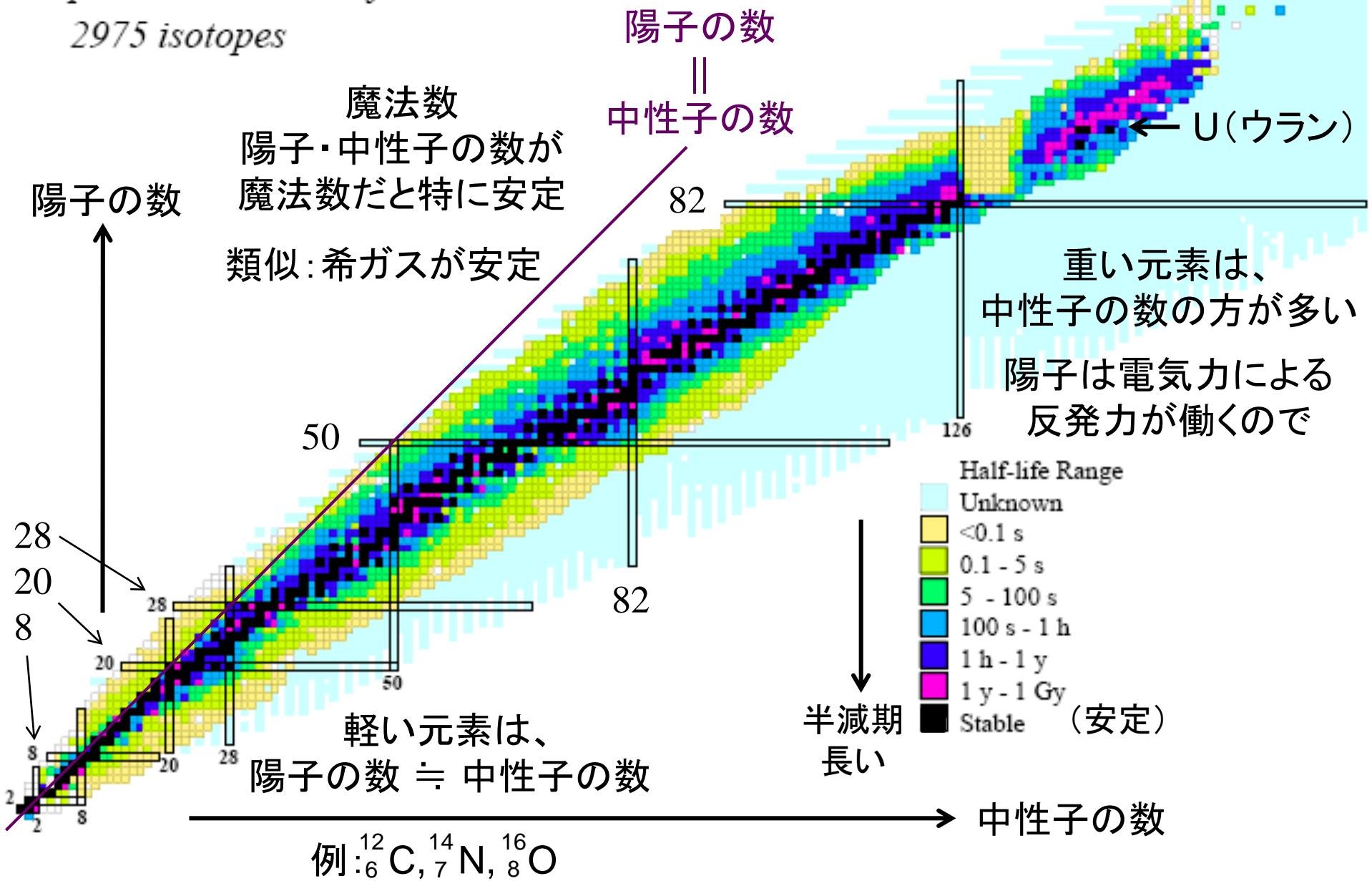


陽子の数 vs 中性子の数

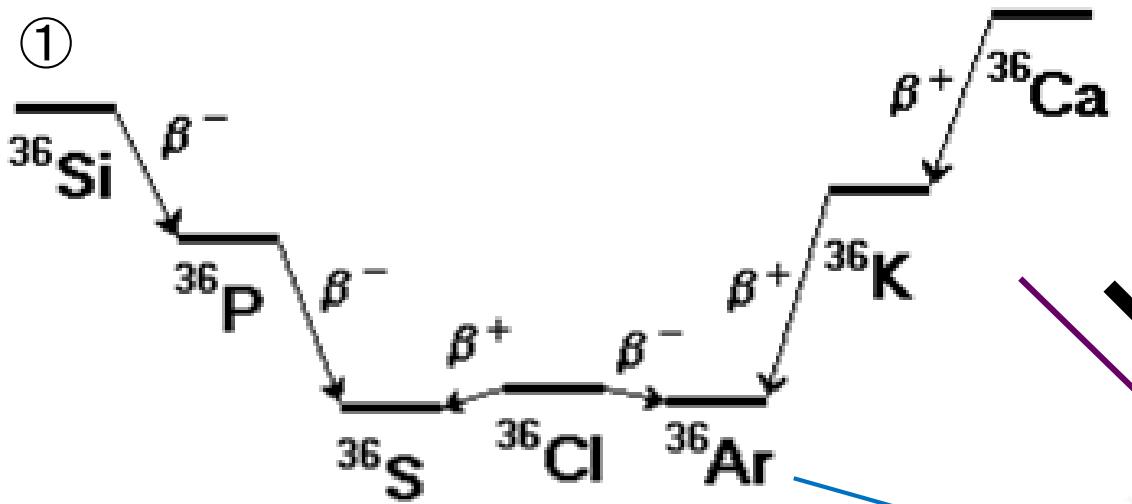
ニホニウム等
超ウラン元素

Experimental Chart of Nuclides.

2975 isotopes

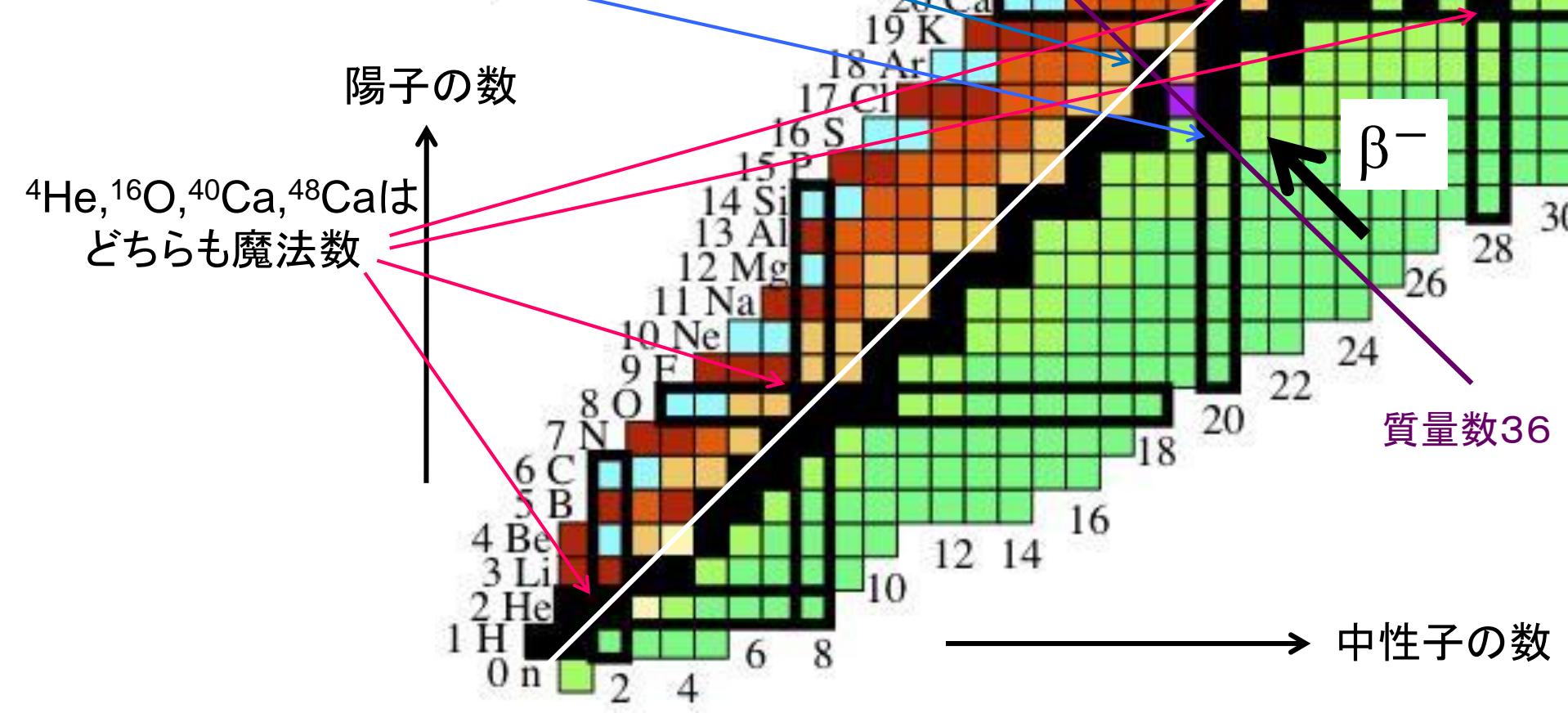


1



陽子の数

中性子の数



半減期 主に放射性同位元素に用いる

放射性同位体等が崩壊して半分に減る期間

半減期の2倍の期間では、4分の1に減る

半減期の3倍の期間では、8分の1に減る

$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

N_0 : 時刻 $t = 0$ における放射性同位体の数
 $N(t)$: 時刻 t における放射性同位体の数
 T : 半減期

平均寿命(寿命) 主に素粒子に 例: π 中間子

放射性同位体、素粒子等の平均の寿命。(崩壊して $1/e$ に減る期間)

寿命の2倍の期間では、 e^2 分の1に減る $e \doteq 2.72$

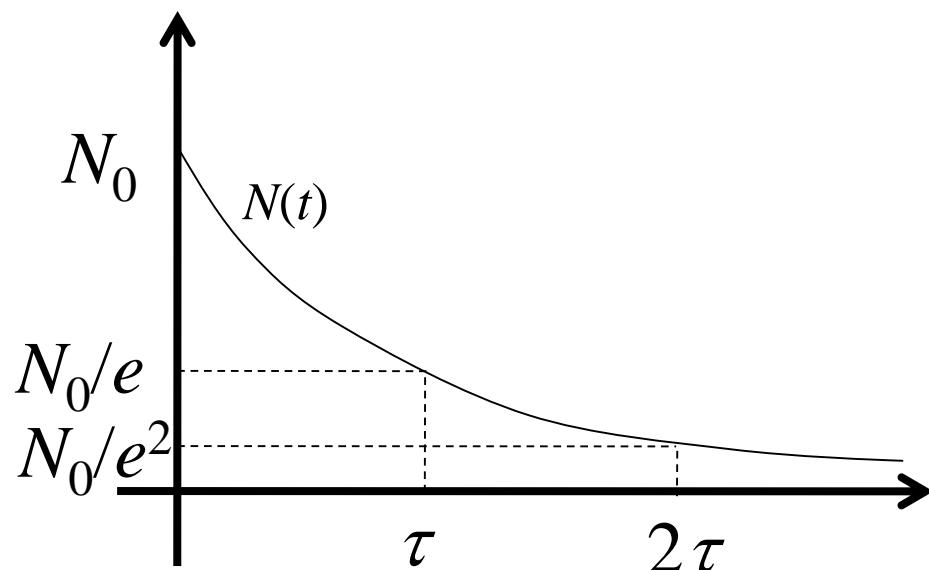
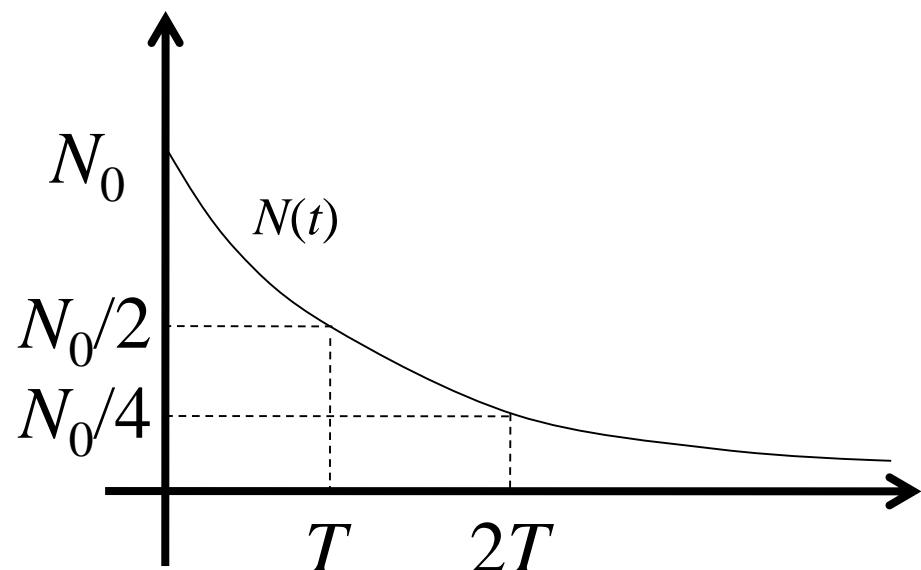
寿命の3倍の期間では、 e^3 分の1に減る

$$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

τ : 平均寿命

③

半減期と(平均)寿命



N_0 : 時刻 $t = 0$ における放射性同位体や素粒子の数

T : 半減期 , τ : 平均寿命

$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

逆数: $2^{\frac{t}{T}} = e^{\frac{t}{\tau}}$ 自然対数をとると

$$\frac{t}{T} \ln 2 = \frac{t}{\tau}$$

$$\ln 2 = \log_e 2$$

$$T = \tau \ln 2 \doteq 0.69 \tau$$

$$\tau \doteq 1.44 T$$

問題

ここに三重水素(トリチウム, ${}^3\text{H}$)の原子が2つある。

この2つ原子を様々な装置で詳しく調べたら
どちらが先に崩壊するかを、ある程度予想できるか？

答: できない。

原子には、個性はない。原子はどれも全く同じ。
「今にも崩壊しそうな原子」や「まだ当分崩壊しない原子」はない。

力学では、初期条件を決めると未来は完全に決定された。
量子力学においては、初期条件を決めても、未来は確率しかわからない。
未来は決まっていない…(1個の原子の未来もわからない)

自然界に存在する(天然)の放射性同位体 (天然放射性核種)

① 地球誕生以前に超新星爆発等で生成されたものが生き残っている もの(半減期:数億年以上)

例: ^{40}K (カリウム) 半減期12.6億年

^{87}Rb (ルビジウム) 半減期488億年

^{235}U (ウラン) 半減期7億年 (アクチニウム系列)

^{238}U (ウラン) 半減期44.7億年 (ウラン系列) 後で解説

^{232}Th (トリウム) 半減期140億年 (トリウム系列) 後で解説

② 宇宙線との反応で生成されたもの

例: ^{3}H (三重水素, トリチウム) 半減期 12.3年

^{14}C (炭素) 半減期5730年 年代測定に使われる。

大気から光合成で取り込まれた後、減っていく。

人工的に作られたもの

例: ^{3}H (三重水素, トリチウム) 半減期 12.3年

^{137}Cs (セシウム) 半減期30年 スライド⑨参照

体内の放射性物質

(60 kg 日本人の場合)

1、カリウム40

4000 Bq

半減期 12.3億年

超新星爆発、
連星中性子星
の合体等が起源
寿命が長いので
生き残っている

2、炭素14

2500 Bq

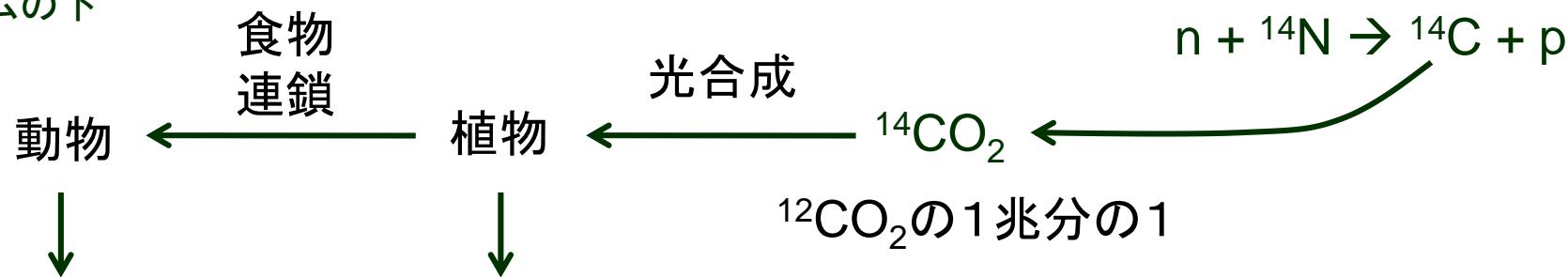
半減期 5730年

3、ルビジウム87

500 Bq

半減期 488億年

アルカリ金属
カリウムの下



死ぬと炭素が入れ替わらないため¹⁴Cが減っていく
¹²C と ¹⁴C の割合を調べることで、死んだ年代がわかる。(年代測定)数万年まで

⑦

宇宙線

超新星爆発等で発生した
高エネルギーの粒子

超高エネルギー宇宙線

(1次宇宙線)

陽子90%, α 粒子8%

加速器の衝突点と同じ→

π 中間子 K 中間子

パイ粒子やK粒子

$u\bar{d}$, $\bar{u}d$ $u\bar{s}$, $\bar{u}s$

大気中の
原子核と衝突

π , K 中間子
の他にも
中性子や
原子核の
破片も含む

大気シャワー現象

大気

見た目がシャワー
のようなので



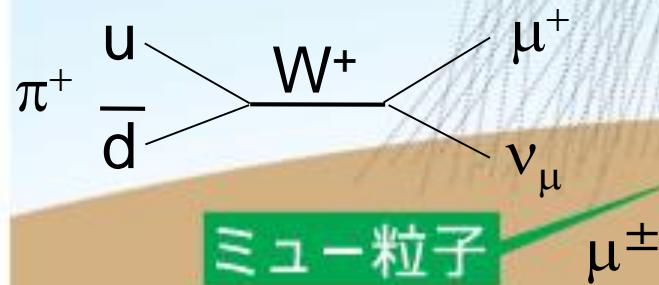
Heの
原子核

山

地上

電子やガンマ線

π 中間子や K 中間子は、
ミュー粒子に崩壊



原子核乾板(エマルジョン)の顕微鏡画像

荷電粒子の飛跡を記録できる特殊な写真フィルム

フィルム中の原子核に衝突

宇宙線重イオン



中性子も

原子核の破片(陽子等)

π^\pm 等がたくさん生成されている

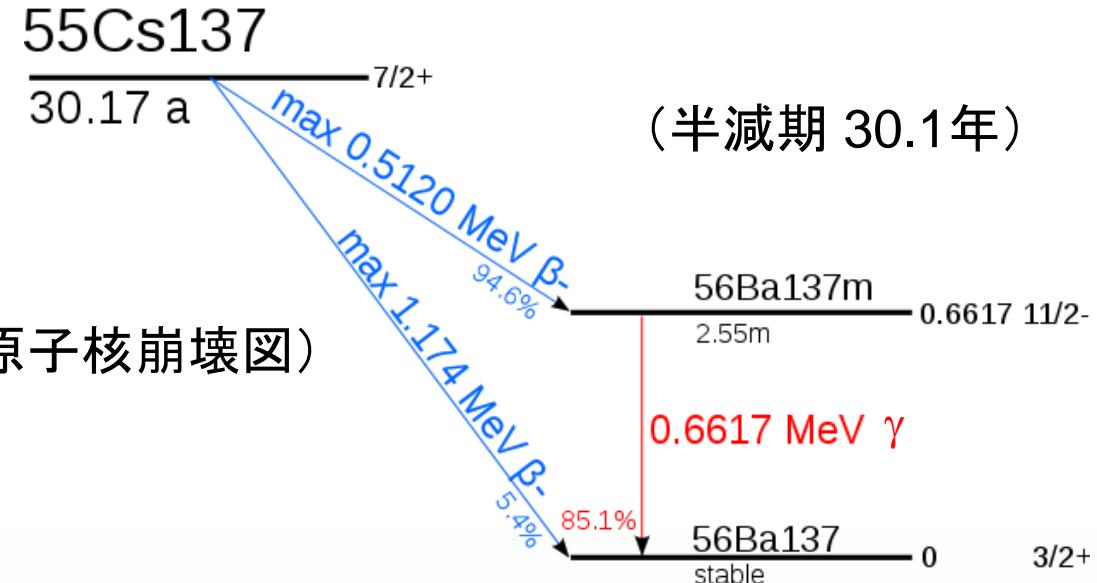
最も軽いハドロン

Fundamental Particle Physics Laboratory

Graduate School of Science of Nagoya University
Division of Particle and Astrophysical Sciences

加速器の正面衝突と違い、生成された粒子は前方(重イオンの方向)に集中する

⑨ 日本における
 ^{137}Cs (セシウム)
の降下量の推移



mBq/m²・月

Radioactivity deposition (mBq/m²/month)

● ^{137}Cs
○ ^{90}Sr

Koenji, Tokyo

Tsukuba

問題②

問題①

問題③ 減少傾向なのはなぜか？

Nuclear tests by
former USSR, USA, etc.

