷電粒子の飛跡を観察できる。講義室のような建造物内部でも、電荷を持つ宇宙線であるミュオン（ $\mu$ 粒子）や、大地放射線で弾き出された電子線などを観察できる。

- 1) エタノールの蒸気が過飽和となっている空間で電離が起きると、電離したイオンを凝結核として霧が発生する。
- 2) 粒子に電荷が有る放射線は、経路に沿って直接的に電離を起こす。
- 3) エタノールの蒸気が過飽和となっている空間を、粒子に電荷が有る放射線が通過すると、放射線の経路に沿って霧が発生する。



# 化学反応を検出する

～霧箱～



上図の飛跡は御影石から捕集したラドン（恐らく $^{222}\text{Rn}$ ）の $\alpha$ 線によるもの。太く直線的な飛跡を示す。

右図の細く曲がりくねった飛跡は電子線によるもの。大地・宇宙からの $\gamma$ 線によって弾き出された電子線か、何らかの天然核種から出た $\beta$ 線が見えている。

# 化学反応を検出する

～シンチレーション検出器～

NaI（ヨウ化ナトリウム）、CsI（ヨウ化セシウム）等の結晶に放射線が入射すると、微弱な蛍光（シンチレーション）が発生する。

結晶に光電子増倍管を接続することで、この微弱な蛍光を電子に変換し、増幅・検出することができる。

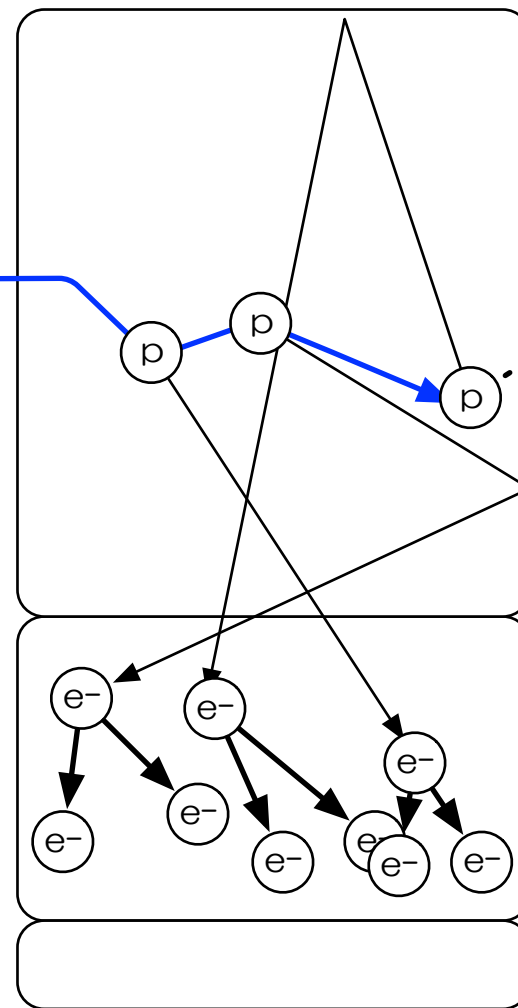
光の発生量は放射線のエネルギーに比例するが、エネルギー弁別能はGe半導体検出器に劣る。しかし、Ge半導体検出器よりは安価であるため、**多検体のスクリーニング（例えば玄米の全袋検査）**等に活用されている。

シンチレーター結晶  
(NaIなど)

