

農における放射線影響FG (FG6)

農業環境における放射線影響ゼミナール

農業環境の放射線影響

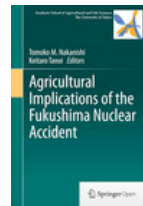
講義ガイダンス

科目名	農業環境の放射線影響	農業環境における 放射線影響ゼミナール
学年	B4	M1/M2/D1/D2
学期・単位数	S1・1単位（全7回）	
他部局履修	可能（履修者以外の聴講も歓迎）	
講義室・時刻	農学部2号館 化学3番講義室 月曜日6限 18:45-20:30	

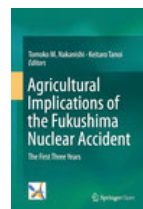
評価方法 毎回のショートレポートで評価します。

注意事項 学部時代にこの単位を取得した人は、大学院進学後にこの授業を履修&単位取得することができません。

参考書



Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident



Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident - The First Three Years -

※ 無料でダウンロードできます。

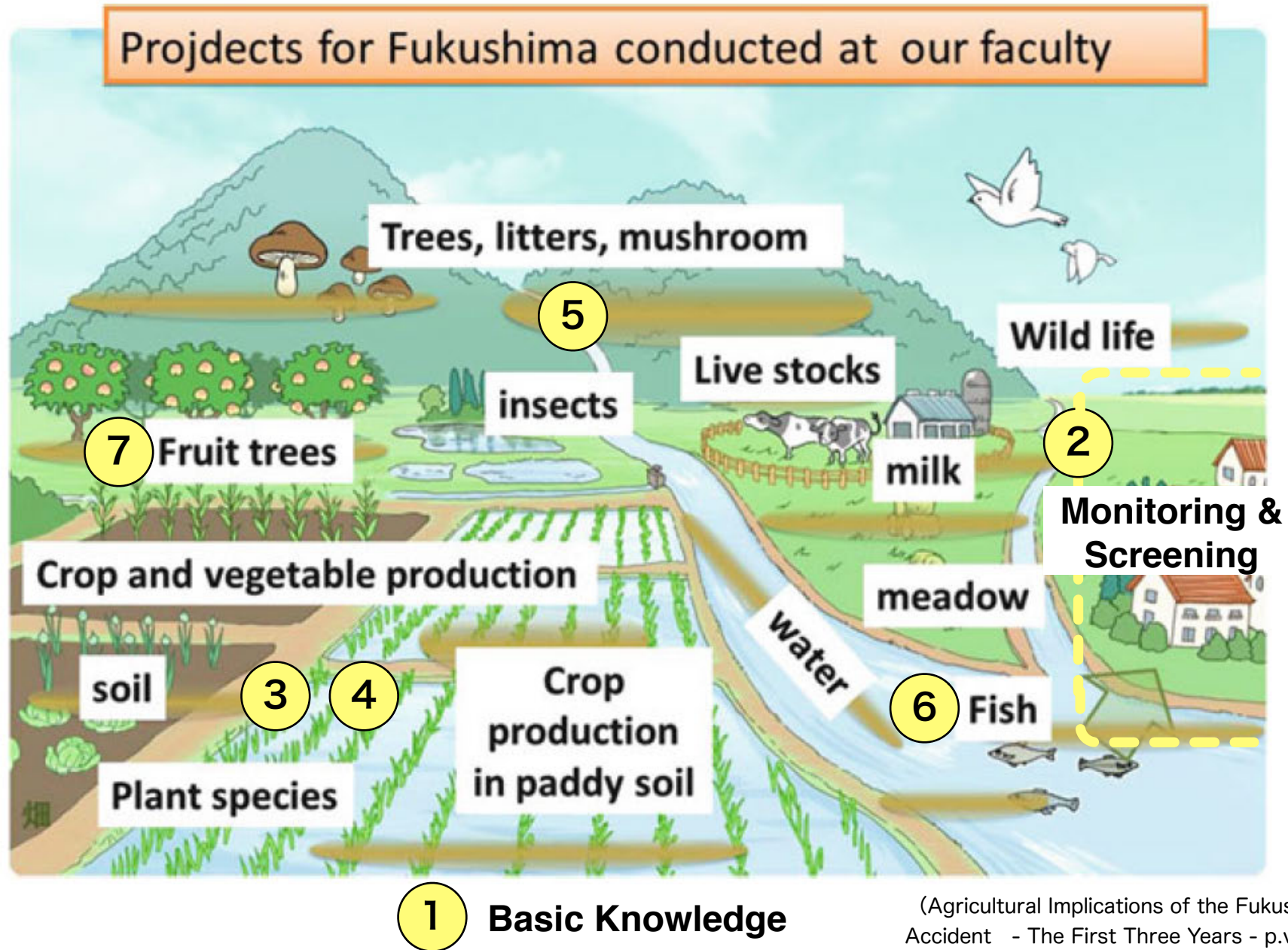
springer fukushima



講義内容

4月 9日(月)	廣瀬農 特任講師	「放射線・放射性物質に関する基礎知識」
4月16日(月)	二瓶直登 准教授	「福島県農産物のモニタリング」
4月23日(月)	二瓶直登 准教授	「土壌-作物の放射性セシウムの動態」
5月 7日(月)	小林奈通子 助教	「カリウムのセシウム吸収低減効果」
5月14日(月)	橋本昌司 准教授	「森林の放射性セシウムの動態」
5月21日(月)	金子豊二 教授	「魚類におけるセシウムの動態」
5月28日(月)	田野井慶太郎 准教授	「果樹栽培と放射能汚染」

農学部の取り組みと第1-7回講義の対応



ガイダンスは以上です。

放射線・放射性物質に関する 基礎知識

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

本日の講義の目的

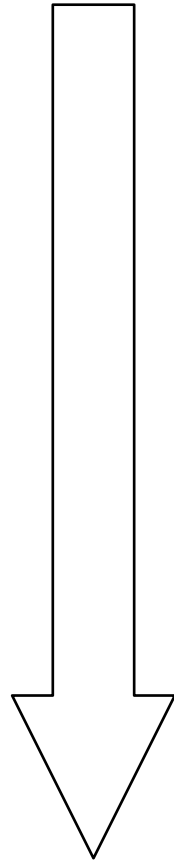
原発事故の農業環境への影響を理解するために、最低限必要な基礎知識を習得してもらう。

→ ポイントとなるスライドには☆印を付けています。

興味を持ったトピックについて、より詳しく理解するための手がかりを提供する。

→ 時間の関係で踏み込んだ説明ができないトピックについて、補足資料を作成しました。

本日の講義の流れ



放射線の基本的性質

～高いエネルギーで運動する粒子～

放射性物質の基本的性質

～不安定な原子核～

→この講義では放射性核種という言葉を中心に使います。

放射線の人体影響の基礎

～シーベルトの定義・計算法・リスク評価～

放射線の基本的性質

～高いエネルギーで運動する粒子～



あさりよしとお「放射線ってナニモノ？」

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を示す

1) 原子よりも小さい何らかの粒子が…

「原子よりも小さい粒子」の例

原子核

陽子、中性子

電子、陽電子、 μ 粒子

光子

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

	粒子	エネルギー
可視光線	光子	2~3 eV
^{137}Cs の γ 線	光子	662 keV

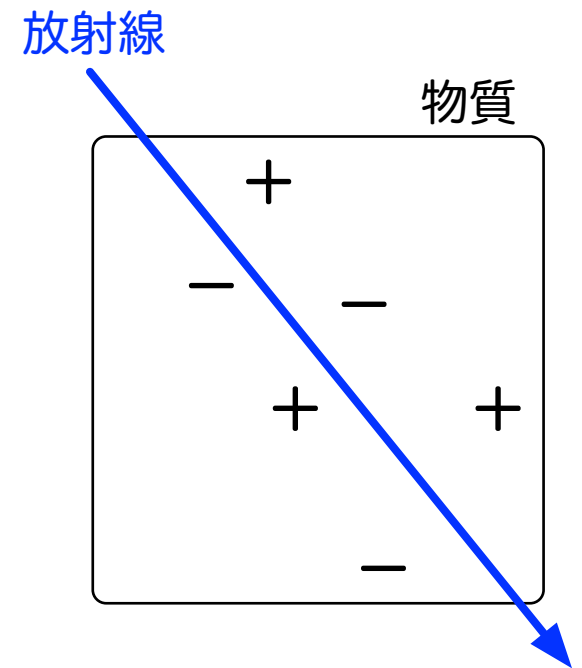
粒子は同じ

エネルギーは20~30万倍

3) 放射線としての性質を示す

放射線が物質を通過すると、物質中の原子を電離する（＝イオン化する）。

この「**電離を起こす性質**」が放射線の特徴で、人体影響を考慮する際、あるいは放射線を測定する際に重要。





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。

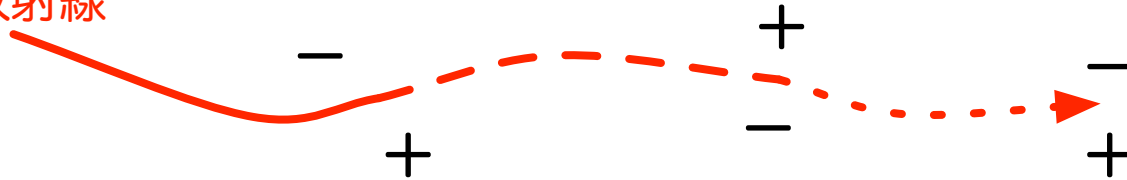
放射線と物質の相互作用

～荷電粒子の場合～

粒子に電荷が有る放射線の場合は、経路
近傍の原子を直接的に電離する。

例： α 線 (Heの原子核)
 β 線 (電子)

荷電粒子の放射線



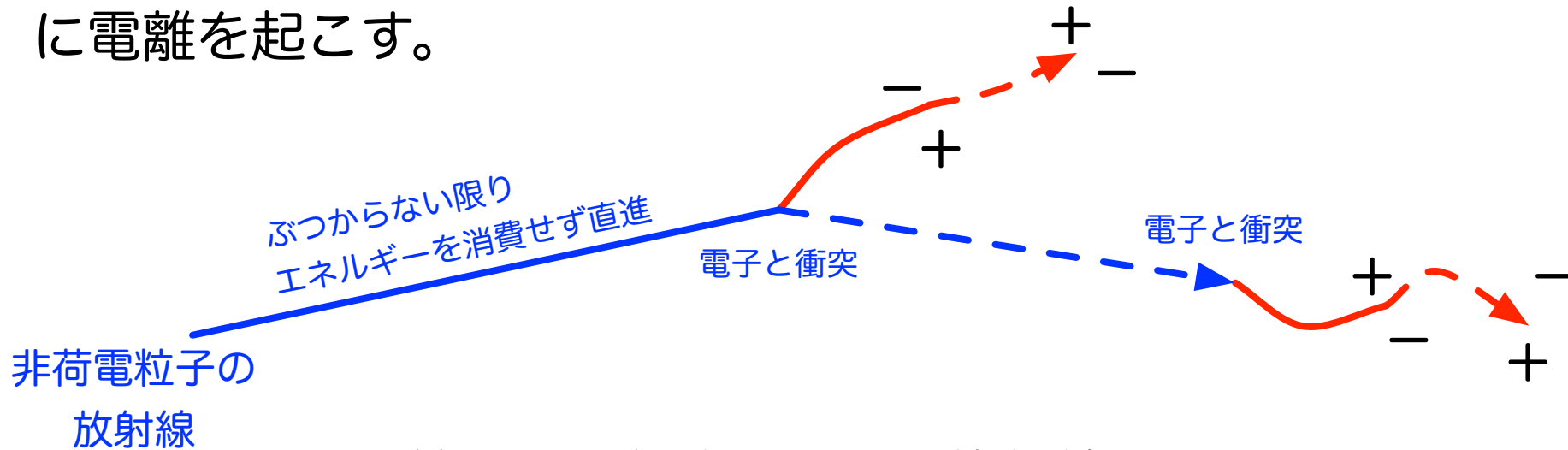
物質を電離することで、放射線の運動エネルギーが
徐々に消費され、最終的には放射線としての性質を
失う。

放射線と物質の相互作用

～非荷電粒子の場合～

粒子に電荷が無い放射線の場合、物質中で電荷を持つ粒子（電子や陽子）に衝突して運動エネルギーを与え、衝突された粒子が間接的に電離を起こす。

例： γ 線・X線（光子）
中性子線（中性子）

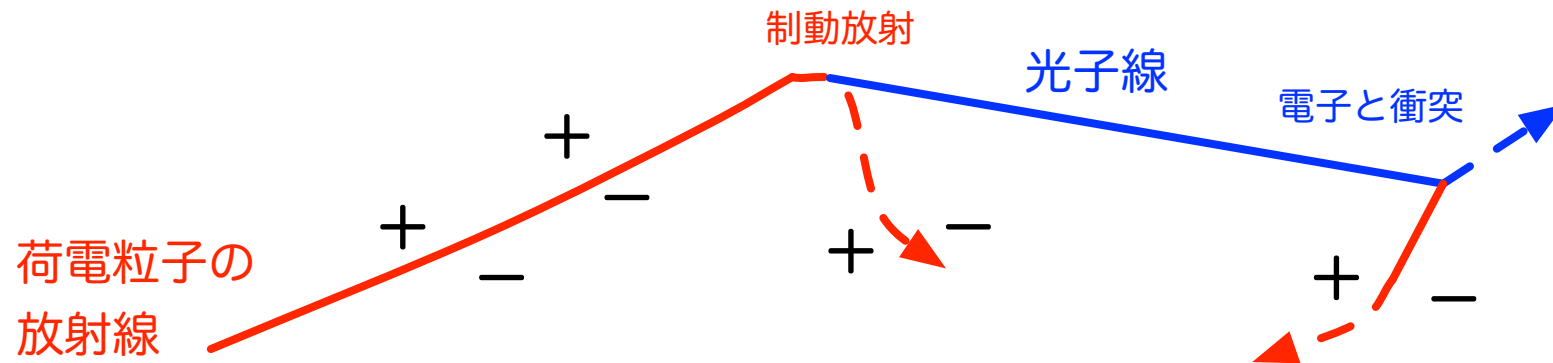


別の粒子との衝突によって放射線の運動エネルギーが消費され、最終的には放射線としての性質を失う。

放射線と物質の相互作用

～ 制動放射 ～

電荷を持ち、運動エネルギーが高い粒子の運動方向が変わる時に、エネルギーの一部が光子線となって放出されることが有る。これを制動放射と呼ぶ。



この性質があるため、電子線から光子線が発生し、その光子線から電子線が発生し…といった電磁カスケードと呼ばれる現象が起こる。

放射線と物質の相互作用

～ 制動放射 ～

電荷を持ち、運動エネルギーが高い粒子の運動方向が変わる時に、エネルギーの一部が光子線となって放出されることが有る。これを制動放射と呼ぶ。

兵庫県にあるSPring-8では、巨大なリング内で電子線（8GeV）を回している。

回している（＝常に方向を変えている）ので、制動放射による光子線を連続的に取り出して実験に利用できる。



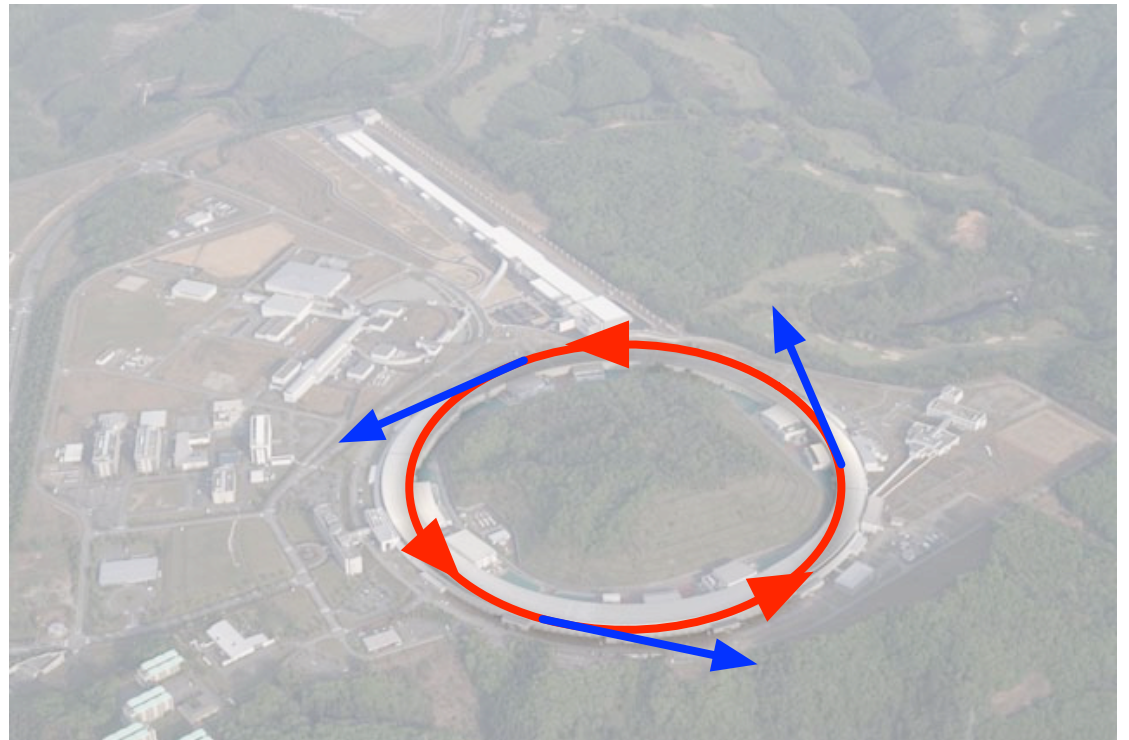
放射線と物質の相互作用

～ 制動放射 ～

電荷を持ち、運動エネルギーが高い粒子の運動方向が変わる時に、エネルギーの一部が光子線となって放出されることが有る。これを制動放射と呼ぶ。

兵庫県にあるSPring-8では、巨大なリング内で電子線（8GeV）を回している。

回している（＝常に方向を変えている）ので、制動放射による光子線を連続的に取り出して実験に利用できる。





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。



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。

補足資料 1 : 放射線・物質相互作用の可視化

放射線の挙動は目に見えないため、なかなかイメージが掴みにくいのが難点です。

これを補うため、計算機シミュレーションで各種の放射線の軌道と物質へのエネルギー付与を可視化した例が補足資料 1 です。

放射線の発生

～小さな粒子は何からエネルギーを得て放射線となるか？～

発生源

エネルギーの由来

放射性物質

放射性物質（放射性核種）の原子核が安定化する際に放出されるエネルギー。

加速器

電場による位置エネルギーで荷電粒子を加速し、運動エネルギーを与えることで放射線とする。この加速した荷電粒子のエネルギーを使って、光子線が発生させることもできる。

核分裂物質

重い原子核が分裂する際のエネルギー。
核分裂片、 γ 線、中性子線などが発生。
これらのエネルギーを熱→運動→電気と変換するのが原発。

宇宙線

一次宇宙線のエネルギーの由来は未解明な部分が多い。地上まで届くのは、一次宇宙線と大気の相互作用で生じた二次的な線（ミュオンなど）が大部分。

放射線の測定

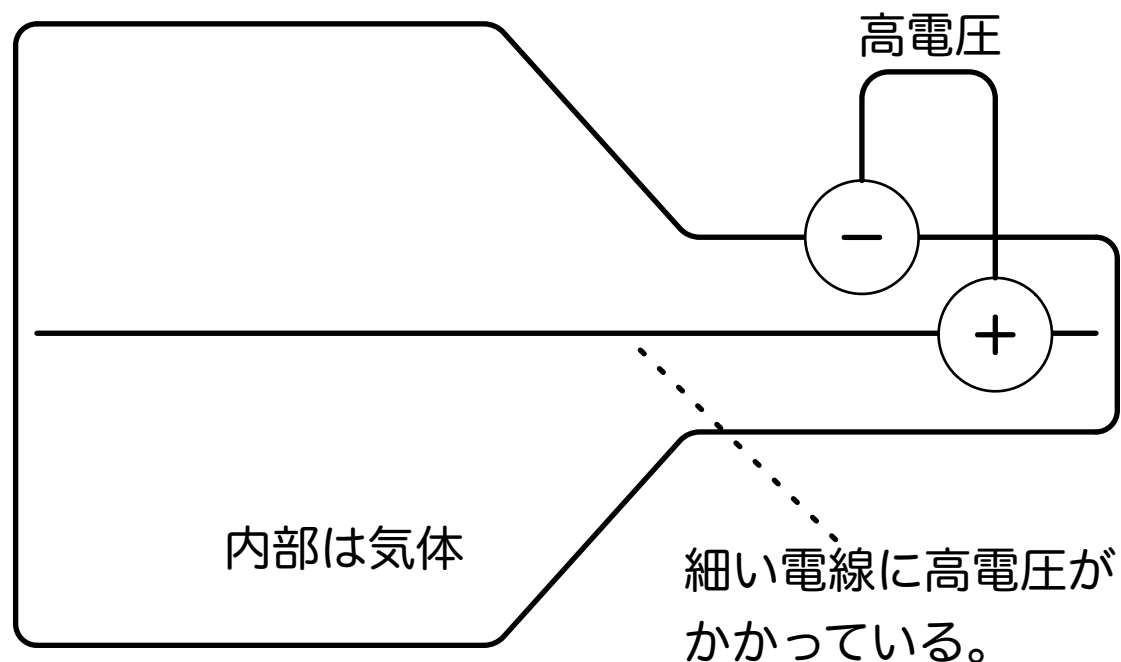
～GM管による実演～

放射性物質



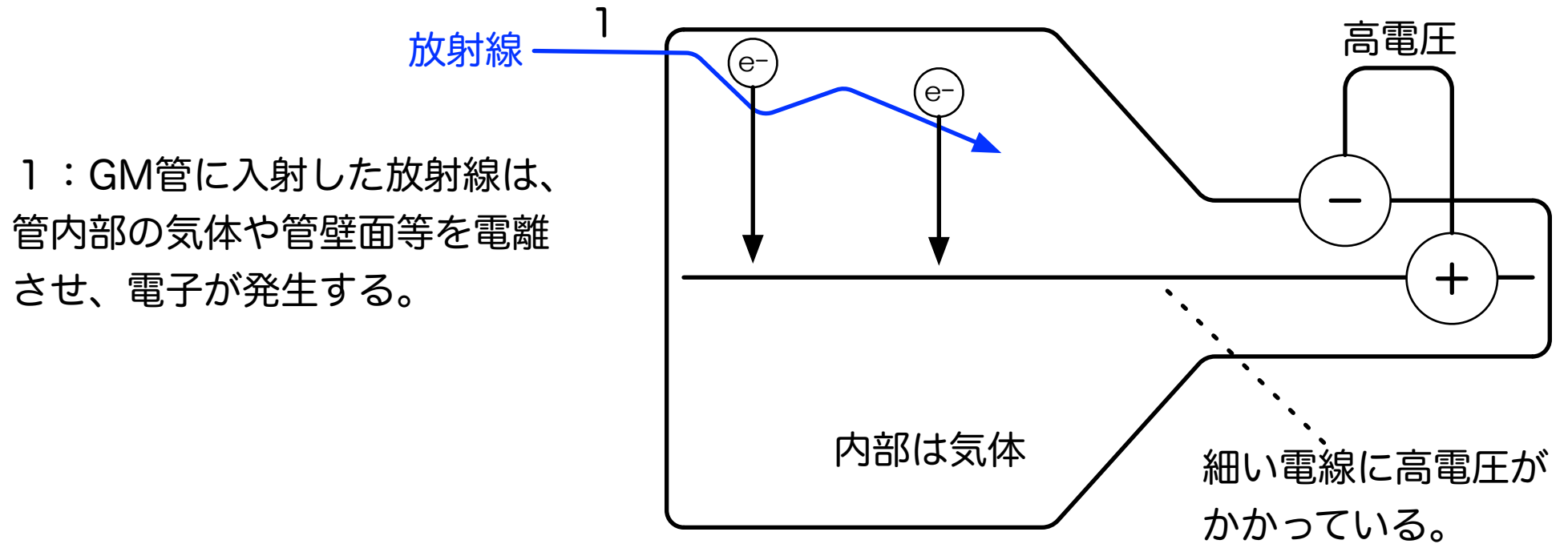
放射性核種は天然にも存在します。休憩を兼ねて、その存在を確認してみましょう。使用するのはGM計数管です。