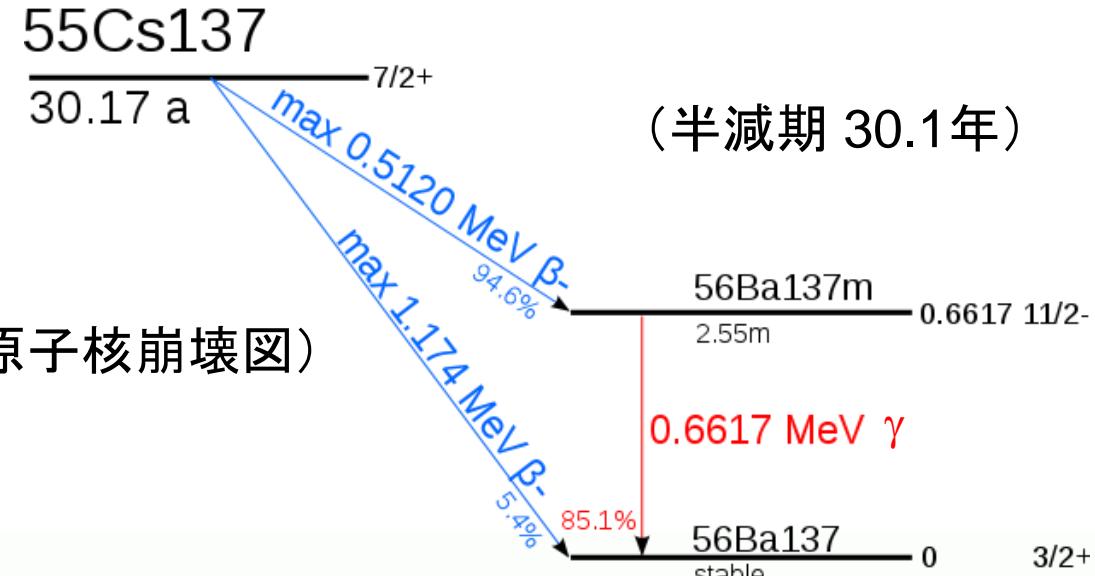
Nuclear tests by China

1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015

Year

(出典: 気象研)

⑨ 日本における
 ^{137}Cs (セシウム)
の降下量の推移



mBq/m²・月

Radioactivity deposition (mBq/m²/month)

● ^{137}Cs
○ ^{90}Sr

Koenji, Tokyo

Tsukuba

Fukushima
Accident

近いから
多い

問題③ 減少傾向なのはなぜか？

Nuclear tests by
former USSR, USA, etc.

Nuclear tests by China

1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015

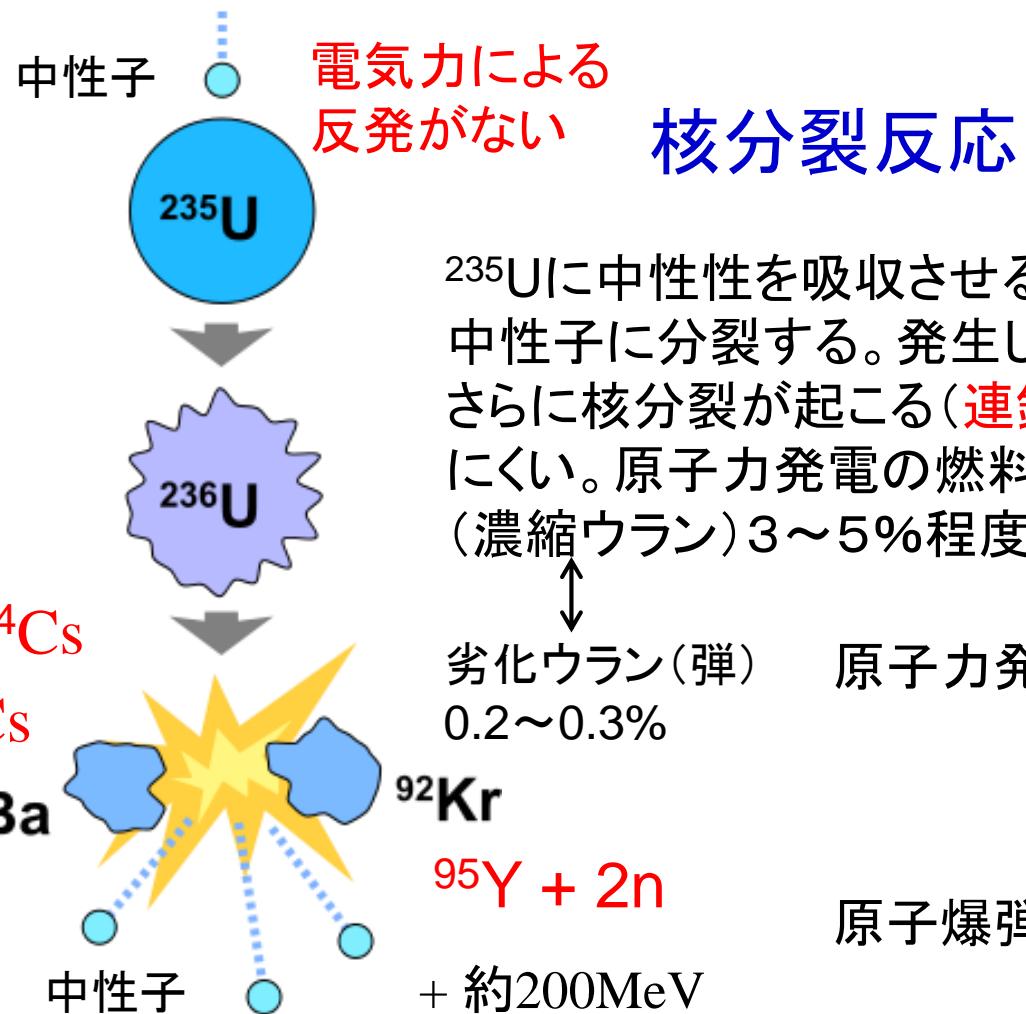
Year

(出典: 気象研)

U(ウラン, 原子番号92)の同位体

^{235}U : 存在比 0.72 % 半減期 7.038億年 中性子の数: 143 個

^{238}U : 存在比 99.28 % 半減期 44.68億年 中性子の数: 146 個



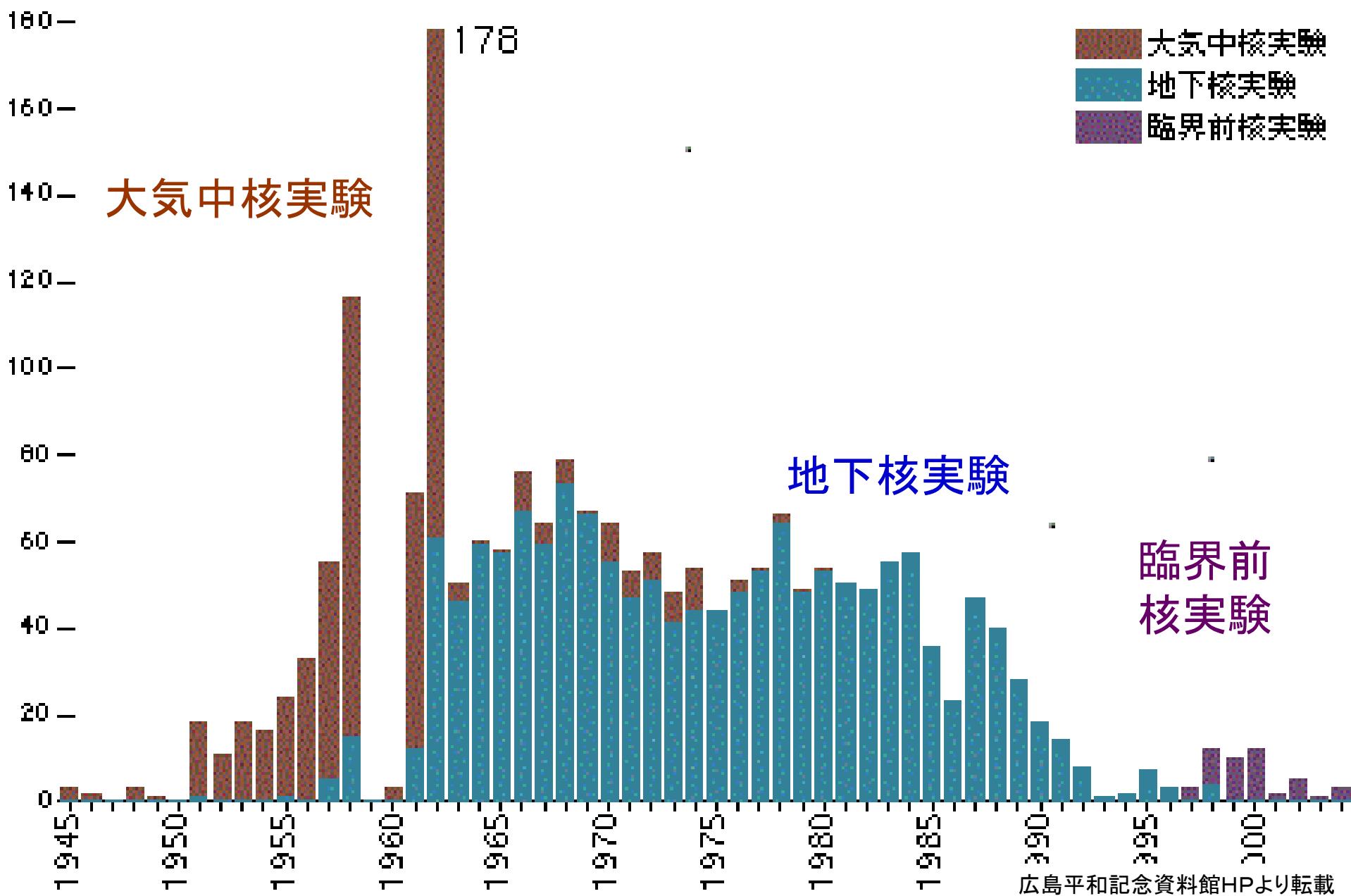
^{235}U に中性子を吸収させると、2つの原子核と幾つかの中性子に分裂する。発生した中性子が ^{235}U に吸収されるとさらに核分裂が起こる(連鎖反応)。 ^{238}U は核分裂を起こしにくい。原子力発電の燃料は、 ^{235}U の割合を高めてある。(濃縮ウラン)3~5%程度。原子爆弾は、ほぼ100% ^{235}U 。

劣化ウラン(弾)
0.2~0.3%

原子力発電: 核分裂の連鎖反応を制御しながら、ゆっくり進め、発生した熱で発電。

原子爆弾: 核分裂の連鎖反応を瞬間に進める。

核実験(核爆発)の数の推移



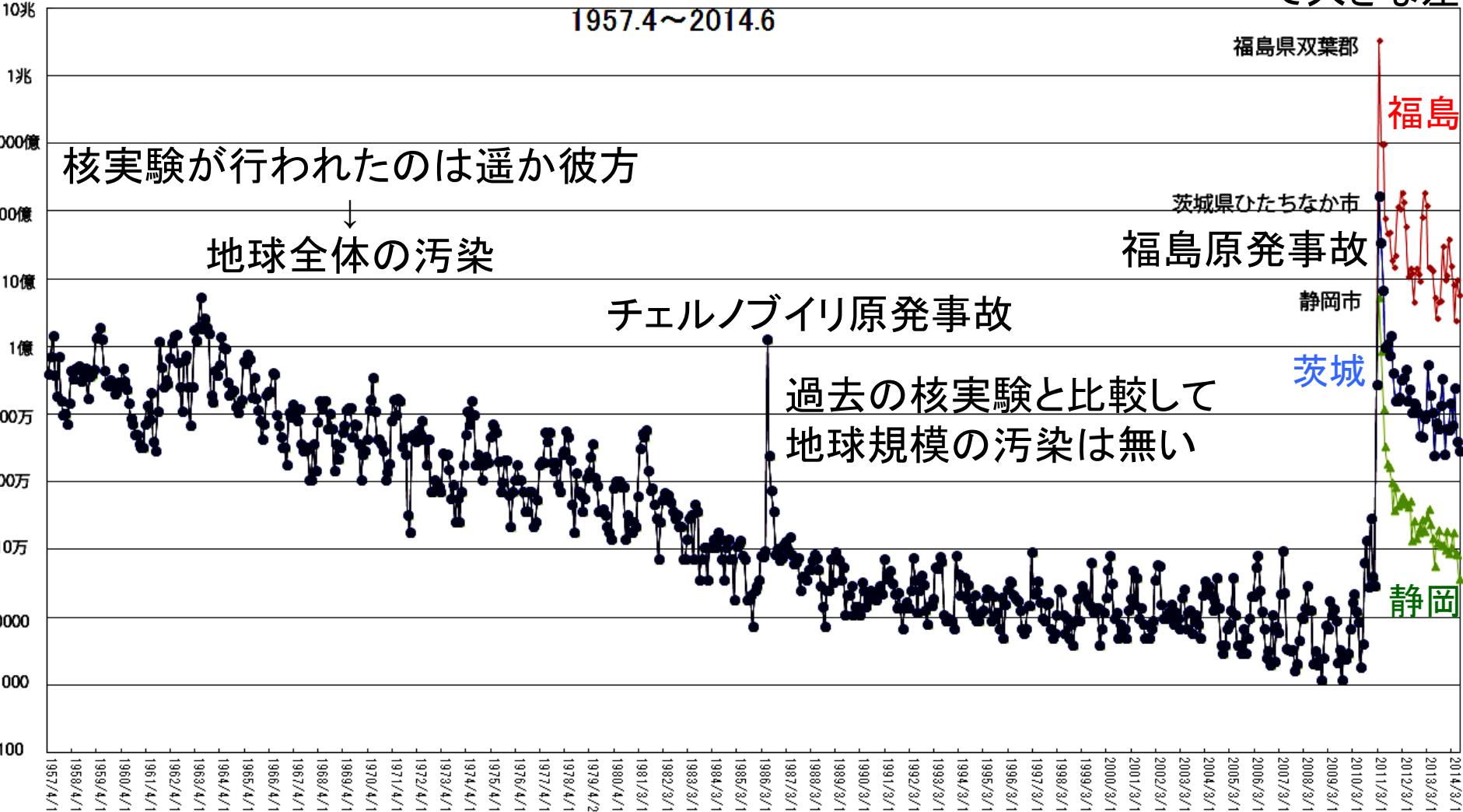
137Cs 月間降下量

近いから
影響が大きい
日本国内
で大きな差

(Bq/km²・月)

