



放射線

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

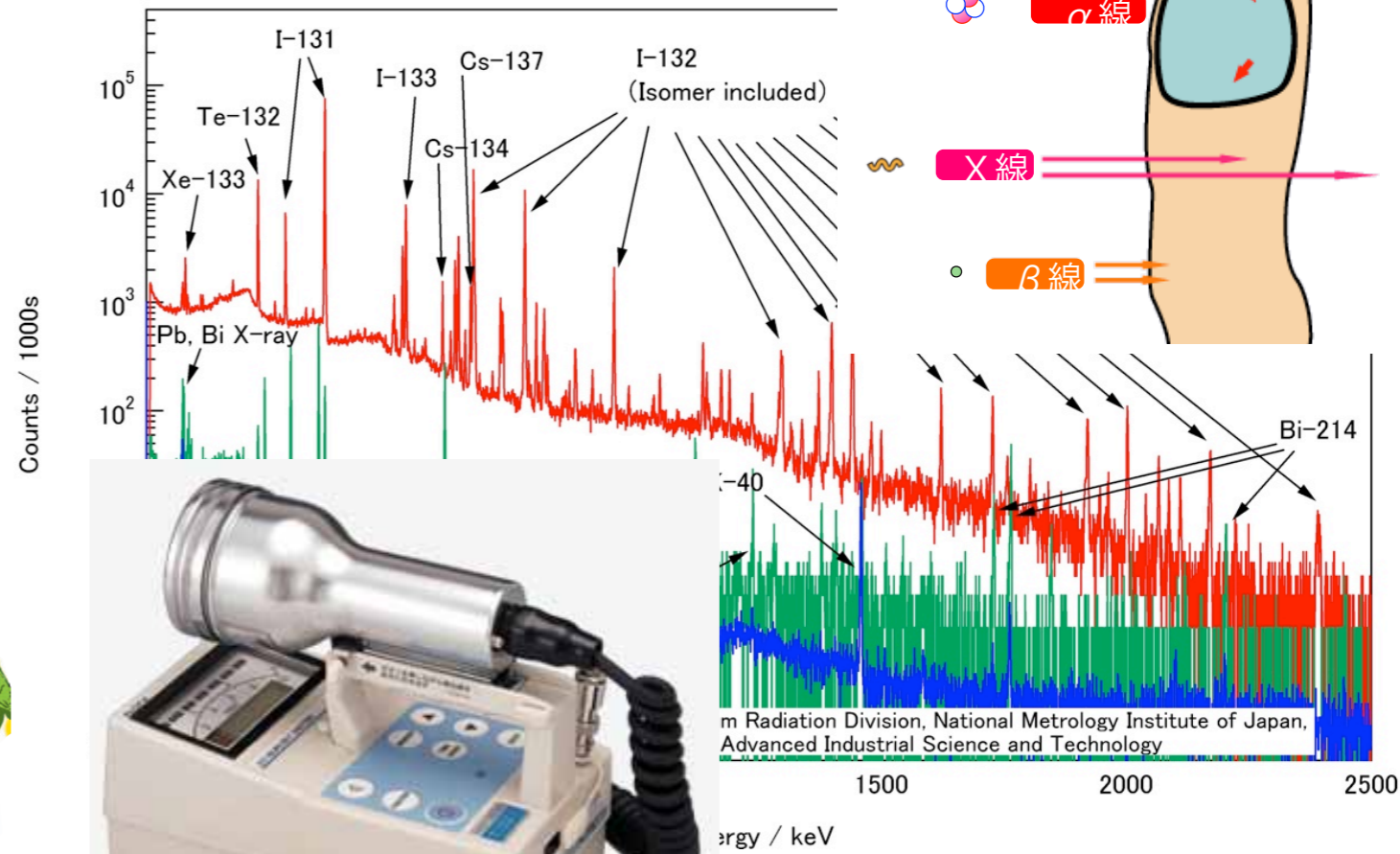
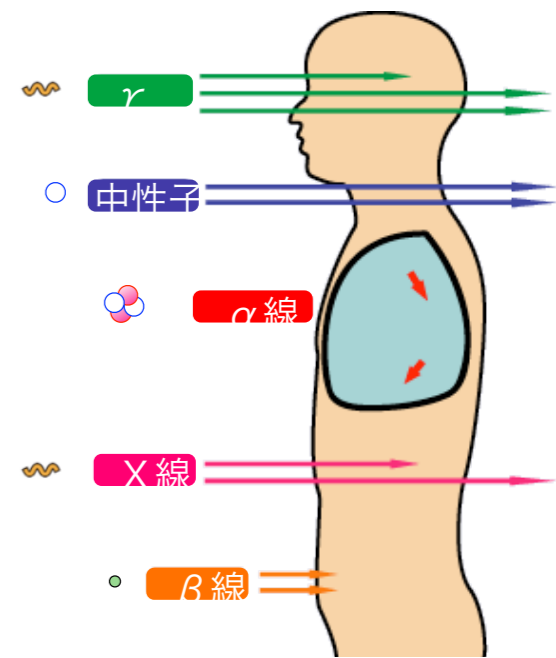
本体 2500円＋税

- 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是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。

放射線の科学と安全



2013 / 4 / 11 (木)

第3話 放射線計測学・環境放射化学

放射線の単位・線量計算

放射線計測学

様々な放射線測定器

電離箱, 比例計数管, GM管

気体の電離を利用

ワイヤーチェンバー

シンチレータ + 光電子増倍管

蛍光作用

NaI, CsI, プラスチックシンチレータ, ZnS

半導体検出器

Ge, Si(Li)

計数 / エネルギー分析 (核種同定)

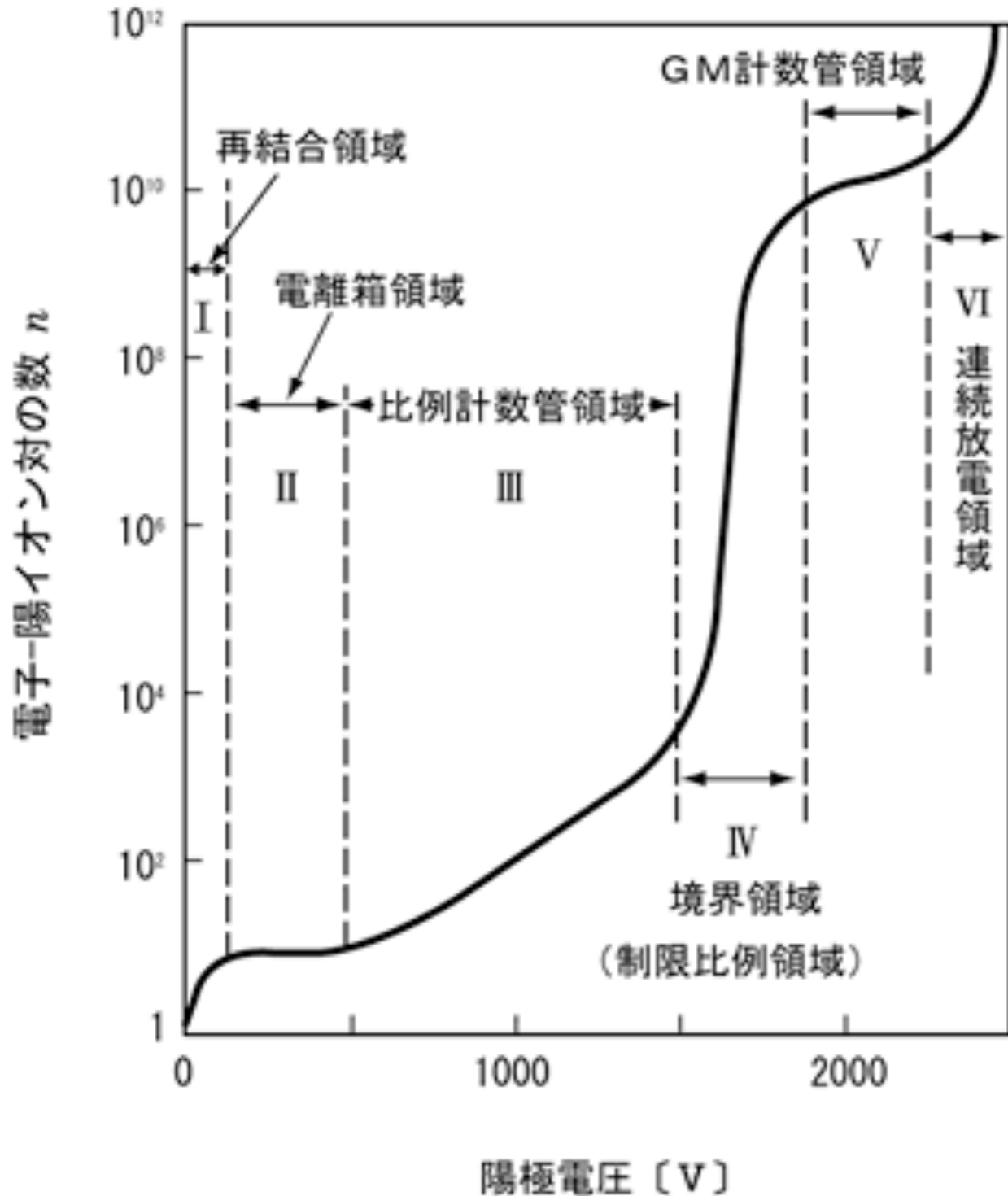
サーベイメータ (空間線量率・表面濃度)

/ 食品検査

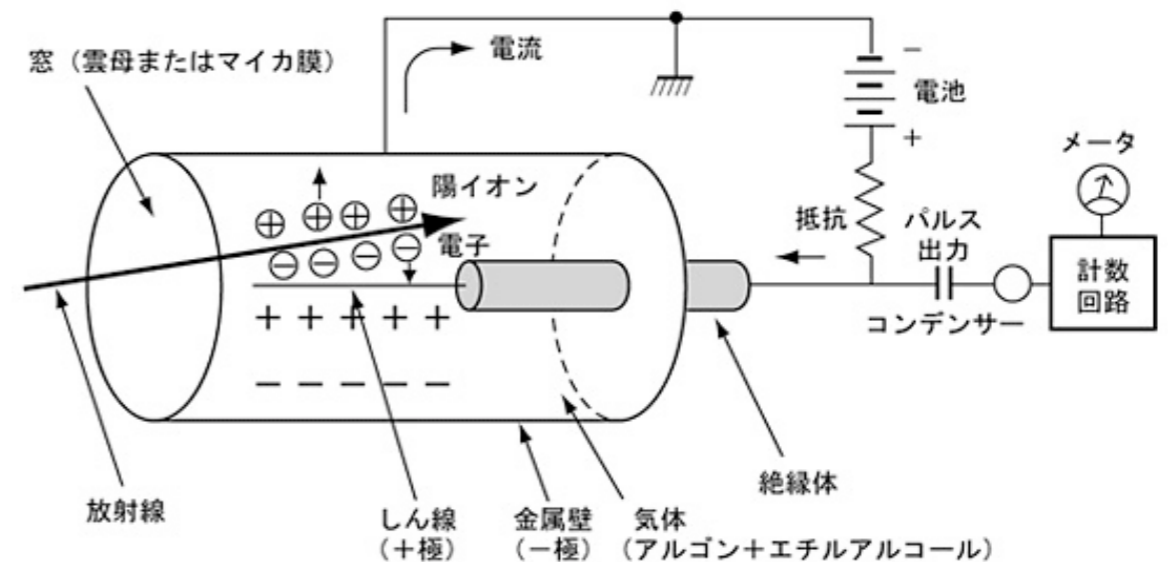
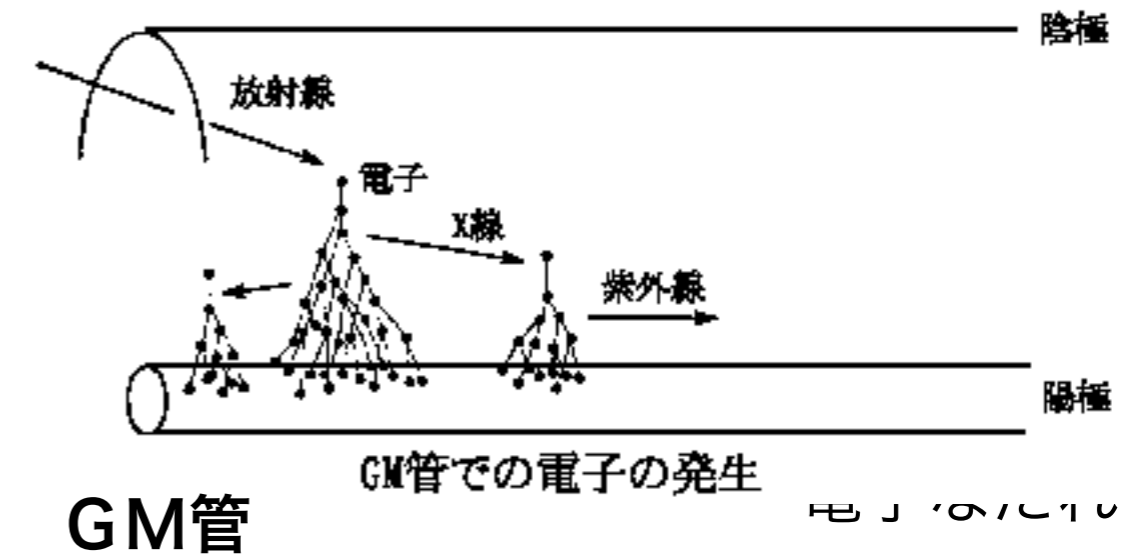
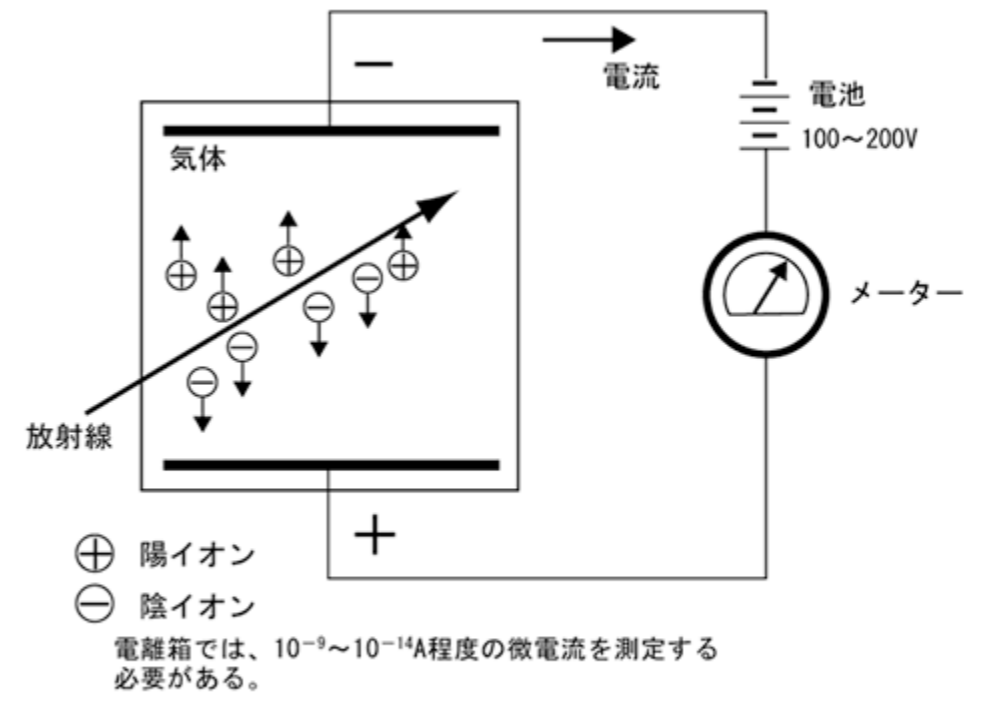
気体の電離を利用する放射線計測

電離箱, 比例計数管, GM管

(ガイガー・ミュラー管)

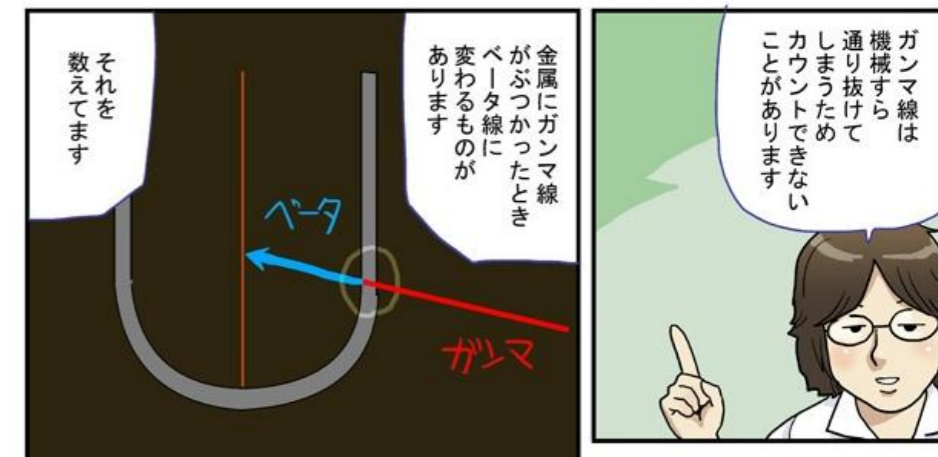
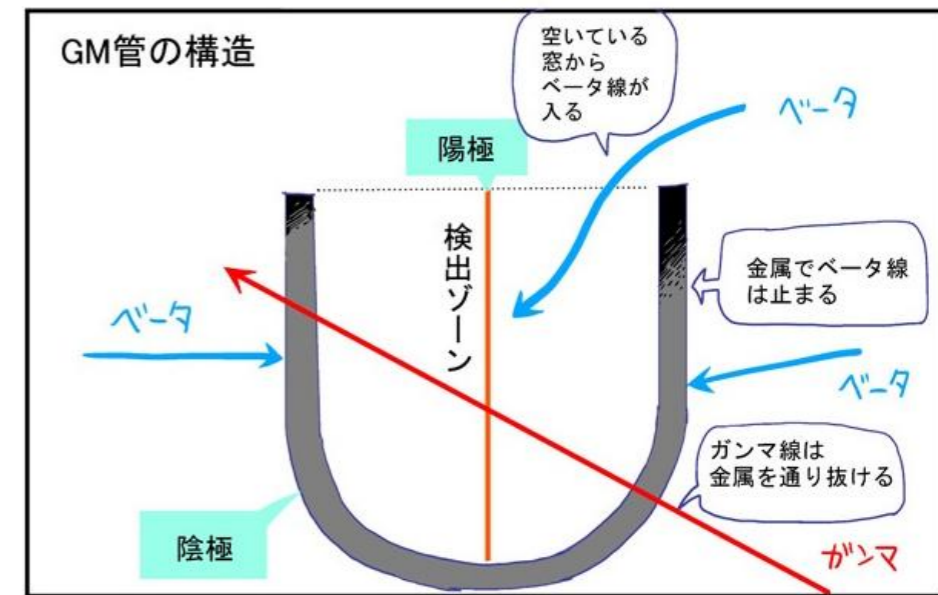


電離箱



GM管の検出効率

- β 線は高効率で検出
 - γ 線はガス中での反応確率は小さい
 - 窓膜や筒側面の金属で β 線に変換
 - α 線は入り口の窓膜を通れない
 - 雲母 (mica) でも 10–20 μm 程度で止まる。
 - それより薄い膜なら透過できるが、空気中で2–3 cm の飛程しかないので、いずれ正確な測定は期待できない。
- ☞ 真空チェンバー中 (GM管の中) に α 線源を入れて測定する必要がある。



シンチレータ (Scintillators)

プラスチックシンチレータ
およびライトガイド

無機 : NaI (Tl), CsI (Tl) (γ線、X線)

BGO, GSO など (γ線、X線)
 $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ Gd_2SiO_5

ZnS (Ag) (α線)

BaF₂

有機 : プラスチックシンチレータ (電子線)
(荷電粒子)

例 : PPO, POPOP / ポリスチレン

: 液体シンチレータ (β線)

例 : p-テルフェニル

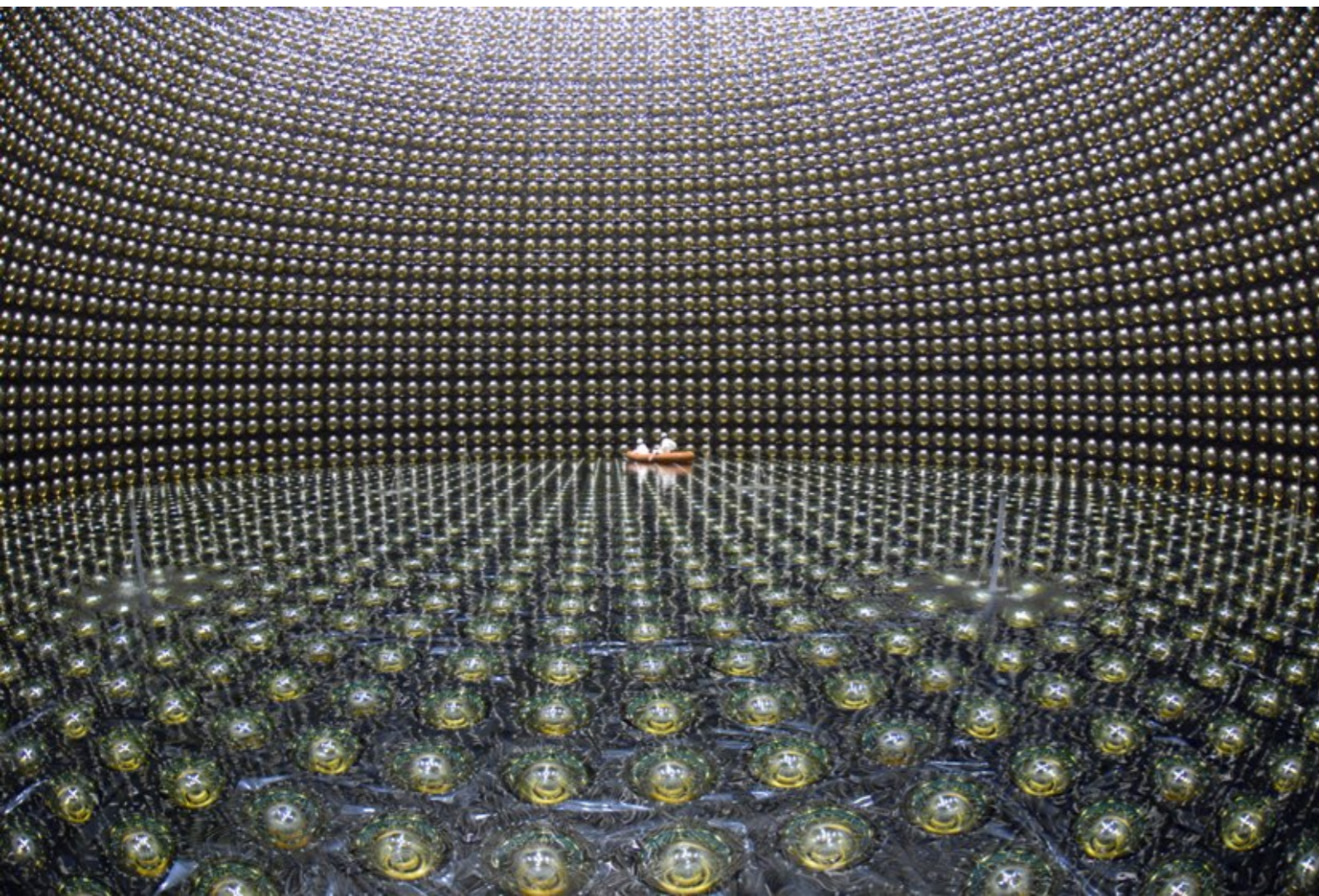
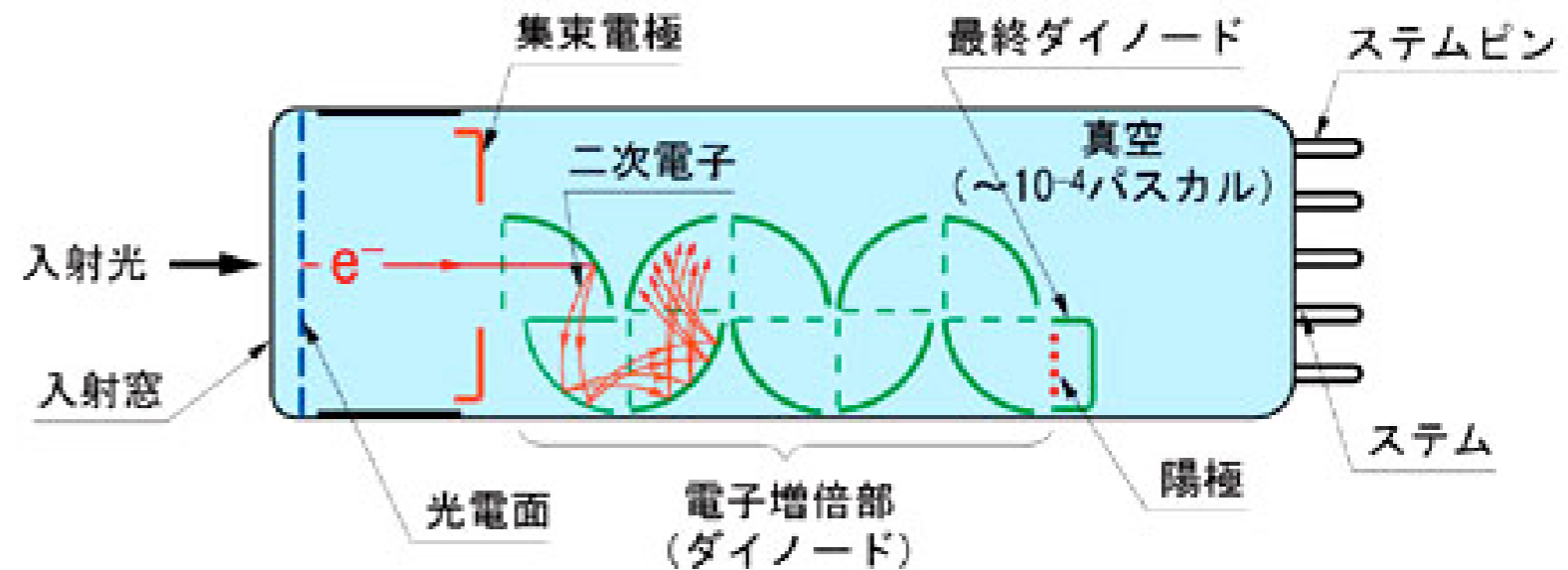
/ トルエン、キシレン