ガイガー・ミュラー管 (GM管)

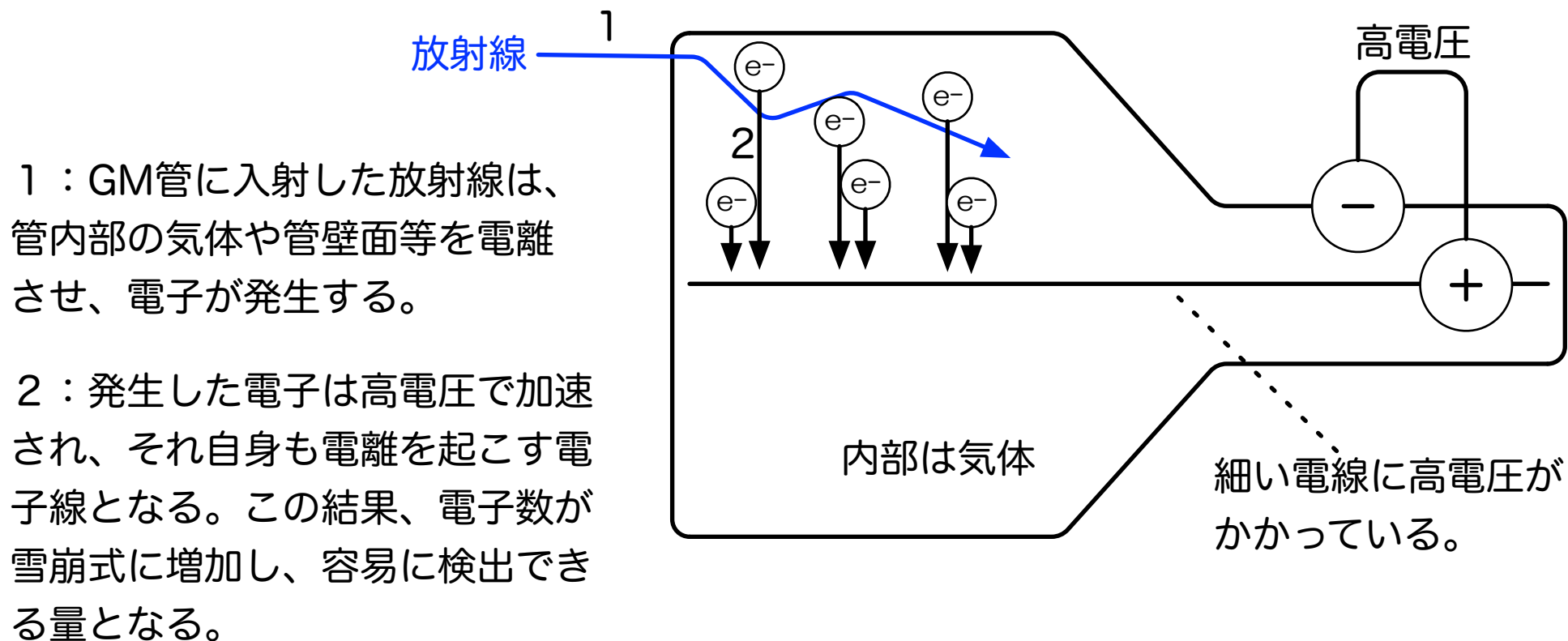


図では直線ですが、実際の製品では
リング状になっているものも。

ガイガー・ミュラー管 (GM管)



ガイガー・ミュラー管 (GM管)



※ GM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。

GM管实演



補足資料 2 : 放射線測定的基础

GM管以外の各種の放射線測定についても説明したいのですが、講義時間が不足しそうなので補足資料としました。

※ 講義時間が残れば説明したいと思います。

第3回以降の講義で紹介される研究データの多くは補足資料で紹介した測定法で得られたものです。第2回講義ではシンチレーション検出器による玄米の大規模スクリーニングの例も紹介される予定です。

放射性核種の基本的性質

～不安定な原子核～

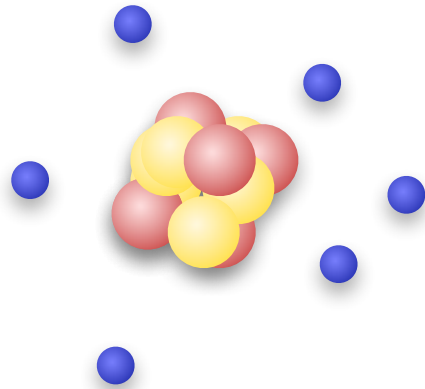
ある原子の原子核が**不安定**な場合、余分なエネルギーを何らかの粒子に与えて放出し、より安定な状態に変化する。



あさりよしとお「放射線ってナニモノ？」

放射性核種の基本的性質

…の前に、原子の構造について



原子 = 原子核 + 電子

⏟
陽子 + 中性子

● 陽子 (電荷 + 1) ● 中性子 (電荷 ± 0)

● 電子 (電荷 - 1)

※ 陽子数 = 電子数

放射性核種の基本的性質

…の前に、周期表について

A simplified periodic table where the transition metal block (groups 3-10) is omitted. The elements are arranged in rows and columns, with the transition metals section enclosed in a dashed blue box. The elements shown are: H, He, Li, Be, B, C, N, O, F, Ne, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, La, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po, At, Rn, Fr, Ra, Ac.

H																			He
Li	Be											B	C	N	O	F		Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl		Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br		Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I		Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At		Rn	
Fr	Ra	Ac																	

話を単純にするため、中央の遷移元素を省略

放射性核種の基本的性質

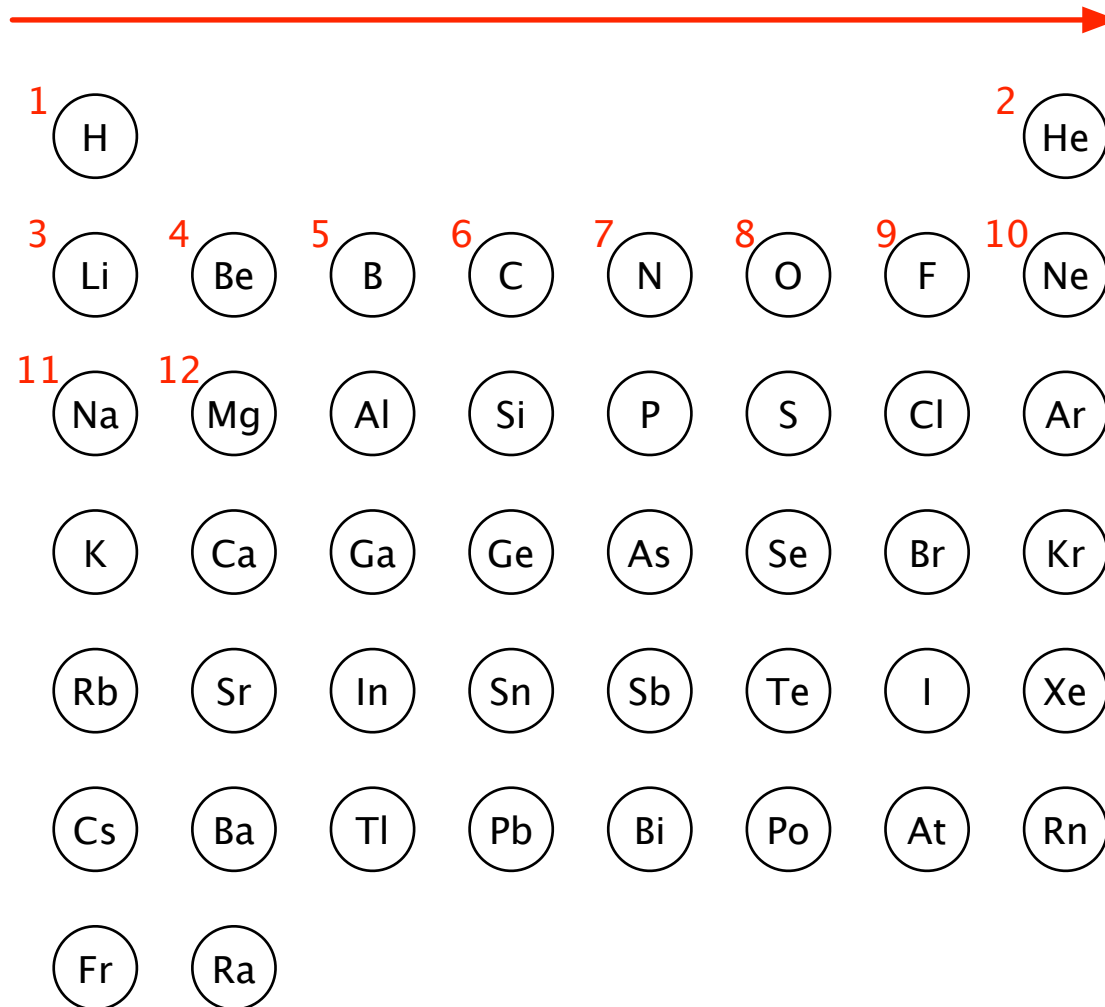
…の前に、周期表について

H							He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra						

放射性核種の基本的性質

…の前に、周期表について

電子数 (=陽子数) が右方向に増加



放射性核種の基本的性質

…の前に、周期表について

電子数 (=陽子数) が右方向に増加

1 H								2 He
3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra							

縦のグループが
化学的に類似

つまり、電子配置と化学的性質の法則を表すのが周期表

放射性核種の基本的性質

…の前に、同位体について

電子配置と化学的性質の法則を表すのが周期表

電子数 = 陽子数なので、中性子の数は周期表に無関係

この二つの原子核は、陽子の数が同じなので、周期表では同じ位置

これを「**同位体**」と呼ぶ

陽子6個なので…

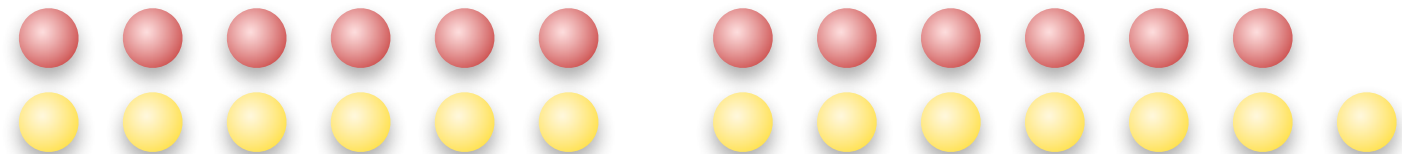
C

陽子6個なので…

C



※電子省略



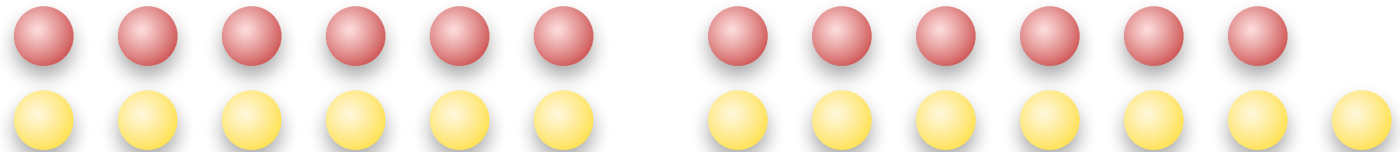
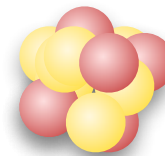
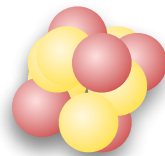
放射性核種の基本的性質

…の前に、同位体について

電子配置と化学的性質の法則を表すのが周期表

電子数 = 陽子数なので、中性子の数は周期表に無関係

この二つの原子核は、陽子の数が同じなので、周期表では同じ位置



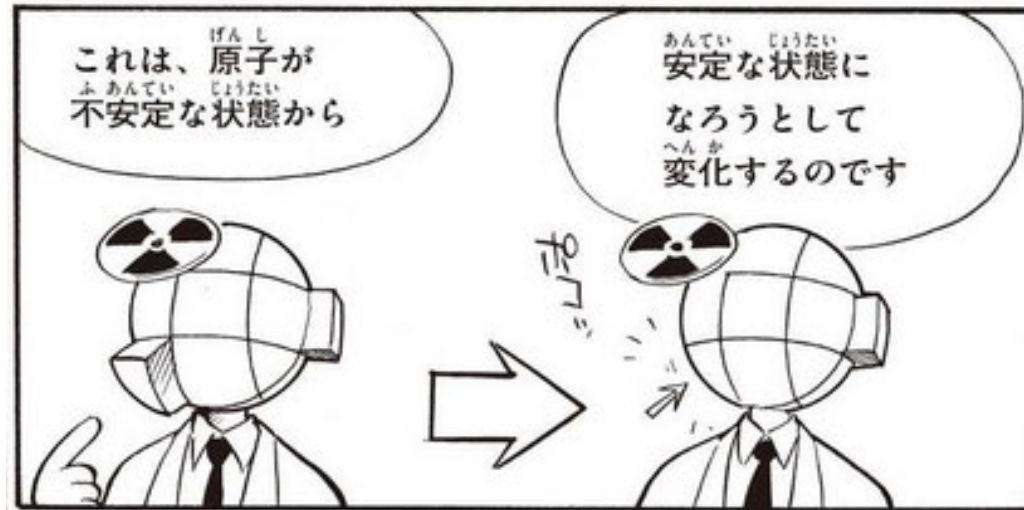
同位体を区別するために、
元素記号の左肩に
陽子数 + 中性子数を書く

今日の話では、
この数が重要！

放射性核種の基本的性質

～不安定な原子核～

ある原子の原子核が**不安定**な場合、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。



あさりよしとお「放射線ってナニモノ？」

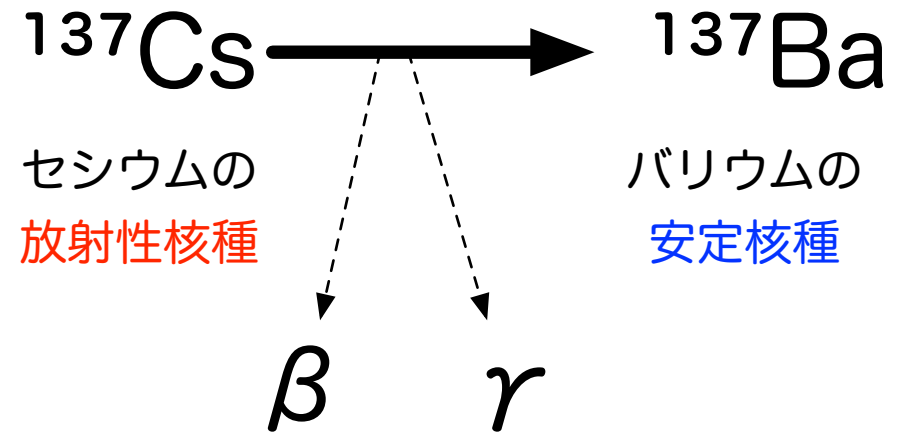


放射性核種の基本的性質

～不安定な原子核～

ある原子の原子核が**不安定**な場合、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**と呼び、壊変する原子核を**放射性核種**（**放射性同位体**）という。エネルギーを与えられた粒子が放射線となる。

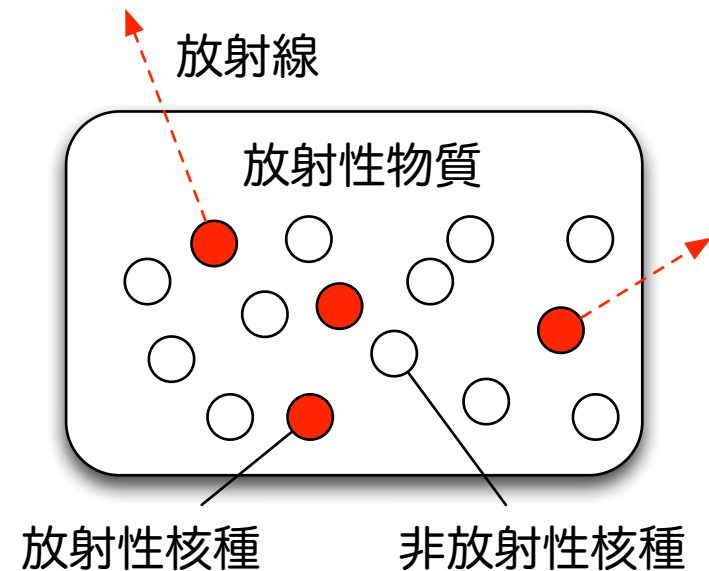


^{137}Cs の場合、余分なエネルギーは β 線および γ 線として放出される。
 β 線は電子、 γ 線は光子の放射線。

余談：放射性物質とは？

ある原子が放射線を出すか否かは原子核の種類に依存する。このため講師は「放射性核種」という用語を好んで使用している。

ある物質が放射性核種を含んでいる場合、その物質からは放射線が放出されるので放射性物質と呼ぶのが妥当だが、いわゆる「放射性物質」に含まれる全ての原子核が放射性であることはほとんど無いことに注意する必要がある（例：使用済核燃料）。



生化学実験におけるトレーサーとして使用する場合など、ある核種の元素の種類が重要である場合、放射性同位体という言葉も使用する。 ^{134}Cs や ^{137}Cs はセシウムの放射性同位体、 ^{133}Cs はセシウムの安定同位体である。

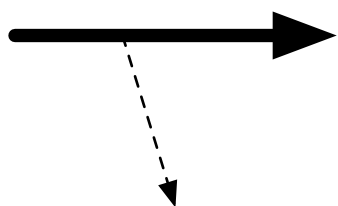
放射性核種の基本的性質

～不安定な原子核～

1回の壊変では完全に安定化しないこともある。

^{90}Sr

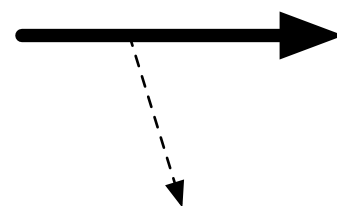
ストロンチウムの
放射性核種



余分なエネルギー
(=放射線)

^{90}Y

イットリウムの
放射性核種



余分なエネルギー
(=放射線)

^{90}Zr

ジルコニウムの
安定核種



Bqという単位

～核種の量を壊変回数で表す～

Bqとは、あるひとかたまりの放射性核種の量を**1秒当たりの壊変回数**で表す単位。

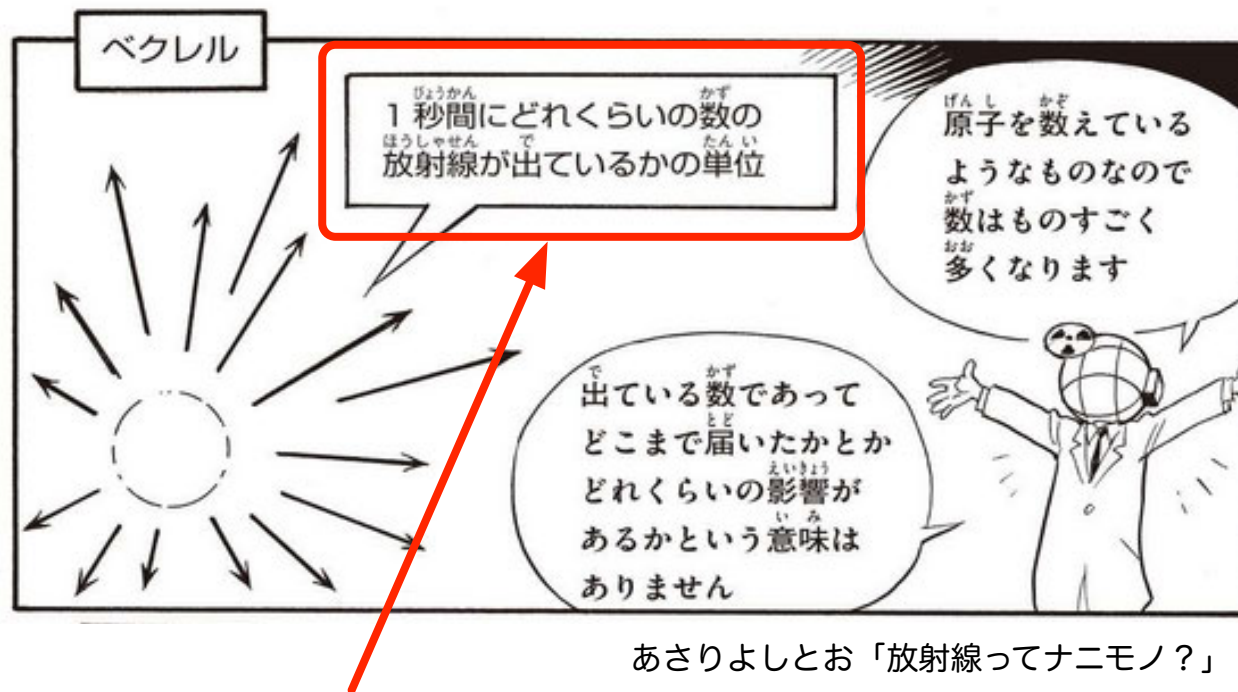
1秒あたり**1%**の確率で壊変する
放射性同位体が**100個**ある場合 ----- 1 Bq

