

放射線と物理



わかる物理を目指して

谷畑 勇夫

核物理研究センター

自己紹介

阪大の卒業生です。
専門は原子核物理学、宇宙核物理学
(実験家です)

趣味：

自然の景色を楽しむ、星を見る、天体の写真を撮る。
物理の基礎を疑う。

この授業を受けて：

放射線の話ができるようになって欲しい。



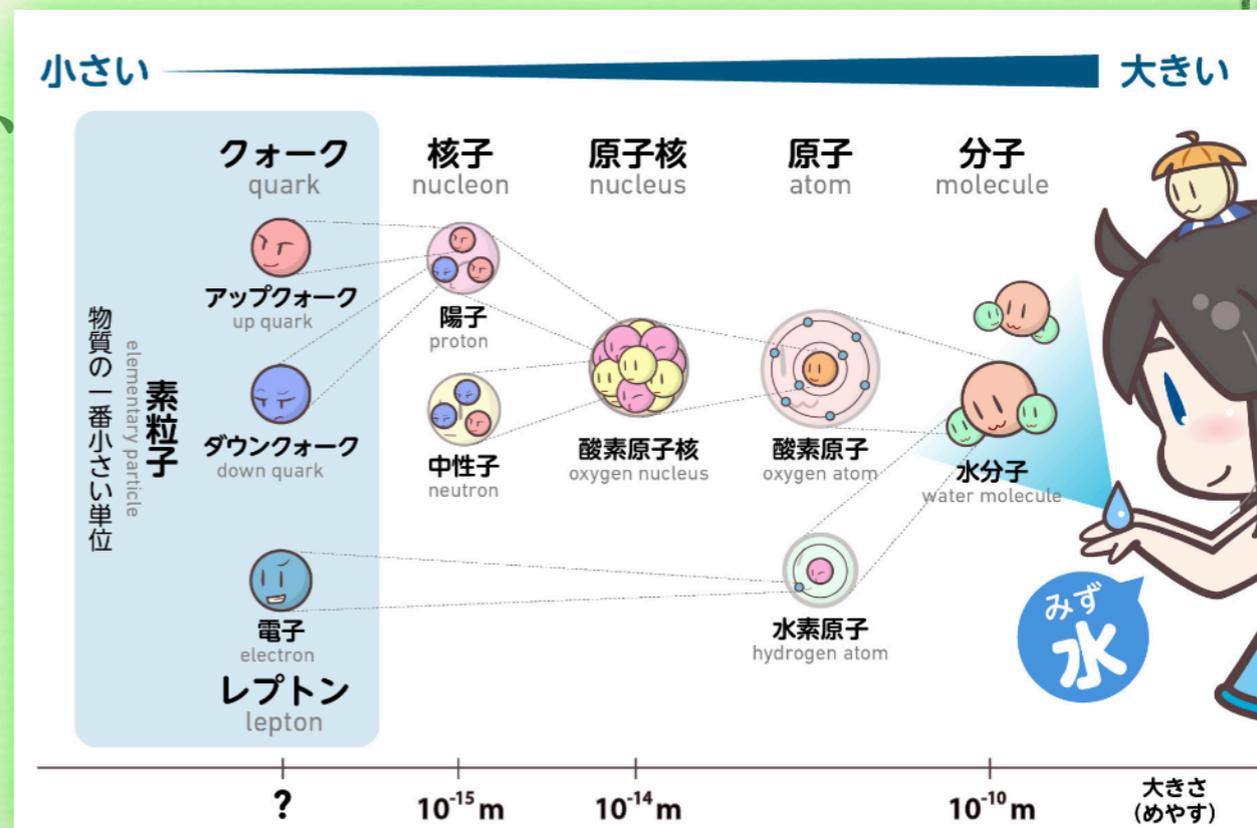
話の筋

- ❖ 地上には星の中で作られた元素があり、作られてから長い時間が経っているので安定かまたは寿命が長い元素(核) がほとんどである。
- ❖ ウラン(U)の核分裂を起こして、エネルギーを得て発電する。
- ❖ その時に寿命の短い放射性核（放射性元素）ができる。
- ❖ 放射性核はそれぞれの半減期で放射線を出しながら崩壊していく。現在の福島では、ほぼ ^{137}Cs （半減期30年）だけが残っている。
- ❖ ^{137}Cs は土壌中と草木中にあるので、これから放出される放射線を浴びることになる。

物理学は知っているると生活が楽になる！

- ❖ 世の中のほぼ全ての事柄は物理現象として理解できる。（「全部が予言できる」ではない）
- ❖ 全ての現象は**粒子**とその**運動**で記述される。
- ❖ 何かが起こるのは**衝突**（散乱、融合、分裂）が基本。
- ❖ 衝突を起こすのは相互作用。
（重力、**電磁気力**、強い力、弱い力）
- ❖ 粒子（光子、電子、陽子、中性子、
❖ これらの、組み合わせで物質ができていて、その運動が物質の性質・振る舞いを決めている。

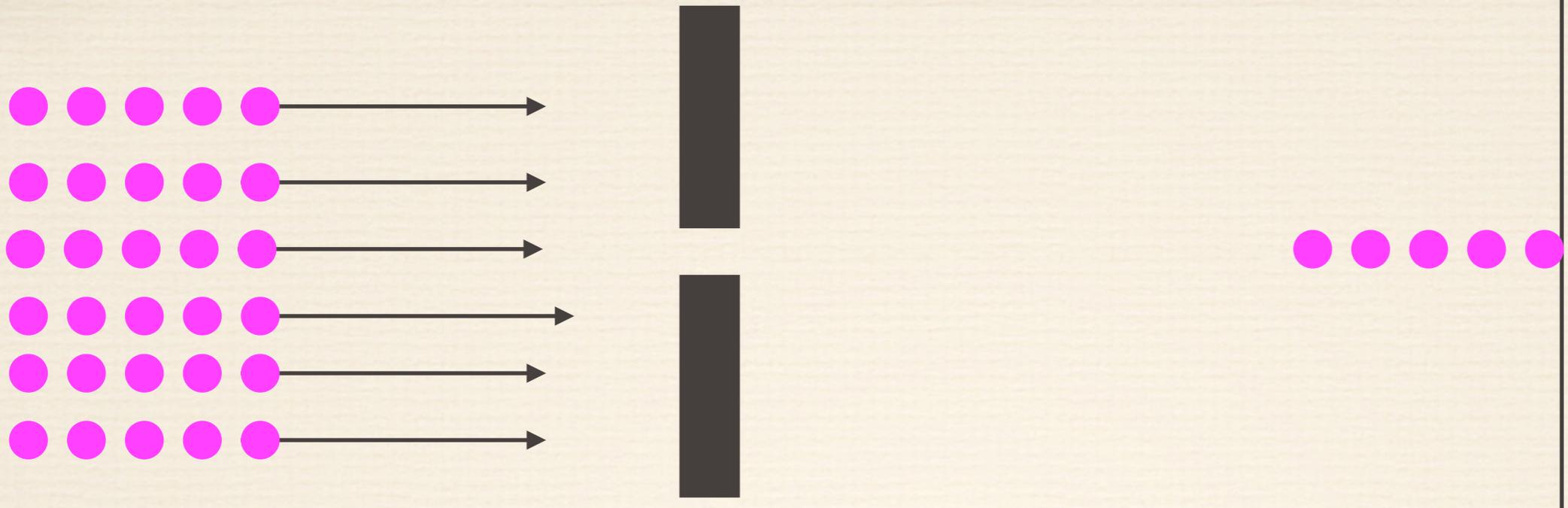
粒子
と
粒



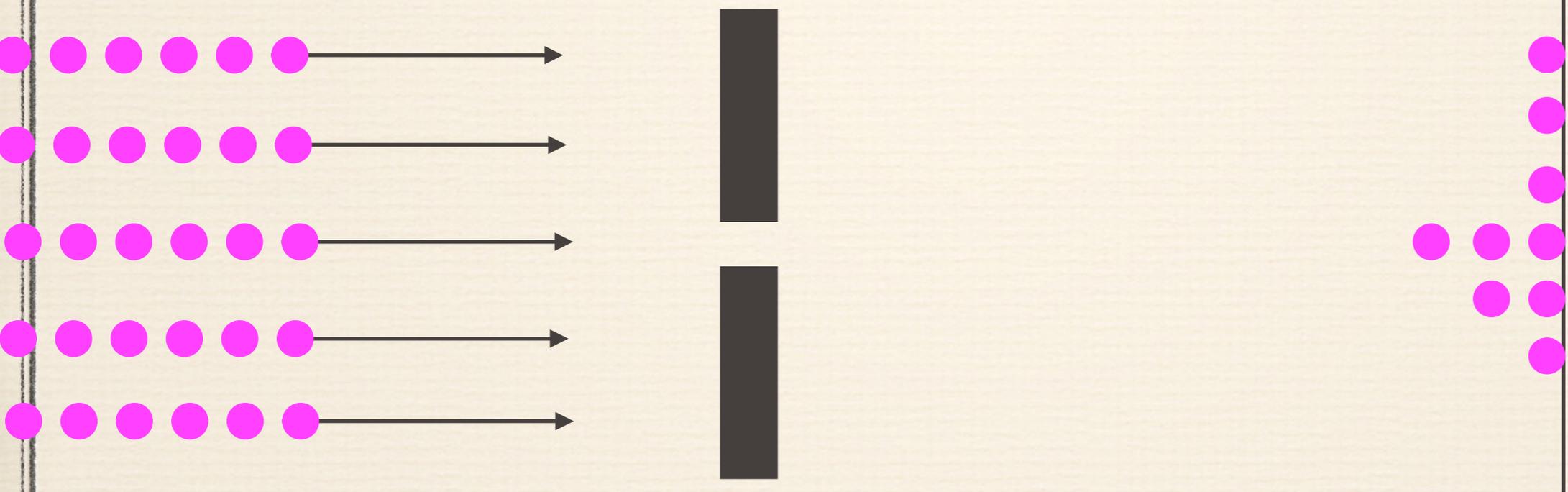
19世紀には

- ❖ 物理はあまりにも正しくて、人間が知らないだけで、
全ての未来は決まっていると思われた。
- ❖ ニュートン力学
- ❖ 明日あなたに何が起こるかは、複雑だから分からないだけで、実際には決まっている。
- ❖ **20世紀になって**、物理現象は**確率的**に起こることが本質であると分かった。次に何が起こるかは確率的にしか分からない。
- ❖ 量子力学
- ❖ 現状が完全に分かっても、一寸先は不明。