電気パルス : タイミング : 粒子透過時刻
: パルス高 : エネルギー



液体シンチレーションカウンタ

光電子増倍管 (PMT: Photomultiplier tube)



光 ⇒ 光電効果 ⇒ 電子増幅
⇒ 電流

シンチレータとの組み合わせ
Scintillator

放射線 ⇒ 分子の励起 ⇒ 蛍光
光 ⇒ 光電子増倍管

放射線の測定

計数 (cps = counts per second)

サーベイメータ 【空間線量率測定】

β (γ) / γ



GM管

β (γ) / γ



電離箱

γ



CsI (Tl)



NaI (Tl)



β (γ)

【表面汚染検査】



γ

β (γ)



GM管

α



ZnS (Ag)



放射線の測定

半導体検出器

(Semiconductor detectors)

例：Si(Li) 検出器 (X線)

Ge 検出器 (高エネルギー分解能)

(γ 線・X線)

放射線 \Rightarrow 電離

\Rightarrow 電子正孔対 \Rightarrow 電荷測定

電気パルス：パルス高：エネルギー

エネルギー分析 (核種同定)

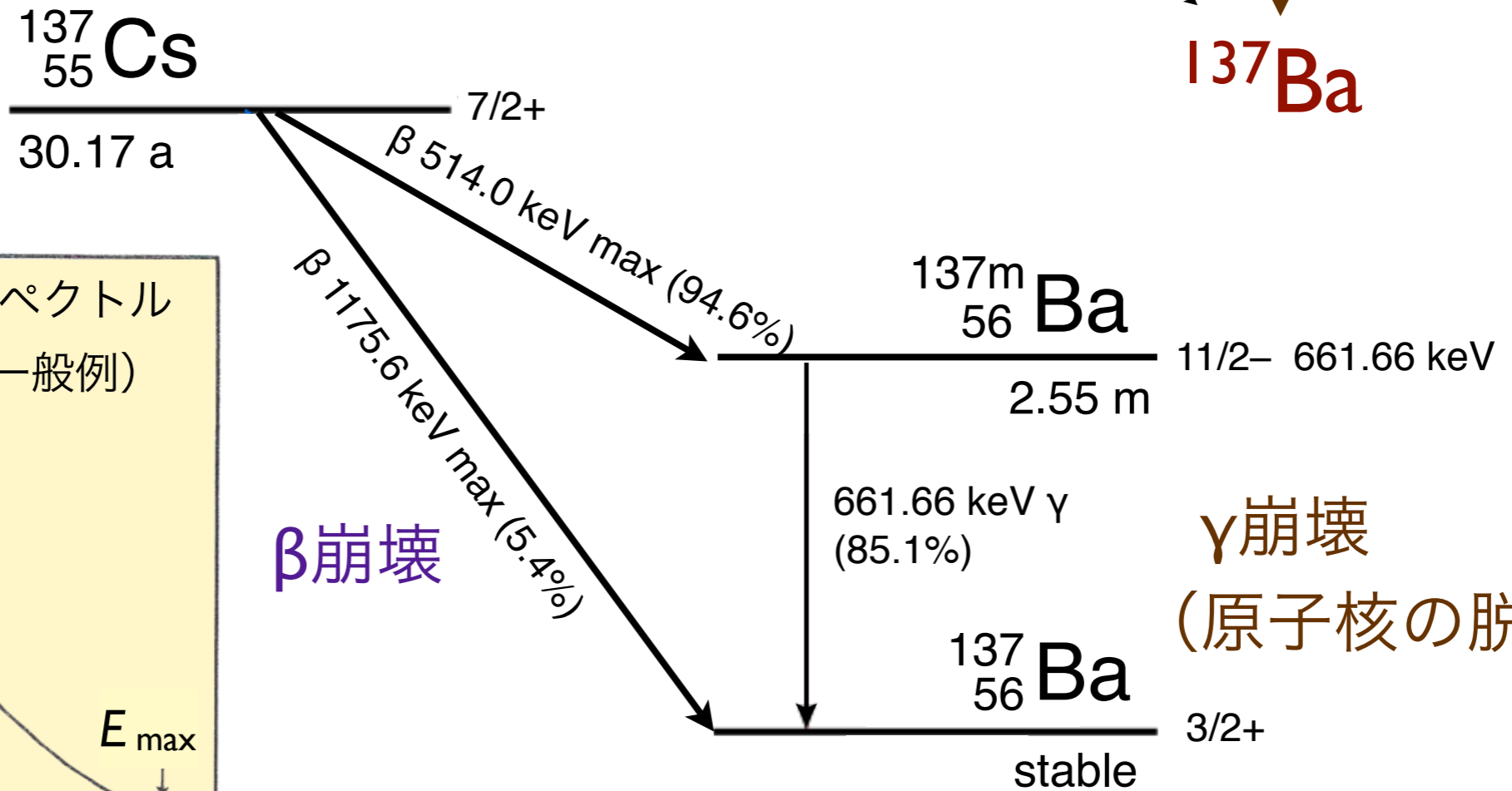
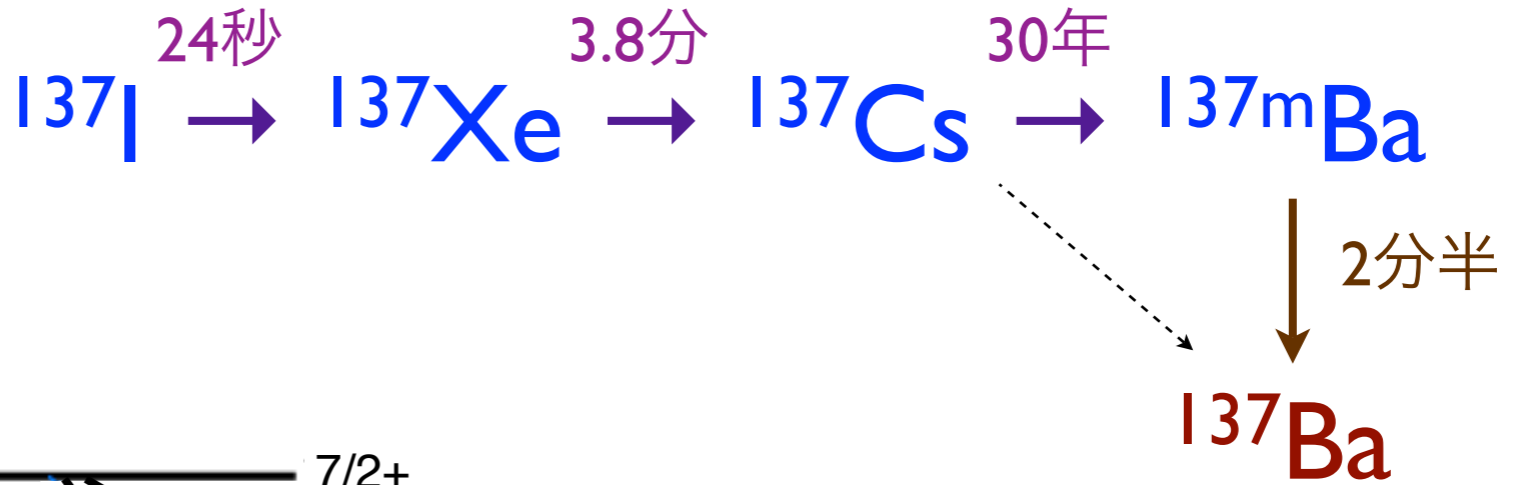
試料測定

γ ゲルマニウム検出器 (Ge detector)



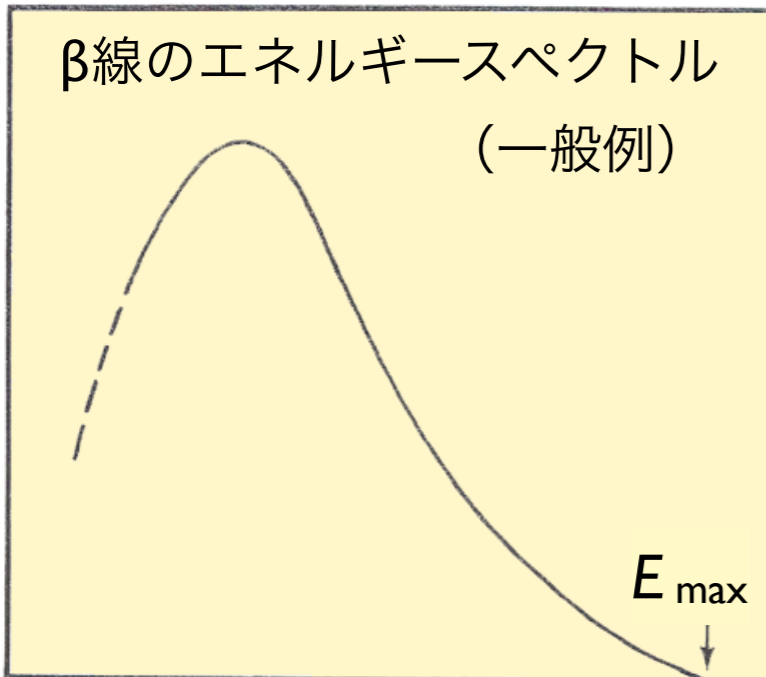
食品検査用ゲルマニウム検出器





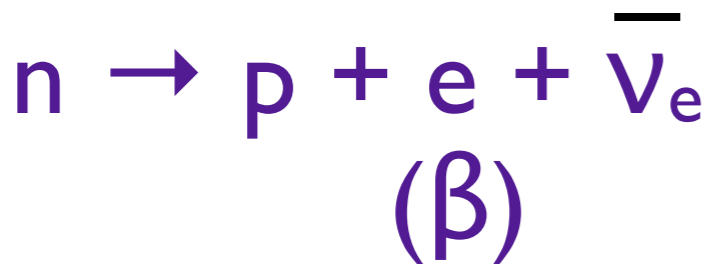
γ 崩壊
 (原子核の脱励起)

粒子数の分布



エネルギー E_β

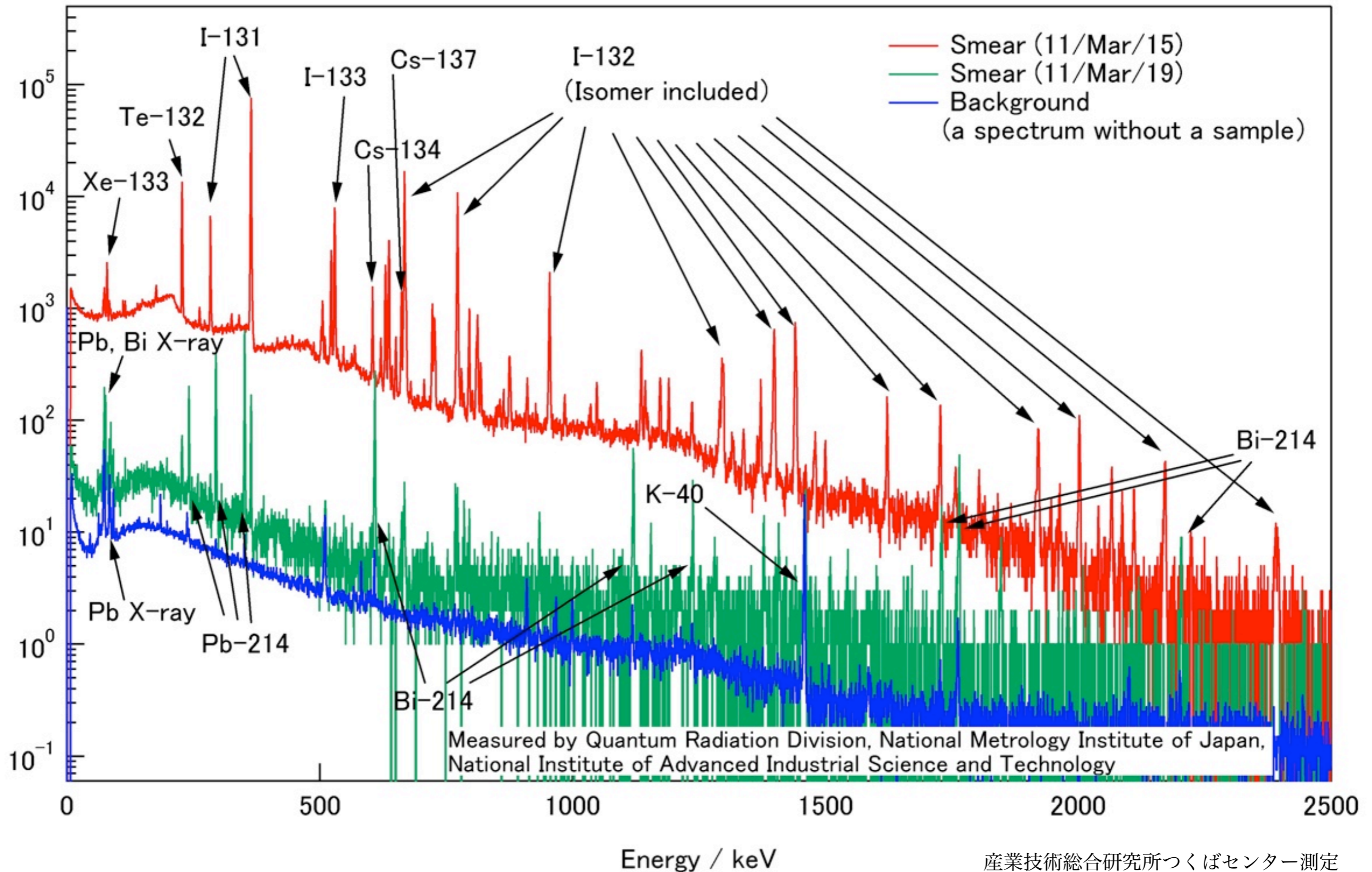
β 線 (連続スペクトル)



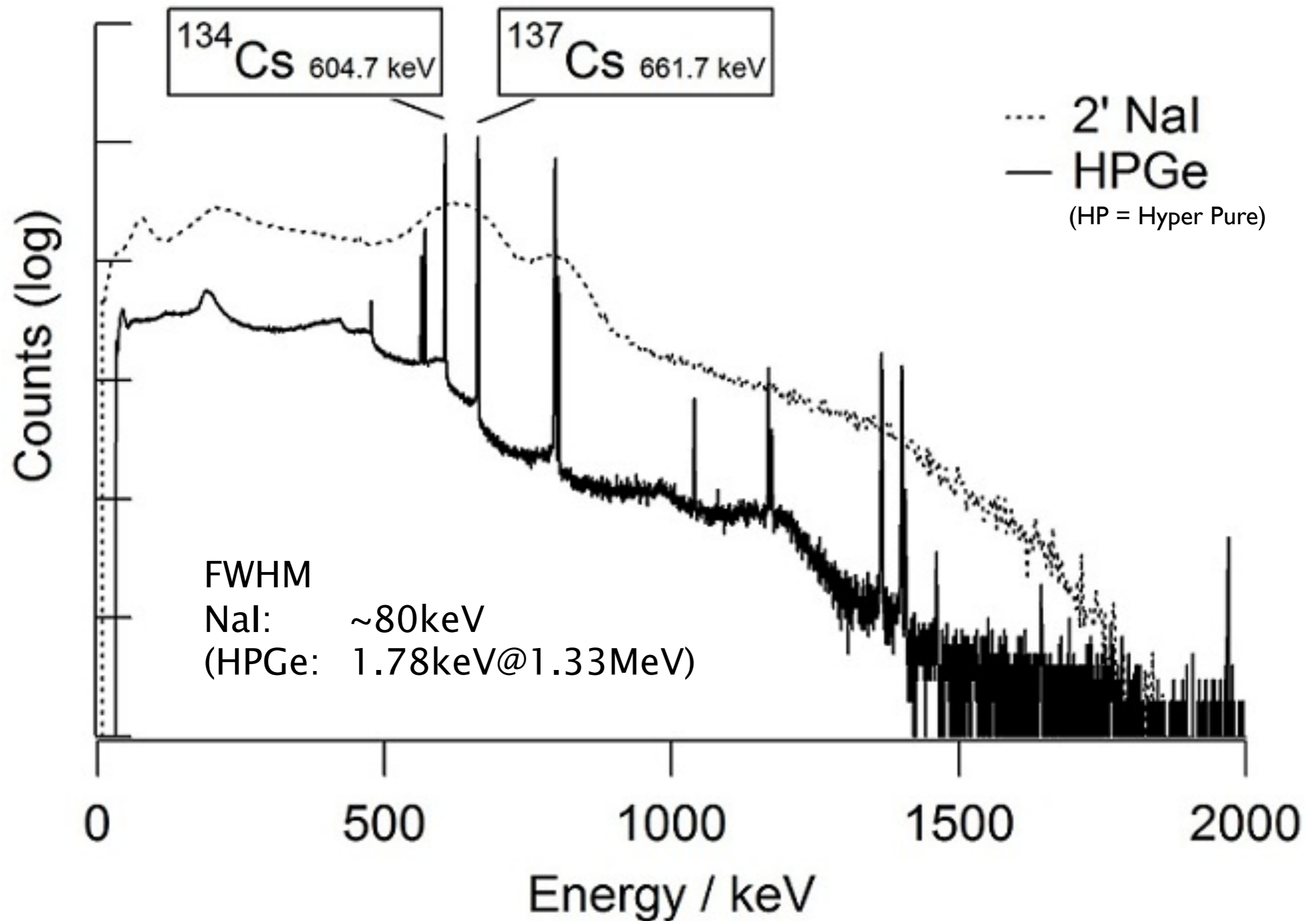
γ 線 (定まったエネルギー)

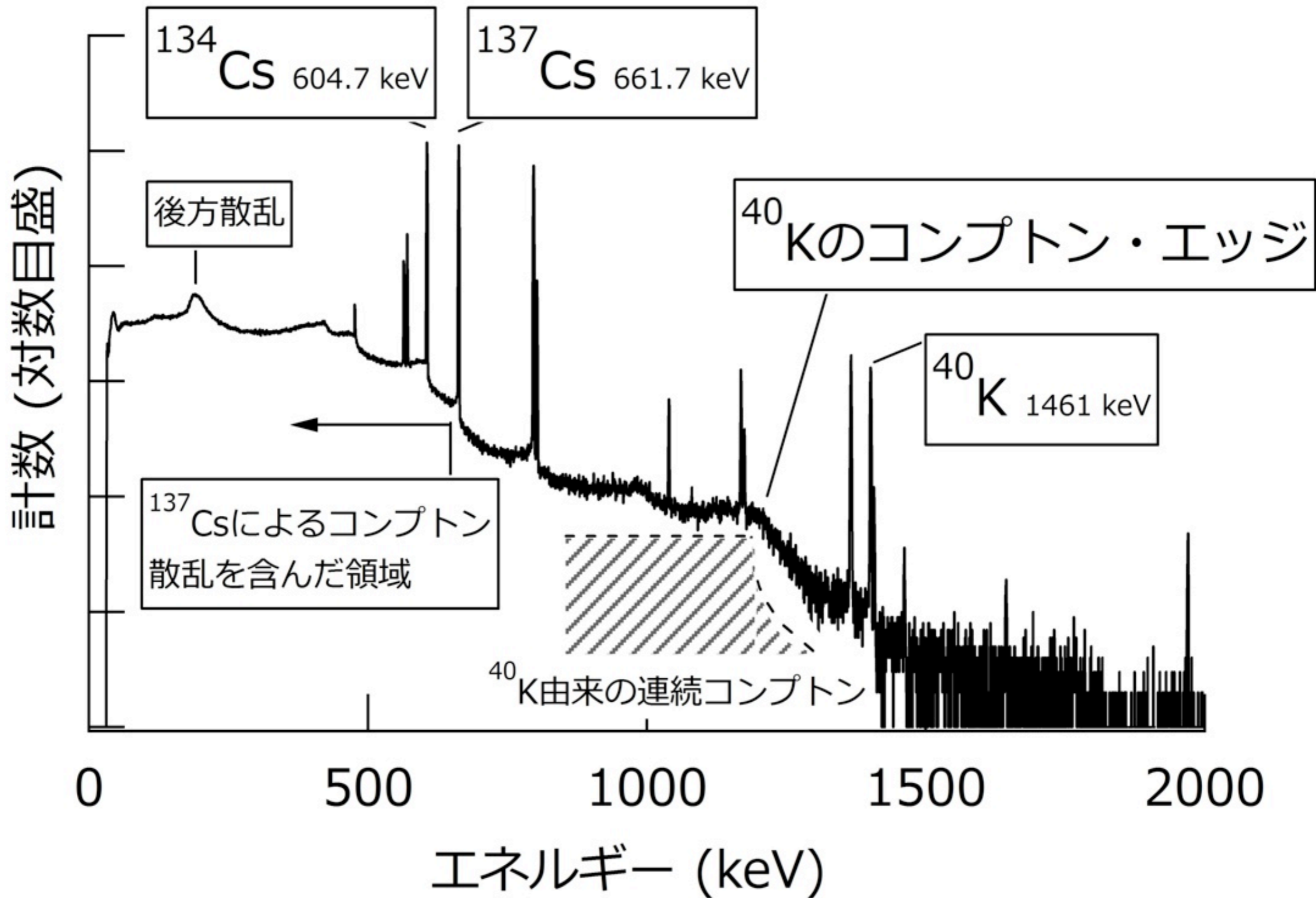
エネルギー分析 (核種同定)

ガンマ線スペクトル (ゲルマニウム検出器)



γ線スペクトルの比較(NaIカウンターvsGe半導体検出器)