→ 1秒あたり**1%**の確率で壊変する
放射性同位体が**200個**ある場合 ----- 2 Bq

→ 1秒あたり**2%**の確率で壊変する
放射性同位体が**100個**ある場合 ----- 2 Bq

Bqについて補足

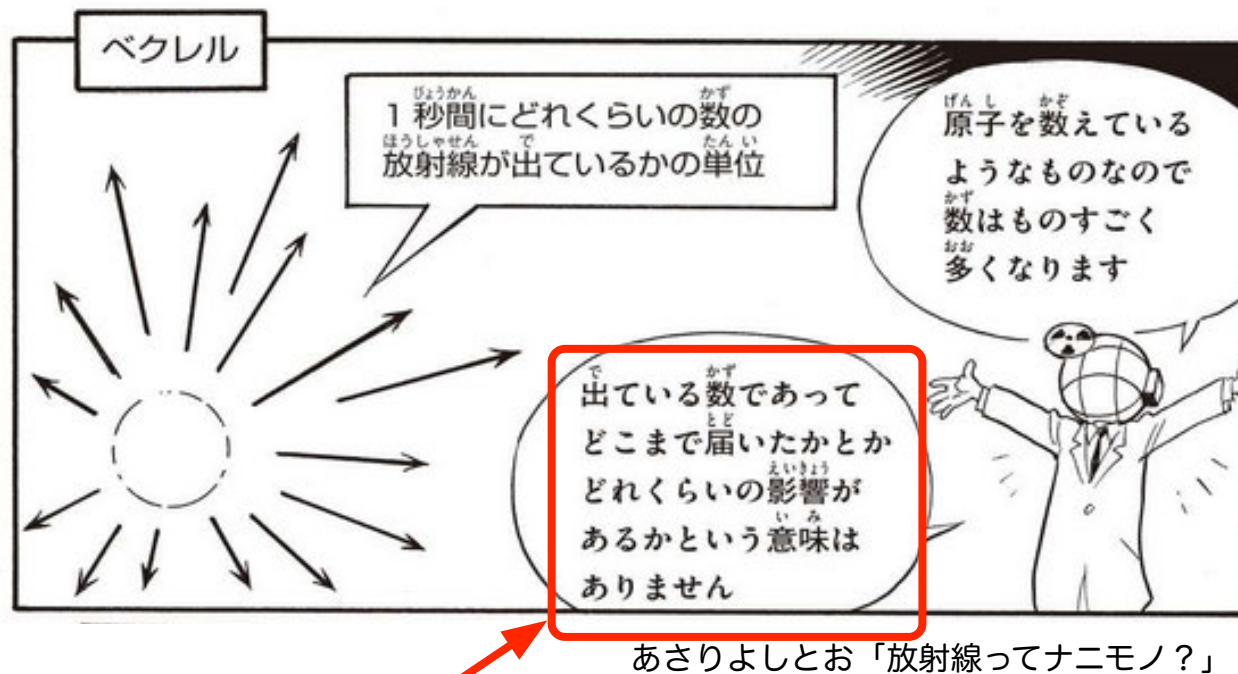
Bqとは、放射性核種の量を1秒当たりの**壊変回数**で表す単位。



1壊変あたり1本の放射線が出る核種ではこの記述で良いが、そうでは無い核種もあることに注意。例えば ^{137}Cs の662keVの γ 線は1壊変あたり85%の確率（=0.85本/壊変）で発生。

Bqについて補足

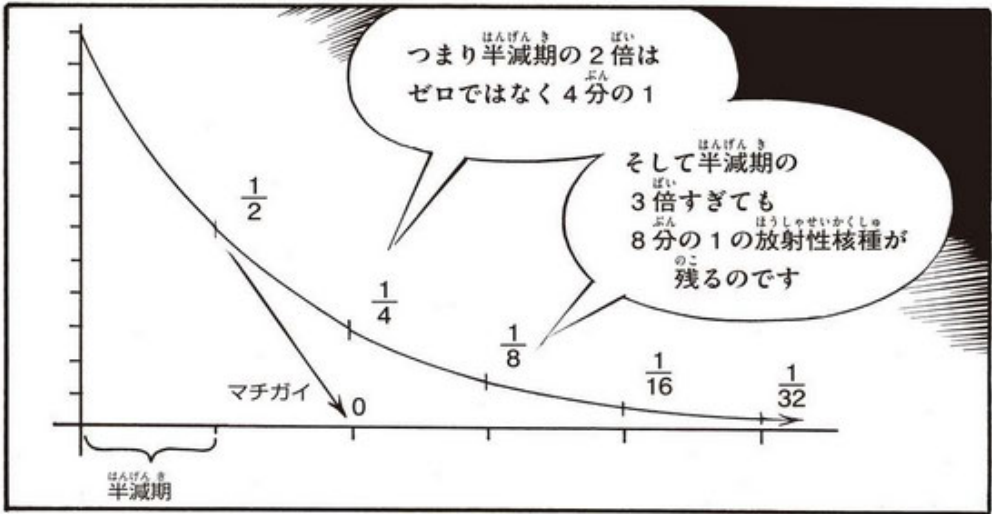
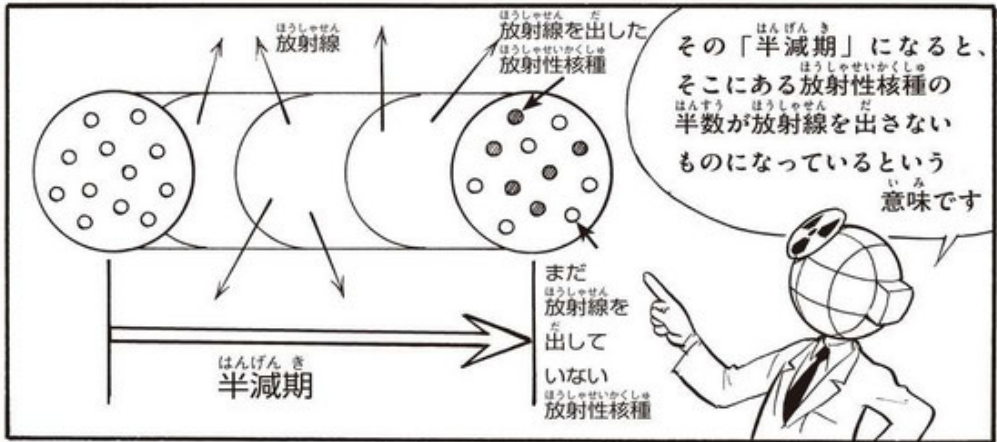
Bqとは、放射性核種の量を1秒当たりの**壊変回数**で表す単位。



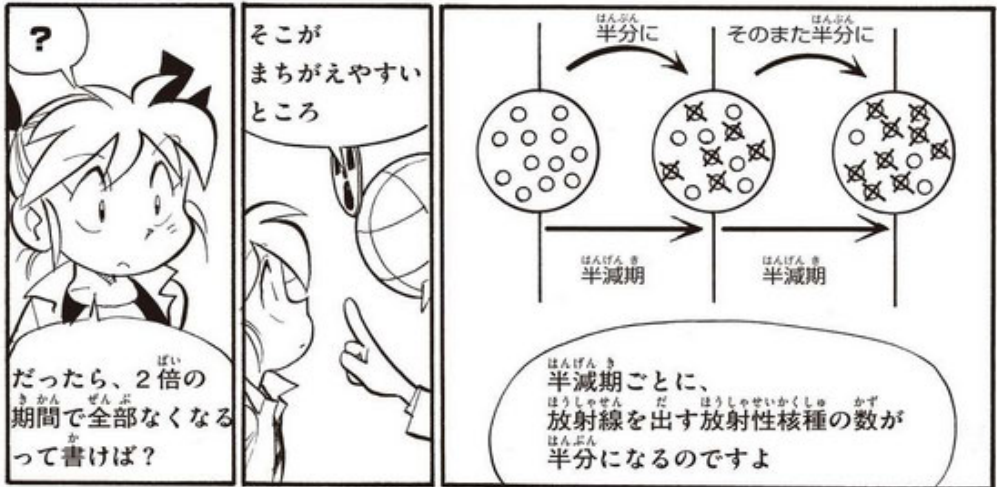
ここが重要。Bqが同じでも、どんな種類の放射線が出てくるかによって人体への影響は全く異なる。ある核種のBqあたりの影響力を評価する「実効線量係数」は講義後半に説明。

半減期という単位

～核種の不安定さを表す単位～



あさりよしとお「放射線ってナニモノ？」

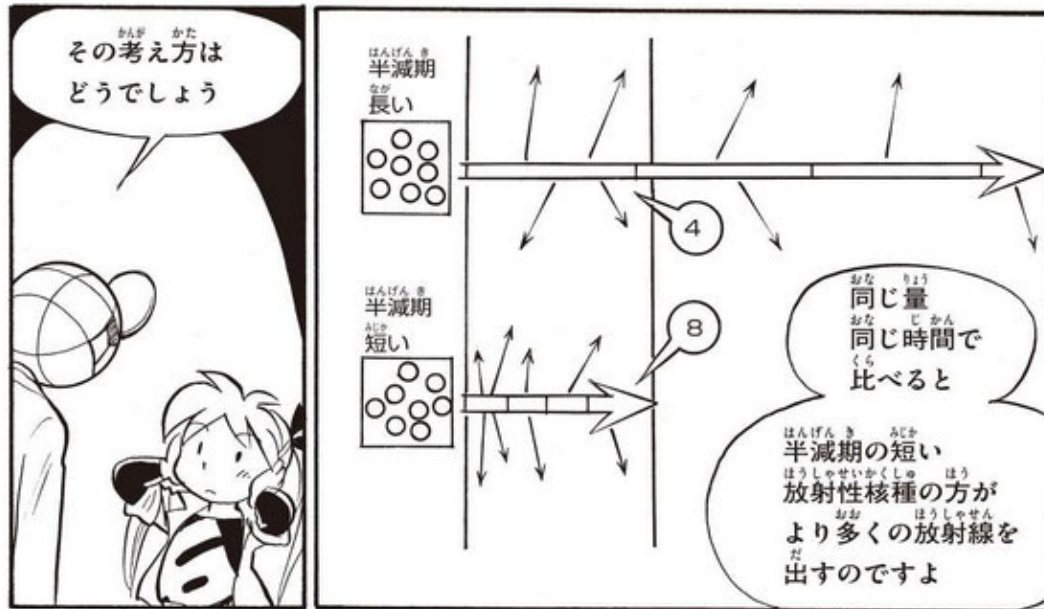


$(1/2)^{10} = 1/1024$ なので、10半減期で約1/1000と覚えておくと実用上便利。
 例：半減期2年の ^{134}Cs は、20年間で約1/1000に減少する。

不安定な原子核は1秒あたりの壊変確率が高く、半減期が短い。

半減期という単位

～核種の不安定さを表す単位～



あさりよしとお (2014)

半減期約2週間の ^{32}P は、
約178万個の原子が存在すると1Bq。

半減期約30年の ^{137}Cs は、
約13億7千万個の原子が存在すると1Bq。

放射性核種の原子核はなぜ不安定？

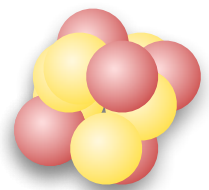
～ α 壊変と β 壊変～

原子核が安定であるには、1) 陽子と中性子の比が適正である、
2) 陽子と中性子の合計 (=質量数) が大きすぎない、という2つの条件が必要と考えられている。



あさりよしとお「放射線ってナニモノ？」

^{12}C

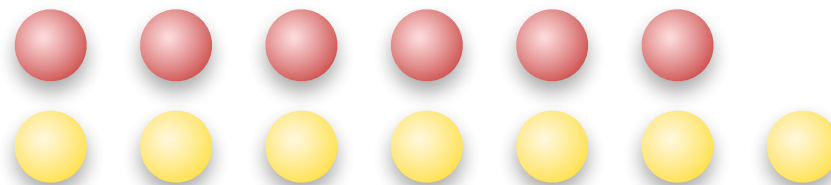
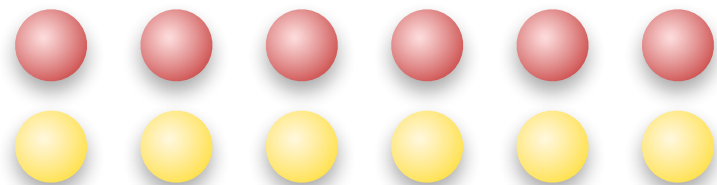
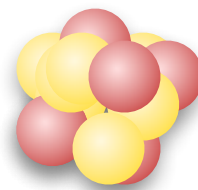


