



鳥居 寛之  
小豆川勝見  
渡辺雄一郎  
著

中川 恵一  
執筆協力

科学的に  
理解する

基礎からわかる東大教養の講義

丸善出版

# 「放射線を科学的に理解する

— 基礎からわかる東大教養の講義 —

鳥居寛之・小豆川勝見・渡辺雄一郎 著

中川恵一 執筆協力

丸善出版

本体 2500円+税

- 1章 放射線とは? 《放射線入門》
  - 2章 放射線の性質 《放射線物理学 I》
  - 3章 原子力発電で生み出される放射性物質  
《原子核物理学・原子力工学》
  - 4章 放射線量の評価 《放射線物理学 II》
  - 5章 放射線の測り方 《放射線計測学》
  - 6章 環境中での放射性物質 《環境放射化学》
  - 7章 放射線の細胞への影響 《放射線生物学》
  - 8章 放射線の人体への影響 《放射線医学》
  - 9章 放射性物質と農業 《植物栄養学・土壤肥料学》
  - 10章 放射線の防護と安全 《放射線防護学》
  - 11章 役に立つ放射線 《放射線の利用・加速器科学》
- Q&A

放射線を理解するには、物理学・化学・生物学・医学・工学など多くの分野の知識が必要です。しかしこれらすべてを網羅することは難しく、系統立てて学べる機会は非常に少ないのが実情です。

本書は東京大学教養学部で行われた講義をもとに、放射線について多角的に学べるよう配慮しています。日常生活や原発事故にかかわる具体的な例を引きながらやさしくていねいに解説しましたので高校生や一般の方にも広く読んでいただきたいと願っています。

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/radiolect-kn.html>

## 放射線

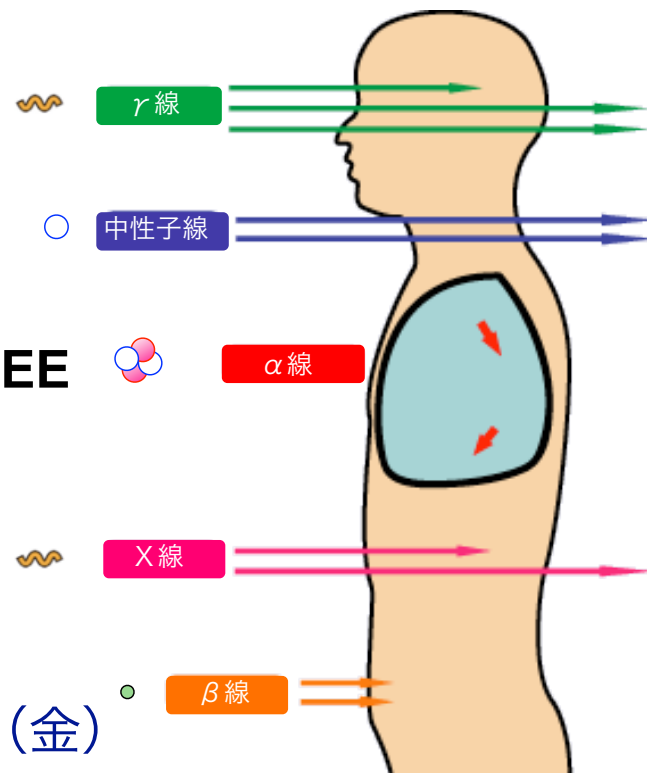
を  
科学的に  
理解する

金曜 5 限

@ 21 KOMCEE  
(West)

K303教室

2016 / 10 / 14 (金)



第3回

## 放射線計測学

放射線の測定原理・方法・問題点

小豆川 勝見

東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

# 放射線を科学的に理解する

- 9/30 放射線入門 【鳥居】
- 10/ 7 放射線物理学 【鳥居】
- 10/14 放射線計測学 【小豆川】
- 10/21 放射線物理・化学 【鳥居】
- 10/28 環境放射化学 【小豆川】
- 11/ 4 放射線生物学 【渡邊】
- 11/11 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 12/ 2 原子核物理学・原子力工学
- 12/ 9 放射線医療 【芳賀】 【鳥居】
- 12/16 放射性物質汚染と農業 【藤原】
- 12/23 環境放射化学 【小豆川】
- 1/ 6 放射線の利用 【渡邊】
- 1/12 加速器科学・放射線防護学  
(木曜振替) 【鳥居】

鳥居 寛之

小豆川 勝見

渡邊 雄一郎

《教養学部》

坪倉 正治 《医科学研究所》

芳賀 昭弘 《医学部附属病院放射線科》

藤原 徹 《農学部応用生命化学》

ゲスト講師

# 放射線を科学的に理解する (化学分野1回目)

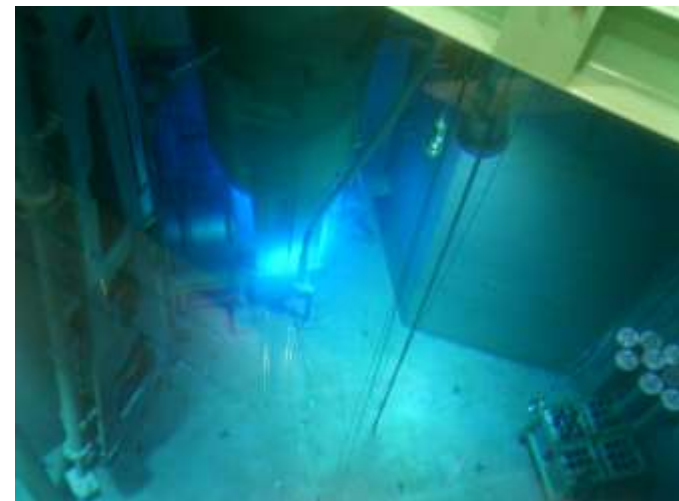
小豆川(しょうずがわ)勝見

# 自己紹介

- ▶ 小豆川勝見(しょうずがわ かつみ)
  - 専門は環境分析化学、放射化学
- ▶ 研究用原子炉や加速器を使って環境を探る、という極めてマイナーな分野
- ▶ 福島の事故以降、原子炉での経験を踏まえて、環境中に拡散している核種の測定を始めた
- ▶ 学内では「基礎化学実験(主に定量と定性)」を担当。逆評定では面白いコメントを期待している。



原子炉に入れた試料を取り出している様子。(放射化分析法)



臨界している原子炉。(茨城県東海村研究炉JRR-4、現在停止中)

# はじめに

- ▶ 福島第一原子力発電所事故前からSv, Bqという単位を知っていた方はどのくらいいますか？
  - 研究室に入ってくる修士課程の院生は「むかしやったような...?」程度。
  - 放射線測定を専門に扱うラボでもこんなもの。
- ▶ 外国に出かければ、間違いなく福島原発の話題になるでしょう。
  - 事故に対する関心は極めて高い
  - 考え方は人それぞれですが、基礎知識は必須
- ▶ 今日は「放射線を測る」、という視点から講義をします。
  - 人体へのリスク、汚染評価、賠償、避難...全ての議論の根源

# 1秒間に1個の原子核が崩壊することが1 Bq

- ▶ 1 Bqの定義に「放射線」は関係ない
  - どのような崩壊形式でも、どんな放射線を出そうと全く関係ない
  - 崩壊する時に放射線を出すことがあるよ、という話。
- ▶ 1 Bqにつき放射線が1本放出される、というわけでもない。
  - $^{137}\text{Cs}$ の場合、原子核が1個壊れると $\gamma$ 線が(確率上)0.85本放出される
    - $^{137}\text{Cs}$ 線源から1.17秒間に1本の $\gamma$ 線を観測すれば1 Bq。
- ▶ 昔はCi(キュリー)という単位を使用
  - 1 gの $^{226}\text{Ra}$ の放射能を1 Ciと定義
  - $1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$
  - $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$

# 1 Bqってどのくらいの量？(比放射能の計算)

▶ 「放射性物質は目に見えない(五感で感じない)」

▶ 放射能をもった原子の数は時間とともに崩壊して数が減る

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad N: \text{原子数}, \lambda: \text{崩壊定数} (\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}})$$

▶ 1 gあたりの放射能(=比放射能A)は、核種の質量で除すればよいので、

$$A = \frac{\lambda N}{\frac{N}{N_A} \cdot m} = \frac{\lambda N_A}{m} \quad N_A: \text{アボガドロ数}, m: \text{質量数}$$

▶ 崩壊定数を加えると

$$A = \frac{\lambda N_A}{m} = \frac{\ln(2) \cdot N_A}{T_{1/2} \cdot m} = \frac{4.17 \times 10^{23}}{T_{1/2} \cdot m}$$



# 半減期と比放射能

- ▶  $^{137}\text{Cs}$ の場合、半減期は30.2年

- 比放射能は

- ▶  $^{131}\text{I}$ の場合、半減期は8.02日

- 比放射能は

- ▶  $^{40}\text{K}$ の場合、半減期は12.5億年

- 比放射能は  $2.6 \times 10^5 \text{ Bq/g}$

$$A(\text{Bq/g}) = \frac{4.17 \times 10^{23}}{T_{1/2} \cdot m}$$

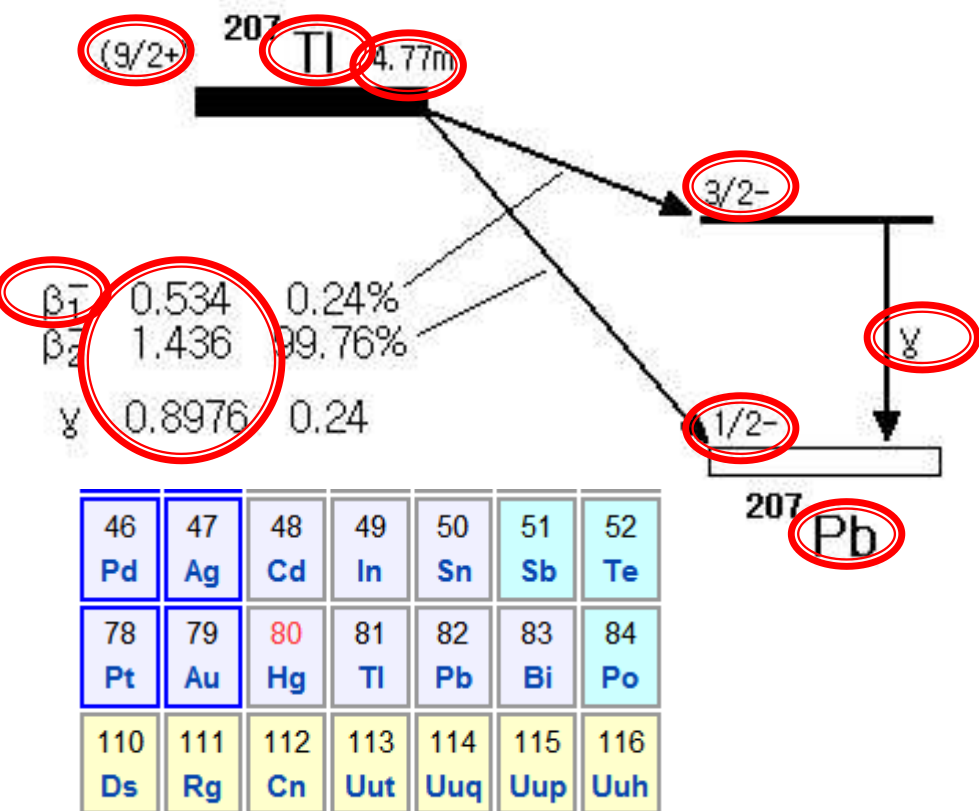
- ▶ (余談)  $^{137}\text{Cs}$ が1 molあったら... ?

- Bq/mol

# 土に紛れた放射性セシウム、どうやって定量する？

- ▶ 駒場グラウンド表層 200 Bq/kgくらい。
  - 比放射能から求めると、 $^{137}\text{Cs}$ は1 kgあたり $6.3 \times 10^{-11}$ g存在する。
- ▶ しかも、放射性ではない安定セシウム( $^{133}\text{Cs}$ )がたくさんいる
  - 一般的な土壌なら1 kgあたり、0.003 g程度存在。
- ▶ 安定セシウム( $^{133}\text{Cs}$ ) vs 放射性セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )
  - 安定セシウムが圧倒
- ▶ 放射性でも化学的特性は同じ。(=陽子の数同じ)
  - 電子配置  $[\text{Xe}]6s^1$
- ▶ どうやって定量しようか....。

# 原子核崩壊図と崩壊モード



▶  $^{207}\text{Tl}$ の原子核崩壊図

▶ 崩壊モードは $\beta$

◦ ref. 周期表

▶ パリティ(スピンパリティ)

▶ 半減期

▶ エネルギー

## ベータ線

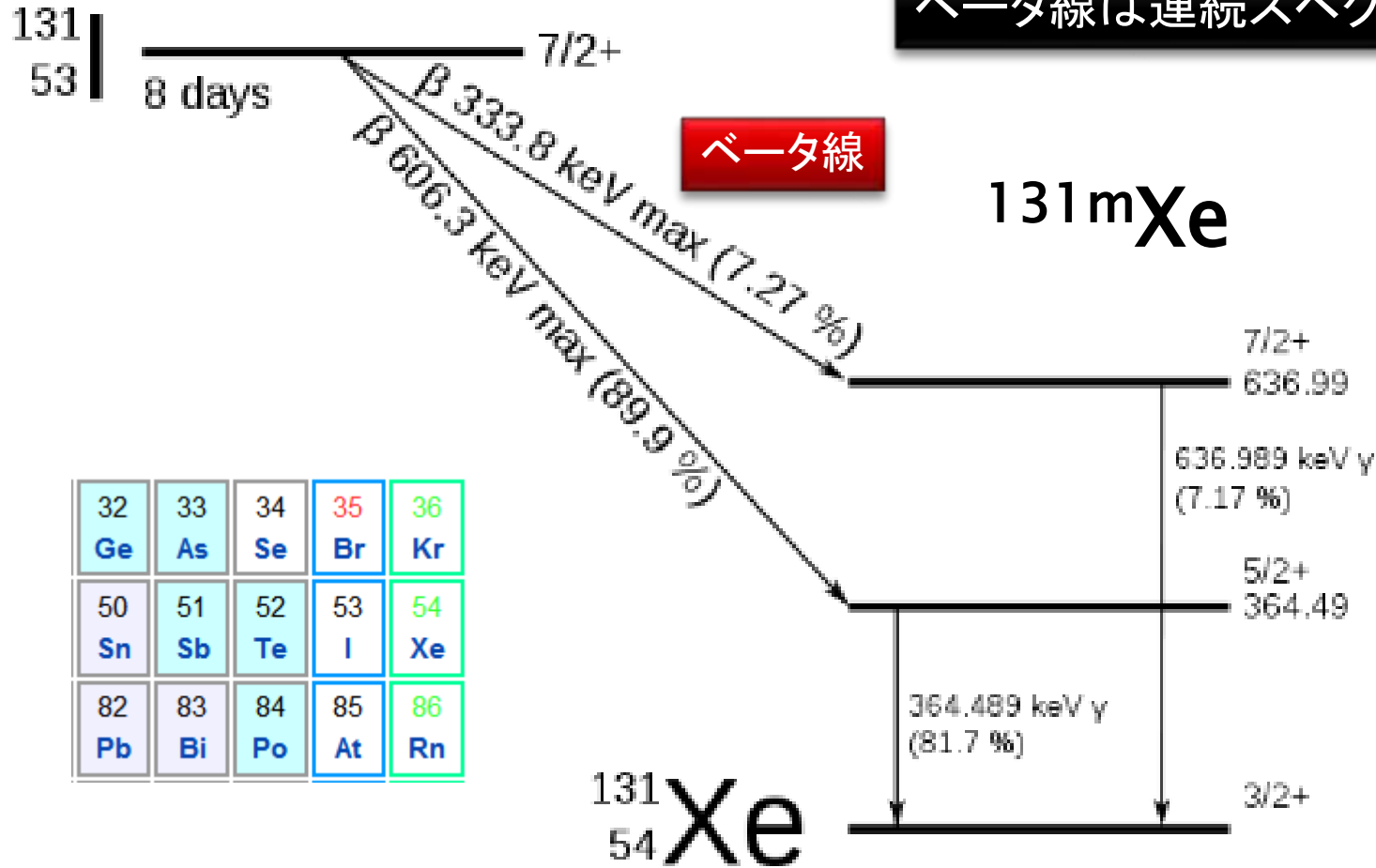
反ニュートリノへのエネルギー供与(質量欠損)のため、電子に与えられるエネルギーは連続的になる。

