

# やさしい放射線の話

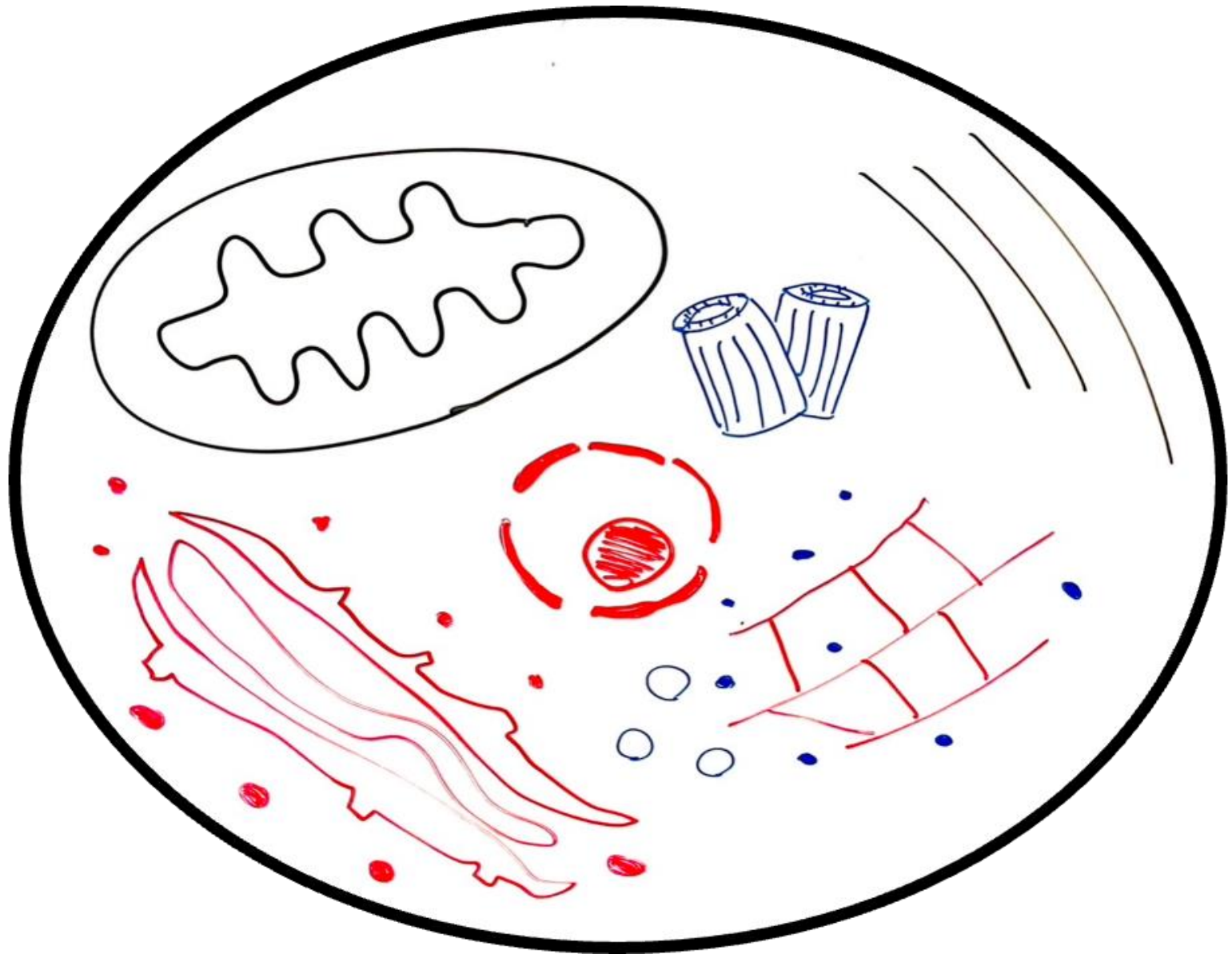
- 不安定な核種と放射崩壊
- 放射線とその透過力
- 放射崩壊の具体例
- 放射線の被ばくを避ける方法

# 不安定な核種と放射崩壊

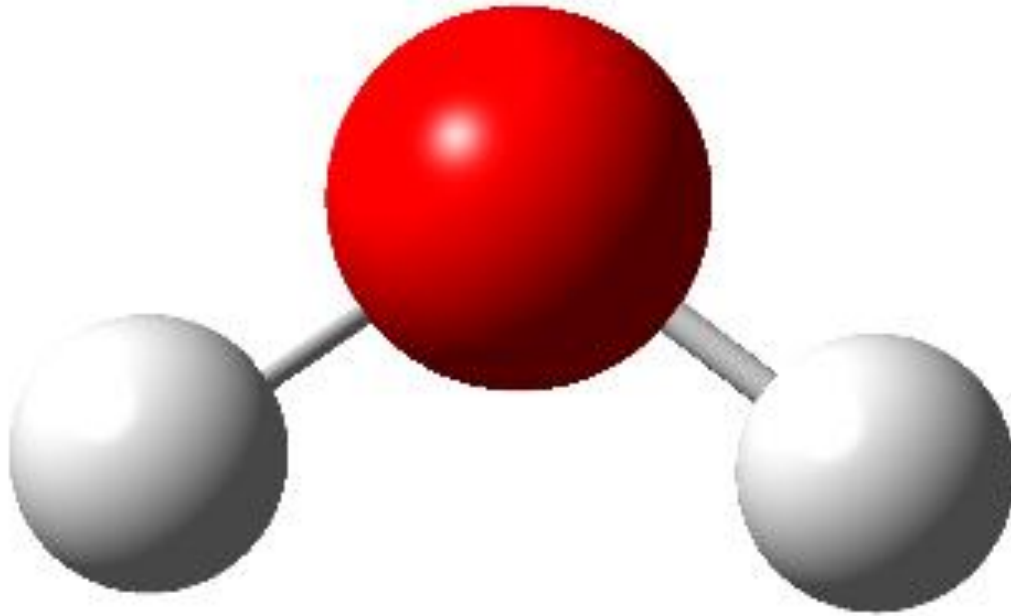
# 人間



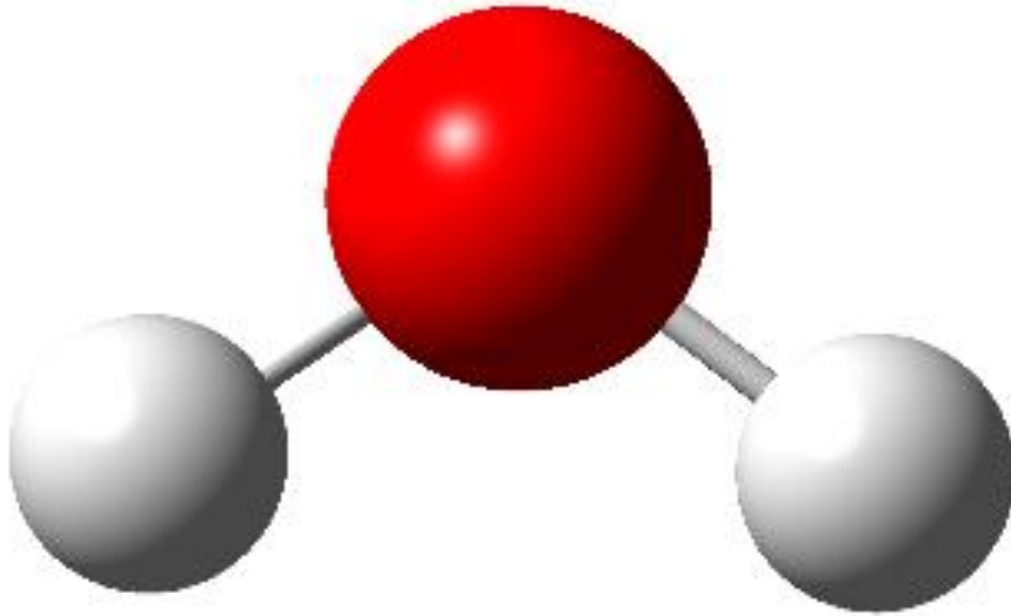
# 細胞



# 分子



分子

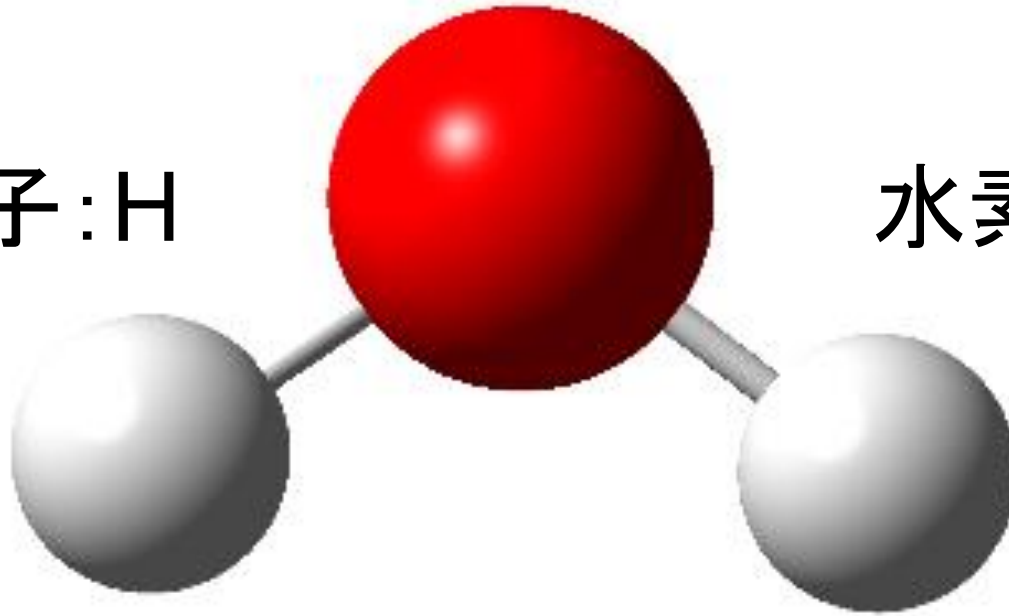


水分子

# 分子と原子

酸素原子: O

水素原子: H



水素原子: H

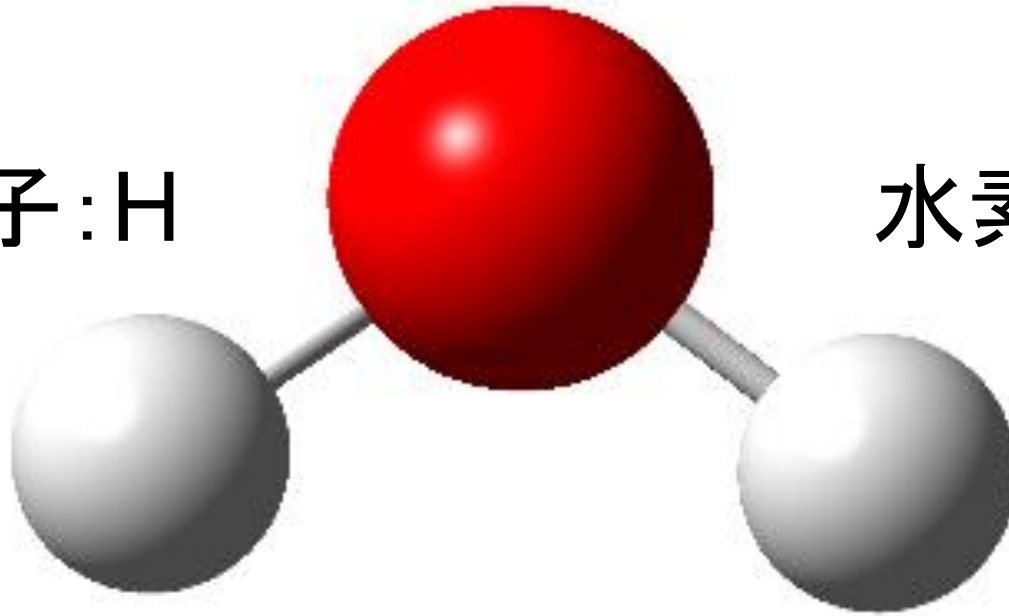
# 水分子



# 分子と原子

酸素原子: O

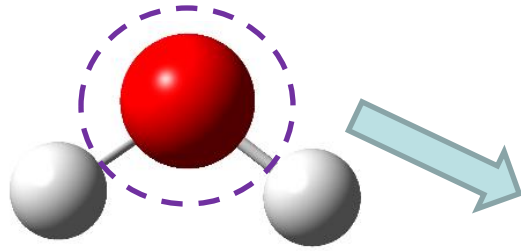
水素原子: H



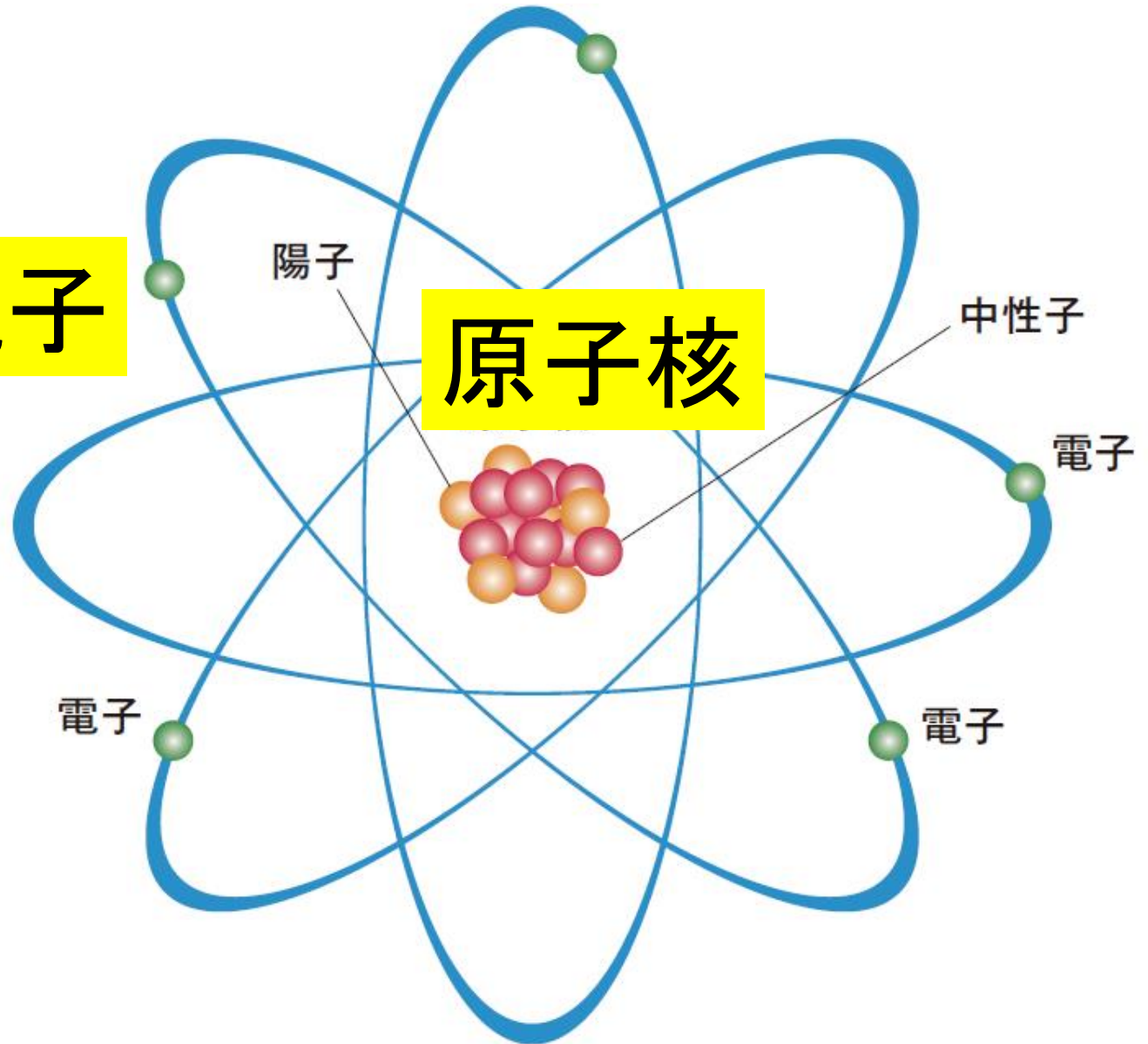
水素原子: H

原子をさらに細かく見ると、、、

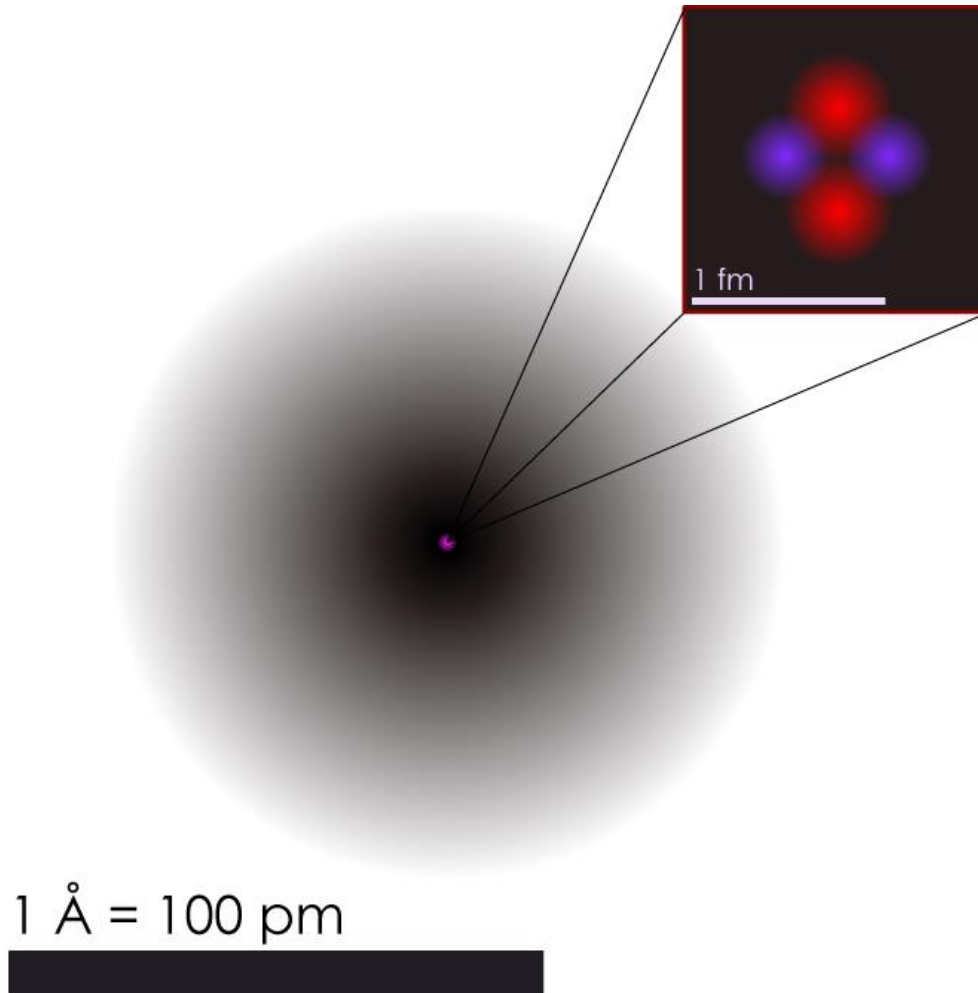
# 原子と原子核



電子



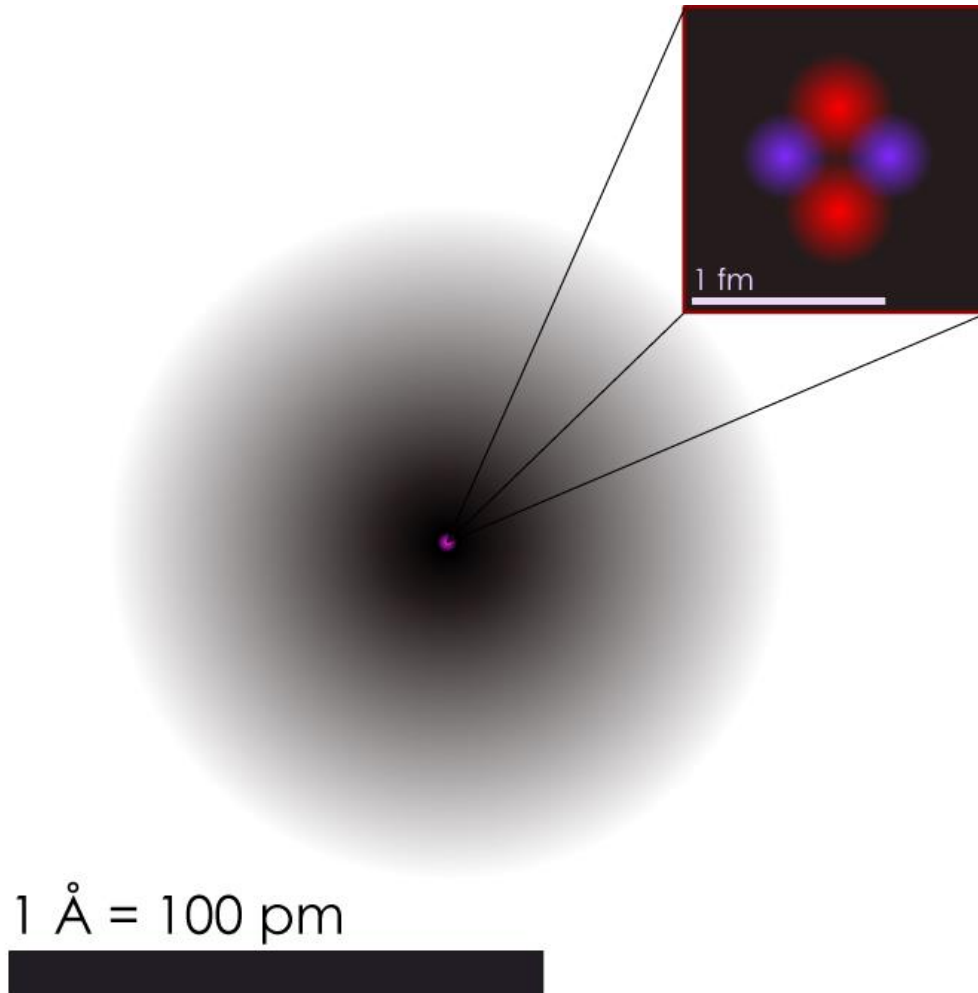
# 原子と原子核



【2】 CC BY-SA 3.0 : Yzmo (Wikipedia)

原子核の大きさをソフトボールくらいとすると、  
原子の大きさは直径約3km

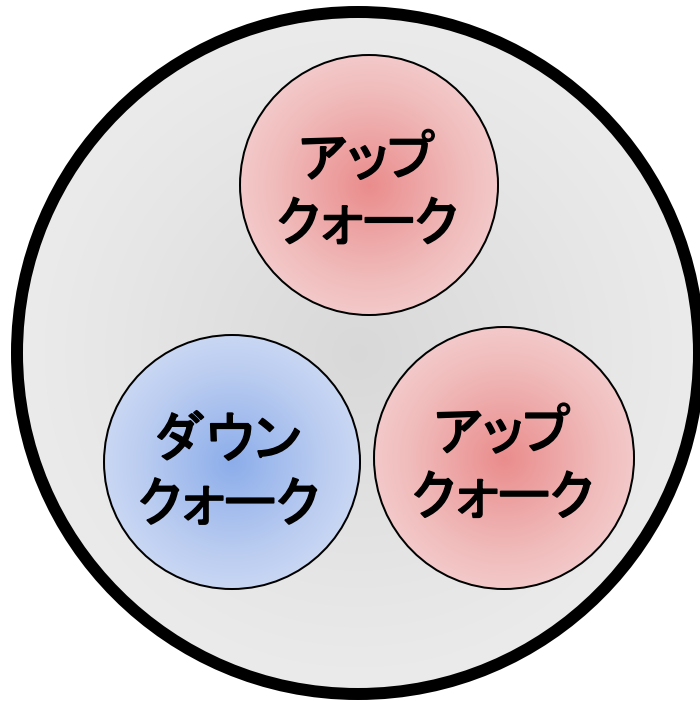
# 原子と原子核



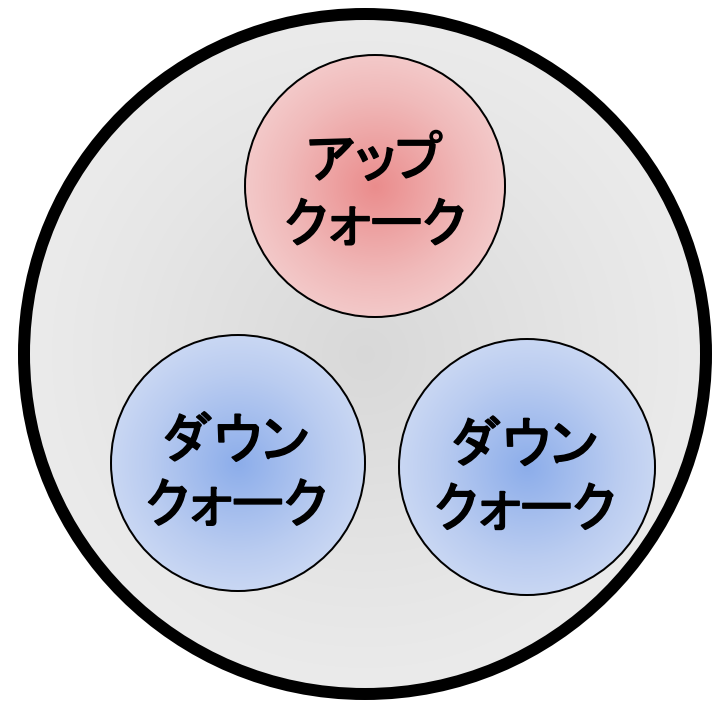
【2】 CC BY-SA 3.0 : Yzmo (Wikipedia)

原子核は、「陽子」「中性子」という「核子」で構成されている。

# 核子と素粒子



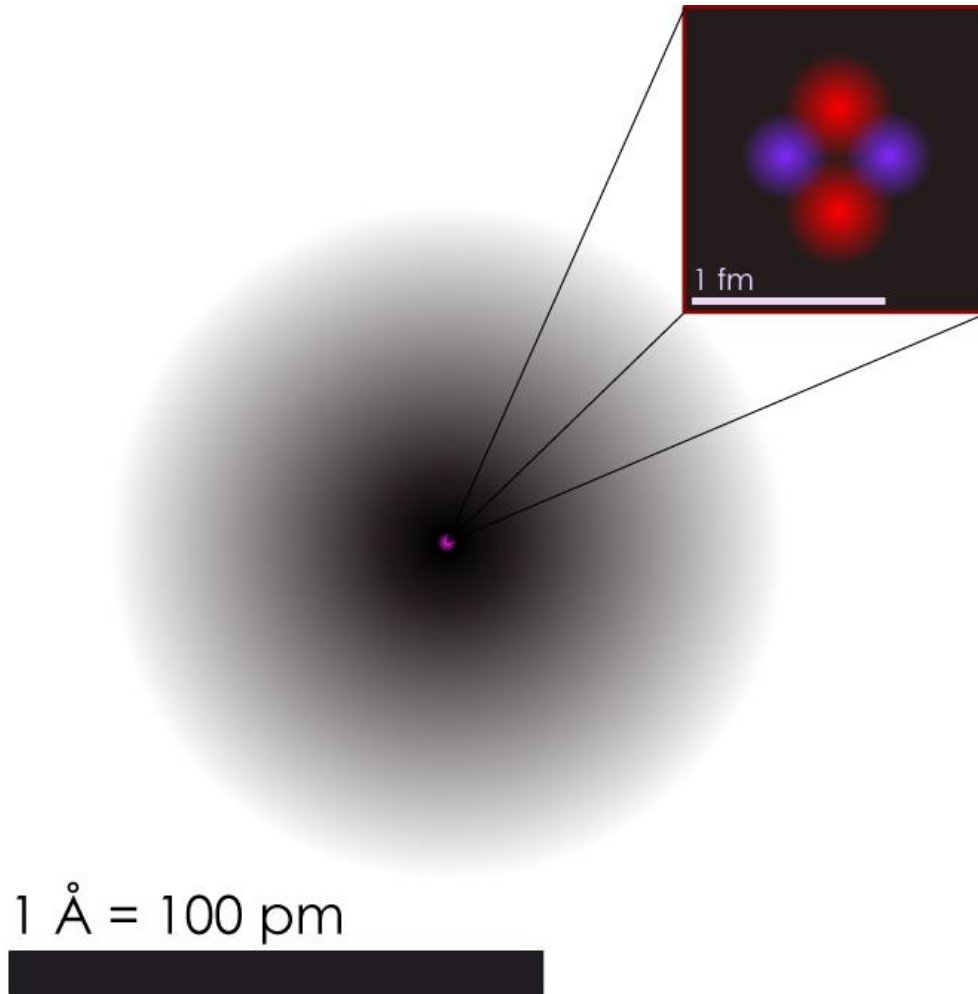
陽子



中性子

陽子、中性子は、「アップクォーク」と「ダウンクォーク」という「素粒子」で構成されている。

# 原子と原子核



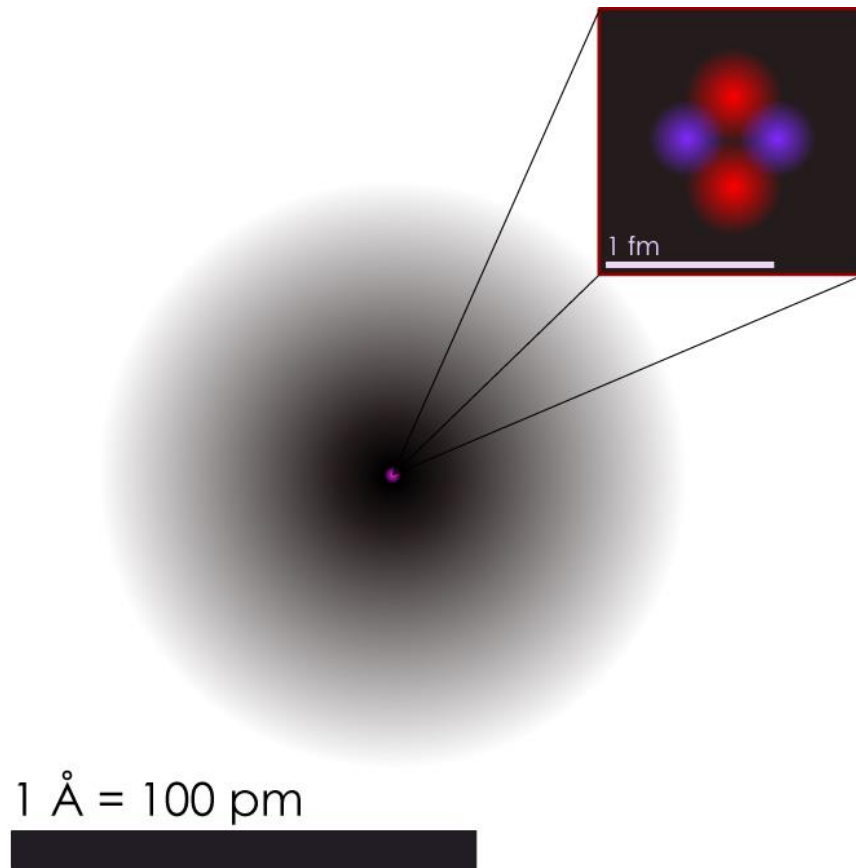
【2】 CC BY-SA 3.0 : Yzmo (Wikipedia)

原子は、原子核中の陽子の数(=電子の数)で  
その化学的性質が決まる：**元素**

# 元素周期表

周期\族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 水素 Hydrogen 1.00798																	2 He ヘリウム Helium 4.0026
2	3 Li リチウム Lithium 6.968	4 Be ベリリウム Beryllium 9.01218											5 B 硼(ホウ)素 Boron 10.814	6 C 炭素 Carbon 12.0106	7 N 窒素 Nitrogen 14.0069	8 O 酸素 Oxygen 15.9994	9 F 弗(フッ)素 Fluorine 18.9984	10 Ne ネオン Neon 20.1797
3	11 Na ナトリウム Sodium 22.9898	12 Mg マグネシウム Magnesium 24.306											13 Al アルミニウム Aluminum 26.9815	14 Si 珪(ケイ)素 Silicon 28.085	15 P 燐(リン) Phosphorus 30.9738	16 S 硫黄 Sulfur 32.068	17 Cl 塩素 Chlorine 35.452	18 Ar アルゴン Argon 39.948
4	19 K カリウム Potassium 39.0983	20 Ca カルシウム Calcium 40.078	21 Sc スカンジウム Scandium 44.9559	22 Ti チタン Titanium 47.867	23 V バナジウム Vanadium 50.9415	24 Cr クロム Chromium 51.9961	25 Mn マンガン Manganese 54.938	26 Fe 鉄 Iron 55.845	27 Co コバルト Cobalt 58.9332	28 Ni ニッケル Nickel 58.6934	29 Cu 銅 Copper 63.546	30 Zn 亜鉛 Zinc 65.38	31 Ga ガリウム Gallium 69.723	32 Ge ゲルマニウム Germanium 72.630	33 As 砒(ヒ)素 Arsenic 74.9216	34 Se セレン Selenium 78.971	35 Br 臭素 Bromine 79.904	36 Kr クリプトン Krypton 83.798
5	37 Rb ルビジウム Rubidium 85.4678	38 Sr ストロンチウム Strontium 87.62	39 Y イットリウム Yttrium 88.9058	40 Zr ジルコニウム Zirconium 91.224	41 Nb ニオブ Niobium 92.9064	42 Mo モリブデン Molybdenum 95.95	43 Tc テクネチウム Technetium [99]	44 Ru ルテニウム Ruthenium 101.07	45 Rh ロジウム Rhodium 102.906	46 Pd パラジウム Palladium 106.42	47 Ag 銀 Silver 107.868	48 Cd カドミウム Cadmium 112.414	49 In インジウム Indium 114.818	50 Sn 錫(スズ) Tin 118.710	51 Sb アンチモン Antimony 121.760	52 Te テルル Tellurium 127.60	53 I ヨウ素 Iodine 126.904	54 Xe キセノン Xenon 131.293
6	55 Cs セシウム Cesium 132.905	56 Ba バリウム Barium 137.327	※1	72 Hf ハフニウム Hafnium 178.49	73 Ta タンタル Tantalum 180.948	74 W タングステン Tungsten 183.84	75 Re レニウム Rhenium 186.207	76 Os オスミウム Osmium 190.23	77 Ir イリジウム Iridium 192.217	78 Pt 白金(プラチナ) Platinum 195.084	79 Au 金 Gold 196.967	80 Hg 水銀 Mercury 200.592	81 Tl タリウム Thallium 204.384	82 Pb 鉛 Lead 207.2	83 Bi ビスマス Bismuth 208.980	84 Po ポロニウム Polonium [210]	85 At アスタチン Astatine [210]	86 Rn ラドン Radon [222]
7	87 Fr フランシウム Francium [223]	88 Ra ラジウム Radium [226]	※2	104 Rf ラザホージウム Rutherfordium [267]	105 Db ドブニウム Dubnium [268]	106 Sg シーボーギウム Seaborgium [271]	107 Bh ボーリウム Bohrium [272]	108 Hs ハッシウム Hassium [277]	109 Mt マイトネリウム Meitnerium [276]	110 Ds ダームスタチウム Darmstadtium [281]	111 Rg レントゲニウム Roentgenium [280]	112 Cn コペルニシウム Copernicium [285]	113 Nh ニホニウム Nihonium [278]	114 Fl フレロビウム Flerovium [289]	115 Mc モスコビウム Moscovium [289]	116 Lv リバモリウム Livermorium [293]	117 Ts テネシン Tennessine [293]	118 Og オガネソン Oganesson [294]
※1 ランタノイド系	57 La ランタン Lanthanum 138.905	58 Ce セリウム Cerium 140.116	59 Pr プラセオジウム Praseodymium 140.908	60 Nd ネオジウム Neodymium 144.242	61 Pm プロメチウム Promethium [145]	62 Sm サマリウム Samarium 150.36	63 Eu ユウロビウム Europium 151.964	64 Gd ガドリニウム Gadolinium 157.25	65 Tb テルビウム Terbium 158.925	66 Dy ジスプロシウム Dysprosium 162.500	67 Ho ホルミウム Holmium 164.930	68 Er エルビウム Erbium 167.259	69 Tm ツリウム Thulium 168.934	70 Yb イットルビウム Ytterbium 173.045	71 Lu ルテチウム Lutetium 174.967			
※2 アクチノイド系	89 Ac アクチニウム Actinium [227]	90 Th トリウム Thorium 232.038	91 Pa プロトアクチニウム Protactinium 231.036	92 U ウラン Uranium 238.029	93 Np ネプツニウム Neptunium [237]	94 Pu プルトニウム Plutonium [239]	95 Am アメリシウム Americium [243]	96 Cm キュリウム Curium [247]	97 Bk バーケリウム Berkelium [247]	98 Cf カリホルニウム Californium [252]	99 Es アインスタイニウム Einsteinium [252]	100 Fm フェルミウム Fermium [257]	101 Md メンデレビウム Mendelevium [258]	102 No ノーベリウム Nobelium [259]	103 Lr ローレンシウム Lawrencium [262]			

