

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

公開：2012年3月10日、最終更新日：2012年3月21日

これ（って、次ページ以降のこと）は、ぼくが2012年3月10日に「つながろう柏！明るい未来プロジェクト」のお招きで柏でおこなった講演会でのスライドに手を加えて（もともとはKeynoteの（←ぼくは「パワーなんとか」は使ったことない！）プレゼンテーションファイルだが）pdf化したものである。なお17ページの記述は少し不正確だったので、講演後、正しいバージョンを18ページに付け加えた（2012/3/14）。

講演の録画とあわせてご利用いただくことをおすすめする。録画等へのリンクは、以下のページにある。

<http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/housha/kashiwa20120310.html>

また、関連するテーマのより詳細な解説「放射線と原子力発電所事故についてのできるだけ短くてわかりやすく正確な解説」（URLは、<http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/housha/> だが、Googleで「放射線 田崎晴明」とでも検索すれば上位にでる）をwebで公開しています。そちらも是非ご覧ください。

このスライドは田崎晴明の著作物だが、プレゼンテーションや勉強会などで自由に利用していただいてもかまわない。また、内容の全部、一部を別のプレゼンテーション、資料、著作等で再利用するのも自由である。

ただし、常田麻里子さんによる「リカ先生」のイラストはプロの著作物なので再利用は避けていただきたい。東京電力提供の写真は私が限定的な許可を受けて使っているので、再利用する場合には東京電力から許可を受ける必要がある。その他、クレジットを明記している写真等については再利用の際にもクレジットをそのまま残さなくてはならない。ぼくが描いた図やイラストは、もちろん、無条件に再利用していただいてもかまわない。

なお、いつでもスライドの最新版を配布したいので、ファイルの再配布は禁止する。必要な場合は、上記のURLを参照していただきたい。そこに、いつでも最新版を置くようにする。

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

2012年3月10日

「つながろう柏！明るい未来プロジェクト」講演会

この講演のタイトルは、「茨城大学有志の会」 (<https://sites.google.com/site/yakkaihosyasen/>) による「やっかいな放射線と向き合う」にインスパイア (?) されました。「正しくこわがる」のような意味の分からないキャッチフレーズよりもずっと明快だと考えています。「茨城大学有志の会」は講習会の依頼も受け付けているとのことなので、ご興味のある方はぜひどうぞ。

基礎編 1

放射線の基本

これだけ
は知ってお
こう！

放射線の基本

放射性物質からは目に見えない放射線が出てくる

放射性物質を（煮たり、焼いたり、薬をかけたいたりして）人工的に分解することはできない

ベクレル (Bq) は放射性物質の量を表わす

シーベルト (Sv) は放射線が体に与えた（かもしれない）ダメージの総量を表わす



原子と分子

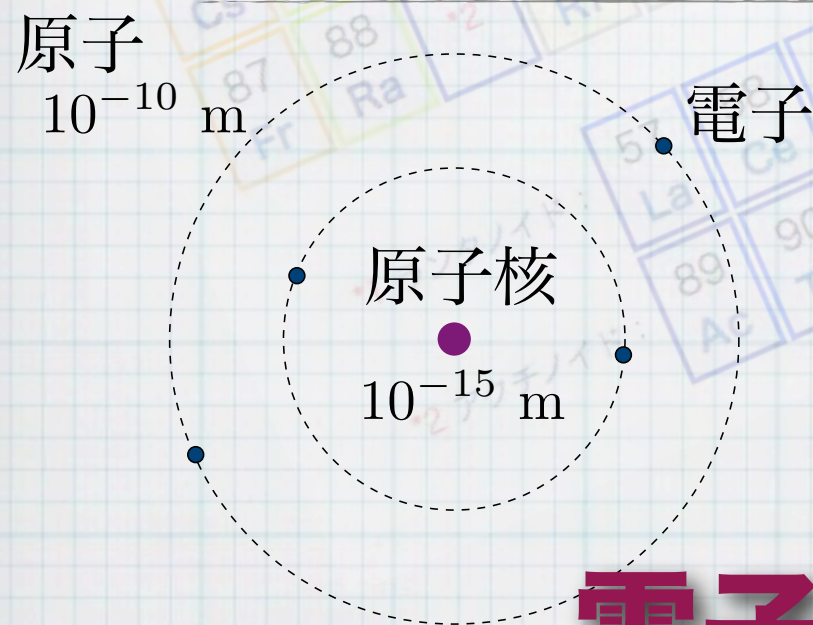
原子とその「中身」



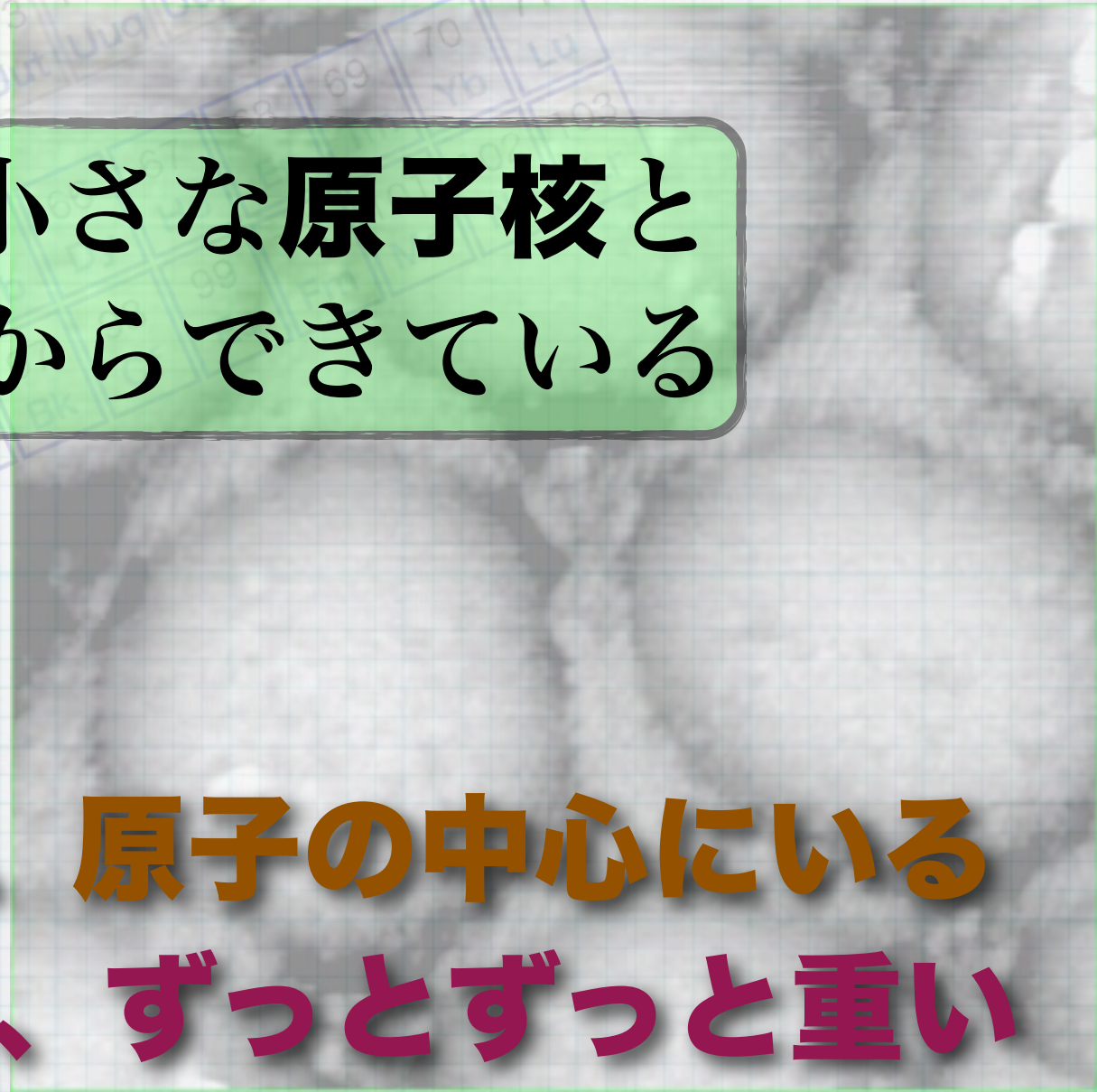
すべての物質は小さな**原子**からできている

● 水素 H, 酸素 O, セシウム Cs, ヨウ素 I, ウラン U, ...

