

平成23年度
食品の安全・安心ミニシンポジウム
～食品の放射能汚染～

岐阜県健康福祉部



Gifu Prefecture



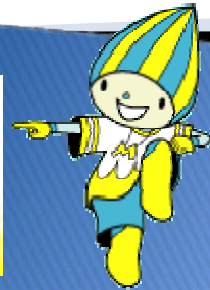
- ① 放射線とは何か
- ② 放射線の人体への影響



Gifu Prefecture



放射線とは何か



Gifu Prefecture



放射線の歴史(1)

見ることも触ることもできなければ、匂いも味もない放射線は、いつ、だれが見つけたのか？

年	内容／発見者等
1895	エックス線の発見／ ウィルヘルム・レントゲン [独]
1896	エックス線の電離作用の発見／J.J.トムソン[独]
	ウランの放射能の発見／ アンリ・ベクレル [仏]
1898	ポロニウムとラジウムの発見／ ピエール&マリー・キュリー 夫妻[仏]
	アルファ線とベータ線の発見／ アーネスト・ラザフォード [英]
1900	ガンマ線の発見／P.V.ヴィラール[仏]
	※ ラザフォードが1903年に命名
1908	アルファ線の構造を発見／ラザフォード[英]
1919	原子核の人工変換に成功／ラザフォード[英]
1932	中性子の発見／ ジェームズ・チャドウィック [英]
1934	人工放射能を作り出すことに成功／ ジョリオ&イレーヌ・キュリー 夫妻[仏]
1938	ウランの核分裂反応の発見／ オットー・ハーン&リーゼ・マイトナー [独]

放射線の歴史(2)

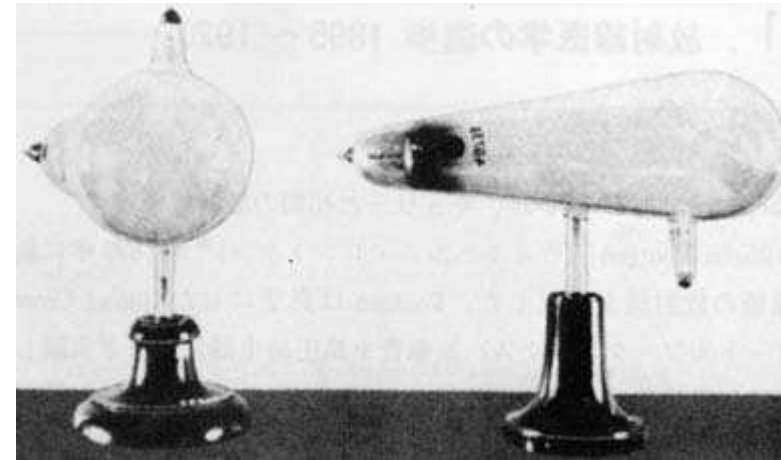
1895年 ドイツのレントゲン博士がX線を発見!

ある日、レントゲン博士は、ガラス管の中の気圧を低くしてその中に高い電圧の電流を流す実験をしていた時、黒い紙でしっかりと被っているガラスの近くにあった蛍光板(自ら青白い光を放つ物質が塗ってある板)が発光していることに気がついた。

そこに手を重ねてみると骨の形や仕組みがたいへん良く見え、博士は驚き、そこで、この不思議な光線をX線と名付けた。

この発見は、医学の分野でも応用され今も多くの診断に活用されている。

みなさんが病院などでよく耳にする「レントゲン」という言葉は、放射線を世界で一番最初に見つけた人の名前だったのです。



※1901年ノーベル物理学賞受賞

放射線の歴史(3)

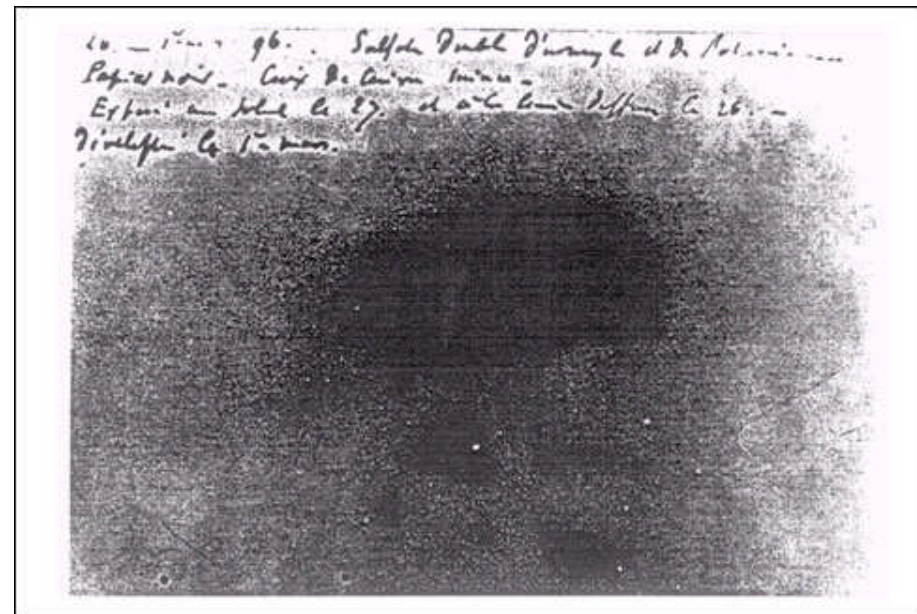
1896年 フランスのベクレル博士がウラン鉱から放射能を発見!

ベクレル博士は、写真乾板の上にうすい銅の十字架を置き、その上にウラン化合物の結晶をのせて机の引き出しにしまっていました。

その後乾板を現像してみると、なんとくっきりと十字架が写っていたのです。

博士はその出来事からウラン自体からX線に似た未知の光線が出ていることを発見し、そののちにベクレル線と名付けられました。

※1903年ノーベル物理学賞受賞



アンリ・ベクレルがウランから出る放射線を写真乾板に感光させた写真
(Courtesy of Maria Skłodowska-Curie Museum, Warsaw)

放射線の歴史(4)

1898年 女性研究者キュリー夫人は、 放射線研究で2度ノーベル賞受賞!

キュリー夫人は、夫のピエール・キュリー博士と力を合わせ、ピッチブレンドという鉱石が金属ウランよりも強い放射線を出していることを発見し、その中から**ポロニウム**と**ラジウム**という新しい放射性物質を取り出すことに成功した。このような業績が認められ、キュリー夫人は2度もノーベル賞を受け、娘も放射線研究に励みノーベル賞を受賞した。

キュリー親子は医療の進歩にも大きく貢献した。

また、物質自体が放射線を出せる能力を「放射能」と名付けた。

・1903年ノーベル物理学賞受賞

・1911年ノーベル化学賞受賞



周期表

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
hydrogen 1 H 1.0079																	helium 2 He 4.0026	
lithium 3 Li 6.941	beryllium 4 Be 9.0122											boron 5 B 10.811	carbon 6 C 12.011	nitrogen 7 N 14.007	oxygen 8 O 15.999	fluorine 9 F 18.998	neon 10 Ne 20.180	
sodium 11 Na 22.990	magnesium 12 Mg 24.305											aluminium 13 Al 26.982	silicon 14 Si 28.086	phosphorus 15 P 30.974	sulfur 16 S 32.066	chlorine 17 Cl 35.453	argon 18 Ar 39.948	
potassium 19 K 39.098	calcium 20 Ca 40.078	scandium 21 Sc 44.956	titanium 22 Ti 47.867	vanadium 23 V 50.942	chromium 24 Cr 51.996	manganese 25 Mn 54.938	iron 26 Fe 55.845	cobalt 27 Co 58.933	nickel 28 Ni 58.693	copper 29 Cu 63.546	zinc 30 Zn 65.39	gallium 31 Ga 69.723	germanium 32 Ge 72.61	arsenic 33 As 74.922	selenium 34 Se 78.96	bromine 35 Br 79.904	krypton 36 Kr 83.80	
rubidium 37 Rb 85.468	strontium 38 Sr 87.62	yttrium 39 Y 88.906	zirconium 40 Zr 91.224	niobium 41 Nb 92.906	molybdenum 42 Mo 95.94	technetium 43 Tc [97.907]	ruthenium 44 Ru 101.07	rhodium 45 Rh 102.91	palladium 46 Pd 106.42	silver 47 Ag 107.87	cadmium 48 Cd 112.41	indium 49 In 114.82	tin 50 Sn 118.71	antimony 51 Sb 121.76	tellurium 52 Te 127.60	iodine 53 I 126.90	xenon 54 Xe 131.29	
caesium 55 Cs 132.91	barium 56 Ba 137.33	57-70 *	lutetium 71 Lu 174.97	hafnium 72 Hf 178.49	tantalum 73 Ta 180.95	tungsten 74 W 183.84	rhenium 75 Re 186.21	osmium 76 Os 190.23	iridium 77 Ir 192.22	platinum 78 Pt 195.08	gold 79 Au 196.97	mercury 80 Hg 200.59	thallium 81 Tl 204.38	lead 82 Pb 207.2	bismuth 83 Bi 208.98	polonium 84 Po [209]	astatine 85 At [209]	radon 86 Rn [222]
francium 87 Fr [223]	radium 88 Ra [226]	89-102 **	lawrencium 103 Lr [262]	rutherfordium 104 Rf [263]	dubnium 105 Db [262]	seaborgium 106 Sg [266]	bohrium 107 Bh [264]	hassium 108 Hs [269]	meitnerium 109 Mt [268]	ununnium 110 Uun [272]	ununium 111 Uuu [272]	ununbium 112 Uub [277]		ununquadium 114 Uuq [289]		ununhexium 116 Uuh [289]		ununoctium 118 Uuo [293]

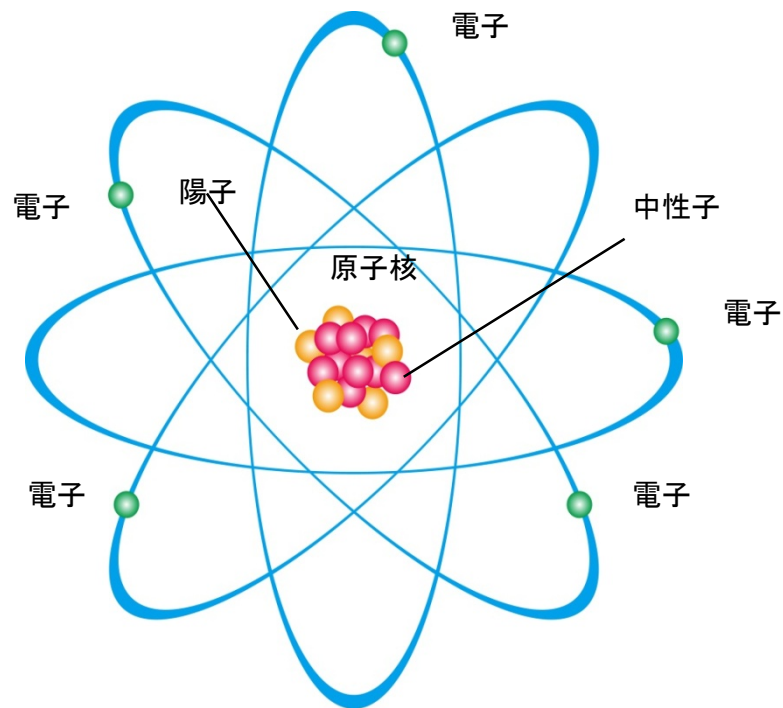
Key:
 element name
 atomic number
 symbol
 atomic weight (mean relative mass)

*lanthanoids

**actinoids

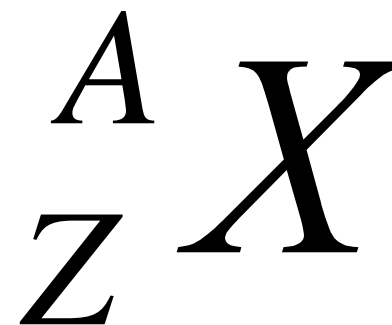
lanthanum 57 La 138.91	cerium 58 Ce 140.12	praseodymium 59 Pr 140.91	neodymium 60 Nd 144.24	promethium 61 Pm [144.91]	samarium 62 Sm 150.36	europium 63 Eu 151.96	gadolinium 64 Gd 157.25	terbium 65 Tb 158.93	dysprosium 66 Dy 162.50	holmium 67 Ho 164.93	erbium 68 Er 167.26	thulium 69 Tm 168.93	ytterbium 70 Yb 173.04
actinium 89 Ac [227]	thorium 90 Th 232.04	protactinium 91 Pa 231.04	uranium 92 U 238.03	neptunium 93 Np [237]	plutonium 94 Pu [244]	americium 95 Am [243]	curium 96 Cm [247]	berkelium 97 Bk [247]	californium 98 Cf [251]	einsteinium 99 Es [252]	fermium 100 Fm [257]	mendelevium 101 Md [258]	nobelium 102 No [259]

原子の構造・原子記号



原子の大きさ : $\sim 10^{-10}\text{m}$
原子核の大きさ: $\sim 10^{-15}\text{m}$

原子番号が増えても、原子核－電子間のクーロン力が増えて軌道が引き寄せられ、原子の大きさはあまり変わらない。



A: 質量数
Z: 陽子数
N: 中性子数

$$A=Z+N$$

陽子数と中性子数で決まる
原子を核種 (Nuclide) という。

ヨウ素131は

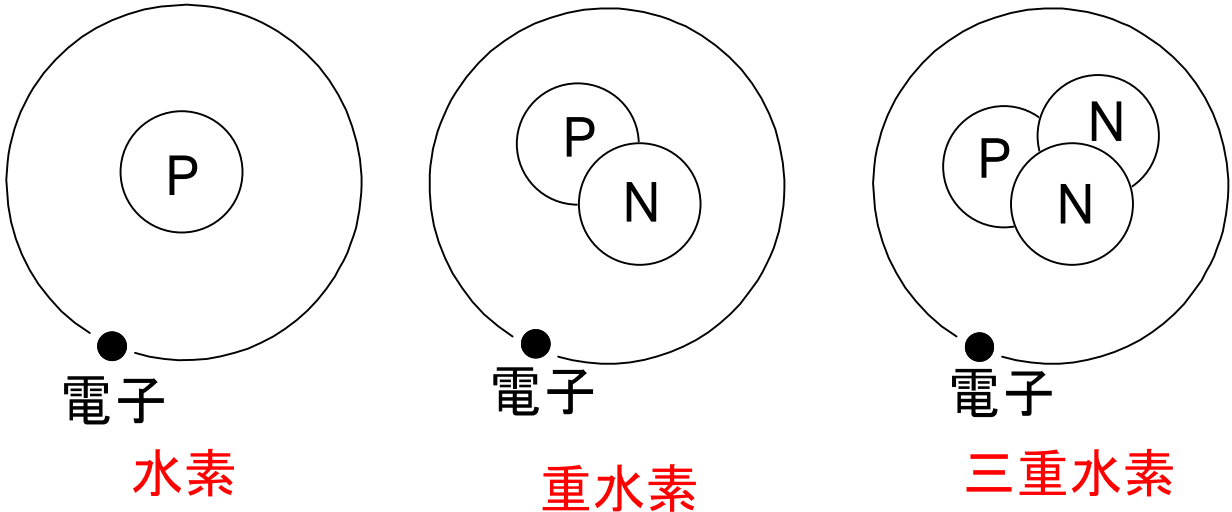
陽子53個 中性子78個 = 131 個

セシウム137は

陽子55個 中性子82個 = 137 個

放射性同位元素

陽子: Proton(+)
中性子: Neutron
電子: Electron(-)



同位元素 (アイソトープ isotope)

同じ原子番号(Z)の元素 化学的性質は同じ。質量数(A)が異なる。

例 ^1H と ^3H 、 ^{12}C と ^{11}C と ^{14}C 、 ^{123}I と ^{125}I と ^{131}I

放射性同位元素 (RI : ラジオアイソトープ radioisotope)

放射能をもつアイソトープ。自然界にも多数ある。

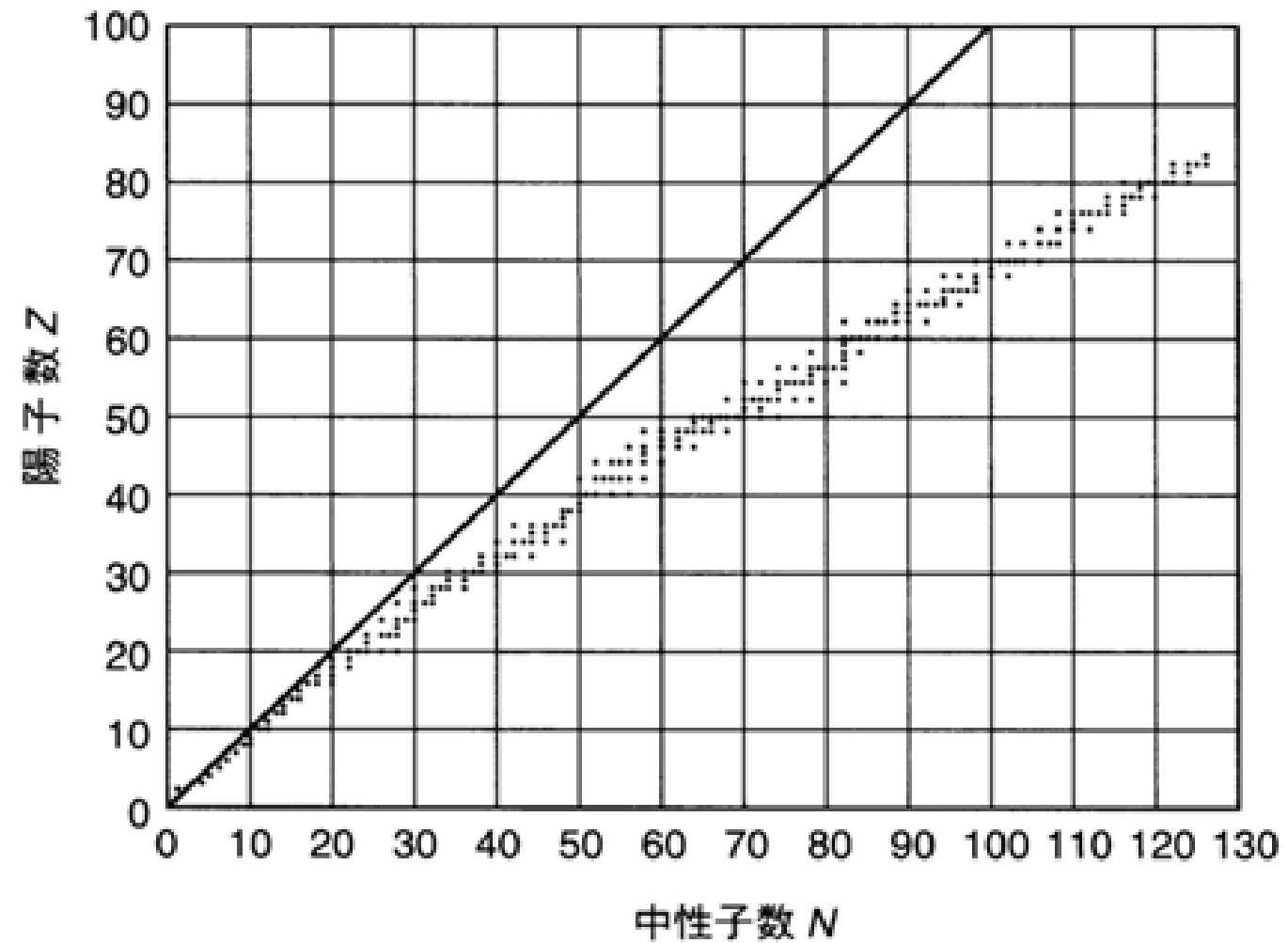
人工的に作られるもの(超ウラン元素など)もある。



Gifu Prefecture ^3H 、 ^{11}C 、 ^{14}C 、 ^{123}I 、 ^{125}I 、 ^{131}I など



核種の安定性と存在度



中性子過剰

^{235}U $N/Z = 1.55$ と ^{238}U $N/Z = 1.59$

定性的には
原子番号が大きくなるにつれて原子核中の正の電荷が増加し、クーロン反発力が増加するため、それを核力で補うために、中性子が相対的に多くなる。

原子核には安定なもの、不安定なものがある
安定同位元素 (stable isotope)
放射性同位元素 (radioactive isotope)

2,800近くある核種で、280程度が安定

放射線、放射能、放射性物質

①放射線とは...

