

ISETS'11 市民公開講座 講演会 資料
(2011年12月11日 於 名古屋大学東山キャンパス)

放射性物質の測り方

財団法人 海洋生物環境研究所

及川 真司

財団法人 海洋生物環境研究所
Copyright © MERI 2011. S. OHKAWA

今日のお話は . . .

放射性核種の分析方法を中心にトリビアを少々

ストロンチウム90を測るには、ストロンチウム90を測定しない!?

セシウム137を測るには、セシウム137を測定しない!?

「放射性物質を測る」イメージはこんな感じ？



福島第一原子力発電所沖合において空間放射線量を測定している様子(平成23年6月)



サーベイメータ(放射線測定器)の一例
(左からGM式、シンチレーション式)

広辞苑(第四版)によると…

「放射能」：放射性物質が放射線を出す現象または性質

「放射線」：放射性元素の崩壊に伴って放出される粒子線または電磁波

ちなみに、放射能を「radioactivity」と命名・発案したのはマリー・キュリー(キュリー夫人)で、今年生誕144年(1867.11.07生)になります。
(ノーベル物理学賞(1903)、ノーベル化学賞(1911)) (初のノーベル賞受賞者かつ2度受賞した最初の人物)



Maria Skłodowska-Curie (The official web site of the Nobel Prize)

世界初のエックス線写真



1896年1月23日にレントゲンが撮ったAlberd von Kölliker(同僚の解剖学講座教授)の手のエックス線写真(白黒反転している)

(妻の手だとも言われているが、真相はいかに?)



通常、骨は「白く」写る

フリー辞典 (Wikipedia.org) 参照

「放射能」 : 放射性物質が放射線を出す現象
または性質

単位のこと ; 1秒間に1個の原子核が壊変する際
の放射能は1ベクレル (Bq)

長さ=センチ(cm)

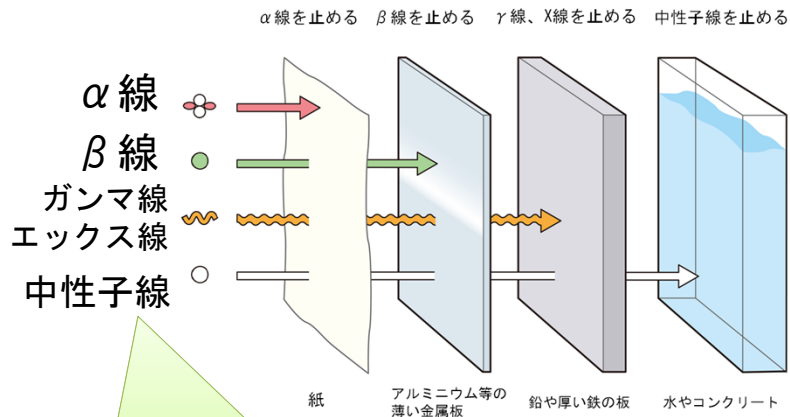
重さ=グラム(g)

放射能=ベクレル(Bq)

「放射線」 : 放射性元素の崩壊に伴って放出
される粒子線または電磁波

α 線, β 線, ガンマ線, 中性子線など

放射線の種類と透過力



いずれも五感に感じることはない

原子力図面集(2010)より

出典：資源エネルギー庁「原子力2009」

目に見えない放射線をどのようにして測定するのか

放射線が引き起こすイタズラ！（物質との相互作用）を利用

- ・相手を**電離**させる（イオン対を作る）



- ・相手を**励起**させる（エネルギーの高い状態に）

放射線のエネルギー → 光に

- ・相手を突き抜けた際に**足跡**を残す

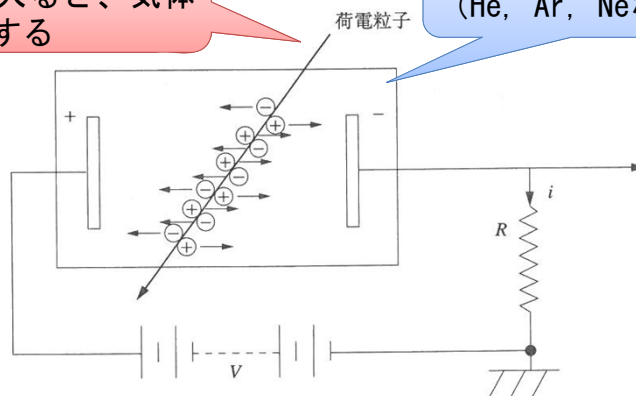
エックス線フィルム

固体中で目に見える足跡を残す

ガイガーミュラー計数管 (Geiger-Mueller counter)