原子は中心にある**すごく小さな原子核**と
そのまわりをまわる**電子**からできている



原子核は、原子の中心にいる
電子に比べると、ずっとずっと重い



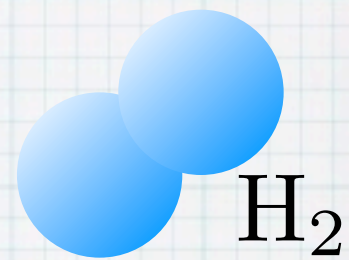
原子、分子、化学反応

化学結合 原子がくっついて分子になる

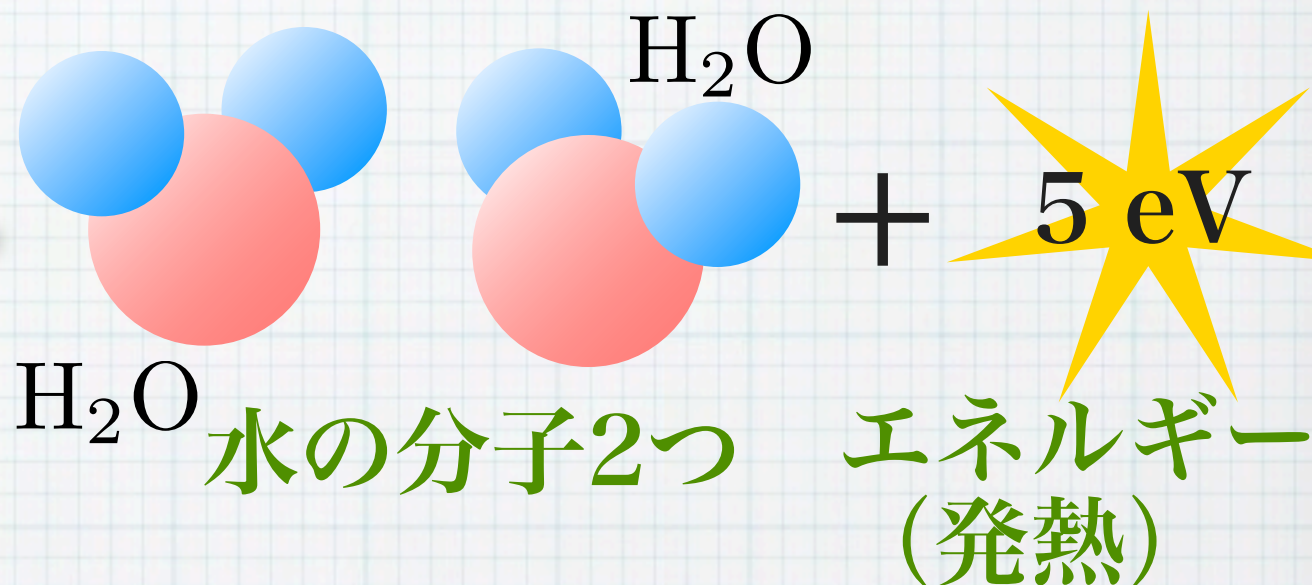
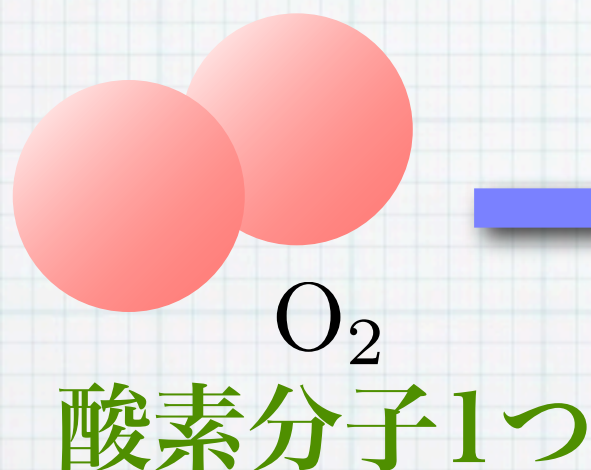
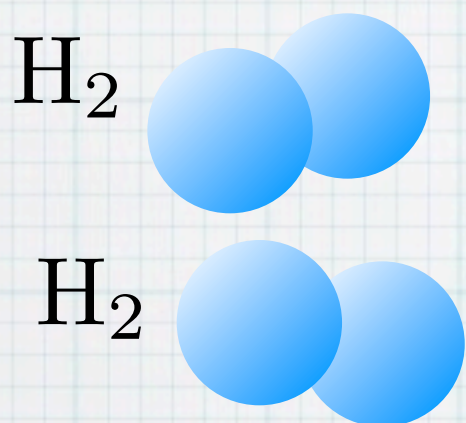
水素原子



水素分子



化学反応 いくつかの分子が原子を組み替える



水素分子2つ

エネルギー (発熱)

化学結合や化学反応は電子の移動でおきる

このとき、原子核はまったく変化しない

eV (エレクトロン・ボルト) は小さいエネルギーの単位 $1 \text{ eV} \simeq 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$



原子、分子の関わる現象

原子や分子の結びつき・組み替え、電子の移動だけで、私たちの身の回りのほとんどの現象が生じている

原子核は
びくともしない



A thermite reaction using iron(III) by Nikthestonea

原子核と放射線

原子核の構造

原子核にも構造がある！

原子核は陽子と中性子が強い核力で結びつけられてできている

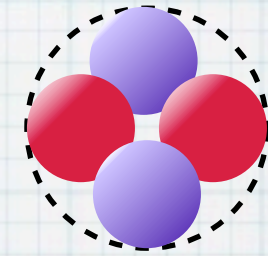
中性子：電荷はなし

中性子 ●

${}^4_2\text{He}$ 原子核

陽子：電荷は正

陽子 ●



中性子と陽子の質量はほぼ等しい

今後の被ばくの
主役

原子核の種類を表わし方

質量数



原子番号

← 元素記号

セシウム 137

質量数

陽子と中性子の個数の合計

原子番号

陽子の個数 (電子の個数と同じ)

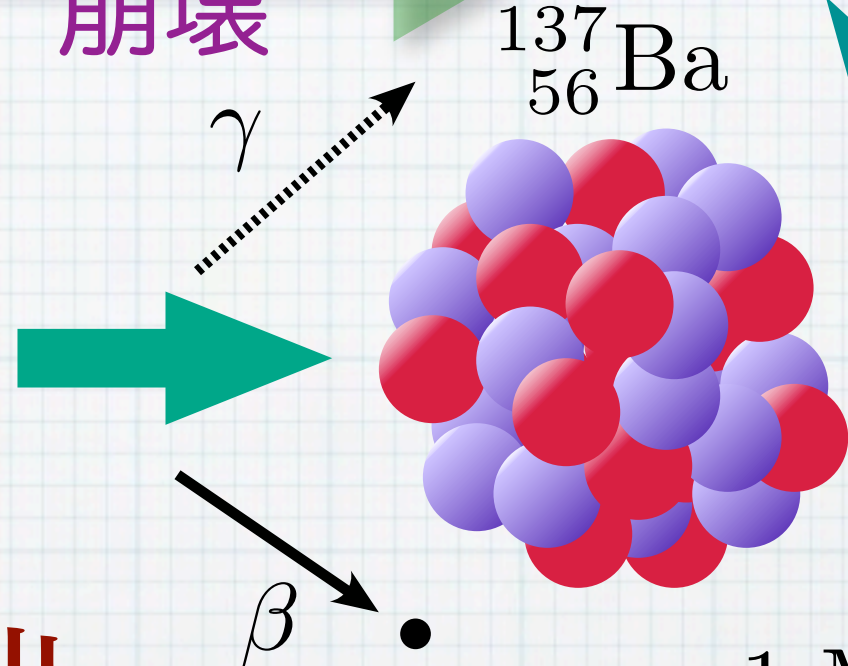
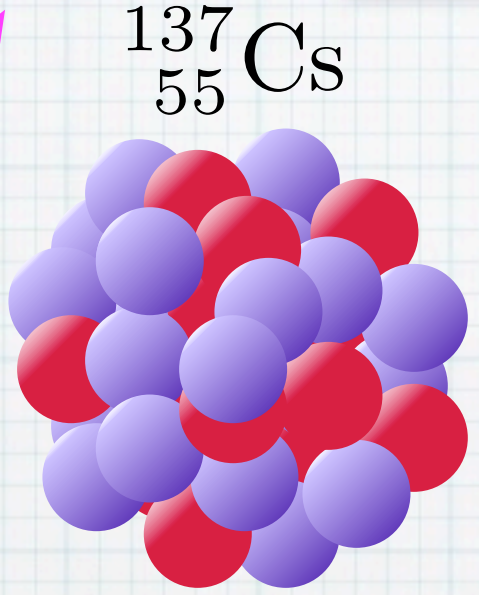


原子核の崩壊

びくともしなかった原子核も変化する！！

不安定な原子核 $^{137}_{55}\text{Cs}$ → 自然に崩壊 → 安定な原子核 $^{137}_{56}\text{Ba}$

陽子と中性子の個数がバランスしていない



陽子と中性子の個数がうまくバランス

($^{133}_{55}\text{Cs}$ は安定)