古典物理



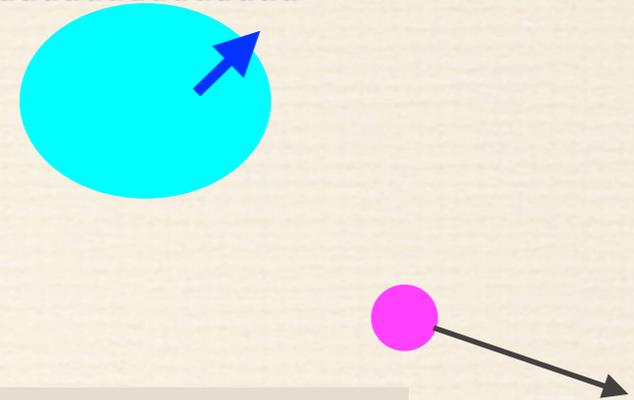
量子物理



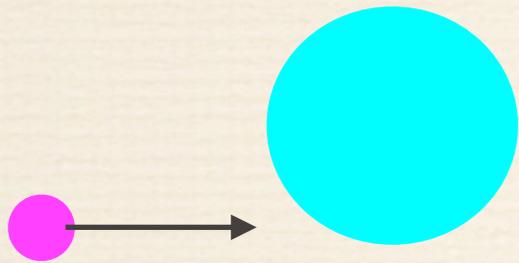
19世紀と20世紀の物理の考え方の違い

衝突のいろいろ

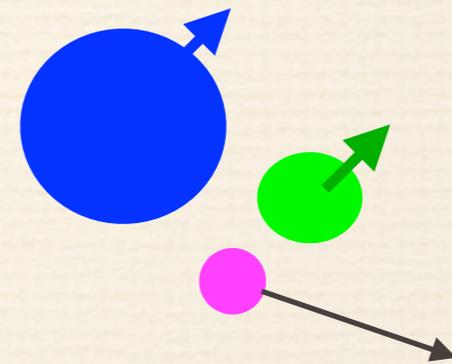
❖ 散乱



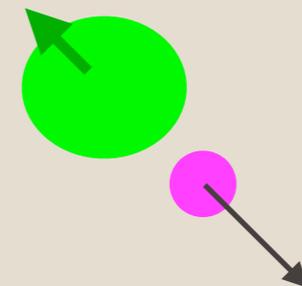
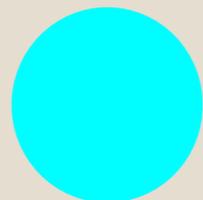
❖ 融合



❖ 分裂



❖ 崩壊 (自然分裂)



物質の構成（普通の物質に関しては）

素粒子：光子、電子、陽子、中性子、...

原子核：陽子＋中性子（小さい、原子の10万分の1）

原子：原子核＋電子

分子：いくつかの原子の結合したもの（電子の働き）

物質：いろいろな原子と分子がより集まったもの

固体
液体
気体

確認

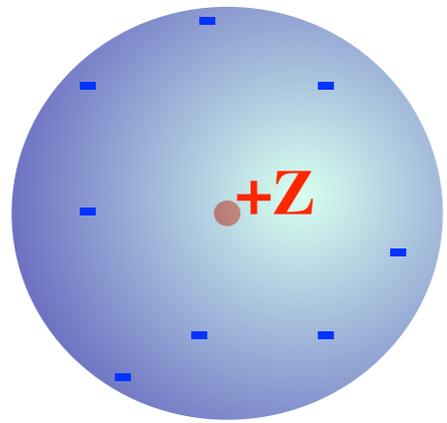
元素、原子、原子核などの名前は
 ^{16}O , ^{40}Ca , ^{238}U など。

陽子と、中性子の数の和

元素名

元素名は陽子の数で決まっており、
電子の数はこれと同じ

このページは
大事 注目！

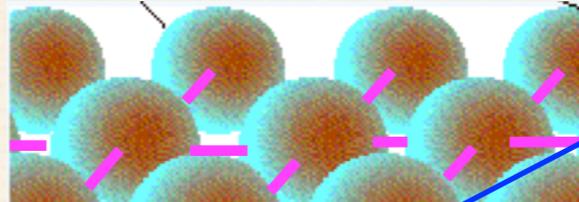


原子核
と電子

電子の挙動で性質はほぼ決まる。

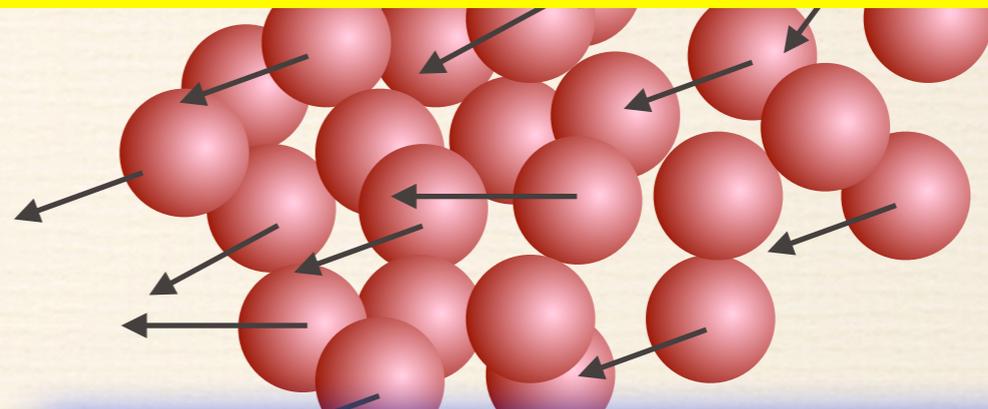
物質の理解

基底状態
励起状態



同じ構成物でできた物質にも、
一番冷たい状態と熱を持った状態がある。

❖ 液体



熱

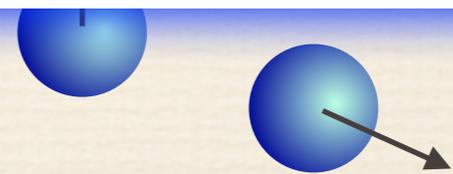
excite!



