

KCUA2021 現代の科学技術

原発事故、核反応、放射線とその健康影響について

復習用教材(2022.3.4)

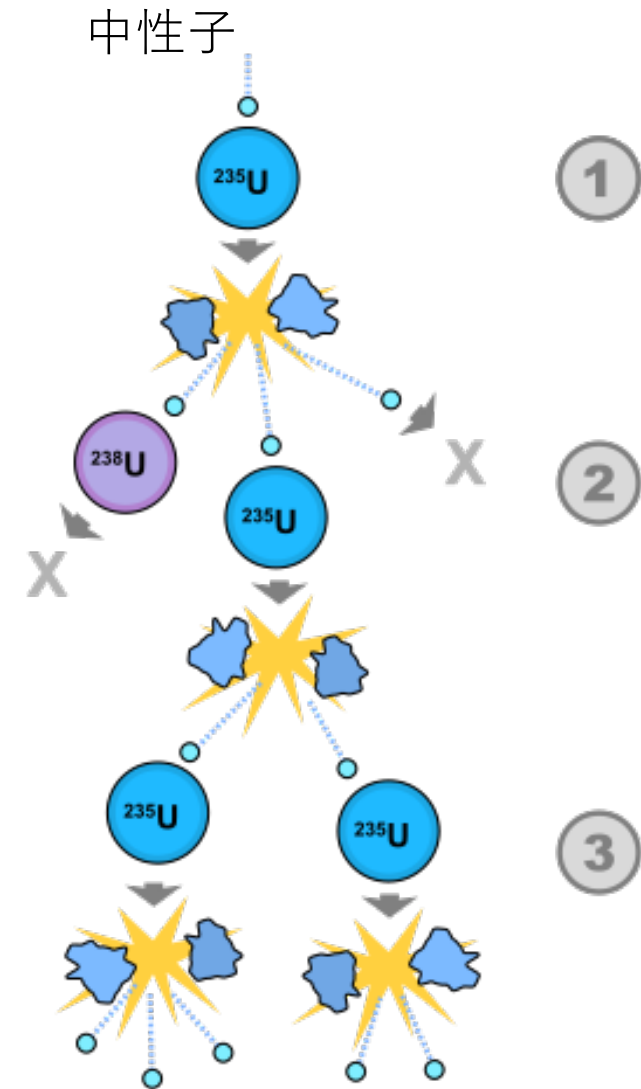
磯部洋明（京都市立芸術大学美術学部）

原発や核兵器で起きていること：連鎖的な核反応

- 核分裂＝大きな原子核が分裂すること。この時、放射線の形でエネルギーが放出される
- 特に核分裂を起こしやすい原子核を放射性同位体と呼ぶ（詳しく説明は資料の後半）。これが核燃料に使われる。ウラン、プルトニウムなど。

連鎖反応の仕組み：

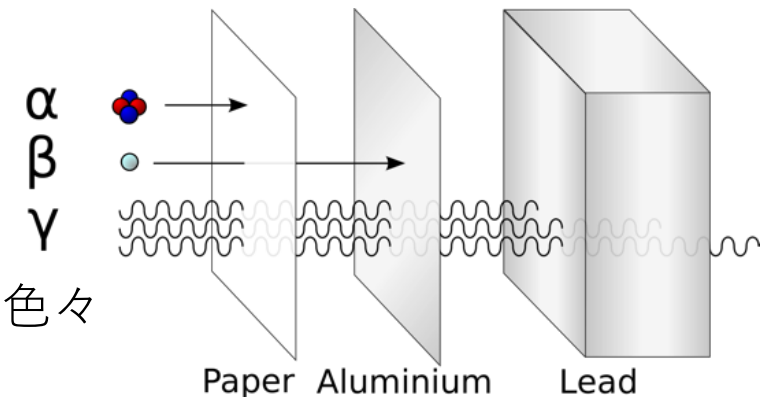
- ウラン235が中性子を吸収すると、核分裂を起こし、その時中性子を3つ放出する
- 放出された中性子が周囲のウラン235に吸収されることで、核分裂が連鎖的に起こる
- 放出された3つの中性子が全て回りのウラン235に吸収されるくらい、ウラン235の濃度が高ければ、核分裂は爆発的に拡大する＝核爆発
- 放出された3つの中性子のうち、平均的に1つだけがウラン235に吸収されるくらいの濃度であれば、核分裂は一定の規模で継続する＝原子炉（原発）
- つまり、核兵器と原発の違いは、使っている燃料の濃度。原発で使われている核燃料が、原爆のような「核爆発」をすることは考えにくい。



放射線 = 高いエネルギーを持った粒子や電磁波のこと

粒子の種類によって名前がいろいろある。

- α 線：ヘリウム原子核…紙で止まる
- β 線：電子/陽電子…薄いアルミで止まる
- γ 線：波長の短い電磁波…とても止めにくい
- これ以外にも中性子線、陽子線、重粒子線など色々



https://en.wikipedia.org/wiki/Radiation#/media/File:Alfa_beta_gamma_radiation_penetration.svg

放射線被ばくが体に悪い理由

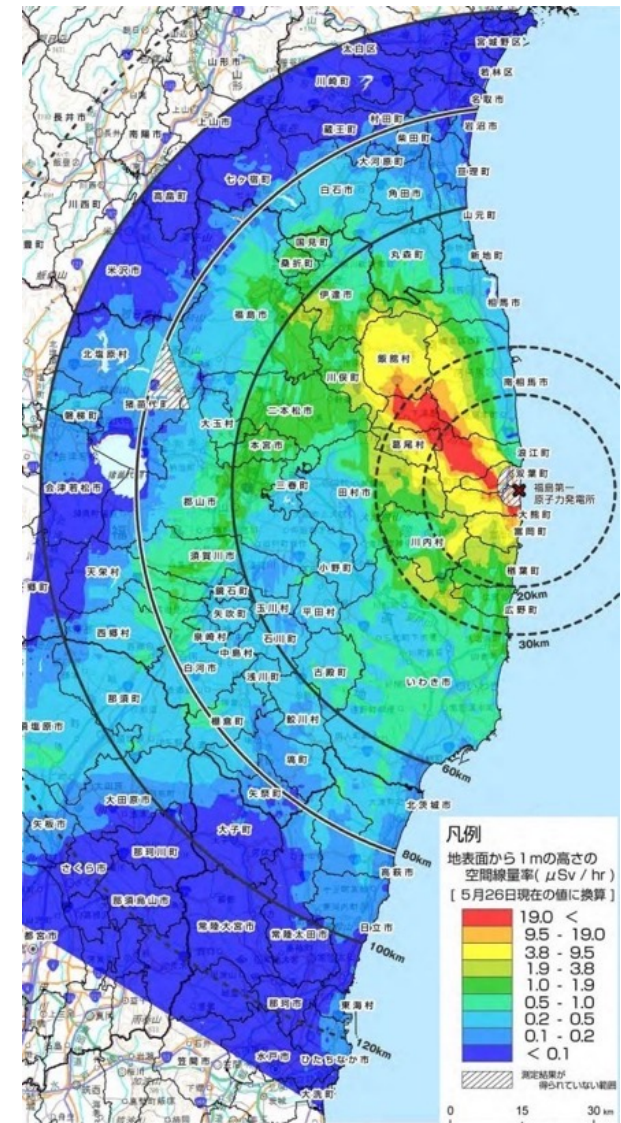
- 細胞内のDNAを壊すから
- DNAが壊れた時には、1. 修復される、2. 細胞が死ぬ、3. 細胞が死なずにDNAに変異が起きるの3パターンがある。
- 1の場合は残る影響なし
- 2の場合は、一度に大量に浴びると即座に影響がでる（確定的影響）が、少量であれば影響は残らない
- 3の場合、変異が蓄積することでガン化するリスクが上がる
- 放射線の種類によりDNAの壊し方が多少異なるものの、基本的なメカニズムは同じ
- 放射性物質（放射線そのものではなく、放射線を出す原子）を体内に取り込むと、種類によっては特定の臓器に蓄積するなどして、健康影響が大きい場合がある（内部被ばく）