表面は光を反射する素材で被覆されている。

放射線

光子（蛍光）



光電子  
増倍管

電気パルス  
センサー

# 化学反応を検出する ～シンチレーション検出器～

福島県は、玄米の全量全袋検査を実施

1000万袋以上の玄米全てを検査！



# 化学反応を検出する

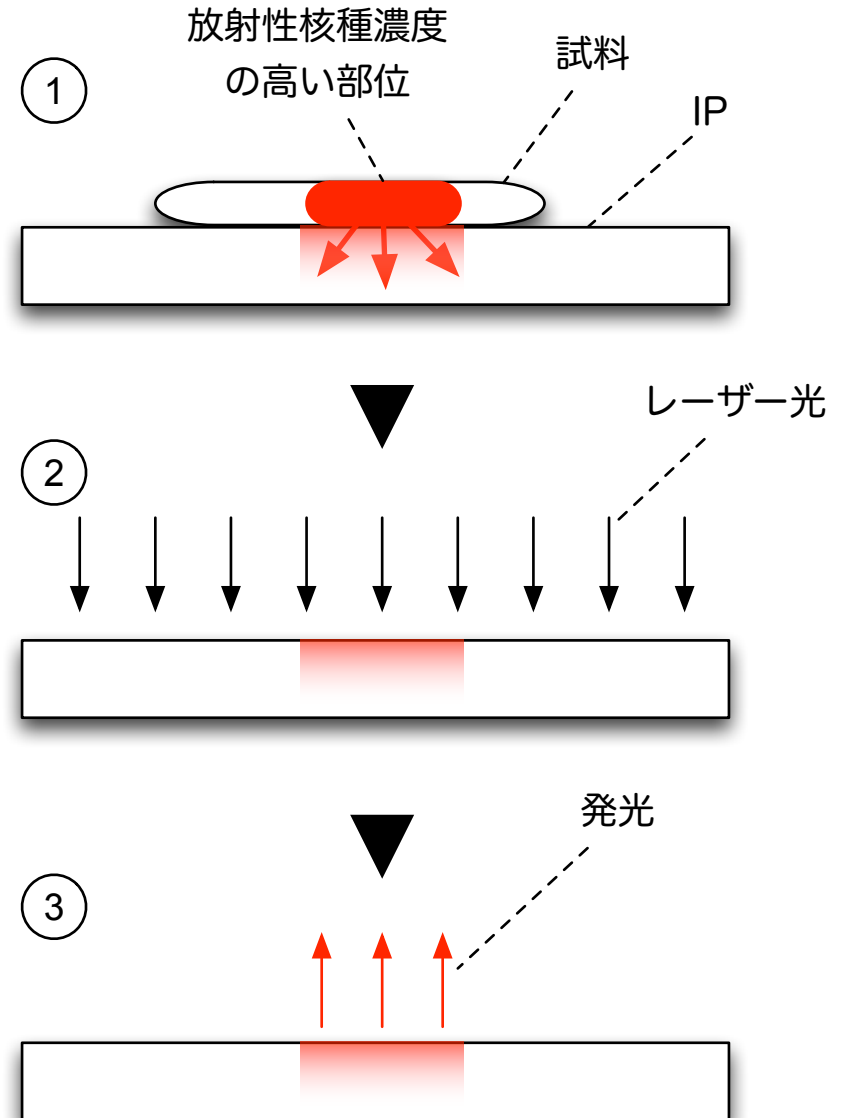
## ～イメージングプレート～

イメージングプレート (IP) とは、特殊な結晶の粉末を塗布したシートである。この結晶は、照射された放射線のエネルギーを蓄えることができるため、**試料中の放射性核種の2次元分布**を把握するために利用できる。