## ガンマ線

主にベータ崩壊後の核異性体からのガンマ線。核種同定にもっとも適している。

# $^{131}\text{I}$ の核崩壊図

ベータ線は連続スペクトル



364.49 keVのガンマ線(光)を見つけた！ ➡  $^{131}\text{I}$ がありそうだ！

# 放射性ヨウ素からでてているのは何？

- ▶ 電子と光の両方ができます
- ▶ 「電子」は電気を帯びた小さな小さな粒です。
  - 似たようなものに雷があります。
  - 空気中ではまっすぐ飛びません(雷はギザギザに飛ぶ)
- ▶ 「光」は、光ですね(笑)
  - 似たようなものに紫外線やX線があります。
  - 放射性ヨウ素から出る光は、とてもエネルギーの強い光です。
  - 光はまっすぐ飛びます。
- (電子のことをベータ線、光のことをガンマ線と呼びます)



# $\beta^-$ 崩壊なのになぜ $\gamma$ 線を測る？

## ▶ 最も測りやすいのは $\gamma$ 線

- $\gamma$ 線は光。試料の前処理がいらぬ(そのまま測れる)

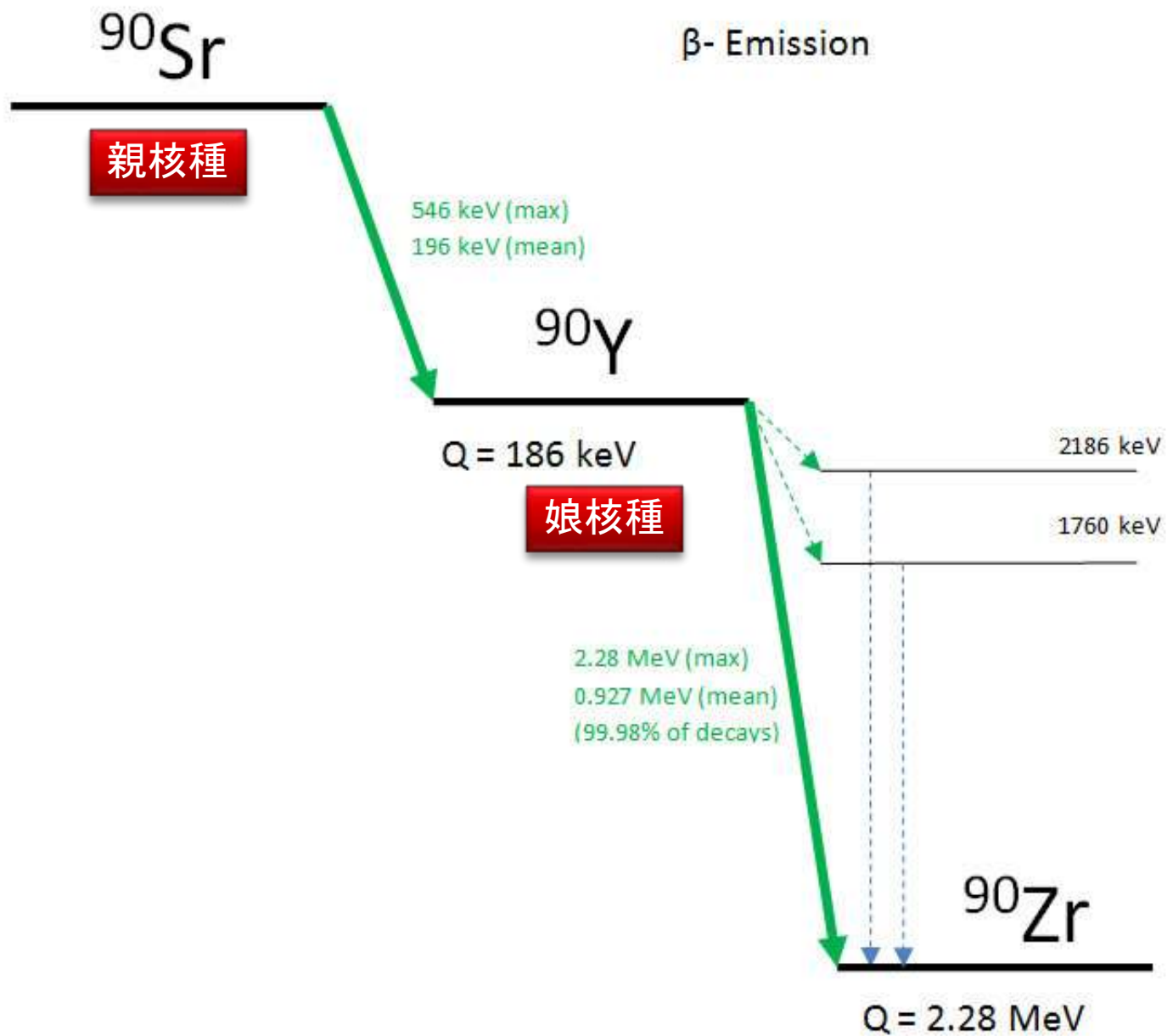
## ▶ $^{131}\text{I}$ や $^{137}\text{Cs}$ は $\beta^-$ 崩壊、だから $\beta$ 線を観測しても良いけど...

- $\beta$ 線は連続スペクトルなので、いきなり $\beta$ 線を測るとどの核種を測っているのか分からない
- そのため分離・精製操作が必須。(=放射性廃液が大量に発生する)

## ▶ $^{131}\text{I}$ や $^{137}\text{Cs}$ は $\beta^-$ 崩壊時に $\gamma$ 線も放出する

- 崩壊先の核種のmetastable stateから基底に落ちるときの $\gamma$ 線
- そのまま測れる $\gamma$ 線を測ろう！

# $^{90}\text{Sr}$ の崩壊図



# γ線を放出しない核種- $^{90}\text{Sr}$ を例に

## ▶ 放射性ストロンチウム分析法 (平成15年改定 文部科学省)

- $^{89,90}\text{Sr}$ -イオン交換法、発煙硝酸法(難)
  - ・ 妨害Caを除去するため、 $^{89}\text{Sr}$ と $^{90}\text{Sr}$ を分離可
- $^{90}\text{Sr}$ -シュウ酸塩法
  - ・ 妨害Caは除去しないため、 $^{89}\text{Sr}$ を測定できない
- $^{90}\text{Sr}$ -溶媒抽出法
  - ・ 妨害Caは除去しない。牛乳を対象。 $^{89}\text{Sr}$ は測定できない

## ▶ $^{90}\text{Sr}$ の分析目標レベル

	供試量	目標分析レベル	単位
土壌・海底土	100 g乾土	<u>0.2</u>	Bq/kg乾土
海水	40 L	0.6	mBq/L

\*計数効率 27%, バック 0.3 cpm, 測定 60 min, Sr回収率 90 %による計算

## ▶ $^{90}\text{Sr}$ , $^{89}\text{Sr}$ など標準溶液が必須



# $^{89}\text{Sr}$ , $^{90}\text{Sr}$ の特性と分離法

$^{89}\text{Sr}$

$T_{1/2} = 50.53 \text{ days}$

Mean  $\beta$  energy = 584.6

Daughter  $^{89}\text{Y}$  Stable

$^{90}\text{Sr}$

$T_{1/2} = 28.90 \text{ years}$

Mean  $\beta$  Energy = 195.8

Daughter  $^{90}\text{Y}$

$T_{1/2} = 64.0 \text{ hours}$

Mean  $\beta$  Energy = 933.6

Daughter  $^{90}\text{Zr}$  Stable

## 分離法

- ▶ 精製した $^{90}\text{Sr}$ から生じる $^{90}\text{Y}$ の生成を2週間程度待つ必要がある
  - スカベンジングで $^{90}\text{Sr}$ 精製後、ミルクングして $^{90}\text{Y}$ の $\beta$ 測定
- ▶ 固相抽出法による $^{90}\text{Sr}$ の選択的、高速除去法\*が開発中

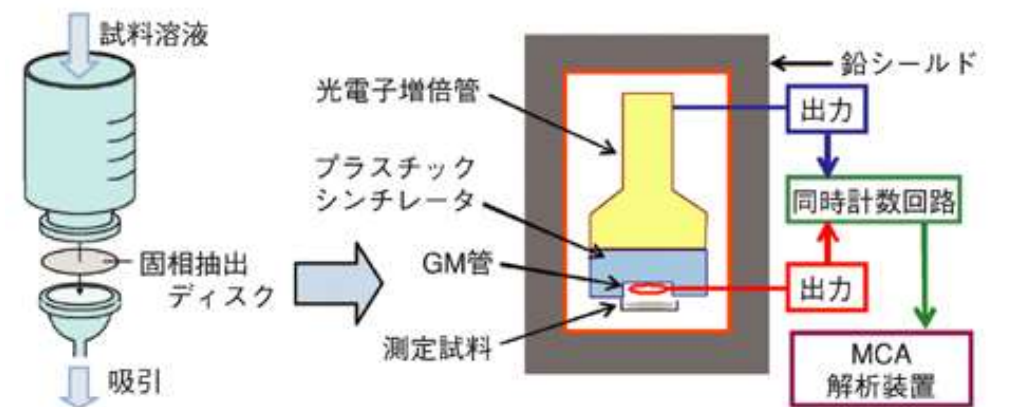
\*一例として、Kameo, Y., et al., Determination of  $^{89}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in radioactive waster using Sr extraction disk and beta-ray spectrometer, *JRNC*, 274(1), 71, 2007.

# 「横浜でストロンチウム検出 100キロ圏外では初」2011年10月報道

出展:朝日新聞<http://www.asahi.com/national/update/1012/TKY201110110626.html>

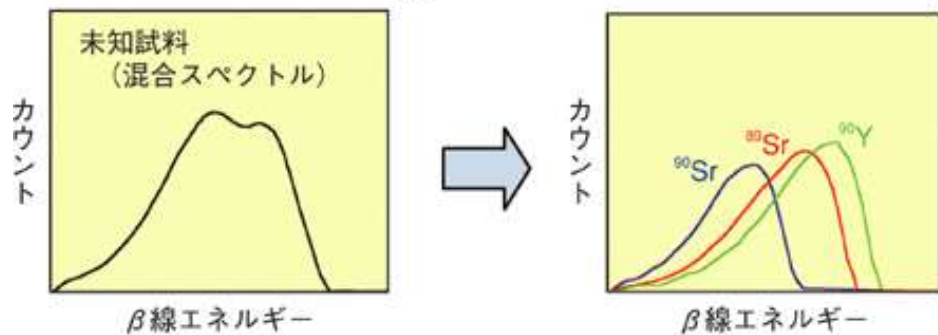
- ▶ **横浜市港北区のマンション屋上の堆積物から、195 Bq/kgの(放射性)ストロンチウムを、民間の分析機関が検出した。東京電力福島第一原発事故で放出されたとみられ、結果の報告を受けた横浜市は、再検査を始めた。**
- ▶ 検出されたのは $^{90}\text{Sr}$ (半減期約30年)。文部科学省の調査では福島県内や宮城県南部など福島第一原発から100キロ圏内で検出されているが、約250キロ離れた横浜市内では初めて。
- ▶ **場所は築7年の5階建てマンション屋上。7月、溝にたまった堆積物を住民が採取し、横浜市鶴見区の分析機関「同位体研究所」で測定した。放射性物質が蓄積しやすい条件とみられるため単純に比較できないが、4-5月に福島市内の土壌から検出された77 Bq/kgと比べても高い値だ。同じ堆積物からは63,434 Bq/kgの(放射性)セシウムも検出。私有地であることを理由に公表していないが、市衛生研究所での(放射性)セシウムの再検査でも、同じ堆積物から105,600 Bq/kgが検出された。**

# 固相抽出法による放射性ストロンチウムの測定



(a) 固相抽出分離  
固相抽出ディスクの表面にSrを吸着させます。

(b)  $\beta$ 線測定  
GM計数管とプラスチックシンチレータからの出力を同時計数することにより、バックグラウンド計数を低減しながら $\beta$ 線を測定します。



(c)  $\beta$ 線スペクトロメトリ  
未知試料のスペクトルに対して、あらかじめ作成したスタンダードライブラリと比較・解析することにより、 $^{90}\text{Sr}$ のスペクトルを推定します。

