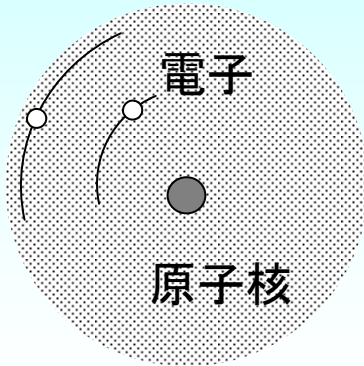


原子の大きさと構造

原子



$\sim 10^{-10}$ m
(1 Å)



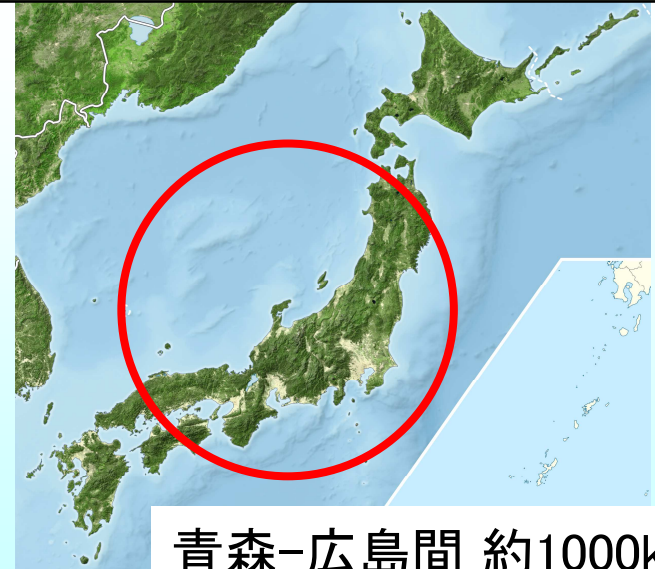
原子を1円玉の大きさまで拡大すると...

1円玉が本州を覆うぐらいの大きさになる



1×10^{-2} m (1cm)

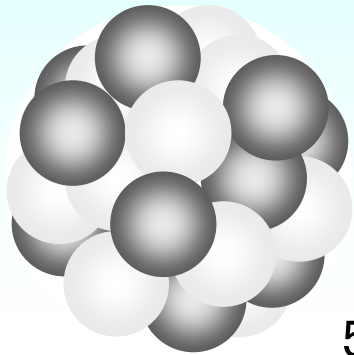
10^8 倍に拡大



青森-広島間 約1000km

原子の大きさと構造

原子核



$5 \times 10^{-15} \text{ m}$

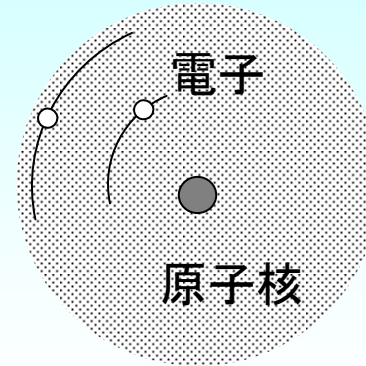


陽子



中性子

10^{-15} m (fm)



原子

$\sim 10^{-10} \text{ m}$
(1 Å)

原子核を1円玉の大きさまで
拡大すると...



$1 \times 10^{-2} \text{ m (1cm)}$

2×10^{12} 倍に拡大

原子は東京ドームぐらいの
大きさになる

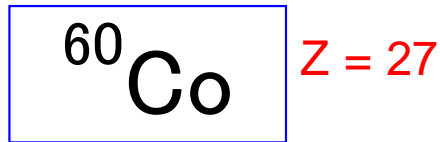
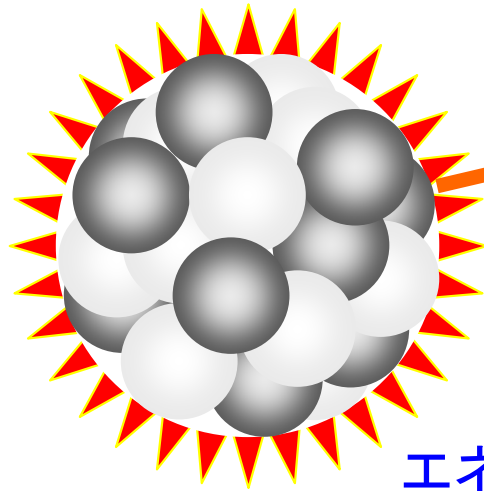


200m

1cmの一円玉は $2 \times 10^7 \text{ km}$ となり、
 $1.4 \times 10^6 \text{ km}$ の太陽より大きくなる

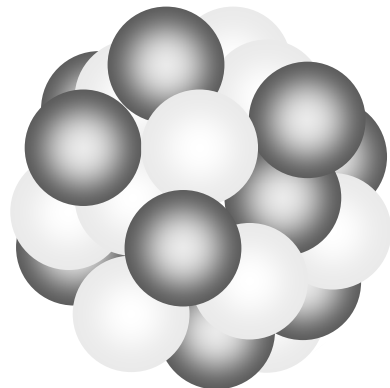
放射線の正体

不安定な原子核 (放射性同位元素)



エネルギーをはき出して
安定になります

安定な原子核へ



放射線

放射線(エネルギーの運び手)は
粒子又は光の仲間です。



アルファ線

アルファ粒子
(ヘリウムの原子核と同じ物)



ベータ線



中性子線



エックス線
ガンマ線

光子
(電磁波、光の仲間)

別の元素に変化する!

錬金術師が煮ても焼いても変化
しなかった原子が自然に変化する!



元素の周期表 The Periodic Table

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 Aluminium 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 39.878
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 54.9380	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 102.905	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(ズ) Tin 118.710	51 Sb アンチモン Antimony 121.760	52 Te テルル Tellurium 127.60	53 I 沃(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 178.486	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mium 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 207.1	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 プラセオジム Praseodymium 140.908	60 Nd ネオジム 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 ユロピウム 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 イッテルビウム 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 バークリウム 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]

表の見方

セル内の表記

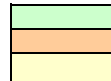
原子番号 元素記号

元素名(日本語)

元素名(英語)

原子量

セルの色



の元素は、単体の物質が**金属**的性質(光沢がある、電気や熱をよく通す、陽イオンになりやすい、など)を持つ。

の元素は、単体の物質が**非金属**的性質を持つ。

の元素は、単体の物質がその中間の**(半導体的、半金属的)**性質を持つ、ことを示す。

参考文献

国立天文台編「理科年表 2024年版」、丸善

日本化学会 原子量表(2024) ... 他

[元素記号の色]