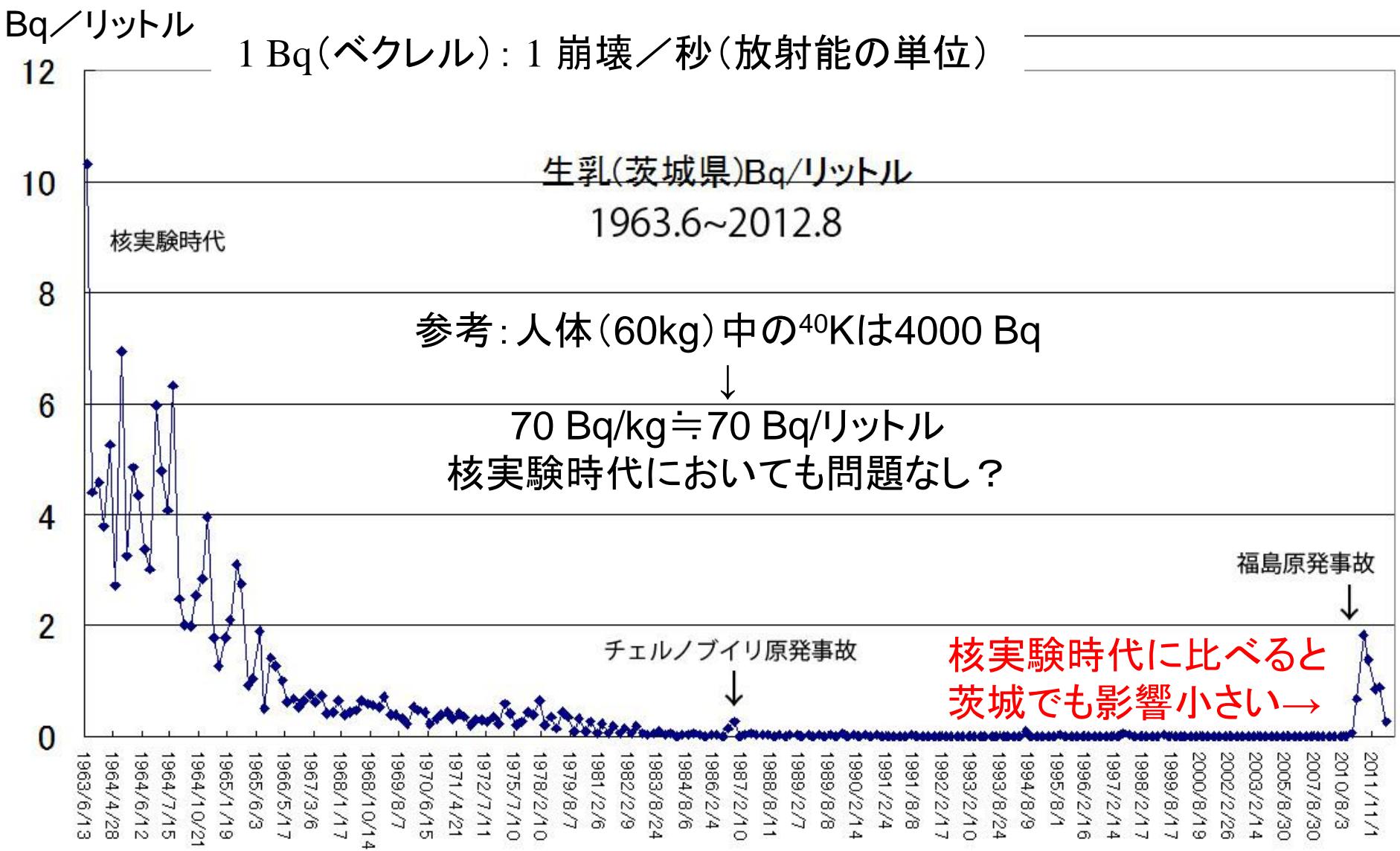
Cs-137月間降下量

1957.4～2014.6



⑫

茨城県における生乳中の ^{137}Cs (セシウム)の推移



メルトダウン(炉心溶融)

福島第一原発の場合

中性子を吸収する
物質でできている
中性子を遮断し
連鎖反応を停止させる

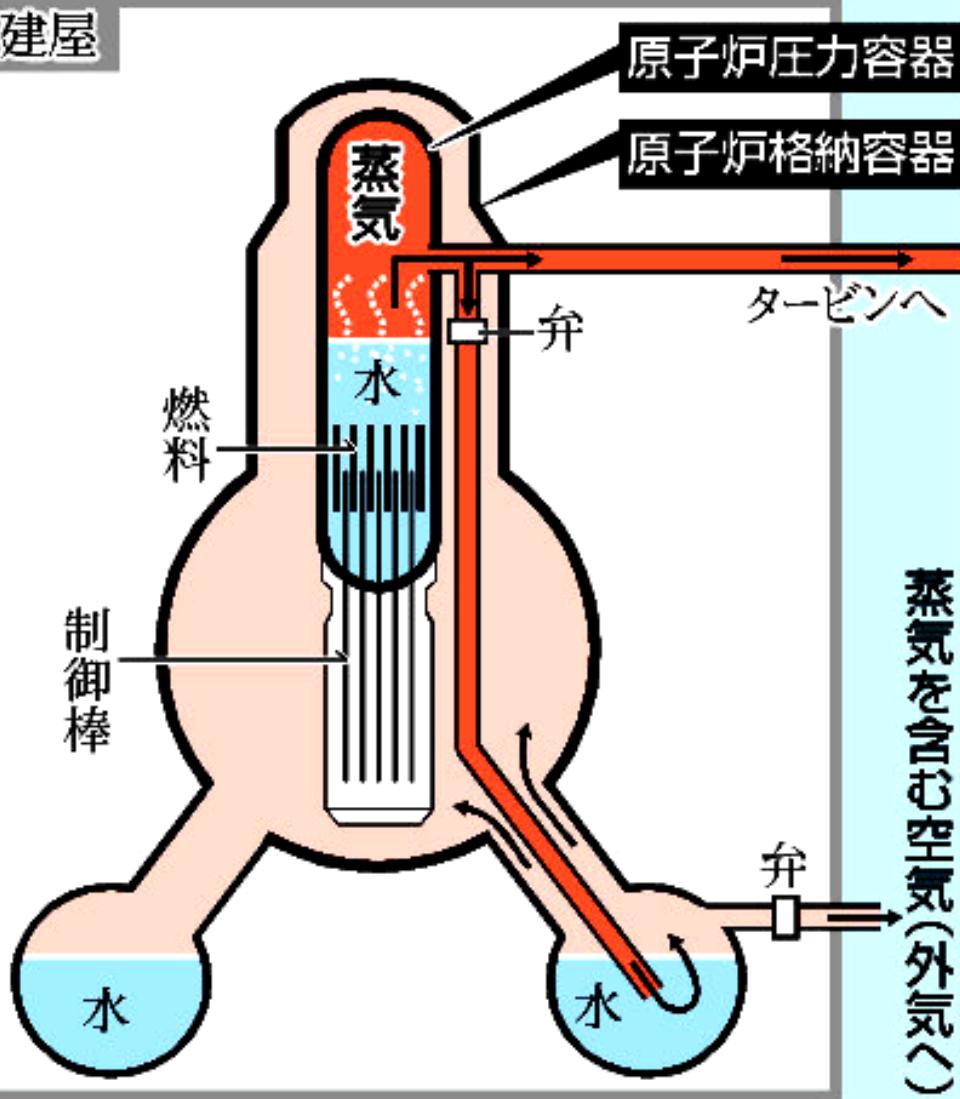
地震直後、制御棒が2秒で挿入
核分裂の連鎖反応は自動停止

地震で外部電源を喪失したが、
ディーゼル発電機により
津波がくるまでの
51分間は正常に冷却
その後、全電源を喪失し、
約10時間後にメルトダウン

炉心溶融の
熱源(エネルギー源)は?

福島第一原発の原子炉の概略図

建屋



崩壊熱(放射性崩壊で発生する熱)

放射線のエネルギーは最終的には熱になる。

110万kW炉で燃料を293日燃やした後の崩壊熱は下のようになる。

核分裂で発生する熱: 289万kW → 38% (110万kW) が電気に

核分裂停止(制御棒挿入)後の崩壊熱

ヨウ素剤(^{127}I)

核分裂生成物(割合)半減期		
0日 23万 kW	^{135}I (6.33%)	7時間
1日 1.7万 kW	^{131}I (2.83%)	8日
5日 1.0万 kW	^{90}Sr (5.75%)	29年
10日 0.8万 kW	^{137}Cs (6.09%)	30年
30日 0.4万 kW	^{99}Tc (6.05%)	20万年
90日 0.2万 kW	^{93}Zr (6.30%)	1500万年

使用済み燃料も
プールで保存

停止直後の崩壊数は半減期に反比例

(半減期の短い核種は少量でも大きな熱を発生する。)

陽子の数 vs 中性子の数

ニホニウム等

超ウラン元素

Experimental Chart of Nuclides.

2975 isotopes

陽子の数
魔法数
陽子・中性子の数が
魔法数だと特に安定

類似: 希ガスが安定

Sn 50

28

20

8

2

陽子の数
||
中性子の数
Pb 82

軽い元素は、
陽子の数 ≈ 中性子の数

例: $^{12}_{6}\text{C}$, $^{14}_{7}\text{N}$, $^{16}_{8}\text{O}$

82

半減期
長い

拡大図

U(ウラン)

重い元素は、
中性子の数の方が多い

陽子は電気力による
反発力が働くので

Half-life Range
Unknown
<0.1 s
0.1 - 5 s
5 - 100 s
100 s - 1 h
1 h - 1 y
1 y - 1 Gy
Stable (安定)

中性子の数

⑯ 安定な最重元素は、 ^{208}Pb (鉛、原子番号82)陽子数も中性子数も魔法数
 ^{209}Bi (ビスマス、原子番号83)は、半減期2000京年で α 崩壊

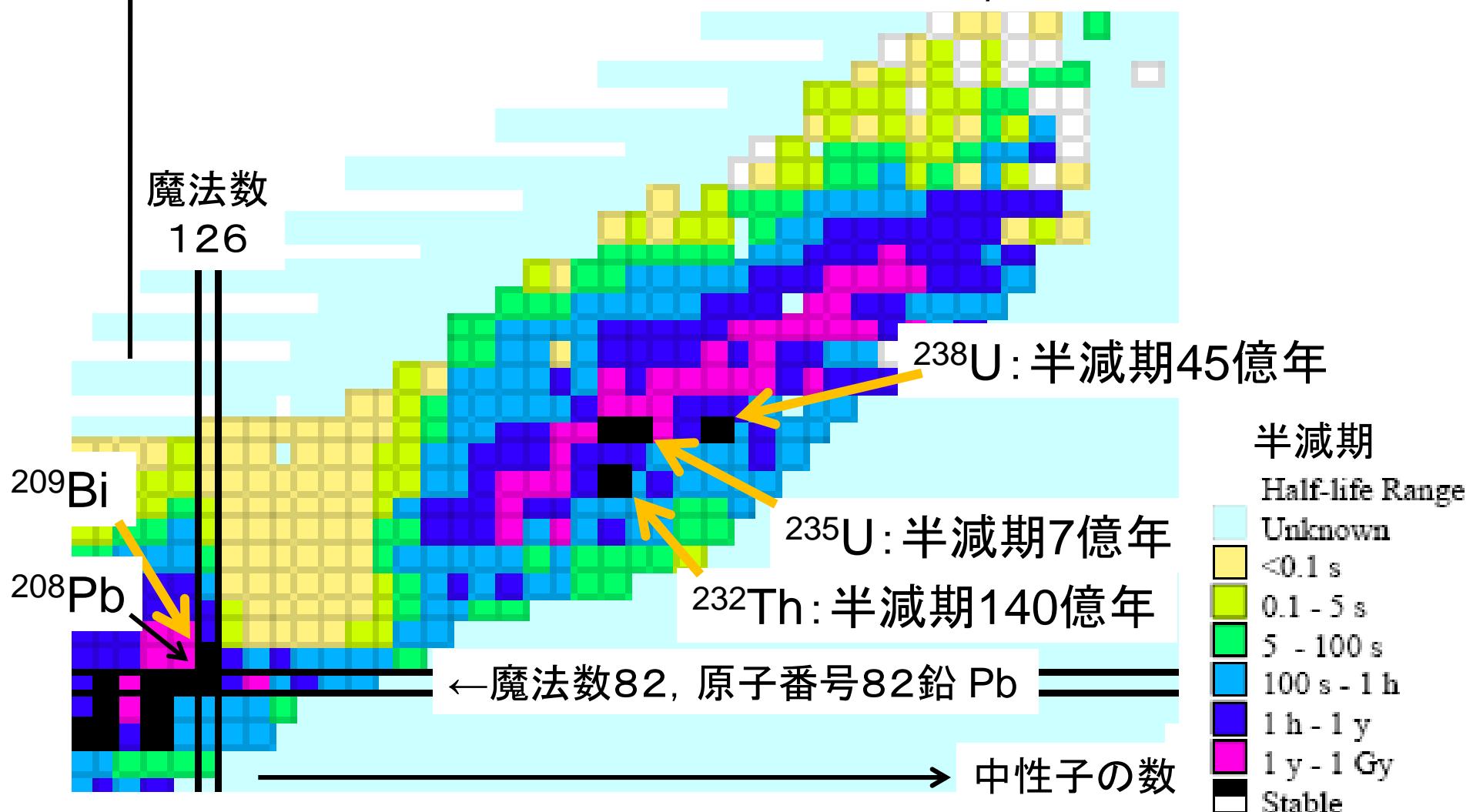
原子番号83以上はすべて放射性同位元素

宇宙年齢より
9桁大きい

陽子の数

以下の3つの放射性同位元素は

最終的に鉛になるまで10回以上の α 崩壊、 β 崩壊をする。



トリウム系列(質量数=4n)

質量数は4の整数倍しか変化しない
(4つの系列がある。)

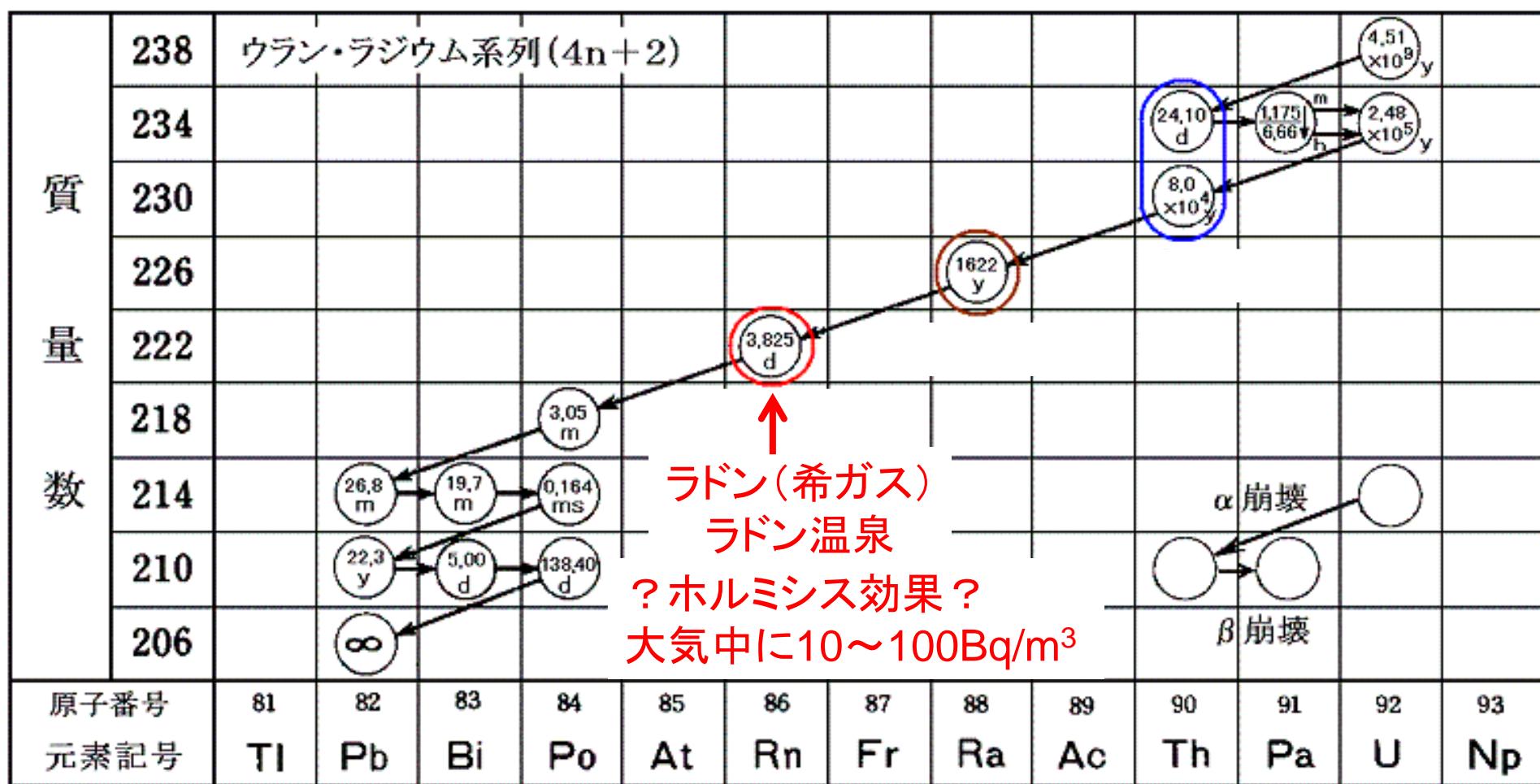
半減期
140億年
トリウム232

質量数	232	トリウム系列(4n)												
	228													
	224													
	220													
	216													
	212													
	208													
	原子番号	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
元素記号	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	
元素名	タリウム	鉛	ビスマス	ポロニウム	アスタチン	ラドン	フランシウム	ラジウム	アクチニウム	トリウム	プルトアクチニウム	ウラン	ネプツニウム	



質量数は24減少: $6 \times (-4)$
原子番号は8減少: $6 \times (-2) + 4 \times 1$

ウラン系列(質量数=4n+2)

半減期45億年
ウラン238

8回の α 崩壊
6回の β 崩壊

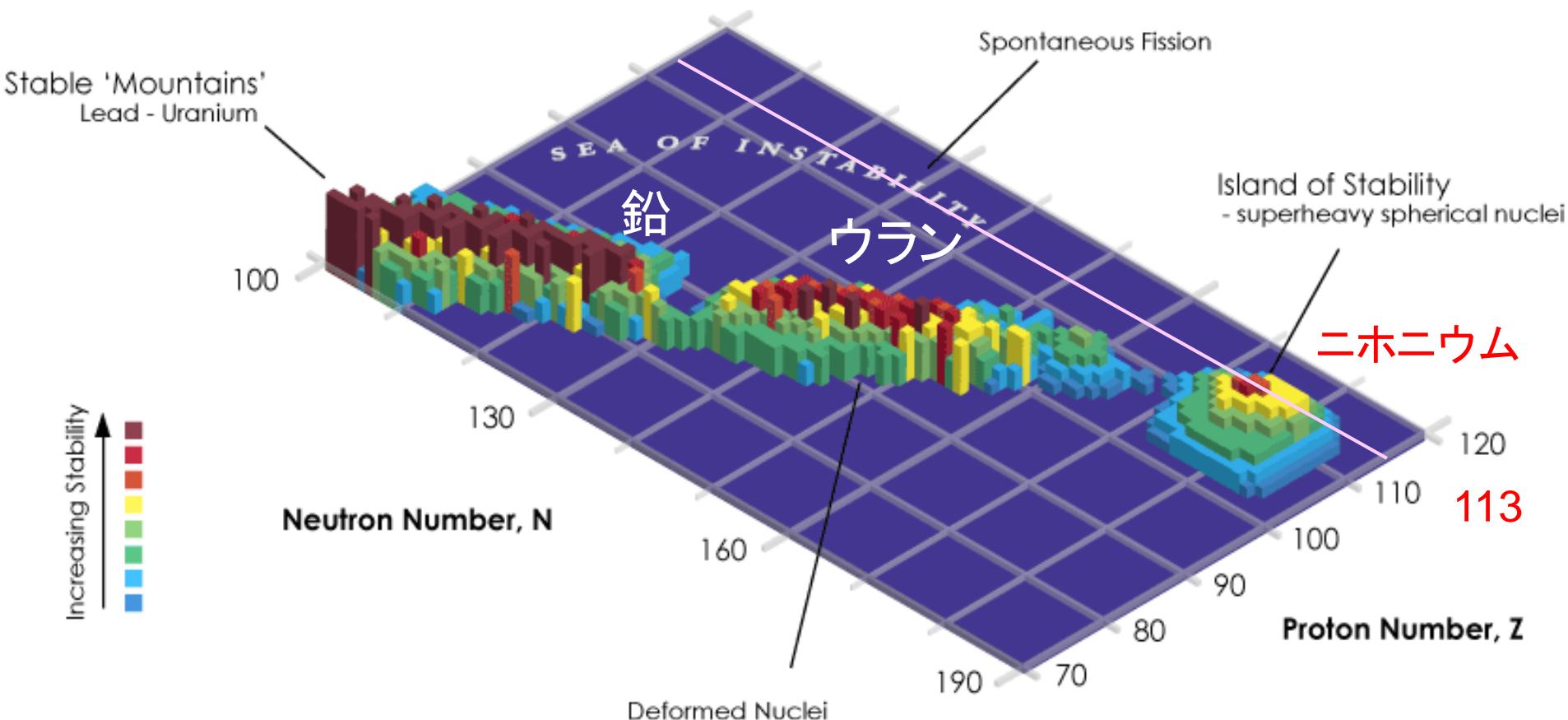
質量数は32減少: $8 \times (-4)$

原子番号は10減少: $8 \times (-2) + 6 \times 1$

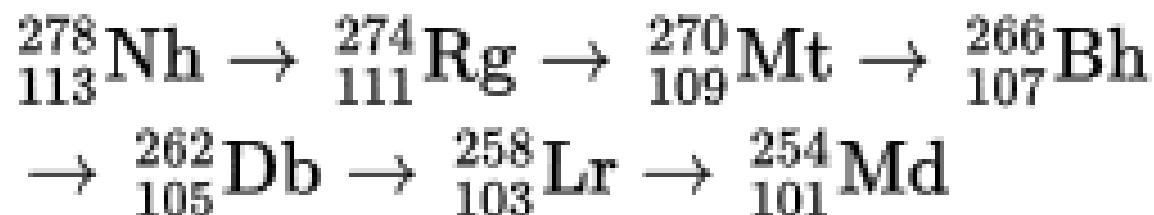
アクチニウム系列(N=4n+3) ^{235}U 半減期 7億年
ネプツニウム系列(N=4n+1) ^{237}Np 半減期 211万年