放射線（ガンマ線など）が入ると、気体を電離する

気体を充填（He, Ar, Neなど）



高電圧を印加した気体管（GM管）に放射線が入ると、気体の電離が起こり、イオン化のち、ガイガー放電が起こる

三枝ほか、改訂版 基礎放射線基礎計測学、医療科学社（2008）参照

GM計数管を用いた放射線測定器の例

放射線の種類は問わない
単位時間に何個の放電があったのか、を表示
(ベクレルは測れない!)

通常、1分間あたりの計数
(cpm) を表示

放射線量（ β 線と γ 線）
に比例

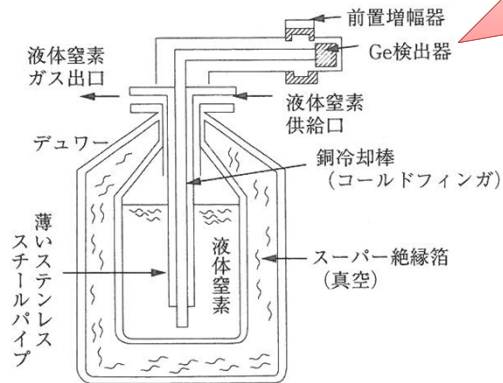
GM計数管

気体が充填（1気圧を少し
超える程度）
中空電極の構造



ゲルマニウム半導体検出器の例

放射線により、固体（半導体）内部で電離（電子正孔対を生成）する性質を利用（気体より密度が大きいから、小型化できる）



ガンマ線、エックス線に対して極めて高い精度で検出できる能力を持つ

天然放射性核種

(地球ができた当時から存在、または自然環境下で随時生成する)

【主なもの】

- ・トリチウム(^3H) (半減期12.3年)
- ・炭素14(^{14}C) (半減期5730年)
- ・カリウム40(^{40}K) (半減期12.8億年)
- ・ルビジウム87(^{87}Rb) (半減期475億年)
- ・トリウム232(^{232}Th) (半減期140億年)
- ・ウラン238(^{238}U) (半減期44.7億年)
- ・ラジウム226(^{226}Ra) (1600年)
- ・ラドン222(^{222}Rn) (3.8日)
- ・トロン(ラドン220のこと) (58秒)

人工放射性核種

(核実験などで、人類が地球環境に付加したもの)

【主なもの】

- ・ストロンチウム90(^{90}Sr) (半減期29年)
- ・セシウム134(^{134}Cs) (半減期2年) (チェルノブイリ、福島第一事故時に確認された)
- ・セシウム137(^{137}Cs) (半減期30年)
- ・ヨウ素131(^{131}I) (半減期8日) (チェルノブイリ、福島第一事故時に確認された)
- ・プルトニウム239(^{239}Pu) (半減期2.4万年)