崩壊の際に、放射線を放出

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

電子（ベータ線） 約 0.2 MeV ≒ 200000 eV

光子（ガンマ線） 約 0.6 MeV ≒ 600000 eV

原子核反応に伴うエネルギーは MeV 程度
化学反応に比べると桁違いに大きい！！

放射性物質

不安定な原子核 ($^{137}_{55}\text{Cs}$, $^{131}_{53}\text{I}$ など) を含む物質

不安定な原子核は一定の割合で崩壊し、最終的には安定な (非放射性的の) 原子核に

崩壊の際に高エネルギーの粒子が飛び出す

放射線

不安定な原子核の個数 (放射性物質の量) は、「半減期」ごとに半分に減る

ヨウ素 131

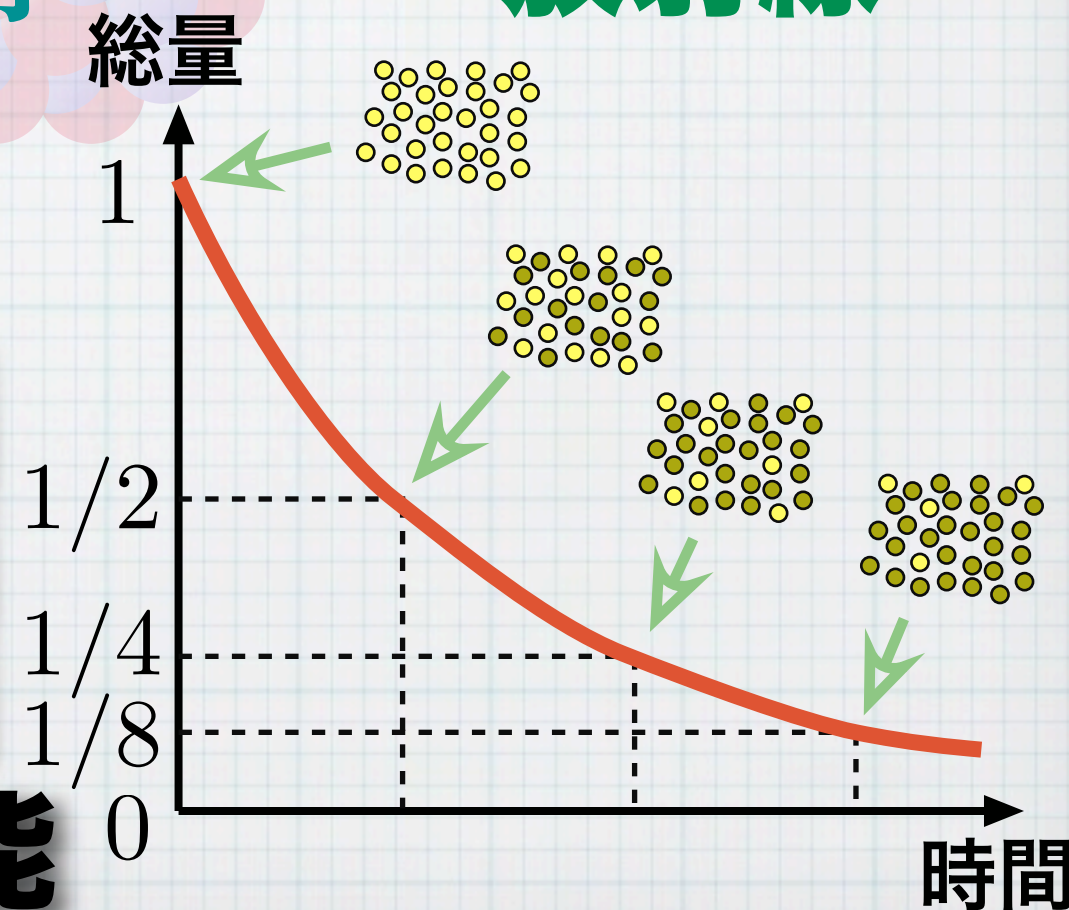
約 8 日

セシウム 134

約 2 年

セシウム 137

約 30 年



人工的に分解するのは不可能

放射線と被ばく

放射線 原子核が変化するときに出される高エネルギーの粒子の流れ（見えないし、感じない）

放射線の種類	粒子	遮蔽	空気中の飛距離
アルファ線	He 原子核	紙一枚	数 cm
ベータ線	電子	アルミ板	数十 cm
ガンマ線	光子	厚い鉛	数十 m

被ばく（被曝） 人が放射線を浴びること

外部被ばく 外にある放射性物質から出る放射線を浴びる

内部被ばく 体内に入った放射性物質から出る放射線を浴びる

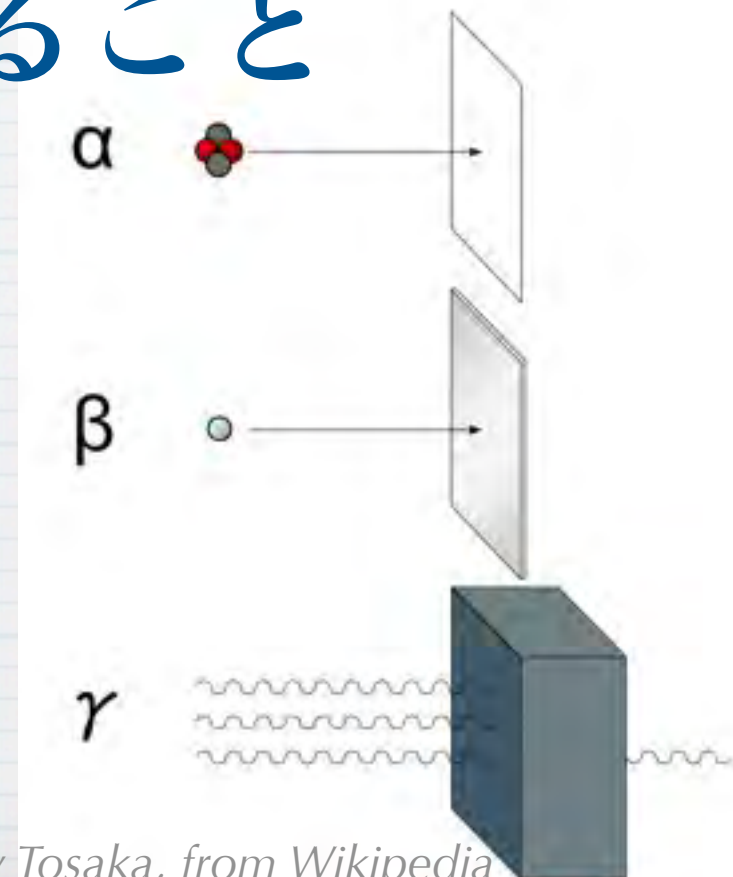


Figure by Tosaka, from Wikipedia

放射線に「常識」は通用しない

生命活動の基盤は化学反応

人類は太古から化学反応を利用し、
「てなづけて」きた

われわれの「常識」は化学反応
から学んだ！

原子核反応に伴うエネルギーは化学反応のエネルギーとは桁が違う（百万倍、千万倍）

放射性物質の崩壊を人工的に制御するのは、
ほぼ不可能（冷やしても、暖めても、薬品をかけても、微生物を使っても、ダメ）

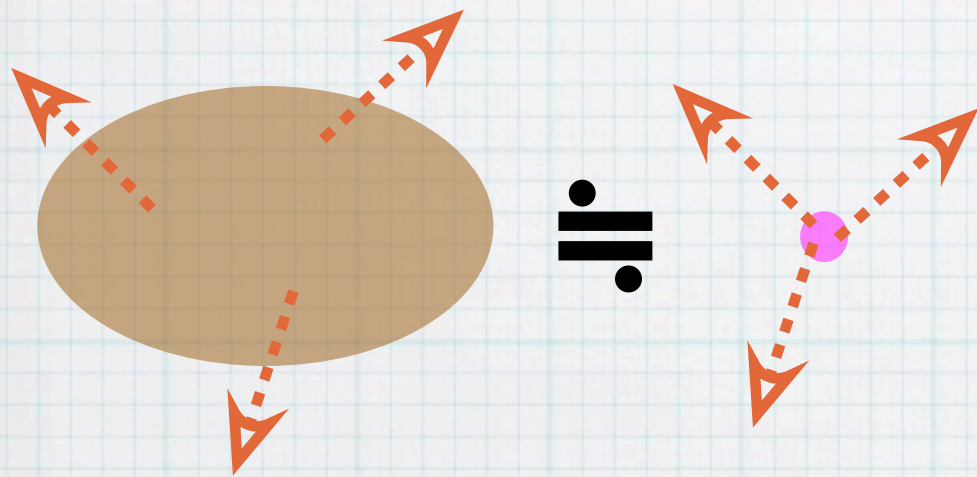
ベクレルと
シーベルト

ベクレルって何？

ベクレル (Bq) は「放射性物質の量」の単位
重さや体積ではなく「放射能」で量を測る

1 Bq の放射性物質

平均で 1 秒に 1 回
不安定な原子核が崩壊



Bq で測った量が等しければ、出てくる放射線はだいたい同程度

4000 Bq のカリウム 40 は 0.015 g

4000 Bq のセシウム 137 は
 $1.2 \times 10^{-9} \text{ g} = 0.00000000012 \text{ g}$

ベクレルに関連する単位

地面の汚染

Bq/m² ベクレル毎平米

1 平方メートルの地面に何ベクレルの放射性物質がくっついているか

現在、広い範囲の土地に福島第一原子直発電所からの放射性セシウムが付着している

食品や土壌の汚染

Bq/kg ベクレル毎キログラム

1 キログラムの食品、土壌、水などの中に何ベクレルの放射性物質が入っているか

注意 これが講演会で使ったスライドですが、ここでの用語や概念の使い方は少し不正確だということを（ご指摘を受けて）認識しました。録画にあわせてこのページも残しますが、次のページにより正確にしたスライドを掲載します。申し訳ありませんでした。（2012/3/14）

シーベルトって何？

シーベルト (Sv) は被ばくによって体が受けた（かもしれない）ダメージを表わす単位

線量当量（外部被ばく）



ガンマ線、ベータ線の被ばくの場合、体重 1 kg あたりが吸収したエネルギー（エネルギーの単位は J）

線量当量の単位は $Sv = Gy$ (グレイ) = J/kg

実効線量（内部被ばく） 詳しくは後で

内部被ばくの複雑な影響をシーベルトに換算

全被ばく量 (単位は Sv) = **線量当量** + **実効線量**

シーベルトって何？

シーベルト (Sv) は**実効線量**の単位

実効線量 被ばくによって体が受けた (かもしれない) ダメージの目安

こちらは後で

**実効線量 = 外部被ばくの実効線量
+ 内部被ばくの実効線量**



ガンマ線の外部被ばくの場合、**実効線量**は体重 1 kg あたりが吸収したエネルギー (単位は J)
($Sv = J/kg$)

正確には、実効線量には各組織の吸収線量の相違、組織の敏感さも取り入れられている
実用的には、線量計で測定できる周辺線量当量あるいは個人線量当量を用いて外部被ばくの実効線量を推定する

普通に使う単位



よく見る $\mu\text{Sv/h}$
はあとで!