開始核種の寿命が短いので
地球上にはあまりない。

原子番号113番 ニホニウム(Nh)

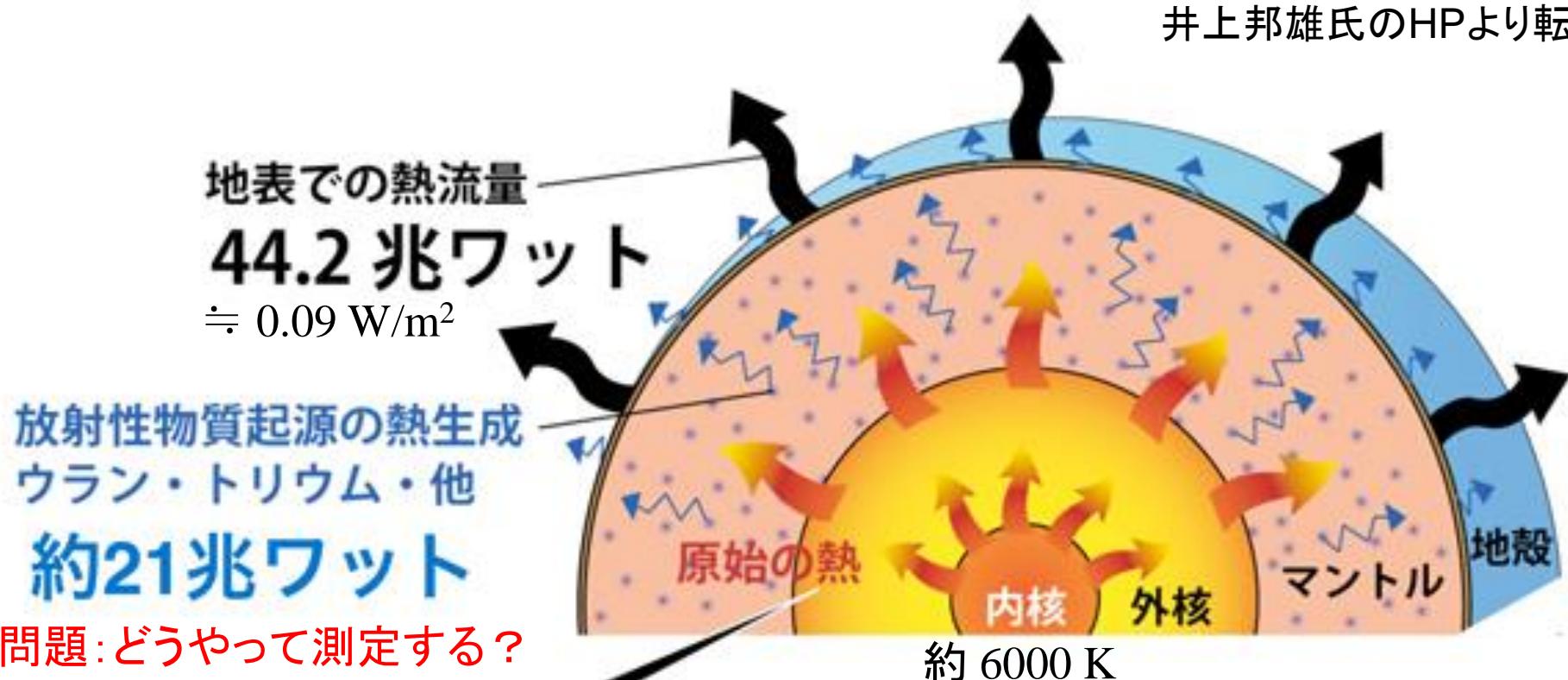


理化学研究所
が命名権



地球の熱源

井上邦雄氏のHPより転載



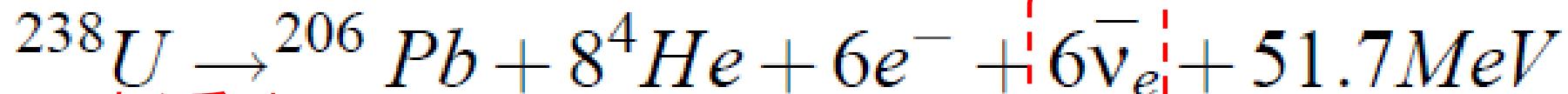
地球形成時の熱は残存していた

?

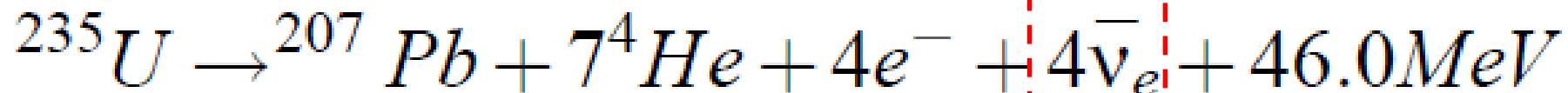
メルトダウンの崩壊熱と同じで、
地球形成時は 21兆 W より多かったと考えられる。

放射性物質起源の熱源

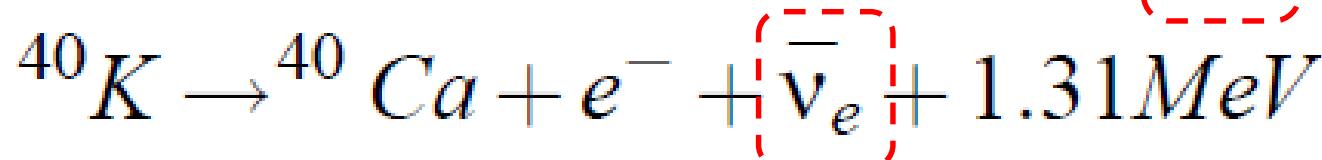
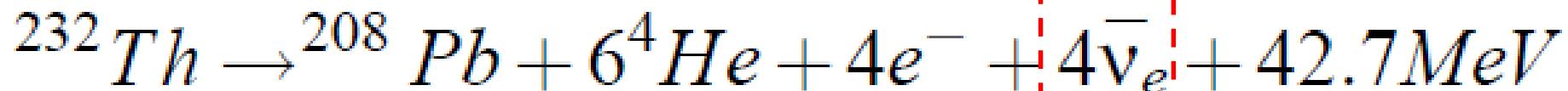
ウラン系列



アクチニウム系列



トリウム系列



α 崩壊
の数
↓

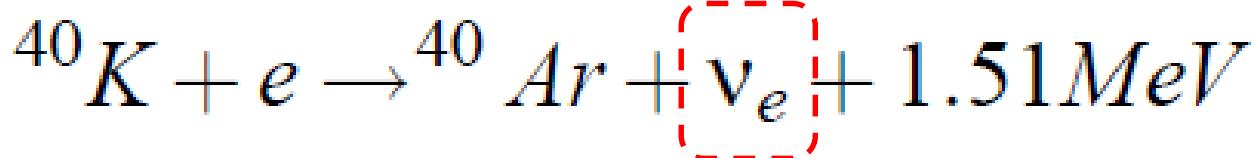
β 崩壊
の数
↓

地球ニュートリノ

$\bar{\nu}_e$

$\bar{\nu}_e$

$\bar{\nu}_e$



自然界のニュートリノ

- ・ **太陽ニュートリノ** $\sim 10 \text{ MeV}$ 660億個／(cm²・秒)
核融合反応からの ν_e
- ・ **大気ニュートリノ** $\sim \text{GeV}$ 1個／(cm²・秒)
宇宙線と大気分子との反応で生成されるニュートリノ($\nu_e, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$)
- ・ **地球ニュートリノ** $\sim 3 \text{ MeV}$ 400万個／(cm²・秒)
地球内部の放射性物質の崩壊からの $\bar{\nu}_e$ (トリウム系列・ウラン系列)
カムランド(KamLAND)が2005年に検出に成功
- ・ **超新星ニュートリノ** $\sim 20 \text{ MeV}$ 600億個／cm² (SN1987A)
電子陽電子追消滅等からのニュートリノ($\nu_e, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu, \nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$)
- ・ **宇宙背景ニュートリノ** $\sim \text{meV}$ 10兆個／(cm²・秒)
ビッグバンで生成されたニュートリノ($\nu_e, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu, \nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$)
検出されていない。 ビッグバンの話の際に解説
スーパーカミオカンデで観測できるニュートリノ: 数 MeV 以上
(チエレンコフ光のリングを観測できる)

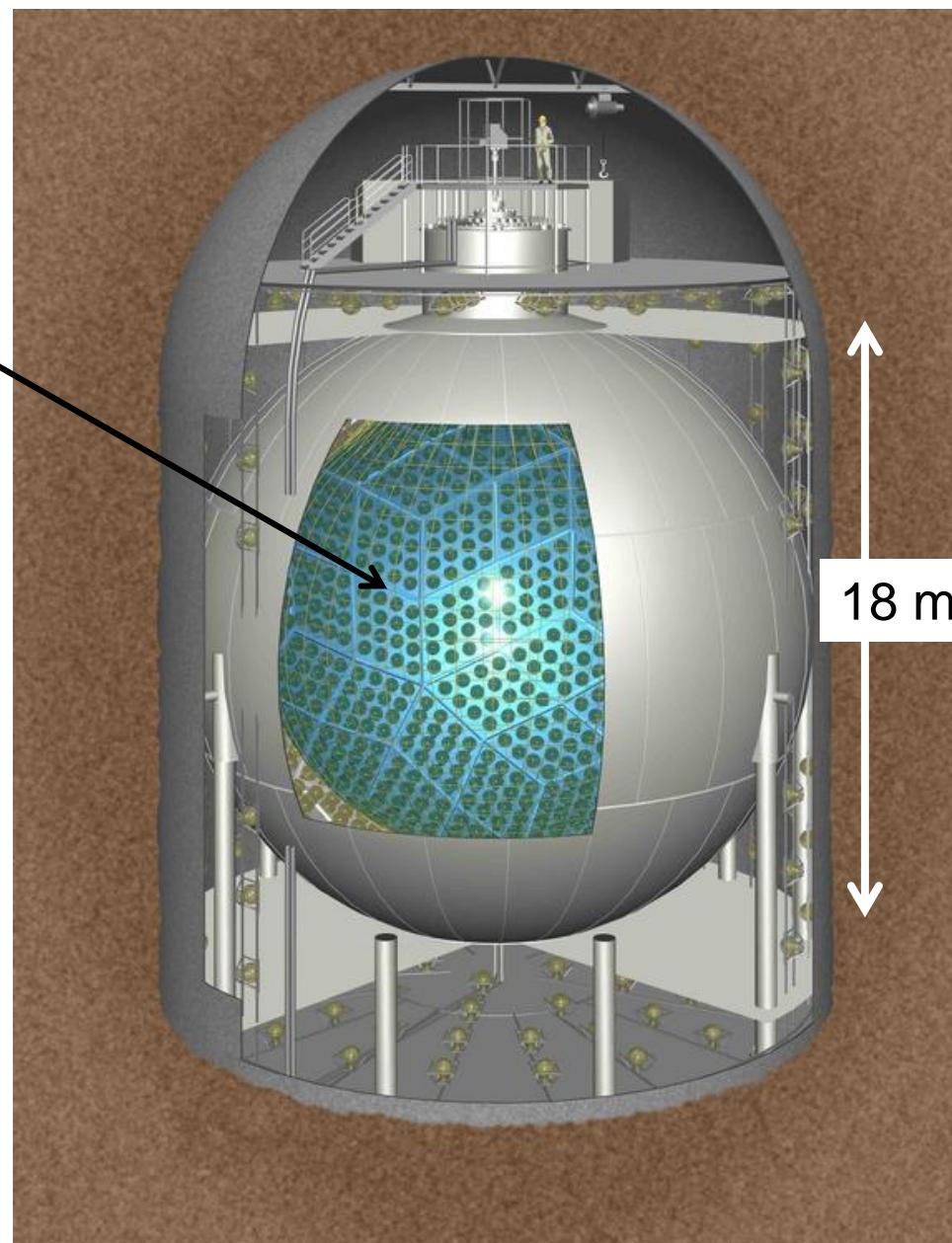
Kamioka Liquid Scintillator Anti-Neutrino Detector

(スーパーでない初代)
カミオカンデの跡地に建設

内部は水でなく、液体シンチレーター
で満たされている

電子(荷電粒子)がシンチレーター中を
飛ぶとチエレンコフ光より、たくさんの
光(シンチレーション光)を発するので
より低エネルギーのニュートリノを
観測できる。

チエレンコフ光のリングがないので
ニュートリノの方向はわからない。



㉓ α 線や β 線は荷電粒子なので電磁気力を介して人体中の原子と相互作用して運動エネルギーを失っていき停止する。

エネルギー
は同程度
 α 線
 β 線

医療用X線
(50~100 keV)

γ 線(1 MeV)

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

放射線の透過力

人体(20 cm 厚)

数十ミクロン

皮膚の表面(角質層)で止まる
空气中では数cmで止まる

皮膚表面から1 cm程度で止まる

人体中で9割以上が散乱・吸収

人体中で半分程度が散乱

透過した光子のエネルギーは入射時と同じ

α 線: 大きい 電子の
 β 線: 小さい 8000倍

v が小さいと
エネルギー・ロス
が大きい

α 線: 小さい
 β 線: 大きい

$$\frac{1}{2}mv^2$$

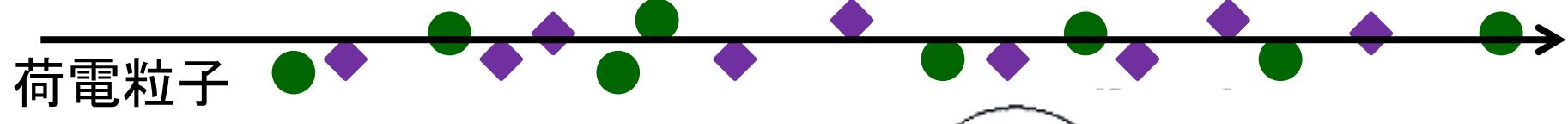
外部から来る α 線は、角質層で止まるので比較的安全(角膜等は注意)
しかし、体内から放出される α 線はたいへん危険

電離と励起 (復習)

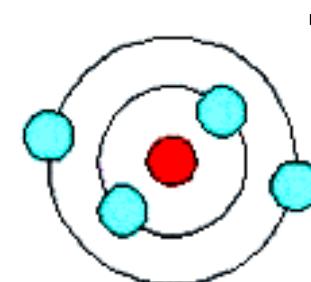
荷電粒子の場合 (α 線、 β 線、陽子線、重イオン線等)