2011年3月 福島第一原発の事故で起きたこと



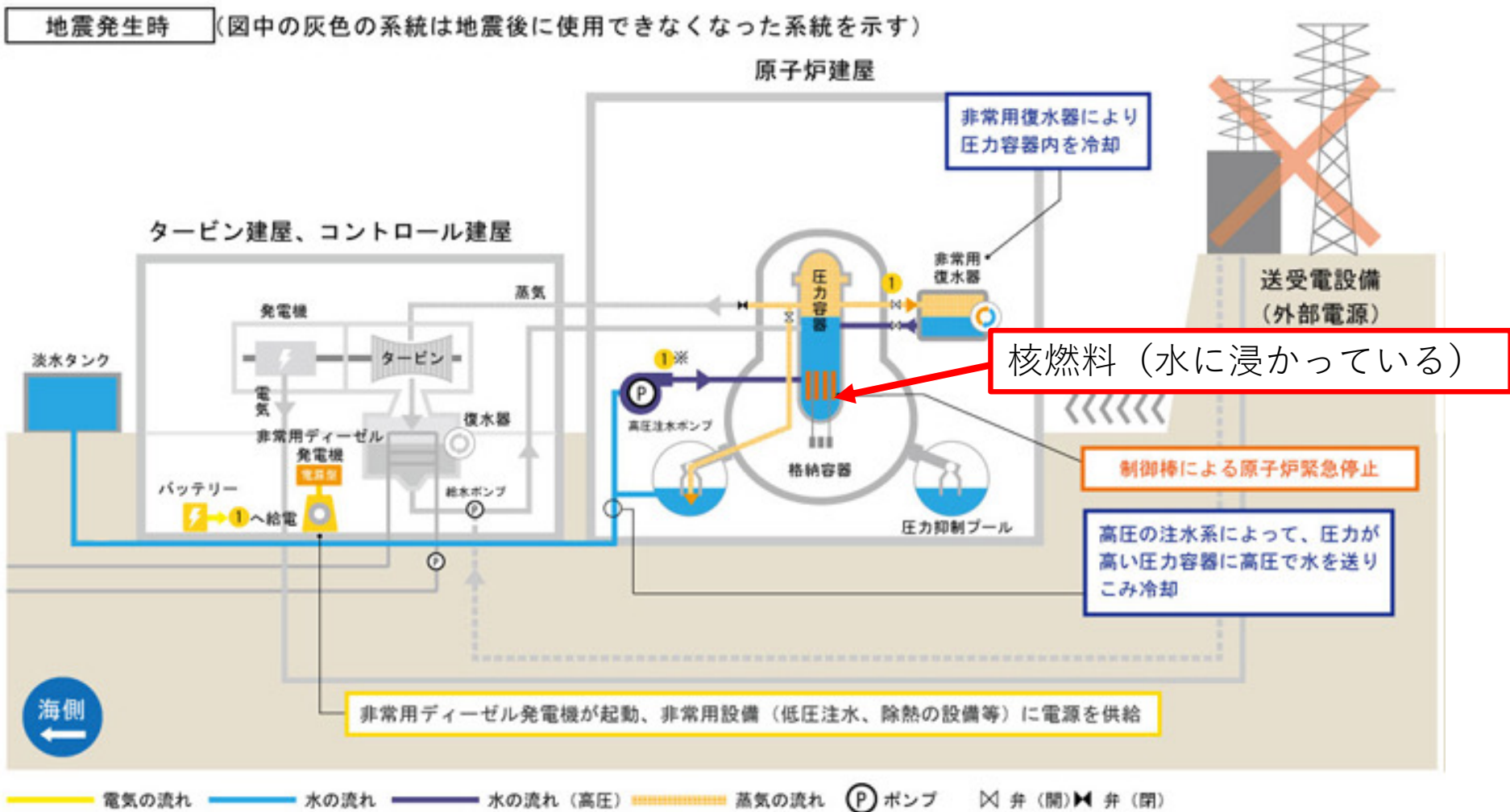
福島第一原発でおきた水素爆発（核爆発ではない）

2011年当時の放射線の量



原発の基本的な仕組み（種類によって詳細は異なります）

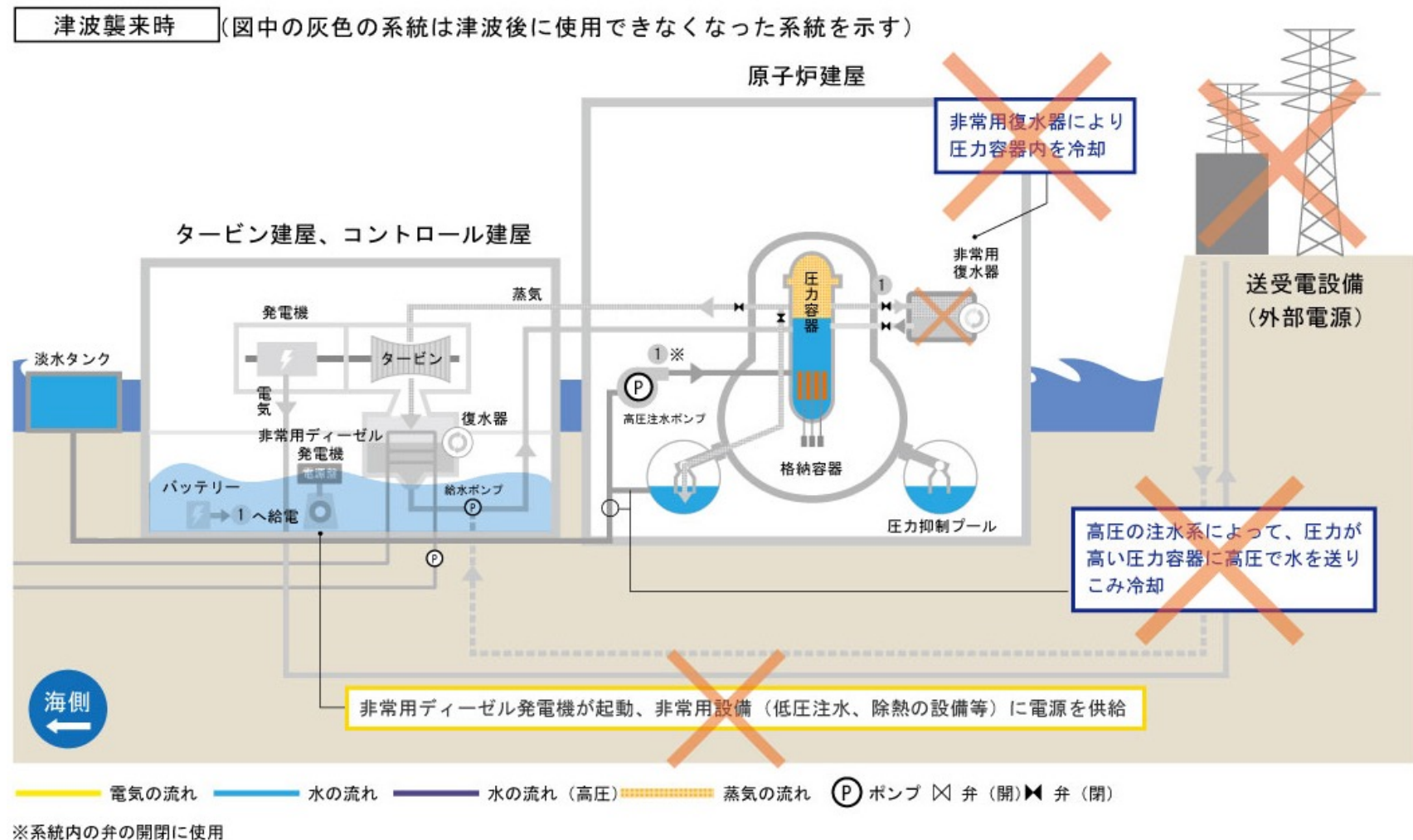
- 核燃料が発するエネルギーで水を蒸気にして、タービンを回して発電する。
- 核燃料は常に水で冷やされている状態にないといけない。