陽子



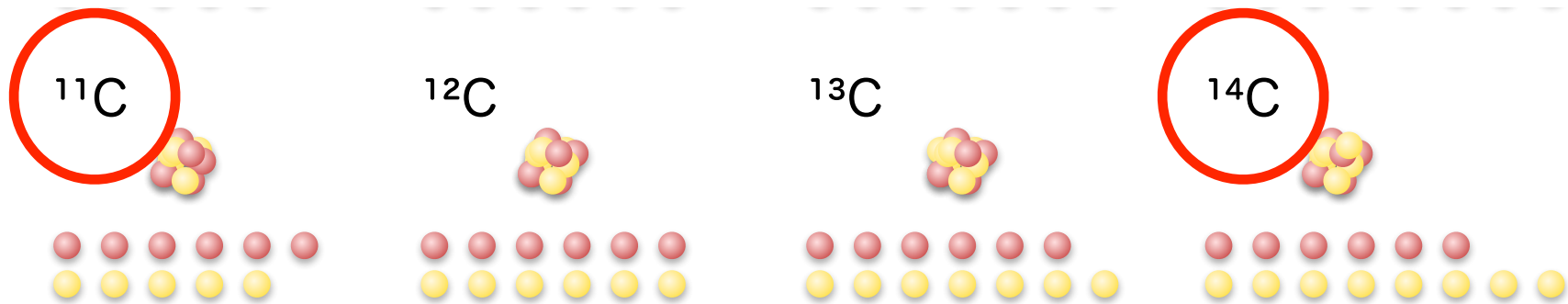
中性子

^{13}C



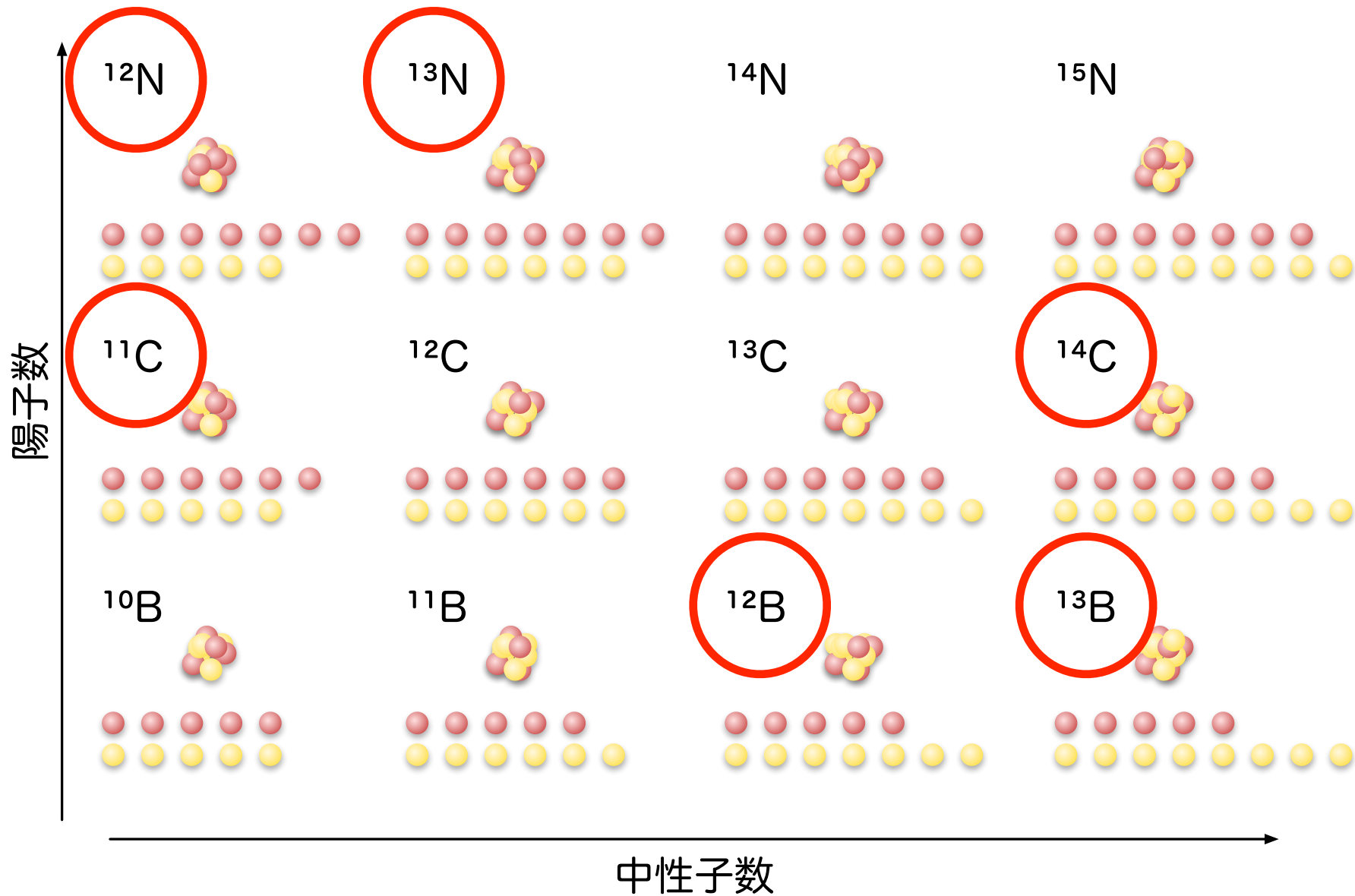
両方とも炭素なので、周期表では同じ位置

中性子数で表にしてみる

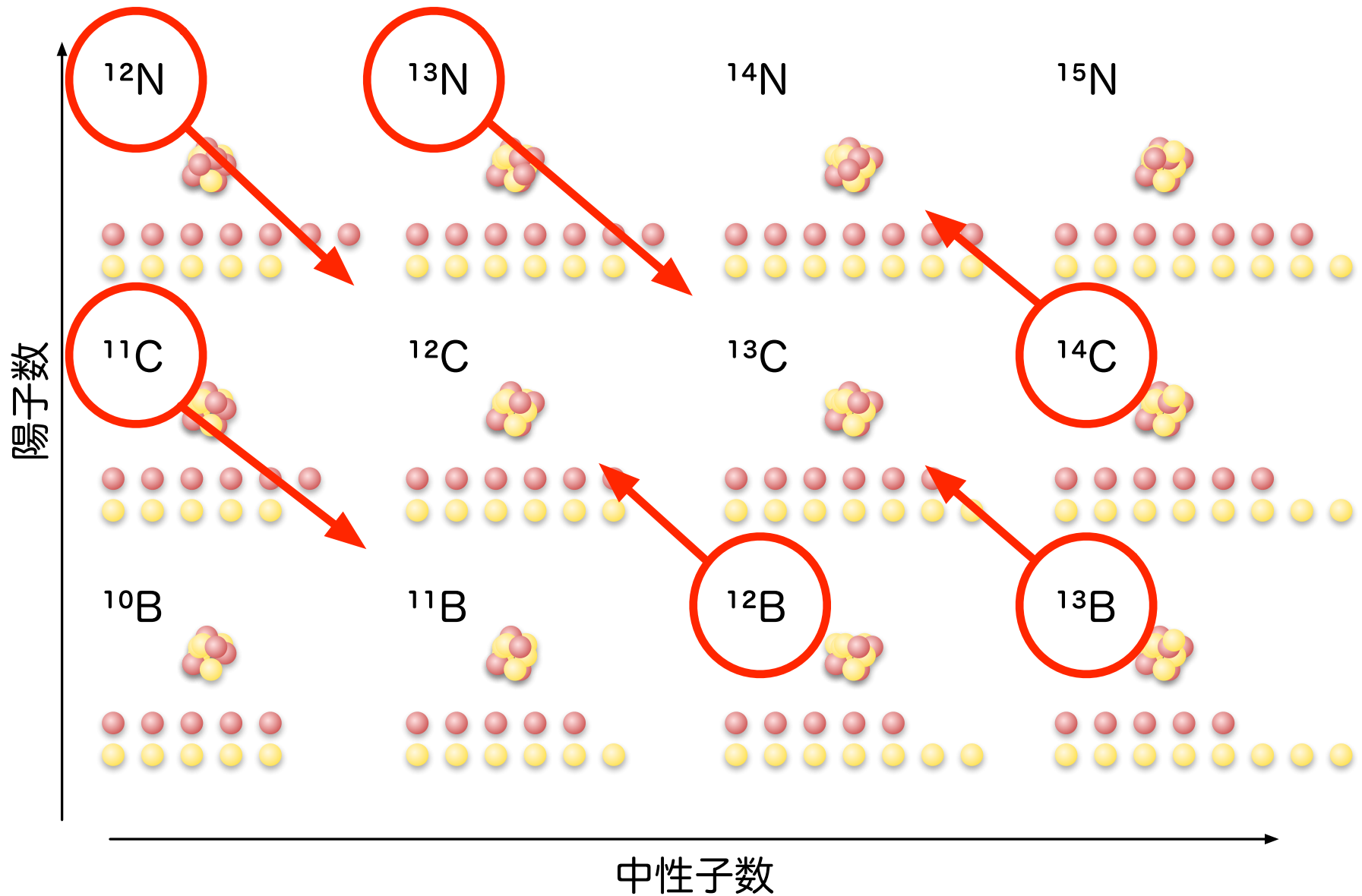


○で囲んだ核種（同位体）が不安定＝放射性

さらに、陽子数と中性子数で表にしてみると…

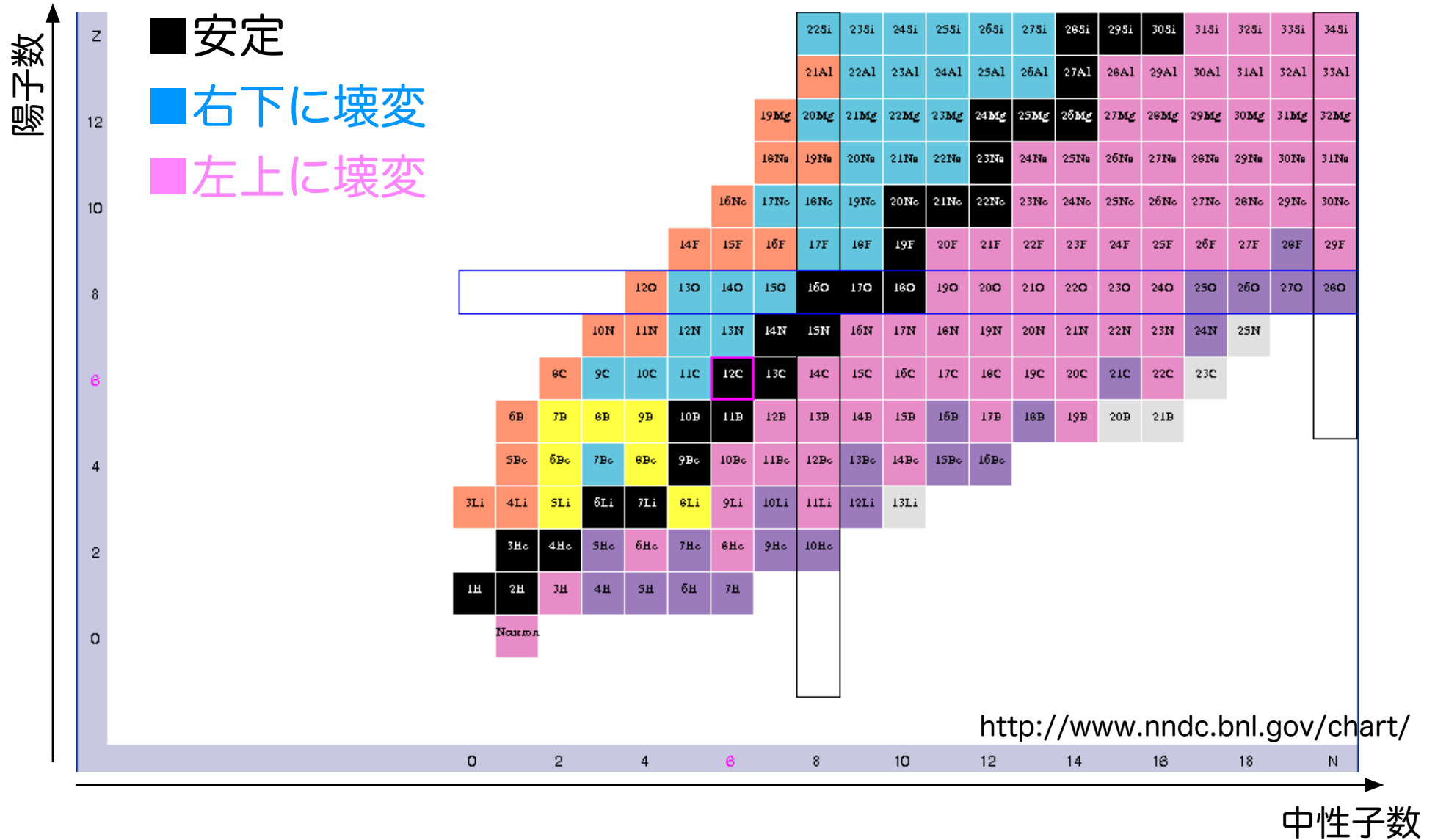


○で囲んだ核種 (同位体) が不安定 = 放射性

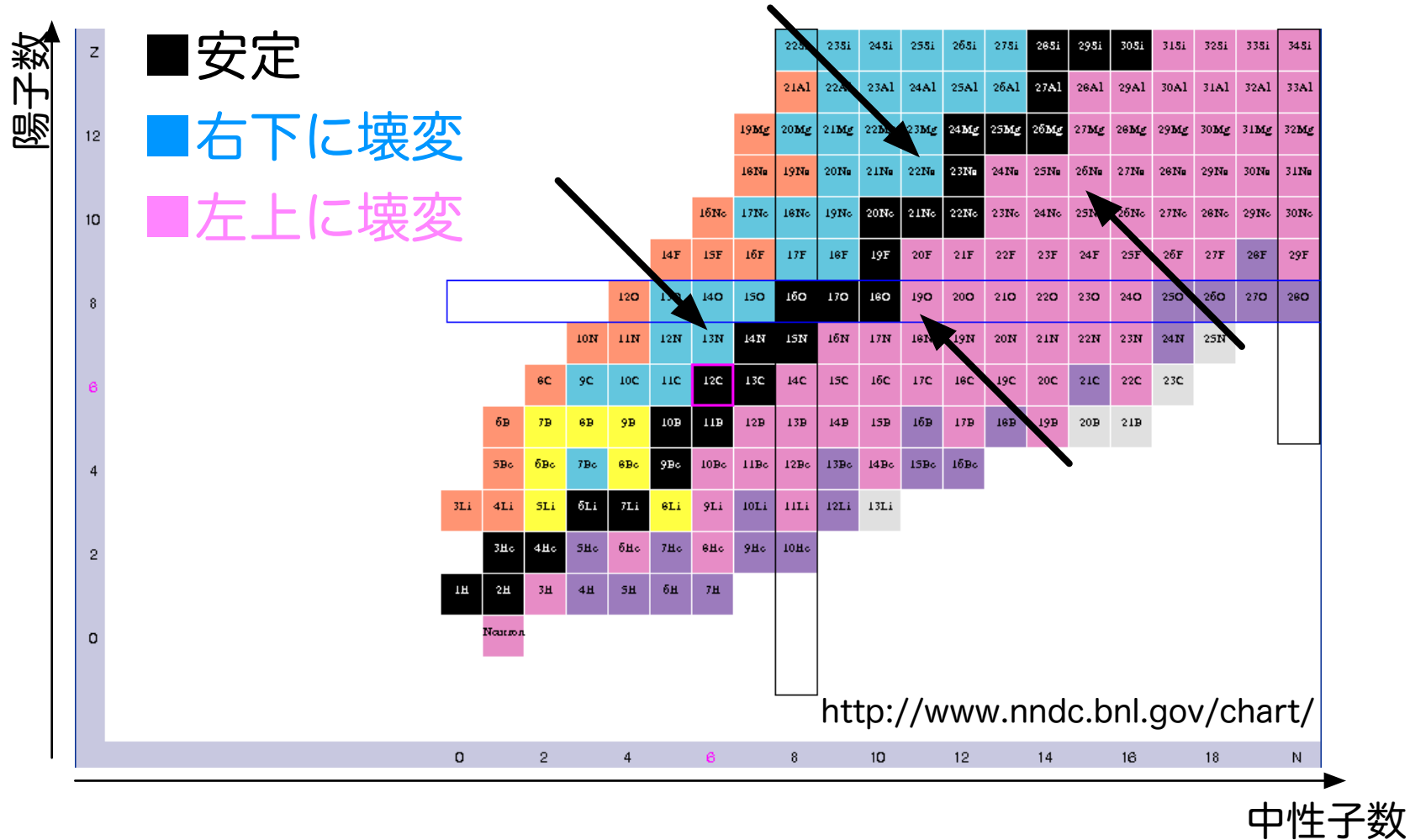


○ 矢印の方向に壊変する … 法則性が見えてきた？

全ての原子核を陽子数と中性子数で並べた表を核図表と呼ぶ。



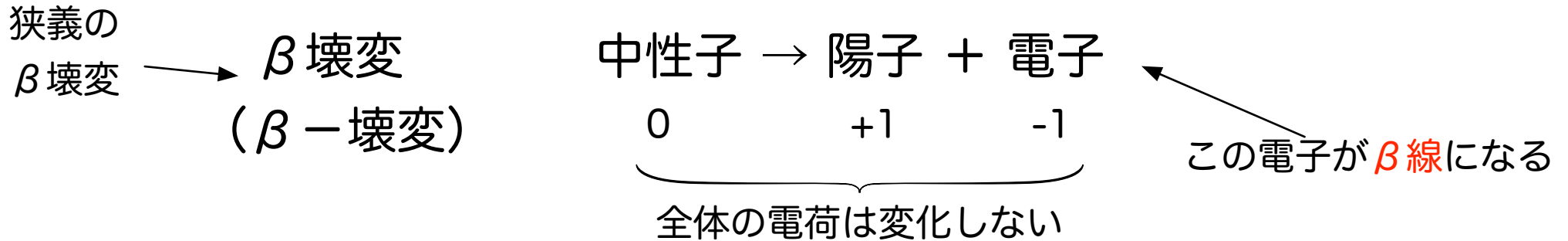
β 壊変



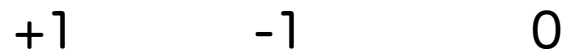
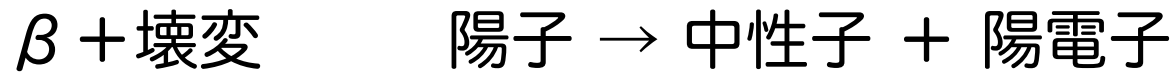
安定同位体は核図表の対角線上に集中し、他の同位体は原則として対角線に近寄る方向に壊変する。このような壊変を（広義の） β 壊変という。

広義のβ壊変には、以下の壊変が含まれる

■左上に壊変 = 中性子が1個減り、陽子が1個増える



■右下に壊変 = 陽子が1個減り、中性子が1個増える



^{90}Sr 周辺の核図表

39	88Zr 83.4 D ε: 100.00%	89Zr 78.41 H ε: 100.00%	90Zr STABLE 51.45%	91Zr STABLE 11.22%	92Zr STABLE 17.15%	93Zr 1.61E+6 Y β-: 100.00%	94Zr STABLE 17.38%	95Zr 64.032 D β-: 100.00%	96Zr 2.35E+19 Y 2.80% 2β-
	87Y 79.8 H ε: 100.00%	88Y 106.626 D ε: 100.00%	89Y STABLE 100%	90Y 64.053 H β-: 100.00%	91Y 58.51 D β-: 100.00%	92Y 3.54 H β-: 100.00%	93Y 10.18 H β-: 100.00%	94Y 18.7 M β-: 100.00%	95Y 10.3 M β-: 100.00%
38	86Sr STABLE 9.86%	87Sr STABLE 7.00%	88Sr STABLE 82.58%	89Sr 50.563 D β-: 100.00%	90Sr 28.90 Y β-: 100.00%	91Sr 9.65 H β-: 100.00%	92Sr 2.66 H β-: 100.00%	93Sr 7.43 M β-: 100.00%	94Sr 75.3 S β-: 100.00%
	85Rb STABLE 72.17%	86Rb 18.642 D β-: 99.99% ε: 5.2E-3%	87Rb 4.97E10 Y 27.83% β-: 100.00%	88Rb 17.773 M β-: 100.00%	89Rb 15.32 M β-: 100.00%	90Rb 158 S β-: 100.00%	91Rb 58.2 S β-: 100.00%	92Rb 4.492 S β-: 100.00% β-n: 0.01%	93Rb 5.84 S β-: 100.00% β-n: 1.39%
36	84Kr STABLE 56.987%	85Kr 10.739 Y β-: 100.00%	86Kr STABLE 17.279%	87Kr 76.3 M β-: 100.00%	88Kr 2.825 H β-: 100.00%	89Kr 3.15 M β-: 100.00%	90Kr 32.32 S β-: 100.00%	91Kr 8.57 S β-: 100.00%	92Kr 1.840 S β-: 100.00% β-n: 0.03%
	48	49	50	51	52	53	54	55	N

134Cs・137Cs周辺の核図表

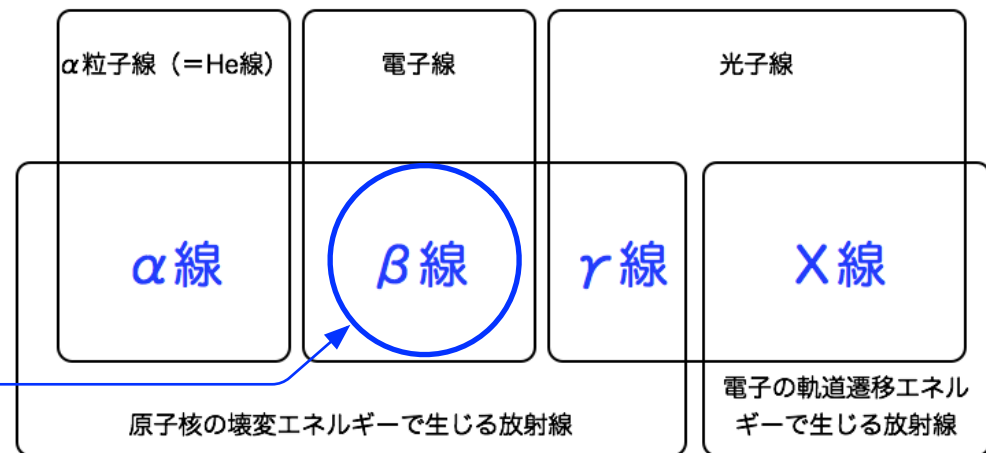
Z	135La 19.5 H ε: 100.00%	136La 9.87 M ε: 100.00%	137La 6E+4 Y ε: 100.00%	138La 1.02E+11 Y 0.08881% ε: 65.60% β-: 34.40%	139La STABLE 99.9119%	140La 1.67855 D β-: 100.00%	141La 3.92 H β-: 100.00%	142La 91.1 M β-: 100.00%	143La 14.2 M β-: 100.00%
	134Ba STABLE 2.417%	135Ba STABLE 6.592%	136Ba STABLE 7.854%	137Ba STABLE 11.232%	138Ba STABLE 71.698%	139Ba 83.06 M β-: 100.00%	140Ba 12.7527 D β-: 100.00%	141Ba 18.27 M β-: 100.00%	142Ba 10.6 M β-: 100.00%
	133Cs STABLE 100%	134Cs 2.0652 Y β-: 100.00% ε: 3.0E-4%	135Cs 2.3E+6 Y β-: 100.00%	136Cs 13.04 D β-: 100.00%	137Cs 30.08 Y β-: 100.00%	138Cs 33.41 M β-: 100.00%	139Cs 9.27 M β-: 100.00%	140Cs 63.7 S β-: 100.00%	141Cs 24.84 S β-: 100.00% β-n: 0.04%
	132Xe STABLE 26.9086%	133Xe 5.2475 D β-: 100.00%	134Xe >5.8E+22 Y 10.4357% 2β-	135Xe 9.14 H β-: 100.00%	136Xe >2.4E+21 Y 8.8573% 2β-	137Xe 3.818 M β-: 100.00%	138Xe 14.08 M β-: 100.00%	139Xe 39.68 S β-: 100.00%	140Xe 13.60 S β-: 100.00%
	131I 8.0252 D β-: 100.00%	132I 2.295 H β-: 100.00%	133I 20.83 H β-: 100.00%	134I 52.5 M β-: 100.00%	135I 6.58 H β-: 100.00%	136I 83.4 S β-: 100.00%	137I 24.5 S β-: 100.00% β-n: 7.14%	138I 6.23 S β-: 100.00% β-n: 5.56%	139I 2.280 S β-: 100.00% β-n: 10.00%
	78	79	80	81	82	83	84	85	N

β 壊変まとめ

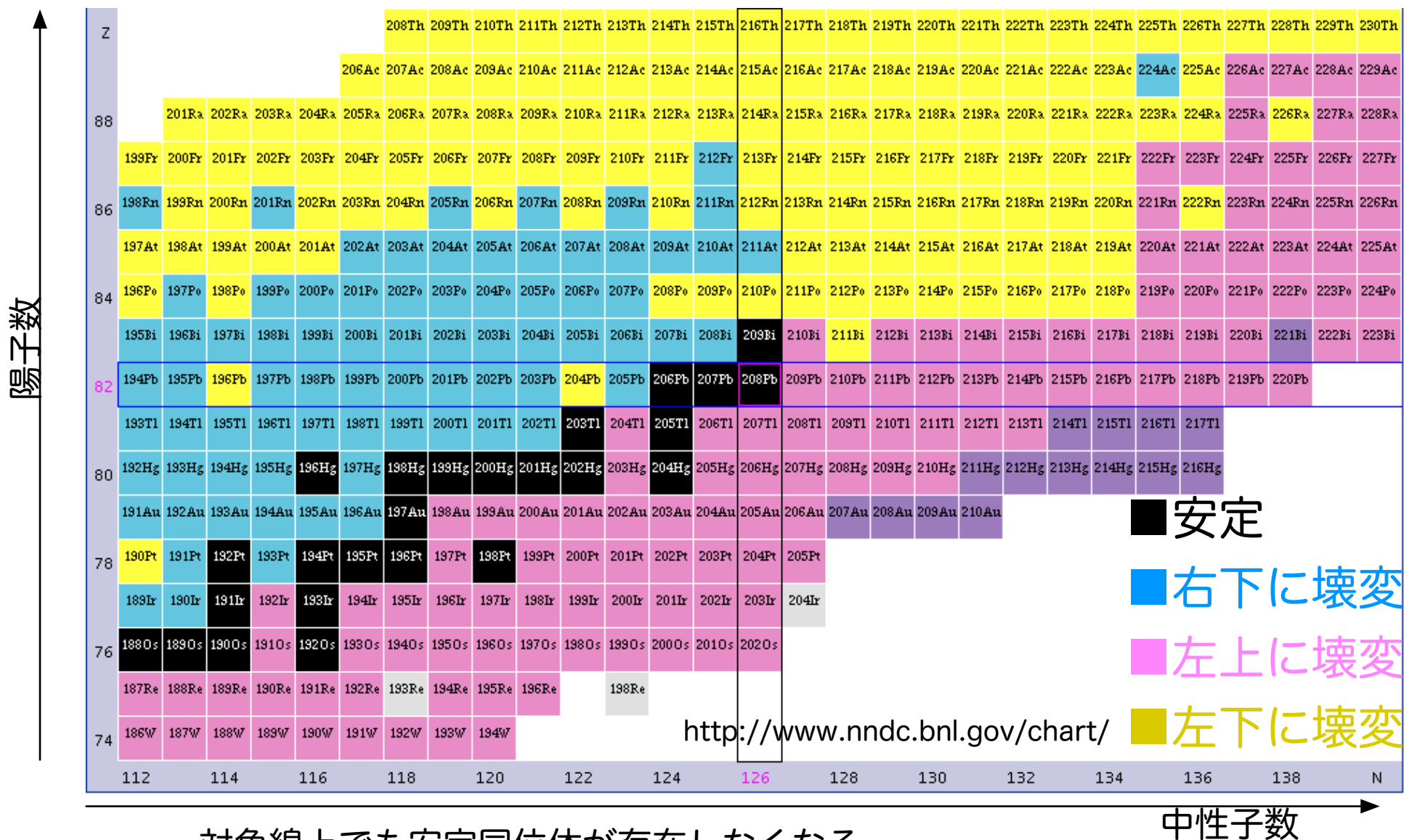
原子核には安定となる陽子：中性子比が存在し、そこから外れると不安定（＝放射性）になる。

不安定な原子核は、安定な陽子：中性子比を目指して壊変する。これを広義の β 壊変と呼び、 β 壊変、 β^+ 壊変、EC壊変が含まれる。

β 壊変で生じる電子が壊変のエネルギーを受け取ったものが β 線。



核図表の右上を見ると…



対角線上でも安定同位体が存在しなくなる。

黄色のマスの同位体は左下方方向に壊変する。これが α 壊変。

α 壊変

- 左下に壊変 = 陽子が2個、中性子が2個減少する。
= Heの原子核が放出され、核が小さくなる。

これが α 線になる (質量数4、電荷+2)

1回の α 壊変では質量数は4しか減少しない。

一方で、最も重い安定同位体は ^{208}Pb (※)。

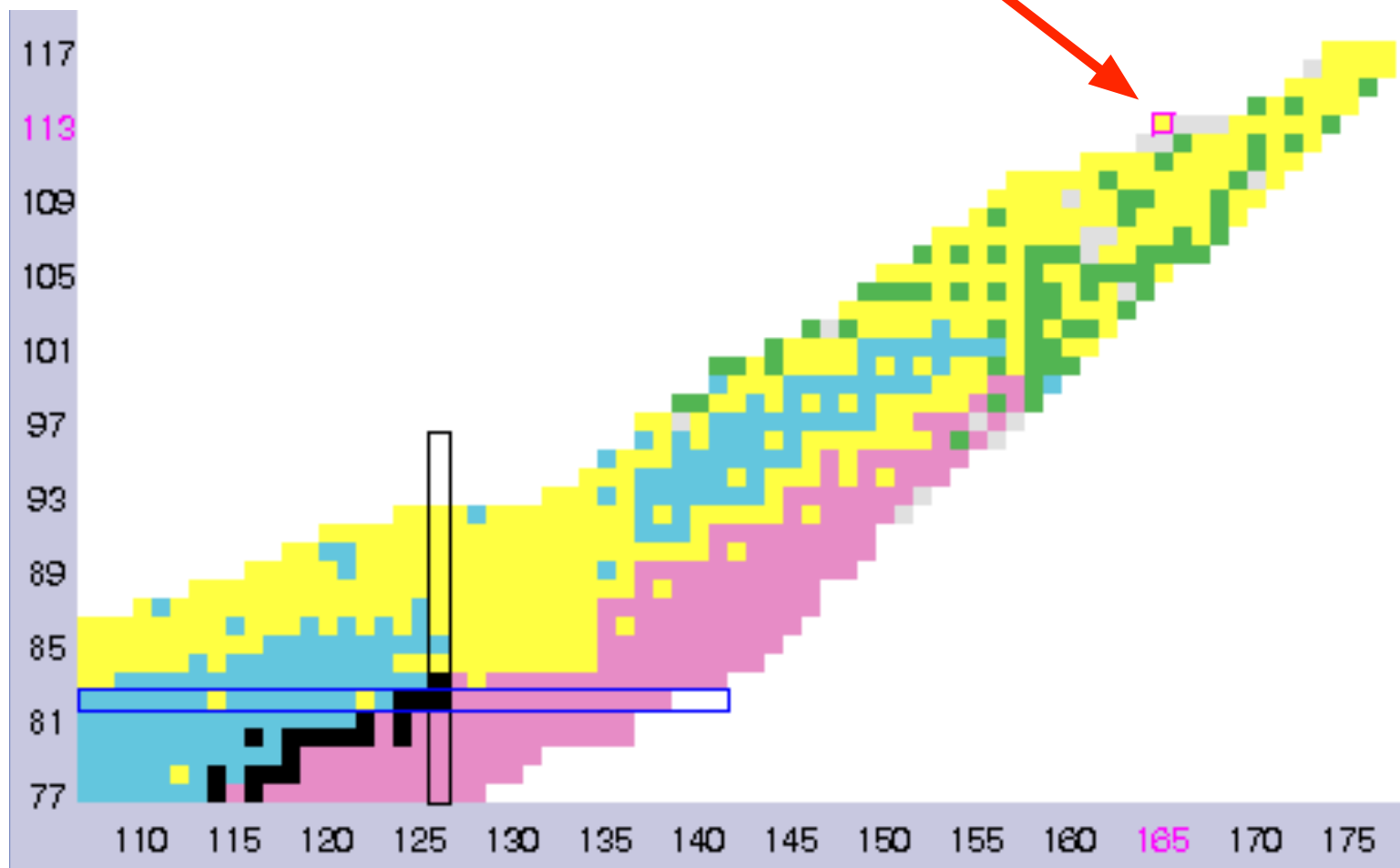
※核図表によっては ^{209}Bi になっている。



^{238}U のように質量数の大きい放射性同位体は、安定化するまでに何度も壊変する。

→ 補足資料3：ウラン・トリウムの子孫核種を参照のこと。

ちなみに、理研が合成した二ホニウムの原子核はこの位置。非常に不安定であることが核図表からも予測できる。



α 壊変まとめ

原子核には安定でいられる限界の質量数が存在し、そこから外れると不安定（＝放射性）になる。

大きすぎて不安定な原子核は、安定な質量数になるまで α 粒子（Heの原子核）を放出して壊変する。これを α 壊変と呼ぶ。

γ 線は？

壊変の際の余剰エネルギーの一部（あるいは全て）が α 粒子（ α 線）や電子（ β 線）ではなく、光子（＝電磁波）で放出されることがある。これが γ 線。

α 壊変や β 壊変の際に α 線、 β 線と同時に γ 線が放出されることが多いが、 ^{90}Sr のように β 線しか放出しない核種もある。

壊変で放出されるエネルギーの分配

～ α 、 β 、 γ （複数回）への分配～

ある放射性核種が壊変する際に放出される総エネルギーは一定だが、このエネルギーは様々な放射線に分配される。

例えば ^{134}Cs の β 壊変に伴って放出される総エネルギーは2.06 MeV。この一部が壊変で生じた電子の運動エネルギー（※）となり、 β 線が発生する。

