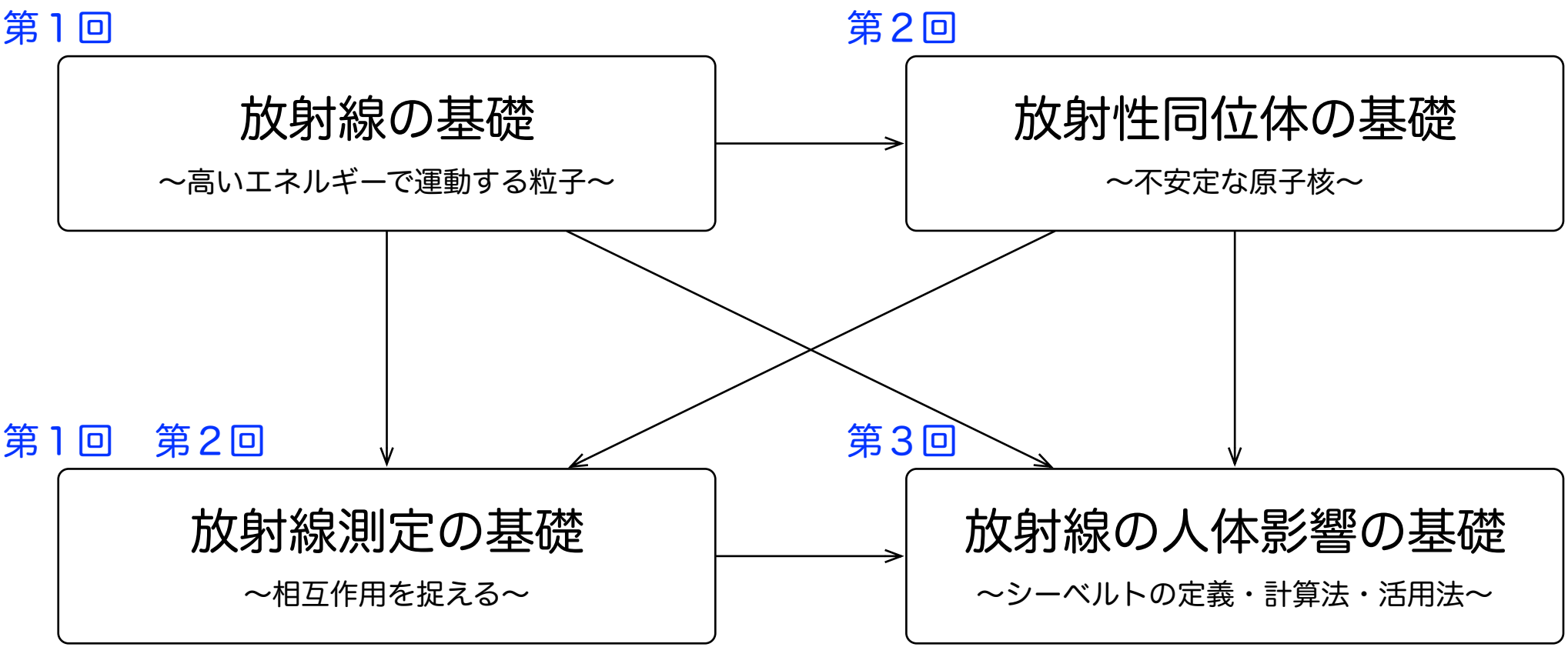
放射線の人体影響の基礎

東京大学大学院 農学生命科学研究科
アイソトープ農学教育研究施設/生産・環境生物学専攻
農地環境放射線学研究室
特任講師　廣瀬 農

講義の流れ


第１回
放射線の基礎
～高いエネルギーで運動する粒子～
第２回
放射性同位体の基礎
～不安定な原子核～
第１回　第２回
放射線測定の基礎
～相互作用を捉える～
第３回
放射線の人体影響の基礎
～シーベルトの定義・計算法・活用法～

今日の講義の概要

-1）前回講義の補足

Q&Aについて

「壊変図式」の紹介

γ線スペクトルからの核種検索

連立方程式による混合スペクトル解析

ここまでの要点確認

0）原子力発電と核燃料サイクル

1）放射線の人体影響の基礎

放射線の人体影響メカニズム

シーベルトの概要

シーベルトの算出法

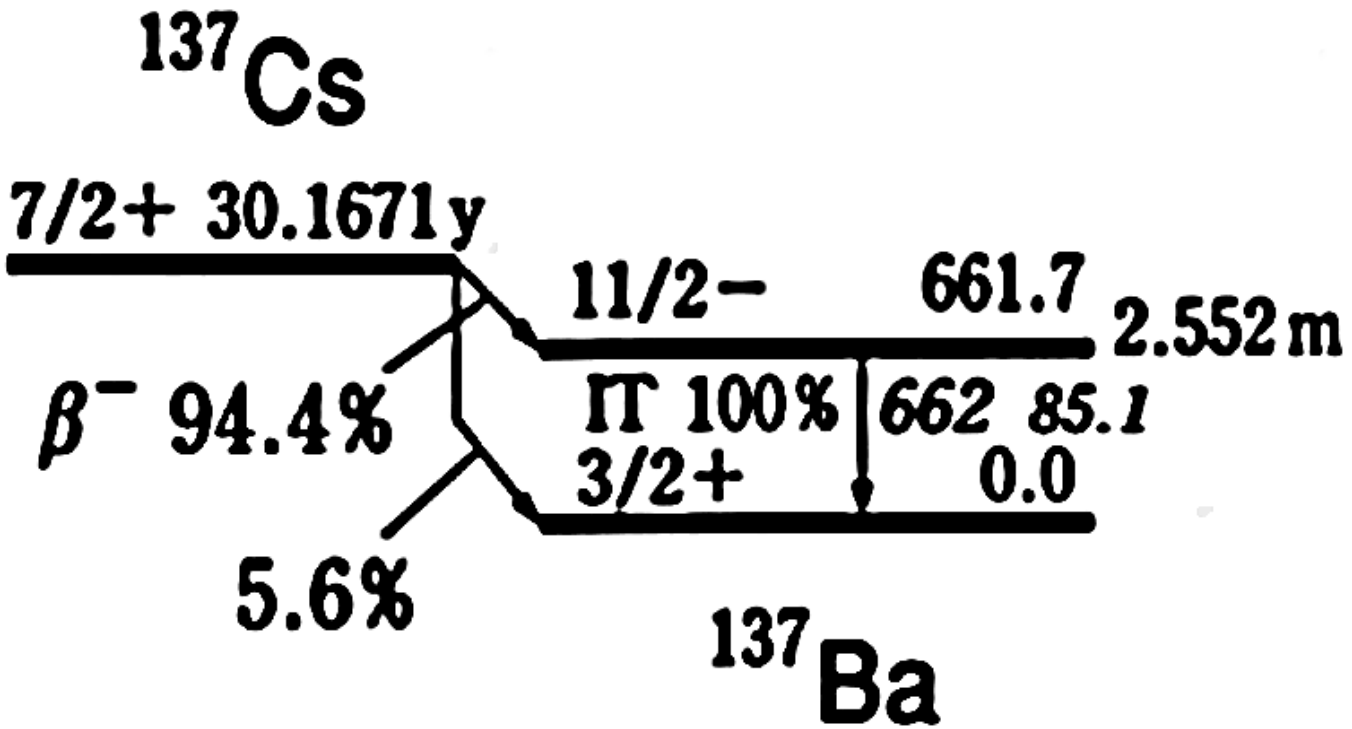
シーベルトとリスクの目安

トランスサイエンスという概念

壊変図式

例１：$^{137}Cs \rightarrow {}^{137}Ba$の$\beta$壊変

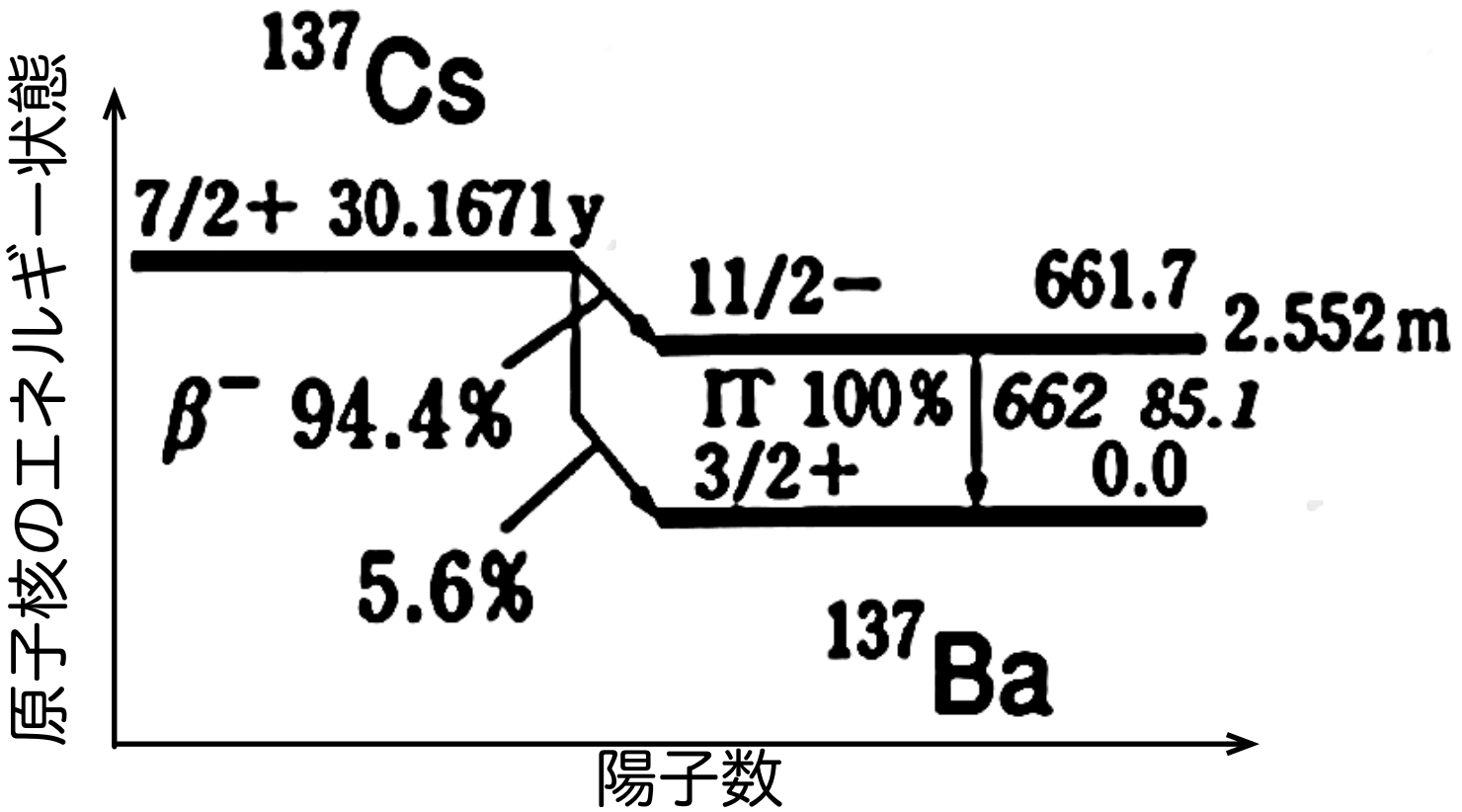
アイソトープ手帳 第11版より引用



壊変図式

例１：$^{137}Cs \rightarrow {}^{137}Ba$の$\beta$壊変

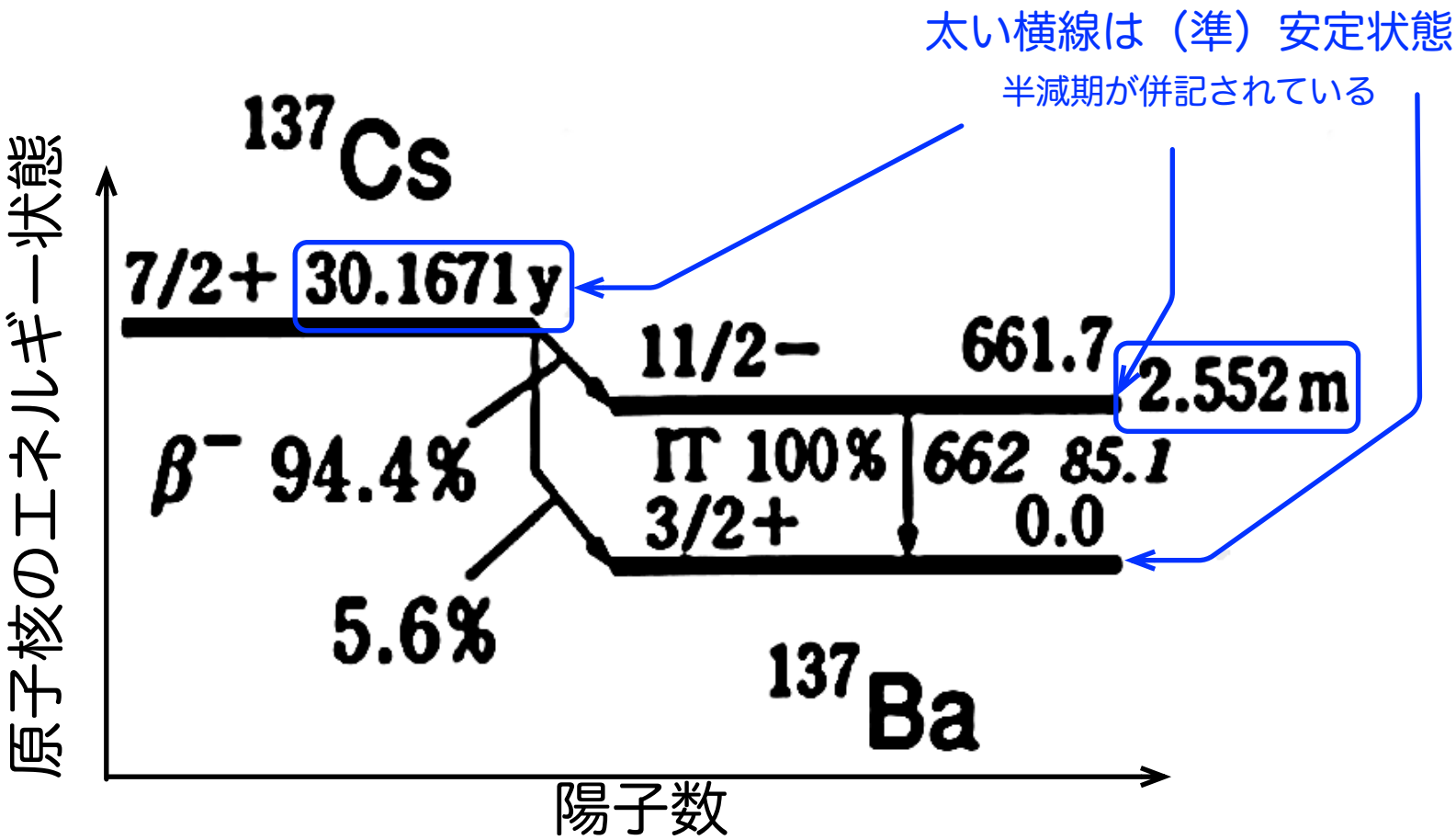
アイソトープ手帳 第11版より引用



壊変図式

例１：$^{137}Cs \rightarrow {}^{137}Ba$ の β 壊変

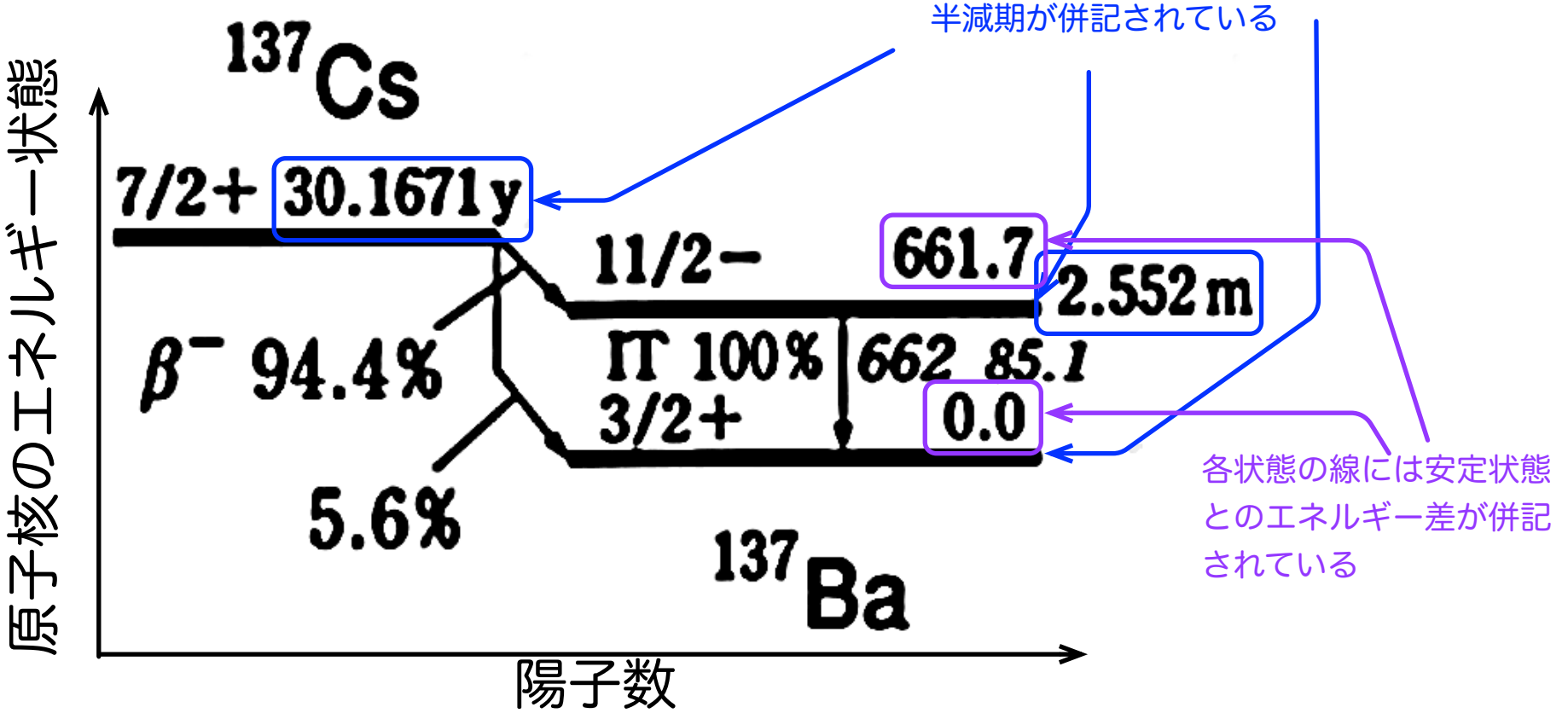
アイソトープ手帳 第11版より引用



壊変図式

例１：$^{137}Cs \rightarrow {}^{137}Ba$ の β 壊変

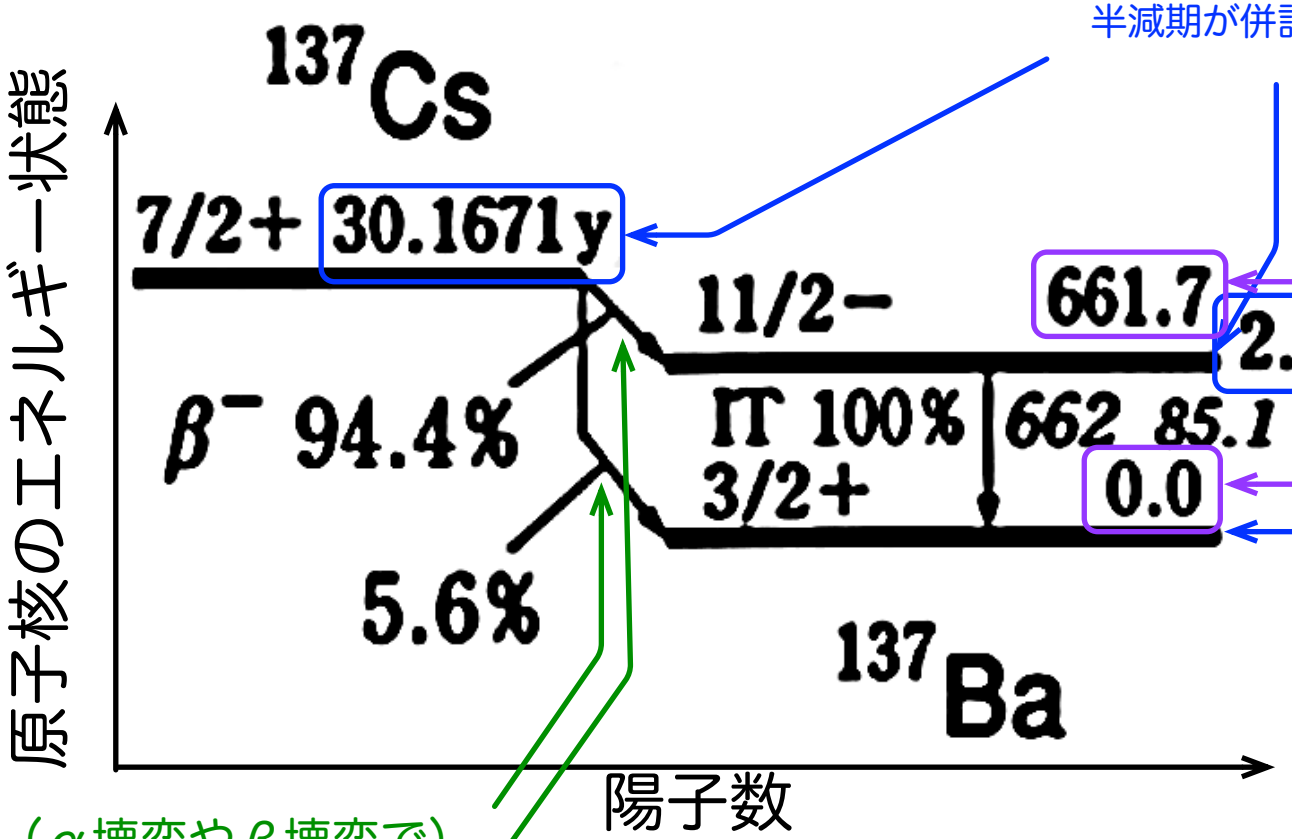
アイソトープ手帳 第11版より引用



壊変図式

例１：$^{137}Cs \rightarrow {}^{137}Ba$ の β 壊変

アイソトープ手帳 第11版より引用



太い横線は（準）安定状態

半減期が併記されている

各状態の線には安定状態とのエネルギー差が併記されている

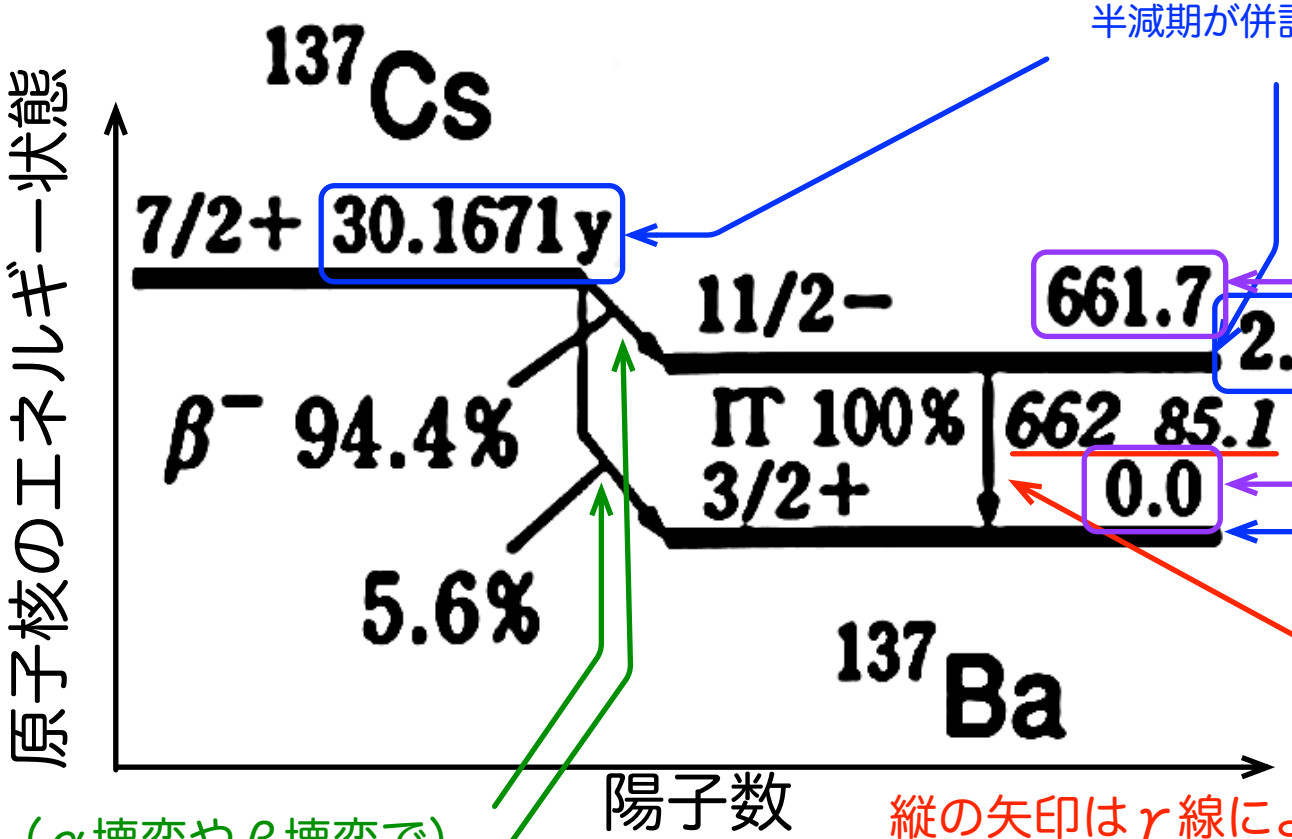
斜めの矢印は（α 壊変や β 壊変で）陽子数の変化とエネルギー放出が同時に起きていることを示している。

棒線の数字が発生確率。

壊変図式

例１：$^{137}Cs \rightarrow {}^{137}Ba$ の β 壊変

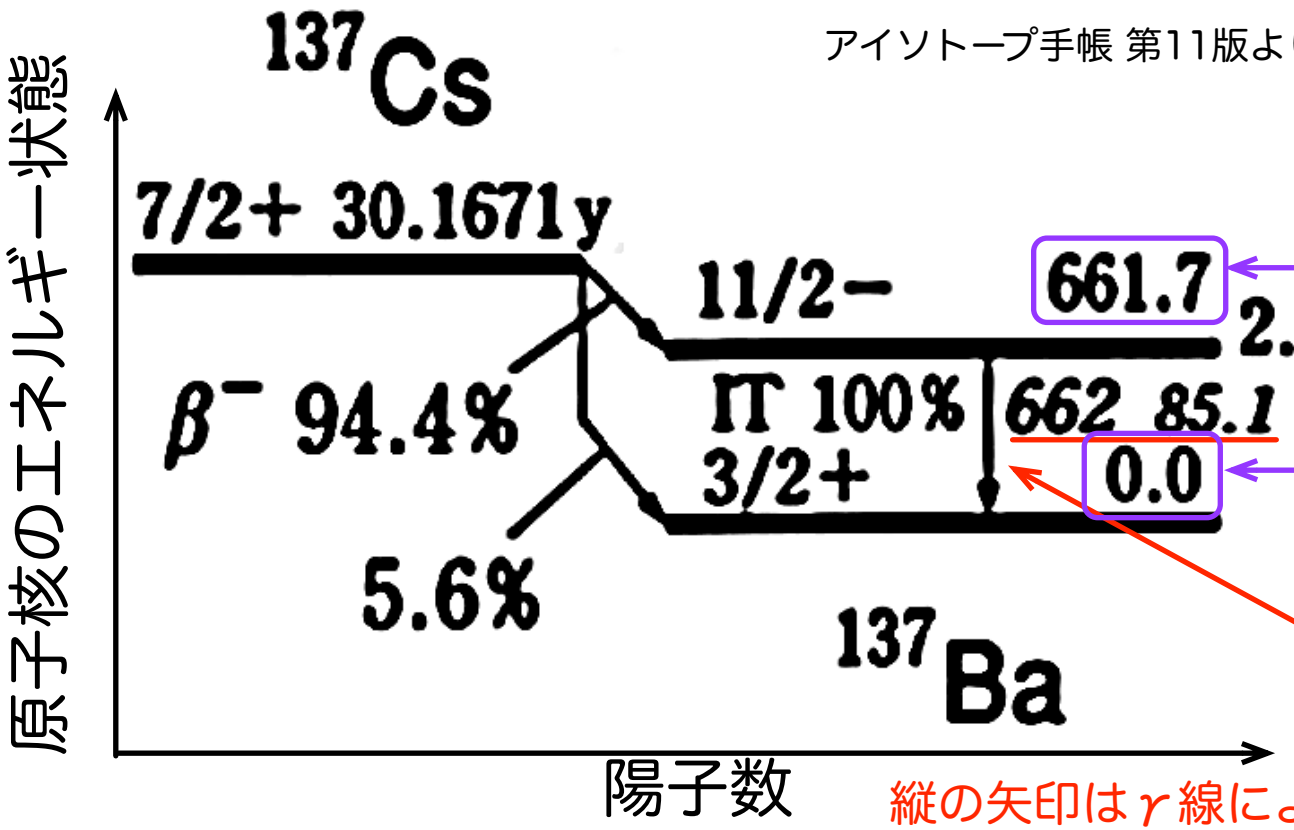
アイソトープ手帳 第11版より引用



斜めの矢印は（α 壊変や β 壊変で）陽子数の変化とエネルギー放出が同時に起きていることを示している。棒線の数字が発生確率。

縦の矢印は γ 線によるエネルギー放出を示している。斜体の大きい文字が γ 線のエネルギーで、小さい文字が１壊変あたりの発生確率（%）。100%ではないのは内部転換電子が発生しているため。