可搬型の空間線量計



日立アロカ社ウェブサイトより

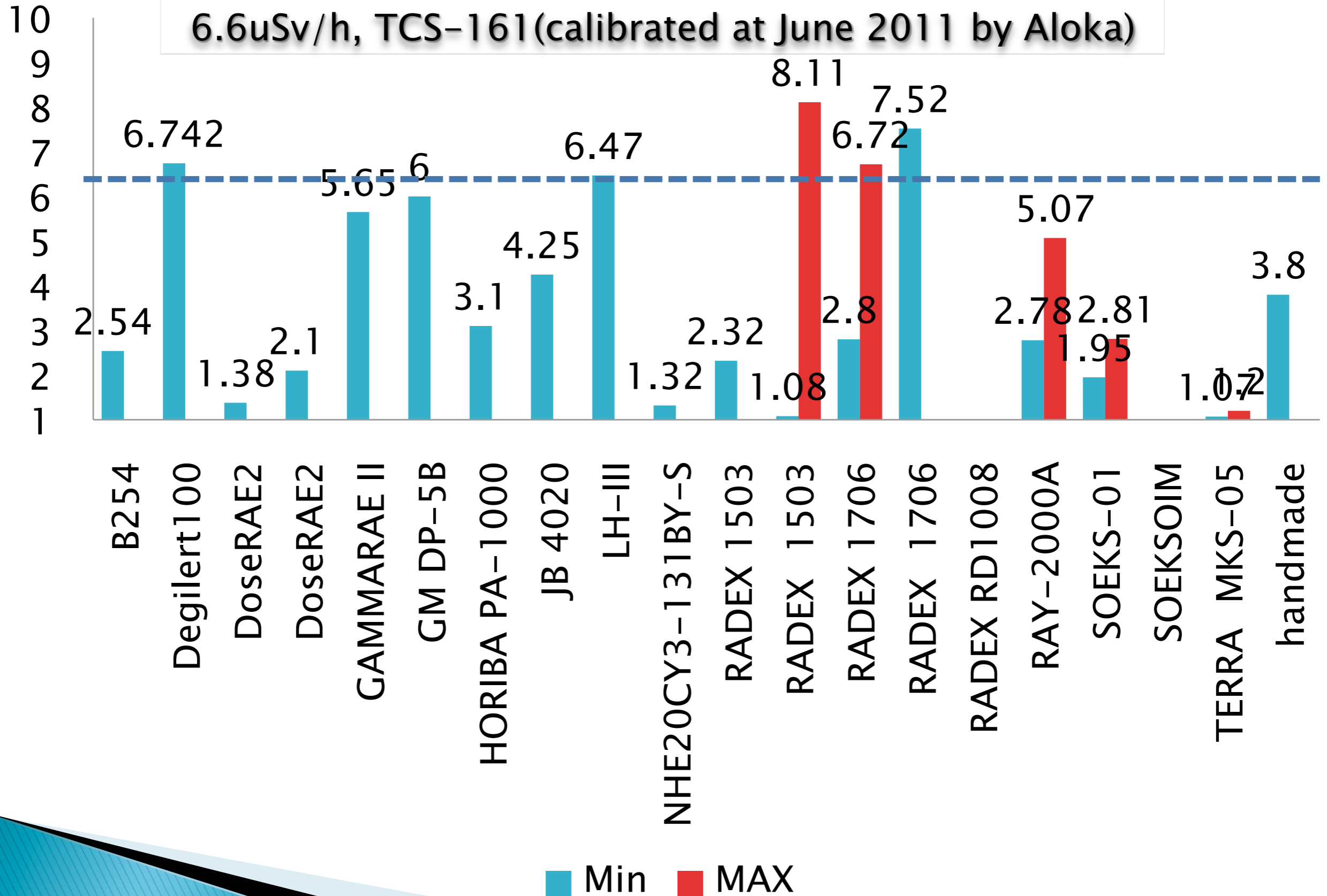


HORIBA社ウェブサイトより

- ▶ それぞれの測定器の特性と示される値の意味は何か。
- ▶ 同じ対象物を測定しているのになぜ値が異なるのか。



以前の勉強会での測定結果



食品中の放射性物質の基準値

■放射性セシウムの基準

2012/1/20 朝日新聞

暫定基準		新基準案	
野菜類	500 Bq	一般食品 (野菜類、穀類、 肉・卵・魚・ その他)	100 Bq
穀類	500 Bq		
肉・卵・魚・その他	500 Bq		
飲料水	200 Bq	飲料水	10 Bq
牛乳・乳製品	200 Bq	牛乳	50 Bq
		乳児用食品	50 Bq

(1kgあたり)

100 ベクレルの放射性セシウムは何グラムか。

(そもそも、福島第一原発から環境中に放出された放射性物質は全部でどのくらいの量か。)

放射線はどうやって測るのか。検出限界以下 (N.D.) とは？

(検出限界値を限りなく下げるより、スクリーニングで多量汚染のものを確実に避けることが重要)

一般食品の新基準値の出し方
mSvはミリシーベルト。Bqはベクレル

食品からの被曝線量の限度

1mSv/年

飲料水分

0.1mSv/年

一般食品に割り当てる分

0.9mSv/年

食品に含まれるセシウムが1kgあたり何Bqまでなら0.9mSvを超えないか？

食べる量、種類などをもとに年代別に計算

年齢区分	性別	限度値 (Bq/kg)
1歳未満	男女平均	460
1~6歳	男	310
	女	320
7~12歳	男	190
	女	210
13~18歳	男	120
	女	150
19歳以上	男	130
	女	160
妊婦		160

最も厳しい

さらに切り下げ

新基準値

100 Bq/kg

どうやって測っている？ (I)

100 Bq/kg = 10 Bq / 100 g

検出効率は 1% 程度

(立体角・Ge結晶による検出効率)

^{134}Cs と ^{137}Cs の放射能比は 1:1

(福島原発事故当時)

基準値は、測定上はそれぞれの核種で

0.05 cps / 100 g に相当

(20秒に1カウント！)

低バックグラウンド環境での測定が必須

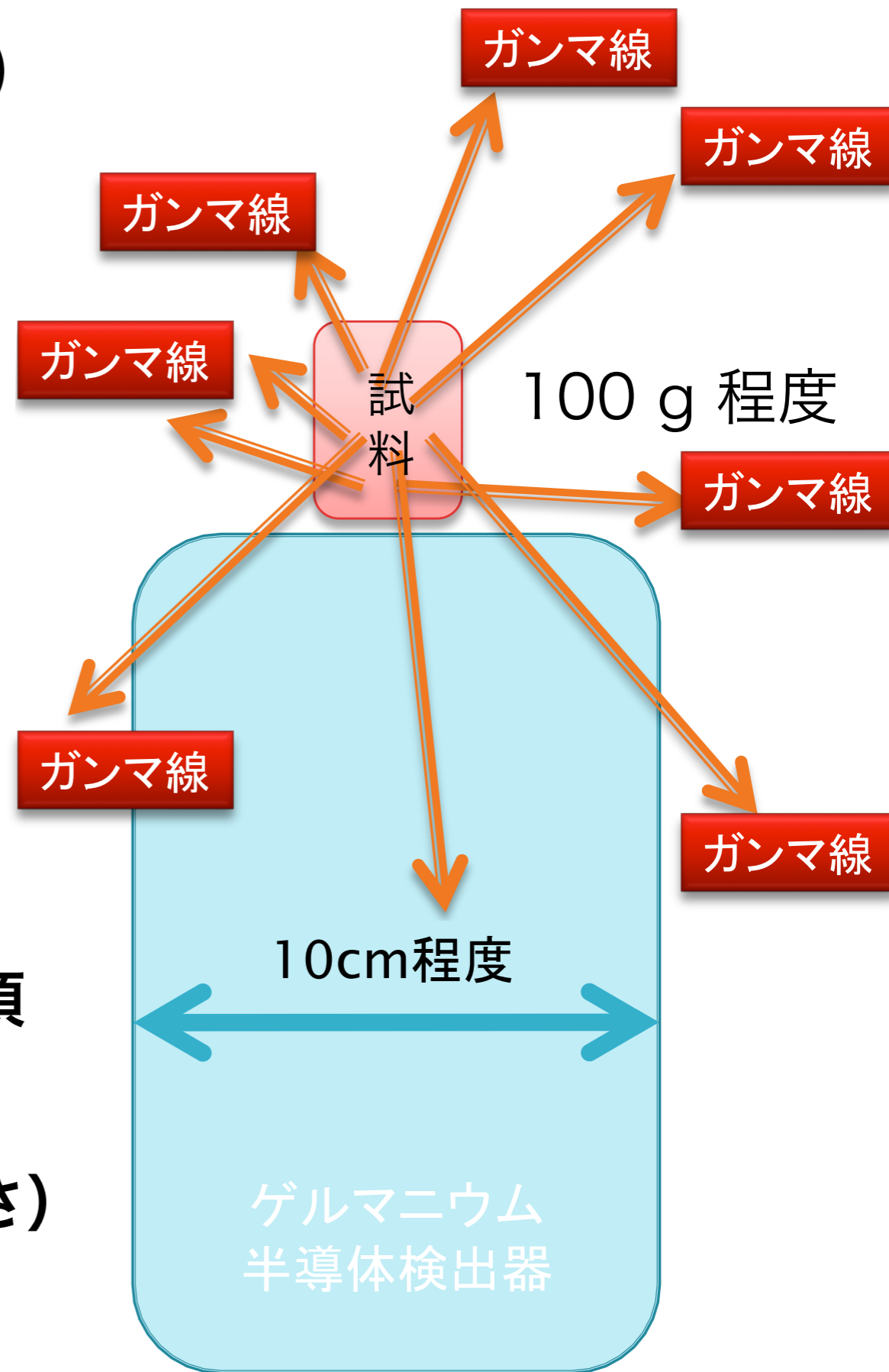
(環境放射線の遮蔽)

長時間の測定が必要 (統計学的不確かさ)

(最低でも1時間以上の測定)

短時間では**検出限界値**が低くできない。

⇒ **N.D.** (Not Detected = **不検出**) \neq 0 Bq (不存在)



10試料の測定結果(良くない表記)

No.	試料	採取場所	^{134}Cs (Bq/kg)	^{137}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

10試料の測定結果(ちょっと良い)

No.	試料	採取場所	^{134}Cs (Bq/kg)	^{137}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

10試料の測定結果(詳細)

No.	試料	採取場所	^{134}Cs (Bq/kg)	^{137}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)

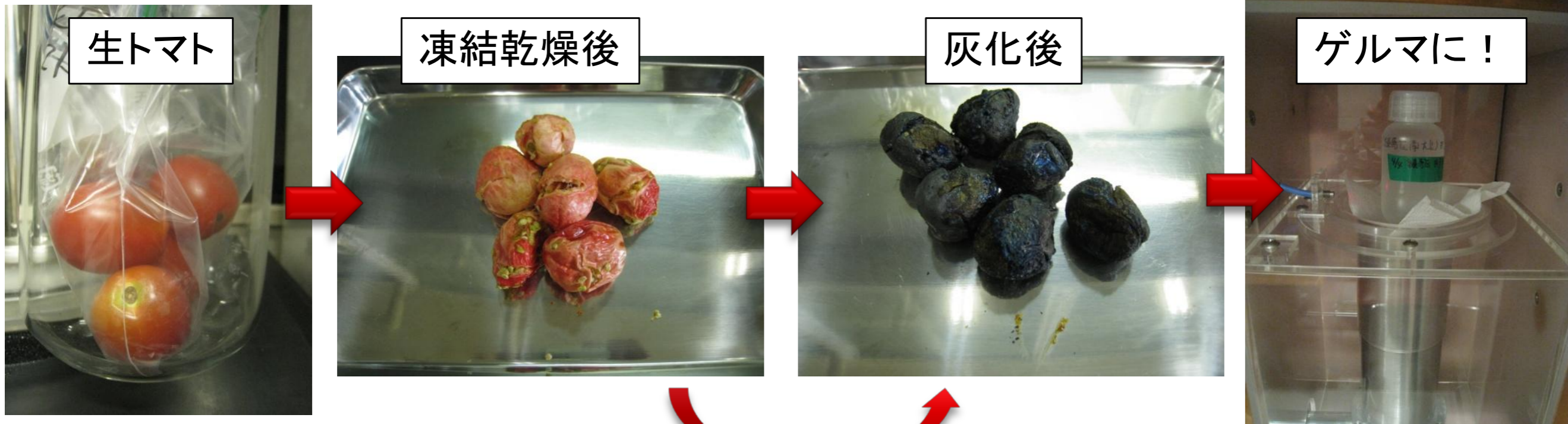
食品に含まれる放射性物質の測り方

- ▶ 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でなかったり
 - ひとつひとつのサンプルには揺らぎがある

なぜ灰にするの？

含まれる放射性物質を濃縮する(焼却炉の灰と同じ理屈)ことで、検出限界値を超えて測りやすくする

食品(トマト)の前処理



飛灰を発生させないように炭状にする

現在の放射性物質の基準値

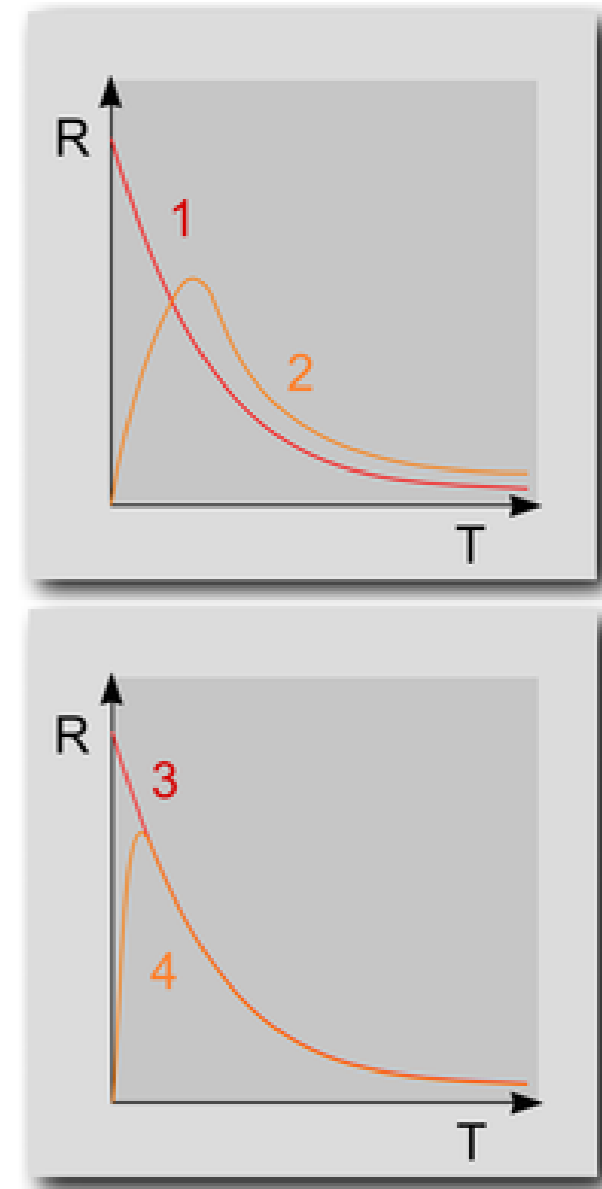
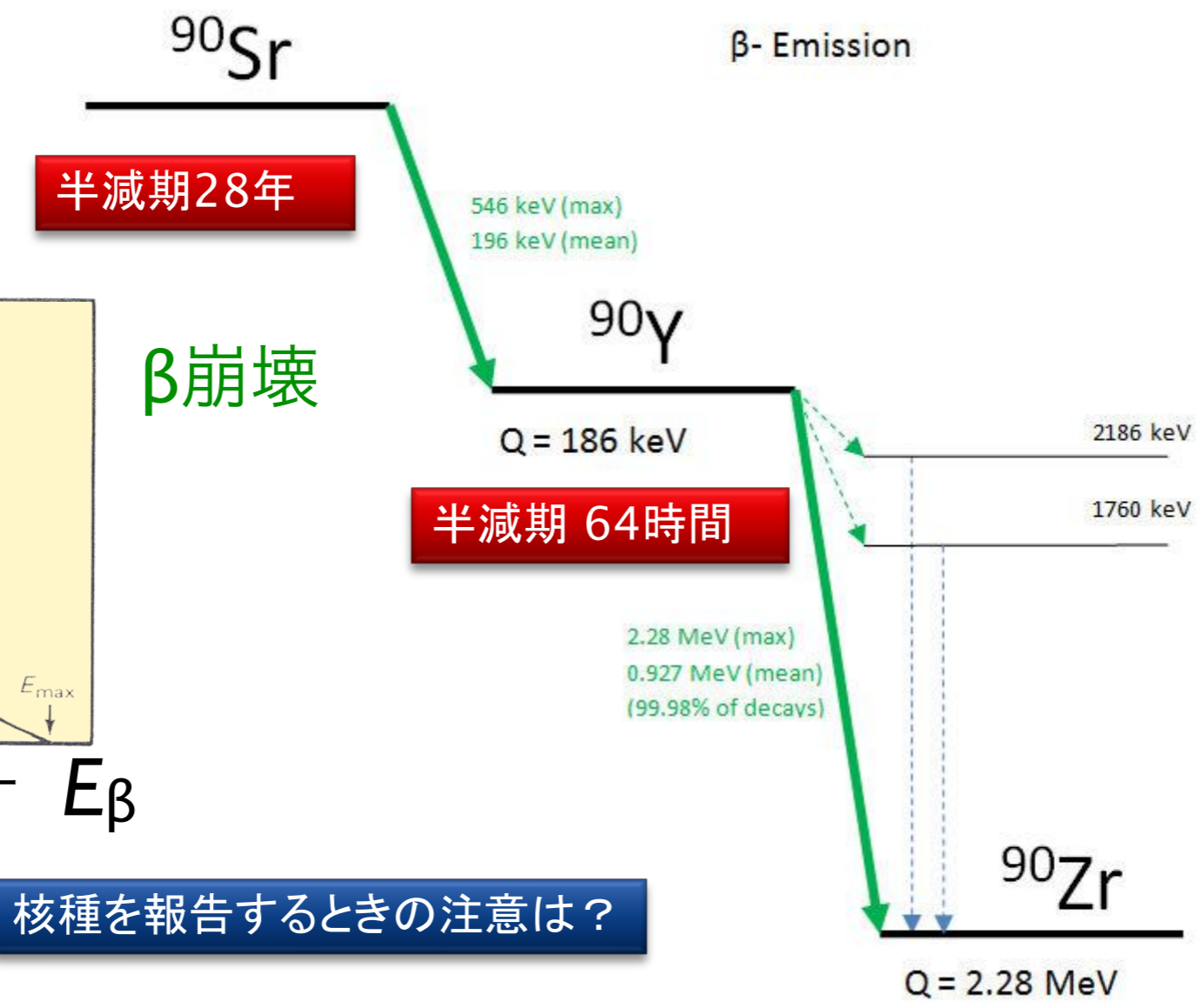
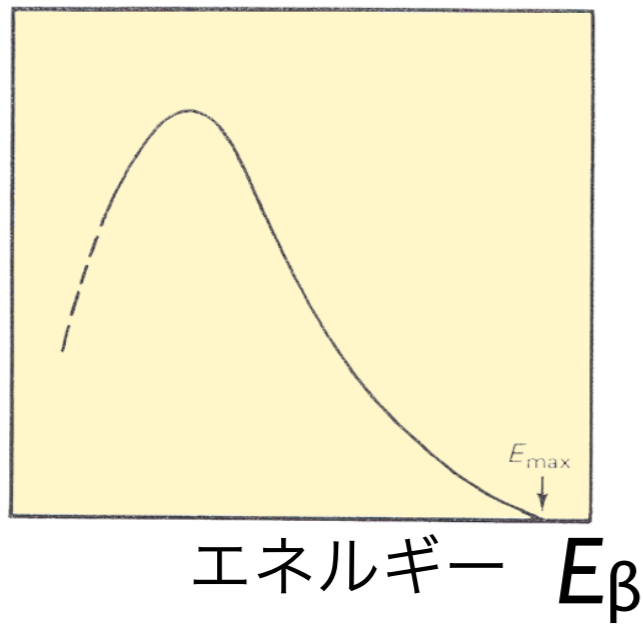
核種	基準値(Bq/kg)	
放射性ヨウ素(^{131}I)	300	
放射性セシウム ($^{134}+^{137}\text{Cs}$)	飲用水	10
	一般食品	100

β崩壊核種の同定 (γ線を出さないもの)

化学分離が必須

例： **$^{89}, ^{90}\text{Sr}$**

粒子数の分布



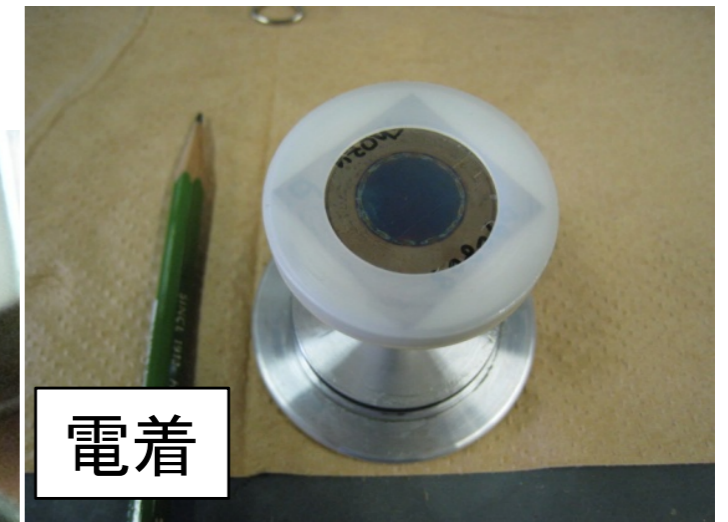
α崩壊核種の同定 \rightarrow アルファスペクトロメトリ

例： **$^{238}, ^{239}, ^{241}\text{Pu}$**

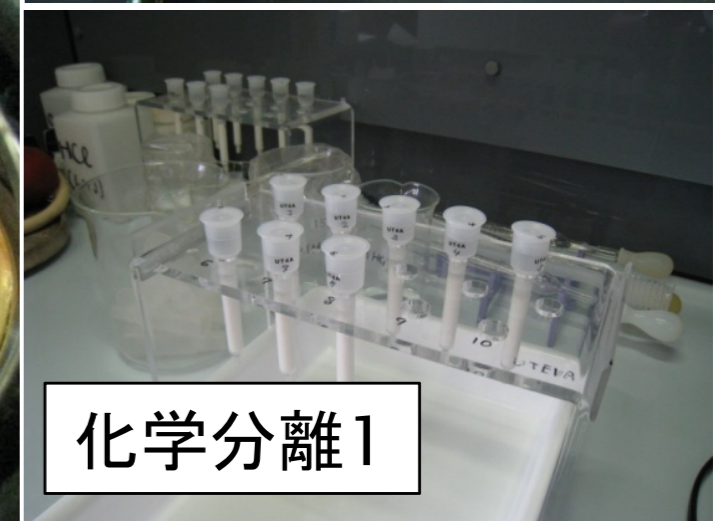
アルファ線の測定装置

U, Th, Pu, Am, Cm...はこれ！

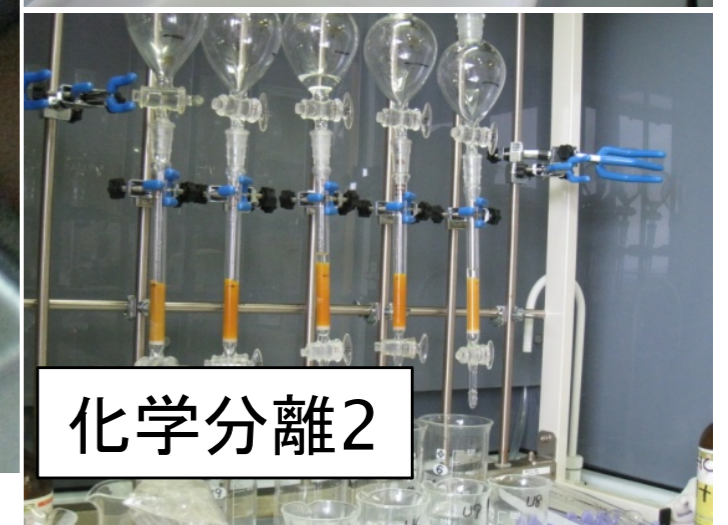
▶ アルファスペクトロメトリ



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) → α 線計測

線量計 (個人線量計、環境放射線測定)