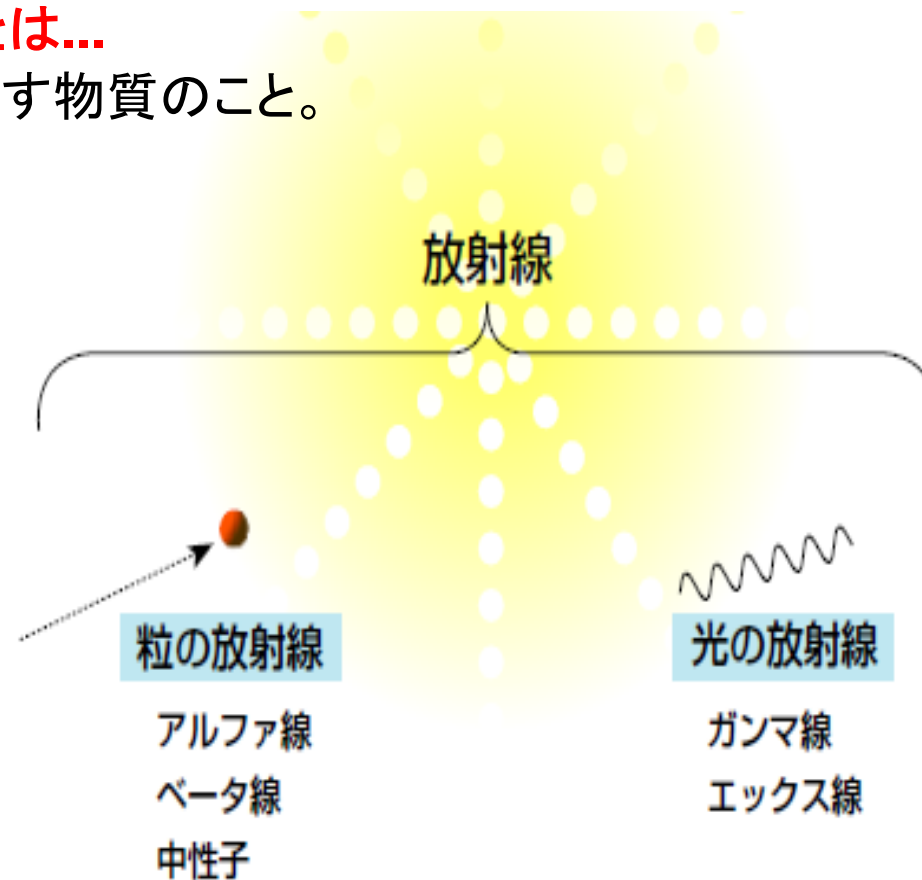
- ・高いエネルギーを持つ電磁波と粒子線の総称。簡単に言えば光の仲間。

②放射能とは...

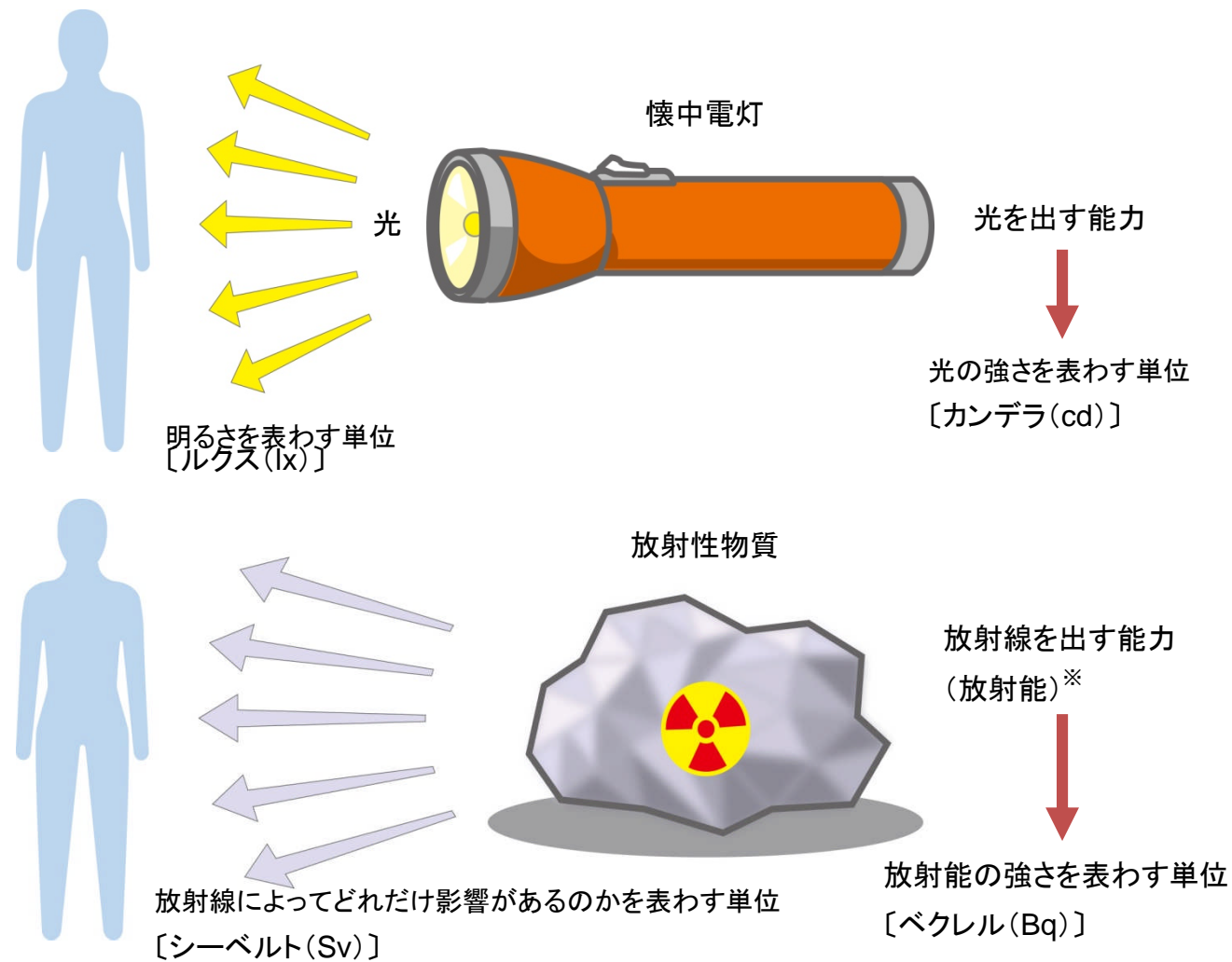
- ・放射線を出す能力のこと。

③放射性物質とは...

- ・放射線を出す物質のこと。



放射能と放射線



※放射能を持つ物質(放射性物質)のことを指して用いられる場合もあります

出典:資源エネルギー庁「原子力2010」

放射線の種類

電磁波の放射線

- X線（原子核の外でできる、X線撮影・各医学検査）
- γ 線（原子核からでる、放射線治療・核医学検査）

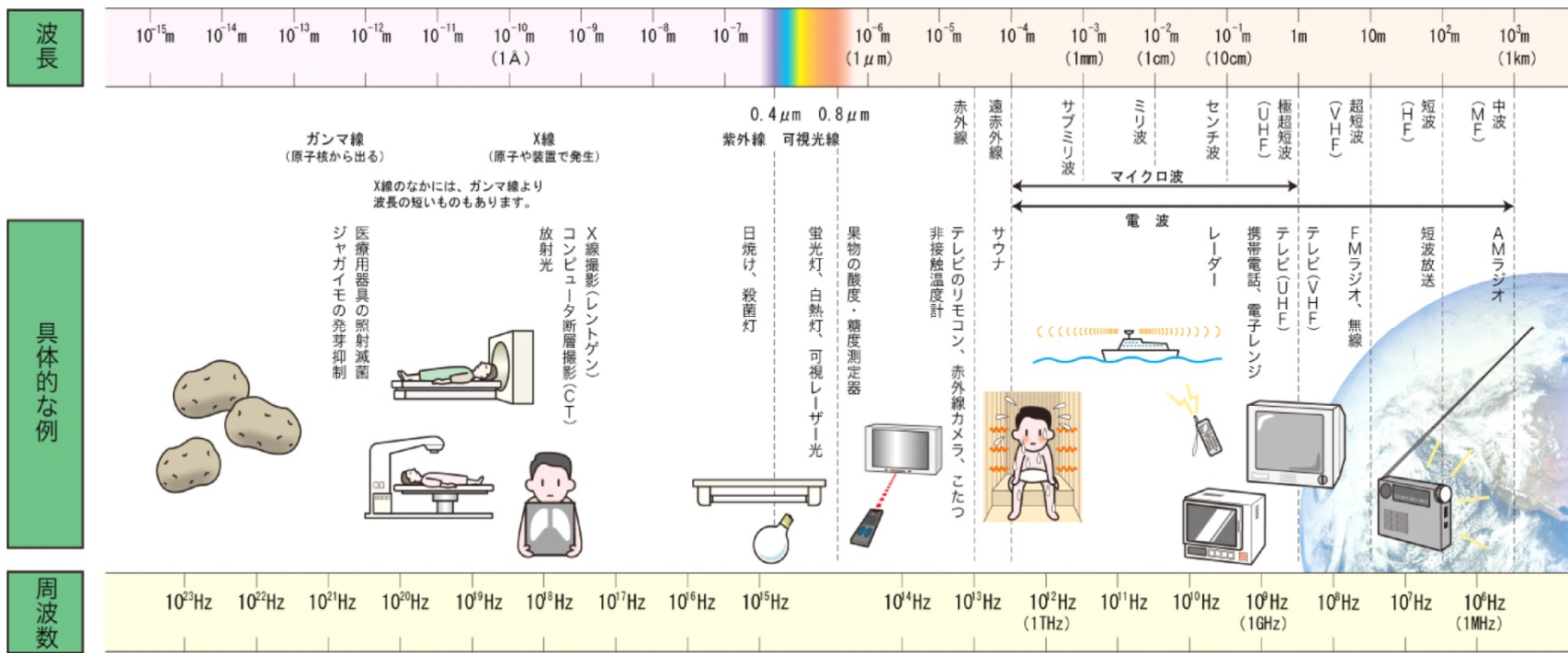
電気をもった粒子線

- B線（原子核から飛び出る電子、核医学治療）
- 陽電子線（原子核から飛び出る陽電子・核医学検査）
- 電子線（加速器でつくられる・放射線治療）
- α 線（原子核から飛び出るヘリウム原子核）
- 陽子線（加速器でつくられる）
- 重陽子線（加速器でつくられる・放射線治療）
- 種々の重イオンや中間子線（加速器でつくられる）

電気をもたない粒子線

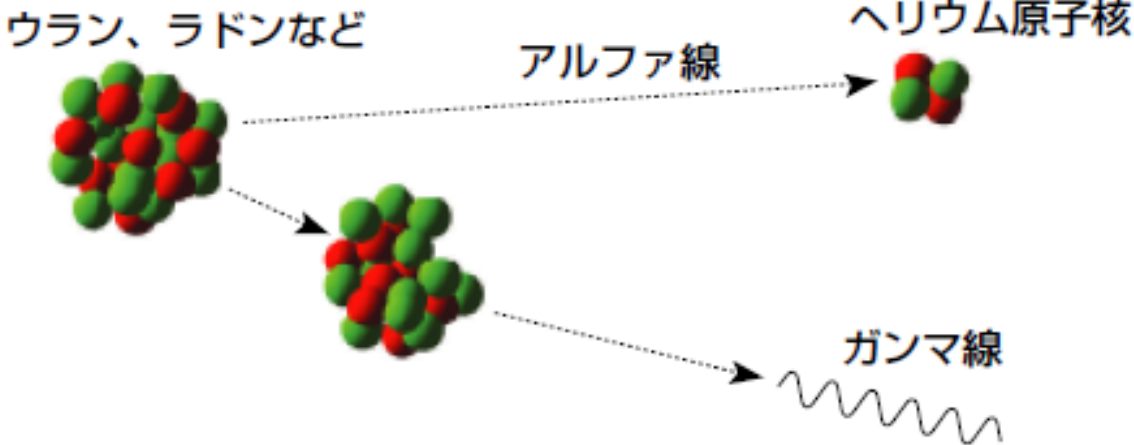
- 中性子線（原子炉、加速器、アイソトープなどを利用してつくられる）

電磁波の仲間

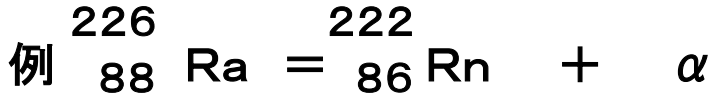


α (アルファ) 線とは

ウランやラドンなどは原子核が重すぎるため、ヘリウム原子核(陽子2個と中性子2個からなる粒)を放出して、軽い原子核に変わります。このヘリウム原子核が高速に飛んでいるのがアルファ線です。アルファ粒子ともいいます。



$$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X = \begin{matrix} A-4 \\ Z-2 \end{matrix} Y + \begin{matrix} 4 \\ 2 \end{matrix} \alpha$$

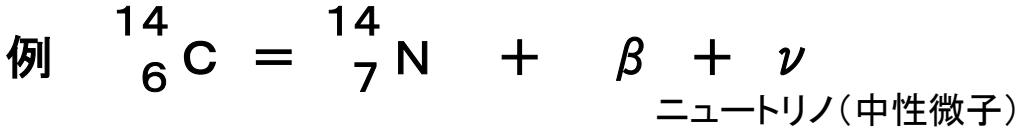
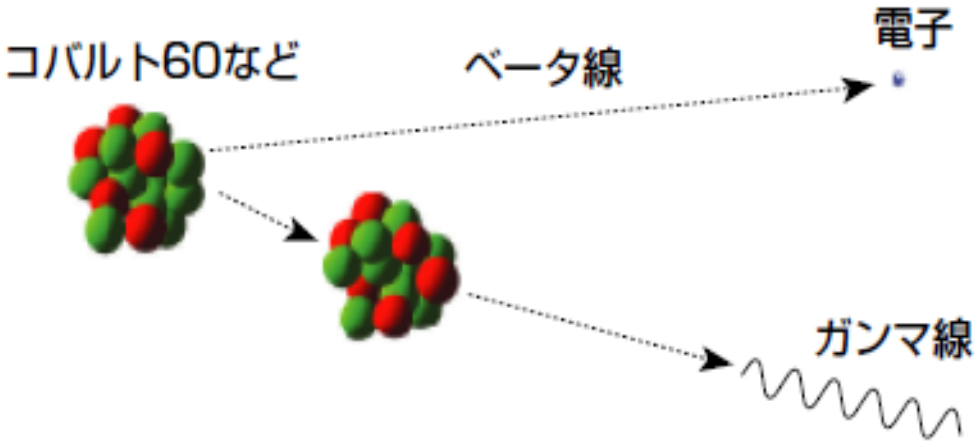


ラジウム ラドン

半減期1600年

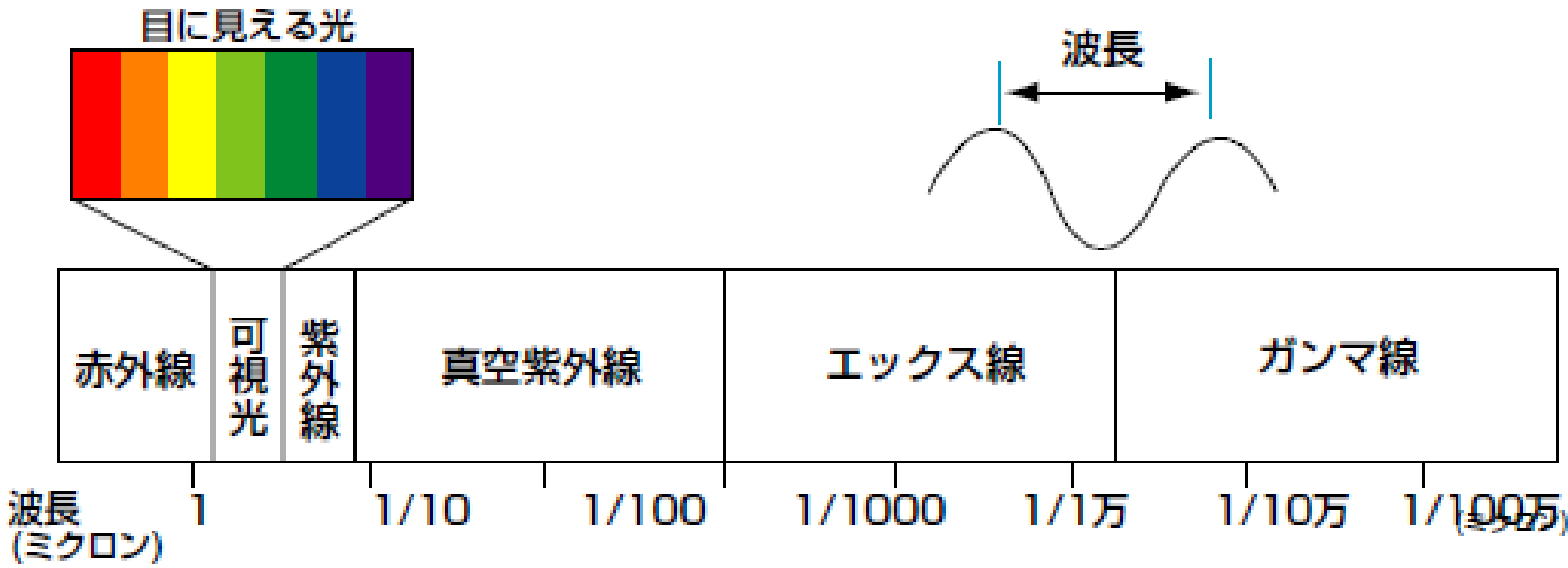
β (ベータ)線とは

中性子の数が陽子の数に比べて多すぎる原子核では、中性子1個が陽子に変化して電子を放出します。この電子が高速に飛んでいるのがベータ線です。ベータ粒子ともいいます。



γ (ガンマ)線とは

目に見える光よりも波長が100万分の1ほど短い光が、ガンマ線です。

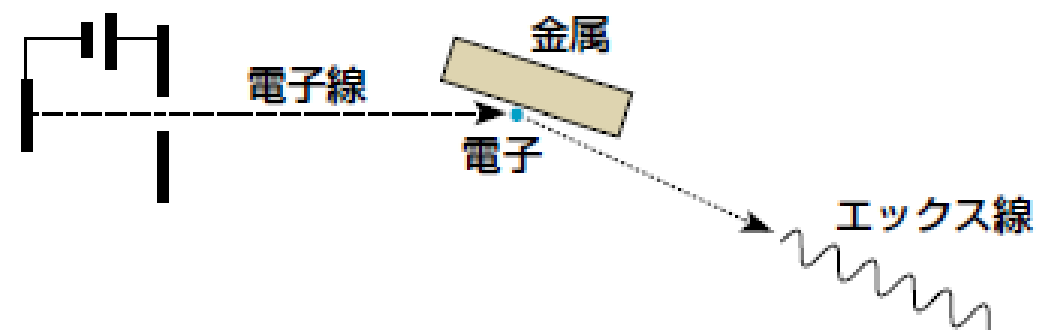


1マイクロン=1/1000ミリメートル=1/1万センチメートル

光の名前と波長

X(エックス)線とは

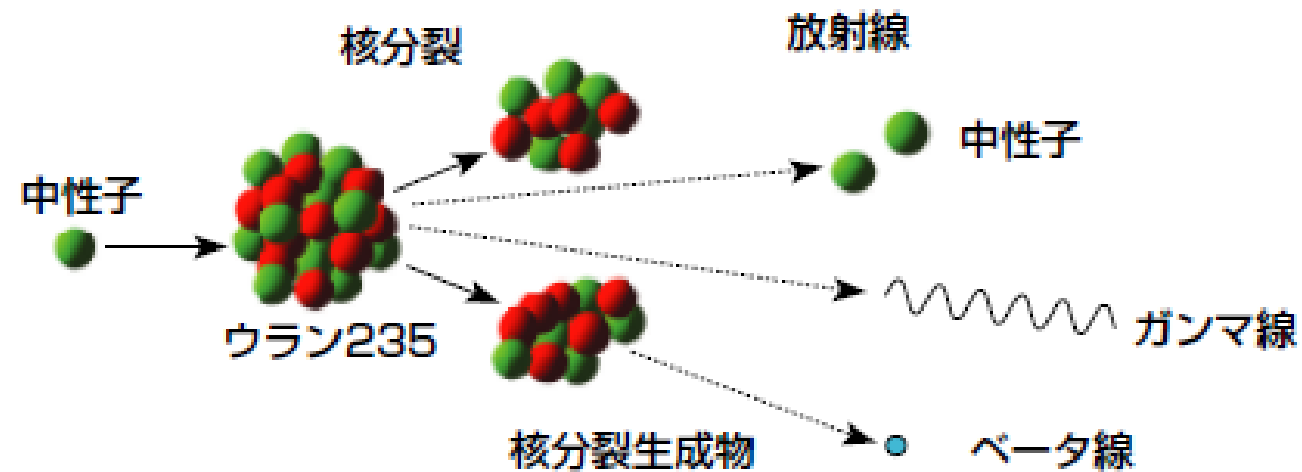
高速の電子(ベータ線と同じ電子線)を金属に当てると波長の短い光が出ます。
これがエックス線です。



