

身の回りの放射線

長島雅裕(文教大学教育学部)

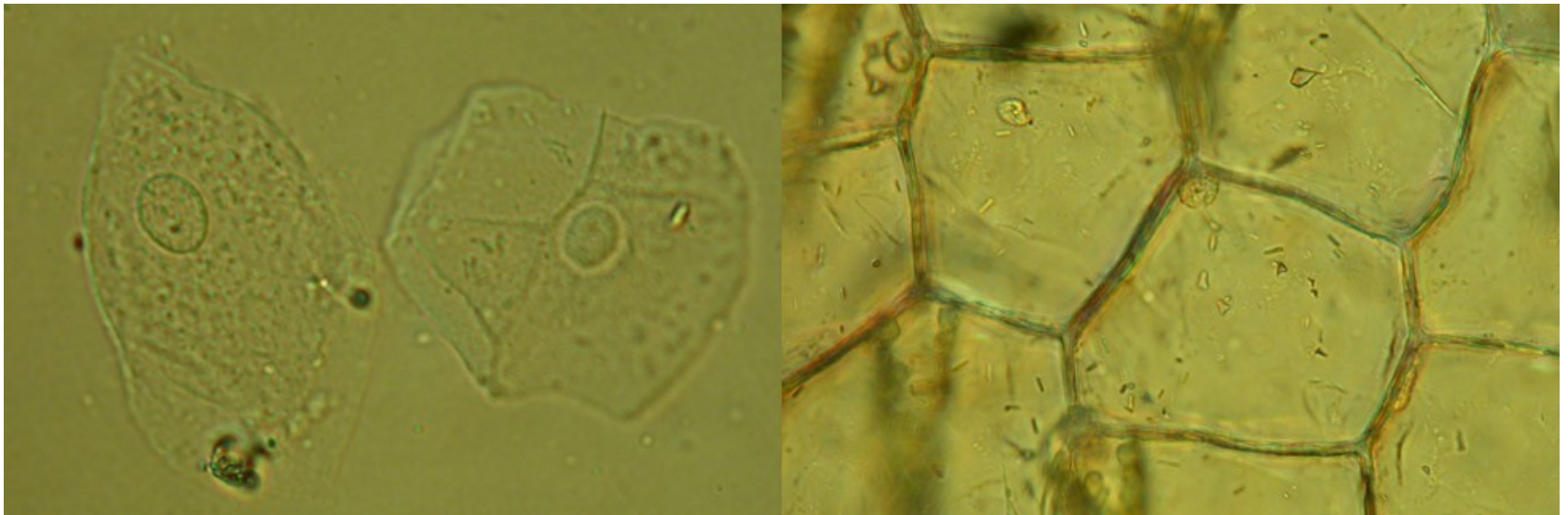
masahiro@koshigaya.bunkyo.ac.jp

「放射線」「放射能」という言葉から思いつく言葉や事柄を、10個以上挙げてください

ミクロの世界を見てみよう

- ▶ より単純なものはなんだろう？
- ▶ 動物・植物→細胞

科学技術振興機構 理科ねっとわーく

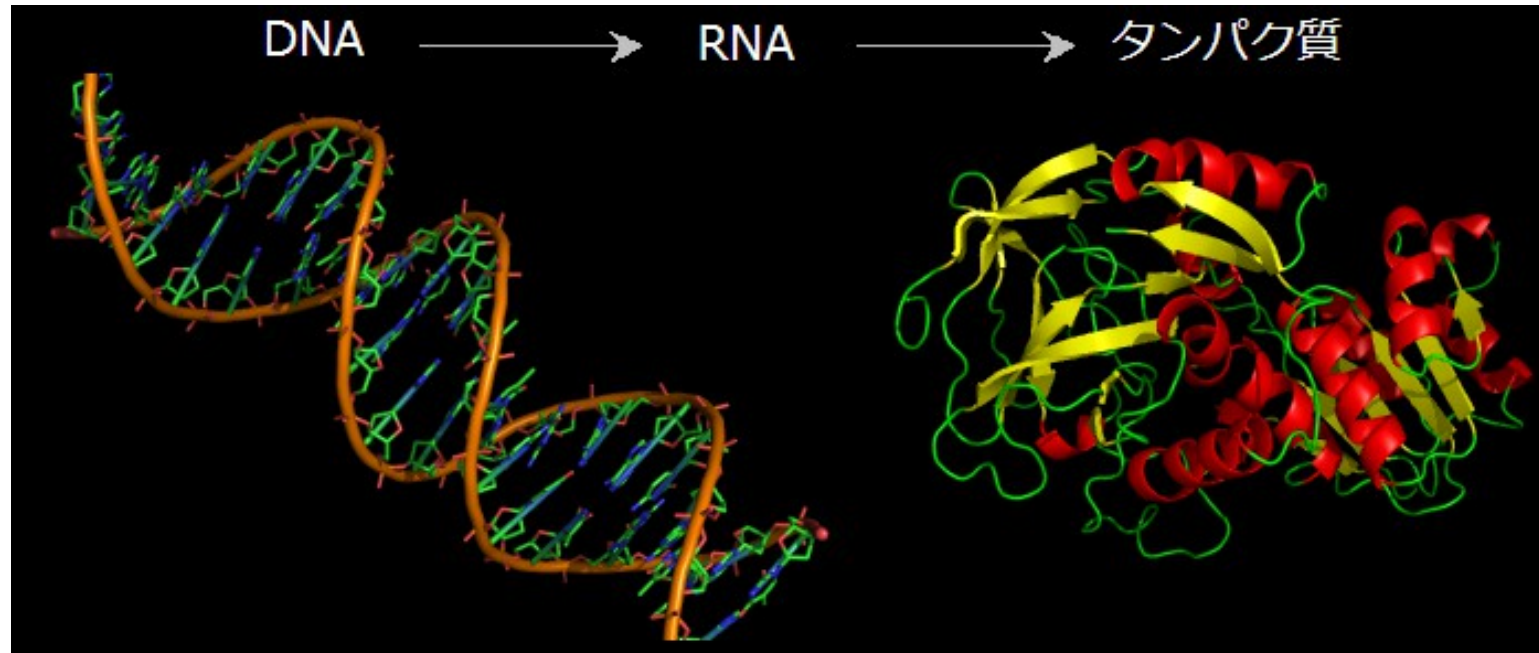


動物の細胞

植物の細胞

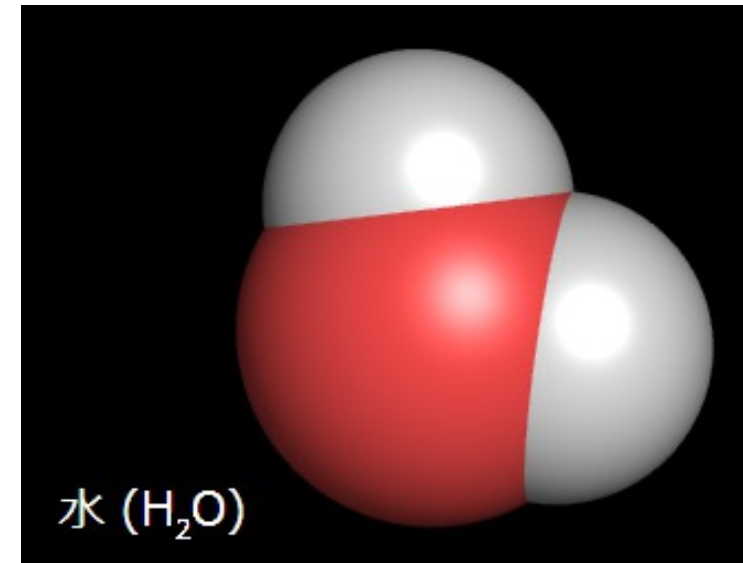
もっとミクロの世界

➤ 複雑な分子：DNA



➤ 単純な分子：水(H₂O)