光を出して冷える
光を受けて温まる

大事！

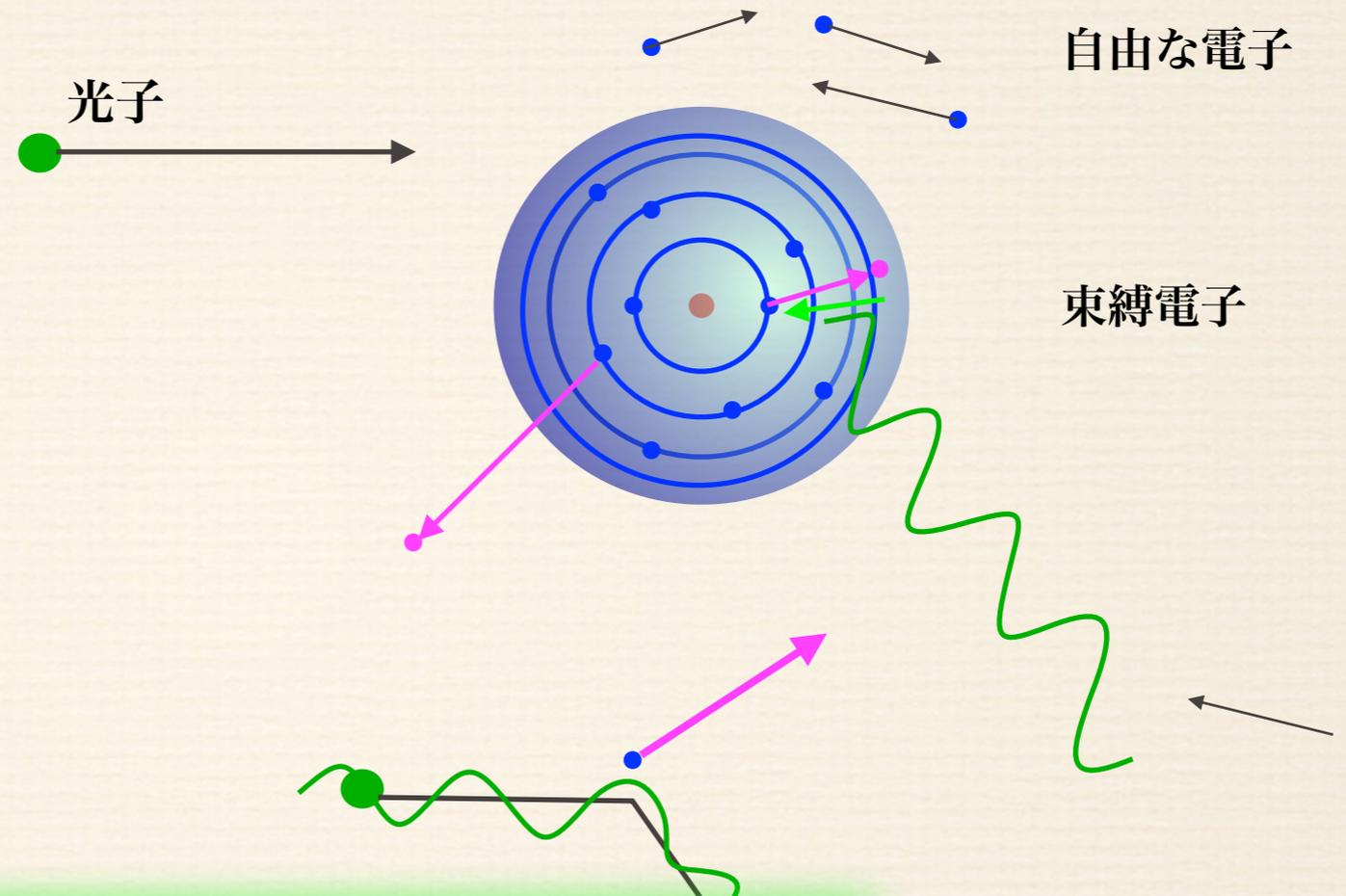
電子が揺らぐと光が出る。
光で電子は散乱する(動く)。



光の散乱＝電子が光を反射する

❖ ここで量子力学

- ❖ 電子(とか)は、一つの状態に一個しか入れない。
- ❖ 原子の中では電子の状態は決まった数しかない。
- ❖ 自由な電子は自由



これだけで、ピカピカ光ったもの、色のついたもの、透明なものが説明できる。

金属は自由な電子がいっぱい： どんな光も反射するのでよく光る。
普通の物質は決まった光を吸収したり放出したりするので色がつく。
光が吸収される状態がないと透明になる。

ここでエネルギー (物理量として)

- ❖ 物体や物体系が持っている仕事をする能力の総称。
- ❖ 全エネルギー [単位：ジュール、カロリー、 eV (keV, MeV, GeV)]
 - = 運動エネルギー 早く動いていると高い
 - + 位置エネルギー 高いところにいると高い
 - + 熱エネルギー 熱いと高い
 - + 電磁的エネルギー 電圧が高いと高い
 - + 質量エネルギー 重いと高い
 - + 光(子)のエネルギー 青いほど高い、波長が短いほど高い(紫外線、X線、 γ 線)

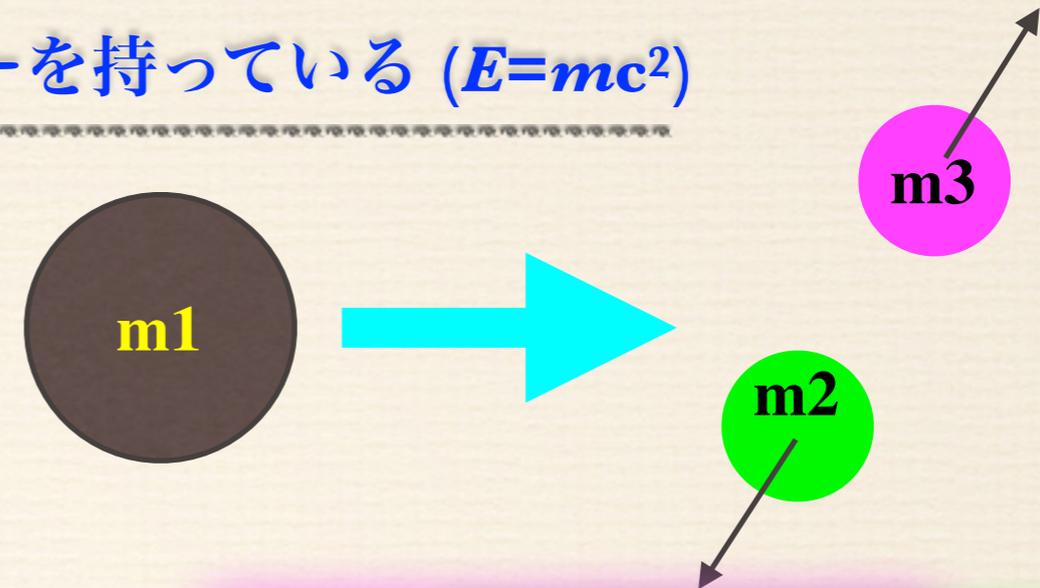
孤立した系の全エネルギーは変化しない (エネルギー保存則)

ただしお互いに変化できる。

同じエネルギーを持ったいろいろな「状態」は同じ確率で起こる。

質量エネルギー（ここで相対性理論）

重いほどたくさんエネルギーを持っている ($E=mc^2$)



❖ $m1 > m2 + m3$ の時は、

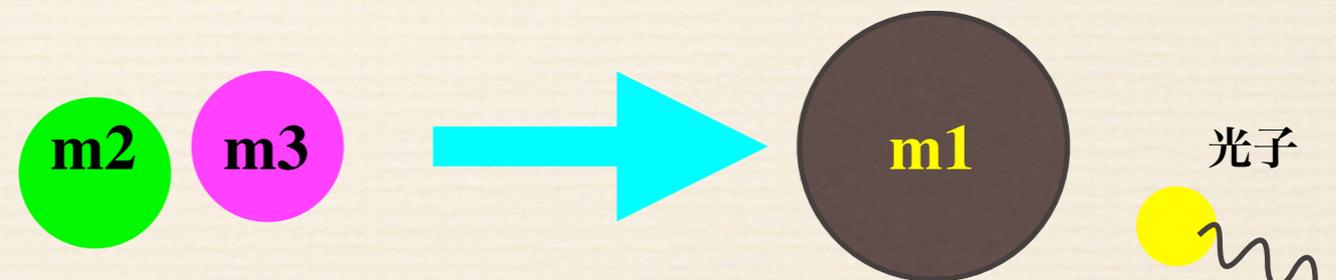
❖ 1の粒子は2と3の粒子に分裂する、

❖ いつ分裂するかは確率的でいろいろな条件で決まる。

前後でエネルギーは同じでエネルギーを放出するという。

❖ $m1 < m2 + m3$ の時は、

❖ 2と3の粒子が近くにいと融合して、エネルギーを放出する。



ここでやっと放射線とは あなたも放射線になれる

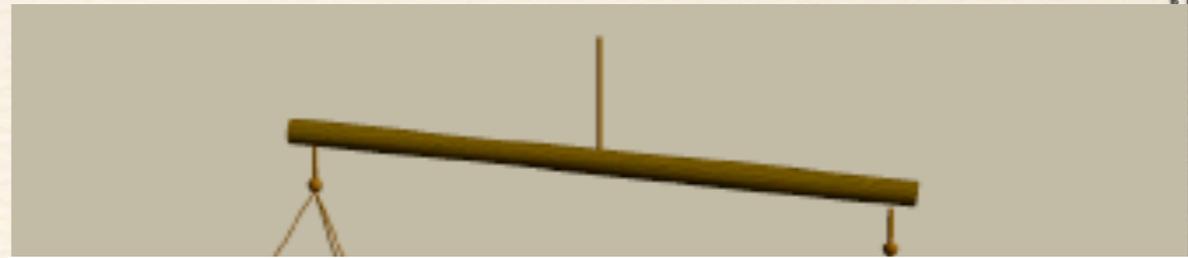
- ❖ 物資に衝突すると、衝突により、電子を束縛状態から弾き出せるくらい早く走っている（高エネルギー）粒子。

さらに高エネルギーになると、放射線が原子核と衝突して原子核を変化させることがある。（元素が変化する）これは物質の基本構成を変えることになるので大きな変化ではあるが、この現象が起こる確率は電離作用に比べて極端に小さくて、**人体への影響は無視できる。**

- ❖ ${}^4\text{He}$ 粒子なら、アルファ線
- ❖ 電子なら、ベータ線
- ❖ 光子なら、ガンマ線、X線
- ❖ 宇宙から飛んできたら宇宙線
- ❖ 他に陽子線、中性子線、イオン...