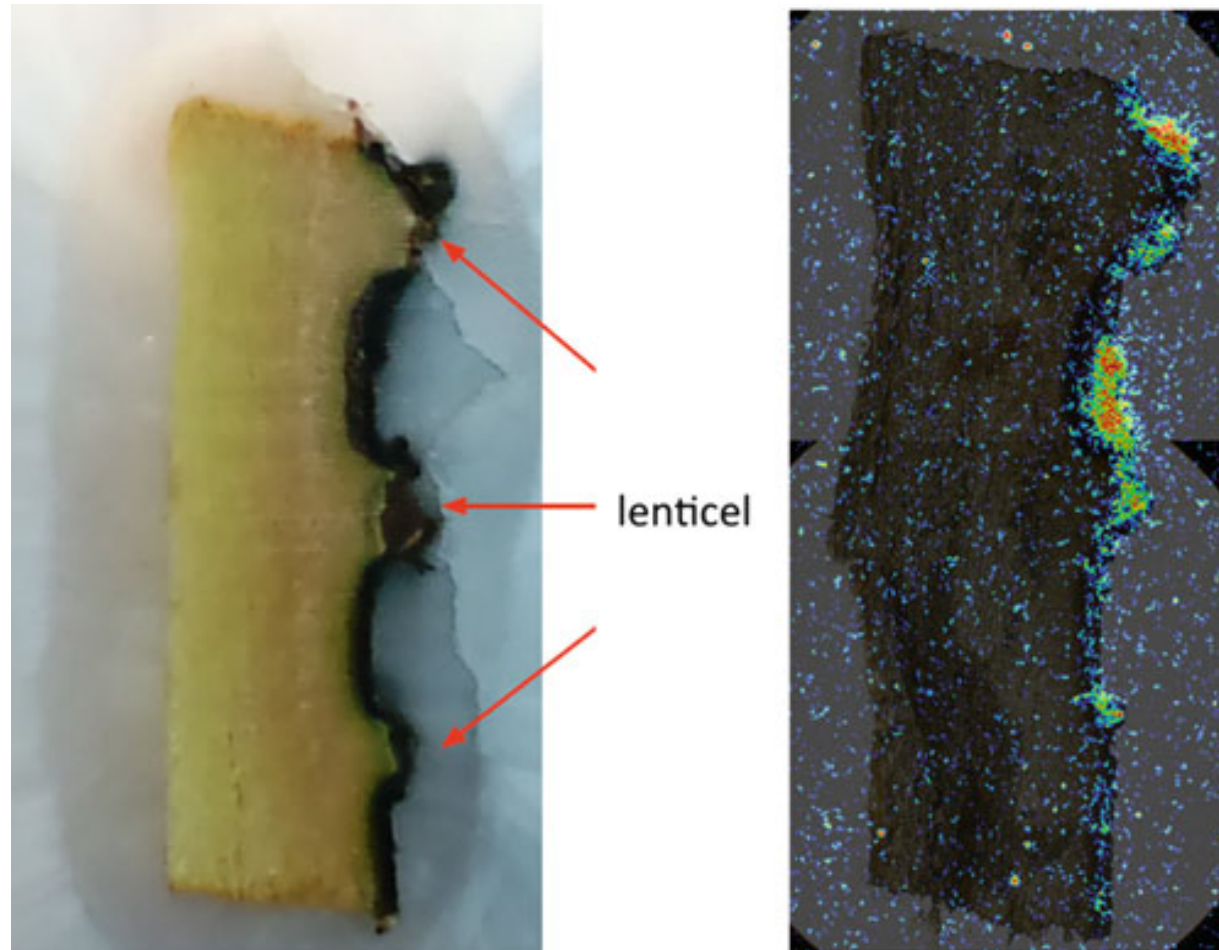
1) IPに試料を密着させると、試料から出た放射線がIPに吸収される。

2) 特定の波長のレーザーでIPをスキャンする。

3) IPが吸収した放射線のエネルギーが可視光に変換されて放出される。



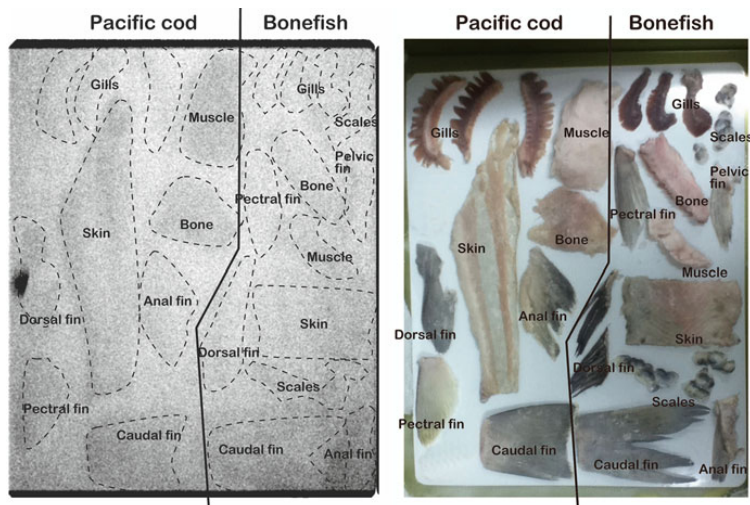
# IP測定例：モモ樹皮における放射性核種の局在



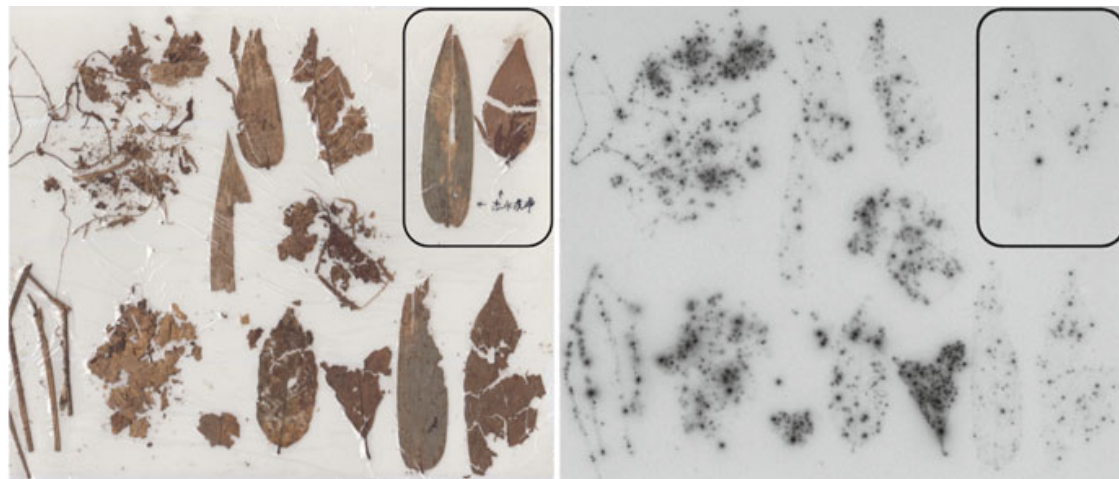
(Agricultural Implications of the  
Fukushima Nuclear Accident p.152)