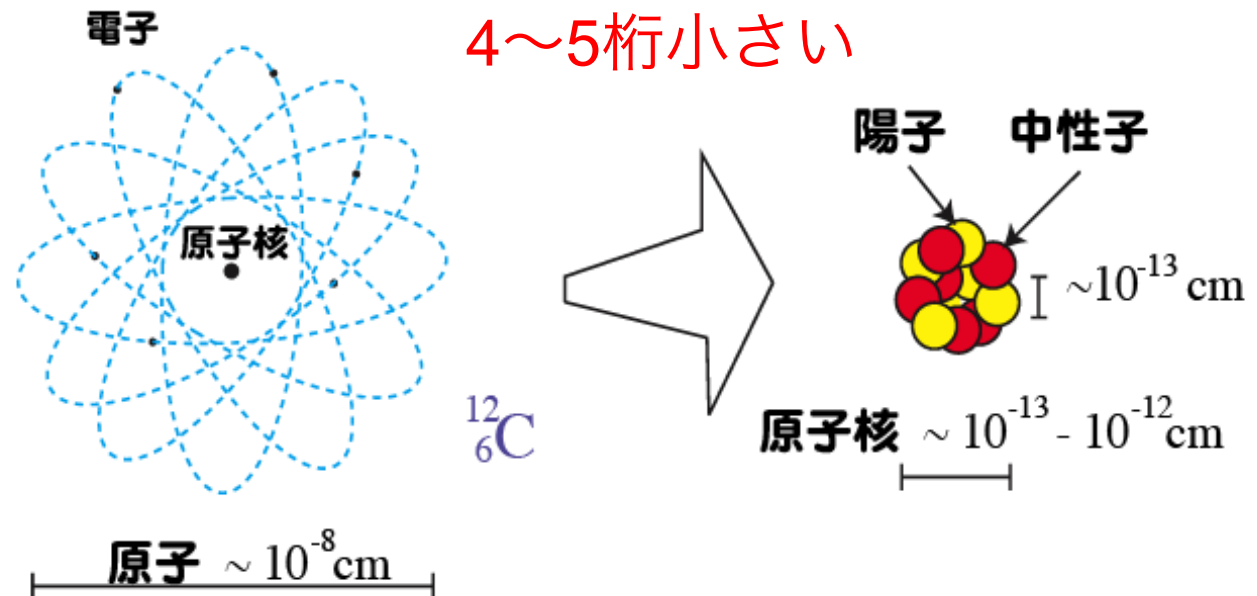
- ▶ 水素原子2つと酸素原子1つ



分子・原子よりもさらにミクロへ

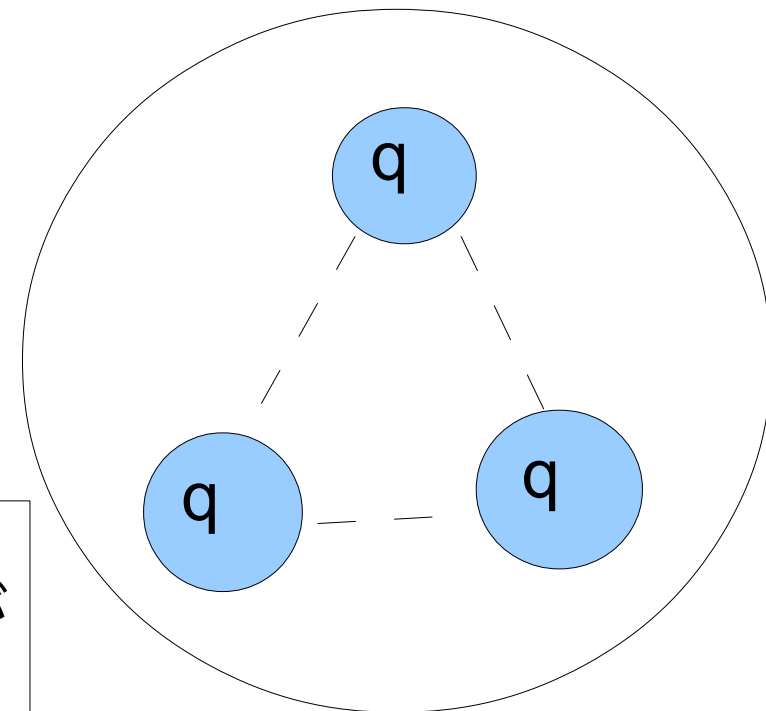
- ▶ 水分子=酸素原子1個+水素原子2個
- ▶ 原子はどうなっているか？
 - ▶ さらに、原子核と電子に分かれる
 - ▶ 原子核は、陽子と中性子からなる
- 陽子・中性子を結ぶ力：核力←湯川秀樹

原子と原子核



クォーク

- 核子（陽子、中性子）は「クォーク」3つからなる粒子（中間子は2つ）
 - ▶ 小林－益川理論により6種類のクォーク
- クォーク間にはたらく力が「強い力」
- 「核力」は、クォーク間の力が染み出したもの