放射線の発生

- ❖ 一番簡単な原子核：重陽子は陽子と中性子が核融合してできる。（核融合）



ちょっと保存則の追加

- ・陽子と中性子の数の和は変化しない。
- ・電荷の総和は変化しない。

$mc^2 = 1875.6 \text{ MeV}$

陽子 中性子

$mc^2 = 938.3 \quad 939.6 \text{ MeV}$

結合能 = 2.3 MeV

U: ウラニウム

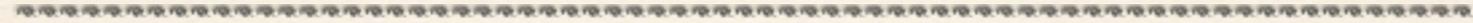
Cs: セシウム

Rb: ルビジウム

Th: トリウム

He: ヘリウム

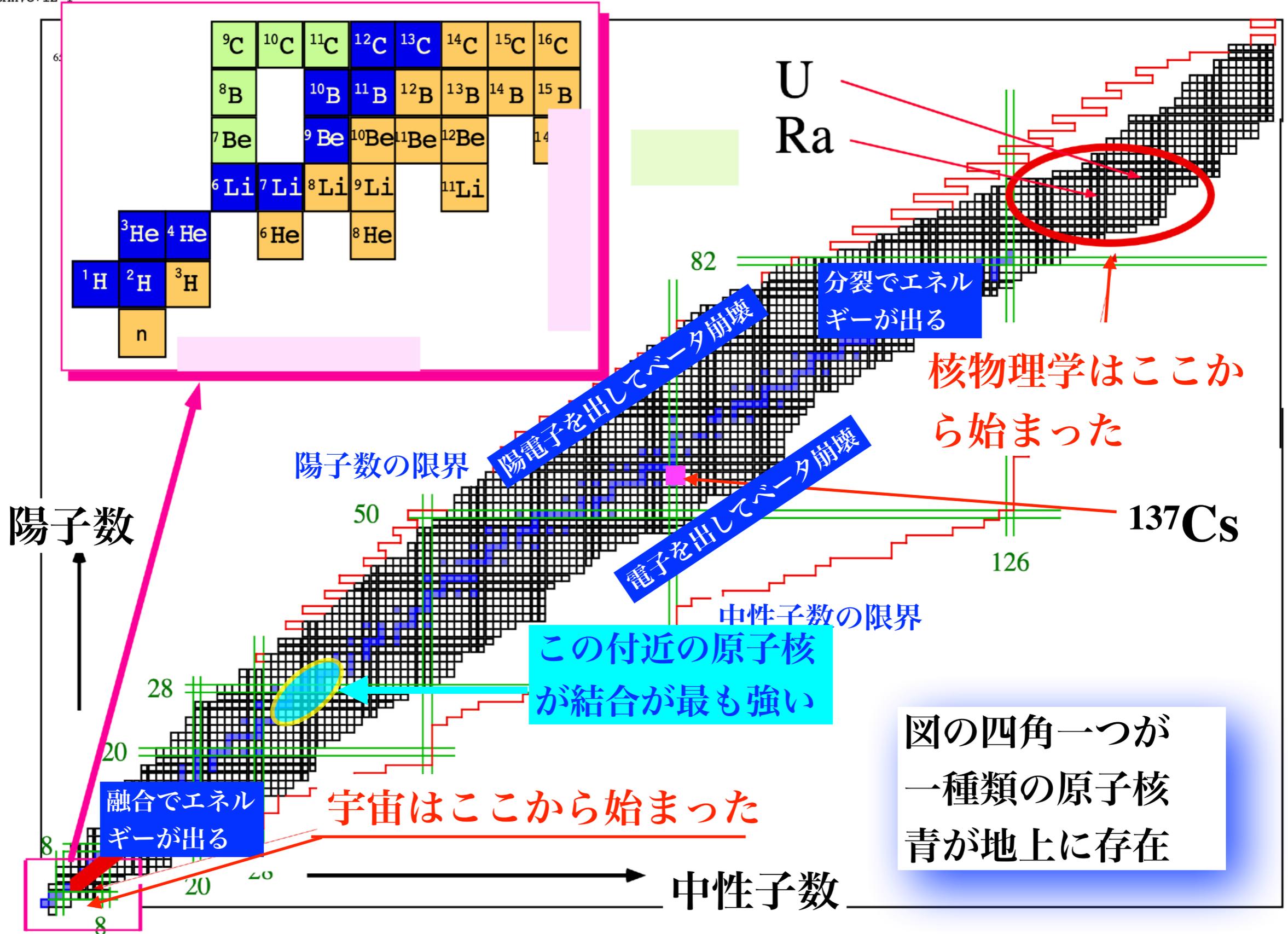
放射線の発生



❖ ここでちょっと原子核のお勉強

核図表

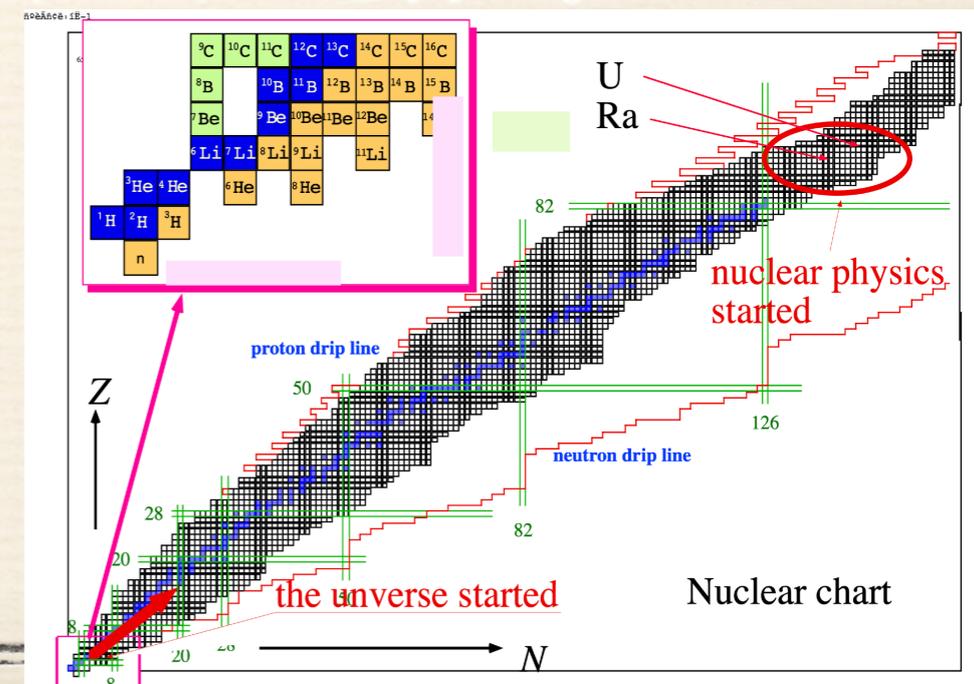
1900年頃、1E-1



放射性核と崩壊

- ❖ 前の図の青の原子核を安定核と呼ぶ。自然の状態では崩壊しない。
- ❖ その他の核は、何らかの崩壊を起こしてより安定な核に変化する。
- ❖ 核分裂(中性子)、 α 崩壊、 β 崩壊、 γ 崩壊で放射線が放出される。放出される放射線はそれぞれのエネルギーを持つ。

[MeV]



放射線量の単位

- ❖ 「放射能の量」を示す単位は、毎秒あたりの崩壊数

[個/秒] = **Bq** ベクレル

ある物質の中に含まれる放射能の量を表すのに放射性原子核の数ではなくて、毎秒崩壊する数を使う。放射性元素が同じ数でも半減期

放射エネルギーはベクレル(Bq)で、

人体への影響はシーベルト(Sv)で比較する。

が、 エネルギー x 个数/重さ = **Gy** グレイ。

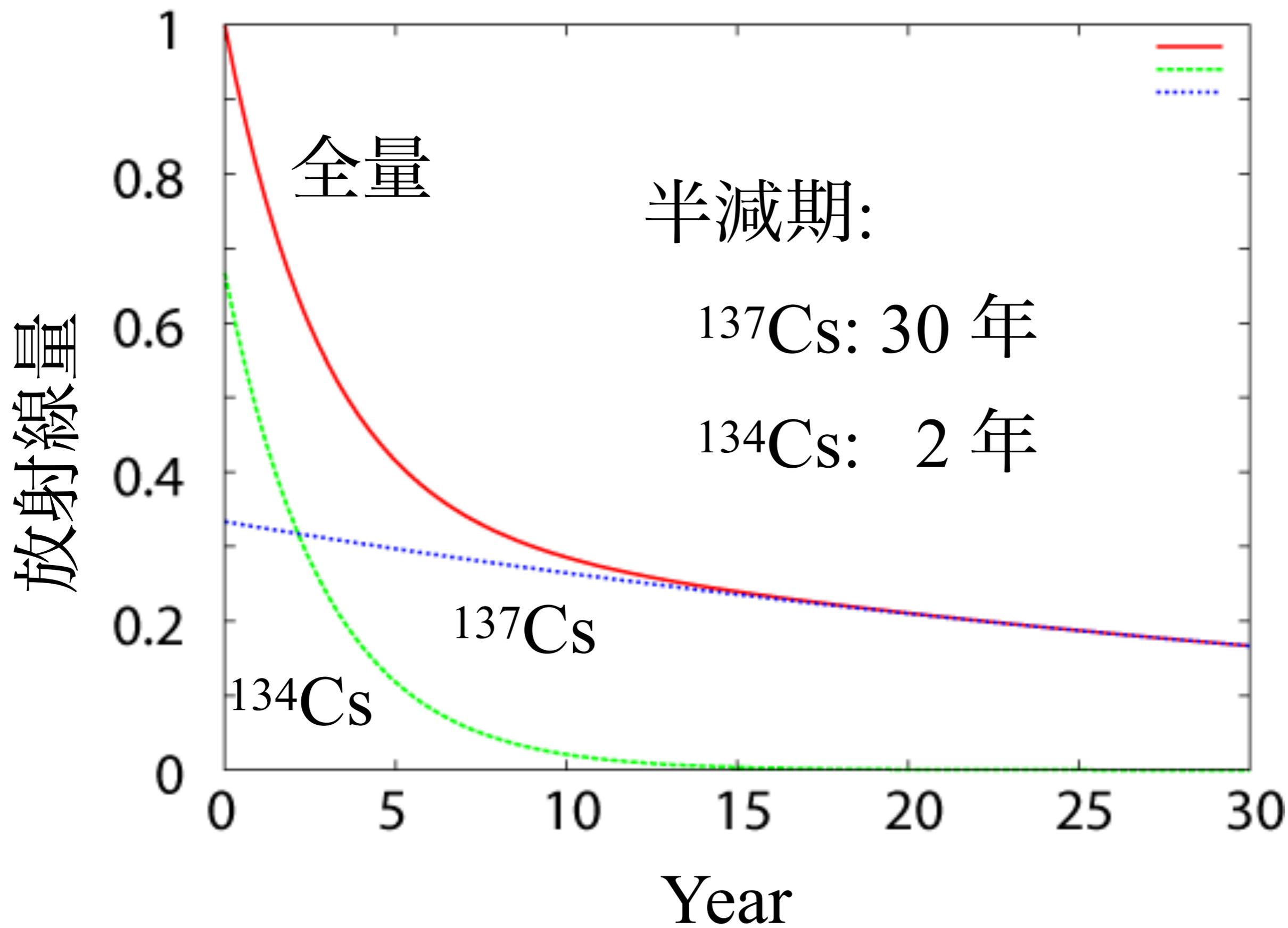
- ❖ 人体への影響は臓器による感受性があるのでさらに複雑で別の単位 **Sv** シーベルトが使われるが、物理屋には理解できないので、スキップ。