γ線スペクトロメトリー 補足1



アイソトープ手帳 第11版より引用

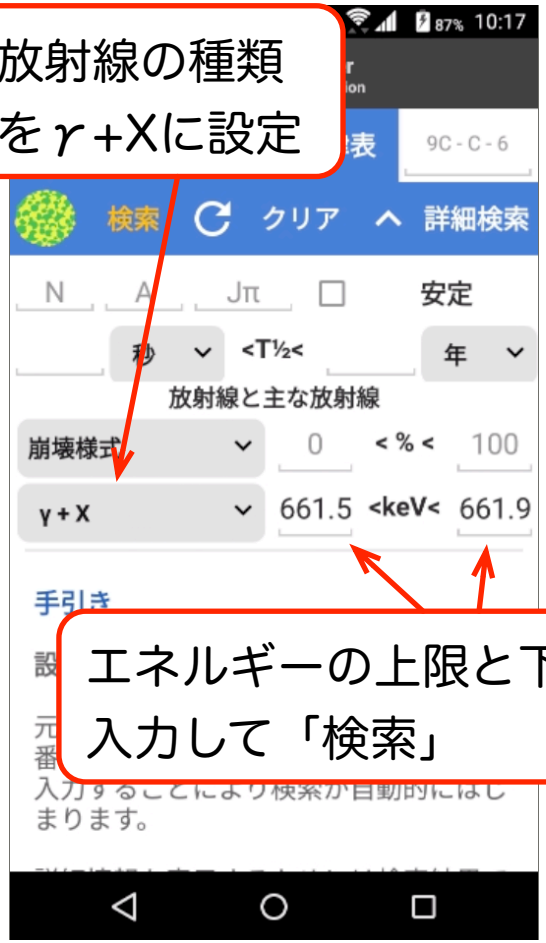
各状態の線には安定状態とのエネルギー差が併記されている

縦の矢印はγ線によるエネルギー放出を示している。斜体の大きい文字がγ線のエネルギーで、小さい文字が1壊変あたりの発生確率（%）。100%ではないのは内部転換電子が発生しているため。

Ge半導体検出器ならば、ピークのエネルギーから核種を検索できる
（例：Isotope Browser）

γ線スペクトロメトリー 補足1

Ge半導体検出器で661.7keVの光子線のピークが検出された場合…



エネルギーの上限と下限を入力して「検索」

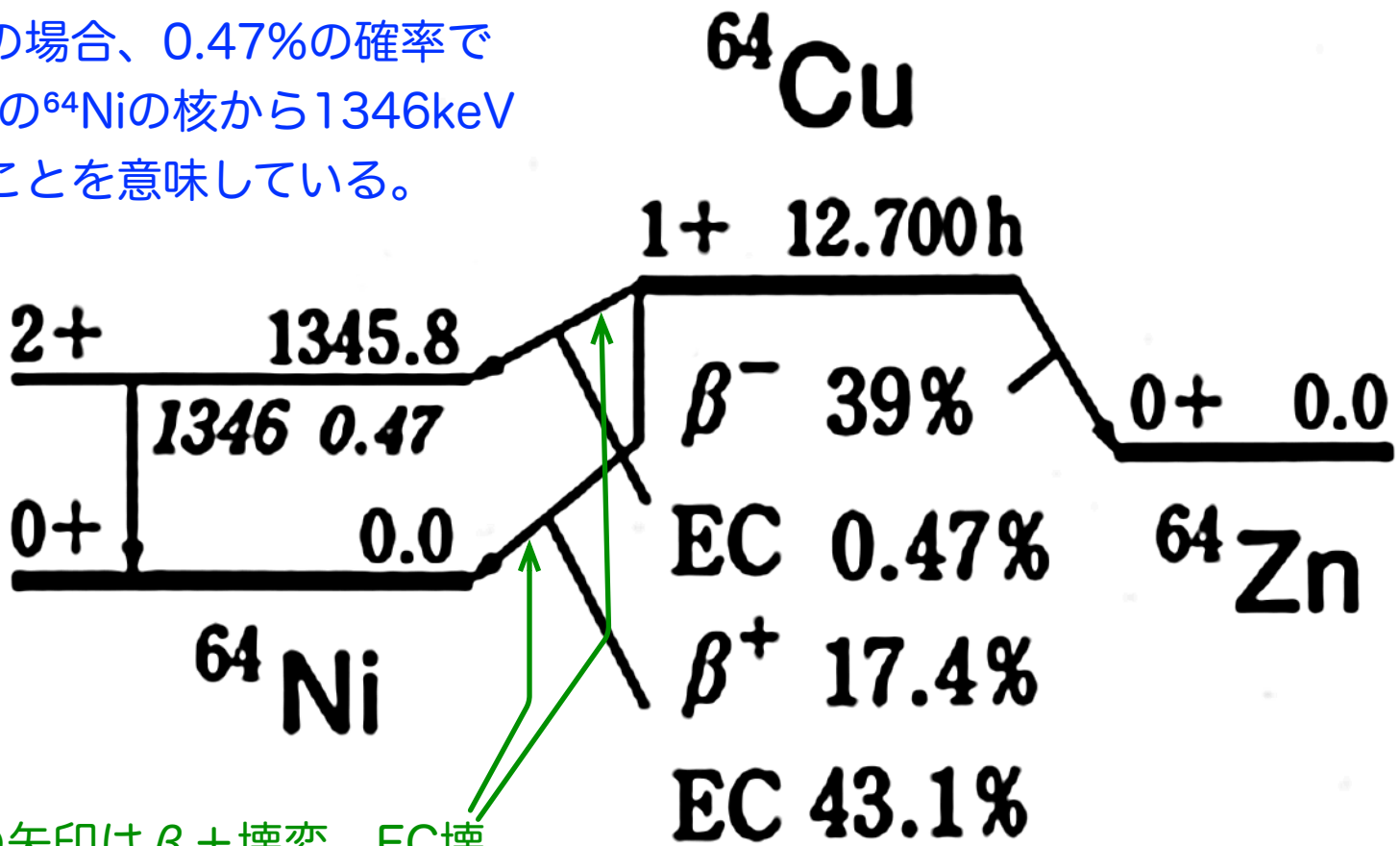
半減期等の情報から絞り込むと、^{137}Cs（^{137m}Ba）であることが分かる。

壊変図式

例２：$^{64}Cu \rightarrow {}^{64}Ni/{}^{64}Zn$の分岐壊変

アイソトープ手帳 第11版より引用

細い横線は半減期がほとんど無い励起状態。この核種の場合、0.47%の確率でEC壊変の直後の^{64}Niの核から1346keVのγ線が出ることを意味している。

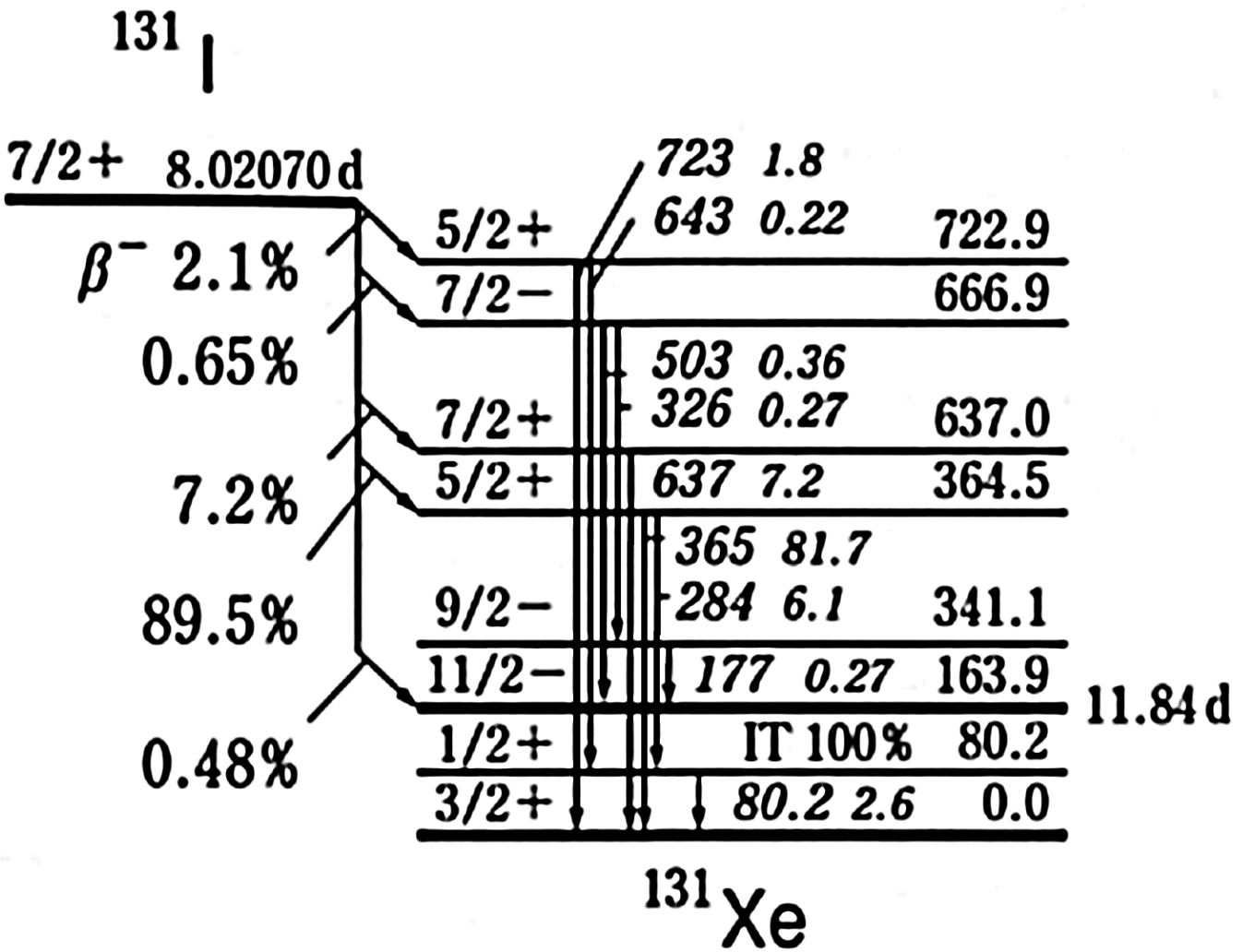


左下方向の矢印はβ＋壊変、EC壊変、α壊変など、陽子数が減る壊変を示している。

壊変図式

例３：^{131}Iのβ壊変

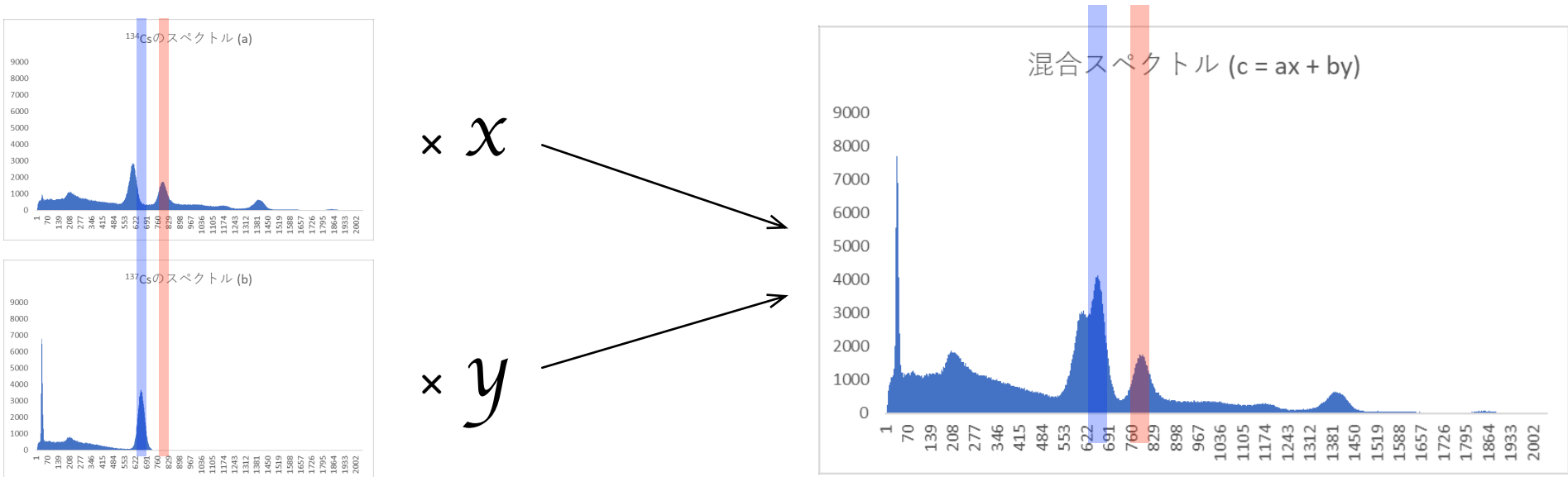
アイソトープ手帳 第11版より引用



^{131}Iのように、多種類のγ線が発生する核種も多い。

このような核種をGe半導体検出器で測定すると多数のピークが現れる。

γ線スペクトロメトリー 補足2

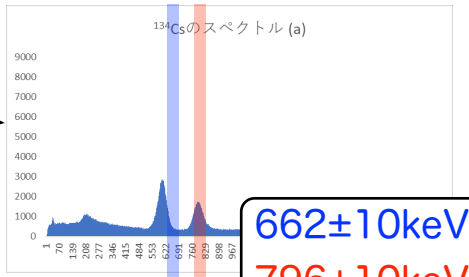


この場合、未知変数がx,yの2つなので、スペクトルの混合比を求めるには2つの連立方程式を立てれば良い。この時、a,b,cの代表値としてピーク頂点のみの数値や、ピークの無い領域の値を使うと誤差が大きいため、ピークを含む一定領域（ウィンドウ）の数値を合計して使用するのが一般的である。

例えば796±10keV（^{134}Csのピーク領域）と662±10keV（^{137}Csのピーク領域）の2か所にエネルギーウィンドウを設定し、この2つのウィンドウの測定値を使って立てた連立方程式を解けばx,yが求められる。

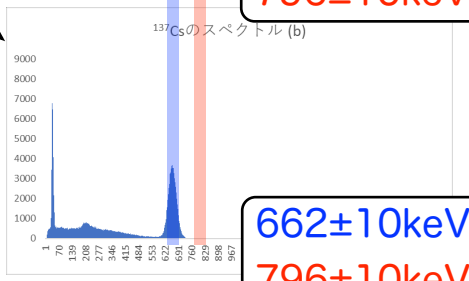
γ線スペクトロメトリー 補足2

それぞれ100Bqの標準試料のスペクトルとする。



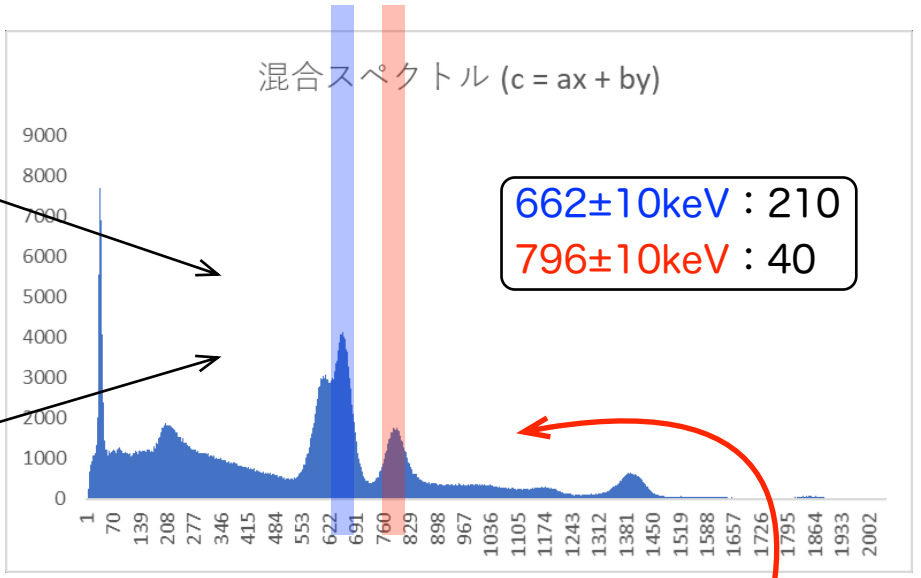
662±10keV：20
796±10keV：60

× x



662±10keV：100
796±10keV：5

× y



662±10keV：210
796±10keV：40

例えば796±10keV（^{134}Csのピーク領域）と662±10keV（^{137}Csのピーク領域）の2か所にエネルギーウィンドウを設定し、この2つのウィンドウの測定値を使って立てた連立方程式を解けばx,yが求められる。

662±10keV　20x + 100y = 210

796±10keV　60x + 5y = 40

これを解くと x=0.5, y=2 → ^{134}Csが50Bq, ^{137}Csが200Bq含まれる

第1回講義・第2回講義の要点確認

放射線とはどんなもの？

１）　原子よりも小さい何らかの粒子が、

２）　通常の数千倍以上のエネルギーを持って
運動している場合、

３）　放射線としての性質、すなわち、物質と
相互作用して電離を起こす性質を示す。

放射線と物質の相互作用

～まとめ～

粒子に電荷が有る場合は、経路に沿って直接的に電離を起こす。
制動放射で光子線を発生することもある。

粒子に電荷が無い場合、物質中で電荷を持つ粒子（電子や陽子）
をはじき飛ばし、はじき飛ばされた粒子が間接的に電離を起こす。

あさりよしとお「放射線ってナニモノ？」

直接・間接的に電離を起こすことで放射線の運動エネルギー
が消費され、最終的には放射線としての性質を失う。

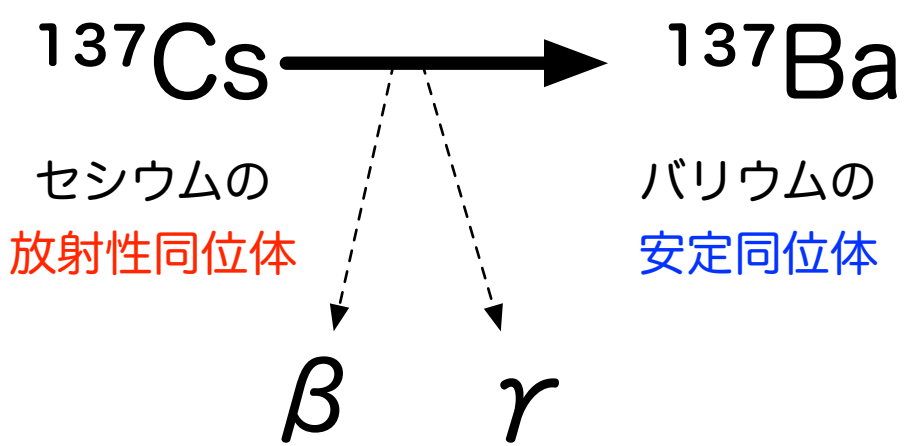
放射性同位体の特徴

～不安定な原子核～

ある原子の原子核が不安定な場合、時間経過にともなって一定の確率で、余分なエネルギーを何らかの粒子に与えて放出し、より安定な状態に変化する。

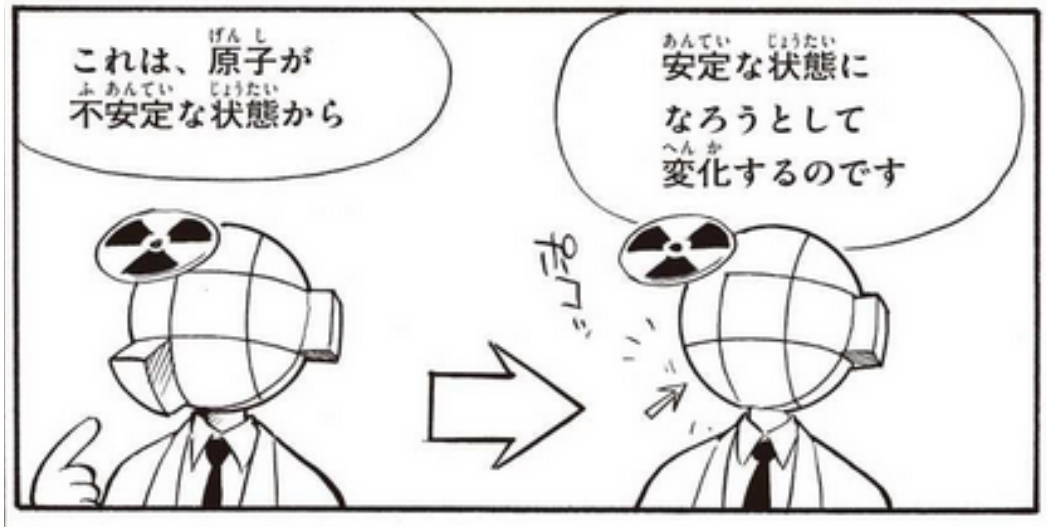
この変化を壊変（崩壊）と呼び、壊変する原子核を放射性同位体（放射性核種）という。エネルギーを与えられた粒子が放射線となる。

あさりよしとお「放射線ってナニモノ？」



^{137}Csの場合、余分なエネルギーはβ線やγ線として放出される（厳密にはX線なども出るが詳細は後述）。

まとめ：壊変＝原子核の安定化

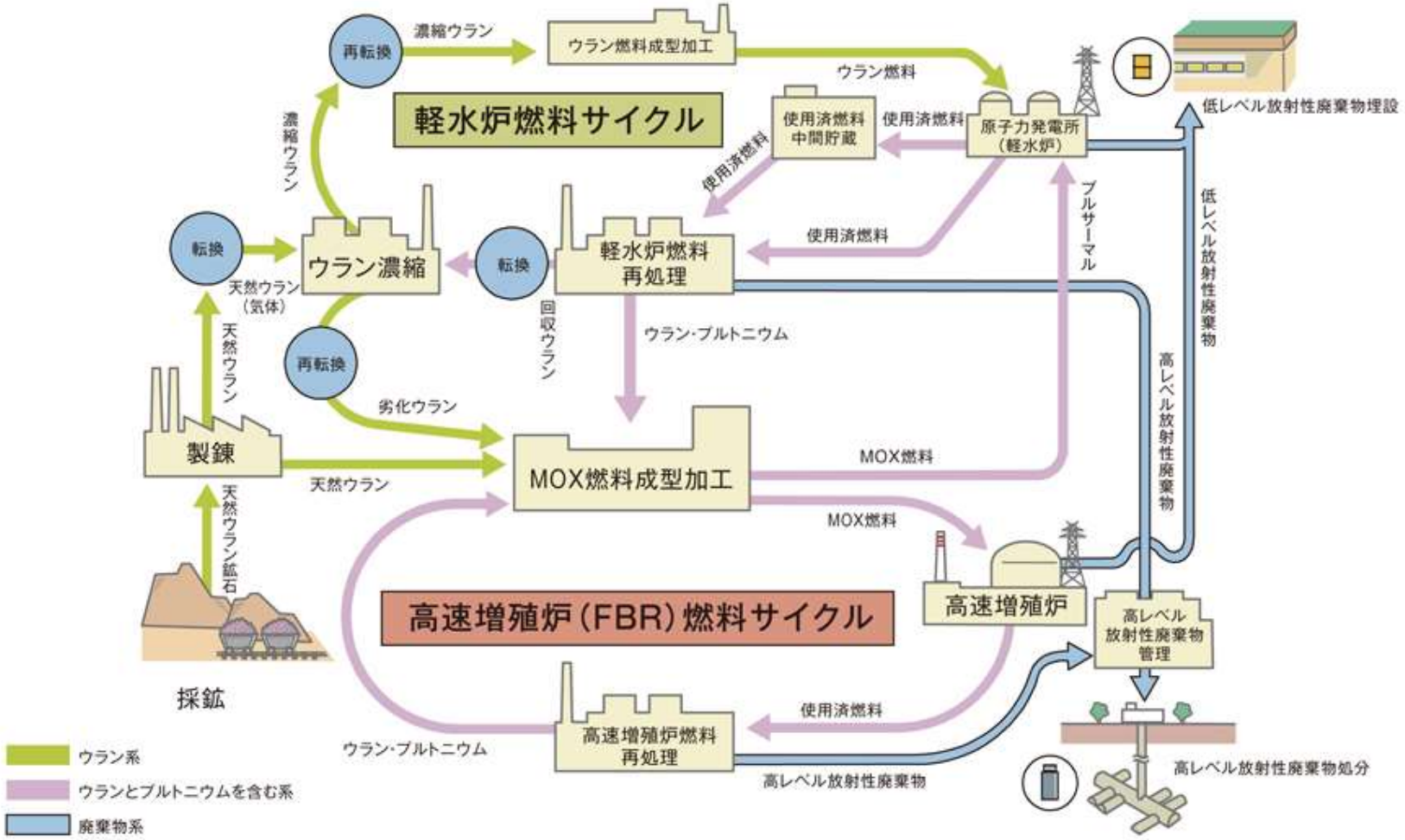


あさりよしとお「放射線ってナニモノ？」

- α壊変：大きすぎる原子核が少し小さくなって安定化
  - ※ 核分裂とは異なる
- β壊変：陽子/中性子比を調整することで安定化
- γ壊変：余剰エネルギーを電磁波として放出して安定化
  - ※α/β壊変過程の一部と見なす場合もある

