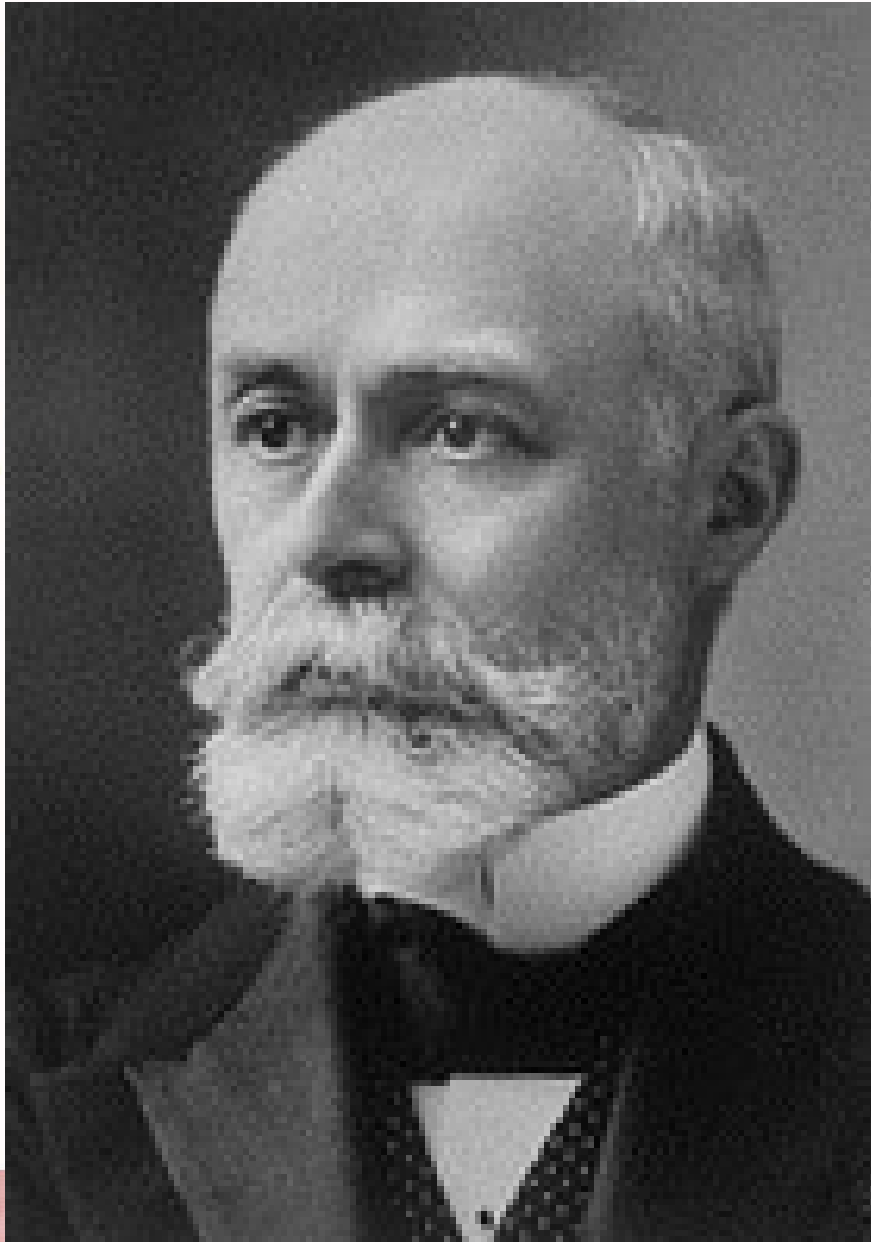


## 2. [連続講座2] 放射能の単位、ベクレルとは。

14:00～14:30 報告 川根真也

これまで説明してきたこと

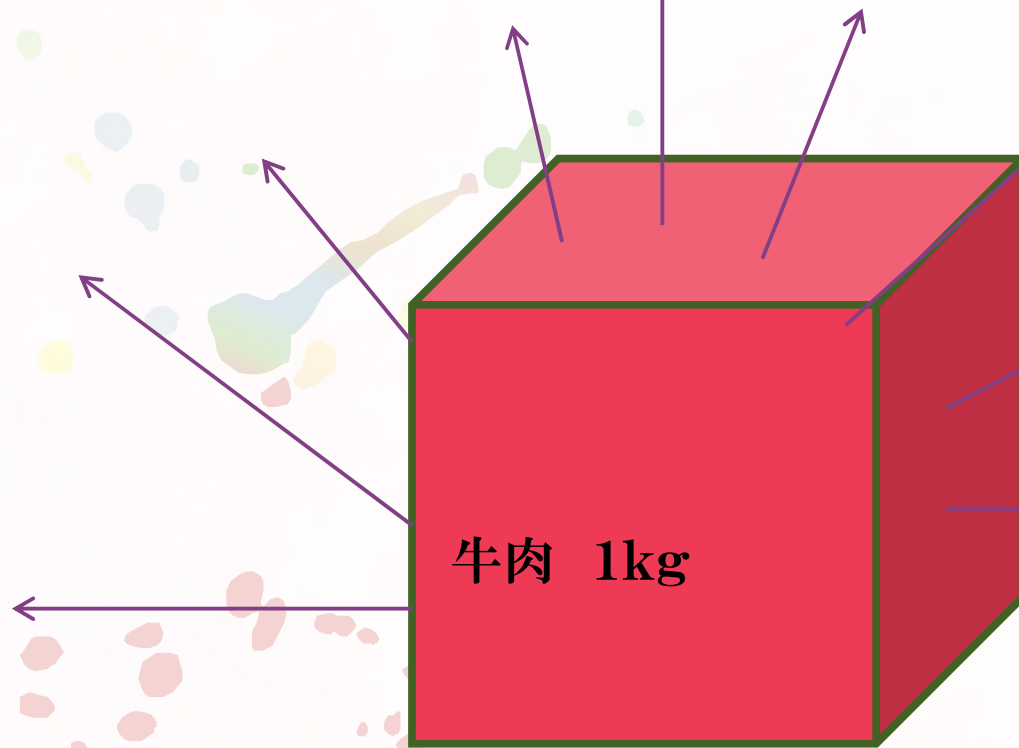
# ベクレル



アンリ・ベクレル  
(Antoine Henri  
Becquerel, 1852年12  
月15日 - 1908年8月  
25日)はフランスの物  
理学者、放射線の発  
見者で、1903年ノーベ  
ル物理学賞受賞