「放射能(ベクレル)」は「質量(グラム)」で表せる！

$$A = \lambda \cdot N$$

$$= \frac{m}{M} \cdot N_A \cdot \frac{\ln 2}{T}$$

放射能(A;ベクレル)は、
 ・原子の数(N;個)
 ・半減期(T;秒)
 で決まる！

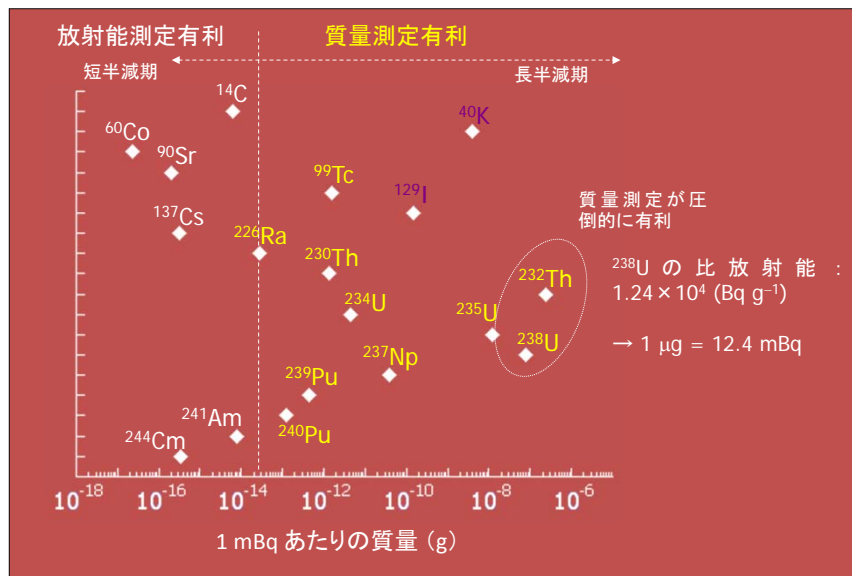
半減期が「∞」
 なら・・・

ヨウ素131(T=8.02日):
 「1ベクレル」=「 2.2×10^{-16} グラム」
 (「1グラム」=「4600兆ベクレル」)

セシウム137 (T=30年):
 「1ベクレル」=「 3.1×10^{-13} グラム」
 (「1グラム」=「3.2兆ベクレル」)

安定元素！
 (放射性ではない)

「放射能」を測るか、「質量」を測るか・・・
 (分析・測定者のウデの見せ所！)



放射能分析の実際例

【ガンマ線計測】

- ・ 水産物中のガンマ線迅速核種分析
(水産庁が現在実施している方法)
- ・ 水産物中のガンマ線核種分析
(モニタリングで通常行う方法)

【ベータ線計測】

- ・ 海底土中のストロンチウム分析

電磁波測定なので、多核種同時測定できる

【ガンマ線計測】

- ・ 水産物中のガンマ線迅速核種分析
(水産庁が現在実施している方法)
- ・ 水産物中のガンマ線核種分析
(モニタリングで通常行う方法)

ガンマ線測定のための魚試料前処理



ガンマ線測定のための試料調製



2kgをマリネリ容器に詰める



マリネリ容器を密閉する



相互汚染防止のため、
二重に袋詰めにする



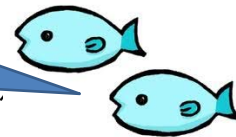
試料量が少ない場合は、小型容器へ



マリネリ容器を測定器に
セットして、ガンマ線計測
を行う
(ゲルマニウム半導体検出器)

魚介類の暫定基準値
(食品衛生法上の水産物)

K-40 は、
100Bq/kg 程
度ありますけ
ど...



放射性セシウム: 500Bq/kg

すべて「セシウム137」として、重量換算すると、
 1.6×10^{-13} (g/g) (10兆分の1.6グラム)

世界人口(70億人):

この中からたった1人選ぶ → (70億分の1)

さらに
11万分の1

毎日食べたとしても、1ミリシーベルトを大きく下回る

(200g/日、365日、預託実効線量、内閣府試算式から)

試料を減容化すれば、時間は少々かかるが、より効率よく測定できる

電気炉で450℃・一昼夜灰化することで、容積を1/50～1/100まで減らせる(魚肉だと、灰分 1.5%程度)

100gの灰 = 生重量約6.6kg に相当



目的の部位に分ける(可食部)
通常、20キロ程度を処理する
(多い時で100尾を超える)



乾燥のち、電気炉
で450℃で一昼夜
灰化する

脂分の多いものだと、燃えてしま
うので、細心の注意を払う
(職人技！)

灰試料を小型容器に
入れて線源とする



ガンマ線測定装置 (ゲルマニウム半導体検出器)