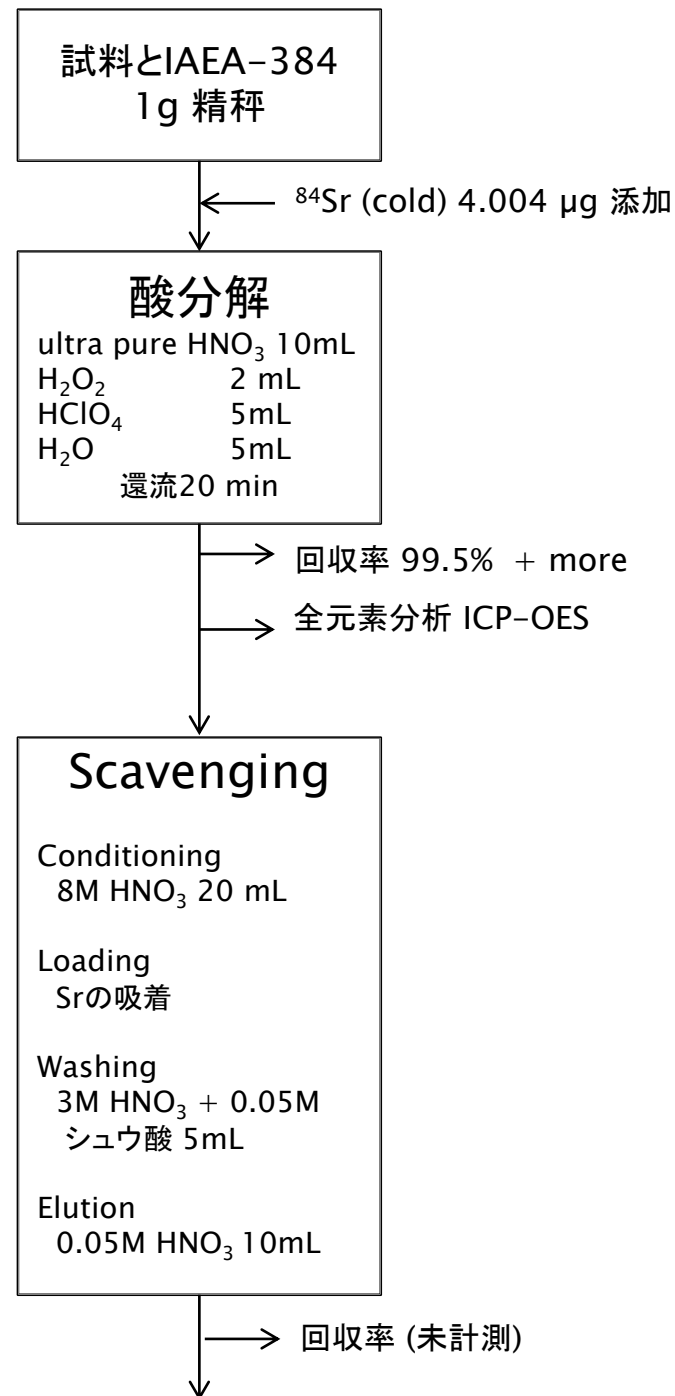
出典: 廃棄物中の放射性ストロンチウムを測定する  
—放射性廃棄物の処分に向けた簡易・迅速分析法の開発—  
[http://jolisfukyu.tokai-sc.jaea.go.jp/fukyu/mirai/2008/9\\_1.html](http://jolisfukyu.tokai-sc.jaea.go.jp/fukyu/mirai/2008/9_1.html)

- ▶ 同位体研究所(固相抽出法, 3M社製RadDisk):
  - 横浜市港北区マンション屋上堆積物: 195 Bq/kg
  - 港北区大倉山公園噴水堆積物: 59 Bq/kg
- ▶ 文部科学省(公定法):
  - 港北区大倉山土木事務所: 0.82 Bq/kg
  - 新横浜公園噴水堆積物: 1.1 Bq/kg
- ▶  $^{90}\text{Sr}/^{134+137}\text{Cs}$ 比
  - $3.07 \times 10^{-3}$  (同位体研究所)
  - $3.06 \times 10^{-5}$  (文科省)

放射性ストロンチウムの分析には「迅速」かつ「正確」な分析法が求められている

# β線測定までの前処理(魚骨の例)

- ▶ 骨そのものの全元素分析
  - 試料には $^{84}\text{Sr}$   $4.14 \times 10^3$  ppm
- ▶ Cold Srによる回収率計算
- ▶ Srレジンによるスカベンジング
  - 8M  $\text{HNO}_3$ で2時間以上コンディショニング
  - サンプル loading
  - 3M  $\text{HNO}_3$  + 0.05M シュウ酸でwashing
    - Yの洗い出し
  - 0.05M  $\text{HNO}_3$ でelution ( $^{90}\text{Y}$  time zero)



# ベータ線の測定装置

- ▶ (例えば) 液体シンチレーションカウンタ
  - ベータ線は連続スペクトル、核種を決めるためには...?

**$^{90}\text{Sr}$ はこれ！**

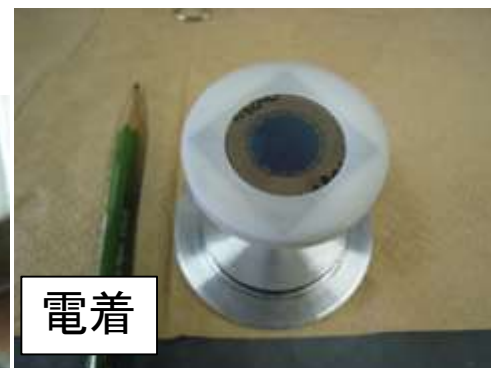


(液シン、なんて略せるとカッコいいね！)

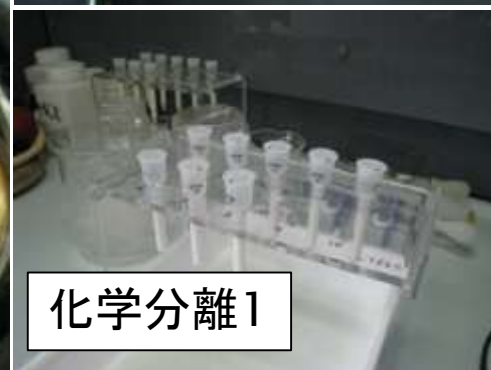
# アルファ線核種の測定装置(1/2)

U, Th, Pu, Am, Cm...はこれ!

## ▶ アルファスペクトロメトリ



電着



化学分離1



化学分離2

分析はものすごく大変。

ターゲット元素を化学分離 → 精製 → 電着(線源を作る) →  $\alpha$ 線計測

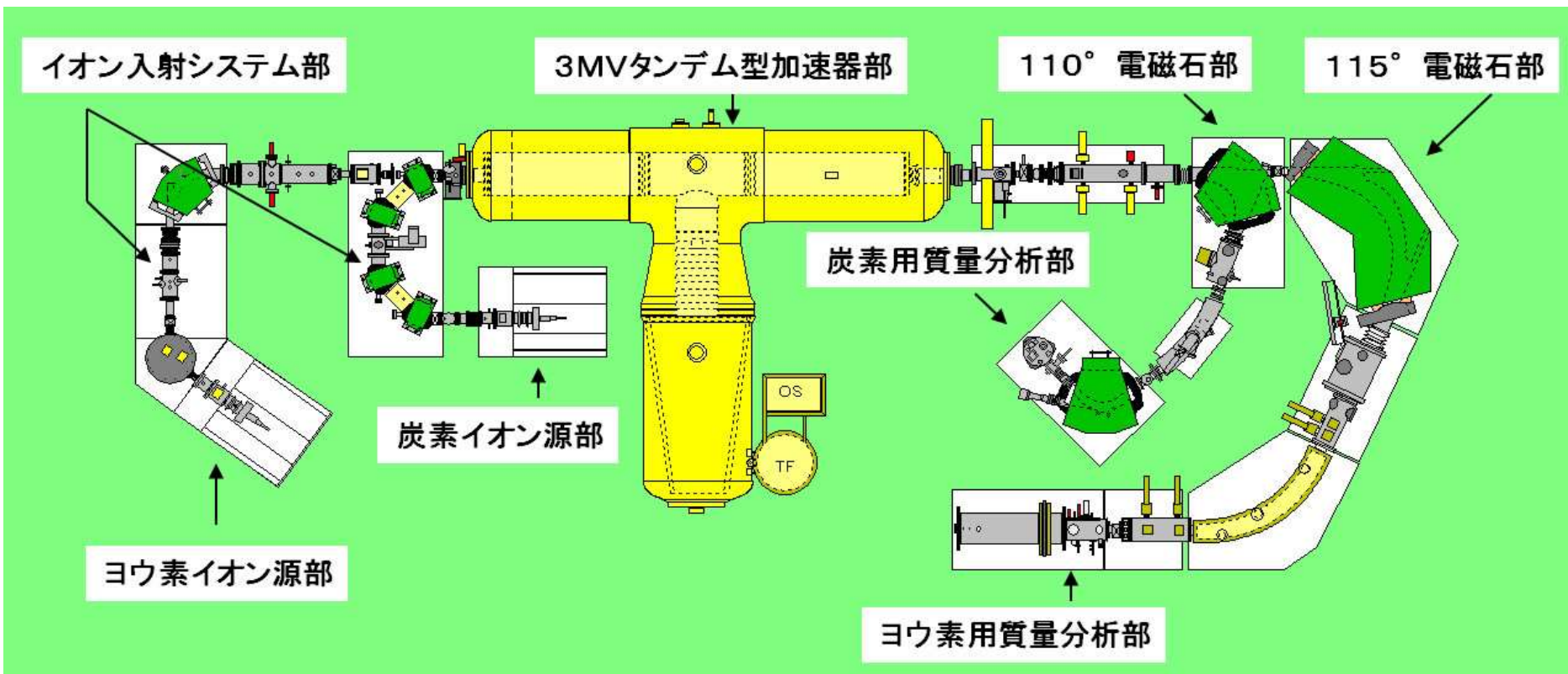
# アルファ線の測定装置(2/2)

半減期が長い=重さで測った方がいい

## ▶ AMS, ICP-MS(質量分析計)

$^{239}\text{Pu}$ は半減期24000年。 $^{131}\text{I}$ は半減期8日。  
同じ1Bqでも、原子数で比べたら...?

加速器質量分析計の一例



# (参考)半減期が短い核種の存在量を推定するには...?

- ▶  $^{131}\text{I}$ は半減期が約8日。拡散の実態を調べる前に崩壊し尽くしてしまう。どうやって事故初期の $^{131}\text{I}$ を推定するのか。

答え: 直接 $^{131}\text{I}$ を測定するのではなく、同位体( $^{129}\text{I}$  or  $^{127}\text{I}$ )から推定する

## 2. 調査内容

○ヨウ素129 ( $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  比)の測定は東京大学のAMS(加速器質量分析装置)を用い、ヨウ素127(安定ヨウ素)の測定は学習院大学のICP-MS(誘導結合プラズマ質量分析装置)を用いて行う。

この結果から見ると、ヨウ素129とヨウ素131は良い相関であると言える( $R^2=0.96$ )。ヨウ素129の土壤中濃度(Bq/kg)に対するヨウ素131の土壤中濃度(Bq/kg; 4月1日に半減期補正)の比率( $^{131}\text{I}/^{129}\text{I}$  比)の平均値は、4,100,000であった。

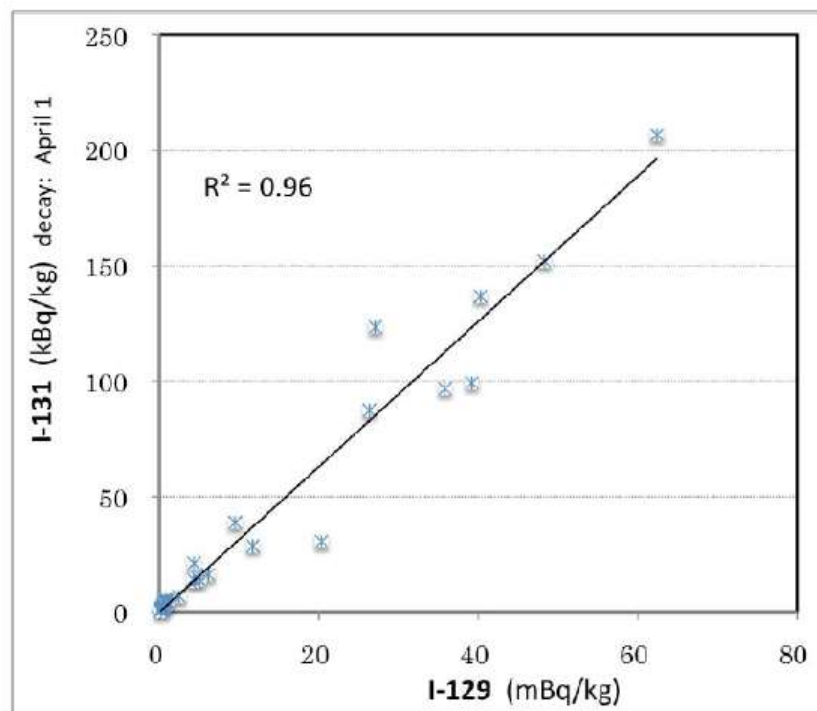


図-3 ヨウ素129とヨウ素131の相関 (n=36) 減衰補正は4月1日  
(学習院大や福島県が採取した試料の分析)



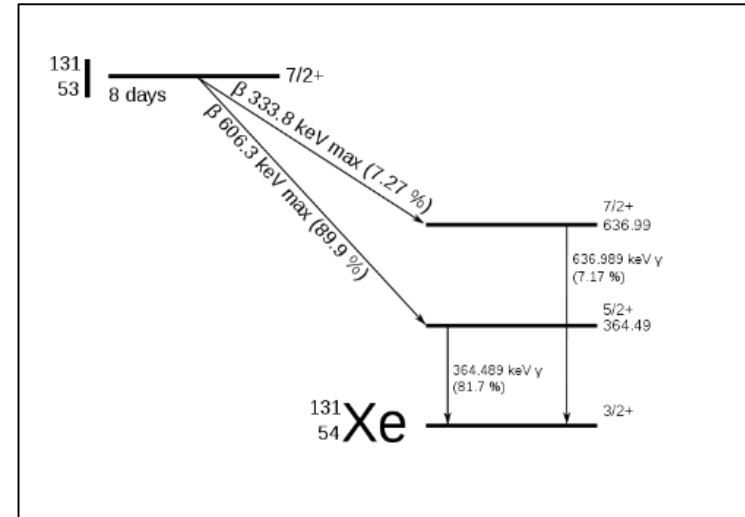
# 連続して崩壊する場合の放射能の計算

## ▶ 単純な放射能の計算は実演済み

- ピークのネット値の計算
- 放出率、単位重量換算、半減期補正

## ▶ 多段階で崩壊する場合には

- 「親核種」と「娘核種」の関係を考慮する



- 放射性核種が壊変し、新たな放射性核種が生じるとき、生じた核種を娘核種といい、元の核種を親核種と呼ぶ。
- 親核種の半減期を $T_1$ 、娘核種の半減期を $T_2$ とするとき $T_1$ と $T_2$ の大きさにで過渡平衡と永続平衡、放射平衡が成立しない場合に分かれる。

$$N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad , \quad N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_2^0 e^{-\lambda_2 t}$$