# 放射線の単位 ベクレル

2011年 大阪、兵庫で流通した牛肉  
セシウム134、137汚染が**最高4350ベクレル/kg**

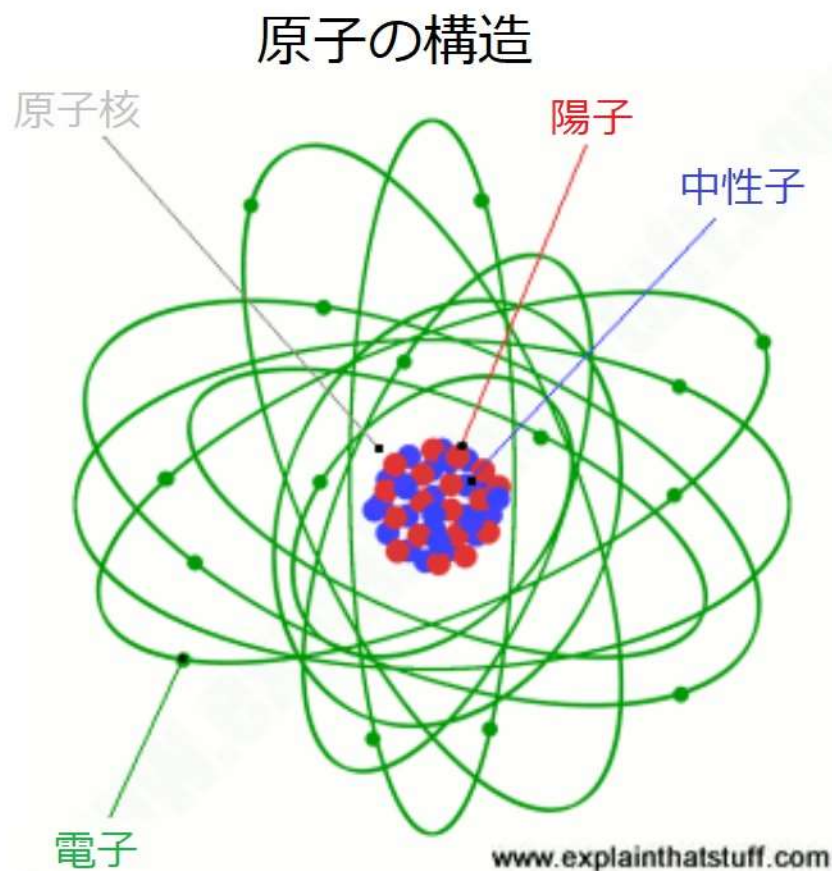


放射線が1秒間に  
**4350発**  
出るということ

セシウム137の場合1秒間にベータ線が4350発、直後にガンマ線4350発出るということ

ベータ線、ガンマ線、アルファ線、  
中性子は原子核から出る

# 原子の構造



【出典】 Atoms blog EXPLANTHATSTUFF!