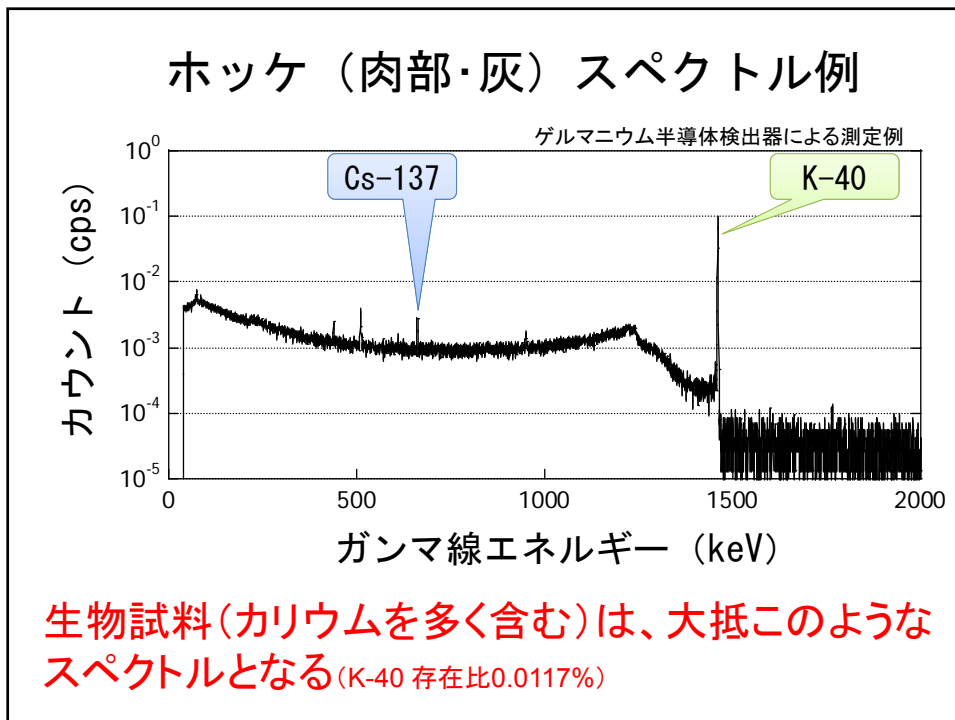


鉛遮蔽体

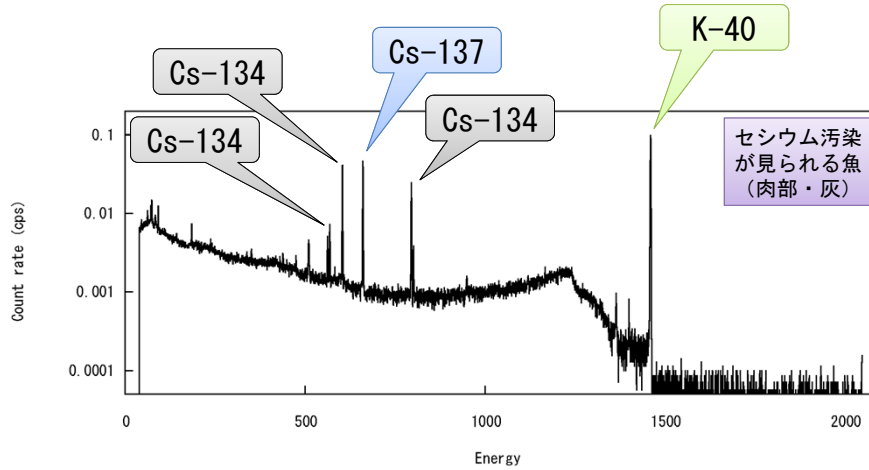
ゲルマニウム
検出器は、こ
こにある！

ゲルマニウ
ム冷却のため
の液体窒素
デューワ



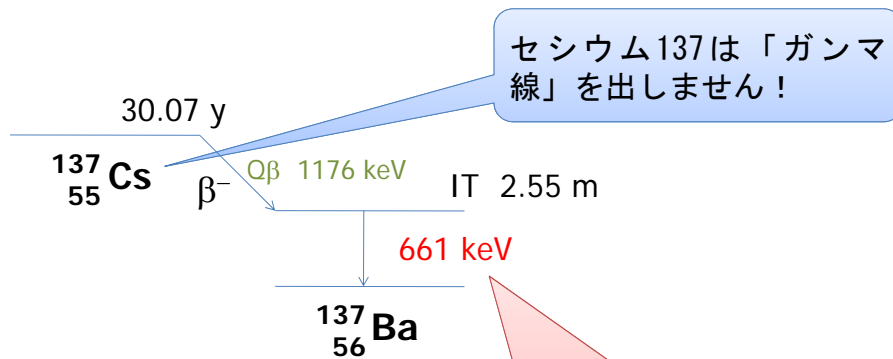


セシウム134があると多少複雑化する



一度に多数の放射線を出す核種もある(例:セシウム134)