赤字は、単体の物質が常温・常圧(25°C、1気圧)で**気体**。

青字は、単体の物質が常温・常圧で**液体**。

黒字は、単体の物質が常温・常圧で**固体**である、ことを示す。

※ 原子量が範囲で示される元素の原子量は、簡単のため、範囲の中間値を記した。

※ 安定同位体がなく、天然で特定の同位体組成を示さない元素については、その元素の放射性同位体の質量数の一例を [] 内に記した。

放射性同位元素 (ラジオアイソトープ、RI)

原子核の種類(核種)

原子番号 55
セシウム

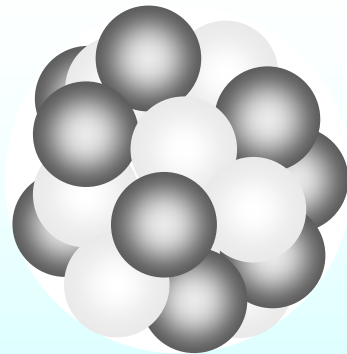
陽子



55個

自然にある
安定な原子核

^{133}Cs



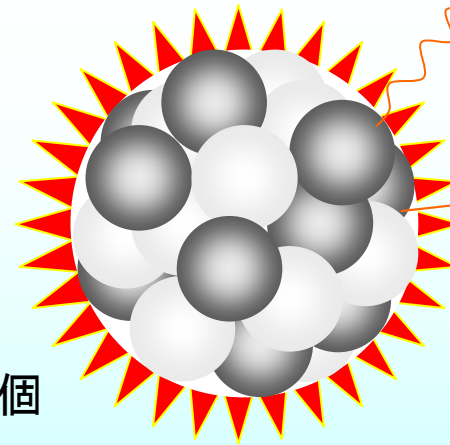
中性子



78個

原子炉で作られた
不安定な原子核

^{137}Cs



中性子



82個

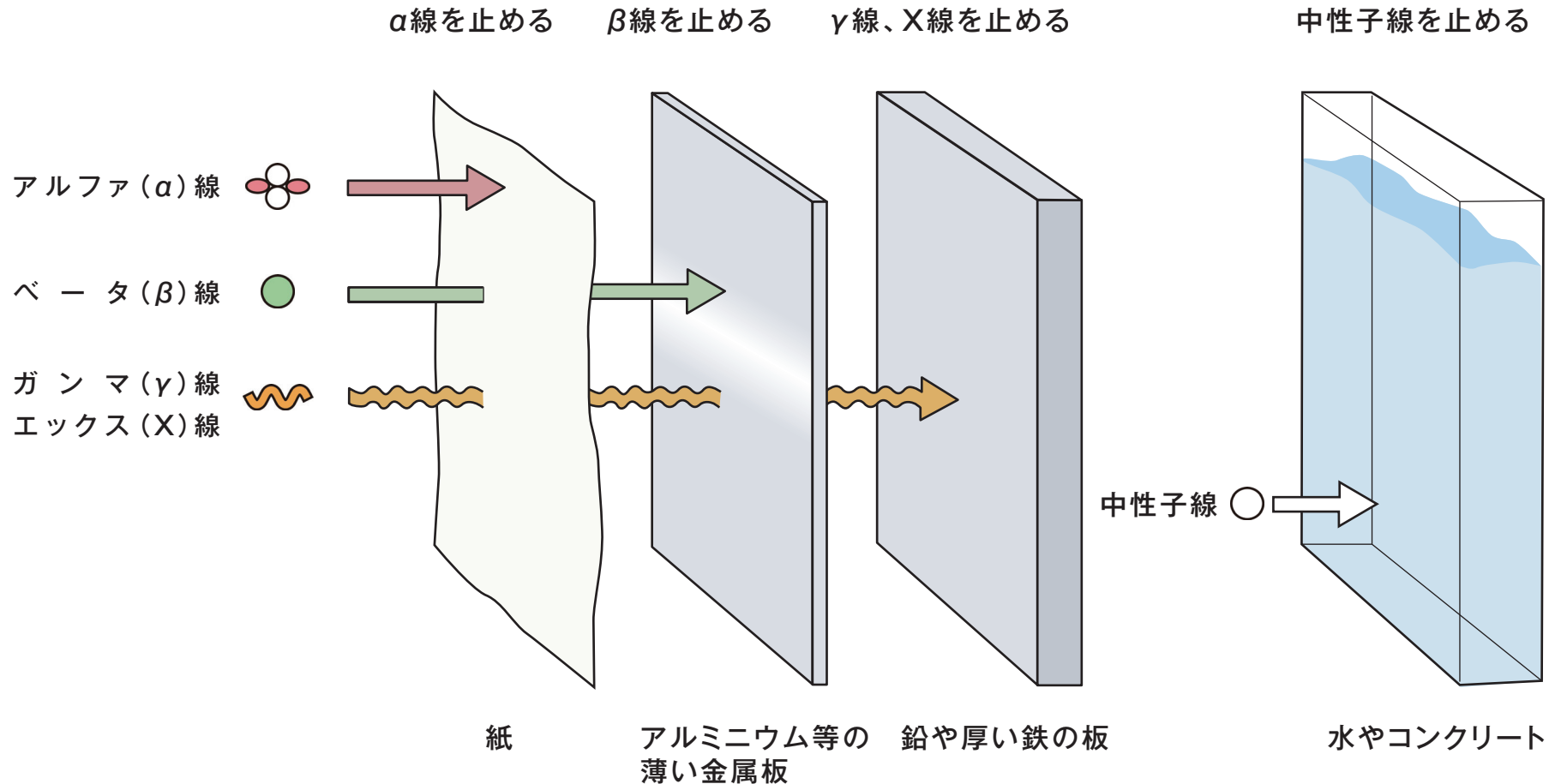
ガンマ線

ベータ線

中性子79個の ^{134}Cs も放射性だが、 β 線・ γ 線のエネルギー、本数も寿命も異なる全くの別物

放射線の種類と透過力

線は紙一枚で止まってしまうますが、逆に言うと紙一枚の厚さの範囲に持っているエネルギーを全部一気に放出してしまうため、体の中で線を出されるととても影響が大きくなります。