【編集】 川根 真也

- ① 原子の中心に**原子核**がある。
- ② 原子核には**陽子**（+の電気を持つ）と**中性子**（+も-も電気を持たない）でできている。
- ③ **陽子の数**が**原子番号**となる。**この数だけ電子**もある。
- ④ **陽子の数**（+の数）と**電子の数**（-の数）が同じなので、**原子は中性**（±0）。

⑤ 原子核の陽子と中性子の数を合わせたものを**質量数**という。

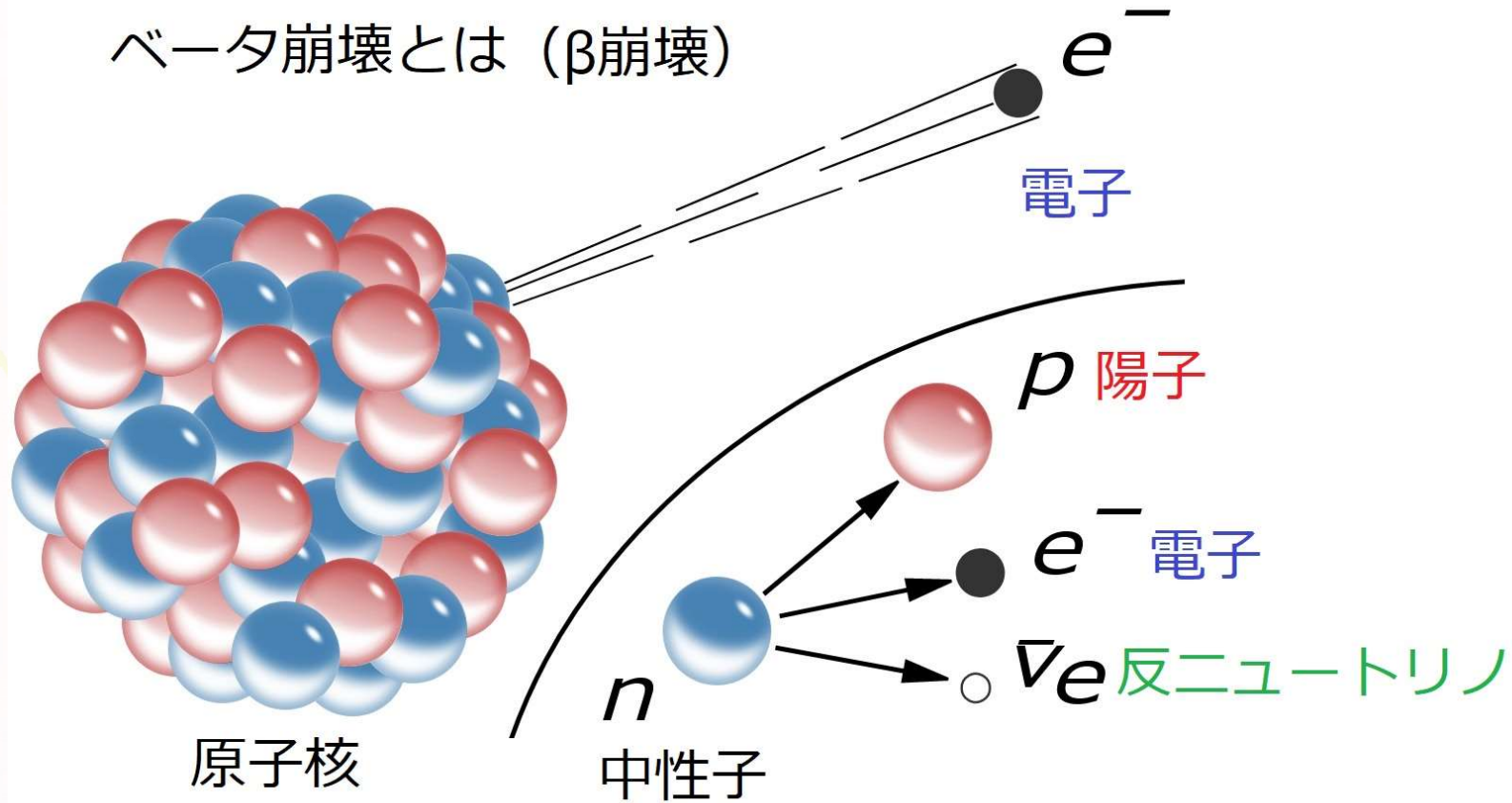
＜例＞ウラン235 陽子92個（原子番号が92番）、中性子143個あるので、**質量数235**。