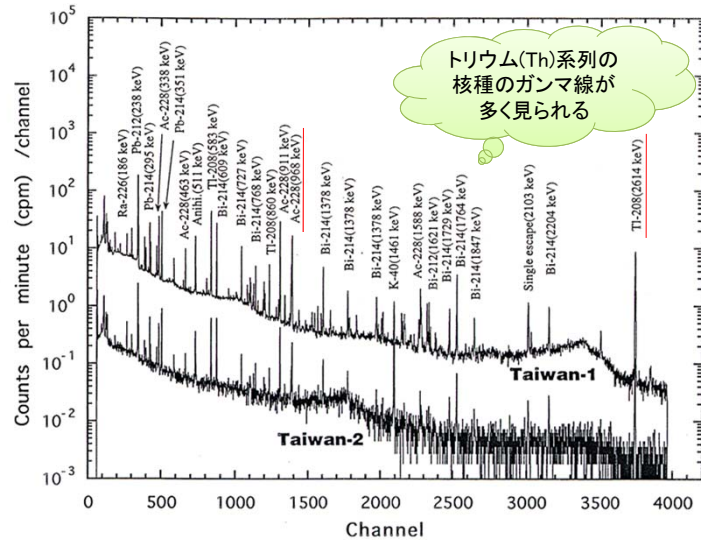
セシウム137の測定は、セシウム137にあらず！



スペクトルで見えている「セシウム137のガンマ線」は、実は「バリウム137m」のもの！

もっと複雑なガンマ線スペクトルの例

台湾産のモナズ石 (Thを多く含む) のガンマ線スペクトル

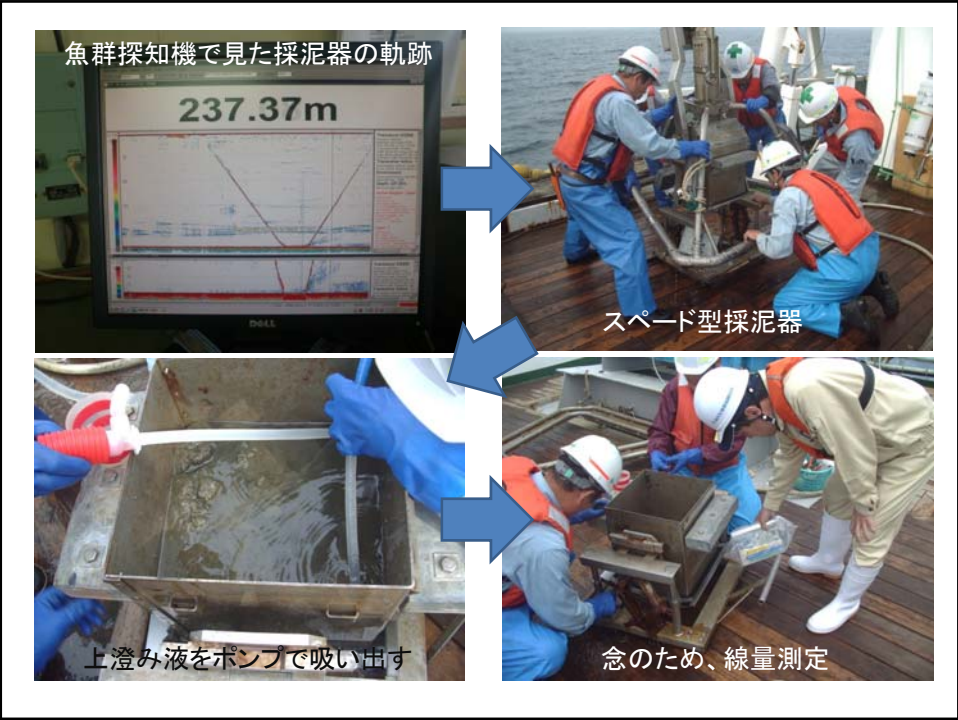


資料：金沢大・山本教授より

粒子（電子）なので、互いに見分けがつかず、同時に測れない

【ベータ線計測】

- ・ 海底土中のストロンチウム分析





海底土: ブフナーロートでろ過

次いで、熱風乾燥器で乾燥させ、
ふるい分けのち乾燥細土試料
を得る



海底土試料のストロンチウム90分析

塩酸で加熱抽出(100~150g)