# 放射能の半減期補正

- ▶ 今日、ある土壌試料のガンマ線を計測したら、 $^{134}\text{Cs}$ が15 Bq/kgと $^{137}\text{Cs}$ が88 Bq/kgと定量できた。
- ▶ 今日は事故から5.5年経過している。 $^{134}\text{Cs}$ の半減期は2年、 $^{137}\text{Cs}$ の半減期は30年である。

1.  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ は(大半が) $\beta^-$ 崩壊する。生成する核種は何か。

37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	*1	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn

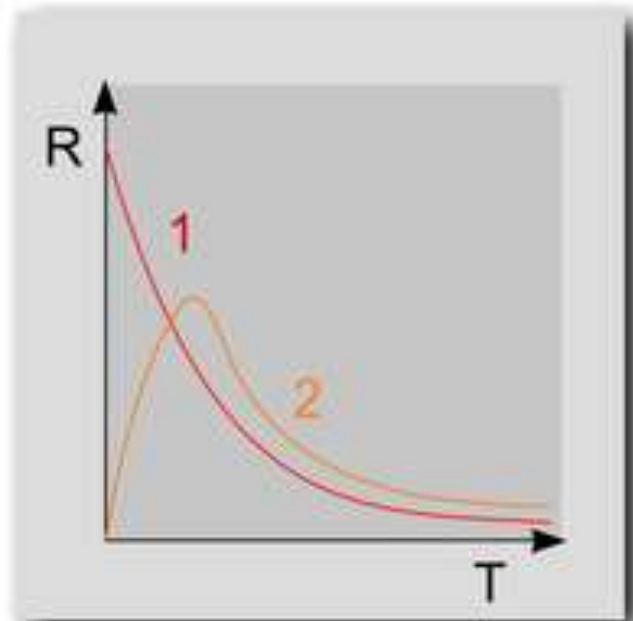
2. 事故当時の $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ の放射能はいくらか？

- ▶ 面倒なのは娘核種も崩壊する場合。

# 半減期補正 - 過渡平衡と永続平衡

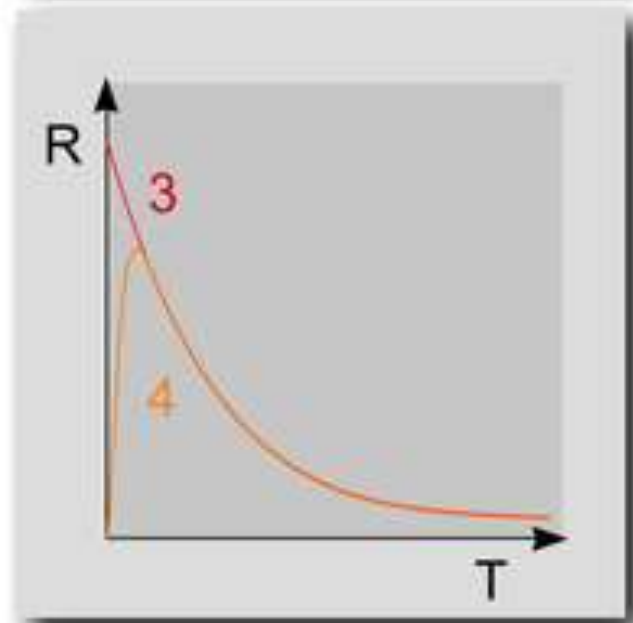
## 過渡平衡

- ▶ 娘核種の放射エネルギーが親核種の放射エネルギーを追い越して、両者の比率が平衡状態になる状態

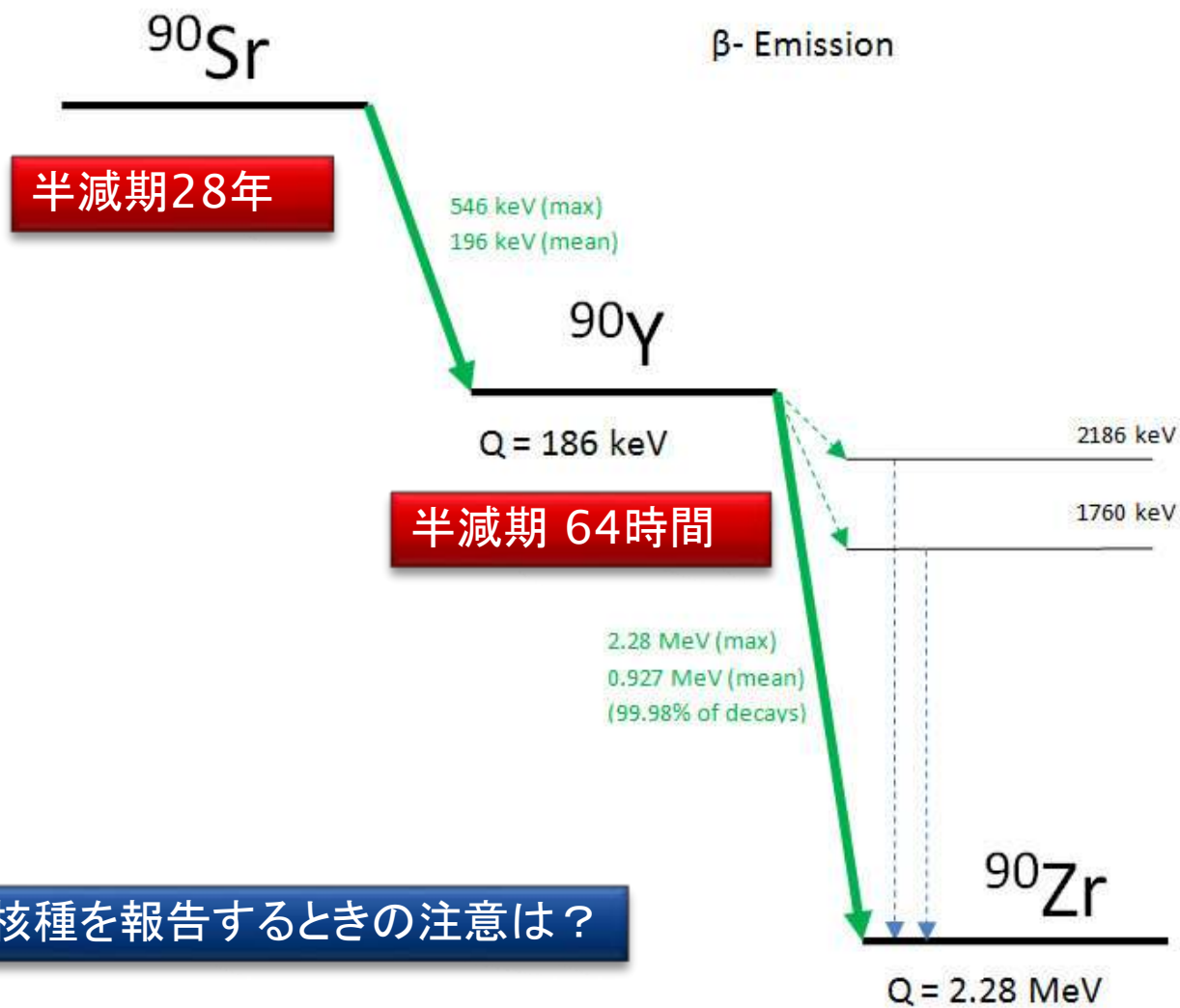


## 永続平衡

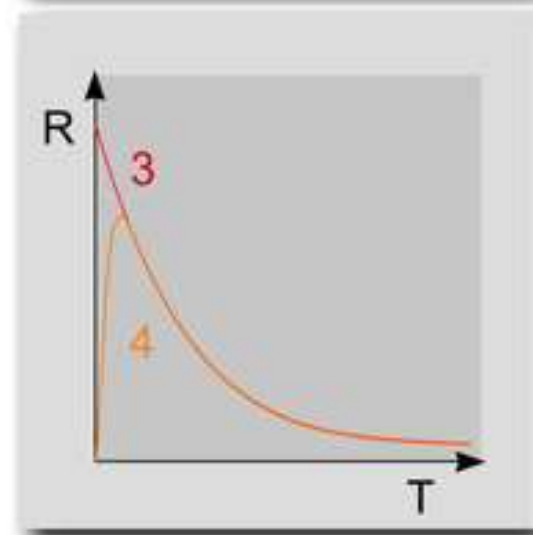
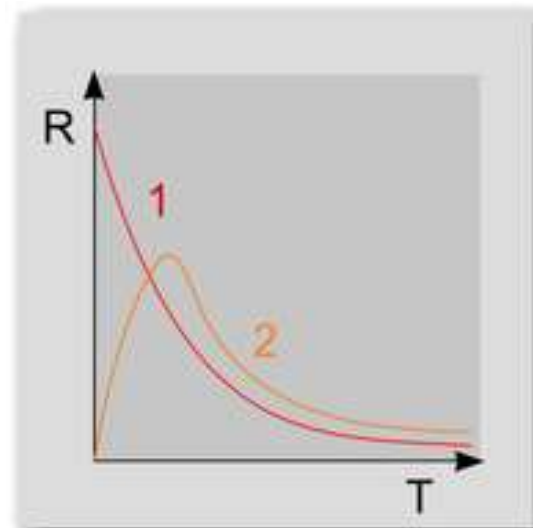
- ▶ 親核種の半減期が娘核種の半減期より圧倒的に長ければ、親核種の崩壊が娘核種の量を決めるために、親核種の放射エネルギーと娘核種の放射エネルギーは等しくなり、親核種の半減期カーブに沿って時間と共に減衰してゆく。



# $^{90}\text{Sr}$ は過渡平衡？永続平衡？



核種を報告するときの注意は？



# ガンマ線分析

## -放射性セシウムを定量する-

# ガンマ線の測定装置(1)

- ▶ シンチレーションカウンタ
  - シンチレーターにはNaI(Tl)が最もよく使われる
  - 分解能はイマイチ

## AT1320A

### 食品放射能(セシウム)スクリーニングシステム

食品中の放射能(セシウム)を  
3.7~1,000,000Bq/kgの範囲で測定します

#### 特長

- 2.5" x 2.5" NaI(Tl)検出器を使用した放射線スペクトル測定
- 1リットルマリネリ容器、0.5リットルフラット容器使用
- 鉛遮蔽体装備
- 自動LEDスタビリゼーション機能装備
- 自動バックグラウンド減算機能
- "エネルギーウインドウ"を使用したスペクトル処理
- 128x64 LCD表示部にスペクトルデータを表示
- 不揮発性メモリに300のスペクトルを保存可能
- PCインタフェース

#### アプリケーション

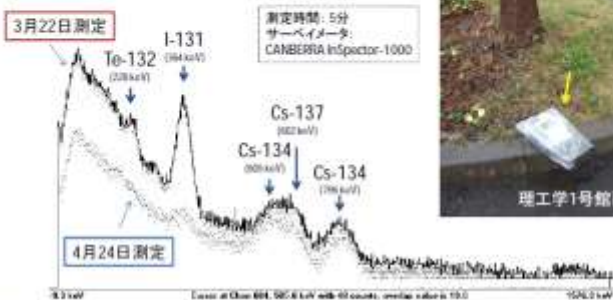
- 放射能スクリーニング
- 食品(飲料水、農業製品等)
  - ミネラル、建築材料、材木等
  - 金属、石油化学製品、原材料、スクラップ等
  - 放射性廃棄物



#### サーベイメータによる 芝生上のガンマ線強度定点観測

放射性物質が大量に降下して以降、我々は理工学1号館西側の芝生上でガンマ線の強度を定点観測しています。測定にはガンマ線のエネルギーも測定できるサーベイメータを使用しています。

#### NaI(Tl)検出器で測定した ガンマ線エネルギースペクトル



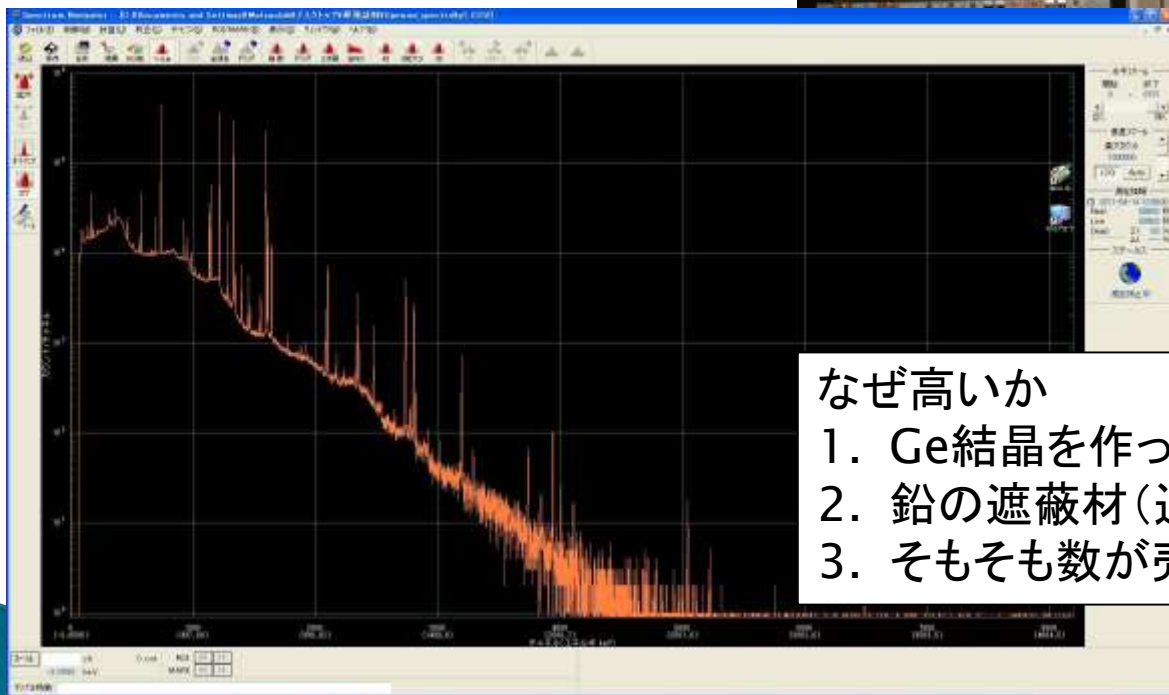
防衛大で観測された福島第1原発事故の影響  
防衛大学校 応用物理学科 放射線計測研究室. 松村徹ら, 2011