中性子線とは

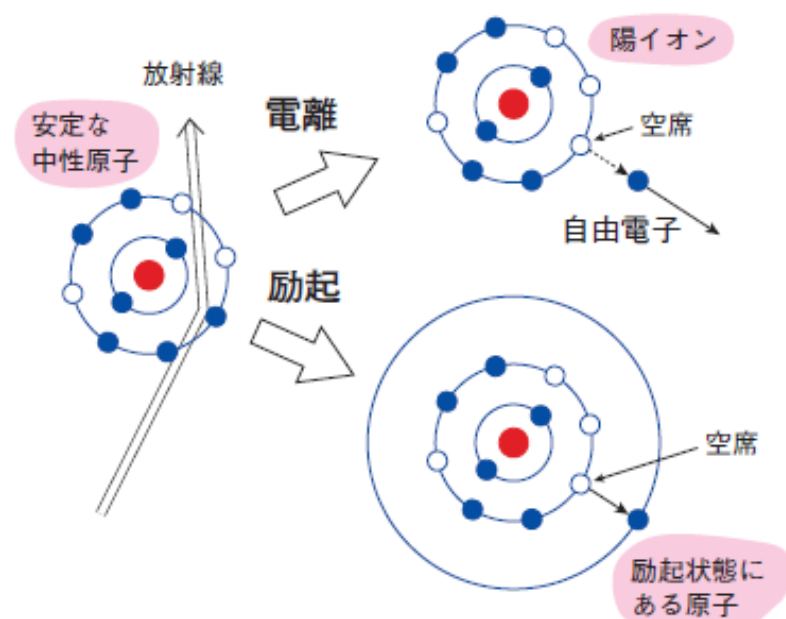
ウランやプルトニウムの原子核に中性子が吸収されると、原子核が2つにわかれて(核分裂)、中性子が出ます。

核分裂ではガンマ線やベータ線も出ます。



放射線の相互作用(1)

α 線、 β 線、 γ 線(X線)が物質中に入射すると、物質を構成する原子と相互作用して、原子を電離あるいは励起する。

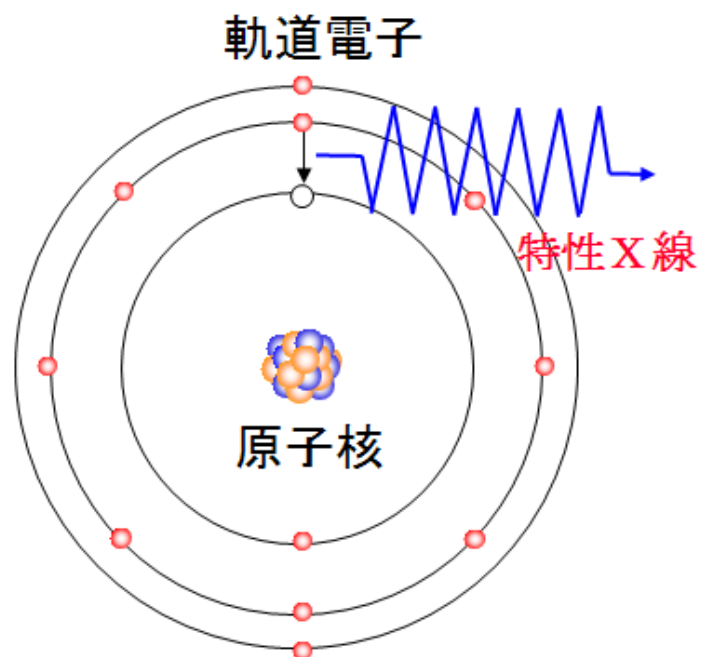


放射線は原子や分子とぶつかると、ほとんどの場合は原子の一番外側の軌道電子をはじき飛ばし、自分の持っている運動エネルギーの一部をこの軌道電子に分け与える。

軌道電子が原子の外までたたき出されてしまう場合を電離といい、原子核の束縛を離れた電子は自由電子になる。電気的に中性だった原子の方は、マイナスの電荷を持った軌道電子が失われてしまうため、全体としてプラスの電気を帯びることになる。このように、軌道電子の数が、原子核の陽子の数と一致せずプラスあるいは、マイナスの電気を持つようになった原子や分子をイオンという。

軌道電子が原子から飛び出さず、外側の軌道に飛び移る場合は、原子は電気的に中性のまま、“興奮状態”になる。これを励起という。

放射線の相互作用(2)



電離や励起を起こした原子は不安定である。まず、イオンになった原子は付近の自由電子を捕まえて電氣的に中性になろうとする。

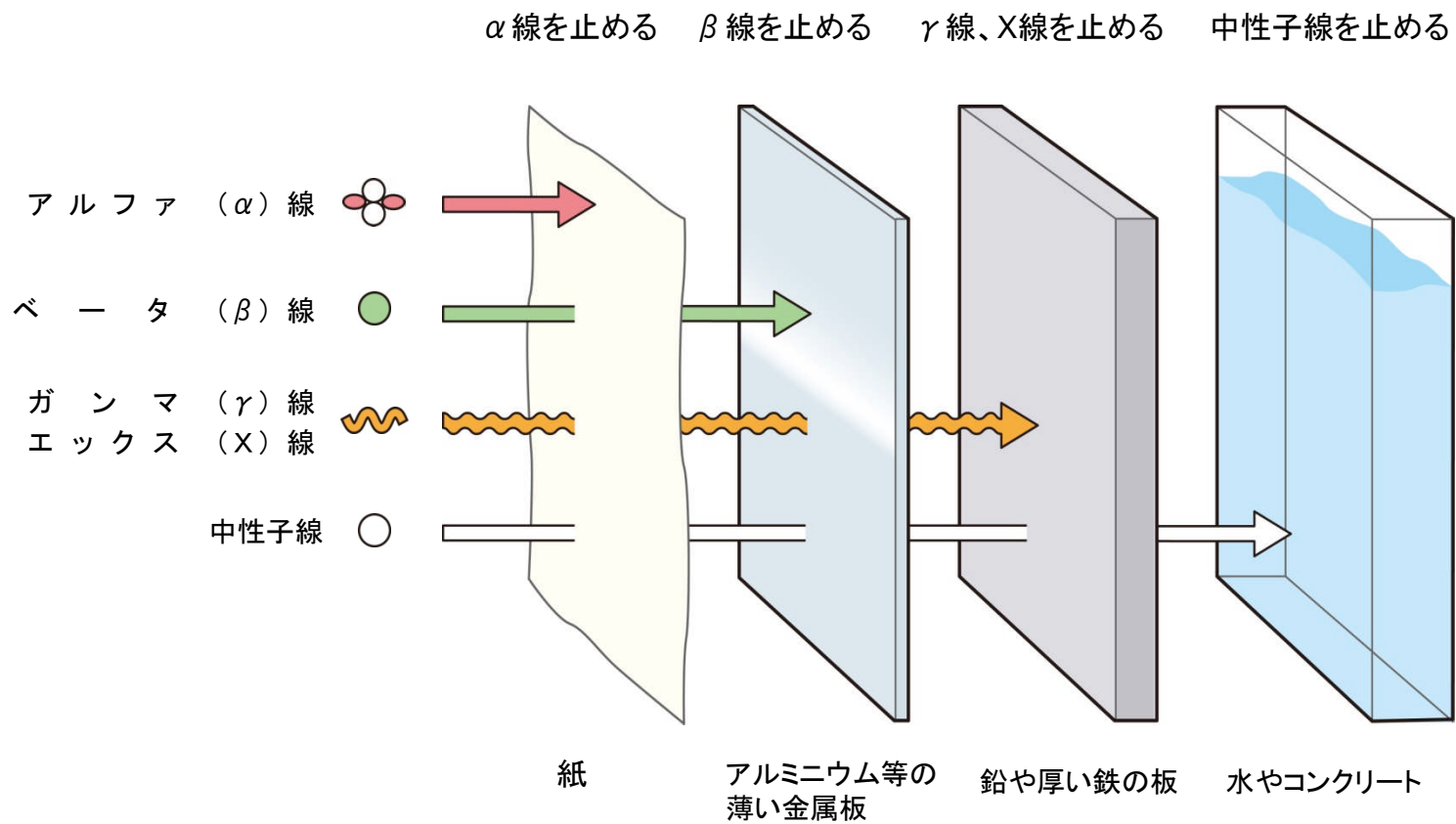
イオンに捕まった電子は最初かなり外側の軌道に入るので、イオンは励起原子の状態になる。

励起原子では、外側の軌道電子がもっと内側の空の軌道に移ろうとする。内側の軌道ほど軌道電子が持つエネルギーは小さいので、電子は余分なエネルギーを光(電磁波)の形で放出する。この励起原子からでる光は蛍光と呼ばれている。

電離が起きるとき、内側の軌道電子が飛び出すこともあります。空いた軌道には外側の軌道電子が落ち込んできますが、この時放出される電磁波はエネルギーが高く、元素の種類に特有なことから**特性X線**または**固有X線**とよばれる。

電離や励起がきっかけとなって、まわりの原子や分子と化学反応が起きたり、分子の場合はもっと小さな固まりに壊れたりすることもある。

放射線の種類と透過力



放射線に関する単位

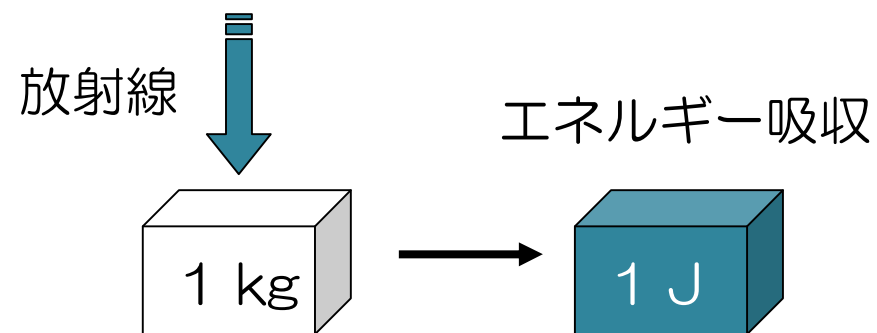
名 称	単 位 名 (記 号)	定 義
放射能の単位 国際単位系 (SI)		
放射能	ベクレル (Bq)	1秒間に原子核が崩壊する数を表す単位
放射線量の単位 国際単位系 (SI)		
吸収線量	グレイ (Gy)	放射線のエネルギーがどれだけ物質（人体を含むすべての物質）に吸収されたかを表す単位 1Gyは1kgあたり1ジュールのエネルギー吸収があったときの線量
線 量	シーベルト (Sv)	放射線によってどれだけ影響があるかを表す単位 (1シーベルト=1000ミリシーベルト)
エネルギーの単位		
エネルギー	エレクトロンボルト/ 電子ボルト (eV)	放射線等のエネルギーを表す単位 (1eV=1.6×10 ⁻¹⁹ J)

吸収線量(Gy:グレイ)

ある任意の物質中の単位質量あたりに放射線により付与されたエネルギーの平均値

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

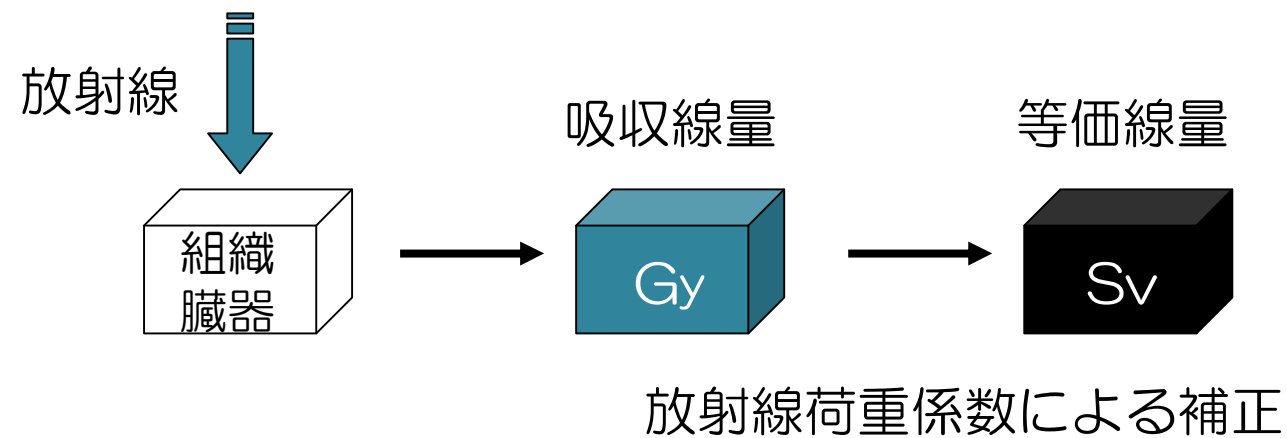
放射線が1 kgの物質と相互作用した結果、1 Jのエネルギー吸収があるときの吸収線量



等価線量 (Sv:シーベルト)

組織・臓器における放射線の影響を、放射線の種類やエネルギーによる違いを補正し、共通の尺度で表現する量

組織・臓器の平均吸収線量 (Gy) × 放射線荷重係数



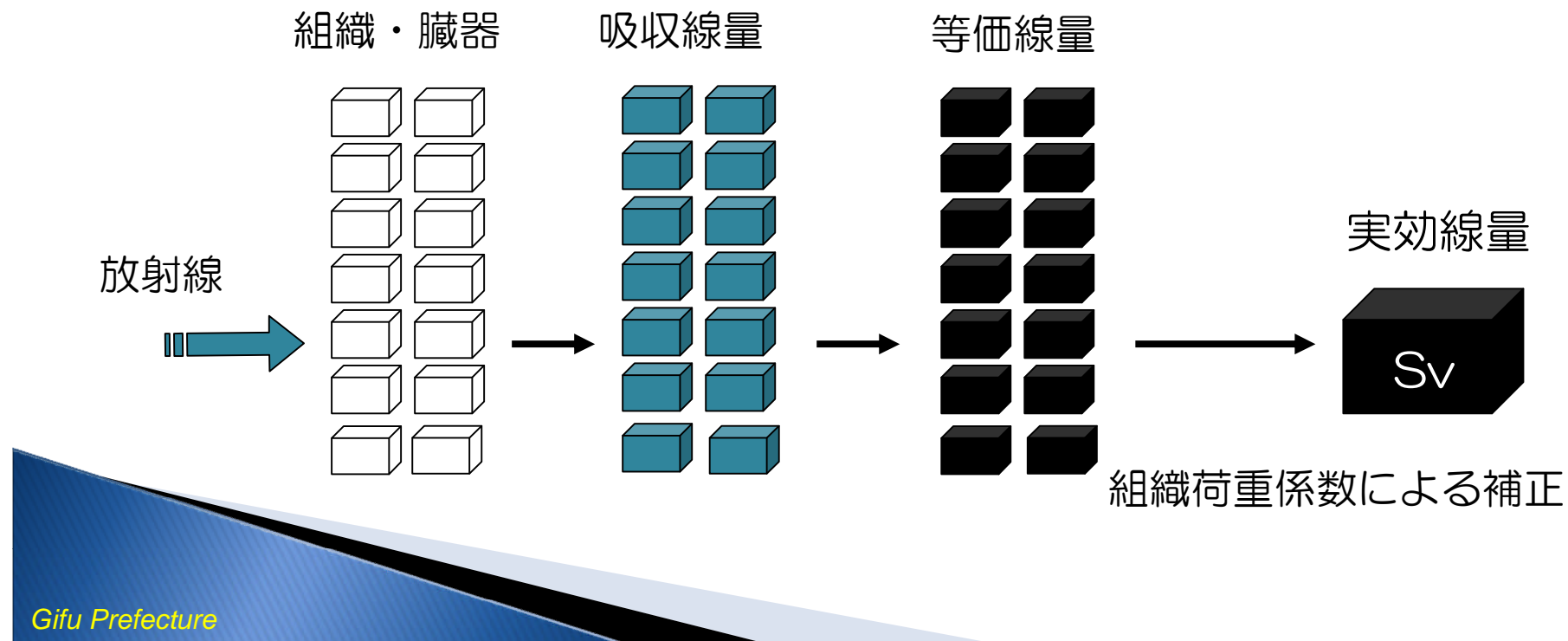
放射線加重係数

- 主に発がんを指標とした生物学的効果をもとに決定

放射線の種類	放射線荷重係数
光子 (γ 線、X線)	1
電子 (β 線)	1
陽子	2
α 粒子、核分裂片、重い原子核	20
中性子	2.5~22

実効線量 (Sv : シーベルト)

- 等価線量を組織荷重係数によって補正し、全身の放射線影響の指標となる量
- 人体の14の組織および残りの組織における「等価線量 × 組織荷重係数」の総和

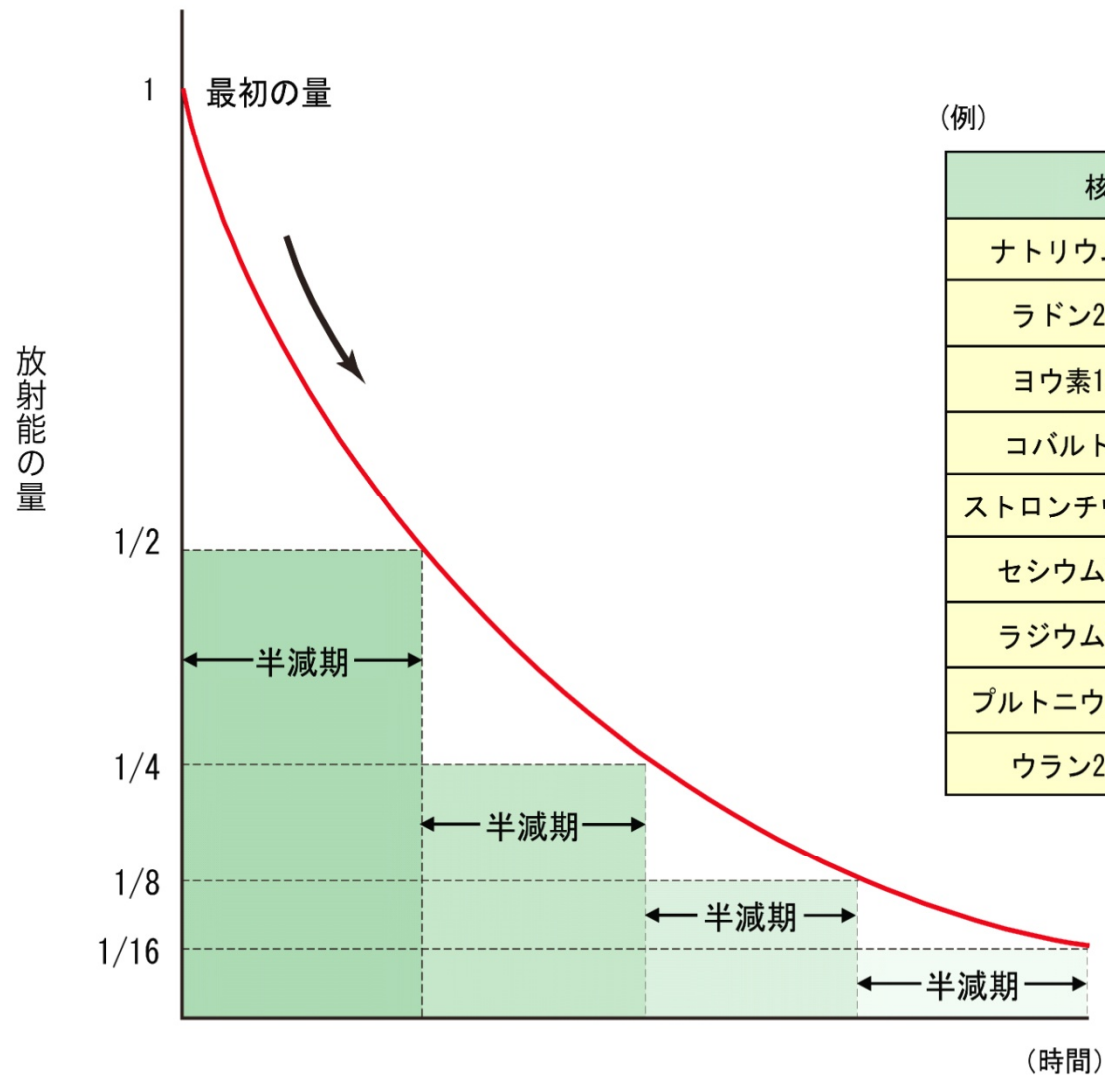


組織荷重係数

- 全身が均等に被ばくした場合の影響に対する、それぞれの組織・臓器が被ばくした場合の影響の相対的割合

組織・臓器	組織荷重係数	組織・臓器	組織荷重係数
生殖腺	0.08	肝臓	0.04
赤色骨髄	0.12	食道	0.04
結腸	0.12	甲状腺	0.04
肺	0.12	皮膚	0.01
胃	0.12	骨表面	0.01
膀胱	0.04	脳	0.01
乳房	0.12	残りの組織・臓器	0.12
唾液腺	0.01		