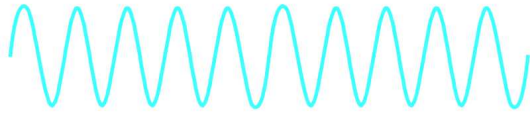


線は水の中(=体の中)を最大で2mm弱進むことが出来、細胞から見ると比較的広い範囲にエネルギーを落としていき、また体の外から来た場合はほとんど皮膚で止まります。

線は透過能力は高く、遠くから飛んできて体の中までやってきますが、逆に体内で放出されてもほとんど素通りしていきます。

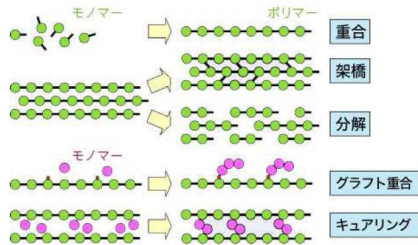
エネルギー 大

ガンマ線、エックス線



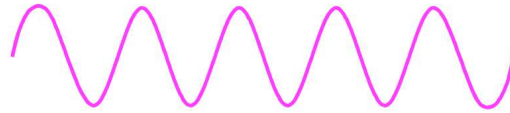
電離作用

原子核
電子
放射線



エネルギーの大きいガンマ線やエックス線は、物体の中を突き抜けていき、その途中の原子の周りの電子を弾き飛ばす働きがあります。この力を使って、注射器などの医療用の器具を滅菌したり、様々な機能を持った高分子化合物を作ったりすることが出来ます。

紫外線



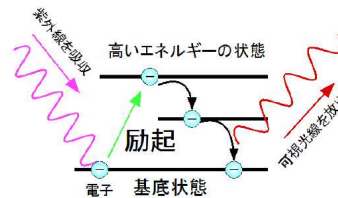
< 太陽光線の種類 >

UVC はオゾン層で吸収されるため地表には届かない。

200	280	320	400	760	nm
UVC	UVB	UVA	可視光線	赤外線	
短波長紫外線	中波長紫外線	長波長紫外線	可視光線	赤外線	
殺菌作用	皮膚炎の原因	皮膚老化の原因	目覚まし	暖かくなる	

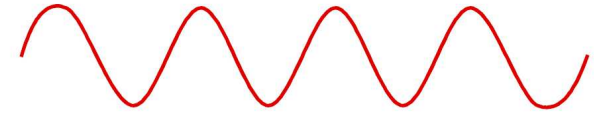
1nm (ナノメートル)=100万分の1mm

※イメージ図



可視光線よりも少しエネルギーの高い紫外線は、目には見えませんが、物体の中の電子に少しだけエネルギーを与えて「励起(れいき)」させることが出来、日焼けの原因になったり、「UVレジン」と言う接着剤を固めてアクセサリーを作ったり、ウランガラスなどの蛍光体を光らせることが出来ます。

エネルギー 小 可視光線



CO₂ → O₂

H₂O

目で見える光、可視光線は波長が長くエネルギーの低い赤から、波長が短くエネルギーの高い紫までの間で、虹の七色のように見え方が異なります。光も電磁波の一種ですから少し電子を励起して、写真フィルムを感光させたり、太陽光発電を行ったり、植物の葉緑体の中で光合成を行うなどのパワーを持っています。波長(波の長さ)と位相(波の位置)の揃った光のことを、レーザー光線と言い、強度(波の高さ)がとても強く、遠くまでまっすぐ飛ぶなどの性質があります。

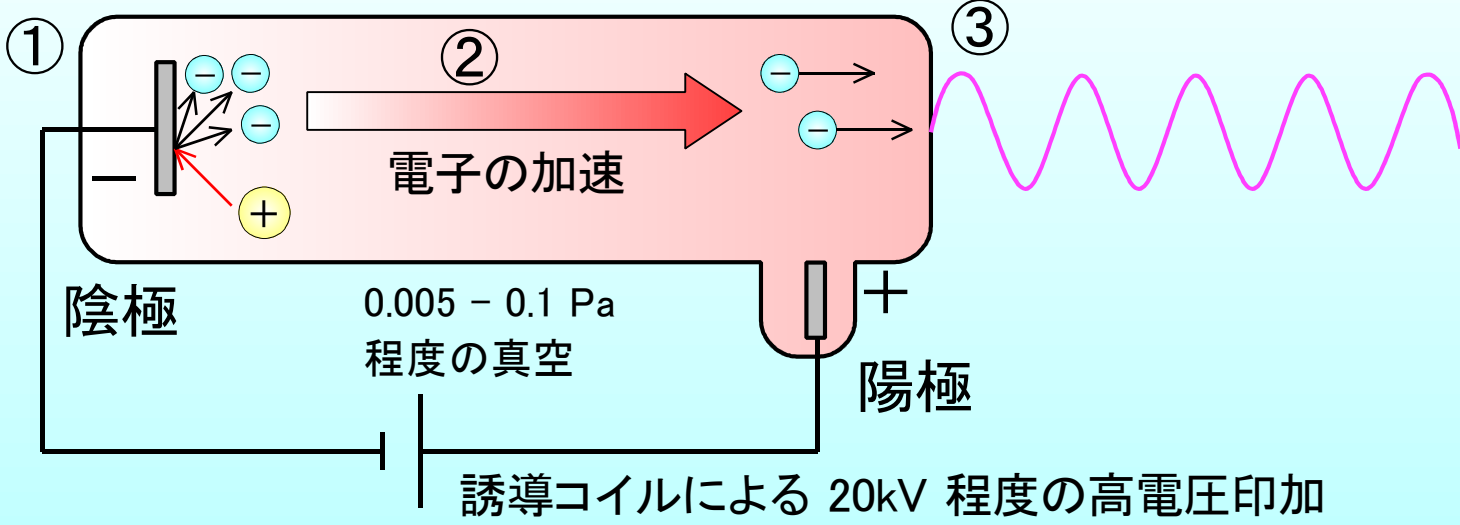
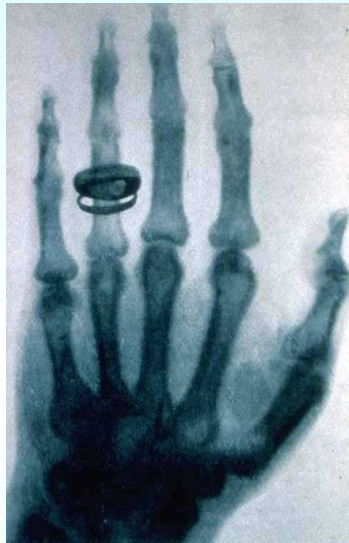
クルックス管とは？