# 原子と原子核



【2】 CC BY-SA 3.0 : Yzmo (Wikipedia)

原子核は、原子核中の陽子と中性子の数で、  
その「核的な」性質が決まる：**核種**

従って、同じ元素であっても、原子核中の中性子の数で、  
その「核的な」性質が異なる：**同位体 (Isotope)**



# 水素(H)の同位体

[3] CC BY-SA 4.0 : iseri (Wikipedia)

周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 水素 Hydrogen 1.00798																	2 He ヘリウム Helium 4.0026
2	3 Li リチウム Lithium 6.968	4 Be ベリリウム Beryllium 9.01218									5 B 硼(ホウ)素 Boron 10.814	6 C 炭素 Carbon 12.0106	7 N 窒素 Nitrogen 14.0069	8 O 酸素 Oxygen 15.9994	9 F フッ素 Fluorine 18.9984	10 Ne ネオン Neon 20.1797		
3	11 Na ナトリウム Sodium 22.9898	12 Mg マグネシウム Magnesium 24.306									13 Al アルミニウム Aluminum 26.9815	14 Si 珪(ケイ)素 Silicon 28.085	15 P 燐(リン) Phosphorus 30.9738	16 S 硫黄 Sulfur 32.068	17 Cl 塩素 Chlorine 35.452	18 Ar アルゴン Argon 39.948		
4	19 K カリウム	20 Ca カルシウム	21 Sc スカンジウム	22 Ti チタン	23 V バナジウム	24 Cr クロム	25 Mn マンガン	26 Fe 鉄	27 Co コバルト	28 Ni ニッケル	29 Cu 銅	30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ゲルマニウム	33 As 砒(ア)素	34 Se セレン	35 Br 臭素	36 Kr クリプトン

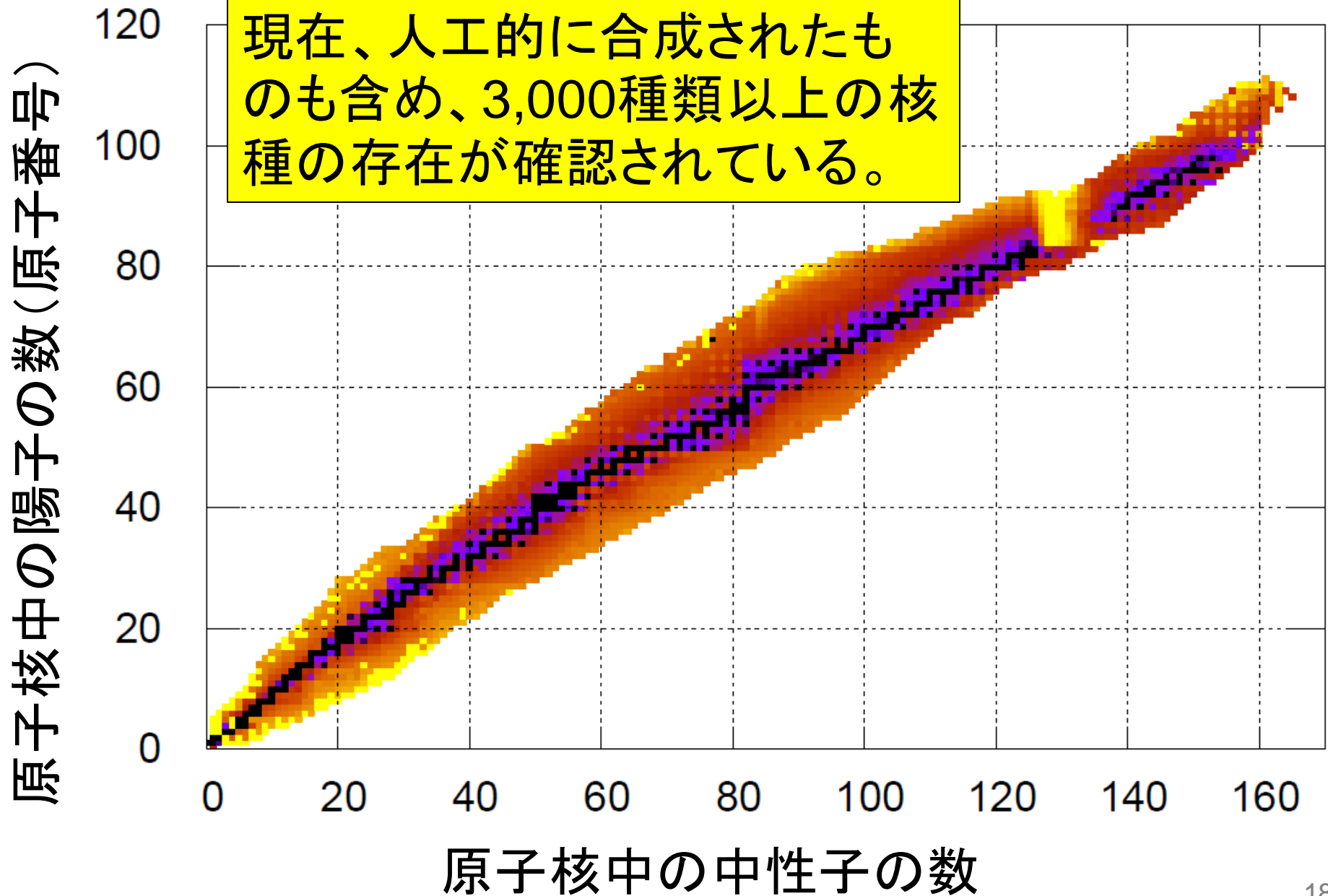
・原子番号が1なので、原子核中の陽子数は1

・一般的な水素の原子核中の中性子数は0なので、核子数は1。このような水素をH-1と記述する。

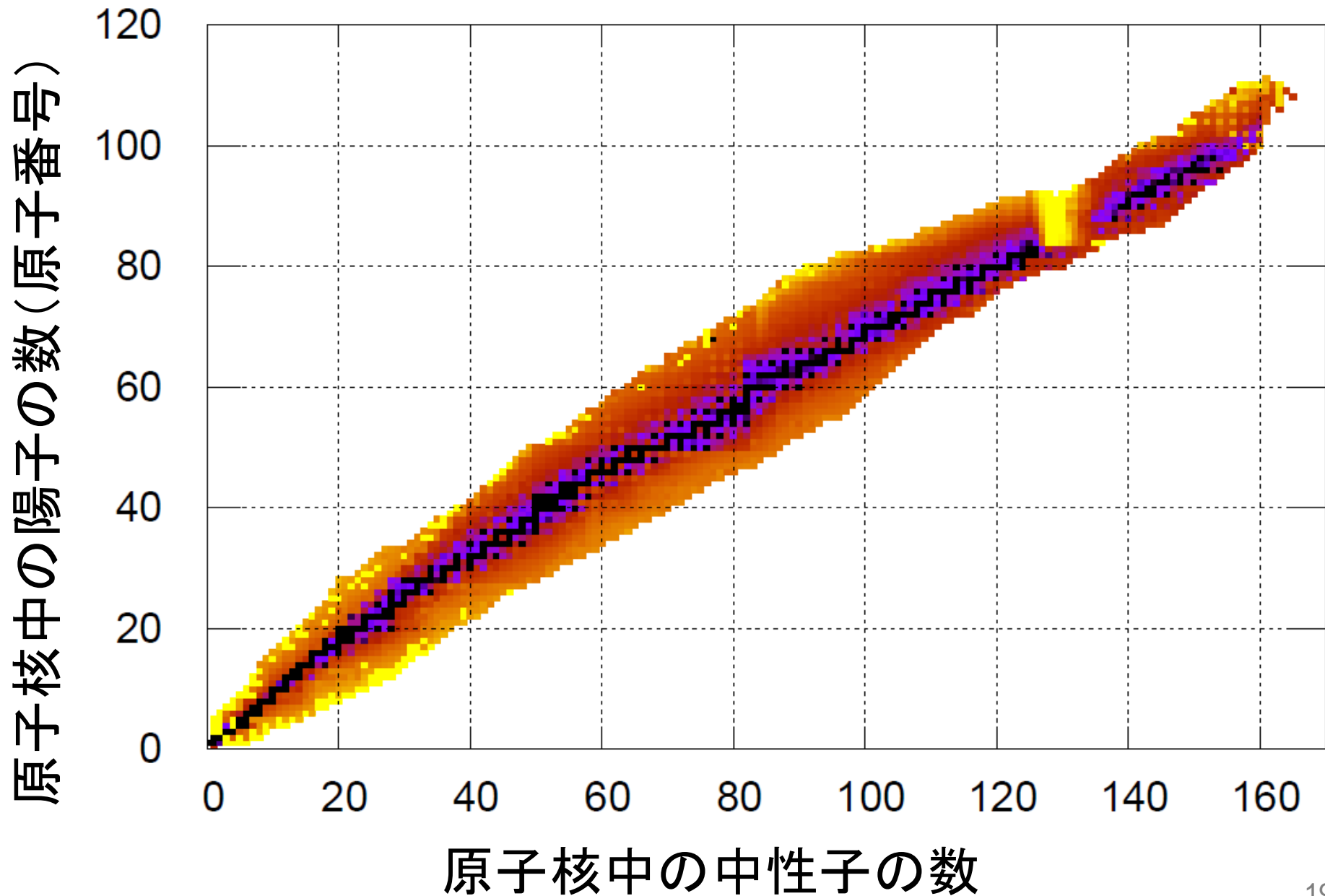
・水素は水素でも、原子核中の中性子数が1の水素がある。このような水素H-2は重水素と呼ばれる。