荷電粒子が通過する際、電場の変動によって飛跡にそって電離・励起が起こる。

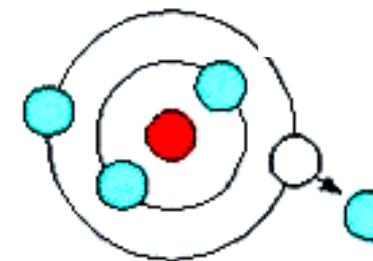
荷電粒子はその分エネルギーを失う。



電離
励起

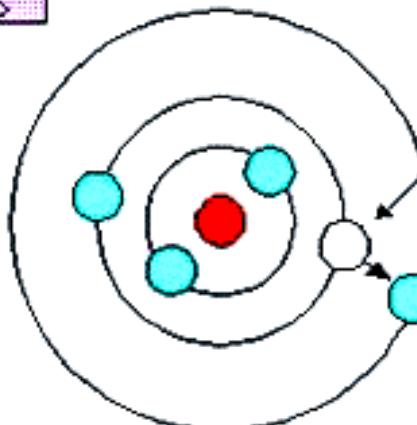


電離



自由電子

励起

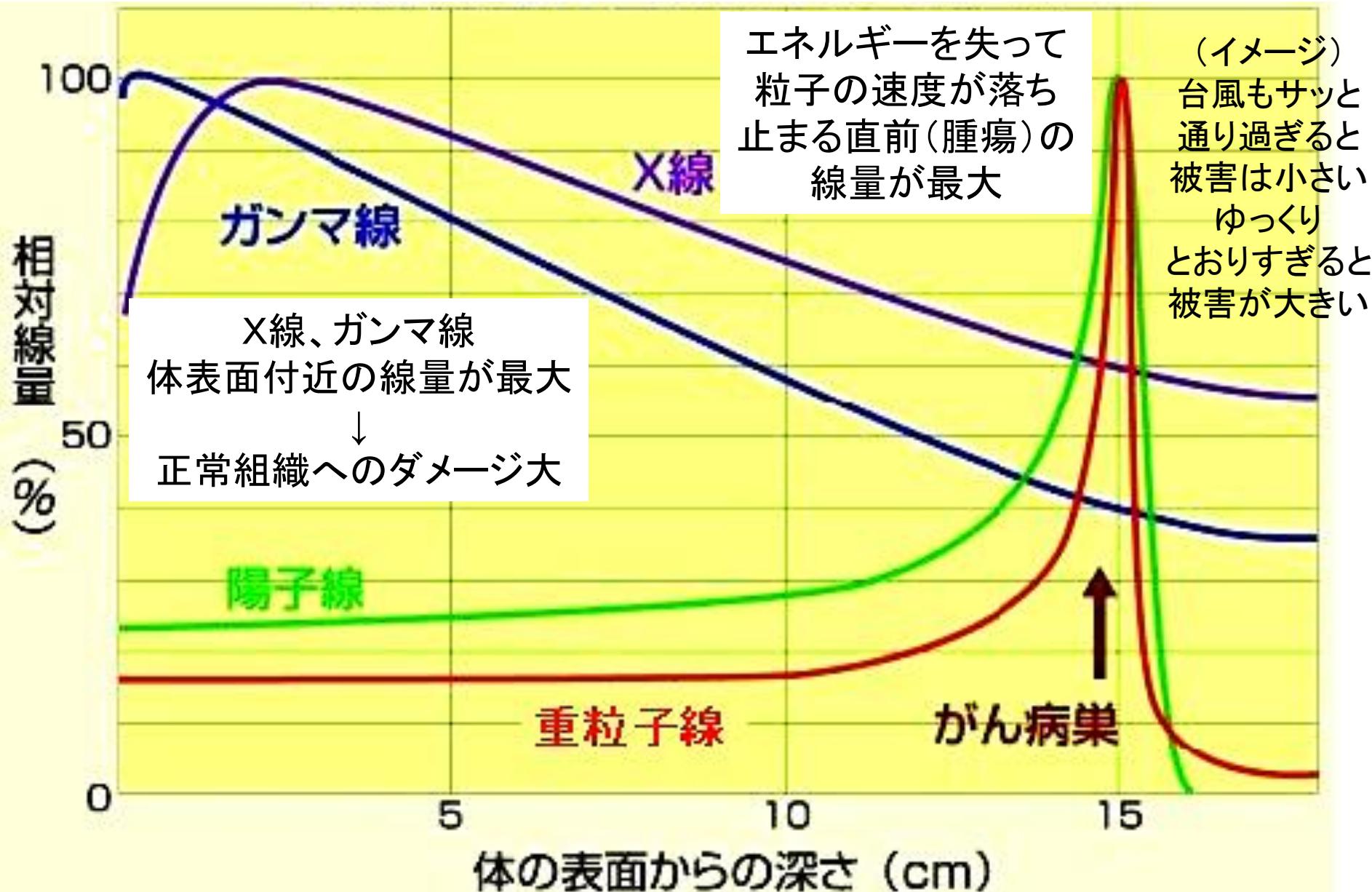


空席

● 原子核
○ 電子

α 線は、 β 線の電荷の2倍なので、
同じ速さなら、より多くエネルギーを失う。

放射線治療(粒子線 vs X線、ガンマ線)



(復習)

電離と励起

電磁波(X線, γ 線)の場合

X線・ γ 線は電荷を持たないので、飛跡に沿って電離・励起は起こらない

電子との散乱
(コンプトン散乱)

散乱された電子の飛跡に沿って電離・励起が起こる。

X線・ γ 線の方向は変わり、エネルギーも小さくなるが消滅はしない。

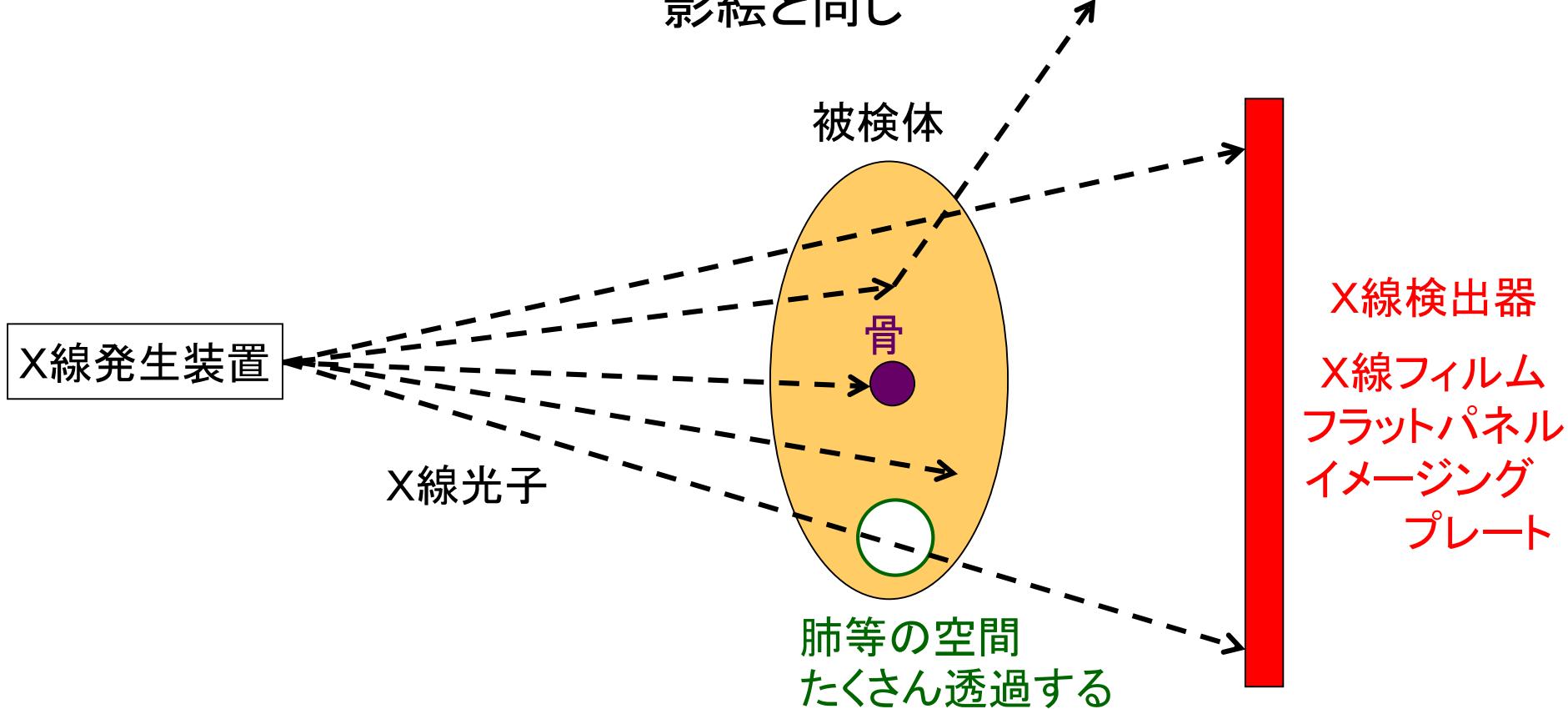
光電効果

原子全体と相互作用
X線・ γ 線は消滅
(吸収)

光電子の飛跡に沿って電離・励起が起こる。

X線撮像(レントゲン)のしくみ

影絵と同じ



X線光子の吸収:光電効果
原子番号の4~5乗に比例

カルシウム
 $Z = 20$

骨はX線を通しにくい
↓

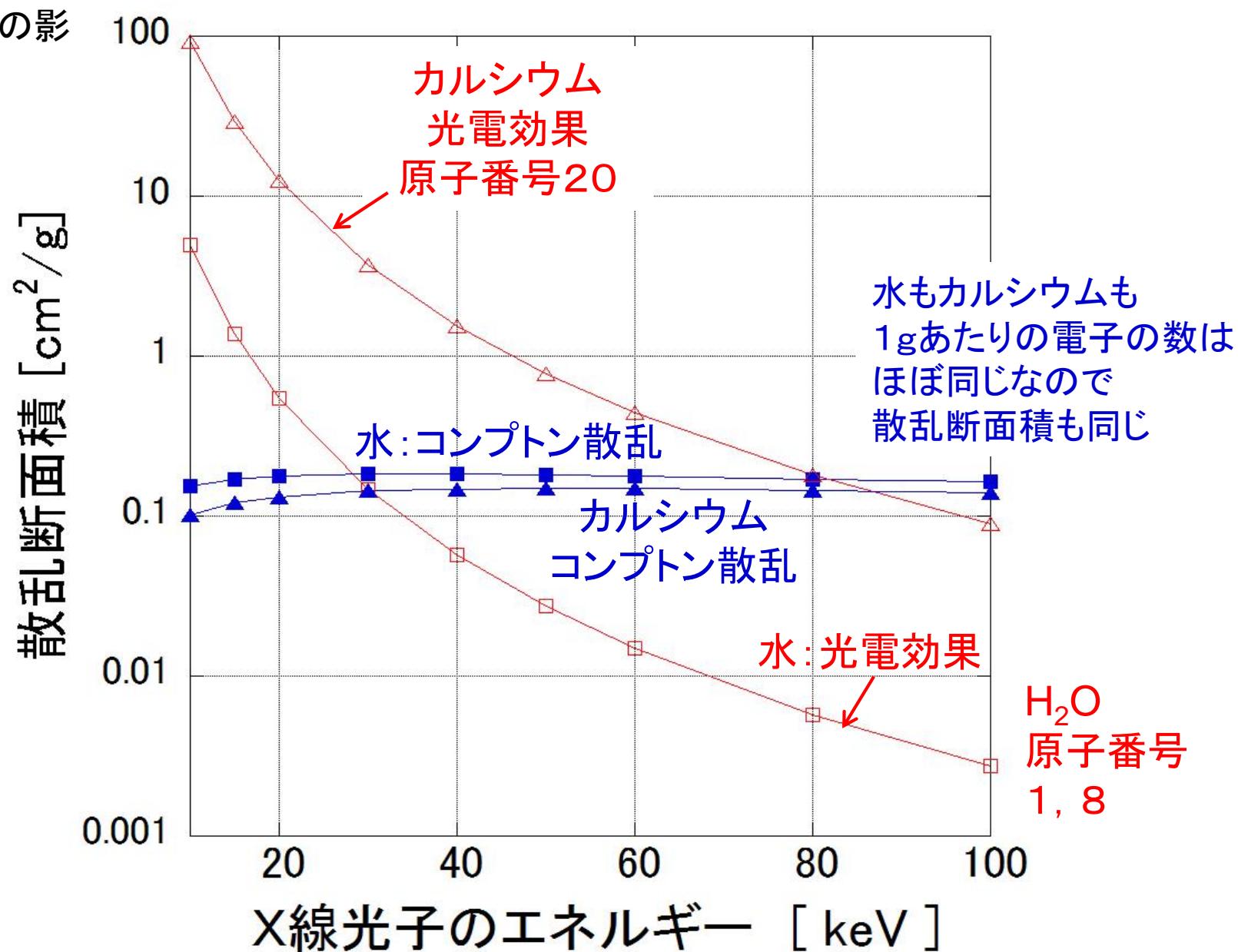
X線光子の散乱:コンプトン散乱(電子との散乱)
原子番号にほぼ比例(電子の数に比例)
筋肉・脂肪
 O, C, H
 $Z = 8, 6, 1$

骨の影ができる

X線光子と物質の散乱断面積

(反応の起こりやすさ, 質量で規格化)

1gで100cm²の影
を作りだせる



胸部レントゲン写真(ネガ)

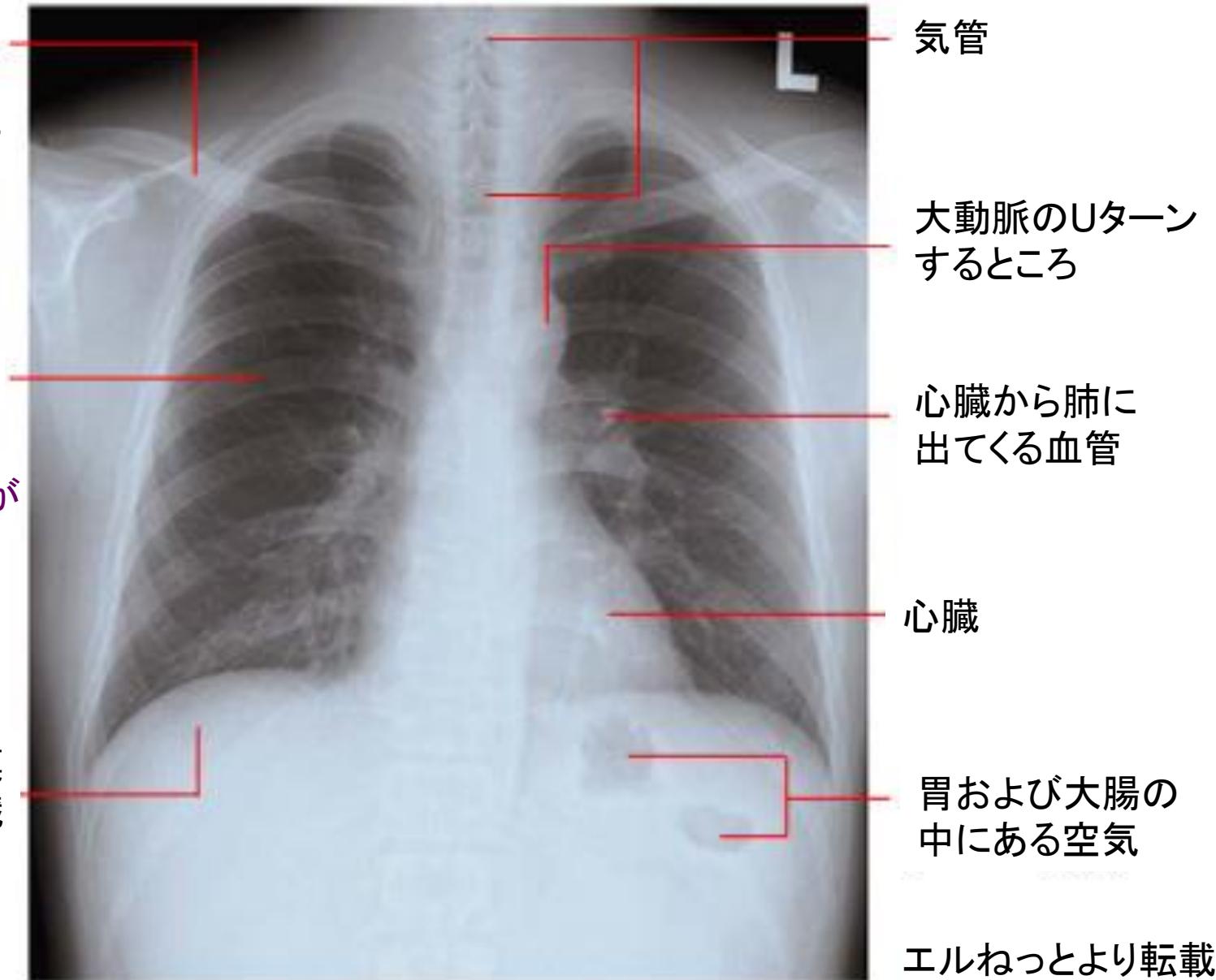
ネガなので骨の影は白く映っている

肺は風船みたいに
スカスカで密度が
低いのでX線を
よく通すため
黒く写っている

鎖骨

原子番号も重要だが
そもそも物質が
なければ、X線は
減衰しない

右の横隔膜
この下が肝臓



とやまPET画像診断センター



←PET/CT→
(PETとCTの複合機)



←付属病院のPET/CT

PET

Positron Emission Tomography

(陽電子)

(放出)

(断層撮影)

① 陽電子を放出する(β^+ 崩壊する)アイソトープで標識したブドウ糖を注射する。



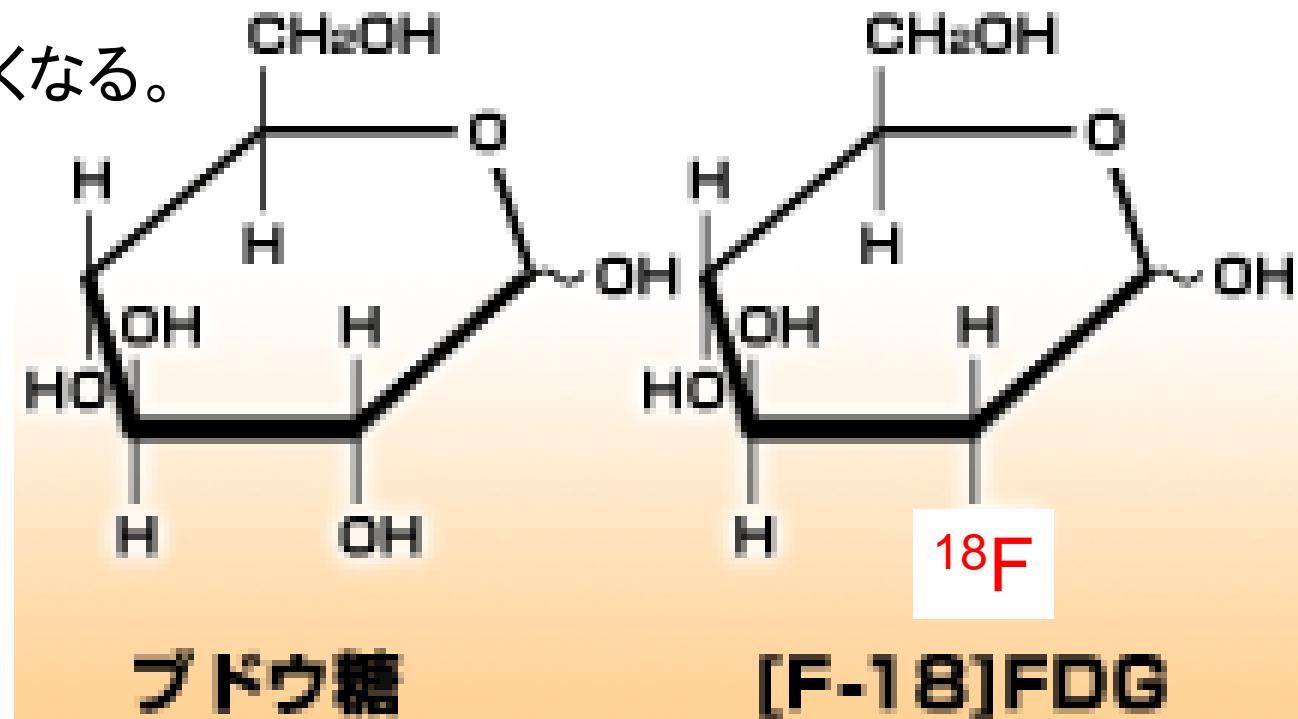
2億Bq(200MBq)

 ^{40}K : 4000 Bq ^{18}F -フルオロロデオキシグルコース

(半減期110分)

検査後すみやかに無くなる。
被ばくが少ない。

フッ素の安定同位体

 ^{19}F (100%)

(復習)

β^+ 崩壊

(陽電子崩壊)

最大634 keV

陽電子(β^+ 線)