普通は、1シーベルトも被ばく
することはあり得ない
もっと小さな単位を使う

ミリシーベルト (mSv)

$$1 \text{ mSv} = 0.001 \text{ Sv}, 1 \text{ Sv} = 1000 \text{ mSv}$$

マイクロシーベルト (μSv)

$$1 \mu\text{Sv} = 0.001 \text{ mSv} = 0.000001 \text{ Sv}$$

$$1 \text{ mSv} = 1000 \mu\text{Sv},$$

$$1 \text{ Sv} = 1000000 \mu\text{Sv}$$

通常はどれくらい被ばくするか？

原子力とは関係なく、人は日頃から放射線を被ばくしている

地面・宇宙からの放射線

ラドンの吸入、カリウムの摂取…

世界平均は 1 年間に約 2.4 mSv

地域によって被ばく量はかなり違う
年間 10 mSv 近い高線量地域も

日本平均は年間約 1.4 mSv

1 年間に 1~2 mSv は「自然な状態での被ばく量のばらつきの程度」
被ばく量の一つの目安になる

これだけ
は知ってお
こう！

放射線の基本

放射性物質からは目に見えない放射線が出てくる

放射性物質を（煮たり、焼いたり、薬をかけたいたりして）人工的に分解することはできない

ベクレル (Bq) は放射性物質の量を表わす

シーベルト (Sv) は放射線が体に与えた（かもしれない）ダメージの総量を表わす



基礎編 2

被ばくの

健康への影響

これだけ
は知ってお
こう！

被ばくの

健康への影響

被ばくすると、ガンになる確率
(リスク) が少し増える

「100 mSv の被ばくで、生涯のガ
ン死亡リスクが 0.5 % 上乗せ」とい
う「公式の考え」が一つの目安

子供のときに被ばくすると、リスクは大きく
なる (大人の 2, 3 倍?)



外部被ばくの 健康への影響

放射線の外部被ばくの影響

大量に一時的に被ばく → すぐに悪影響

0.25 Sv 白血球の減少、

1 Sv 吐き気、10 Sv 多くの人死亡

ゆるやかに被ばく → ずっと後になって悪影響
(ガンの増加など)

ガン以外の病気のことは、
あまりよくわかっていない

放射線からのエネルギーの総量は小さい！

1 Sv (体重 1 kg あたり 1 J)

10 cm の高さから飛び降りた程度のエネルギー



放射線に「常識」は通用しない！

放射線が体に影響を与える仕組み

個々の放射線のエネルギーは高い！

DNA = 細胞内にある生命の「設計図」
遺伝情報だけでなく日々の生命活動に必要な情報

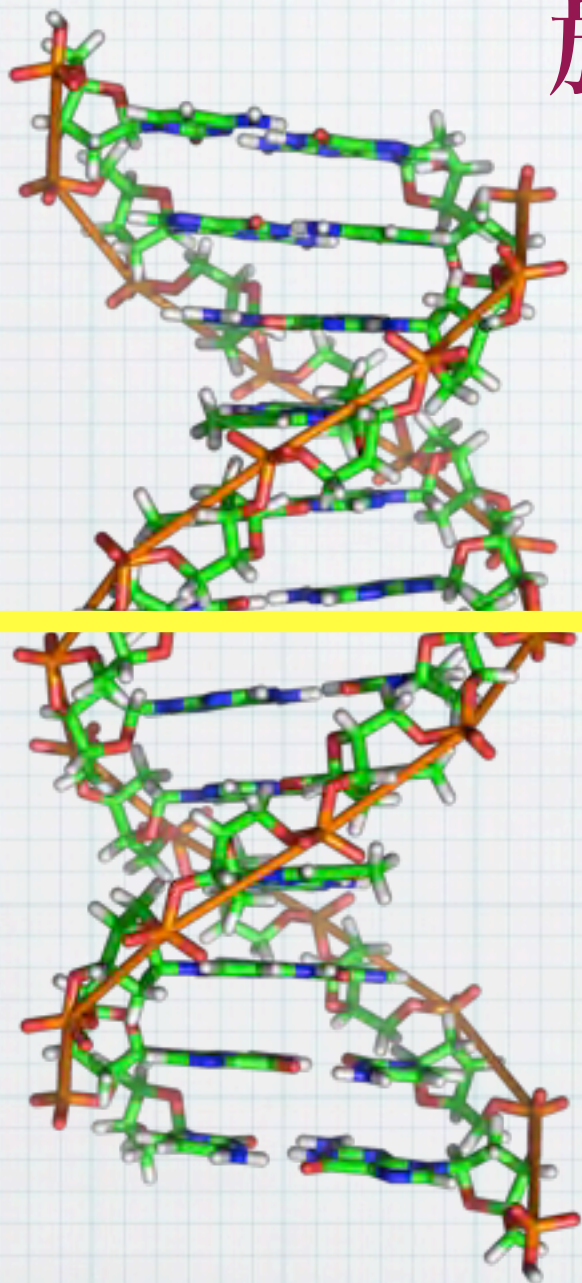
放射線によって DNA が切断

傷ついた DNA は自動的に修復

修復しきれない場合は細胞死

大量の細胞死は個体への
短期的なダメージ

DNA が修復できず、細胞死も
しないと、将来のガンの「種」



被ばくでガンはどれだけ増えるか？

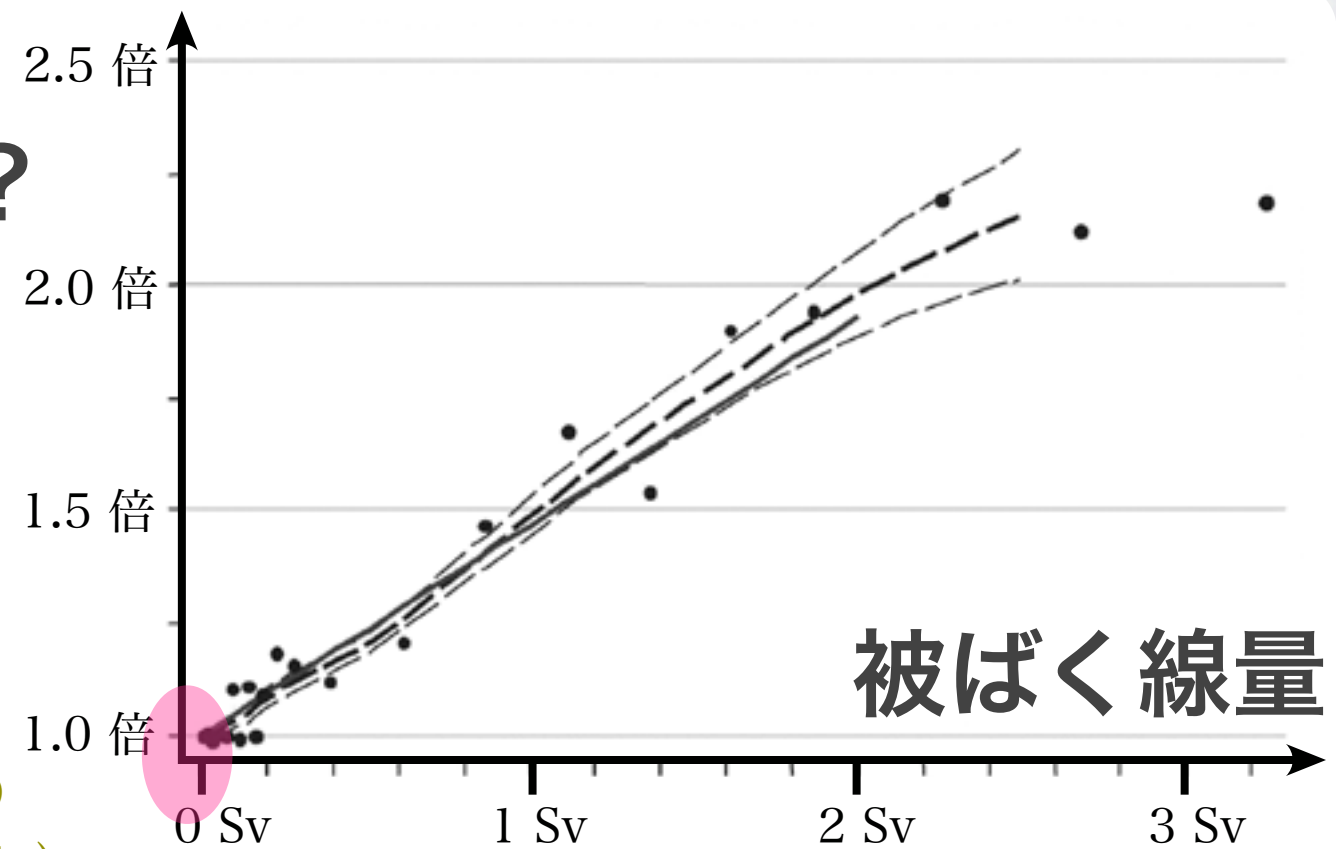
理論や動物実験だけから結論を出すことは（まだ）できない
実際に被ばくした人の健康状態についてのデータが必要