残りのエネルギーは（複数の） γ 線として放出される。

※正確には電子と同時に生じる反電子ニュートリノとエネルギーを分けあう。

β 線のエネルギーが一定ではなく、核種判別に利用しにくいのはこのためである。



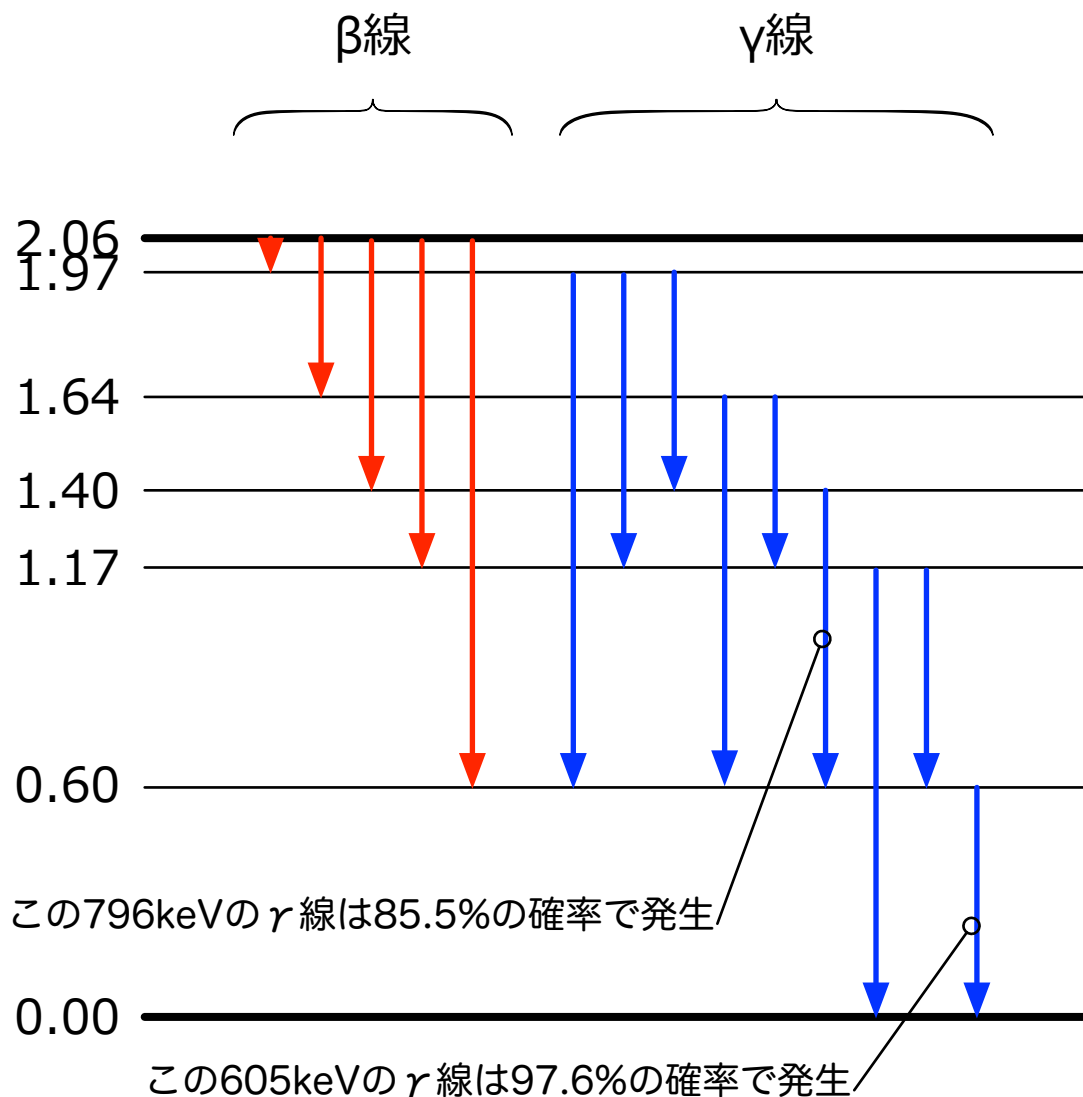
壊変で放出されるエネルギーの分配

～ α 、 β 、 γ (複数回) への分配～

1回の壊変によって、各エネルギーの α 、 β 、 γ 線が放出される確率は**一定**である。

エネルギー分解能の高いGe半導体検出器等を用いて **γ 線スペクトル**を解析することで、試料に含まれる **γ 線放出核種を特定**できる。

Ge半導体検出器で796keVと605keVの γ 線が85.5:97.6の比で観測された場合、 ^{134}Cs が存在すると推定できる。
補足資料その2参照。



放射性核種の生成

放射性核種は壊変によって安定化する。

では、不安定なはずの放射性核種はどのようにして生成され、存在しているのか？

放射性核種の生成

恒星内部の核融合

^{235}U 、 ^{239}Pu などの核分裂

^{238}U 、 ^{232}Th などの壊変

太陽・銀河からの宇宙線と地球大気の衝突

高エネルギーで加速した粒子と原子核の衝突

恒星内部・超新星爆発で生じた中性子の吸収

原子炉内等における中性子の吸収

^{137}Cs 、 ^{90}Sr など

衝突

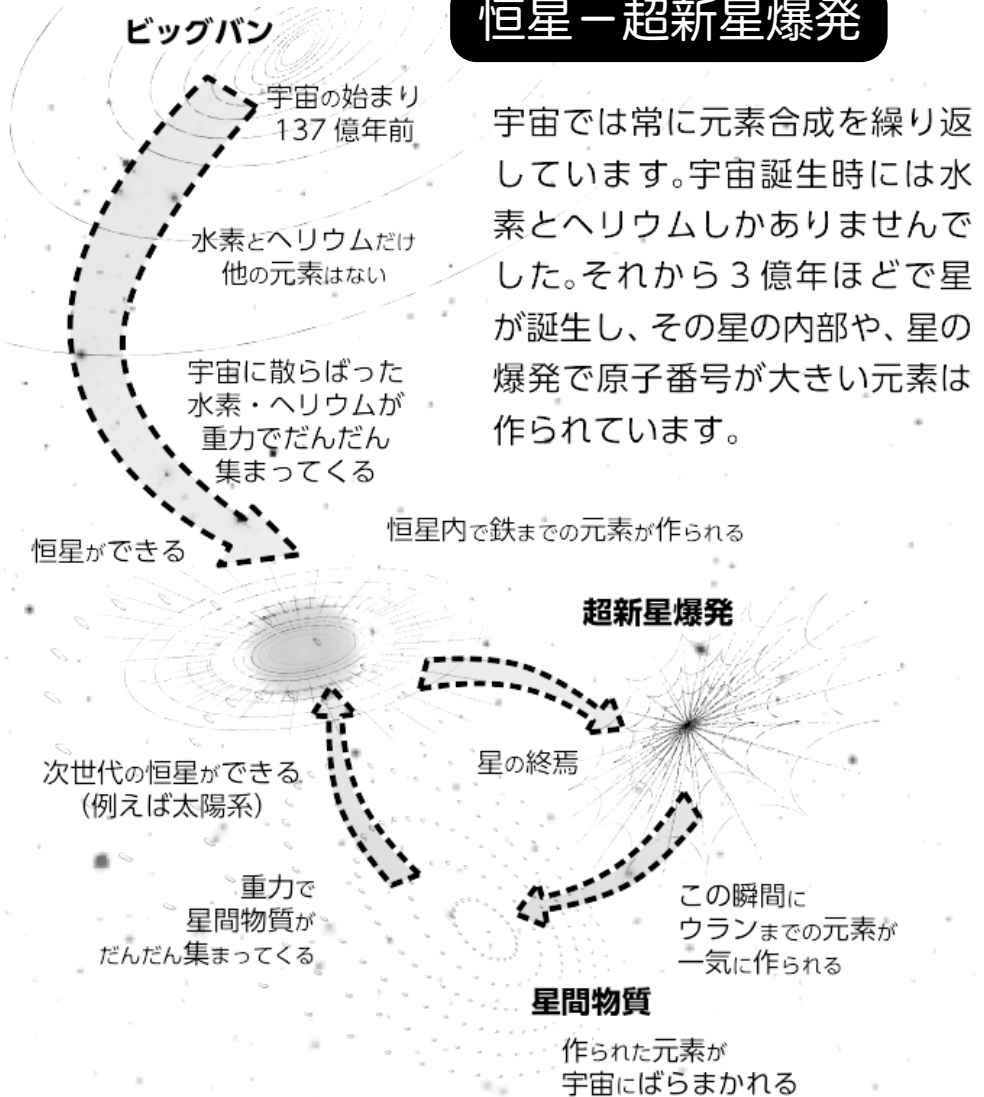
^{134}Cs など

中性子吸収
(中性子捕獲)

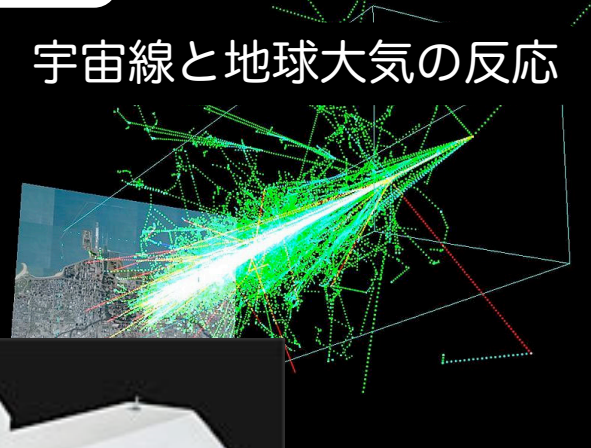
放射性核種の生成

～原子核の融合・分裂・衝突～

恒星－超新星爆発

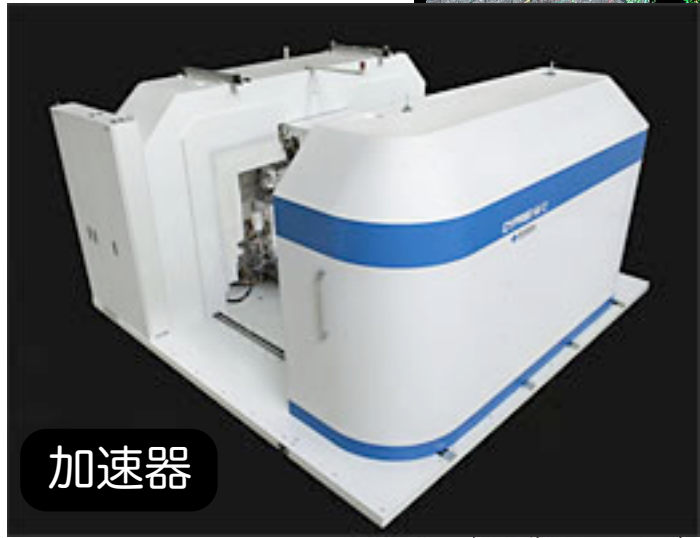


http://www.rarf.riken.go.jp/pub/enjoy/kakuzu/kakuzu_web.pdf



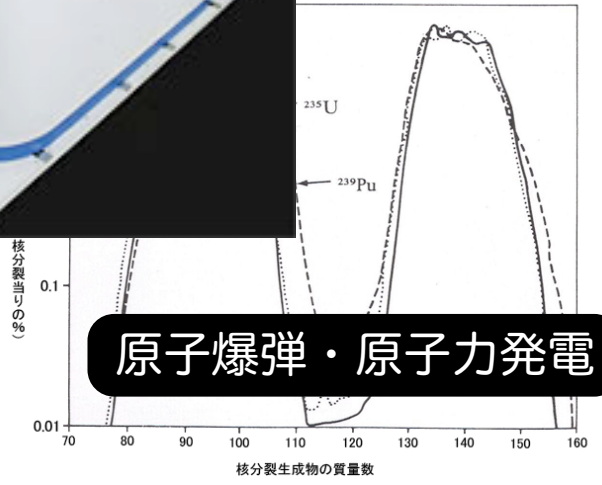
宇宙線と地球大気の反応

https://en.wikipedia.org/wiki/Air_shower_%28physics%29



加速器

<http://www.shi.co.jp/products/medical/cyclotron/>



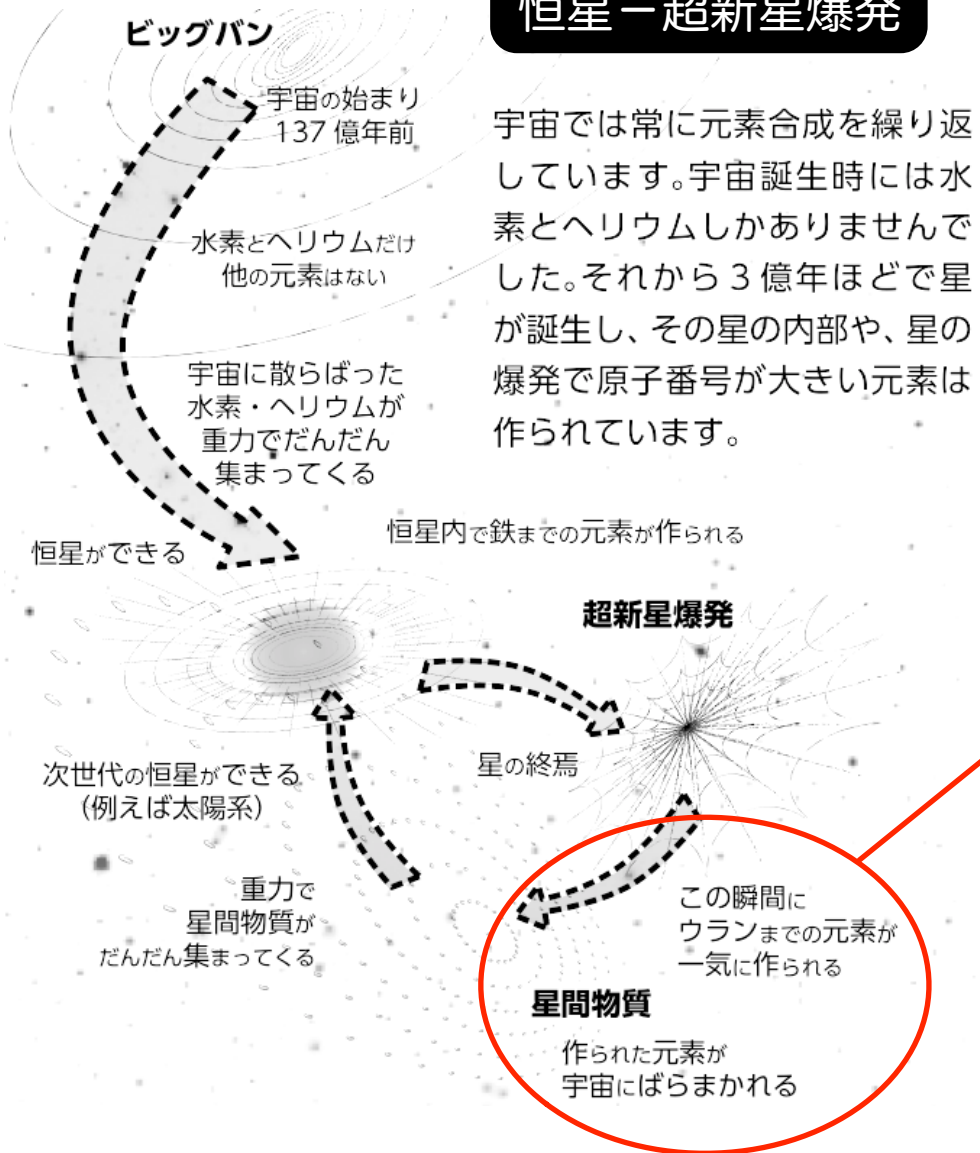
原子爆弾・原子力発電

図1 核分裂生成物の質量数分布
[出典]W.マーシャル編:原子炉技術の発展(上)、裳華房、p.72

放射性核種の生成

～原子核の融合・分裂・衝突～

恒星－超新星爆発



宇宙では常に元素合成を繰り返しています。宇宙誕生時には水素とヘリウムしかありませんでした。それから3億年ほどで星が誕生し、その星の内部や、星の爆発で原子番号が大きい元素は作られています。

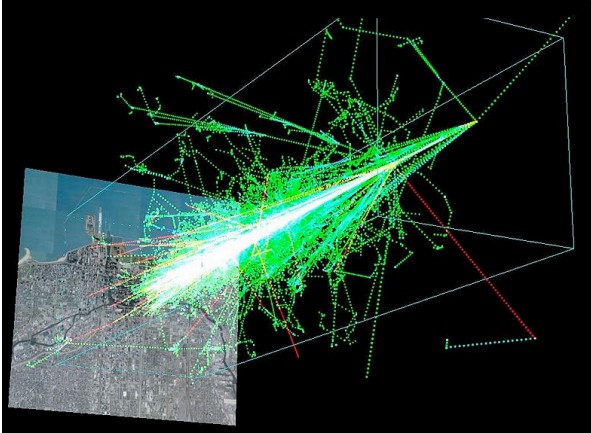
地球誕生時に取り込まれ、まだ残っている天然核種（原始放射性核種）

→ ^{40}K 、 ^{232}Th 、 ^{238}U など

放射性核種の生成

～原子核の融合・分裂・衝突～

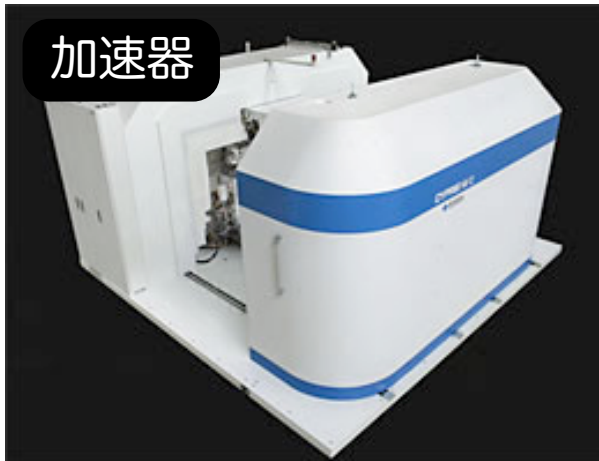
宇宙線と地球大気との反応



宇宙線により大気中で生成する天然核種
(宇宙線起源核種)

→ ^3H 、 ^7Be 、 ^{14}C など

加速器

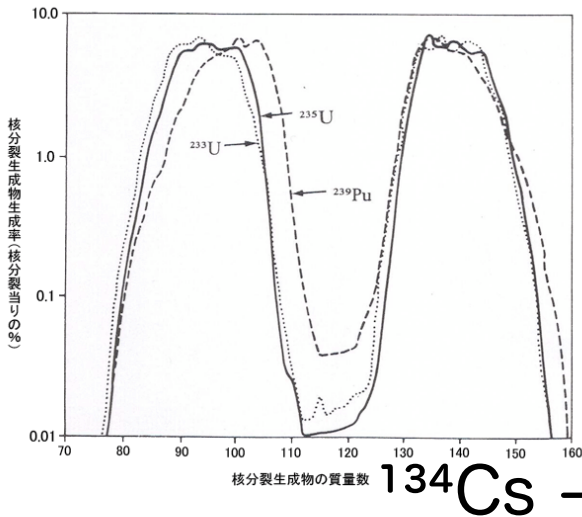


高速に加速した何らかの粒子を原子核に衝突させ、核反応を起こすこともできる。医療用、研究用などの核種製造に使われている(癌のPET検査に使われる ^{18}F などが有名)。

放射性核種の生成

～原子核の融合・分裂・衝突～

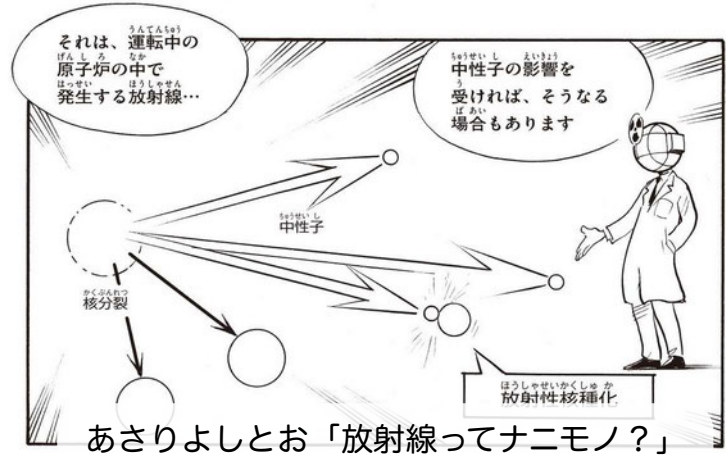
原子爆弾・原子力発電



^{90}Sr 、 ^{131}I 、 ^{137}Cs

核分裂で ^{235}U や ^{239}Pu の原子核が二つに割れると、中性子過剰な β 壊変核種となる。

原子力発電所では
中性子捕獲によって
 β 壊変核種が生じる場合もある。



補足資料 4 : 核分裂と生成核種

核分裂および原子炉内の中性子捕獲反応によって生じ、原発事故で放出され得る核種についてまとめました。興味がある方はぜひご覧下さい。

放射線の人体影響の基礎

～シーベルトの定義・計算法・リスク評価～



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...