Wilhelm Konrad Rontgen
1895, 真空放電管の研究中にX線を発見
1901, 第一回ノーベル物理学賞を受賞

その後の放射線研究の先駆けとなった歴史的に極めて重要な装置



William Crookes



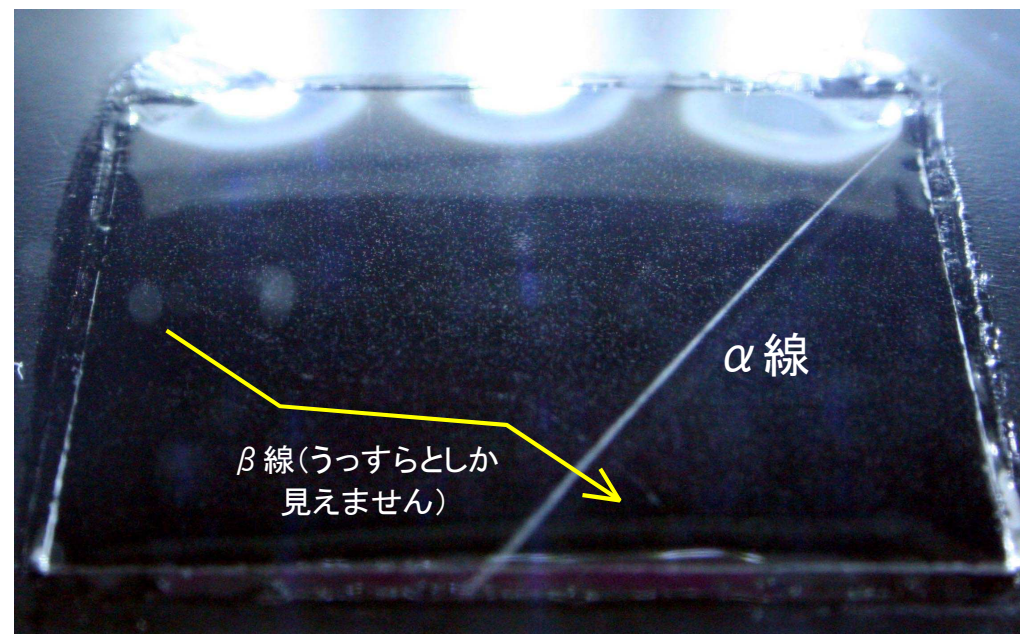
- ① 管内の気体が電離されて出来た + のイオンが一極に引きつけられて電子を叩き出す (二次電子放出)
- ② 印加電圧に従ったエネルギーに加速される
- ③ ガラス管壁に電子がぶつかり制動放射X線を放出する。20keV程度の電子はガラス管を透過できず、特性X線もエネルギーが低いとため遮蔽される。

「霧箱」を使って放射線 を見てみよう!

放射線は普通目に見えませんが、音も聞こえず人間には感じ取ることが出来ないため、どんなものなのか良く分かりませんよね。

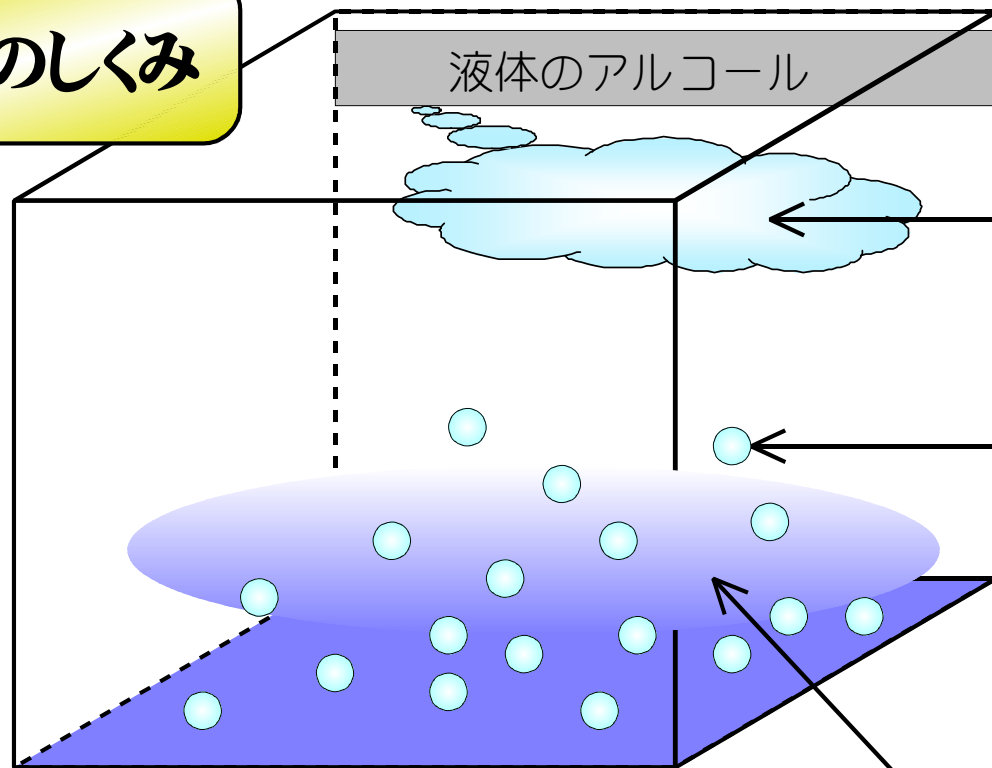
そこで、100年ほど前に発明された「霧箱」という装置を使って放射線が通った後を目で見えてみましょう!

普段、何もないと思っていた空気の中にも、放射線はたくさん飛び交っているんですよ。



放射線にも色々種類があって、その種類によって飛び方が違うんですよ。

霧箱のしくみ



温度が高いとたくさん蒸発します

アルコールの蒸気

液体のアルコールの
小さな粒

温度が低いと蒸気では居られません

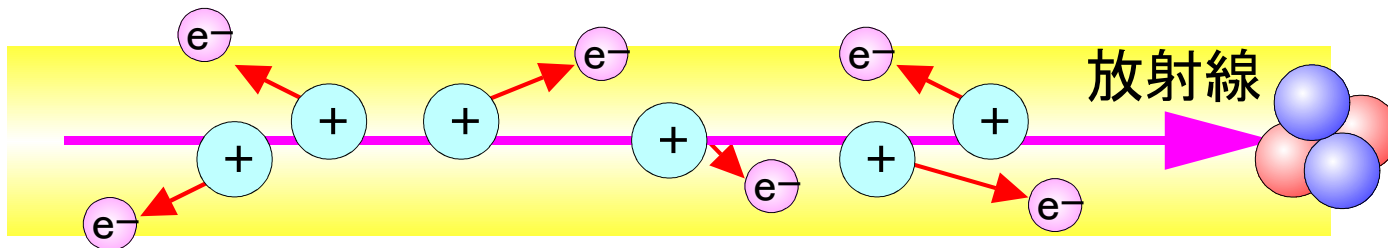
ドライアイスやペルチエ素子で
とても冷たく冷やされています

過飽和の蒸気

温度が低くなると、蒸発した気体のアルコールは液体に戻ろうとします。霧のように見える白い点々は液体のアルコールの小さな粒です。でも、温度が下がったのに液体の粒を作らずにためらっている蒸気も漂っています（過飽和状態と言います）。そこにちょっとした刺激を加えてやると、過飽和の蒸気は次々に液体の粒に変化していきます。