被ばくによって生涯でガンにかかる割合が何倍になったか？

LSS：広島・長崎 12万人の被爆者の追跡調査（ただし、原爆投下から5年後に開始）

放射線影響研究所

「原爆被爆者における固形ガンリスク」より
横軸は正確には「重み付けした結腸線量 (Gy)」



ガンにかかる割合の「上乘せ」は被ばく量にほぼ比例

100 mSv = 0.1 Sv 以下の「低線量被ばく」の影響があるかどうかは（この調査では）よくわからない

(10 mSv 程度の被ばくでの影響の報告もある)

ガンリスクについての「公式の考え」

広島・長崎の調査などを参照した結果

ICRP（国際放射線防護委員会）の考え方

1 Sv の緩慢な被ばくで、生涯のあいだにガンで死亡する確率（リスク）が 5% だけ上乗せ

「上乗せ」は被ばく量に比例

仮定：被ばくがないときの生涯ガン死亡率 25 %

1 Sv	$25 + 5 = 30 \%$
500 mSv	$25 + 2.5 = 27.5 \%$
100 mSv	$25 + 0.5 = 25.5 \%$

この値も不確定

もちろん、批判もある

被ばくのリスクについて考えるための「目安」

内部被ばくについて の考え方

実効線量とは？

内部被ばく（体内に入った放射性物質による被ばく）の複雑な体への影響を、シーベルトに換算し、**実効線量**という一つの量で表わす（そして、外部被ばくの線量当量と合計して、全被ばく量と考える）

例

10万 Bq のセシウム 137
(経口摂取) による内部被ばく

≡

1.3 mSv の
外部被ばく

健康影響

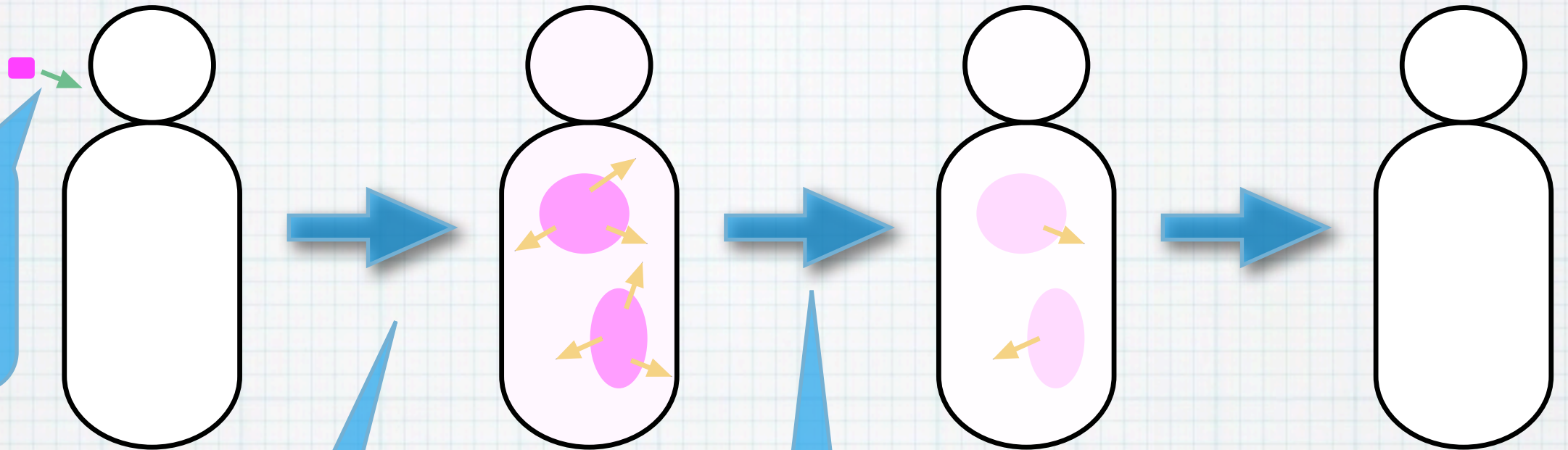
様々な核種についての実効線量係数の表 (ICRP publ. 72) より

年齢	3ヶ月	1歳	5歳	10歳	15歳	成人
Cs 134	2.6E-08	1.6E-08	1.3E-08	1.4E-08	1.9E-08	1.9E-08
Cs 137	2.1E-08	1.2E-08	9.6E-09	1.0E-08	1.3E-08	1.3E-08

1 Bq の経口摂取に対する実効線量 (Sv)

実効線量の求め方

ある量の放射性物質を摂取



放射性物質は体内でどう動きどう分布するか（動態モデル）

放射性物質は、なくなる（排出、崩壊）までにどれだけの影響を体を与えるか（放射線の種類、組織の敏感さを考慮）

実効線量

外部被ばくの影響の見積もりより不確かだが、大ざっぱな「目安」になる線量の見積もりの信頼性は、物質によって異なる（セシウムは比較的信頼できるとされる）

子供の被ばく

子供の被ばくは別格に考える

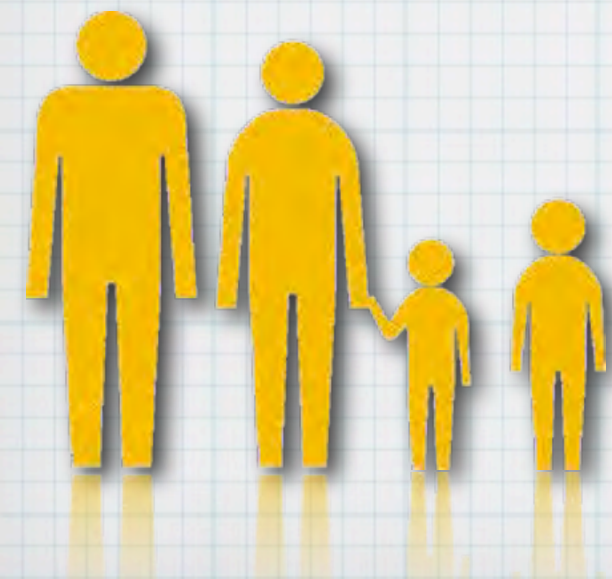
若い頃に健康を害するほうが人生全体へのダメージが大きい

仮に DNA への損傷が同程度だったとしても、若い頃に被ばくしたほうが実際に健康を害する可能性が高い

残りの人生が長い！

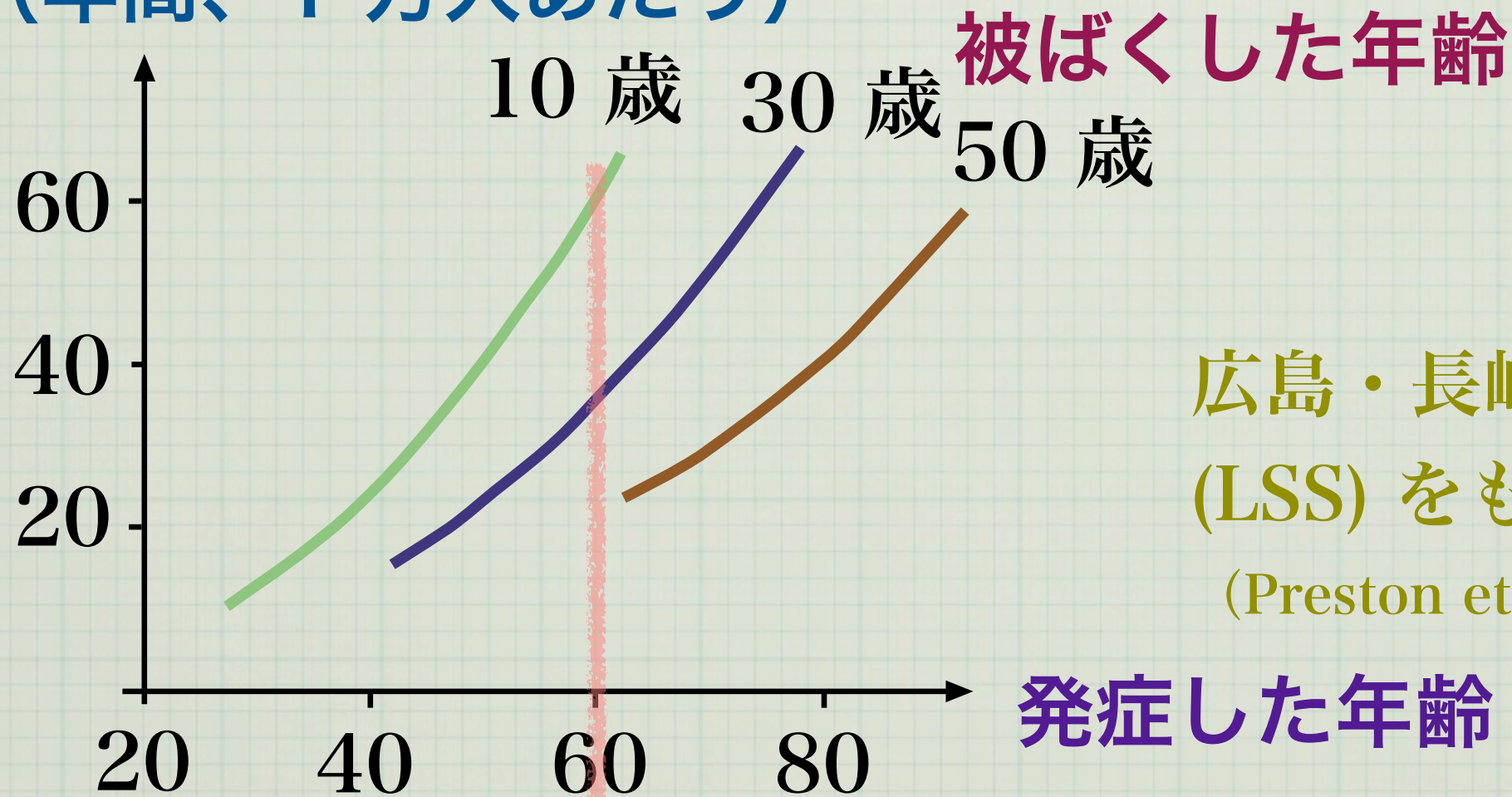
若い頃に被ばくしたほうが DNA の損傷は大きい

細胞分裂の頻度が高い！



被ばく時の年齢と発ガン

1 Sv の被ばくによる余分なガン患者数
(年間、1 万人あたり)



広島・長崎での被爆者の調査
(LSS) をもとにしたモデル
(Preston et al. 2007 より)

同じ 60 歳でも、10 歳で被ばくした人の余分な発ガンが多い (50 歳で被ばくした人の約 3 倍)

年月が経っても被ばくの影響は消えない

これだけ
は知ってお
こう！

被ばくの

健康への影響

被ばくすると、ガンになる確率
(リスク) が少し増える

「100 mSv の被ばくで、生涯のガ
ン死亡リスクが 0.5 % 上乗せ」とい
う「公式の考え」が一つの目安

子供のときに被ばくすると、リスクは大きく
なる (大人の 2, 3 倍?)



