

- α 線、 β 線、 γ 線の正体は？
- 放射能、放射線、放射性物質？
- $^{210}_{82}\text{Pb}$ 鉛の核種

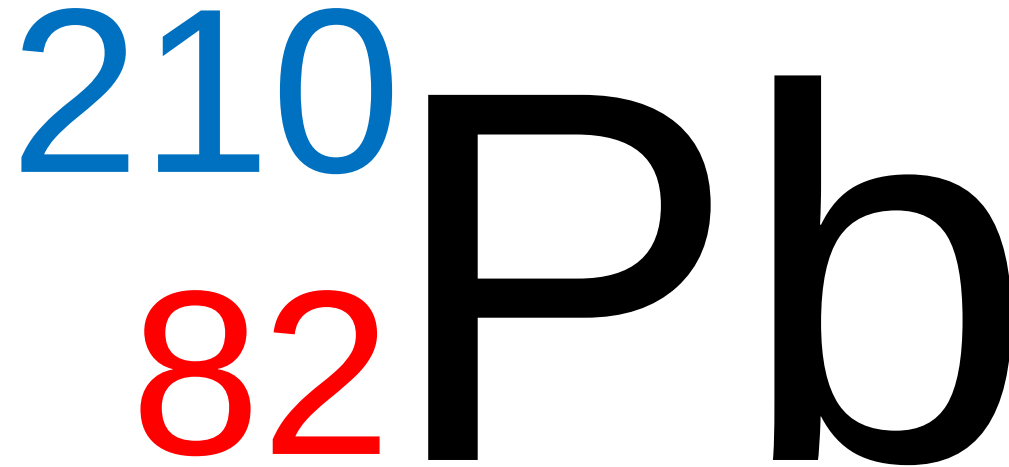
原子番号は？

陽子の数は？

中性子の数は？

同位体とは？

質量数=陽子数+中性子数

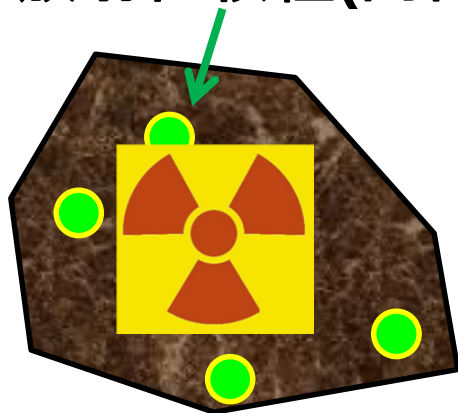


原子番号=陽子数

同位体：原子番号(陽子数)が同じで
質量数(中性子数)が異なる核種

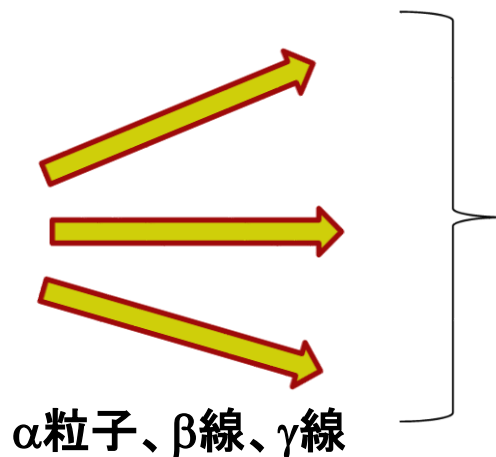
放射能と放射線

放射性核種(同位体)



ウラン鉱石
プルトニウム燃料など

放射性物質



α 粒子、 β 線、 γ 線

放射線

1秒間に放出さ
れる放射線の数
Bq (ベクレル)

370 Bqのラジウムは、
毎秒370 個の原子核が
崩壊して放射線を出す

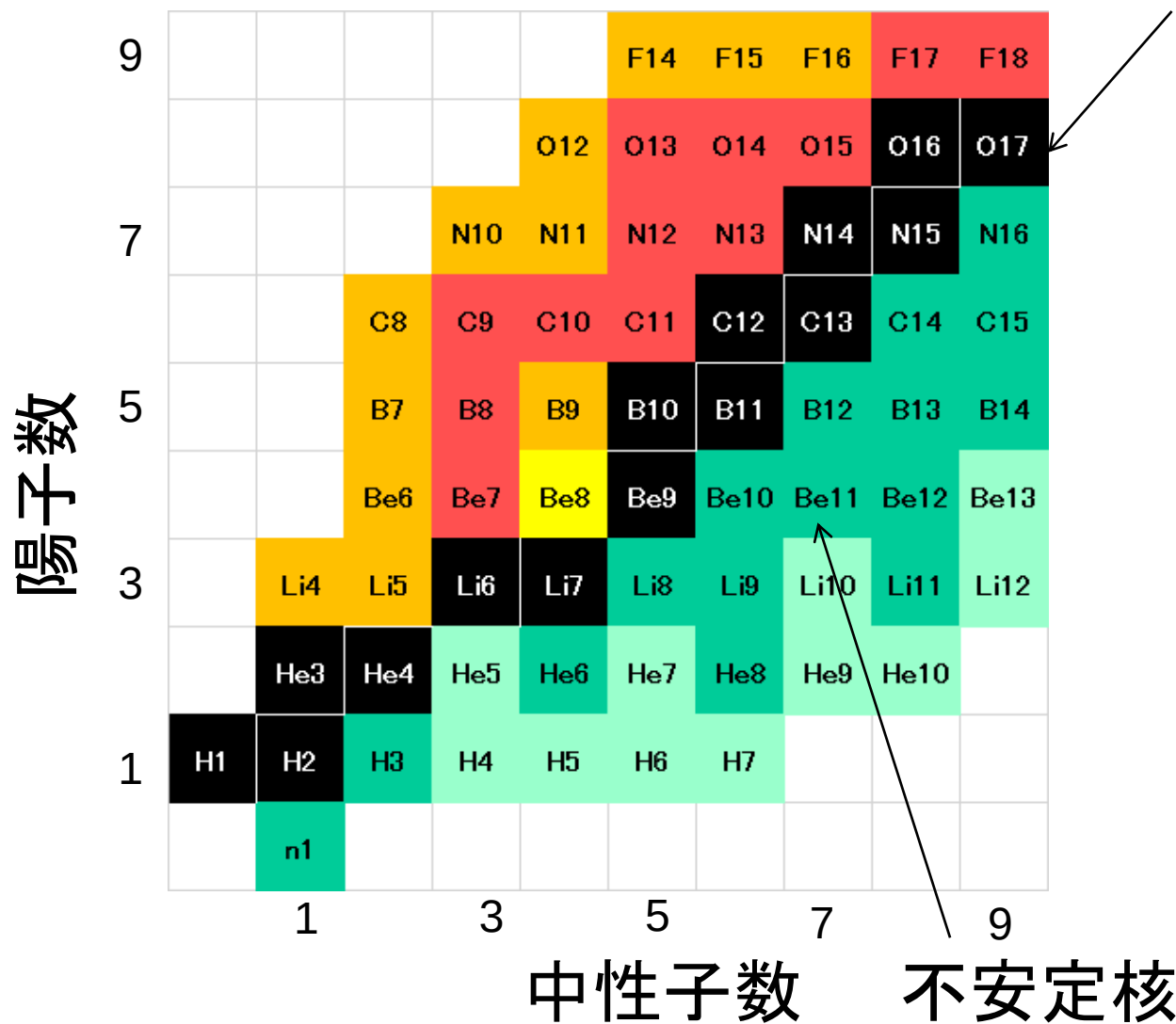
放射能

元素周期表

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57~71 La-Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89~103 Ac-Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn						

核図表

安定核(天然に存在)



search

立体核図表 理研

または <http://www.rarf.riken.go.jp/enjoy/kakuzu/>

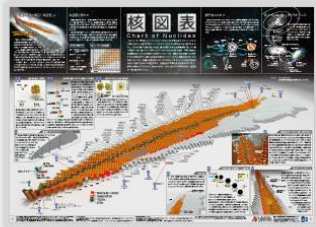
核図表

Chart of Nuclides

私たちは
宇宙で生まれた。
宇宙で原子核が
生まれた。
私たちは
原子核でできている。



ここでダウンロードできます



↓ 核図表をダウンロード

B2版



ご覧になるにはAdobe Readerが必要です。

今から 137 億年前、ビッグバンによって私たちの宇宙は生まれました。

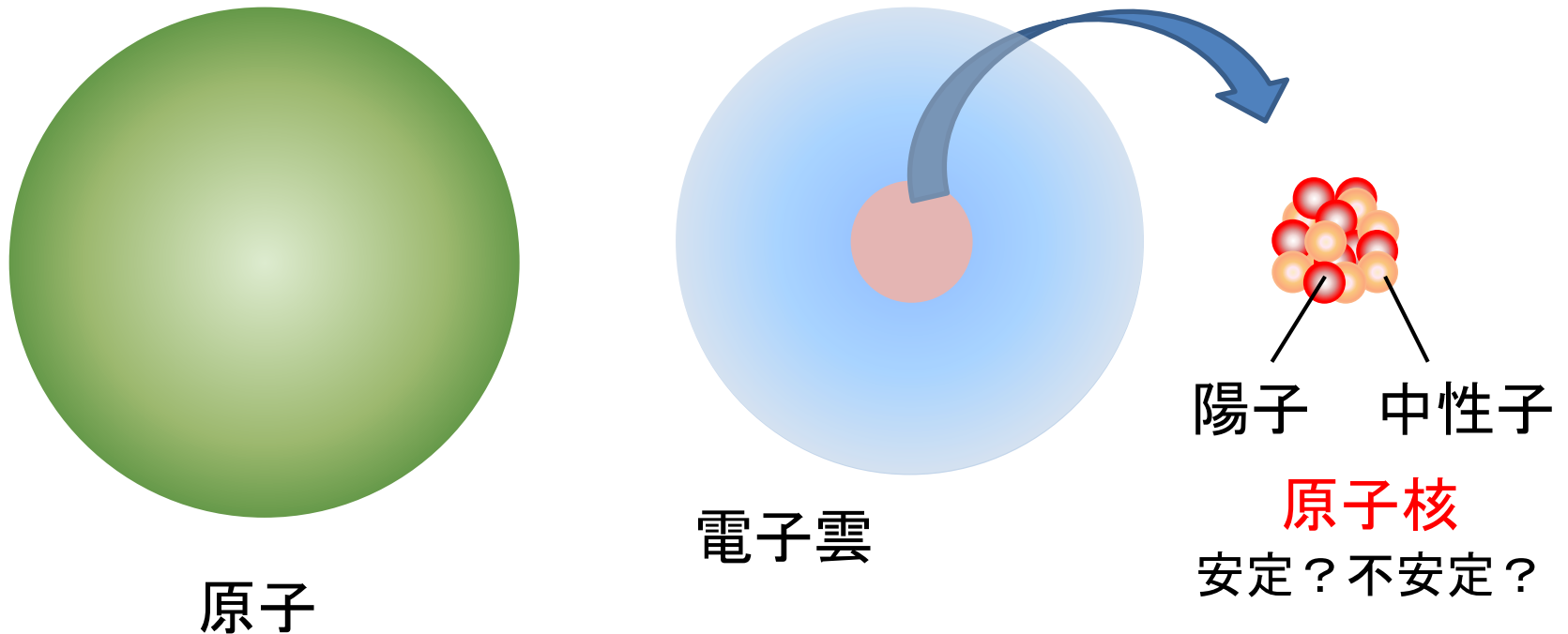
しかし、その時に存在した元素は水素とヘリウムだけでした。それから 3 億年ほど経て星が生まれると、その中で重い元素が創られ始め、星の終焉に起きる超新星爆発では、より重い元素が一気に創られたと考えられています。