どうして白い筋の様に見えるの？

放射線が空気中を走ると、たくさんの電子を弾き飛ばしてプラスとマイナスのイオンのペアを作ります。このイオンが過飽和の蒸気の中に出来ると、そこを中心核にして小さな液体の粒になります。この液体の粒が放射線が通った後にたくさん出来るので、白い筋の様に見えるのです。（放射線の飛跡と言います）

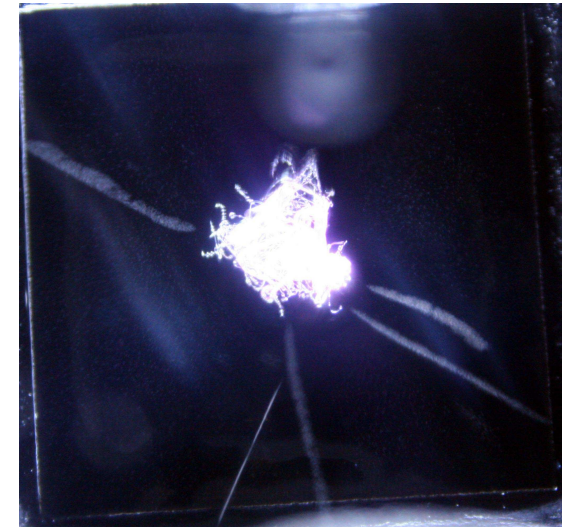


電離によるイオン対の生成

放射線として飛んで行っている原子核や電子は小さすぎてとても目では見られませんし、とても素早いので超スピードのカメラでも追いつきません。

でも、飛んでいった跡が残って、目で見えるのです。

これは、空の上の飛行機雲と同じです。飛行機が飛んでいった後にもしばらく飛行機雲が残っているのを見ることができます。飛行機雲は、空の上の寒いところで過飽和になった水蒸気が、飛行機のエンジンから出てきた排気ガスなどが刺激になって小さな液体の水の粒、つまり雲になった物です。

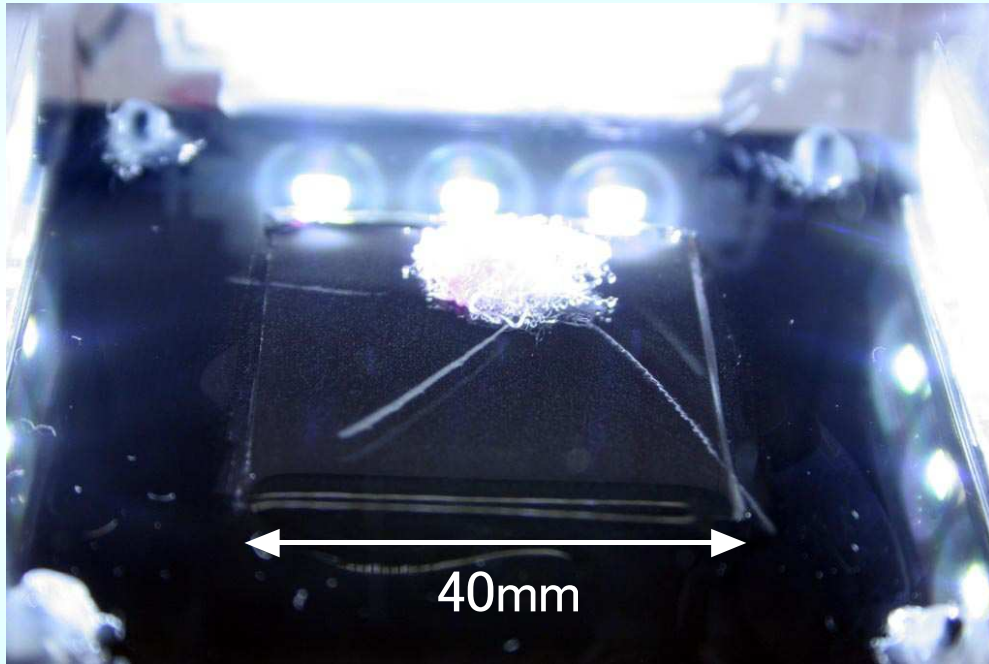


過飽和の蒸気は冷やされている容器の底に薄く広がっているだけなので、底に平行に走った放射線しか見ることができません。また液体の粒はすぐ蒸発してしまって、数秒で見えなくなってしまうのです。



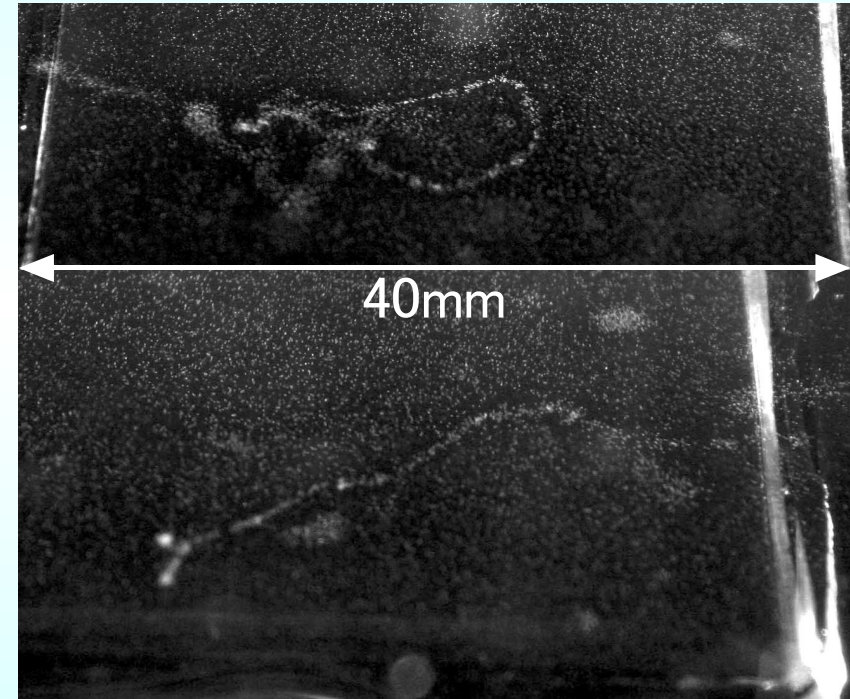
霧箱での飛跡の観察

α 線の飛跡



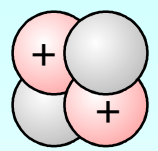
真っ直ぐで、はっきりとしています。
空気中を数cm飛んだだけで
止まってしまいます。