フリック線量計

熱ルミネッセンス線量計

ガラス線量計



光刺激ルミネッセンス線量計

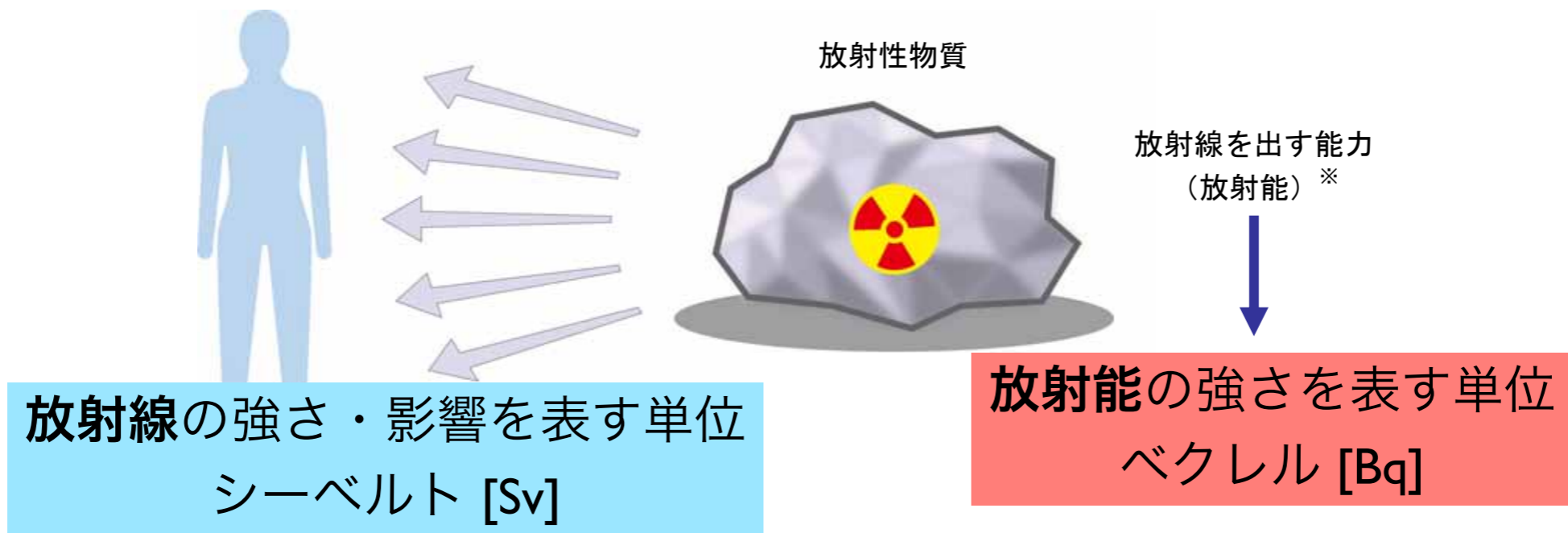
蛍光ガラス線量計 $Ag^+ \rightarrow Ag^0, Ag^{++}$

ポケット線量計：電離箱、半導体検出器

フィルムバッジ：銀塩写真フィルム $AgBr$



放射線の単位



放射線量の単位

グレイ

吸収線量 $D [J / kg] = [Gy]$

等価線量 $H_T [J / kg] = [Sv]$ シーベルト

実効線量 $E [J / kg] = [Sv]$ シーベルト

放射能の単位

放射能の強さ [Bq]
ベクレル

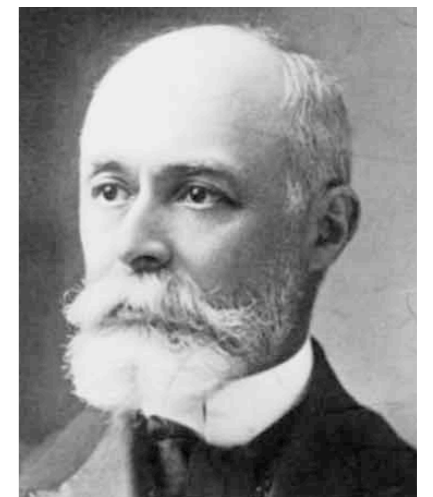
Gray



Sievert



Becquerel



放射線量の単位

放射場には

多様なエネルギーの

多種放射線（光子、粒子線）が

様々な方向を向いて飛び交い、

それぞれの強度で存在している。

これをひとつの物理量で表すのは

一筋縄ではいかない。

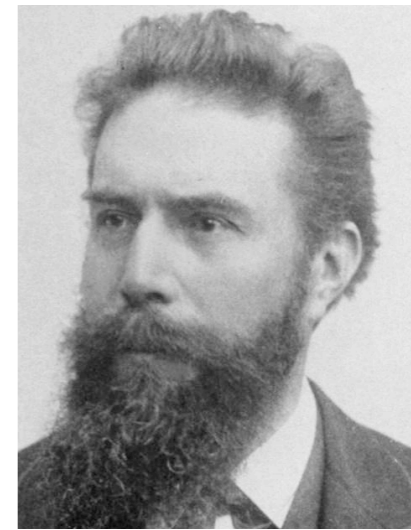
様々な放射線量の単位が存在する。

放射線量の単位

放射計測量 radiometric quantity

粒子フルエンス fluence Φ [cm^{-2}]

エネルギーフルエンス energy fluence Ψ [MeV cm^{-2}]



Röntgen



Gray

線量計測量 dosimetric quantity : エネルギー変換

カーマ kerma (Kinetic Energy Released in MAterial / MAtter) 非荷電粒子線 K [J / kg] = [Gy]

シーマ cema (Charged particle Energy imparted to MAtter) 荷電粒子線 C [J / kg] = [Gy]

照射線量 光子 (x線・γ線) X [C/kg], [R] | R $\approx 2.58 \times 10^{-4}$ C/kg

線量計測量 dosimetric quantity : エネルギー付与

吸収線量 D [J / kg] = [Gy], [erg / g] = [ram] | Gy = 100 ram

放射線量の単位

radiation dose

- 物質が吸収したエネルギー（単位質量あたり）

吸収線量 $D [J / kg] = [Gy]$ グレイ

Gray

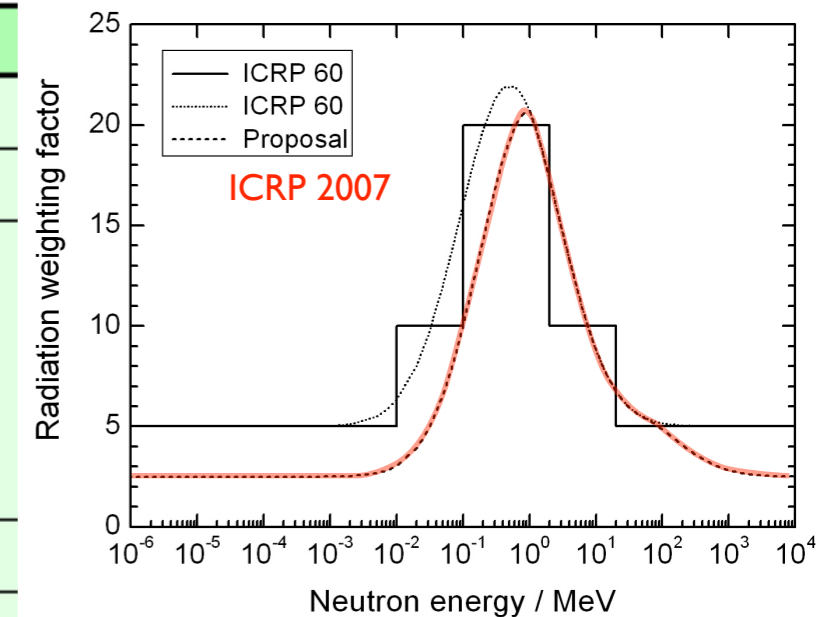


- 放射線の種類による生物学的影響の違いを考慮

等価線量 $H_T [J / kg] = [Sv]$ シーベルト

放射線加重係数

放射線の種類・エネルギーの範囲	放射線加重係数: W_R	
光子(X線・γ線); 全てのエネルギー	1	1
電子(β線)およびミュー粒子; 全てのエネルギー	1	1
中性子; 10keV 以下	5	右図を参照
10keV~100keV	10	
100keV~2MeV	20	
2MeV~20 MeV	10	
20MeV以上	5	
反跳陽子以外の陽子; エネルギー 2MeV 以上	5	2 (正負パイオンも)
アルファ粒子(α線)	20	20
核分裂片	20	20
重原子核	20	20



[出典] 日本アイソトープ協会:ICRP Pub 60、国際放射線防護委員会の1990年勧告、丸善、p7(1991)

赤字 ICRP 2007

- 全身被曝での影響に換算（臓器ごとに加重係数をかけて合算）

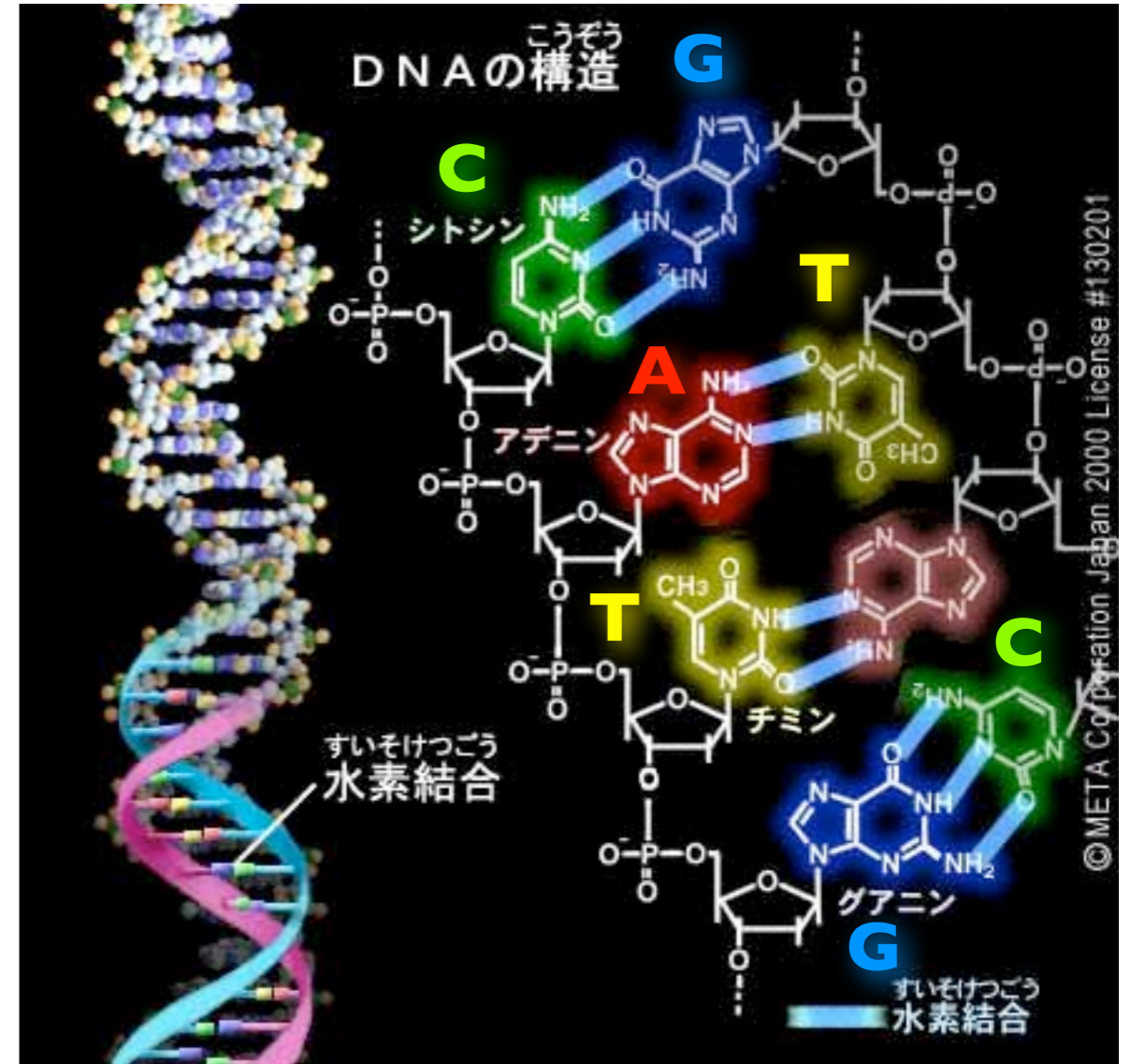
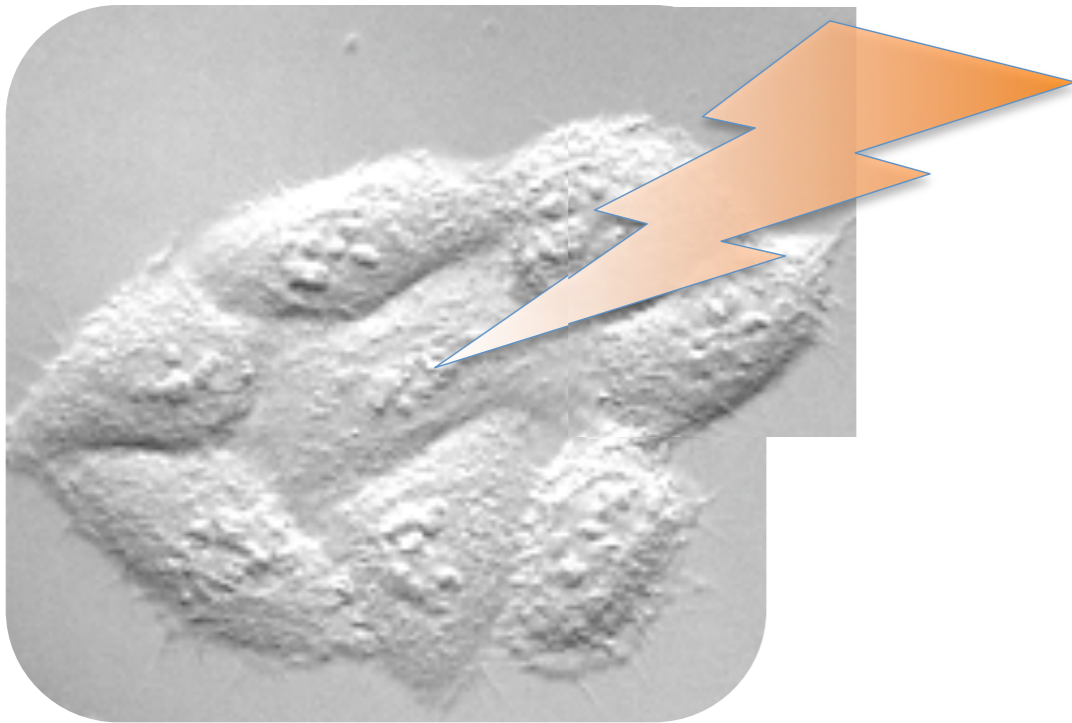
実効線量 $E [J / kg] = [Sv]$ シーベルト

Sievert



細胞の核に放射線が照射

DNA



出典：IPA「教育用画像素材集サイト」 <http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>

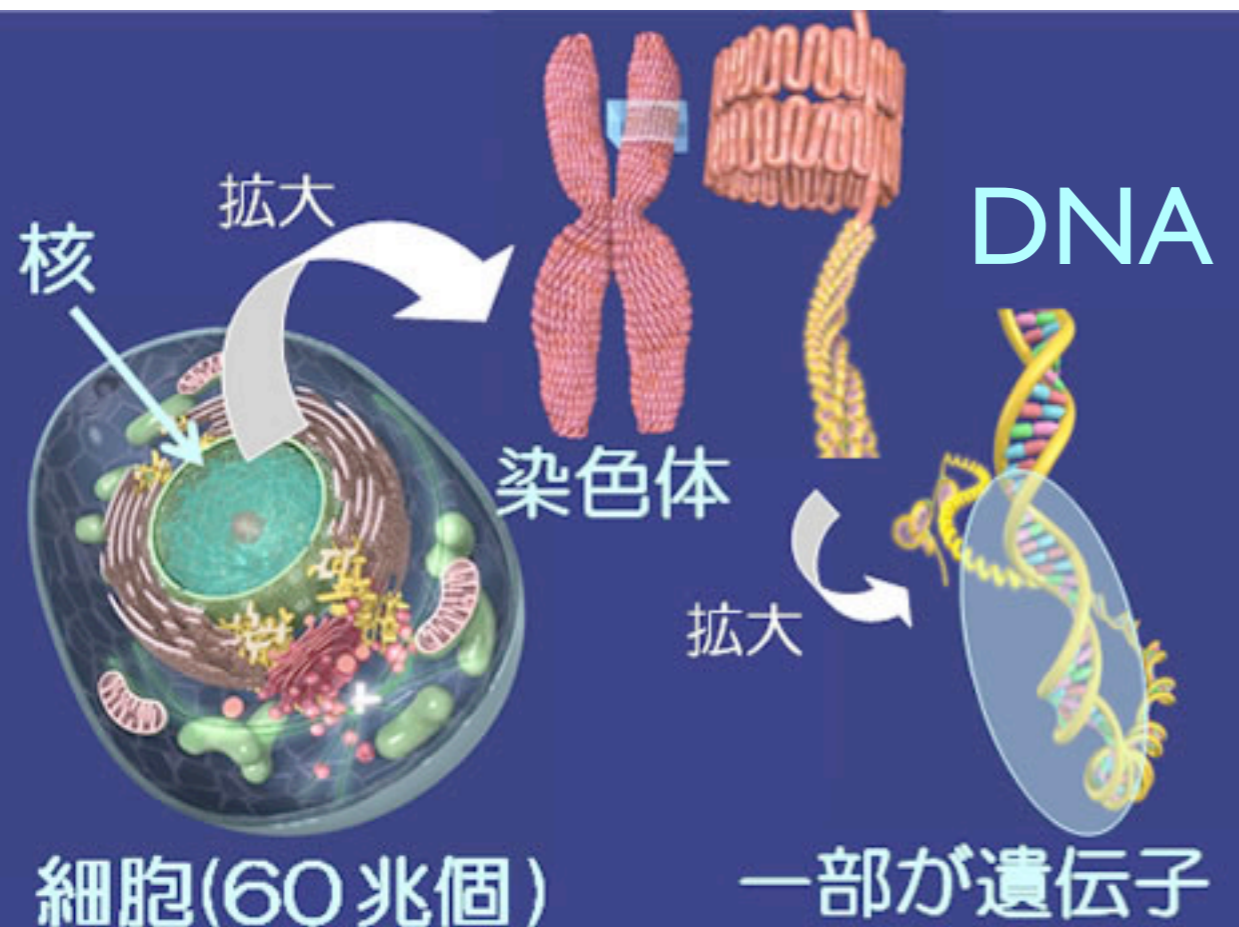
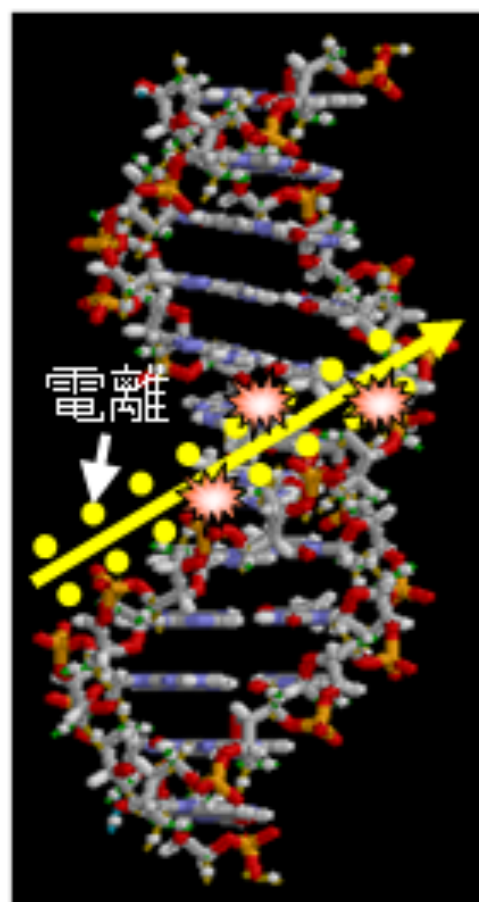
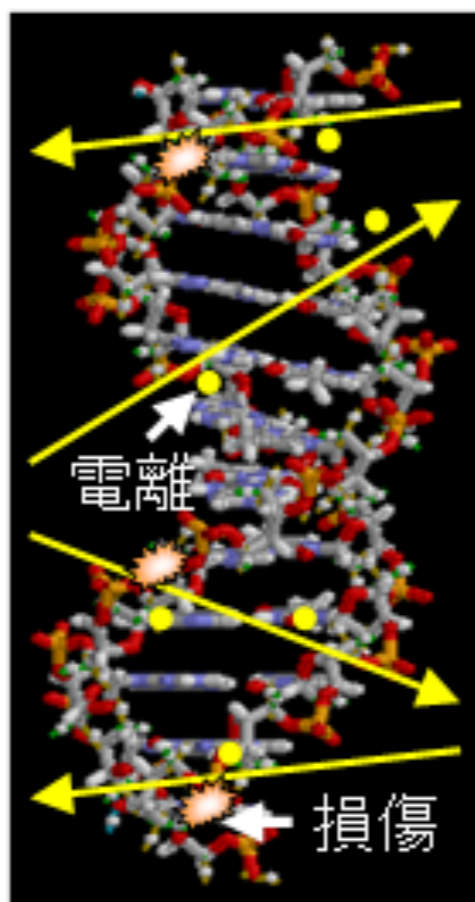