クォークには6種類ある
1973年に理論的に予言した小林・益川両氏が
2008年にノーベル賞受賞

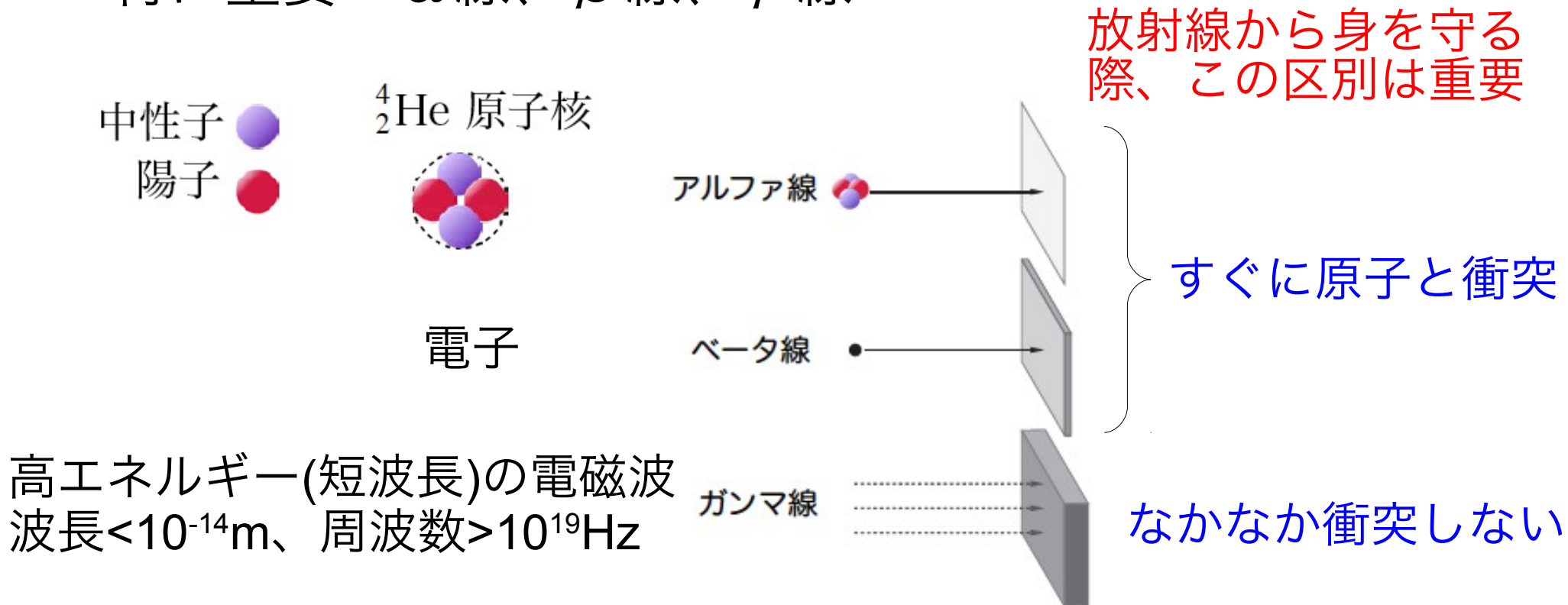
放射性物質と放射能

- 放射性物質
 - ▶ 放射線を出す物質(不安定原子核を含む物質)
- 放射能
 - ▶ 放射線を出す能力
- つまり、「放射性物質」 = 「放射能を持つ物質」
- しかし、実際には、「放射能」の意味は曖昧
 - ▶ しばしば、「放射性物質」の意味で「放射能」が使われる
 - ▶ たまに、「放射線」の意味で使われることも!
 - ▶ cf. ゴジラ
- しっかり区別して使おう
 - ▶ 「放射性物質漏れ」と「放射線漏れ」は違う!!
- 花の匂いは…



放射線

- 電磁波や、電子・中性子などの物質の流れ
- 特に重要： α 線、 β 線、 γ 線



高エネルギー(短波長)の電磁波
波長 $<10^{-14}\text{m}$ 、周波数 $>10^{19}\text{Hz}$

図 2.7 アルファ線、ベータ線、ガンマ線が遮蔽される様子。アルファ線は紙 1 枚で、ベータ線は薄いアルミ板で、ガンマ線は厚い鉛板で止められる。

保安院「作業のやり方十分ではなかった」 作業員被曝

2011年3月25日2時9分『朝日新聞』

東京電力福島第一原子力発電所で24日、復旧作業中の作業員3人が被曝し、うち2人が病院に運ばれた。東電は、くるぶしまで水に漬かったために足の皮膚に放射線を浴び、やけどを負った可能性も否定できないとしている。

2人は救急車で福島県立医大病院（福島市）に搬送された。自衛隊のテントや病院内で体の外側の放射性物質を取り除く「除染」を受け、専門医らの診察を受けた。

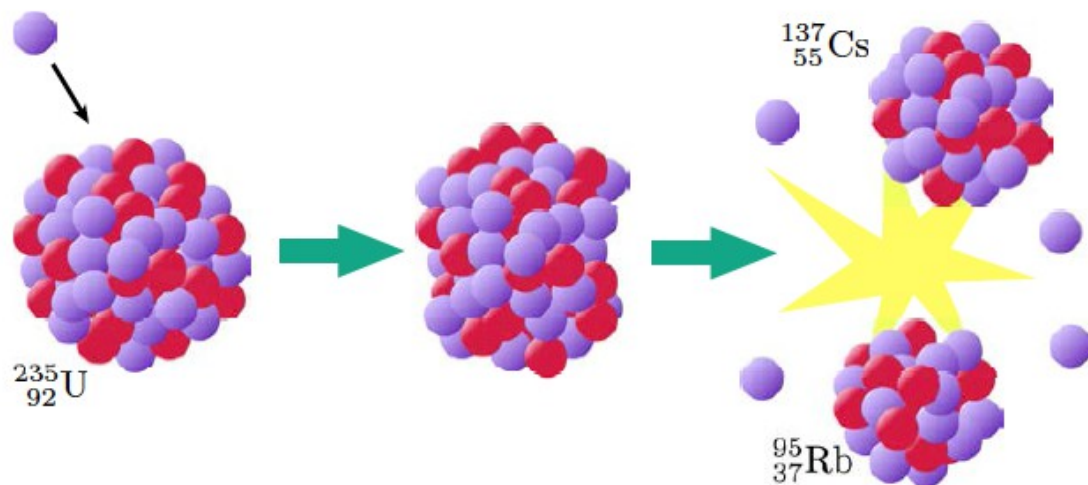
吐き気など、全身に大量被曝した際に起きる急性放射線障害の症状はないが、水に漬かった部分には、局所的に高線量の放射線を浴びる「局所被曝」が起きた可能性がある。これは放射性物質に直接接触した場合などに起こる。

東電は、水に浮いた汚染物質が足の皮膚に付着し、被曝による「**ベータ線熱傷**」が起きた可能性もあるとみる。ベータ線は放射線の一種。

島崎修次・日本スキンバンクネットワーク理事長（救急医学）は「表皮よりも深い部分まで傷つく熱傷で、場合によっては皮膚移植などの治療が必要になる可能性もある」と指摘する。