⑥ 放射性核種は、**ベータ崩壊**、**アルファ崩壊**を勝手に起こして、**別の元素**になる。

⑦ 崩壊して最初の元素から別の元素になり、**最初の放射能の半分**になるまでの時間を**半減期**、という。

# ベータ崩壊とは

ベータ崩壊とは ( $\beta$ 崩壊)



【出典】 Beta decay wikipedia

【編集】 川根 真也

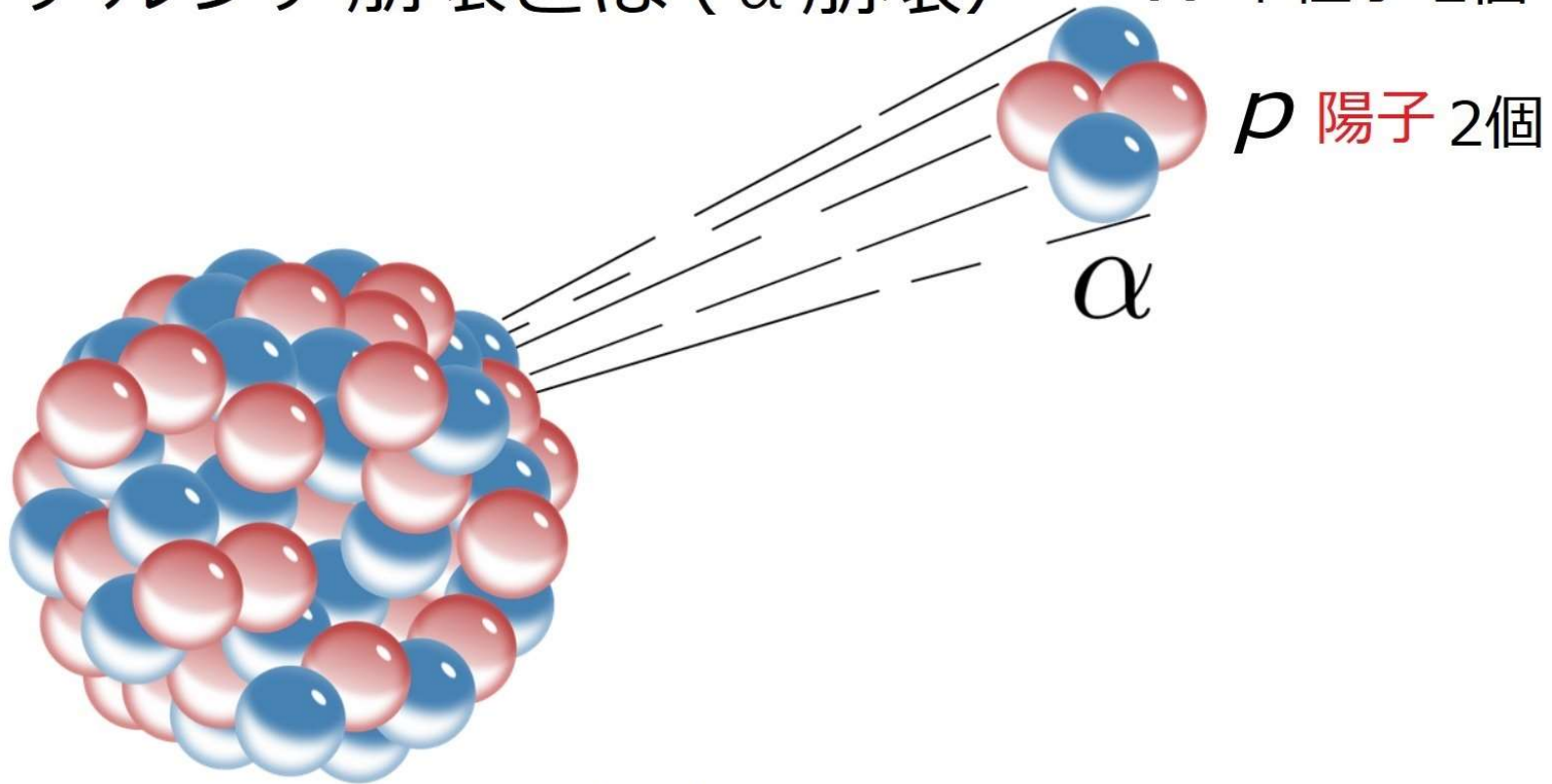


# アルファ崩壊とは

アルファ崩壊とは ( $\alpha$  崩壊)