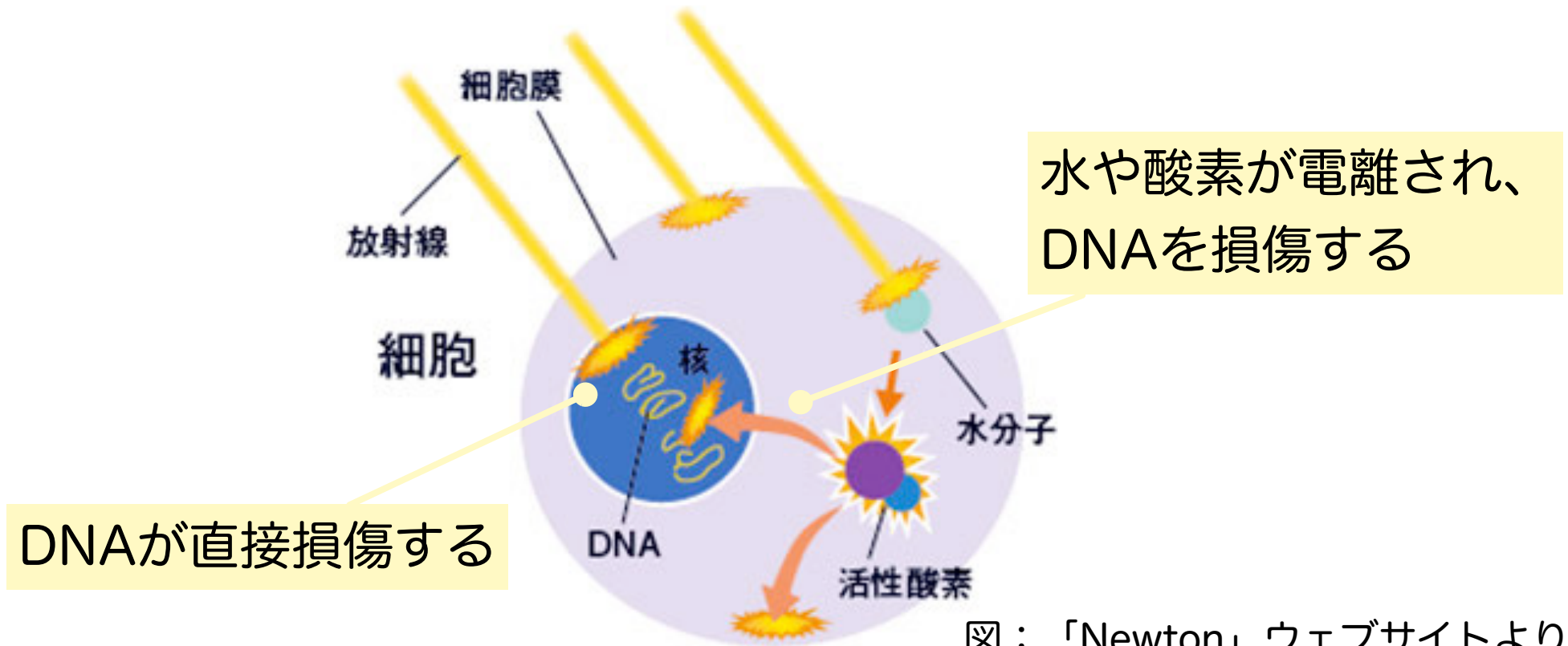
放射線の人体影響メカニズム

～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



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

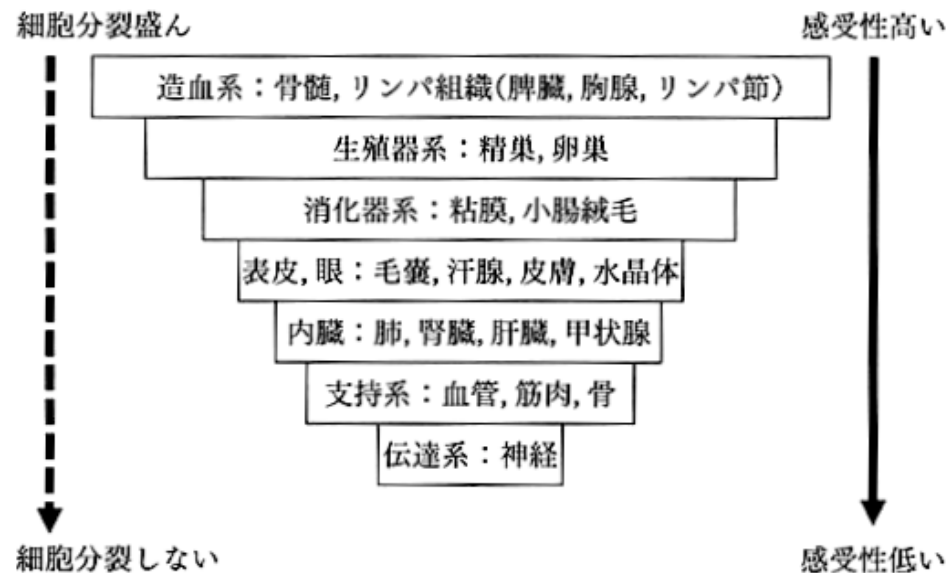
※少数なら問題無い

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。



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
骨髓・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

症状の出る「しきい値」が存在することが特徴。

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

誤った修復

修復失敗



誤りを含んだ細胞が増殖継続



癌の発生要因の一つ



細胞死

※少数なら問題無い

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

ポイント1

α 線は、 β 線や γ 線よりも
誤った修復を起しやすい。

DNAが損傷

修復機構が働く

修復成功

誤った修復

修復失敗

誤りを含んだ細胞が増殖継続

⋮

癌の発生要因の一つ

細胞死

※少数なら問題無い

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。

正しく修復



誤りを言んだ細胞が増殖継続



癌の発生要因の一つ

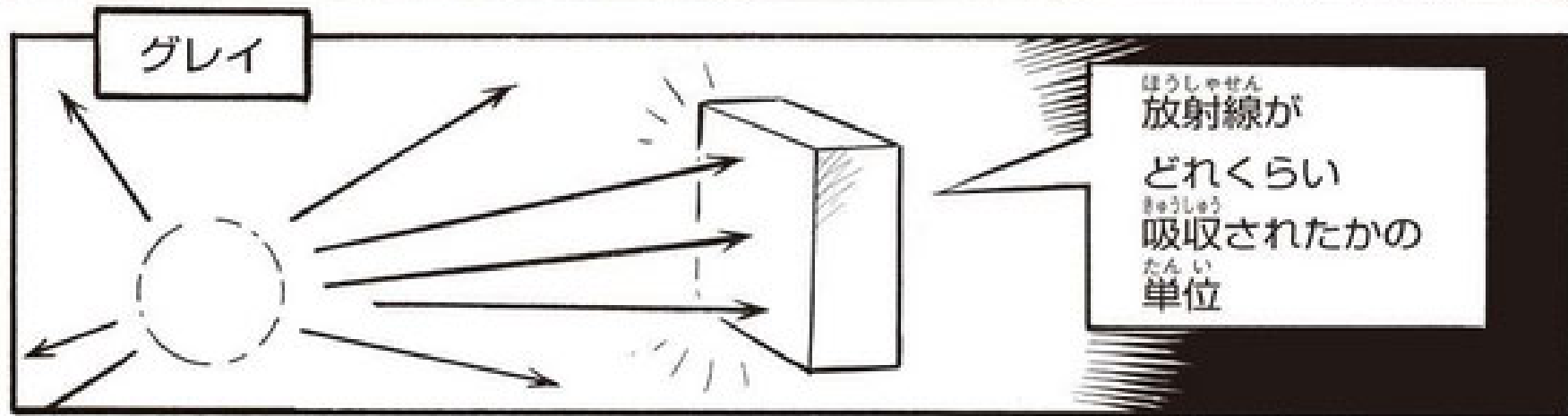
修復失敗



細胞死

※少数なら問題無い

シーベルトという単位

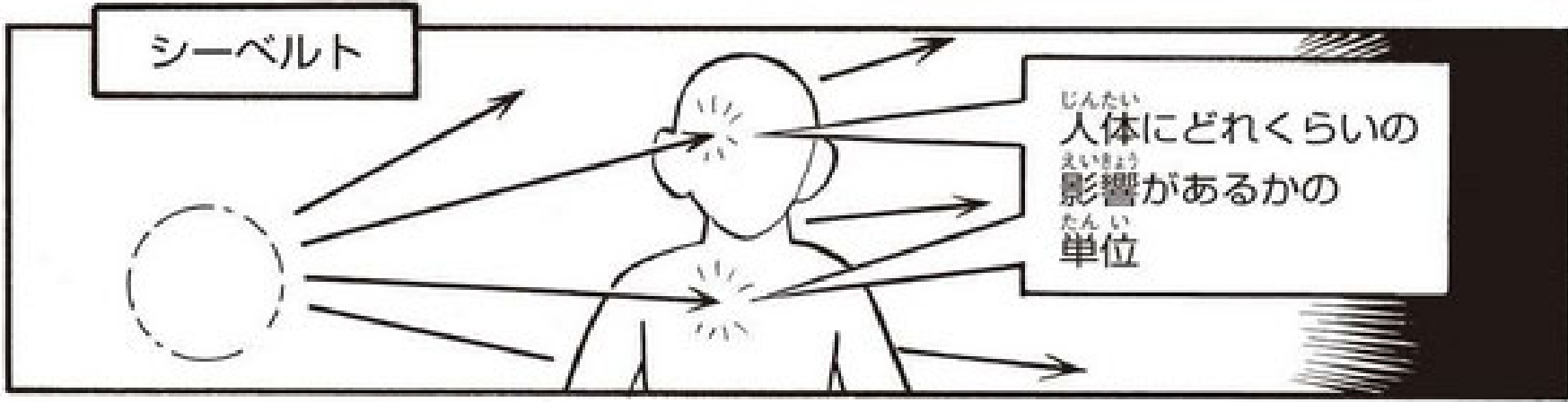
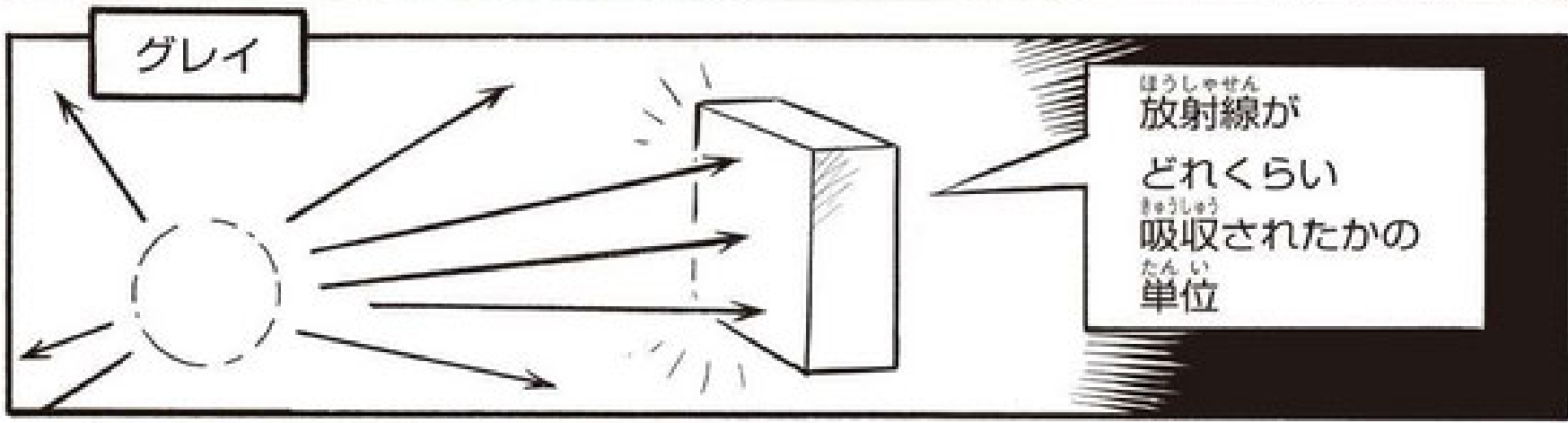


$$\text{Gy (グレイ)} = \text{J/kg}$$

質量 (kg) あたり、どれだけのエネルギー (J) を吸収したか



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？」

$$\text{Gy} \times \text{放射線加重係数} \times \text{組織加重係数} = \text{Sv (シーベルト)}$$

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

2種類のSv

※ 細かく言えばもっと沢山あります。
後述する「線量当量」など。
興味がある方は「実用量と防護量」などをキーワードに調べてみて下さい。

等価線量

$$\text{Gy} \times \underline{\text{放射線加重係数}} = \text{Sv (シーベルト)}$$

誤った修復を起しやすい放射線で大きい

※等価線量は、単一の組織への影響を評価する場合に使用される

実効線量

$$\text{Gy} \times \underline{\text{放射線加重係数}} \times \underline{\text{組織加重係数}} = \text{Sv (シーベルト)}$$

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

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 $\text{Gy}=\text{Sv}$ 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、 $\text{Gy}=\text{Sv}$ と見なせる場合が多い。

※ 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。

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。



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

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。

等価線量と実効線量

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、 β 線による体表面（皮膚や眼球）の外部被ばくの評価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…

$$\text{甲状腺の等価線量} = 100 \times 1 = 100 \text{ (mSv)}$$

$$\text{実効線量} = 100 \times 1 \times 0.04 = 4 \text{ (mSv)}$$

となる。



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 → $\left\{ \begin{array}{l} \text{空間線量率 (Sv/h)} \times \text{滞在時間 (h)} \\ \hline \text{累積線量 (Sv)} \end{array} \right.$ 各種の測定器で測定

測定器は、その空間に人体があったらどの程度放射線を吸収するか？ということ測定している。

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 $\mu\text{Sv/Bq}$

^{137}Cs : 0.013 $\mu\text{Sv/Bq}$

ICRP Publication 119より引用

線量当量と実効線量

測定器（空間線量計、個人線量計など）は、人体の皮膚から1cmの深さにおける放射線吸収量を示すように校正されている。

人体の放射線吸収量は皮膚から概ね1cmの位置で最大化するため、**測定器が示すシーベルト（線量当量）**は**実効線量**よりも大きい（※）。つまり、測定器の値を使えばリスクを多めに（安全側に）評価したことになる。

※人体を模擬したモデルを使った計算機シミュレーションで、線量当量と実効線量を推定し、線量当量>実効線量となることが確認されている。

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知りたい。



このような場合は「実効線量係数」を使って計算する。

実効線量係数とは？

核種、化学形、摂取形態に応じて、1Bqの摂取によって、摂取後50年間（子供は70歳まで）の積算で何Svの被ばくになるのか（※）を示す係数。

※：この積算値を預託実効線量という。被ばく総量が等しい場合、短期間にまとめて被ばくした方がリスクが高いと考えられている。したがって最大のリスクを考慮するために、内部被ばくの場合は預託実効線量の全量（実際には摂取直後から最大50年間に渡って被ばくする線量）を、摂取した瞬間に受けたと見なして線量管理を行う。

※：実効線量係数の算出は複雑で丁寧なシミュレーションによって行われています。概要を「補足資料5：BqからSvへの変換法」にまとめましたので、興味がある方は参照して下さい。

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气中濃度限度等


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)	空气中濃度限度 (Bq/cm ³)	排気中又は空气中の濃度限度 (Bq/cm ³)	排液中又は排水中の濃度限度 (Bq/cm ³)
核種	化学形態					
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气中濃度限度等

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)	空气中濃度限度 (Bq/cm ³)	排気中又は空气中の濃度限度 (Bq/cm ³)	排液中又は排水中の濃度限度 (Bq/cm ³)
核種	化学形態等					
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	ヨ化メチル	1.5×10^{-5}		1×10^{-3}	7×10^{-6}	
¹³¹ I	ヨ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}	



 $2.2 \times 10^{-5} \text{ (mSv/Bq)} = 0.022 \text{ (}\mu\text{Sv/Bq)}$

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



INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION

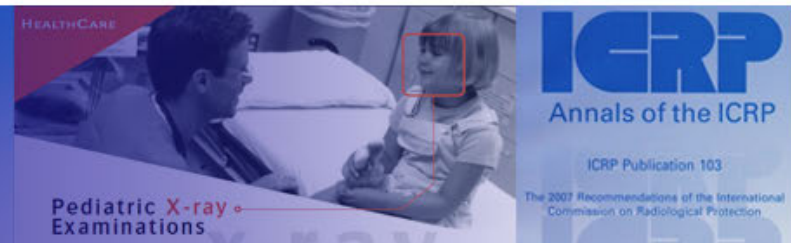
[Home](#) [News](#) [Consultations](#) [Publications](#) [Downloads](#) [ICRP Symposia](#) [ICRP Activities](#)

Downloads

Preventing accidental exposures from new external beam radiation therapy technologies

ICRP Publication 112
Task Group

R. Ortiz Lopez (chairman), J.M. Cosset,
C. Holmberg, J.C. Rosenwald, P.
Garcueta, J.J. Vignard, L. Pinho,
S. Vaidya



[Free Summary Recommendations](#)

[ICRP Annual Reports](#)

[Free ICRP Posters: Paediatric radiology](#)

[Free Guides and Explanatory Notes](#)

[Free Educational Downloads](#)

[Free Educational CD Downloads](#)

You are here: [Download](#) > [Free Educational CD Downloads](#)

Free Educational CD Downloads

The following files are downloadable installation files for CDs of dose coefficients available here at no cost. They can be used by teachers, students, and those interested radiological protection together with their parent ICRP Publications. Please note that while we encourage you to download and use these CDs, ICRP retains copyright and you must not edit or attempt to repackage these materials for sale.

These downloads replace ICRP [CD1](#), [CD2](#) and [CD3](#) which are now out of print. These free downloads are for Windows operating systems, including Win 7, on 32 and 64 bit machines.

ICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the Public; Ver. 3.0

Available as a Windows setup file named [j5 ICRPDOSE_setup.exe](#).

実効線量係数の調べ方

ICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the Public

File General Info ICRP 68 ICRP 72 Biokinetics Help

INTAKE

Radionuclides
Radionuclide (eg Co-60): Cs-137

Z	Element	Symbol	A	Half-life
55	Caesium	Cs	132	6.475d
55	Caesium	Cs	134	2.062y
55	Caesium	Cs	134m	2.90h
55	Caesium	Cs	135	2.3E6y
55	Caesium	Cs	135m	53m
55	Caesium	Cs	136	13.1d
55	Caesium	Cs	137	30.0y

Subject(s)
Ages at intake: Adult
 Adult Worker
 Public

Intake Route(s)
Aerosol size (AMAD): 0.3 microns
 Ingestion
 Inhalation

OUTPUT

Number of Periods: All (selected), Five, Custom
1 day, 7 days, 30 days, 1 year

Organs / Tissues: All, with wT, Custom (selected)
Thyroid, Uterus, Remainder, Effective dose (selected)

Batch File: Load Save Delete Command Line: Add Remove

Strontium [Sr-90], NINHL INGT ENVI AGE(A) TEN
Iodine [I-131], NINHL INGT ENVI AGE(A) TEN
Caesium [Cs-134], NINHL INGT ENVI AGE(A) TEN
Caesium [Cs-137], NINHL INGT ENVI AGE(A) TEN

Run
Status: Finished

Dose Coefficients (Sv/Bq) - Viewer

File Help

I-131, adult member of the public
Ingestion: f1 = 1.0
Highest committed equivalent dose coefficient: Thyroid, 4.3E-07 Sv/Bq
Remainder formulation: default

Time after intake	1 day	7 days	30 days	1 year	5 years	1
Effective dose	1.3E-09	1.0E-08	2.0E-08	2.2E-08	2.2E-08	2

Result 2 of 4
Print Save Close

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

BqからSvへの変換法

$$100 \text{ (Bq)} \times 0.022 \text{ (}\mu\text{Sv/Bq)} = 2.2 \text{ (}\mu\text{Sv)}$$

- 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) 実効線量 (Sv) が算出される

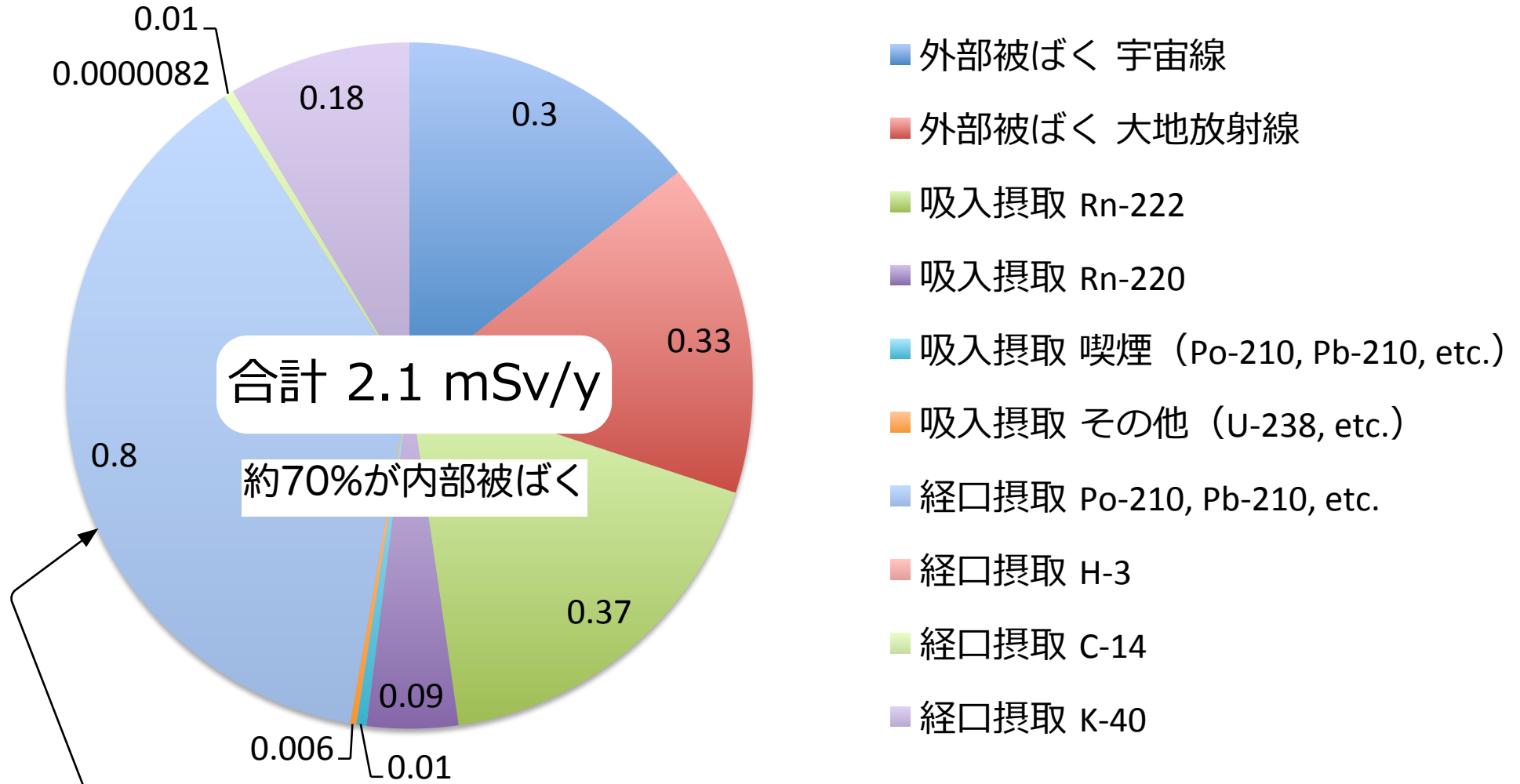
例題の場合、摂取量100Bq、 ^{131}I の実効線量係数が $0.22 \mu\text{Sv/Bq}$ なので、実効線量は $2.2 \mu\text{Sv}$ と算出できる。