東電によると、23日には同じ場所の放射線量は毎時数ミリシーベルトで、床の水も少なかったため、24日は線量を測らずに作業を始めた。被曝線量が毎時20ミリシーベルトを超えると警報音が鳴るアラームを着けていた。警報音が鳴ったかどうかは不明。一緒に作業していたもう1人は長靴をはいていて汚染がなかったが、2人はくるぶしくらいまでの短靴だった。（後略）

原子核崩壊の例



ウラン(U)に中性子(n)が吸収され、不安定になってセシウム(Cs)とルビジウム(Rb)に分裂

図 3.1 ウラン 235 の核分裂の様子。ウラン 235 が中性子を吸収すると不安定になり、すぐに二つの原子核に分裂する（この図では、お馴染みのセシウム 137 が作られる反応を示した）。この際にだいたい 2, 3 個の中性子が外に飛び出してくる。この核分裂を次々と連鎖的に引き起こすのが、核分裂の連鎖反応だ。

田崎 p.32

中性子はもともと単体では不安定で、半減期約10分で電子(β線)を放出して陽子に変わる

田崎 p.16

セシウム(Cs)中の中性子(n)がβ崩壊を起こし、陽子(p)が一つ増え(原子番号が一つ増える)、バリウム(Ba)になる

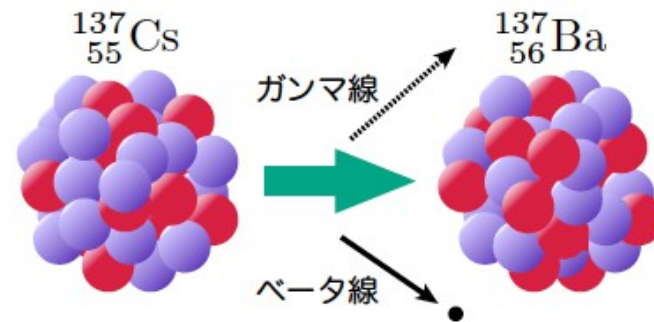
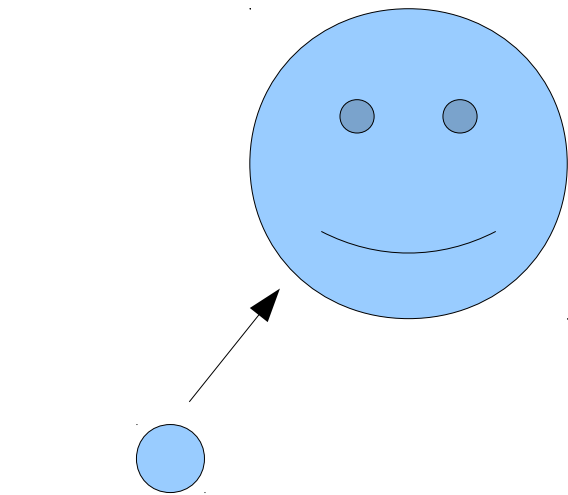


図 2.4 不安定なセシウム 137 の原子核は崩壊して（短命な中間状態を経て）安定なバリウム 137 の原子核に姿を変える。この際に、高いエネルギーの光子（ガンマ線）と電子（ベータ線）が外に飛び出てくる。

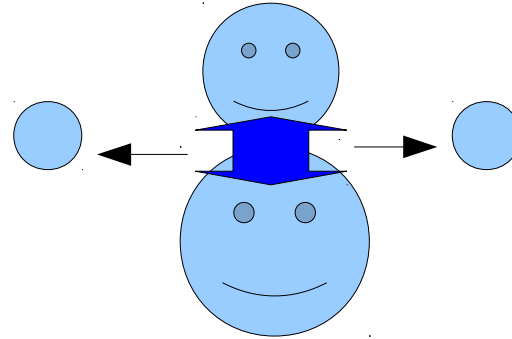
核分裂によるエネルギー生成

放出された中性子が、次の核分裂を引き起こす



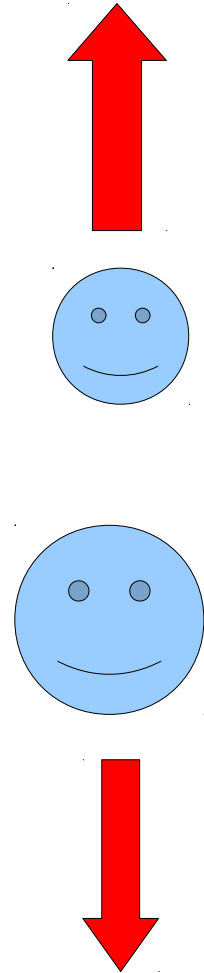
中性子を吸収
→不安定になる
←核力は到達距離が短いので隣同士でしか働かないが、クーロン力は全体で働く

中性子を放出



分裂
→分裂片同士は離れてしまい、核力は働かない
→強力な反発力(クーロン力)