汚染されたモモの樹皮から凍結切片を作成し、IPで放射性核種の局在を可視化した。  
lenticel（皮目）周辺で汚染濃度が高い様子が観察できる。

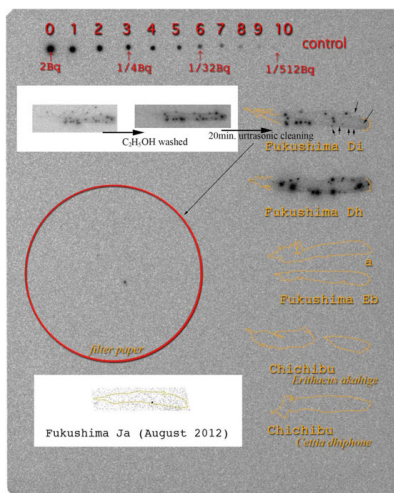
# IP測定例：参考図書データの紹介



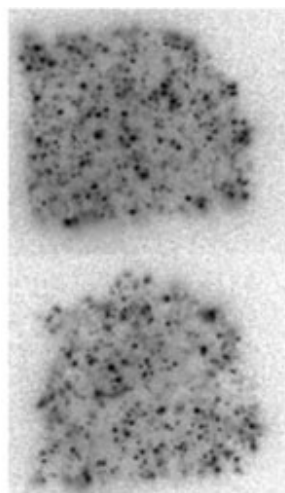
魚の組織



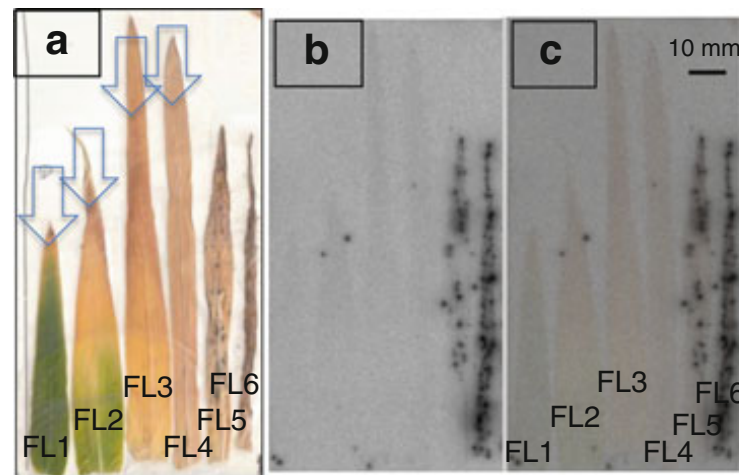
森林の落ち葉



野鳥の羽



汚染土壌



畑で栽培されていたムギ

# 化学反応を検出する

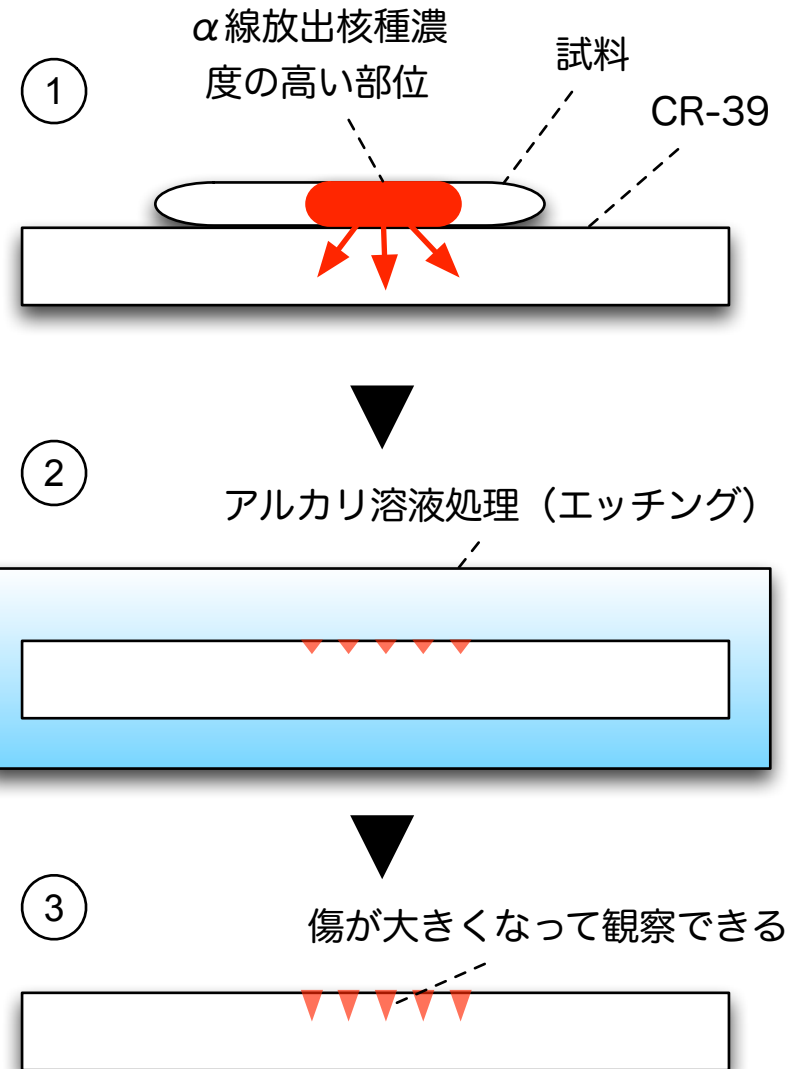
～CR-39～

CR-39は、 $\alpha$ 線等に反応するプラスチック。電子線や光子線には反応しない点が特長。

1) CR-39に試料を密着させると、試料から出た $\alpha$ 線がCR-39に化学反応を起こす。

2) CR-39をアルカリ溶液に浸すと、 $\alpha$ 線が当たったところが選択的に溶けて傷ができる。