私たちの体を含め、宇宙を構成する物質は全てこれらの元素から出来ています。一方、元素の本体は陽子と中性子からなる原子核です。陽子と中性子の微妙なバランスからなる原子核の成り立ちを調べることは、物質の起源を調べることにほかなりません。

ここに示す核図表は全ての原子核を示した地図であり、元素合成と宇宙の歴史も刻まれています。原子核は果たしてどのように生まれたのか、またどのようなものなのか、核図表と一緒に見てみましょう。

この核図表(B2版)は今後イベントなどで随時配布していく予定です。

放射壊変 (α 、 β 、核分裂)



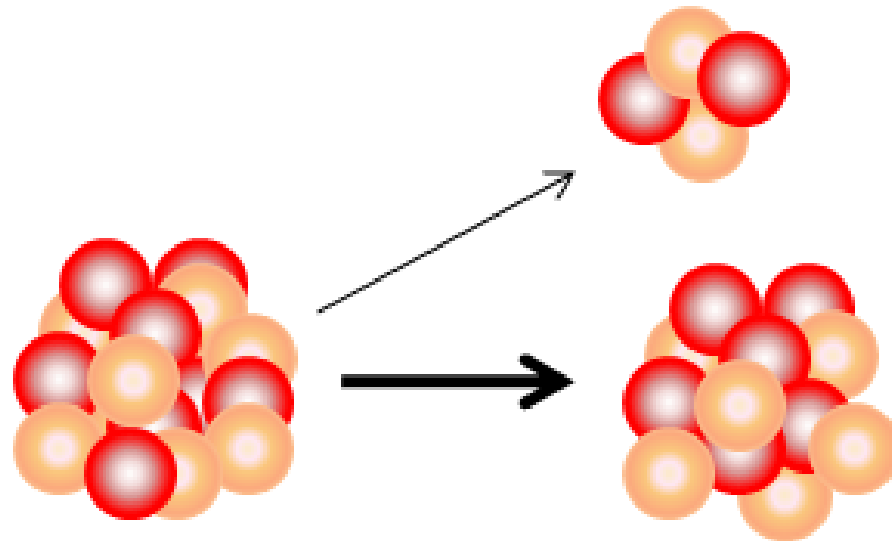
原子核が壊れない(壊れにくい): 安定核種、安定同位体

Cs-133

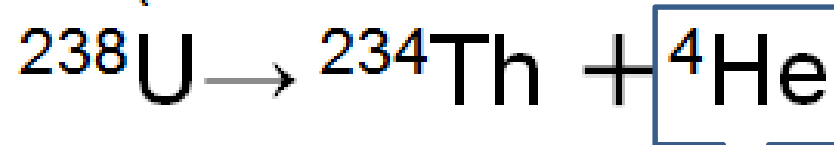
原子核が壊れる(壊れやすい): 放射性核種、放射性同位体

Cs-134, Cs-137

アルファ(α)壊変

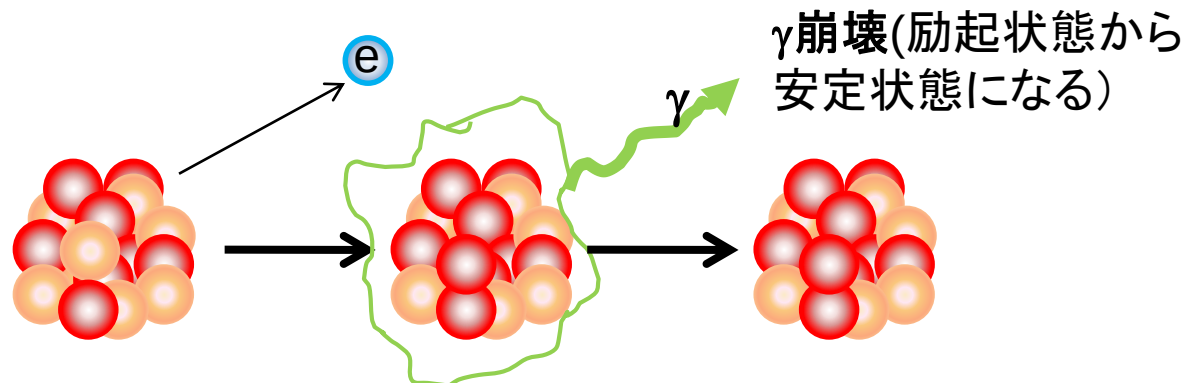


α 崩壊(原子核からHe原子核が放出)



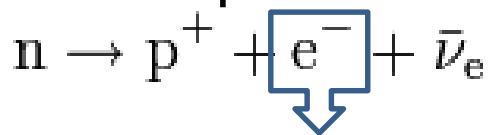
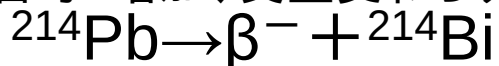
α 粒子の正体

ベータ(β)壊変

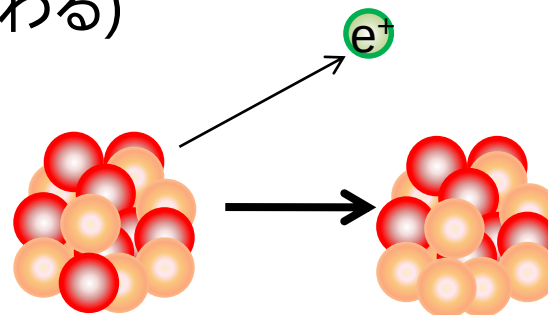


β⁻崩壊(中性子が陽子と電子に変わる)

⇒原子番号1増加、質量変わらず

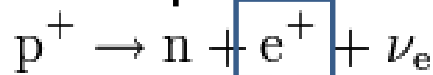
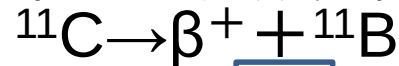


β線の正体



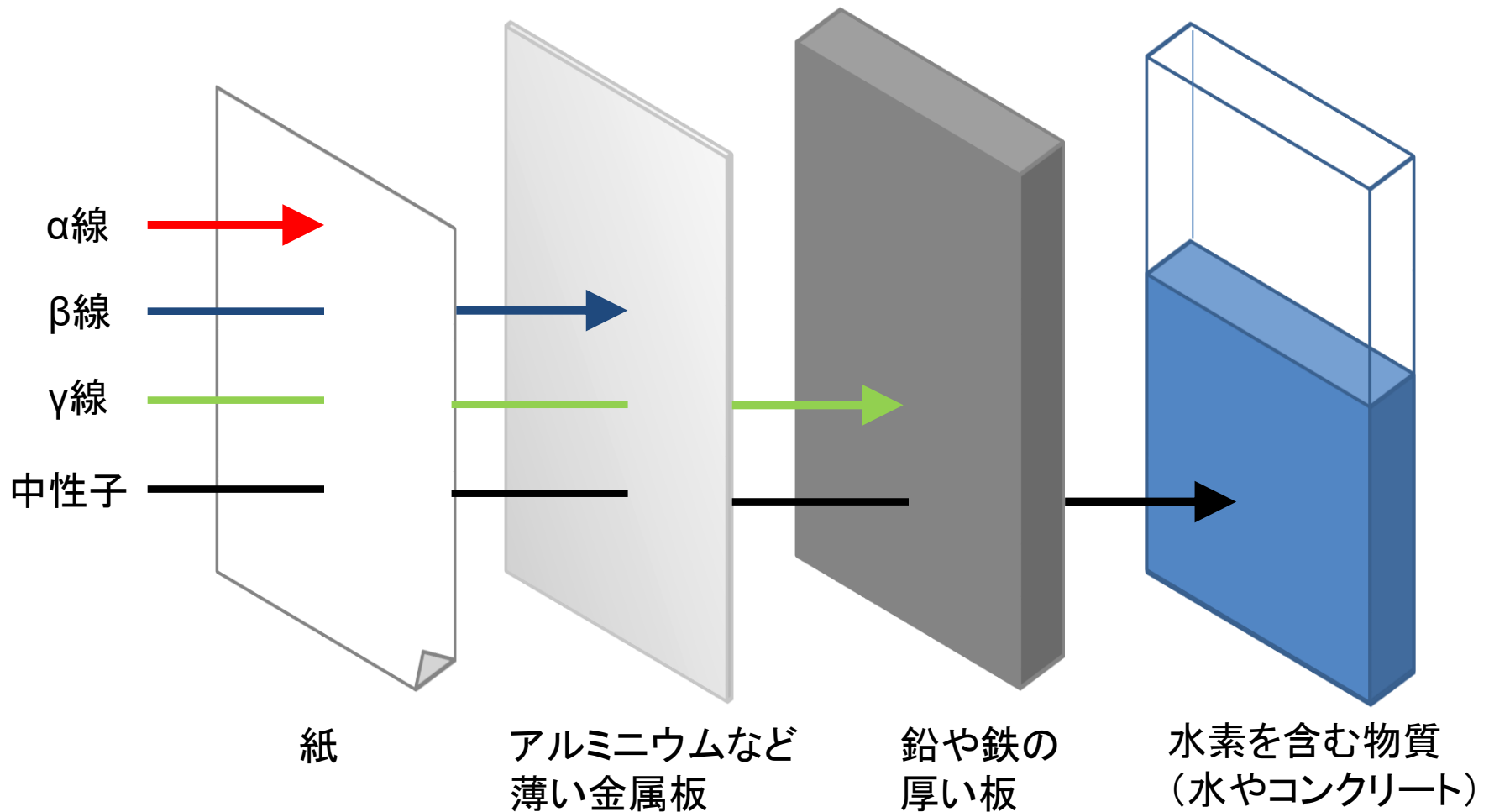
β⁺崩壊(陽子が中性子と陽電子に変わる)