※系統内の弁の開閉に使用

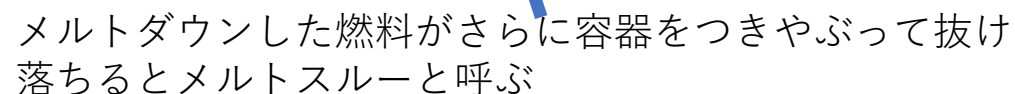
福島第一原発の事故の概要

津浪により非常用を含む電源が使えなくなり、燃料領域を冷やし続けることができなくなってしまった。その結果、燃料棒が水から露出。



図：東京電力のHP https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/outline/2_3-j.html

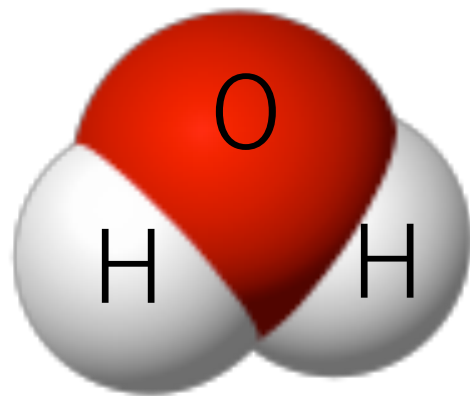
-
- 津波襲来時** (図中の灰色の系統は津波後に使用できなくなったシステムを示す)
- 原子炉建屋**
- タービン建屋、コントロール建屋**
- 送受電設備 (外部電源)**
- 非常用海水系により圧力容器内を冷却**
- 高圧の注水系によって、圧力が高い圧力容器に高圧で水を送りこみ冷却**
- 非常用ディーゼル発電機が起動。非常用設備（低圧注水、除熱の設備等）に電源を供給**
- 海側**
- 電気の流れ 水の流れ 水の流れ (高圧) 蒸気の流れ P ポンプ ※ 弁 (開) 井 (閉)
- ※系統内の弁の開閉に使用



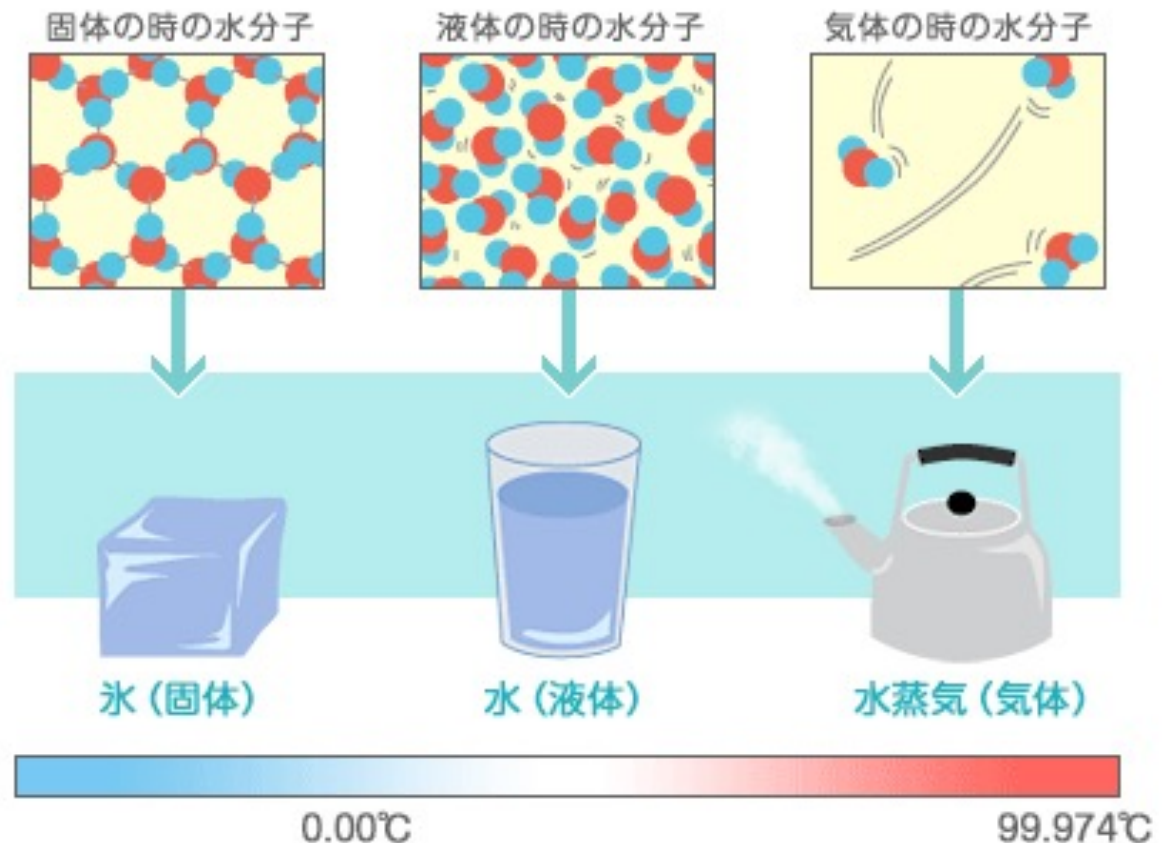
以下はもうちょっと詳細

物質は原子からできている

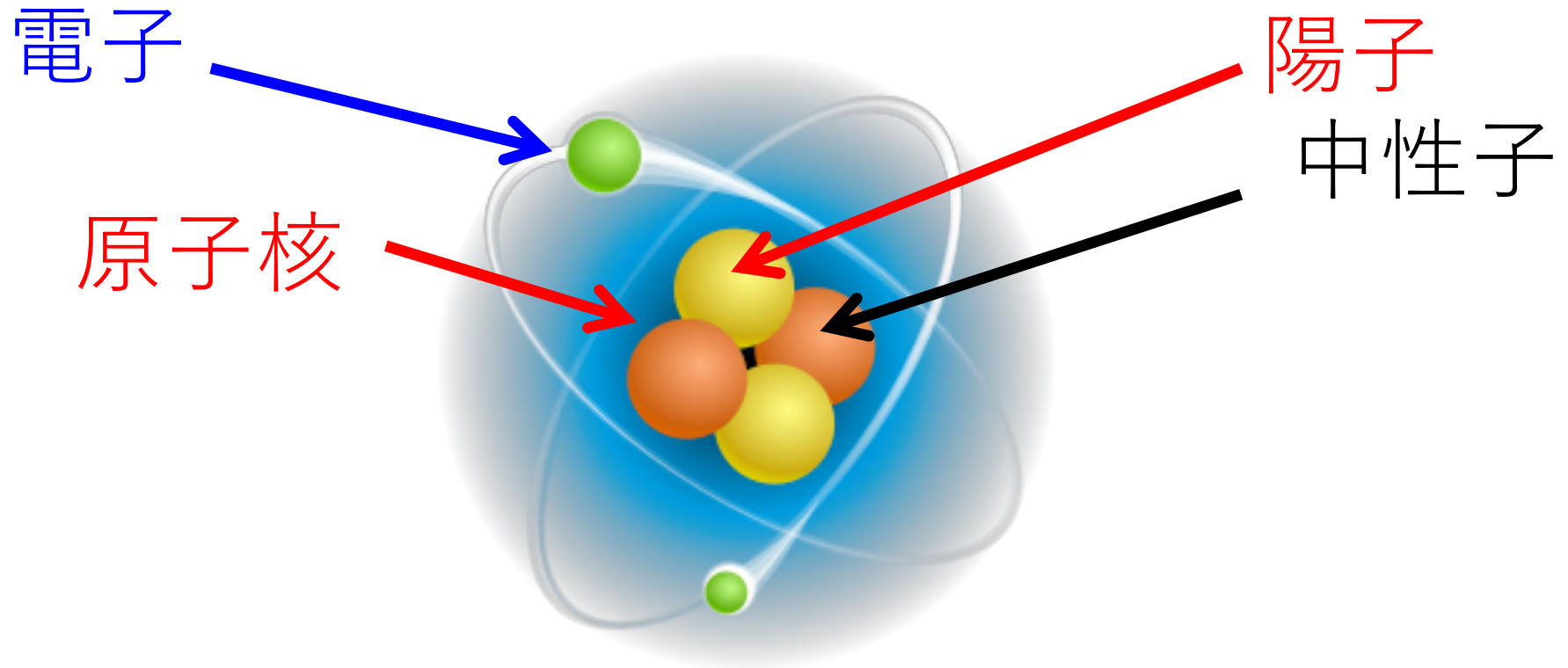
- 水分子 (H_2O) は、水素原子Hが2つ、酸素原子Oが1つからできている
- 分子（原子）がしっかり結びついているのが**固体**、くっついているけどお互いに動き回れるのが**液体**、自由に飛び回っているのが**気体**