Svとリスクの目安

相対的な評価 → 自然被ばくとの比較

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



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（補足資料その2 CR-39の実例を参照）。

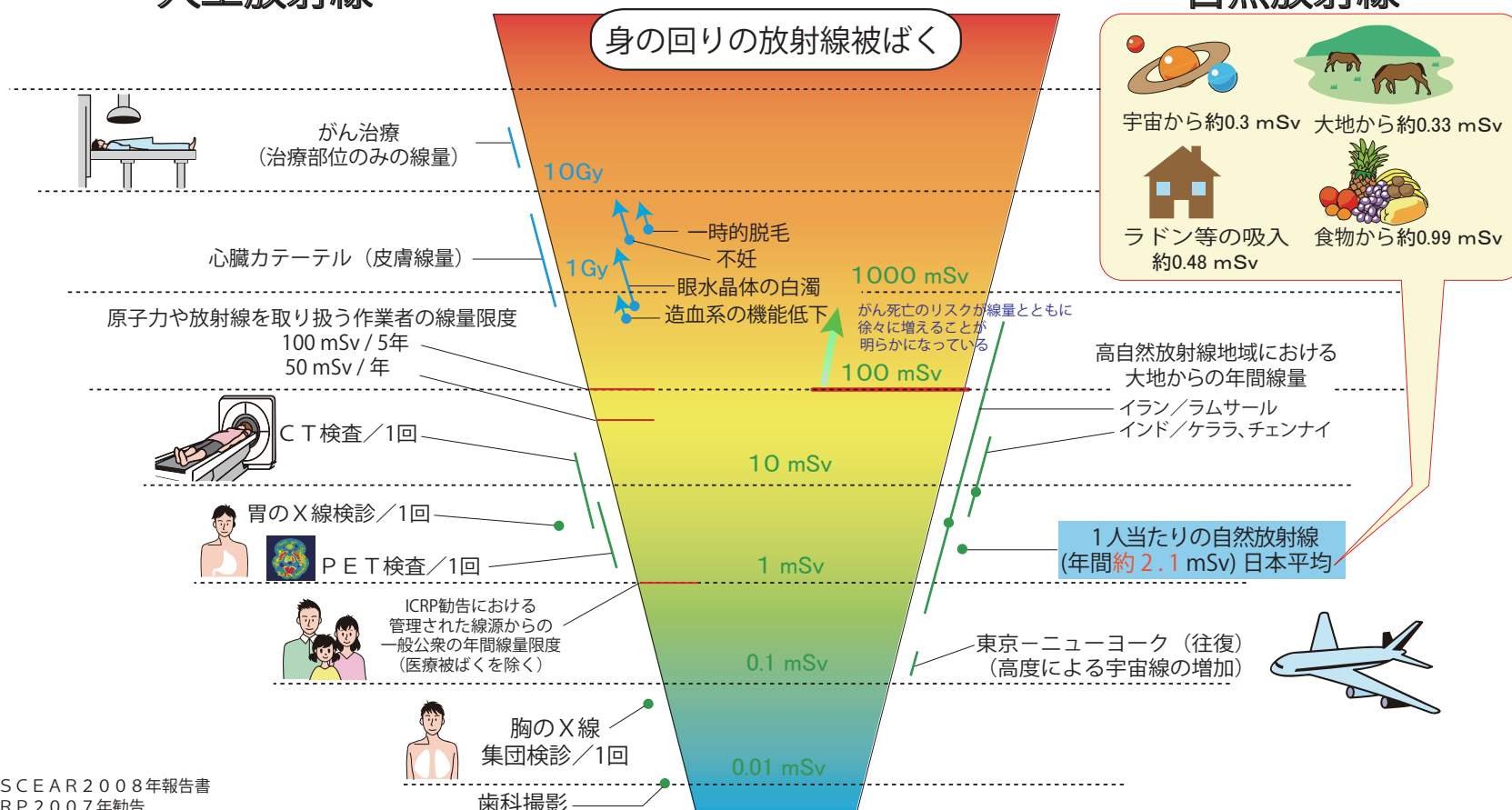
図の数値は「やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識」（田崎 晴明 2013.1.17版）より引用

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

人工放射線

自然放射線



- ・ 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)

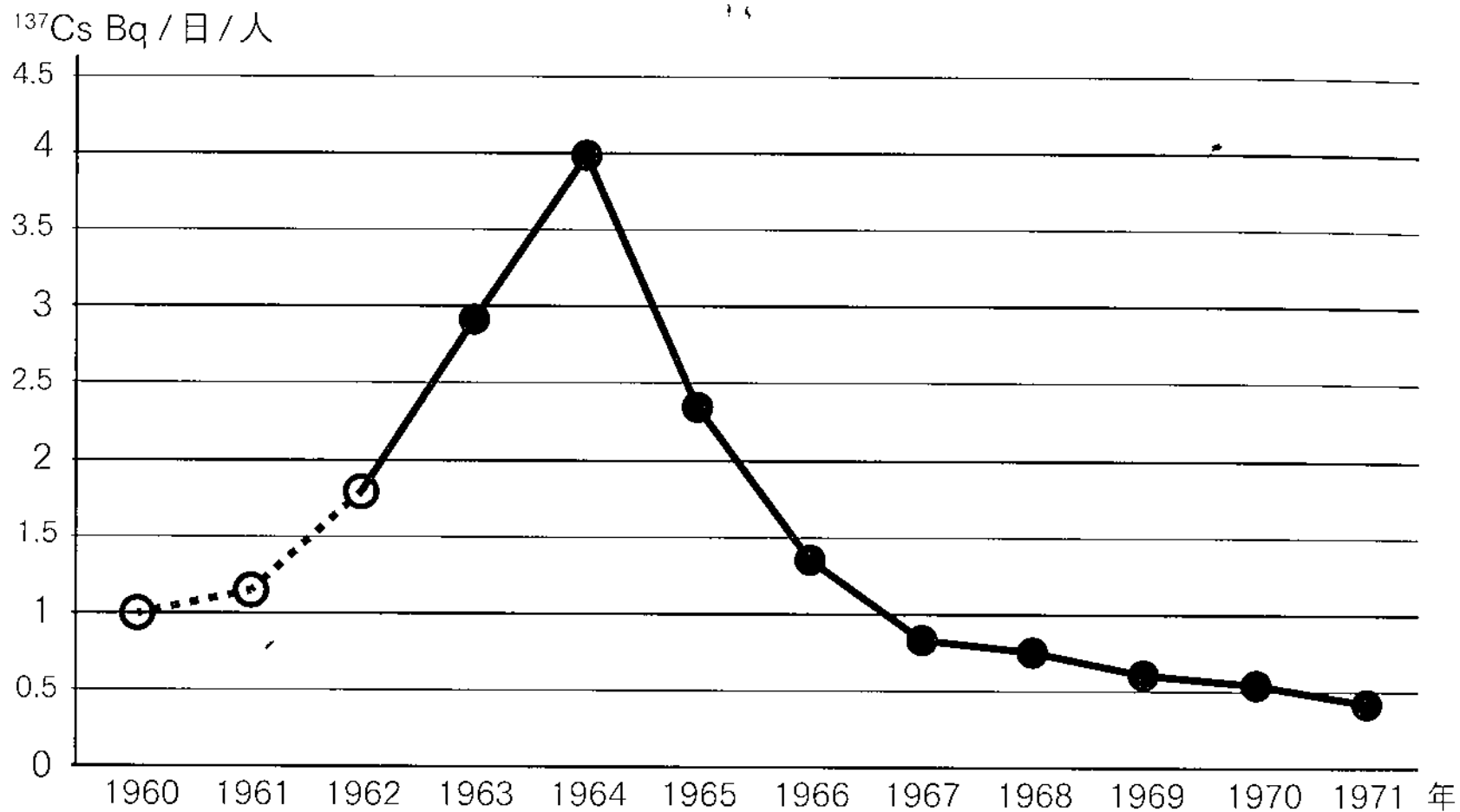
放射線から臓器・組織の各部位において単位重量あたりにどれくらいエネルギーを受けたのかを表す物理的定量。

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。

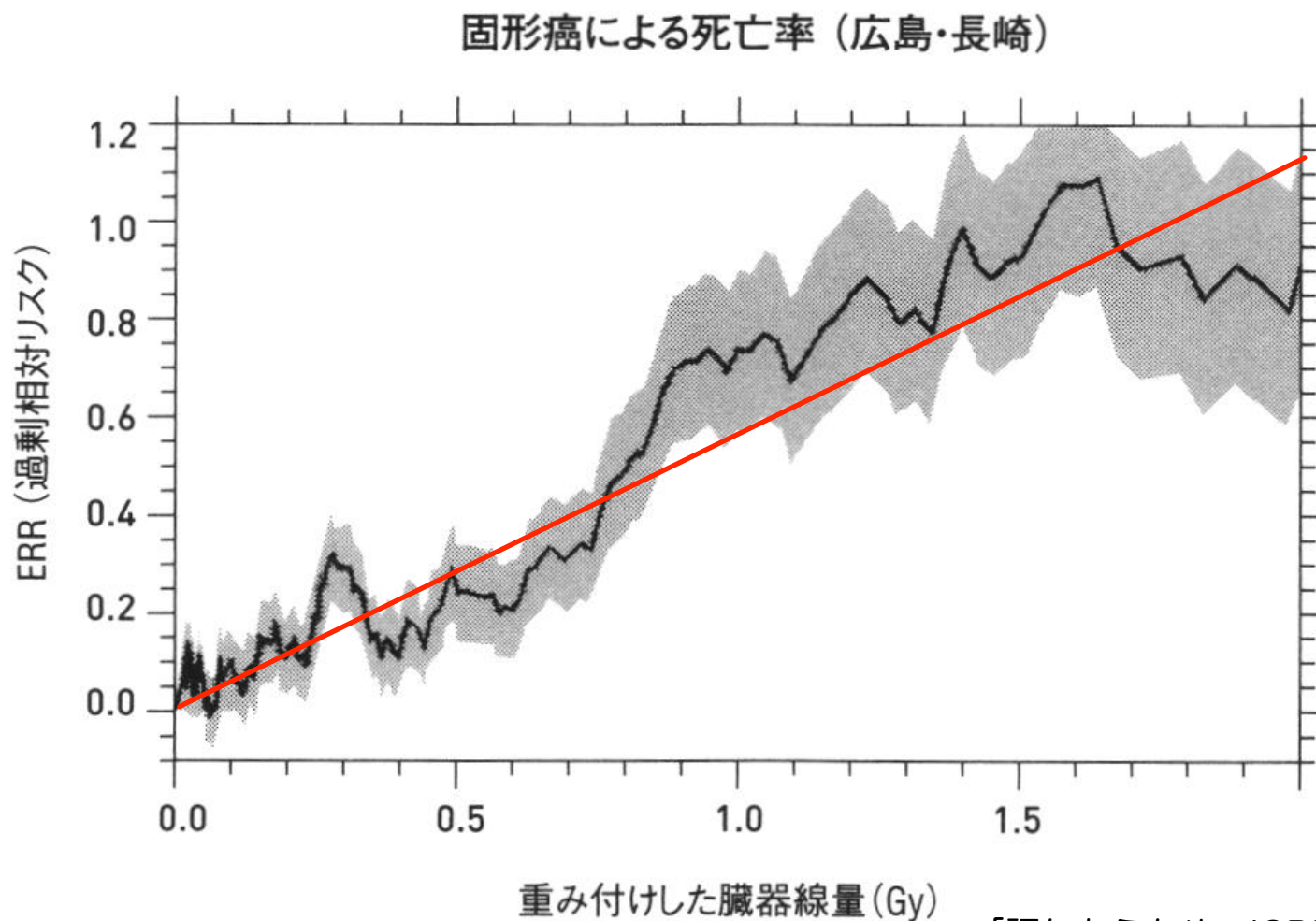
大気中核実験の影響との比較



日常食中セシウム137の経年変化。文献[2]の図を引用

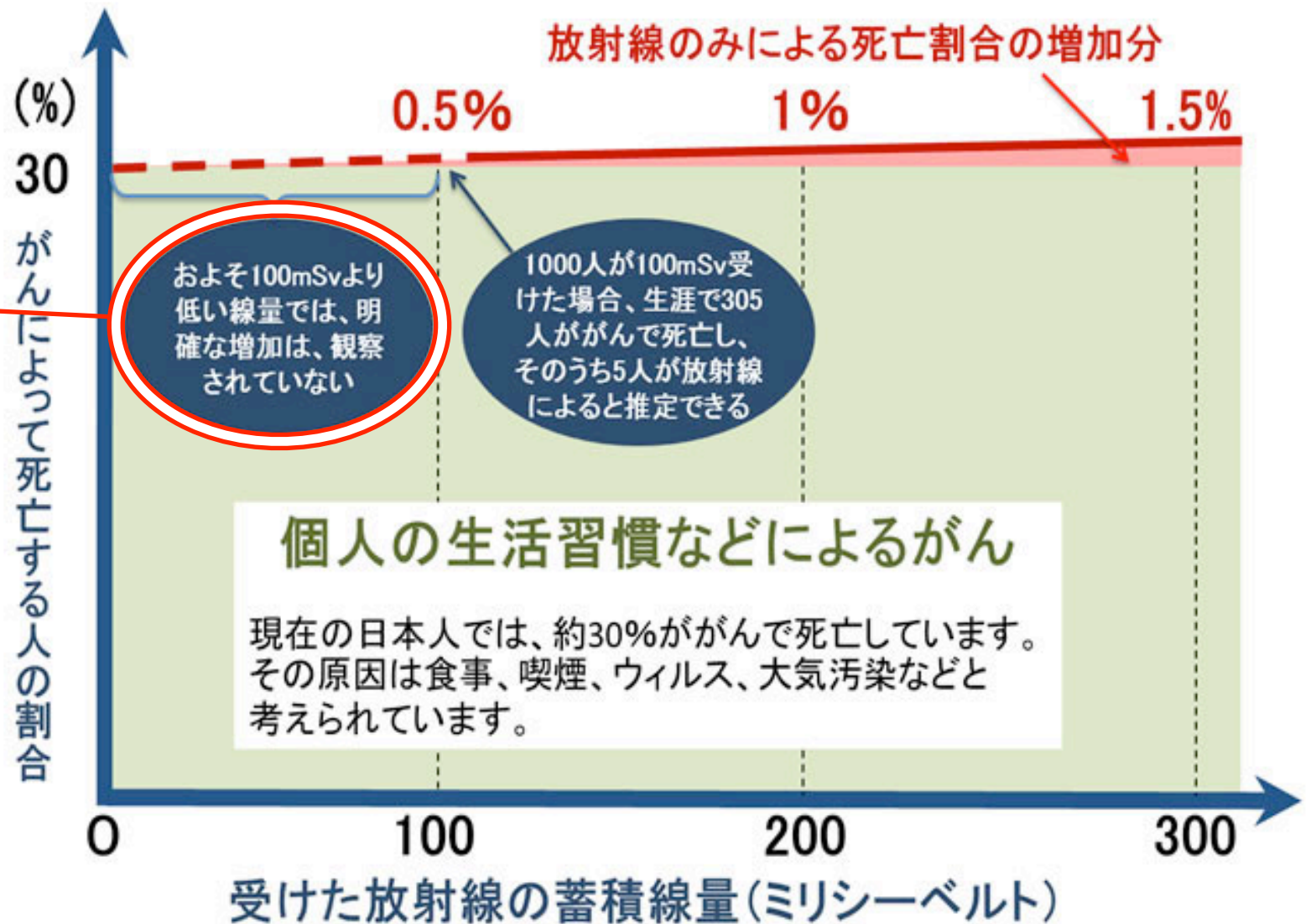
リスクの絶対評価

被爆者の追跡調査から、少なくとも高線量領域では、線量と癌死亡リスクに比例関係が存在する。



Svの数値とリスクの目安

年間で100ミリシーベルトまでゆっくりと被ばくした場合のがん死亡



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

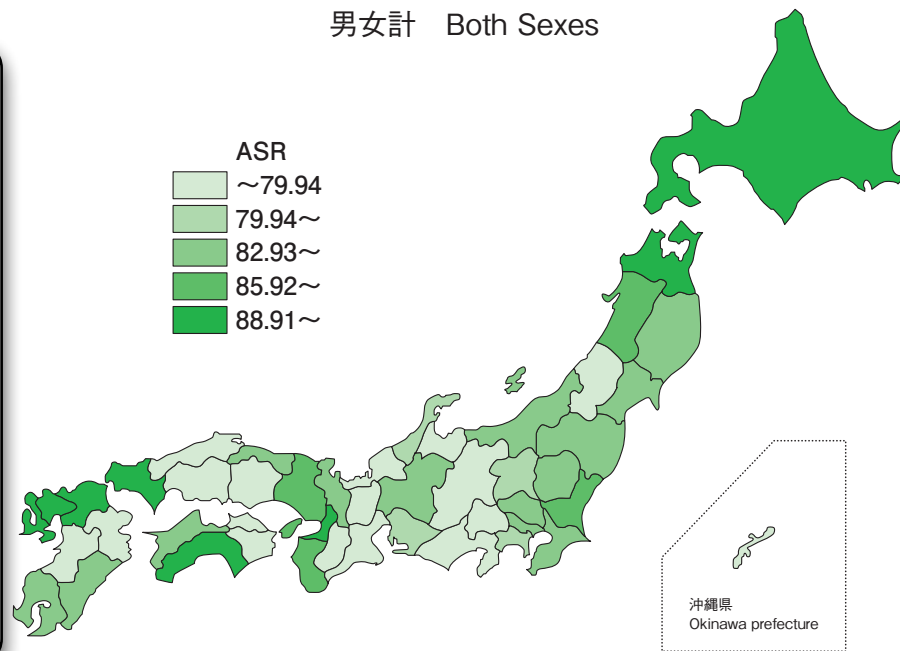
癌の死亡率には様々な変動要因がある。例えば都道府県単位で見ても相対的に10%以上（死亡率30%に対して**3%以上**）異なる。



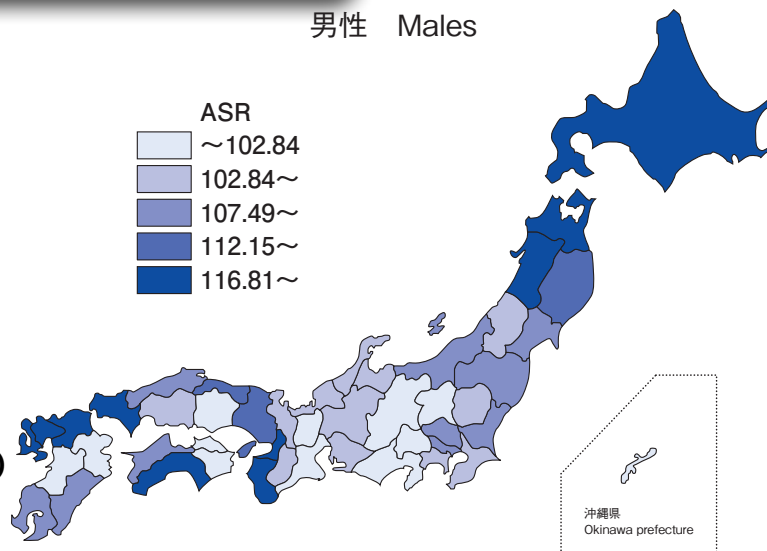
低線量被ばくによる**0.5%未満**の差を検出するのは**統計的に困難**。

75歳未満年齢調整死亡率（人口10万対）
Age-adjusted mortality rate under age 75 (per 100,000)

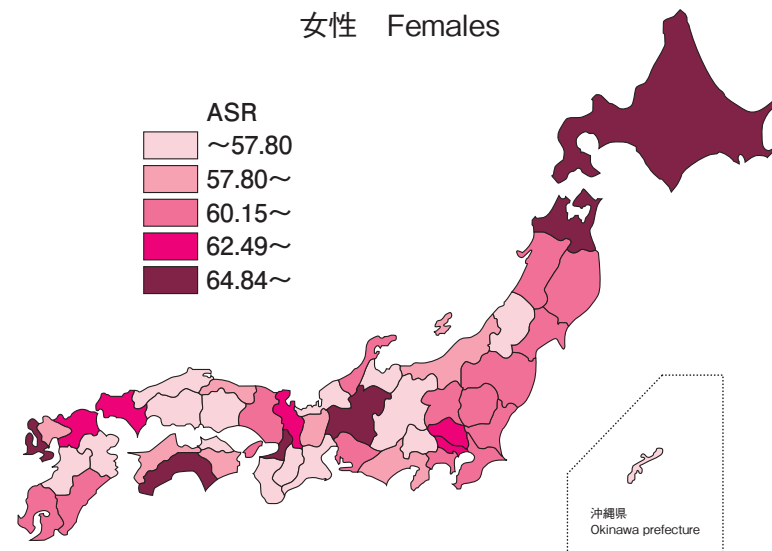
男女計 Both Sexes



男性 Males



女性 Females



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)

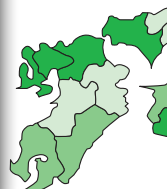
(1) 全がん All Cancers

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。

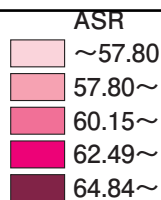
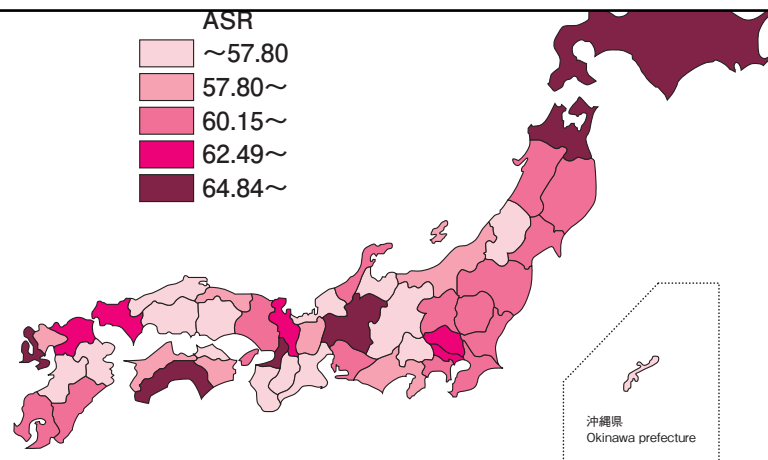
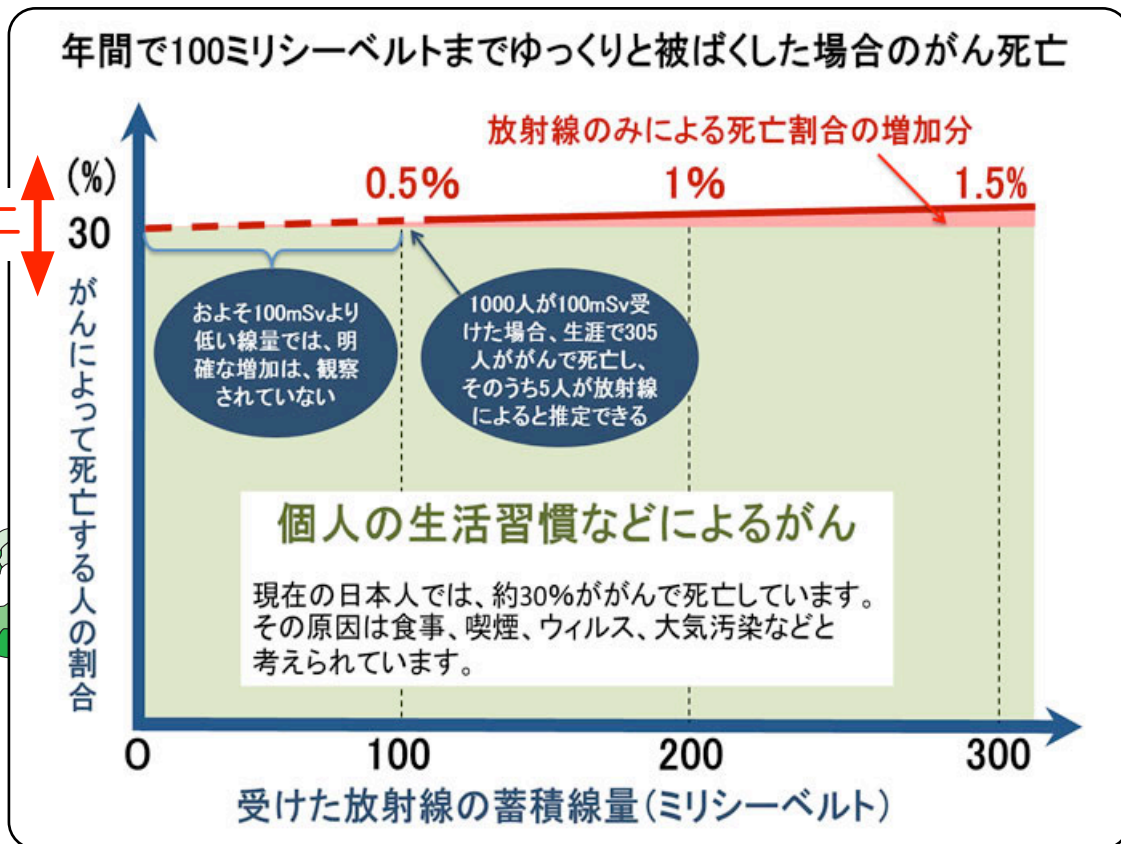
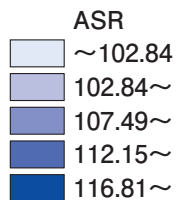