炭酸塩粗分離

シュウ酸塩粗分離

陽イオン交換樹脂カラム



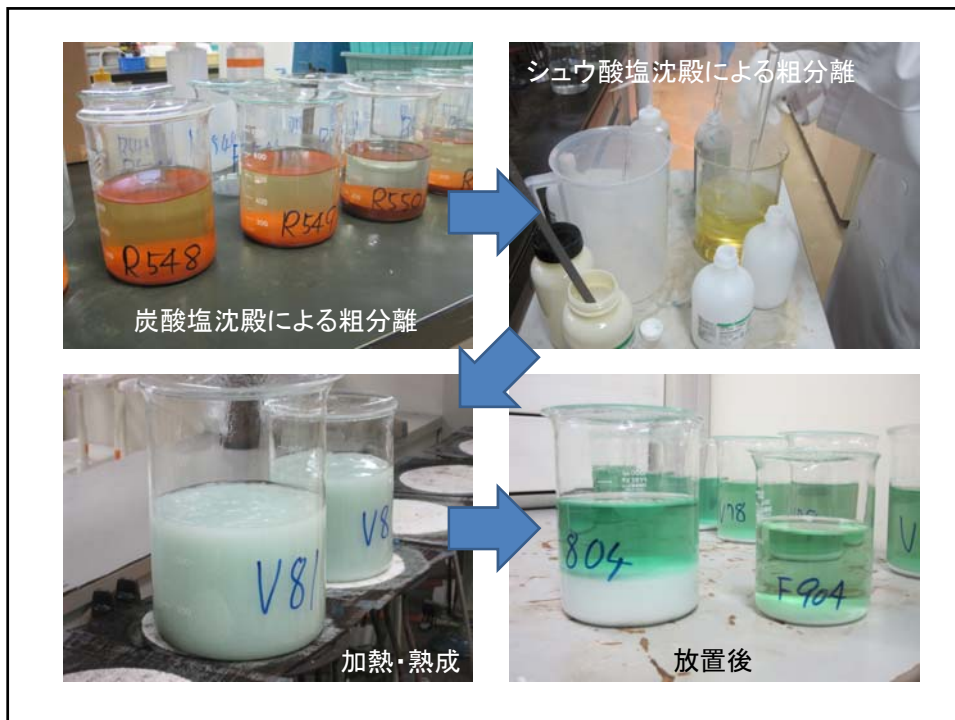
(スカベンジ(2週間放置)、ミルクング)



水酸化鉄共沈分離



ベータ線計測

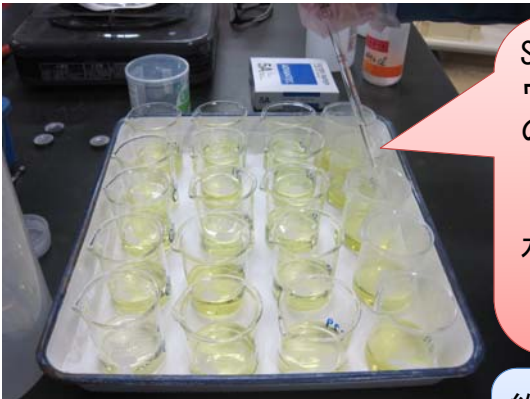


シュウ酸塩沈殿を灰化し、希塩酸に溶解させる

陽イオン交換樹脂カラムでストロンチウムを分離精製

・カルシウムとの完全分離

重量法でSrの化学収率を出すので、同族元素はあってはいけない



Srを精製後、ストロンチウム90とイットリウム90の親子関係を一旦切る (スカベンジ)