⇒原子番号1減少、質量変わらず

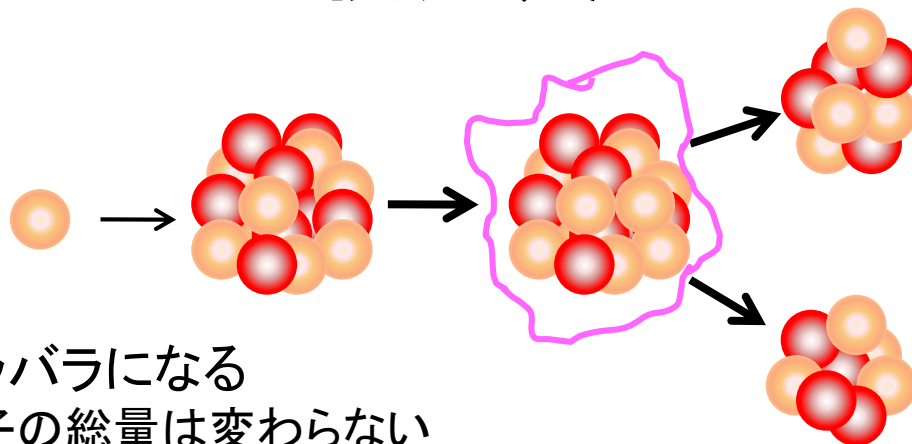


β線の正体

放射線の性質 (透過作用)



核分裂



原子核がバラバラになる
⇒陽子、中性子の総量は変わらない

1.008665



質量:

235.0439

97.9054

135.9072

(原子質量)

(反応前)

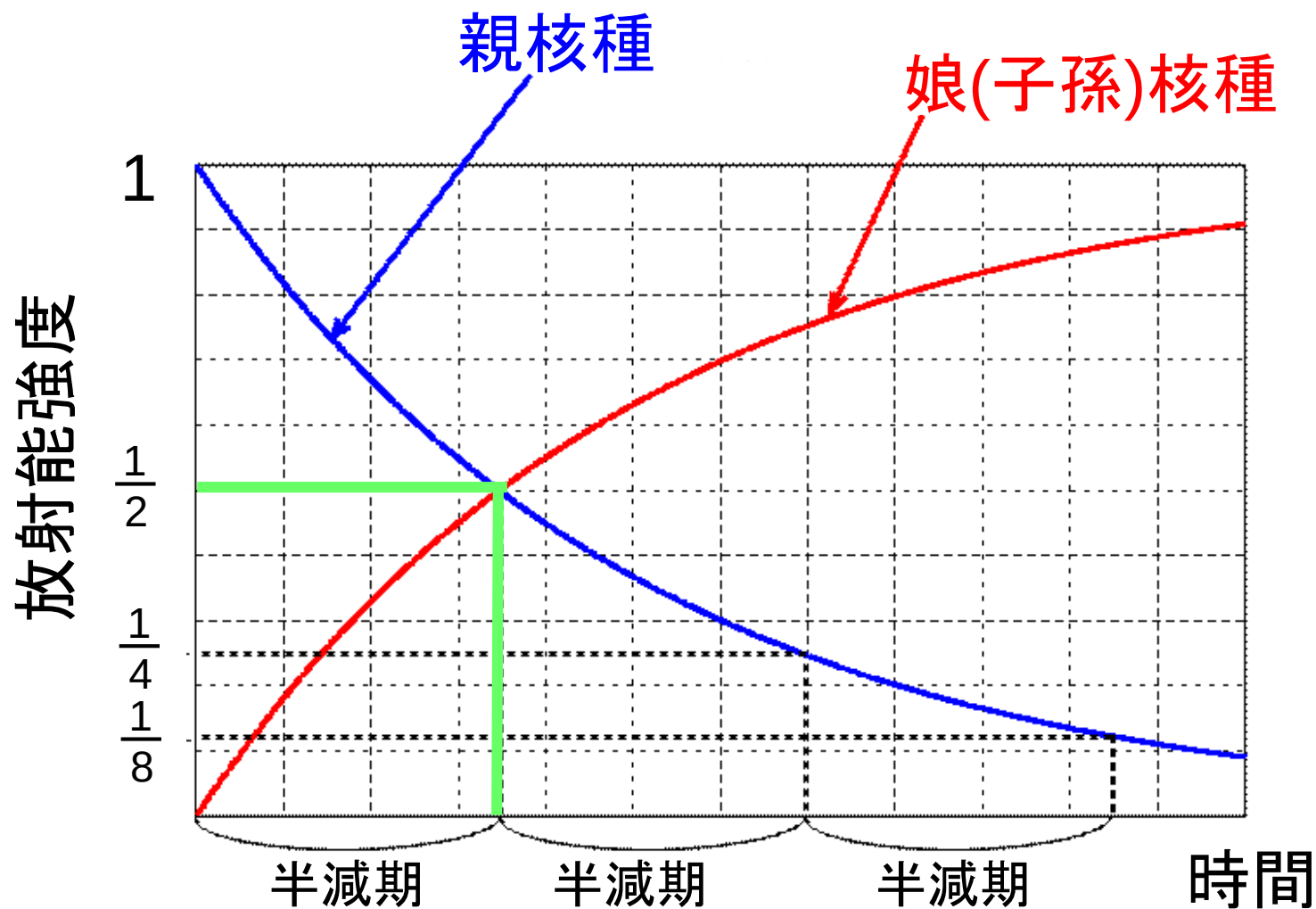
(反応後)

$$Q = 235.0439 + 1.00867 - (97.9054 + 135.9072 + 2 \times 1.00867) \\ = 0.2246 \text{ u} = 209.25 \text{ MeV}$$



質量の差がエネルギーとして発生する

半減期



放射壊変にまつわる式

$$A = \lambda N \quad \lambda = \ln 2 / T_{1/2}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad A = A_0 e^{-\lambda t}$$

A: 放射能 (Bq)

N: 核種の個数

N_0 : 核種の個数 ($t=0$)

$T_{1/2}$: 半減期 (秒)

λ : 壊変定数

1個の原子核が Δt 時間に壊変する確率を p とする

$$p = \lambda \Delta t$$

λ :定数(別に λ じゃなくてもOK)

1個の原子核が Δt 時間に生き残る確率を q とすると $p+q=1$ より

$$q(1) = 1 - p = 1 - \lambda \Delta t$$

次の Δt 時間後に生き残る確率

$$q(2) = (1 - \lambda \Delta t)^2$$

▪

▪

▪

$n\Delta t$ 時間後に生き残る確率

$$q(n) = (1 - \lambda \Delta t)^n$$

$$n\Delta t = t \text{ とすると } \Delta t = \frac{t}{n}$$

$$q(n) = \left(1 - \lambda \frac{t}{n}\right)^n$$

$\Delta t \ll 1, n \rightarrow \infty$ の時

$$q(n) = e^{-\lambda t}$$

壊変する確率 p は

$$p = 1 - q = (1 - e^{-\lambda t})$$

$t=0$ の時、 N_0 個の原子があり、それが t 時間に
壊変する個数(期待値) M は

$$M = N_0 P = N_0 (1 - e^{-\lambda t})$$

生き残る個数 N は

$$N = N_0 - M = N_0 - N_0 (1 - e^{-\lambda t})$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

微小時間あたりの壊変率は t で微分する

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} = -\lambda N$$

放射能(時間の単位 s)は

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

このとき λ は壊変定数という

半減期 $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2}$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \text{ より } \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda T_{1/2}} = \frac{1}{2}$$

両辺自然対数をとる、まとめると

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

放射壊変

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

N : 現在の原子核の個数

N_0 : 初期の原子核の個数

t : 経過時間 ($N \rightarrow N_0$ になるまでの)

λ : 壊変定数 $\ln(2)/T_{1/2}$

両辺に λ をかけると

$$N\lambda = N_0\lambda e^{-\lambda t}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

A (Bq): 現在の放射能
(1秒間に原子核が壊変し出てくる放射線の数)

A_0 (Bq): 初期の放射能

練習問題

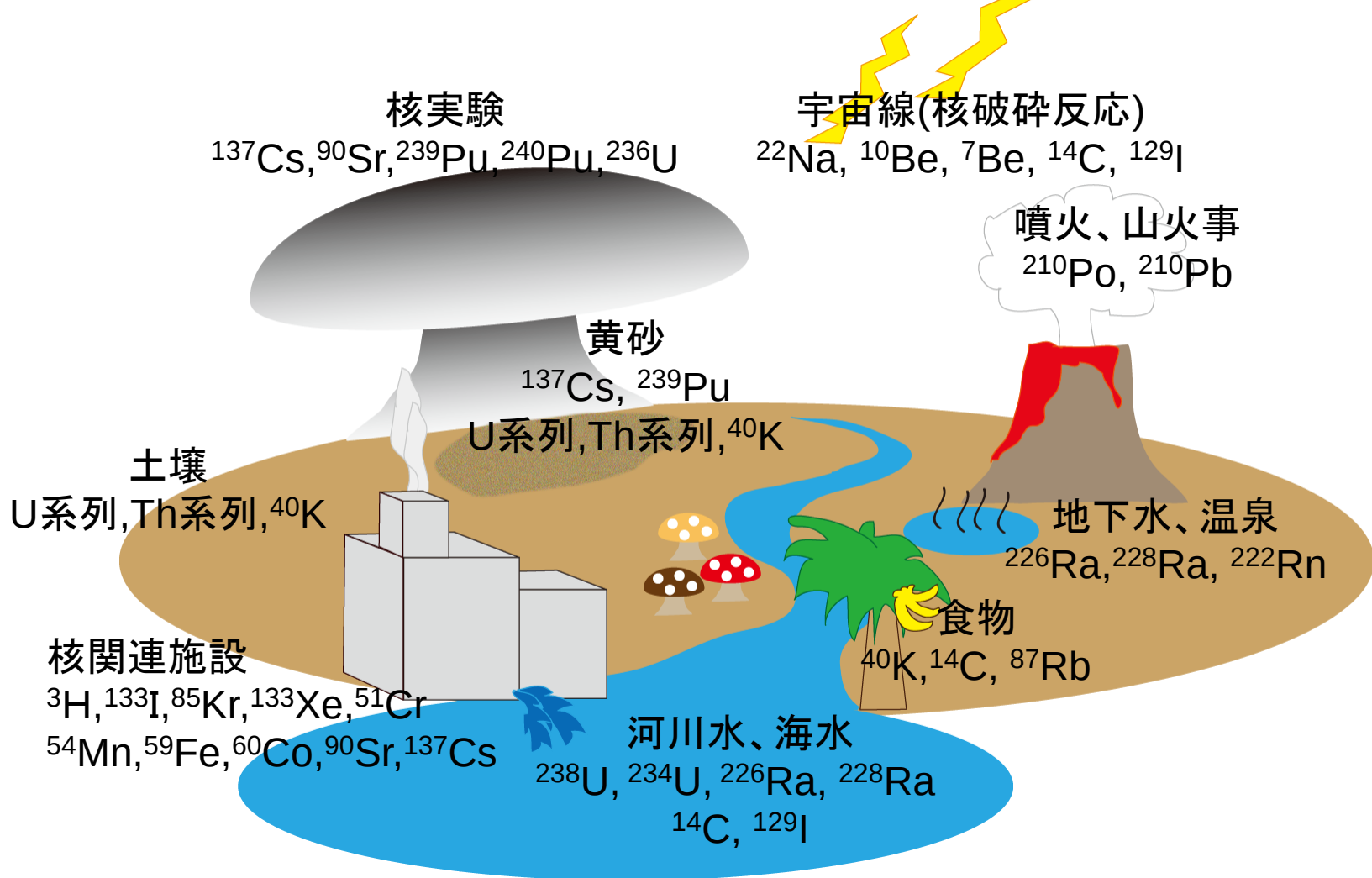
1. つくば市の土壌中 ^{238}U 濃度は1 ppmである。
これは何Bq/kgに値するか。