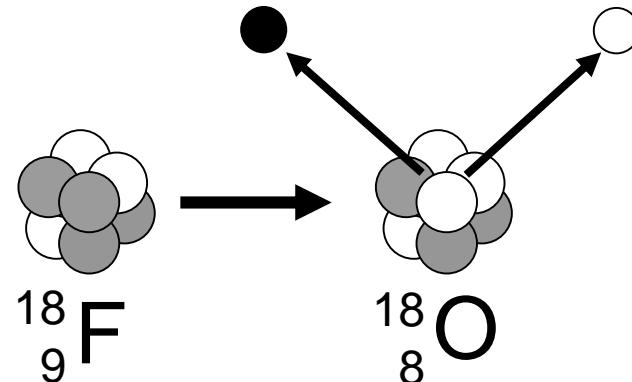
電子ニュートリノ

式で書くと



例:

PET で利用

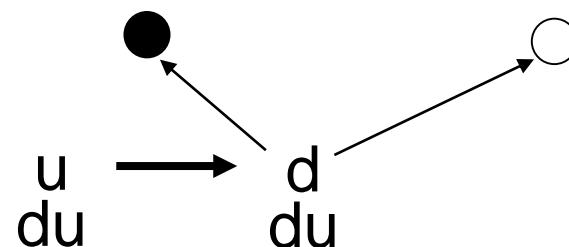


原子番号は1減る
質量数は変わらない。

物質の階層を下げて考えると

陽電子
(β^+ 線)

電子ニュートリノ



陽子 中性子

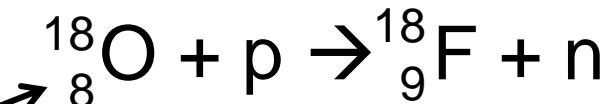
更に物質の階層を下げて考えると



(どの階層でも電荷は保存している)

^{18}F (半減期110分)の生成

サイクロトロン(加速器の一種)で陽子を加速し、 ^{18}O に照射する



酸素の同位体
(存在比0.2%)

陽子の数も中性子の数も変化していない。
組み換えが起こっているだけ

とやまPETセンターのサイクロトロン



半減期が短いので、貯蔵できない。
FDGは、当日にセンター内で作る。

住友重機械製サイクロトロン



(30)

② がん細胞は活発に活動しており、ブドウ糖を多く消費するので、FDG (^{18}F) はがん細胞に集まる。

③ がん細胞で ^{18}F が崩壊し陽電子を放出する。 $^{18}\text{F} \rightarrow {}^{18}\text{O} + \text{e}^+ + \nu_e$
 陽電子は 1 mm 以下の距離を移動して止まる。

↑
最大 634 keV

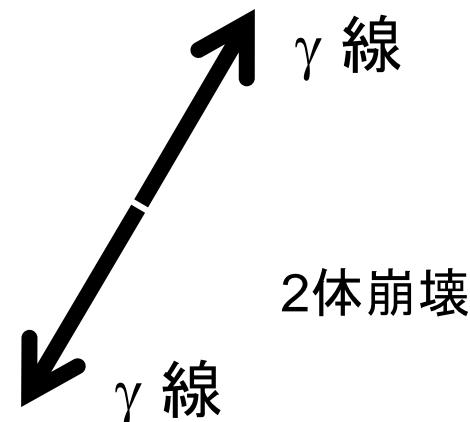
④ 陽電子は電子と対消滅し、 γ 線 (511 keV) を 2 個
 反対方向に放出する。(運動量を保存するために) **2体崩壊**

⑤ 同時に 511 keV の γ 線を検出した事象を選ぶ。
 自然放射線や宇宙線のバックグラウンドは、
 エネルギーも異なるし、同時に起こることはほとんどない。

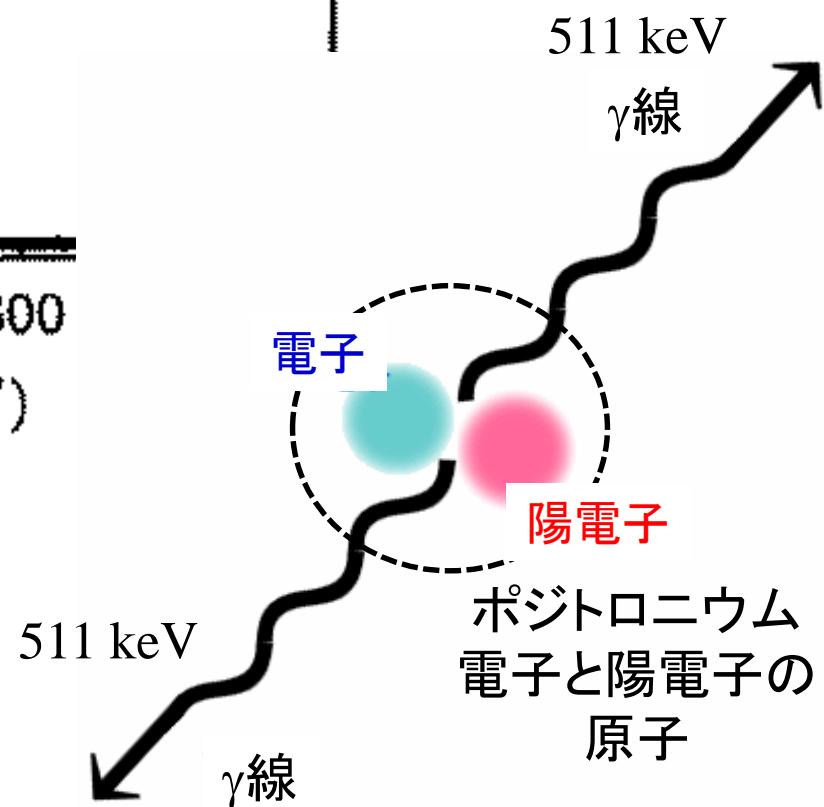
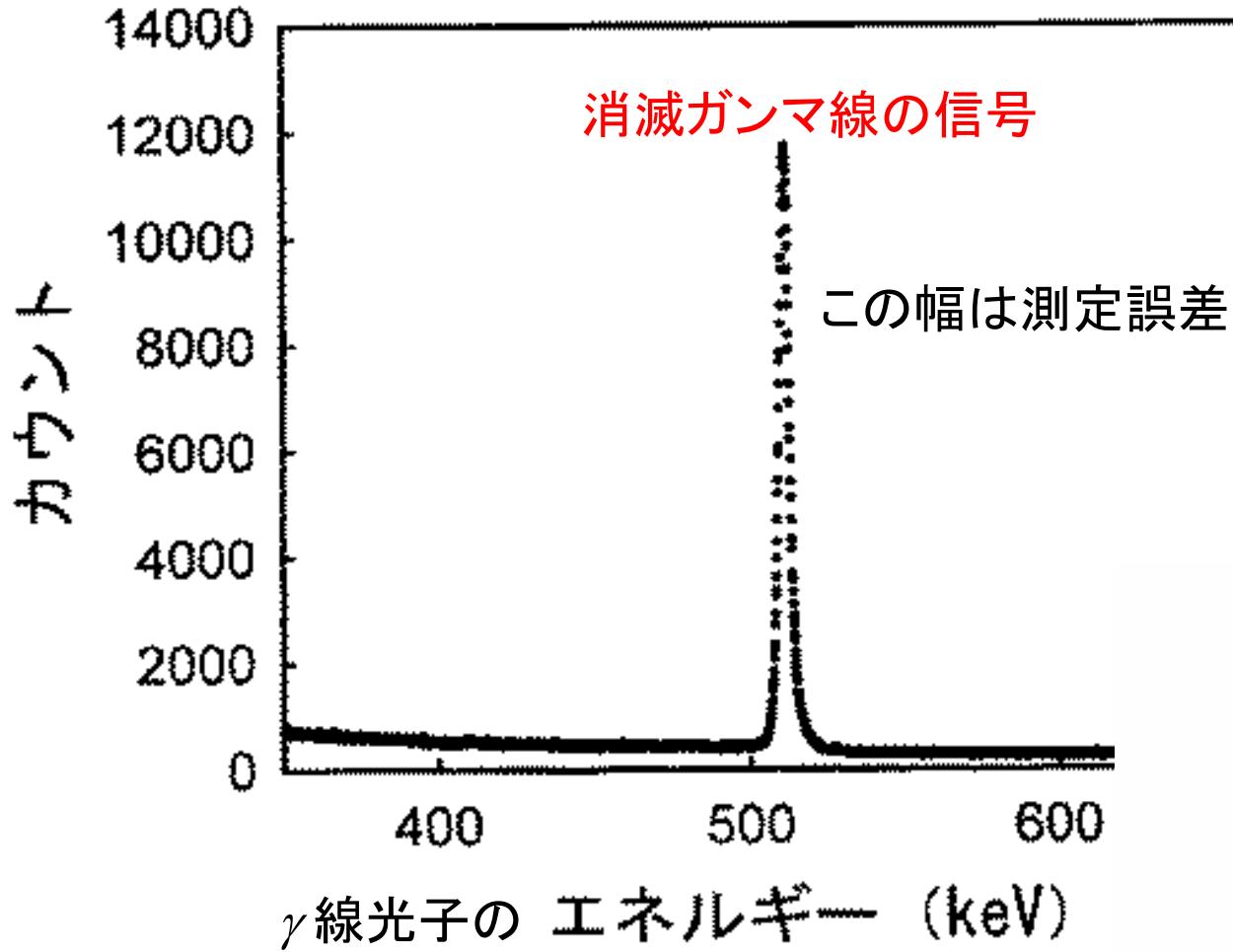
⑥ ③の図で線が多く交わる部分が、がんの可能性が高い。

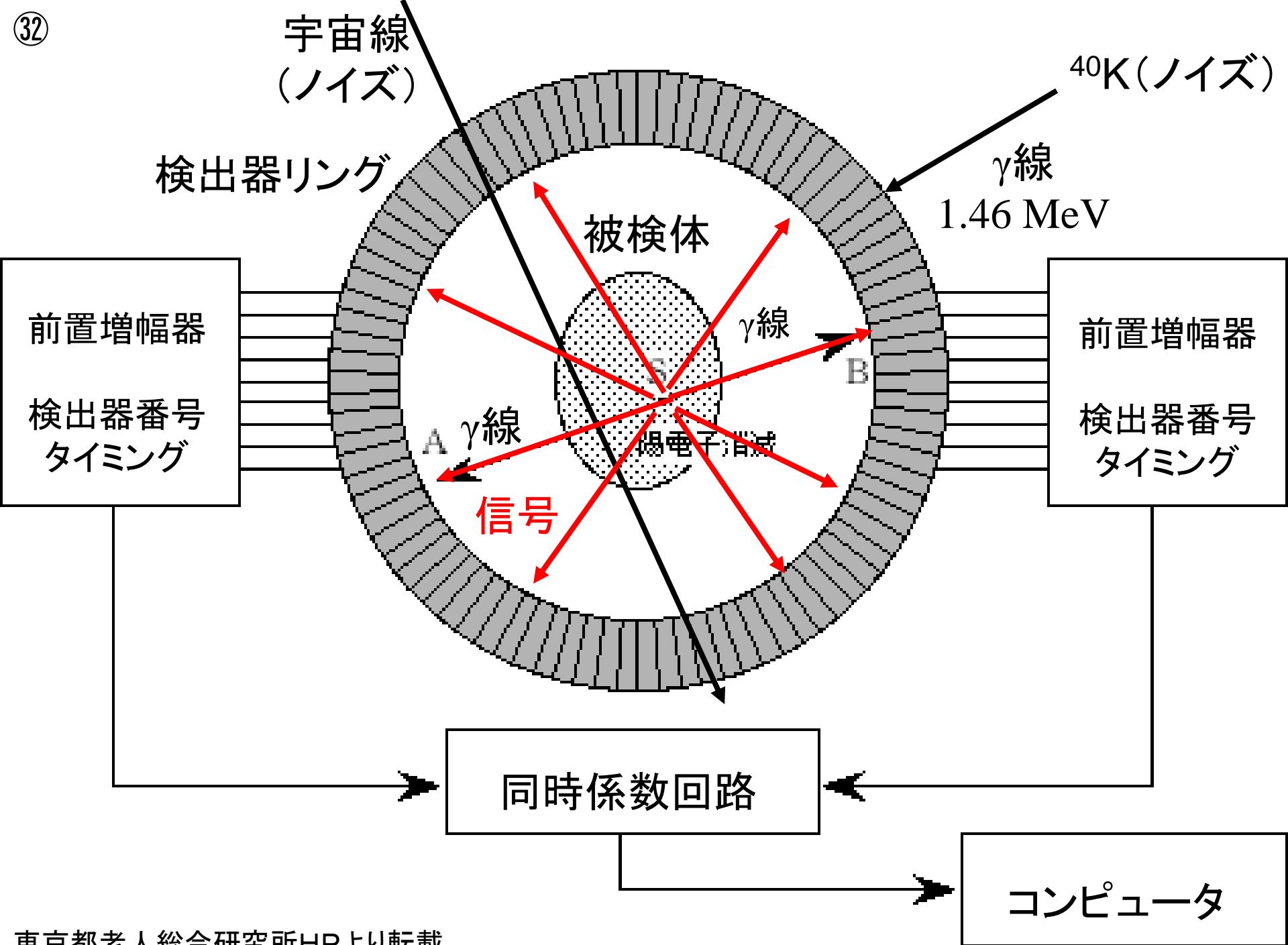
$\text{e}^+ + \text{e}^- \rightarrow 2\gamma$ (511 keV)
 電子(陽電子も)の静止エネルギー
 $mc^2 = 511 \text{ keV}$

上の反応でもエネルギー保存則と
 運動量保存則は成り立っている



消滅ガンマ線(511 keV)