応用編 1

放射性物質による

地面の汚染

原子力発電所事故と放射線

事故をおこした原子炉からは、強い放射線と大量の放射性物質がでてきた

放射線は空気に遮蔽されて遠くはへ届かない

放射性物質は風に乗って遠くまで運ばれ、広い範囲の陸地に降り注いだ

放射性のセシウム 134 とセシウム 137 が土の粒子の表面に付着して残っている
現在の、各地での「高い線量 (空間線量率)」の原因

空気中に放射性物質はほとんどない

空間線量率 = 放射線の強さ

単位は $\mu\text{Sv/h}$ (マイクロシーベルト毎時)



1 $\mu\text{Sv/h}$ の放射線を 1 時間浴びると
1 $\mu\text{Sv} = 0.001 \text{ mSv}$ の被ばく

1 年 = 8760 時間 \div 10000 時間

線量率 1 $\mu\text{Sv/h}$ \rightarrow 1年で約 10 mSv

「公式」の換算法 (屋内での遮蔽を考慮)

1 年 \rightarrow 5260 時間 \div 5000 時間

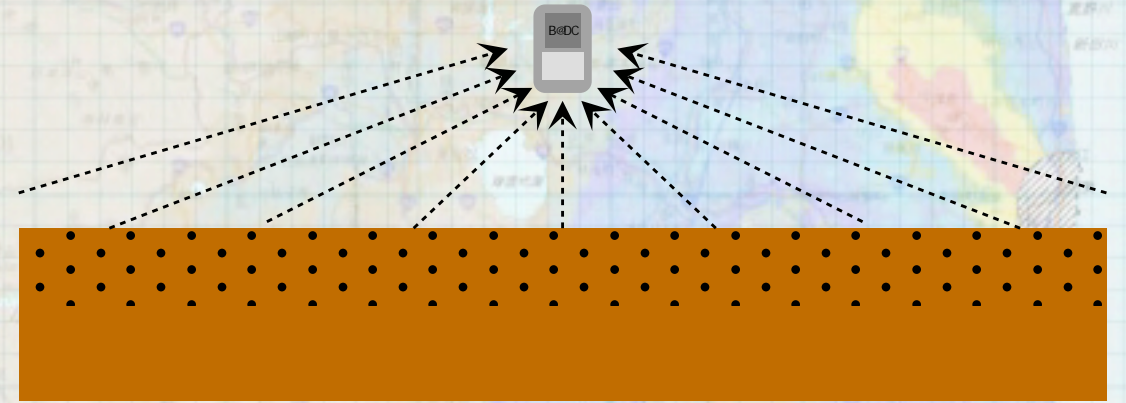
線量率 1 $\mu\text{Sv/h}$ \rightarrow 1年で約 5 mSv

線量率 0.3 $\mu\text{Sv/h}$ \rightarrow 1年で約 1.5 mSv

地表のセシウムの量と線量率

広範囲の地面を汚染した放射性セシウムはガンマ線とベータ線を放出

ガンマ線は空気中を数十メートル飛ぶ



四方八方からのガンマ線を合計

線量率 $1 \mu\text{Sv/h}$ \longleftrightarrow 30万 Bq/m^2 の汚染

線量率 $0.3 \mu\text{Sv/h}$ \longleftrightarrow 10万 Bq/m^2 の汚染

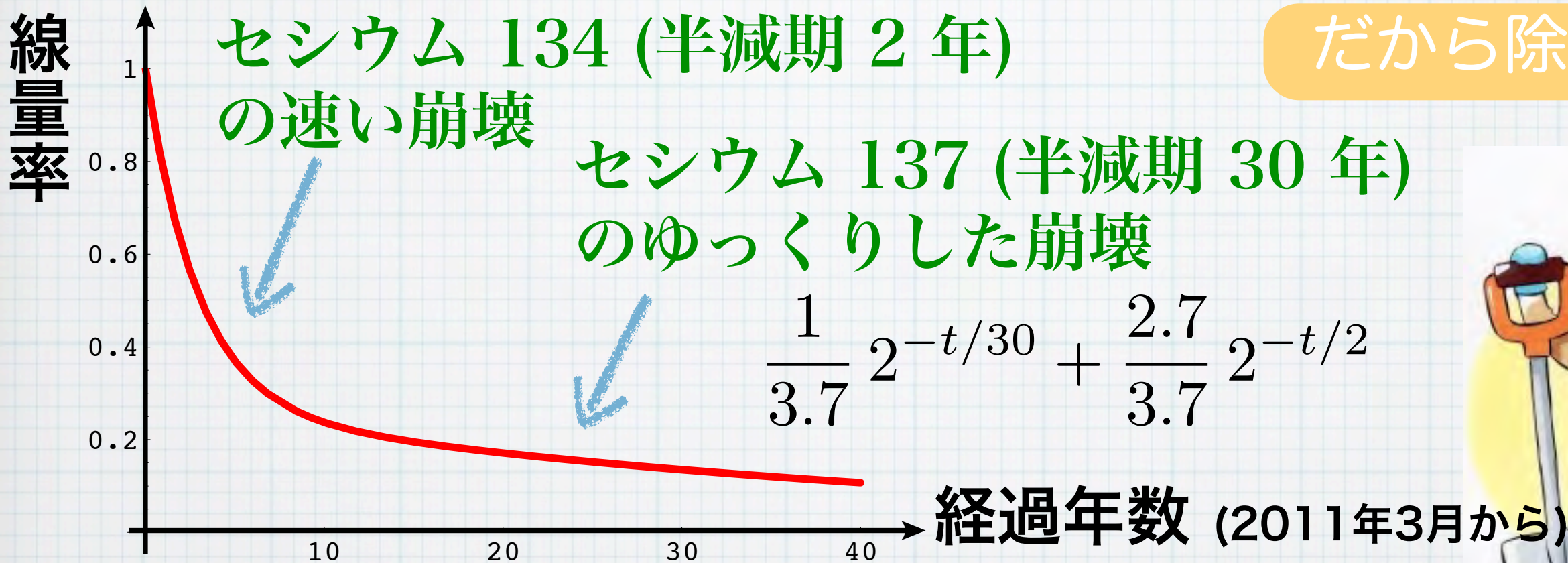
線量率 $0.1 \mu\text{Sv/h}$ \longleftrightarrow 3万 Bq/m^2 の汚染

高さ 1 m、汚染は数十メートル四方で一様と仮定
放射性セシウムの量はセシウム 134 と 137 の合計
セシウム 134 と 137 の比は 2012 年前半の値



セシウムによる放射線量の時間変化

放射性セシウムが移動しなければ、線量率は半減期の法則に従って時間変化



だから除染だ！



経過年数	0	1	2	3	5	10	43
線量率	1	0.78	0.62	0.51	0.37	0.23	0.10

除染の原理

放射性物質を別のところに移動

放射性物質からの放射線を遮蔽

応用編 2

食品中のセシウム による内部被ばく

食品の汚染

放射性物質（主として放射性セシウム）による広域の汚染は長期的に続く可能性がある

放射性セシウムは、土壌や海水を通して、農作物、肉類、魚類、乳製品などに移行

食品中の放射性セシウムによる内部被ばくの危険性は？

他の放射性物質による被ばくの可能性もあるが、今のところ量が問題になるのはセシウムだけと考えられている

2012年4月からの基準

食品

放射性セシウムの
基準値

飲料水	1 kg 中 10 Bq
乳児用食品	1 kg 中 50 Bq
牛乳	1 kg 中 50 Bq
一般食品	1 kg 中 100 Bq

例 1日に一般食品 1.9 kg, 水 1 kg を摂取

$$100 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \times 1.9 \text{ kg} + 10 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \times 1 \text{ kg} = 200 \text{ Bq}$$

最大で、1日に 200 Bq の放射性セシウムを摂取しうる

現状は、
ずっと少ない!