放射能の減り方



(例)

核 種		半減期
ナトリウム24	^{24}Na	15.0時間
ラドン222	^{222}Rn	3.8日
ヨウ素131	^{131}I	8.0日
コバルト60	^{60}Co	5.3年
ストロンチウム90	^{90}Sr	28.8年
セシウム137	^{137}Cs	30年
ラジウム226	^{226}Ra	1,600年
プルトニウム239	^{239}Pu	2.4万年
ウラン238	^{238}U	45億年

実効半減期

生物学的半減期: 体内に取り込まれた放射性同位元素が体外に排泄され、元の数の半分になる期間

実効半減期の求め方

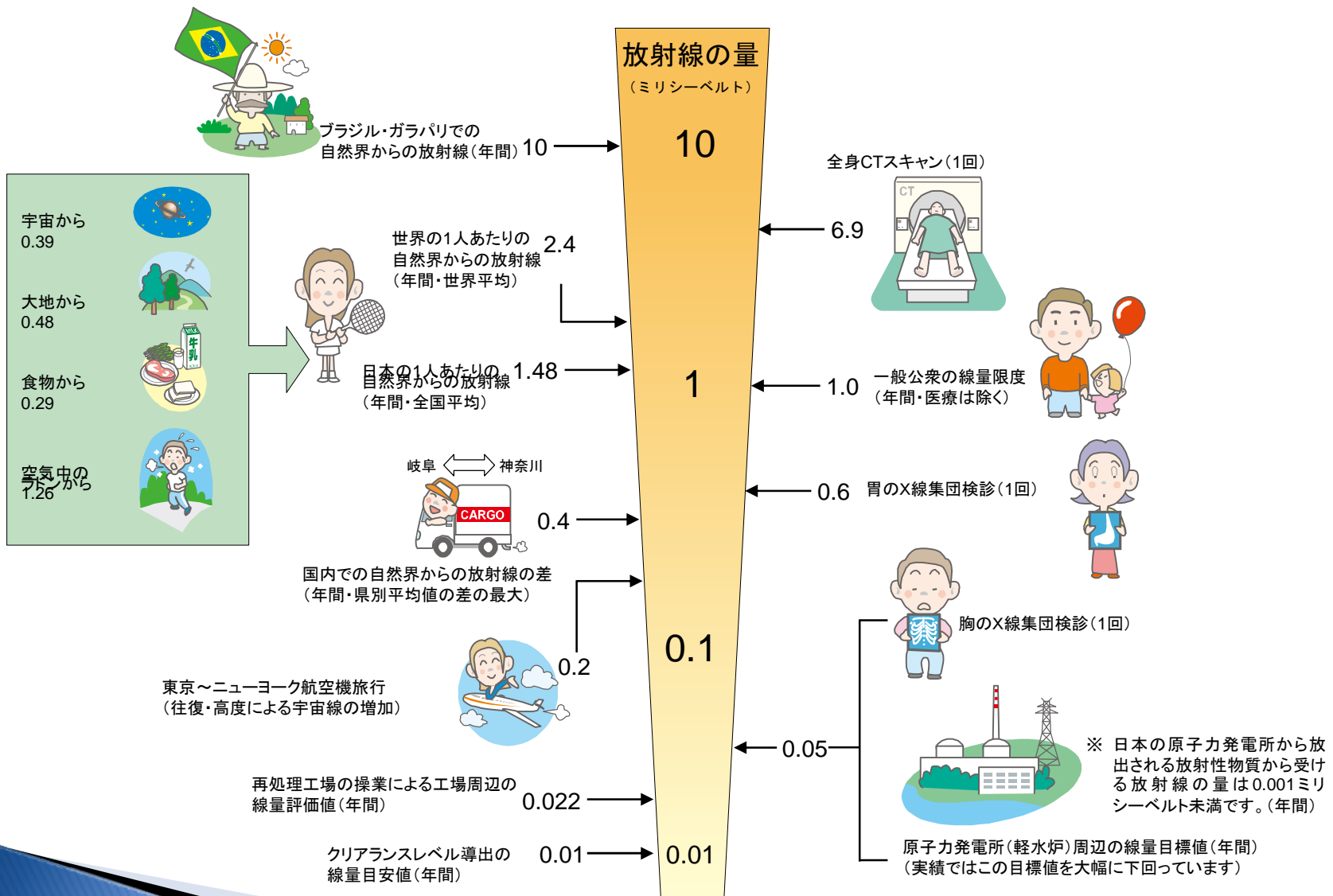
$$1 / \text{実効半減期} = 1 / \text{物理学的半減期} + 1 / \text{生物学的半減期}$$

例えば、ストロンチウムの場合、物理学的半減期が28.8年、生物学的半減期が49年であるので

実効半減期は、 $1 / (1 / 28.8 + 1 / 49) = \text{約}18\text{年}$ となります。

	物理学的半減期	生物学的半減期	実効半減期
ヨウ素131	8.04日	120日(甲状腺)	約7.5日
セシウム137	30年	110日	約109日
ストロンチウム90	28.8年	49年	約18年
プルトニウム239	2万4千年	50年(骨)	約50年

日常生活と放射線

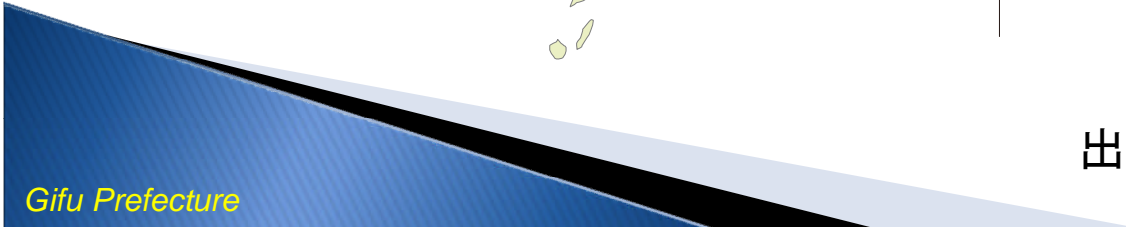
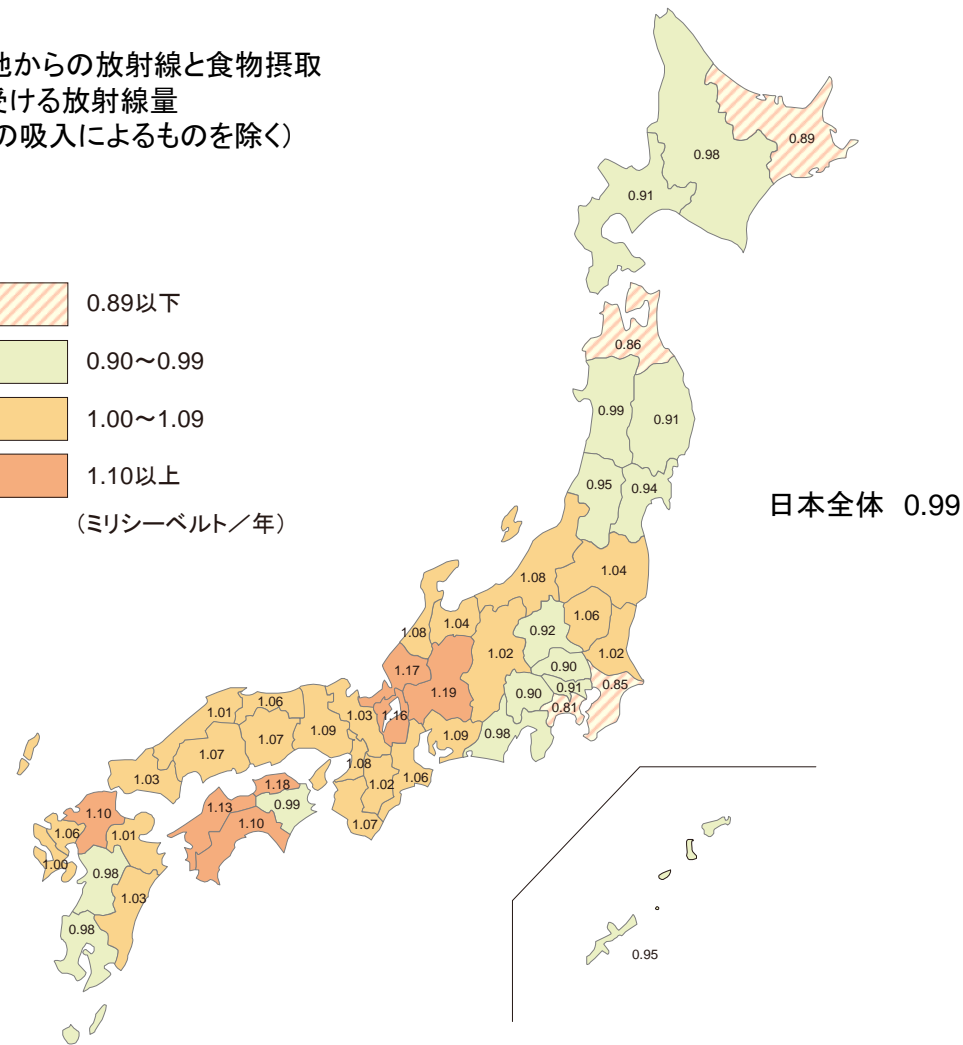
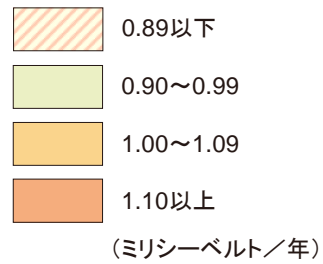


出典: 資源エネルギー庁「原子力2010」他



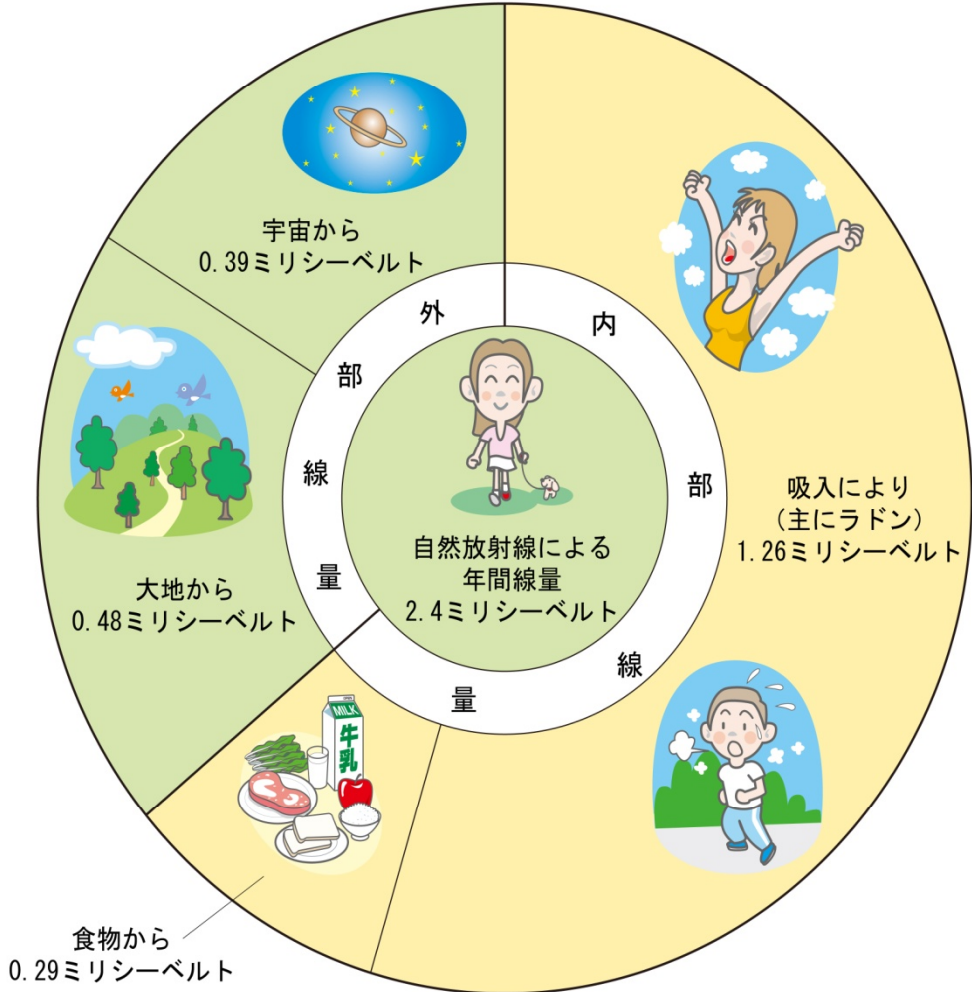
全国の自然界からの放射線量

宇宙、大地からの放射線と食物摂取
によって受ける放射線量
(ラドン等の吸入によるものを除く)



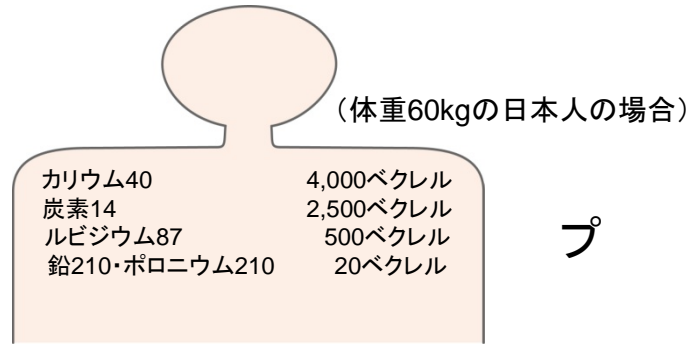
自然放射線から受ける線量

一人あたりの年間線量（世界平均）



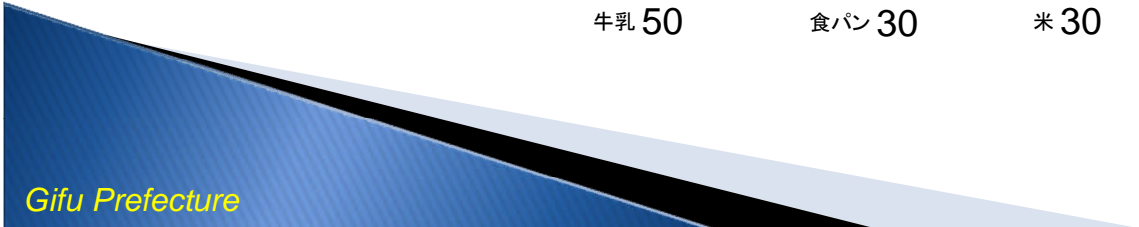
体内、食物中の自然放射性物質

●体内の放射性物質の量



●食物中のカリウム40の放射能(日本)

(単位:ベクレル/kg)



身の回りにおける放射線

■ラジウム温泉やラドン温泉

ラジウム温泉などは、健康によいと療養や気分転換のために温泉場を訪れる人がたくさんいます。ラジウムは α 線を出して気体のラドンに変わり、さらにラドンは α 線を出して別の元素に変わります。その後も次々に元素が変化し、最後に安定な鉛になります。この間、 α 線や β 線や γ 線も出ます。ラジウム温泉やラドン温泉のある地域では、水中や空気中の放射能が普通の地域よりも高いのですが、放射線による病気などの影響は認められていません。ラドンは世界中のどこでも大地からしみだしています。

■新幹線で東京から新大阪へ

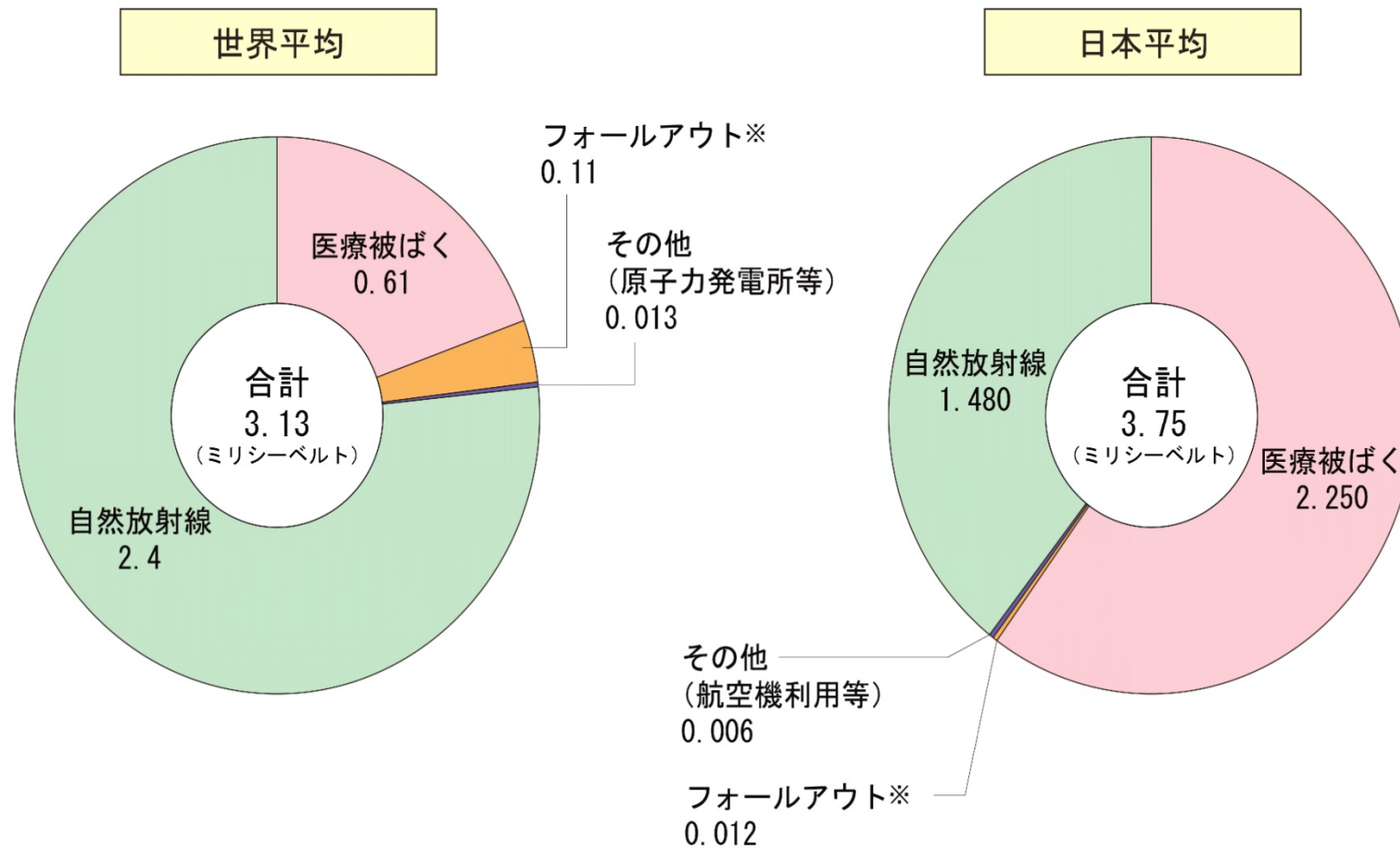
東京から新大阪へ行く列車の中で放射線の強さを測ってみると、トンネルに入ることになると放射線は強くなり、大きな川の鉄橋の上では逆に弱くなります。浜松あたりを過ぎると放射線は少し強くなり、西高東低の傾向がみられます。大地はいろいろなアイソトープ(放射性同位元素)を含んでいるので、放射線を出しています。トンネルの中では、四方八方から放射線が来るので、放射線が強くなります。鉄橋の上では、川の水が川底から来る γ 線をさえぎるので、放射線は弱くなります。大地に含まれるアイソトープの濃度は場所によりかなり違います。一般に関西地方が関東地方よりも高いのです。ラジウム温泉が多いイランのラムサー地方では、大地からの放射線が1年間につき400mSvを越える場所もあります。(日本の平均は0.41mSv)