水分子



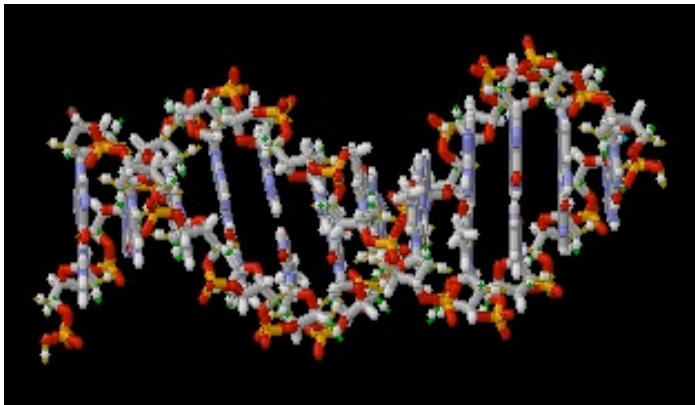
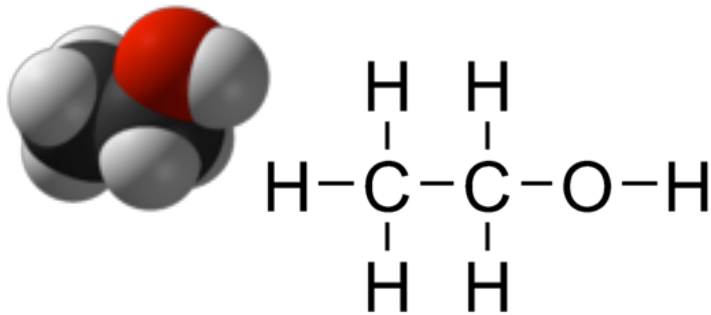
原子は原子核と電子からできている



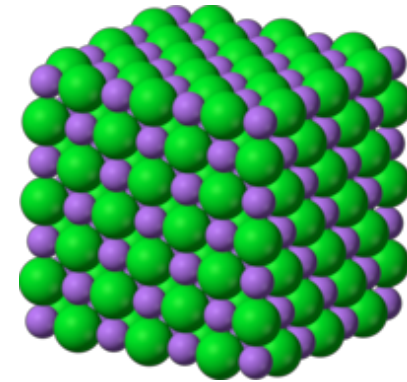
- 電子はマイナスの電気を持っている
- 原子核は、プラスの電気を持つ陽子と、電気を持たない中性子からできている
- 原子の種類は陽子の数で決まる（同位体の区別は後述）

全ての「物質」はこれらの原子（元素） の組み合わせでできる（化学）

エタノール（アルコールの一種）分子は
炭素Cが2つ、酸素Oが1つ、水素Hが6つ



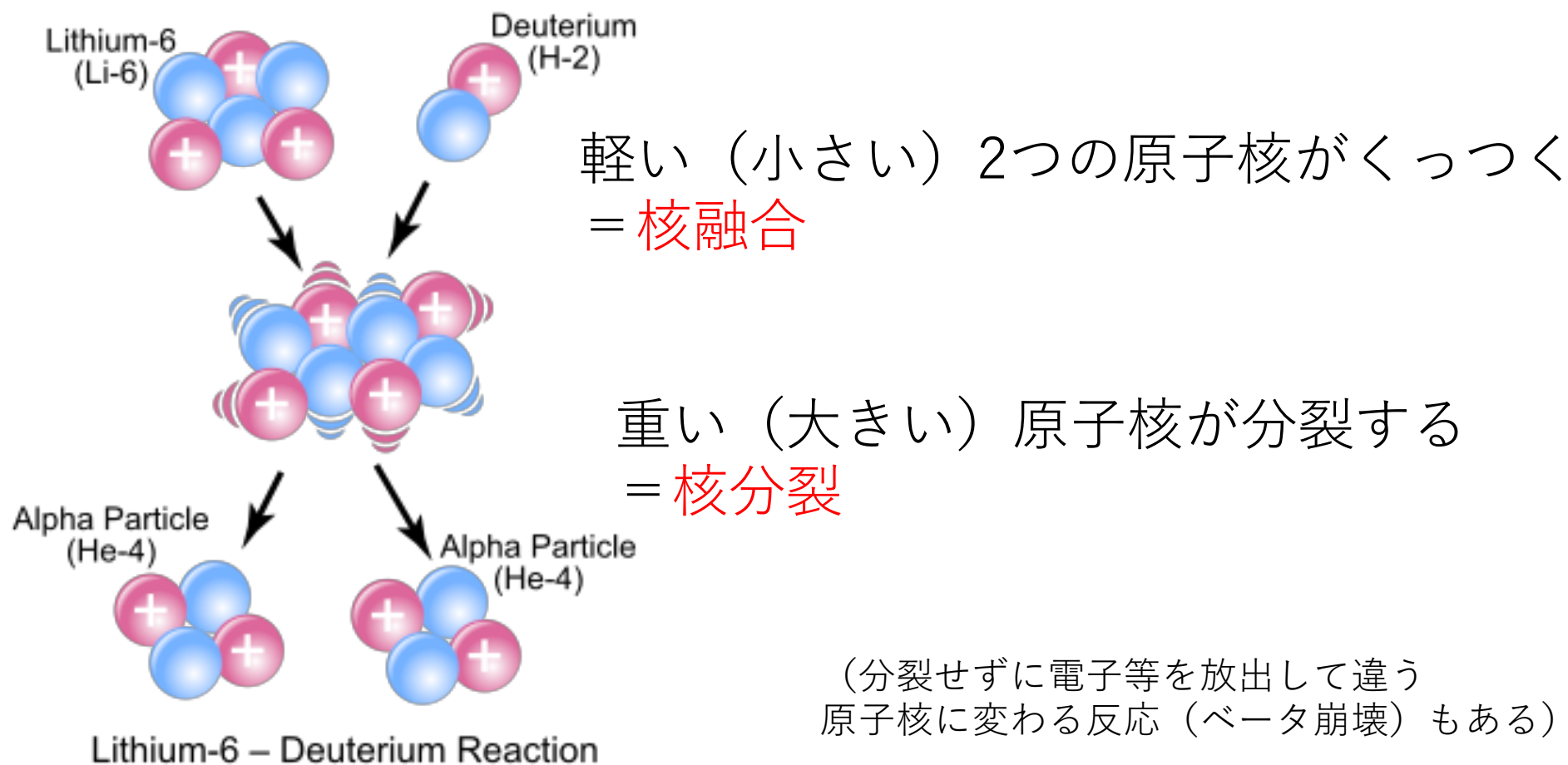
食塩（塩化ナトリウム）は
ナトリウムNaと塩素Clがず
らっと並んで結晶になってい
る