凄まじい勢いで分裂片が飛ぶ
→他の原子に当たり、運動エネルギーが熱に変わる

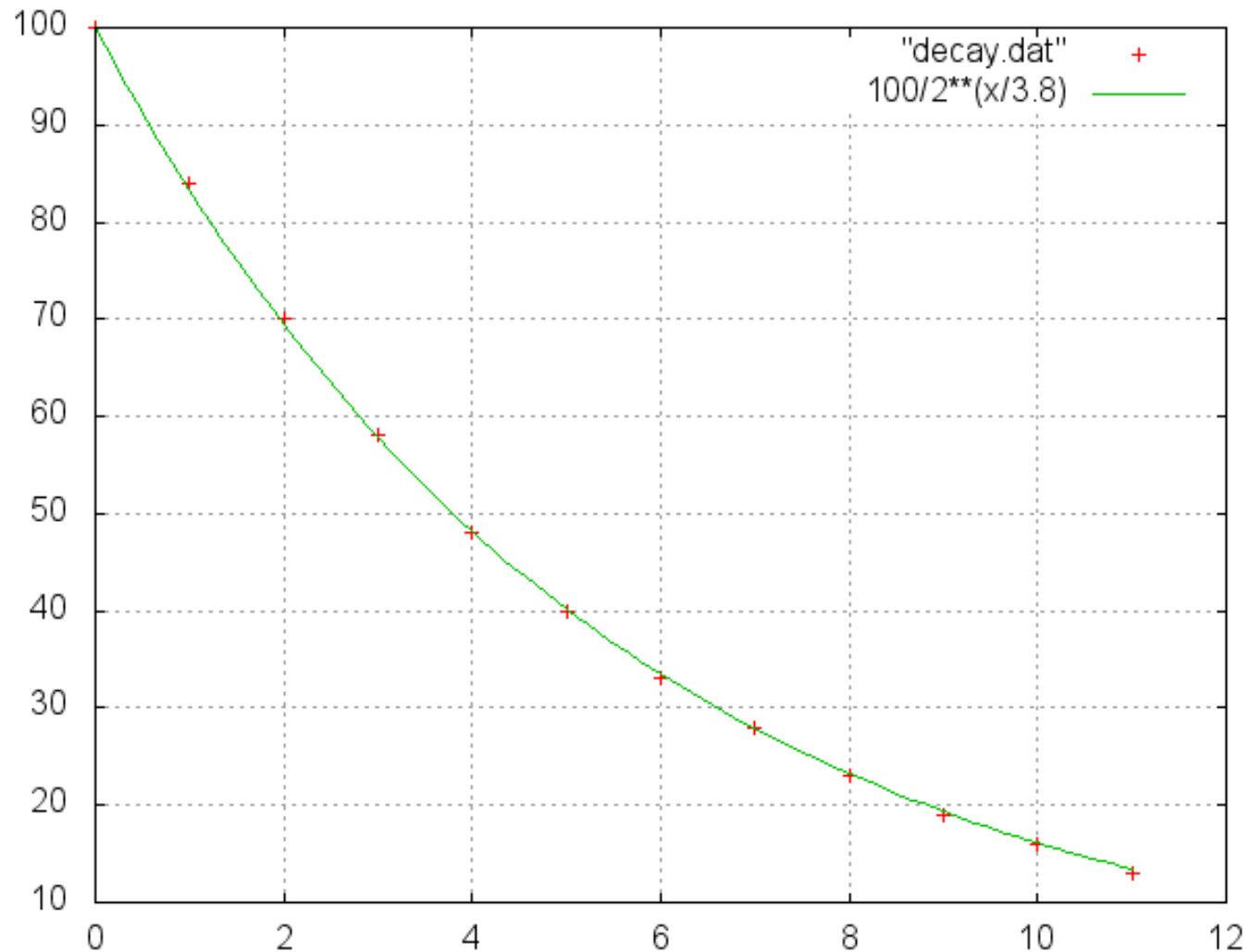


半減期

- 崩壊は確率的に起こり、過去の履歴は無関係
- 100人がボールを持ってサイコロをふり、1が出たらボールを捨てるとしよう
 - ▶ 1回目：約16名がボールを捨てる。残り約84名
 - ▶ 2回目： $84 \times (1/6) = 14$ 名がボールを捨てる。残り70名
 - ▶ 3回目： $70 \times (1/6) = 12$ 名がボールを捨てる。残り58名
 - ▶ 4回目： $58 \times (1/6) = 10$ 名がボールを捨てる。残り48名
 - ▶ 5回目： $48 \times (1/6) = 8$ 名がボールを捨てる。残り40名
 - ▶ 6回目： $40 \times (1/6) = 7$ 名がボールを捨てる。残り33名
 - ▶ 7回目： $33 \times (1/6) = 5$ 名がボールを捨てる。残り28名
 - ▶ 8回目： $28 \times (1/6) = 5$ 名がボールを捨てる。残り23名
 - ▶ 9回目： $23 \times (1/6) = 4$ 名がボールを捨てる。残り19名
 - ▶ 10回目： $19 \times (1/6) = 3$ 名がボールを捨てる。残り16名
 - ▶ 11回目： $16 \times (1/6) = 3$ 名がボールを捨てる。残り13名

半減期

- 半減期3.8回として線を引いてみる
- 指数関数的に減少



半減期

- 時間 Δt の間に崩壊する原子核の個数を ΔN とする
 - ▶ 十分短い時間間隔であれば、これらは比例する
- ΔN は、当然元の原子核の個数 N に比例する

$$\Delta N \propto N \Delta t$$

- 「 \propto 」から「 $=$ 」にするために、比例定数 λ を決める

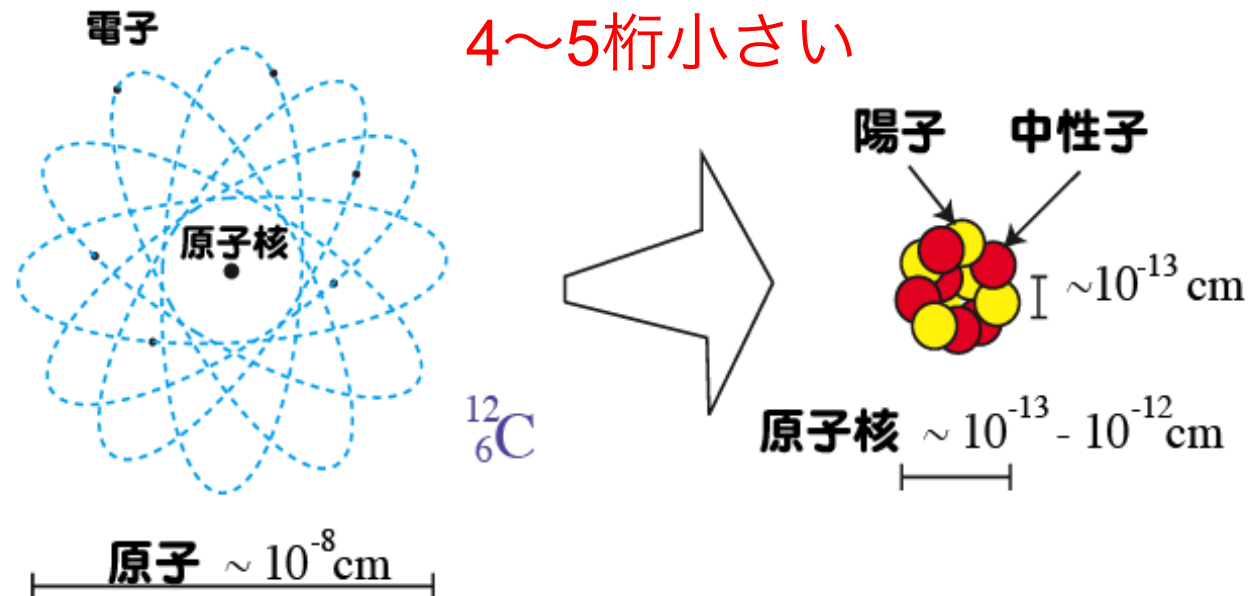
$$\Delta N = -\lambda N \Delta t$$

- ▶ 減少する量なので、マイナスをつけておく
- Δt で割ると、微分方程式になる $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$
- これを解くと、 $N = N_0 e^{-\lambda t}$
- 指数関数的に減少していく
- 寿命 = $1/\lambda$

分子・原子よりもさらにミクロへ

- ▶ 水分子=酸素原子1個+水素原子2個
- ▶ 原子はどうなっているか？
 - ▶ さらに、原子核と電子に分かれる
 - ▶ 原子核は、陽子と中性子からなる
- 陽子・中性子を結ぶ力：核力←湯川秀樹