■飛行機で上空へ

ジェット機の中で放射線の強さを測ってみると、上空へ行くほど放射線は強くなります。これは宇宙線が上空ほど強いからです。空からは宇宙線がたえず降り注いでいます。これは主に γ 線です。

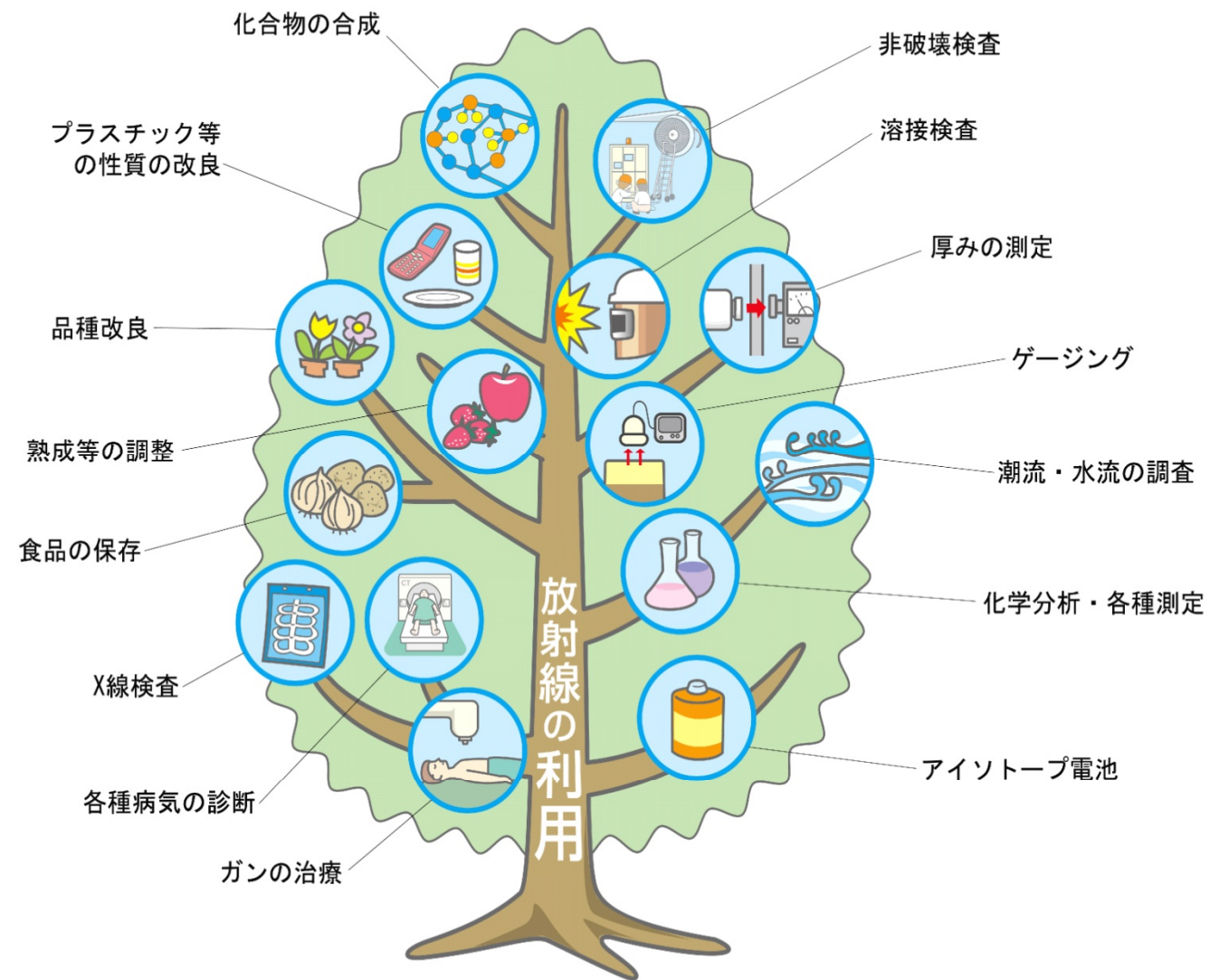
20000m	12000m	4000m	2000m	海面
13 μ Sv/h	5 μ Sv/h	0.2 μ Sv/h	0.1 μ Sv/h	0.03 μ Sv/h

自然および人工放射線源から受ける一人あたり年間線量



※フォールアウト：核実験による放射性降下物のこと

放射線のいろいろな利用

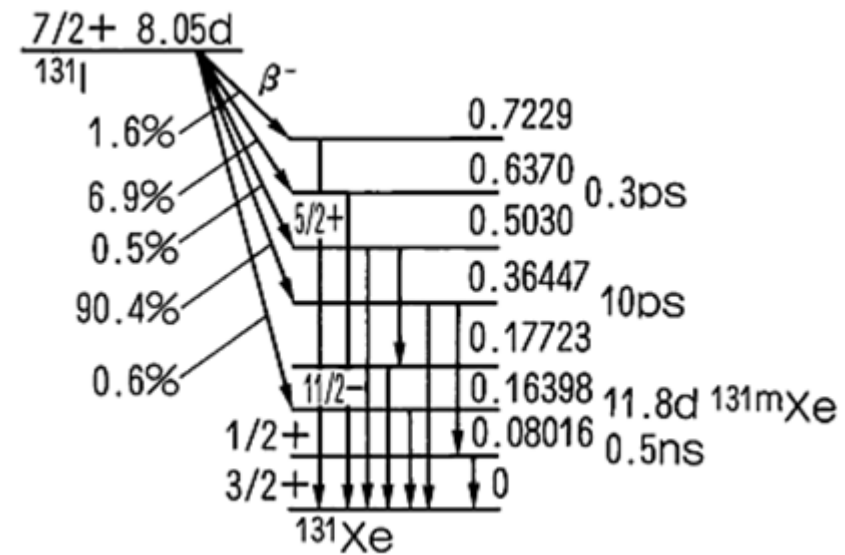


放射性ヨウ素

放射能をもつヨウ素で、数種類のものがある。特にヨウ素-131（半減期8.05日）、ヨウ素-133（半減期20.8時間）は、ウランの核分裂によって生成される。従って、**原子力発電所の事故では、最も注目される放射性核種である。**

チェルノブイル原子力発電所の事故では大気中に大量に放出され、幼児に大きな放射線障害（ヨウ素は、甲状腺に集まる特徴があるために、甲状腺被ばくによる甲状腺機能障害が発生）を引き起こした。

またこれとは反対に、ヨウ素-131は、医療用としても用いられ甲状腺機能検査、甲状腺機能亢進症（こうじょうせんきのうこうしんしょう； hyperthyroidism）や或る種の甲状腺ガンの治療に用いられる。

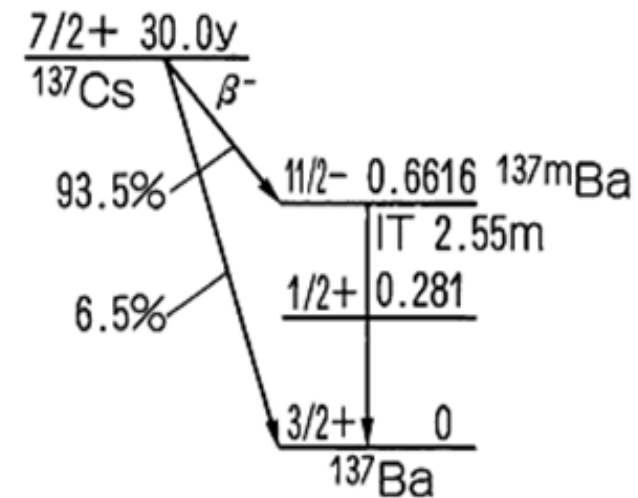


セシウム137

セシウム137 (^{137}Cs , caesium-137)はセシウムの放射性同位体で、主に核分裂により生成する。

30.0年の半減期を持ち、ベータ崩壊によりバリウム137の準安定同位体、すなわちバリウム137m ($^{137\text{m}}\text{Ba}$, Ba-137m)になる(93.5%の崩壊がこの同位体を作り残り6.5%が基底状態の同位体を作る。)

バリウム137mの半減期は約2.55分で、これはすべてガンマ崩壊によるものである。1グラムのセシウム137の放射能の量は3.215 テラベクレル (TBq)である。



セシウム137は、カリウムと同類の化学的性質を持ち筋肉に多く蓄積されます。筋肉部分の被ばくにより筋肉のガン(肉腫)の原因になると考えられます。

放射線の人体への影響



放射線の生体に与える影響(1)

放射線障害の過程

生体の死を導くような放射線の作用は複雑な課程をたどるが、一般的に次の順序に従う。

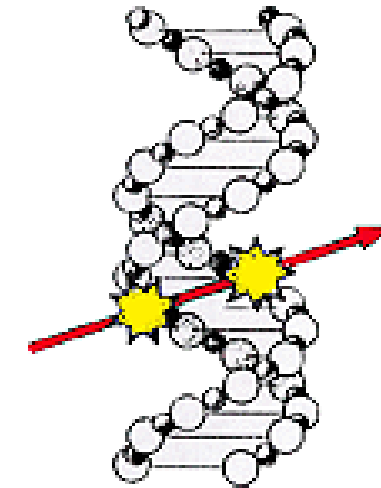
- 1) 物理的過程** 放射線が生体に照射されると、細胞内分子に電離あるいは励起の形でエネルギーが吸収される。(10⁻¹⁸~10⁻¹⁵秒)
- 2) 化学変化** 電離あるいは励起された分子が生体構成物質の化学変化を引き起こす。(10⁻¹²~10⁰秒)
- 3) 初期障害** 細胞構成物質の重要な分子(DNA、RNA、蛋白質等)の化学変化が起こる。(10⁻¹~10²秒)
- 4) 拡大過程** 初期障害が細胞内の物質代謝によって拡大され、検出可能な生化学的障害となる。(10⁻¹~10⁵秒)
- 5) 最終効果** 初期障害が拡大されると最終的に細胞死が起こる。さらに個体の死にも導く。

放射線の生体に与える影響(2)

直接作用と間接作用

1 直接作用

放射線が体を通過するとき、電離によってはじき出された電子が、細胞内の核を直撃して、その中にたたまこまれたDNA分子やその他の生体分子に衝突して傷つける。



2 間接作用

細胞の大部分は60～80%の水分を含むので、放射線が水と反応して水分がイオン化し、反応性の高い水酸遊離基(OHラジカル)を生じさせる。このラジカルがDNA分子や生体膜を傷つける。

DNAは2本の鎖状となっているので、損傷を受けるのが片方だけであれば自己修復されるが、2本とも傷つけられると修復は不可能となり、細胞分裂が不可能となる。

これが内臓で表れると臓器が機能しなくなるなど放射線障害となる。

特に、細胞分裂の速い骨髄の造血幹細胞などは放射線の影響を受けやすいとされている。

放射性物質と結びやすい臓器

放射性物質が体内に入ると、血液中に取り込まれさまざまな臓器に取り込まれる。
有名なのがヨウ素で、甲状腺という喉の部分に選択的に取り込まれる。

ヨウ素131が空気中に放出された際に、周辺住民に安定ヨウ素剤を投与するのは、甲状腺に吸収されるヨウ素に上限があることから、安全なヨウ素で満たし、ヨウ素131が甲状腺に吸収されないようにするためである。

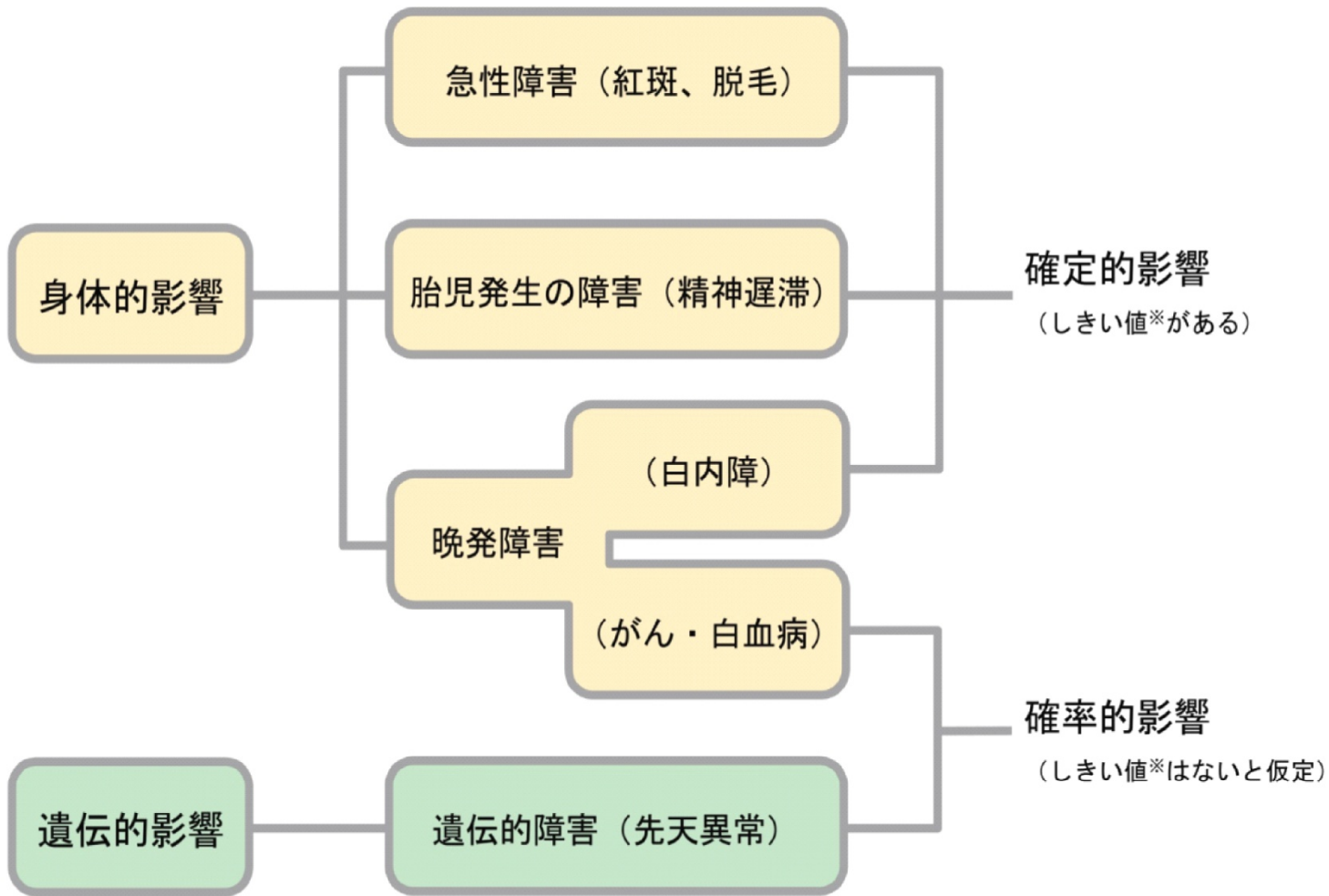
効果は、ヨウ素131に暴露する24時間前に服用すれば、ブロック率93%、8時間後でも40%と言われている。

ヨウ素131が甲状腺に蓄積されると、甲状腺がんや甲状腺機能低下を招くが、40歳以上では、被ばくによる甲状腺がんの誘発が認められないことから服用の対象とはならないが、妊婦の場合は服用の対象となる。

チェルノブイリ原発事故では、拡散したヨウ素131を牧草と一緒に食べた乳牛から搾乳された牛乳を子どもたちが飲用し、700件から1800件の甲状腺がんが発生したと言われている。

筋肉	セシウム137
肺	セシウム137、プルトニウム239、ラドン222
甲状腺	ヨウ素131
肝臓	セシウム137、コバルト60、トリウム232、アメリカシウム241
腎臓	セシウム137
骨	セシウム137、トリウム232、アメリカシウム241、ストロンチウム90、プルトニウム239、ラジウム226

放射線の人体への影響



※しきい値：ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

内部被ばくと外部被ばく

内部被ばくと外部被ばくでは、全身あるいは組織や臓器が受ける放射線の量が同じなら、それによる影響は同じです。

全身被ばくと部分被ばくでは、同じ線量なら全身被ばくの方が影響の程度は大きくなります。全身の場合、全ての組織・臓器が放射線を受けます。線量が多い場合、全ての組織・臓器に影響が出る可能性があります。

放射線が人体に影響を与える強さは、距離の二乗に反比例します。今回の福島第一原発でも、原子炉周辺ではγ線が放出されているが、被ばくが恒常的でない限り心配する必要はない。

しかし、今回の事故で、周辺県などでは、**微量ながら放射性物質が空中に漂っており、それを吸い込んだり、あるいは放射性物質を含んだ水や食物を口にすると、放射線の発生源を身体に取り込むことになる。**

体内に取り込んだ放射性物質は、血液を通じて各臓器に到達し、そこに留まり、体外に排出されるまでの間、放射線を出し続ける。

内部被ばくの程度 例：
飲料水のヨウ素の基準値(成人) 300Bq/kg
1日に2リットルの水を飲み、600Bqを摂取した場合

$$600\text{Bq} \times 2.2 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq} = 1.32 \times 10^{-5} \text{ Sv}$$

100日間摂取した場合 1.32mSv

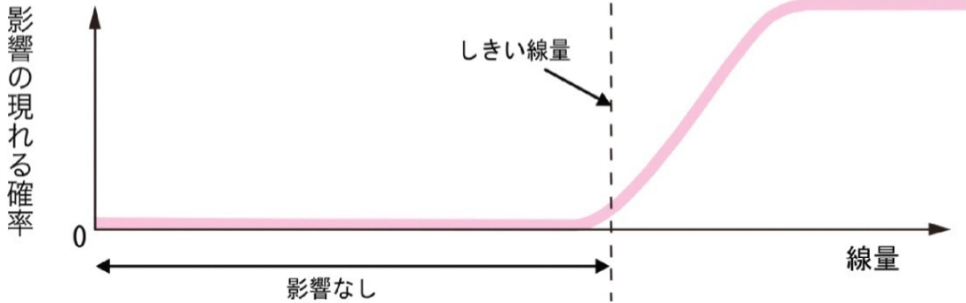
緊急時に考慮すべき放射性核種に対する実効線量係数

核種	半減期	経口摂取 (Sv/Bq)	吸入摂取 (Sv/Bq)
I-131	8.04日	2.2×10^{-8}	7.4×10^{-9}
Cs-137	30.0年	1.3×10^{-8}	3.9×10^{-8}
Pu-239	2.41万年	2.5×10^{-7}	1.2×10^{-4}
Sr-90	29.1年	2.8×10^{-8}	1.6×10^{-7}