生命のDNAは、水素H、炭素C、酸素
O、窒素N、リンPがずらっと並んでで
きている

「化学反応」とは原子の組み合わせを変えること

核反応：原子核がくっついたり壊れたりすること



https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_reaction#/media/File:Li6-D_Reaction.svg

核融合や核分裂が起きると、莫大なエネルギーが主に放射線として放出される（エネルギー放出しないような核反応は特殊な場合を除いてそもそも起きない）

核反応が起きると放射線が出る

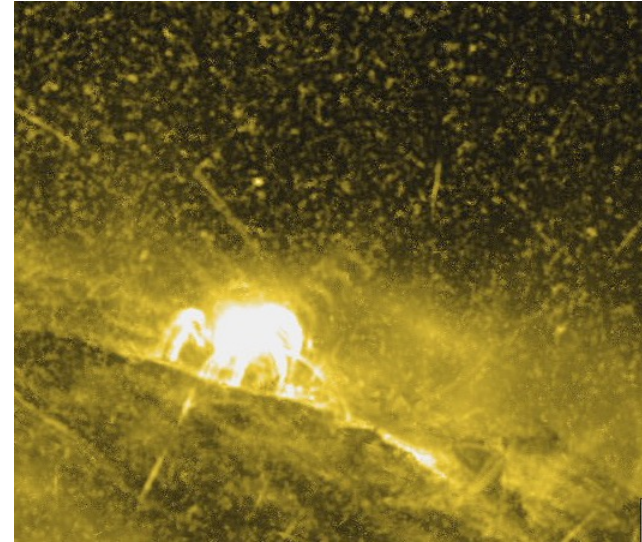
- 「不安定な」同位体は、核反応を起こして他の元素に変わる。
この時、余分なエネルギーを放射線として出す
- ヨウ素131 $\Rightarrow$ キセノン131 + ベータ線 + ガンマ線
- セシウム137 $\Rightarrow$ バリウム137 + ベータ線 + ガンマ線
- 同じヨウ素やセシウムでも、自然界に多く存在するヨウ素127やセシウム133は安定で、放射線を出さない

「エネルギーが高い」の意味（太陽を例に）

太陽からやってくる光

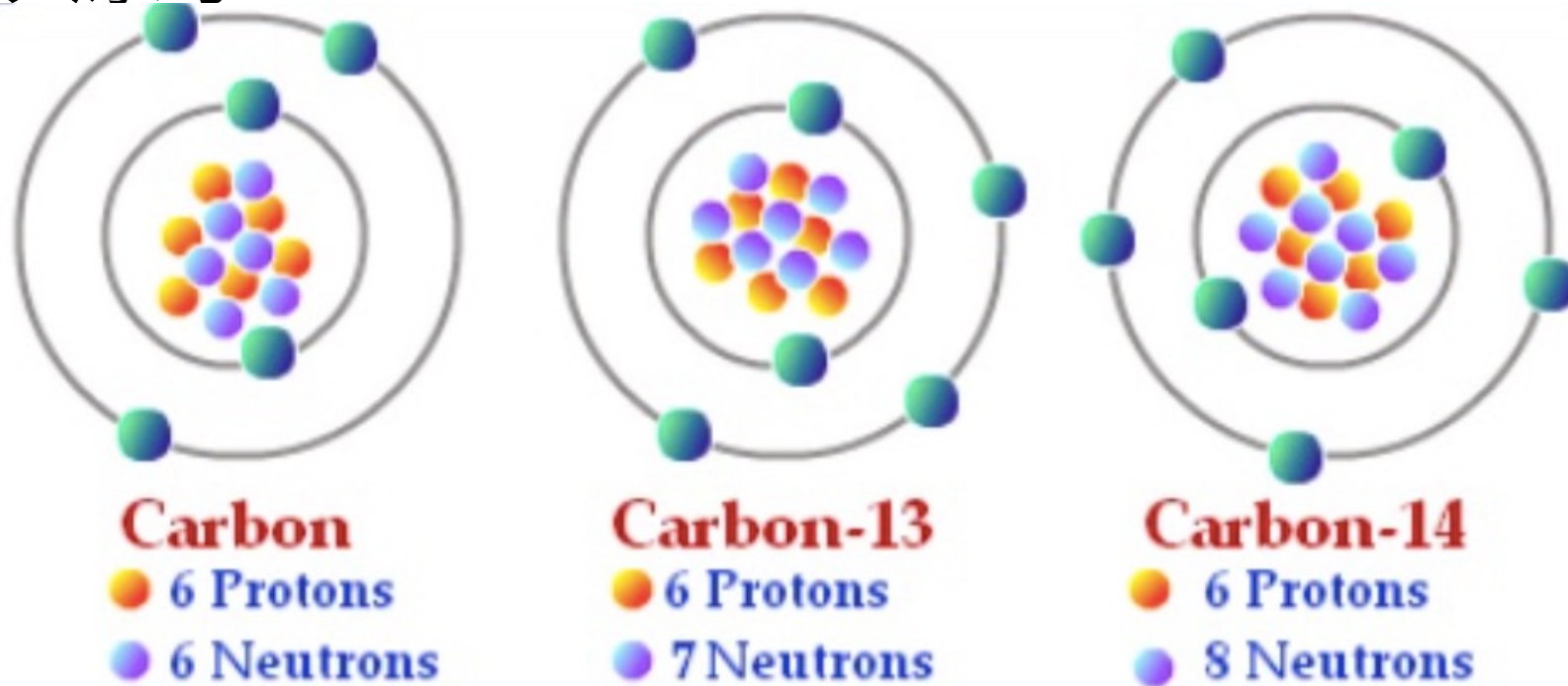


太陽からやってくる放射線



- 太陽からは光も放射線もやってくる
- 太陽光はピンポン球が1億個飛んでくるようなもの。一つ一つのエネルギーは大したことないが、数が多いので全体としてはエネルギー大。
- 放射線はゴルフボールが2,3個飛んでくるようなもの。全体としては大したことないが、一つ一つのエネルギーが大きいので当たるとダメージがある

同位体 (isotope) = 中性子の数が違う原子



Sofia Paz, <http://www.slideshare.net/sofipaz1/elements-and-atoms-32297973>

例えば炭素（陽子6つ）には以下の3つの同位体がある
陽子6個、中性子6個の炭素12
陽子6個、中性子7個の炭素13
陽子6個、中性子8個の炭素14

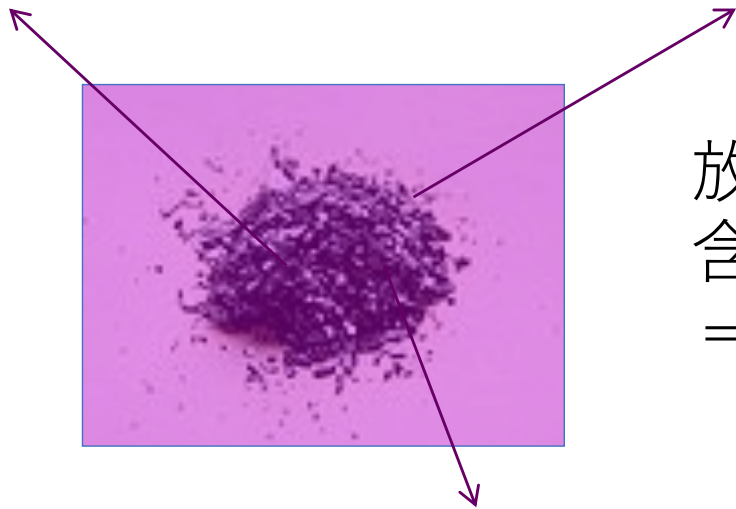
放射線と同位体

- 元素（原子）の種類は、陽子の数で決まり、中性子の数は関係ない。同位体の化学的性質は同じ。
- 同じ元素でも、放射線を出すかどうかは同位体によって異なる。
- ヨウ素はほとんどが陽子53個、中性子74個のヨウ素127だが、原子炉内でできるヨウ素131（陽子53個、中性子78個）はベータ崩壊により放射線を出す