原子力発電と核燃料サイクル

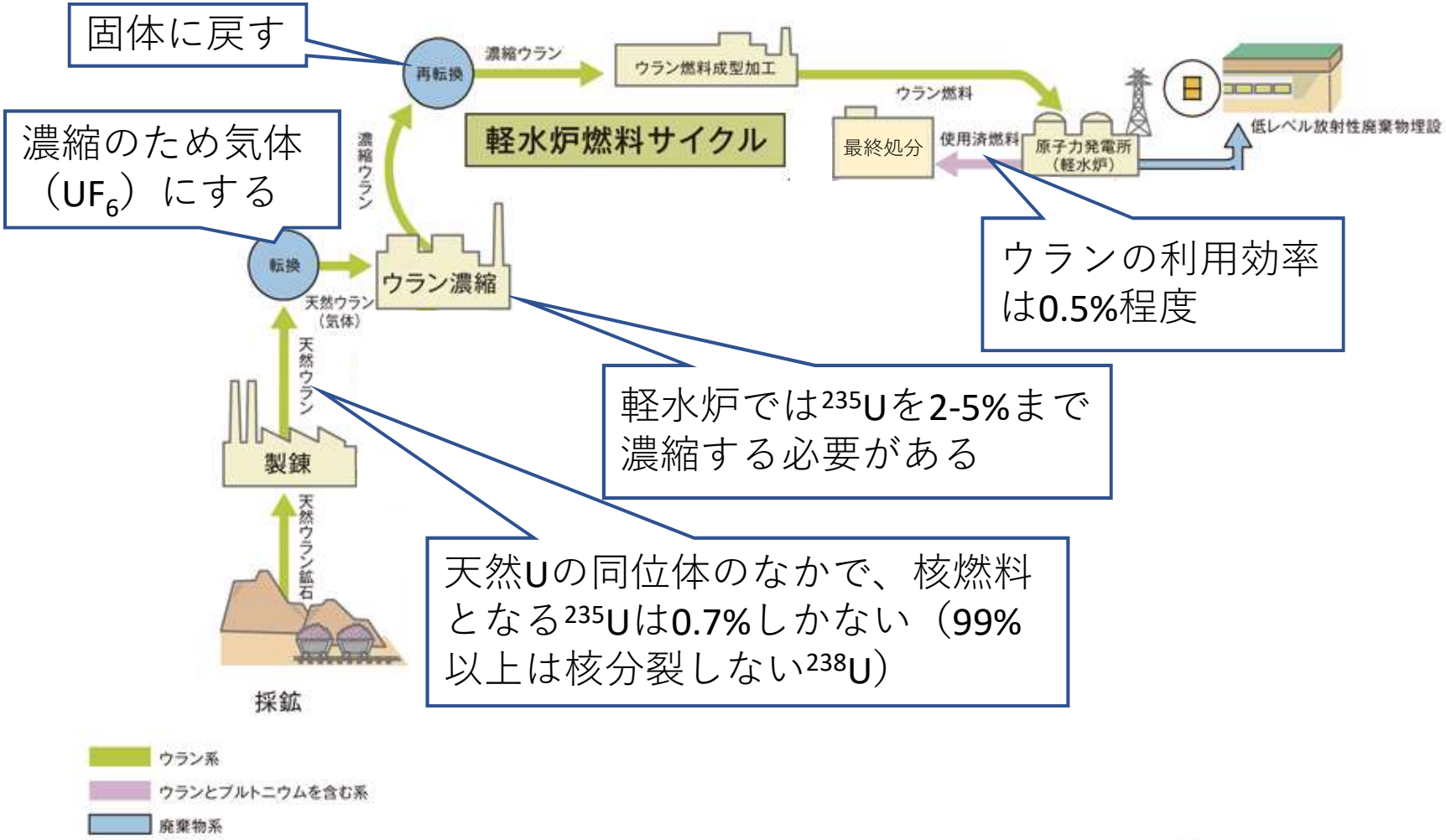
原子燃料サイクル（FBRを含む）



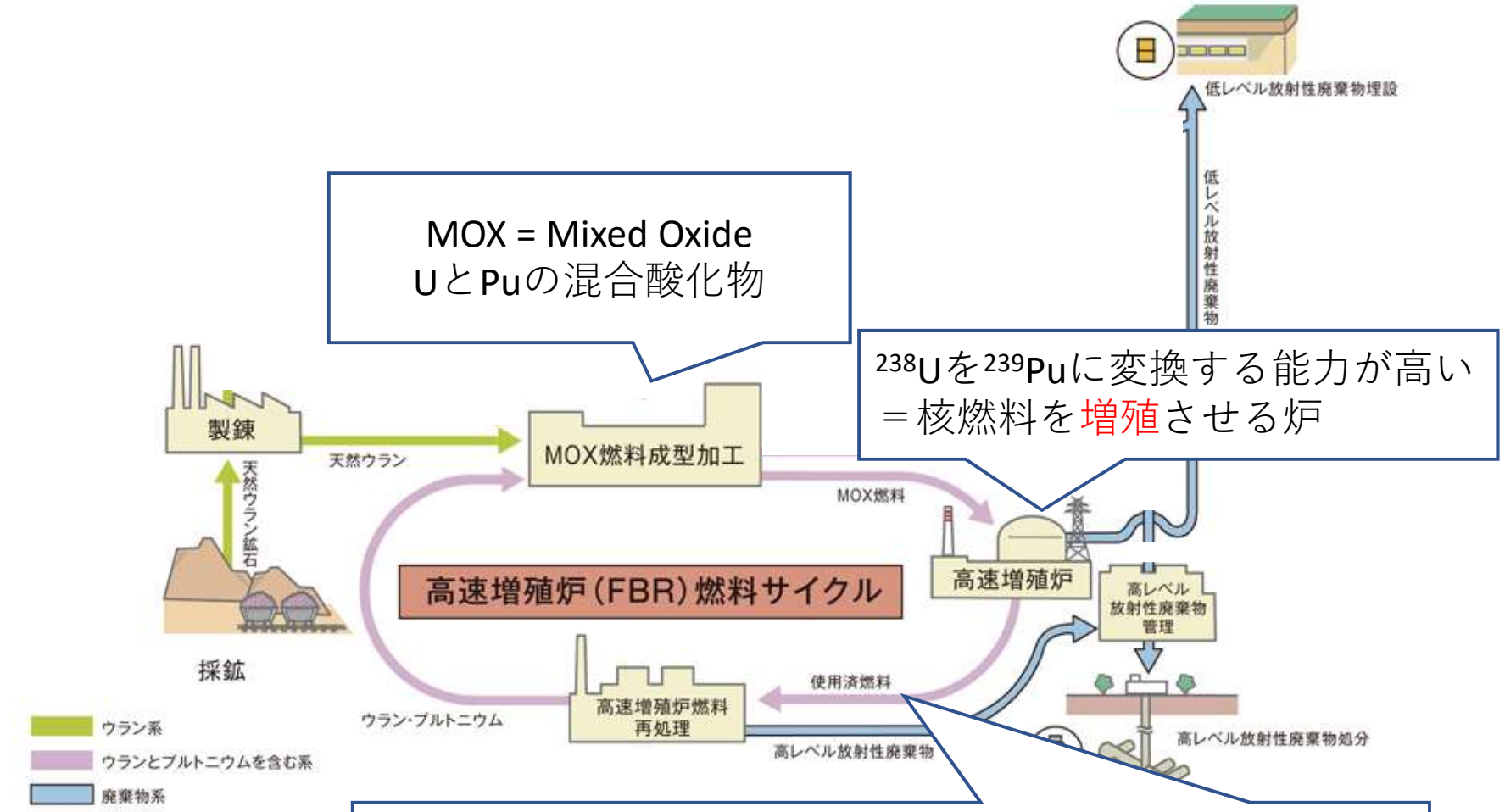
原子力・エネルギー図面集 2016

以降のスライドでは原子力・エネルギー図面集2016より「原子燃料サイクル（FBRを含む）」を引用・改変

原子燃料サイクル（FBRを含む）



原子燃料サイクル（FBRを含む）



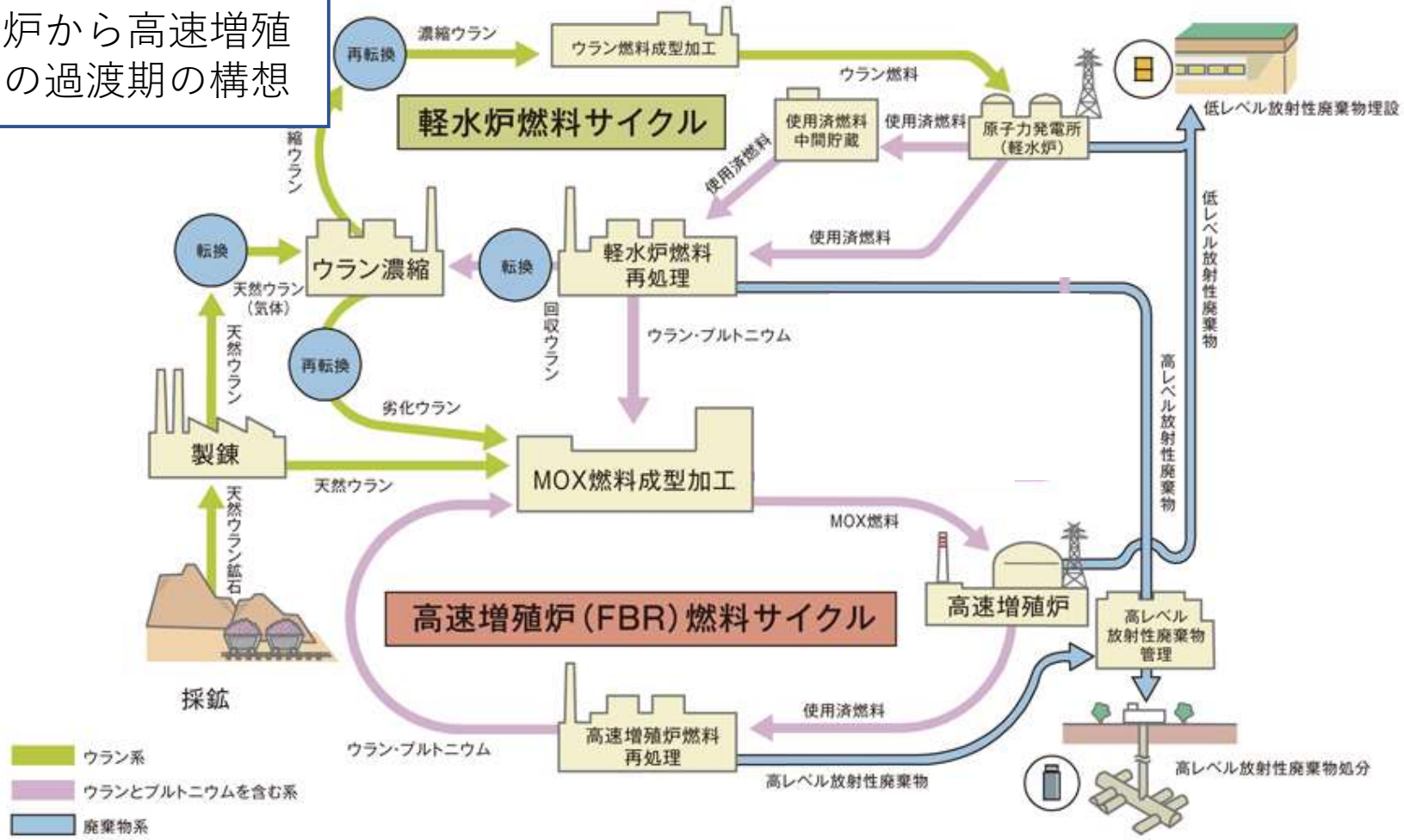
MOX = Mixed Oxide
UとPuの混合酸化物

^{238}Uを^{239}Puに変換する能力が高い
＝核燃料を増殖させる炉

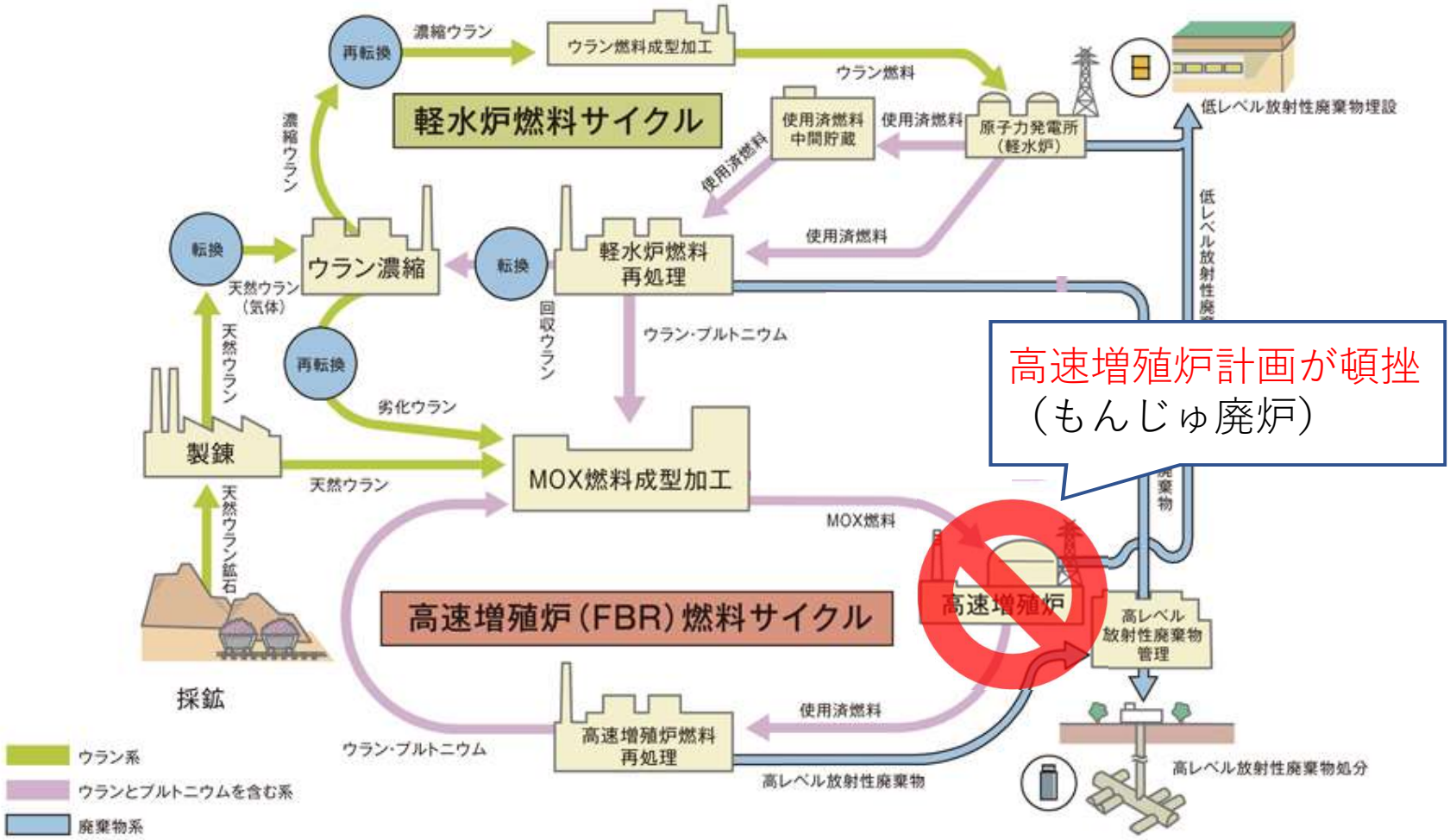
この使用済み燃料には^{238}Uから変換された多量の^{239}Puが含まれる。無限にサイクルを回した場合、ウランの利用効率は50%以上（軽水炉の100倍以上）