$n$  中性子 2個

$p$  陽子 2個



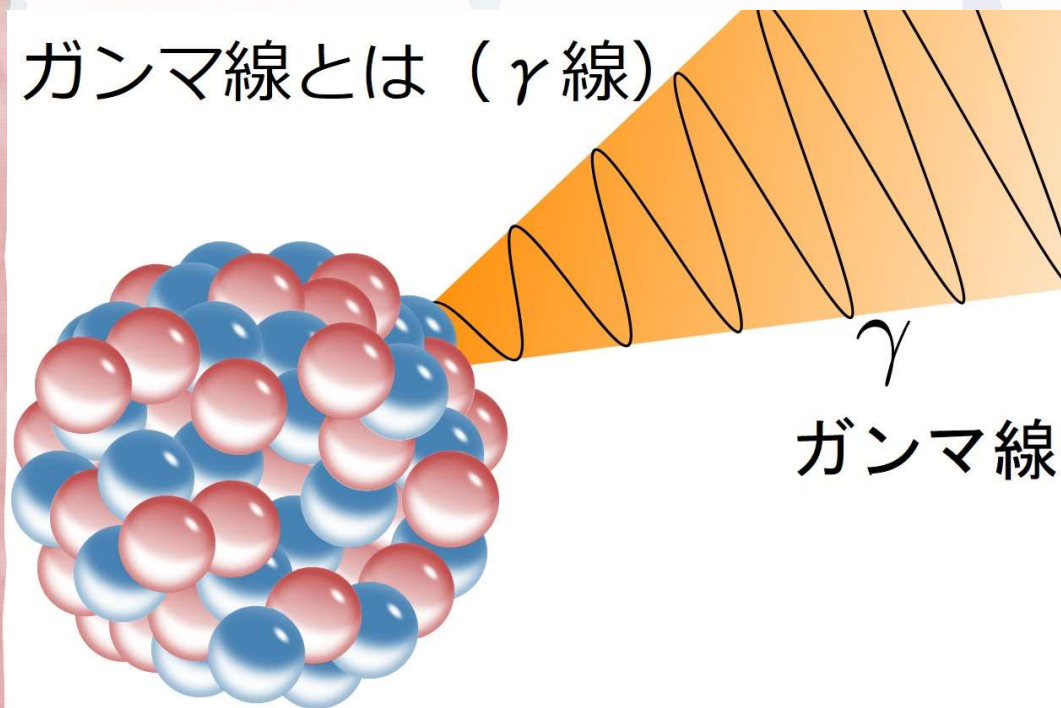
原子核

【出典】 alpha decay wikipedia

【編集】 川根 眞也

# ガンマ線とは

ガンマ線とは ( $\gamma$ 線)



【出典】 ganmma ray wikipedia

【編集】 川根 真也

- ① 原子がベータ崩壊やアルファ崩壊、または、核分裂をすると、原子が励起状態になることがある。
- ② 励起状態はエネルギーが高い状態なので、ただちに、または、時間がたってからガンマ線という光子を出すことでエネルギーを放出し、安定な基底状態になる。