研究用NaI。米俵サイズ→

# ガンマ線の測定装置(2)

## ▶ ゲルマニウム半導体検出器

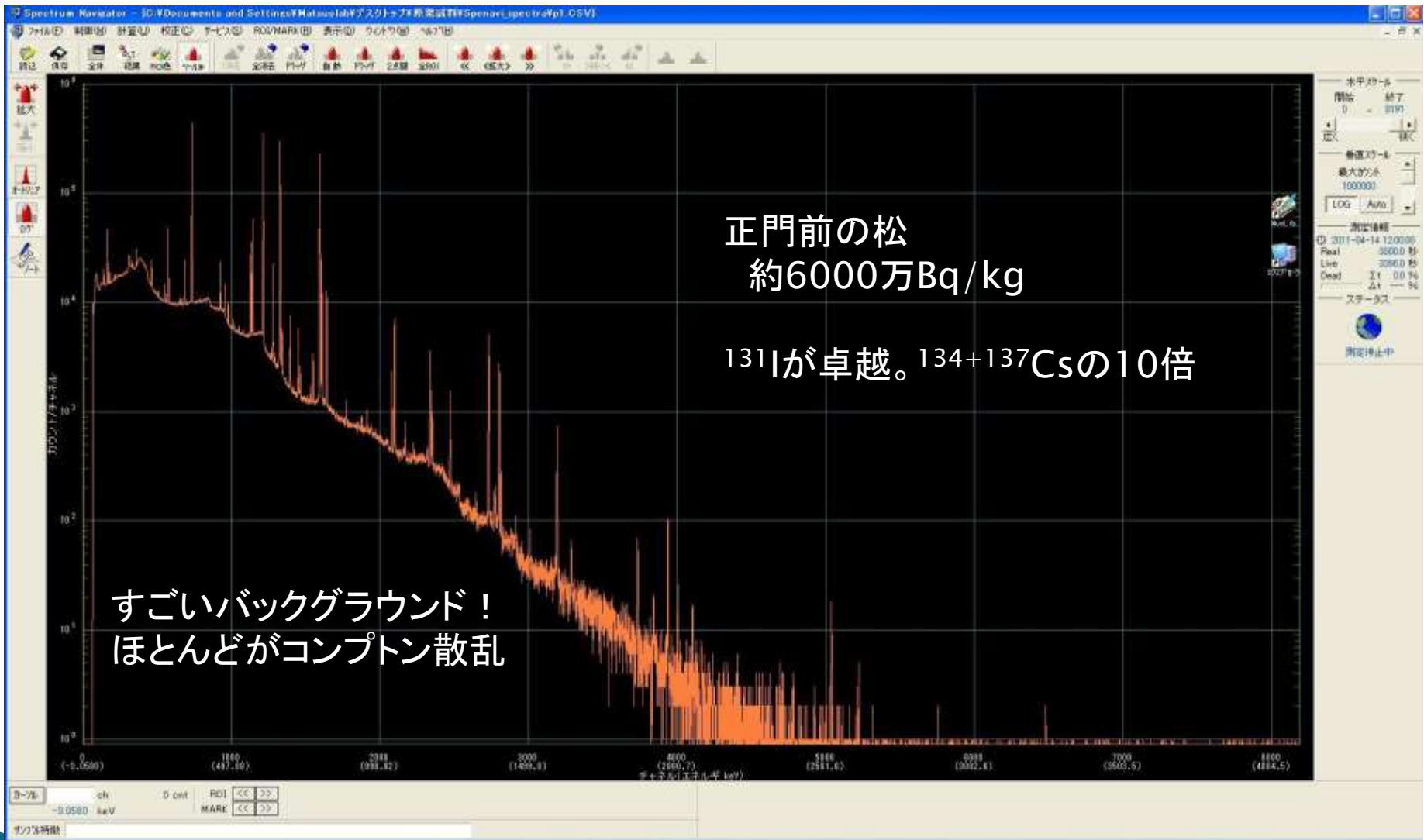
- 最高のエネルギー分解能
  - ・ 線幅が細く、同定が容易
- 非常に高価、メンテ必須
- 操作は経験者でないとダメ