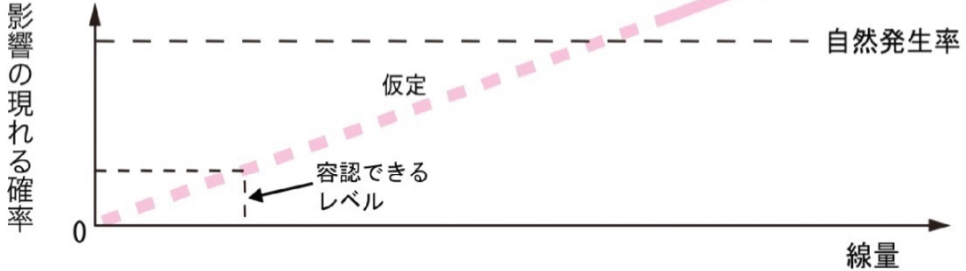
放射線防護の考え方

確定的影響は、しきい線量以下に抑えることで影響をなくす。
確率的影響は、しきい値※は無いと仮定し、合理的に線量を低くすることで影響の現れる確率を容認できるレベルにする。

〔確定的影響（脱毛・白内障等）〕



〔確率的影響（ガン・白血病等）〕

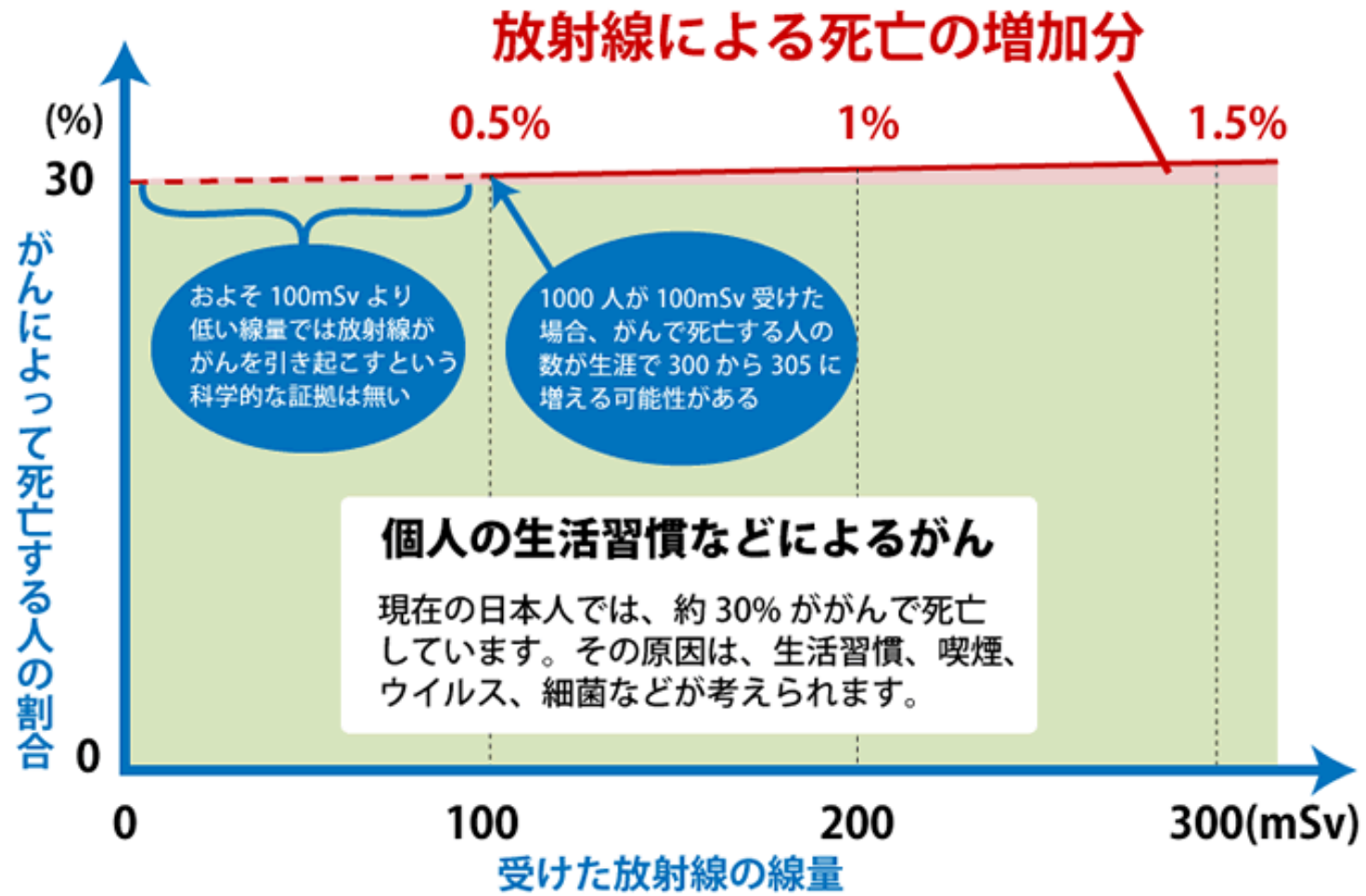


※しきい値：ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと



放射線によるがん・白血病の増加

放射線によるがん・白血病の増加



放射線の生体に与える影響(3)

ベルゴニー・トリボンドーの法則

「放射線に対する細胞の感受性は、増殖の活動力の程度に比例し、分化の程度に比例する。」

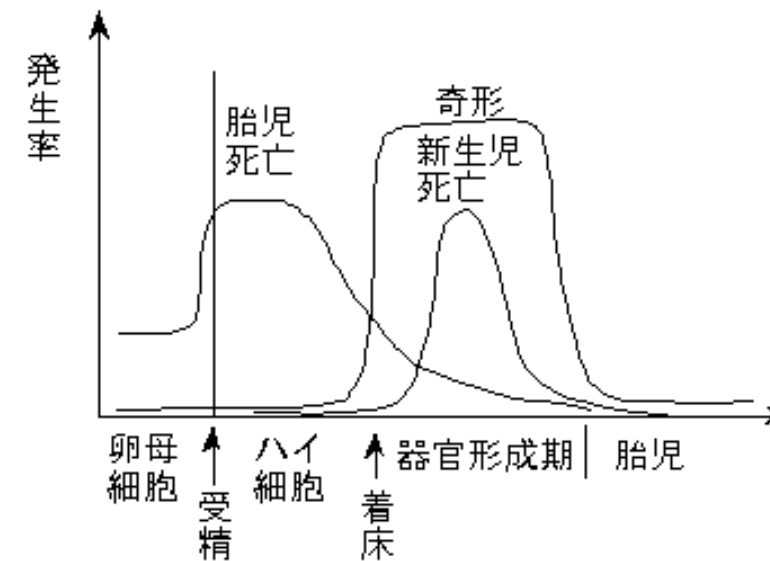
胎児、小児：高感受性

成体

- 高感受性：生殖腺、骨髄、胸腺リンパ組織、ひ臓
- 中程度の感受性：皮膚、腸上皮、眼
- 低感受性：筋肉、結合組織、中枢神経、脂肪組織

胎内被ばく(胎児への影響)

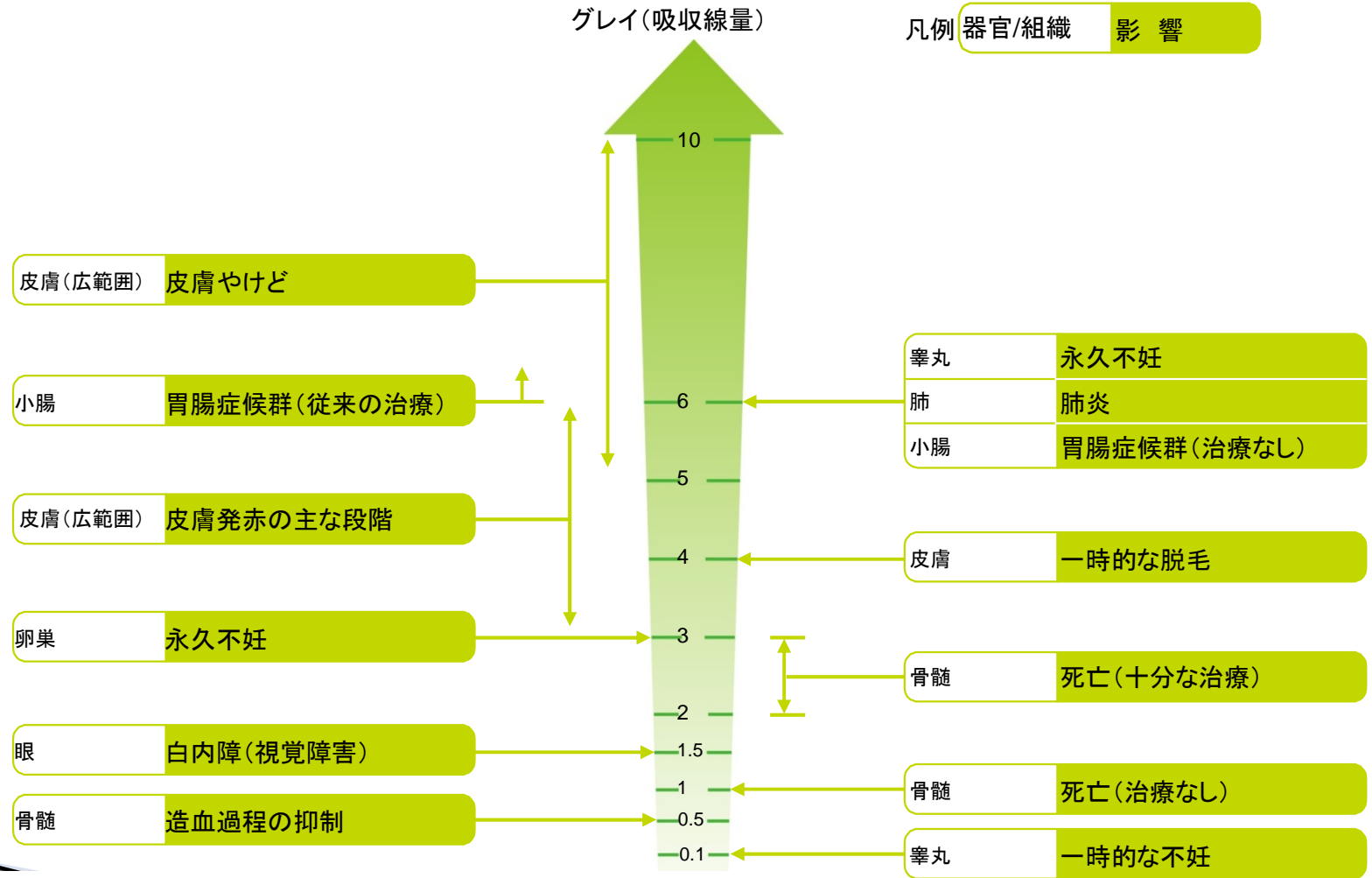
着床前期	~受精8日まで	流産のしきい値： 100mSv
器官形成期	~受精8週まで	奇形発生のしきい値： 150mSv
胎児期	~受精25週まで	精神発達障害のしきい値： 200~400mSv
	~受精40週まで	発達障害のしきい値： 500~1,000mSv



妊娠各時期に高線量被爆したときの胎児の異常発生率

放射線を受けたときの人体への影響

罹患率と死亡率が1%になる予測推定しきい値※



※しきい値:ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

出典:ICRP「Pub.103」



放射線の人体への影響

影響	分類1		分類2		分類3	
	確定的 影響	確率的 影響	急性 影響	晩発 影響	身体的 影響	遺伝的 影響
白血球減少						
不妊						
胎児奇形						
皮膚紅斑・脱毛						
白内障						
がん						
子孫の異常		?		?		?

確定的影響としきい線量（1）

標的組織	症 状	しきい線量 (Gy)	分類	
骨髓	白血球減少 (感染症)	0.5	急性影響 身体的影響	
	赤血球減少 (貧血)	2 - 6		
	血小板減少 (出血)	2 - 6		
不妊	男性	一時的不妊	0.15	急性影響 身体的影響
		永久不妊	3.5 - 6	
	女性	一時的不妊	0.65 - 1.5	
		永久不妊	2.5 - 7	
眼	水晶体混濁	0.5 - 2	晩発影響 身体的影響	
	白内障	5		

確定的影響としきい線量（2）

標的組織	症状	しきい線量 (Gy)	分類
胎児	胚死亡 流産	0.05 - 0.1	急性影響 身体的影響
	奇形	0.1	
	精神発達遅延	0.12 - 0.2	
皮膚	一時的紅斑	2	急性影響 身体的影響
	一時的脱毛	3	
	壊死	18	

放射線ホルミシス効果

通常、がんの治療には、がん細胞の死滅を期待できるほど強い放射線が用いられているが、弱い放射線であってもがん細胞の増殖を抑える作用があるのではないかなど、放射線による良い効果があるという考え方がある。

放射性物質を含む温泉(放射能泉)が湧き出る地域では、他の地域に比べて、がんで亡くなる人が少ないと言われている。

例:世界有数の放射能泉として知られる鳥取県の三朝(みささ)温泉周辺では、がんで死亡する率が有意に低いと報告されている。

こうした生物に対する放射線の良い効果は、「放射線ホルミシス」と呼ばれており、がんの発症を抑える作用だけでなく、免疫力を高める、寿命を延ばすといった作用も報告されている。ただし、懐疑的な見解を示す研究者もあり、放射線ホルミシスの有無については今なお議論が続いている。

低線量の長期被ばく

確率的影響は、しきい値はないという前提になっている。しきい値がないため、低い線量でも長期間被ばくが続くと、発がんのリスクが高まると考えられる。

しかし、**低線量の被ばくでは統計的に有意な差を持って影響が表れてこないことから、どの程度発がんのリスクが高まるかは明らかになっていない。**放射線以外にも身の回りには発がんのリスクを高めるものがあるため、それらの影響と区別することができず、低線量の長期被ばくによる発がんリスクを評価することができない。

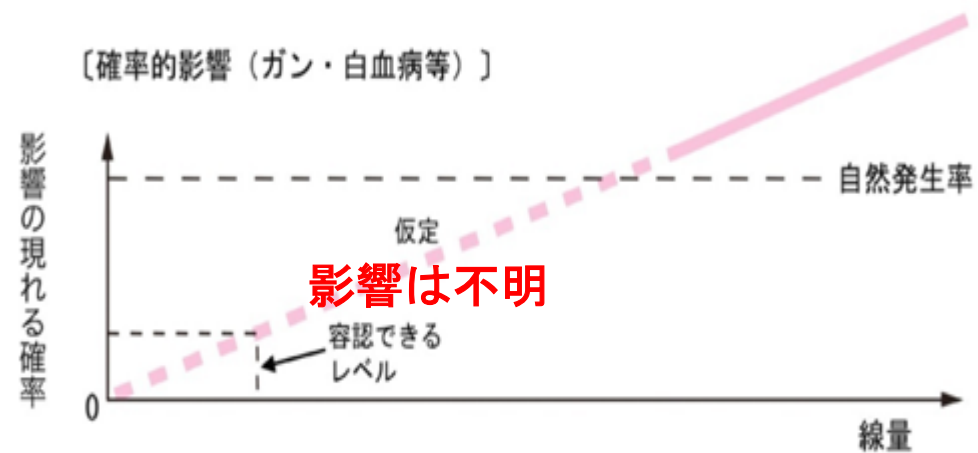
不安に感じるかもしれないが、

日本の平均1.5mSvを大きく上回る、10mSv以上の自然放射線が測定されている地域でも、発がんリスクが他の地域に比べて高かったという事実は確認されていない。



「無害とは言い切れない。」

「過剰な心配は無用だが、絶対安全とは言い切れない。」



低線量放射線の健康影響について

平成23年5月20日
原子力安全委員会事務局

標記に関する原子力安全委員会の考え方について説明いたします。
放射線の健康影響は、「**確定的影響**」と「**確率的影響**」に分類されます。

「**確定的影響**」は、比較的高い線量を短時間に受けた場合に現れる身体影響で、ある線量(閾値)を超えると現れるとされています。比較的低い線量で現れる確定的影響として、男性の一時不妊(閾値は0.15Gy、ガンマ線で150mSv相当)や、リンパ球の減少(閾値は0.5Gy、ガンマ線で500mSv相当)があります。100mSv以下では確定的影響は現れないと考えられます。

一方、「**確率的影響**」には、被ばくから一定の期間を経た後にある確率で、固形がん、白血病等を発症することが含まれます。がんのリスクの評価は、疫学的手法によるものが基礎となっています。広島や長崎で原子爆弾に起因する放射線を受けた方々の追跡調査の結果からは100mSvを超える被ばく線量では被ばく量とその影響の発生率との間に比例性があると認められております。一方、100mSv以下の被ばく線量では、がんリスクが見込まれるものの、統計的な不確かさが大きく疫学的手法によってがん等の確率的影響のリスクを直接明らかに示すことはできない、とされております。このように、100mSv以下の被ばく線量による確率的影響の存在は見込まれるものの不確かさがあります。

そこでICRPは、**100mSv以下の被ばく線量域を含め、線量とその影響の発生率に比例関係があるというモデルに基づいて放射線防護を行うことを推奨しております。**また、このモデルに基づく全世代を通じたがんのリスク係数を示しております。**それは100mSvあたり0.0055(100mSvの被ばくはがん死亡のリスクを0.55%上乗せする。)**に相当します。

2009年の日本人のがん死亡率は約20%(がん罹患率(2005年)は約50%)で、年々変動しております。また、地域毎、がんの種別毎のがん死亡率の変動もあります。100mSvの被ばくによるがん死亡率は、その変動の範囲の中にあるとも言えます。

放射線防護基準

	職業被ばく	公衆被ばく
計画被ばく状況	5年平均で20mSv/年	1mSv/年

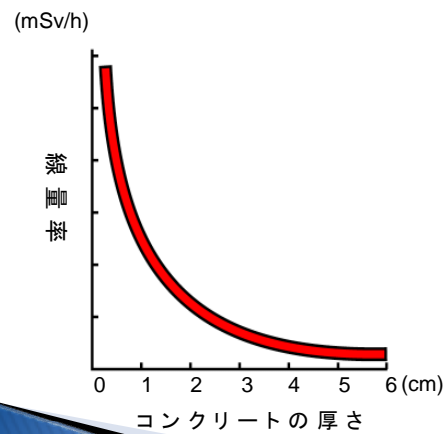
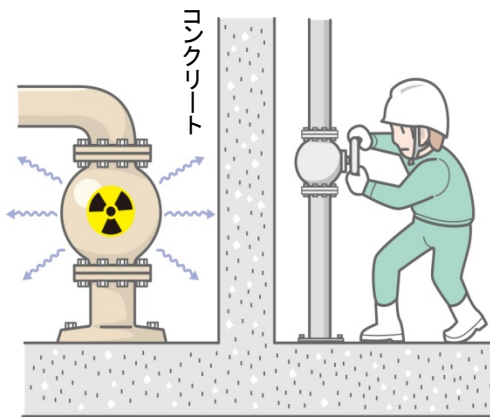
ICRP 推奨(2011年3月21日付、ICRP ref:4847-5603-4313)

- ・ 緊急時に一般の人々を防護するためには、委員会は参考レベルを、最も高いところで回避線量が20-100mSv の範囲になるように国内当局が設定すること。
- ・ 放射線源が制御できたとしても、汚染地域は依然残りうる。人々がその地域を放棄することなく住み続けることができるよう、当局が必要なあらゆる防護策を講じることが一般的であろう。その場合は、委員会は1年間に1-20mSv の範囲の参考レベルを選択し、長期目標として参考レベルを年間1mSv とすることを引き続き勧告する。

原子力安全員会は、公衆の回避線量について年間20mSvを導入。
居住の参考レベルは未定(最大20mSv?)