・さらに、原子核中の中性子数が2の水素がある。このような水素H-3は三重水素(トリチウム)と呼ばれる。

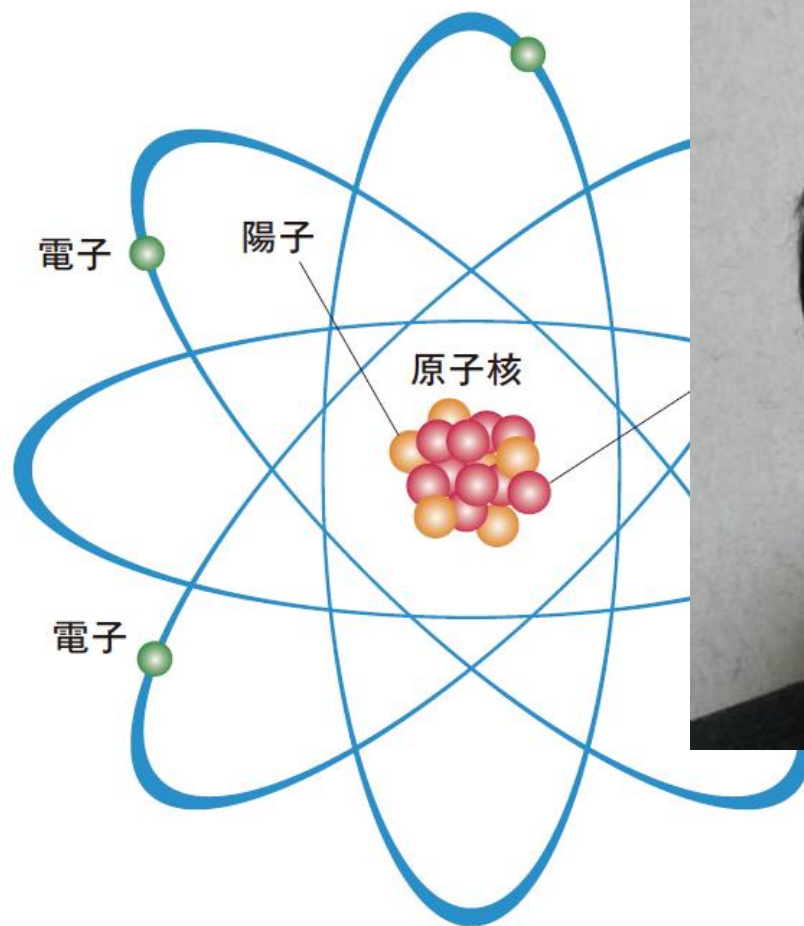
# 核図表



# 安定な核種と不安定な核種



# 不安定な核種の振る舞い

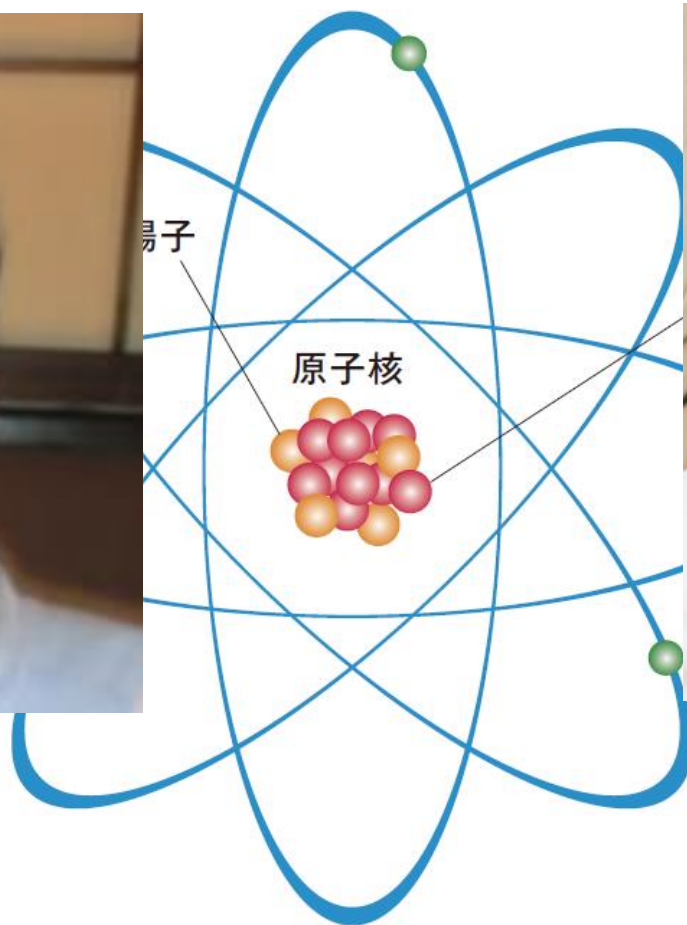


【1】 出典：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

この世の中に存在する原子核の大部分は、「安定」状態なのですが、、、

# 不安定な核種の振る舞い

【4】提供：den-sen/30499034/PIXTA（ピクスタ）

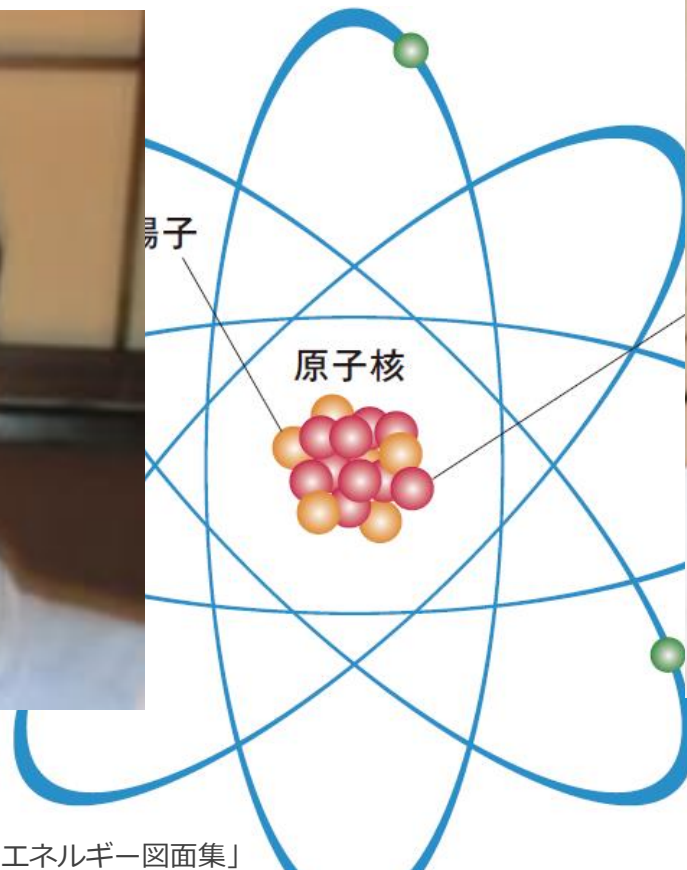


【1】出典：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

なかには「安定」状態に無い（「不安定な」）原子核もあります。

# 不安定な核種の振る舞い

【4】提供：den-sen/30499034/PIXTA（ピクスタ）

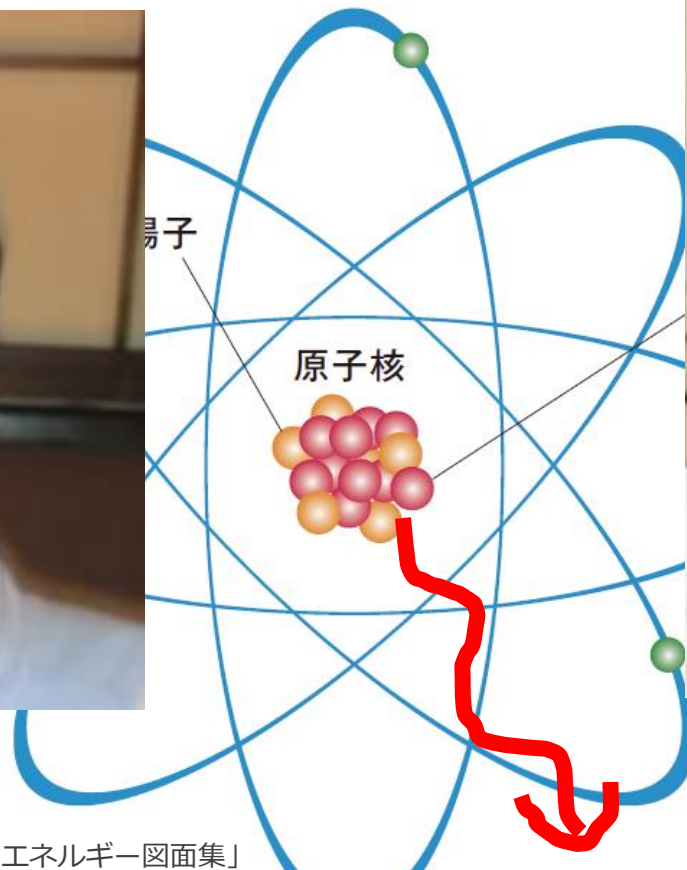


【1】出典：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

そういう「不安定な」原子核は、時間が経つと「安定」状態の原子核に変わりますが、そのときに「放射線」がでてきます。

# 不安定な核種の振る舞い

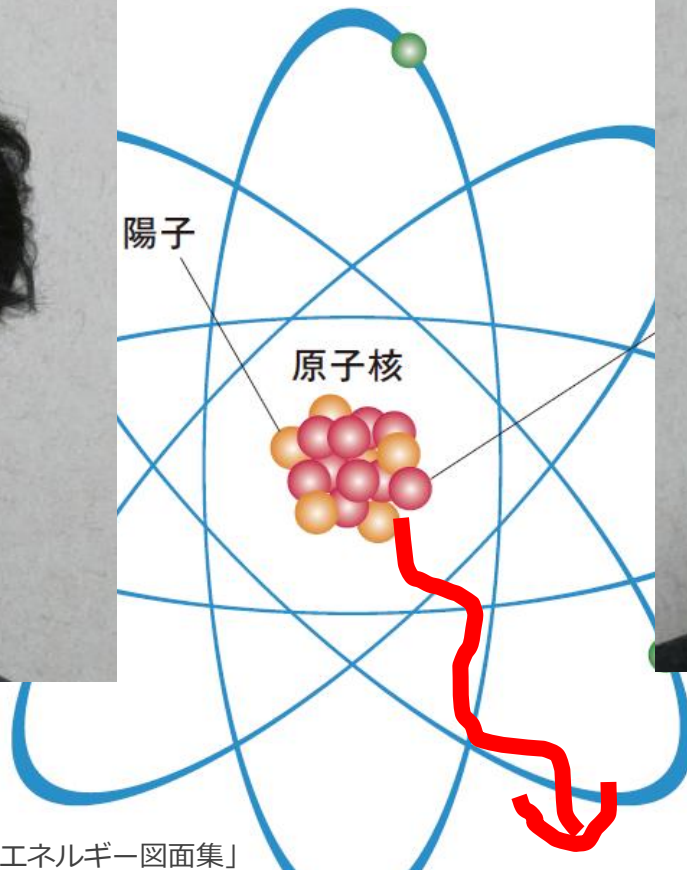
【4】提供：den-sen/30499034/PIXTA（ピクスタ）



【1】出典：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

そういう「不安定な」原子核は、時間が経つと「安定」状態の原子核に変わりますが、そのときに「放射線」がでてきます。

# 不安定な核種の振る舞い

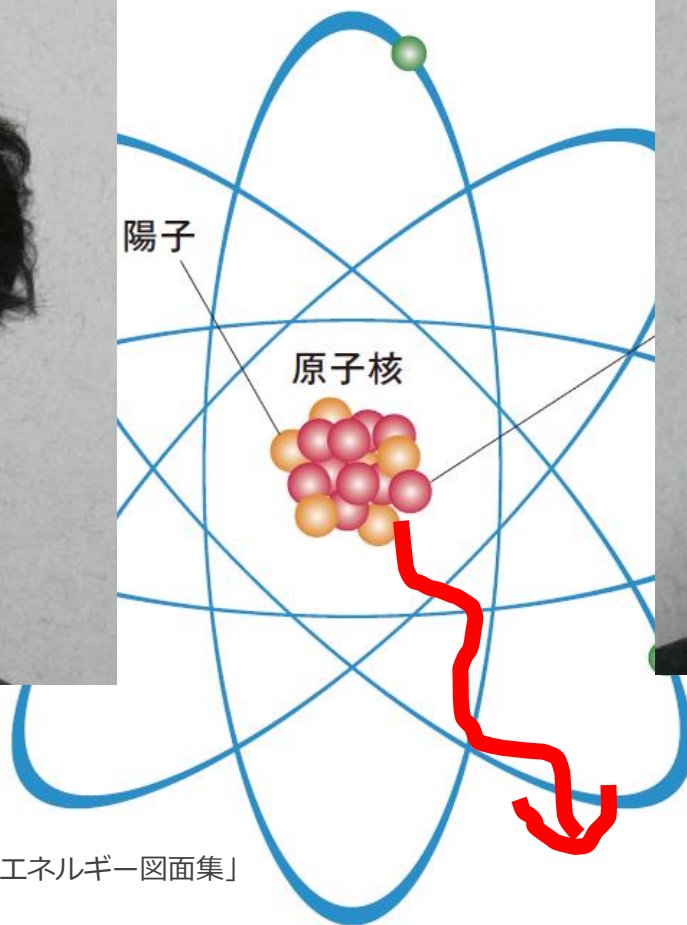


【1】 出典：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

そういう「不安定な」原子核は、時間が経つと「安定」状態の原子核に変わりますが、そのときに「放射線」がでてきます。



# 不安定な核種の振る舞い

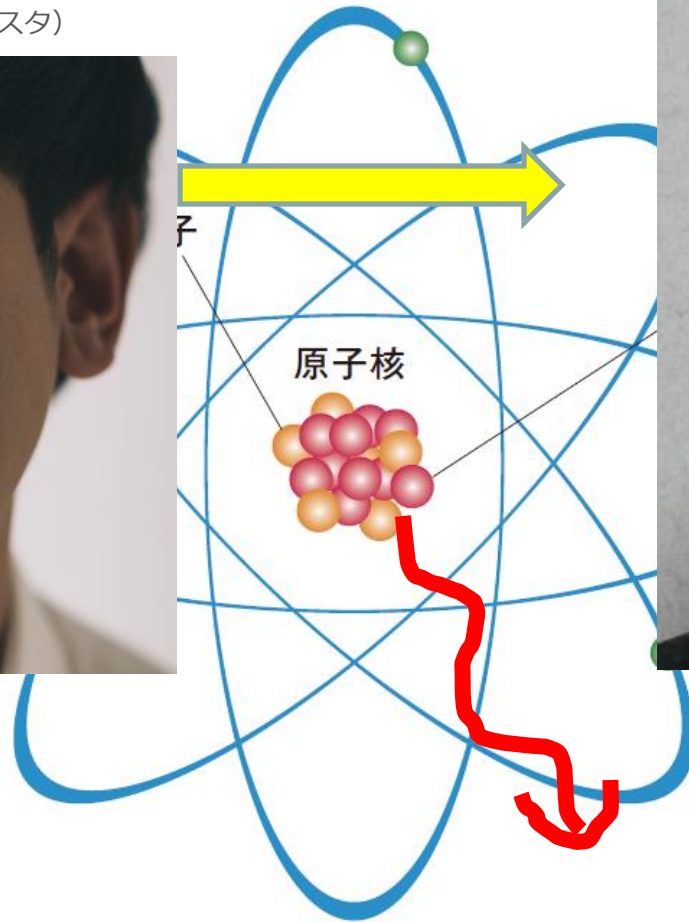


【1】 出典：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

これを「放射崩壊」と呼びます  
(もしくは単に「崩壊」とも呼びます)。

# 不安定な核種の振る舞い

【5】提供：プラナ/96719544/PIXTA（ピクスタ）

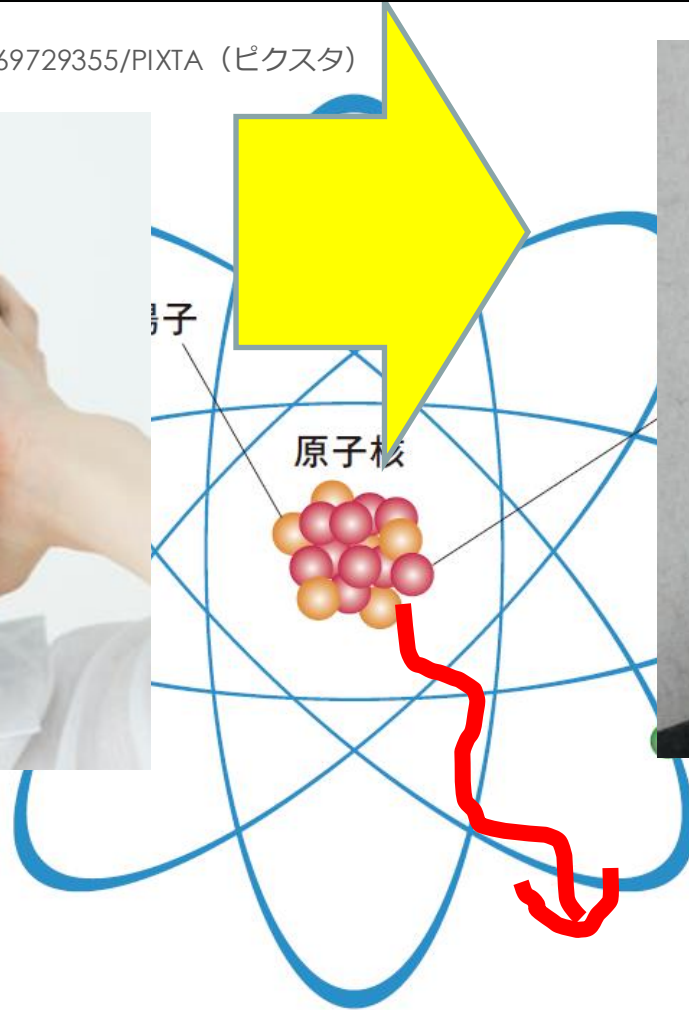


【1】出典：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

「ちょっと不安定なもの」は比較的長い時間が経過した後に「安定なもの」に変わりますが、

# 不安定な核種の振る舞い

【6】提供：ペイレスイメージズ1（モデル）/69729355/PIXTA（ピクスタ）



【1】出典：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

「かなり不安定なもの」はかなり短い時間で「安定なもの」に変わります。

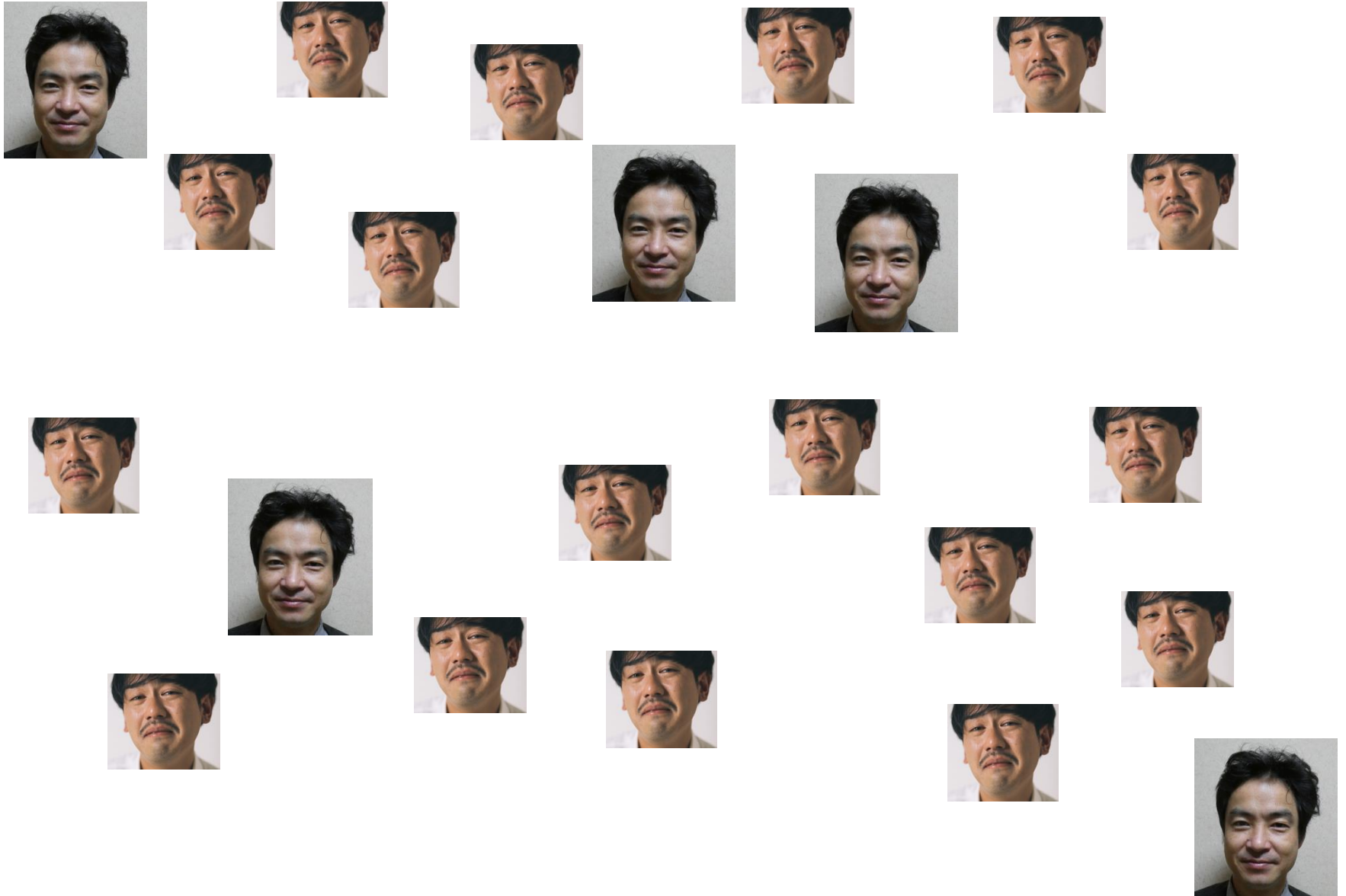
# 不安定な核種の振る舞い

【5】提供：プラナ/96719544/PIXTA（ピクスタ）



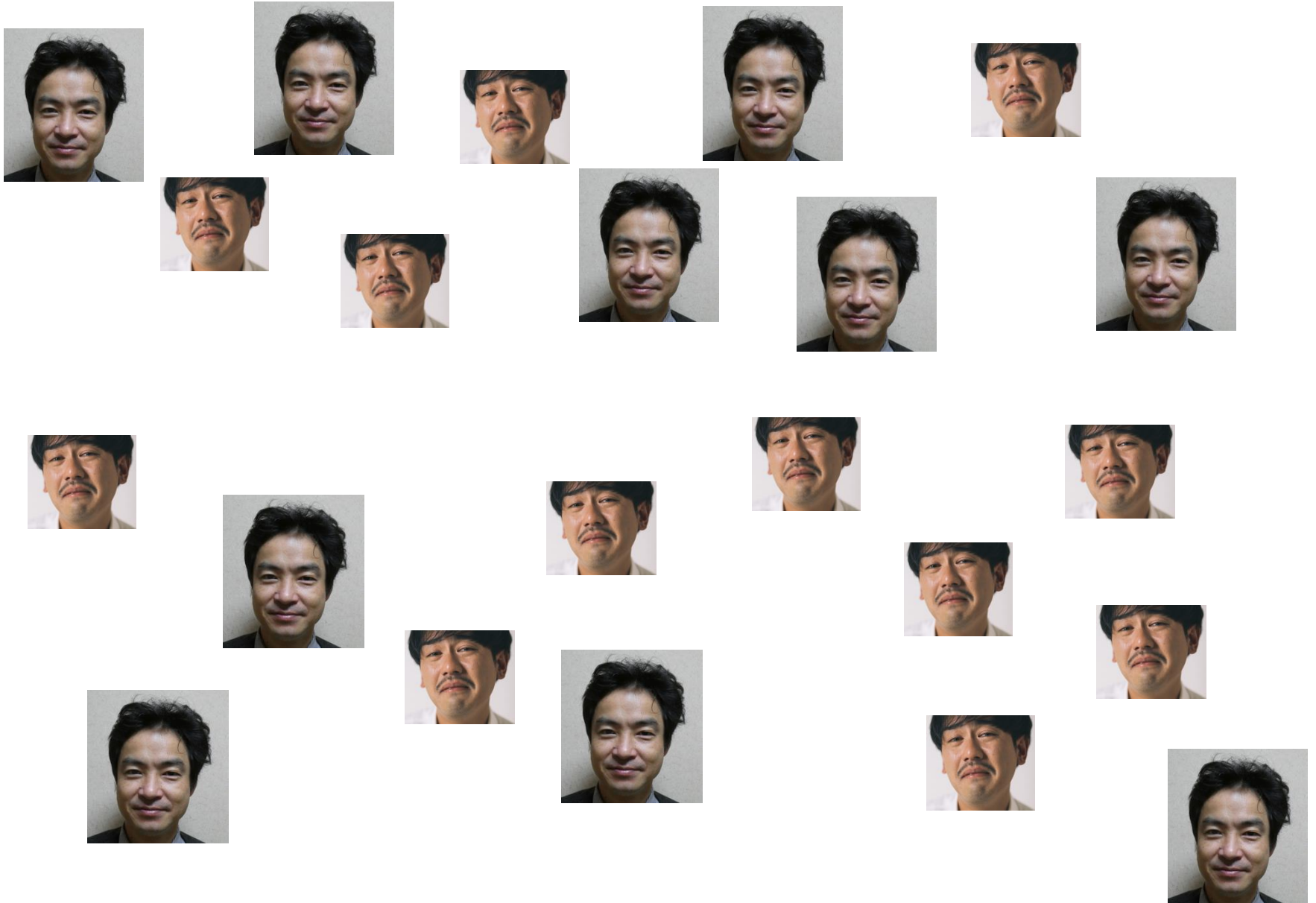
# 不安定な核種の振る舞い

【5】提供：プラナ/96719544/PIXTA（ピクスタ）



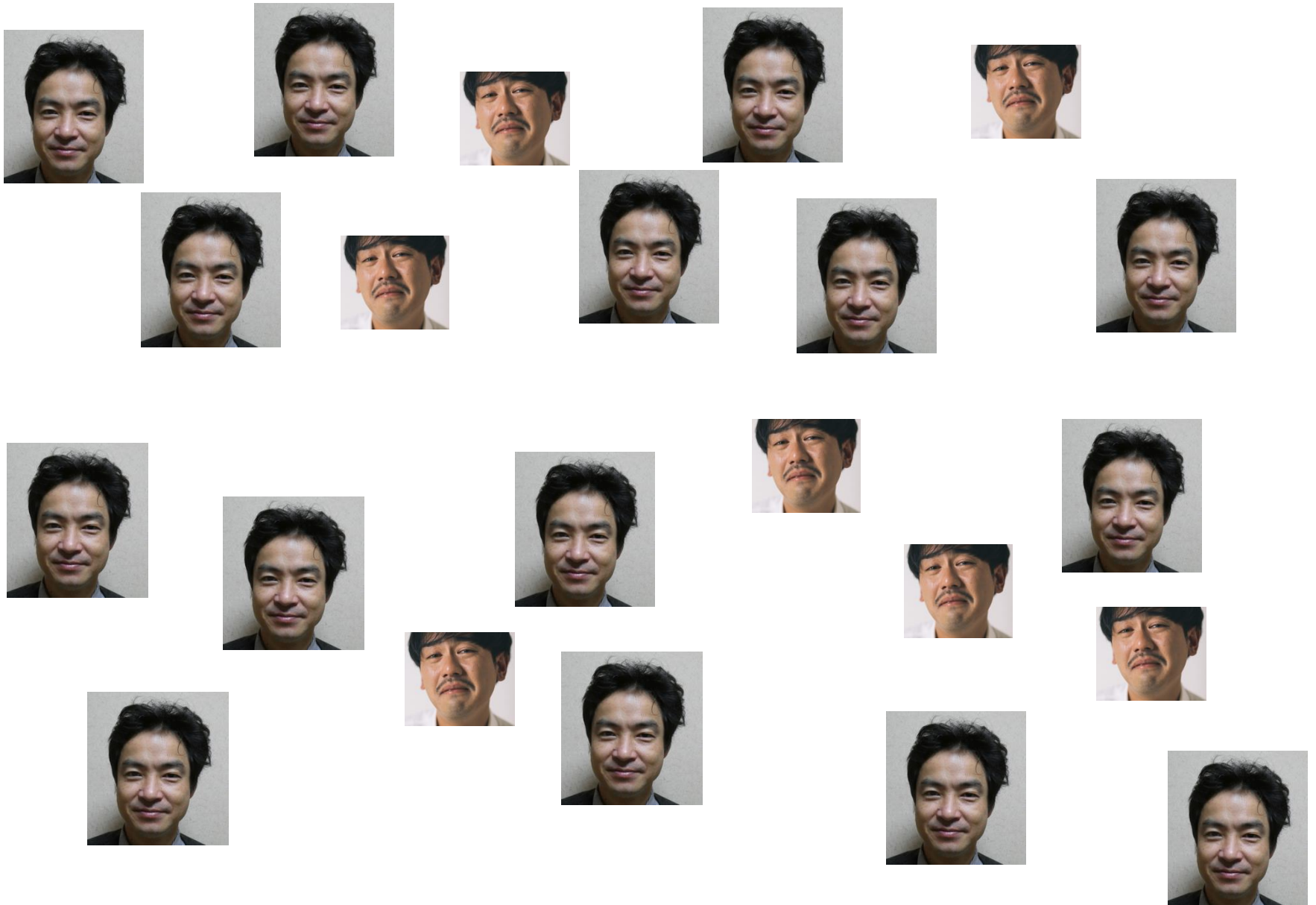
# 不安定な核種の振る舞い

【5】提供：プラナ/96719544/PIXTA（ピクスタ）

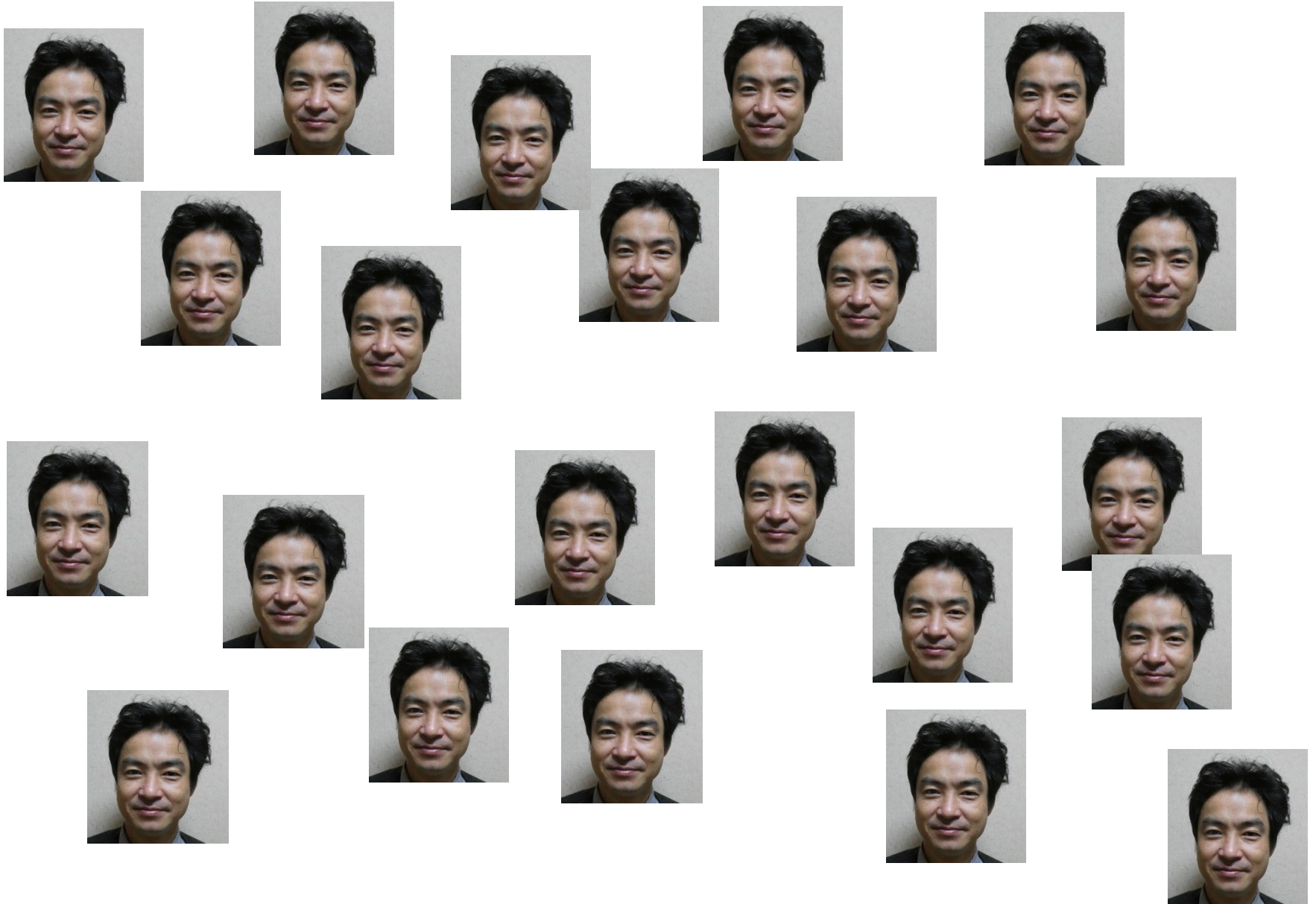


# 不安定な核種の振る舞い

【5】提供：プラナ/96719544/PIXTA（ピクスタ）



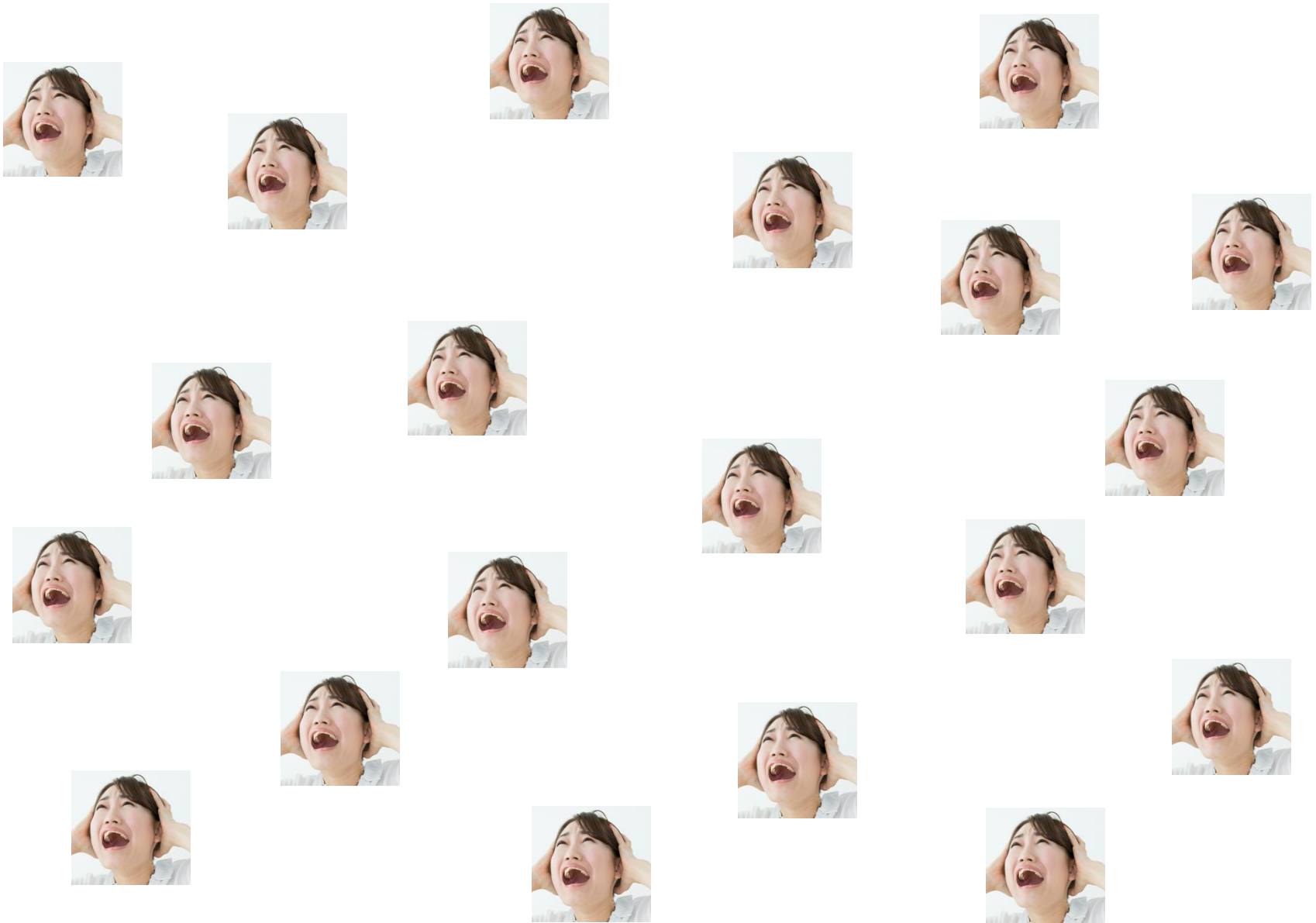
# 不安定な核種の振る舞い





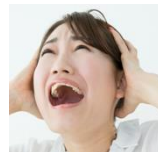
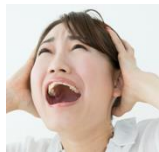
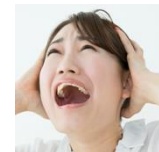
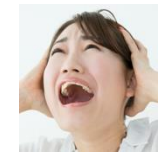
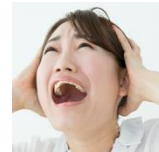
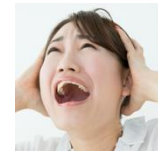
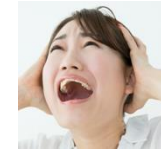
# 不安定な核種の振る舞い

【6】提供：ペイレスイメージズ1（モデル）/69729355/PIXTA（ピクスタ）



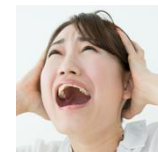
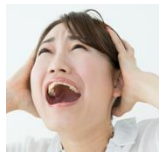
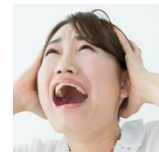
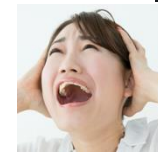
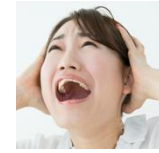
# 不安定な核種の振る舞い

【6】提供：ペイレスイメージズ1（モデル）/69729355/PIXTA（ピクスタ）



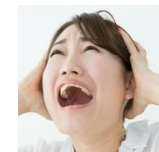
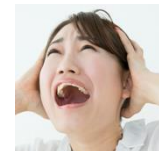
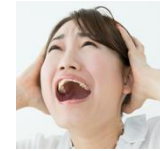
# 不安定な核種の振る舞い

【6】提供：ペイレスイメージズ1（モデル）/69729355/PIXTA（ピクスタ）

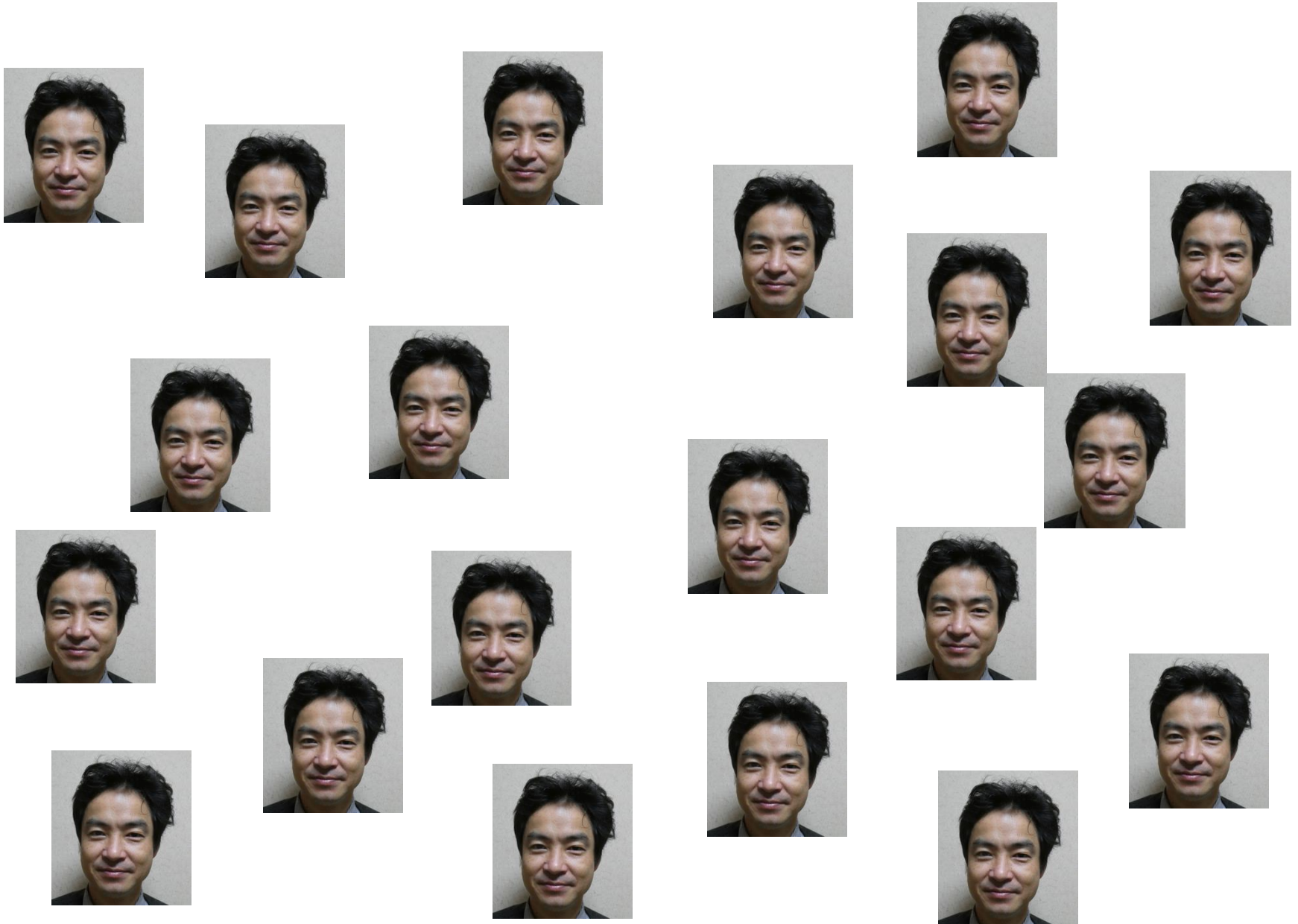


# 不安定な核種の振る舞い

【6】提供：ペイレスイメージズ1（モデル）/69729355/PIXTA（ピクスタ）

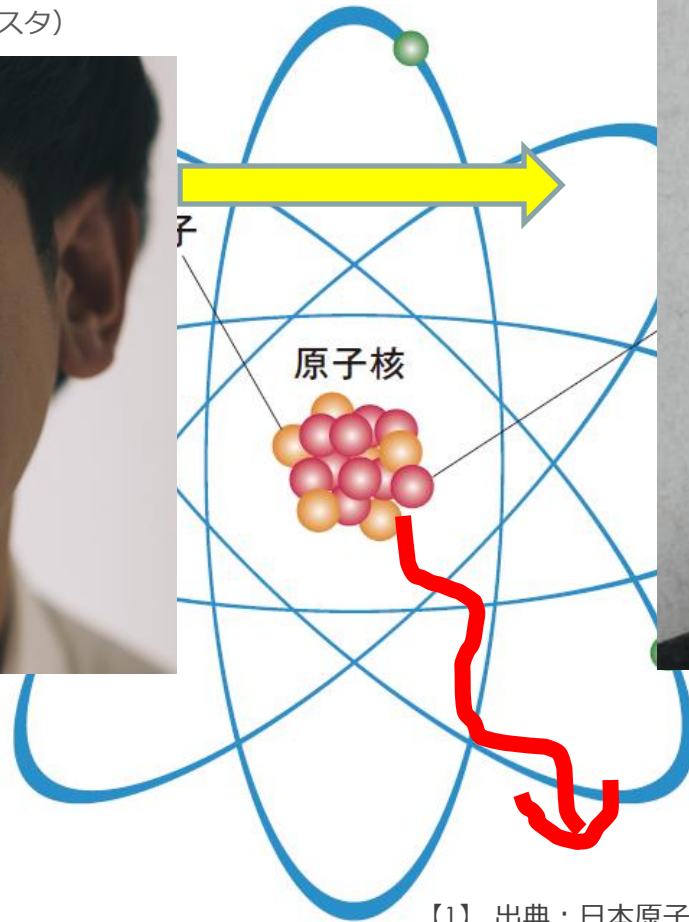


# 不安定な核種の振る舞い



# 不安定な核種の振る舞い

【5】提供：プラナ/96719544/PIXTA（ピクスタ）

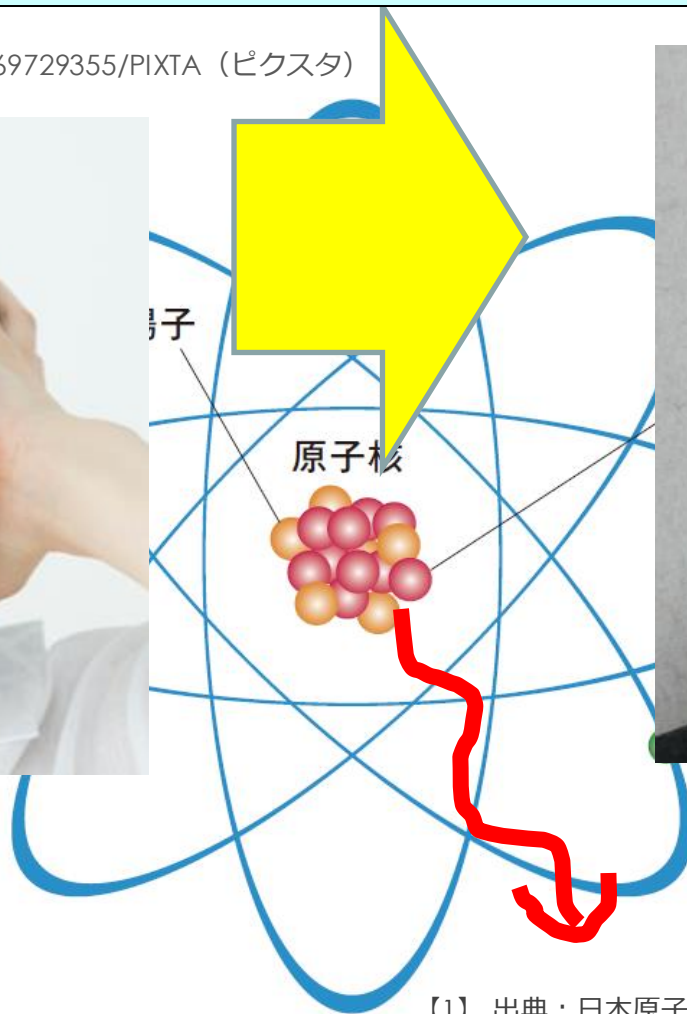


【1】出典：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

「ちょっと不安定なもの」からなる物質は、ゆっくり放射線を出すので、1秒毎に出てくる放射線の数は少ないですが、しばらく出続けることになります。

# 不安定な核種の振る舞い

【6】提供：ペイレスイメージズ1（モデル）/69729355/PIXTA（ピクスタ）

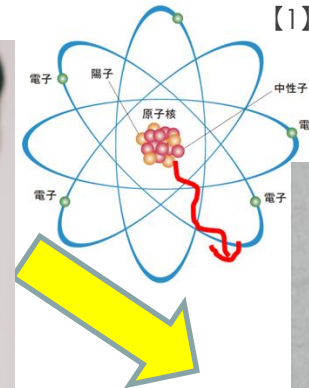
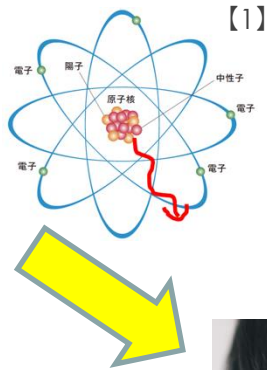


【1】出典：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

「かなり不安定なもの」からなる物質は、すぐに放射線を出すので、1秒毎に出てくる放射線の数是非常に多いですが、しばらく経つと放射線は殆ど出なくなります。

# 不安定な核種の振る舞い

【1】 出典：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」



【6】 提供：パイレスイメージズ1 (モデル) /69729355/PIXTA (ピクスタ)

【5】 提供：プラナ /96719544/PIXTA (ピクスタ)

厳密には、崩壊後の核種が安定とは限りません。  
一般的には、より安定な核種に変わります。



## 半減期

- ・これまで述べた「不安定な核種」は放射性核種とも呼びます。
- ・放射性核種の崩壊は確率的に起こります。核種毎に決まった時間で崩壊するわけではありません。
- ・不安定な放射性核種であるほど、1秒間に崩壊が起こる確率が高くなります。従って、単一の放射性核種が複数含まれる物質を考えたとき、そこに含まれる原子核の数が半分になる時間は、その核種が不安定であるほど短いと言えます。
- ・崩壊によって核種の数が半分になるのに要する時間の長さを半減期と呼び、以降では $T_{1/2}$ と示します。