β 線の飛跡

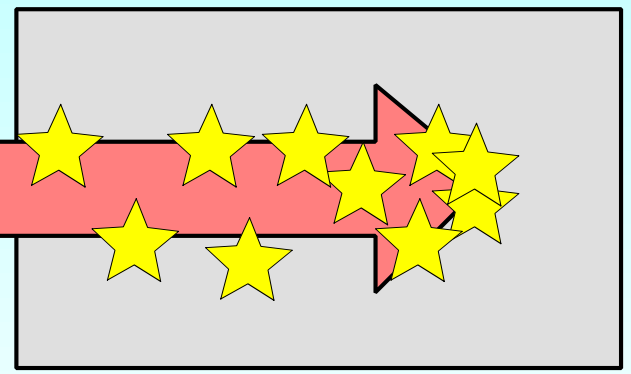


糸くずのよううっすらとした、
曲がりくねった跡を残します。
よく見ないと、見るできません。

アルファ
α線



ヘリウムの
原子核



狭い範囲に一気に
エネルギーを放出します

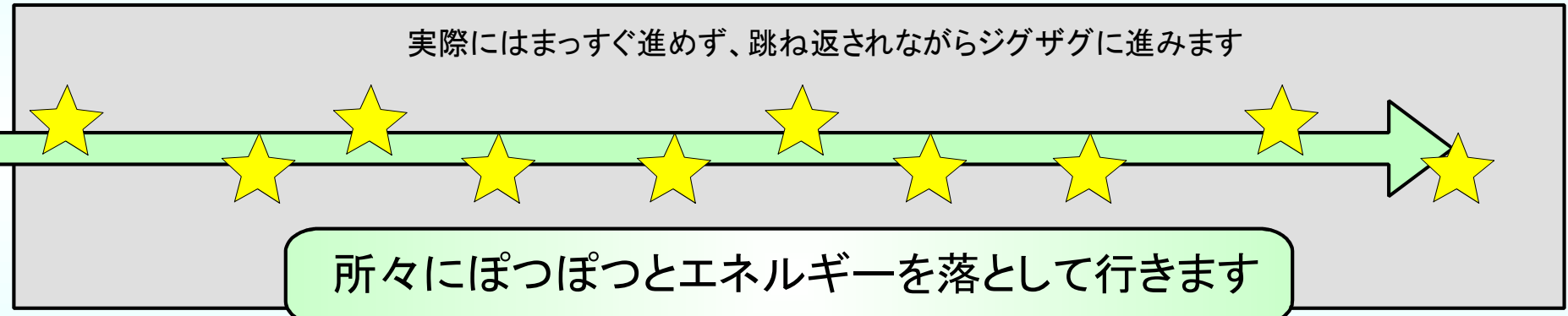
★
放射線がエネルギーを
物質に与えたところ
(電離、励起など)

水の中では数十μm程度、空気の中でも数cmしか飛ばず、紙一枚で止まってしまいますが、その範囲に一気にエネルギーを放出します。

ベータ
β線



電子
ヘリウムの原子核の7000分の1の重さしか有りません



実際にはまっすぐ進めず、跳ね返されながらジグザグに進みます

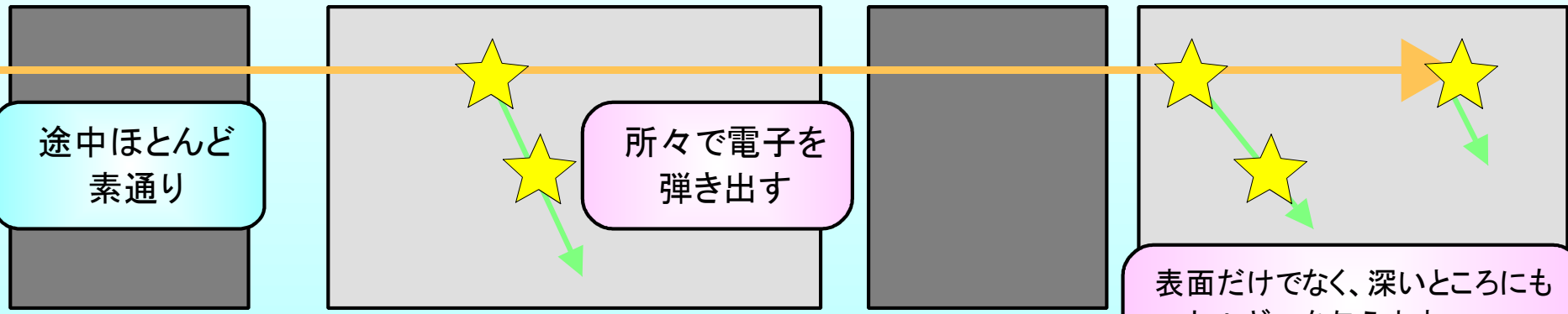
所々にぽつぽつとエネルギーを落として行きます

水の中でも1cm程度、空気の中では数m飛んでいき、少しずつしかエネルギーを落としません。

ガンマ
γ線

波長の短い
光の仲間

プラスやマイナスの電気を
持っていないため、ほとんど
素通りしていきます



途中ほとんど
素通り

所々で電子を
弾き出す

表面だけでなく、深いところにも
エネルギーを与えます。

弾き出された電子は、β線と同じように振る舞います

霧箱によるクルックス管からのX線の観察

①

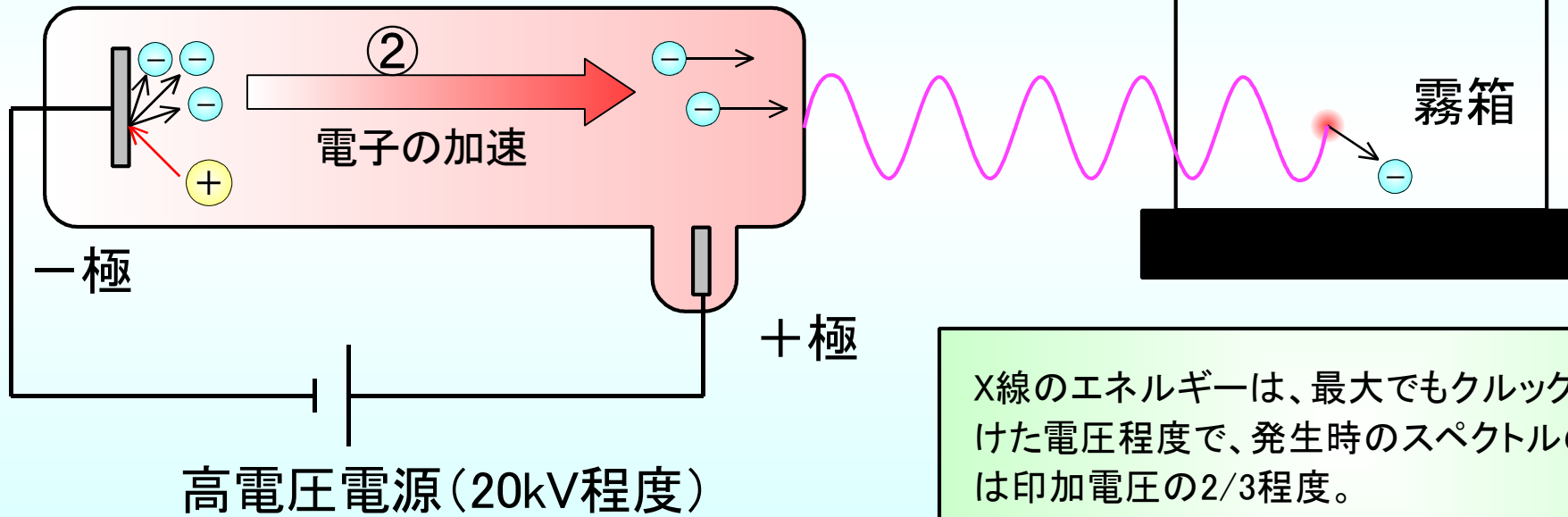
＋のイオンが－極に引きつけられて電子を叩き出す
(二次電子放出)