図1 核、染色体、遺伝子

放射線による DNA 損傷



重イオン



電子

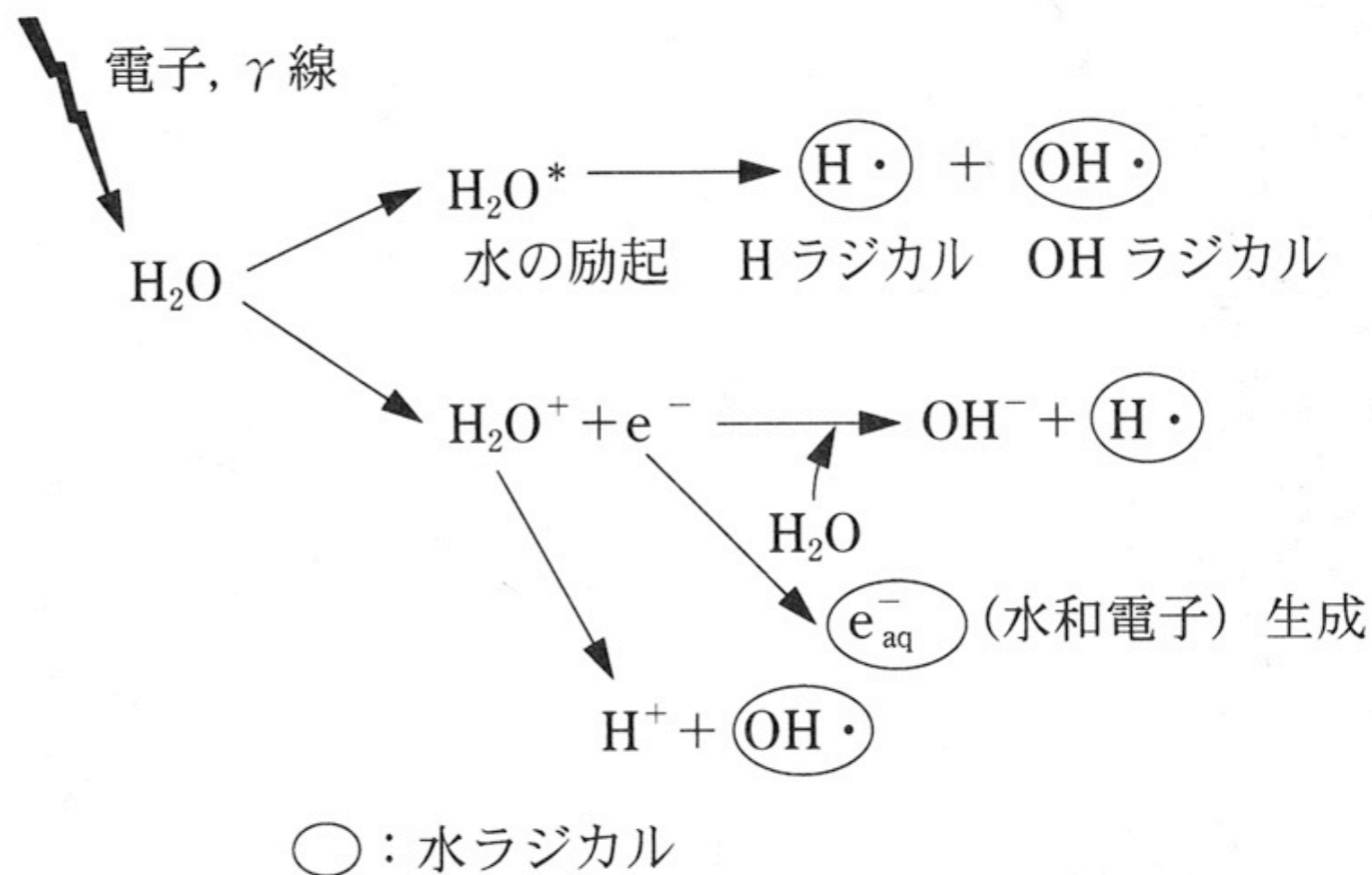


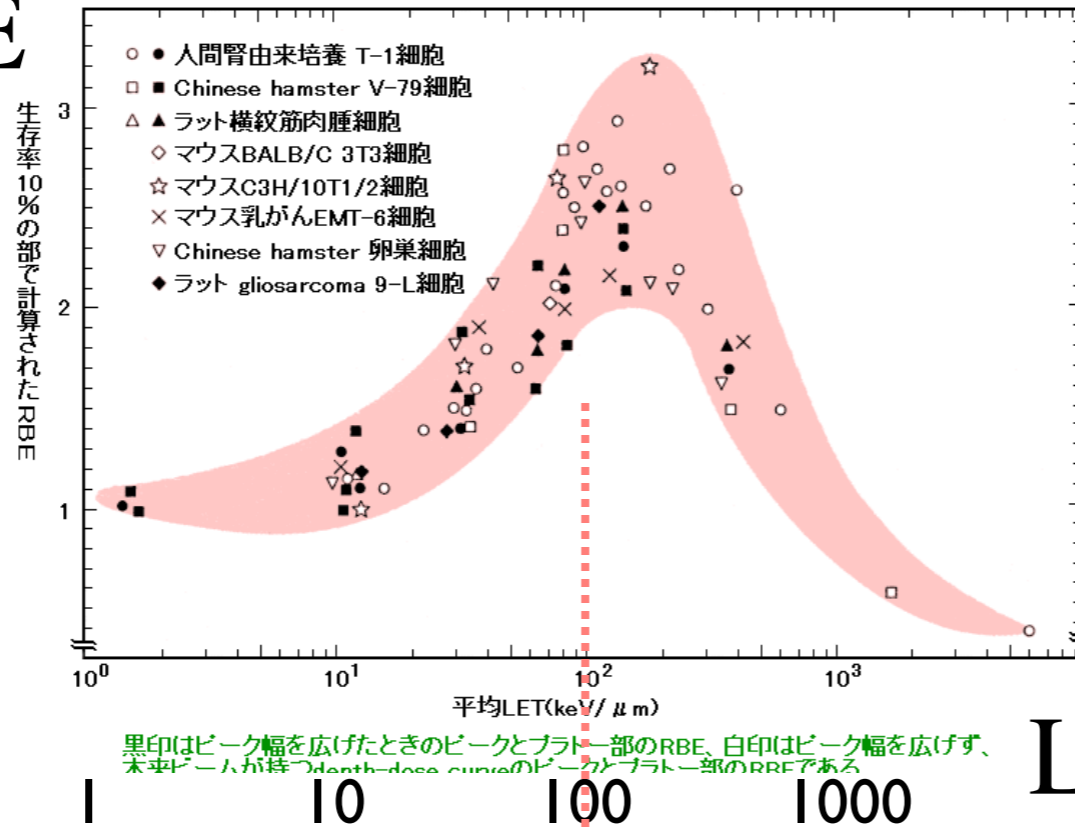
図 6・5 電離放射線による水分子の電離と励起の概略

LET：線エネルギー付与

放射線の直接作用：荷電粒子が直接 DNA 分子を叩く **高 LET 放射線**
 α 線

と間接作用：水の電離で生じるラジカルが DNA 分子に作用
低 LET 放射線
 β 線, γ 線

RBE



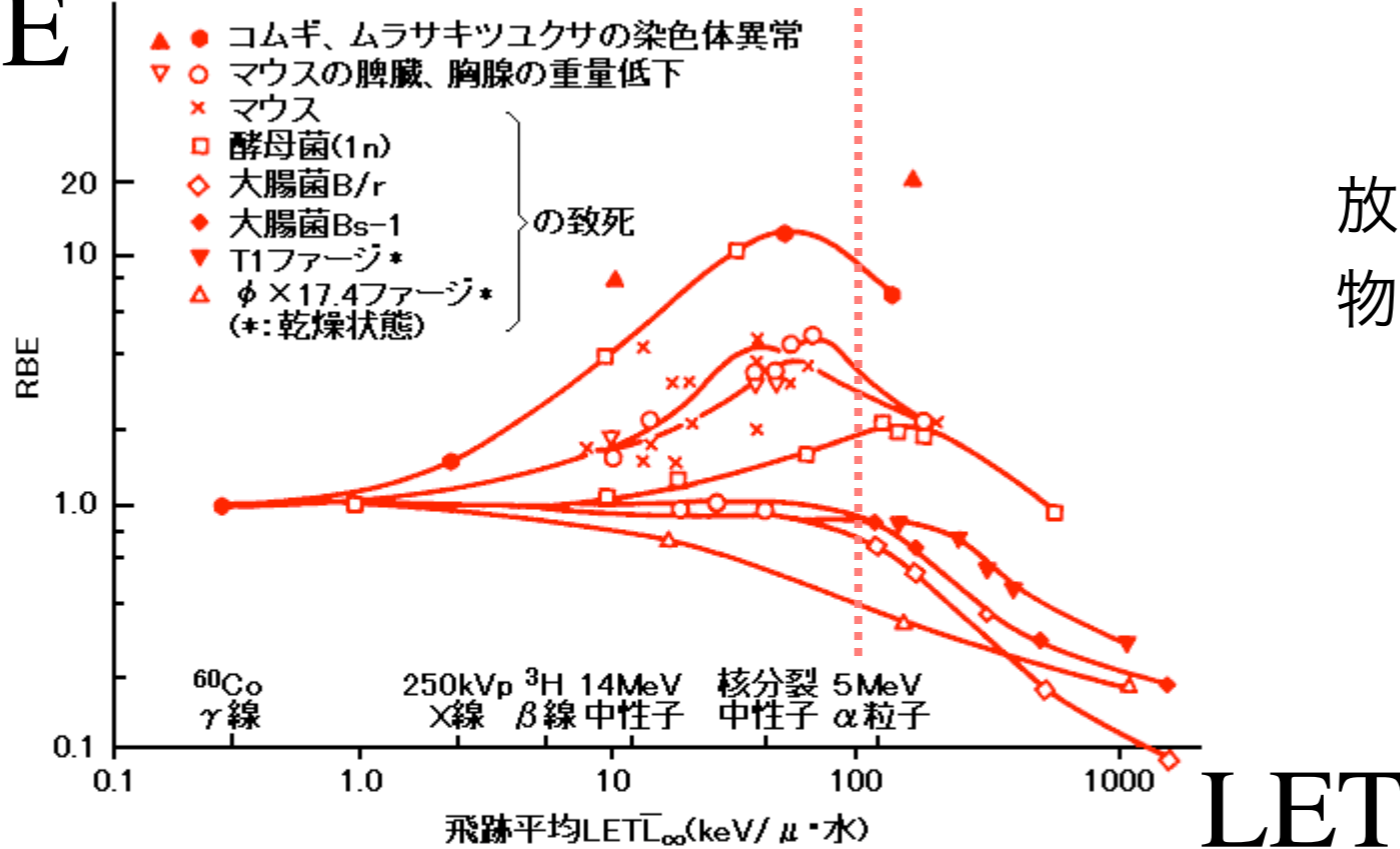
生物学的効果比 RBE

(Relative Biological Effectiveness)

LET (線エネルギー付与)
keV/μm

放射線の軌跡上の単位長さ当たり
物質に与えられるエネルギー

RBE



様々な生物反応(マウスの臓器の重量低下や致死、高等植物の染色体異常等)において、いずれも約80keV/μm付近のLET値をもつ放射線が最大のRBE値を示す。

図2 体細胞的効果に対する各種放射線のRBEとLETの関係

[出典]近藤 宗平:分子放射線生物学、東京大学出版会(1972年)、p.174

実効線量 effective dose $E [J / kg] = [Sv]$

$$E = \sum_T w_T \times H_T = \sum_T w_T \times \left(\sum_R w_R \times D_{T,R} \right)$$

組織 T の組織加重係数

組織 T における
等価線量 [Sv]

組織 T における
平均吸収線量 [Gy]

器官・組織	組織加重係数: w_T	
生殖腺	0.20	0.08
骨髄(赤色)	0.12	0.12
結腸	0.12	0.12
肺	0.12	0.12
胃	0.12	0.12
膀胱	0.05	0.04
乳房	0.05	0.12
肝臓	0.05	0.04
食道	0.05	0.04
甲状腺	0.05	0.04
皮膚	0.01	0.01
骨表面	0.01	0.01
脳		0.01
唾液腺		0.01
残りの器官・組織 ^{※2}	0.05	0.12
合計(全身)	1.00	1.00

左欄黒字 ICRP 1990

右欄赤字 ICRP 2007

線量計算

放射線の透過力・線量計算

- α 線は表層の細胞 2-3 個で止まる。
- β 線も外部被曝では皮膚への影響を考える。
- α 線も β 線も内部被曝が問題。全てのエネルギーが短い飛程の間に細胞に与えられる。
- γ 線は多くのものは相互作用（光電効果・コンプトン散乱）せず体を素通りし、体内で吸収されるエネルギーは全体の一部（外部・内部被曝）。
- X線の場合も吸収されるエネルギーは何割か程度。

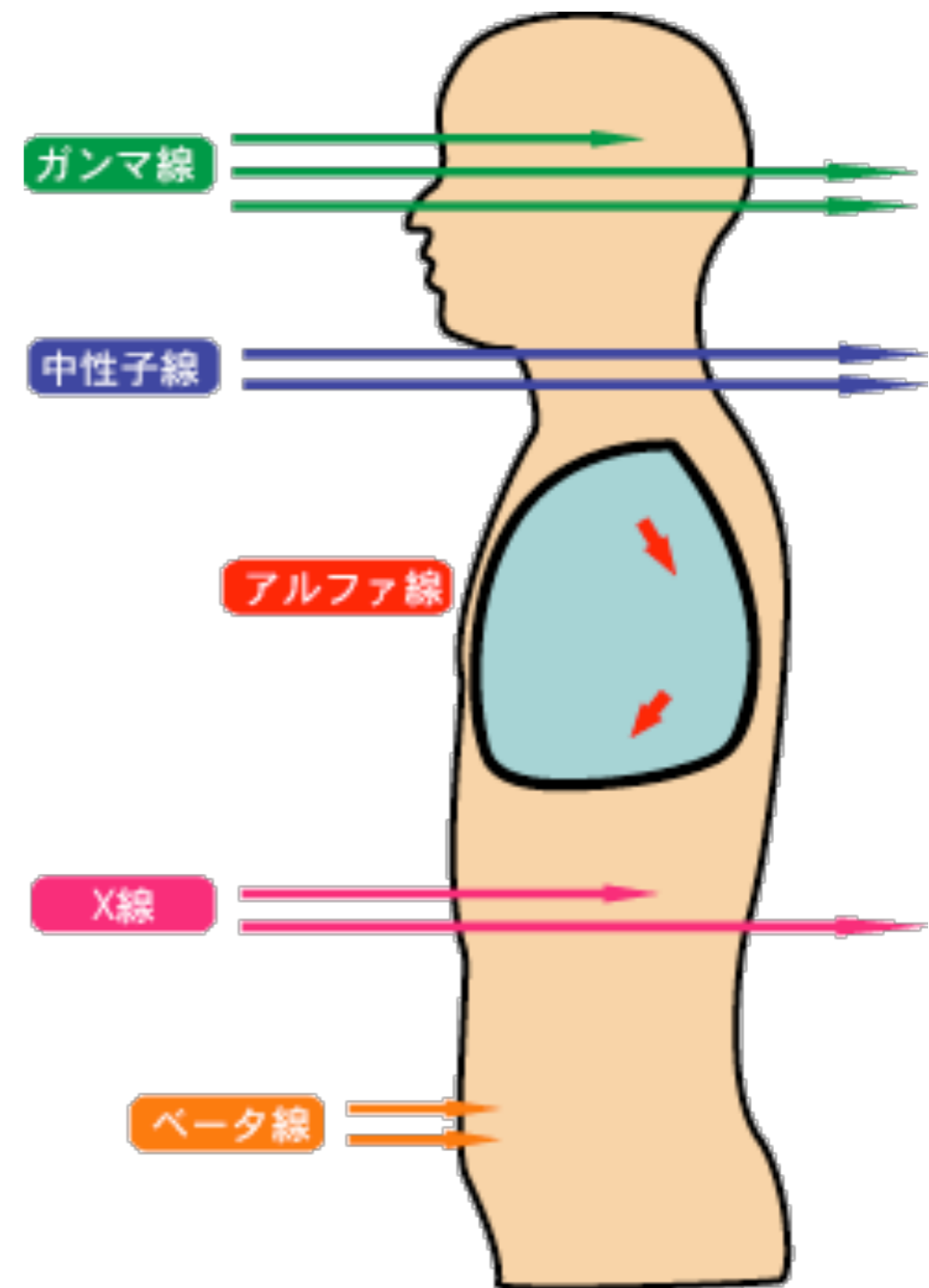
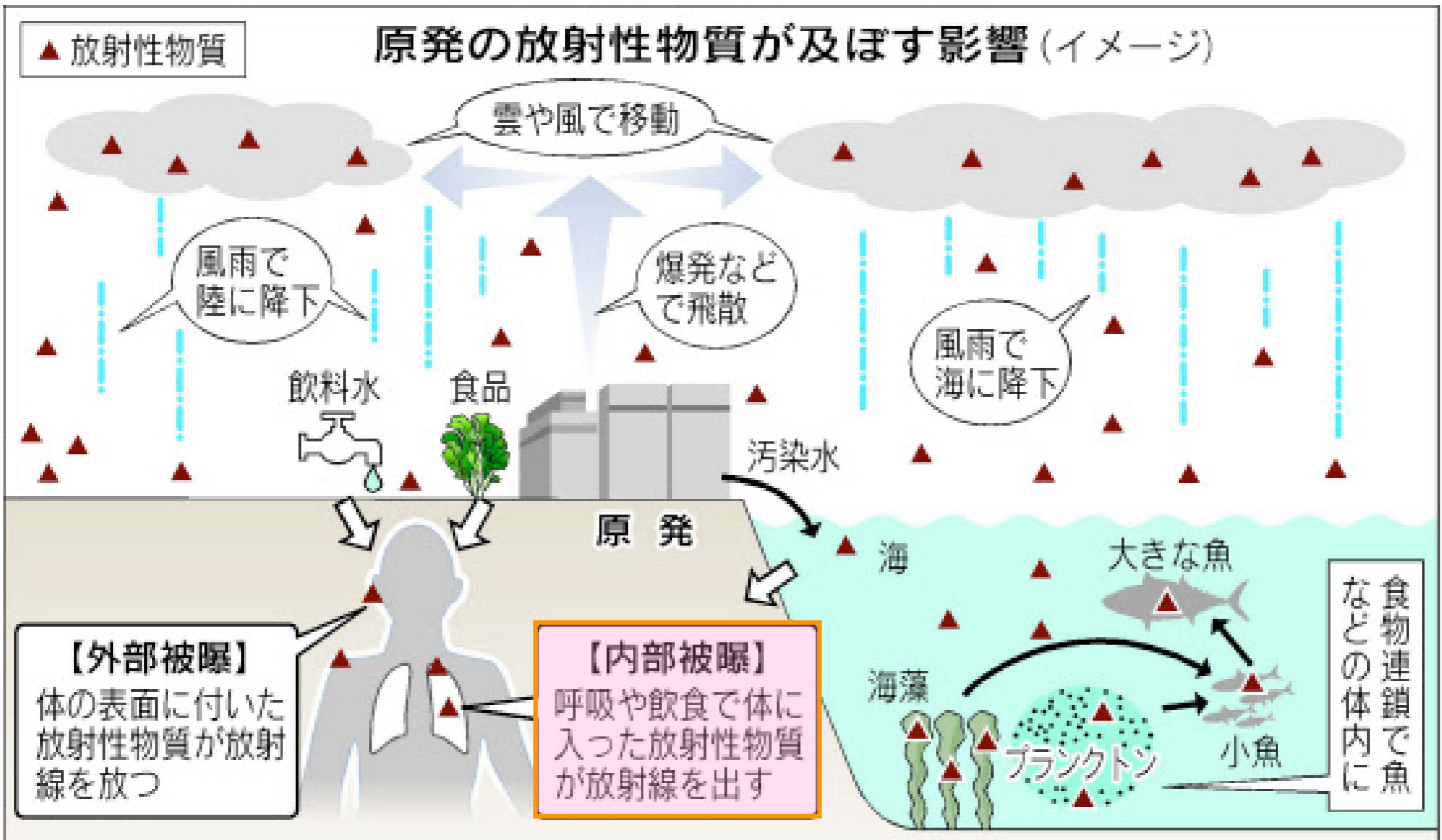


図3 人体を透過する放射線



放射性物質が一部東京まで飛来。
放射線が直接東京に届いたのではない。

内部被曝の計算例

(^{131}I による甲状腺預託線量)

放射線防護のための線量 protection quantity

預託線量 committed dose (内部被曝) [Sv]

預託等価線量

預託実効線量

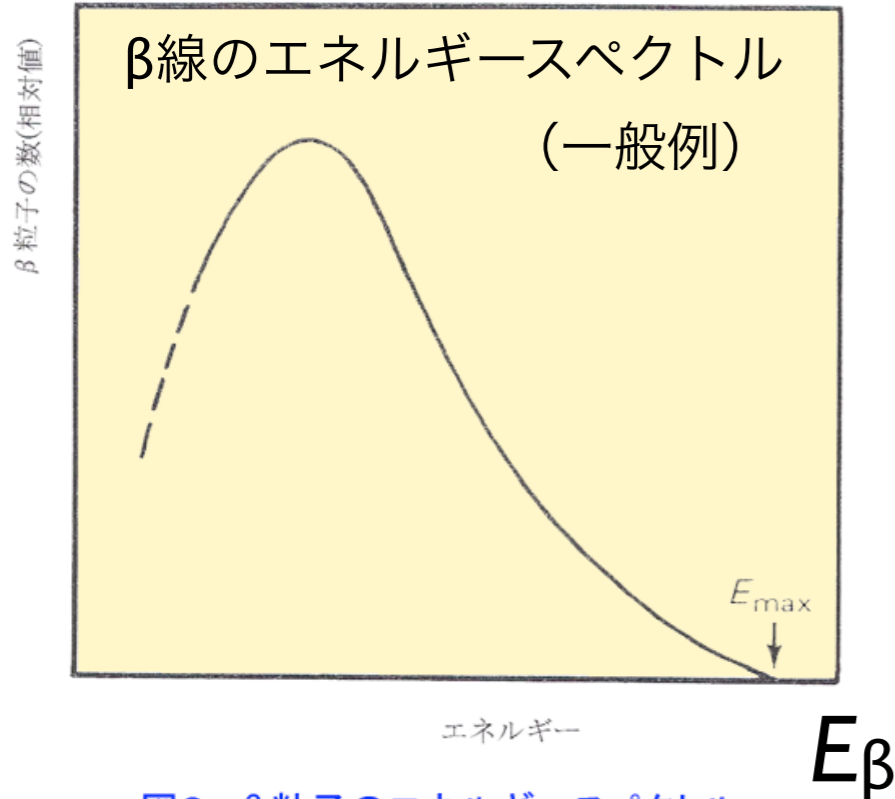
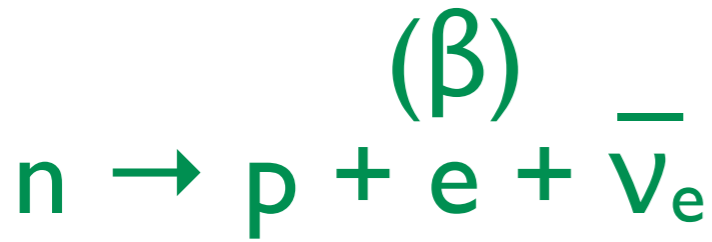
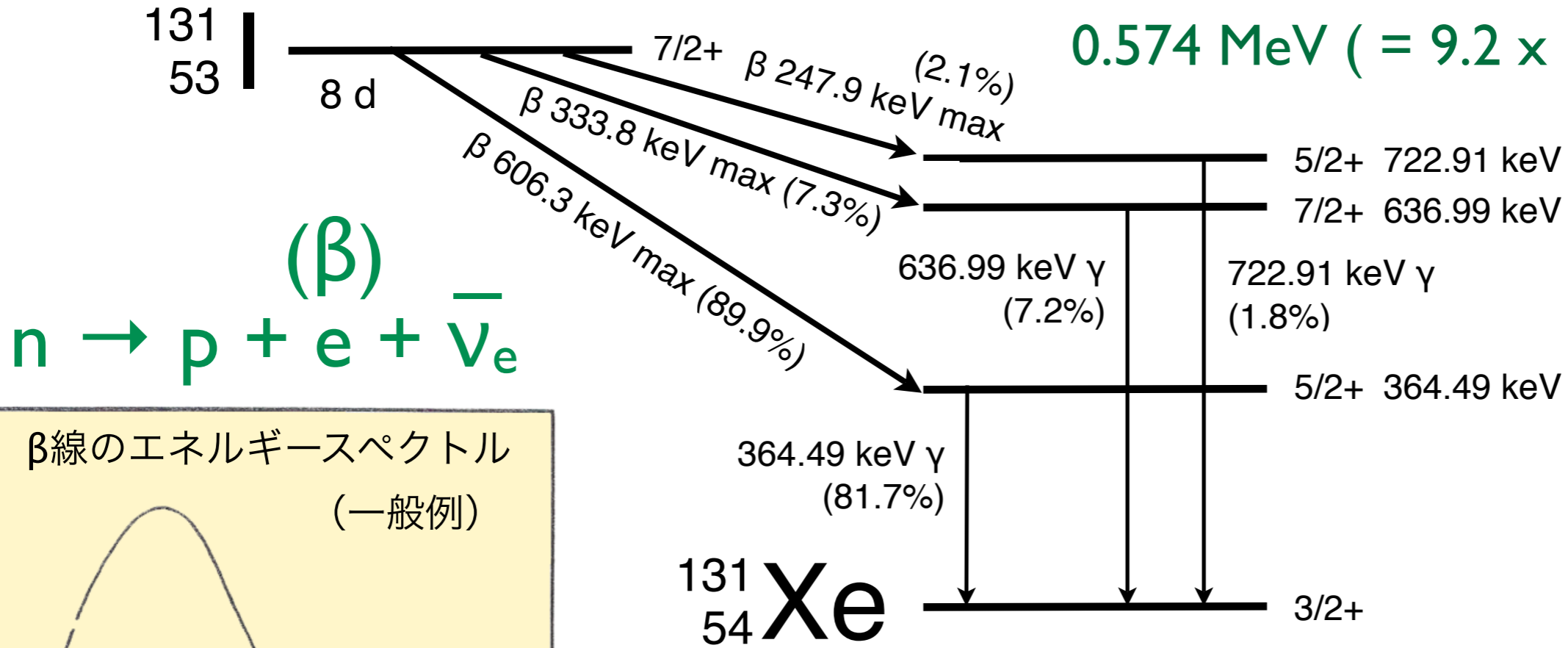
体内摂取した放射性物質から出るすべての放射線を、摂取した時点で被曝したと見なして計算をする。Bq から Sv への換算には、物理学的半減期のみならず排泄機能による生物学的半減期も考慮のうえ、50年間分の積分をする。

実効線量係数 (成人)

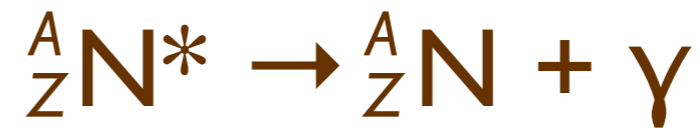
核種	半減期	経口摂取 (Sv/Bq)	吸入摂取 (Sv/Bq)
C-14	5730年	5.8×10^{-10}	5.8×10^{-9}
P-32	14.3日	2.4×10^{-9}	3.4×10^{-9}
K-40	12.8億年	6.2×10^{-9}	2.1×10^{-9}
I-131	8.04日	2.2×10^{-8}	7.4×10^{-9}
Sr-90	29.1年	2.8×10^{-8}	1.6×10^{-7}
Cs-137	30.0年	1.3×10^{-8}	3.9×10^{-8}

経口摂取	乳児 (3ヶ月)	幼児 (1歳)	子供 (2-7歳)	成人
I-131	1.8×10^{-7}	1.8×10^{-7}	1.0×10^{-7}	2.2×10^{-8}

β線の最大エネルギーの平均値
 0.574 MeV (= 9.2 x 10⁻¹⁴ J)