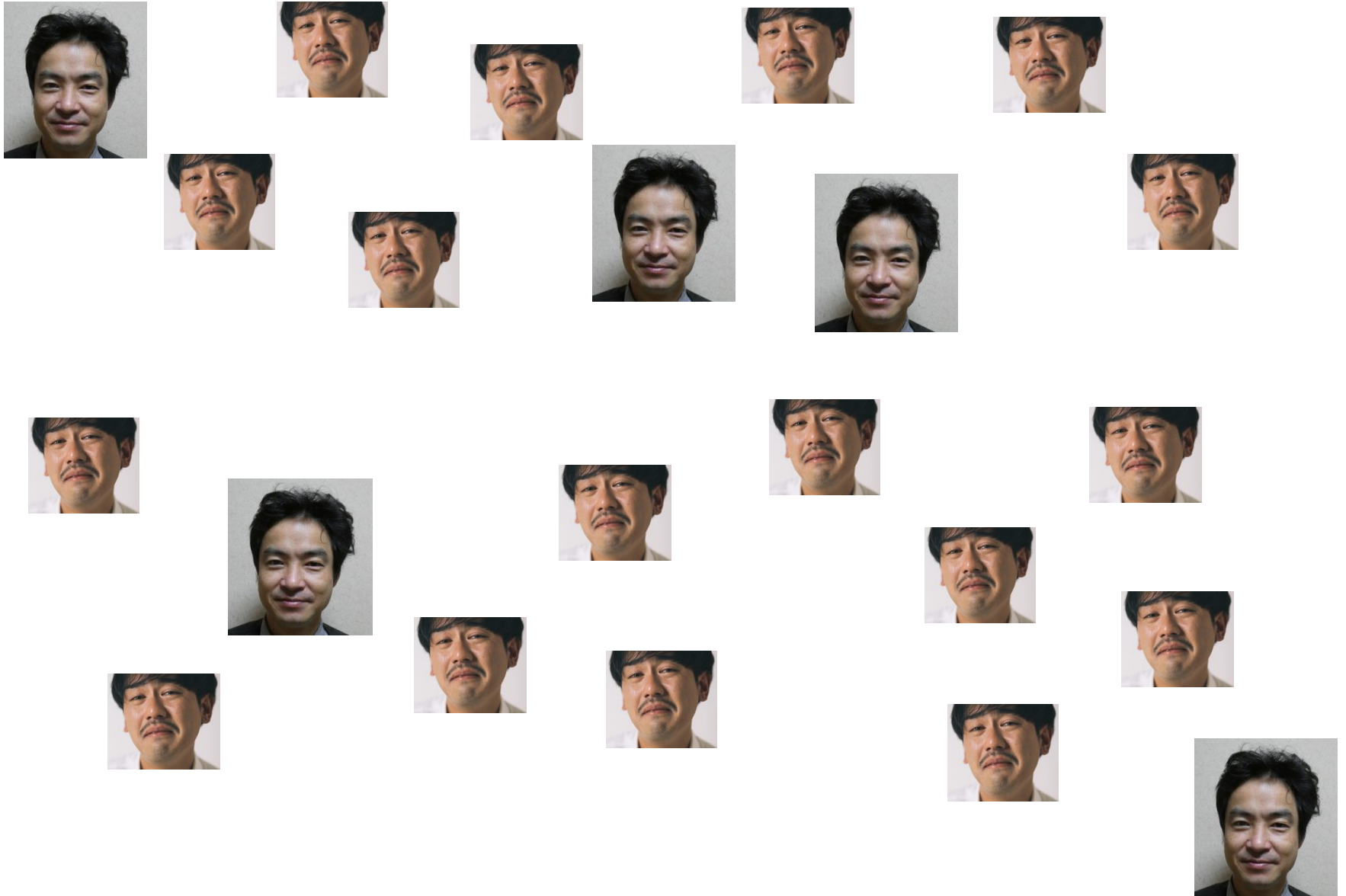
# 不安定な核種の振る舞い

【5】提供：プラナ/96719544/PIXTA（ピクスタ）



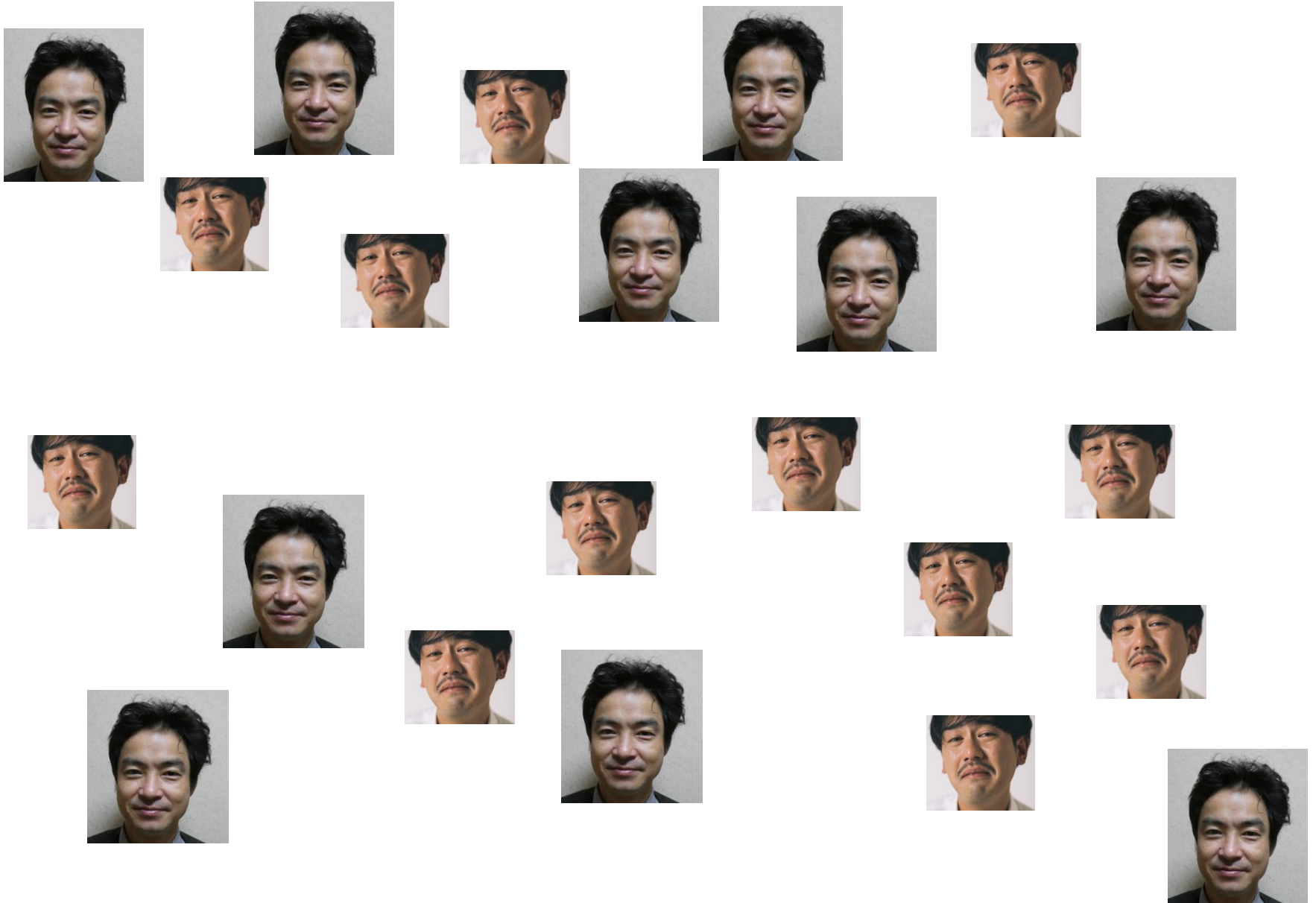
# 不安定な核種の振る舞い

【5】提供：プラナ/96719544/PIXTA（ピクスタ）



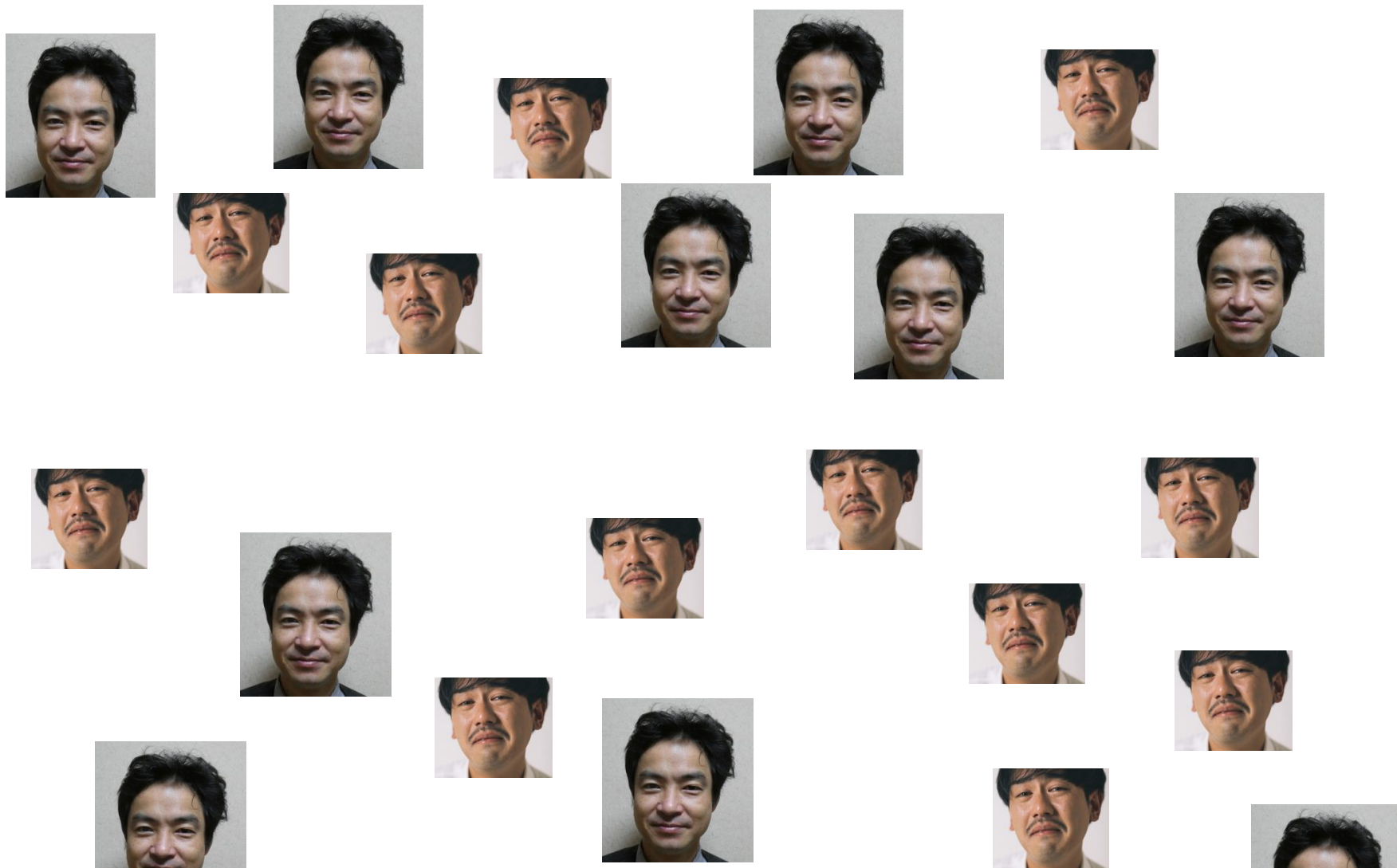
# 不安定な核種の振る舞い

【5】提供：プラナ/96719544/PIXTA（ピクスタ）



# 不安定な核種の振る舞い

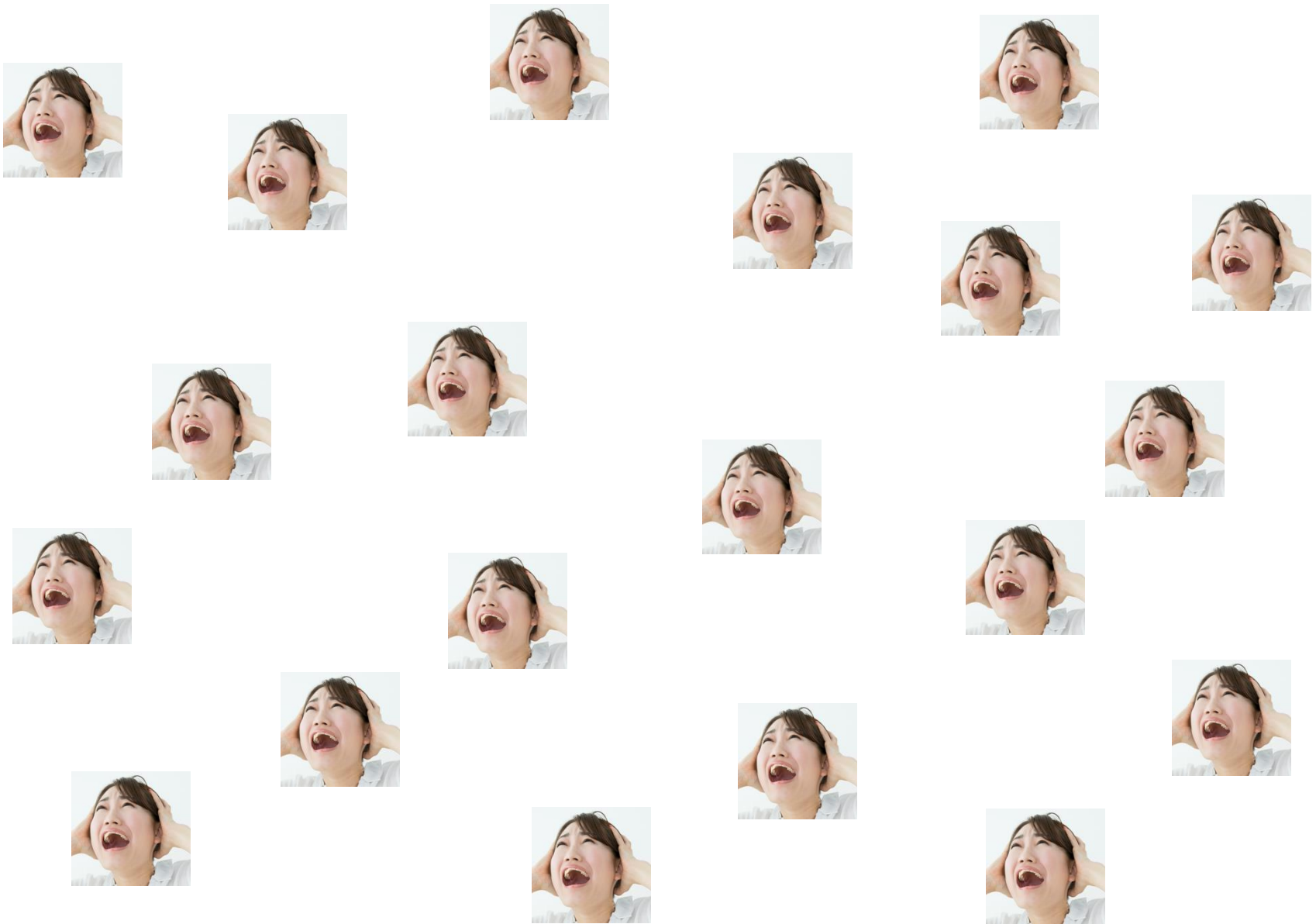
【5】提供：プラナ/96719544/PIXTA（ピクスタ）



ここまでが、この放射性核種の「1半減期」の長さ

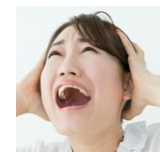
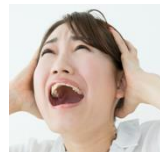
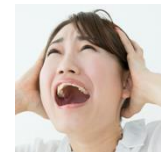
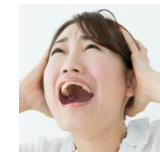
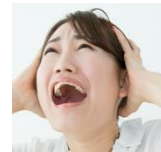
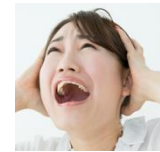
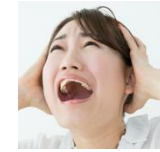
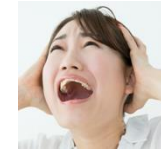
# 不安定な核種の振る舞い

【6】提供：ペイレスイメージズ1（モデル）/69729355/PIXTA（ピクスタ）



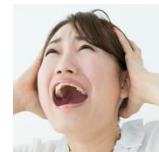
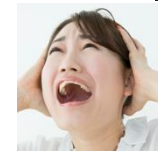
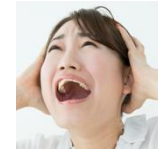
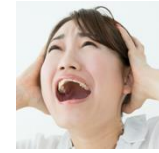
# 不安定な核種の振る舞い

【6】提供：ペイレスイメージズ1（モデル）/69729355/PIXTA（ピクスタ）



# 不安定な核種の振る舞い

【6】提供：ペイレスイメージズ1（モデル） /69729355/PIXTA（ピクスタ）





# 不安定な核種の振る舞い

【6】提供：ペイレスイメージズ1（モデル）/69729355/PIXTA（ピクスタ）



ここまでが、この放射性核種の「1半減期」の長さ

# 放射線とその透過力

## 「放射線」の定義とは？

- 高い運動エネルギーをもって流れる物質粒子と高エネルギーの電磁波の総称。

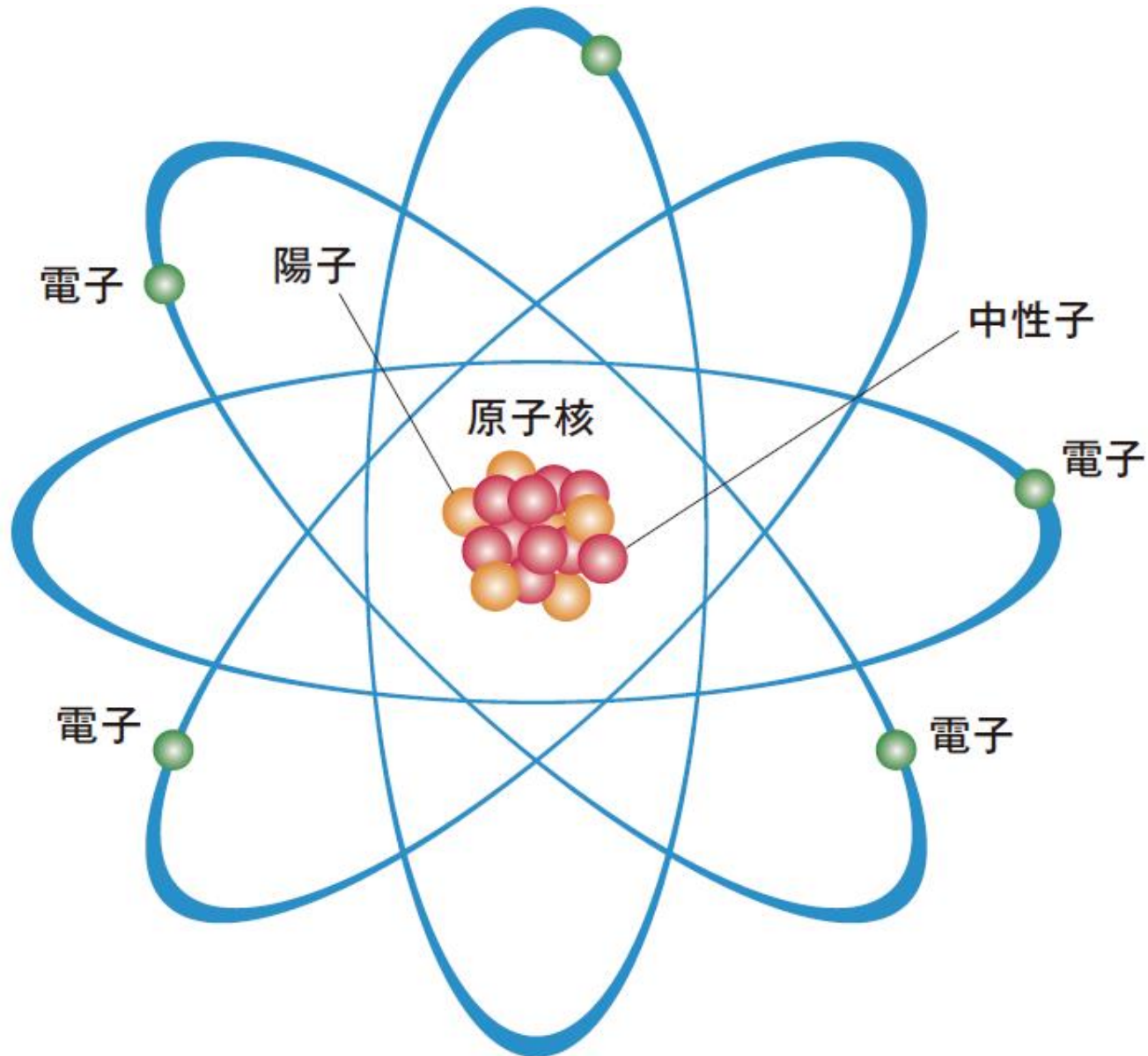
Wikipediaより

## 「放射線」の定義とは？

- ・高い運動エネルギーをもって流れる物質粒子と高エネルギーの電磁波の総称。

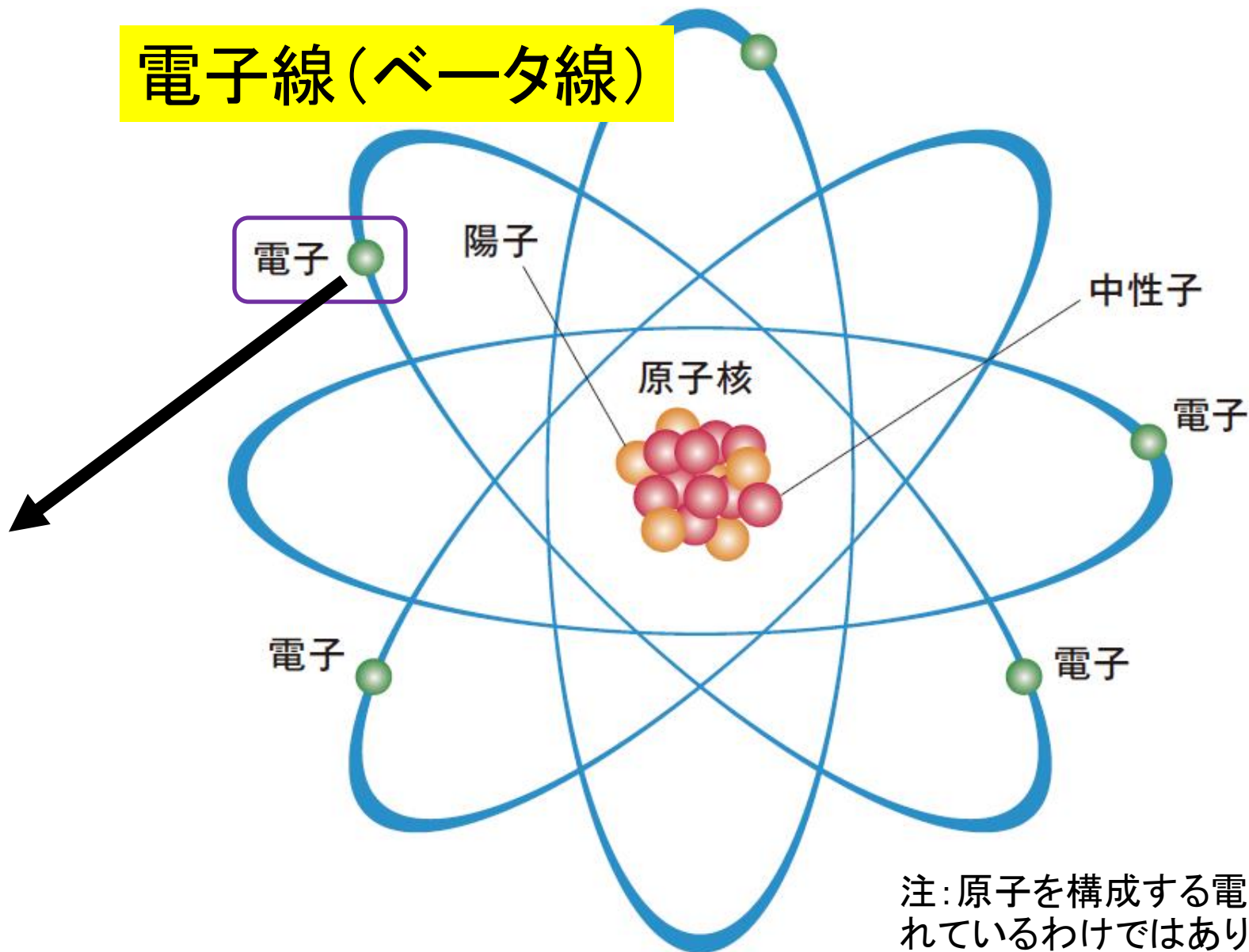
Wikipediaより

# 粒子放射線



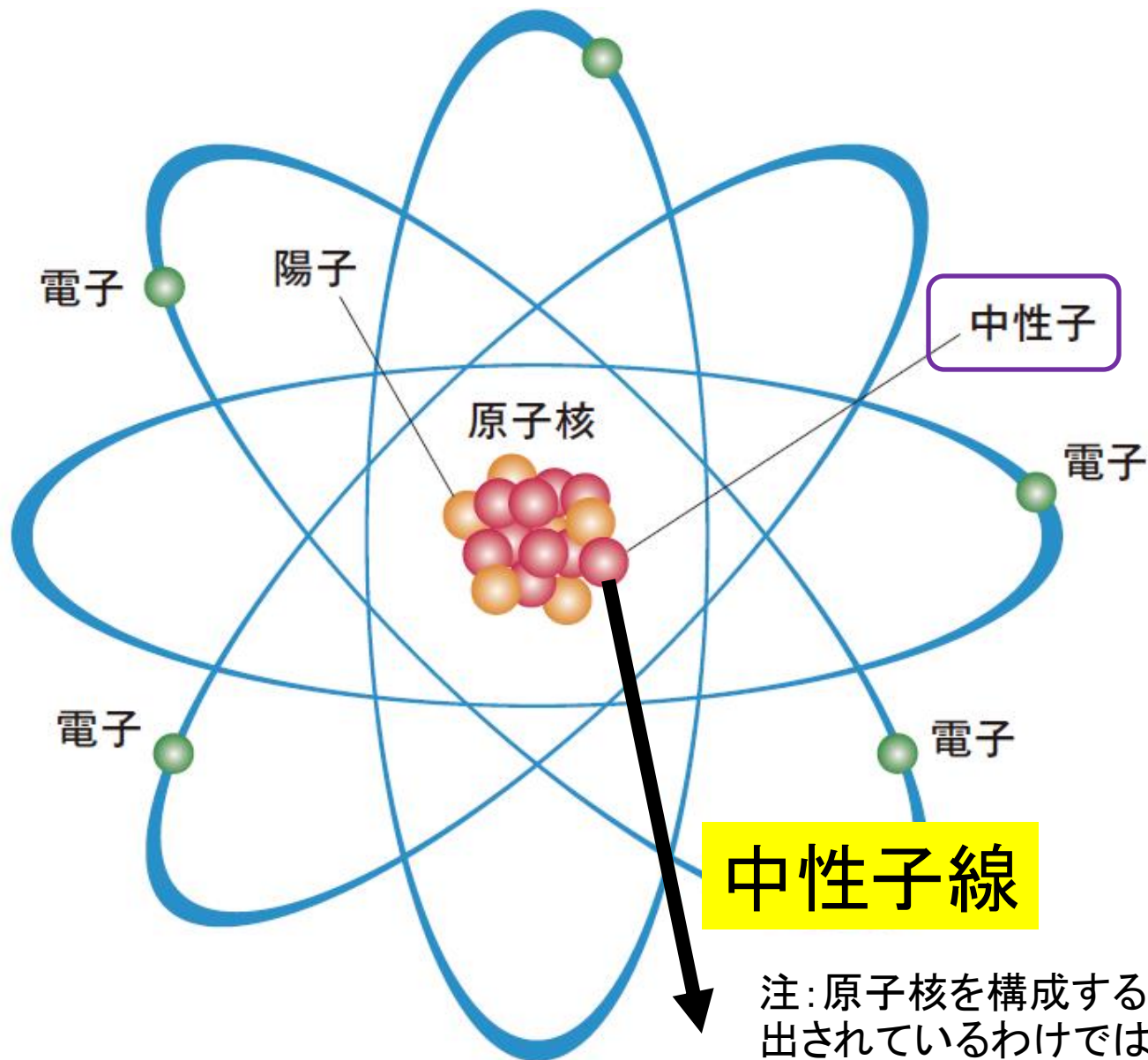
# 粒子放射線

## 電子線(ベータ線)



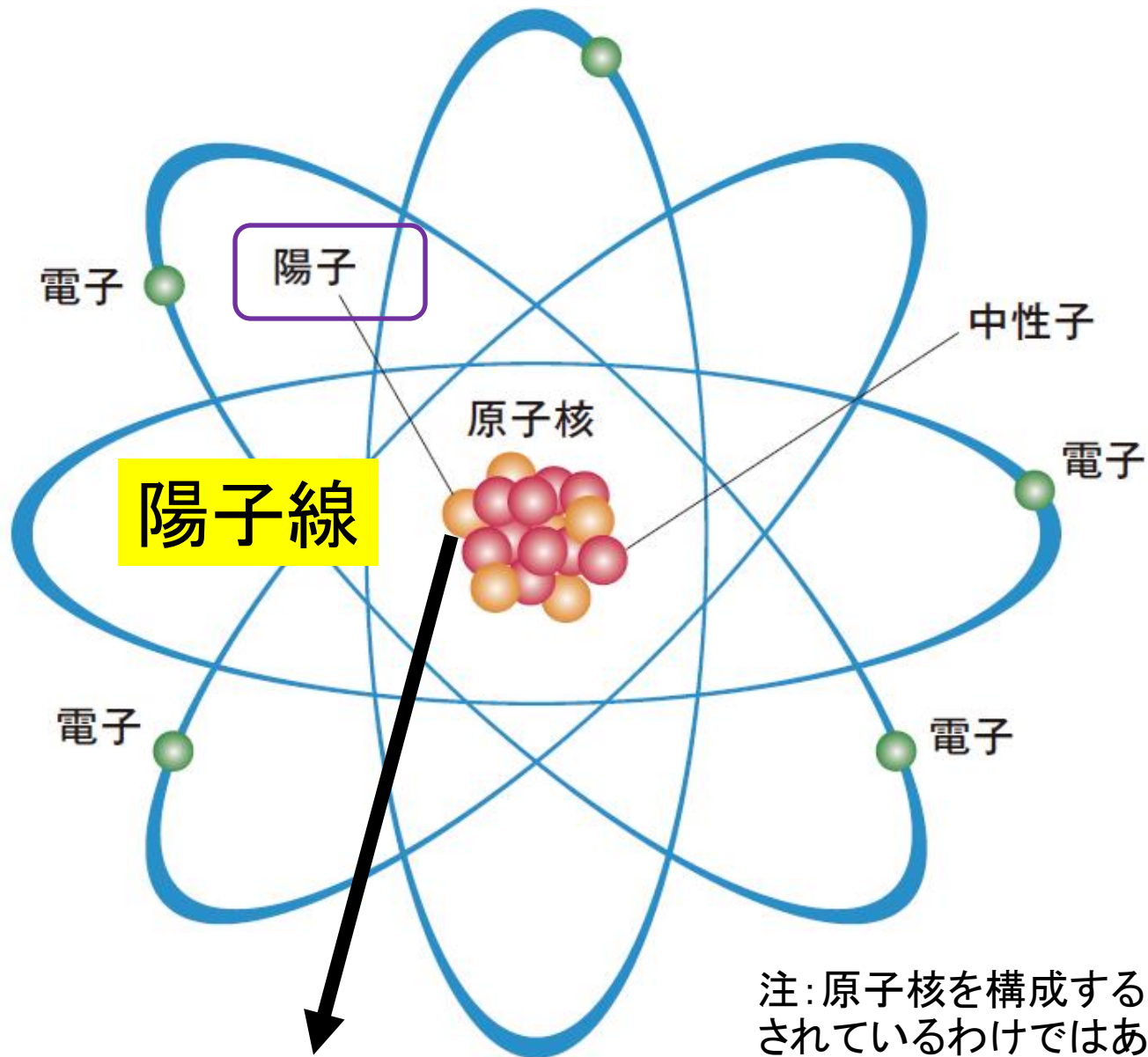
注:原子を構成する電子が放出されているわけではありません。

# 粒子放射線



注：原子核を構成する中性子が放出されているわけではありません。

# 粒子放射線

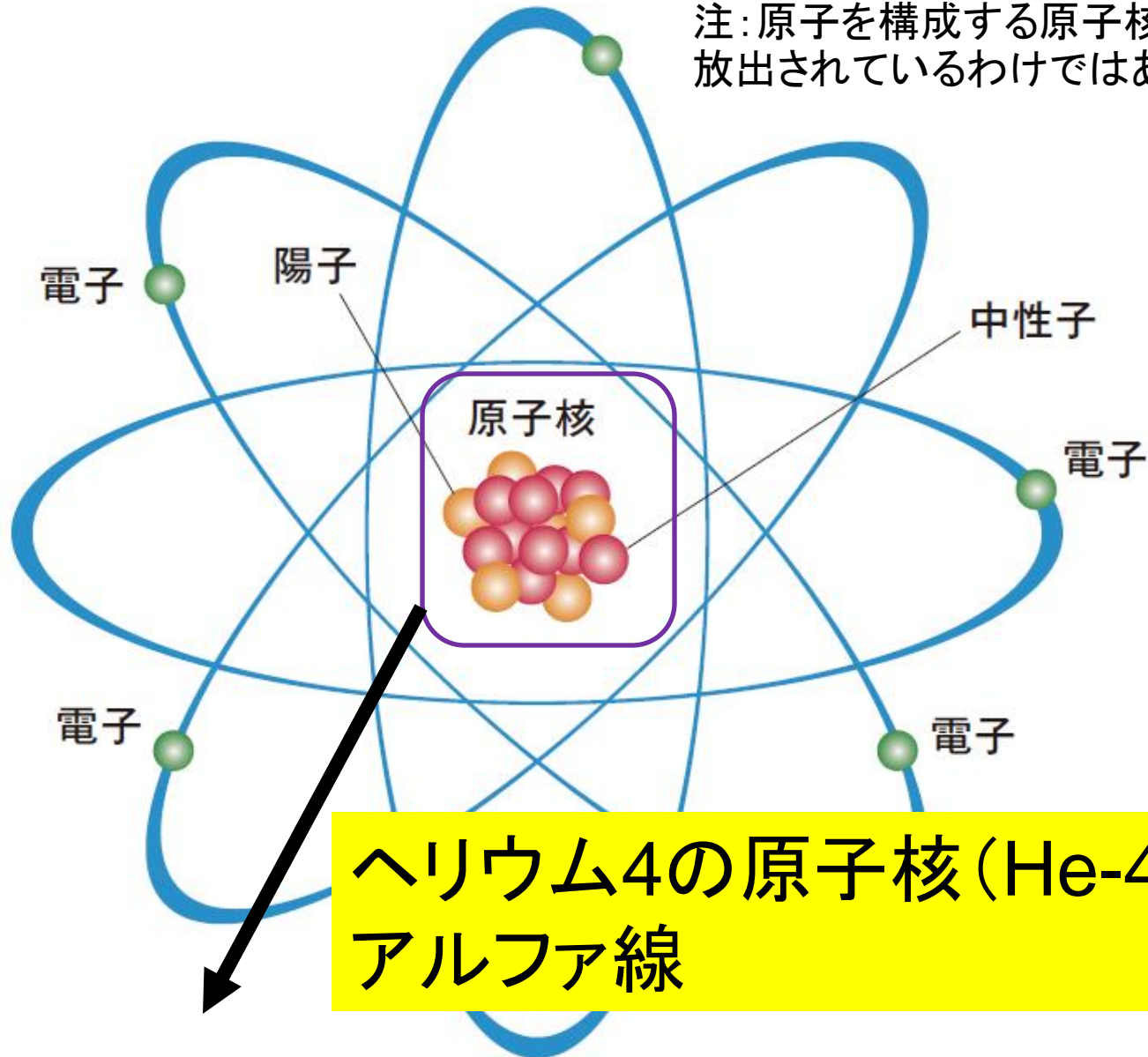


注：原子核を構成する陽子が放出されているわけではありません。



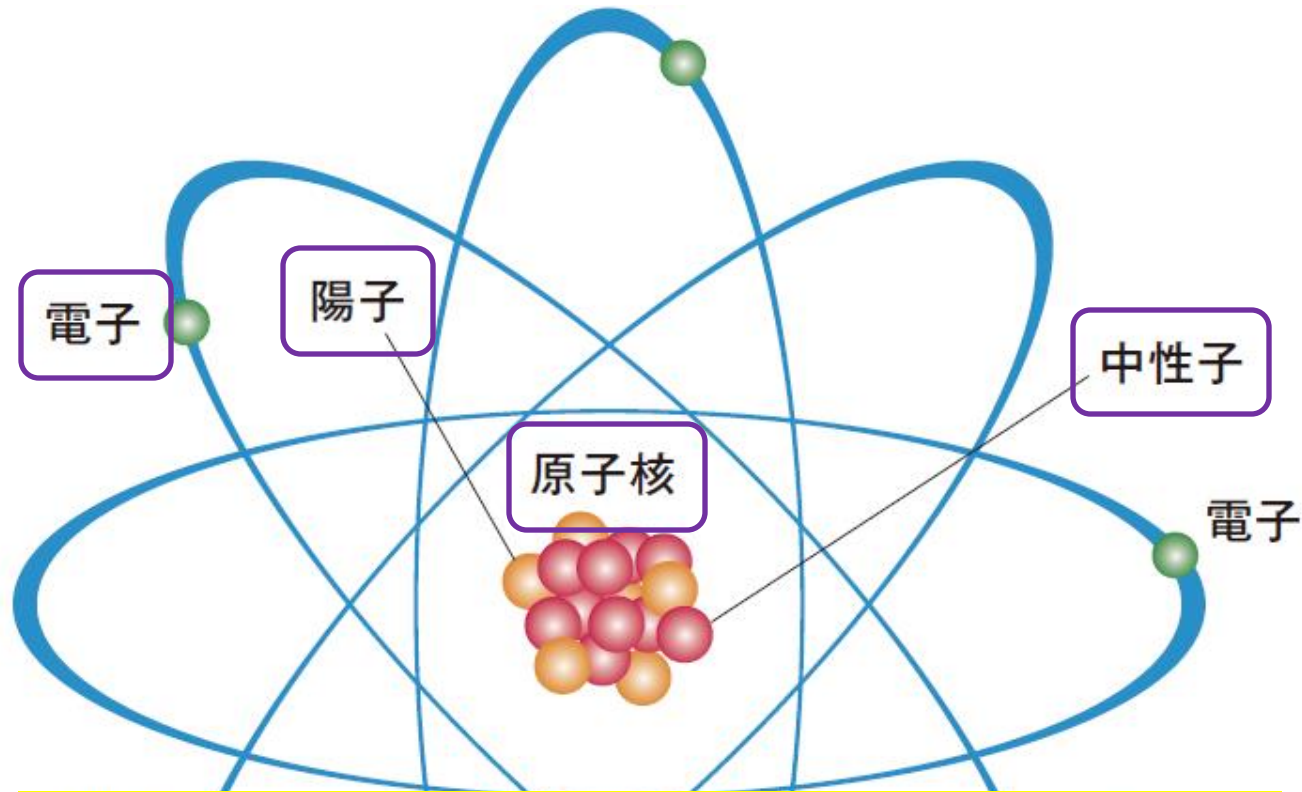
# 粒子放射線

注：原子を構成する原子核そのものが放出されているわけではありません。



ヘリウム4の原子核 (He-4) :  
アルファ線

# 粒子放射線



- ・アルファ線 ( $\alpha$ 線) : ヘリウム4の原子核
- ・ベータ線 ( $\beta$ 線) : 電子
- ・中性子線
- ・陽子線

# 粒子放射線の透過力

## アルファ線

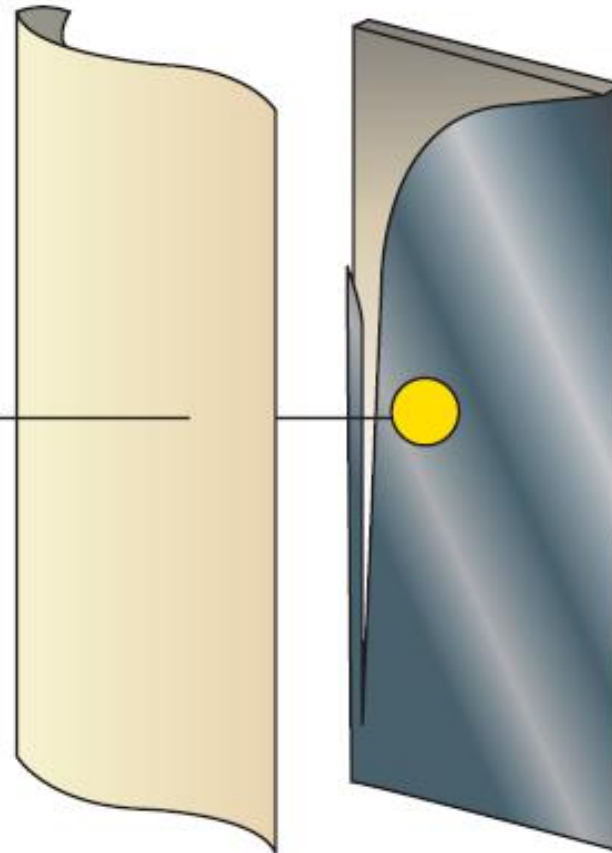


+2eの電荷を持ち、かつ重い粒子なので、速度が小さく、ほとんど透過しない。

紙

# 粒子放射線の透過力

ベータ線



-eの電荷を持つので、あまり透過しない。

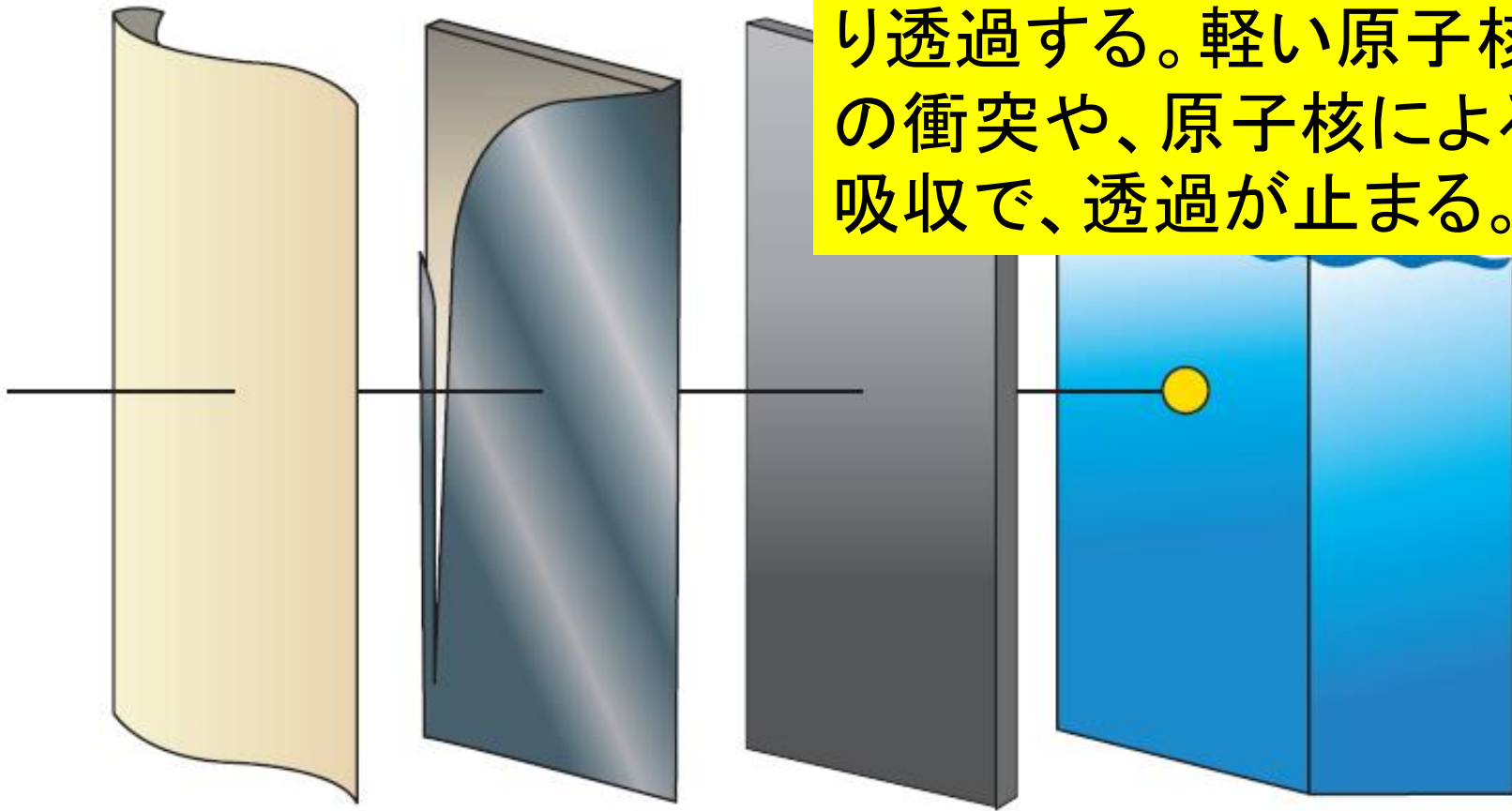
紙

アルミ板

# 粒子放射線の透過力

中性子線

電荷を持たないので、かなり透過する。軽い原子核との衝突や、原子核による吸収で、透過が止まる。



紙

アルミ板

鉛

水やパラフィン



## 「放射線」の定義とは？

・高い運動エネルギーをもって流れる物質粒子と高エネルギーの電磁波の総称。

Wikipediaより

# 電磁波

波長

$10^{-5}\text{m}$     $10^{-4}\text{m}$     $10^{-3}\text{m}$  (1mm)    $10^{-2}\text{m}$  (1cm)    $10^{-1}\text{m}$  (10cm)   1m   10m    $10^2\text{m}$     $10^3\text{m}$  (1km)