原子と原子核



半減期

- 半減期 T =元の個数の半分になる時間

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T}$$

- $N = N_0 e^{-\lambda t}$ と、 $t = T$ の時に $N = N_0/2$ なので、

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$$

- これより、 $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$ という関係があることがわかる

1回サイコロをふると数が5/6になる
n回ふったら半分になったとすると…

$$\frac{1}{2} = \left(\frac{5}{6}\right)^n$$

これより、

$$n = \frac{\log(1/2)}{\log(5/6)} = 3.80178\dots$$

田崎 p.23

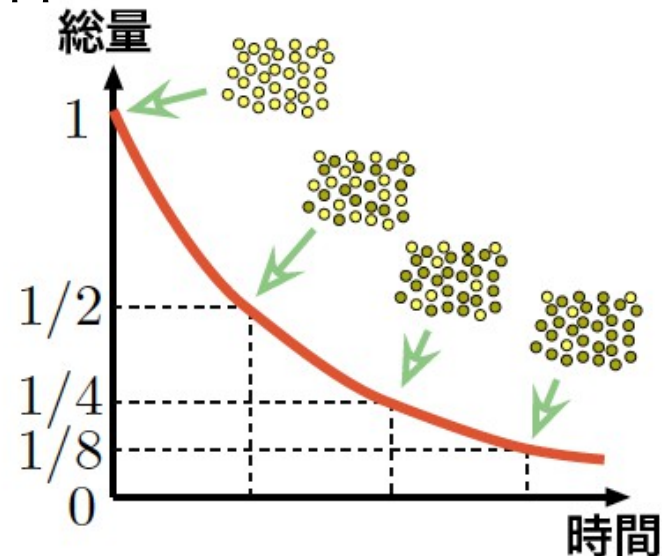


図 2.6 放射性物質の総量の減り方を表わすグラフと模式図。黄色の丸が不安定な原子核、暗い緑色の丸が崩壊してできた安定な原子核を表わす。はじめ放射性物質の総量が1だったとして、時間が経った後の量をグラフにした。ちょうど半減期だけの時間が経てば、総量は1/2になり、さらに半減期だけの時間が経つと1/4になる。

元素と宇宙

▶ 様々な種類の元素は、どうやってできたのか？

The Periodic Table of The Elements(2010)
 Edited by Chemistry Labo., Kochi Women's Univ.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18									
1	1 H 1.008	The Periodic Table of The Elements(2010) Edited by Chemistry Labo., Kochi Women's Univ.																2 He 4.003									
2	3 Li 6.941	4 Be 9.012	atomic number Symbol atomic weight										metallic			5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18						
3	11 Na 22.99	12 Mg 24.31											amphoterics			non-metallic			inert gas			13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
4	19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.87	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.41	31 Ga 69.72	32 Ge 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80									
5	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc [99]	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3									
6	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	L	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po [210]	85 At [210]	86 Rn [222]									
7	87 Fr [223]	88 Ra [226]	A	104 Rf [267]	105 Db [268]	106 Sg [271]	107 Bh [272]	108 Hs [277]	109 Mt [276]	110 Ds [281]	111 Rg [280]	112 Cn [285]	113 Uut [284]	114 Uuq [289]	115 Uup [288]	116 Uuh [293]		118 Uuo [294]									
			L	57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm [145]	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0									
			A	89 Ac [227]	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np [237]	94 Pu [239]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [252]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]	103 Lr [262]									

主な放射性物質の半減期

- 他には、
 - ▶ ${}^{235}_{92}\text{U}$: 約7億年(広島型原爆や普通の原発の燃料、全Uの1%未満しかない(なので精製して濃度を上げて使う))
 - ▶ ${}^{238}_{92}\text{U}$: 約45億年(全Uの99%以上)

核種	記号	半減期	崩壊の際に出る放射線
カリウム 40	${}^{40}_{19}\text{K}$	12.5 億年	ベータ線、ガンマ線
ストロンチウム 89	${}^{89}_{38}\text{Sr}$	50.5 日	ベータ線、ガンマ線
ストロンチウム 90	${}^{90}_{38}\text{Sr}$	28.8 年	ベータ線
ヨウ素 131	${}^{131}_{53}\text{I}$	8.02 日	ベータ線、ガンマ線
キセノン 133	${}^{133}_{54}\text{Xe}$	5.25 日	ベータ線、ガンマ線
セシウム 134	${}^{134}_{55}\text{Cs}$	2.06 年	ベータ線、ガンマ線
セシウム 137	${}^{137}_{55}\text{Cs}$	30.2 年	ベータ線、ガンマ線
プルトニウム 239	${}^{239}_{94}\text{Pu}$	2.41 万年	アルファ線、ガンマ線
プルトニウム 240	${}^{240}_{94}\text{Pu}$	6.56 千年	アルファ線、ガンマ線
ラドン 222	${}^{222}_{86}\text{Rn}$	3.82 日	アルファ線、ガンマ線

表 2.1 いくつかの核種の半減期と崩壊の際に放出する放射線。

半減期と放射能

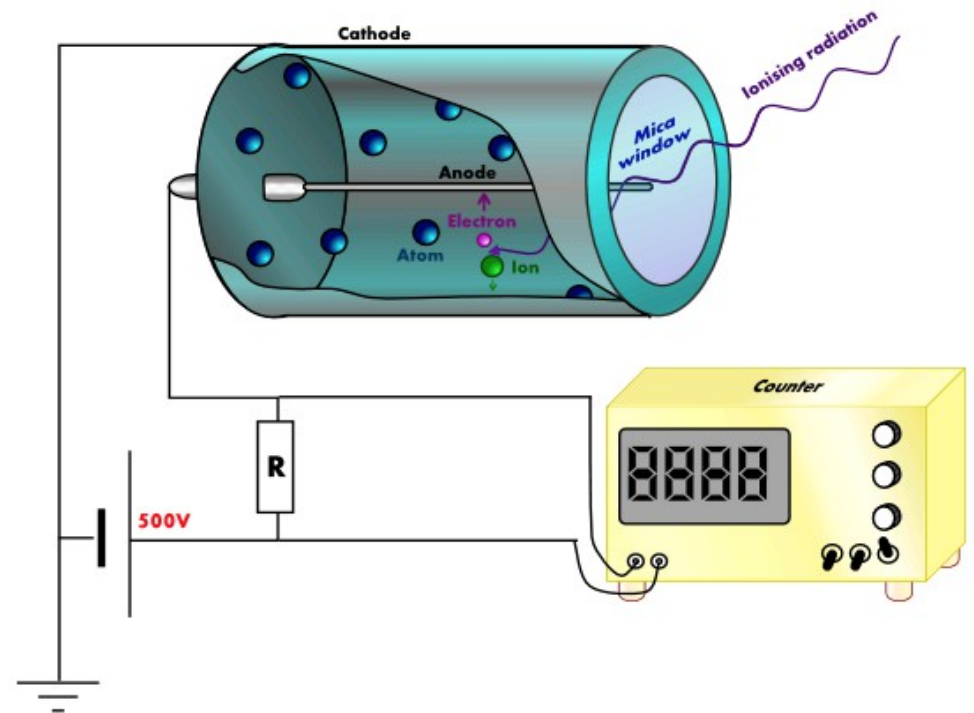
- 同じ物質質量(mol)なら、半減期が短い方が放射能が強い
 - ▶ 短時間に崩壊するため、大量の放射線が出る
- しかし、問題になるのは、単位時間にどれだけの放射線が出るか…つまり放射能の強さ
- 従って、「単位時間に崩壊する原子核の個数」を考えるとよい
 - ▶ 1秒あたりに崩壊する原子核の個数：[Bq] (ベクレル)