崩壊の起こり方はランダム（確率的）

崩壊する数は放射性原子核の数に比例する！

- ❖ N個の放射性核が崩壊して残りがN/2になるまでの時間を、半減期と呼ぶ。
 - ❖ ^{137}Cs の半減期は30年、 ^{134}Cs の半減期は2年
 - ❖ 14年経つと ^{137}Cs は2011年当時の0.74倍、 ^{134}Cs は0.016倍になっている。
 - ❖ ^{137}Cs は2040年になっても、元の半分以上が残っていることになる。（自然に任せておけば）

放出される放射線の数（単位時間あたり）は半減期が経つと半分になる。



放射線の性質

放射線のエネルギーはMeV付近

電子の質量：0.511 MeV

${}^4\text{He}$ の質量：4000 MeV

❖ 電離作用の強さ

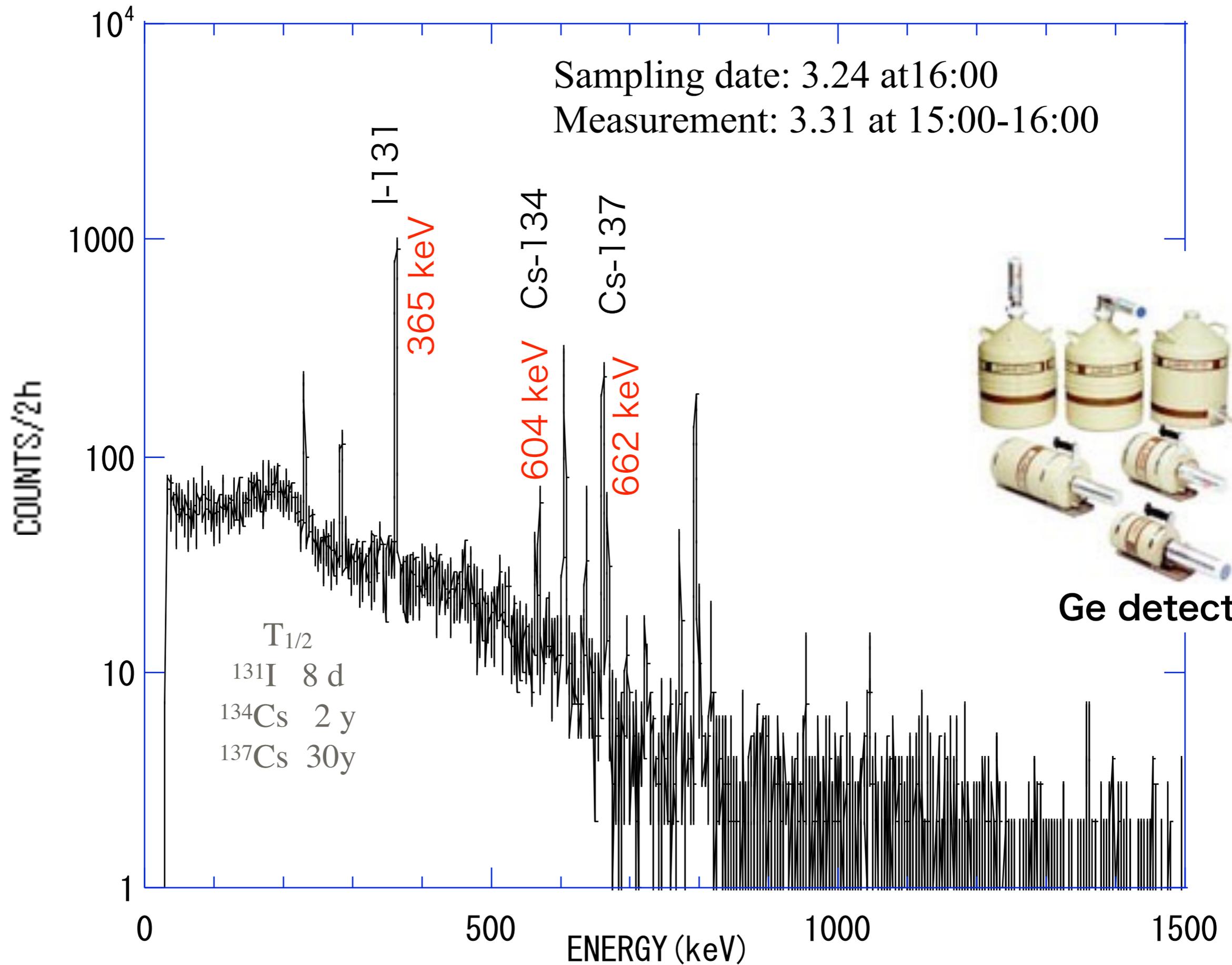
- ❖ 電荷(Z)を持った粒子が高速で走っている場合、電離の強さは、
 - ❖ 速度($\beta=v/c$)の2乗に逆比例する。 $(\sim 1/\beta^2)$
 - ❖ 電荷の2乗に比例する。 $(\sim Z^2)$
- ❖ アルファ線(${}^4\text{He}$)は $Z=2$ で、さらに質量が大きいのので速度が遅い (β が小さい) ので強く電離が起こり、あっという間にエネルギーを失う。薄い紙で止まってしまう。(飛程が短い) 空気中で5 cmくらい。
- ❖ ベータ線(電子) は $Z=-1$ で質量が小さいので β が大きく電離作用は小さくなる。(飛程が長い) それでもアルミの数mmの板で止まる。空気中で50cm。
- ❖ ガンマ線(光子) は電荷を持たず、電子と衝突する確率が低くてなかなか消えない。10cmくらいの鉛を使わないと無くならない。空気中では数100m。

現在、残っていて注目しないといけないのは ${}^{137}\text{Cs}$ のみです。
ベータ線とガンマ線を出します。

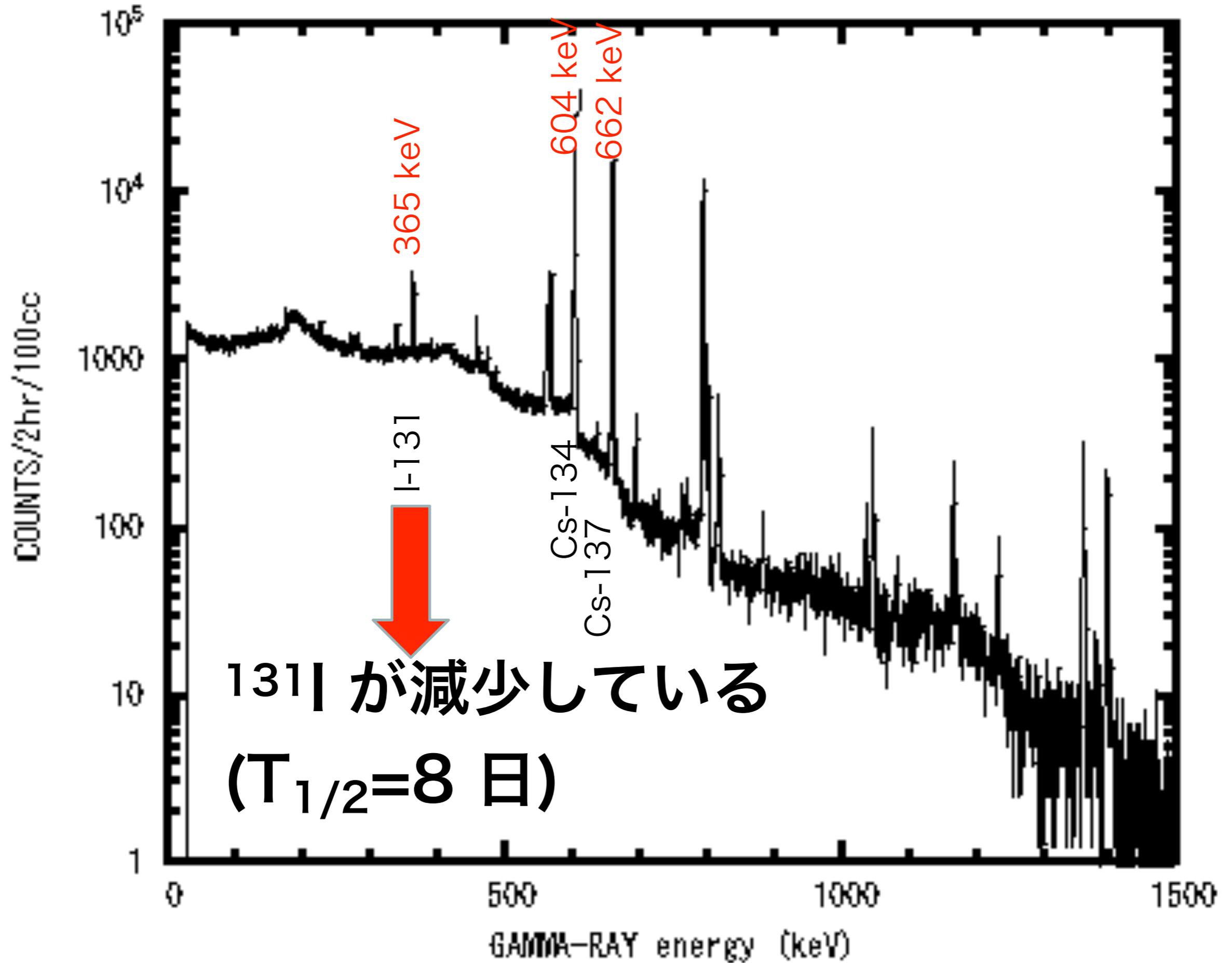
放射線の検出

- ❖ 放射線による電離現象を使う。
 - ❖ 電離した電子を集めてその電気信号をみる。
 - ❖ 662keVのガンマ線は～20万個の電子を発生させる。
 - ❖ ガイガー検出器、Ge(Li)検出器、イオン箱. .
 - ❖ 電離した物質が元へ戻るときに光を出すので、その光を集めて電気信号にする。
 - ❖ NaI(Tl) 検出器
- ❖ 集めた信号の大きさは放射線が検出器中に落としたエネルギーに比例する。
 - ❖ ガンマ線のエネルギーは原子核によって決まっているので、検出したエネルギーを決めると発生源の原子核がわかる。 ^{137}Cs は662 keVのガンマ線を出す。