赤外線   遠赤外線   サブミリ波   ミリ波   センチ波   (UHF) 極超短波   (VHF) 超短波   (HF) 短波   (MF) 中波

マイクロ波

電波

非接触温度計



テレビのリモコン、赤外線カメラ、こたつ



レーダー

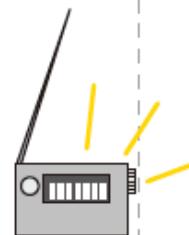
携帯電話、電子レンジ



テレビ(UHF)   テレビ(VHF)

F Mラジオ、無線

短波放送



A Mラジオ

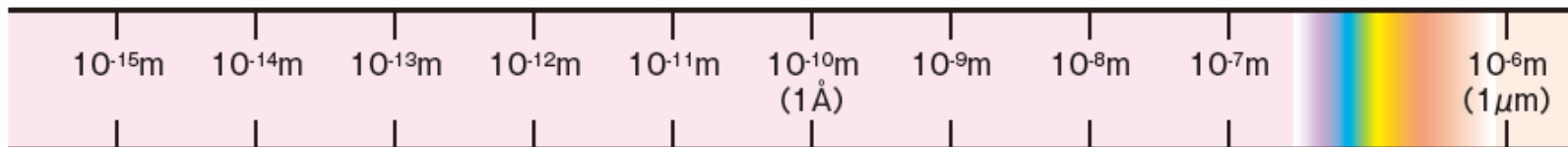
具体的な例

周波数

$10^{13}\text{Hz}$     $10^{12}\text{Hz}$  (1THz)    $10^{11}\text{Hz}$     $10^{10}\text{Hz}$     $10^9\text{Hz}$  (1GHz)    $10^8\text{Hz}$     $10^7\text{Hz}$     $10^6\text{Hz}$  (1MHz)

# 電磁波

波長



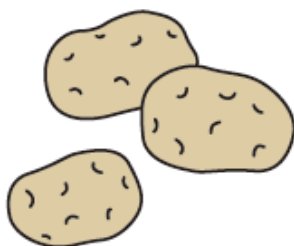
ガンマ線  
(原子核から出る)

X線  
(原子核の外で発生)

0.4μm   0.8μm  
紫外線   可視光線

X線のなかには、ガンマ線より波長の短いものもあります

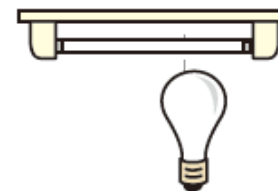
医療器具の照射滅菌  
ジャガイモの発芽抑制



X線撮影(レントゲン)  
コンピュータ断層撮影(CT)  
放射光



日焼け、殺菌灯



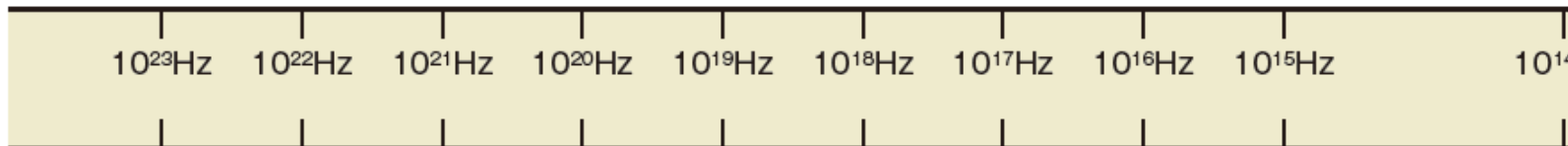
蛍光灯、白熱灯、可視レーザー光

果物の酸度・糖度測定機



具体的な例

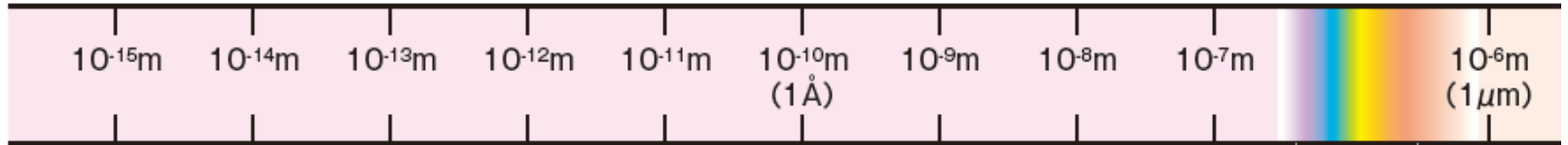
周波数





# 高エネルギーの電磁波

波長



ガンマ線  
(原子核から出る)

X線  
(原子核の外で発生)

0.4μm   0.8μm  
紫外線   可視光線

X線のなかには、ガンマ線より波長の短いものもあります

医療器具の照射滅菌  
ジャガイモの発芽抑制

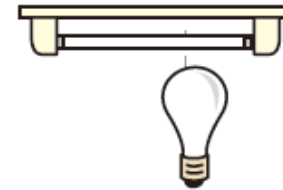
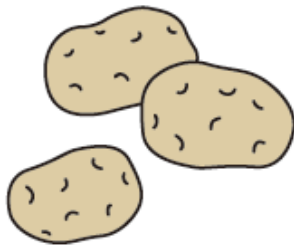
X線撮影(レントゲン)  
コンピュータ断層撮影(CT)  
放射光

日焼け、殺菌灯

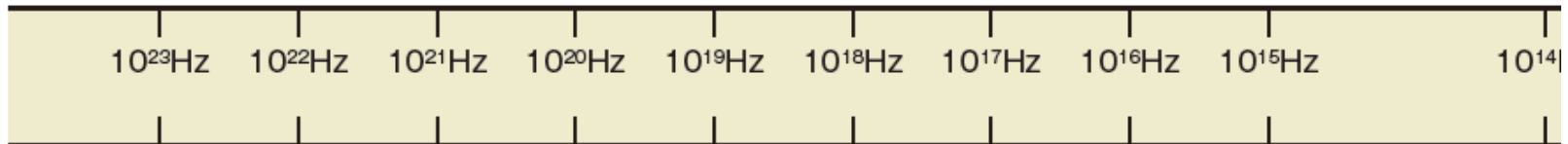
蛍光灯、白熱灯、可視レーザー光

果物の酸度・糖度測定機

具体的な例

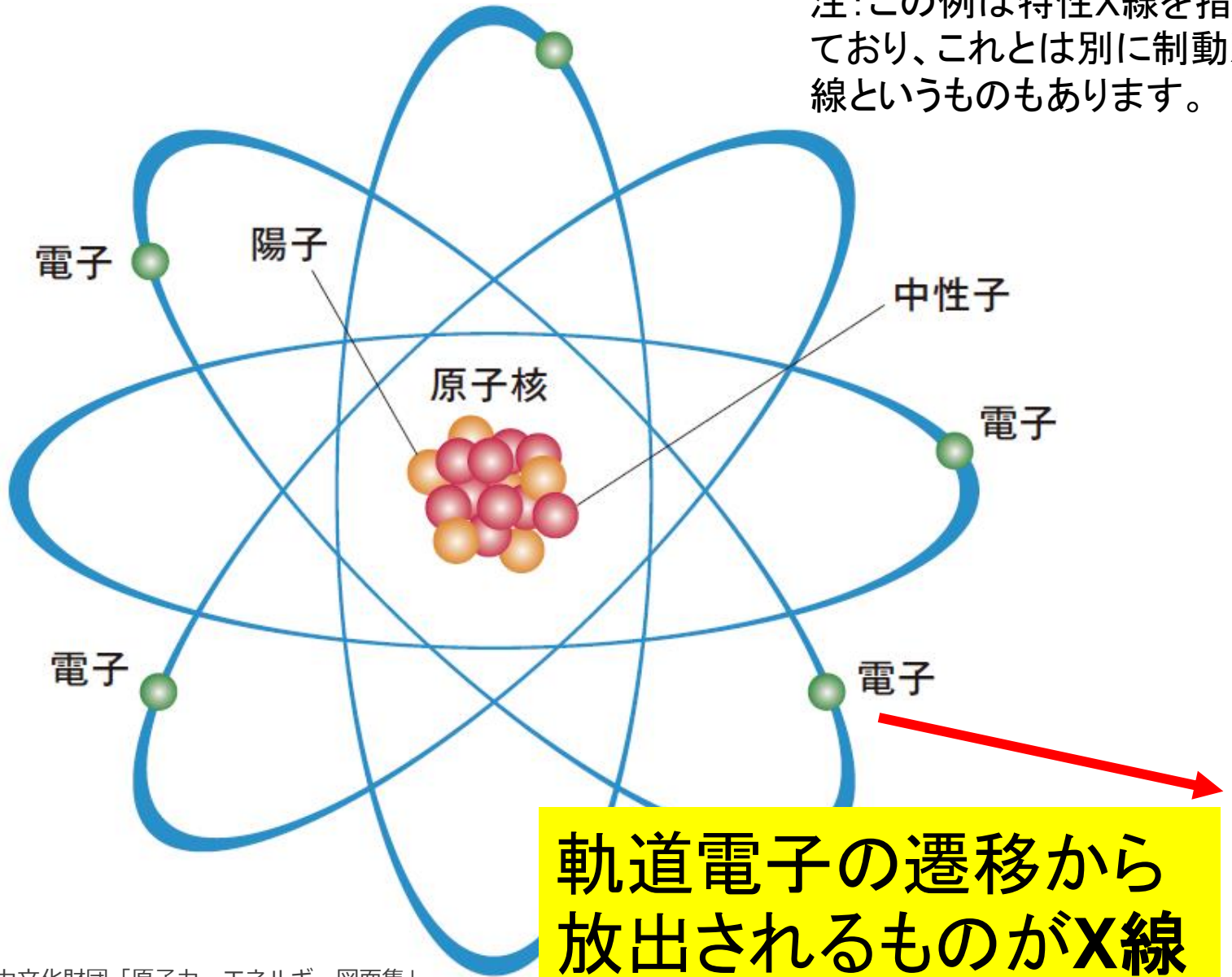


周波数

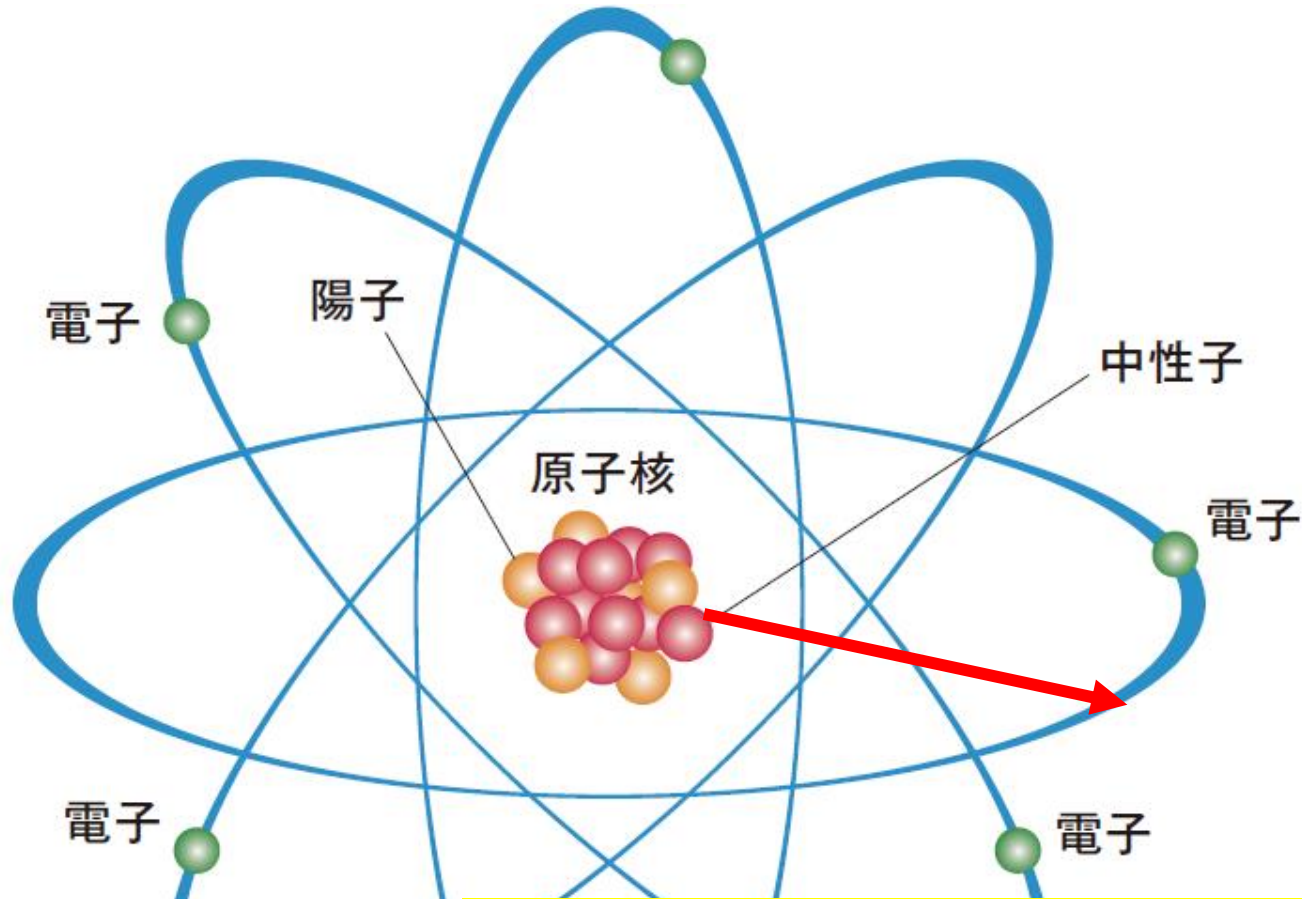


# 高エネルギーの電磁波

注:この例は特性X線を指しており、これとは別に制動X線というものもあります。



# 高エネルギーの電磁波

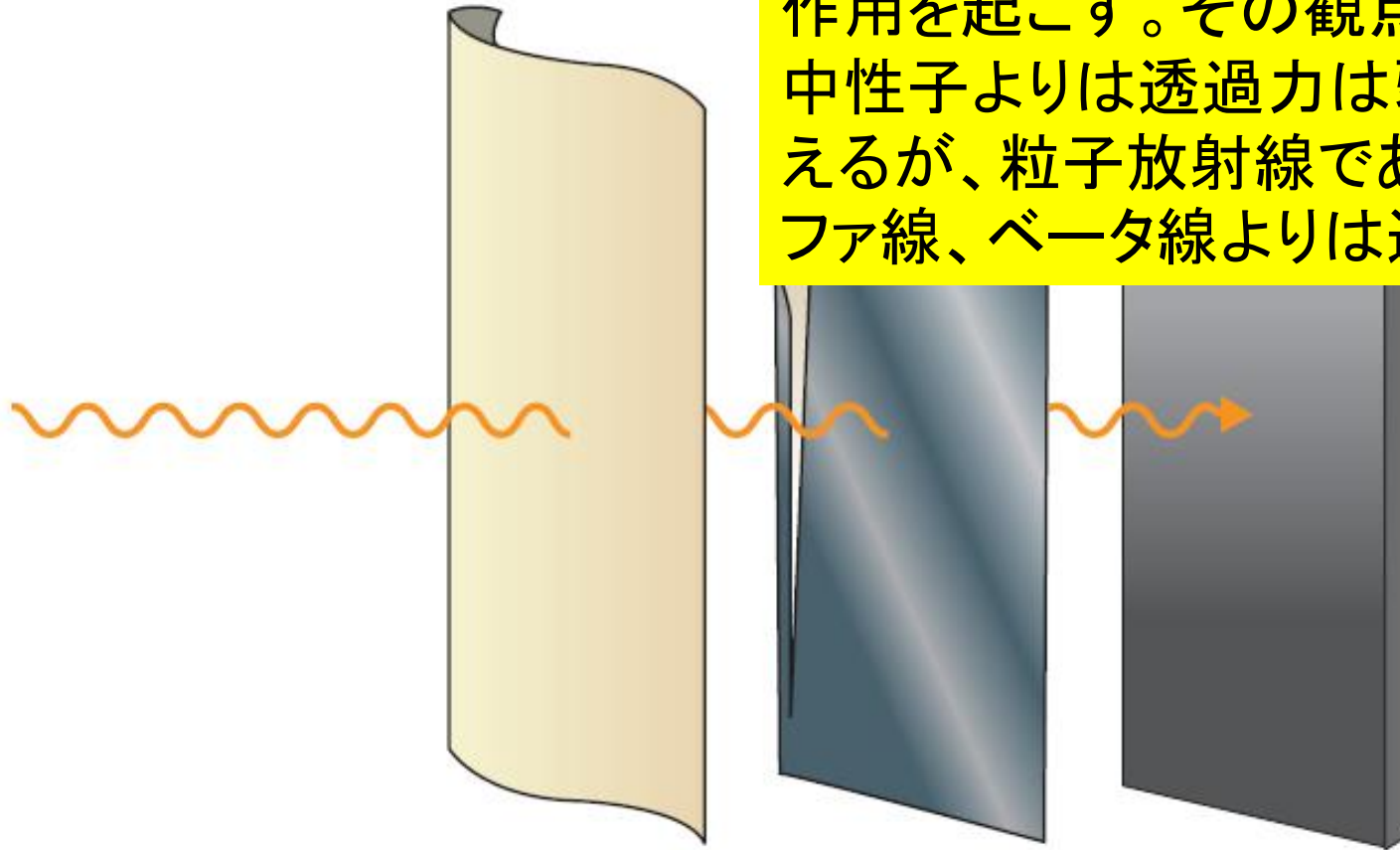


原子核の遷移から放出される  
ものがガンマ線( $\gamma$ 線)。  
X線よりもエネルギーが高いものが多い。

# ガンマ線の透過力

ガンマ線

電磁波であるため電氣的な相互作用を起こす。その観点からは、中性子よりは透過力は弱いと言えるが、粒子放射線であるアルファ線、ベータ線よりは透過する。



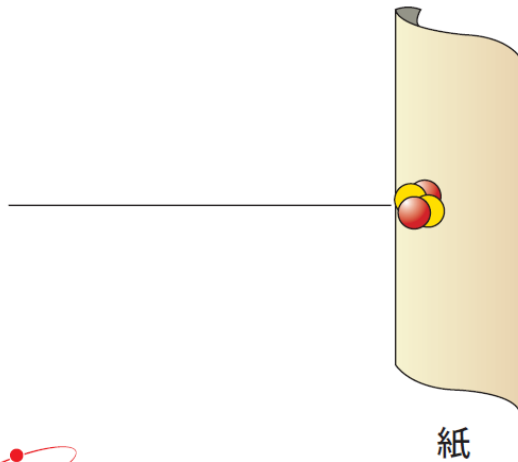
紙

アルミ板

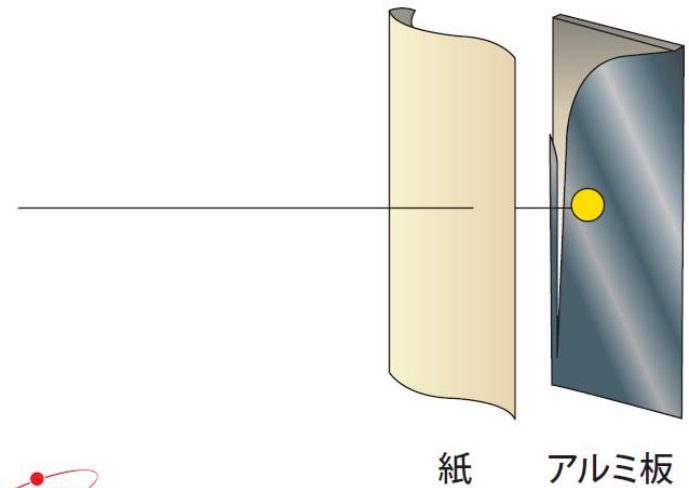
鉛

# 放射線の透過力

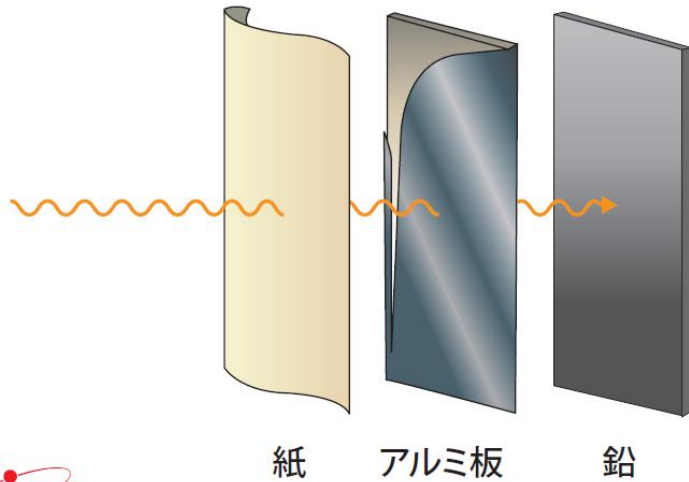
【7】  
アルファ線



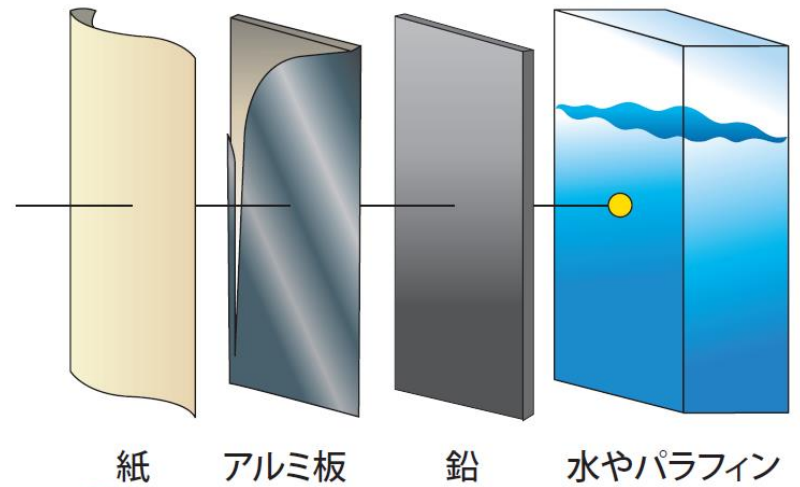
【8】  
ベータ線



【11】  
ガンマ線

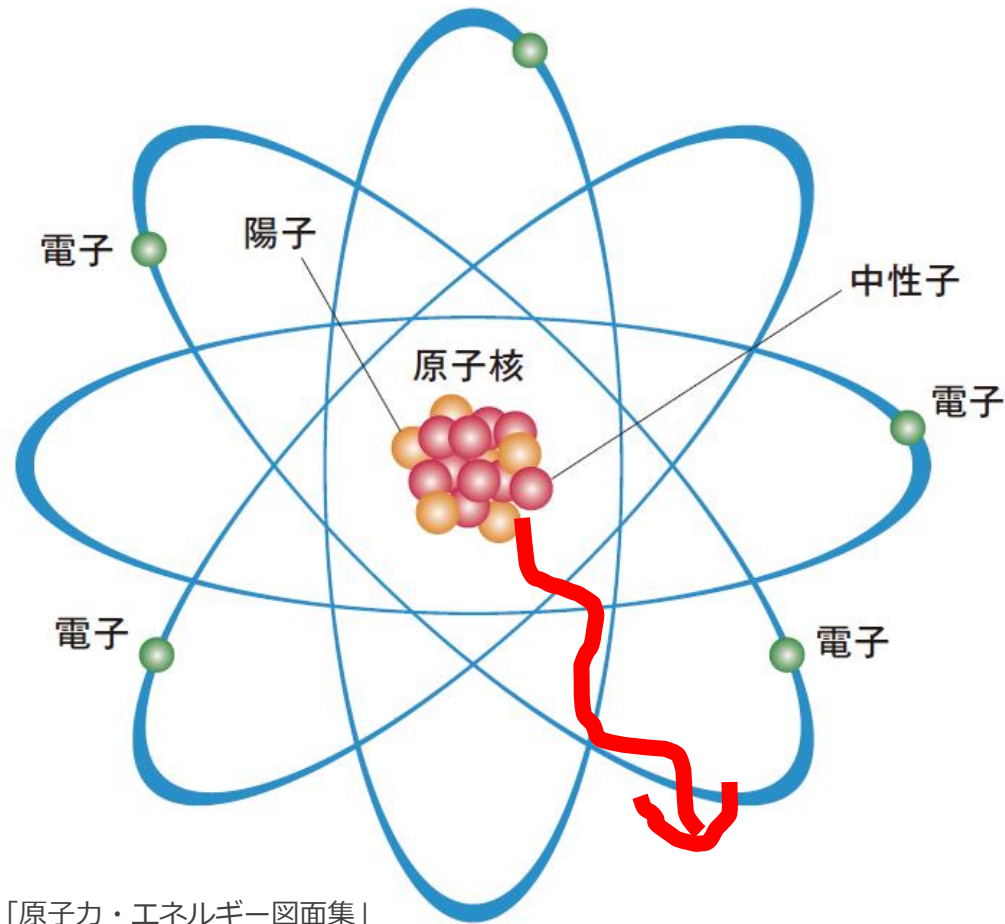


【9】  
中性子線



# 放射崩壊の具体例

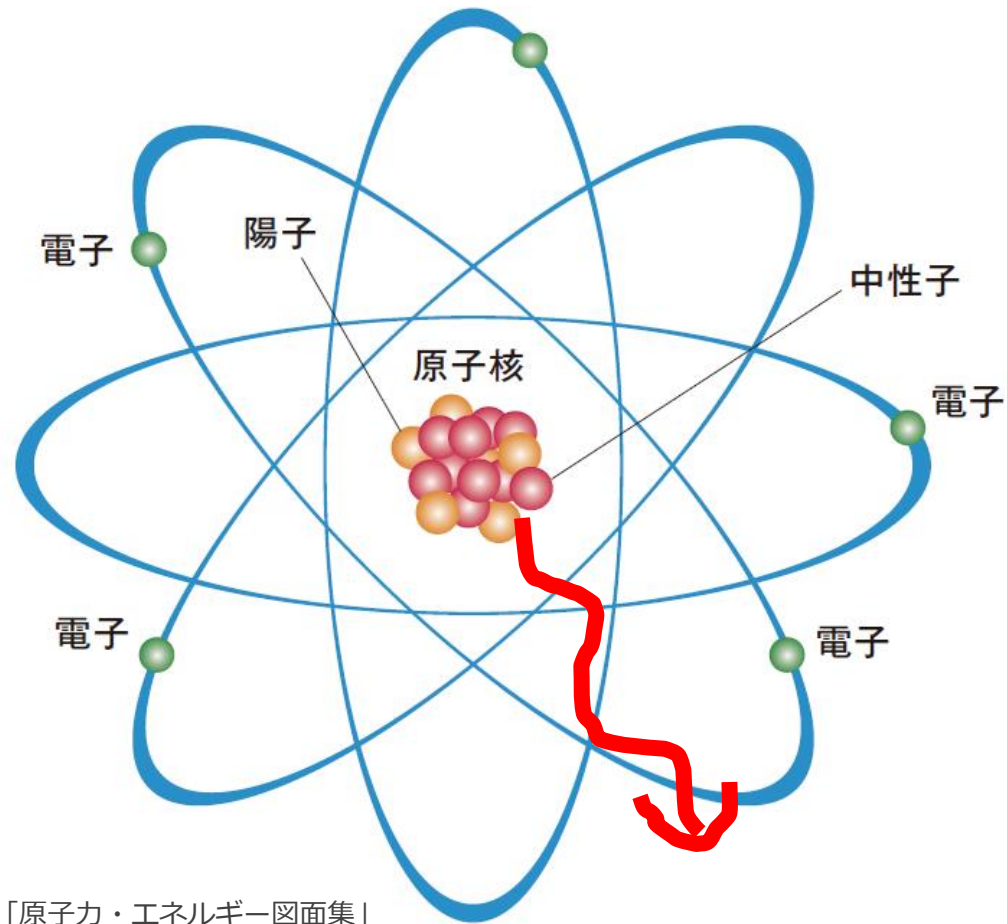
# 崩壊の様式



【1】 出典：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

崩壊によって放出される放射線が $\alpha$ 線の場合、「 $\alpha$ 崩壊」と呼びます。多くの場合、 $\gamma$ 線も放出されます。

# 崩壊の様式

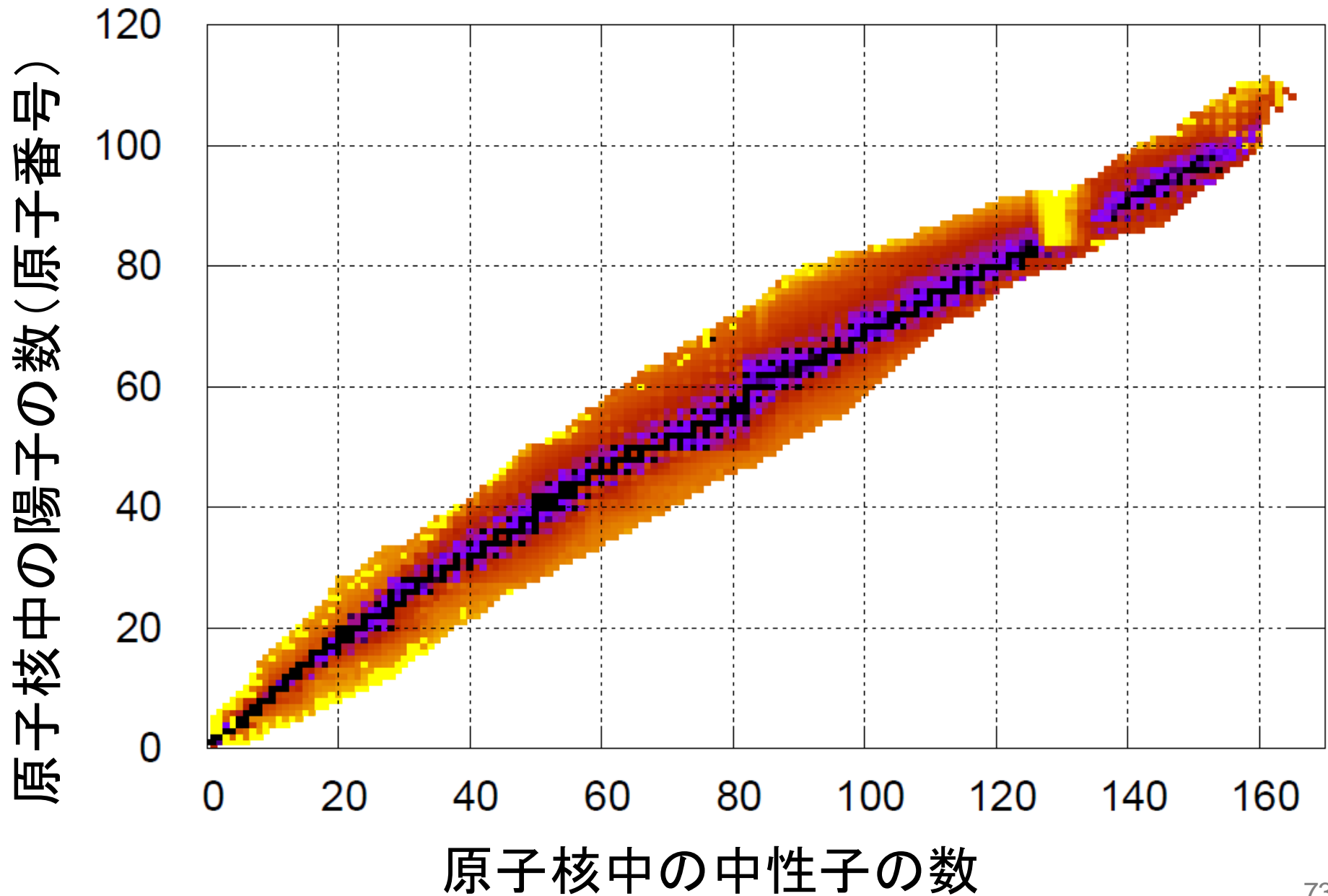


【1】 出典：日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

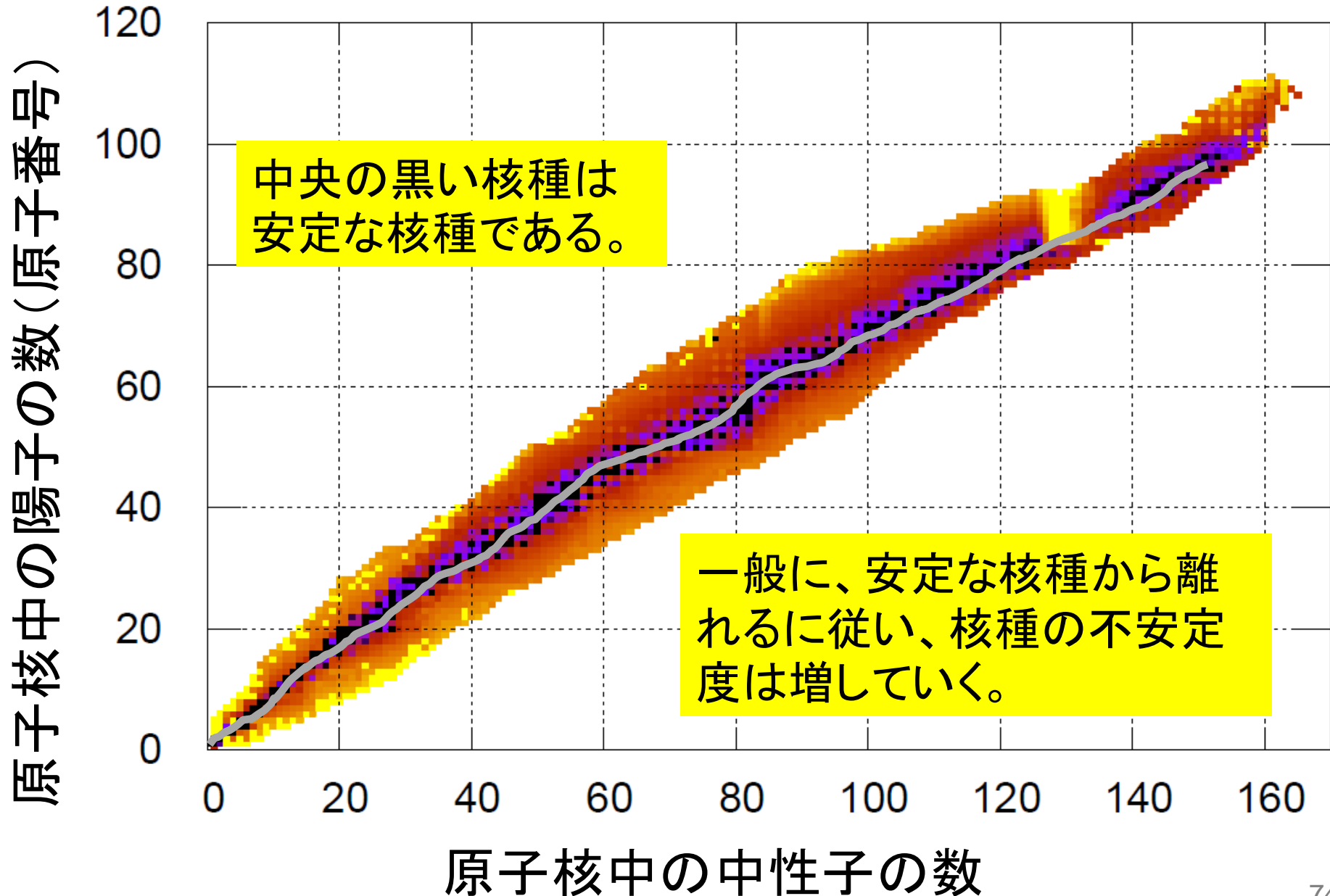
崩壊によって放出される放射線が $\beta$ 線の場合、「 $\beta$ 崩壊」と呼びます。多くの場合、 $\gamma$ 線も放出されます。