放射能とは：放射線を出す能力のこと



普通のヨウ素（ほとんどヨウ素127）は
放射線をほとんど出さない
＝放射能が小さい



放射性同位体であるヨウ素131がたくさん
含まれると、放射線を出す
＝放射能が大きい

放射能の大きさ＝1秒間にどれくらい放射線を出しているか
=> これがベクレルという単位の意味

放射線と放射能の単位

- ベクレル(Bq) = 放射線をどれだけ出すか (放射能)
 - 1 秒間に1個放射線を出すのが 1 Bq
 - 例：1kgあたり100Bqの水が1kgあれば、1秒間に100個、10kgあれば、1秒間に1000個の放射線が出る
 - 放射線の種類、エネルギーには関係ない

放射線と放射能の単位

- グレイ (Gy) = 放射線のエネルギーを吸収した量
 - 1kgあたり1ジュール (~0.24カロリー) 吸収したら、1Gy
 - 放射線の種類には関係ない
 - (ニュース等にはあまり登場しない)
- シーベルト (Sv) = 吸収 (被ばく) した放射線の人体への影響を示す量
 - 大雑把には、グレイと同じ意味
 - 「人体への影響」を示すため、吸収したエネルギーが一緒でも、放射線の種類や臓器ごとに違う値になる
 - 例えばガンマ線、ベータ線は1Gy=1Sv、アルファ線は1Gy=20Sv

よく使われる単位は $\mu\text{Sv/h}$ (マイクロシーベルト パワー)

=> 1時間その場所にいると、何 μSv 被爆する、という放射能汚染の程度を表す量

例えば、10 $\mu\text{Sv/h}$ の場所は、1日いると、 $10 \times 24 = 240 \mu\text{Sv}$ の被爆。

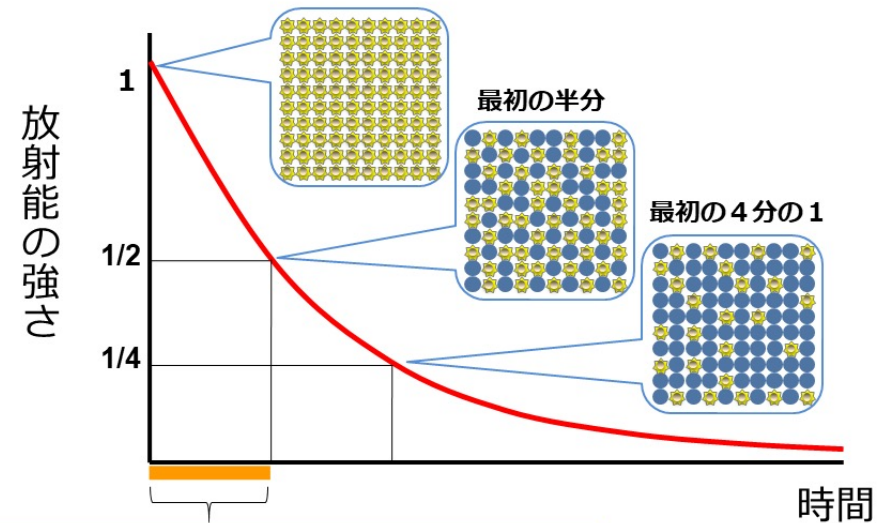
100日いると、 $10 \times 24 \times 100 = 24000 \mu\text{Sv} = 24 \text{ mSv}$

ただし、 $1\text{Sv} = 1,000 \text{ mSv} = 1,000,000 \mu\text{Sv}$

半減期とは？

- 放射能が半分になるのにかかる時間のこと
- 半減期が8日のヨウ素131なら、8日経つと半分、16日経つと1/4になる
- 半減期が30年のセシウム137は、30年でようやく半分になる

放射性物質 半減期と放射能の減衰



放射性物質の量が半分になる時間
= (物理学的) 半減期

環境省のHP より

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r1kisoshiryo/r1kiso-01-02-07.html>

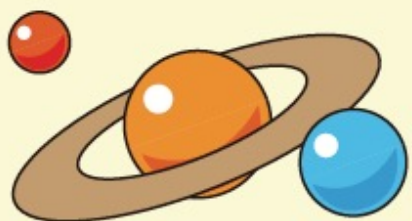
- 「半減期が長い = なかなか放射線を出さない」なので、長ければ怖いというわけでは必ずしもない。
- 例えばインジウム115の半減期は数百兆年。つまり、事実上放射線はほとんど出さない

外部被ばくと内部被ばく

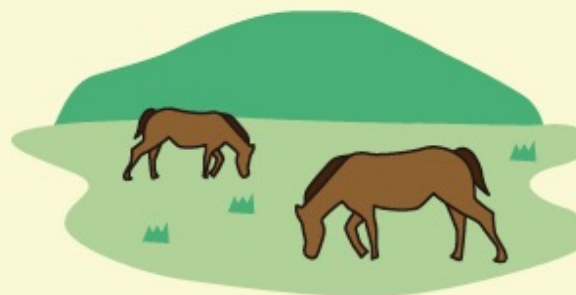
- 外部被ばく = 放射線を浴びること
- 内部被ばく = 放射性物質（放射能を持つ物質）を身体に取り込むこと
- 内部被ばくの場合、放射性物質の種類により、身体の特定の場所に蓄積することがあり、その場合危険度が高い
 - 例：ヨウ素が甲状腺にたまる