事故直後の土壌中のガンマ線スペクトル。



4月16日の測定



福島原発の事故ではあらゆる場所に放射性物質が降りました。



放射性物質(^{137}Cs)は自然には消えていきません。
生活環境から取り除いていかなければなりません。
屋根などにこびりついている。
土壌に含まれている。(5cm深さまで)
木に吸着している、含まれている。



空間線

※棒グラフをクリック



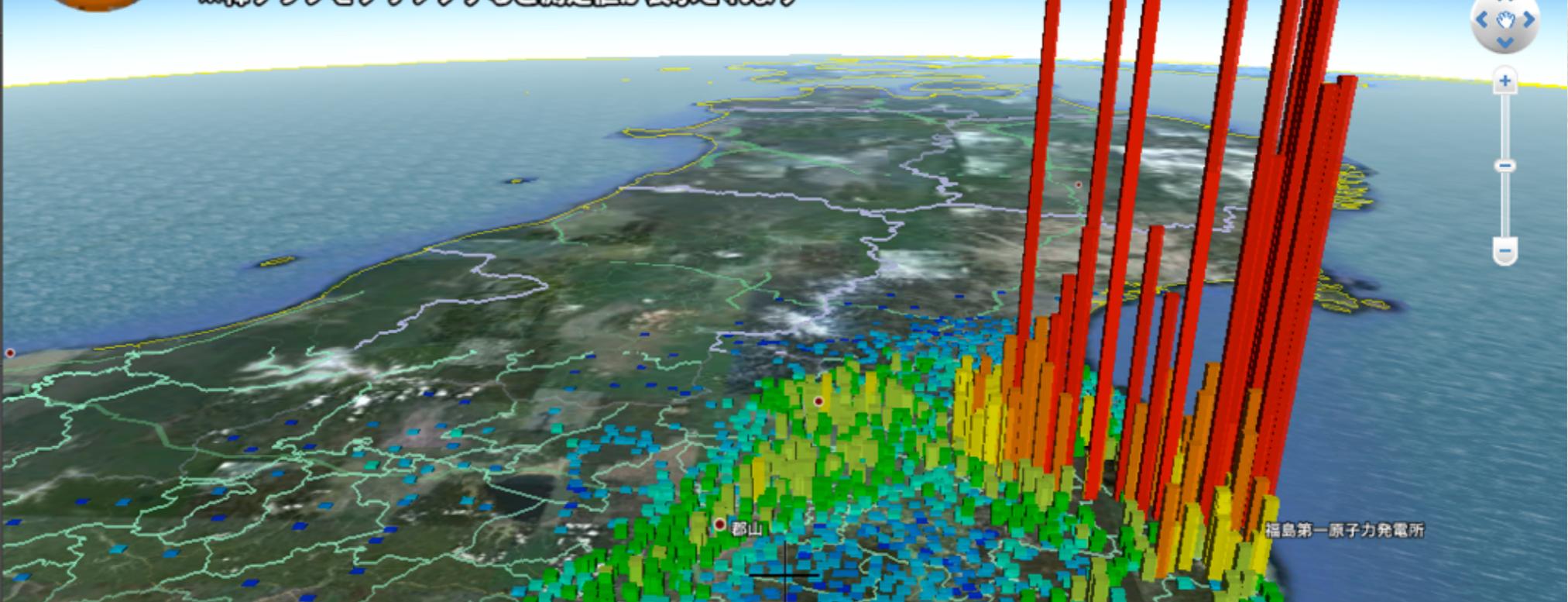
地表から1mの高さの線量
(マイクロシーベルト/時間)

20 $\mu\text{Sv/h}$ \leq
10 ~ 20 $\mu\text{Sv/h}$
5.0 ~ 10 $\mu\text{Sv/h}$
2.0 ~ 5.0 $\mu\text{Sv/h}$
1.0 ~ 2.0 $\mu\text{Sv/h}$
0.5 ~ 1.0 $\mu\text{Sv/h}$
0.2 ~ 0.5 $\mu\text{Sv/h}$
0.1 ~ 0.2 $\mu\text{Sv/h}$
\leq 0.1 $\mu\text{Sv/h}$

(6月14日時点)

Cs-137土壤マップ

※棒グラフをクリックすると測定値が表示されます



セシウム137の土壤放射能濃度
(単位 Bq/m²)

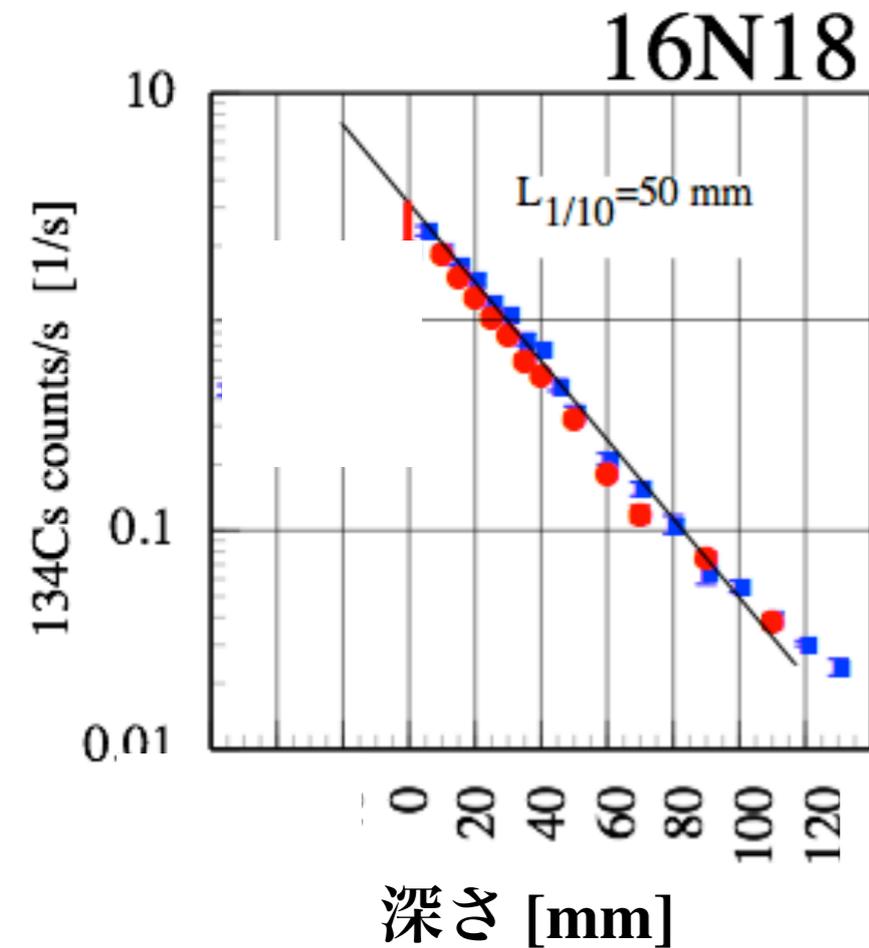
2000k \leq
1000k ~ 2000k
500k ~ 1000k
200k ~ 500k
100k ~ 200k
50k ~ 100k
20k ~ 50k
10k ~ 20k
\leq 10k

(6月14日時点)