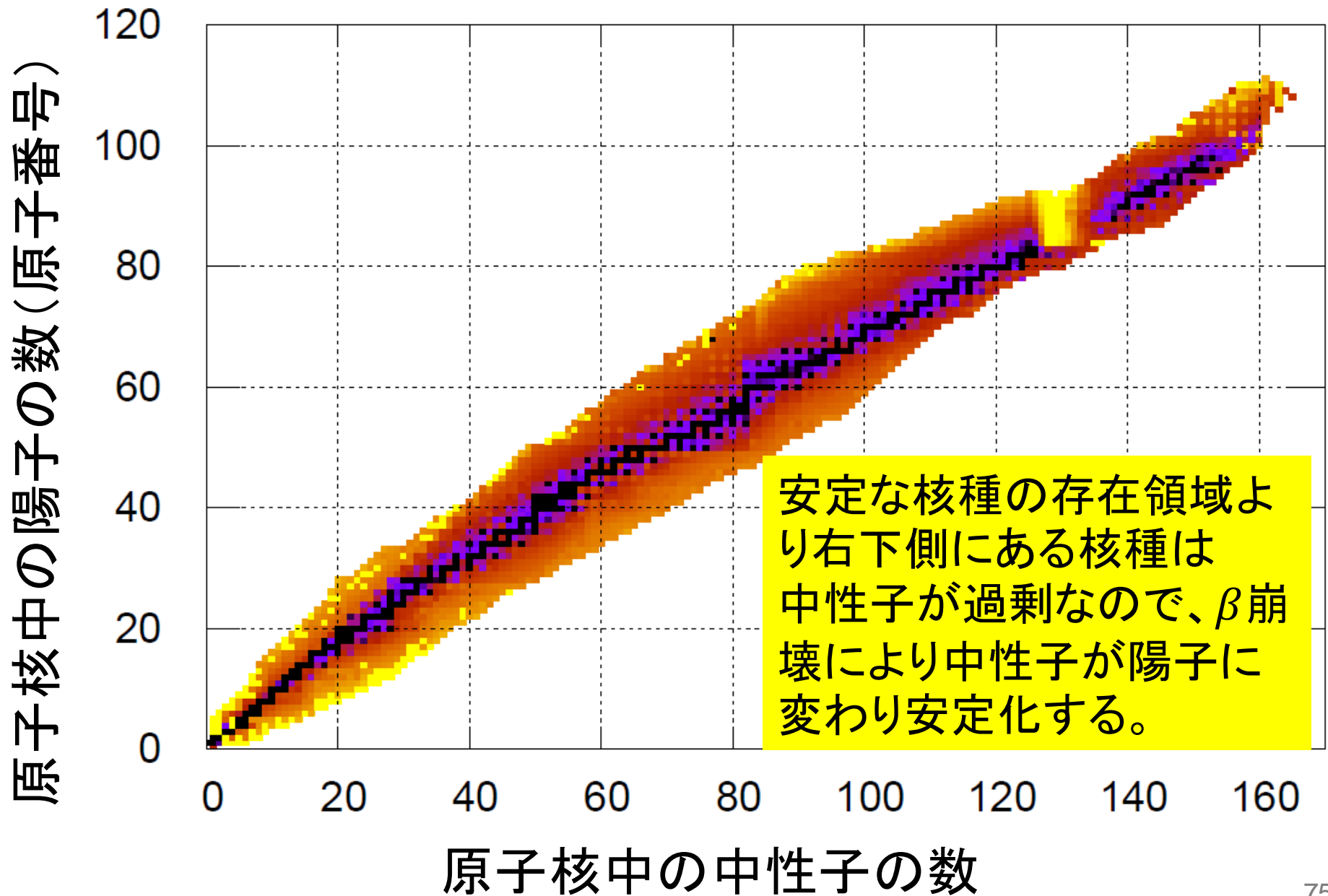
# 安定な核種、不安定な核種



# 安定な核種、不安定な核種

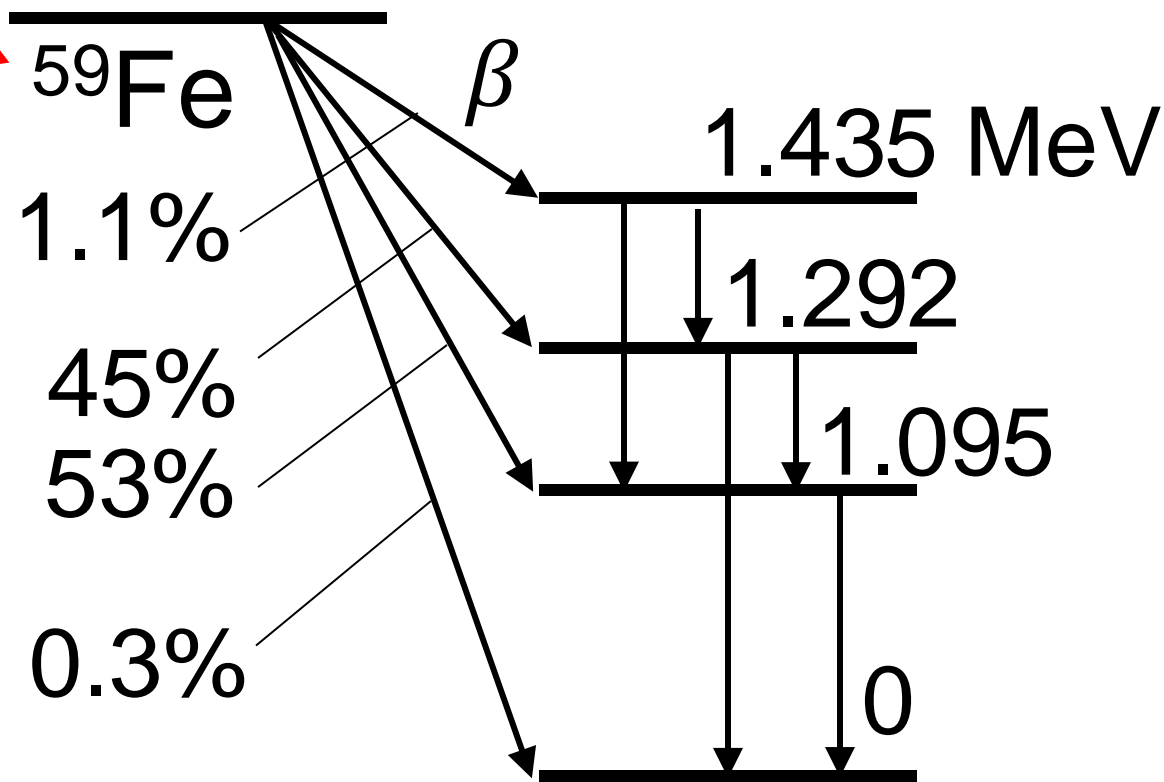


# 安定な核種、不安定な核種



# Fe-59(中性子過剰核)の崩壊様式図( $\beta$ 崩壊)

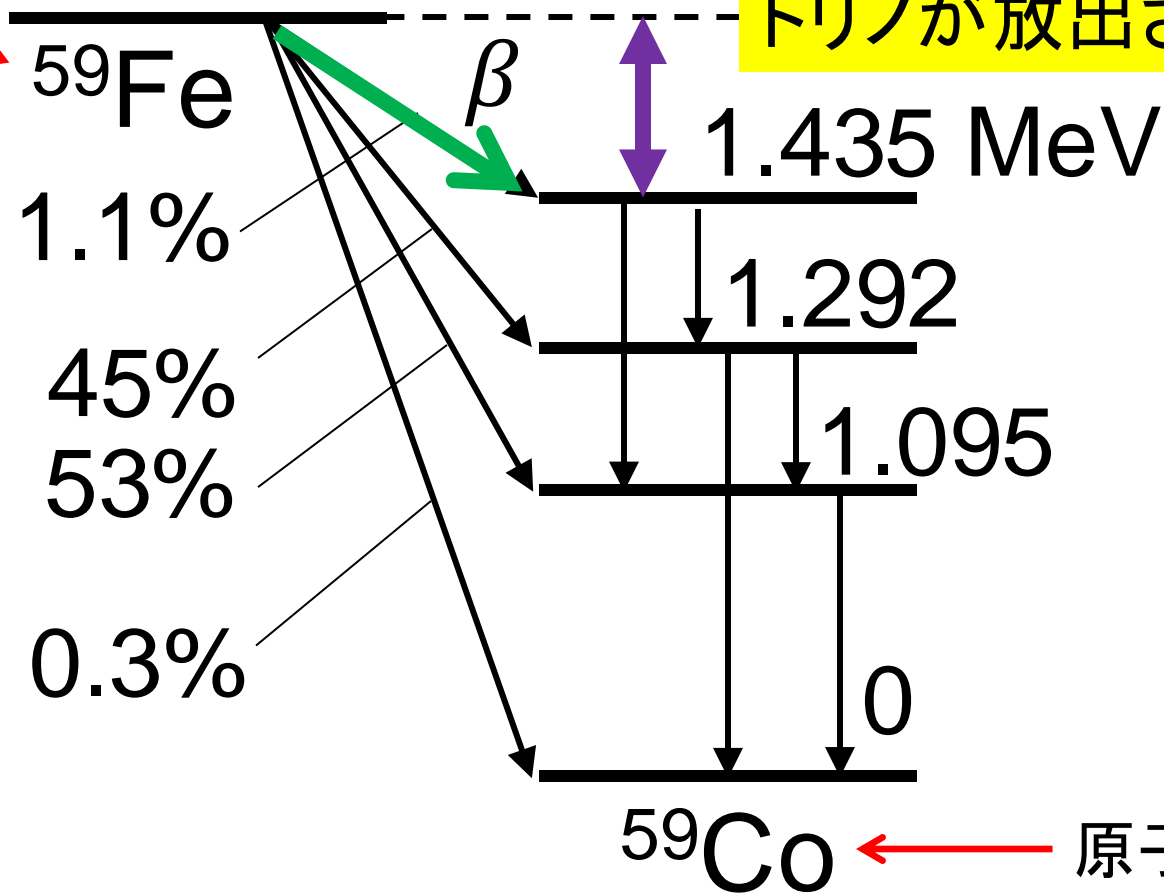
原子番号26



$^{59}\text{Co}$  ← 原子番号27

# Fe-59(中性子過剰核)の崩壊様式図( $\beta$ 崩壊)

原子番号26

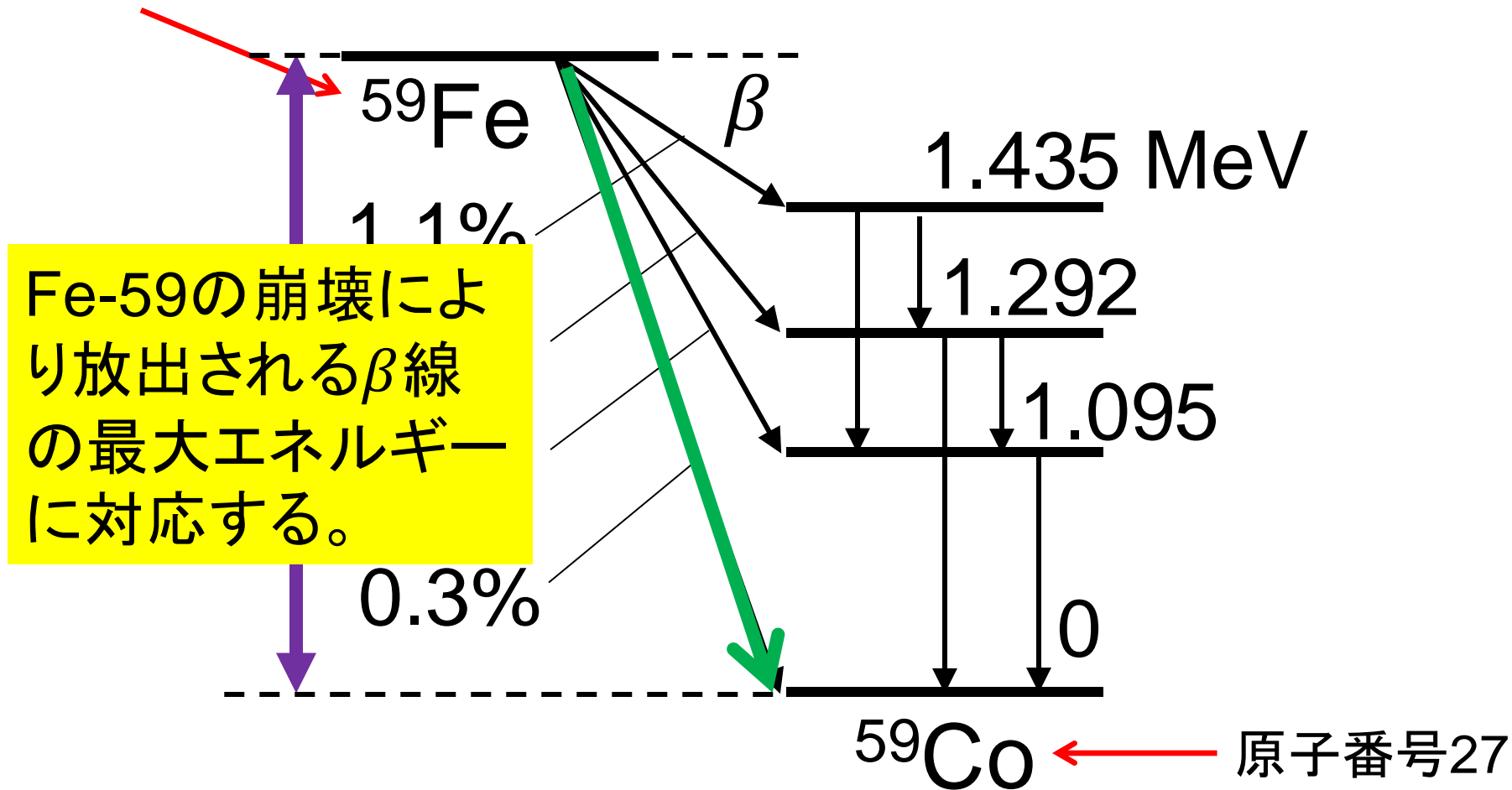


この場合、このエネルギー分の $\beta$ 線とニュートリノが放出される。

原子番号27

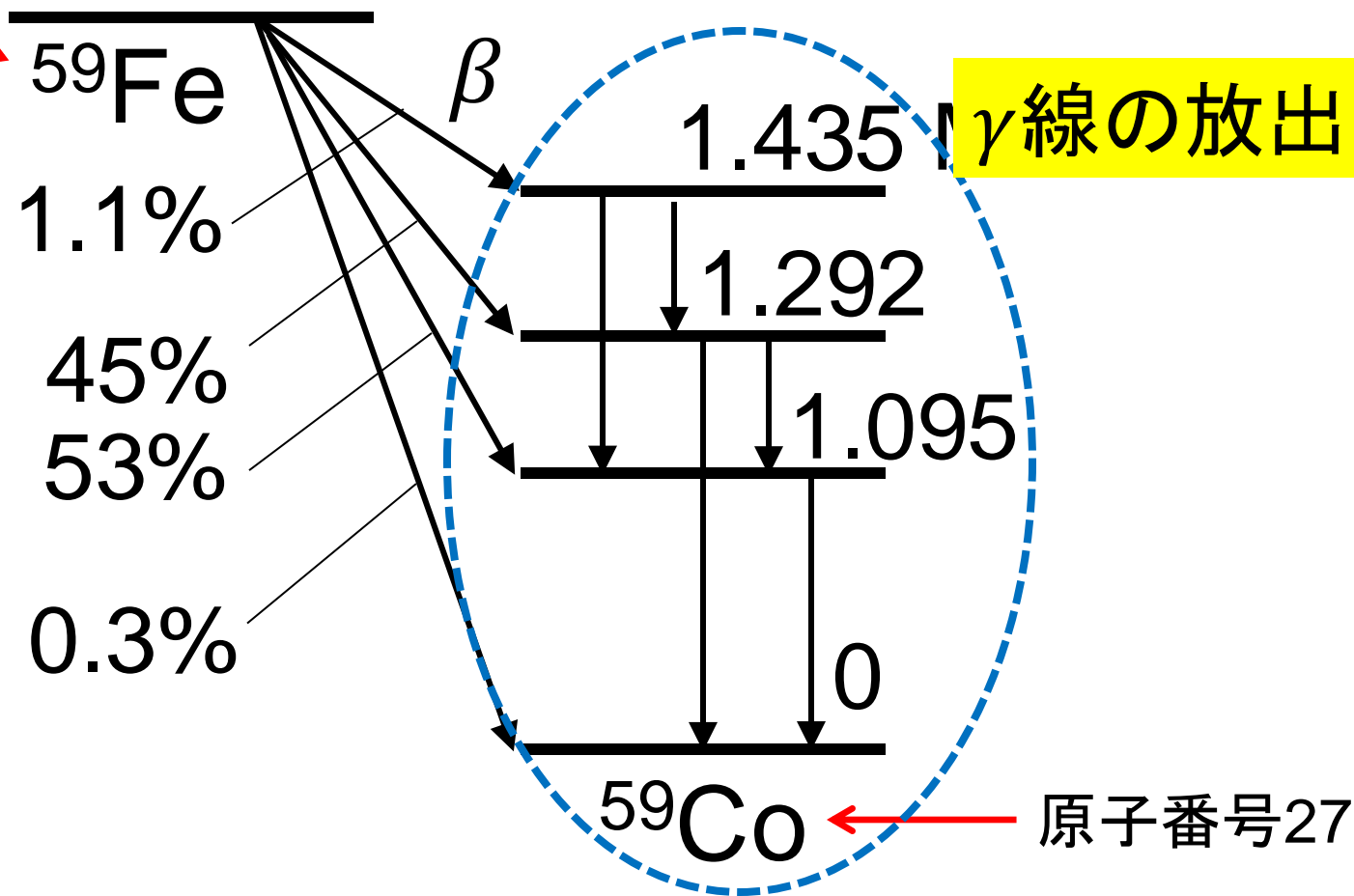
# Fe-59(中性子過剰核)の崩壊様式図( $\beta$ 崩壊)

原子番号26



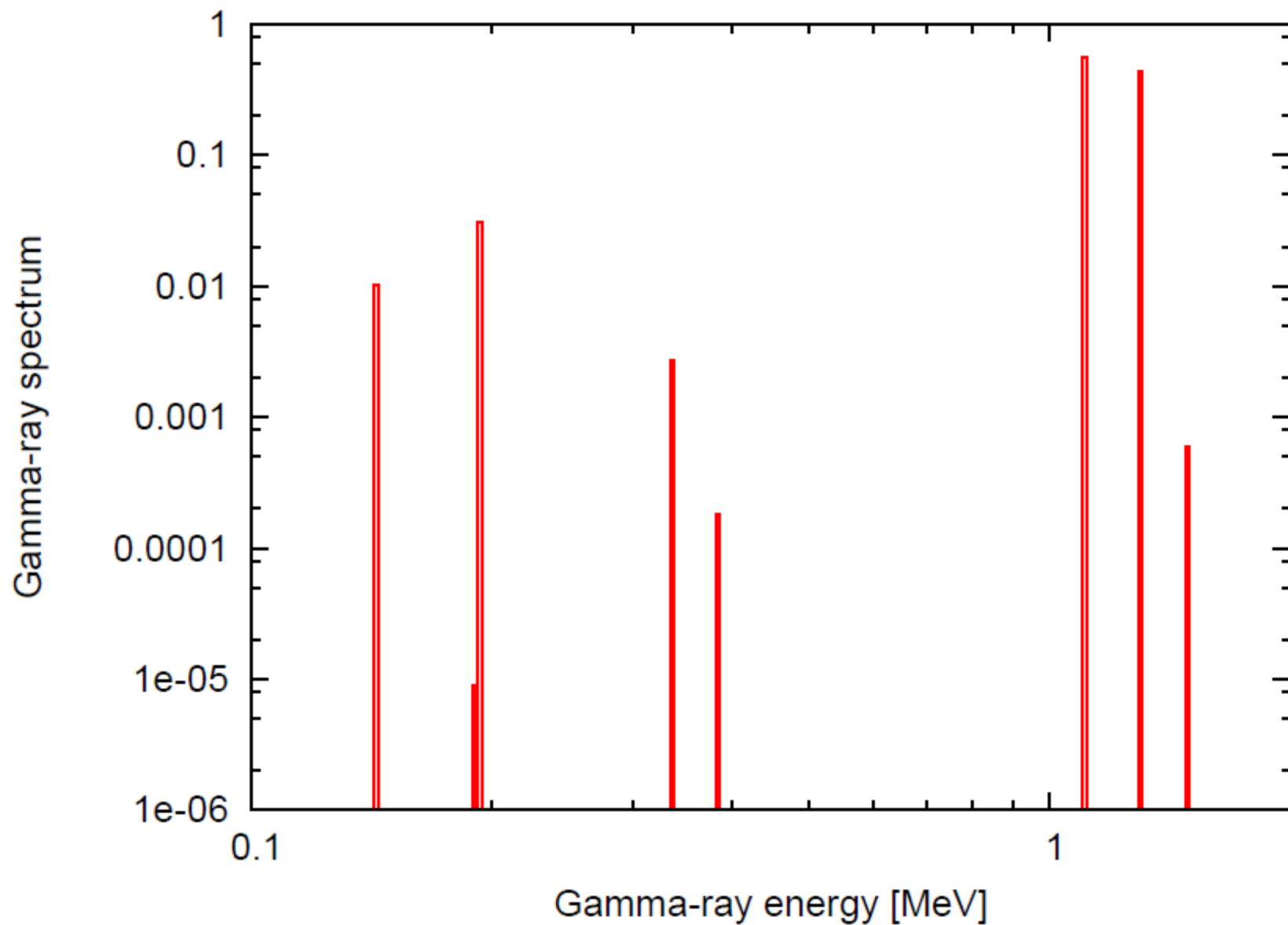
# Fe-59(中性子過剰核)の崩壊様式図( $\beta$ 崩壊)

原子番号26



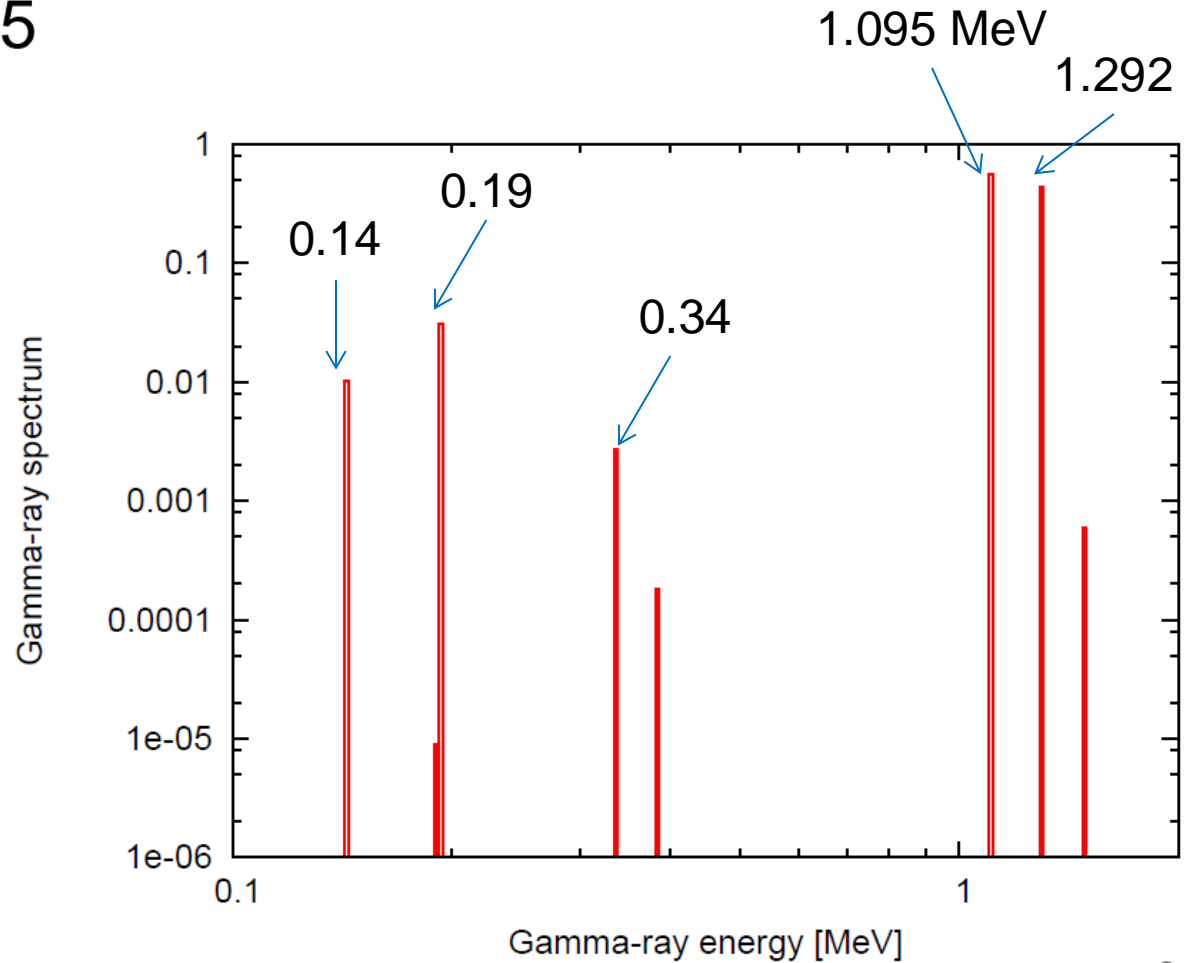
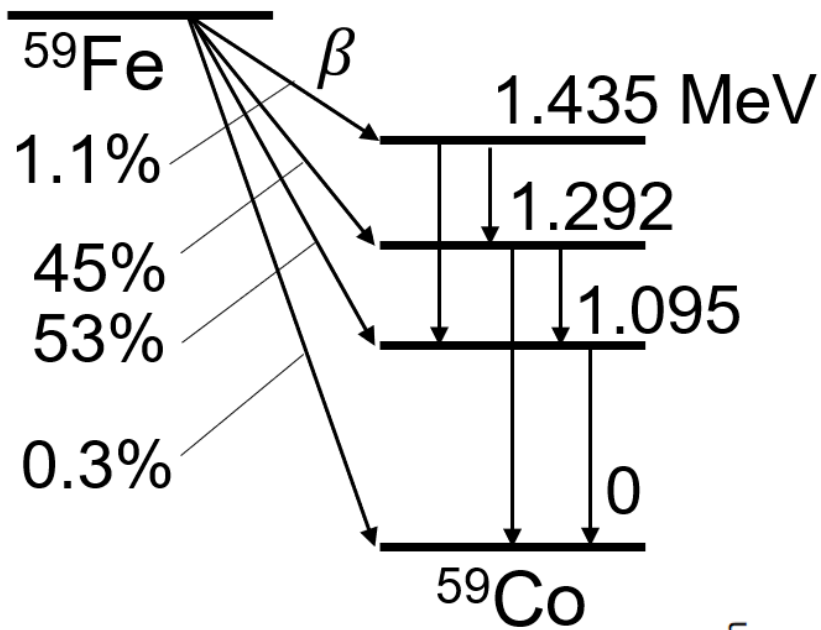
原子番号27

# Fe-59の $\beta$ 崩壊で放出される $\gamma$ 線のスペクトル





# Fe-59の $\beta$ 崩壊で放出される $\gamma$ 線のスペクトル



# Sr-90からの崩壊系列

Sr-90 ( $T_{1/2} = 28.8 \text{ y}$ )

$\beta$  (100%)

0.546 MeV

$\beta$ 線の最大  
エネルギー

Y-90 ( $T_{1/2} = 64.1 \text{ h}$ )

$\beta$  (100%)

2.28 MeV

$\beta$ 線の最大  
エネルギー

Zr-90 (安定)

# Sr-90からの崩壊系列

Sr-90 ( $T_{1/2} = 28.8 \text{ y}$ )

半減期が長いので  
「ちょっと不安定」な核種

$\beta$  (100%)

0.546 MeV

$\beta$ 線の最大  
エネルギー

Y-90 ( $T_{1/2} = 64.1 \text{ h}$ )

半減期が短い  
ので、「かなり  
不安定」な核種

$\beta$  (100%)

2.28 MeV

$\beta$ 線の最大  
エネルギー

Zr-90 (安定)



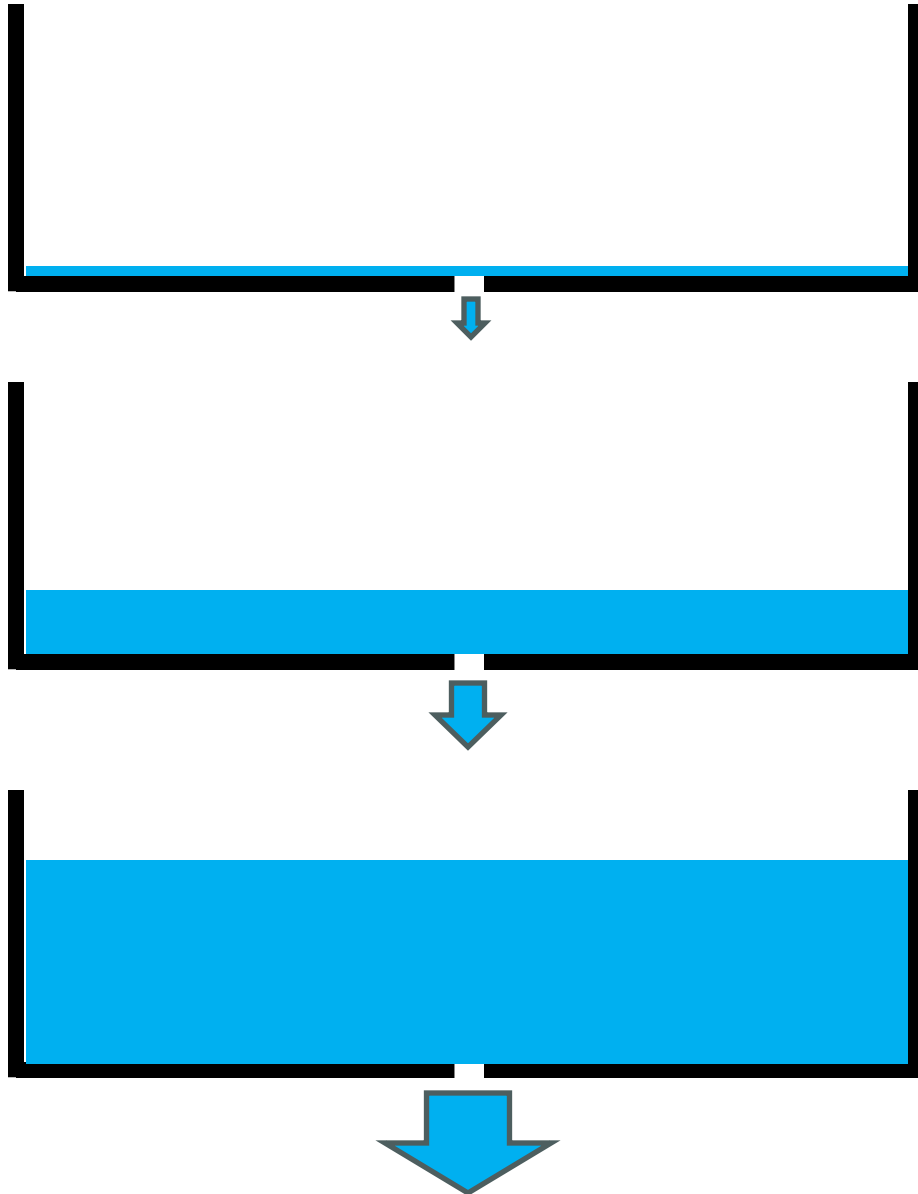
【5】提供：プラナ /96719544/PIXTA (ピクスタ)



【6】提供：ペイレスイメーجز1 (モデル) /69729355/PIXTA (ピクスタ)