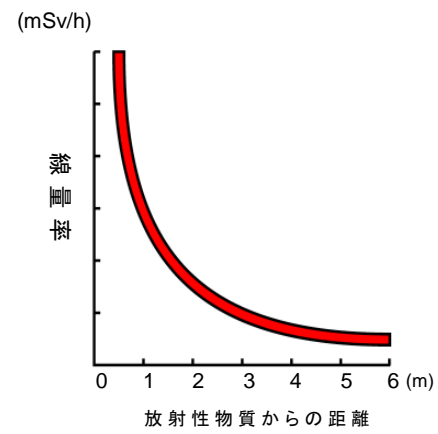
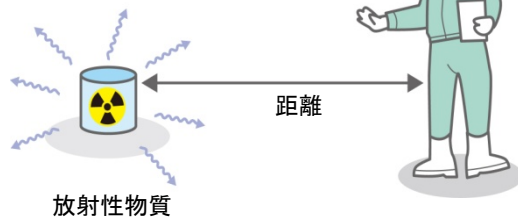
放射線防護の基本

1. 遮へいによる防護



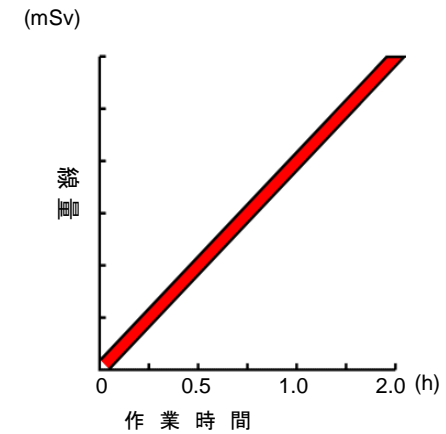
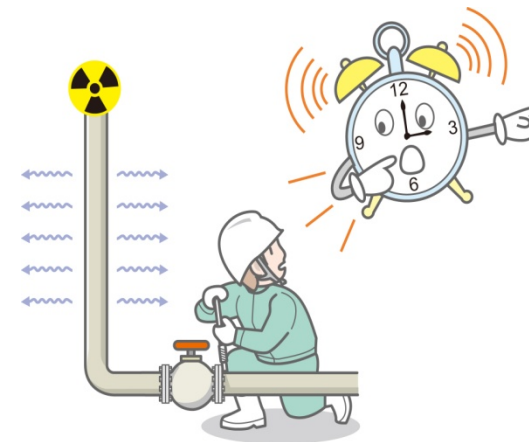
2. 距離による防護

$$(\text{線量率}) = (\text{距離})^2 \text{に反比例}$$



3. 時間による防護

$$[\text{線量}] = [\text{作業場所の線量率}] \times [\text{作業時間}]$$



原子力発電所



日本と世界の原子力発電所

2011年 日本原子力産業協会

- 日本の原子力発電所の数 54基 (世界第3位)

2011年5月15日現在の状況

54基中

運転中	17基
定検停止中	19基
停止中	12基
事故収束作業中	4基
その他	2基

- 世界の原子力発電所の数 436基

アメリカ 104基 (第1位)

フランス 58基 (第2位)

福島第一原子力発電所

1971年(昭和46年)
3月26日:1号機の
営業運転を開始する。

1号機

出力 46.0万KW

燃料 二酸化ウラン

2号機

出力 78.4万KW

燃料 二酸化ウラン

3号機

出力 78.4万 KW

MOX燃料

(プルサーマル)

4号機

出力 78.4万 KW

燃料 二酸化ウラン

5号機

出力 78.4万 KW

燃料 二酸化ウラン

[全て沸騰水型軽水炉]

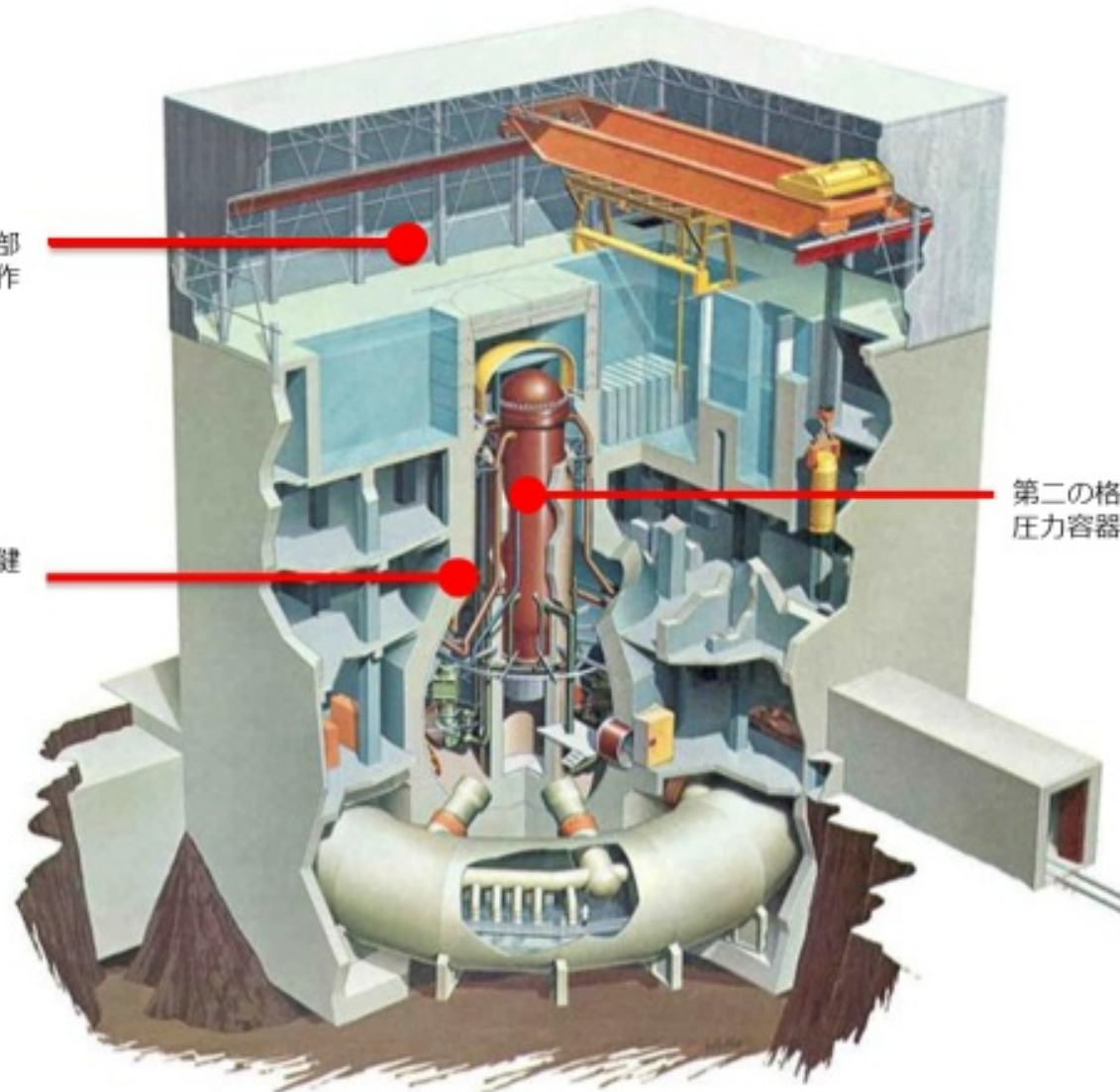


放沸騰水型原子炉

水素爆発によって吹っ飛んだ上部構造体。燃料交換等に利用する作業場。

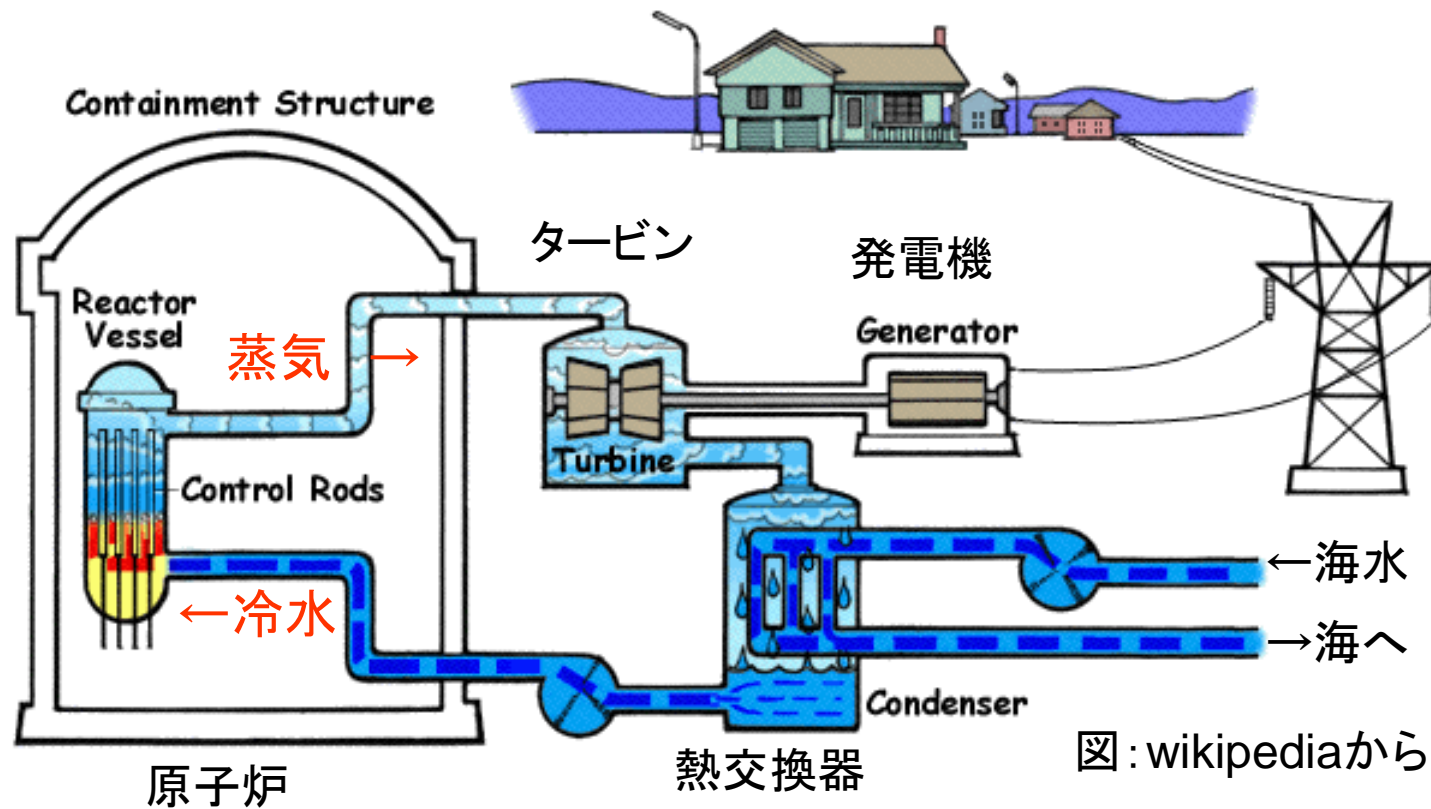
メインとなる第三の格納容器。健全性は確保されている。

第二の格納容器といえる圧力容器



沸騰水型原子炉（BWR）透視図

福島第一原子力発電所の原理



原子炉でお湯を沸かし、蒸気圧でタービンを回して発電
発電後、熱交換器で冷却して原子炉に戻す

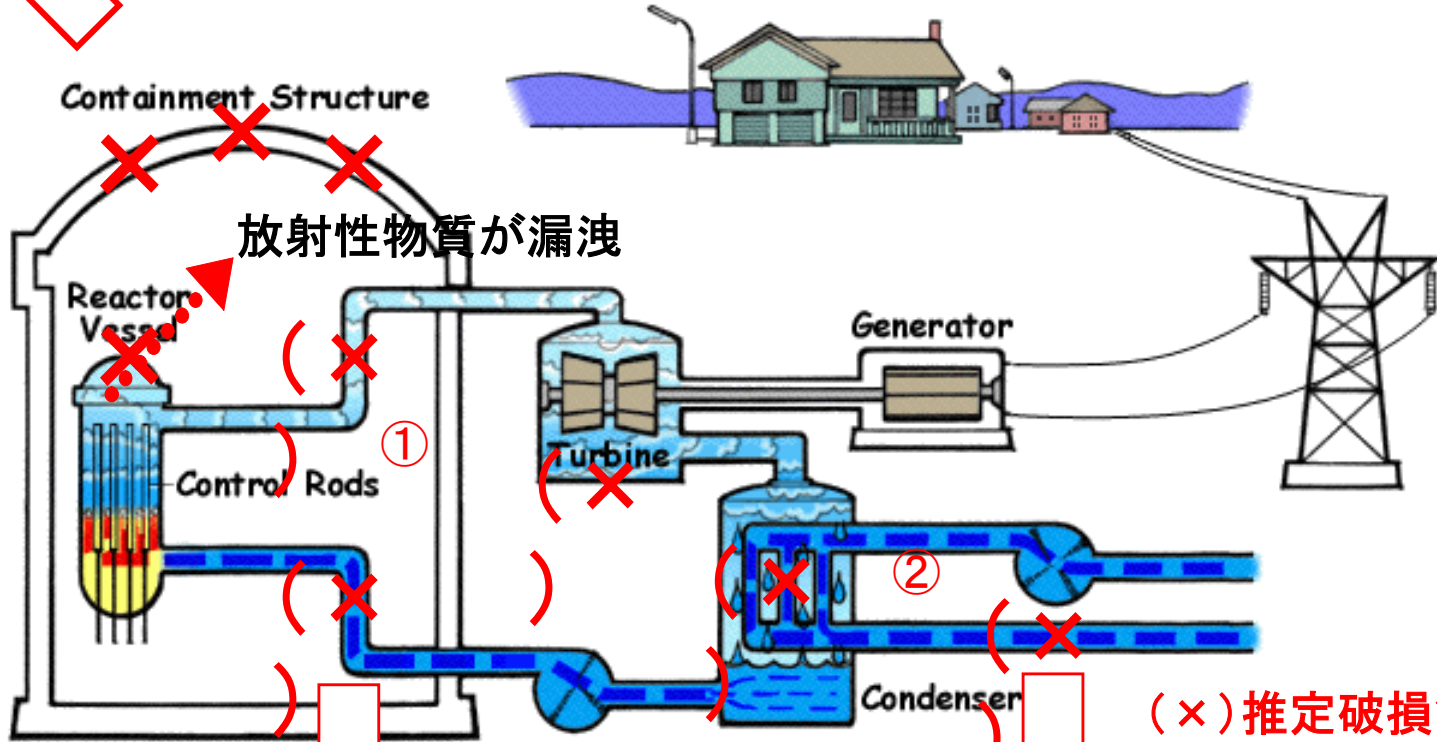
この1次循環系は高濃度の核物質に汚染されている
冷却に使われる海水（2次循環系）は汚染されない

福島第一原子力発電所の事故状況

(推定を含む)

セシウム・ヨウ素の飛散

水素爆発



× 破損箇所

①高濃度汚染水

②低濃度汚染水

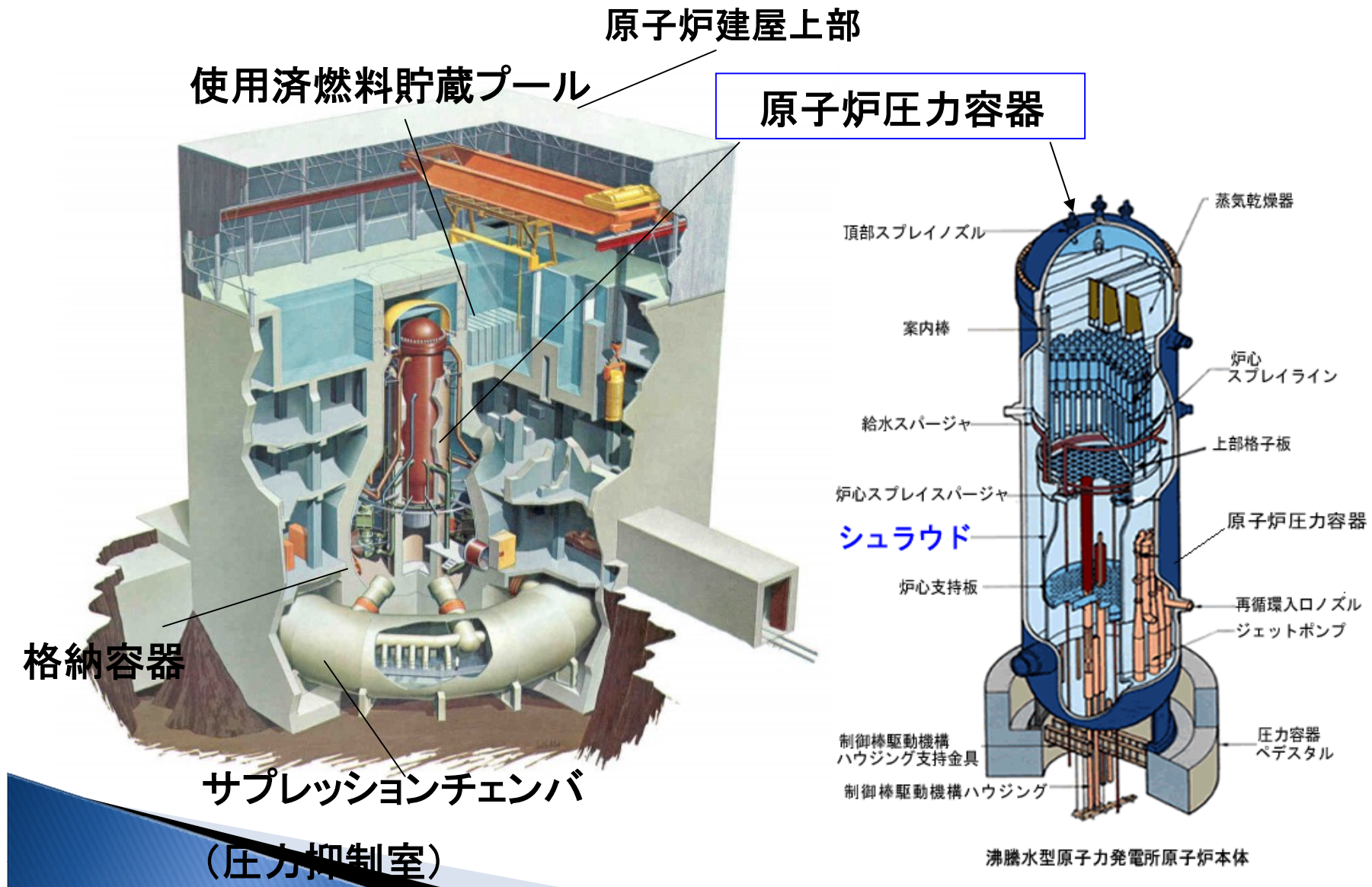
1次循環系と熱交換器による核物質の飛散につながっている
Gifu Prefecture