^{238}U の半減期は44.68億年とする。

2. つくば市の土壌中 ^{137}Cs は300 Bq/kgである。
これは何ppmに値するか。

^{137}Cs の半減期は30.2年とする。

環境中の放射性核種



大気、地殻、海、食物 どこにでも何にでも
放射性核種は含まれている！

地球に存在する放射性元素

- 地球の元素の存在比率

- 1位 酸素 46%
- 2位 珪素 28%

– 7位 カリウム 2.1%

土中に含まれる。
必須の栄養素
0.0117%が ^{40}K
(1460 keVの γ 線を出す)

- 39位 トリウム 9.6×10^{-6}
- 51位 ウラン 2.7×10^{-6}

← 放射性物質

- 69位 ヘリウム 8×10^{-9}
- 71位 金 4×10^{-9}

環境中の放射性核種

- 一次放射性核種
- 二次放射性核種
- 誘導放射性核種
- 消滅放射性核種
- 人工放射性核種

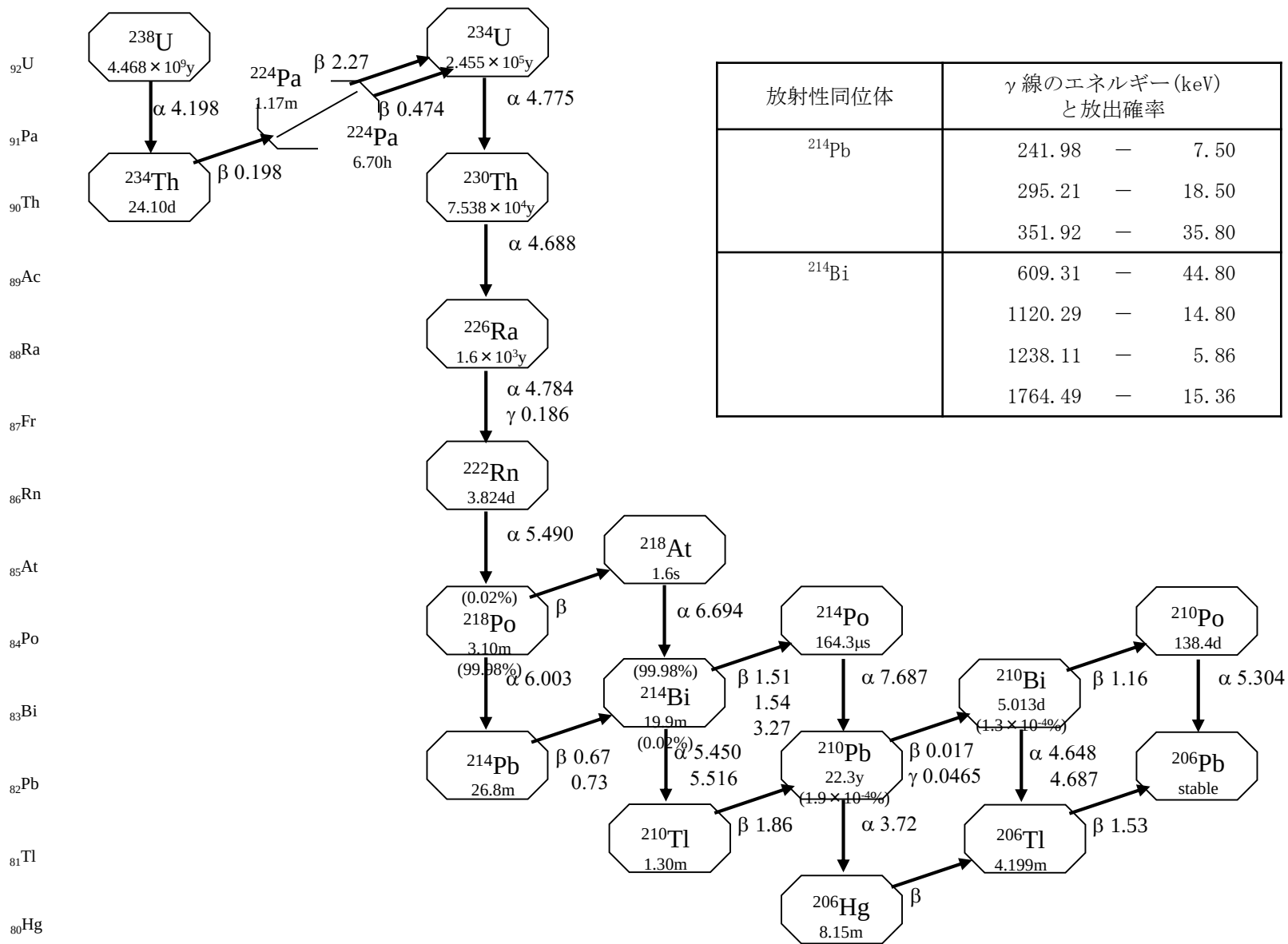
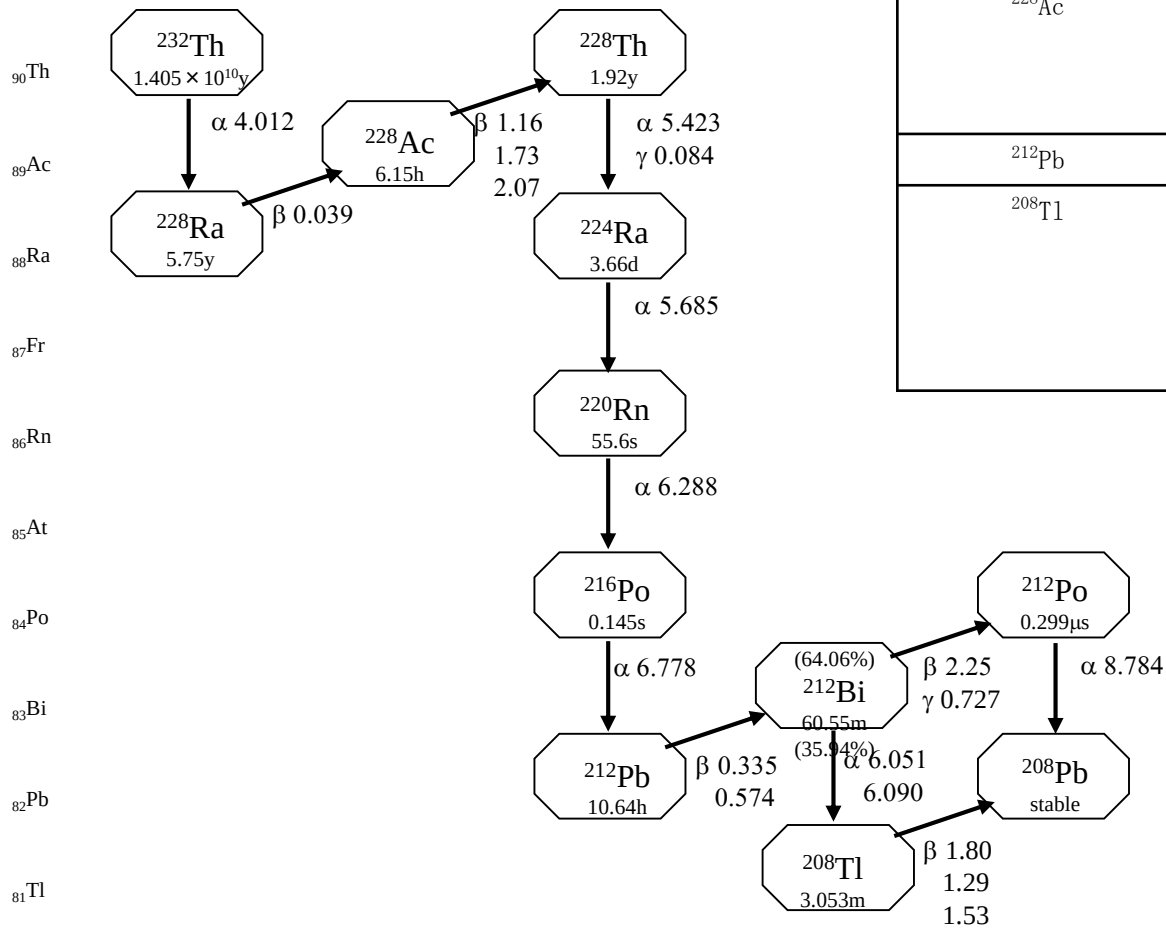


図 ウラン系列



放射性同位体	γ 線のエネルギー (keV) と放出確率		
^{228}Ac	338.32	—	11.30
	911.21	—	26.60
	968.97	—	16.20
^{212}Pb	238.63	—	43.30
^{208}Tl	510.77	—	22.60
	583.19	—	84.50
	860.56	—	12.42
	2614.53	—	99.16