これは、多いのか、
少ないのか?
二つの考え方

実効線量を用いる 考え方

内部被ばくと実効線量

ICRP（国際放射線防護委員会）の考えに従って、内部被ばくの影響をシーベルトに換算

1 日平均 1 Bq の放射性セシウムを摂り続けた場合の年間の被ばく量

年齢	3ヶ月	1歳	5歳	10歳	15歳	成人
年間の実効線量 (μSv)	8.4	5.0	4.0	4.2	5.6	5.6

例 成人が 1 日平均で 200 Bq を摂取

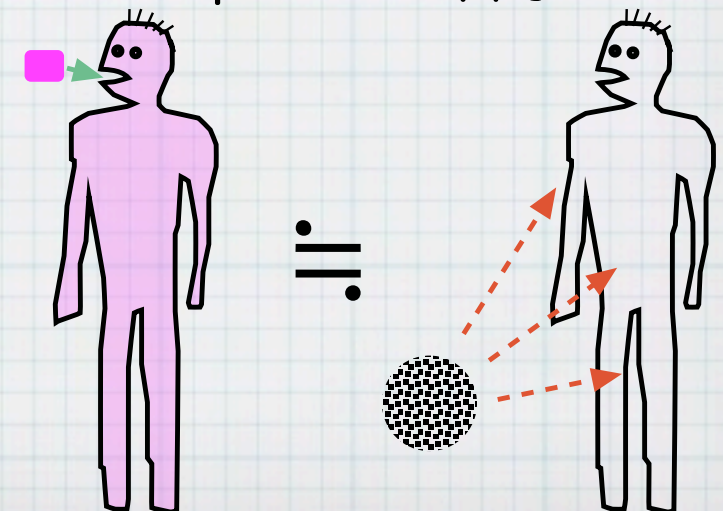
$$5.6 \times 200 = 1120$$

$$1120 \mu\text{Sv} \simeq 1.1 \text{ mSv}$$

年間約 1 mSv の被ばくに相当
これは自然な被ばくと同程度

毎日 200 Bq

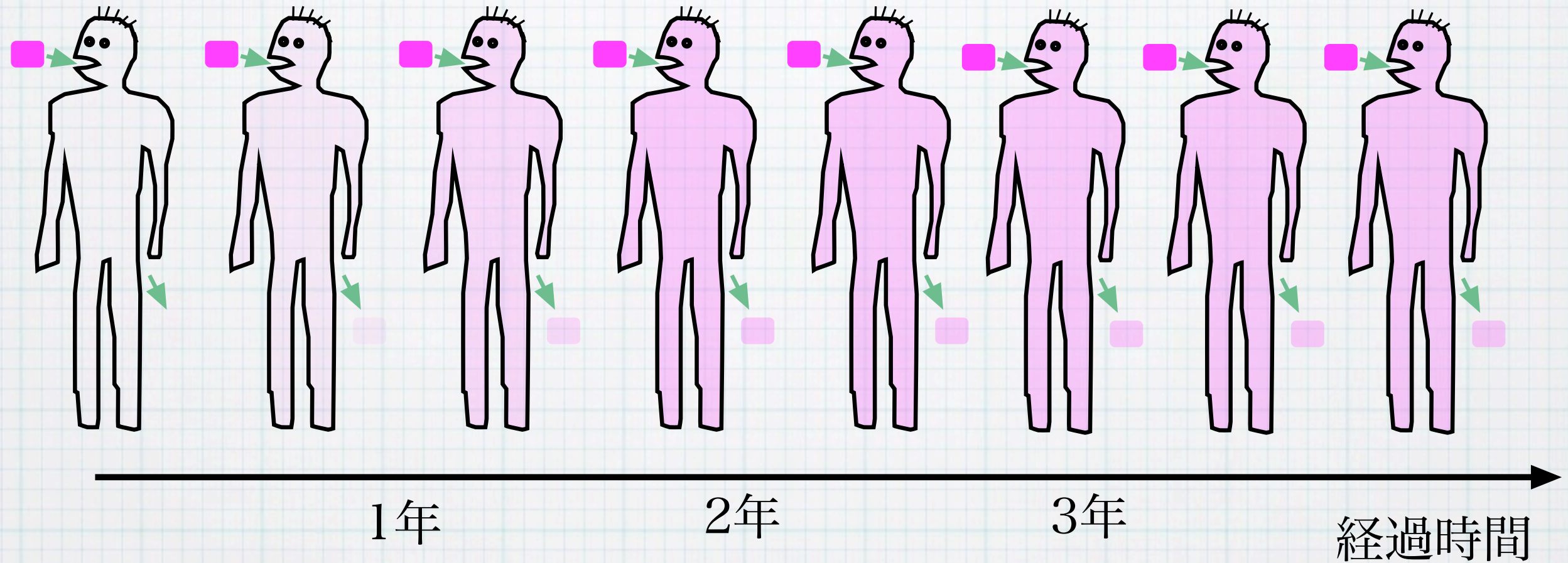
年間 1 mSv



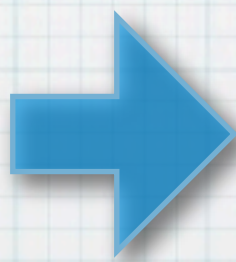
放射性セシウムと
放射性カリウムを
比較する考え方

放射性セシウムの平衡量

食品などから、毎日ほぼ一定量の放射性セシウムを摂取し続けると...