原子燃料サイクル（FBRを含む）

軽水炉から高速増殖炉への過渡期の構想

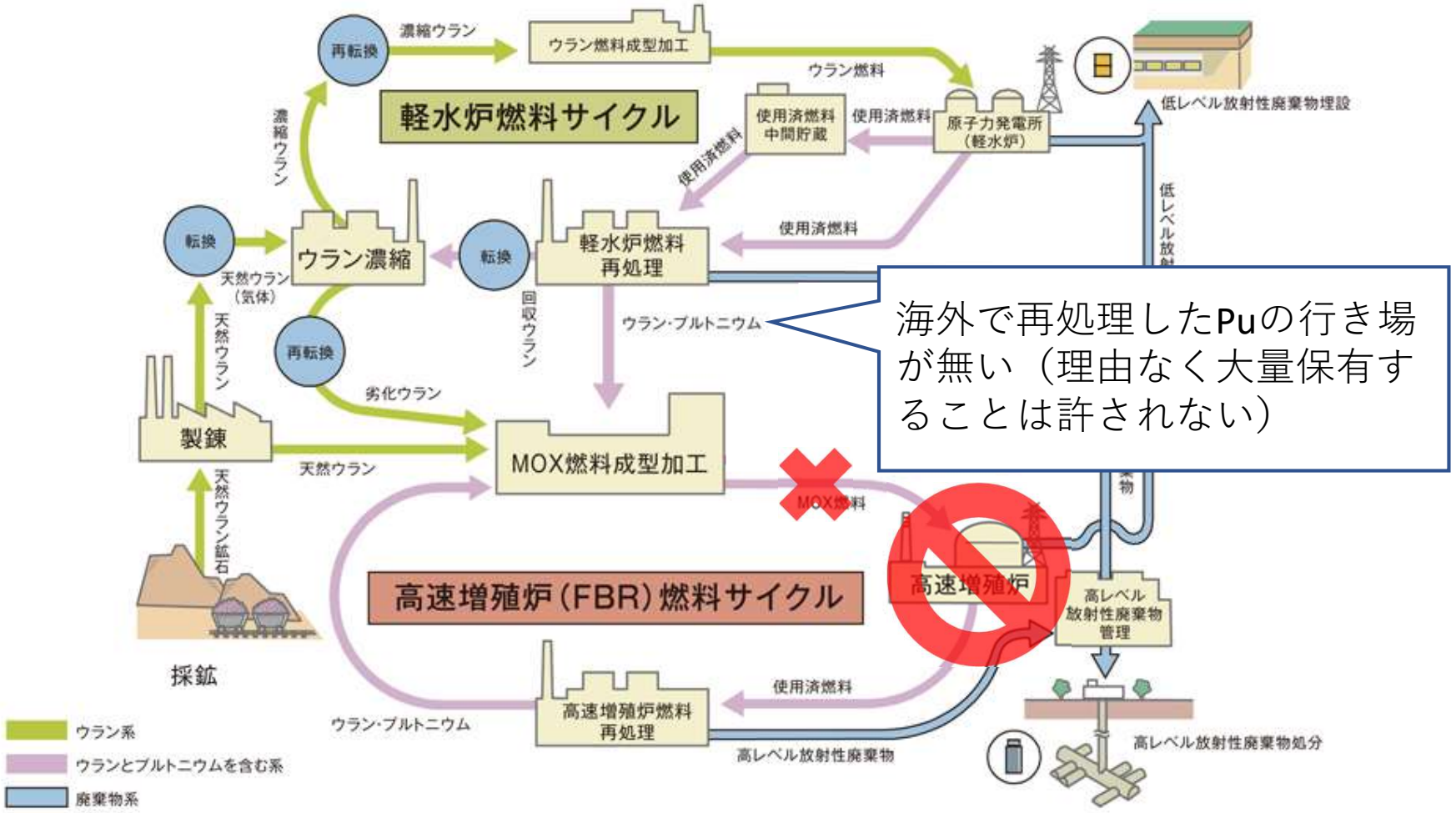


原子燃料サイクル（FBRを含む）



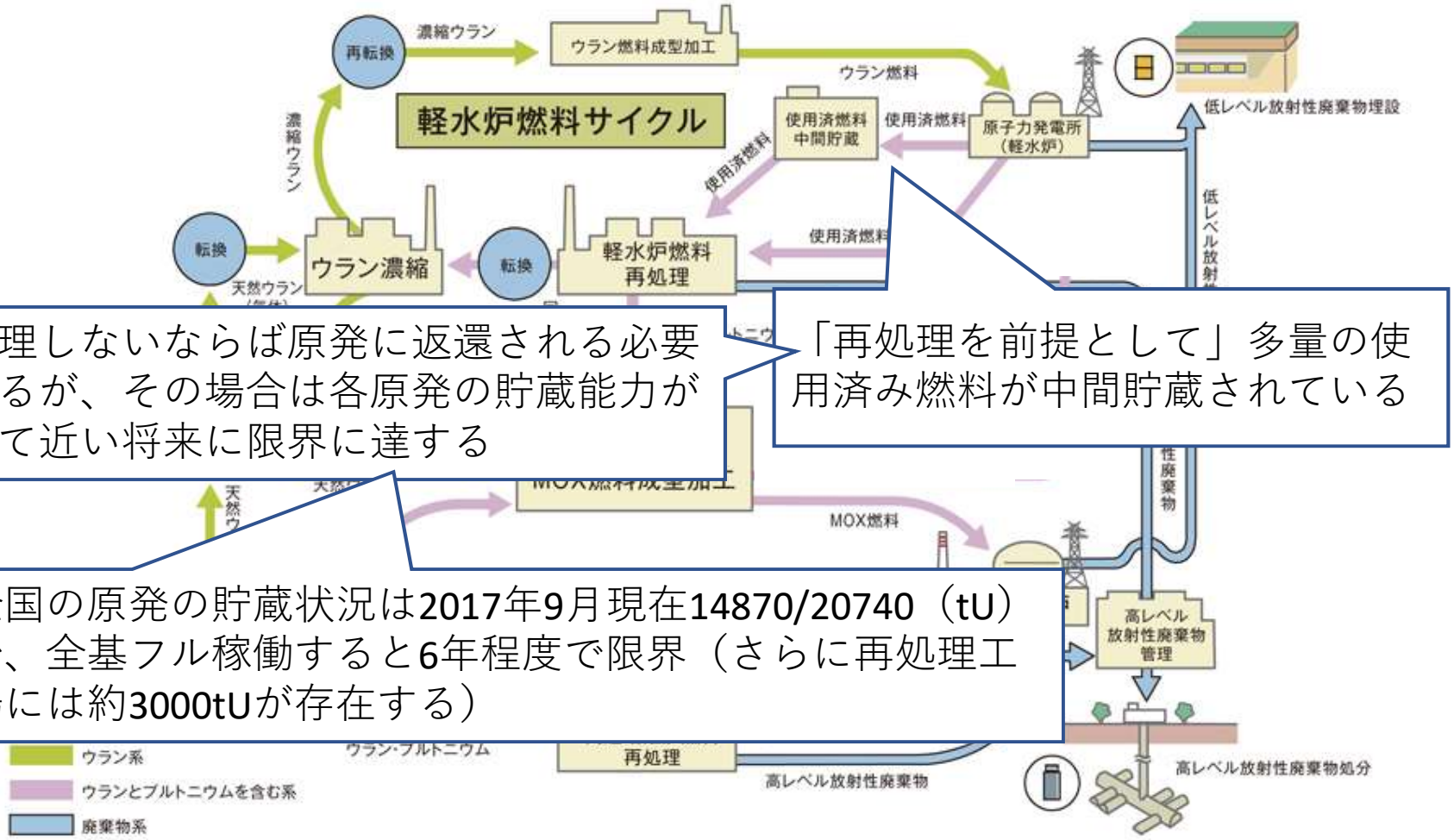
高速増殖炉計画が頓挫
（もんじゅ廃炉）

原子燃料サイクル（FBRを含む）



海外で再処理したPuの行き場が無い（理由なく大量保有することは許されない）

原子燃料サイクル（FBRを含む）

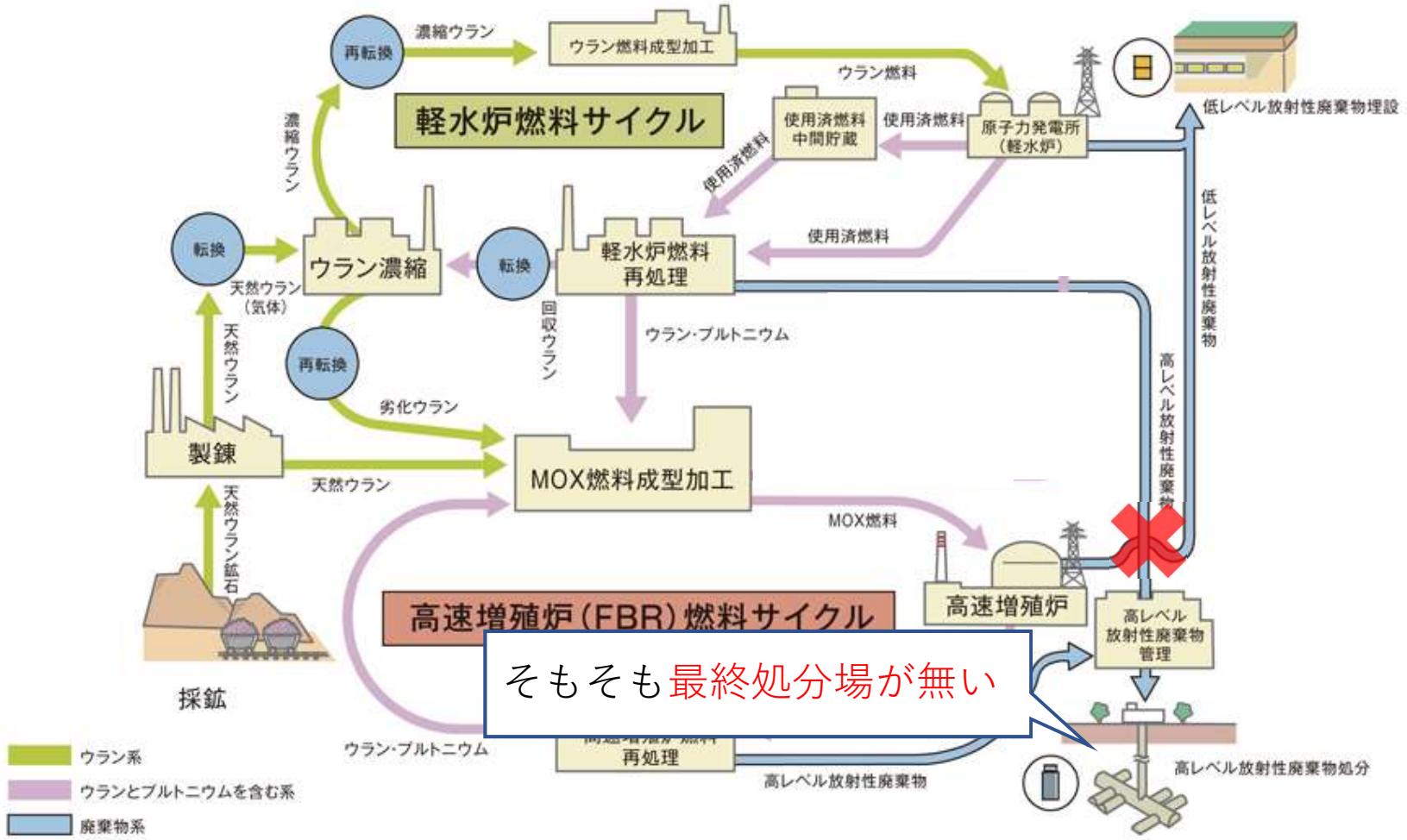


再処理しないならば原発に返還される必要があるが、その場合は各原発の貯蔵能力が極めて近い将来に限界に達する

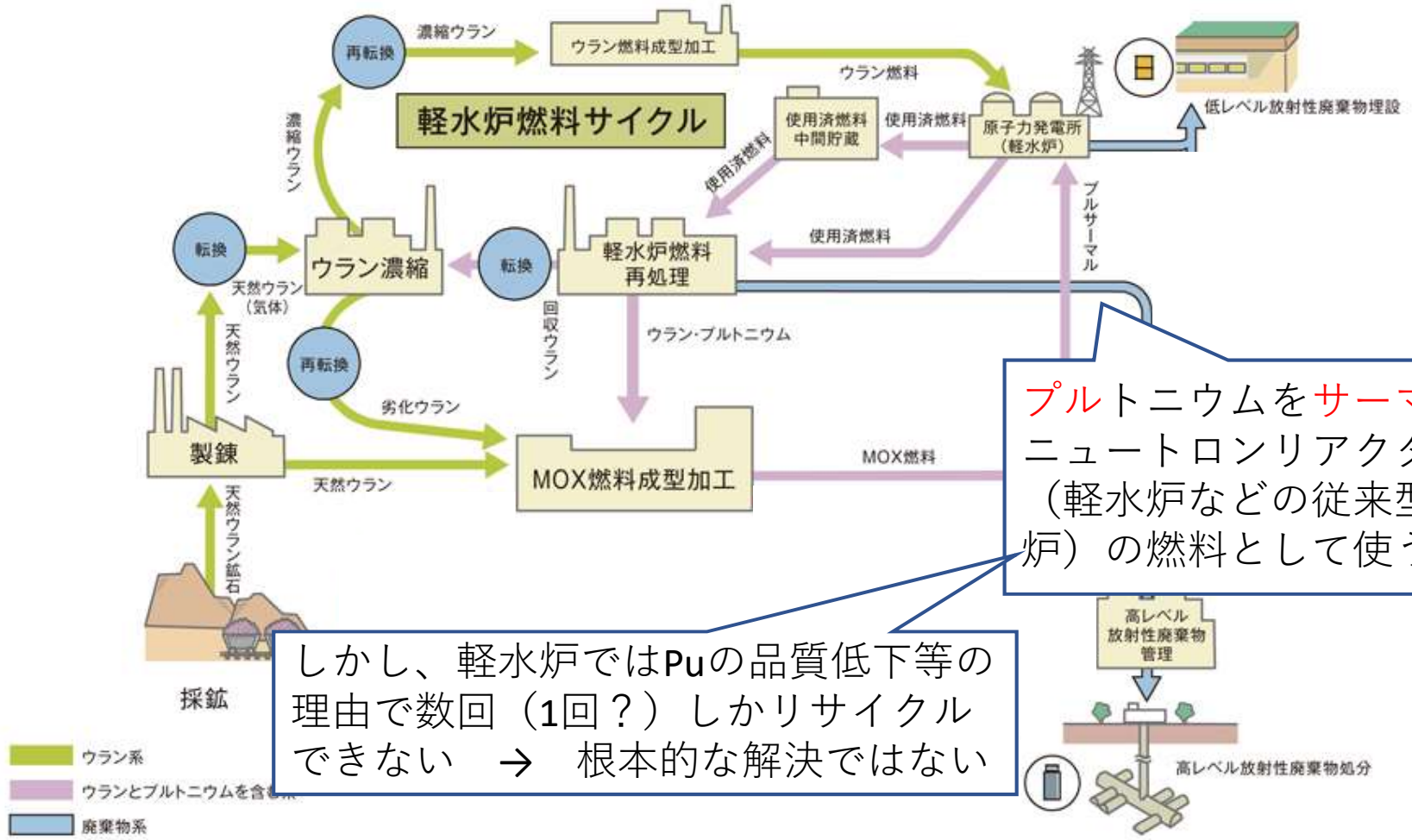
「再処理を前提として」多量の使用済み燃料が中間貯蔵されている

全国の原発の貯蔵状況は2017年9月現在14870/20740（tU）で、全基フル稼働すると6年程度で限界（さらに再処理工場には約3000tUが存在する）

原子燃料サイクル（FBRを含む）



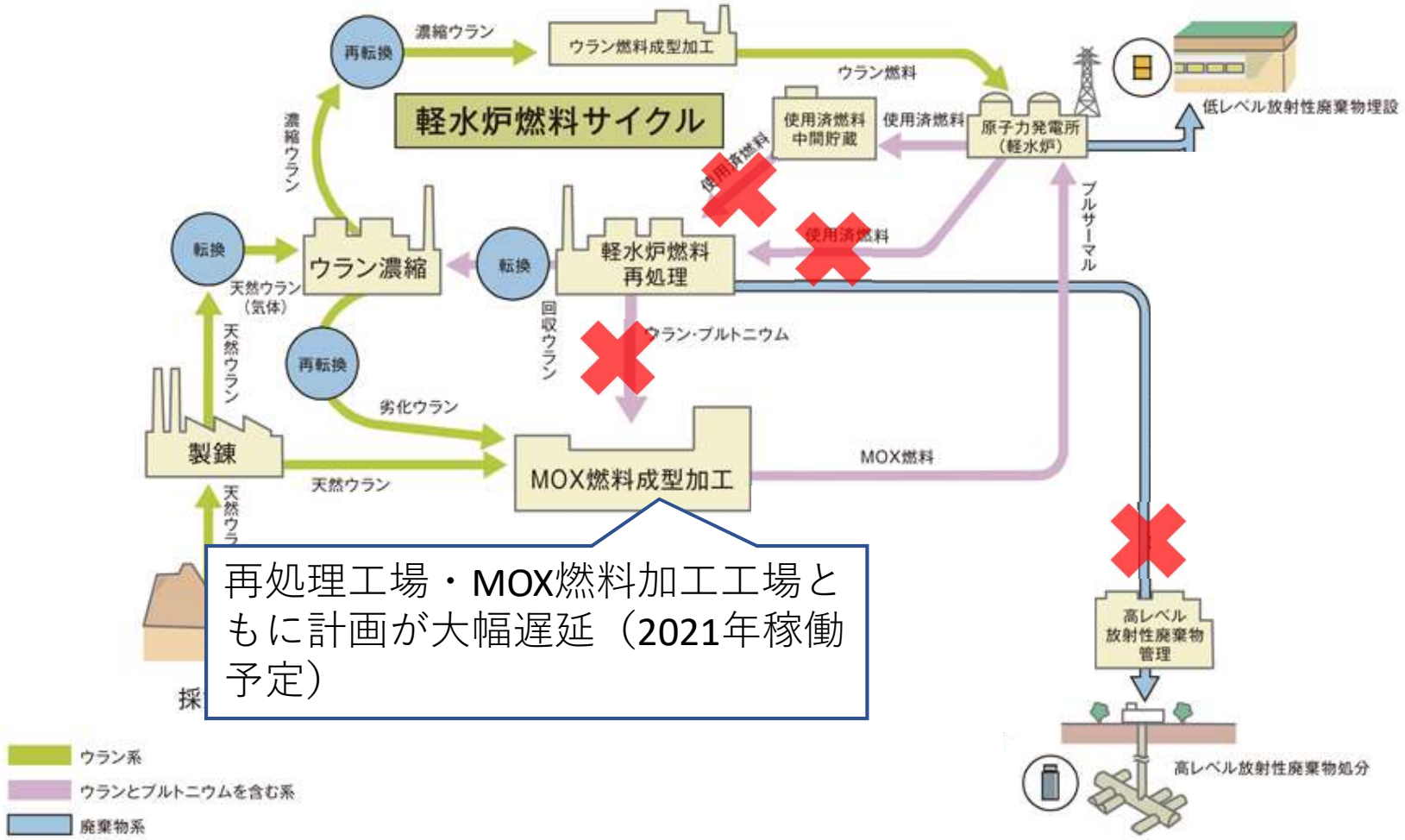
原子燃料サイクル（FBRを含む）



プルトニウムをサーマルニュートロンリアクター（軽水炉などの従来型の炉）の燃料として使う

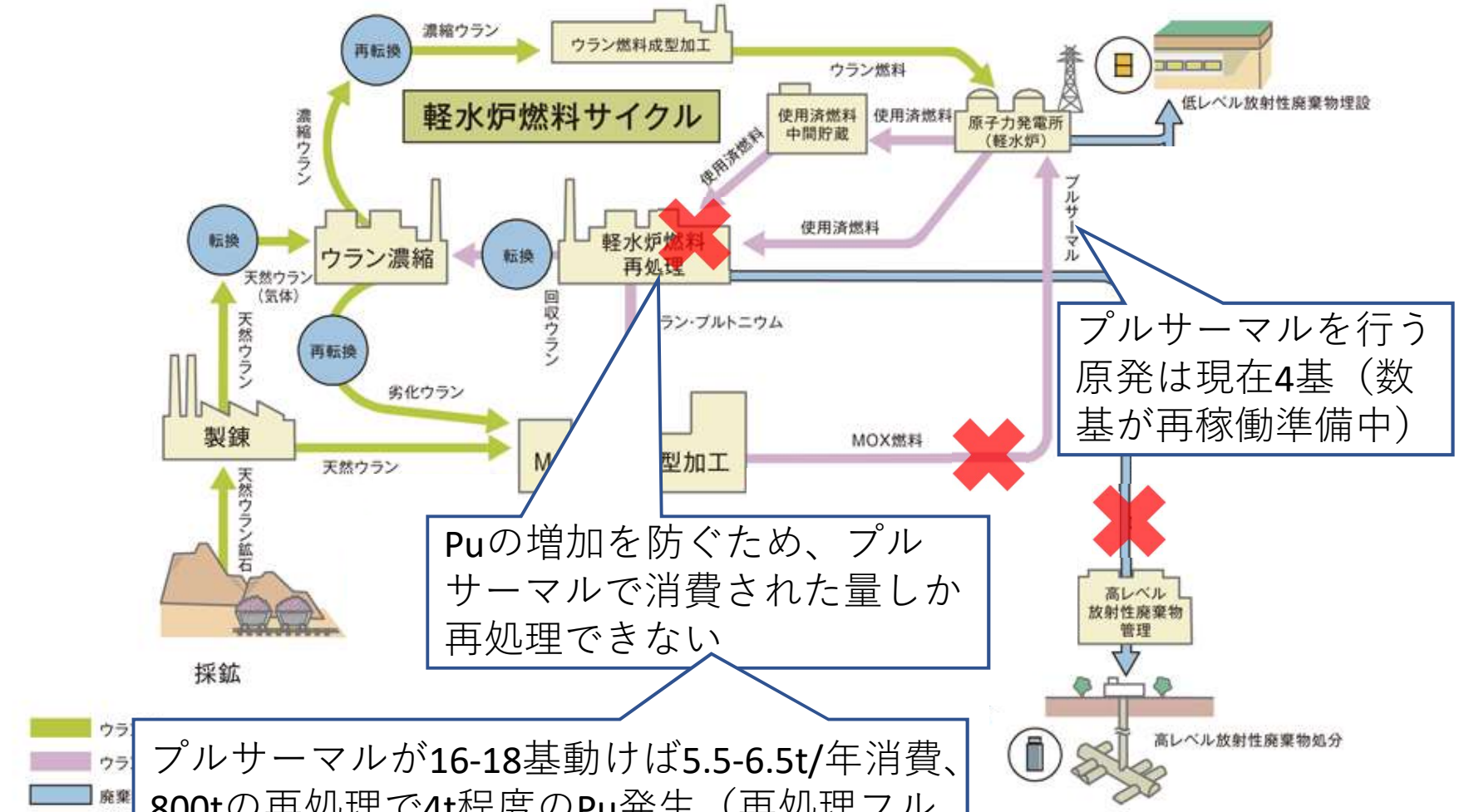
しかし、軽水炉ではPuの品質低下等の理由で数回（1回？）しかリサイクルできない　→　根本的な解決ではない

原子燃料サイクル（FBRを含む）



再処理工場・MOX燃料加工工場ともに計画が大幅遅延（2021年稼働予定）

原子燃料サイクル（FBRを含む）

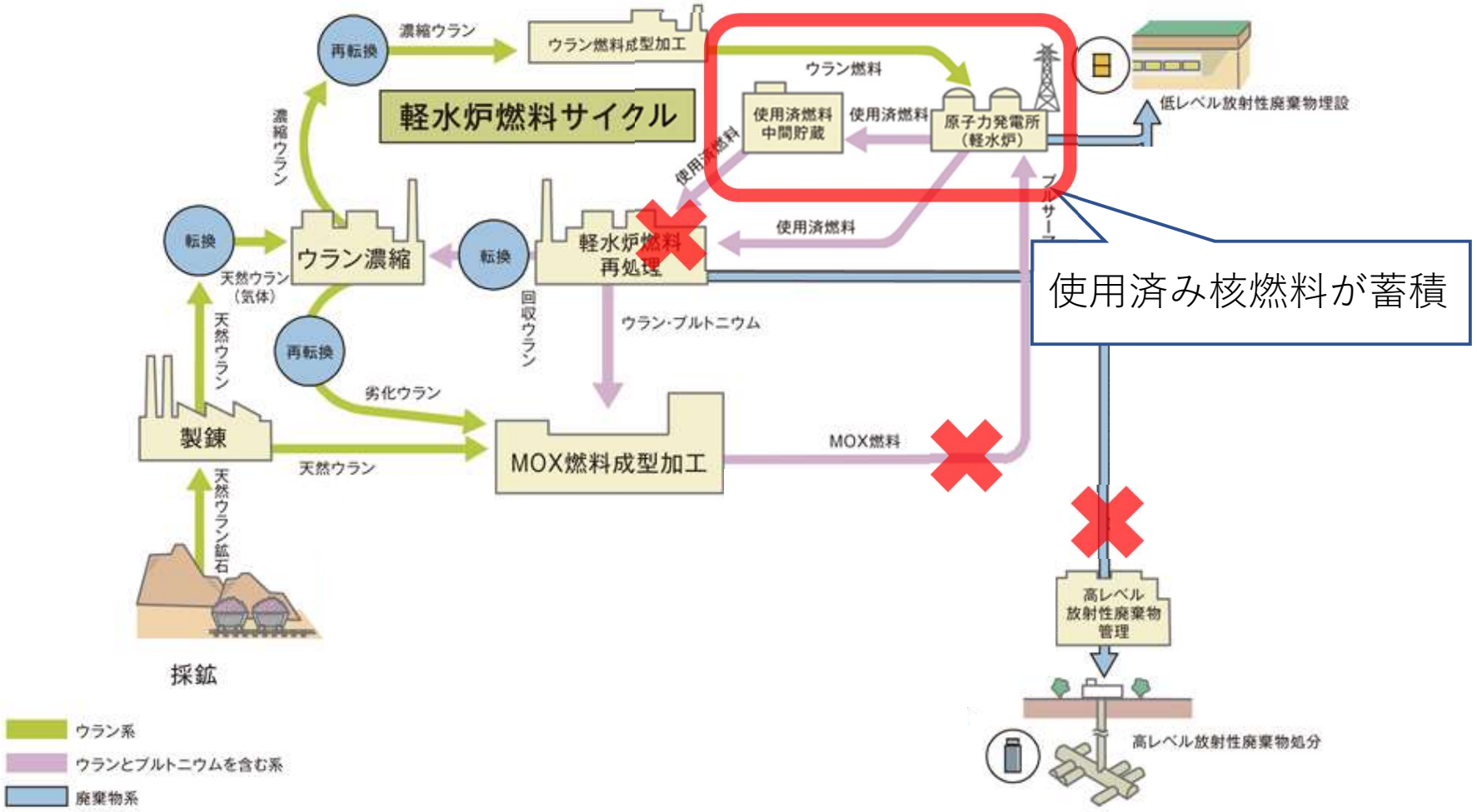


プルサーマルを行う原発は現在4基（数基が再稼働準備中）

Puの増加を防ぐため、プルサーマルで消費された量しか再処理できない

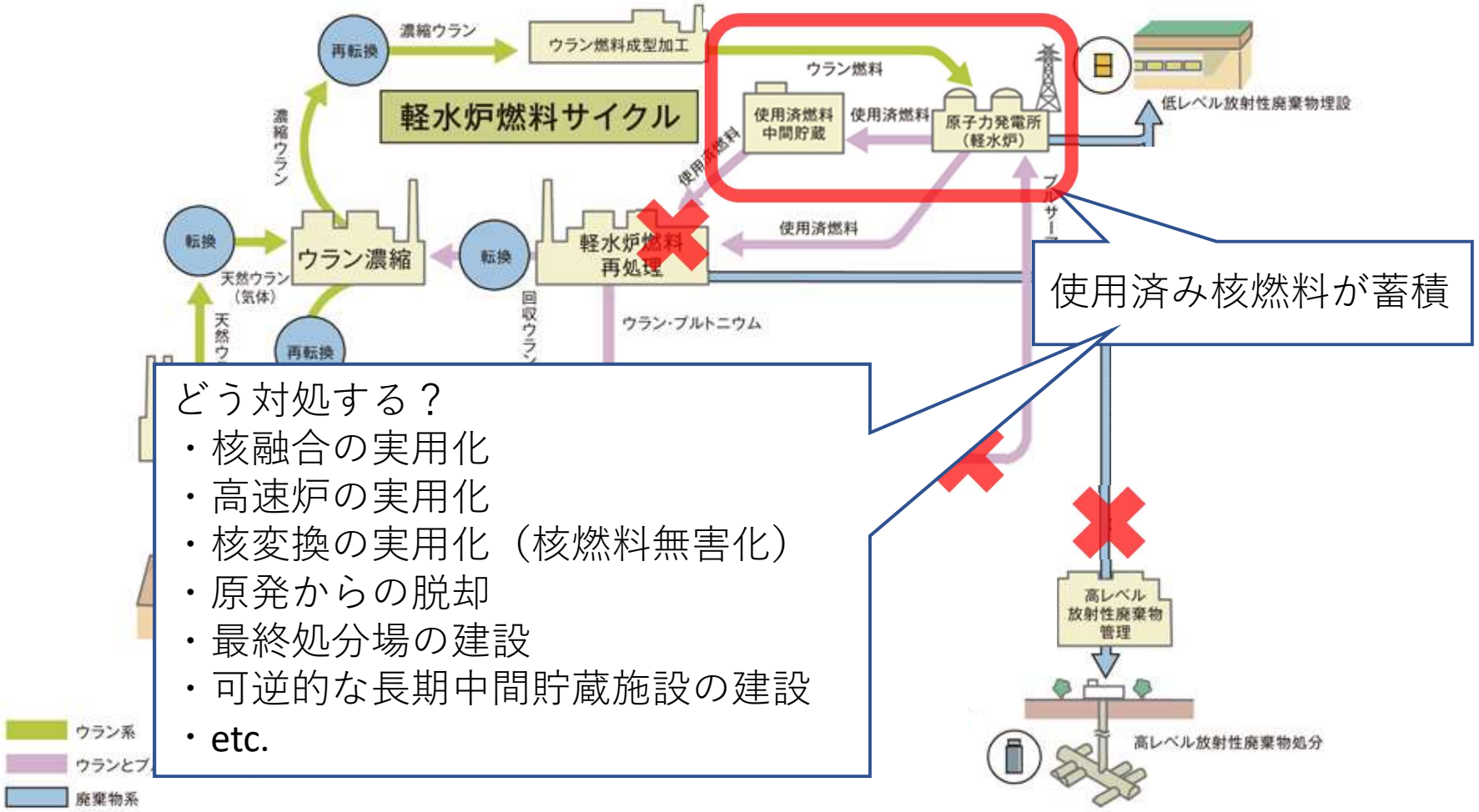
プルサーマルが16-18基動けば5.5-6.5t/年消費、800tの再処理で4t程度のPu発生（再処理フル稼働には12基程度は必要？）

原子燃料サイクル（FBRを含む）



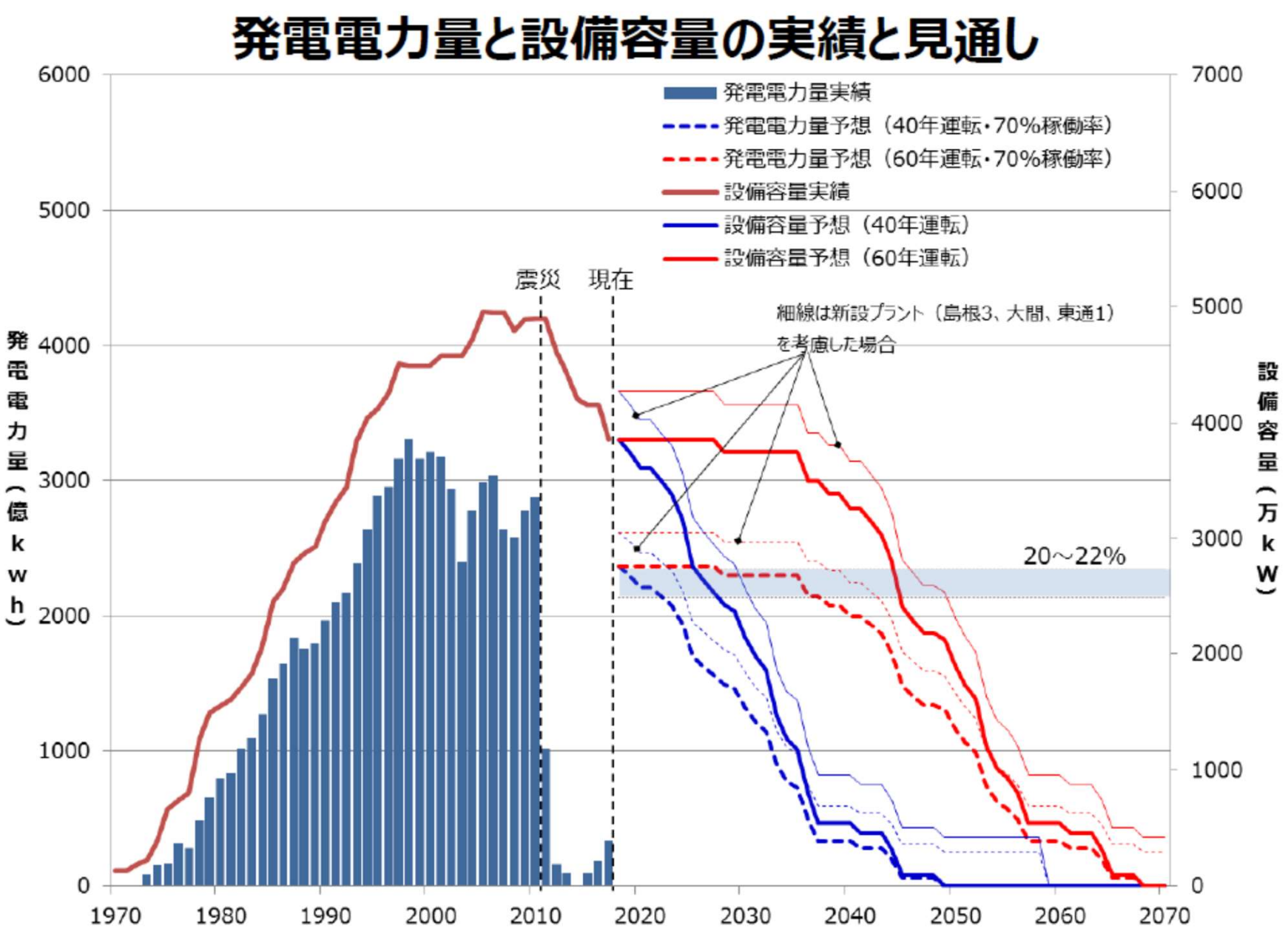
使用済み核燃料が蓄積

原子燃料サイクル（FBRを含む）



使用済み核燃料が蓄積

どう対処する？
- 核融合の実用化
- 高速炉の実用化
- 核変換の実用化（核燃料無害化）
- 原発からの脱却
- 最終処分場の建設
- 可逆的な長期中間貯蔵施設の建設
- etc.



原子燃料サイクルの現状について（渥美 2018） より引用
https://www.jaif.or.jp/member/contents/cm_kaiin-forum18-1-1_genshinenryocycle.pdf

放射線の人体影響の基礎

～シーベルトの定義・計算法・活用法～

あさりよしとお「放射線ってナニモノ？」

放射線の人体影響メカニズム

～DNAの損傷・修復・修復ミス～

放射線のエネルギーによって細胞内で電離が起こる

↓

電離で生じたイオンは不安定な化学種（ラジカル）であることが多く、周囲の分子と化学反応を起こす。

↓

細胞内の分子のほとんどは、化学反応で壊れてしまっても代わりが利くが…

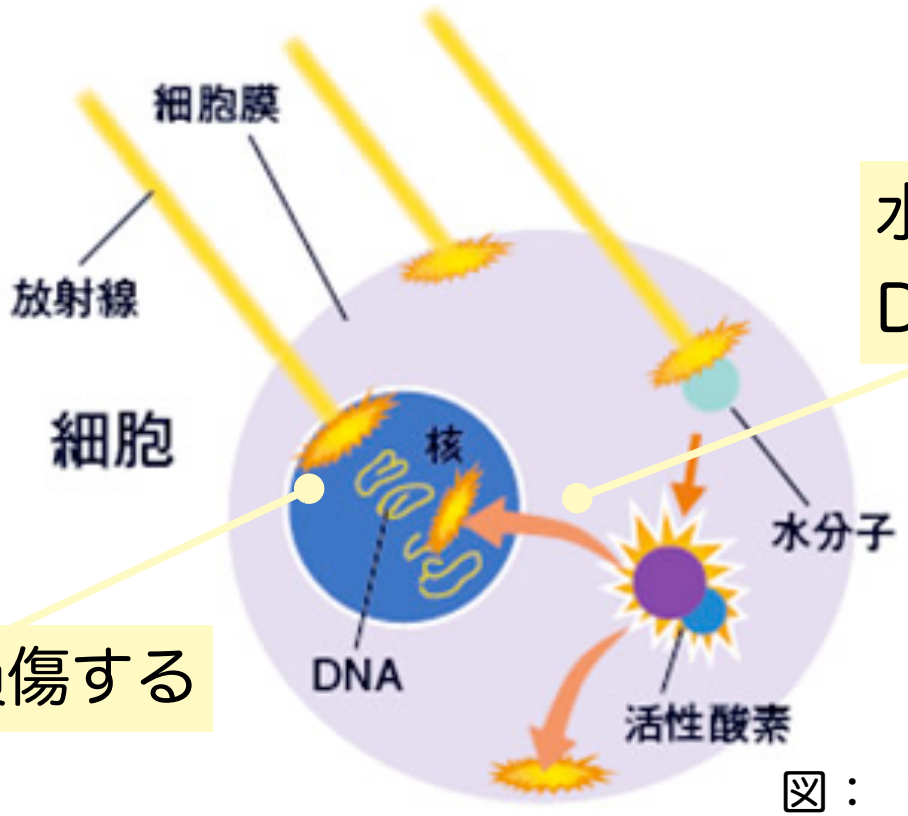
放射線の人体影響メカニズム

～DNAの損傷・修復・修復ミス～

放射線のエネルギーによって細胞内で電離が起こる

↓

DNAが損傷



水や酸素が電離され、
DNAを損傷する

DNAが直接損傷する

図：「Newton」ウェブサイトより引用

放射線の人体影響メカニズム

～DNAの損傷・修復・修復ミス～

放射線のエネルギーによって細胞内で電離が起こる

↓

DNAが損傷

↓

DNA修復機構が働く

↓

修復成功

修復失敗 → 細胞死

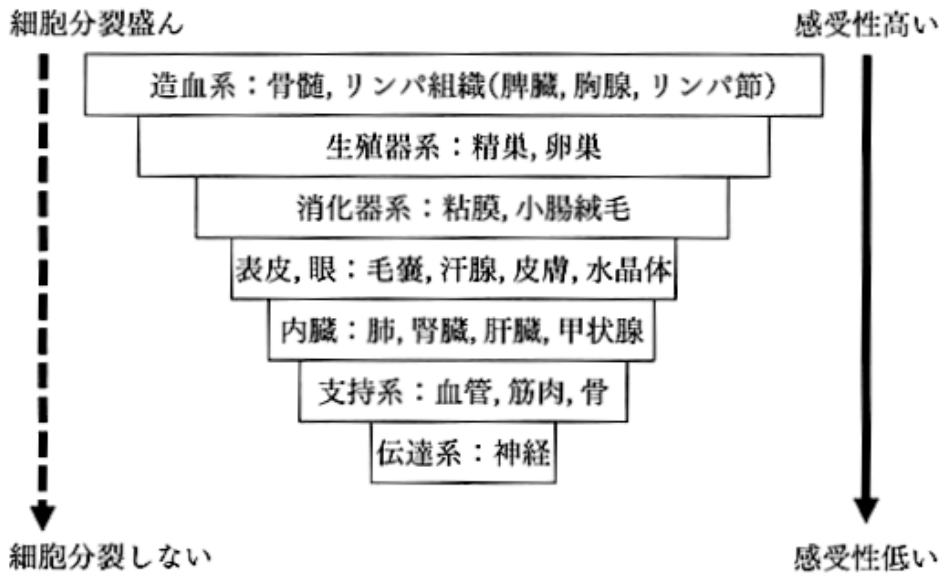
※多量に起こると問題だが
少量ならば影響は無い

主に細胞死によって引き起こされる影響を
「確定的影響」と呼ぶ。

注：2007年のICRP勧告では「組織反応」という用語に改められた

確定的影響の例

臓器・組織		障害	急性被曝		慢性被曝	
			潜伏期	しきい値	潜伏期	しきい値
骨髄・造血器		造血能低下	3～7 日	0.5 Gy		0.4 Sv/年
生殖腺	男性	一時的不妊	3～9 週	0.15 Gy		0.4 Sv/年
		永久不妊	3 週	3.5～6 Gy		2.0 Sv/年
	女性	一時的不妊	1 週以内	0.65～1.5 Gy		
		永久不妊		2.5～7 Gy		0.2 Sv/年
皮膚		皮膚発赤	1～4 週	2～6 Gy		
		皮膚熱傷	2～3 週	5～10 Gy		
		一時的脱毛	2～3 週	3 Gy		
眼の水晶体		水晶体混濁		0.5～2 Gy		5 Sv
		白内障		5 Gy	数年	8 Sv
腸		嘔気，嘔吐，全身倦怠	2～3 時間	6～20 Gy		
		紅斑，発熱，下痢，下血	数日			
		死亡（100 %）	1～2 週			
中枢神経		嘔吐，頭痛，紅斑，痙攣，運動失調，麻痺，虚脱，全身衰弱	直後	＞ 20 Gy		
		早期死（100 %）	数日以内			