図 トリウム系列

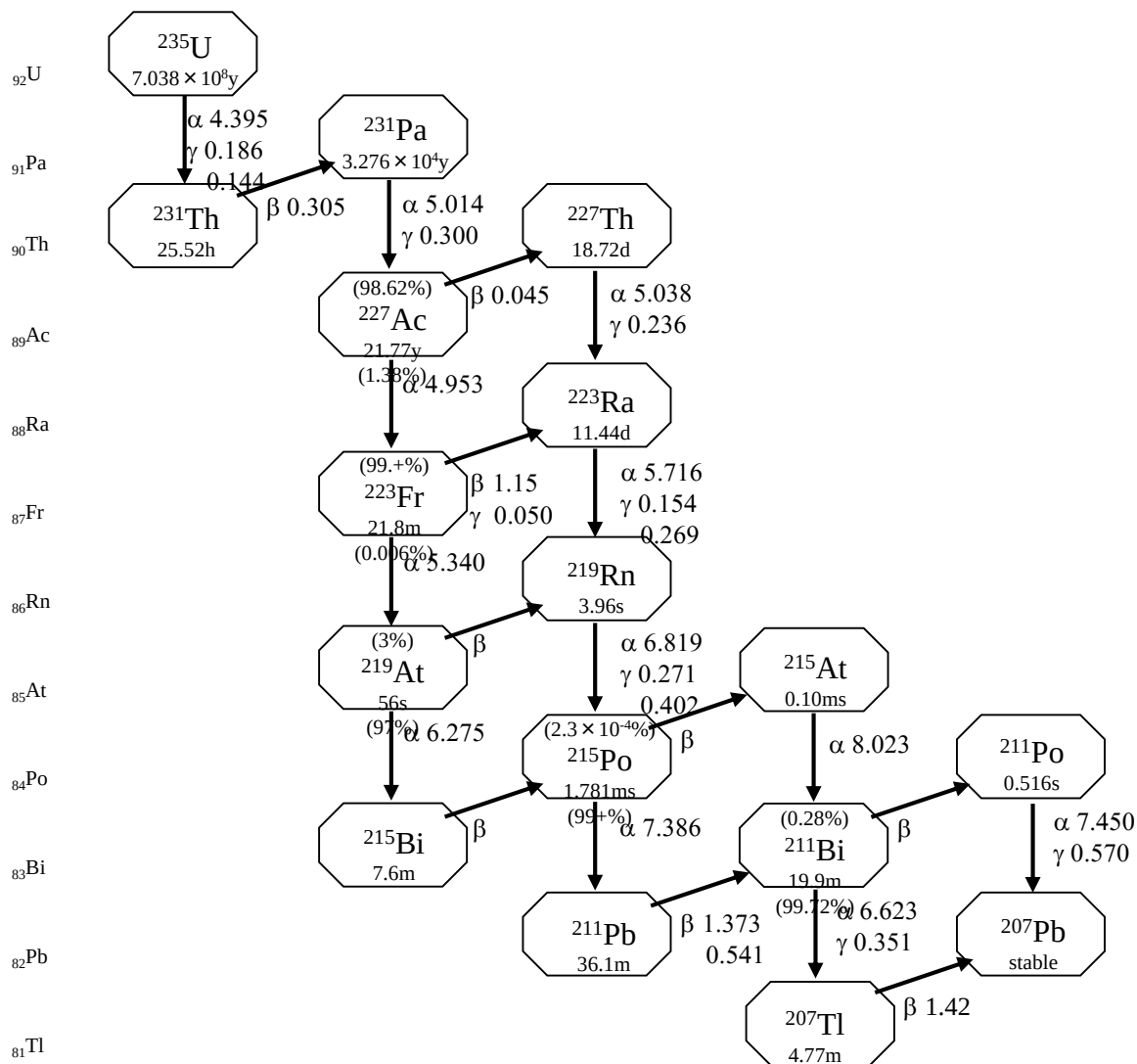
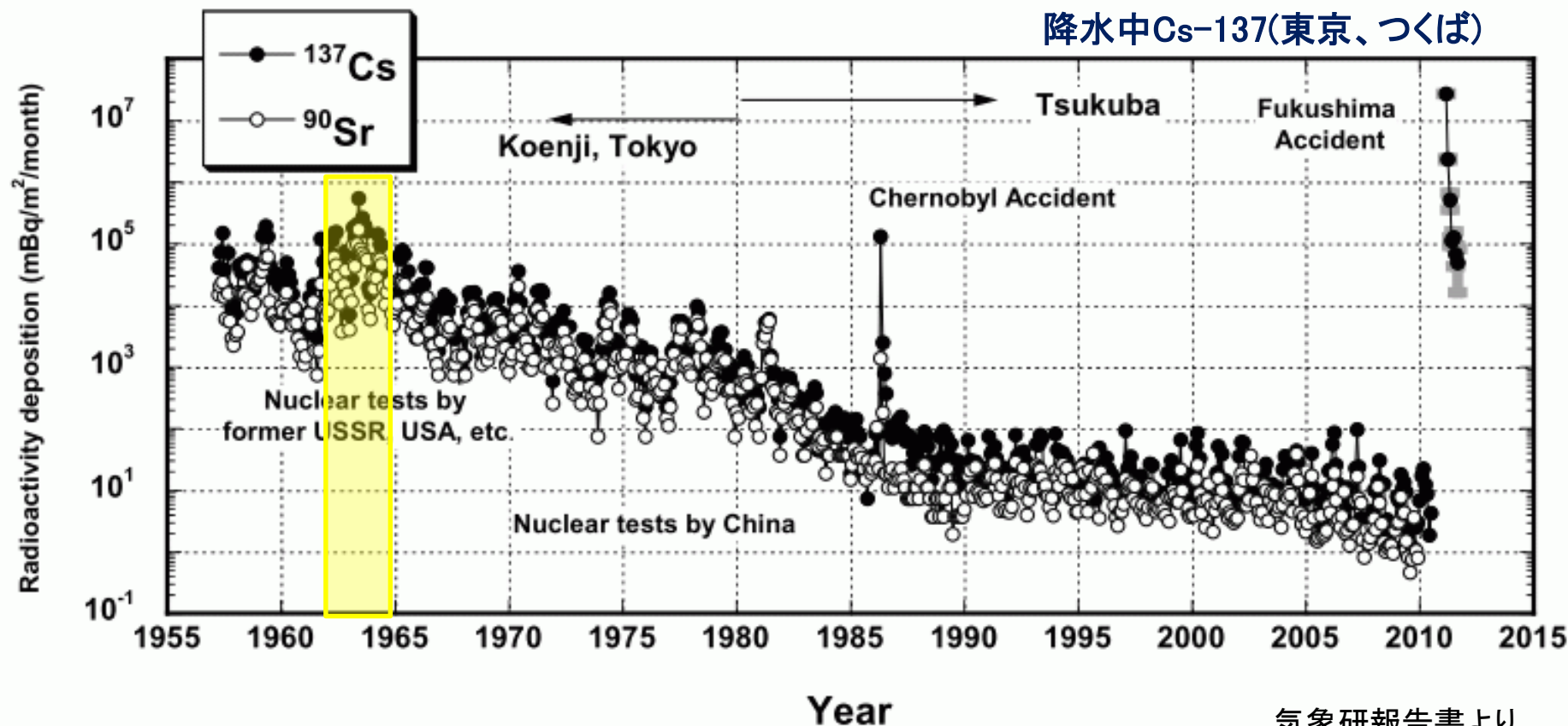


図 アクチニウム系列

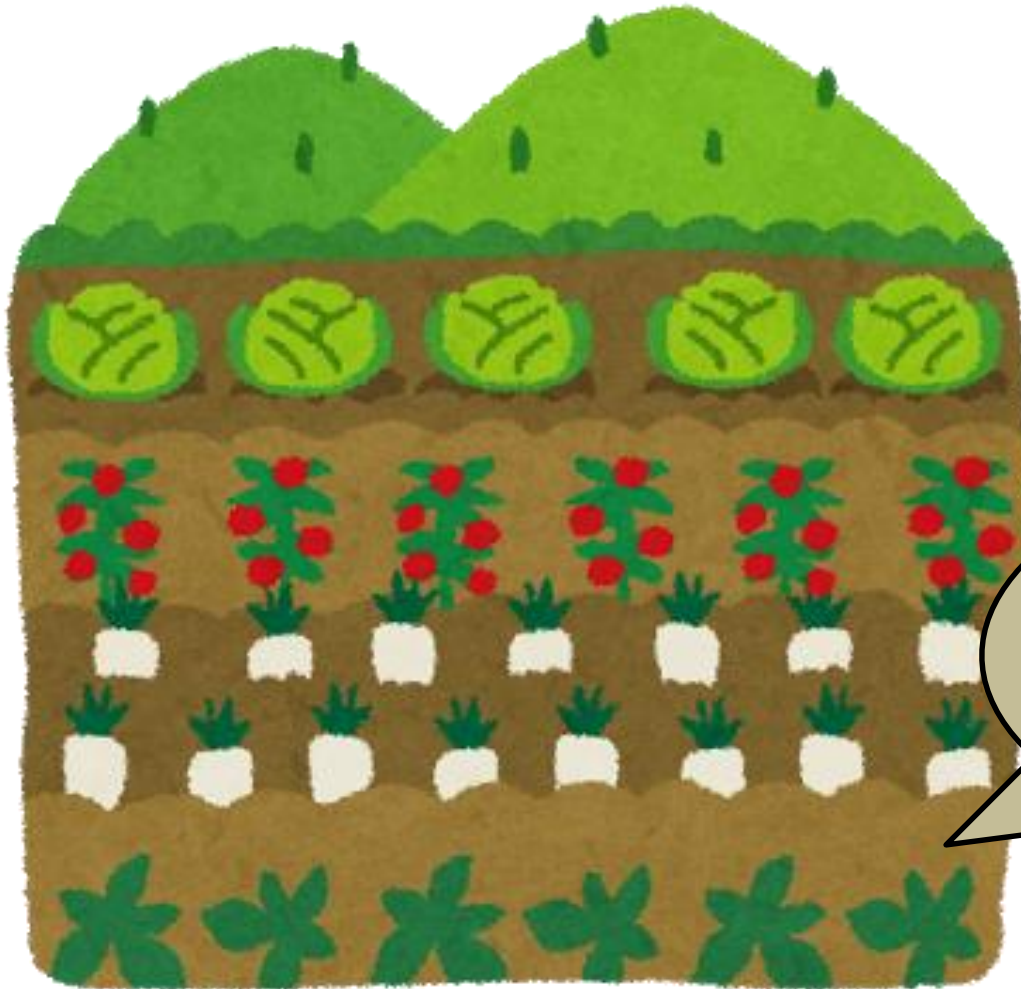
核実験とグローバルフォールアウト

グローバルフォールアウト: アメリカ、ソ連、中国などによる大気圏内核実験の結果、世界中にばらまかれた放射性核種

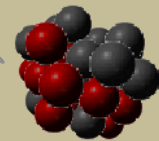


身の回りの放射線 ～カリウム～

カリウムの出す放射線；大地から



ベータ線(電子)