体内のセシウムの量は増加

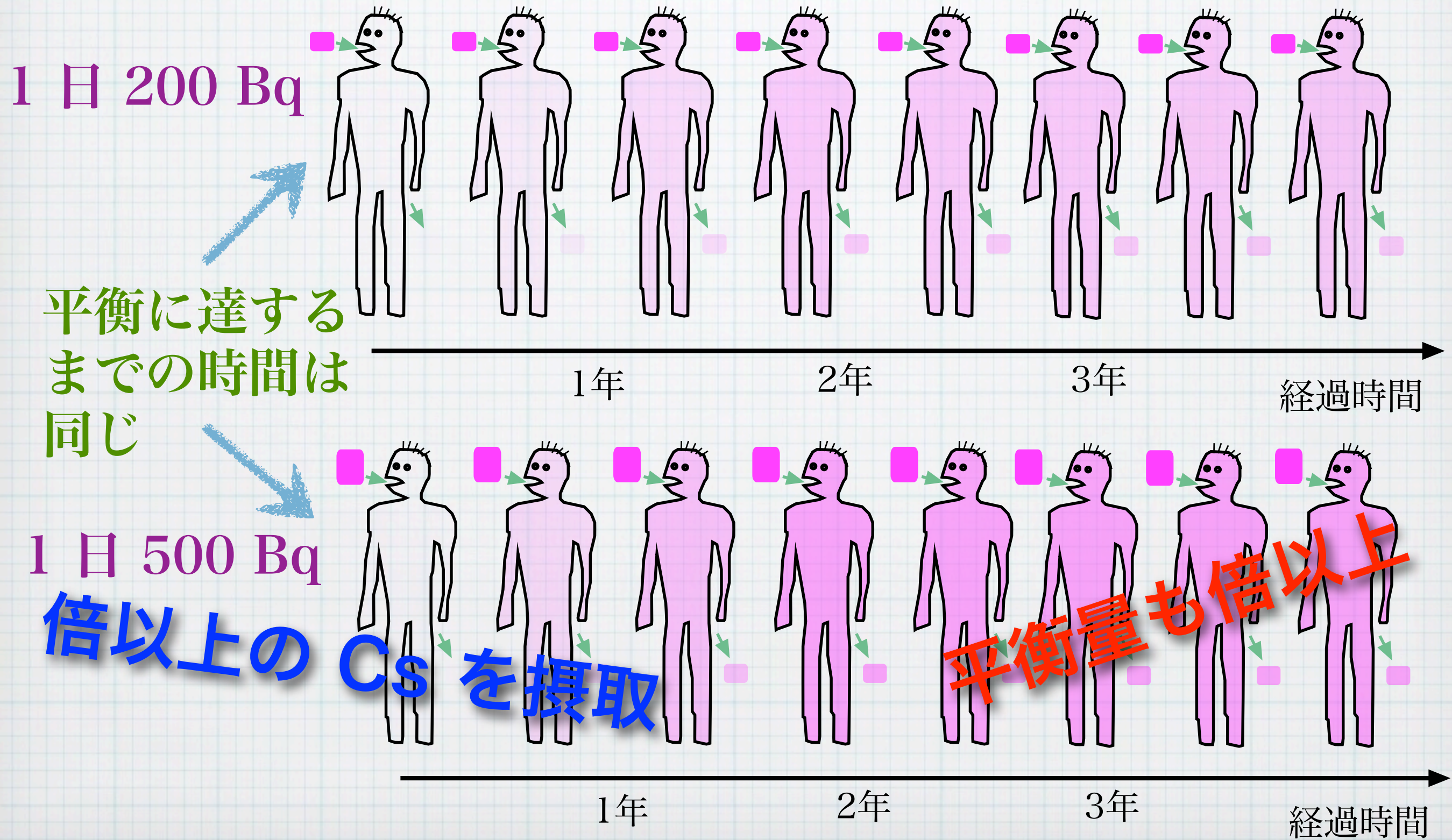


2年弱で、平衡量に達し、それ以降は変化しない

子供ならもっと早く平衡量に達する

摂取量と平衡量の関係

平衡量は 1 日の摂取量にほぼ比例

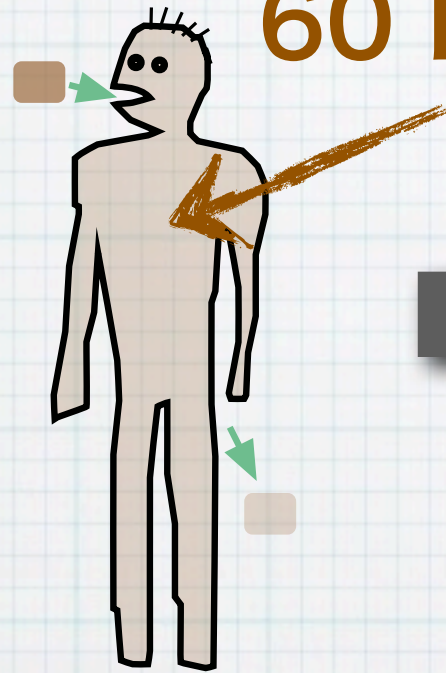


放射性カリウムによる被ばく

体内には一定量の放射性カリウム (K) があり、人はいつでも内部被ばくしている

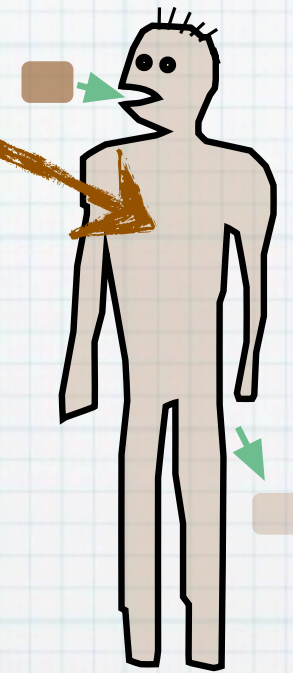
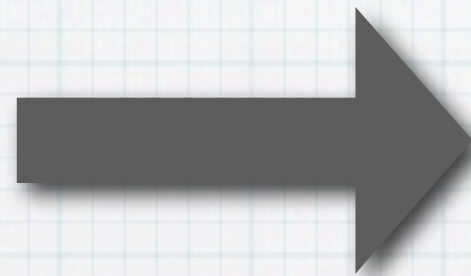
事故の前

体重 1 kg あたり
60 Bq の $^{40}_{19}\text{K}$

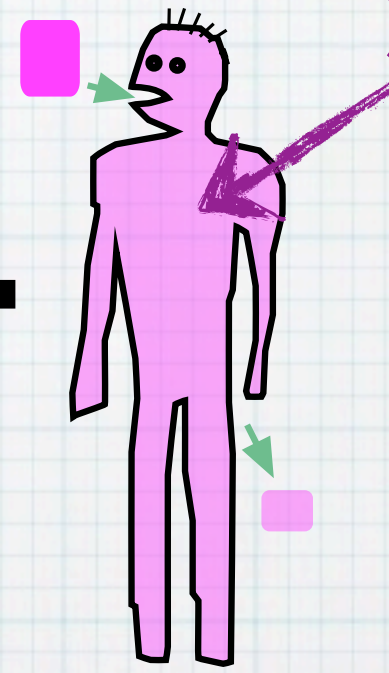


今後

平衡量の
放射性 Cs



+



放射性のカリウムとセシウムは、体内での動きも、放射線の出し方もよく似ている

体内のカリウムとセシウムの量を比較しよう

ICRP のモデルで計算した平衡量

1 日平均 1 Bq の放射性セシウムを摂り続けた場合の平衡量

年齢	3ヶ月	1歳	5歳	10歳	15歳	成人
体内の Cs (Bq)	23	19	30	53	117	143

例 体重 70 kg の成人が

1 日平均 200 Bq の放射性セシウムを摂取

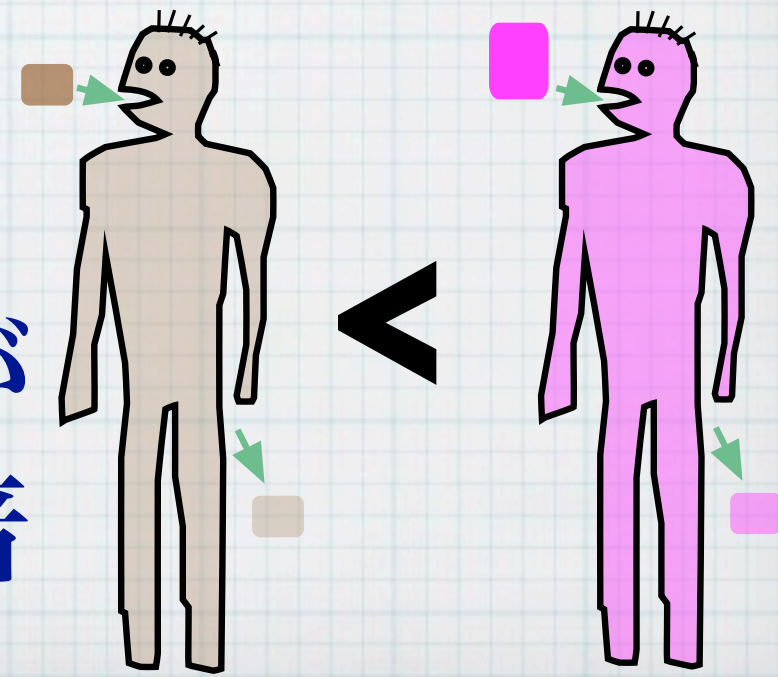
放射性カリウムの総量

$$60 \times 70 = 4200 \quad \text{約 } 4 \text{ kBq}$$

放射性セシウムの平衡量

$$143 \times 200 = 28600 \quad \text{約 } 29 \text{ kBq}$$

新たに加わった放射性セシウムが
もともとの放射性カリウムの数倍



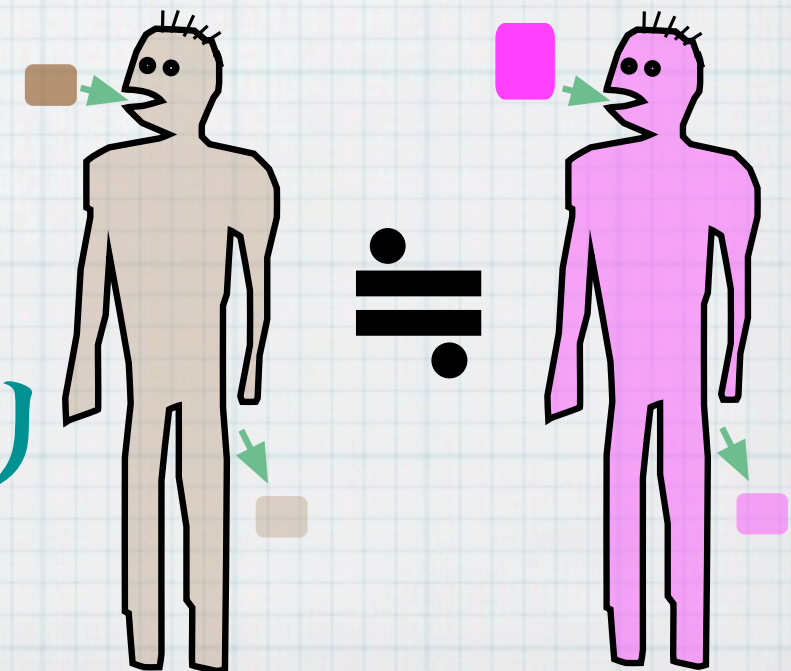
セシウムの平衡量による目安

「新たに加わった放射性セシウムの量が、もとからある放射性カリウムの量とほぼ等しい」という状況は一つの目安

Cs 平衡量が K の量と等しくなるための 1 日の Cs の摂取量

年齢	3ヶ月	1歳	5歳	10歳	15歳	成人
Cs の摂取量 (Bq)	16	31	38	36	28	29

放射性セシウムの 1 日の摂取量が 30 Bq 程度なら、放射性セシウムの平衡量は自然な放射性カリウムの量とほぼ等しい



自分で考えるために

基礎的なデータ（食生活と年齢を想定）

1日におおよそ何 Bq のセシウムを摂取？

実効線量では、年間何 mSv の被ばくか？

放射性セシウムの平衡量はいくらか？

何を基準に判断するか？（個人の考え）

いっさい気にしない

実効線量を用いる → 年間何 mSv まで容認？

セシウムとカリウムの量の比較を用いる

→ カリウムの何倍までを容認？

数倍まで OK、同程度がいい、半分くらいがいい、……

**どう考えていけば
いいのだろう？**

初期被ばくによる小児甲状腺ガン

チェルノブイリでは、ヨウ素 131 の内部被ばくによる小児甲状腺ガンが増加

「体制派」も認めるチェルノブイリでの健康被害

福島では？

初期のヨウ素 131 の吸入による被ばく??

2011年3月下旬の児童の甲状腺からの線量の調査の結果、被ばくはチェルノブイリに比べて桁違いに小さい！

—安心だが、油断してはいけないう

今後の被ばくの影響は？

人々がバタバタと倒れるようなことはない

健康を害する人が目に見えて増える可能性もほとんどないだろう

数年後、「調査した結果、健康被害がみつかった」という見解が出るだろう
反対意見がでて、延々と議論が続き、簡単には決着しないだろう

どう考えればいいのか？

誰もが認める「正解」はない

日本にとって
戦争以来最大の難関
様々な反応・考え方を
する人がいるのが自然

「気にする」自由がある

「気にしない」自由もある

大切なのは、自分の考えを他人に
押しつけず、最良の未来を目指し
ていくことだろう



最後に大事なことを

最後のまとめ

放射線には普通の常識は通用しない
しっかり測定し、しっかり考える

低線量被ばくの健康への影響にはわからないことも多いが、おおよその「目安」はある

今は困難な時期だ

「気にする」自由と「気にしない」自由を
尊重しあおう