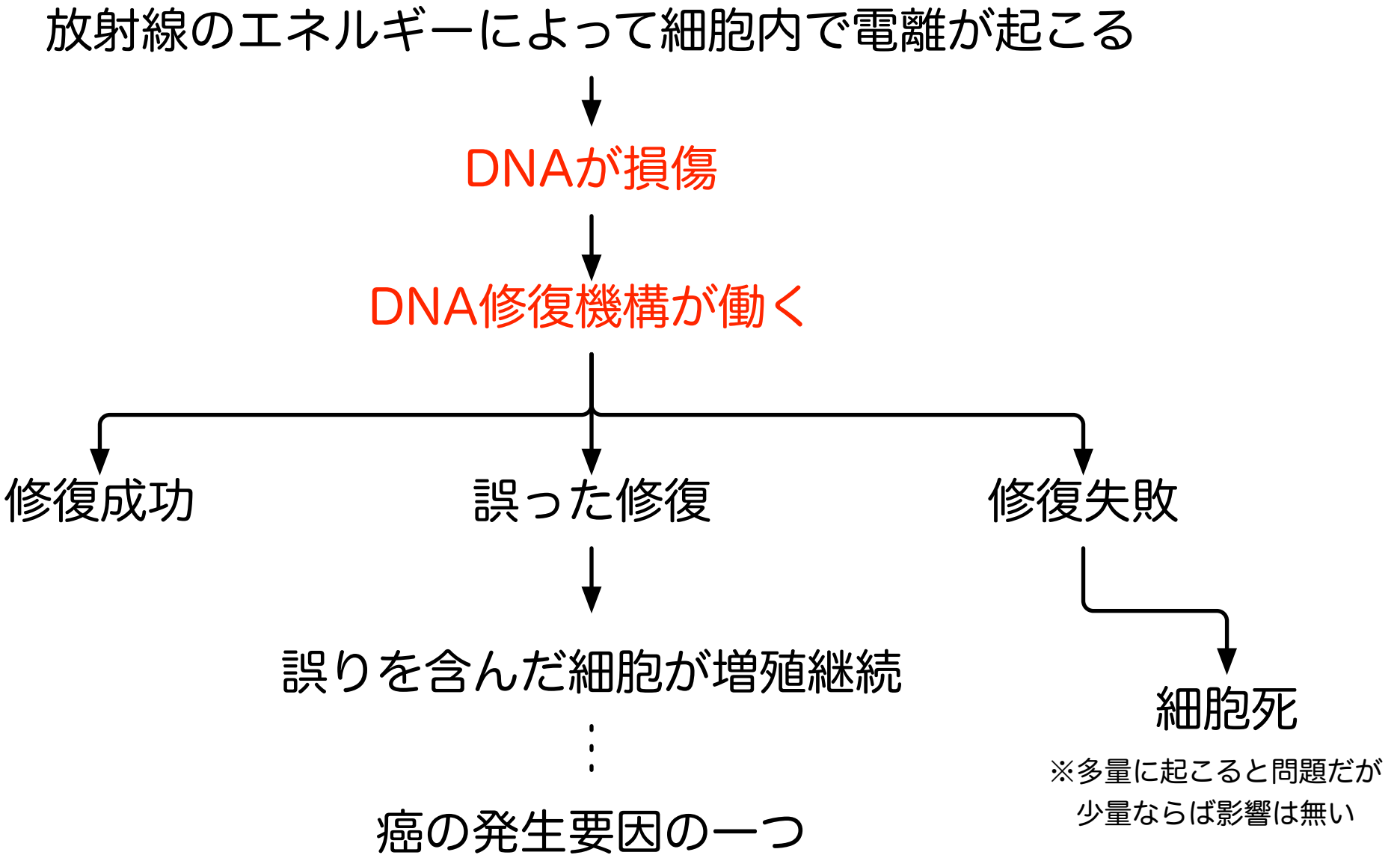
「放射線と安全につきあう」 p.12

ある被ばく量以下では症状の出ない「しきい値」が存在することが特徴。

後述するが、光子線・電子線の場合はGyはSvとほぼ同義。この表で最も少ない被ばくでも150mGy(Sv)の急性被ばくであることに留意。

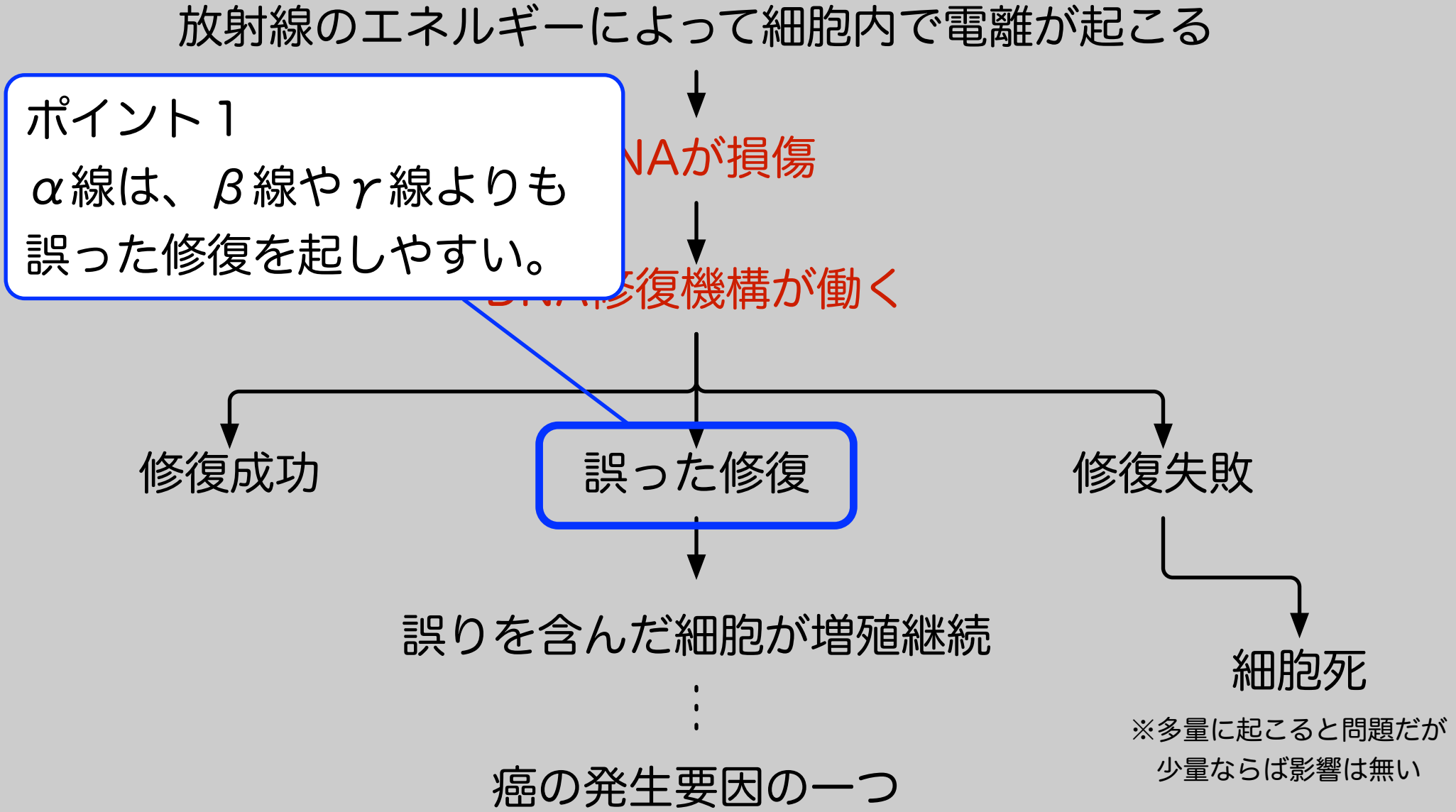
放射線の人体影響メカニズム

～DNAの損傷・修復・修復ミス～



放射線の人体影響メカニズム

～DNAの損傷・修復・修復ミス～



放射線の人体影響メカニズム

～DNAの損傷・修復・修復ミス～

放射線のエネルギーによって細胞内で電離が起こる

↓

DNAが損傷

↓

DNA修復機構が働く

ポイント２
癌になりやすさ、癌の重大さは組織によって違う。

…った修復

↓

誤りを含んだ細胞が増殖継続

⋮

癌の発生要因の一つ

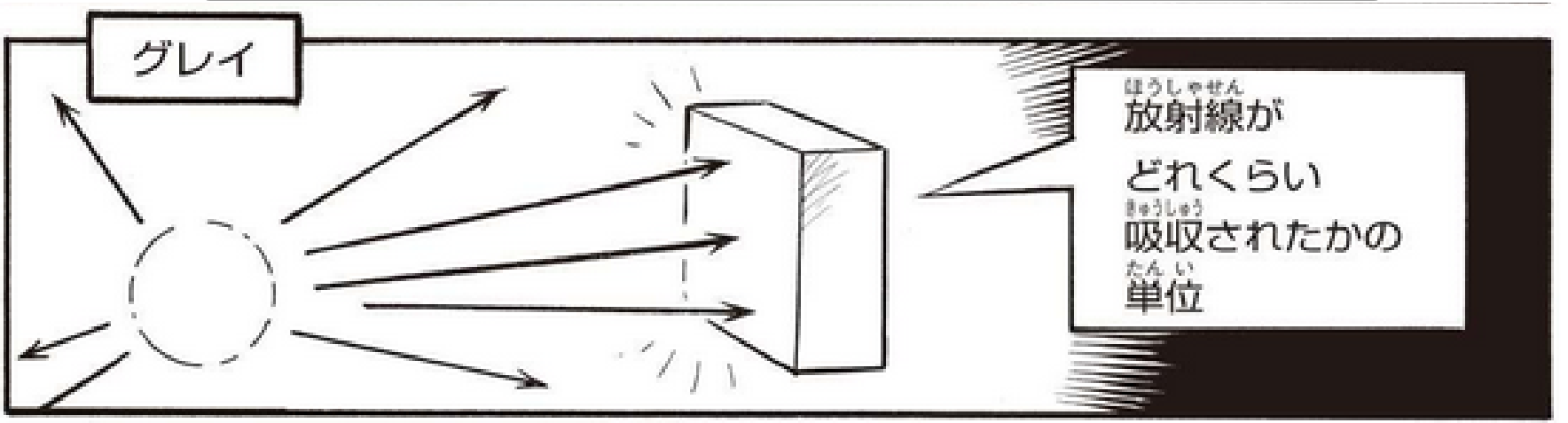
修復失敗

↓

細胞死

※多量に起こると問題だが少量ならば影響は無い

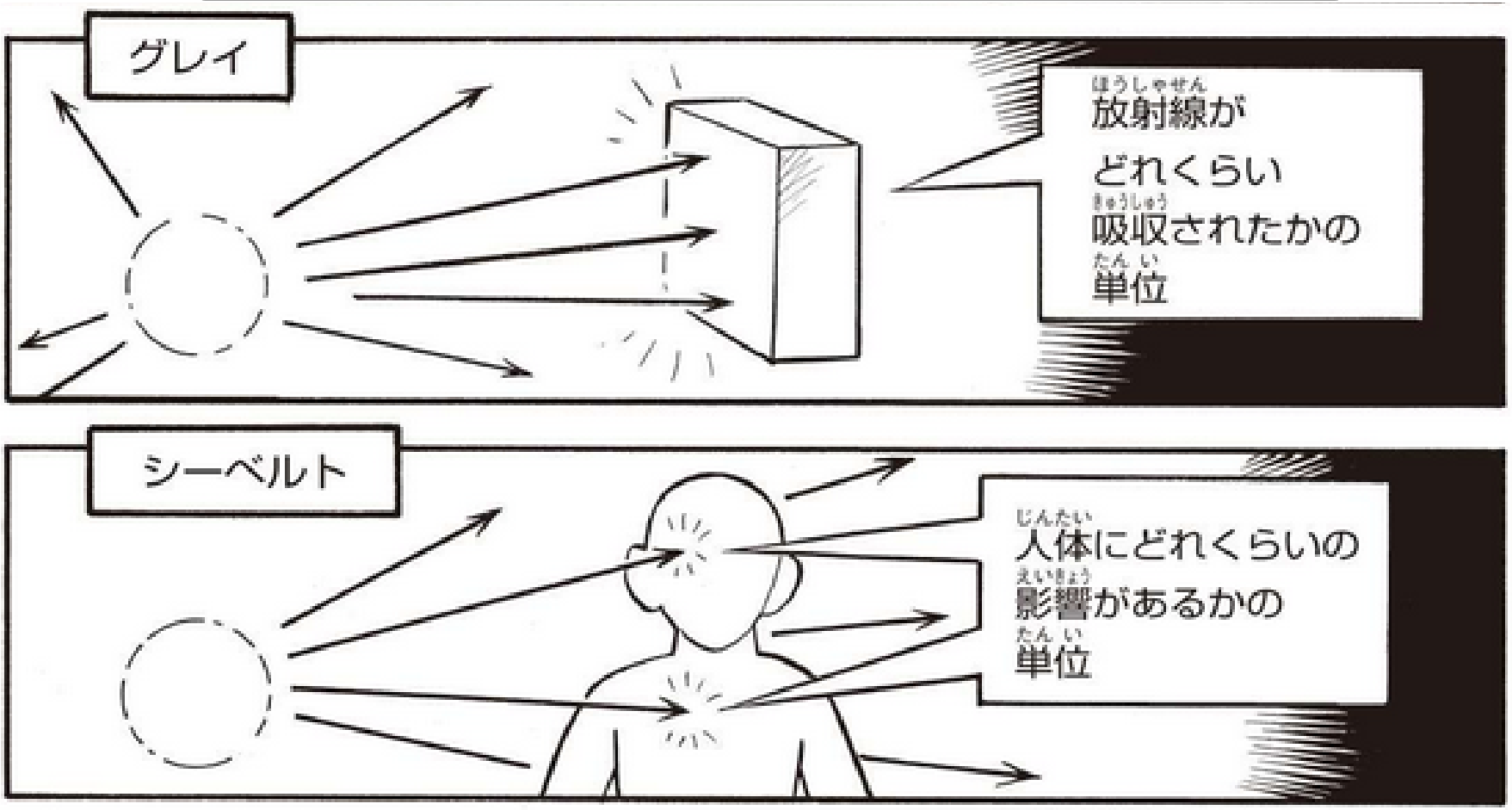
シーベルトという単位



Gy（グレイ）＝ J/kg

質量（kg）あたり、どれだけの放射線のエネルギー（J）を吸収したかという物理量

シーベルトという単位



あさりよしとお「放射線ってナニモノ？」

Gy × 放射線加重係数 × 組織加重係数 ＝ Sv（シーベルト）

※実効線量

誤った修復を起しやすい放射線で大きい

致命的な癌になりやすい組織で大きい

Svの算出に用いられる係数

放射線タイプ	放射線荷重係数
光子	1
電子、ミュー粒子（ミューオン）	1
陽子、荷電パイ中間子	2
α粒子、重イオン、核分裂片	20
中性子	※

※：エネルギーによって異なり、約2.5～21の値を取る。

Svの算出に用いられる係数

放射線タイプ	放射線荷重係数
光子	1
電子、ミュー粒子（ミューオン）	1
陽子、荷電パイ中間子	2
α粒子、重イオン、核分裂片	20
中性子	※

※：エネルギーによって異なり、約2.5～21の値を取る。

^{134}Cs、^{137}Cs、^{131}I は光子と電子のみを放出するので、放射線荷重係数は1、つまりGy=Svとなる。
また、外部被ばくの大部分は光子・電子・ミューオンなので、Gy=Svと見なせる場合が多い。

※ 第１回講義のシミュレーションで見たとおり、光子によるエネルギー付与は、実際には光子からエネルギーを受け取った電子によるエネルギー付与である。このことを考えると光子と電子の放射線荷重係数が等しいことが理解しやすい。

^{210}Po、^{220}Rn、^{222}Rn等による内部被ばくは主にα線。

Svの算出に用いられる係数

放射線タイプ	放射線荷重係数
光子	1
電子、ミュー粒子（ミューオン）	1
陽子、荷電パイ中間子	2
α粒子、重イオン、核分裂片	20
中性子	※

※：エネルギーによって異なり、約2.5～21の値を取る。

臓器・組織名	組織荷重係数
肺、胃、結腸、骨髄、乳房、残りの組織・臓器	0.12
生殖腺	0.08
甲状腺、食道、膀胱、肝臓	0.04
骨表面、皮膚、脳、唾液腺	0.01

これらの表の値はICRPの2007年勧告から引用していることに注意。1990年勧告とは数値が若干異なる。

↓

新規に得られた知見に基づき、常に見直しが行われているため。

Svの種類 その1

実効線量

Gy × 放射線加重係数 × 組織加重係数 ＝ Sv（シーベルト）

誤った修復を起しやすい放射線で大きい

致命的な癌になりやすい組織で大きい

等価線量

Gy × 放射線加重係数 ＝ Sv（シーベルト）

誤った修復を起しやすい放射線で大きい

Svの種類 その1

等価線量は、特定の組織に集まる性質のある核種による内部被ばくや、がん以外の影響の評価（皮膚や眼球）の際に使われることが多い。

例：成人が甲状腺にβ線とγ線を合計100mGy吸収した場合、β線（電子）とγ線（光子）の放射線荷重係数は両方とも1、甲状腺の組織荷重係数は0.04なので…

甲状腺の等価線量 ＝ 100 × 1 ＝ 100 (mSv)

実効線量 ＝ 100 × 1 × 0.04 ＝ 4 (mSv)

となる。

Svの種類 その2

防護量

値を実測できない

実効線量

等価線量

実用量

外部被ばくの測定装置が示す値

ある空間を飛び交っている放射線の種類と量をセンサーで把握し、「その空間に人間がいたら、どの程度の被ばくになるか？」を示したい。

しかし実際の被ばく量は、どの方向から放射線を受けるかといった各種の条件に左右される。どうすれば良い？

Svの種類 その2

防護量

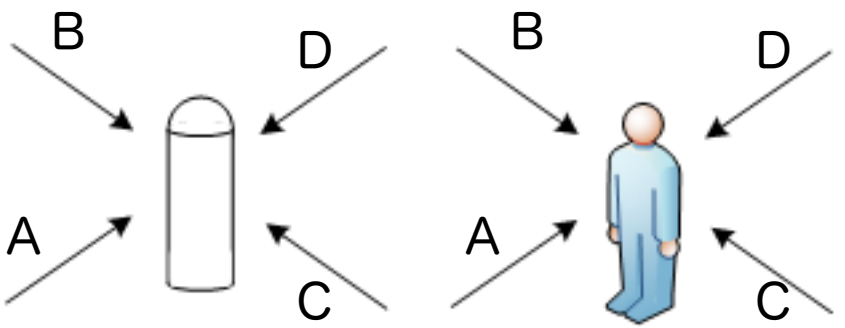
値を実測できない

実効線量

等価線量

実用量

外部被ばくの測定装置が示す値



同じ放射線が飛び交う空間での人体とセンサーの違い。モニタリングポスト（左）はどの方向から放射線が来ても同じ値を示すが、人体（右）の場合はAの方向（正面）からきた場合に実効線量が最も高くなる。

Svの種類 その2

防護量

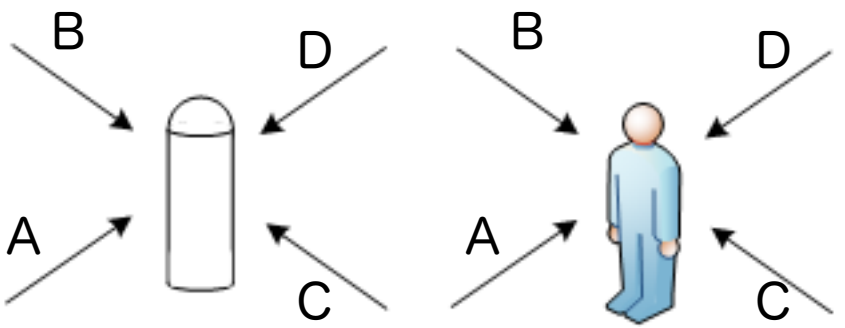
値を実測できない

実効線量

等価線量

実用量

外部被ばくの測定装置が示す値



ある放射線が飛び交っている条件下で測定装置が示す値（線量当量）が、その空間にどんな状態で人体を置いた場合の実効線量よりも常に大きくなるように設定すると、安全寄りの判断ができる。

Svの種類 その2

防護量

値を実測できない

実効線量

等価線量

<

実用量

外部被ばくの測定装置が示す値

周辺線量当量 H*(10)

個人線量当量 Hp(10)

etc.

計算機シミュレーション等で実効線量と比較し、
常に実効線量よりも大きくなることを確認。

Svの種類 その2

実効線量

等価線量

周辺線量当量 H*(10)

個人線量当量 Hp(10)

etc.

これら全てがSvという単位で表されるので非常に紛らわしい。

大ざっぱに、

１）Svという単位は、ほとんどの場合は体全体のがんリスクを表す場合に使う。

２）測定装置が示す値は実際のリスクより少し高めに見積もった値。

程度の理解をしておき、必要な際に厳密な定義を確かめるというのも一案。

内部被ばくの計算法

このコップ１杯の牛乳に、放射性核種である^{131}Iが100Bq含まれているとする。

この１杯を飲むことによる内部被ばくを実効線量で示せ。

内部被ばくの計算法

１）体内動態モデルを用いて、摂取された核種がいつ、どこに存在するかを予測する。

２）体内動態モデルで得られた核種の分布と、線量評価モデルを用い、摂取後のある時点における実効線量を推定する。

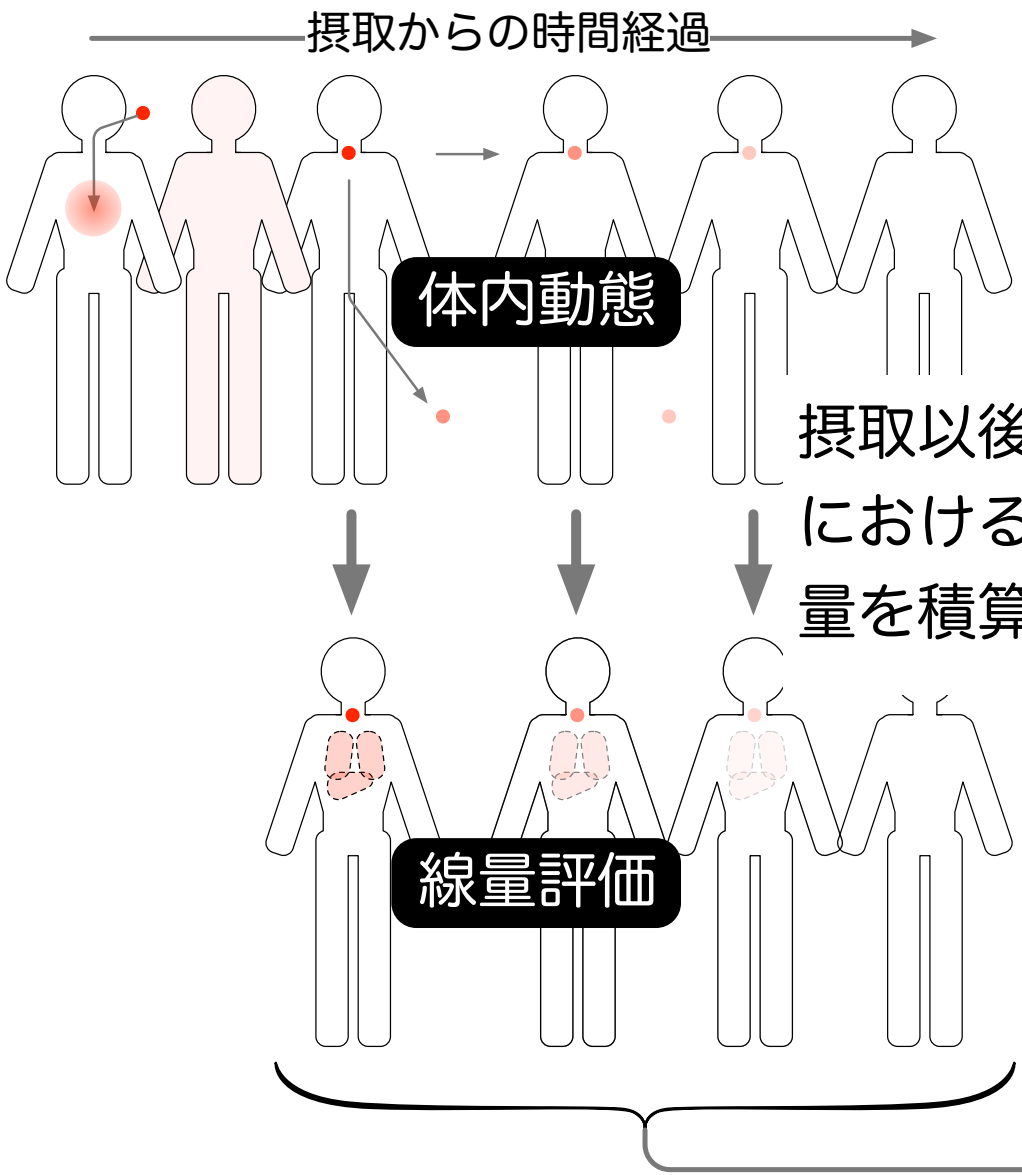
３）摂取後の生涯期間における実効線量の積算値を推定する。　→　預託実効線量

⋮

Bqあたりの預託実効線量が実効線量係数

内部被ばくの計算法

より詳細な説明については、配布資料「BqからSvへの変換法」を参照して下さい。



摂取以後の生涯における実効線量を積算する。

預託実効線量（Sv）

預託実効線量は摂取した核種量（Bq）に比例する。

実効線量係数（Sv/Bq）

実効線量係数（μSv/Bq）	
K-40（経口）	0.0062
I-131（経口）	0.022
I-131（吸入 1μm）	0.0076
Cs-134（経口）	0.019
Cs-137（経口）	0.013
Po-210（経口）	0.24

実効線量係数の調べ方

平成十二年科学技術庁告示第五号

放射線を放出する同位元素の数量等を定める件　別表第２

放射線障害防止法　別表第２

別表第２（第７条、第１４条及び第１９条関係）

放射性同位元素の種類が明らかで、かつ、一種類である場合の空気中濃度限度等

第一欄		第二欄	第三欄	第四欄	第五欄	第六欄
放射性同位元素の種類		吸入摂取した場合の実効線量係数	経口摂取した場合の実効線量係数	空気中濃度限度	排気中又は空気中の濃度限度	排液中又は排水中の濃度限度
核種	化学形等	(mSv/Bq)	(mSv/Bq)	(Bq/cm^3)	(Bq/cm^3)	(Bq/cm^3)
^{3}H	元素状水素	1.8×10^{-12}		1×10^{4}	7×10^{1}	
^{3}H	メタン	1.8×10^{-10}		1×10^{2}	7×10^{-1}	

実効線量係数の調べ方

別表第２（第７条、第１４条及び第１９条関係）
放射性同位元素の種類が明らかで、かつ、一種類である場合の空気中濃度限度等

第一欄		第二欄	第三欄	第四欄	第五欄	第六欄
放射性同位元素の種類		吸入摂取した場合の実効線量係数 (mSv/Bq)	経口摂取した場合の実効線量係数 (mSv/Bq)	空気中濃度限度 (Bq/cm^3)	排気中又は空気中の濃度限度 (Bq/cm^3)	排液中又は排水中の濃度限度 (Bq/cm^3)
核種	化学形等					
^{3}H	元素状水素	1.8×10^{-12}		1×10^{4}	7×10^{1}	
^{3}H	メタン	1.8×10^{-10}		1×10^{2}	7×10^{-1}	
^{130}I	ヨウ化メチル以外の化合物	9.6×10^{-7}	2.0×10^{-6}	2×10^{-2}	2×10^{-4}	4×10^{-1}
^{131}I	蒸気	2.0×10^{-5}		1×10^{-3}	5×10^{-6}	
^{131}I	ヨウ化メチル	1.5×10^{-5}		1×10^{-3}	7×10^{-6}	
^{131}I	ヨウ化メチル以外の化合物	1.1×10^{-5}	2.2×10^{-5}	2×10^{-3}	1×10^{-5}	4×10^{-2}
^{132}I	蒸気	3.1×10^{-7}		7×10^{-2}	4×10^{-4}	

2.2×10^{-5} (mSv/Bq) = 0.022 (μSv/Bq)