# Sr-90からの崩壊系列



水位の高さ・タンクの穴の大きさに漏れる量が比例するタンクを考えよう。

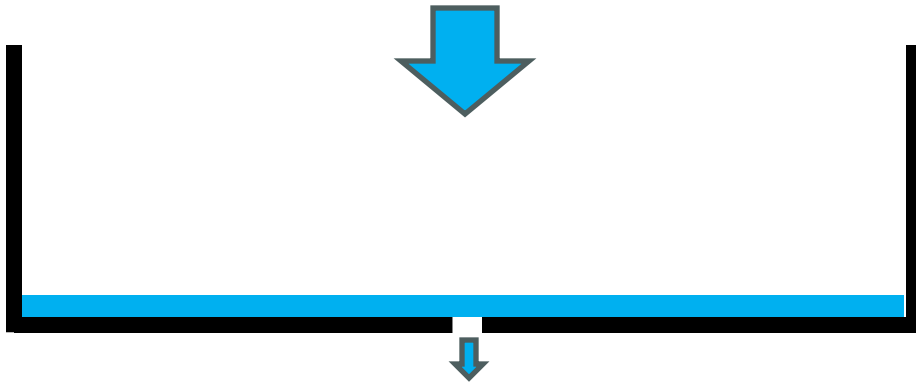
# Sr-90からの崩壊系列



穴の大きさが異なる2つのタンクをこのように配置したとする。



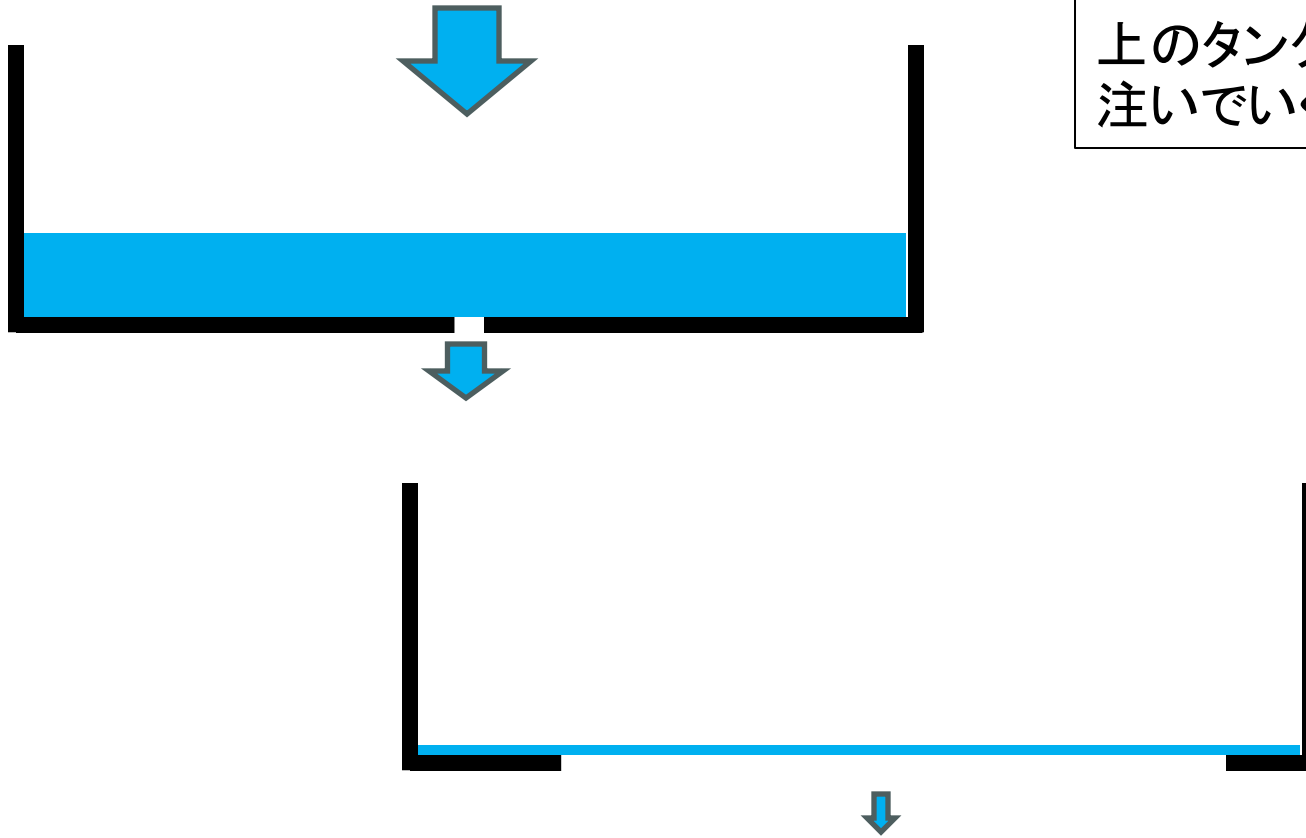
# Sr-90からの崩壊系列



上のタンクに一定量の水を注いでいくとする。

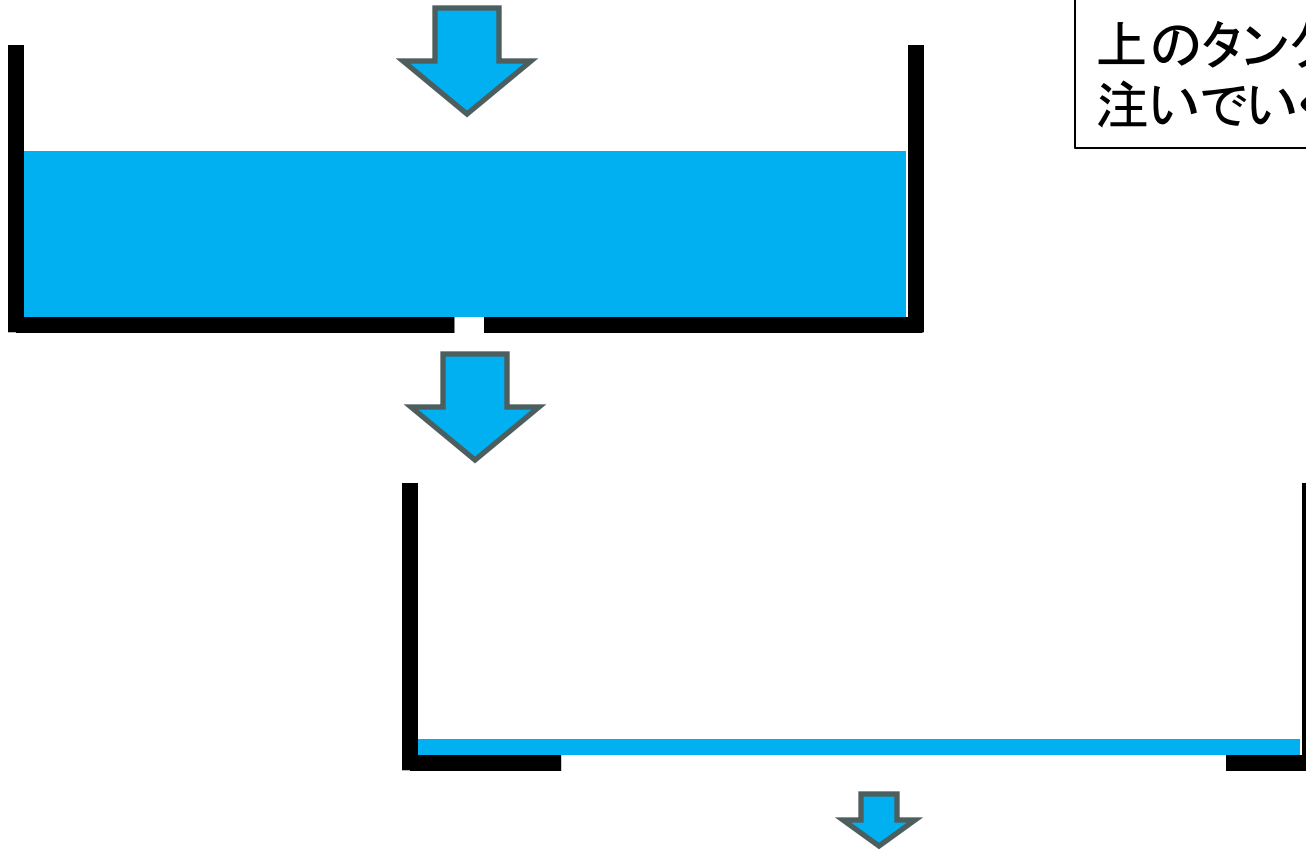


# Sr-90からの崩壊系列



上のタンクに一定量の水を  
注いでいくとする。

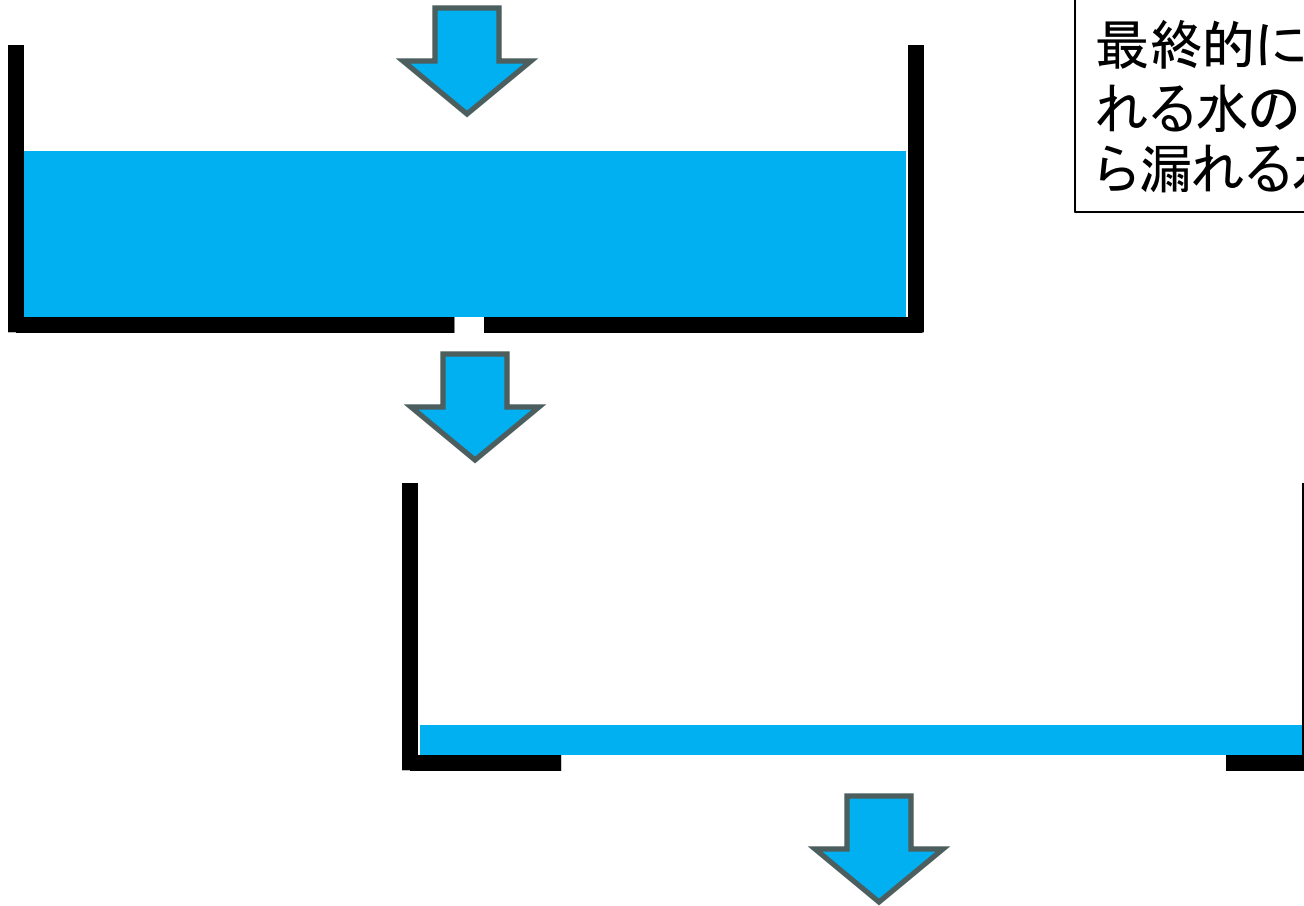
# Sr-90からの崩壊系列



上のタンクに一定量の水を注いでいくとする。



# Sr-90からの崩壊系列



最終的に、上のタンクから漏れる水の量と、下のタンクから漏れる水の量は等しくなる。

# Sr-90からの崩壊系列

Sr-90

( $T_{1/2} = 28.8 \text{ y}$ )



【5】提供：プラナ  
/96719544/PIXTA (ピクスタ)



Y-90

( $T_{1/2} = 64.1 \text{ h}$ )



【6】提供：ペイレスイメーجز1 (モデル) /69729355/PIXTA (ピクスタ)



Sr-90の崩壊についても同様で、Sr-90が含まれる媒質では、Sr-90が崩壊する数と、Y-90が崩壊する数は釣り合うものと考えてよい。従って、Sr-90の崩壊とY-90の崩壊とが同時に起こっているとみなすことができる。

# クイズ

Sr-90 ( $T_{1/2} = 28.8 \text{ y}$ )

$\beta$  (100%)

0.546 MeV

$\beta$ 線の最大  
エネルギー

Y-90 ( $T_{1/2} = 64.1 \text{ h}$ )

$\beta$  (100%)

2.28 MeV

$\beta$ 線の最大  
エネルギー

Zr-90 (安定)



【5】提供：プラナ  
/96719544/PIXTA (ピクスタ)

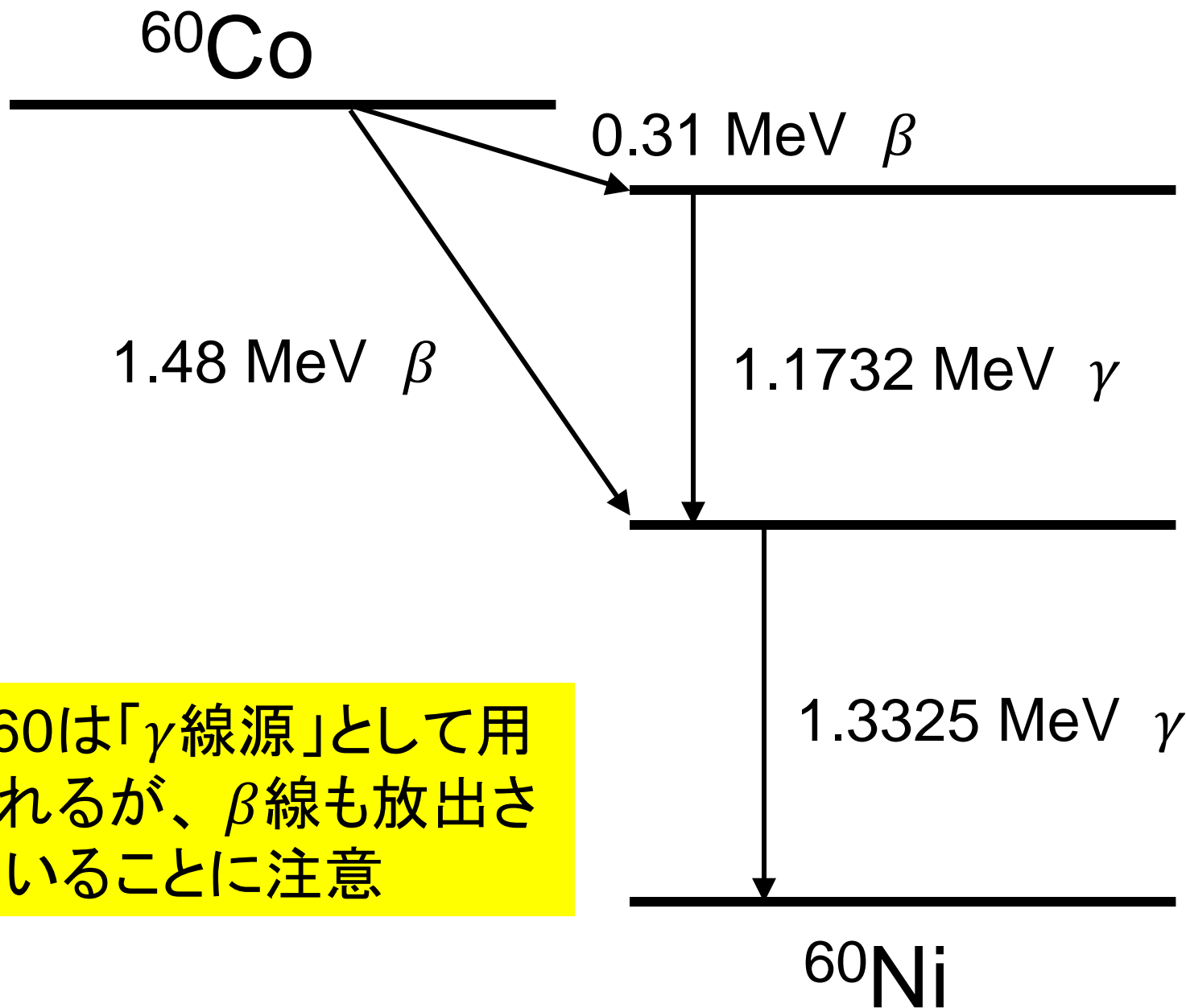


【6】提供：ペイレスイメージズ1 (モデル) /69729355/PIXTA (ピクスタ)



Sr-90が含まれる物質  
から放出される $\beta$ 線の  
最大エネルギーは？

# Co-60の崩壊



Co-60は「 $\gamma$ 線源」として用いられるが、 $\beta$ 線も放出されていることに注意

# 放射線の被ばくを避ける方法

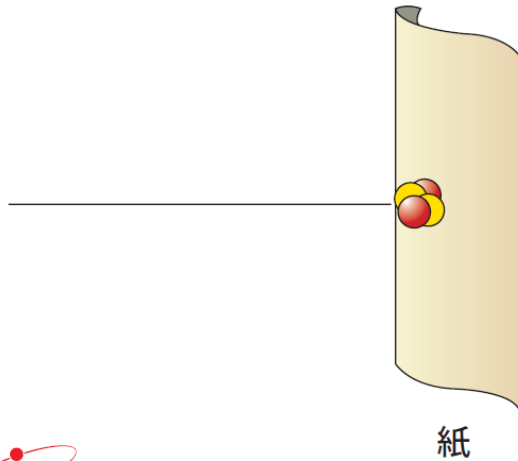
## 「放射線」の定義とは？

- ・高い運動エネルギーをもって流れる物質粒子と高エネルギーの電磁波の総称。

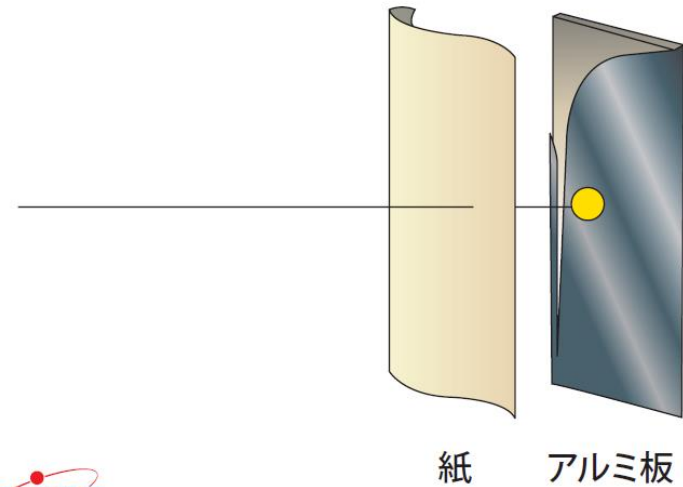
Wikipediaより

# 放射線の透過力

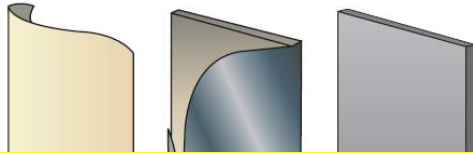
【7】 アルファ線



【8】 ベータ線



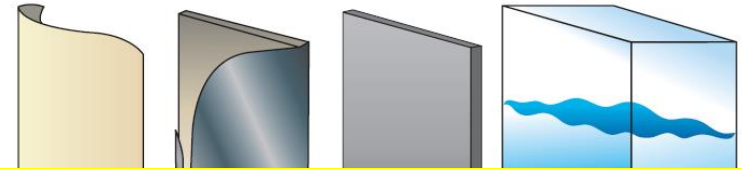
【11】 ガンマ線



紙 アルミ板 鉛



【9】 中性子線

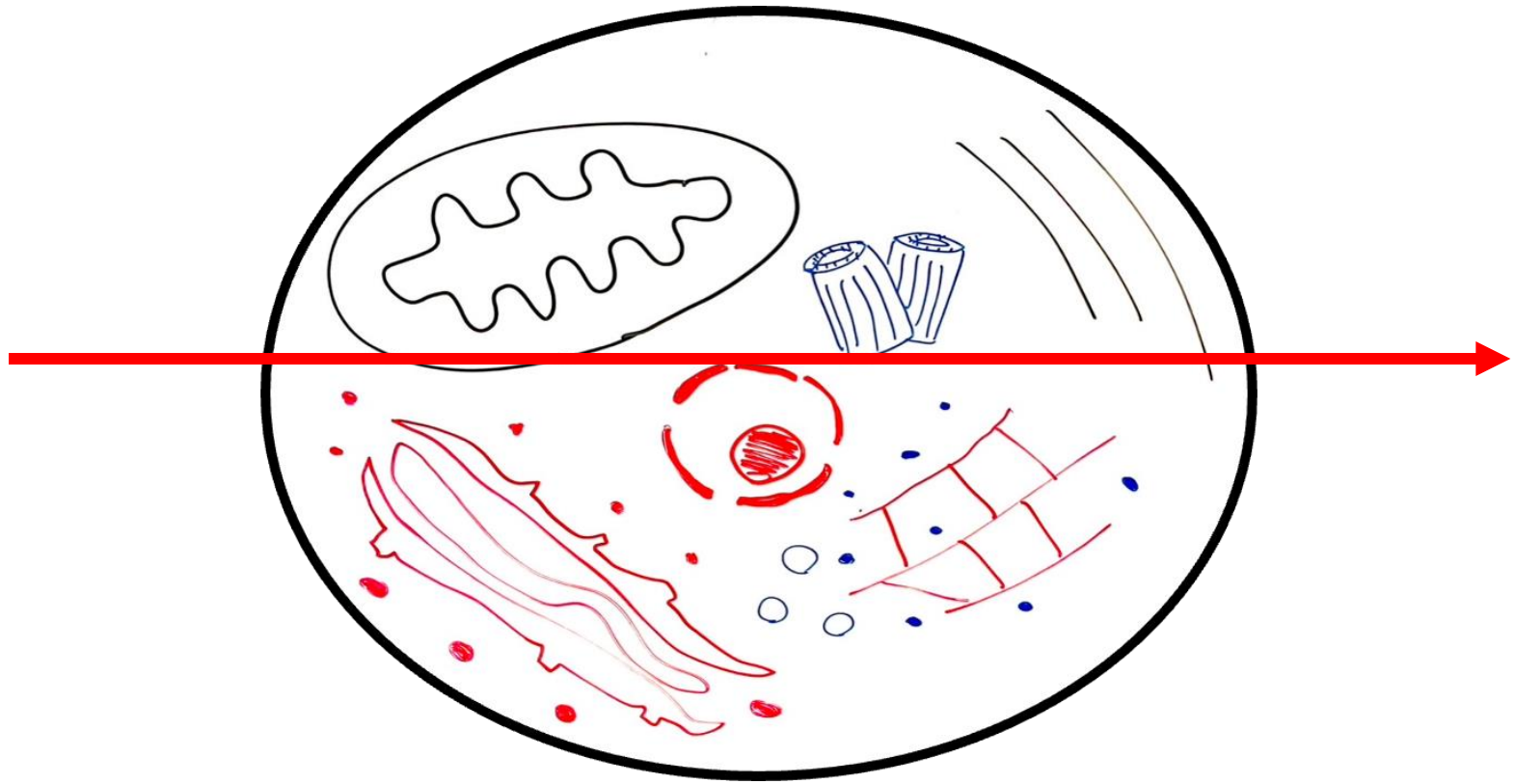


紙 アルミ板 鉛 水やパラフィン



高エネルギーの放射線が「透過せずに止まる」ということは、その過程で放射線が持つ「高エネルギー」が媒質に付与されることを意味する。

# 放射線の人体への影響



放射線は細胞を通過すると、細胞にエネルギーを付与する(損傷を与える)ことがある。大部分は短時間のうちに元通りに修復されるが、一部の修復されなかった損傷が、細胞死や細胞の突然変異を発生させる。この損傷の度合いが大きい(高いレベルの放射線を浴びてしまうと)、人体に影響を与えることになる。



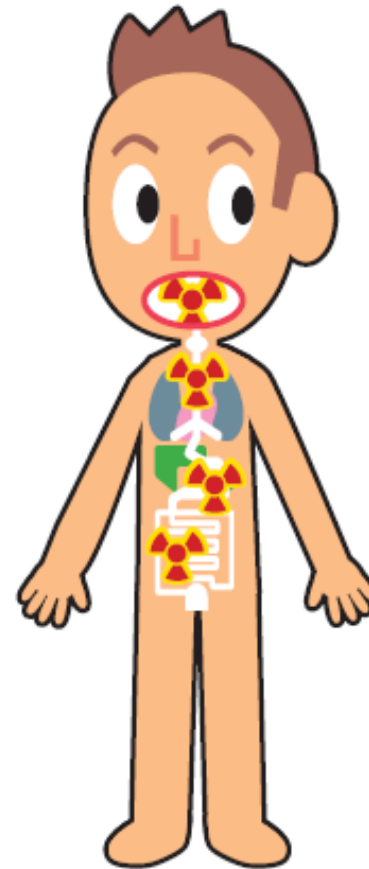
# 放射性物質が人体に与える影響

外部被ばく



放射性物質はない  
(例外：中性子線被ばく)

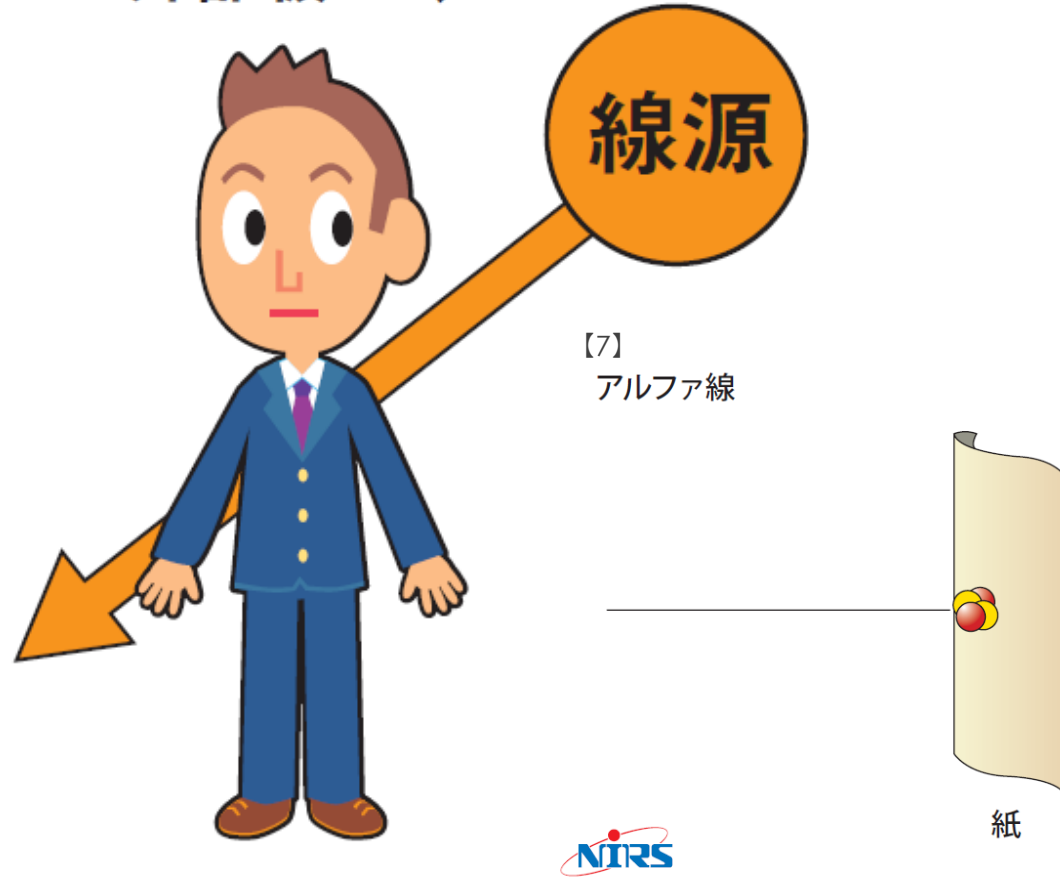
内部被ばく



体内に取り込んだ  
放射性物質により  
被ばくし続ける。

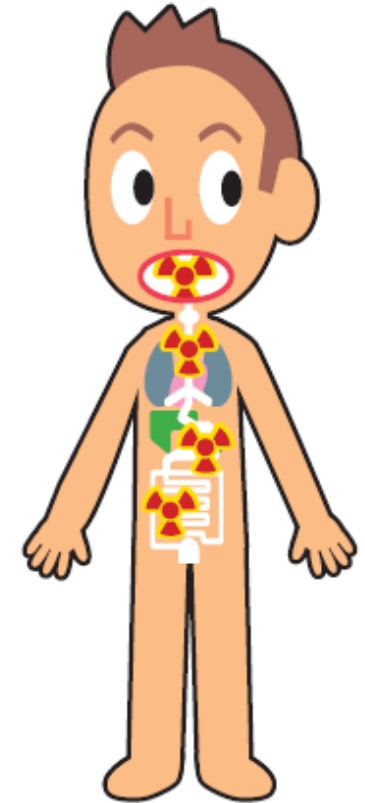
# 放射性物質が人体に与える影響

## 【12】 外部被ばく



放射性物質はない  
(例外：中性子線被ばく)

## 【12】 内部被ばく



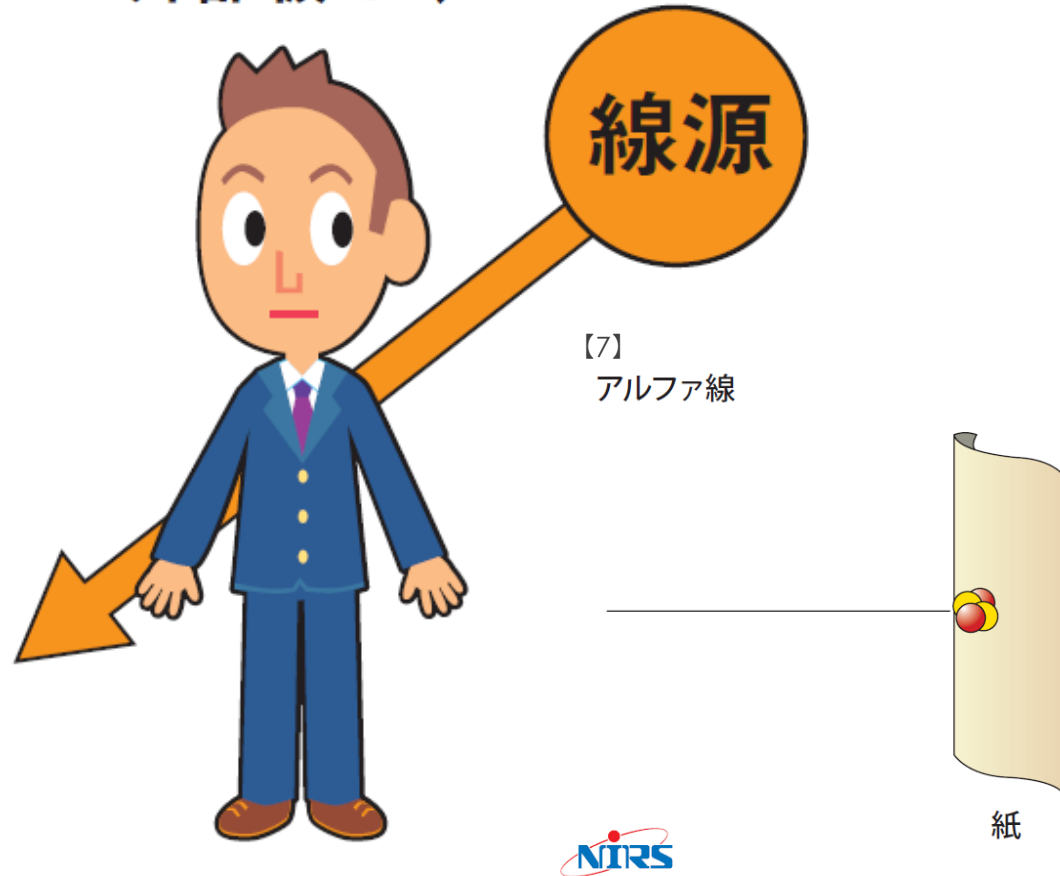
体内に取り込んだ  
放射性物質により  
被ばくし続ける。

【7】 画像提供：国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

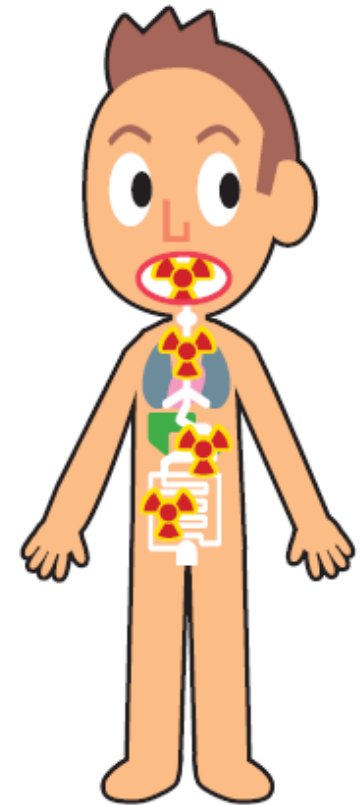
【12】 引用：国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構「医学教育における被ばく医療関係の教育・学習のための参考資料」を元に改変