γ線: 原子核の脱励起



γ線 (定まったエネルギー)

図2 β粒子のエネルギースペクトル
 [出典]石川友清(編):初級放射線、通商産業研究社、p.37

β線 (連続スペクトル)
 エネルギーの平均値 ~ 0.3 MeV

内部被曝

臓器親和性 (Cs, I, Sr, Pu,)

生物学的半減期

WBC (遮蔽・周辺の高いバックグラウンド)

給食検査／陰膳検査

毎日 1 Bq の放射性セシウムを摂取し続けたときの

体内残留量は？

カリウムの場合は？

Cs-134+137, I-131 (甲状腺初期内部被曝)

外部被曝の計算例

(^{137}Cs による空間線量率)

コンプトン散乱

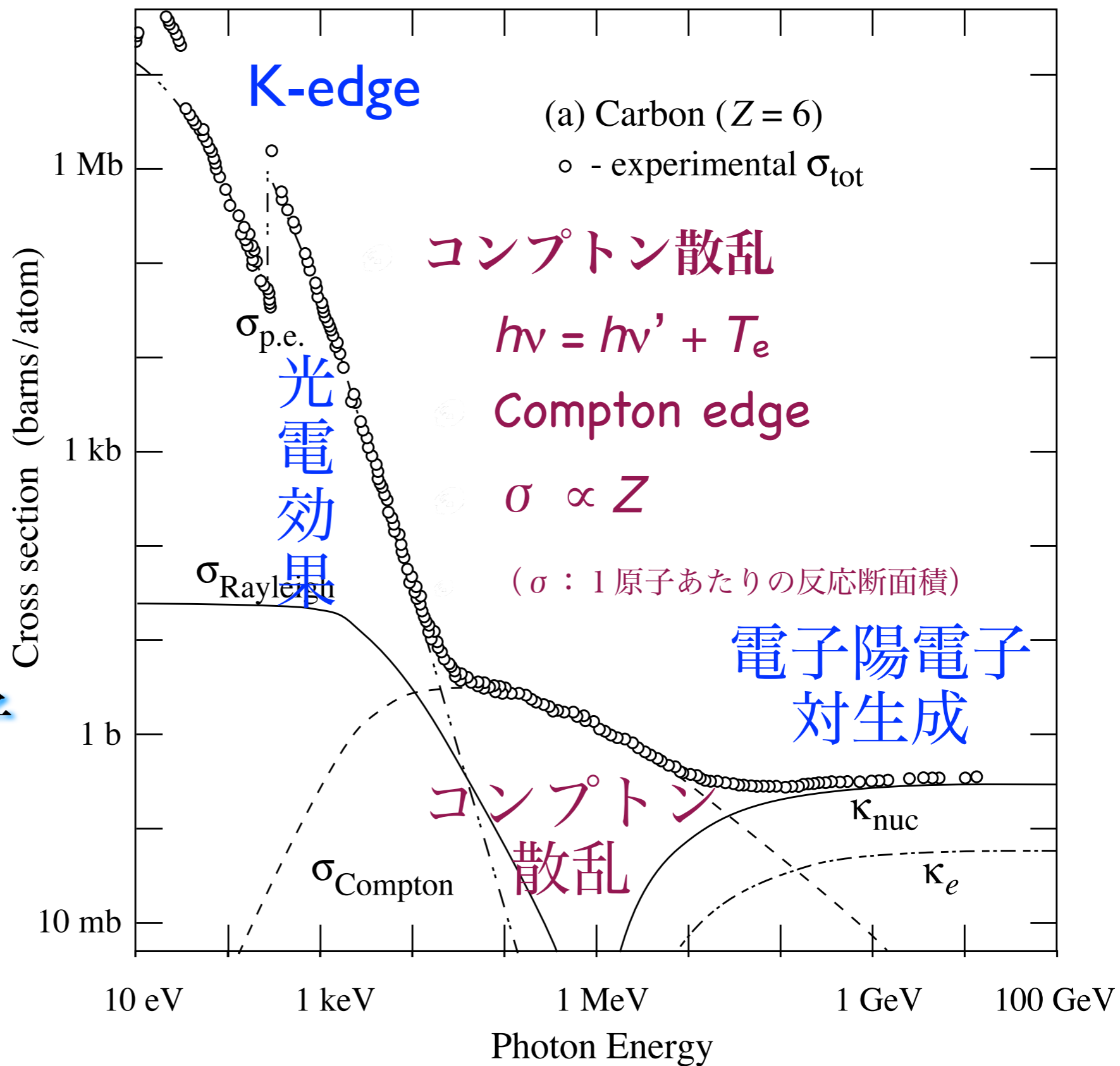
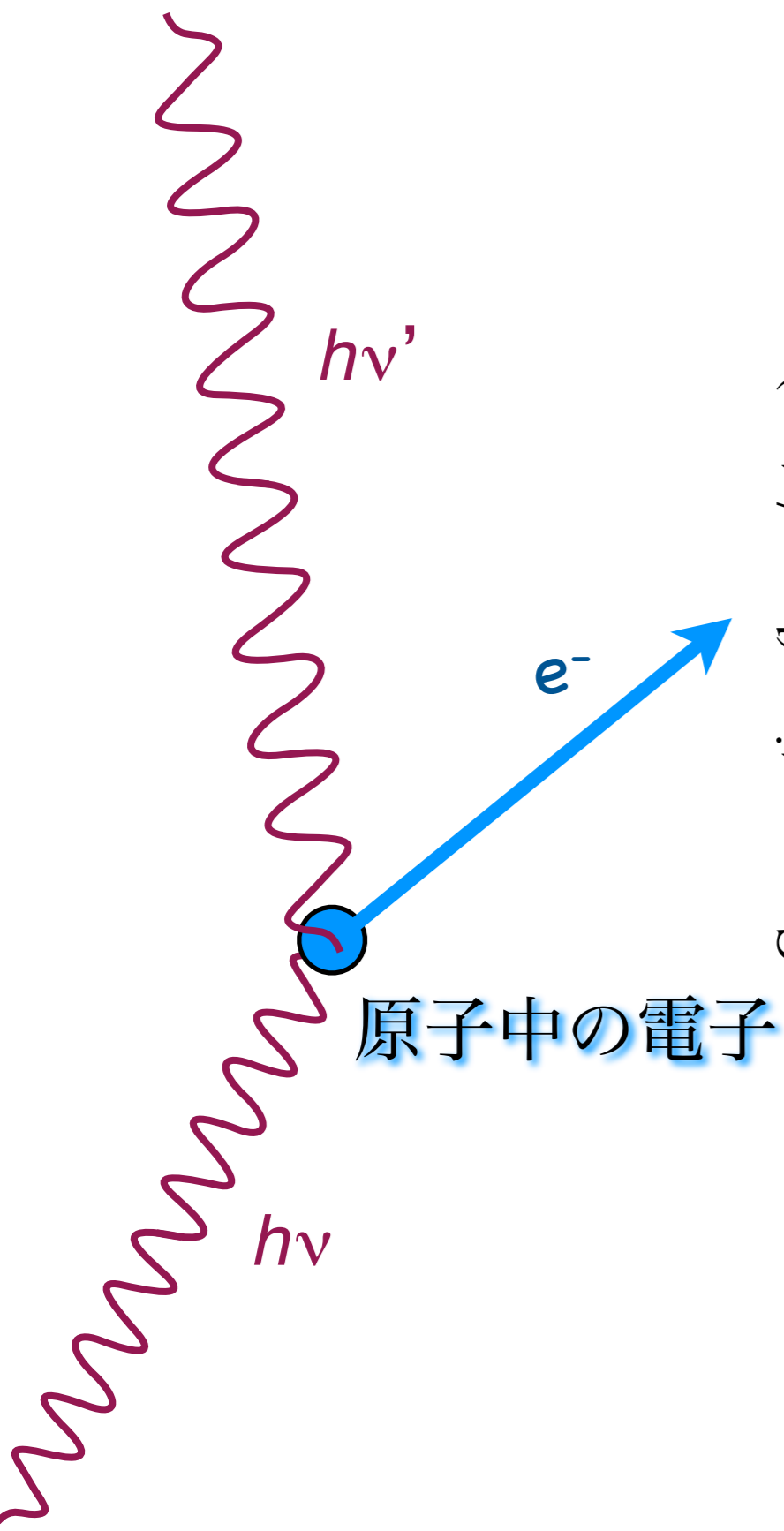
紫外線

X線

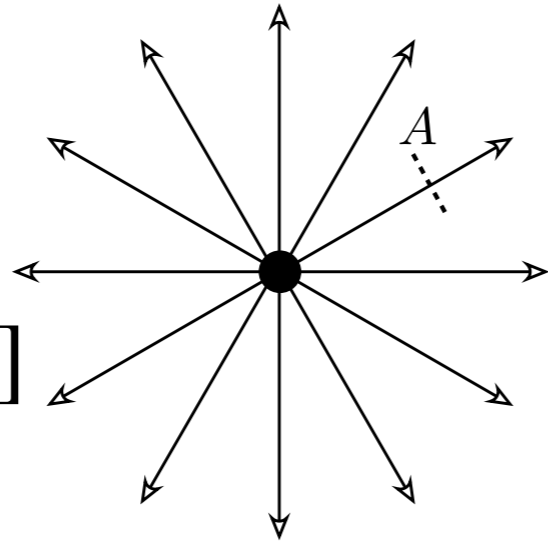
線

γ線

線



P : 放射能 [Bq]

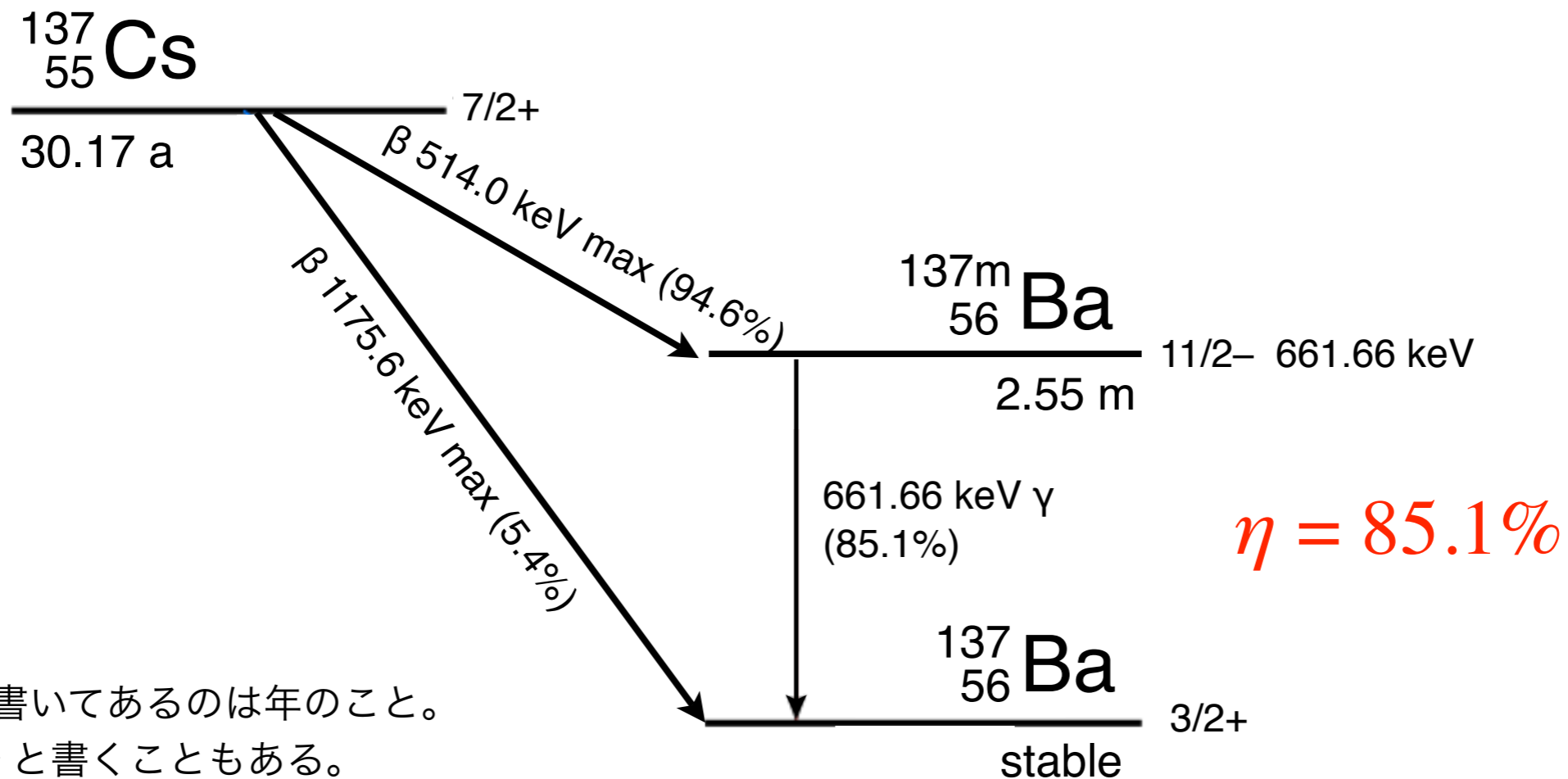


\dot{H} : 等価線量率 [Sv/s]

$$\dot{H} = h\nu (\mu_{\text{en}}/\rho) \dot{\Phi}$$

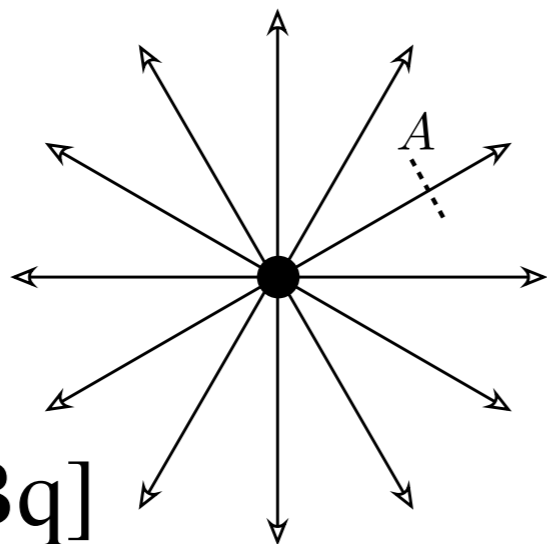
$$\dot{\Phi} = \frac{e^{-\mu_{\text{air}} r} \eta P}{4\pi r^2}$$

図 5: 中央に放射線源があり、全方向に均等にガンマ線を出している。距離 r 離れた場所での微小面 A を通過する流束を考えると、その場所での吸収線量率がわかる。



半減期で a と書いてあるのは年のこと。
y とか yr と書くこともある。

点線源



$\dot{\Phi}$: 粒子フルエンス率

$$\dot{\Phi} = \frac{e^{-\mu_{\text{air}} r} \eta P}{4\pi r^2}$$

$$\eta = 0.851$$

γ 線の放出率

P : 放射能 [Bq]

$\mu_{\text{air}} = 0.0100 \text{ m}^{-1}$ 空気の線減衰定数

\dot{H} : 等価線量率 [Sv/s]

^{137}Cs γ 線は空气中 70 m で半減する。

$$\dot{H}/\dot{\Phi} = h\nu (\mu_{\text{en}}/\rho) = 3.5 \times 10^{-16} \text{ Sv m}^2$$

$(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{water}} = 0.033 \text{ (g/cm}^2\text{)}^{-1}$
水の質量エネルギー吸収係数

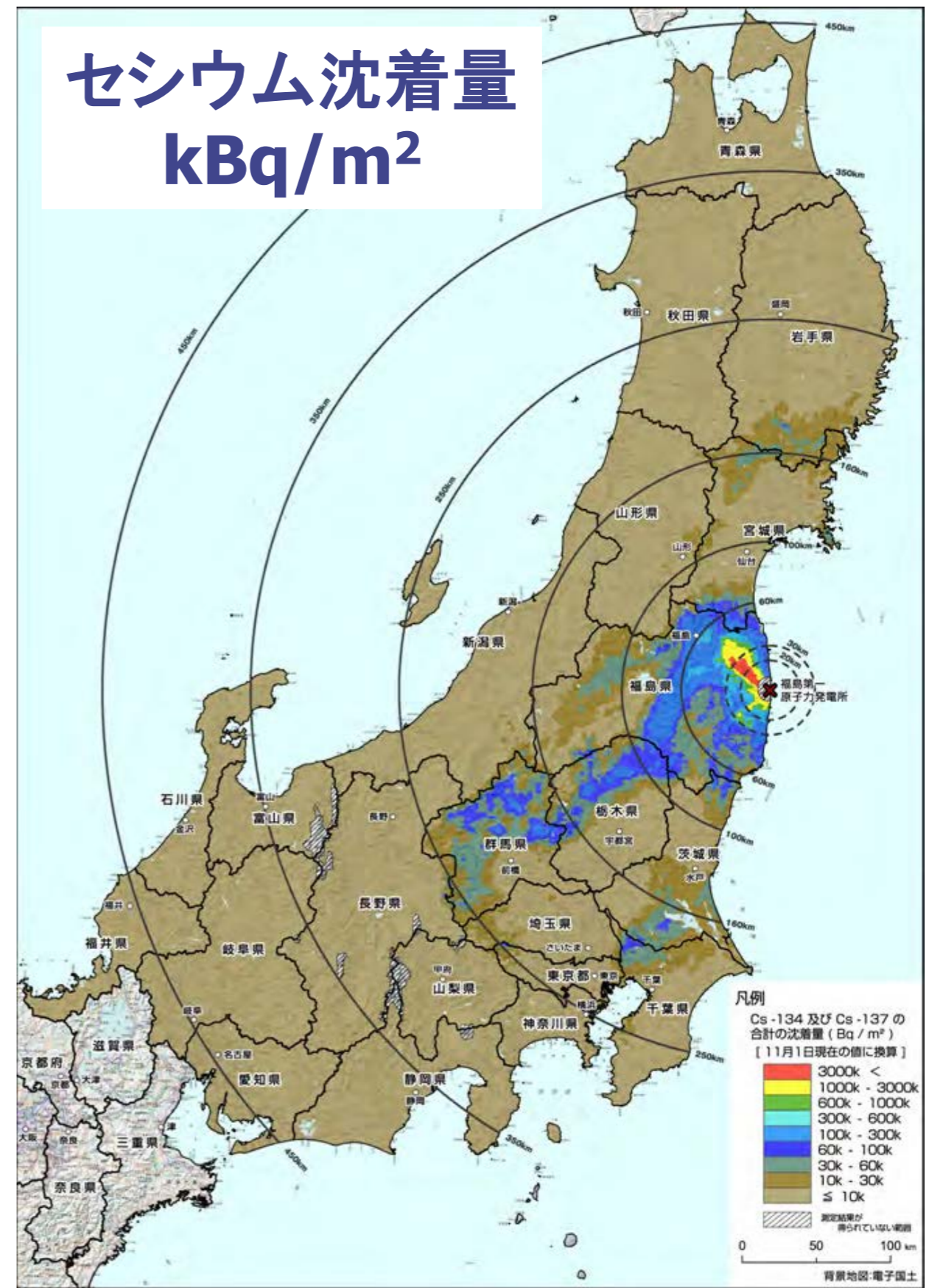
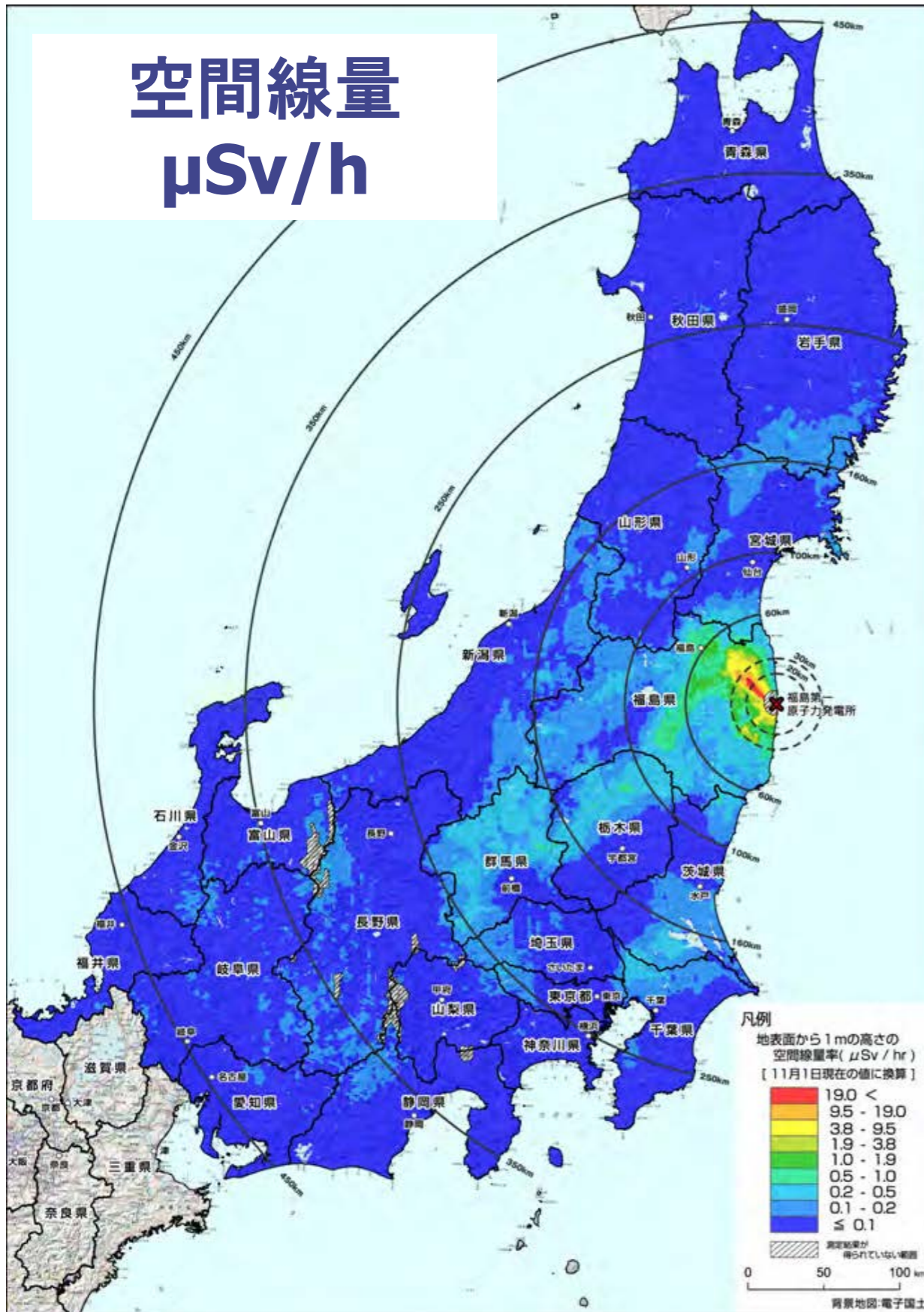
平面が一様に放射性物質で汚染されている場合