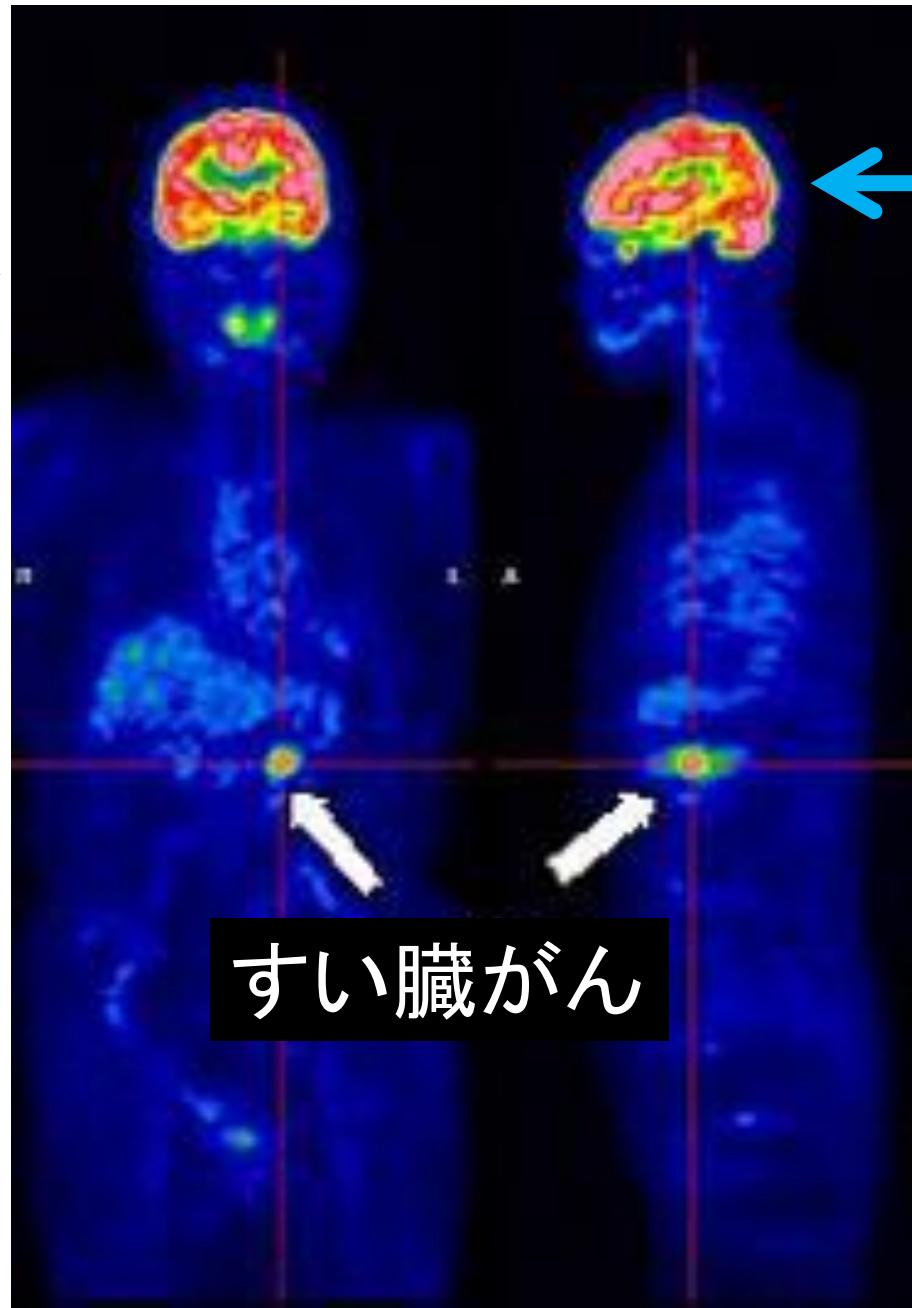






PET画像

FDGが集積している
(前のスライドで線が
多く交わっている)
部分が赤で表示され
集積がみられない
部分が黒く表示され
ている

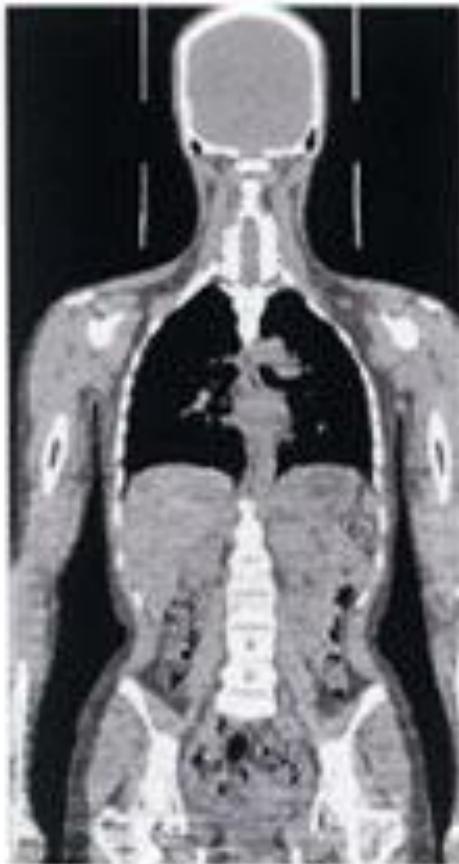


脳もたくさん
ブドウ糖を消費する
2%の重量で
20%を消費する

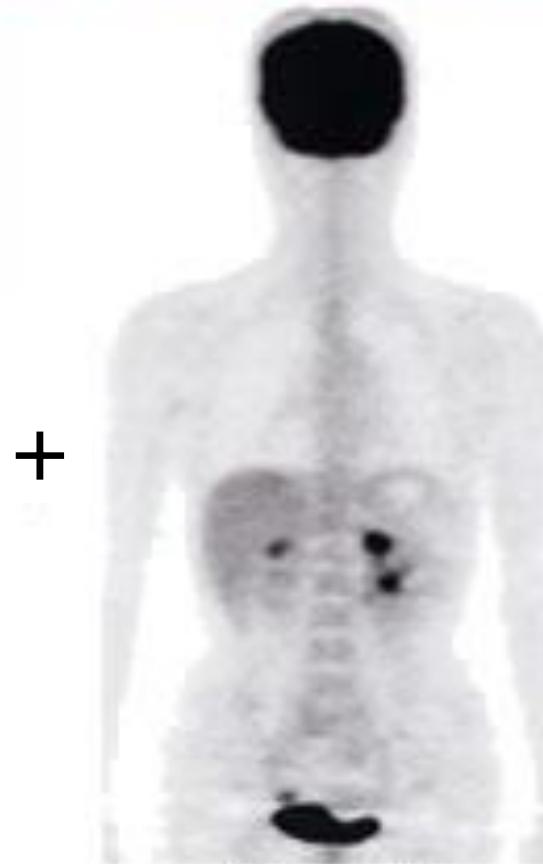
脳の腫瘍は
PETでは
発見しにくい

PETCT

PET画像とCT画像を重ねて表示すると、腫瘍の位置がよくわかる

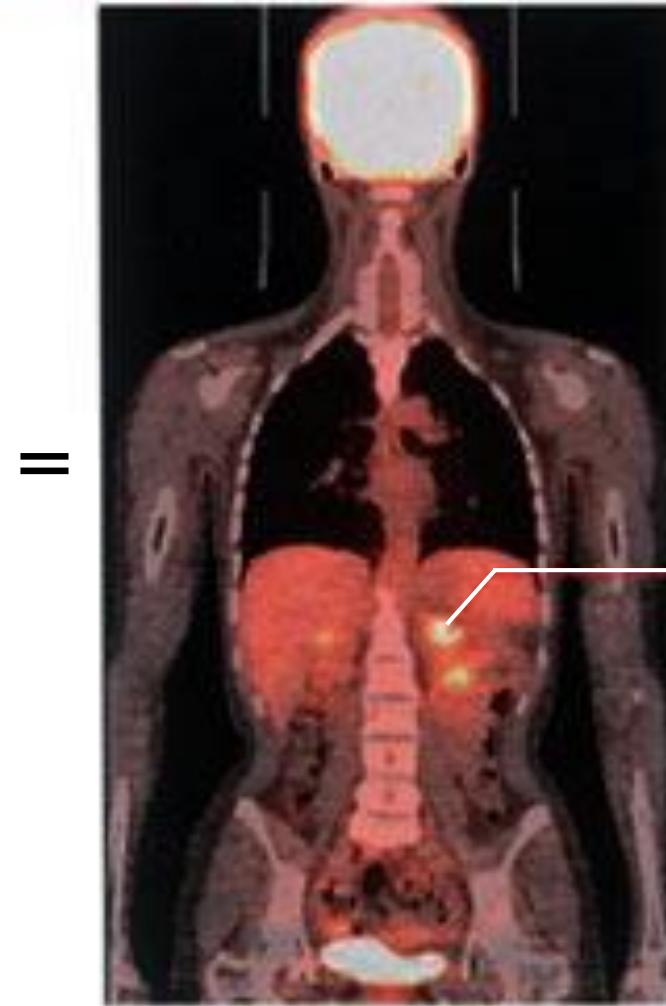


CT画像



PET画像

FDGは尿中にも排出されてしまうため
膀胱にも集積が見られる。



PETCT

がん

日常生活で受ける放射線

出典:資源エネルギー庁
「原子力2005」他



自然放射線
ブラジル・ガラバリの
放射線(年間、大地などから)

放射線の量
(ミリシーベルト)

人工放射線

6.9 胸部CTスキャン(1回)



PET/CT 検査 10 mSv

一般公衆の線量限度(年間)



胃のX線集団検診(1回)



胸のX線集団検診(1回)



原子力発電所(軽水炉)周辺の
線量目標値(年間)
(実績は0.001ミリシーベルト
未満)

宇宙線



宇宙から0.39



大地から0.48



40K等
食物から0.29
0.29 mSv



吸入より1.26
(主にラドン)



2.4 (世界平均)

1人当たりの
自然放射線(年間)



東京-ニューヨーク
航空機旅行(往復)

クリアランスレベル導出の
線量目安値(年間)

0.01

10

1

0.1

0.05

10

2.4

0.2

0.01

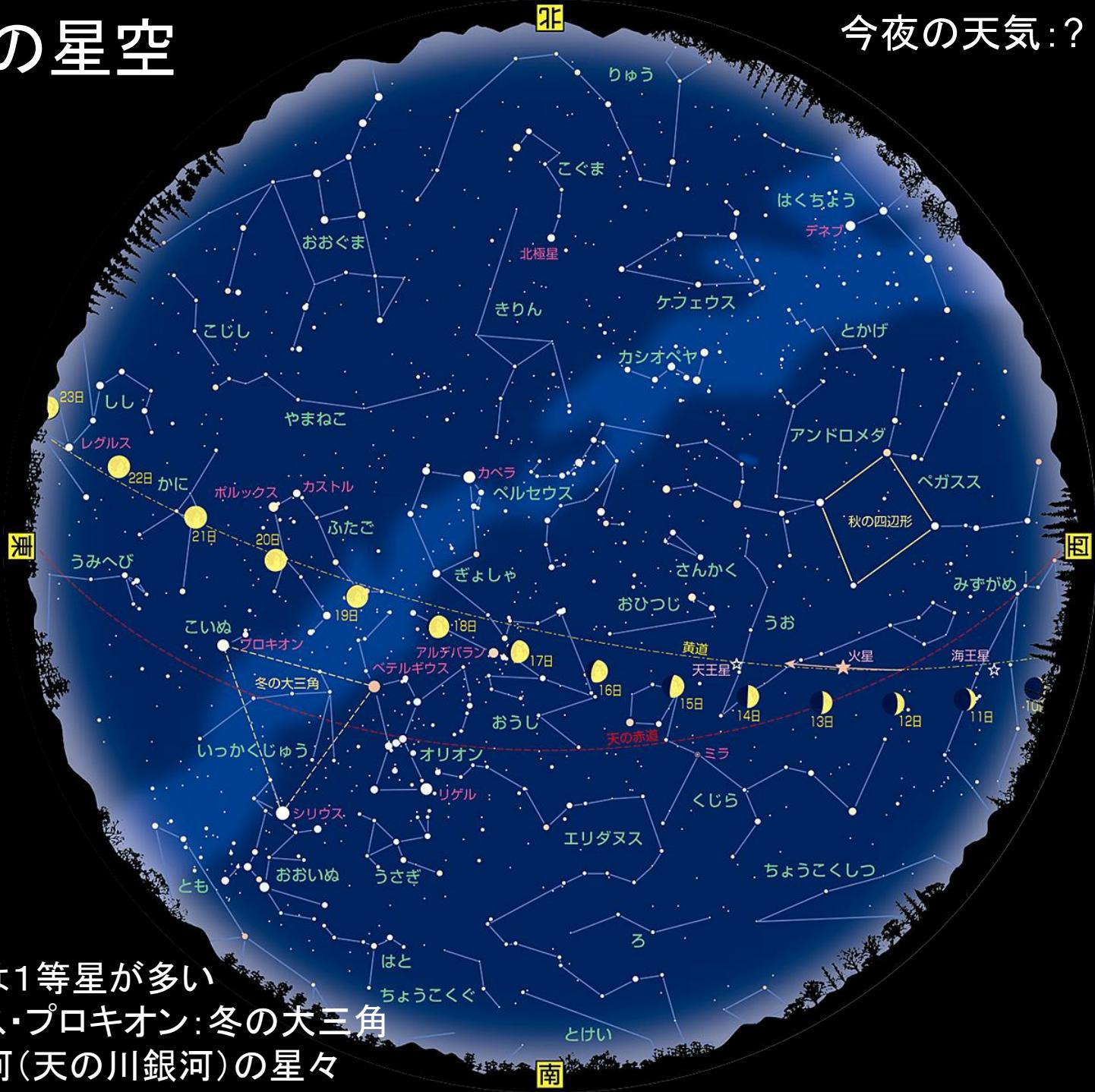
自然放射線 1.5 mSv (日本) 2.4 mSv(世界)
(年間)

大気シャワーの発達する上空は
地上より遥かに宇宙線が多い

2019年1月の星空

今夜の天気:?

1月8日
月齢:2



オリオン座

ベテルギウス
(1等星)
赤色超巨星

三ツ星
(2等星)

リゲル
(1等星)
青色超巨星

オリオン大星雲
(M42)



見かけの等級(見かけの明るさ)

(地球で見た星の明るさ)

等級

星の数

1等星以上

21

最も明るい星のグループ

2等星

67



5等級で100倍の明るさの差

3等星

190

1等級の違いは $\sqrt[5]{100}$

4等星

710

≈ 2.512 倍の違い

5等星

約2000

肉眼で見える最も暗い星のグループ

6等星

約5600

7等星

約16000

.....

ちなみに

太陽は-26.7等級

満月は-12.6等級

金星は、-4.7等級(最も明るい時、一番星)

シリウスは-1.5等級(一番明るい恒星)

絶対等級: 星の本来の明るさ

10 pc(パーセク)=32.6光年の距離から見た星の明るさ

	見かけの等級	絶対等級	距離(光年)	備考
太陽	-26.7	4.83	0.000015	我々にとって特別な星だが 絶対等級は平凡
ケンタウルス座 α星	-0.27	4.08	4.4	太陽から最も近い恒星 日本からは見えない
シリウス	-1.46	1.43	8.6	地上で最も明るい恒星
ベテルギウス	0.50	-5.20	640	オリオン座、赤色超巨星 直径は太陽の数百倍
リゲル	0.12	-6.83	800	オリオン座、本来の明るさは 太陽の1万倍以上

太陽の本来の明るさは、リゲルより、11.66 等級暗いので
もし、太陽がリゲルの位置にあったとすると、 $0.12+11.66=11.78$ 等級

「光年」と「pc(パーセク)」(距離の単位)

1光年:光が1年間に進む距離

光の速度 $c \doteq 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ (秒速 30 万km)

1秒で地球7周半、月まで1.3秒

$$1\text{光年} = 3 \times 10^8 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365 \doteq 9.5 \times 10^{15} \text{ m} \doteq 10^{16} \text{ m}$$

1pc(パーセク):年周視差が1"(秒)となる距離

$$1 \text{ pc} = 3.26 \text{ 光年}$$

$$1 \text{ pc} \doteq 3.1 \times 10^{16} \text{ m}$$

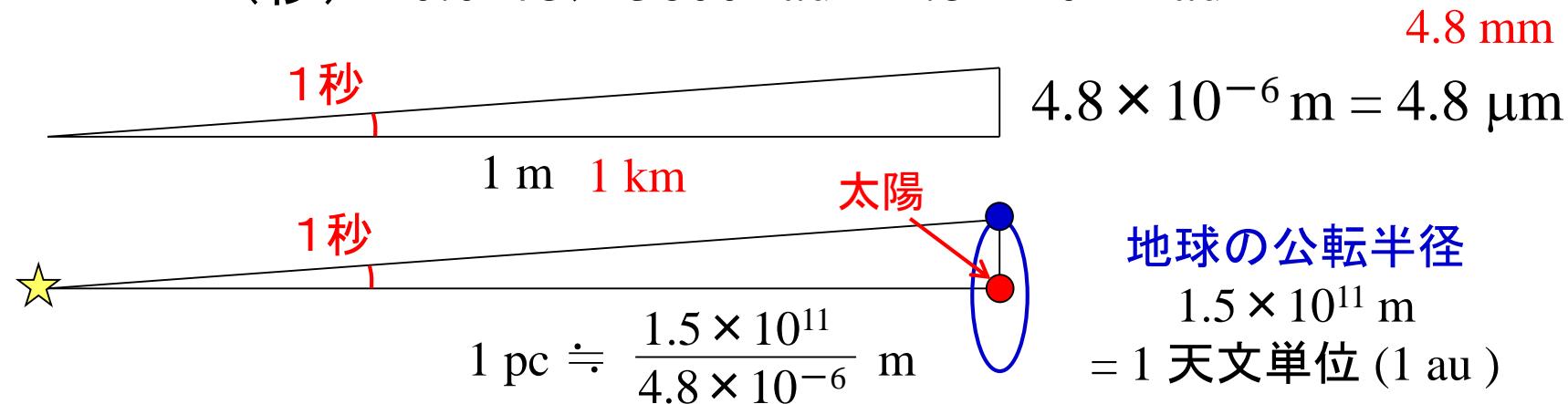
年周視差と角度の単位

$$360^\circ \text{ (度)} = 2\pi \text{ rad}$$

$$1^\circ = 2\pi/360 \doteq 0.0175 \text{ rad}$$

$$1^\circ \text{ (度)} = 60' \text{ (分)} = 3600'' \text{ (秒)}$$

$$1'' \text{ (秒)} \doteq 0.0175/3600 \text{ rad} \doteq 4.8 \times 10^{-6} \text{ rad}$$



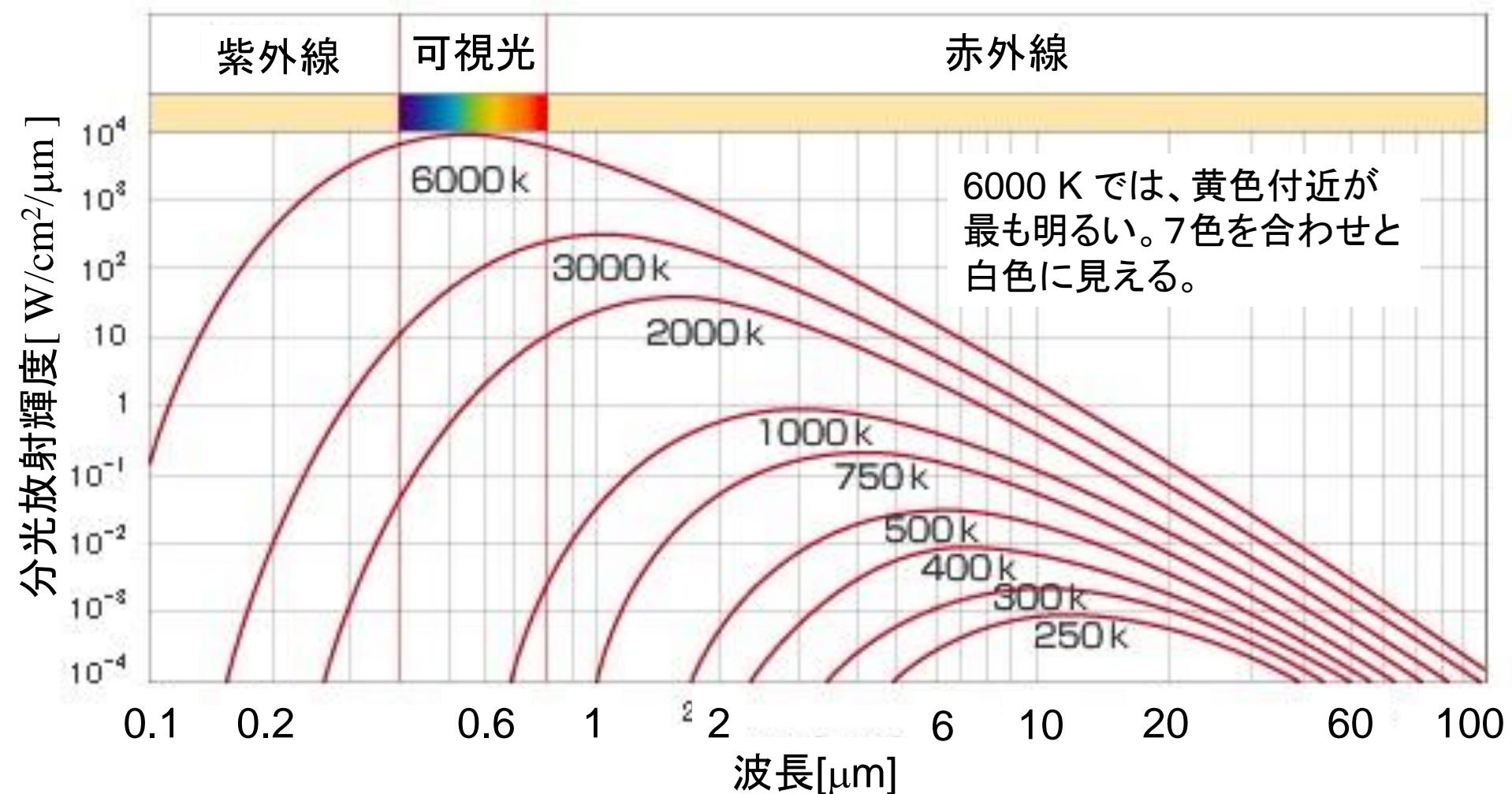
年周視差: 地球の公転によって地球の位置が変わることにより、星の方向(角度)に差が生じる。この角度は遠い星ほど小さい。この角度が1秒であるときの距離が $1 \text{ pc} \doteq 3.26 \text{ 光年}$ 年周視差を測定することで距離の測定ができる。両目で見ると奥行がわかるのと同じである。