Gy(グレイ)とSv(シーベルト)

- Gy(吸収線量): 1kg当たり吸収したエネルギー[J]
- Sv(実効線量) : 被曝による体への影響を示す量
 - ▶ 通常はエネルギーに比例するから、Gyと同じ値とする
 - ▶ α 線などは同じエネルギーでも影響力が大きいのでGyを20倍したりする
 - ▶ 低線量被曝の場合、ICRP(国際放射線防護委員会；国際標準)によると、自然放射線に1Svを追加で被曝すると、癌による生涯死亡リスクが5%上乗せされる
 - ▶ リスクは実効線量に比例する

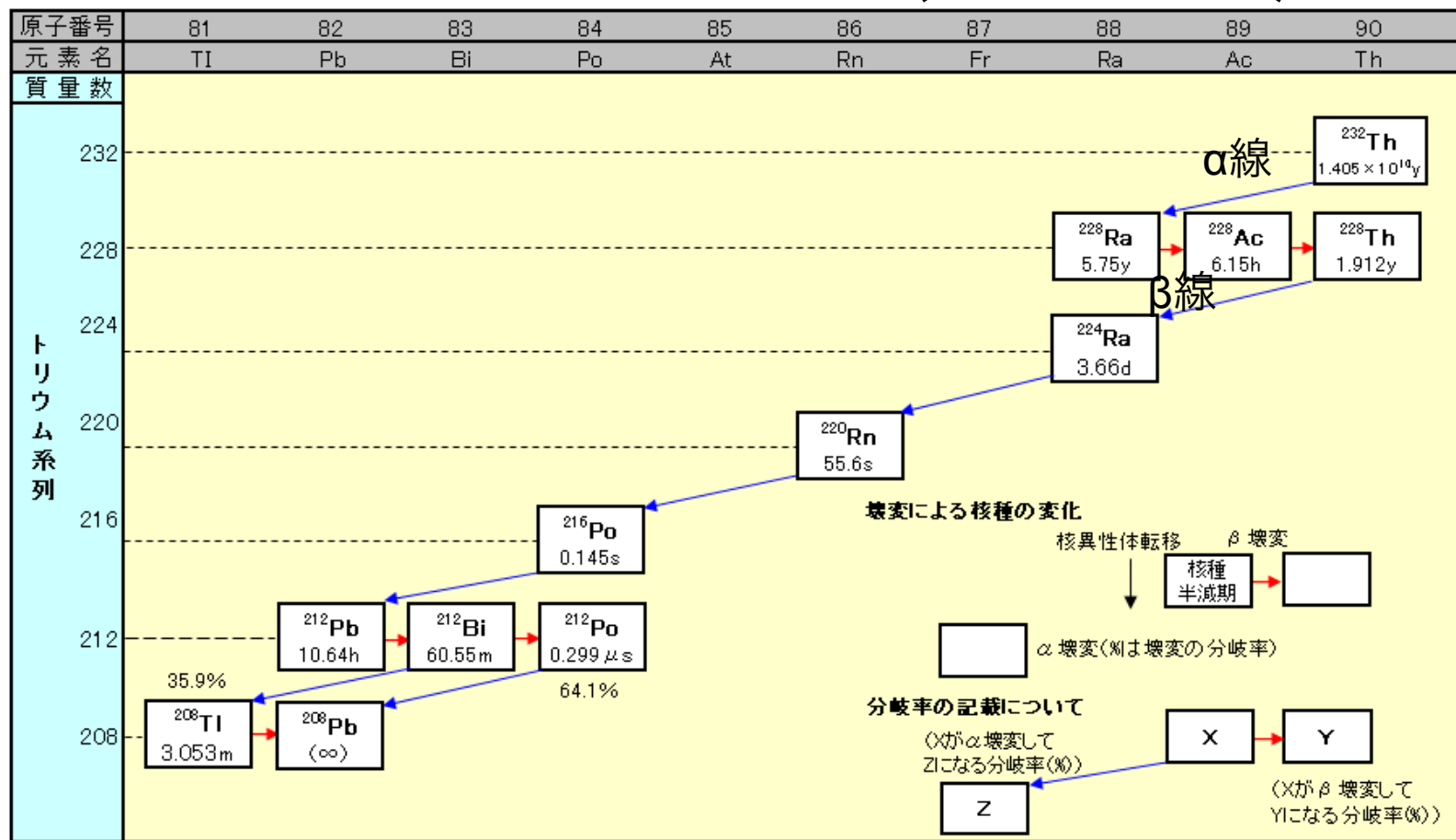
放射線の測定

- ガイガーカウンター(ガイガー・ミュラー計数管)
 - ▶ 電離放射線により、管内のガスが電離し、電流が発生
- シンチレーションカウンター
 - ▶ 電離放射線がプラスチック等のセンサーに当たって出した蛍光を、光電子増倍管で検出



トリウム(${}_{90}\text{Th}$)

- すべて放射性同位体だがトリウム232は比較的安定(半減期140億年)。地殻中に豊富に存在(cf.モナザイト)
- ガスランタン用マントルに使われる(融点が高い)



半減期の記号;s(秒), ms(10^{-3} 秒), μs (10^{-6} 秒), m(分), h(時), d(日), y(年)

図1-3 天然放射性核種の壊変系列図(トリウム系列)(3/4)

カリウム($_{19}\text{K}$)

- 安定同位体： ^{39}K (93.3%)、 ^{41}K (6.7%)
- 不安定同位体(主なもの)： ^{40}K (0.012%)
 - ▶ 半減期12.5億年
 - ▶ 軌道電子捕獲によりArになるか、 β 崩壊によりCaになる
- 人間にとって必須元素。常時体重の約0.2%
 - ▶ ホメオスタシス
- 体重60kgの人で、常に4000Bqほど抱えている
- バナナ等価線量：バナナはカリウムを豊富に含む。
 - ▶ バナナ一本当たり約15Bq、預託実効線量 $0.1\ \mu\text{Sv}$
- 減塩塩：塩化ナトリウム(NaCl)を減らし塩化カリウム(KCl)を入れている