^{137}Cs : 2.1 ($\mu\text{Sv/h}$) / (MBq/m^2) IAEA による値

高さ 1 m でも 50 cm でもさして違くない

遮るものがない平地の場合、半径 10 m だけ除染しても線量は半分も減らない。半径 100 m からの寄与が効く。

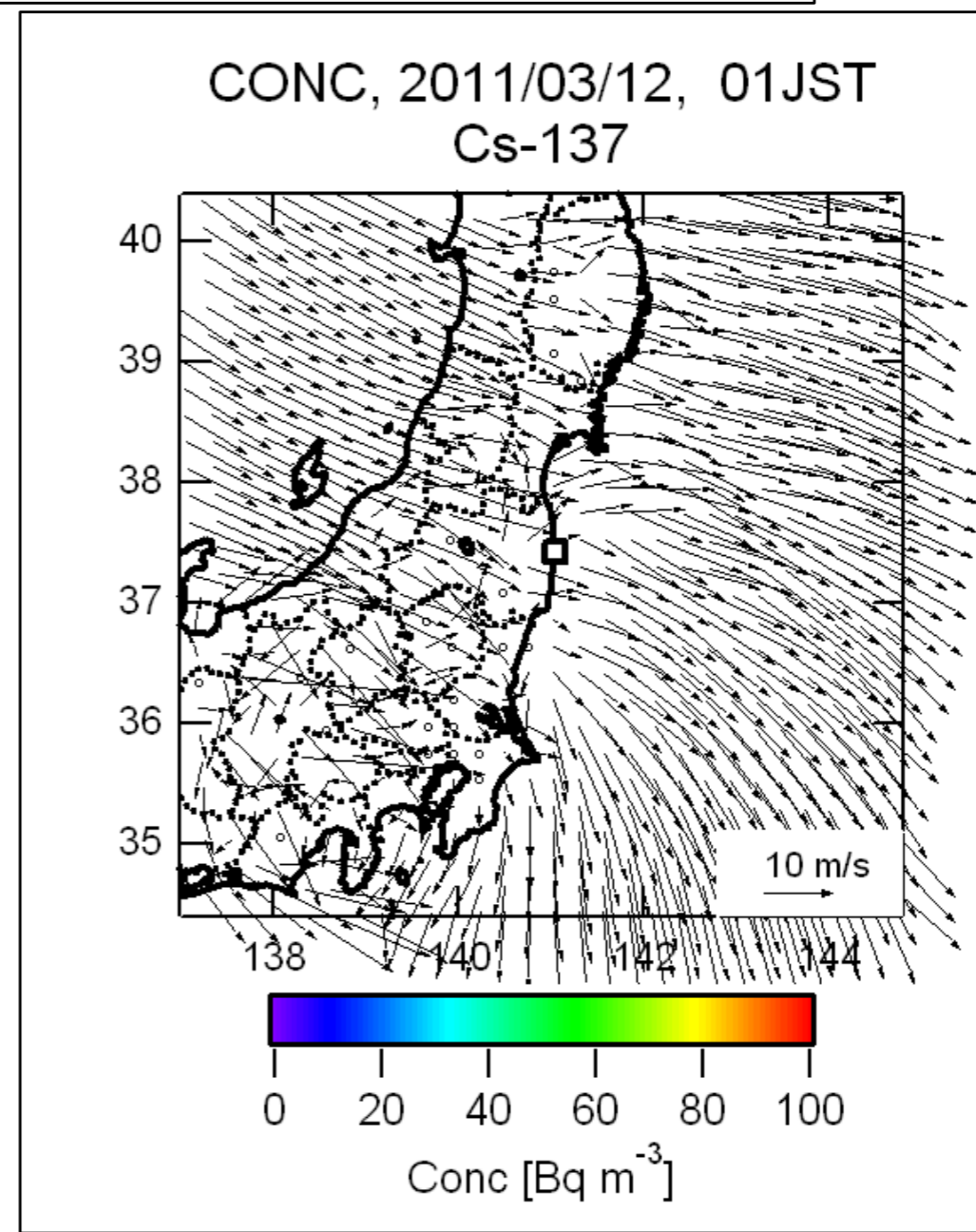
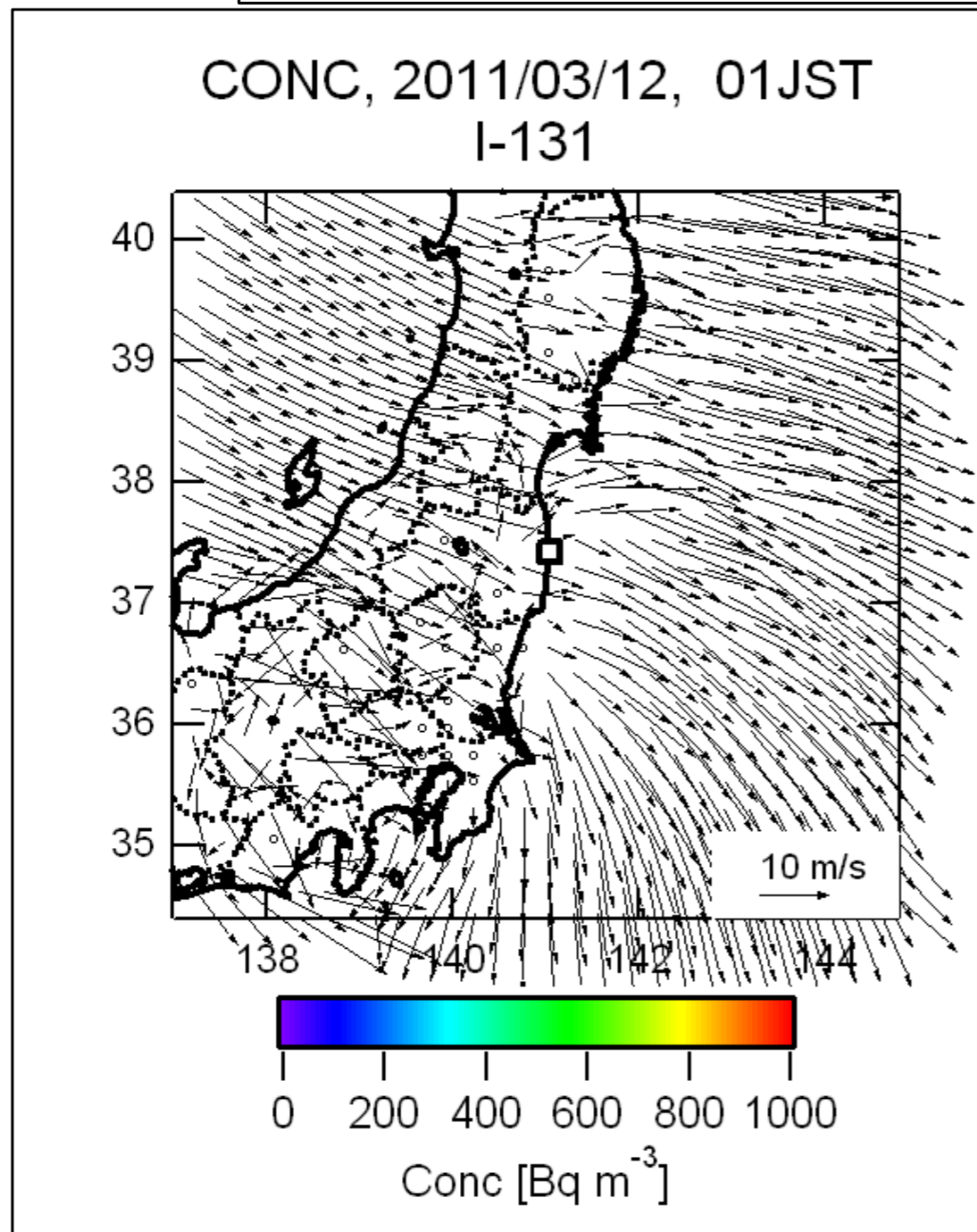
文部科学省の航空機モニタリングによる広域汚染マップ



環境放射化学

拡散シミュレーションと実際に観測された放射能の差違

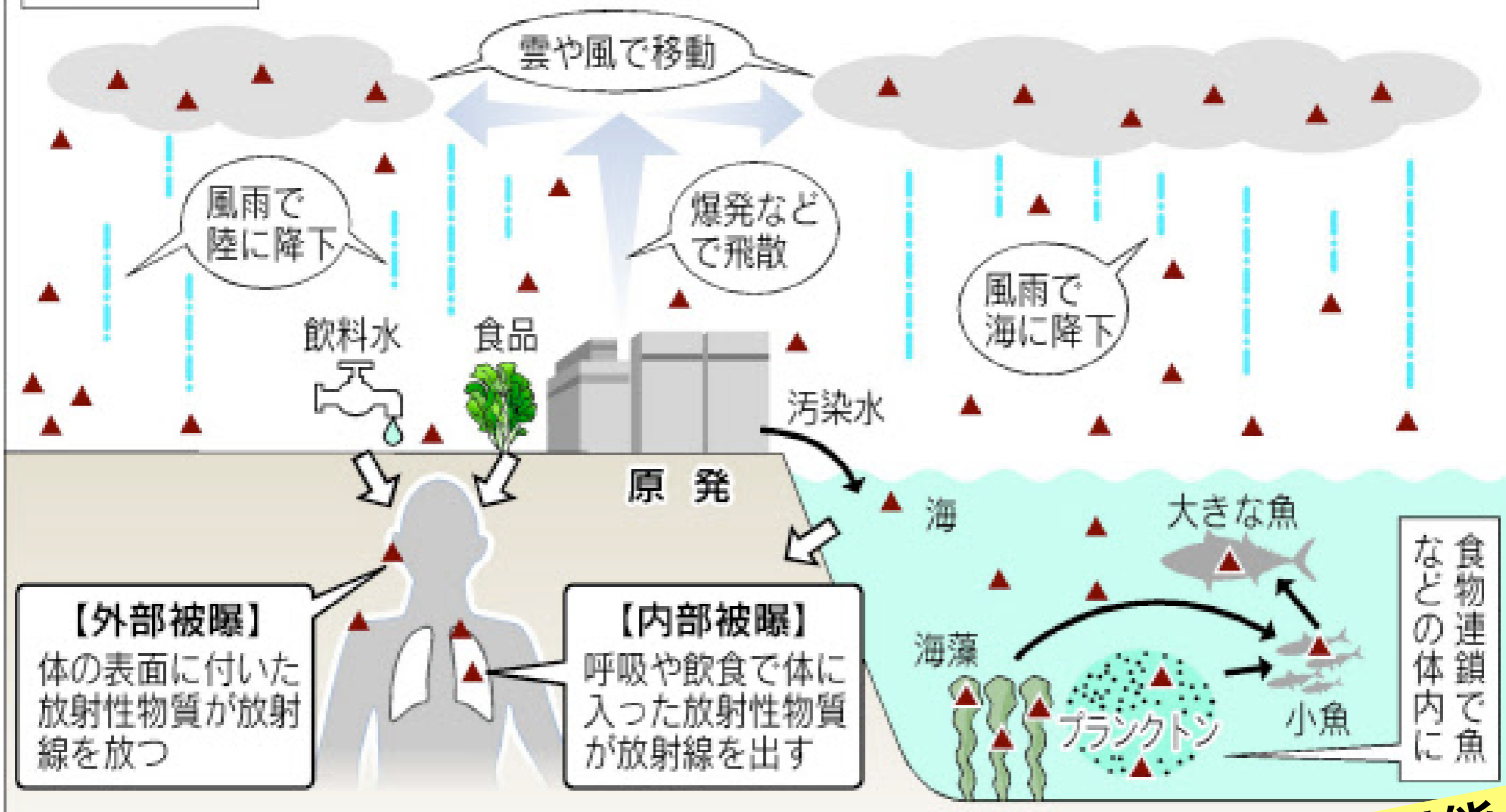
2011年8月25日付 国立環境研究所 報道発表資料



▶ 実測値との差違を議論したい

▲ 放射性物質

原発の放射性物質が及ぼす影響 (イメージ)



放射性物質が一部東京まで飛来。
放射線が直接東京に届いたのではない

放射性物質、放射能と
放射線を混同しない

原発北西方向の汚染と「ホットスポット」

福島第一原発から漏れた放射能の広がり
Radiation contour map
of the Fukushima Daiichi accident

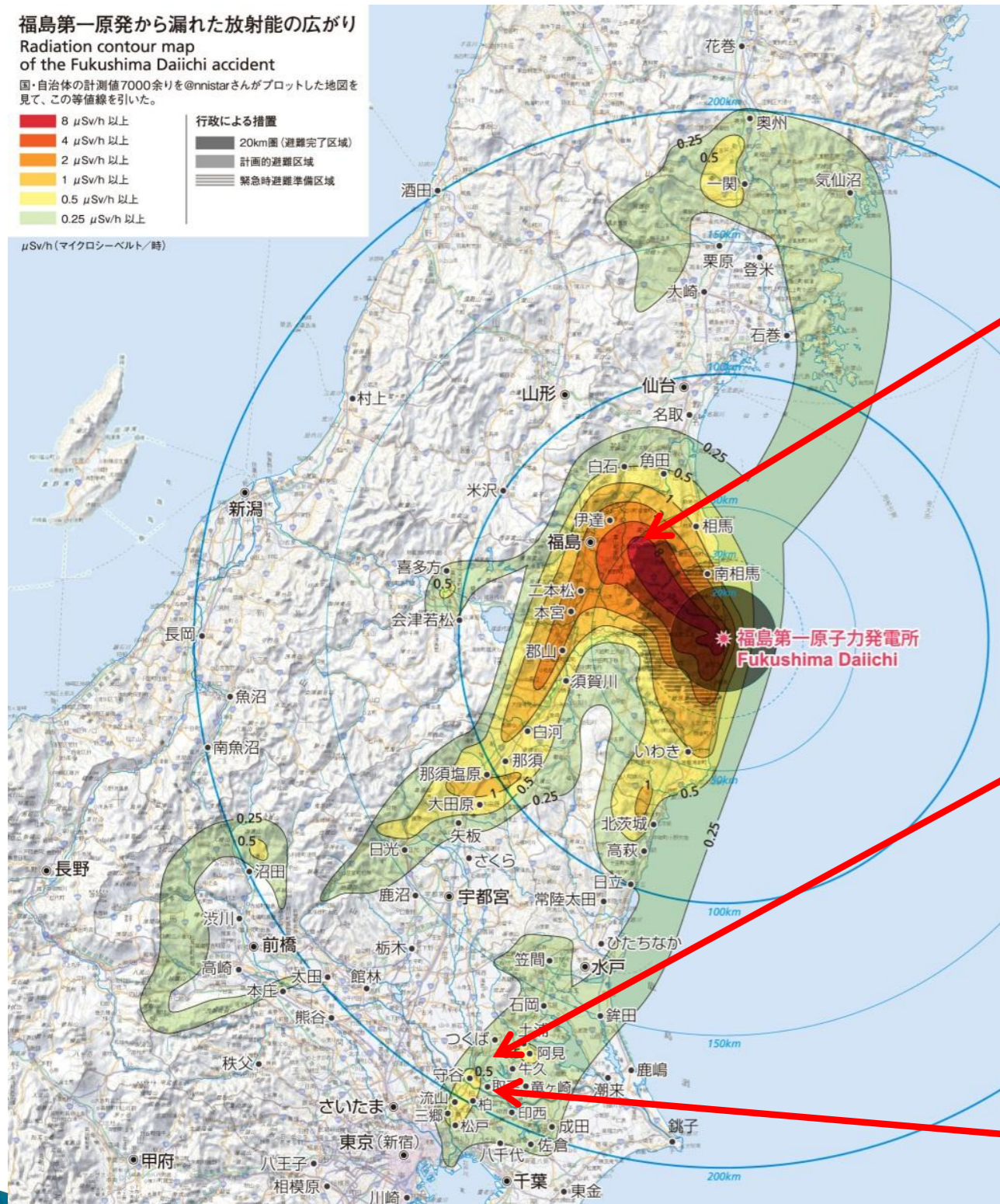
国・自治体の計測値7000余りを@nnistarさんがプロットした地図を見て、この等値線を引いた。

- 8 $\mu\text{Sv/h}$ 以上
- 4 $\mu\text{Sv/h}$ 以上
- 2 $\mu\text{Sv/h}$ 以上
- 1 $\mu\text{Sv/h}$ 以上
- 0.5 $\mu\text{Sv/h}$ 以上
- 0.25 $\mu\text{Sv/h}$ 以上

行政による措置

- 20km圏 (避難完了区域)
- 計画的避難区域
- 緊急時避難準備区域

$\mu\text{Sv/h}$ (マイクロシーベルト/時)



早川由紀夫教授(群馬大学)作成、7月26日版

三訂版7月26日(初版4月21日)
等値線作成: 早川由紀夫(群馬大学) (kipuka.blog70.fc2.com/
@nnistarさんの地図 (www.nnistar.com/gmap/fukushima.html)
Contour lines drawn by Yukio Hayakawa (Gunma Univ.),
Source: @nnistar
地図製図: 萩原佐知子
背景地図には電子国土ポータル(portal.cyberjapan.jp)の地図を使用しました。

原発北西方向の汚染と「ホットスポット」



放射線防護服は
何を防ぐ？



早川由紀夫教授(群馬大学)作成、7月26日版



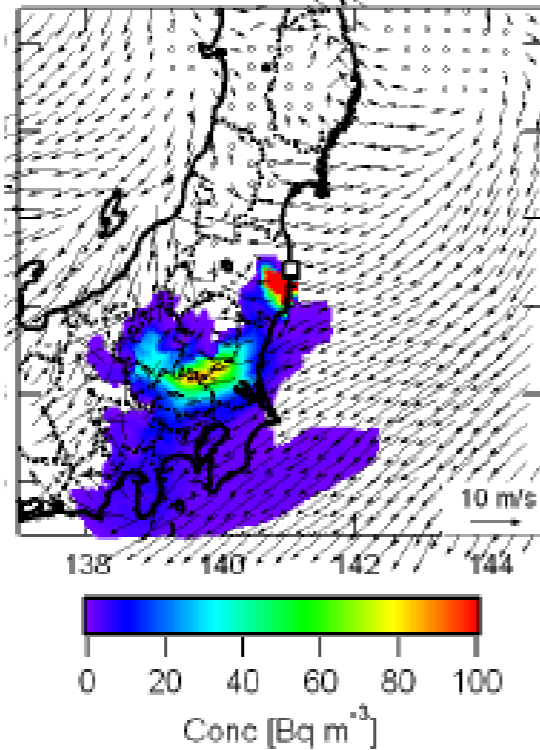
三訂版7月26日(初版4月21日)
等値線作成: 早川由紀夫(群馬大学) (kipuka.blog70.fc2.com/)
@nnistarさんの地図 (www.nnistar.com/gmap/fukushima.html)
Contour lines drawn by Yukio Hayakawa (Gunma Univ.),
Source: @nnistar
地図製図: 萩原佐知子
背景地図には電子国土ポータル (portal.cyberjapan.jp) の地図を使用しました。



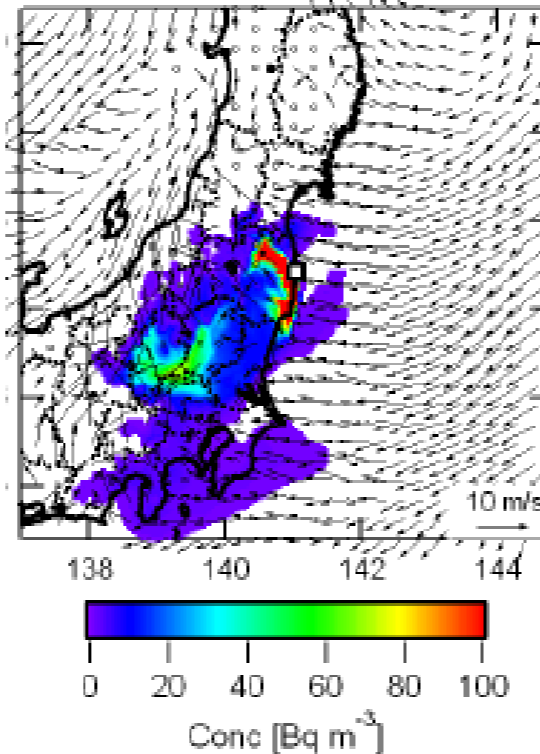
ホットスポットの生成メカニズム

大気濃度

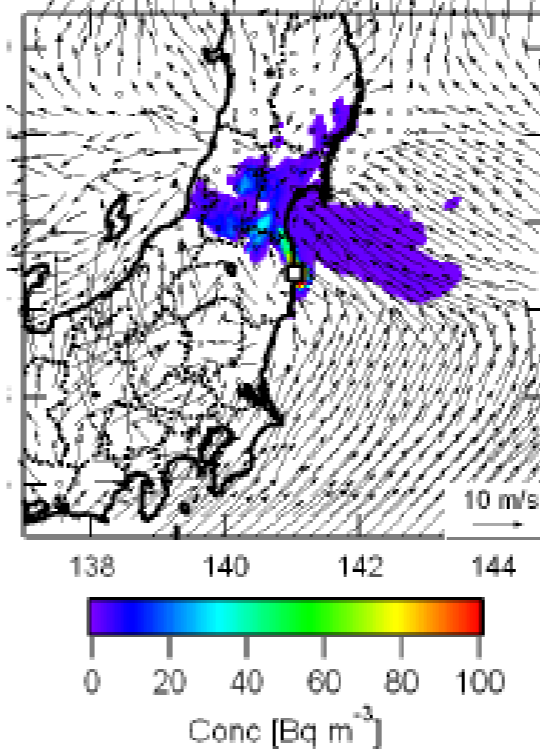
3/15の15時



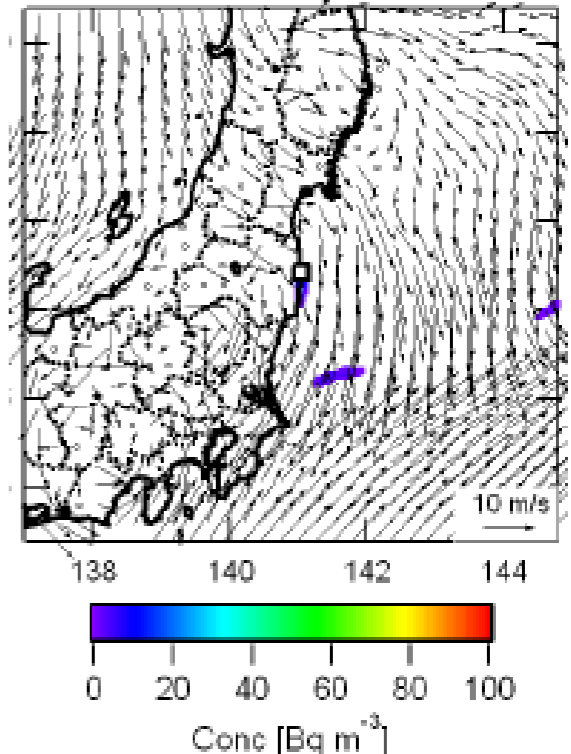
3/15の19時



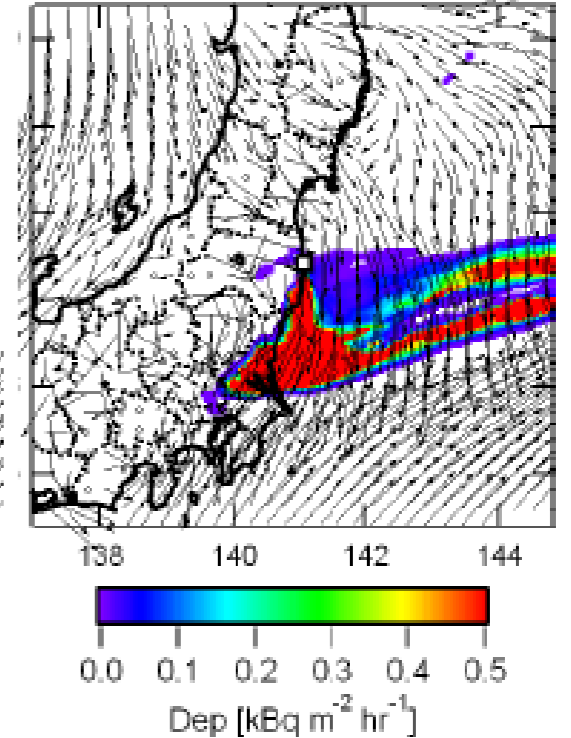
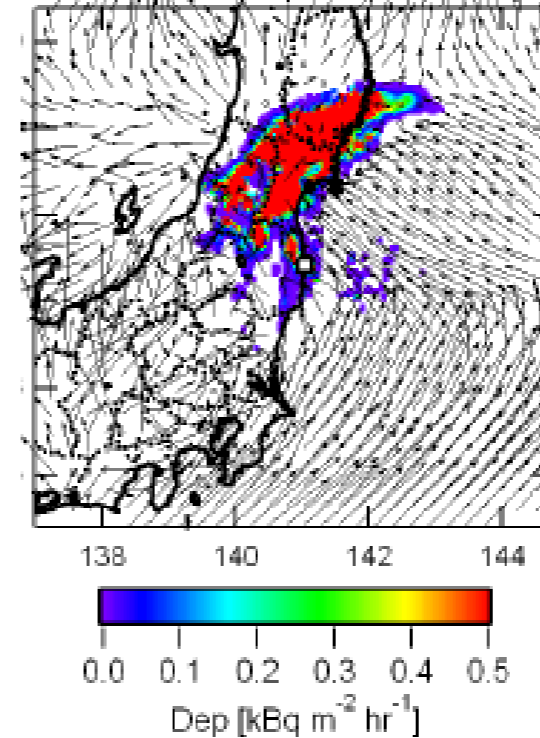
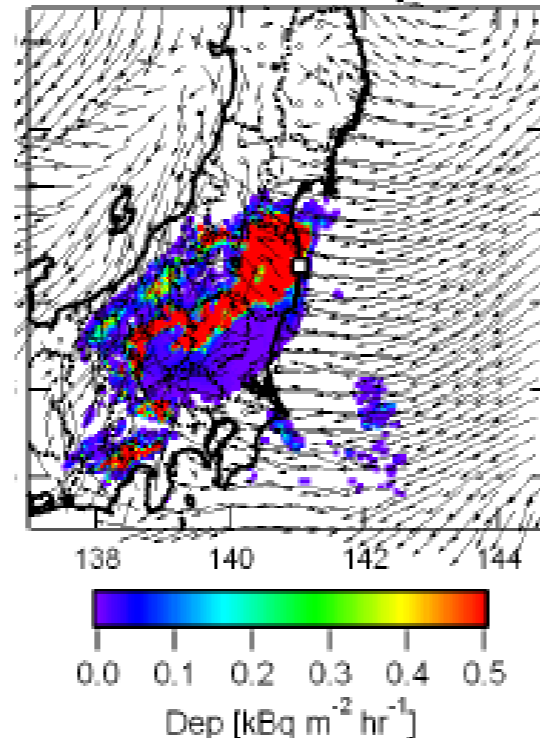
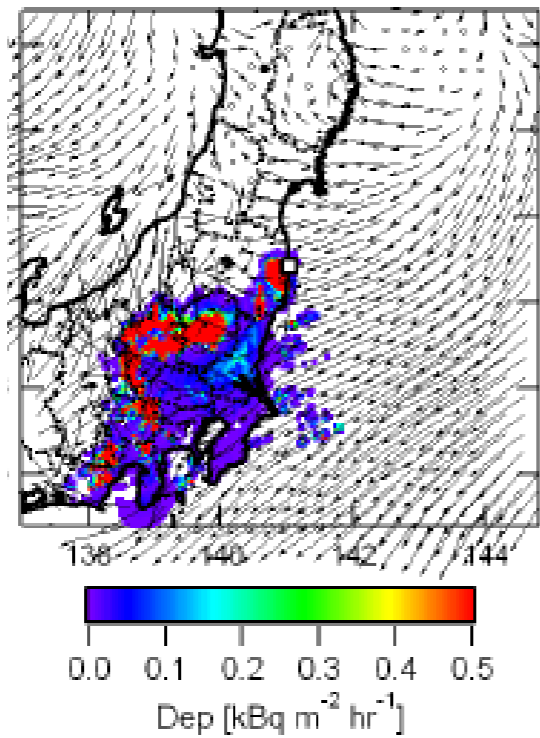
3/20の18時