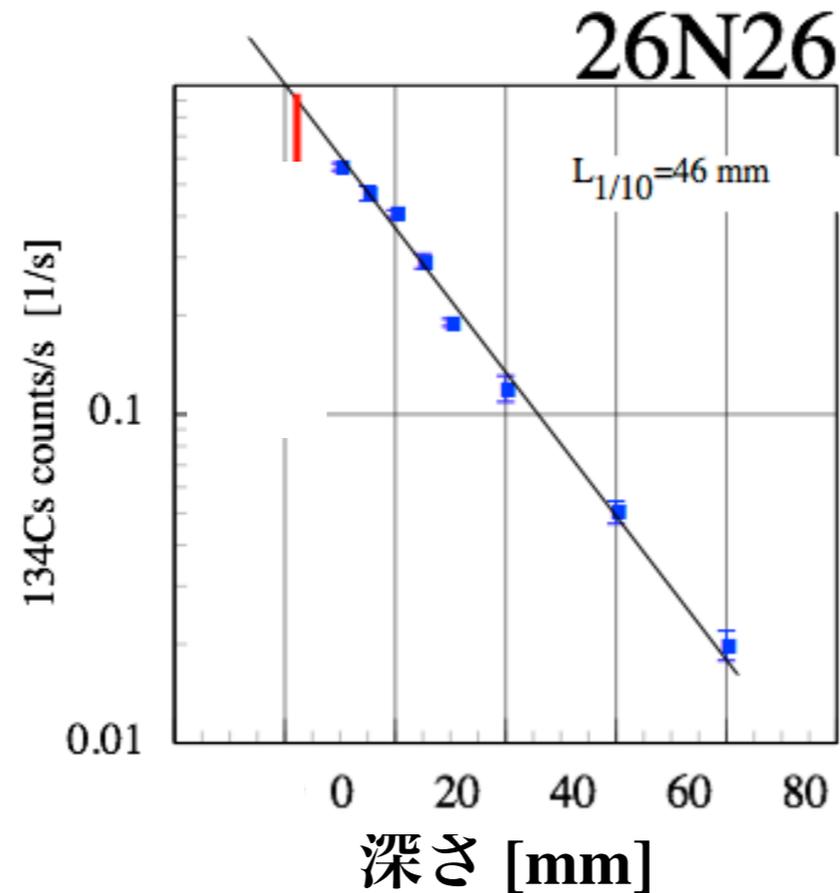
どれくらいの深さまで放射能はある？



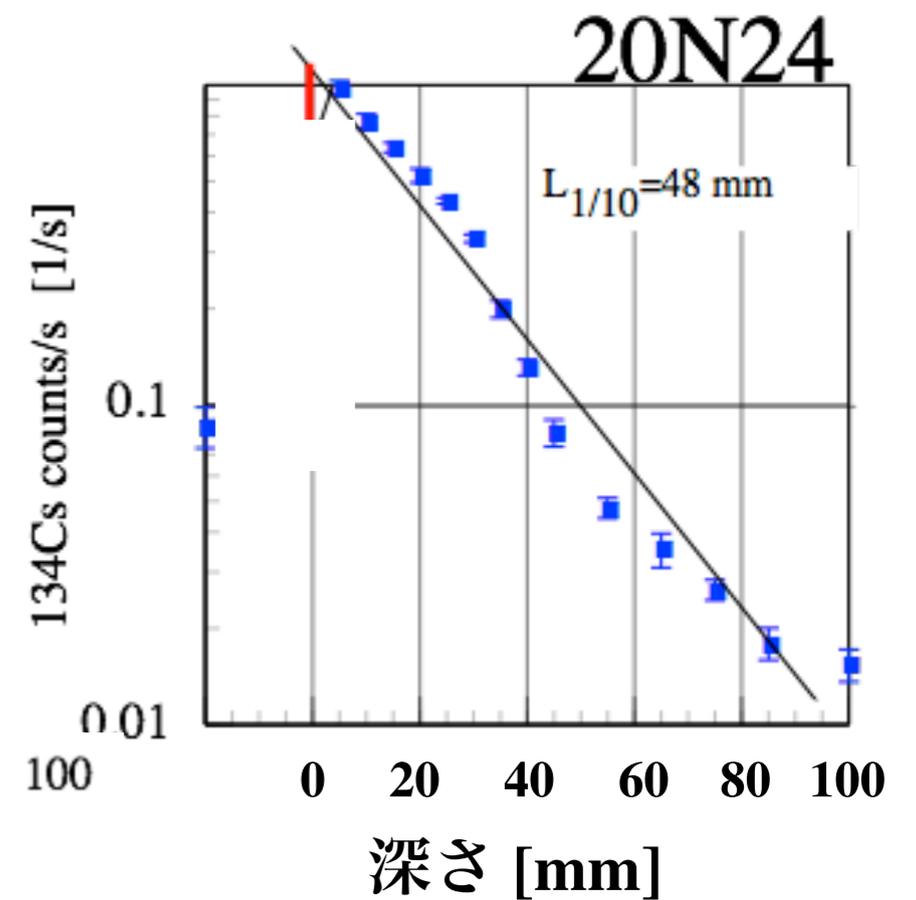
放射性元素の深さ分布



50 mmの深さで1/10



46 mmの深さで1/10

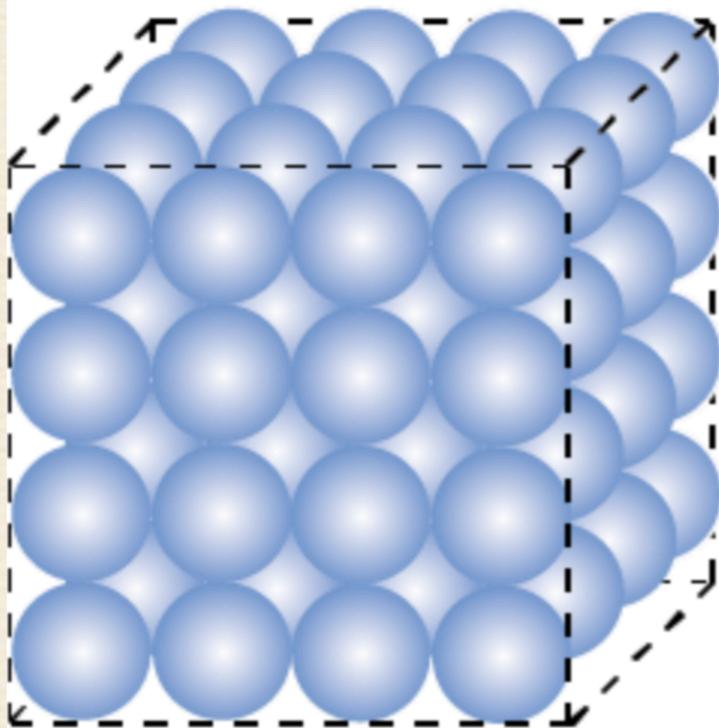


48 mmの深さで1/10

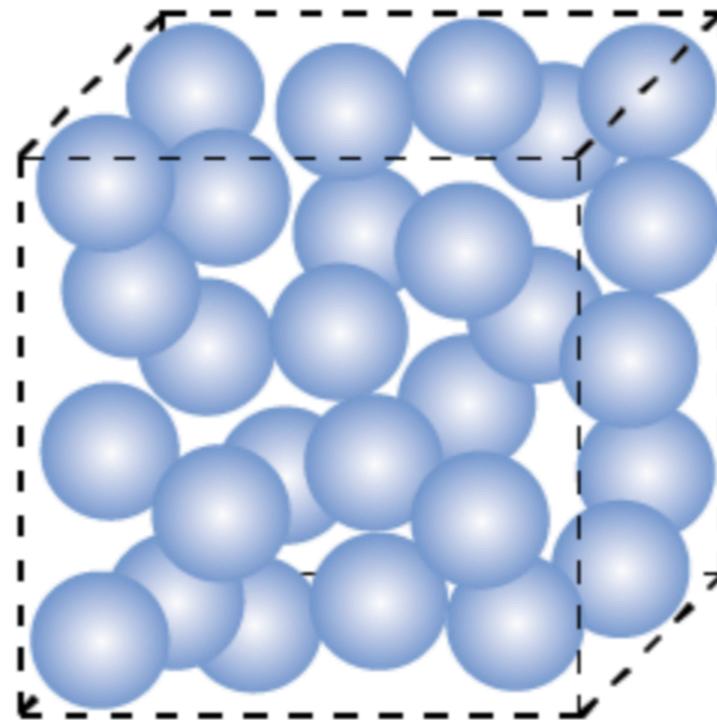


- ❖ 物質とは
- ❖ 放射線とは
- ❖ 放射線の性質
- ❖ 放射線の発生
- ❖ 放射線の測り方
- ❖ 環境にある放射線
- ❖

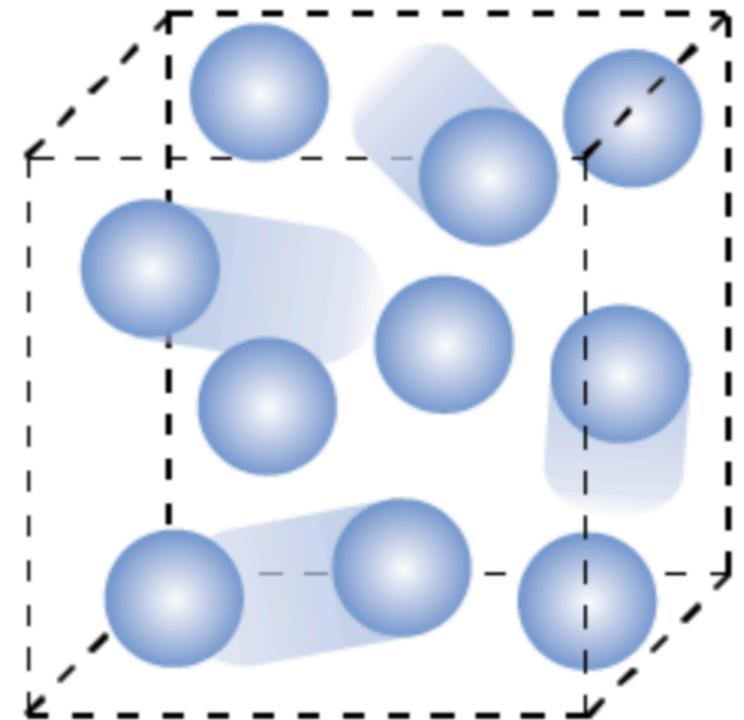
物質



固体



液体



気体

原子の集合したもの！

放射線：高速で走っている粒子

放射線の種類



電離する力



強い

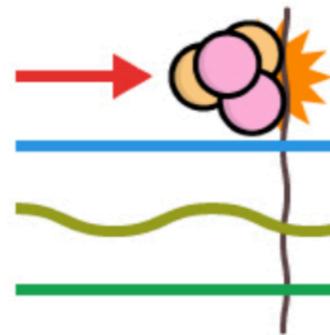


ちょっと強い

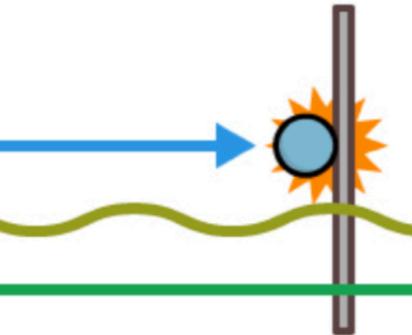
弱い

弱い

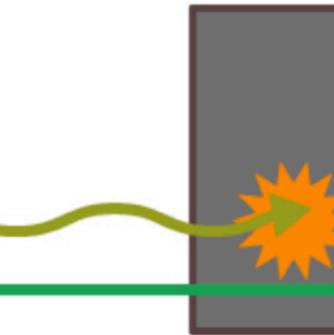
透過する力



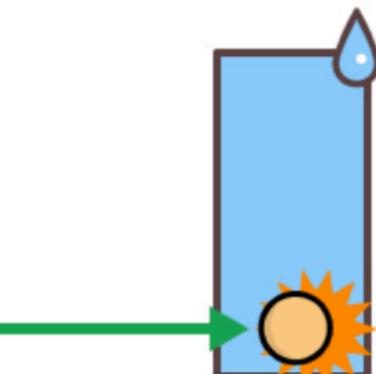
紙 1 枚で止まる



アルミなどの金属の薄い板で止まる



鉛の厚い板で止まる



コンクリートや水タンクで止まる

放射線は電離作用を持つ

放射線

放射線の電離作用 – 電離放射線の性質

電離作用