なぜ高いか

1. Ge結晶を作っている会社は世界でも3社のみ
2. 鉛の遮蔽材(通常の鉛ではいまいち)
3. そもそも数が売れるものではない

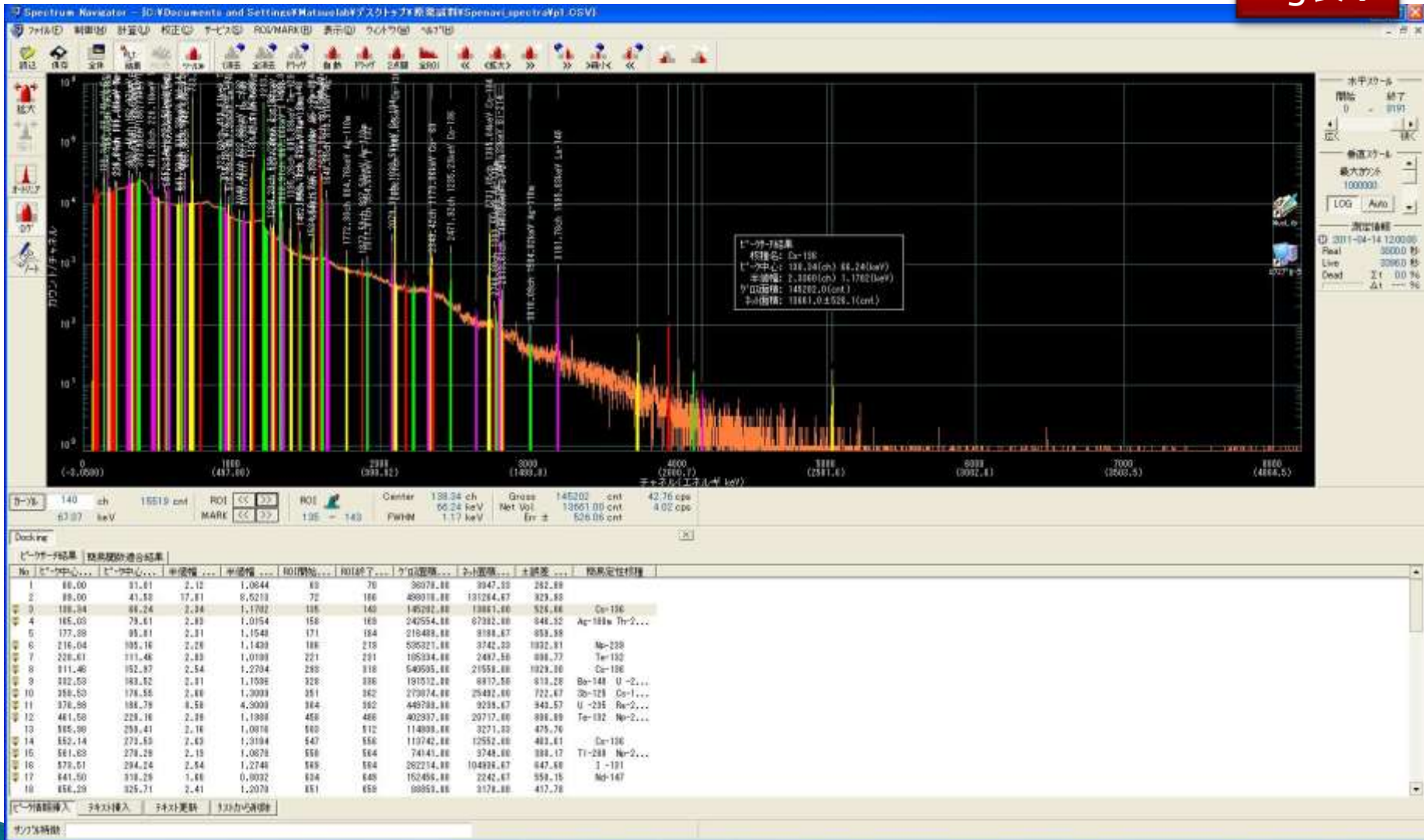
# 福島第一原発正門前の植物試料のガンマ線スペクトル



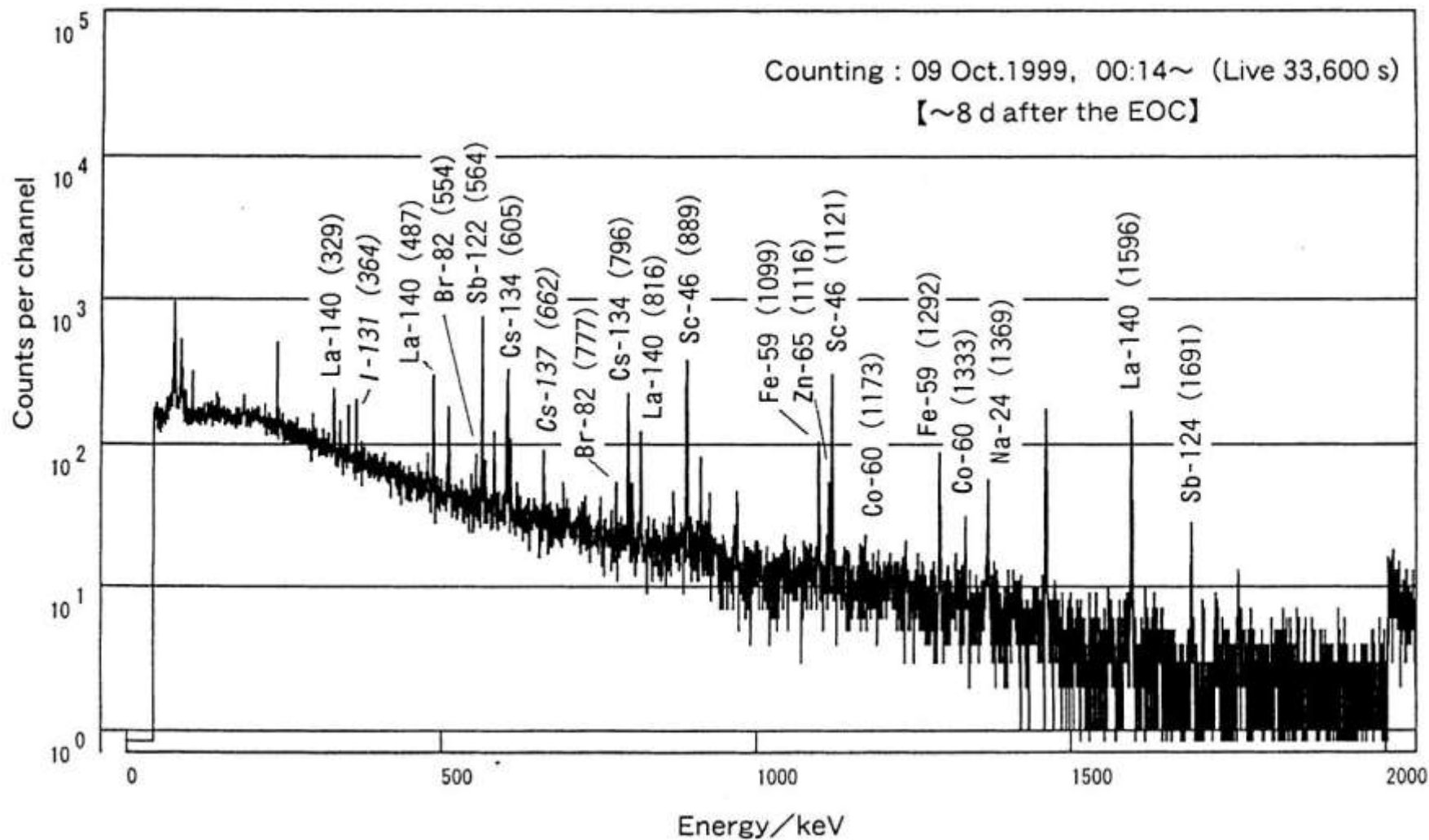


# 福島第一原発正門前の植物試料のガンマ線スペクトル

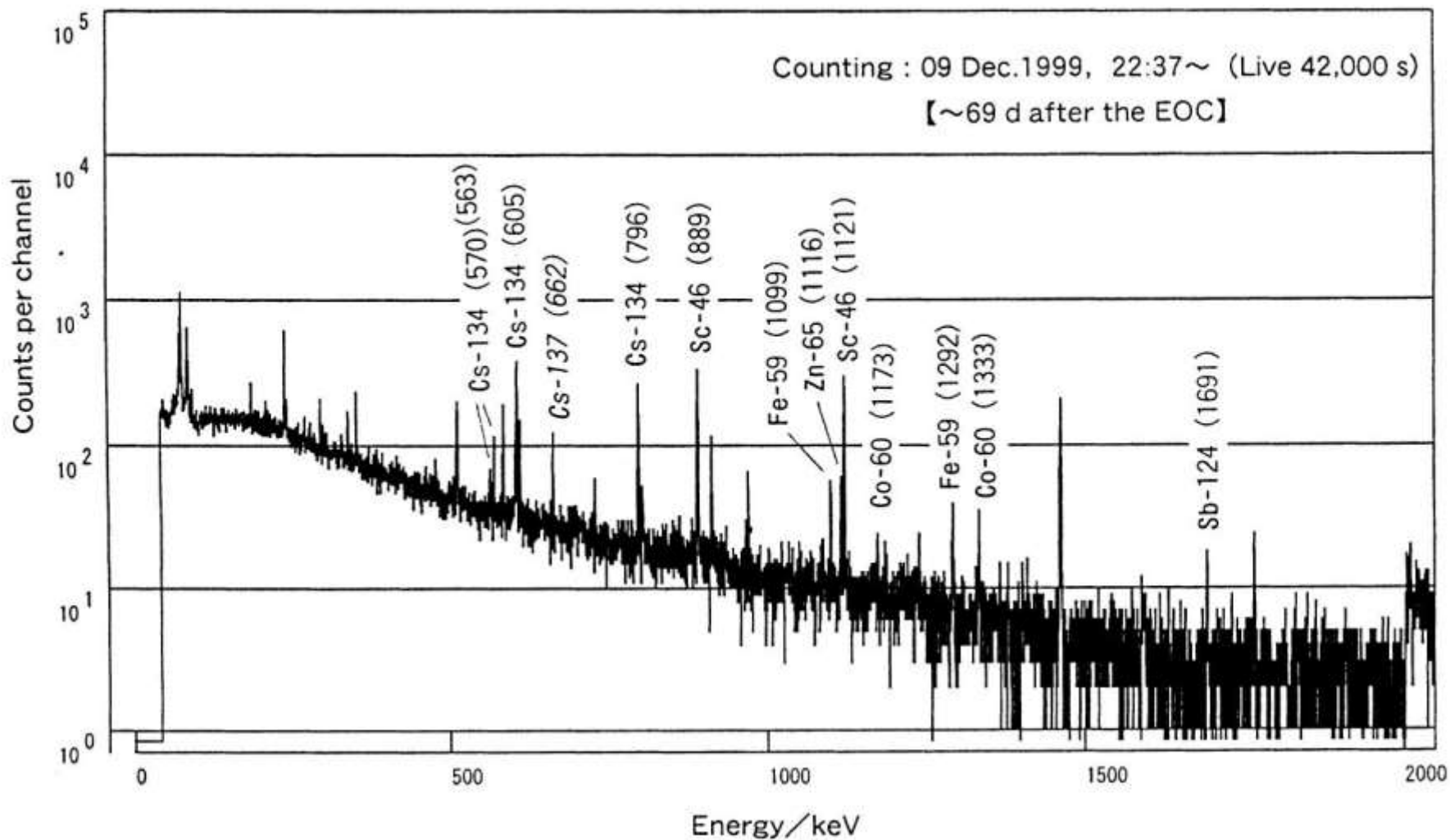
log表示



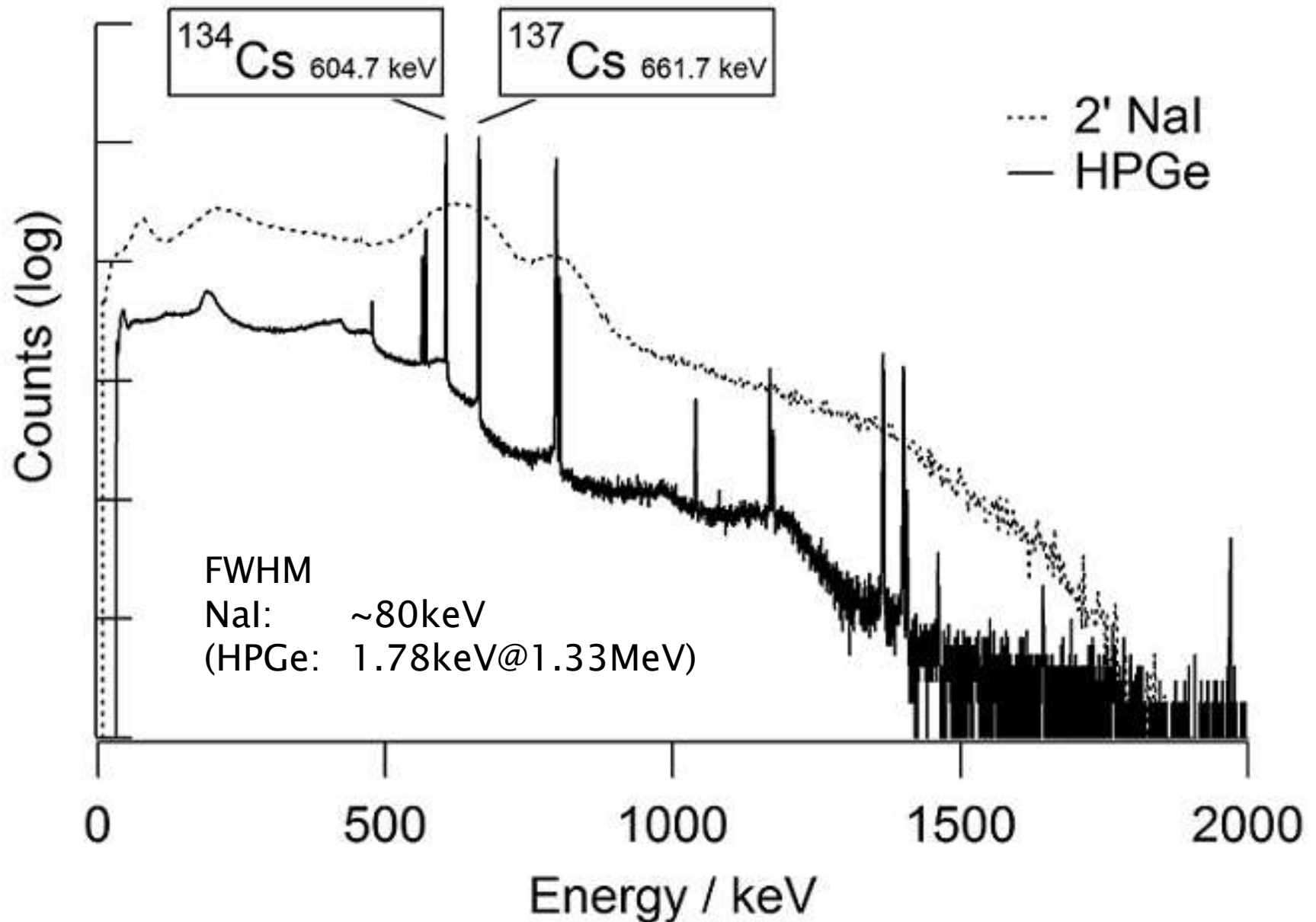
# (参考)JCO事故のガンマ線スペクトル(土壌)1



# (参考)JCO事故時のガンマ線スペクトル(土壌)2



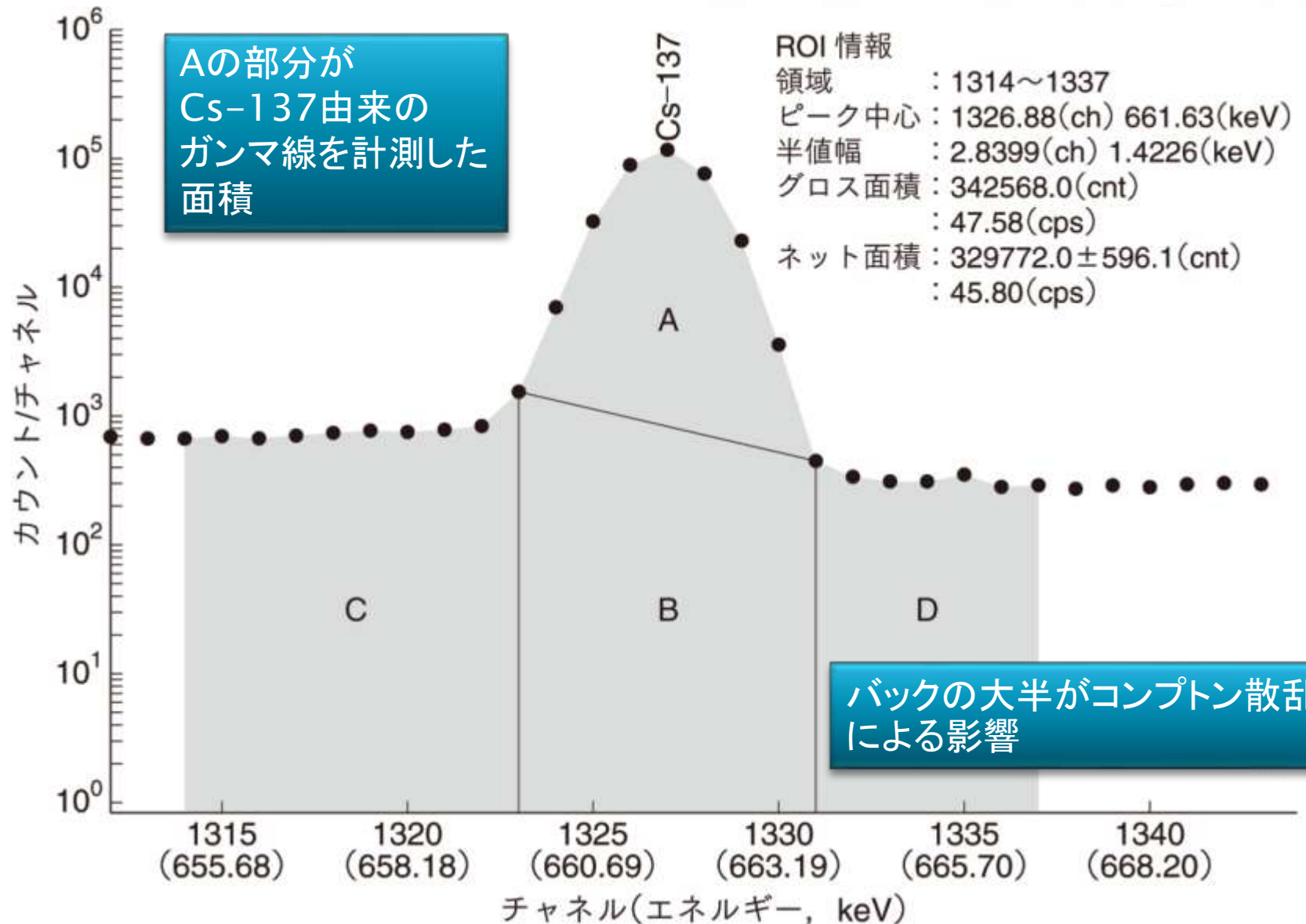
# γ線スペクトルの比較(NaIカウンターvsGe半導体検出器)



# ピークを拡大してみると...

$$DL = 3\sigma = 3\sqrt{(A+B) + \alpha^2 C + \beta^2 D}$$

ただし  $\alpha, \beta$  は定数



ここでゲルマニウム半導体  
検出器を実際に動かしてみましよう

# 食品中の放射性物質の基準値

核種		基準値 (Bq/kg)	WHOガイドライン (Bq/kg)
放射性ヨウ素( $^{131}\text{I}$ )	飲用水	300	10
放射性セシウム ( $^{134+137}\text{Cs}$ )	飲用水	10	10
	一般食品	100(暫定基準500)	

放射性セシウムは「ベータ線」と「ガンマ線」を出しますが、「ガンマ線」を測る方が楽なので、「ガンマ線」で測定します

もっとも大きな基準値である一般食品「100Bq/kg」について考えてみましょう

# ゲルマニウム半導体検出器

- ▶ 100Bq/kgのオーダーを狙うには「ゲルマニウム半導体検出器」が最適です。
  - 検出限界は試料や測定条件によります
- ▶ NaIシンチレーションカウンターでも狙うことはできるが、測定条件をシビアにする必要がある