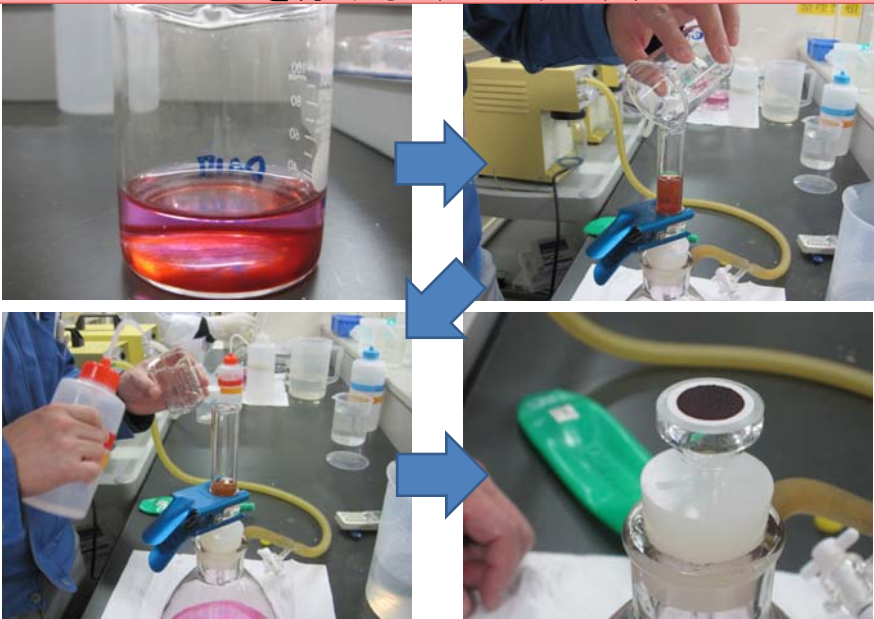
水酸化鉄沈殿を作る
沈殿：イットリウム
溶液：ストロンチウム

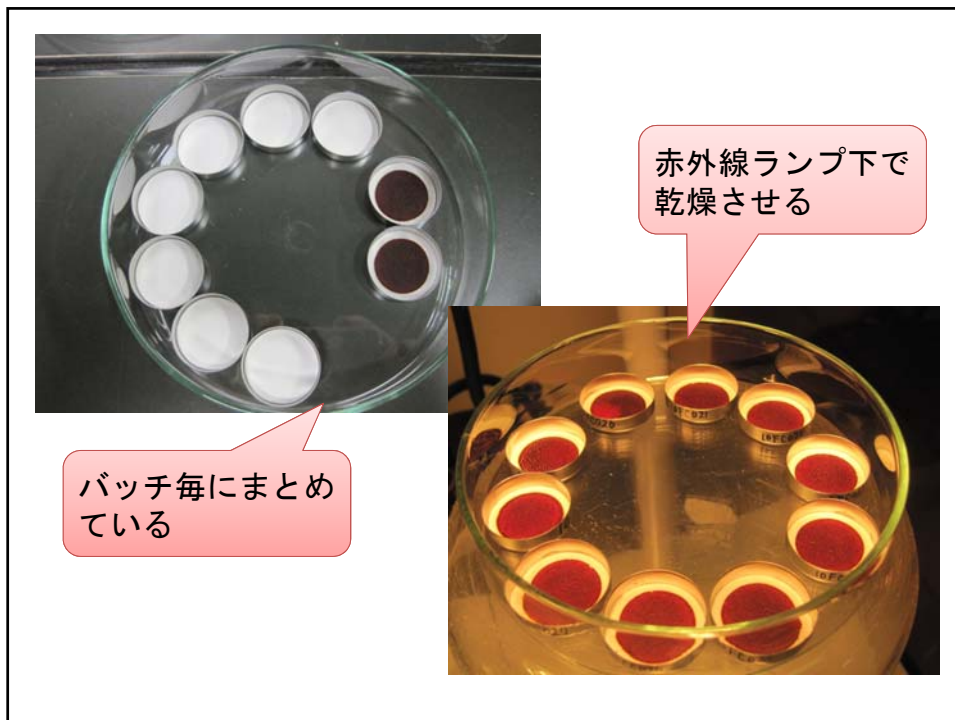
約2週間放置させると、平衡に達する (放射能が等しくなる)