実効線量係数の調べ方

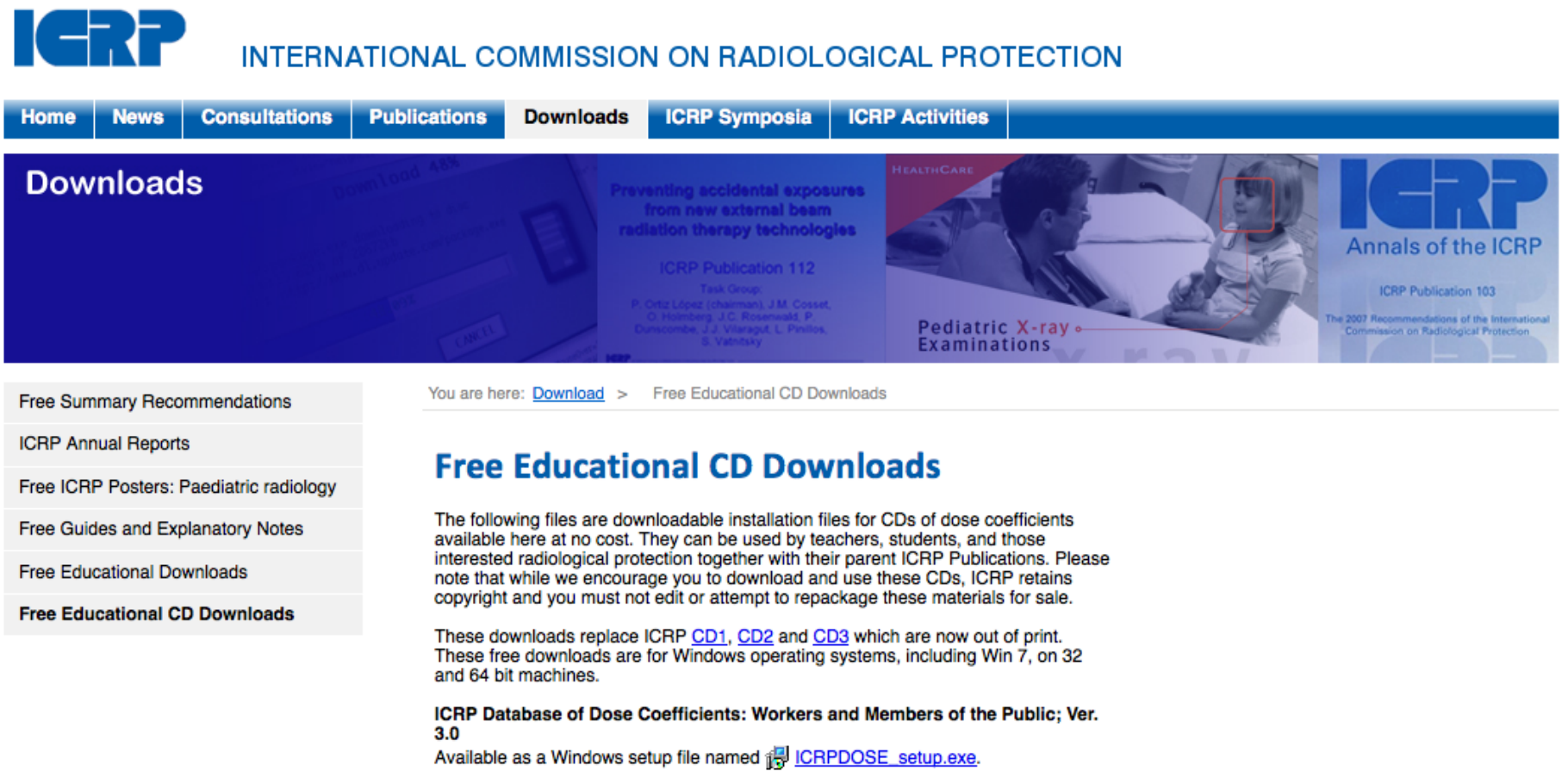
ICRP Database of Dose Coefficients

※ Windows用のデータベースアプリ

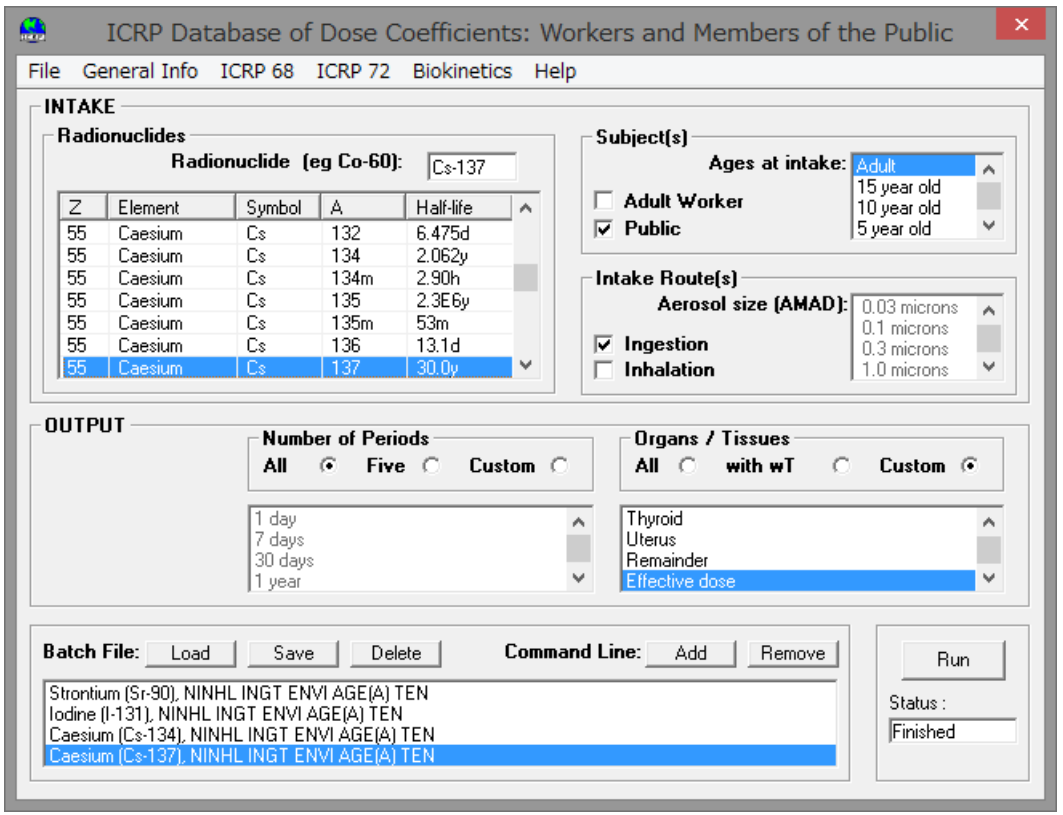
ICRP Free CD

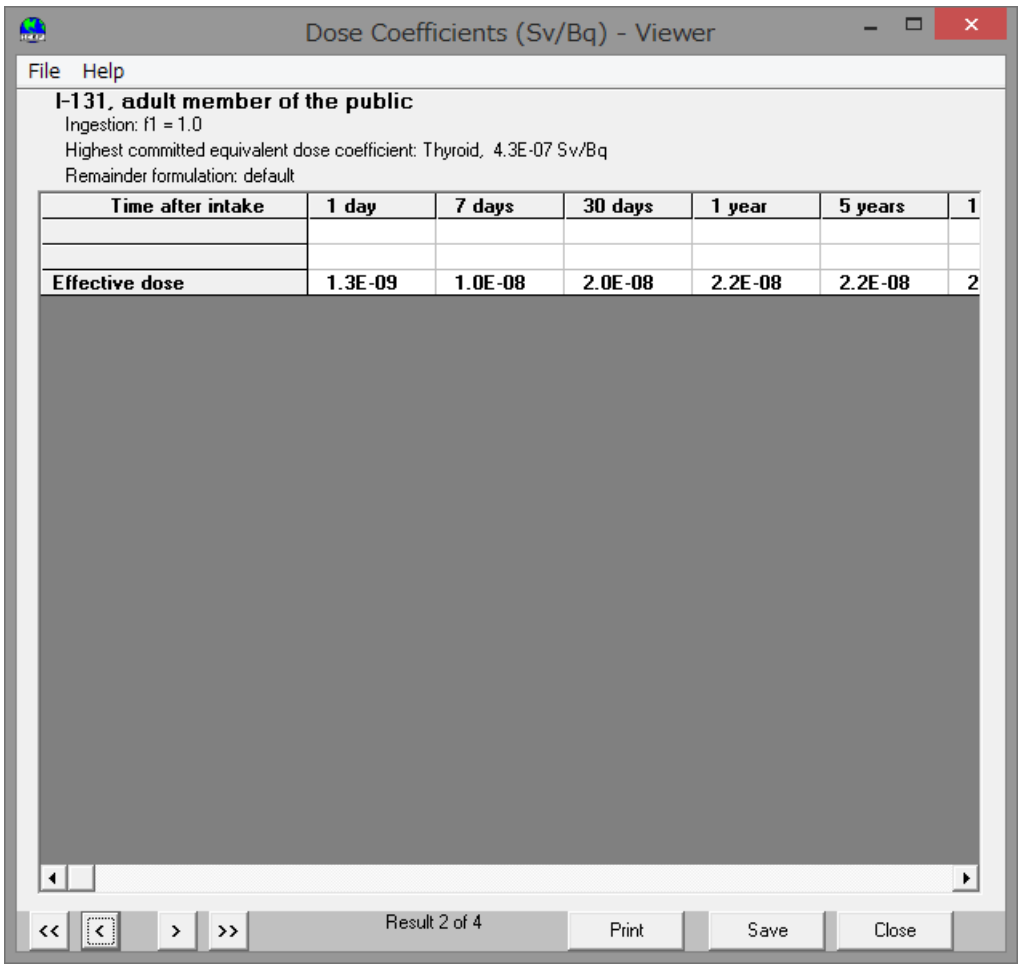
実効線量係数の調べ方

ICRP Database of Dose Coefficients



実効線量係数の調べ方





条件を設定して「Run」をクリック

→　実効線量係数が表示される

※ 成人以外の数値も計算できる。また、生涯被ばく量だけでなく1日、1週間など、より短期間の積算量も表示可能。

内部被ばくの計算例

このコップ１杯の牛乳に、放射性核種である^{131}Iが100Bq含まれているとする。

この１杯を飲むことによる内部被ばくを実効線量で示せ。

実効線量 ＝ 100 Bq × 0.022 μSv/Bq
＝ 2.2 μSv

1) 放射性核種を摂取した量（Bq）に
2) 実効線量係数（Sv/Bq）をかけると
3) （預託）実効線量（Sv）が算出される

Svの計算法

外部被ばく ＋ 内部被ばく ＝ 全被ばく量

外部被ばくの場合 →
- 空間線量率（Sv/h）× 滞在時間（h）
- 累積線量（Sv）

……各種の測定器で測定

安全側に寄った数値を表示。

内部被ばくの場合 → 摂取量（Bq）× 実効線量係数（Sv/Bq）

……核種ごとに係数が公表されている

^{134}Cs：0.019 μSv/Bq

^{137}Cs：0.013 μSv/Bq

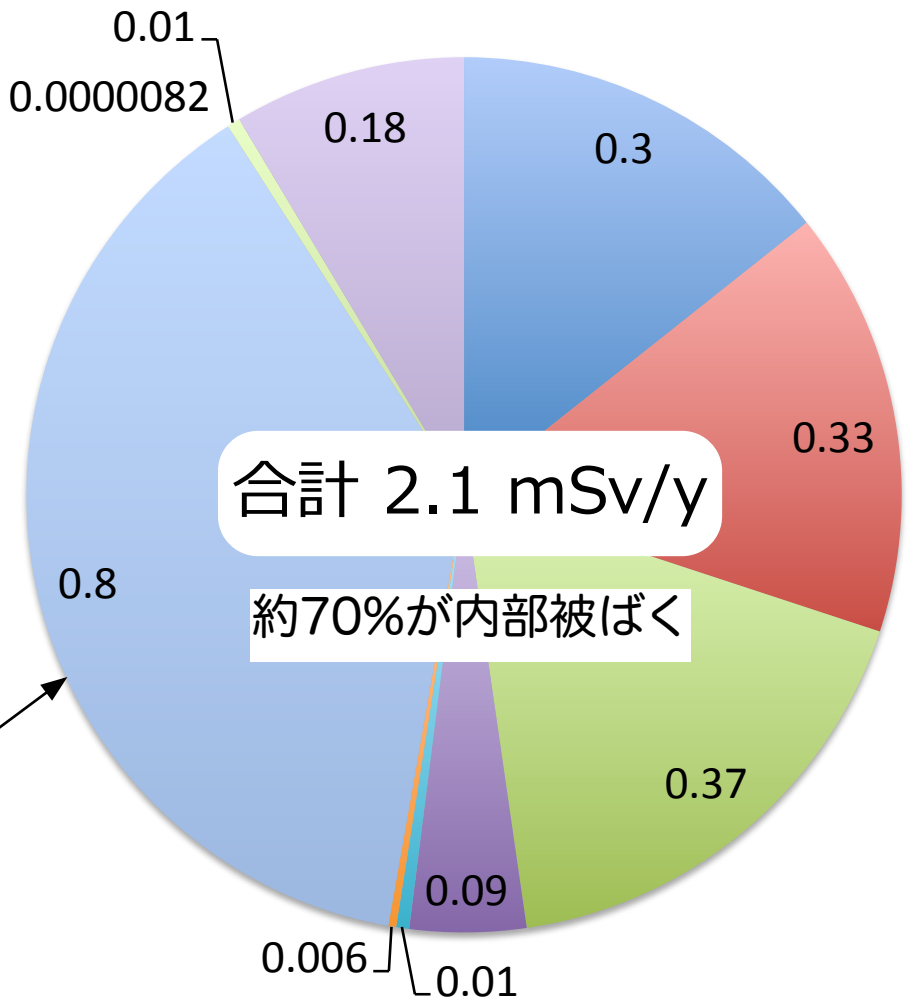
ICRP Publication 119より引用

Svとリスクの目安

相対的な評価 ⟶ 自然被ばく等との比較

絶対的な評価 ⟶ がんリスク上昇

平均的な日本人の自然被ばくの内訳



- 外部被ばく 宇宙線
- 外部被ばく 大地放射線
- 吸入摂取 Rn-222
- 吸入摂取 Rn-220
- 吸入摂取 喫煙（Po-210, Pb-210, etc.）
- 吸入摂取 その他（U-238, etc.）
- 経口摂取 Po-210, Pb-210, etc.
- 経口摂取 H-3
- 経口摂取 C-14
- 経口摂取 K-40

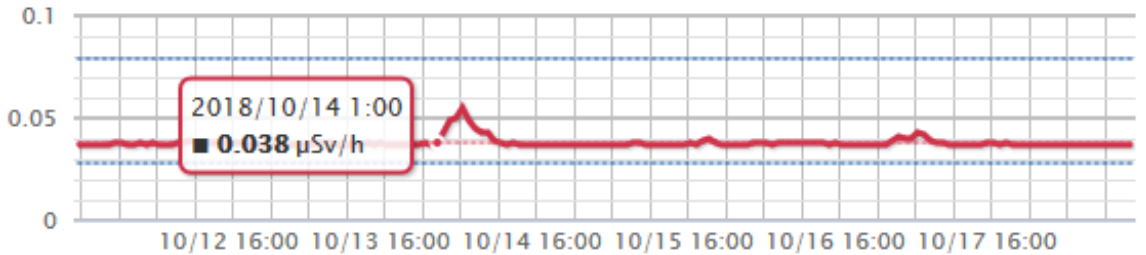
日本人の特徴として、魚介類に含まれる^{210}Poの寄与が大きい。

図の数値は「やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識」（田崎 晴明 2013.1.17版）より引用

降雨による空間線量率の上昇

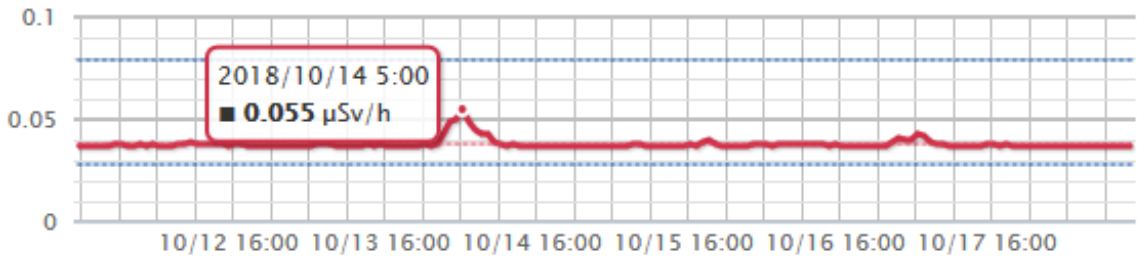
東京都 新宿区　都健康安全研究センター(100cm)

日間 | 週間 | 月間



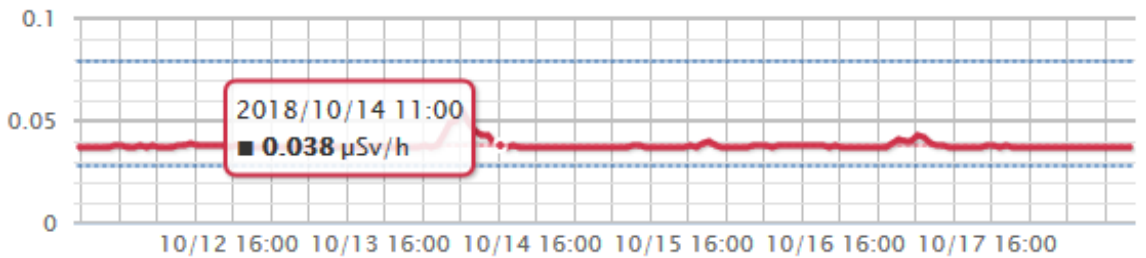
東京都 新宿区　都健康安全研究センター(100cm)

日間 | 週間 | 月間



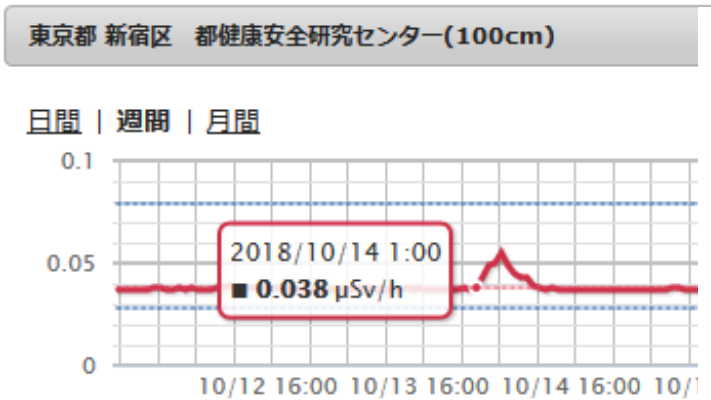
東京都 新宿区　都健康安全研究センター(100cm)

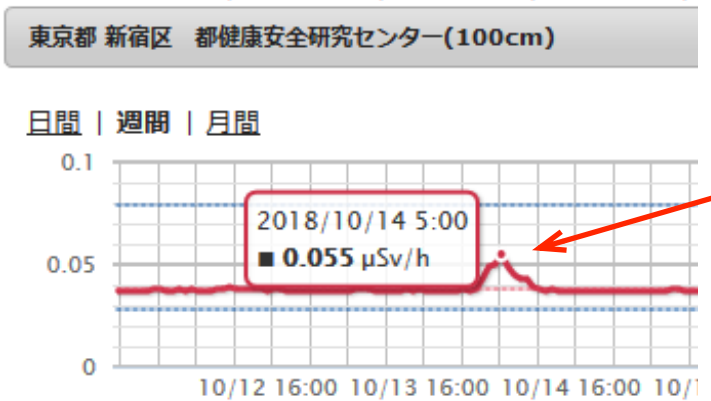
日間 | 週間 | 月間

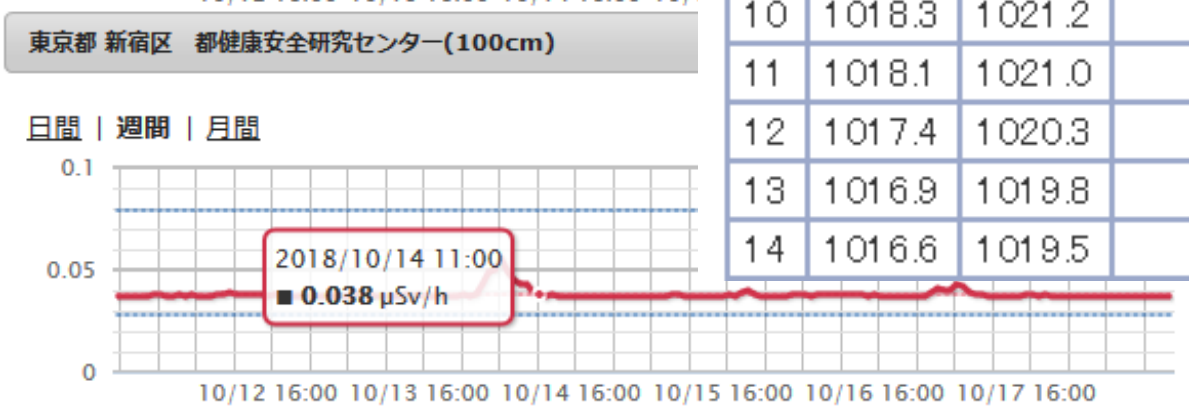


http://new.atmc.jp/

降雨による空間線量率の上昇







http://new.atmc.jp/

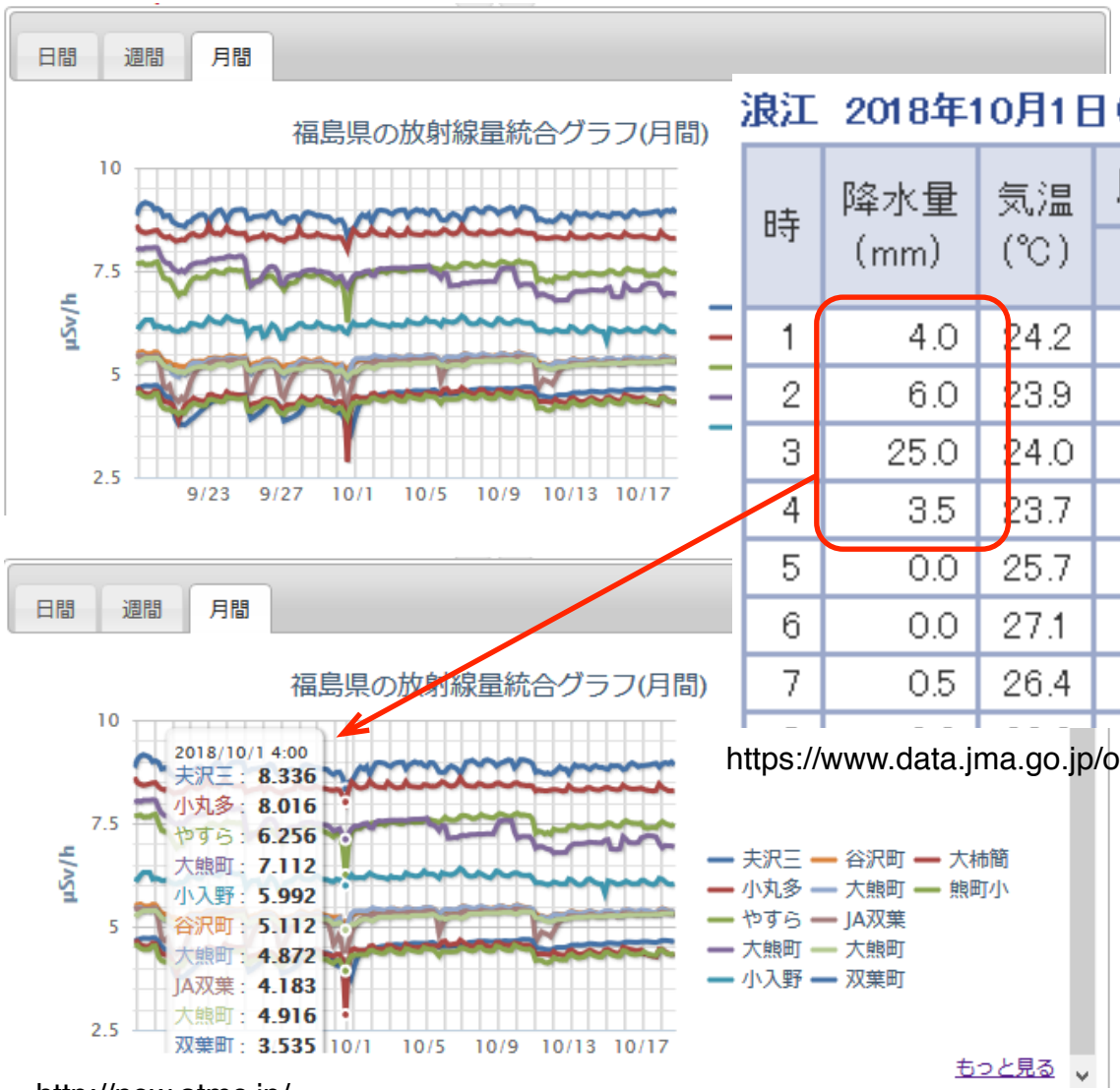
東京　2018年10月14日　（1時間ごとの値）

時	気圧(hPa) 現地	気圧(hPa) 海面	降水量 (mm)	気温 (℃)	露点温度 (℃)	蒸 (h
1	1019.3	1022.2	0.0	15.3	12.1	
2	1019.7	1022.6	0.5	14.7	12.4	
3	1018.2	1021.1	1.5	13.5		
4	1019.2	1022.1	2.0	14.1		
5	1018.8	1021.7	3.0	13.6		
6	1018.5	1021.4	0.5	13.5		
7	1018.9	1021.8	0.0	13.4		
8	1018.8	1021.7	0.0	14.6		
9	1018.8	1021.7	0.0	15.0		
10	1018.3	1021.2	--	16.5		
11	1018.1	1021.0	--	17.2		
12	1017.4	1020.3	0.0	18.6		
13	1016.9	1019.8	0.0	18.8		
14	1016.6	1019.5	--	19.3		

大気中には^{222}Rnから壊変した^{214}Bi、^{214}Pbが浮遊している。降雨によってこれらが地表に落下し、空間線量を上昇させる（他の子孫核種も存在するが、目立ったγ線を出すのはこの2核種）。
これら2核種は半減期が20-30分のため、空間線量は速やかに低下する。

https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php

参考：降雨による空間線量率の低下



http://new.atmc.jp/

浪江　2018年10月1日（1時間ごとの値）

時	降水量（mm）	気温（℃）	風速・風向(m/s)	
			風速	風向
1	4.0	24.2	10.6	南東
2	6.0	23.9	10.2	南東
3	25.0	24.0	9.5	南南東
4	3.5	23.7	3.0	南
5	0.0	25.7	5.1	南西
6	0.0	27.1	10.8	西
7	0.5	26.4	10.4	西

https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/

原発事故による汚染を強く受けた地域では、放射性Csのγ線によって空間線量が高い。

このような場合、^{222}Rnの子孫核種による空間線量上昇効果よりも、降雨によって放射性Csのγ線が遮られる効果の方が大きいため、空間線量は低下する。

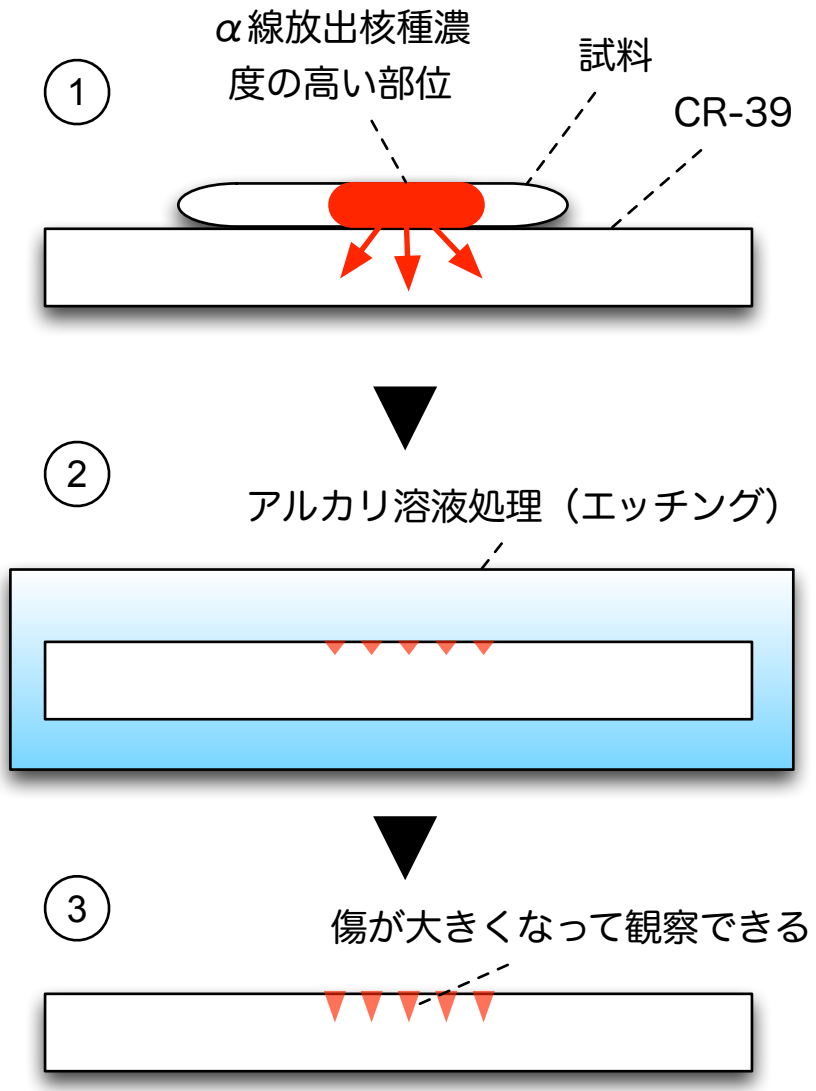
食品中のα線放出核種検出

CR-39は、α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α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、α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、α線放出核種の分布を2次元的に可視化できる。