東京大学アイソトープ総合センター内  
ゲルマニウム半導体検出器



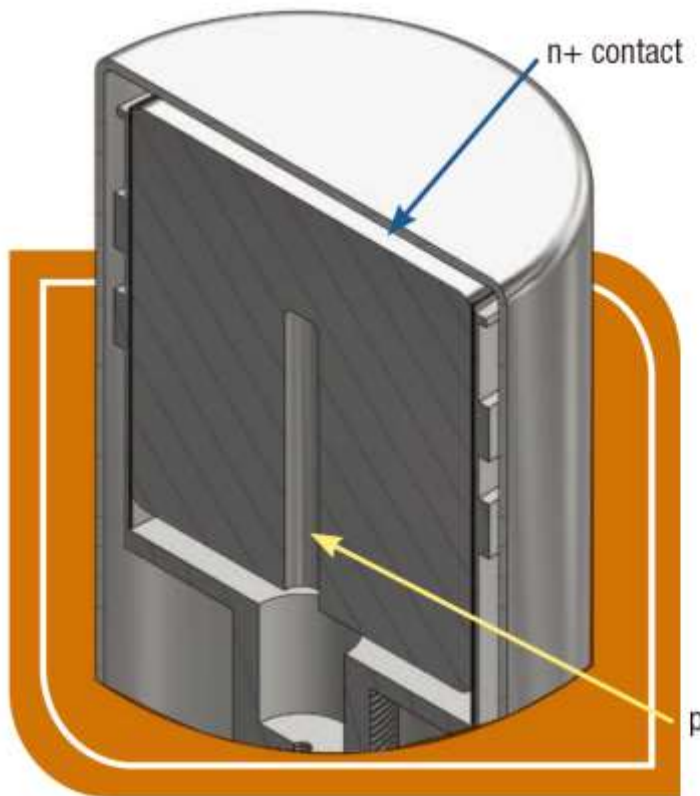


# Ge半導体検出器本体

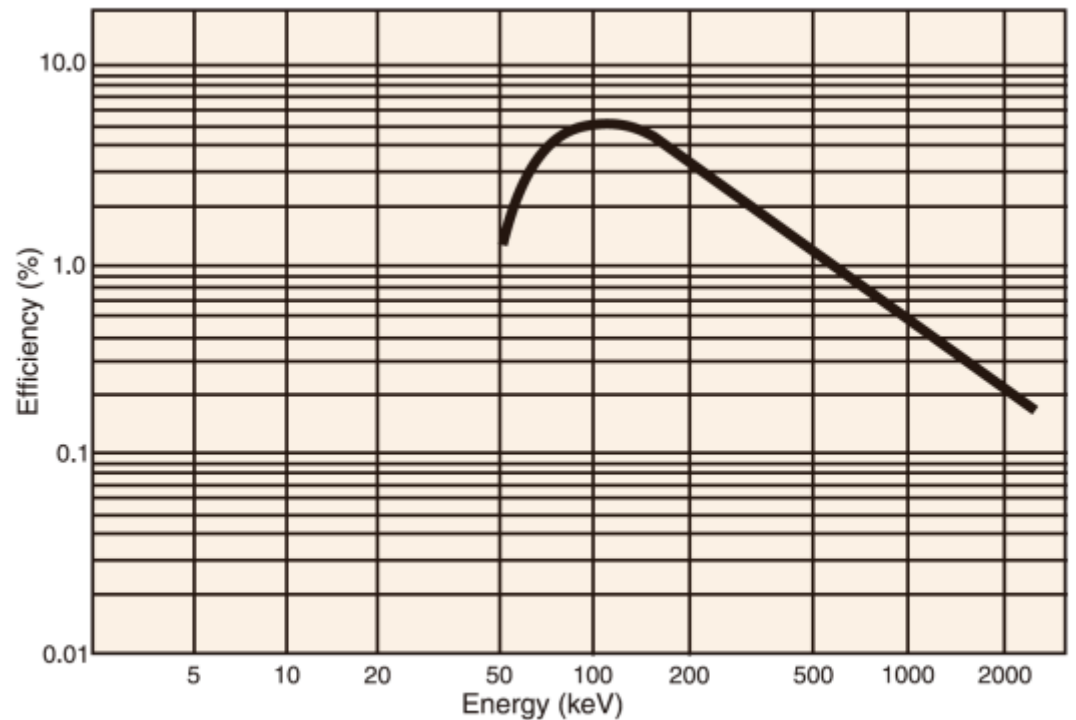
Canberra社ウェブサイトより



# Ge半導体検出器のエネルギー特性



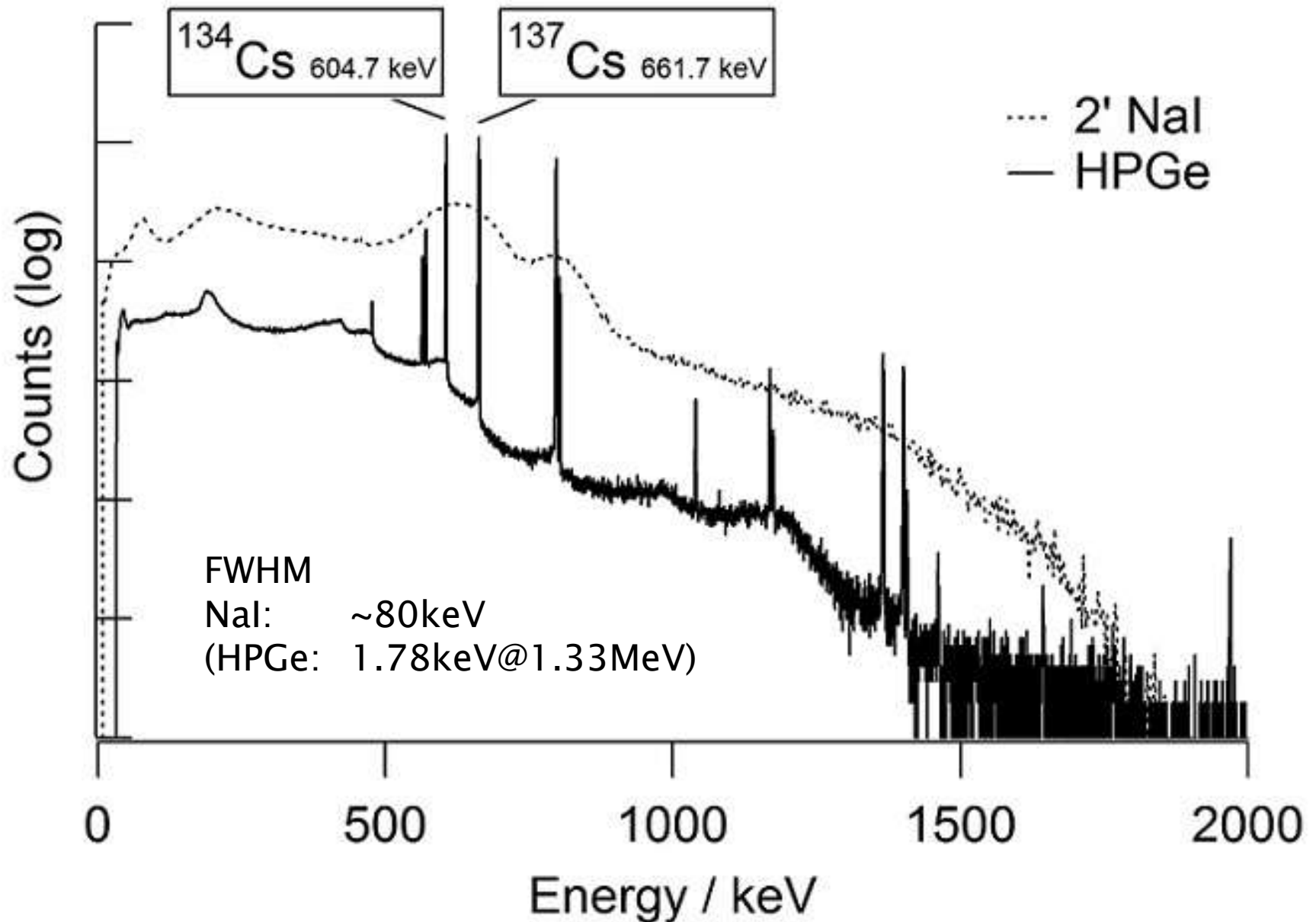
Coaxial Ge Detector Configuration



Typical Absolute Efficiency Curve for 15% Detector  
(25 cm detector to source spacing)

一般的なGe半導体検出器(同軸型)は、100 keV前後を最も検出しやすい。  
放射性セシウムが放出するガンマ線は600 keV前後(まあまあ)  
放射性カリウムが放出するガンマ線は1460 keV(見つけにくい！)

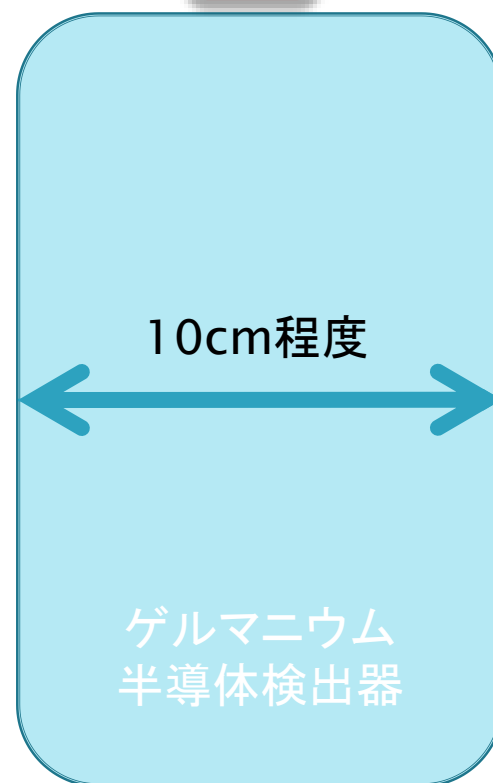
# γ線スペクトルの比較(NaIカウンターvsGe半導体検出器)



# どうやって測っている？ 100 Bq/kgの測り方 (1)

試料

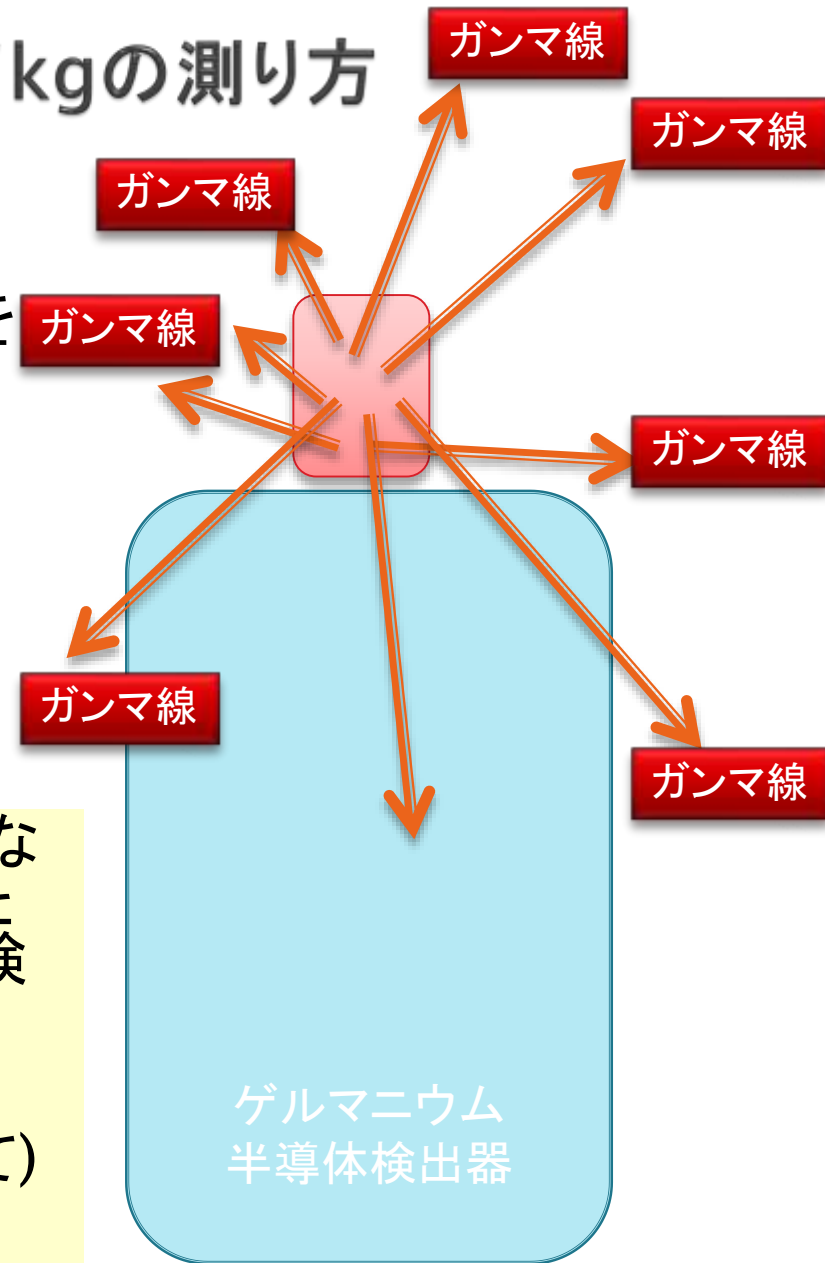
- ▶ 試料から放出されたガンマ線をゲルマニウム半導体検出器が検出
- ↓
- ▶ 検出器の上に載せられるサンプルの量は100 g程度
- ↓
- ▶ 検出器上では「10Bq/100g」が基準値(元々100Bq/kg)



# どうやって測っている？ 100 Bq/kgの測り方

- ▶ 試料からは四方八方にガンマ線を放出
- ▶ 検出器に微かにかかる程度のガンマ線は検出できない
- ▶  $^{134}\text{Cs}$ の604keVの場合、一般的なGe半導体検出器なら、放出されたガンマ線の100本のうち1本しか検出できない(検出効率1%)
- ▶ 装置上では(放射性セシウムとして)0.1 cps/100gが基準値にみえる

cps = counts per second



## どうやって測っている？(3)

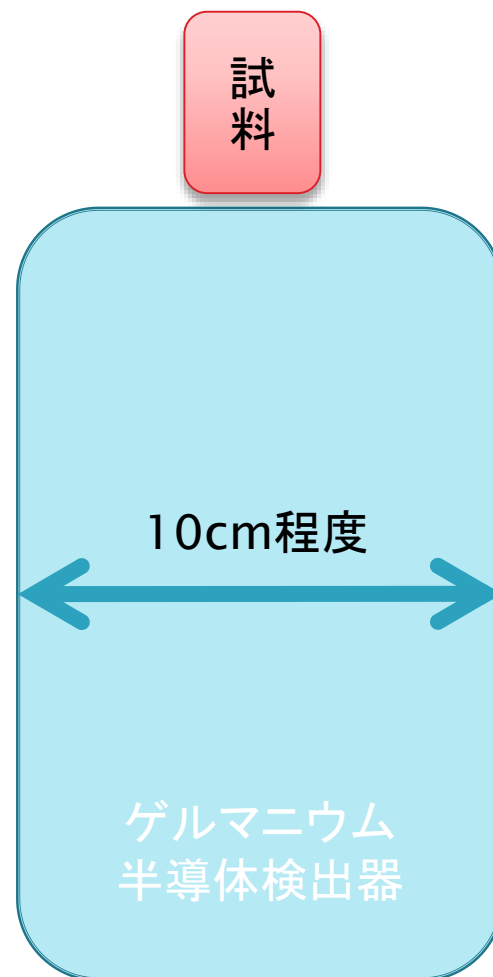
- ▶ 「放射性セシウム」というのは $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ の合算値



- ▶ 今回の事故では $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ がほぼ同等の放射能



- ▶ それぞれの核種で0.05 cps/100gが基準値



## 基準値は100 Bq/kgですが...

- ▶ 測定の現場では $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ が0.05 cps/100gを超えていれば、「基準値超過」。
- ▶ 0.05 cps(/100g)とは平均して20秒間に1回崩壊を検出するレート。
- ▶ 放射線は確率で崩壊しますので、崩壊の感覚が「急に早くなったり」「急に遅くなったり」する揺らぎがある。
  - 長い時間をかけてみれば、半減期に則った速度で崩壊している
- ▶ 0.05cps(/100g)の揺らぎの影響を少なくするためには、数時間の測定が原理的に必要

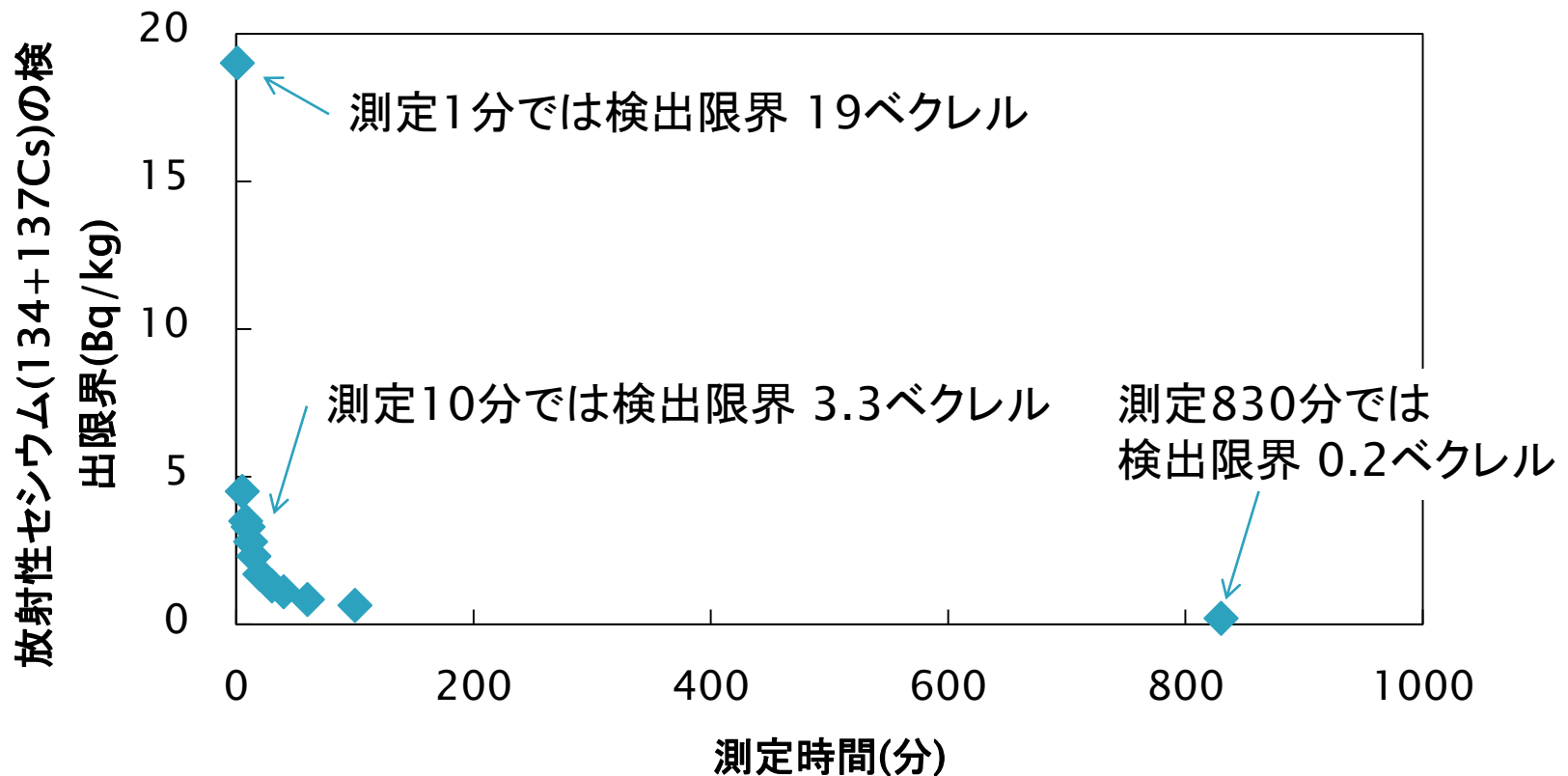
# 「不検出」の表記について

- ▶ NDとはNot detected(検出されず)の略です。
- ▶ 仮にたっぷり放射性セシウムが入っていても、1-2分の測定では放射能を決定することができません。
- ▶ この場合、NDと表記されることがあります。(つまり「検出限界が非常に高い」状態)
- ▶ 一般的には時間をかければかけるほど、精度良く測れます。(時間の平方根に比例して精度が良くなります)