# 崩壊と放射線

① ベータ崩壊には他に2つあり、計3つの崩壊がある。

<  $\beta^-$  壊変：中性子過剰の原子核 >

中性子  $\rightarrow$  陽子 + ベータ線 (電子) + 反ニュートリノ

<  $\beta^+$  壊変：陽子過剰の原子核 >

陽子 + ( $e^- + e^+$ )  $\rightarrow$  中性子 + 陽電子 ( $e^+$ ) + ニュートリノ

< 軌道電子捕獲 (EC)：陽子過剰の原子核 >

陽子 + 電子  $\rightarrow$  中性子 + ニュートリノ

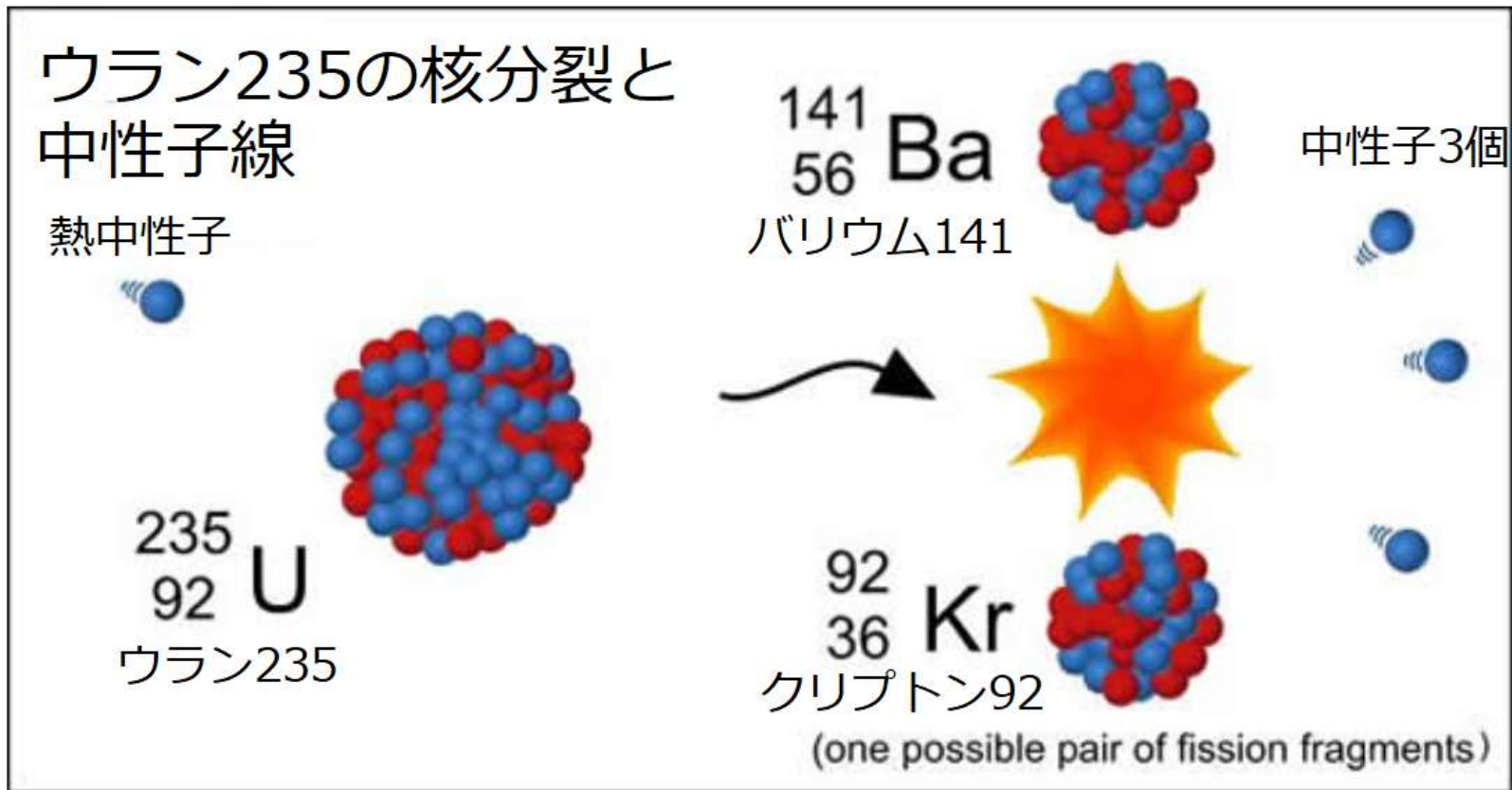
② アルファ崩壊

アルファ粒子 (陽子2個、中性子2個) が放出される。

## 崩壊と放射線

- ③ ベータ崩壊、アルファ崩壊、核分裂に伴い、励起状態の原子核ができるのと、そこからガンマ線（強いエネルギーの電磁波）がでて、安定な基底状態になる。
- ④ 核分裂の際に、アルファ線とともに、何個かの中性子が放出される。

# 崩壊と放射線



核分裂生成物の一例

【出典】 Other types of radioactive decay blog Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency

【編集】 川根 真也

# 崩壊と放射線

⑤ ベータ崩壊のときには

$\beta^-$  壊変 → ベータ線（電子）が放出

$\beta^+$  壊変 → 陽電子が放出され、陽電子はまわりの電子と対消滅して、そこから消滅ガンマ線

（511keV：キロエレクトロンボルト）を正反対の方向に2本出す。

軌道電子捕獲（EC） → 出さない。しかし、励起状態になった原子核はその後、ガンマ線を出す。

※ 1個の電子が1Vの電位差で加速されたときに持つエネルギーがeV。keVはその1000倍のエネルギー。

# 崩壊と放射線

⑤ ベータ崩壊のときには

$\beta^-$  壊変 → ベータ線（電子）が放出

$\beta^+$  壊変 → 陽電子が放出され、陽電子はまわりの電子と対消滅して、そこから消滅ガンマ線

（511keV：キロエレクトロンボルト）を正反対の方向に2本出す。

軌道電子捕獲（EC） → 出さない。しかし、励起状態になった原子核はその後、ガンマ線を出す。

多くのベータ崩壊の場合、崩壊後の原子核が励起状態になっているので、その原子核はその後、ガンマ線を出す。

※ 1個の電子が1Vの電位差で加速されたときに持つエネルギーがeV。keVはその1000倍のエネルギー。

# 崩壊と放射線

- ⑥ アルファ崩壊の時は、アルファ線を出す。多くのアルファ崩壊の場合、崩壊後の原子核が励起状態になっているので、その原子核はその後、ガンマ線を出す。
- ⑦ したがって、 $\beta$ 線+直後に $\gamma$ 線、 $\alpha$ 線+直後に $\gamma$ 線を出す核種が多い。
- ⑧ ストロンチウム89、ストロンチウム90はベータ崩壊（ $\beta^-$ 壊変）をするが、ガンマ線は出さない。トリチウムも同じ。

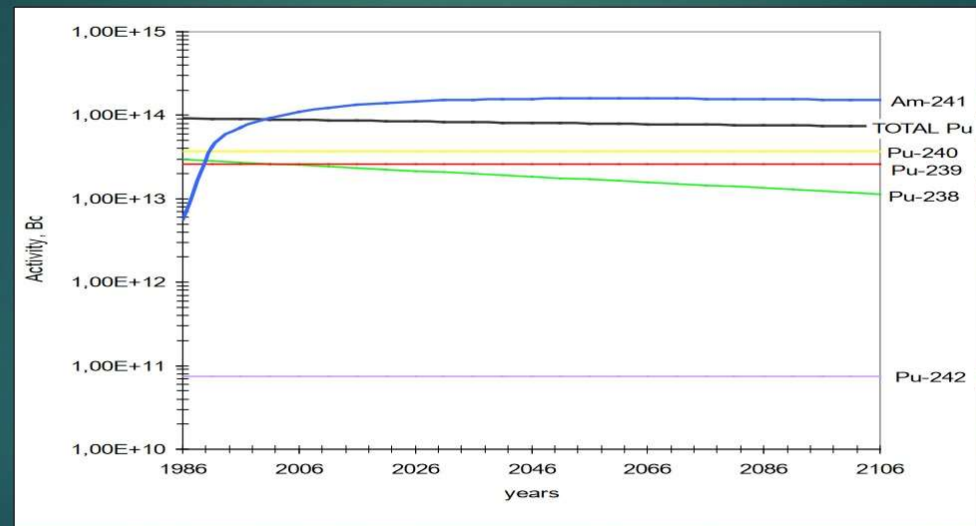


# 崩壊と放射線

⑨ プルトニウム241はほとんどベータ崩壊をする。ベータ崩壊とすると、アメリシウム241になる。アメリシウム241はアルファ線核種。

⑩ チェルノブイリの立ち入り禁止区域（ゾーン）ではプルトニウムを超えてアメリシウム241の放射能が増加中。

Time dynamics of  $^{241}\text{Am}$  and  $^{238,239,240,242}\text{Pu}$  activity



【出典】 New problems of the Chernobyl zone Nonproliferation Studies

【編集】 川根 眞也

# 崩壊と放射線

⑪ **内部転換 (IT)** という方法で原子が軌道電子を放出する場合もある。励起状態の原子がガンマ線を出して、そのエネルギーを放出せずに、軌道電子にエネルギーを与え、放出する。

# ベクレルとは

① 放射性同位体が1秒間に崩壊する回数を言う。

② 崩壊には様々な形態がある。

—  $\alpha$  壊変、 $\beta^-$  壊変、 $\beta^+$  壊変、軌道電子捕獲 (EC)、内部転換 (IT) など

③  $\alpha$  壊変や  $\beta^-$  壊変は、 $\alpha$  線や  $\beta$  線を出して終わり、ではなく、放射線を出したあとの原子核が励起状態であれば、ガンマ線を出して安定な基底状態になる。つまり、 $\alpha$  線 +  $\gamma$  線、 $\beta$  線 +  $\gamma$  線が1回の崩壊で起きる。

# 土地の放射能汚染、食品の放射能汚染、空気の放射能汚染

- ① チェルノブイリ法では、土地の放射能汚染で、強制避難地域、緊急移住地域、移住地域、移住権利地域、放射線定期管理居住地域を決めている。
- ② その対象核種は、ストロンチウム90、セシウム137、プルトニウム238、239、240である。
- ③ 土地汚染の単位は**ベクレル/m<sup>2</sup>**。

# ベラルーシ チェルノブイリ原発事故に係る 放射性物質汚染区域の地域区分

ベラルーシ

チェルノブイリ原発事故に係る放射性物質汚染区域の地域区分(ベラルーシ)