# 放射性物質が人体に与える影響

## 【12】 外部被ばく



## 【12】 内部被ばく



α線は飛行距離が極端に短いため、外部被ばくを心配する必要は殆ど無いが、内部被ばくの場合には影響が大きい。

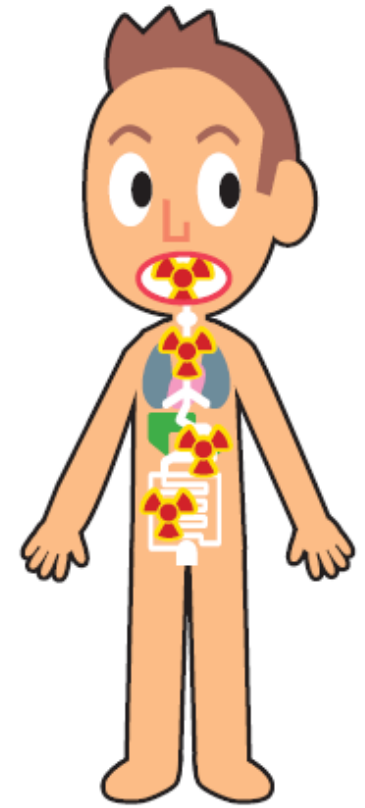
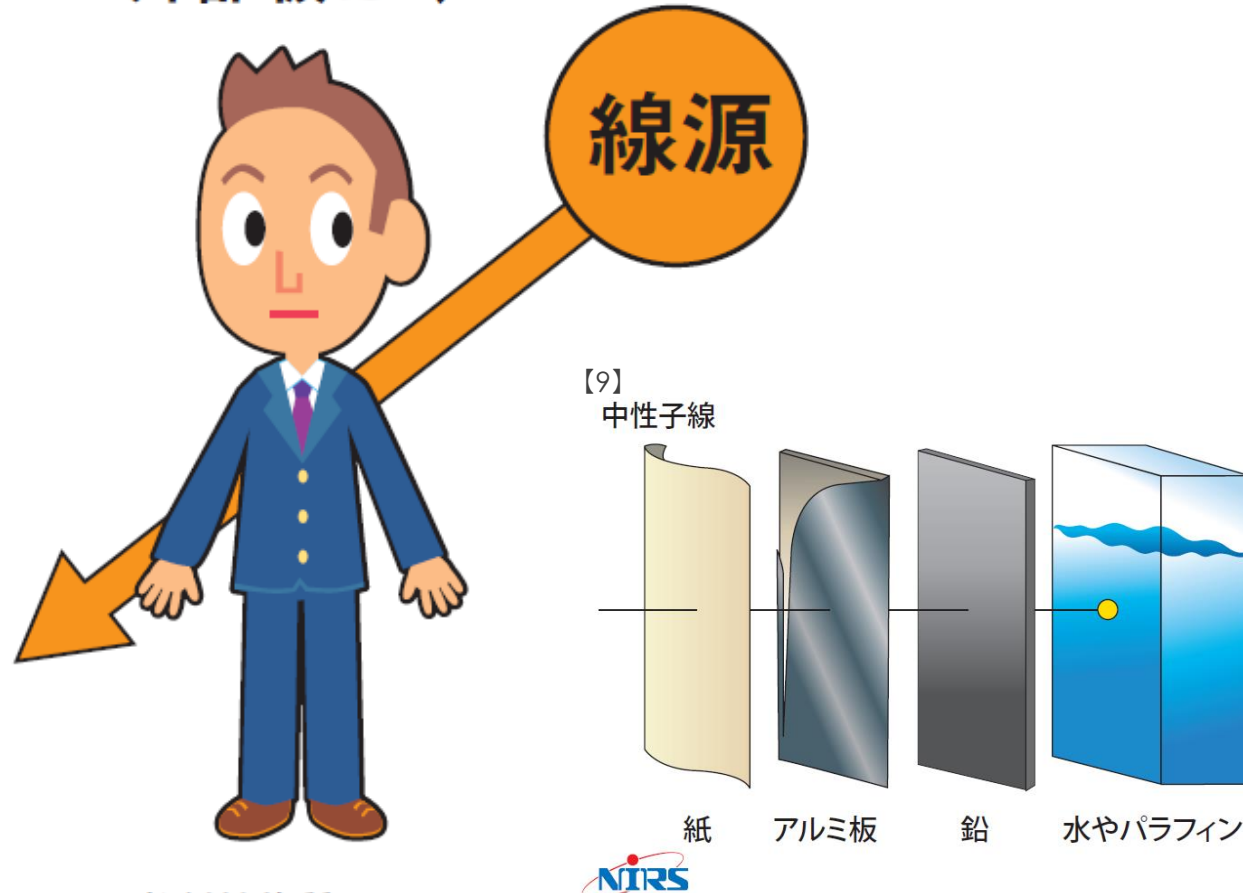
【7】 画像提供：国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

【12】 引用：国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構「医学教育における被ばく医療関係の教育・学習のための参考資料」を元に改変

# 放射性物質が人体に与える影響

## 【12】 外部被ばく

## 【12】 内部被ばく

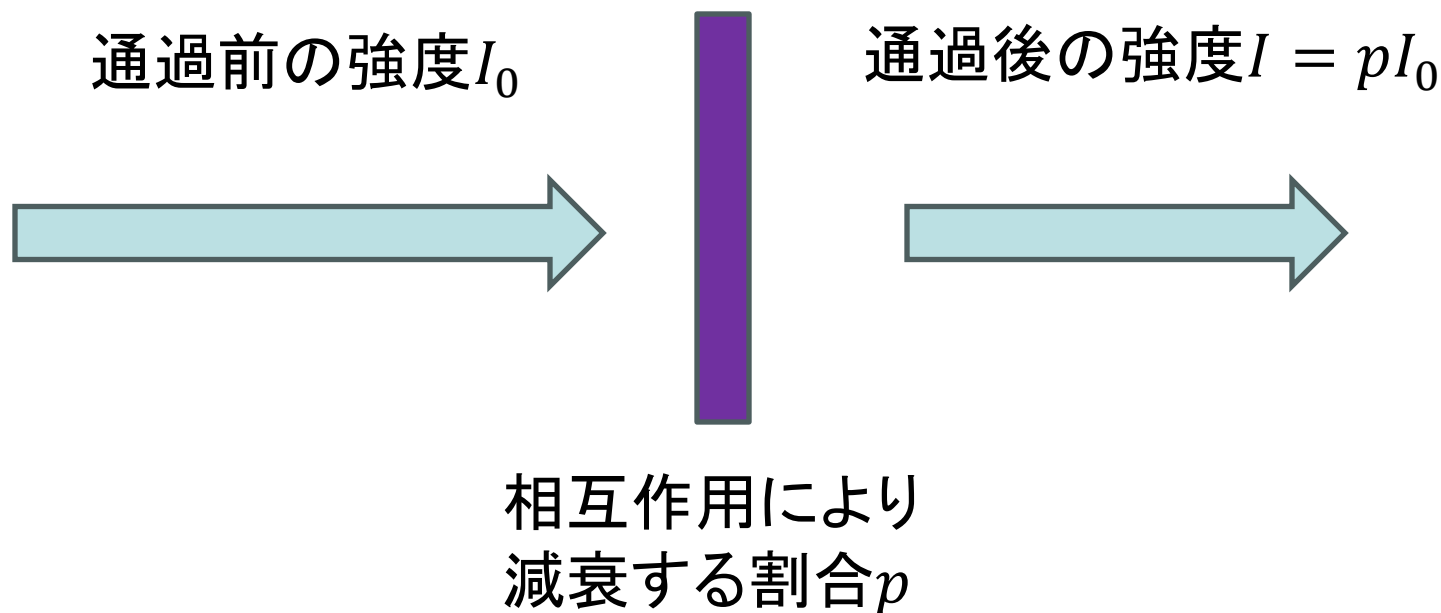


（中性子線は、物質の透過性が高いため、外部被ばく・内部被ばくのいずれについても影響が大きい。

【9】 画像提供：国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

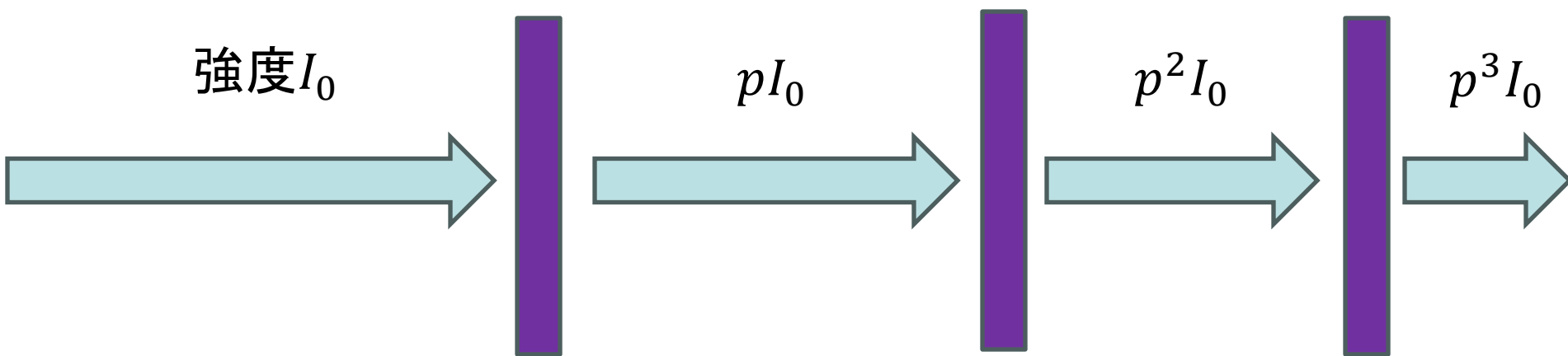
【13】 引用：国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構「医学教育における被ばく医療関係の教育・学習のための参考資料」を元に改変

# 放射線の遮へい



放射線が物質を通過すると、放射線と物質との間の相互作用の結果、その強度が低下する。  
相互作用による放射線強度の低下の程度は「割合」として決まる。

# 放射線の遮へい

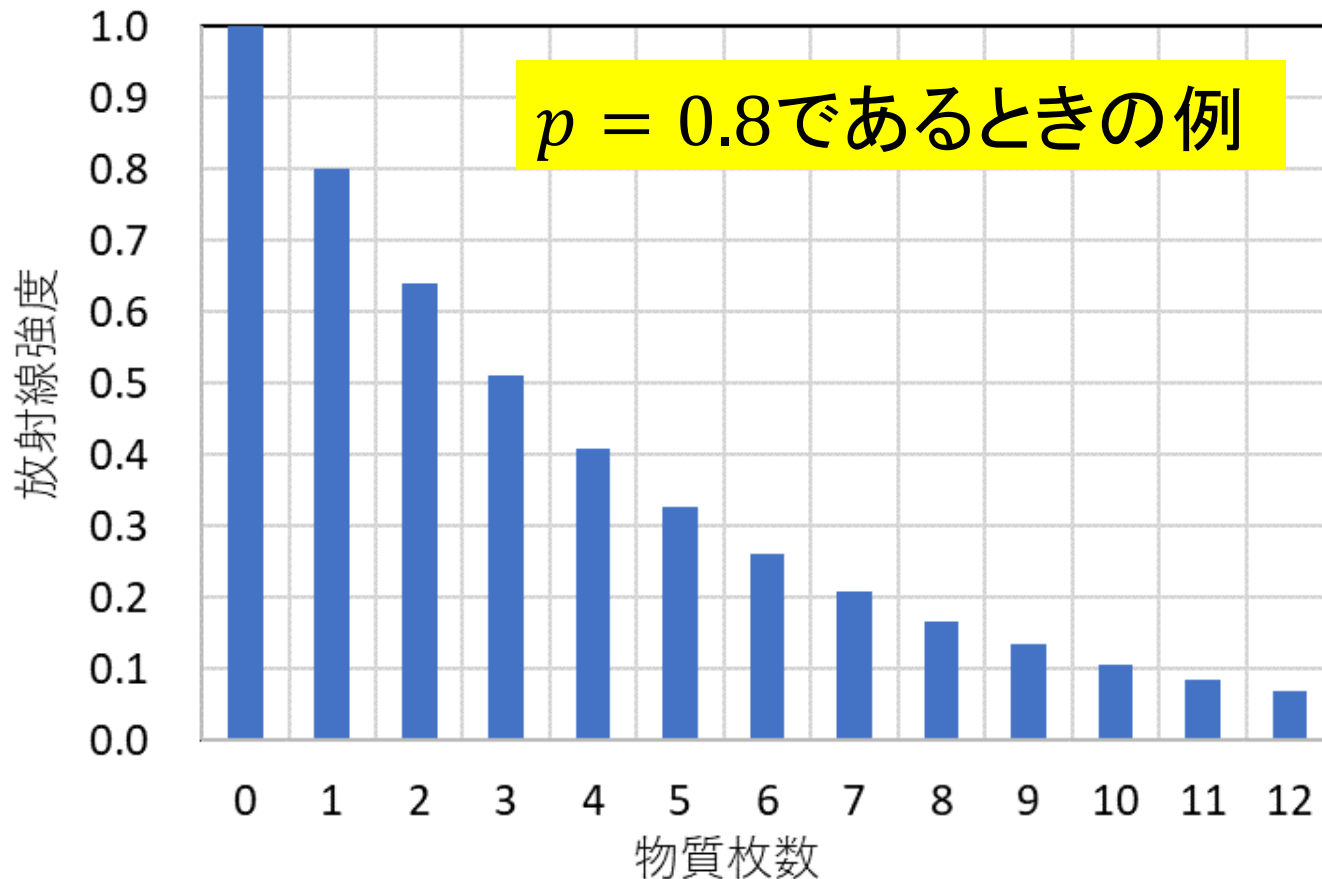


相互作用により  
減衰する割合  $p$

物質1枚あたり、相互作用により放射線が減衰する割合が  $p$  であるとき、物質  $n$  枚を通過した後の放射線の強度は  $p^n I_0$  となる。

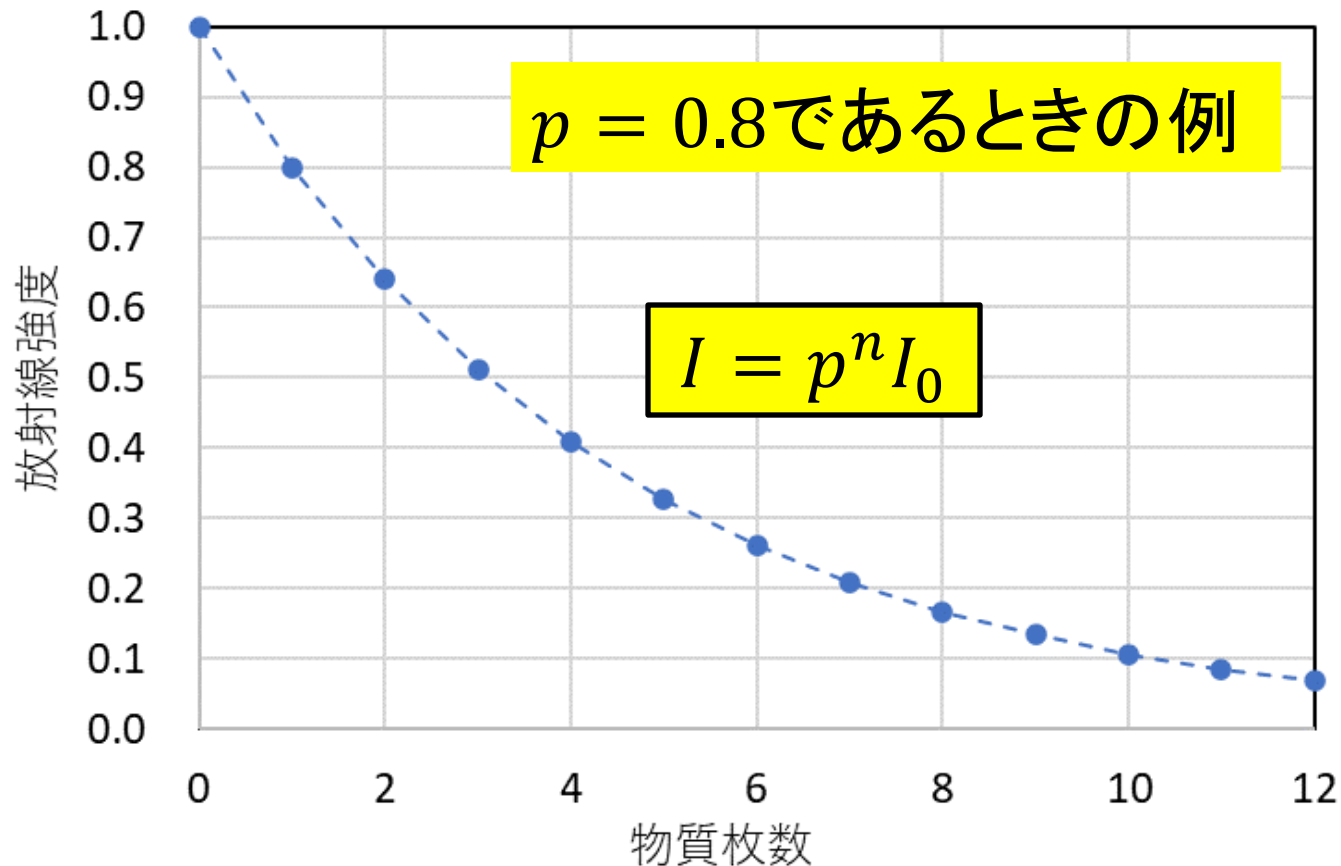
# 放射線の遮へい

物質1枚あたり、相互作用により放射線が減衰する割合が $p$ であるとき、物質 $n$ 枚を通過した後の放射線の強度は $p^n I_0$ となる。



# 放射線の遮へい

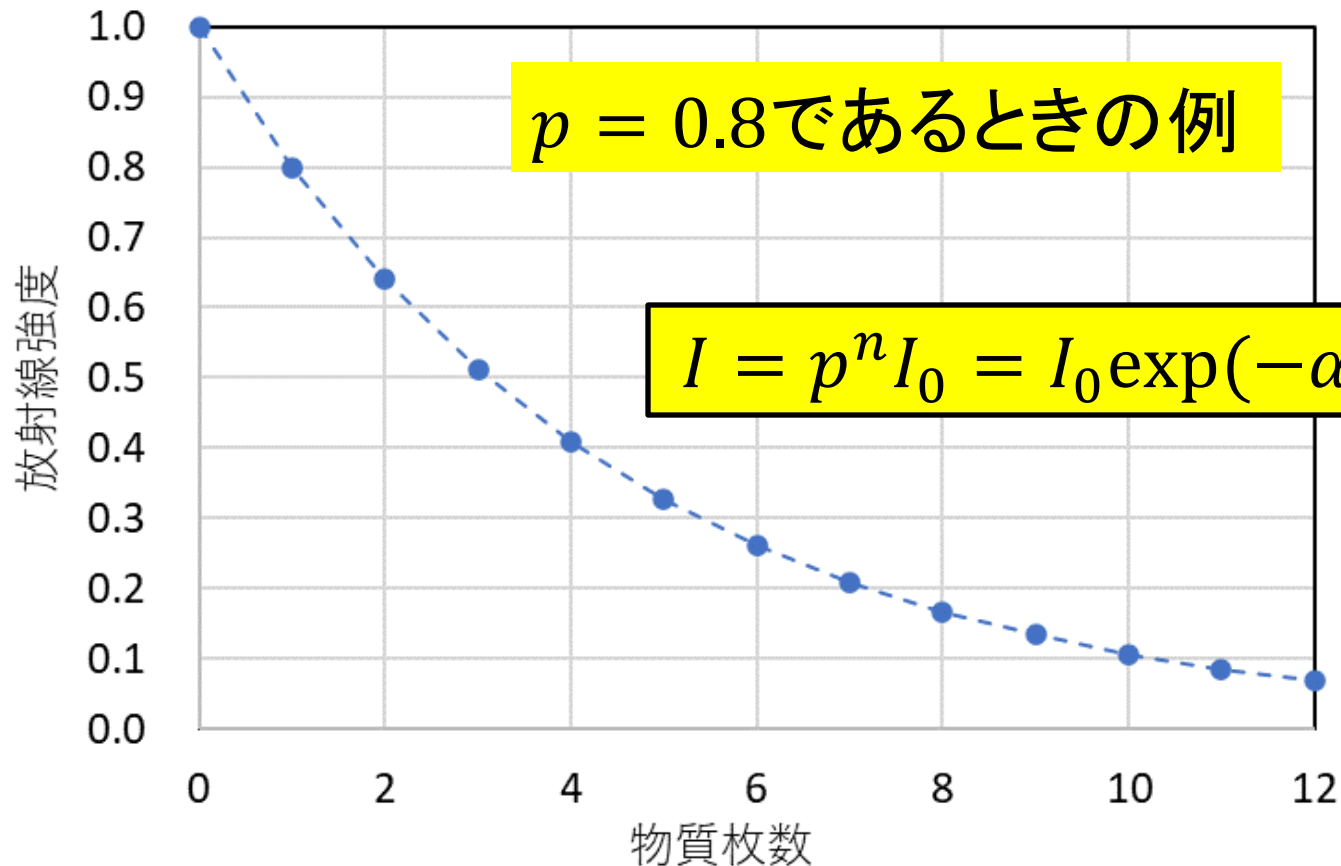
物質1枚あたり、相互作用により放射線が減衰する割合が $p$ であるとき、物質 $n$ 枚を通過した後の放射線の強度は $p^n I_0$ となる。



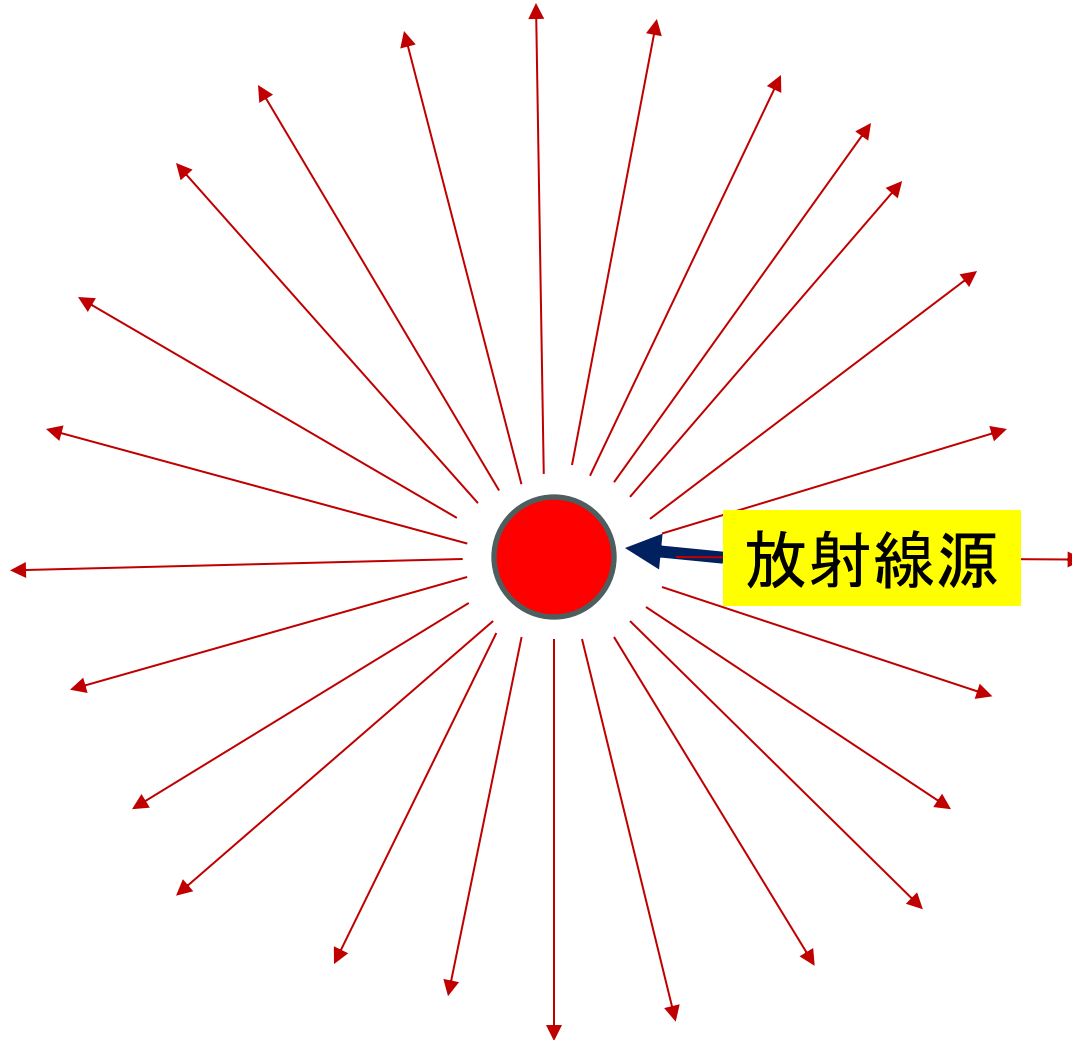


# 放射線の遮へい

物質1枚あたり、相互作用により放射線が減衰する割合が $p$ であるとき、物質 $n$ 枚を通過した後の放射線の強度は $p^n I_0$ となる。

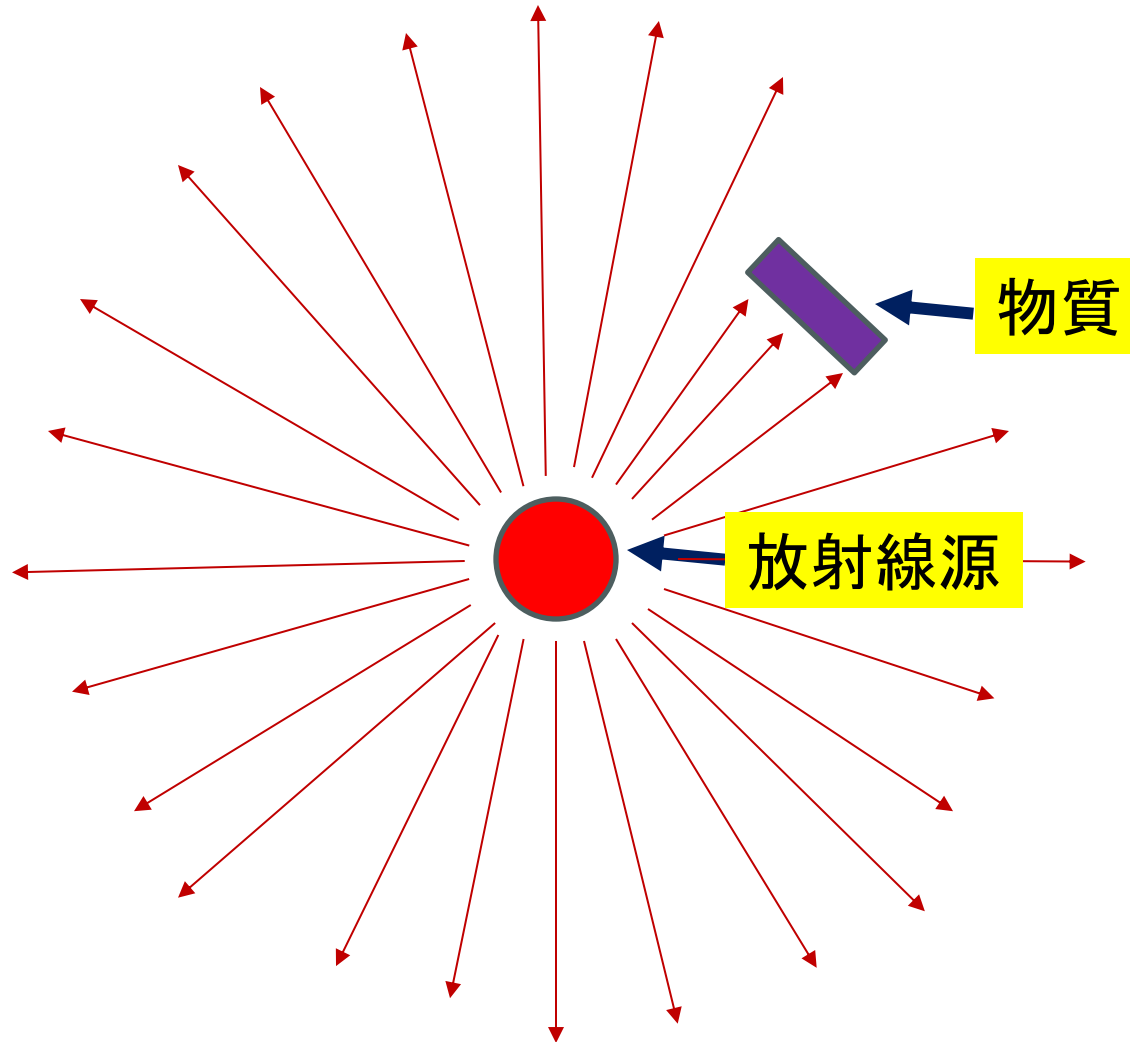


# 放射線源との距離



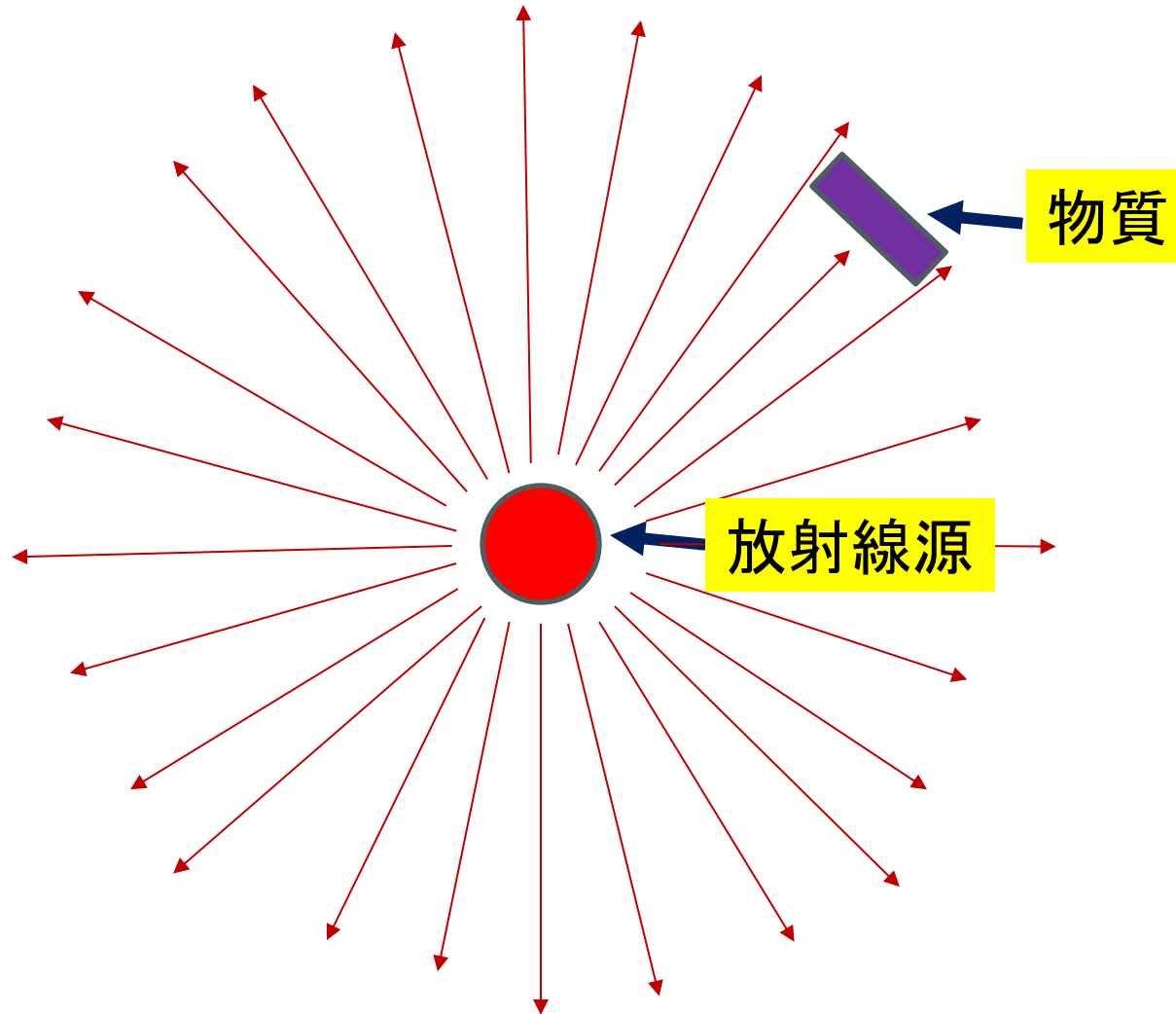
全ての方向に等確率で放射線を放出する放射線源を考える。

# 放射線源との距離



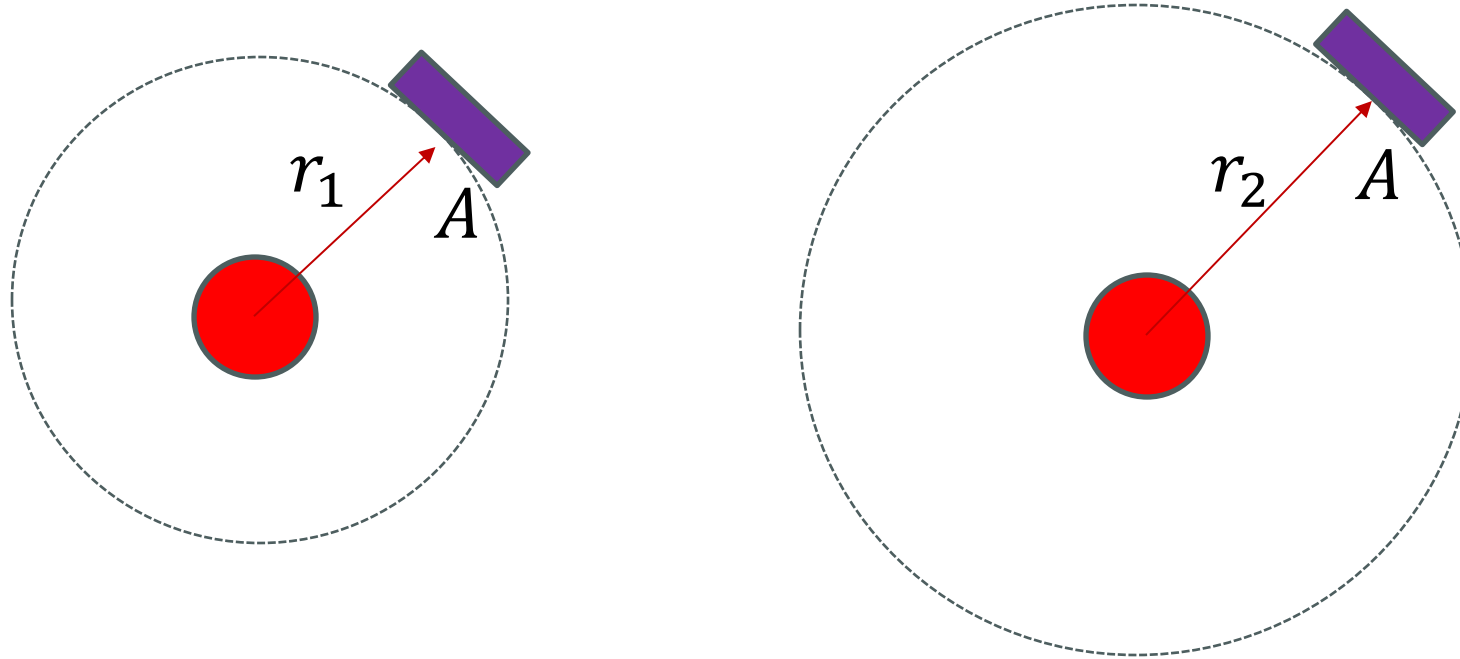
その放射線源から物質に入射する放射線の強度は、物質と放射線源との距離が離れるに従って減少する。

# 放射線源との距離



その放射線源から物質に入射する放射線の強度は、物質と放射線源との距離が離れるに従って減少する。

# 放射線源との距離



物質の放射線源に対する面積を $A$ とする。

線源から放出された放射線が物質に入射する確率は、線源と物質の距離が $r$ であるとき、線源を中心とした半径 $r$ の球面の面積を $S$ とすると、 $A/S$ として与えられる。

$S = 4\pi r^2$ なので、 $A/S = A/4\pi r^2$ となり、物質に入射する放射線数は距離 $r$ の2乗に反比例することが分かる。

## 出典一覧

No.	ライセンス	出典情報
【1】	✖	日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」
【2】		CC BY-SA 3.0 : Yzmo (Wikipedia)
【3】		CC BY-SA 4.0 : iseri (Wikipedia)
【4】	✖	den-sen/30499034/PIXTA (ピクスタ)
【5】	✖	プラナ/96719544/PIXTA (ピクスタ)
【6】	✖	ペイレスイメージズ1 (モデル) /69729355/PIXTA (ピクスタ)
【7】	✖	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構「医学教育における被ばく医療関係の教育・学習のための参考資料」を元に改変
【8】	✖	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構「医学教育における被ばく医療関係の教育・学習のための参考資料」を元に改変
【9】	✖	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構「医学教育における被ばく医療関係の教育・学習のための参考資料」を元に改変
【10】	✖	日本原子力文化財団「原子力・エネルギー図面集」

## 出典一覧

No.	ライセンス	出典情報
【11】	+	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構「医学教育における被ばく医療関係の教育・学習のための参考資料」を元に改変
【12】	+	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構「医学教育における被ばく医療関係の教育・学習のための参考資料」を元に改変