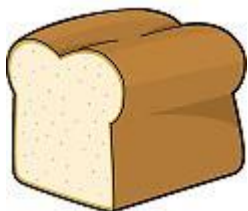


カリウム40

土中に数100ベクレル/kg

食物中の自然放射性物質

食物中のカリウム40の放射能量
(ベクレル/kg)



食パン 30



米 30



ほうれん草 200



干しいたけ 700



牛肉 100



魚 100



ポテトチップ 400



生わかめ 200



干しこんぶ 2,000



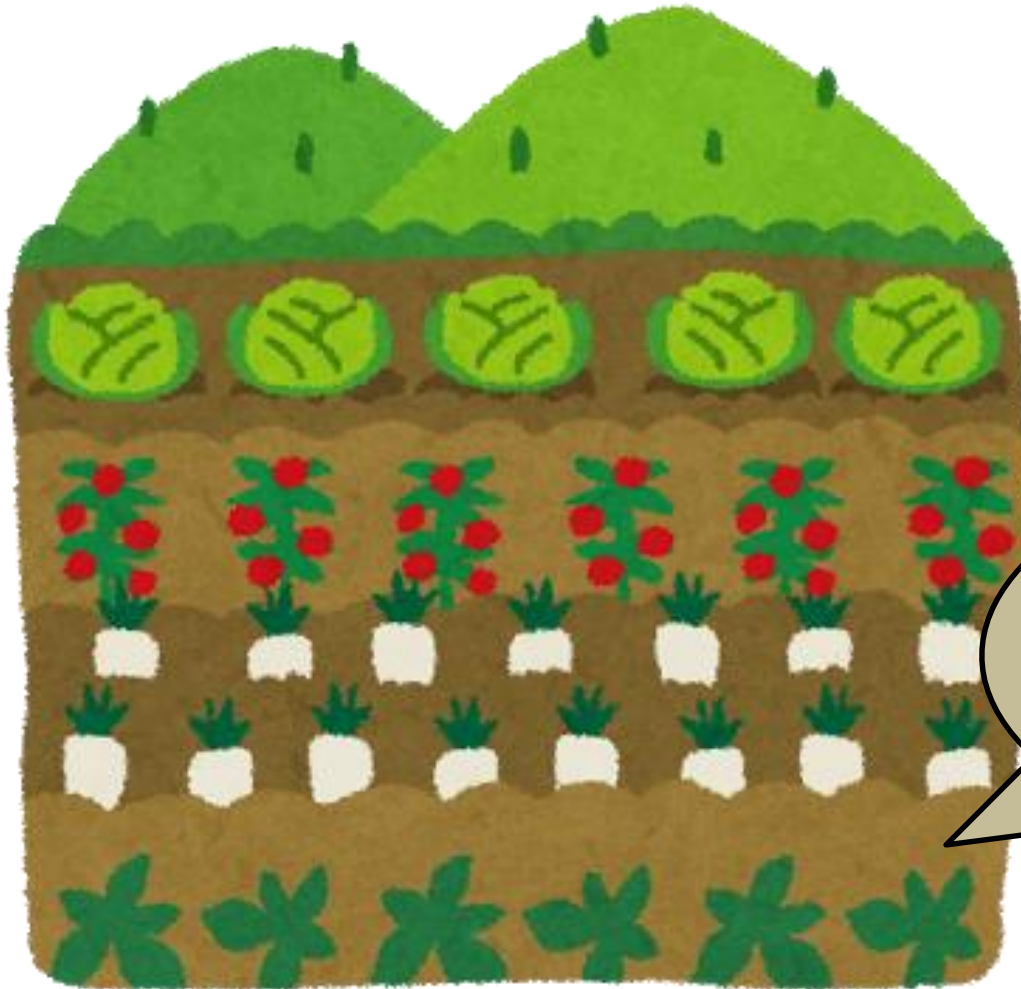
牛乳 50



ビール 10

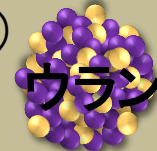
身の回りの放射線 ～ウラン・トリウム系列～

ウラン・トリウム→ラドンの出す放射線；大地から



ラドン温泉 𠬪

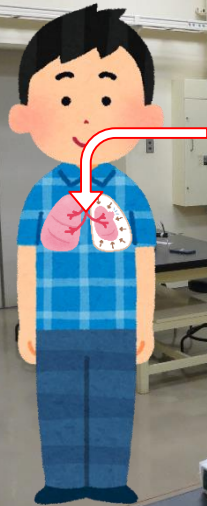
ウラン、トリウム、子孫核種
(ラドンなど)



ウラン：～20 Bq/kg
α線やベータ線をだしてラドンへ

コンクリートや石づくりの建物

コンクリートづくりの学校や大学



カリウム、
ウラン・トリウムの子孫核種
が含まれている
(γ 線、ラドンの α 線)

空気中のラドン
～10Bq/m³

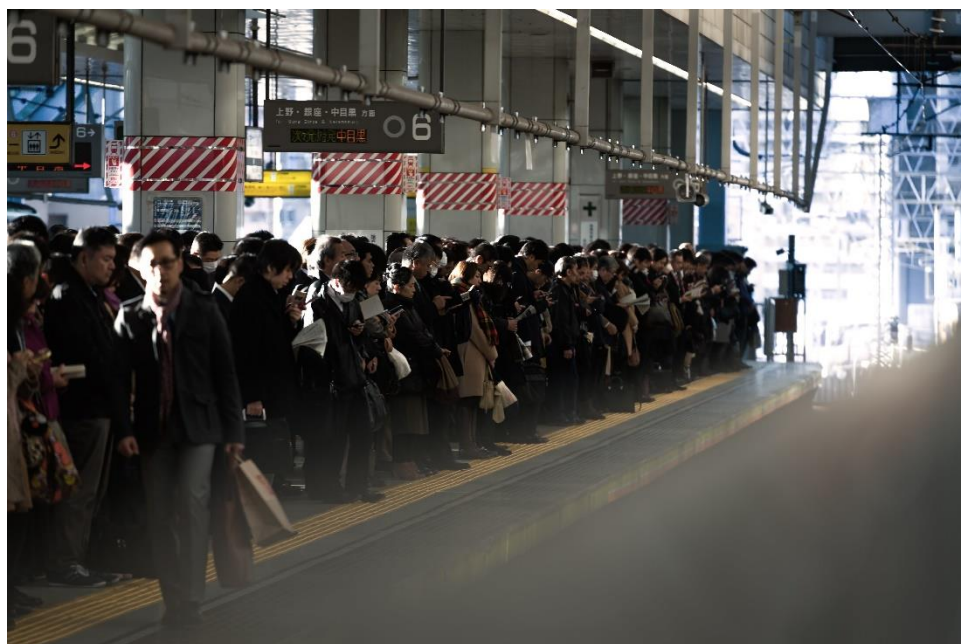
ヨーロッパの家



体内の放射性物質の量

体重65kgの
日本人男性の場合

カリウム40	4,000 Bq
炭素14	2,500 Bq
ルビジウム87	500 Bq
鉛210・ポロニウム210	20 Bq



極微量ではあるがお互い
被ばくさせあっている!?