3/21の8時



降下量



関東への最初の影響

福島 of 深刻な汚染、
北関東の汚染

宮城県北部の稲藁汚染

水道水汚染、千葉北西部
のホットスポット

原発周辺で観測された核種

^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , $^{110\text{m}}\text{Ag}$,
 ^{132}Te , ^{132}I , ^{140}Ba , ^{140}La ,
 ^{89}Sr , ^{89}Y , ^{95}Zr , ^{95}Nb ,
 ^{239}Np , ^{59}Fe

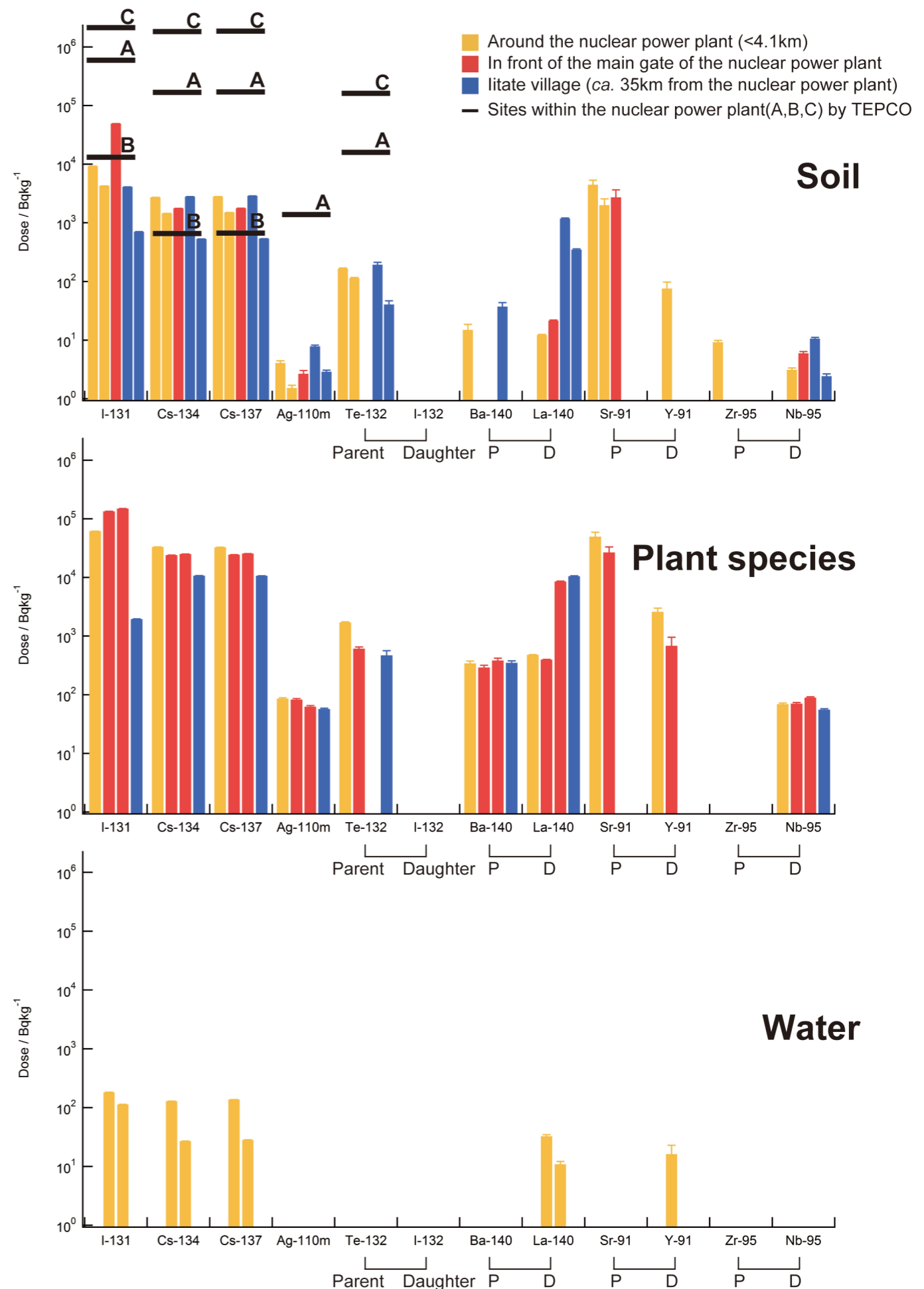
Shozugawa et al., 2012

^{125}Sb , $^{127\text{m}}\text{Te}$, $^{129\text{m}}\text{Te}$,
 ^{136}Cs , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{54}Mn ,
 ^{58}Co , ^{60}Co , $^{114\text{m}}\text{In}$

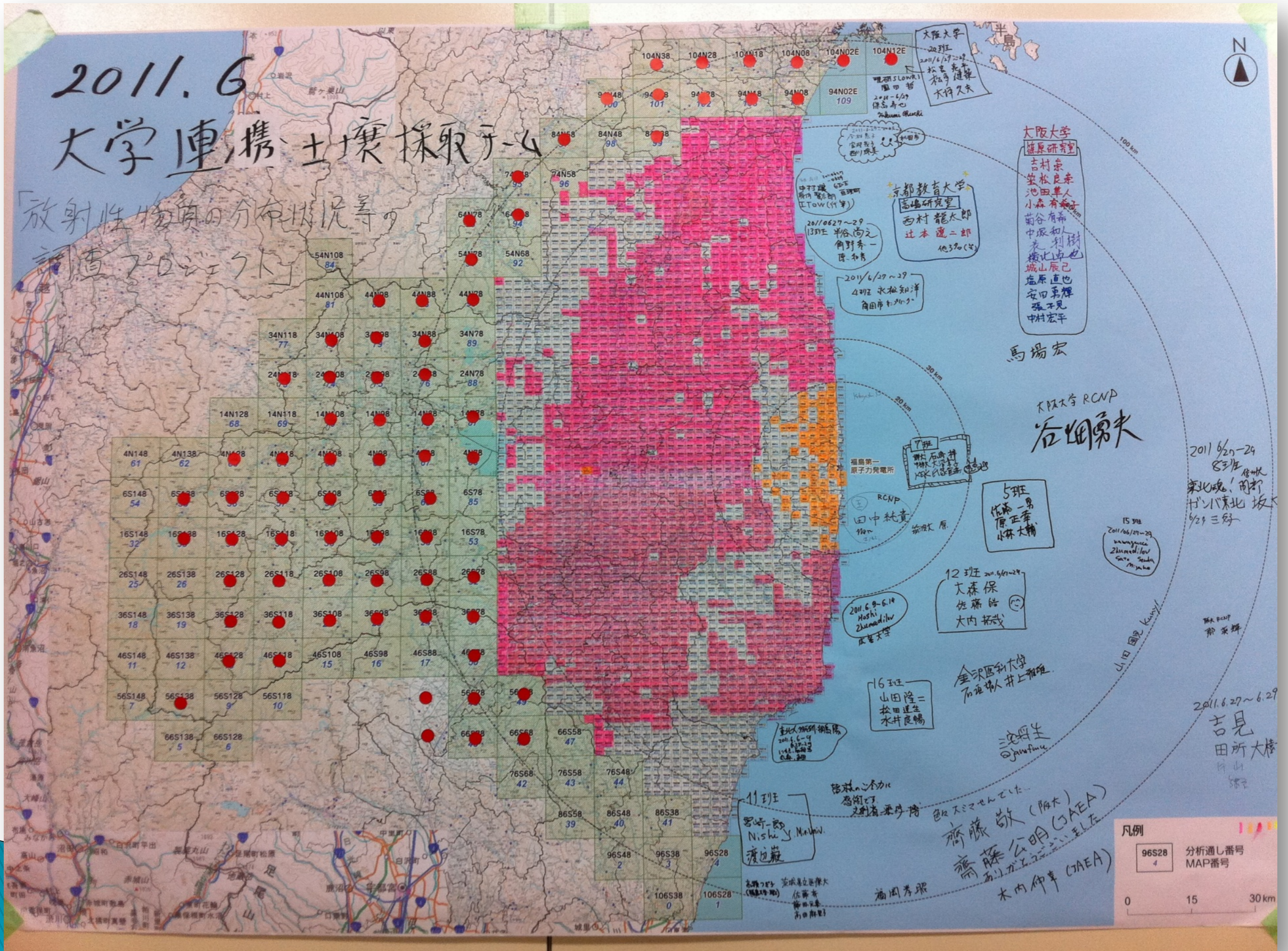
小島ら, 2011,2012

^{241}Pu

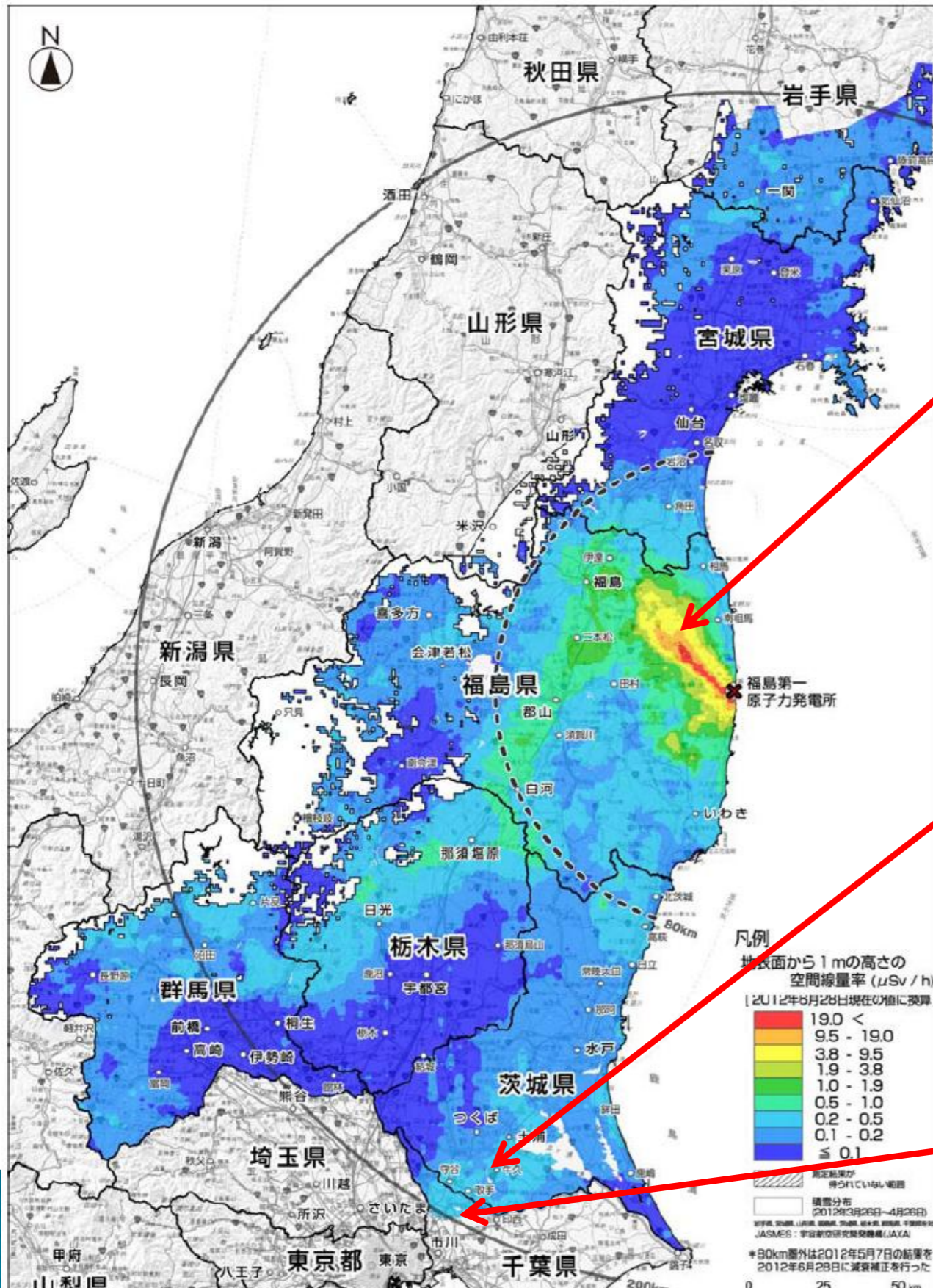
Zheng et al, 2012



文科省主催の土壌採取プロジェクト(2011年6月)



原発北西方向の汚染と「ホットスポット」



福島県 飯舘村



茨城県 守谷市



千葉県 柏市

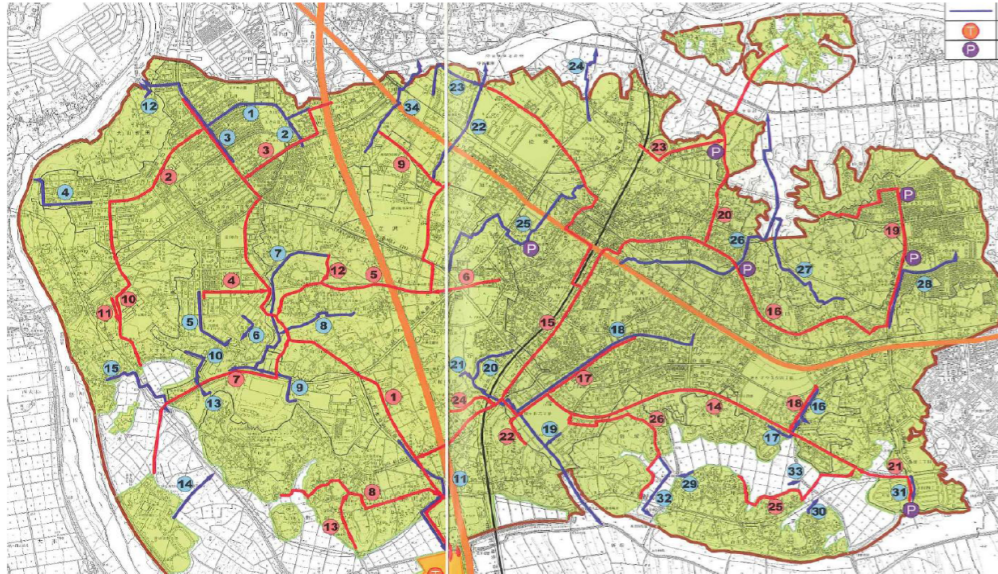
①第5次航空機モニタリングの測定結果、及び②福島第一原子力発電所から80km圏外の航空機モニタリングの測定結果について(文部科学省, 平成24年9月28日)

濃縮の顕著な例 - 茨城県守谷市

放射性物質の都市濃縮

守谷市雨水・下水幹線

市役所作成のパンフレットから転載



都市部に降った雨水は地下雨水幹線を通じて周辺部の河川・遊水池・水路に放出される。
【北守谷雨水幹線】
青色1, 2, 3, 12: 新守谷一鬼怒川ルート、5, 6: 北守谷野球場ルート
【南守谷雨水幹線】
青色26: 守谷郵便局ルート、27: 愛宕中学校ルートの合流先、16, 17: 南守谷野球場ルート、18-21: 松ヶ丘ルート

公園は雨天時の調整池として活用



雨天時



住宅地からの雨水の処理



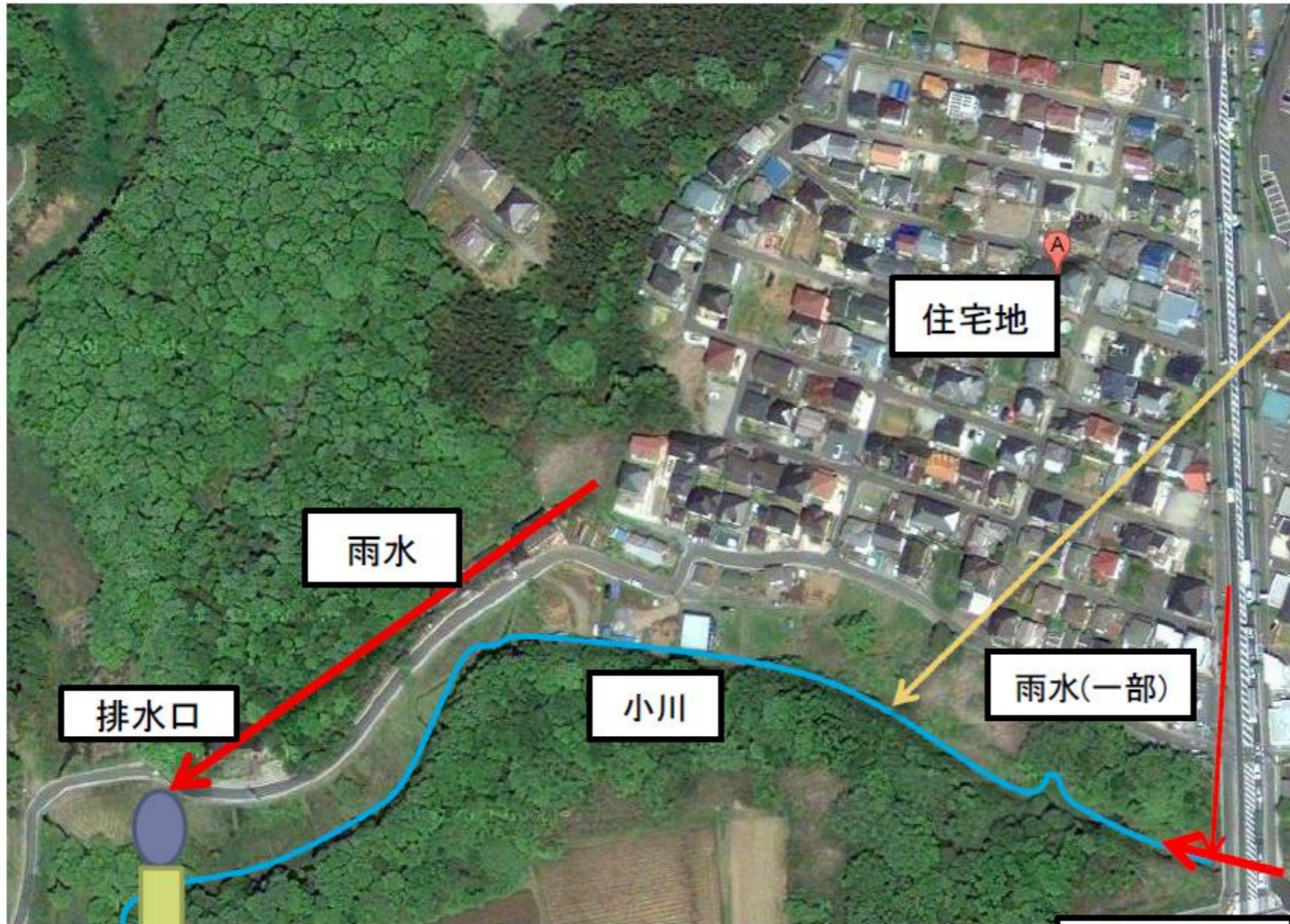
ホットスポット・ホットエリアの形成

これまでに測定してきた守谷市内の地点 (東大教養：放射化学：小豆川氏)
市役所周辺(大柏)・プロムナード水路・城址公園・愛宕中裏手・郵便局・松ヶ丘・五反田川・みずき野・けやき台公園など...

住宅地からの雨水の集積

都市部での放射性物質の濃縮

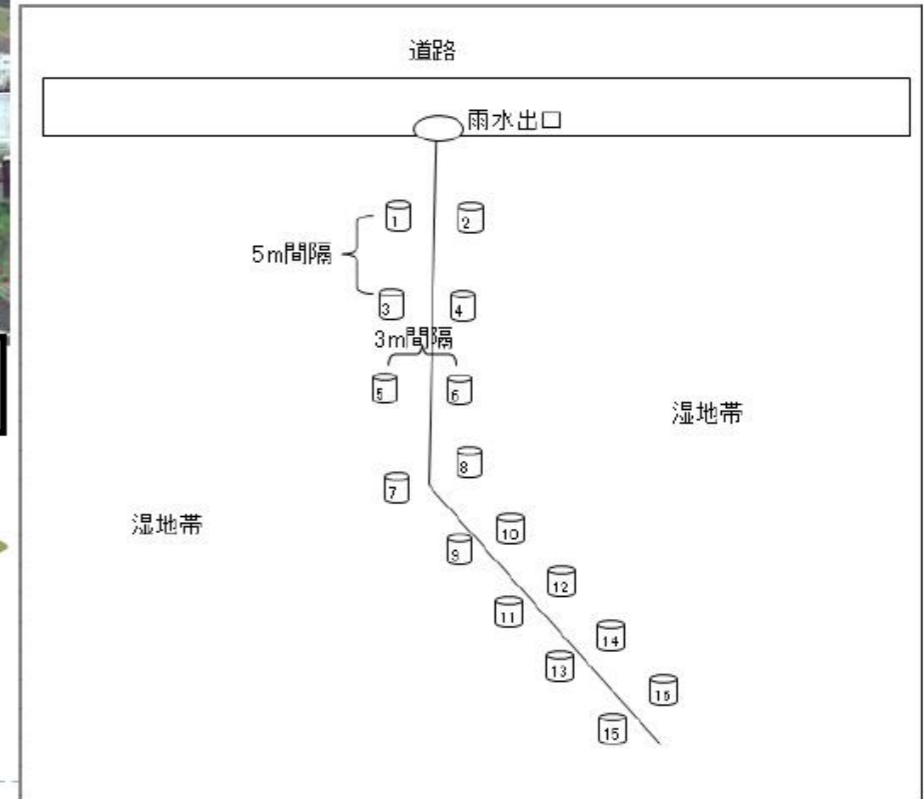
1. 里山湿地帯 調査場所



③ 湿地帯の奥を流れる小川沿いの放射線量率を測定



- ① 排水口の真上で放射線量率を測定
- ② 排水口先の湿地内で、水路の溝に沿って等間隔に杭を打ち、一帯の放射線量率を測定



除染

Cs 元素：土壤表層

土壤の引き剥がし、天地返し

拭き取り、高圧洗浄

吸着剤（ゼオライト・プルシアンブルー・粃殻・稻藁）

除染物の保管

焼却処分