③

電子がガラス管の壁に衝突するときに、制動放射X線を放出する

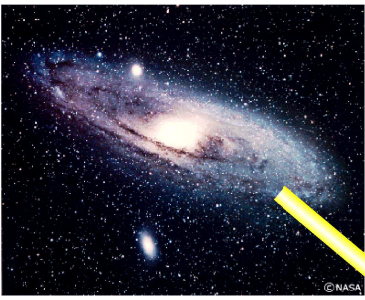
④

X線は最終的に原子の周りを回る電子を光電効果などで弾き飛ばして(電離作用)、弾き飛ばされた高速の光電子はβ線と同じように振る舞う。

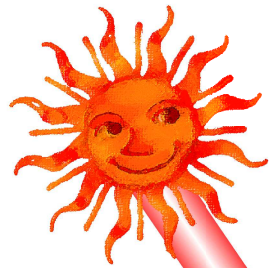


X線のエネルギーは、最大でもクルックス管にかけた電圧程度で、発生時のスペクトルのピークは印加電圧の2/3程度。

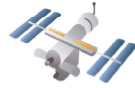
電子を弾き出すという放射線の本質を直感的に理解できる。また、エネルギーの違いを弾き出された電子の飛跡の長さという形で理解できる。



宇宙からの放射線



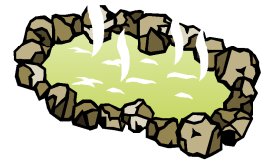
宇宙ステーション



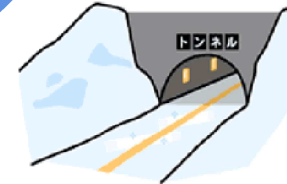
医療での放射線



食品からの放射線



ラジウム・ラドン温泉



大地からの放射線



ピサの斜塔

イタリア・ピサの大聖堂

宇宙からの放射線

大気で地球上の
生物は守られている

太陽から帯電した粒子が大量に放出されています。
地球の磁場に捉えられた一部がオーロラとして観測されます。

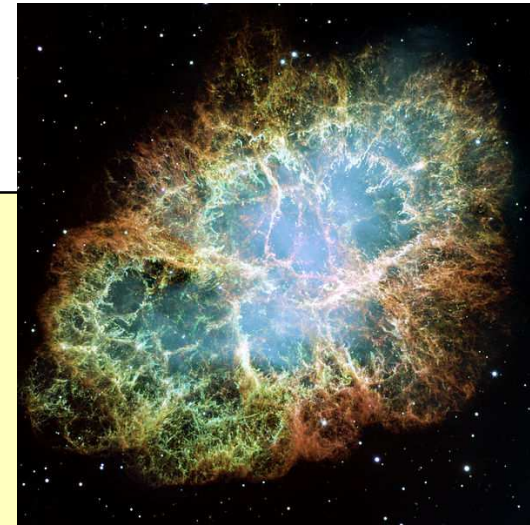


アラスカ、フェアバンクスで観察されたオーロラ

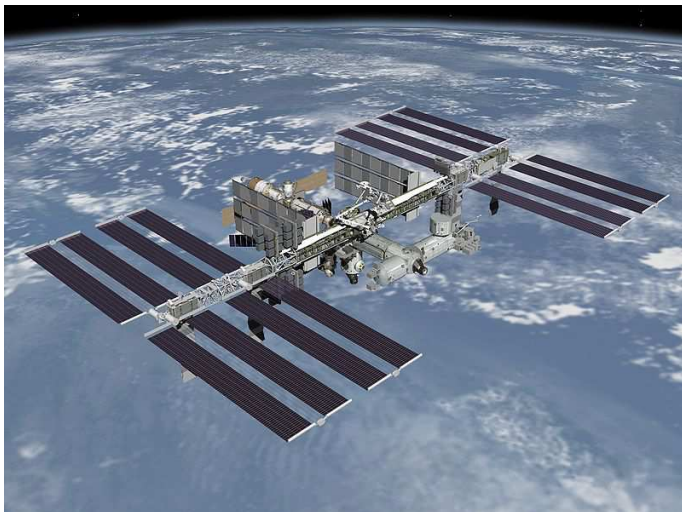
CERN の LHC 加速器でも数 TeV(10^{12} eV)程度。

超新星爆発などで発生した非常にエネルギーの高い ($\sim 10^{20}$ eV) **銀河宇宙線**も飛んできています。上空で大気とぶつかって核反応により**放射性核種の生成**が起きています。

(一年間に C-14: 10^{15} Bq(1PBq), **H-3 (トリチウム)**: 7×10^{16} Bq(70PBq) 程度が生成されています)



おうし座のかに星雲。
超新星爆発の残骸。



国際宇宙ステーション ISS の完成予想図

大気で遮蔽されていない上空では放射線量が増加します。
欧米への飛行機での往復で100~200 μ Sv程度被ばくします。
宇宙ステーション (ISS: 高度400km) では、1日当たり0.5~1mSv程度にもなります。

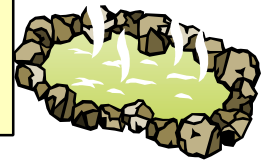
大地からの放射線

ウランは地殻中でありふれた元素



花崗岩

地中の岩石の中には少しずつウランが含まれていて、平均で1トンあたり2.4g、花崗岩には11gも含まれていて、140kBqに相当します。ウランの娘核種もまた放射線を出して別の放射性核種となる、壊変系列を形成しています。