自然界にも放射線はある

ラドン、ウラン、カリウム40など、自然界に存在する放射性同位体や、宇宙から来る放射線（宇宙線）からの被ばくがある



宇宙から0.4 mSv



大地から0.5 mSv



ラドンから1.2 mSv



食物から0.3 mSv

実は人間の身体も放射線を出している（体内のカリウム40から）。
体重60kgの人で、7000ベクレルくらい。

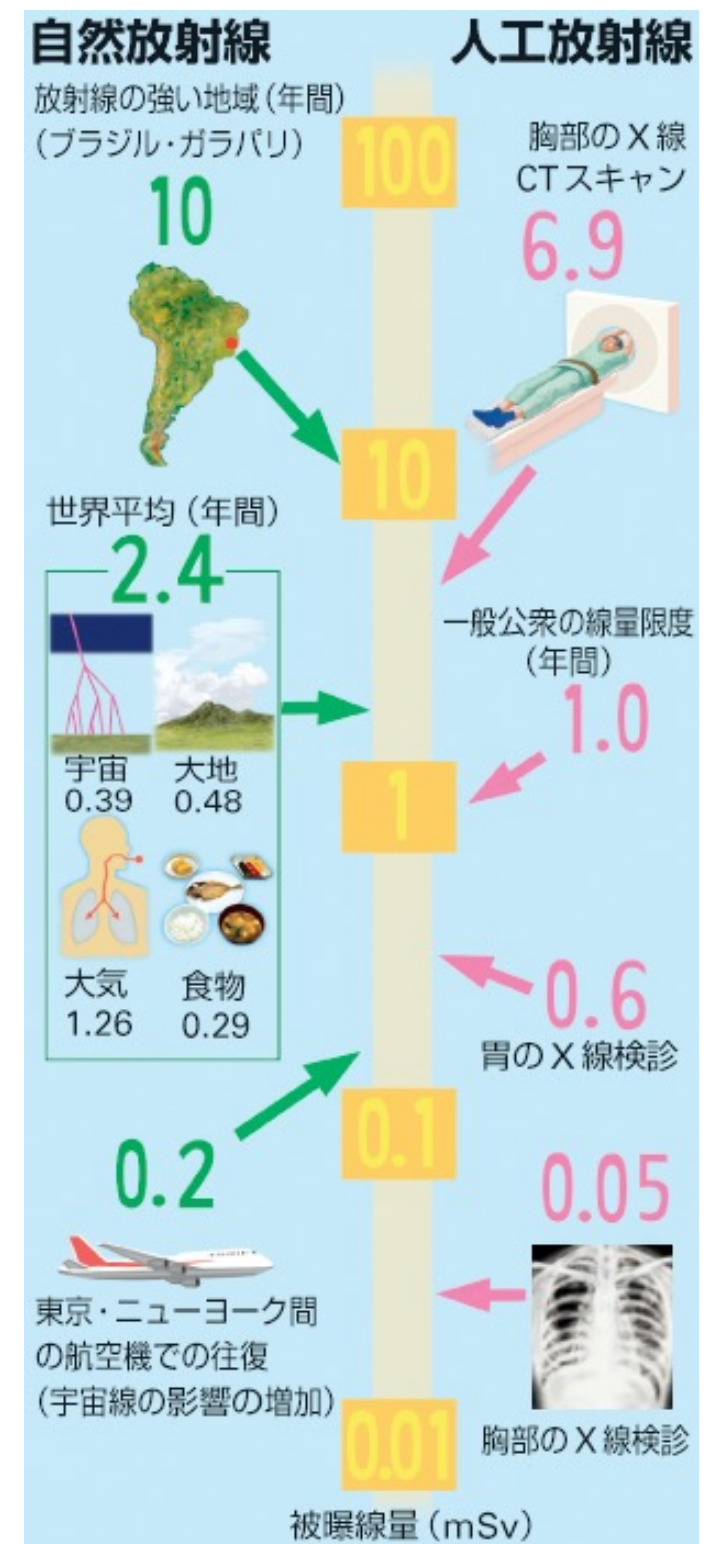
放射線医学総合研究所のHPより

日常生活での被ばく

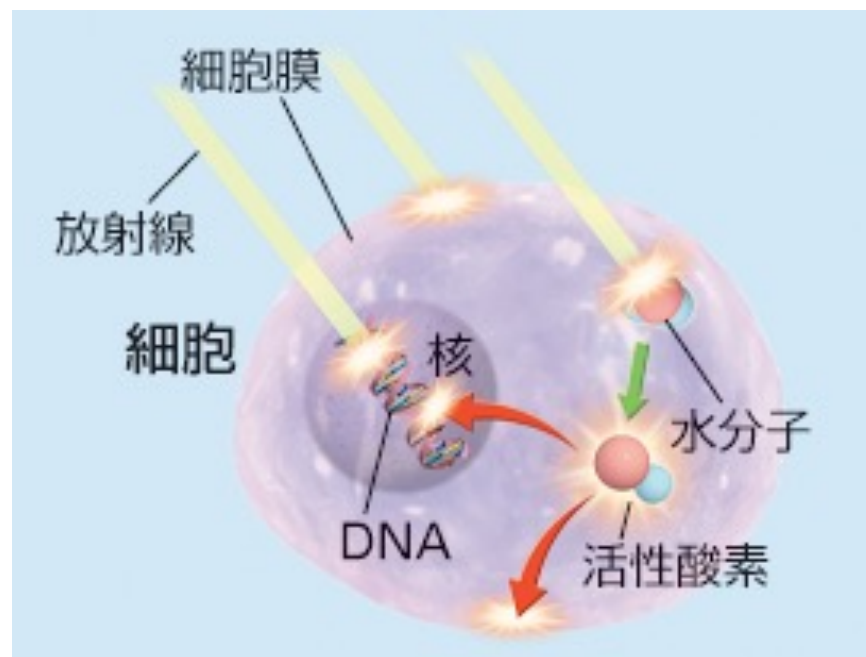
- 胸部レントゲン撮影やCTスキャン
- ラドン温泉や飛行機（上空）など自然放射線が多い場所
- 少量の被ばくは常にしているので、そもそも「被ばくゼロ」にするのは無理（被ばくしないにこしたことはない）

図：Newton 2008年10月号より

<http://www.newtonpress.co.jp/newton/radiation/html/radiation.html>



なぜ放射線は身体に悪いのか？



答え：細胞のDNAを傷つけるから

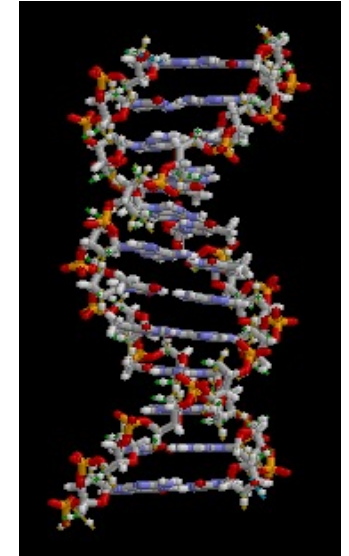
放射線が直接DNAなどを傷つける場合と、一旦水を電離させることで傷つける場合がある

図：Newton 2008年10月号より

<http://www.newtonpress.co.jp/newton/radiation/html/radiation.html>

DNAが傷つくとうなる？

- DNAは、遺伝情報を持ち、「細胞が何をするかが書かれたプログラム」でもある。



- プログラムが壊されるとどうなる？

1. 細胞に備わる修復機能が働いて治る

- この場合なんの影響もない

2. 細胞が死んでしまう

- 大量の被ばくにより一度に大量に起きると大変。少しずつなら問題ない

3. プログラムが書き換わったまま残る。

- これが蓄積し、本来と違う、悪い働きをする細胞に変わって増殖するのが「がん」

放射線の影響には2種類ある

- 確定的影響

- 一定量($\sim 0.5\text{Sv}$)以上を短期間に被ばくすると、確実に症状がでる

- 確率的影響

- 比較的少ない被ばく($\sim 0.1\text{Sv}$)でも、将来ガンになる可能性が上がる

生物は放射線によるDNA損傷を修復する機能を持っている。
少量の被ばくで影響が大きく出ないのはそのため。だがどれくらい少なければ絶対影響がない、とはっきり言うことはできない。

確定的影響

表. X線またはガンマ線を一時に全身に受けた時の症状.

被ばく線量 (シーベルト)	早期影響の症状	備 考
0.25	ほとんど臨床症状なし	放射線をあびた結果、二日酔いに似た症状が現われるのを放射線宿酔という
0.5	リンパ球一時的減少	
1.0	吐き気、嘔吐、全身倦怠 リンパ球著しく減少	
1.5	放射線宿酔 50 %	
2.0	長期白血球減少	
4.0	死亡 30 日間に 50 % *	この線量を 50 % 致死線量という
6.0	死亡 14 日間に 90 % *	
7.0	死亡 100 % *	