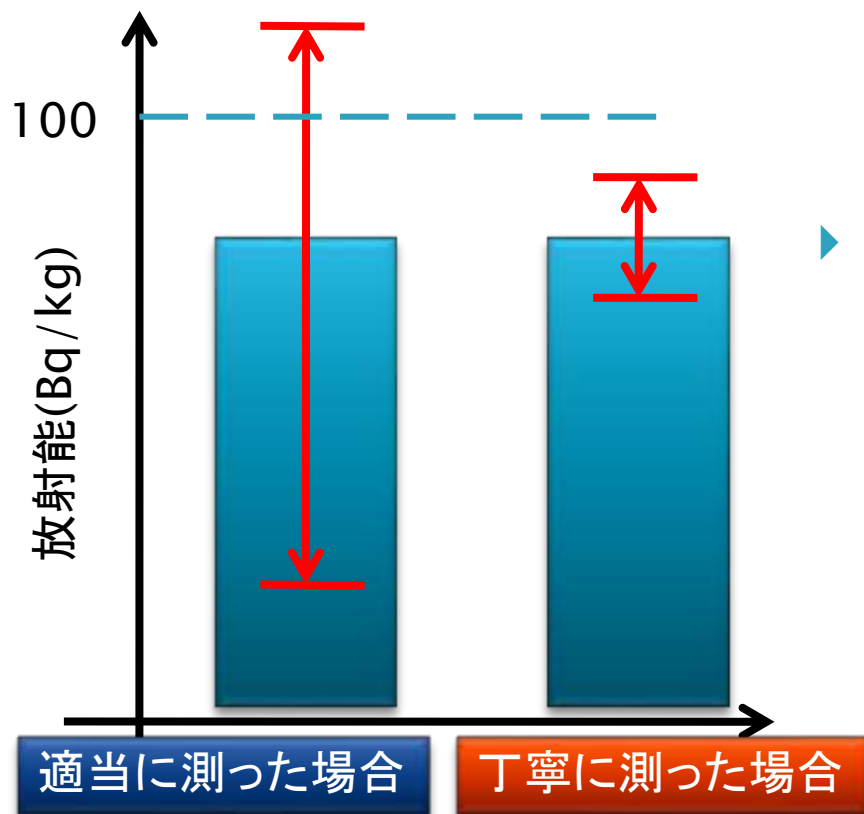
# 測定時間と検出限界の実際

- ▶ 検出限界とは「これ以下の値はたぶんないかな」という意味です。測定精度の目安の一つ。
- ▶ 飲料を測った時の検出限界( $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ )の例を下記に示しました



# 信頼できる測定とは...

- ▶ エラーバー(誤差)が付いている測定結果です。
- ▶ 誤差の大きさや特徴で、どんな測定をしたのか分かります。



- ▶ 一見すると、100Bq以下でもエラーバーを考慮すると超過していることは十分に考えられます。

# 環境試料の測定結果(良くない表記) 2011年秋測定

No.	試料	採取場所	$^{134}\text{Cs}$ (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)
1	畑の土	練馬区内	ND	14.1
2	ジャガイモ	練馬区内	4.58	7.16
3	培養土	練馬区内	5.95	9.35
4	梅	練馬区内	ND	ND
5	干し椎茸	群馬産	ND	ND
6	路傍の土	練馬区内	4110	6330
7	生椎茸	富山産	ND	ND
8	カツオ	?	ND	ND
9	田圃の土	練馬区内	185	298
10	ブルーベリー	練馬区内	1.42	ND

## 環境試料の測定結果(ちょっと良い)

No.	試料	採取場所	$^{134}\text{Cs}$ (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)
1	畑の土	練馬区内	ND	14.1±2.17
2	ジャガイモ	練馬区内	4.58±0.55	7.16±0.86
3	培養土	練馬区内	5.95±1.43	9.35±1.89
4	梅	練馬区内	ND	ND
5	干し椎茸	群馬産	ND	ND
6	路傍の土	練馬区内	4110±20.9	6330±38.7
7	生椎茸	富山産	ND	ND
8	カツオ	?	ND	ND
9	田圃の土	練馬区内	185±11.6	298±19.4
10	ブルーベリー	練馬区内	1.42±0.29	ND

# 環境試料の測定結果(詳細)

No.	試料	採取場所	$^{134}\text{Cs}$ (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)
1	畑の土	練馬区内	ND(5.56)	14.1±2.17
2	ジャガイモ	練馬区内	4.58±0.55(0.23)	7.16±0.86(2.33)
3	培養土	練馬区内	5.95±1.43(5.82)	9.35±1.89(6.78)
4	梅	練馬区内	ND(2σ)(3.98)	ND(2σ)(4.04)
5	干し椎茸	群馬産	ND(26.6)	ND(29.4)
6	路傍の土	練馬区内	4110±20.9(24.6)	6330±38.7(21.6)
7	生椎茸	富山産	ND(5.65)	ND(5.73)
8	カツオ	?	ND(4.12)	ND(5.32)
9	田圃の土	練馬区内	185±11.6(37.5)	298±19.4(33.5)
10	ブルーベリー	練馬区内	1.42±0.29(1.01)	ND(2σ)(1.38)

# 「学生のレポートなら0点」だそうです

毎日jp

ホーム

ニュース

オピニオン

スポーツ

エンタメ

地域

特集・連載

ENGLISH

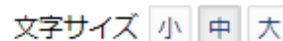
天気 交通 株式

地域 大盛り北海道 いりやあせ名古屋 めっちゃ関西 オッショイ!九州 首都圏版

購読 試読

トップ > 地域 > 記事

[PR] ウィルスと戦う細胞の仕組みとは? WEB漫画「新抗体物語」第8話が公開中



## 福島第1原発:海水汚染調査で数値の誤差15% 東電認める

毎日新聞 2013年10月22日 大阪朝刊

東京電力は21日、福島第1原発周辺の海洋で実施している放射性物質のモニタリング結果について、公表数値に比べてプラスマイナス15%程度の誤差があることを明らかにした。同日に開かれた原子力規制委員会の海洋モニタリング検討チームの会合で認めた。

政府や東電は、同原発の汚染水の影響は原発港湾内(0.3平方キロ)にとどまり、港湾外の放射性物質濃度はおおむね検出限界未満としているが、誤差を加味すると検出限界を超える場合もある。原子力規制庁は、放射線測定器の誤差なども含めれば最大50%程度になるとしている。前回の検討チームの会合では、東電がこうした誤差を公表数値に明記しないことに、「学生のレポートなら0点だ」(青山道夫・気象庁気象研究所主任研究官)などと批判が出ていた。【中西拓司】

# 食品の測り方

- ▶ 食品の放射能は正確に測りにくい！
  - 水っぽい(水は放射線の遮蔽剤)
  - 隙間があったり密度が一定じゃなかったり
  - サンプルには揺らぎがある

なぜ灰にするの？

1. 焼却炉の灰と同じ理屈、要するに濃縮したい
2. 水分がなくなるので測りやすい

食品(トマト)の前処理

生トマト



凍結乾燥後



灰化後



ゲルマに！



上手に灰(炭)にしてあげる

# こんな測定方法はダメ！

## LAWSON

2013年3月21日  
株式会社ローソン

### ローソンの放射線検査体制変更について

株式会社ローソンは、2012年2月からローソン店舗で販売する生鮮品やオリジナル商品を中心に放射線の自主検査を実施してまいりましたが、弊社の検査方法では外部から完全に遮断しての計測は困難でした。

このたび、「東京大学大学院総合文化研究科 広域科学専攻 環境分析化学研究室」小豆川助教のアドバイスを受け、遮断設備が整っており、より精密な測定が可能（検出限界1Bq/kg以下）な外部機関（株式会社BMLフード・サイエンス）にサンプリングを持ち込んでの検査に切り替えさせていただくことにいたしました。なお、調査品目は北海道、関東および中部地区のローソンファームで生産した農産物とする予定です。検査体制移行日等につきましては、詳細が決まり次第ご案内させていただきます。

以上

× 閉じる



# 空間線量率の測定器の種類は3種類

$\beta(\gamma)$

$\gamma$

$\gamma$

ガイガーミュラー計数管

NaIシンチレーションカウンタ

CsIシンチレーションカウンタ



日立アロカ社ウェブサイトより



HORIBA社ウェブサイトより

# ピピッとになっていた機械は実は...

小学生向けの放射線の  
講義資料から抜粋



Pi!

放射性セシウムからの  
電子を見つける機械

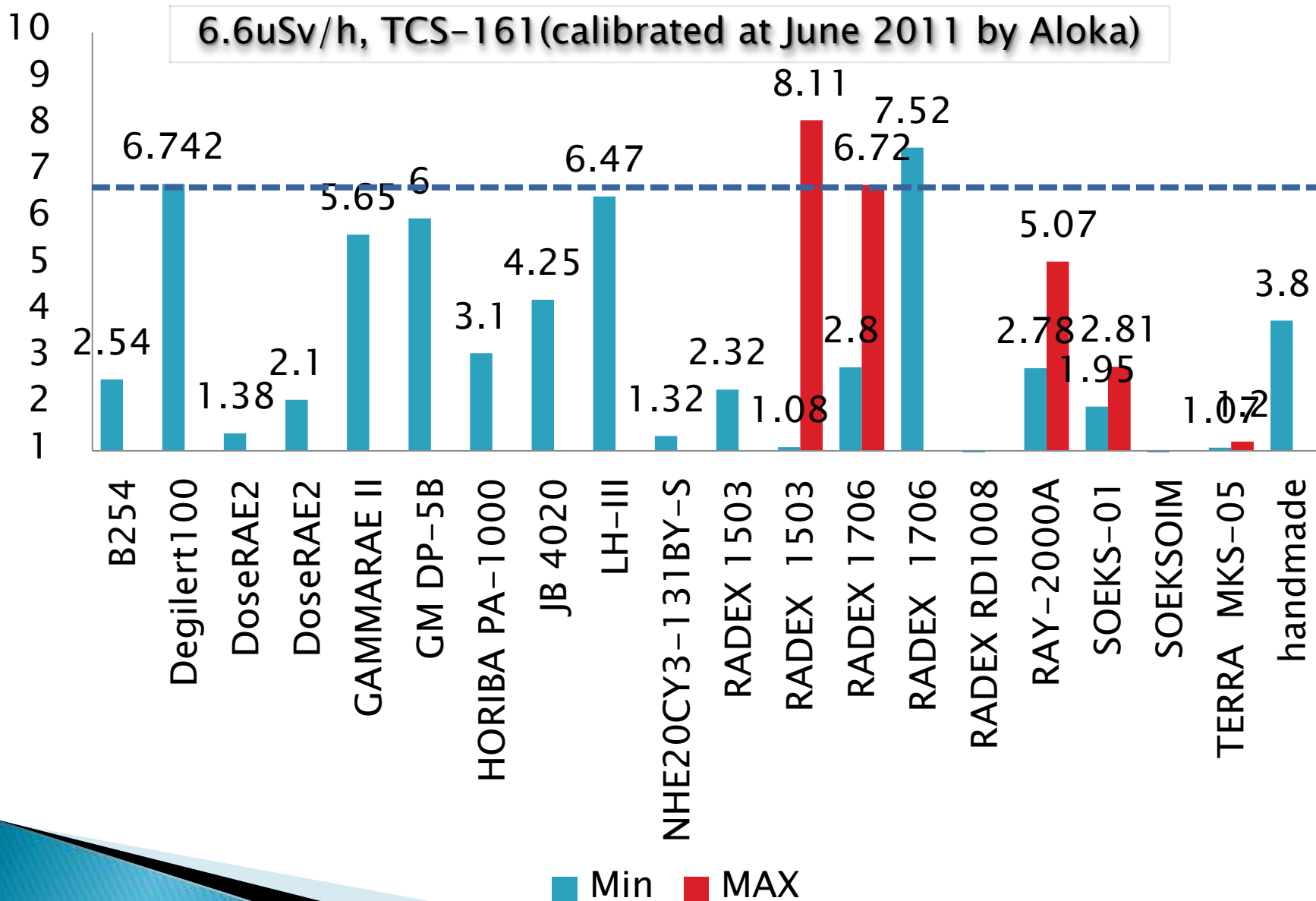


Pi!

放射性セシウムからの  
光を見つける機械

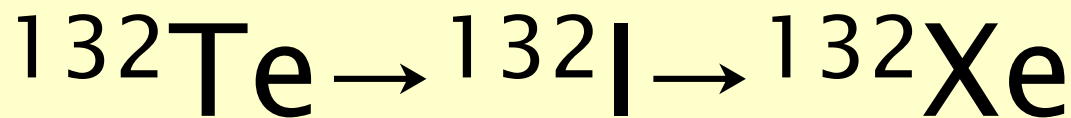
電子や光を見つけた回数から予想して、体にこれくらいのダメージがあるんじゃないかな、と数字で示してくれる機械です。

# 以前の勉強会での測定結果



# 化学分野からの課題(#1)

- ▶ 原発事故から3日後に、ゲルマニウム半導体検出器を用いて $^{132}\text{I}$ (ヨウ素)の放射能を分析したい。講義の中で触れた注意点を参考に、放射能を報告する際に注意すべき点を解説せよ。



半減期3.3日

半減期2.3時間

# 放射線を測定する科学 - 環境放射化学(2)

## ▶ 環境放射化学

- 福島第一原発周辺(0-35km圏内)の放射能と核種
- 「ホットスポット」の核種の挙動
- 駒場キャンパスの線量

## ▶ 放射性物質の濃縮と拡散(ホットスポットはなぜできる?)

- ▶ 今回の講義で「測定法」を議論した。その結果を踏まえて、環境試料に含まれる放射性物質の挙動について議論したい。

環境中の放射性物質の挙動を理解して欲しい