低線量被ばくによる**0.5%未満**の差を検出するのは**統計的に困難**。

3%以上



男性 Males

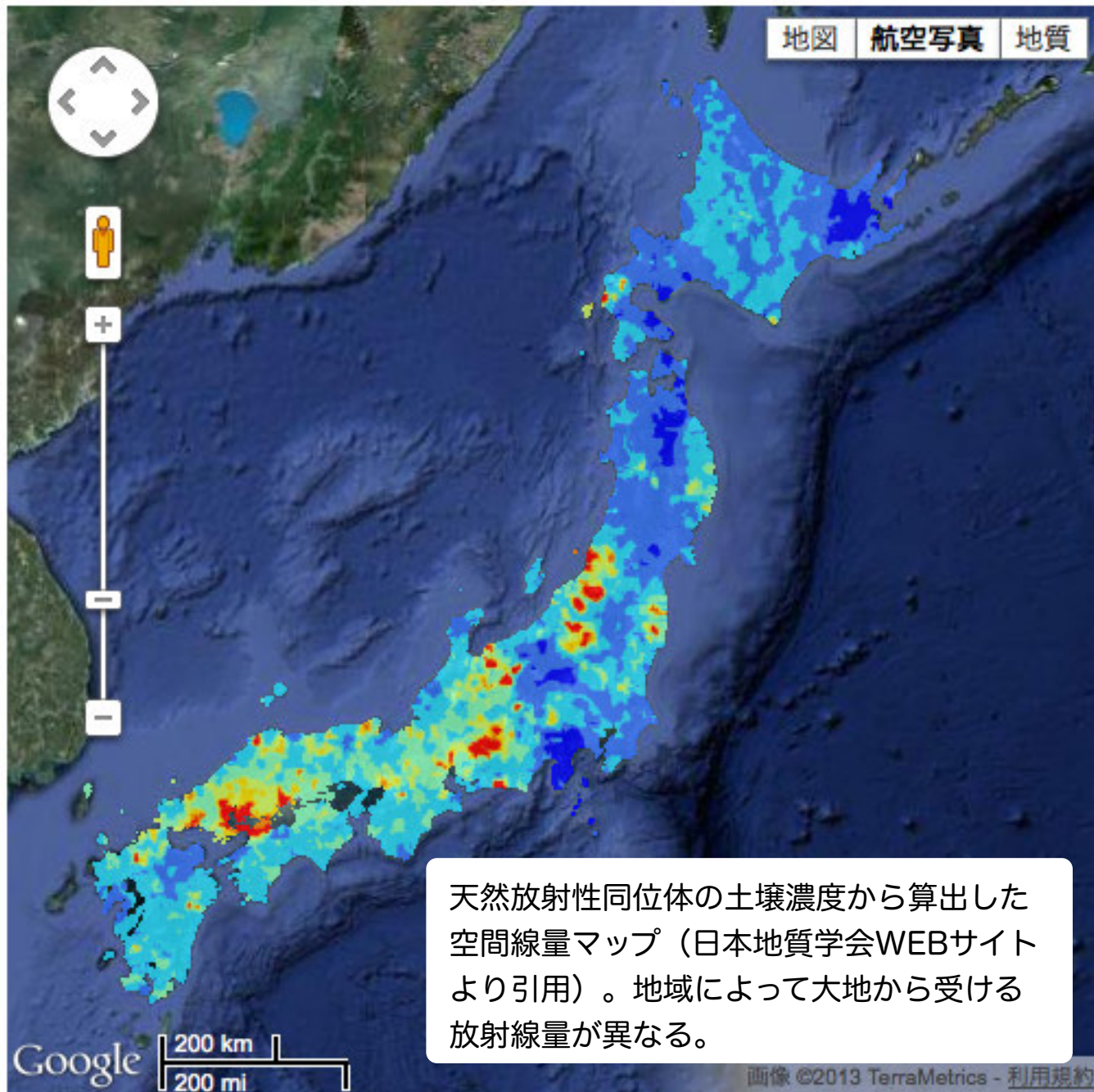


図：がん研究振興財団のウェブサイトより引用

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 $\text{Gy}=\text{Sv}$



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。

左：屋内ラドン濃度マップ

右：宇宙線線量率マップ

共に放医研ニュースNo.92より引用。ラドンによる内部被ばくは2倍以上、宇宙線による外部被ばくも15%以上の地域変動がある。

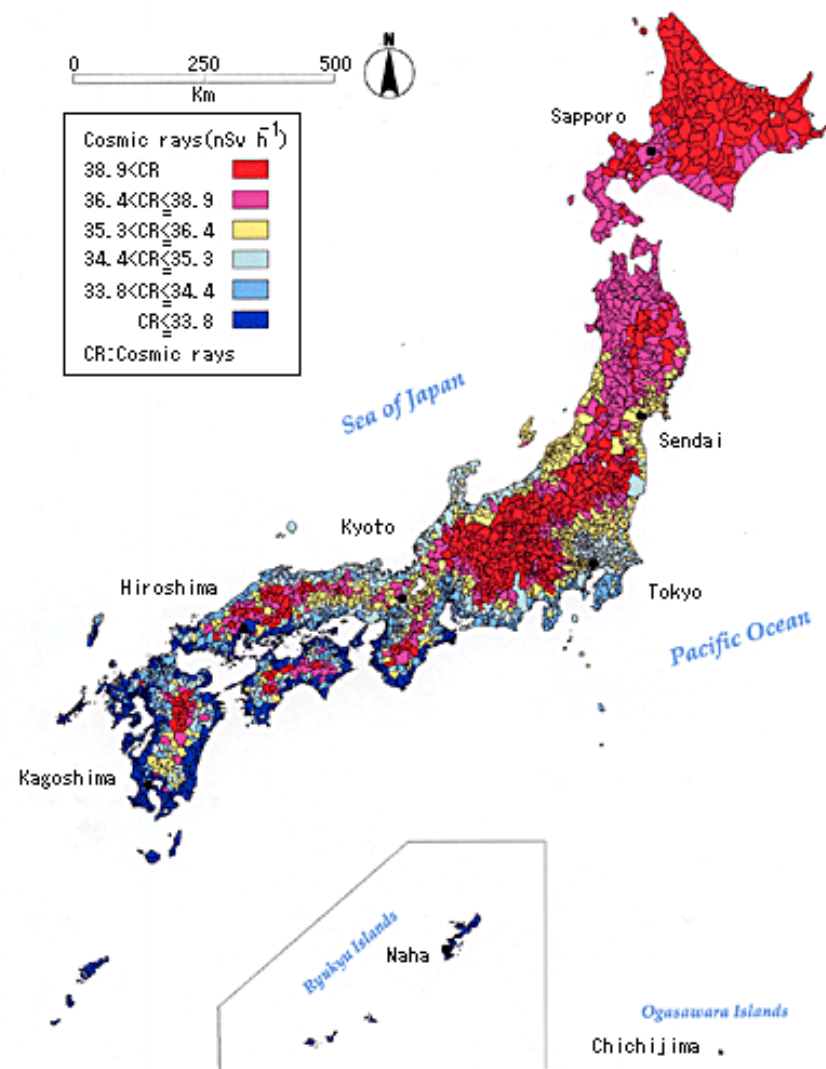
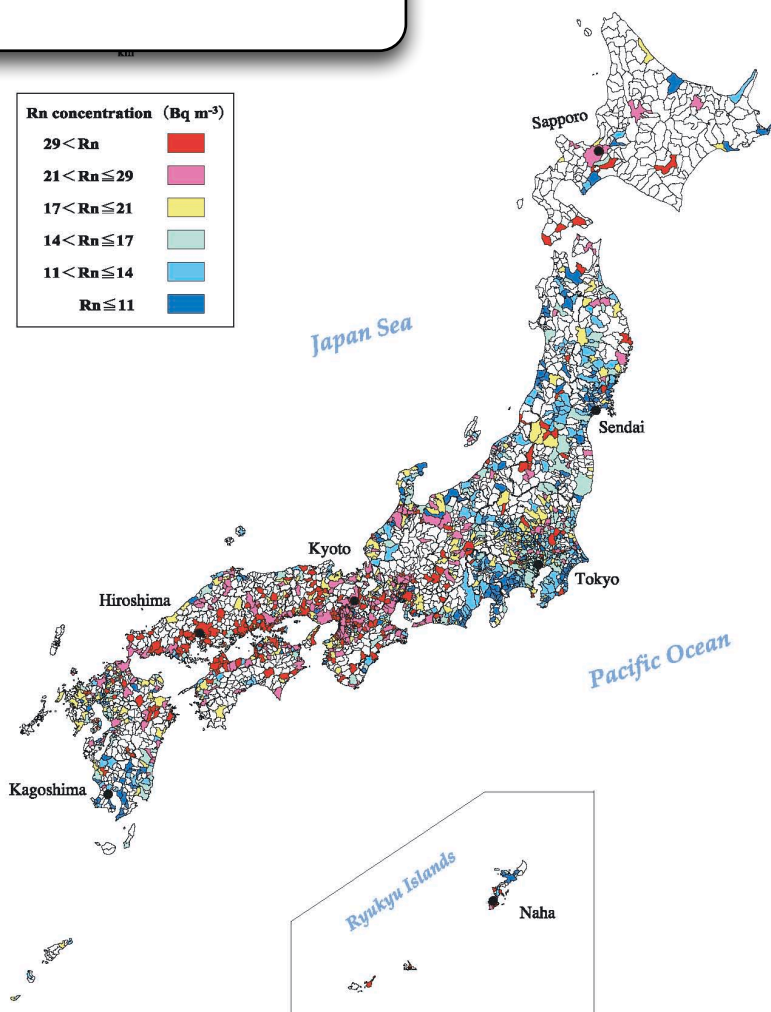


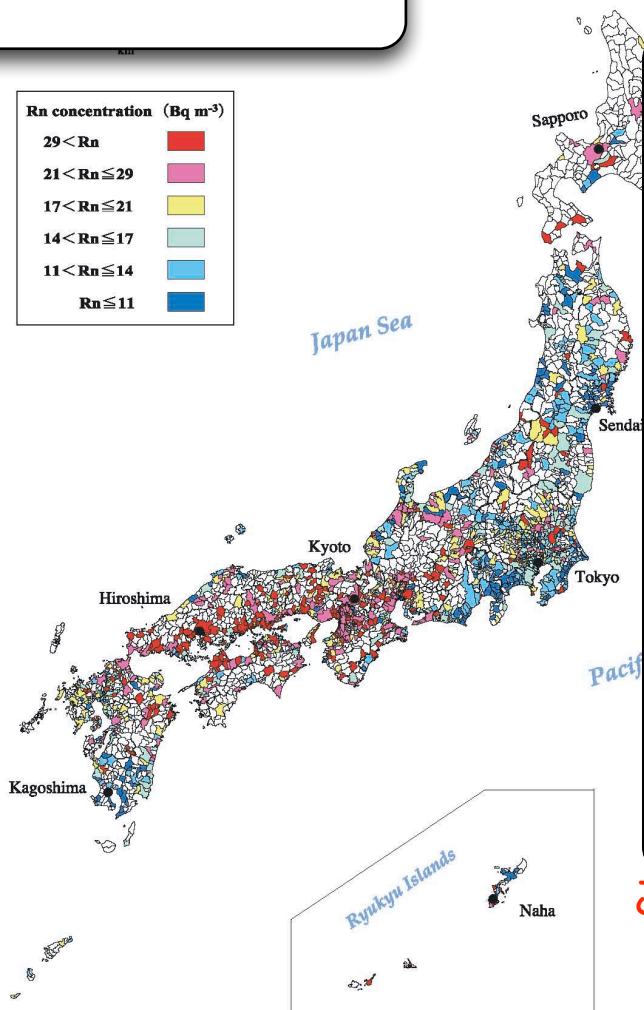
Fig. 4. Graphical expression of annual average indoor radon concentrations in each municipality: Whole nation

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。

左：屋内ラドン濃度マップ

右：宇宙線線量率マップ

共に放医研ニュースNo.92より引用。ラドンによる内部被ばくは2倍以上、宇宙線による外部被ばくも15%以上の地域変動がある。



年間で100ミリシーベルトまでゆっくりと被ばくした場合のがん死亡

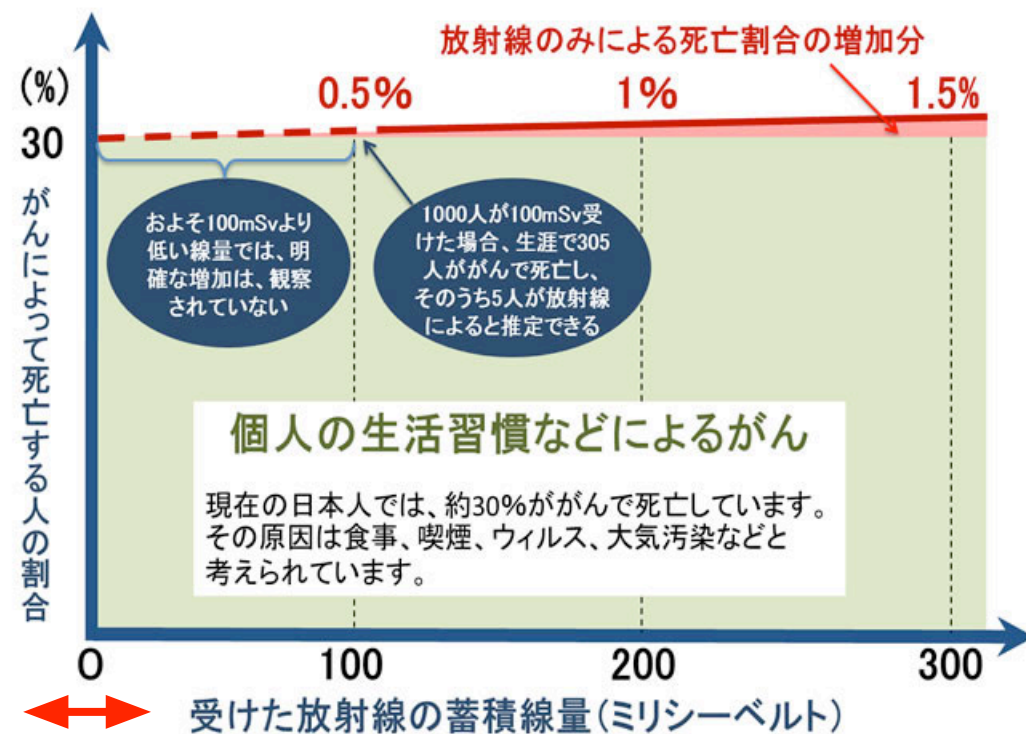
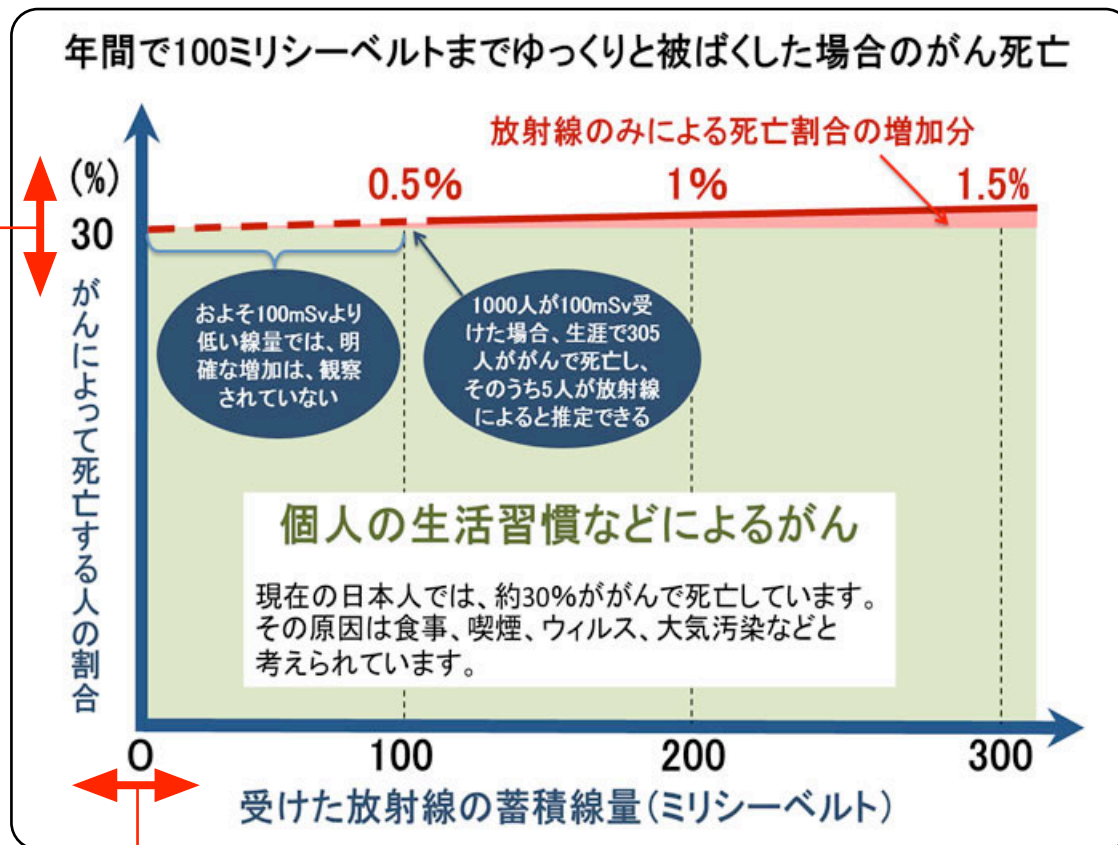


Fig. 4. Graphical expression of annual average indoor radon concentrations in each municipality: Whole nation

Ogasawara Islands
Chichijima



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、科学だけでは結論を出せない。

▼
「トランスサイエンス」

トランスサイエンスとは？

原子力科学者のワインバーグが、1972年の論文で以下のような問いをトランス・サイエンスな問い（Trans-Scientific Questions）と呼ぶことを提案。

Questions which can be asked of science and yet which cannot be answered by science.

Questions of fact and can be stated in the language of science, they are unanswerable by science; they transcend science.

意識：科学的言葉で問うことができるが、
しかし（まだ）科学では答えられない問い。

科学的な言葉で問うことができ、科学で答えられる問いの例

Q : 2Sv/年の被ばくは健康に悪影響を与えるか？

A : 与える

科学的な言葉で問うことができるが、科学では（まだ）答えられない問いの例

Q : 10mSv (0.01Sv) /年の被ばくは健康に悪影響を与えるか？

A : 与えるか否かは（現時点の知見では）分からない

リスクの絶対評価

低線量長期間被ばくでは、累積線量500mSv、集団サイズ7万人でも疫学的に有意ではない。

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	

左図は「放射線 必須データ32」 p.122より引用したインド・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。相対リスクが上昇しているとは言えないことが分かる。

トランスサイエンスな問いにどう答えるか

科学では答えられない問いにどう答えるか？

→ 一つの答えが「倫理学」

本当にそうなのか？その根拠は何か？と論理的に追及するという意味では、倫理学は科学と共通している。

ただし、科学は「○○である」という**事実**のみを扱うが、倫理学は「○○は良い」「○○すべき」という**規範**も扱う点が異なる。

倫理的な答え方とは、ある**規範**の正当性を、前提となる**規範**や**事実**をもとに、他の人にも納得できるように、筋道立てて示そうとすること。 → 例：厚生労働省による食品基準の算出根拠の提示

食品の基準値の設定

基準値のもととなる1人当たりの年間線量の上限值

1 ミリシーベルト

(ICRPによる) 規範

科学的事実ではない点に注意

水

約 0.1 ミリシーベルト

食品

約 0.9 ミリシーベルト (0.88~0.92)



科学的に算出された事実

飲料水の基準値 (10ベクレル/kg) の水を 1年飲んだ場合に相当する線量を割当て

規範 セシウム以外の放射性物質による影響を考慮
(例: 19才以上では、多めに見積もって食品からの線量の約12%)
※ストロンチウム90、プルトニウム、ルテニウム106

科学的に算出
された事実

食品の基準値の設定

放射性セシウムからの
年間の線量を

食品 1 kg
あたりの
量に換算

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

規範

- ※年齢区分別の摂取量と換算係数(実効線量係数)を用いて算出
- ※流通する食品の半分が基準値上限の放射性物質を含むと仮定

各年齢区分のうち
最も厳しい(小さい)値をもとに

最終的に導出された規範

基準値
100ベクレル/kg

レポート課題A



このコップ1杯の牛乳に、放射性核種である ^{137}Cs が100Bq、 ^{134}Cs が20Bq含まれているとする。

この1杯を飲むことによる追加の実効線量を計算し、そのリスクの大きさを自然・医療被ばくとの比較、またはLNT仮説に基づいて論ぜよ。

レポート課題B

基準値
100ベクレル/kg

厚生労働省の示した基準値は納得できるか？

納得できる、あるいは納得できない理由について、根拠となる規範、もしくは事実に基づき論理的にのべよ。

※この課題を選ぶ場合、「食品中の放射性物質の対策と現状について」の原文に目を通すことを推奨します。

レポート課題の提出について

課題AまたはBについて、出席用紙に記述して提出して下さい。

電子ファイルでの提出を希望する場合、出席用紙にその旨を記入し、件名を「FG6レポート」とした上で4/15までに atsushih@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp まで送って下さい。

レポートはメール本文に記述しても良いですし、WordかPDFでもかまいません。