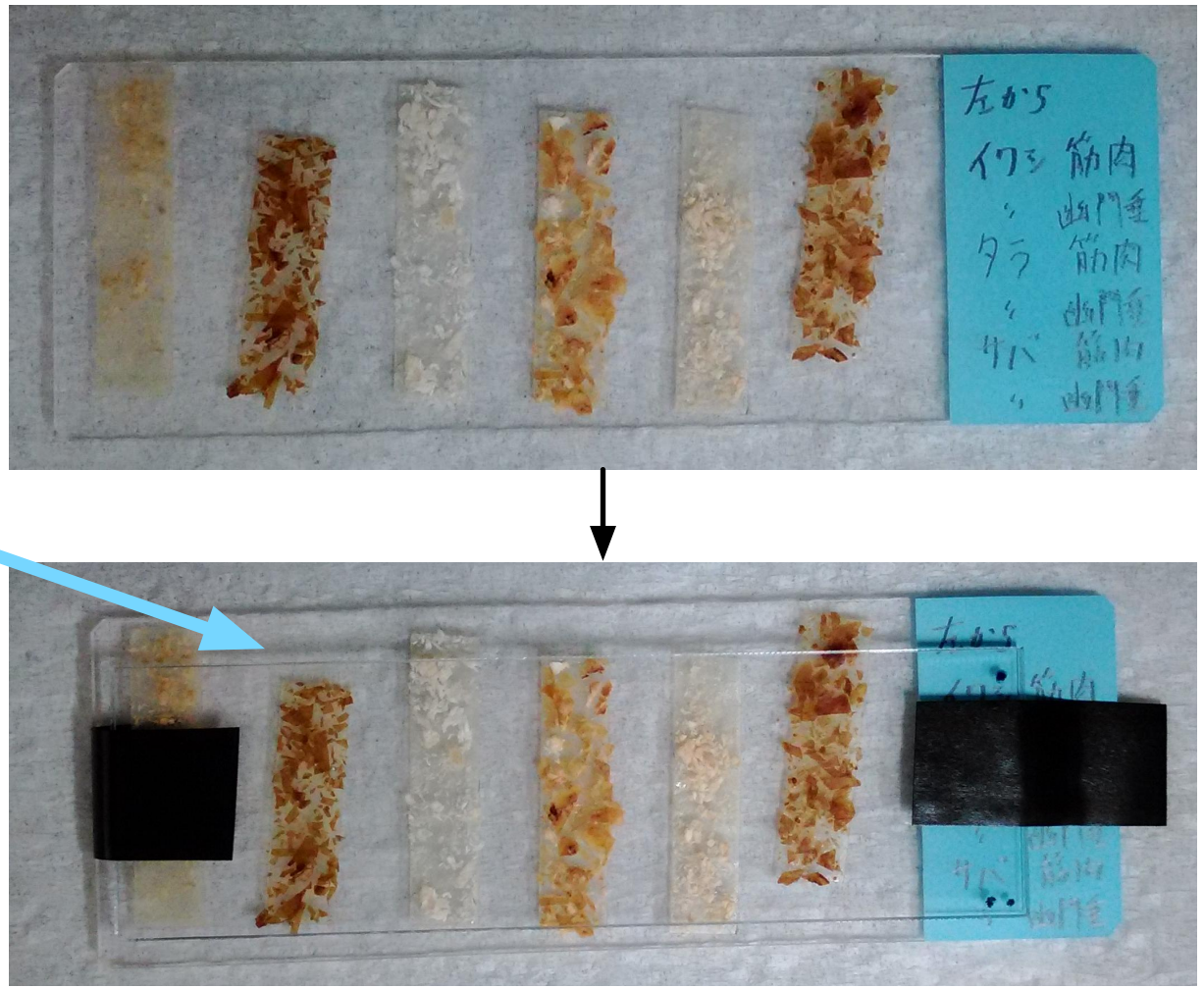


食品中のα線放出核種検出

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ヶ月間密着させ、その後エッチング処理を行った。

ポロニウムが蓄積される臓器

短冊状のCR-39を被せて3ヶ月間冷凍

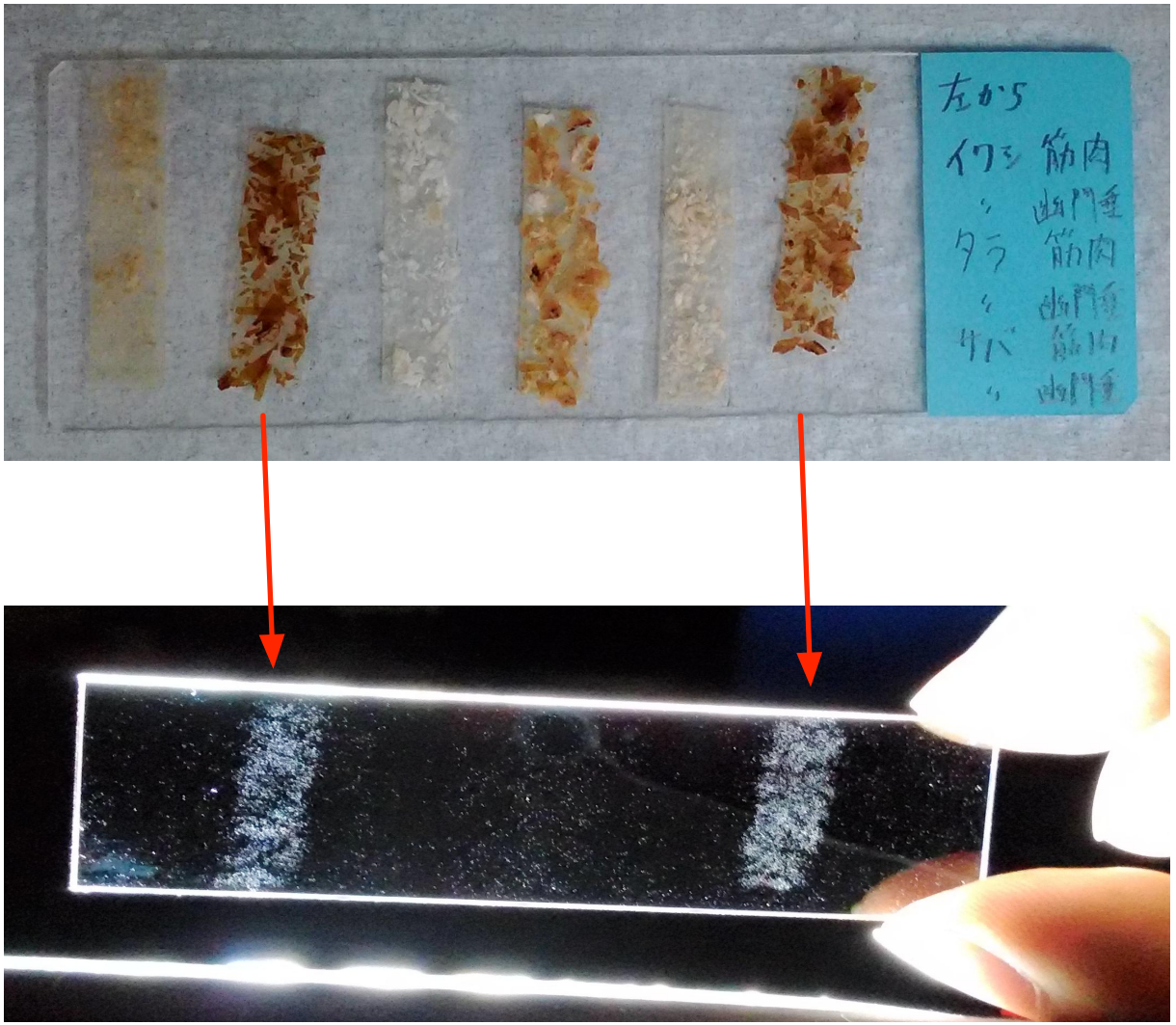


食品中のα線放出核種検出

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ヶ月間密着させ、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

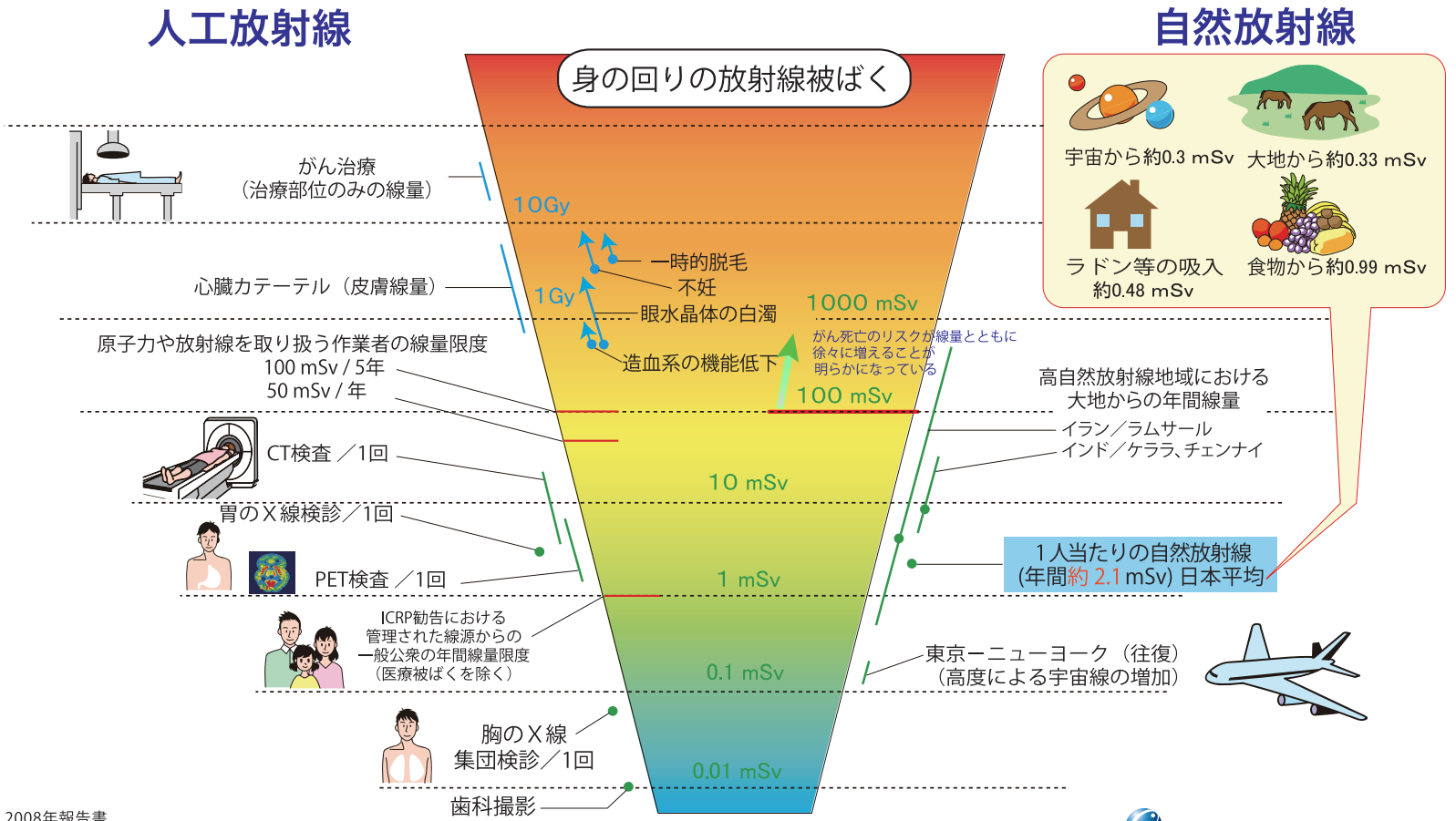
食品中のα線放出核種検出



幽門垂にα線放出核種が存在する（恐らく^{210}Po）

医療被ばくを含む各種被ばくの比較

放射線被ばくの早見図



・UNSCEAR 2008年報告書
・ICRP 2007年勧告
・日本放射線技師会医療被ばくガイドライン
・新版 生活環境放射線（国民線量の算定）
などにより、放医研が作成（2013年5月）

【ご注意】
1）数値は有効数字などを考慮した概数です。
2）目盛（点線）は対数表示になっています。
目盛がひとつ上がる度に10倍となります。
3）この図は、引用している情報が更新された場合
変更される場合があります。

【線量の単位】

各臓器・組織における吸収線量：Gy（グレイ）
放射線から臓器・組織の各部位において単位重量あたりに
どれくらいのエネルギーを受けたのかを表す物理的な量。

実効線量：mSv（ミリシーベルト）
臓器・組織の各部位で受けた線量を、がんや遺伝性影響の感受性について
重み付けをして全身で足し合わせた量で、放射線防護に用いる線量。

各部位に均等に、ガンマ線 1 Gy の吸収線量を全身に受けた場合、
実効線量で1000 mSv に相当する。

QST 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
放射線医学総合研究所
http://www.qst.go.jp

NIRS
Ver 180516

第1回-第3回講義の目的

1. この後に続く各分野での研究内容の理解に必要な、放射線・放射性同位体・人体リスクに関する基礎知識の提供

   到達目標：

   a. ベクレル（Bq）とシーベルト（Sv）がそれぞれ何を表す単位なのか、家族や友人に説明できる。

   b. セシウム137が1万Bq/kg含まれているキノコを200g食べた場合の健康リスクが、胸部レントゲン検査の約何回分に相当するかを推定できる。

2. 既に基礎的な知識を持っている方に対しては、さらなる知識の提供

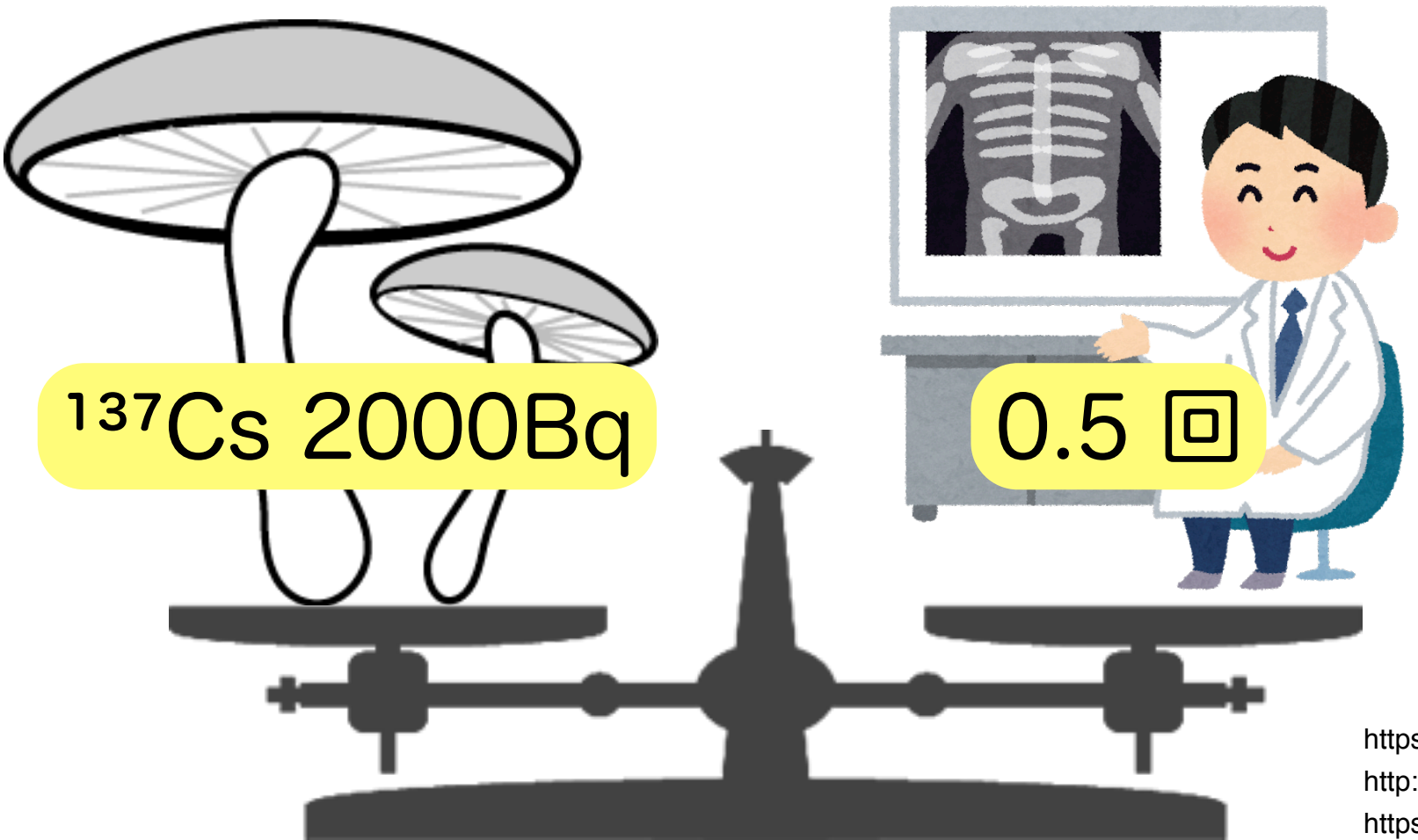
   「講義で取り上げられなかったが知りたい」というトピックについて、ショートレポート用紙、またはメール（atsushih@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp）で質問して下さい。可能な範囲でお答えします（Q&Aを配布します）。

医療被ばくを含む各種被ばくの比較

^{137}Csの実効線量係数が0.013 μSv/Bq

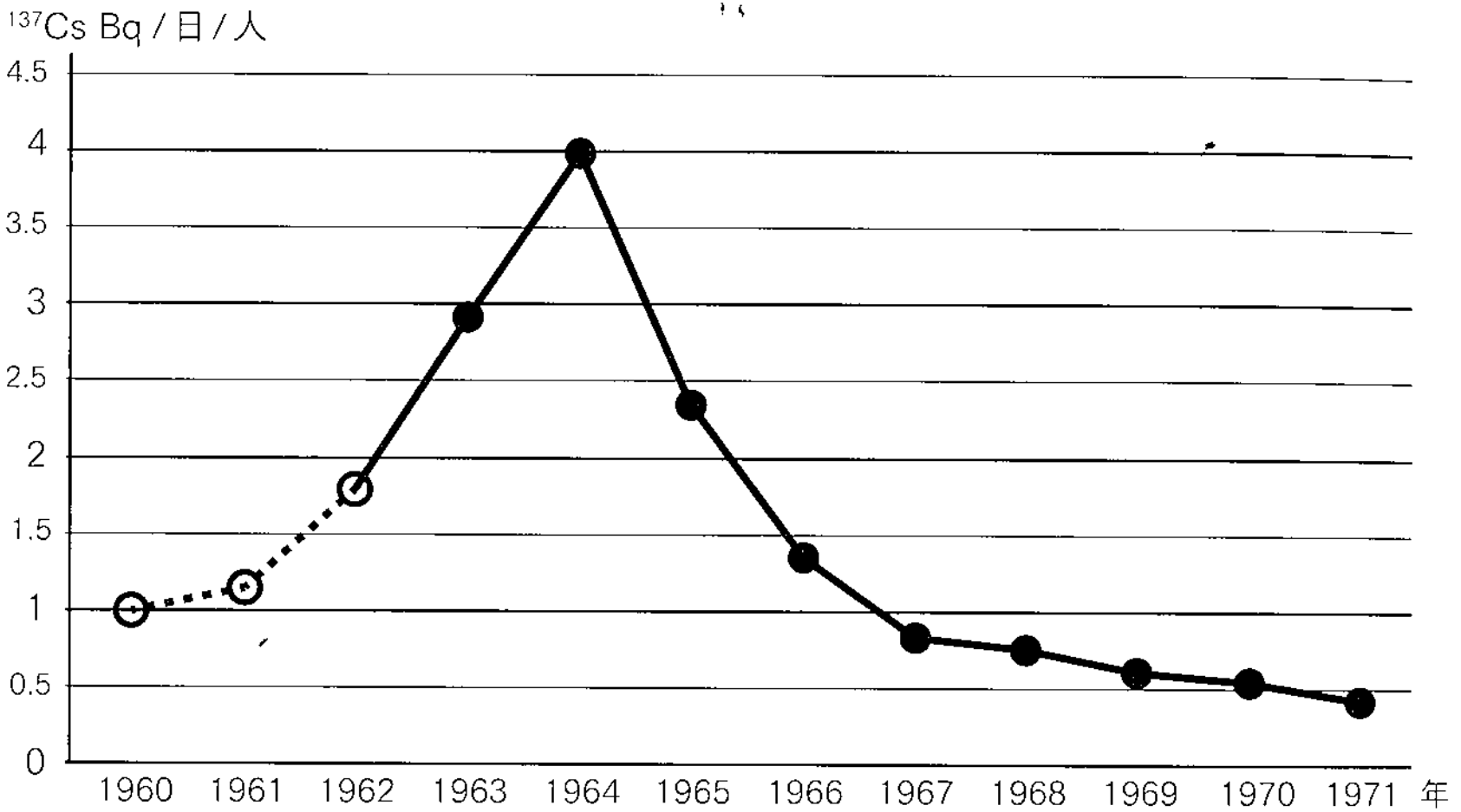
10000Bq/kg × 0.2kg × 0.013μSv/Bq
＝ 26μSv

胸部レントゲン検査による
被ばくは約50μSv



https://www.irasutoya.com/
http://www.wanpug.com/
https://illustcut.com/

大気中核実験の影響との比較

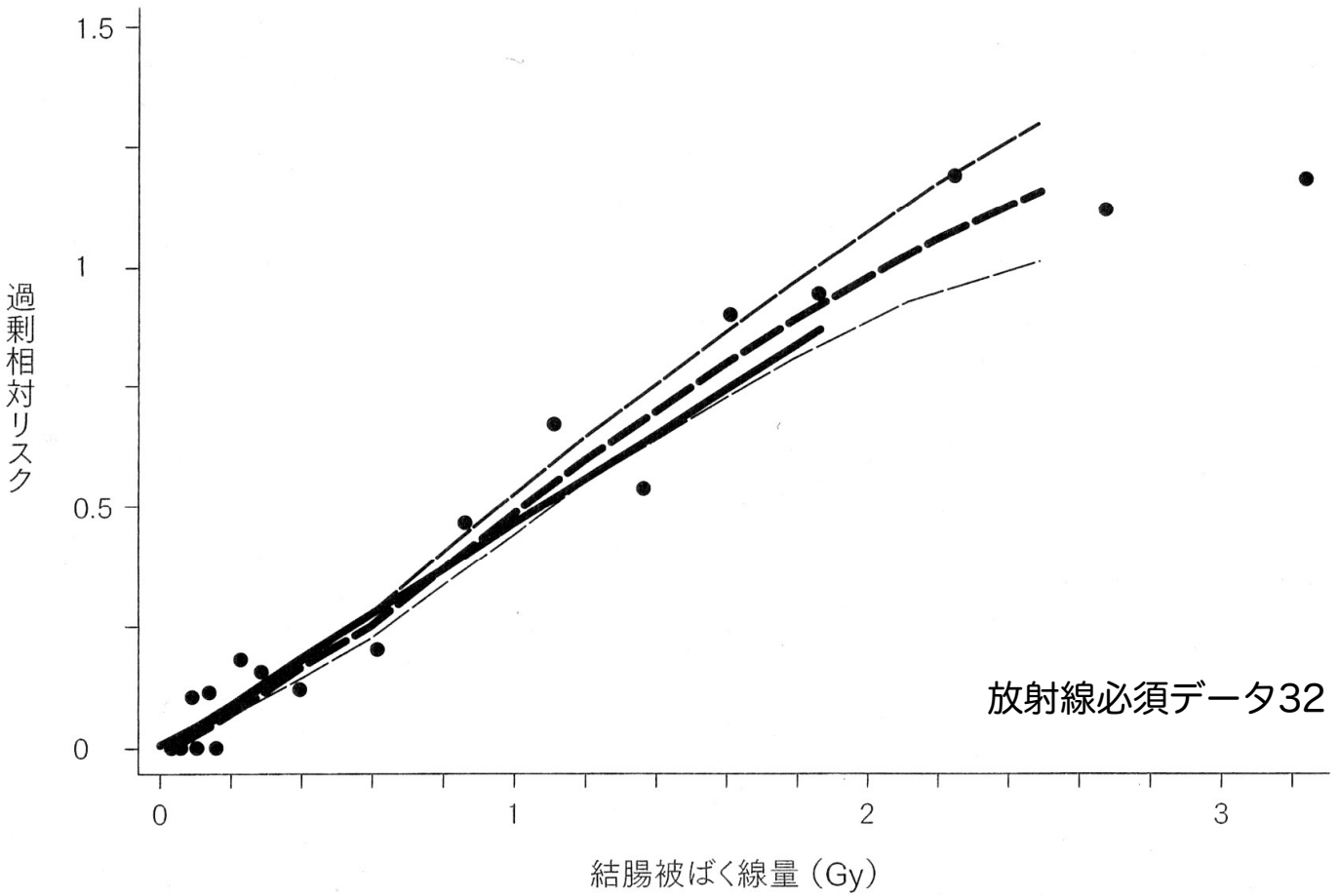


日常食中セシウム137の経年変化。文献[2]の図を引用

「放射線必須データ32」より引用

リスクの絶対評価

被ばく線量と全固形がん発生リスクの関係



放射線必須データ32 p.82

一度にあるていど大きな被ばくを受けた場合、
過剰相対リスクと被ばく線量は直線で近似できる。

リスクの絶対評価

インド・ケララ州住民の累積被ばく線量とがん発生の相対リスク

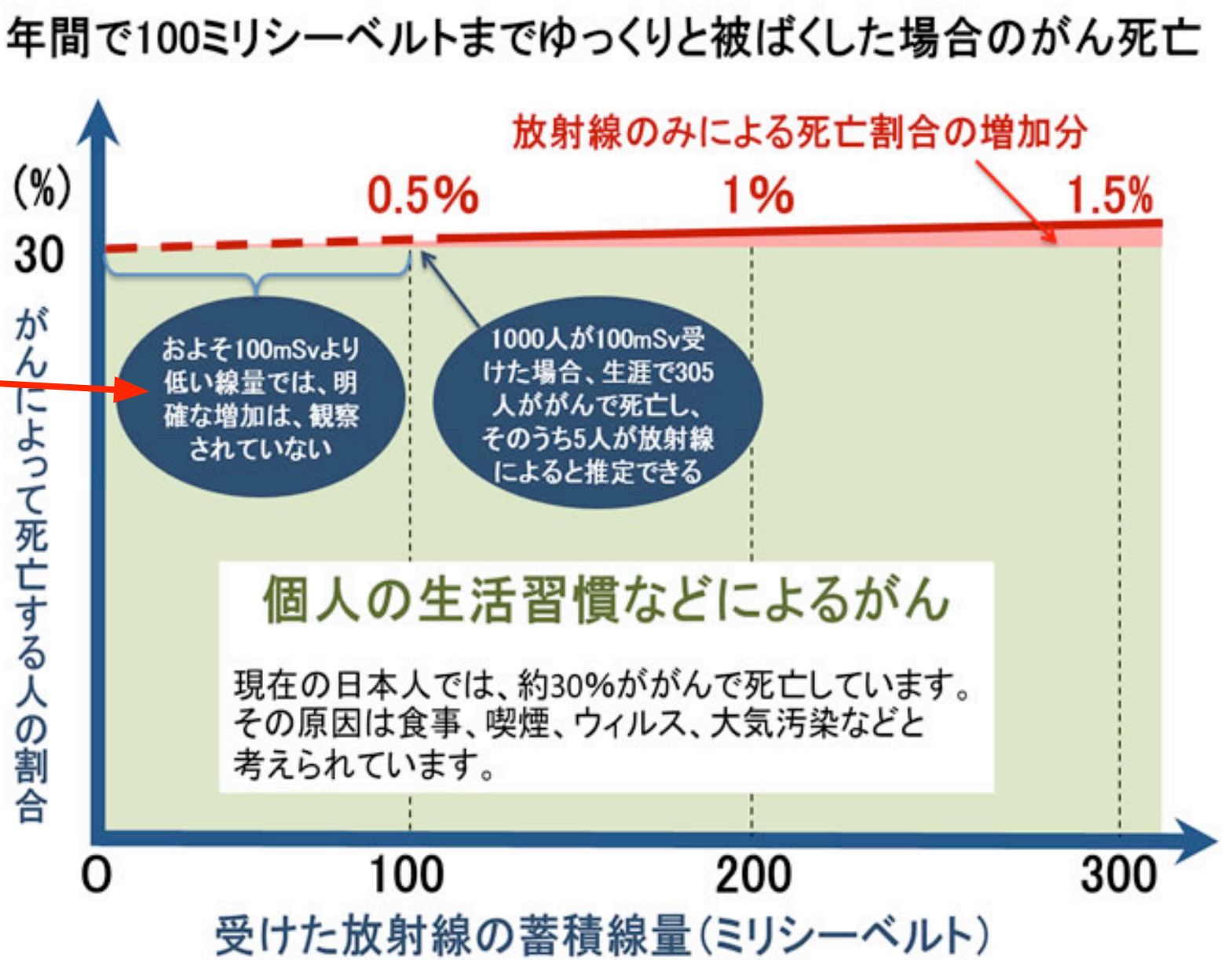
累積被ばく線量（mGy）		0～49	50～99	100～199	200～499	500以上	傾向性のp値
平均±SD		36±6	74±9	141±17	283±49	628±118	
男	がん発生数（人）	149	196	254	135	13	p>0.5
	人年	90622	100359	97088	41540	3273	
	相対リスク	1	0.97	0.97	0.98	0.81	
	95%信頼区間	−	0.77～1.20	0.78～1.20	0.76～1.26	0.45～1.46	
女	がん発生数（人）	133	175	209	76	9	p>0.5
	人年	121346	127733	109249	42296	3082	
	相対リスク	1	0.98	1.08	0.86	1.25	
	95%信頼区間	−	0.78～1.24	0.85～1.37	0.63～1.16	0.62～2.49	
全体	がん発生数（人）	282	371	463	211	22	p>0.5
	人年	211968	228091	206337	83836	6355	
	相対リスク	1	0.97	1.02	0.93	0.95	
	95%信頼区間	−	0.83～1.14	0.87～1.19	0.77～1.13	0.60～1.49	