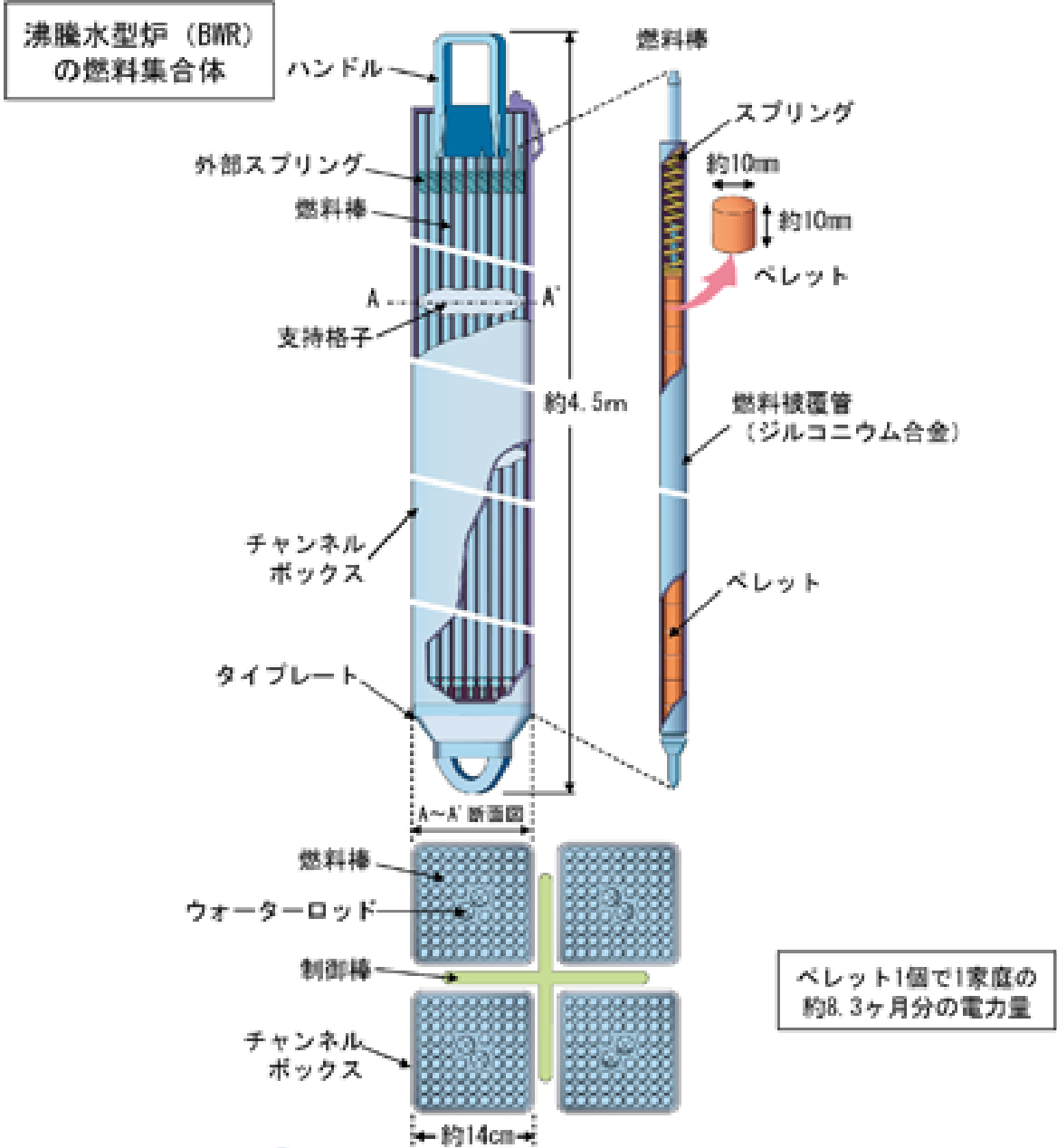
福島第一原発自体が放射線廃棄物



沸騰水型原子炉(BWR)の構造

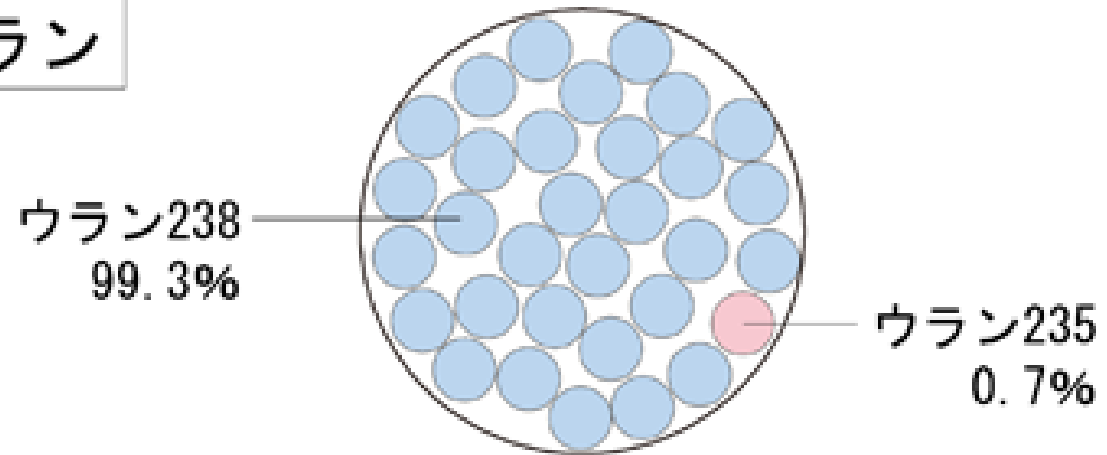


燃料集合体の構造と制御棒

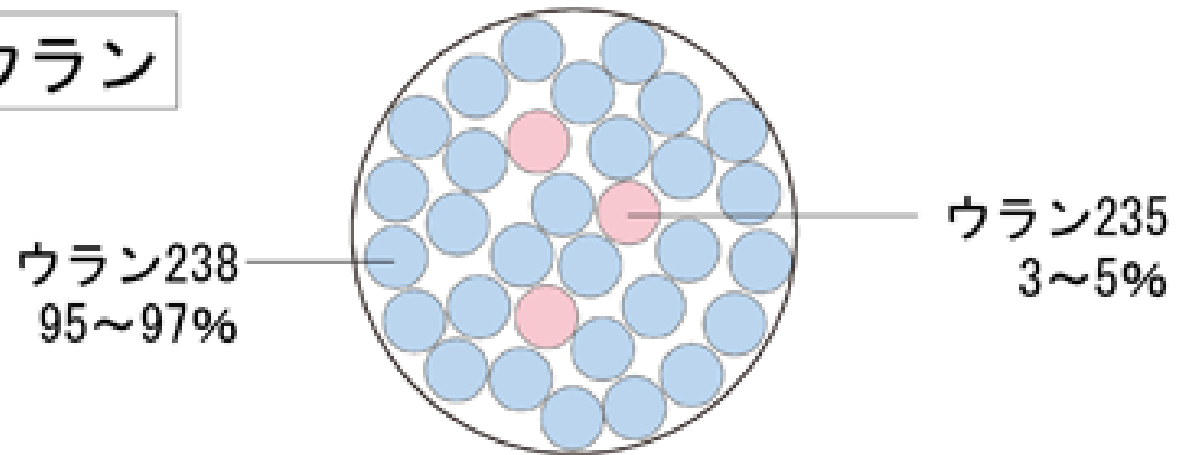


天然ウランと濃縮ウラン

天然ウラン

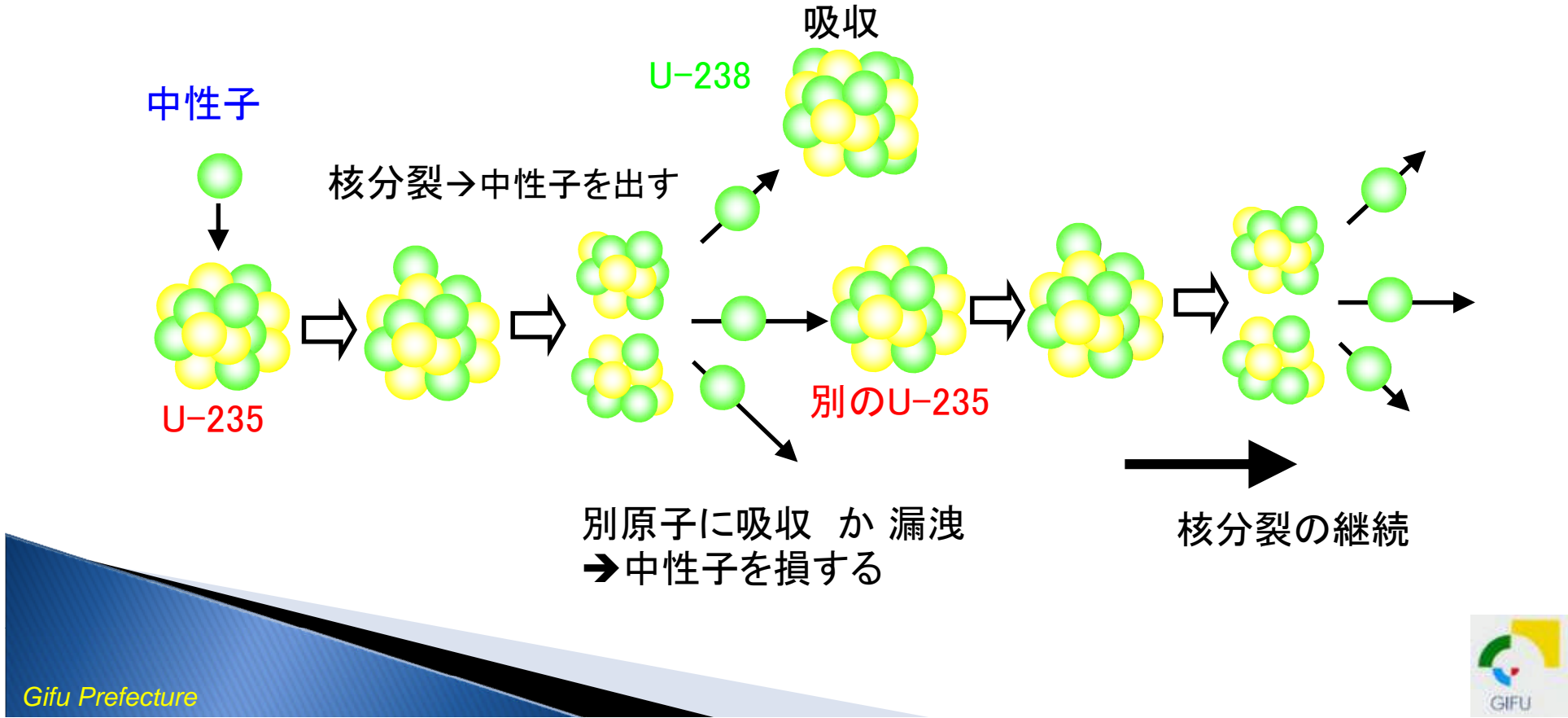


低濃縮ウラン

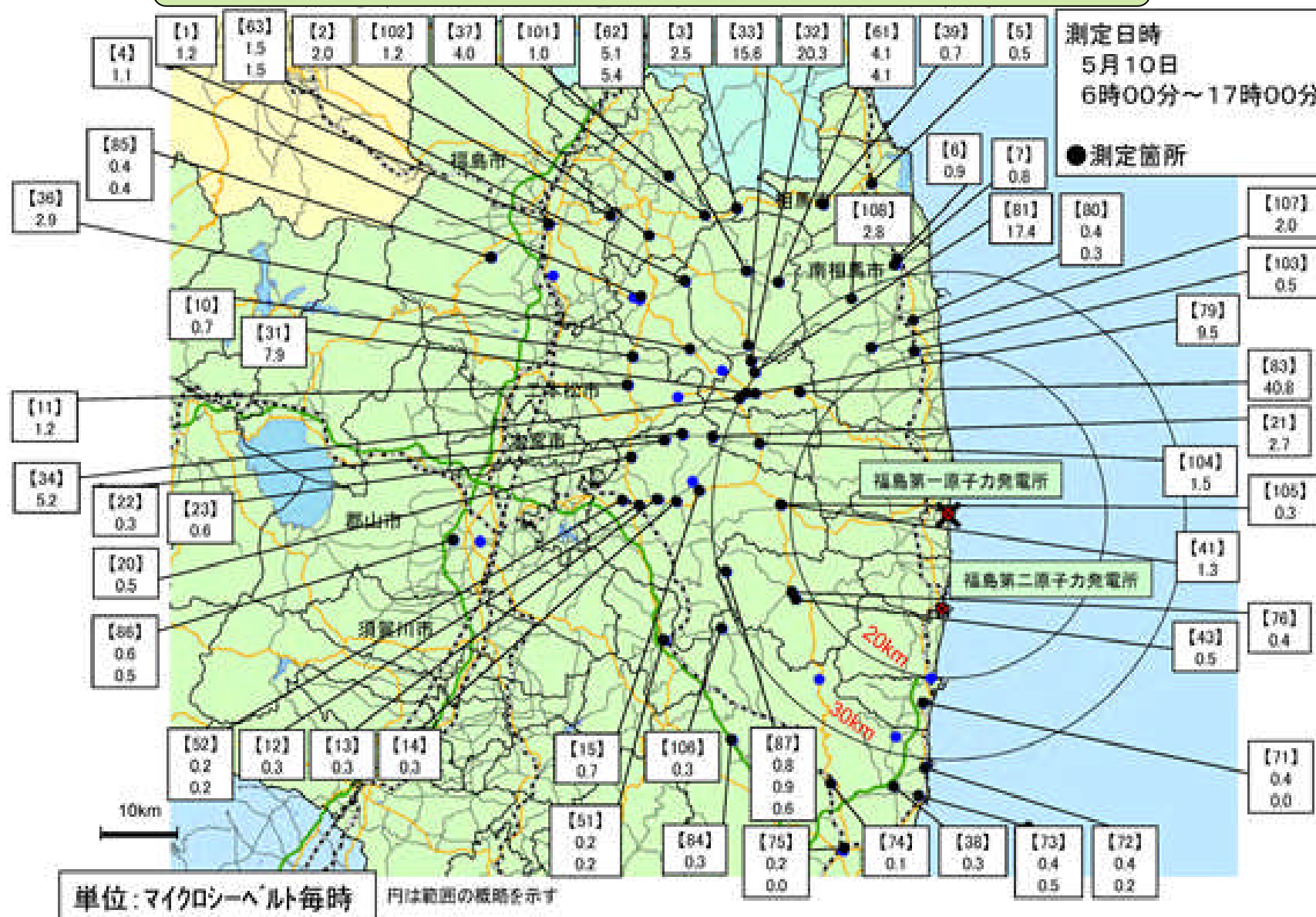


連鎖反応(核分裂反応の継続)

核分裂が継続する条件
核分裂で生成した中性子の内の少なくとも1個以上は次の核分裂に使われること
臨界→核分裂の連鎖反応が一定の割合で持続している状態



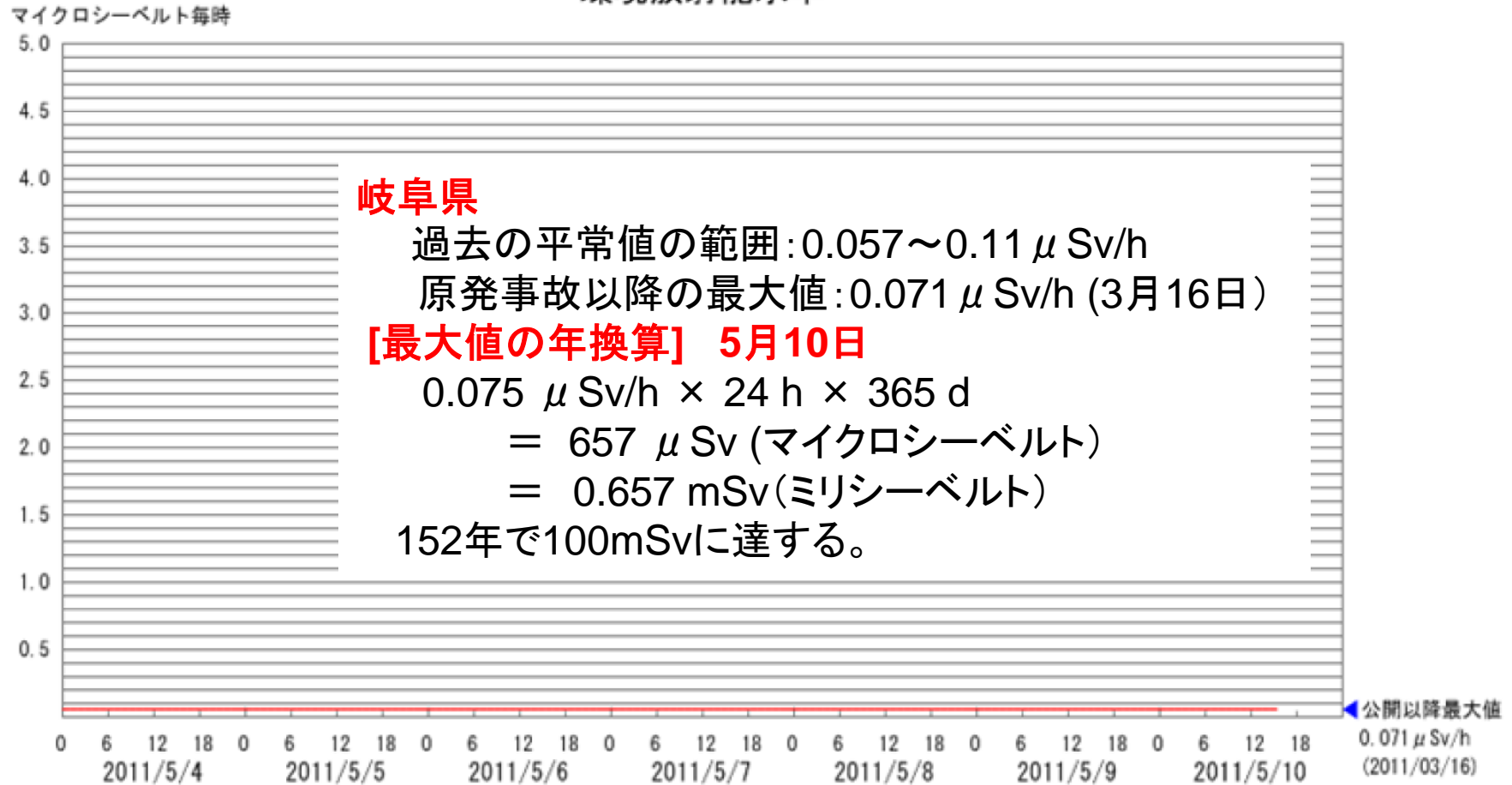
福島県の環境放射能水準



岐阜県の環境放射能水準

2011/05/10 20:36 生成

岐阜県（各務原市）
環境放射能水準



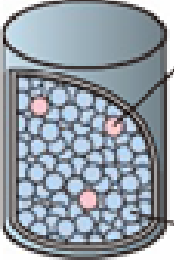
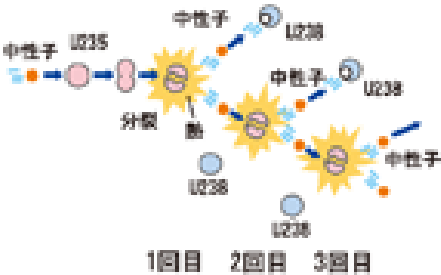
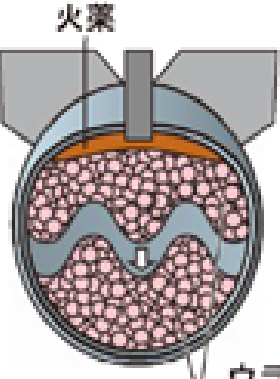
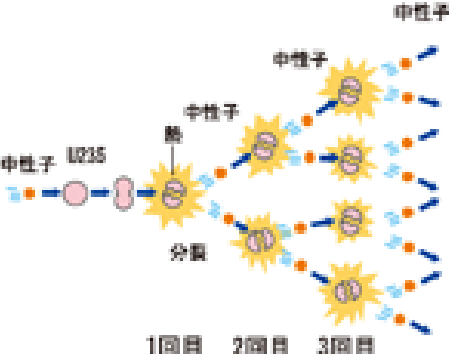
過去の平常値の範囲: 0.057 ~ 0.11

5マイクロシーベルトは、原子力災害対策特別措置法において通報事象の発生(第10条通報)とされる値

本データは、1 μ Gy/h(マイクログレイ毎時)=1 μ Sv/h(マイクロシーベルト毎時)と換算して算出

文部科学省環境放射能水準調査に基づき作成

原子力発電と原子爆弾の違い

	ウラン235とウラン238の割合と核分裂連鎖反応	核分裂数の制御の方法
原子力発電の場合	<p>ウラン235の割合が低く、中性子がウラン238に吸収される等の理由により核分裂が一定の規模で継続する。</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>ウラン235 (3~5%)</p> <p>ウラン238 (95~97%)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>1回目 2回目 3回目</p> </div> </div>	<p>制御棒が多数設置されており、また自己制御性があるため急激に核分裂数が増加することはない。</p>
原子爆弾の場合	<p>ウラン235の割合がほぼ100%と高いため、中性子が他の物質に吸収されず、核分裂が次々起こり、一瞬のうちに爆発的なエネルギーが放出される。</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>火薬</p> <p>ウラン235 (ほぼ100%)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>1回目 2回目 3回目</p> </div> </div>	<p>制御棒が設置されておらず、自己制御性がないため、急激に増加する核分裂を止めることはできない。</p>