[Bq] (ベクレル):1秒当たりに崩壊する原子核の個数

自然放射線

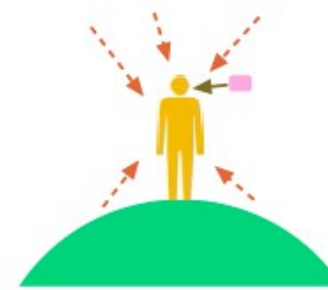


図 4.4 原子力とは関係なく、人間は、空からの放射線（宇宙線）、大地からの放射線によって外部被曝し、カリウム 40 の摂取やラドンの吸入によって内部被曝している。このような自然被曝の量は、被曝量の大小を考える上での一つの「目安」になる。

田崎 p.58

田崎 p.57

上空では大気による遮蔽が効かないので被曝量が増える→国際線乗務員や宇宙飛行士は要注意

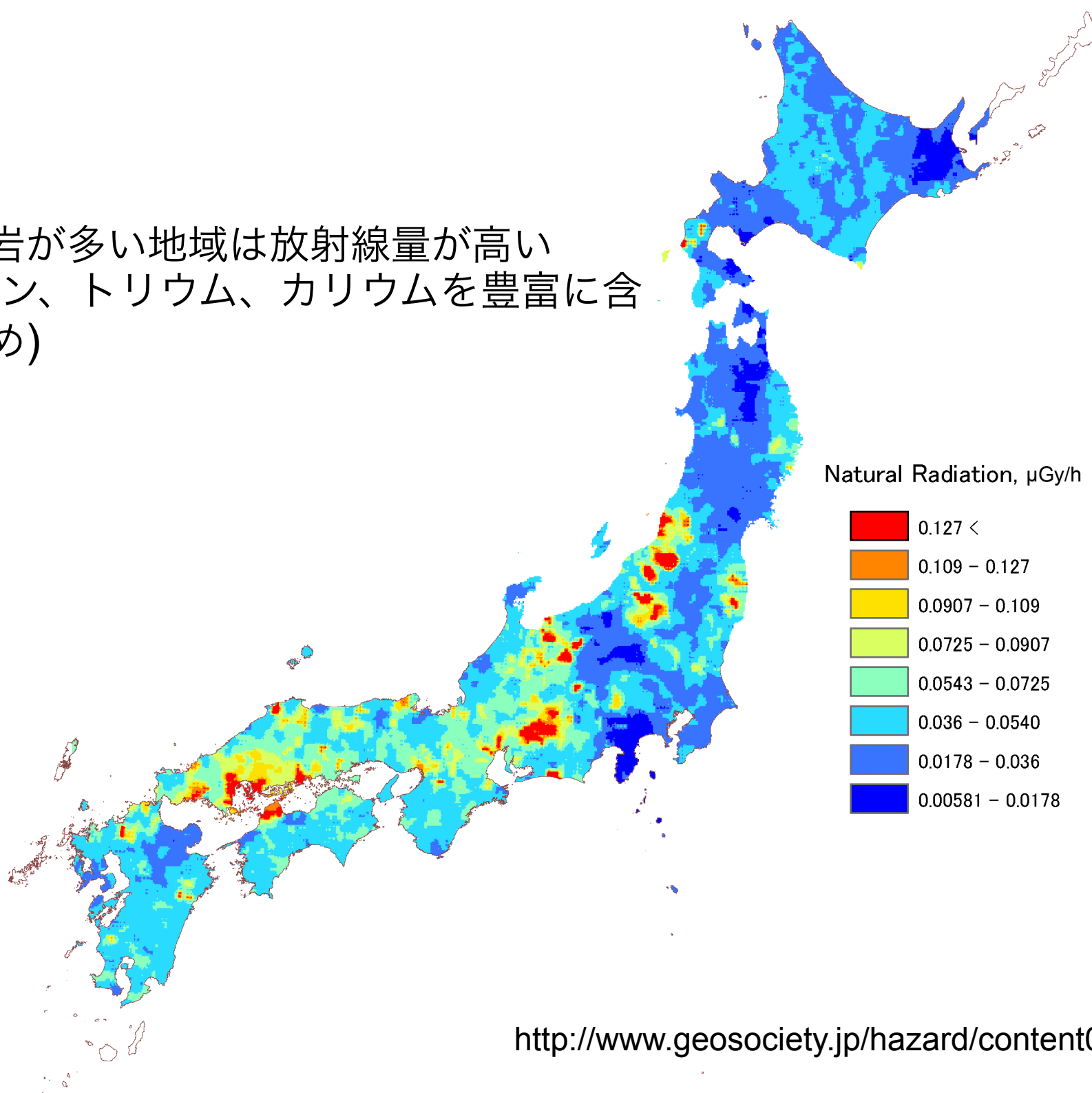
世界平均は2.4mSv/年

なお、日本の平均被曝は2011年に改訂。それまでは1.5mSv/年だった(Poの内部被曝の評価が改善された)

線源		実効線量 (mSv/年)
外部被ばく	宇宙線	0.3
	大地放射線	0.33
内部被ばく (吸入摂取)	ラドン (屋内、屋外)	0.37
	トリウム (屋内、屋外)	0.09
	喫煙 (鉛 210、ポロニウム 210 など)	0.01
	その他 (ウランなど)	0.006
内部被ばく (経口摂取)	主に鉛 210、ポロニウム 210	0.80
	トリチウム	0.0000082
	炭素 14	0.01
	カリウム 40	0.18
合計		2.1

表 4.3 「自然放射線による国民 1 人当たりの年間実効線量」、「新版・生活環境放射線 (国民線量の算定)」(原子力安全研究協会、2011 年 12 月) の表 1.4.1 を引用した (一部を 2012 年 12 月 27 日の「正誤表」に基づいて修正)。

花崗岩が多い地域は放射線量が高い
(ウラン、トリウム、カリウムを豊富に含むため)



霧箱

- エタノールを過飽和状態にし、電離放射線が通過した後に発生するイオンを凝結核として発生する「雲」を観察する方法
 - ▶ 発明者：ウィルソン(1986)、ノーベル物理学賞(1927)
- 簡易霧箱
 - ▶ エタノールを染み込ませる→エタノール蒸気の発生
 - ▶ 底をドライアイスで冷やす→エタノールが過飽和に
 - ▶ 放射線が通過→空気が電離しエタノールが凝結→雲の発生