3) 顕微鏡で観察したり、側面から光を当てて散乱光を見ることで、 $\alpha$ 線放出核種の分布を2次元的に可視化できる。



# CR-39測定例：市販魚類の筋肉と幽門垂

市販されている魚の筋肉と幽門垂をペースト状にしてフリーズドライした試料にCR-39を3ヶ月間コンタクトし、その後エッチング処理を行った。

短冊状のCR-39を被せて3ヶ月間冷凍





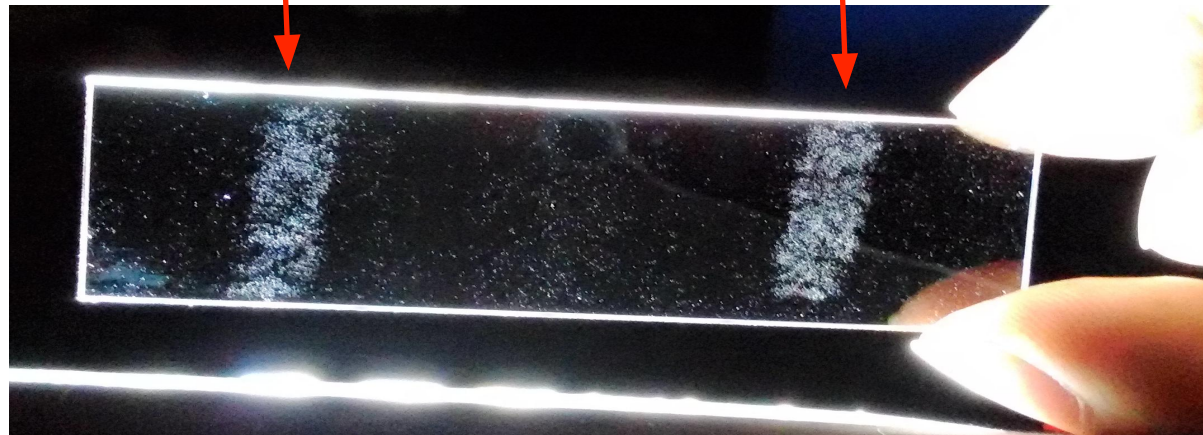
# CR-39測定例：市販魚類の筋肉と幽門垂

市販されている魚の筋肉と幽門垂をペースト状にしてフリーズドライした試料にCR-39を3ヶ月間コンタクトし、その後エッチング処理を行った。



水酸化ナトリウムでエッチング後、LEDで照らして散乱光を観察すると、傷が見える

# CR-39測定例：市販魚類の筋肉と幽門垂



幽門垂に $\alpha$ 線放出核種が存在する（恐らく $^{210}\text{Po}$ ）

$^{210}\text{Po}$ は $^{238}\text{U}$ の子孫核種で、日本人の自然被ばくへの寄与が大きい天然核種の一つ。