宇宙からの放射線 ～宇宙線～



太陽



一次宇宙線

陽子・重い粒子

陽子・電子

エックス線

紫外線

パイ中間子

ニュートリノ

陽子

ミューオン

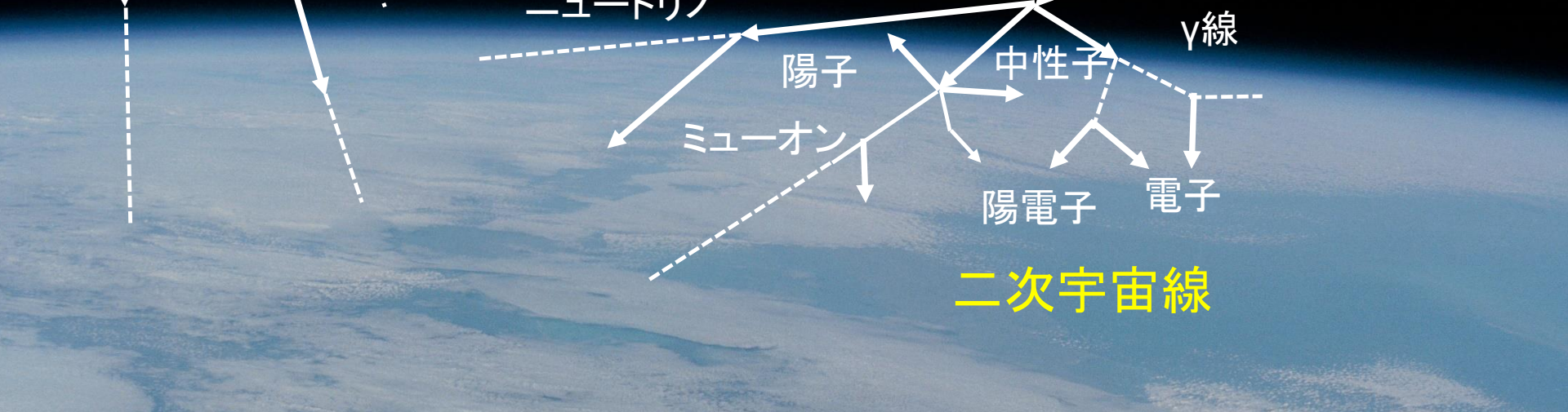
中性子

陽電子

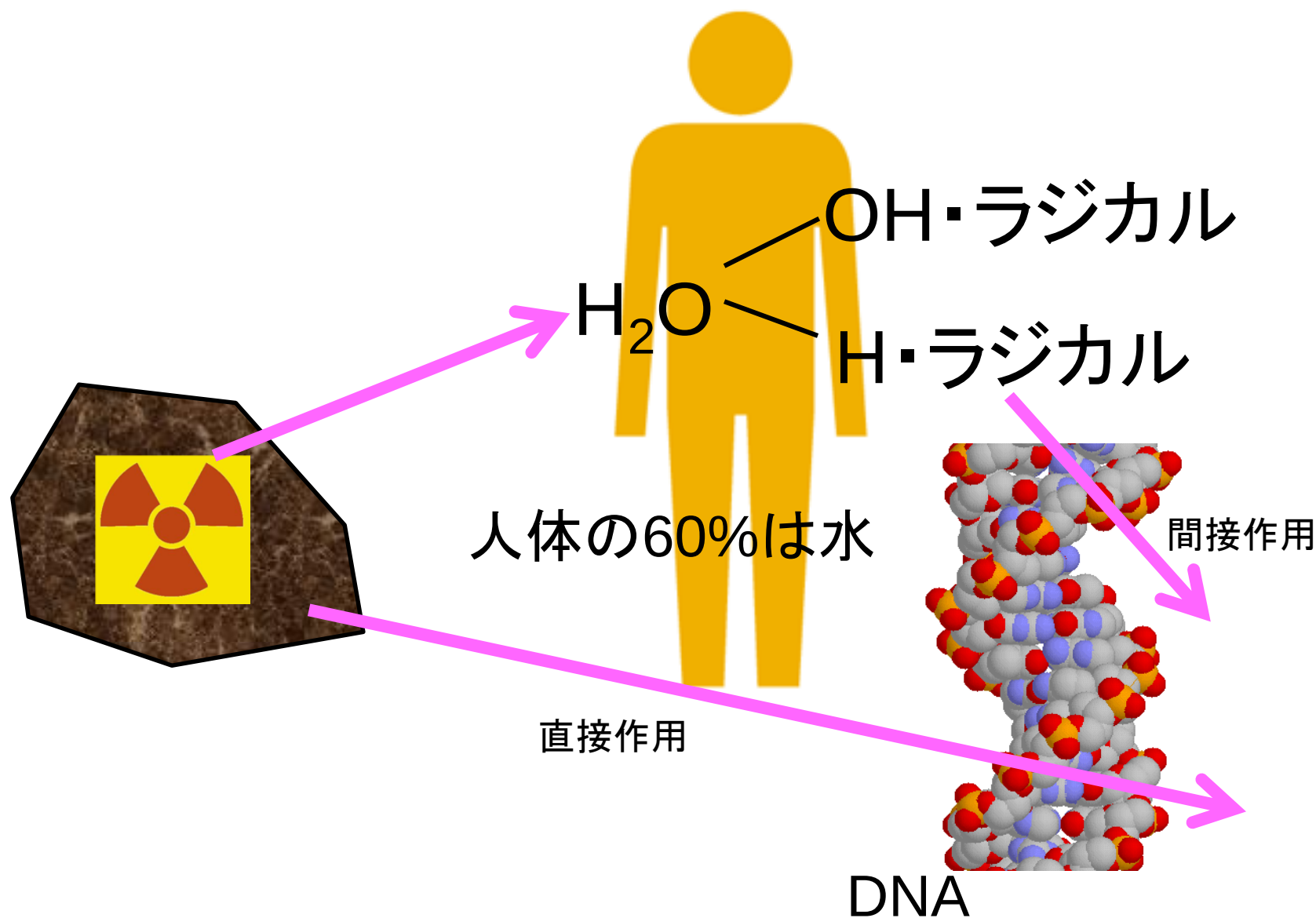
電子

γ線

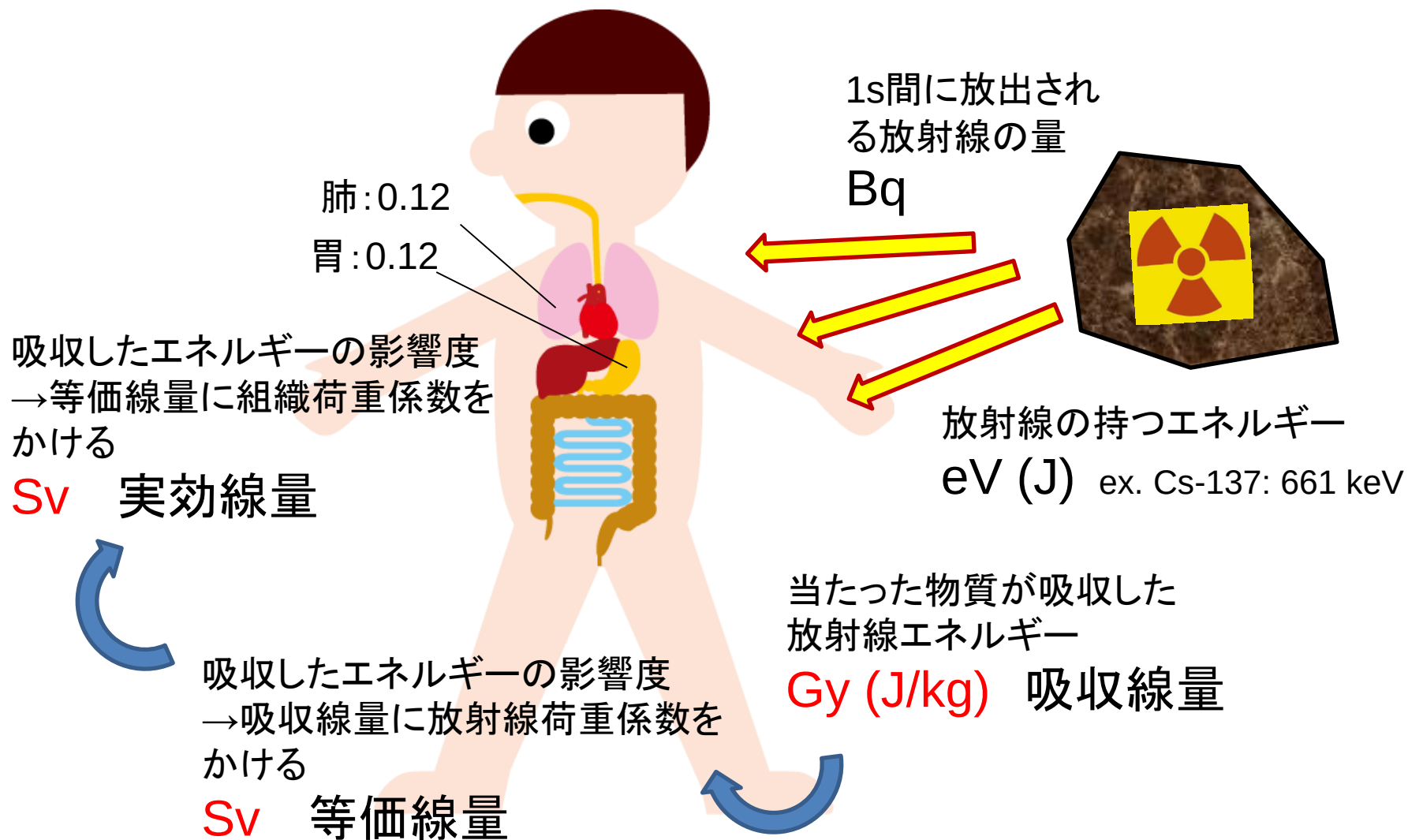
二次宇宙線



放射線による人体影響



放射線による人体影響



放射線による人体影響

緊急時の吸収線量(Gy)と
実行線量(Sv)の換算

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

吸収線量(実行線量)

^{137}Cs が1000 Bq/m²

0.0022 μSv/時

^{131}I が1000 Bq/m²

0.0014 μSv/時

**土壌中の ^{137}Cs が
50000 Bq/m²の場合
(福島市、郡山市の一部)**



一日8時間、野外で畑仕事を1年間
続けた場合の ^{137}Cs からの被ばく量

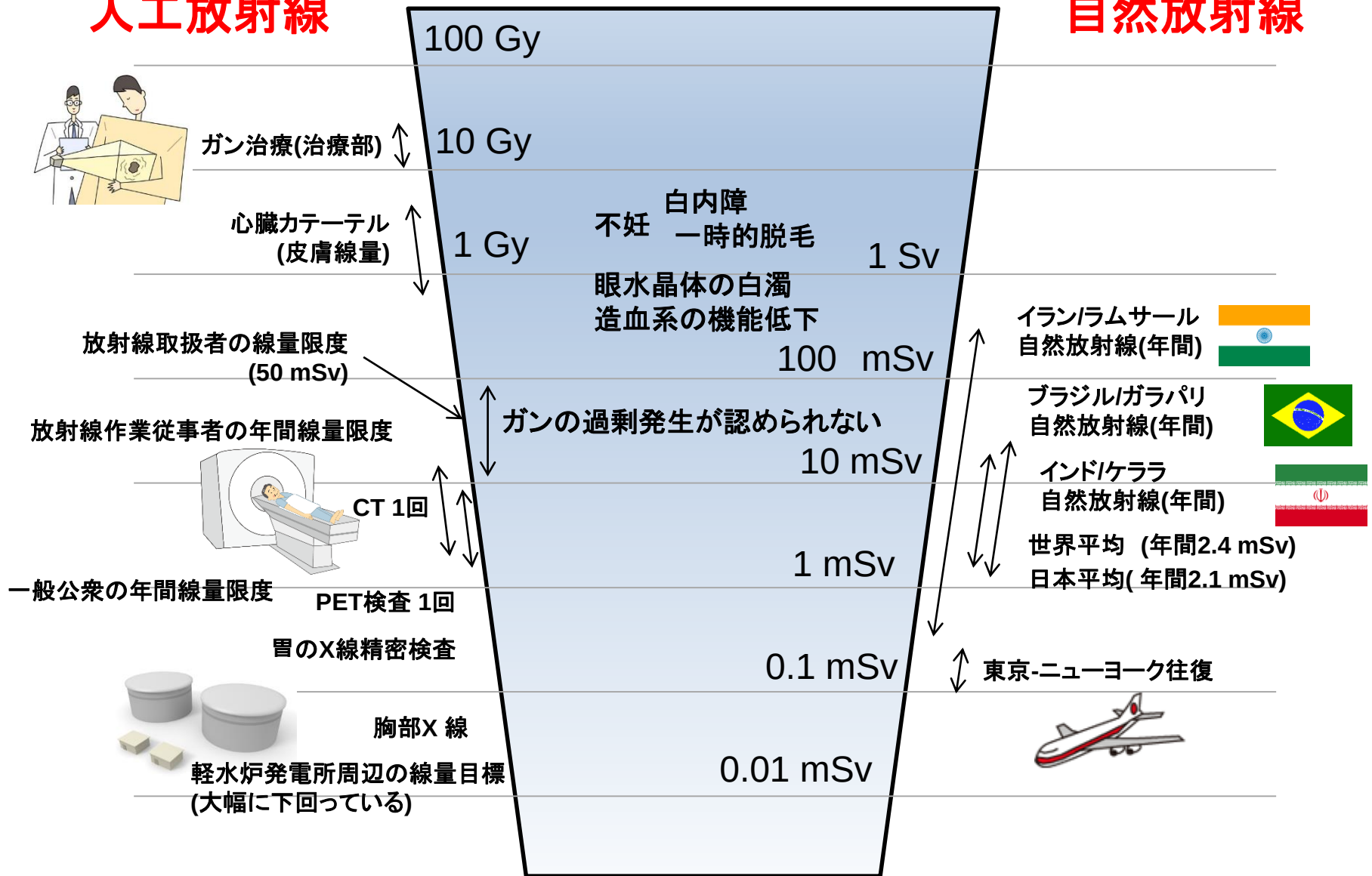
$$0.0022 \times 50 (\mu\text{Sv}) \times 8 (\text{時間}) \times 365 (\text{日}) =$$