この親子関係を一旦切る

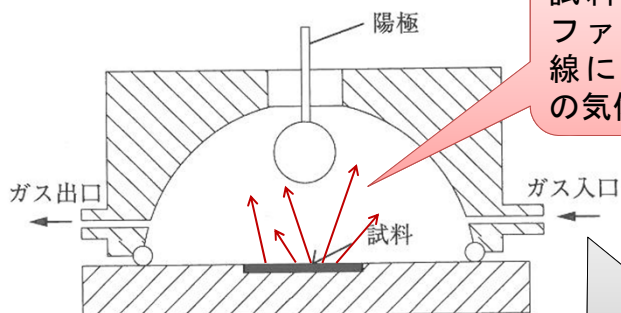
28.78 y $^{90}_{38}\text{Sr}$ β^- $Q\beta$ 546.2 keV $^{90}_{39}\text{Y}$ 64.1 h β^- $Q\beta$ 2282 keV $^{90}_{40}\text{Zr}$

試料中のストロンチウム90と成長したイットリウム90を分ける (ミルクキング)





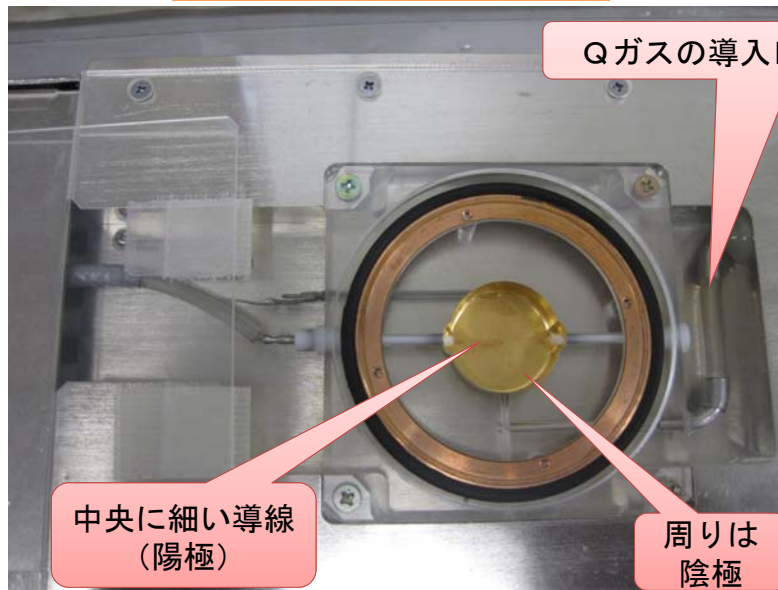
ガスフロー比例計数管を用いるベータ線計測
(低バックグラウンドベータ線測定装置)



試料からのアルファ線、ベータ線により、周囲の気体が電離

ベータ線測定に適したガスを選択
ヘリウム (96~98%) + イソブタン (4~2%) の混合ガス (Qガス)

ガスフロー比例計数管の一例

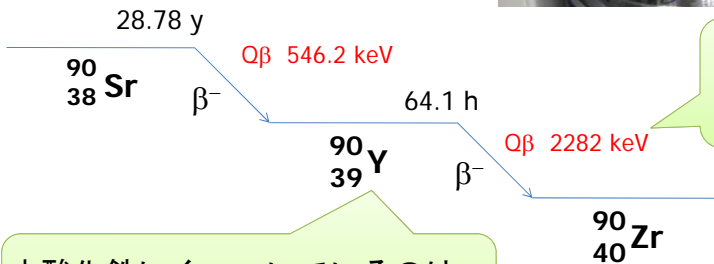


低バックグラウンドベータ線測定装置



ストロンチウム90の測定は、ストロンチウム90にあらず！

Sr-90の化学分離をしたんですが、ここに「Sr-90」は無いんです！



測定するベータ線は、これ！

水酸化鉄にくっついてるのは、これ！（Y-90）

放射平衡の概念

スカベンジ

放射能レベル

Y-90はあたかも親であるSr-90と同じように減っていく

Sr-90

Sr-90 = Y-90

としてよい！

Y-90

二週間程度で平衡になる

経過時間

まとめ

- ・放射性物質を測る（放射線計測）ことは、思いのほか手間がかかる
- ・「放射線を測る」と「放射能を測る」ことは意味合いが異なる
ものすごく「少ない量」を相手にしている
- ・ストロンチウム90やセシウム137の測定は、実はほかの核種を使っている（トリビア！）