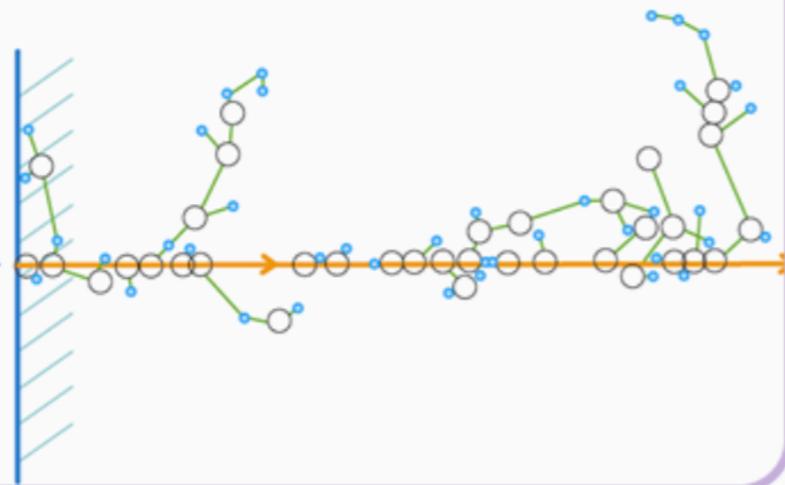
放射線

電子

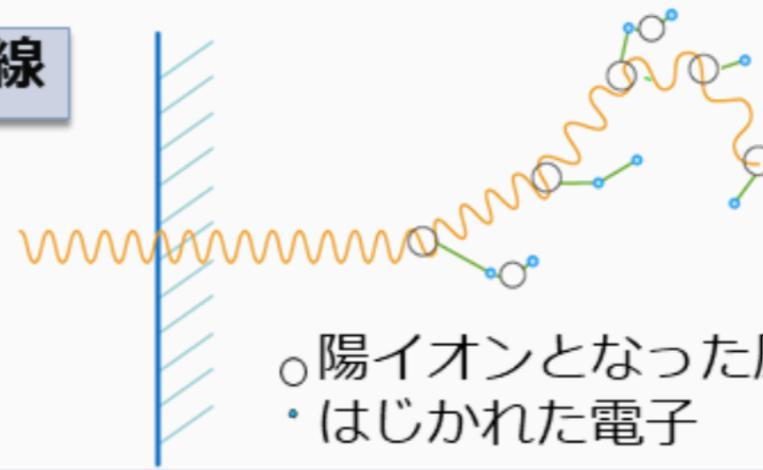


プラスのイオンと
マイナスの電子に
分離

α 線



γ 線



○ 陽イオンとなった原子
・ はじかれた電子

放射線の発生

より結合の強い原子核に変化するときに出される。

人工放射線 →

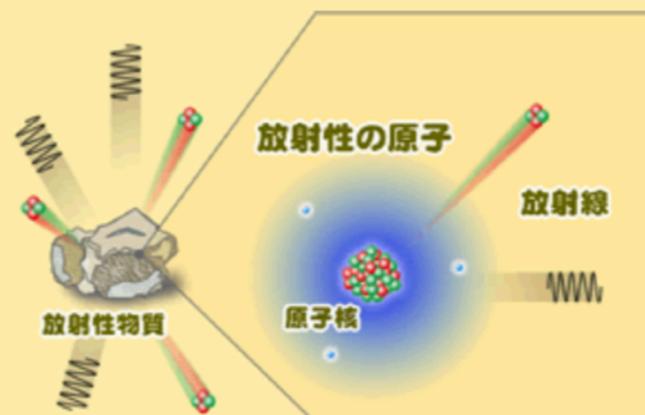
放射線は何かから発生する？

放射線を発生するものには、放射性物質のほかに、核分裂などの原子核の反応があります。また、電子などの粒を加速することによっても放射線が得られます。

放射性物質

放射線を出す性質を持っている物質を放射性物質といいます。放射性物質は、放射性の原子を含んでおり、その原子核から放射線が出ています。

放射能は、放射性物質が放射線を出す性質（能力）であり、放射性物質そのものを指す場合もあります。



ベクレル (Bq)
半減期

核分裂

ウランやプルトニウムなどの物質に中性子が当たると核分裂し、放射線が発生します。このような物質を核分裂性物質といいます。



ウラン
プルトニウム

粒の加速

電子などの粒を加速して高速にすれば放射線になります。それをさらに金属などの物質に衝突させると、エックス線などの放射線が新たに発生します。

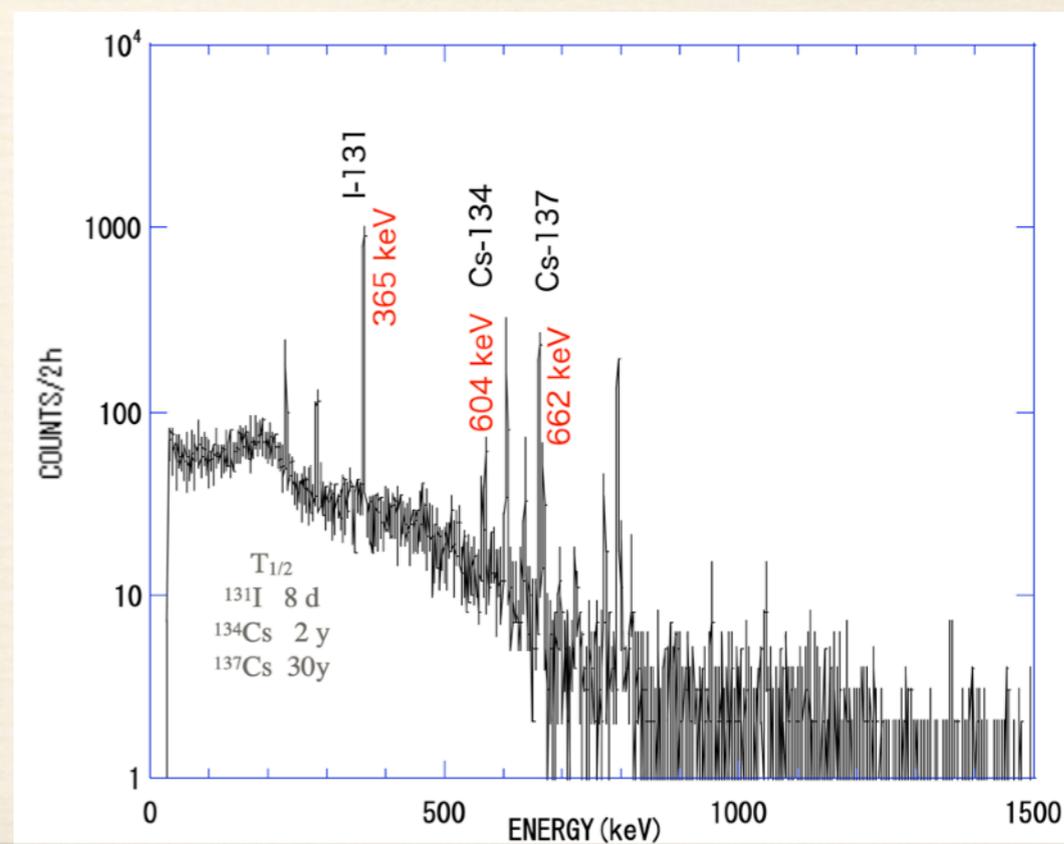


加速器
エックス線

放射線の検出器



と、スペクトル



日本美しい村 飯舘村



土壌除染の様子



中間貯蔵施設

8000 Bq/kgの土壌は他での使用が可能である。

てさ