0.32 mSv/年

放射線による人体影響

人工放射線

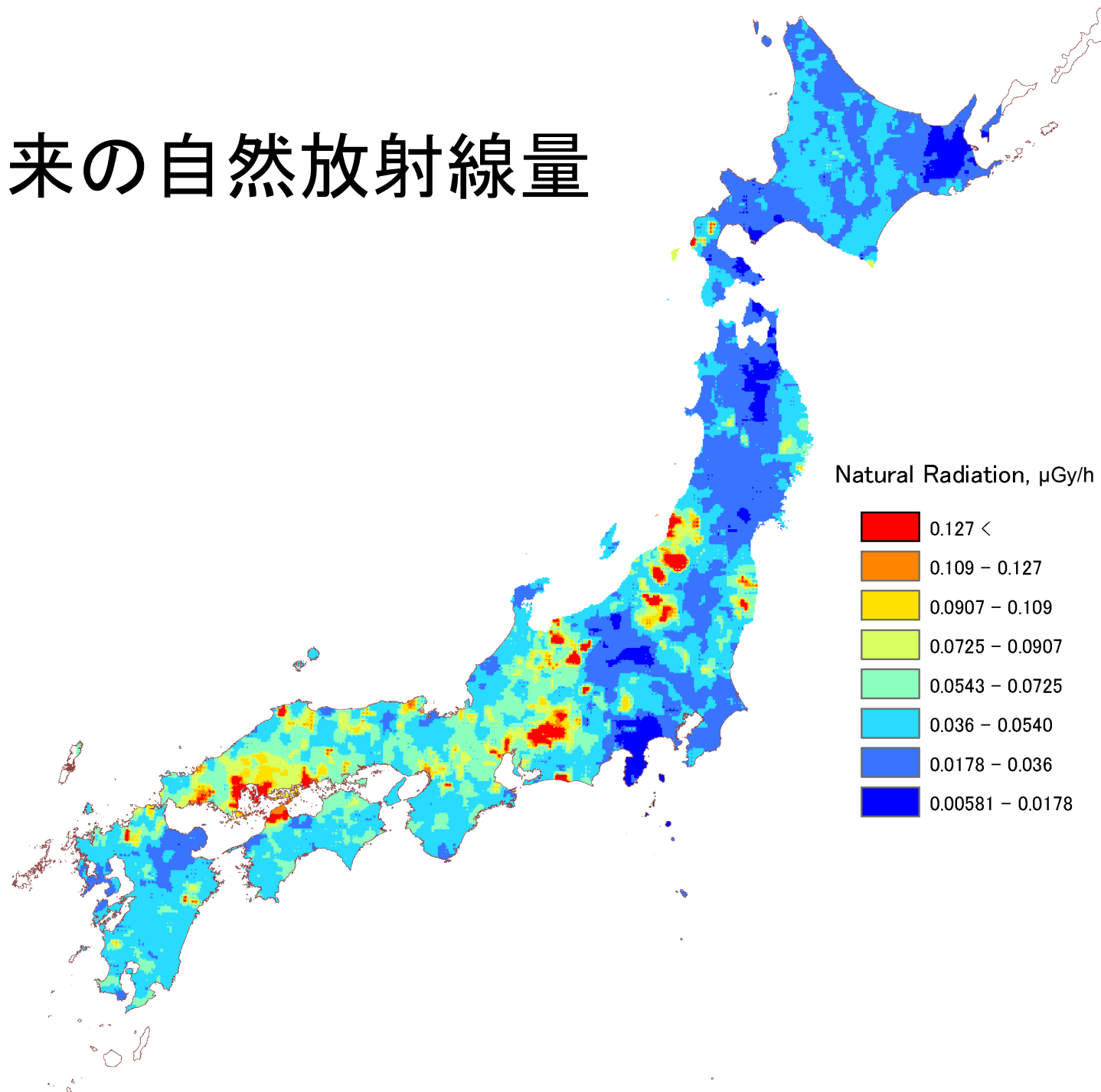
自然放射線



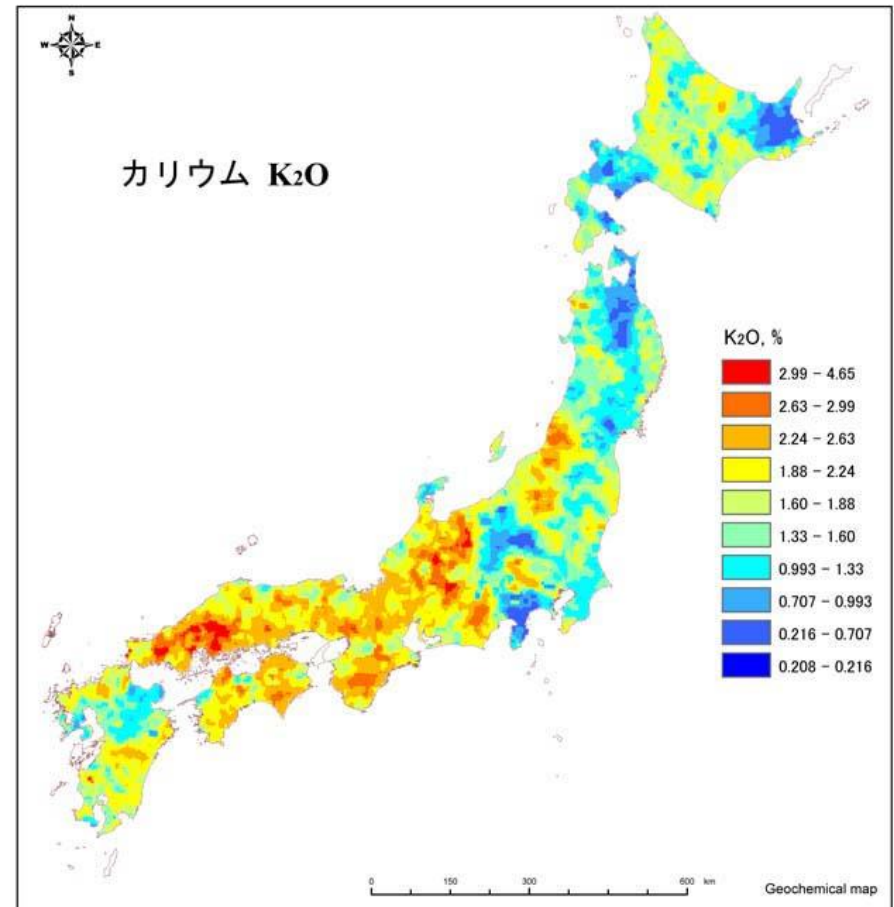
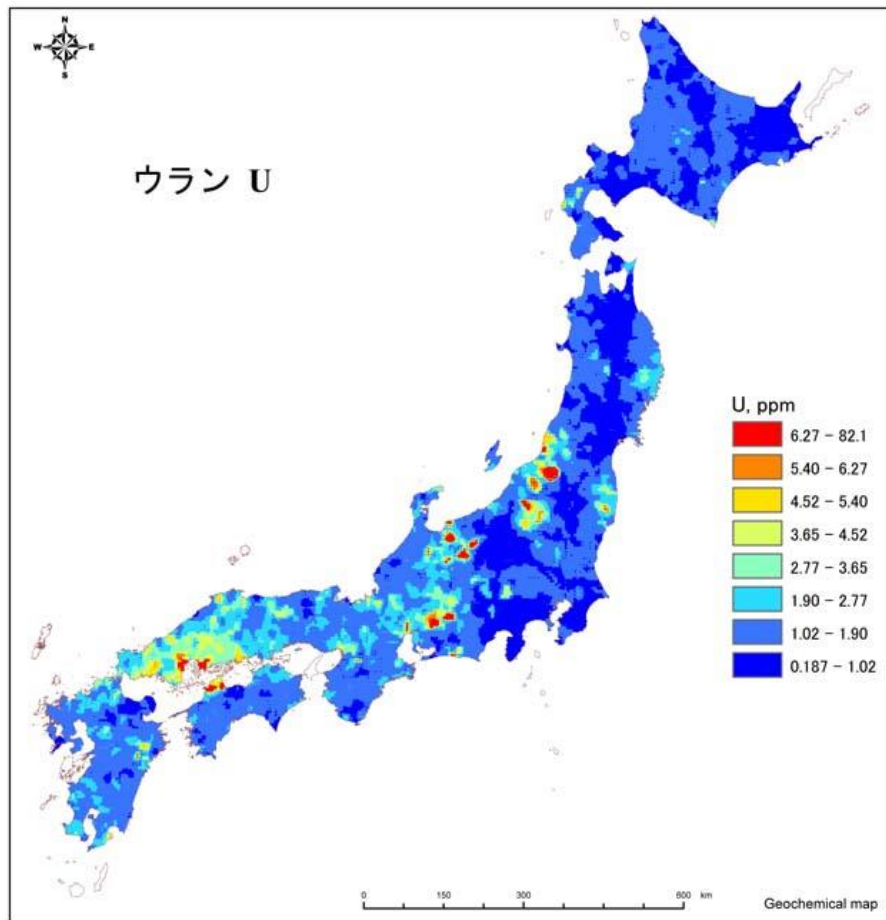
広島はもう少し線量が高いんです

なぜでしょう？

地質由来の自然放射線量



地殻中ウラン、カリウム濃度



広島周辺の地殻にはウランやカリウムが多い **なぜ？**

Take home message

- 放射能、放射線、放射性物質
- 同位体：安定同位体、放射性同位体（核種）
- α 線、 β 線、 γ 線