* 治療しない場合

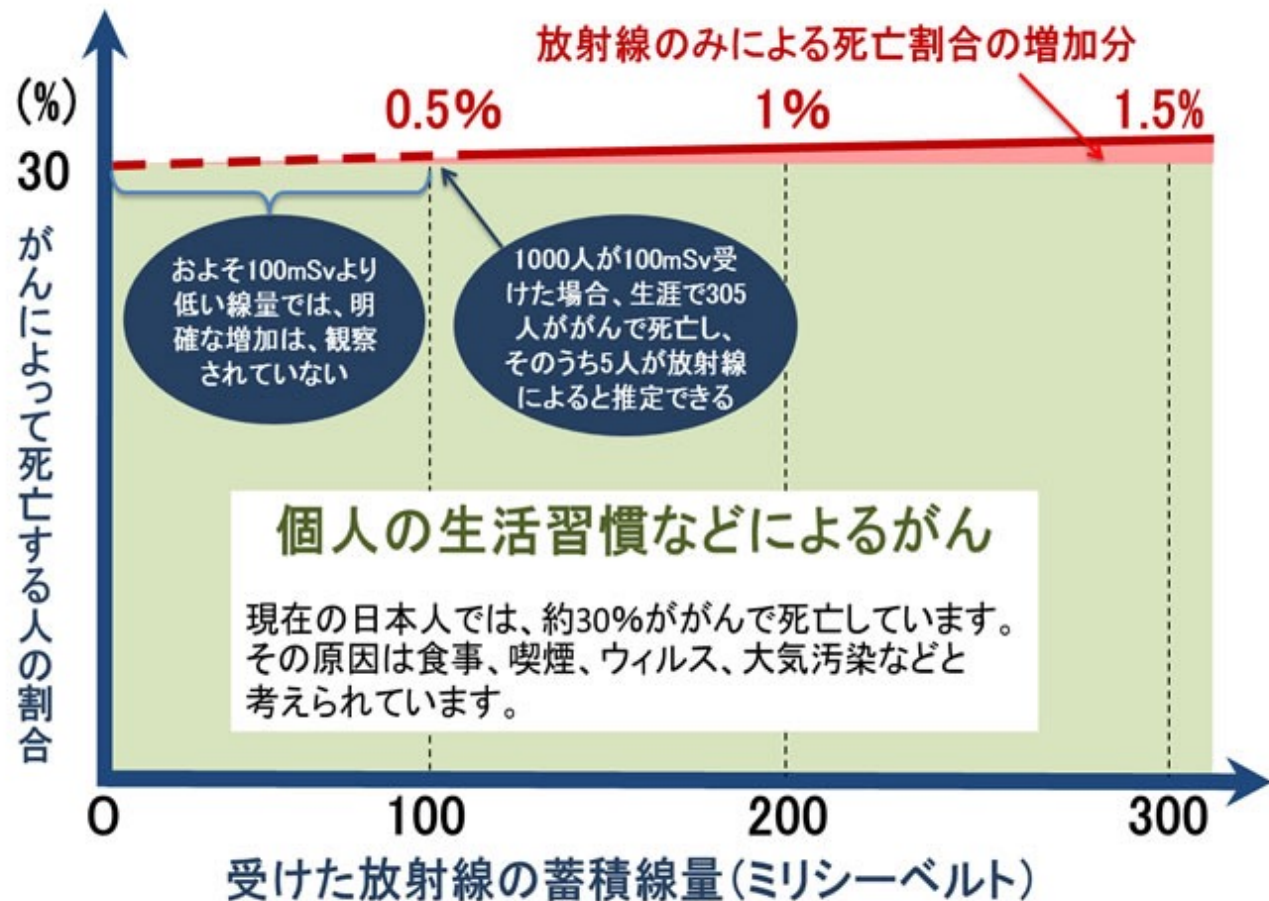
出典:「放射能と人体」(研成社)

確率的影響

100mSvごとにガンで死亡する確率が0.5%増える

100mSv以下の被ばくの影響はよく分かっていない
(ないとは言いきれないが、あっても小さいため検出が困難)

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ガン死亡

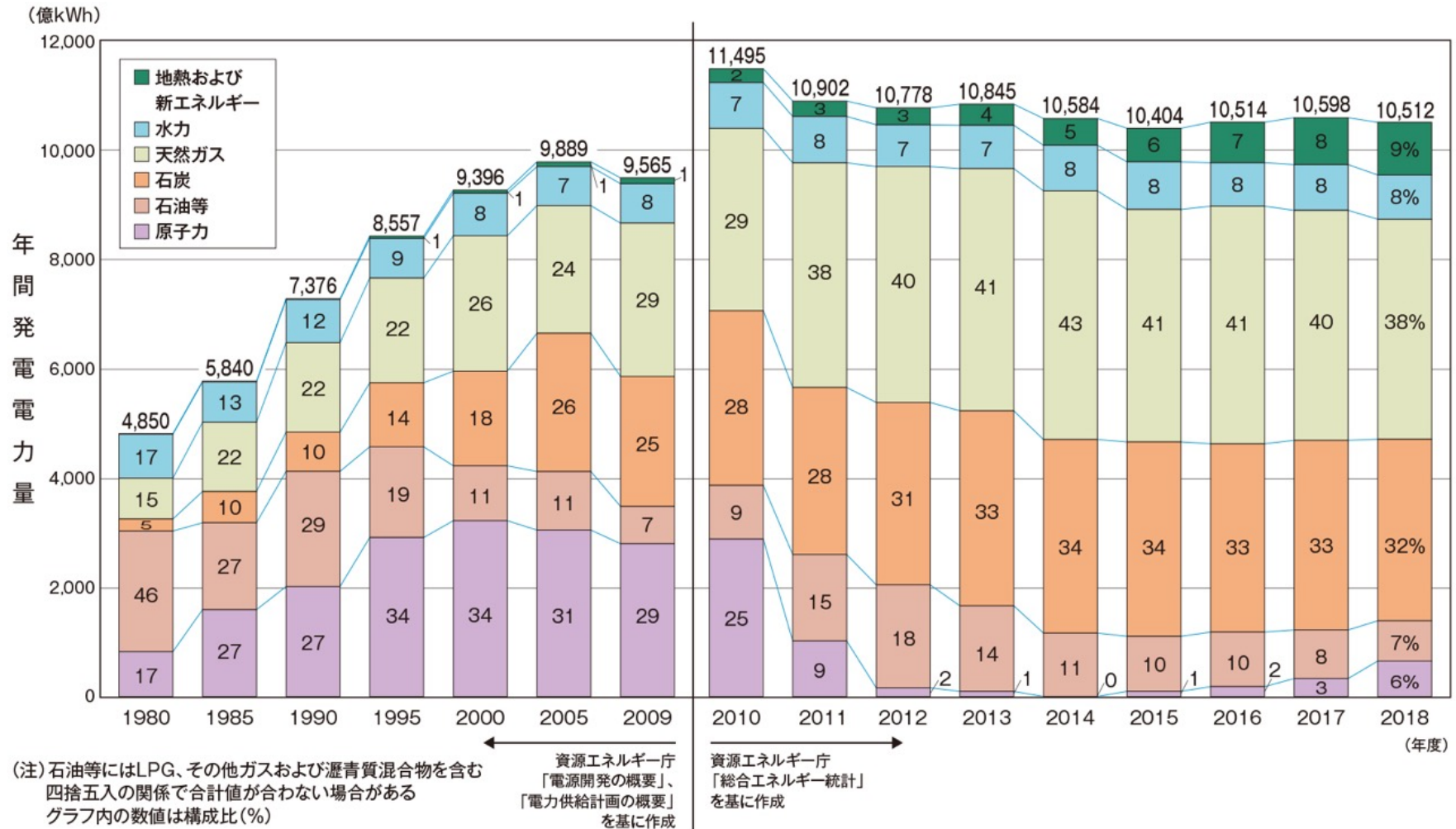


放射線医学総合研究所のHPより

「確率的リスク」に向き合うのは難しい

- もともと日本人は3割がガンで死ぬ。10000人の人がいれば約3000人がガンで死ぬだろう。
- もしその10000人が100mSv被曝したとする。するとガンで死亡する人の割合が0.5%=50人増える。
- これは全体から見れば「わずかな」確率の上昇
 - 例えば、「日本にどれだけ医師と病院が必要か？」という検討においては無視できる
- だが、一人一人にとってみれば「ガンになるかならないか」
 - 「確率的リスク」は全体が負う。だがその「結果」は一人に降りかかる。

電源別発電電力量の推移



1-2-7

出典：資源エネルギー庁「エネルギー白書2020」より作成

原子力・エネルギー図面集