地域の名称	住民の年間平均有効 被曝線量:mSv/年	土壌汚染濃度:Bq/m <sup>2</sup> (ベクレル/m <sup>2</sup> )		
		セシウム137	ストロンチウム90	プルトニウム238、239、240
避難(退去)地域	チェルノブイリ原発周辺の区域のうち、1986年に当時の放射線安全規則に従い住民の避難を行った30km地域及び土壌汚染濃度が基準*を上回っているとして追加的に移住が行われた地域 (*ストロンチウム90:11.1万Bq/m <sup>2</sup> , プルトニウム238,239,240:3700Bq/m <sup>2</sup> )			
緊急移住地域	—	148万以上	11.1万以上	3700以上
移住地域	5超	55.5万-148万	7.4万-11.1万	1850-3700
移住の権利を有する居住地域	1-5	18.5万-55.5万	1.85万-7.4万	740-1850
放射線定期管理居住地域	1以下	3.7万-18.5万	5550-1.85万	37-740

根拠法令：ベラルーシ汚染区域法第4条

注1) 放射性物質による土壌汚染濃度の単位として、法ではCi/km<sup>2</sup>(キュリー/km<sup>2</sup>)が用いられているが、ここではすべてBq/m<sup>2</sup>(ベクレル/m<sup>2</sup>)に換算して記載した。1Ci/km<sup>2</sup>=3.7万Bq/m<sup>2</sup>

注2) 地域区分に当たっては、住民の年間平均有効被曝線量が優先される。例えば、セシウム137による土壌汚染濃度が500kBq/m<sup>2</sup>であっても、住民の年間平均有効被曝線量が6mSv/年であれば、その地域は緊急移住地域に分類される。また、セシウム137、ストロンチウム90等の放射性核種別の汚染濃度の基準は、いずれかの核種で基準を上回れば当該基準の地域に区分される。

【出典】 平成23年度カントリーレポート

『米国、カナダ、ロシア及び大規模災害対策(チェルノブイリ、ハリケーン・カトリーナ、台湾・大規模水害)』

第4章 チェルノブイリ原発事故に関連する農業分野の法的規制等について(ベラルーシ・ロシア関係) 長友謙治

<http://www.maff.go.jp/primaff/koho/seika/project/pdf/cr23-4.pdf>

【編集】川根 真也

# 土地の放射能汚染、食品の放射能汚染、空気の放射能汚染

④ 食品の放射能汚染の単位は  
ベクレル/kg。飲料水の場合、  
ベクレル/L。

⑤ 日本では現在、セシウム134、セシウム137しか測定していないが、国際的には放射性セシウムとともにストロンチウム90を測定している。

⑥ ベラルーシ、ウクライナ、ロシアでは、セシウム137とともにストロンチウム90の食品基準が決められている。

# 食品中のセシウム137及びストロンチウム90の含有量基準

## ベラルーシ RDU-99

第6表 食品中のセシウム137及びストロンチウム90の含有量基準：ベラルーシ（RDU-99）

食品の種類	セシウム137 (Bq/kg,Bq/l)	ストロンチウム90 (Bq/kg,Bq/l)
飲用水	10	0.37
牛乳, 全乳製品	100	3.7
練乳	200	-
カッテージチーズ, 同製品	50	-
ナチュラルチーズ, プロセスチーズ	50	-
バター	100	-
肉・肉製品	-	-
うち牛肉, 羊肉及びそれらの製品	500	-
豚肉, 家禽肉及びそれらの製品	180	-
馬鈴薯	80	3.7
パン類	40	3.7
(穀物の) 粉・挽割り, 砂糖	60	-
植物油脂	40	-
動物油脂, マーガリン	100	-
野菜, 根菜	100	-
果実	40	-
栽培ベリー	70	-
野菜・果実・栽培ベリーの缶詰等	74	-
野生ベリー, 同缶詰等	185	-
生鮮キノコ	370	-
乾燥キノコ	2,500	-
ベビーフード	37	1.85
その他の食品	370	-

- ・ 一人当たり年間消費量が5kg以下の食品（香辛料、茶、蜂蜜等）については、「その他の食品」の10倍の基準値を適用する。
- ・ 馬肉、野生動物の肉を原料に含む肉製品については、牛肉の基準値を準用する。
- ・ パスタ製品については、パン類の基準値を準用する。

（出典）RDU-99

【出典】チェルノブイリ原発事故に関連する農業分野の法的規制等について（ベラルーシ・ロシア関係）長友 謙治 2012年

【編集】川根 眞也

# 土地の放射能汚染、食品の放射能汚染、空気の放射能汚染

⑦ 空気の放射能濃度の単位は  
ベクレル/ $m^3$ 。