星の色

ベテルギウス
(1等星)
赤っぽい星

リゲル
(1等星)
青白い星

黒体放射のスペクトル



太陽の表面温度 = 5780K

主に可視光領域の電磁波を放射

人間の目は太陽の光に合わせて進化

星(恒星)の色と温度

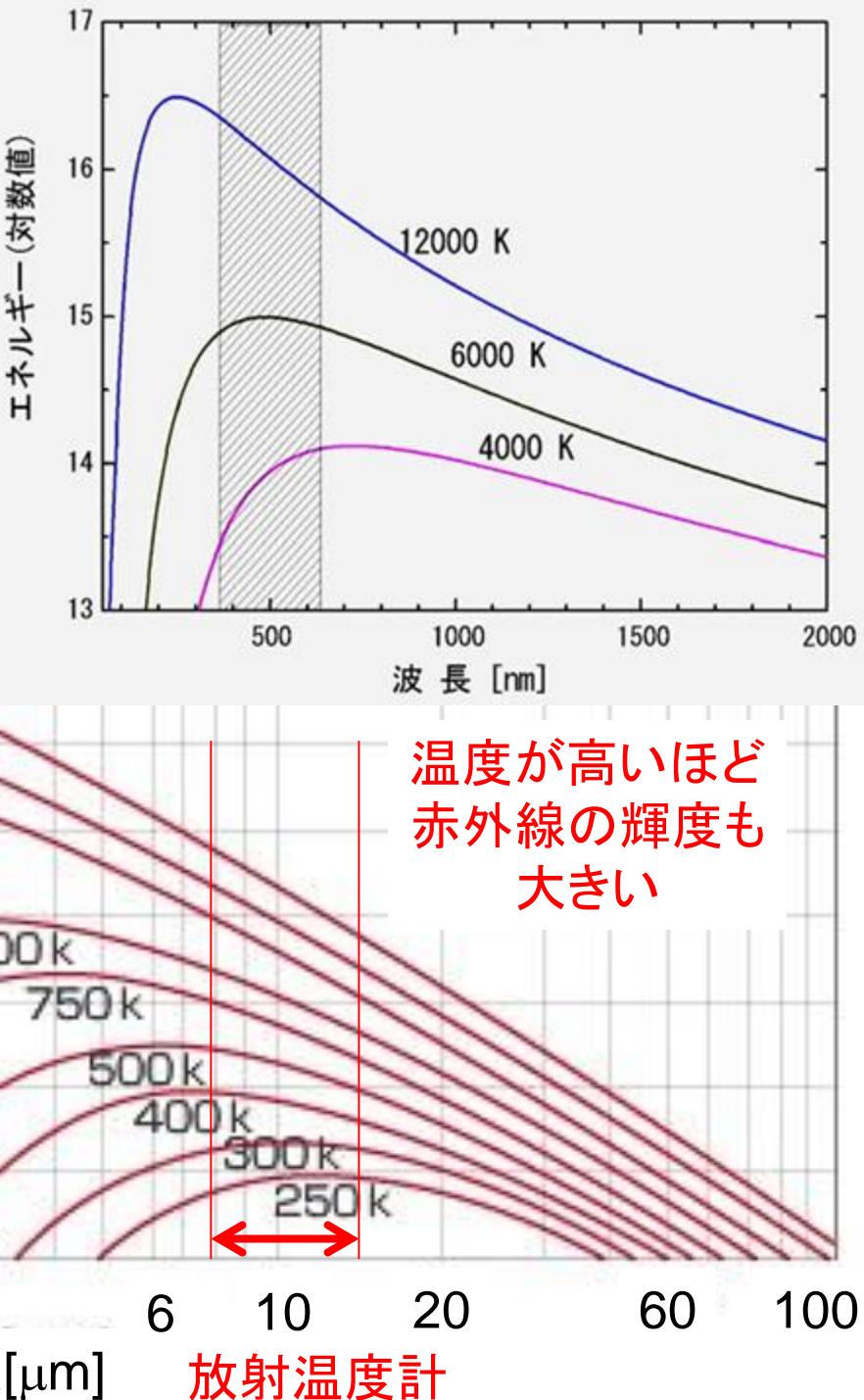
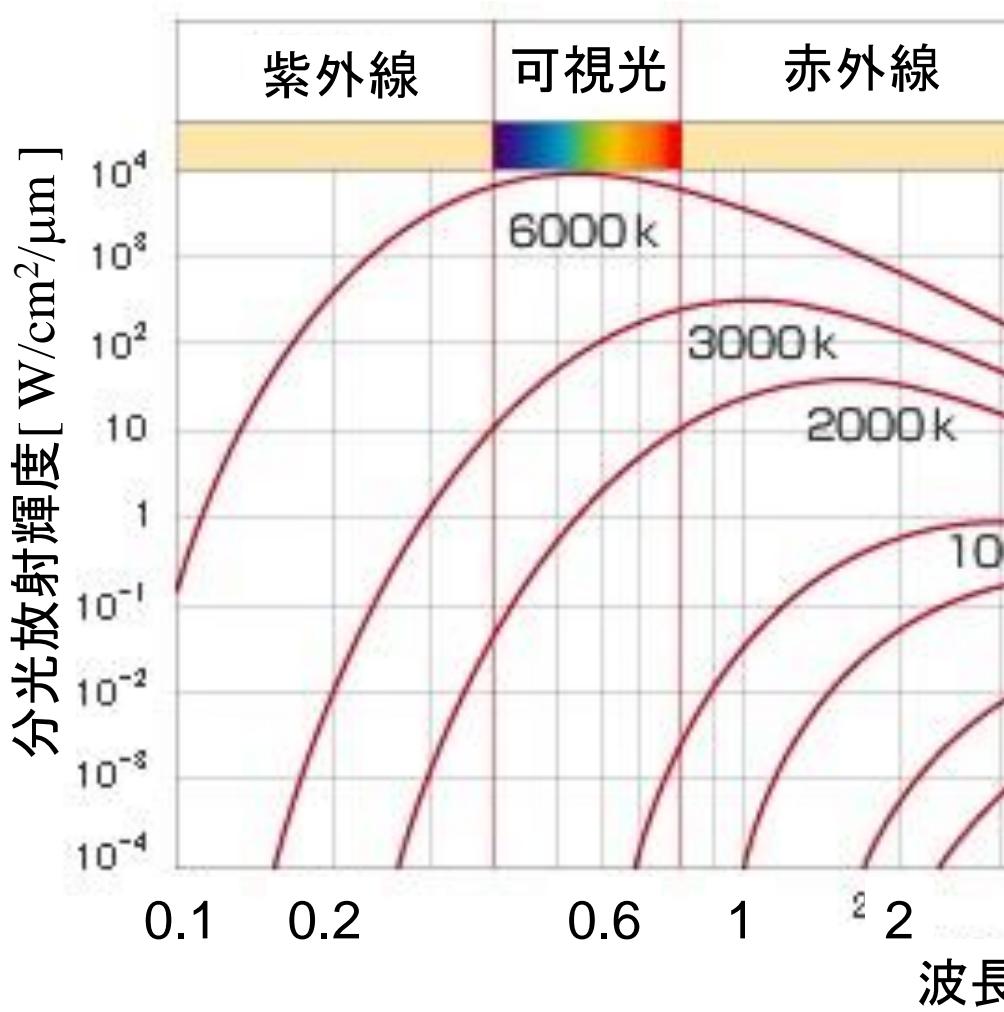
発光ダイオード

星が光るしくみ: 星の表面からの(黒体)放射

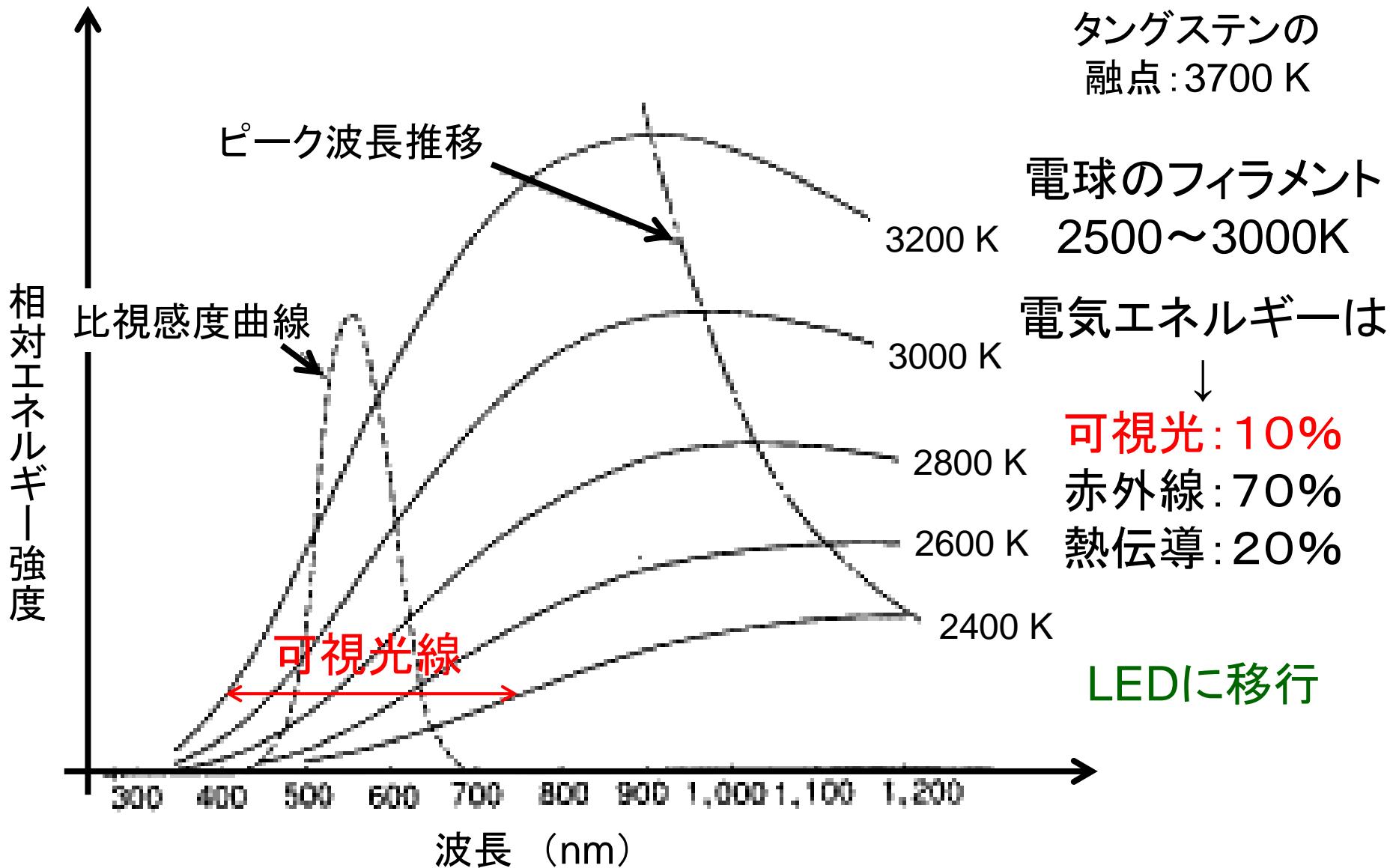
電気ストーブが赤く光ったり、電球が光るのと同じ(蛍光灯やLEDは違う)

物体	絶対温度 摂氏度+273.15	電磁波の種類 代表的な波長
人体 オイル・ヒーター	300 K (27°C)	(遠)赤外線 10μm
電気ストーブの ニクロム線	1000 K	赤外線 3 μm
電球	2700 K	赤外線・可視光 1 μm
ベテルギウス	3500 K	赤外線・可視光 1 μm
太陽	5780 K	可視光 500 nm
リゲル	12000 K	可視光・紫外線 300 nm

④ 温度が 12000 K の場合(右図)、可視光線領域では青～紫が明るいので色は青白く見える。12000 K 以上では可視光領域の傾きはあまり変化しないので色は、あまり変わらないが、明るさは、12000 K より明るい。

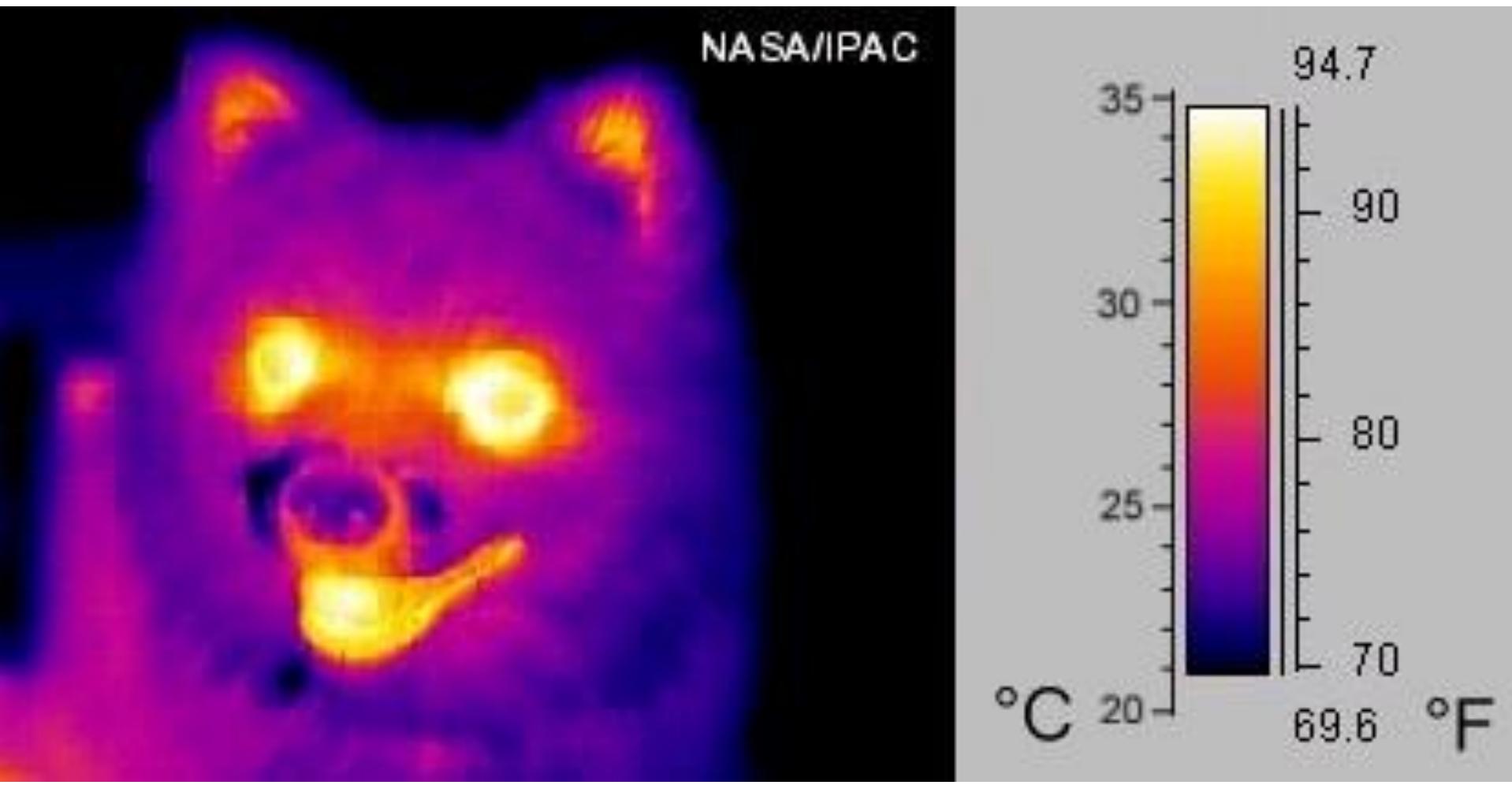


電球のスペクトル



サーモグラフィ(赤外線カメラ) 実物参照

物質から放射される(遠)赤外線を検出し、画像化



暖かい毛皮の部分は表面の温度が低い。 ウィキペディアより転載
暖かい服→断熱効果が高い→内側と外側の温度差が大きい→表面(外側)の温度は低い。

放射温度計 (サーモグラフィーの1点)

放射温度計

耳式体温計



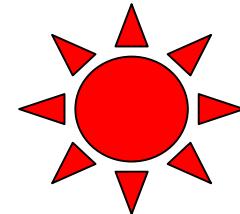
実物参照

応答波長 8 ~ 14 μm

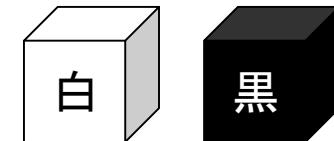
赤外線の放射量を計測して温度を算出する

白と黒

問題①: 材質・形・大きさが全く同じで表面の色だけがことなる白色と黒色の物体に太陽光を当てた。温度が高くなるのはどっち？



黒色の物体。



黒は光を吸収し、白は光を反射する。

問題②: 同じ白色と黒色の物体を100°Cに熱したあと、常温(20°C)の暗い部屋に放置した。早く冷めるのはどっち？
ただし、物体は赤外線領域でも(「白い」・「黒い」)とする。
反射する・吸収する

答: 黒色の物体。

電磁波を吸収しやすい物体は放射もしやすい。
その度合いは同じ波長なら、完全に一致する。
理想的な鏡のように、完全に反射するものは、全く放射しない。

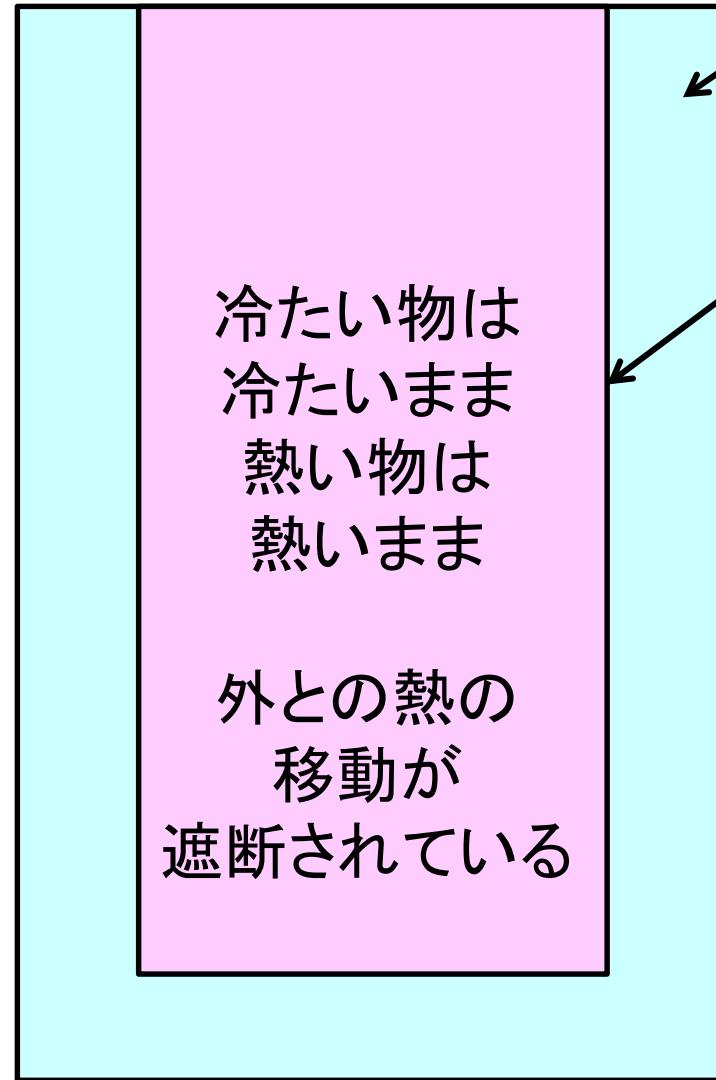


魔法瓶のしくみ

熱の伝わる方法

- ① 伝導
- ② 対流
- ③ 放射

①と②は、内側と外側の間を真空にすることで防げる



真空

銀メッキ
(鏡面メッキ)

銀メッキした面は
光・赤外線を
反射する。
(吸収しない。)

↓
放射もしないので
③による熱の移動
も防げる。

レスキュー・シート・サバイバルシート

实物参照

効果は寒い所で
ないとわからない



黒と白の話の補足

常温においては、(遠)赤外領域で
黒いか白いかが重要。

レスキュー・シートは、
(遠)赤外領域でも白い(銀色)
白:乱反射, 銀:鏡のような反射



魔法瓶における内側の銀メッキに相当する。