放射線必須データ32 p.122

少しずつ長期間に渡って被ばくを受けた場合の健康リスクの大きさは、
累積被ばく500mSv、集団サイズ7万人では疫学的に有意ではないレベル。

Svの数値とリスクの目安

これがどういう意味か？



図：放医研ウェブサイトより引用

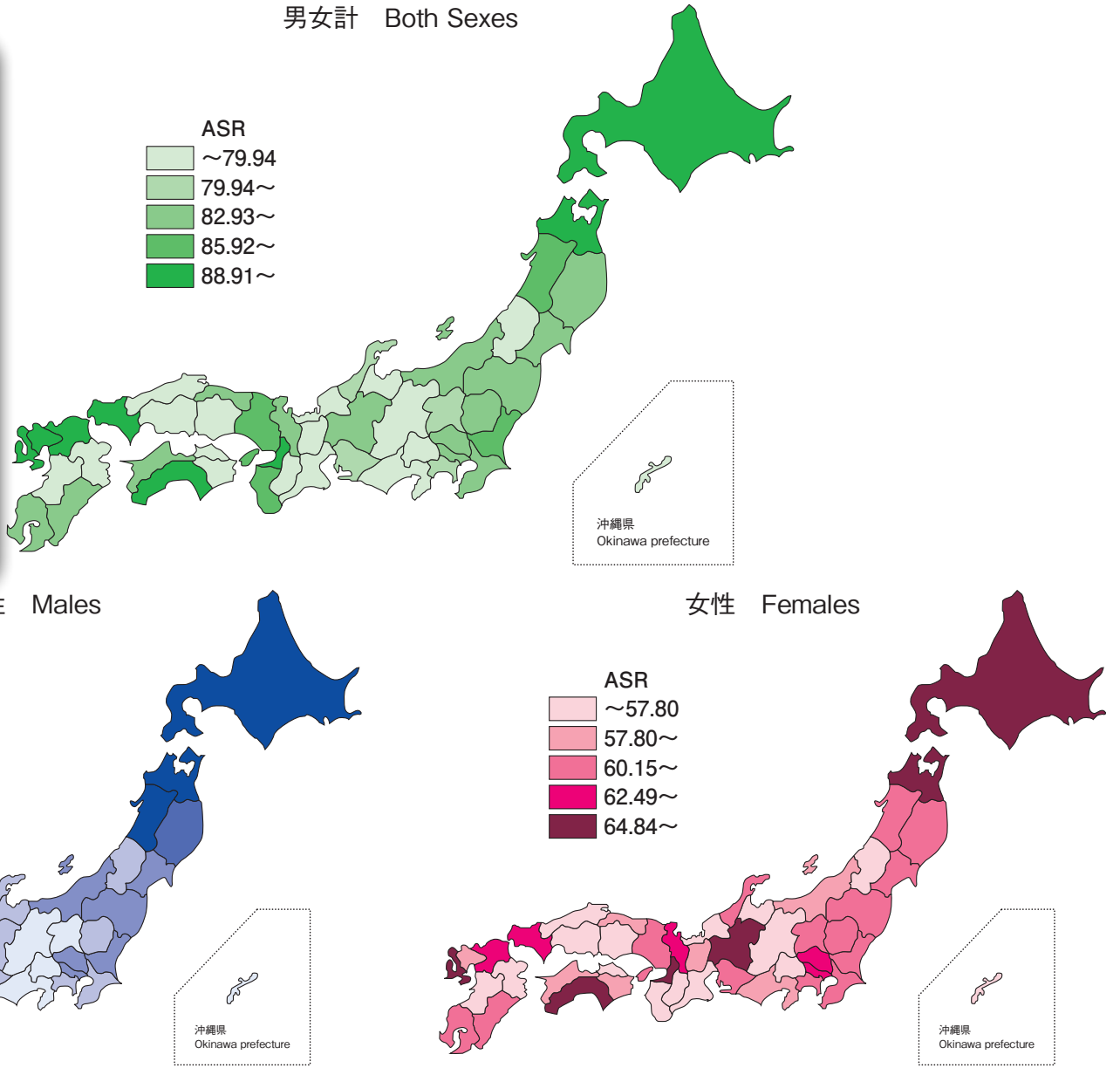
都道府県別75歳未満がん年齢調整死亡率（2009年）
Age-adjusted Cancer Mortality Rate under Age 75 by Prefectures (2009)

（1） 全がん All Cancers

癌の死亡率には様々な変動要因がある。例えば都道府県単位で見ても相対的に10%以上（死亡率30%に対して3%以上）異なる。

↓

低線量被ばくによる0.5%未満の差を検出するのは統計的に困難。



図：がん研究振興財団のウェブサイトより引用

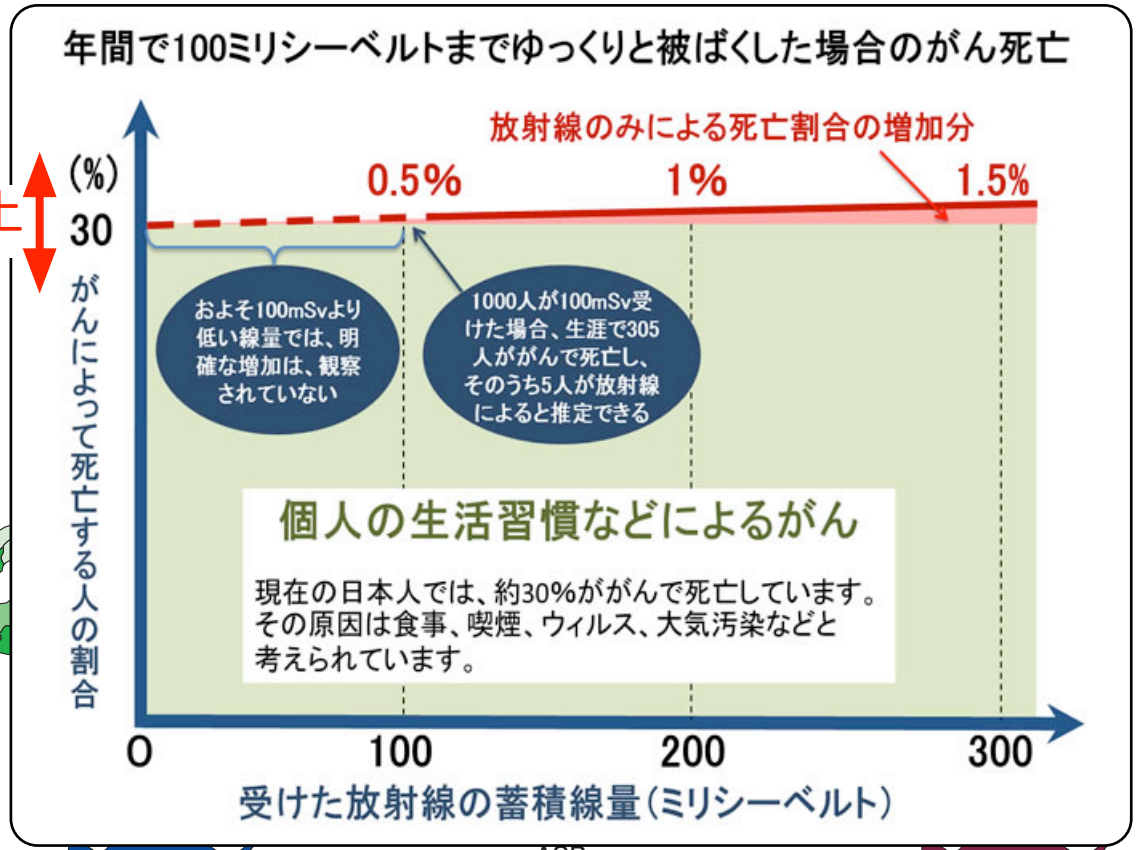
都道府県別75歳未満がん年齢調整死亡率（2009年）
Age-adjusted Cancer Mortality Rate under Age 75 by Prefectures (2009)

（1） 全がん All Cancers

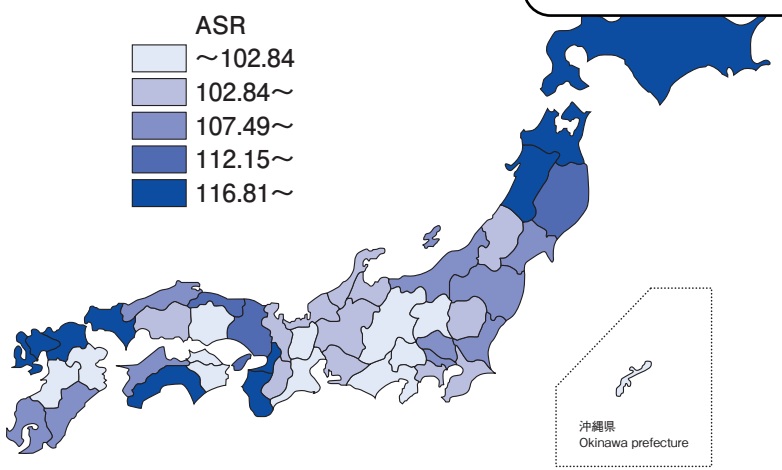
癌の死亡率には様々な変動要因がある。例えば都道府県単位で見ても相対的に10%以上（死亡率30%に対して3%以上）異なる。

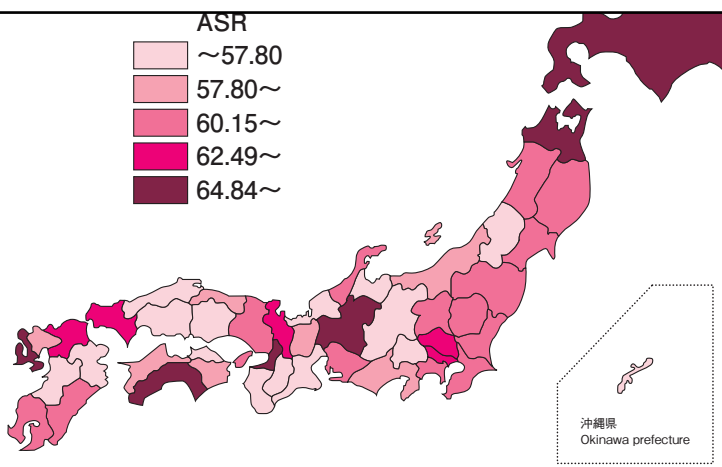
↓

低線量被ばくによる0.5%未満の差を検出するのは統計的に困難。



男性 Males

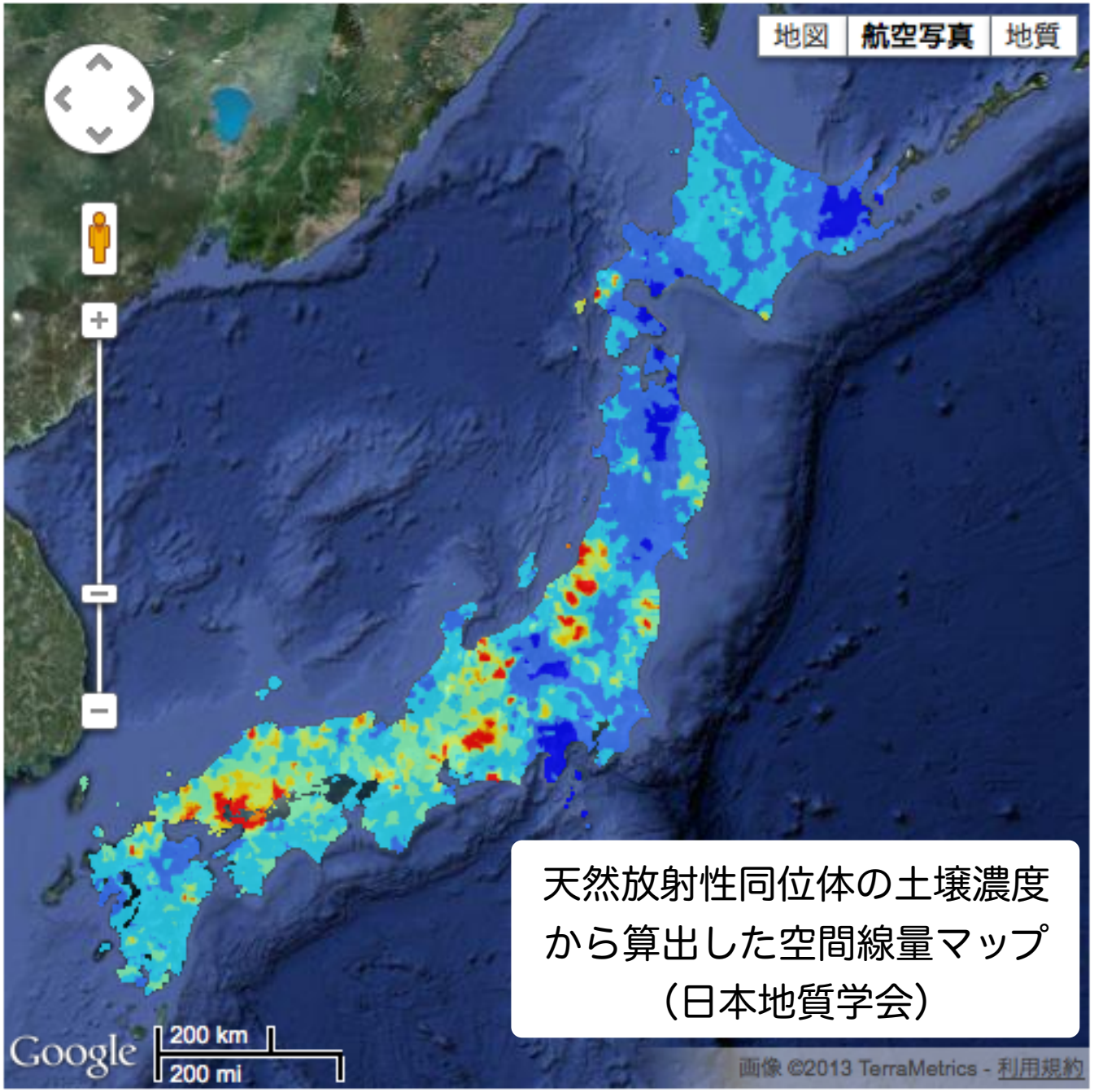




図：がん研究振興財団のウェブサイトより引用

自然被ばく量も全国均一ではないため、個人の線量（先ほどのグラフの横軸）を正確に算出することにも困難が伴う。

※γ線による全身均一被ばくの場合はGy=Sv



天然放射性同位体の土壌濃度から算出した空間線量マップ（日本地質学会）

自然被ばく量も全国均一ではないため、個人の線量（先ほどのグラフの横軸）を正確に算出することにも困難が伴う。

屋内ラドン濃度マップ

放医研ニュースNo.92より引用

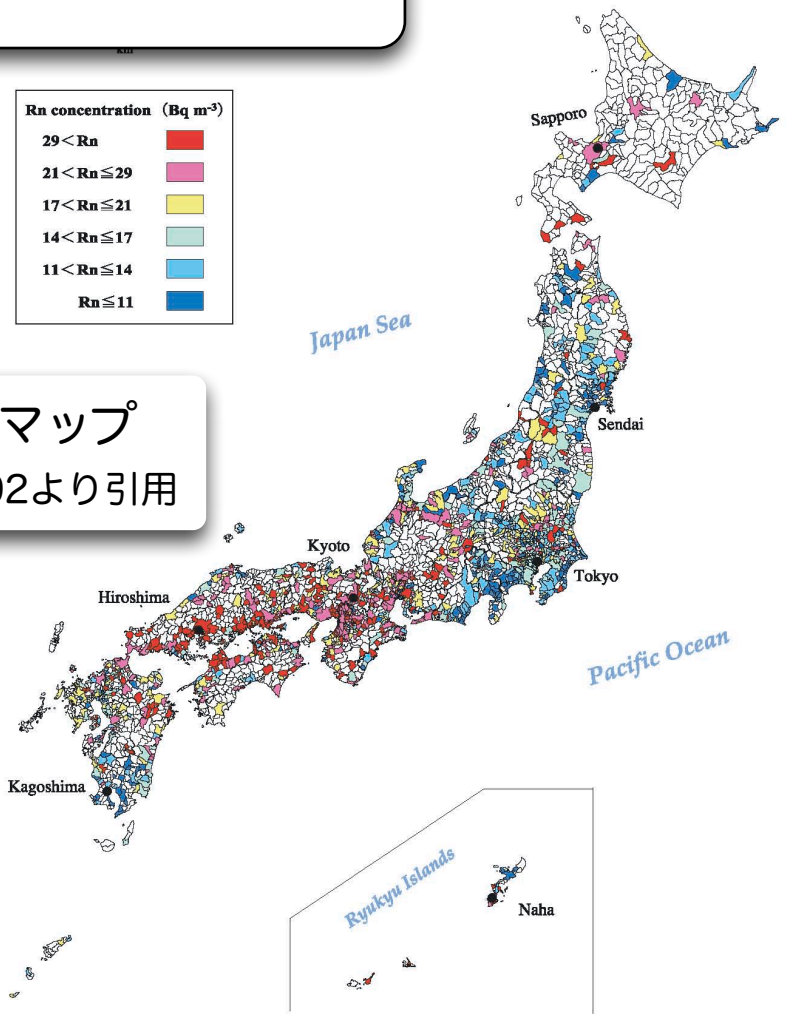


Fig. 4. Graphical expression of annual average indoor radon concentrations in each municipality: Whole nation

図 4. 測定対象各市町村の屋内ラドン濃度色分け段階表示全国版

宇宙線線量率マップ

放医研ニュースNo.92より引用

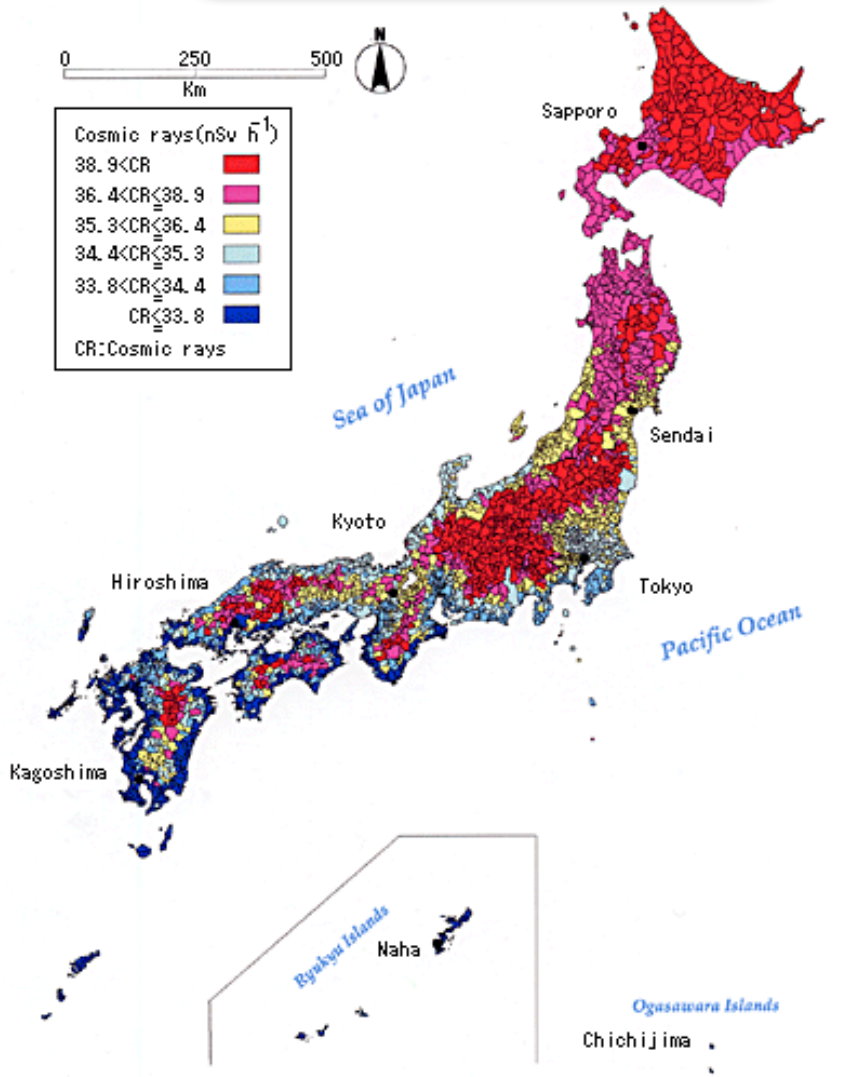


Fig. 4. Graphical expression of cosmic ray dose rates in each municipality: Whole nation

自然被ばく量も全国均一ではないため、個人の線量（先ほどのグラフの横軸）を正確に算出することにも困難が伴う。

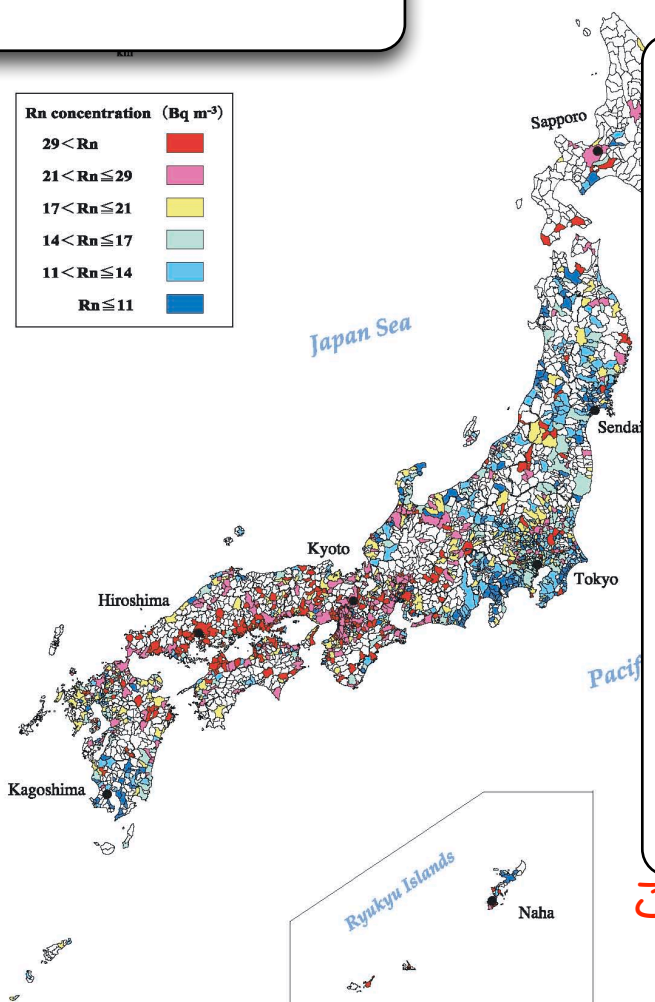
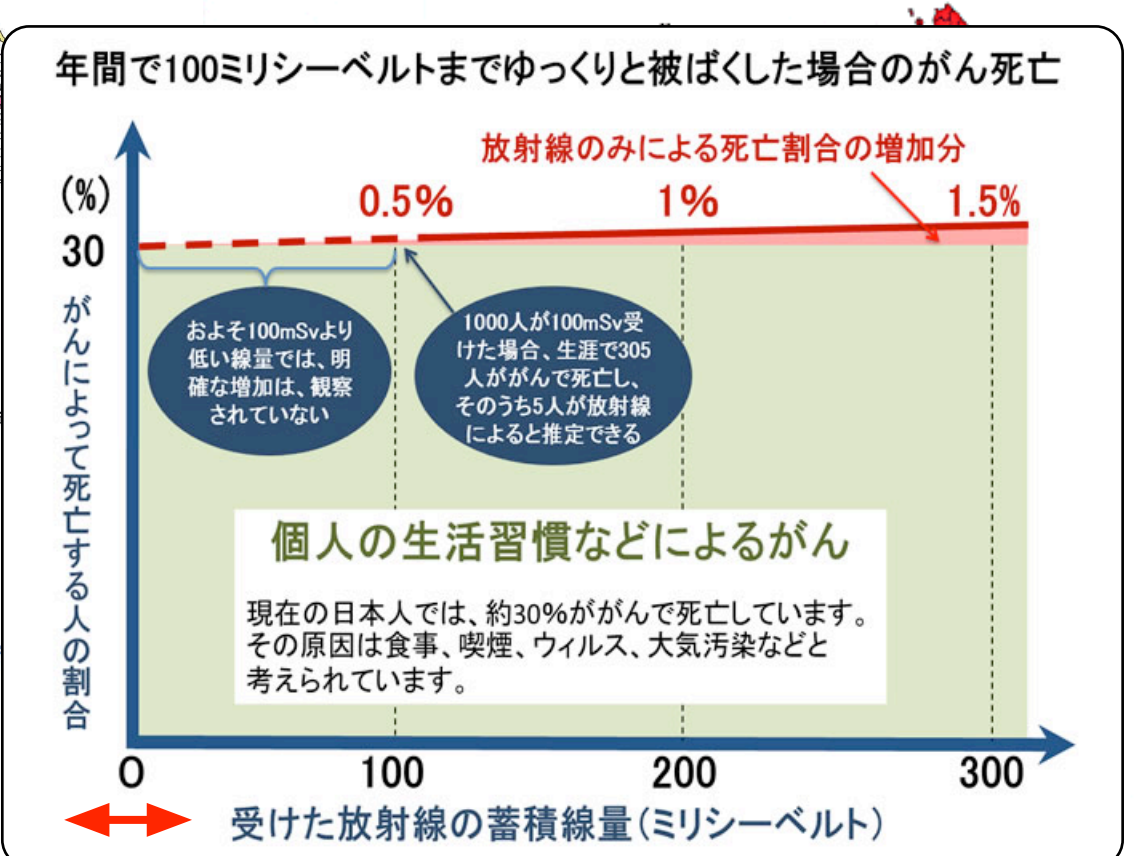
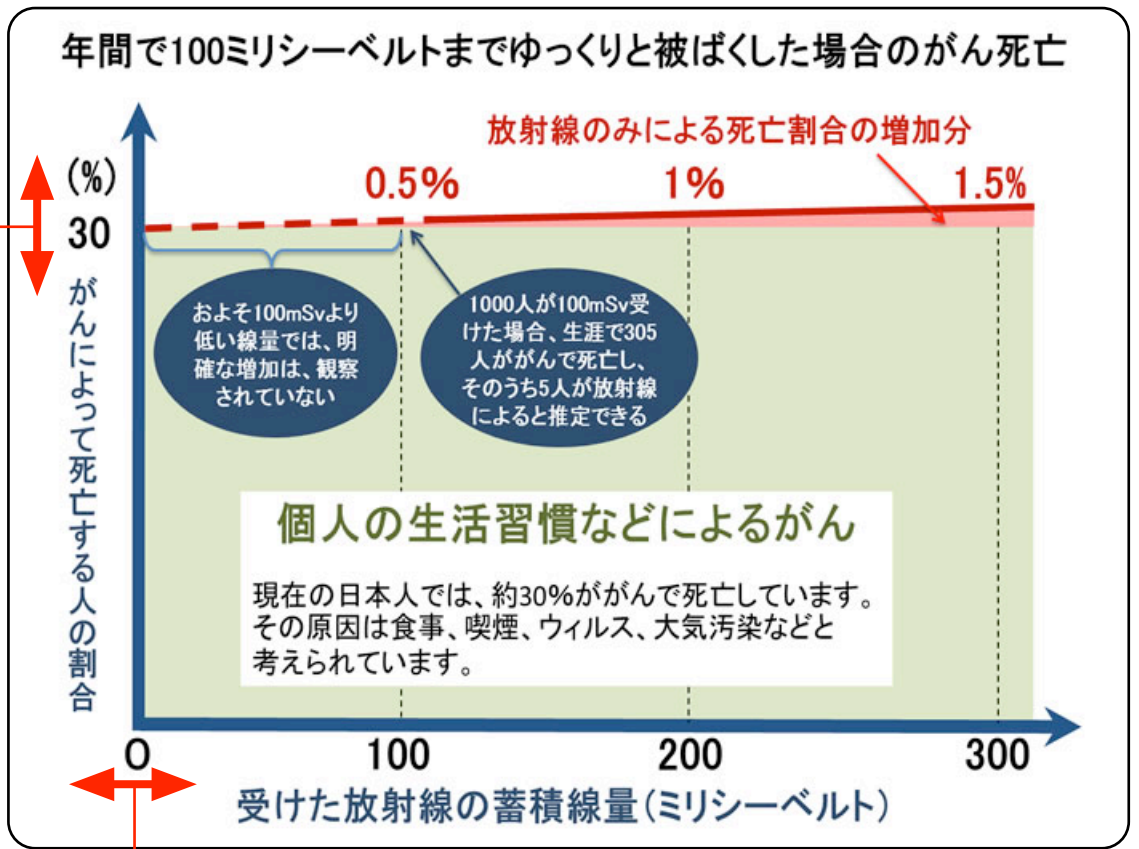


Fig. 4. Graphical expression of annual average indoor radon concentrations in each municipality: Whole nation



この数値が変動



地域差・個人差があるため、0.5%未満の差を検出することが難しい

現在得られているデータからは、100mSv以下の低線量被ばくによる健康影響があるか否か、統計的に断言することはできない。ただし、その影響は他の様々な要因（例えば県による違い）に紛れて識別できない程度には小さいと考えられる。

トランスサイエンス

現在得られているデータからは、100mSv以下の低線量被ばくによる健康影響があるか否か、統計的に断言することはできない。ただし、その影響は他の様々な要因（例えば県による違い）に紛れて識別できない程度には小さいと考えられる。

ここまでは、科学的に議論できる。
（反論がある場合でも、データの取り方が正しいか？といった科学的な議論が成立する）

トランスサイエンス

現在得られているデータからは、100mSv以下の低線量被ばくによる健康影響があるか否か、統計的に断言することはできない。ただし、その影響は他の様々な要因（例えば県による違い）に紛れて識別できない程度には小さいと考えられる。

ここまでは、科学的に議論できる。
（反論がある場合でも、データの取り方が正しいか？といった科学的な議論が成立する）

たとえわずかな確率であっても、がんという重大な結果をまねく以上、追加の被ばくは避けるべきではないか？

他のリスクと同等であれば、被災地の復興のためにある程度の被ばくは許容できるのではないか？

これは、科学的だけでは結論を出せない。政治的・倫理的要素が含まれる問い。

「トランスサイエンス」

Weinberg(1972)
Science and Trans-Science

講義資料のアップロード

アグリコクーン FG6

ここから放射線環境学のページにリンクしています。リンク先のページの下方に講義スケジュール表があり、講義資料をアップロードしていただいています（本日分も数日以内にアップロード予定です）。復習・独学にご利用下さい。