ラドン温泉

地球の内部が暖かく、温泉が出るのも、地球の内部の放射性物質の崩壊によるエネルギーだと言われています。



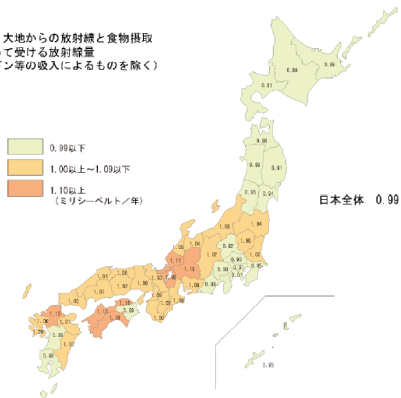
トンネルの中は周囲を岩石に囲まれてるため地表よりも放射線量が高くなります。

(東名高速の日本坂トンネルで0.13 μ Sv/h など地表の倍程度)

壊変系列の中に気体の放射性核種、ラドンが含まれていて、石の中から出てきて空気中を飛んでいます。これが肺の中で α 線を放出して内部被曝を起こします。

全国自然放射線量

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)



世界には日本よりはるかに自然放射線量が高い(年間10mSv以上)地域があります。国内でも岩盤が多く露出している地域では比較的放射線量が高く、火山灰で覆われている地域などは低く、県単位の比較でも年間で300 μ Sv程度異なります。



ピサの斜塔

イタリア・ピサの大聖堂

食品からの放射線

福島事故以前から
含まれる放射能



カリ肥料

天然のカリウム1gには30BqのK-40が入っています。カリウムは作物に、そして人間にとっても必須の元素の一つです。昆布や椎茸、キュウリなどに沢山含まれており、人間の体の中にも体重60kgで4000BqのK-40が含まれていて一年間で170 μ Sv被曝しています。

60kgの日本人の体の中にはおよそ20BqのPo（ポロニウム）-210と言う放射性核種が含まれています。K-40が β 線/ γ 線を放出するのに対して、このPo-210は α 線を放出するため、内部被曝量は年間で800 μ Svにもなります。



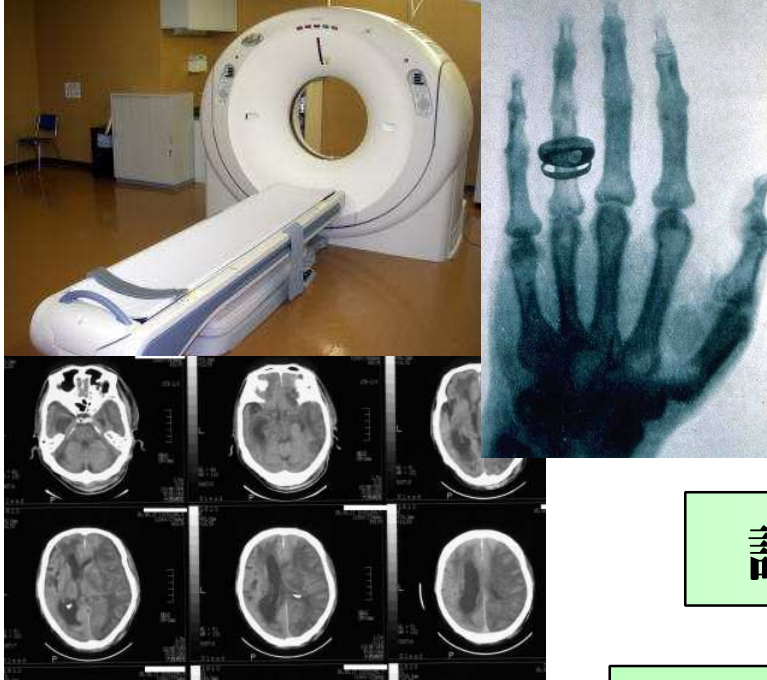
タバコ1本には0.024BqのPo-210が含まれており、一日一箱の喫煙で年に100 μ Sv被曝します。

医療での放射線

先進医療により
被曝線量は増える

胸のX線検診で $50 \mu\text{Sv}$
胃のX線検診で $600 \mu\text{S}$ 、
CT スキャンでは **数mSv**

被曝によるリスク \leftrightarrow ケガ 病気のリスク
どちらが大きいかをよく考える必要があります。
★100mSv でガンによる死亡率 0.5% 上乗せ



診察だけでなく、「治療」にも放射線が使われています

多方向からの照射や画像誘導でのピンポイントの照射
甲状腺ガン: $3.7 \sim 7.4 \text{GBq}$ の大量のヨウ素-131を投与

体の奥の手術が難しいガン:
加速器からの**イオンビーム**で
特定の深さを集中攻撃

広範囲に分散したガン:
ホウ素を取込ませた癌細胞に
中性子をあてる

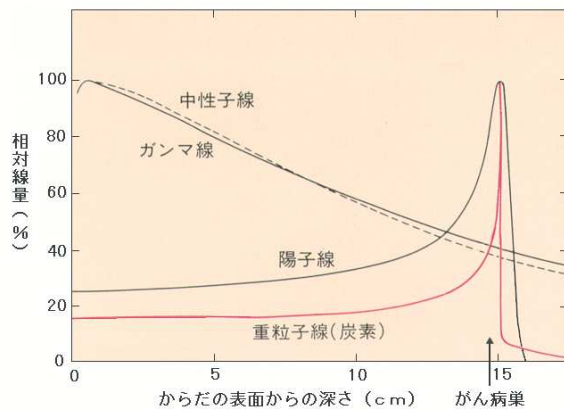
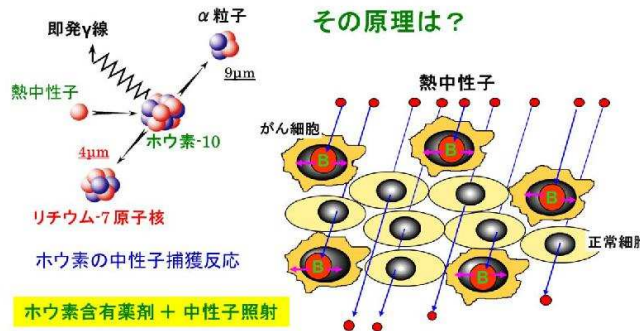


図2 重粒子線照射治療の利点(2)

この図では深さ約15cmのところにおいて最大線量となり、がん病巣に大きな線量を与えることができる。深さは調節できる。

【出典】放射線医学総合研究所：重粒子線がん治療装置HIMAC、1995年8月

ホウ素中性子捕捉療法
Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)



ホウ素含有薬剤 + 中性子照射

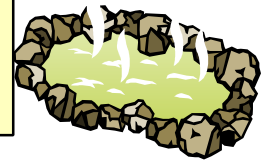
大地からの放射線

ウランは地殻中でありふれた元素



花崗岩

地中の岩石の中には少しずつウランが含まれていて、平均で1トンあたり2.4g、花崗岩には11gも含まれていて、140kBqに相当します。ウランの娘核種もまた放射線を出して別の放射性核種となる、壊変系列を形成しています。



ラドン温泉

地球の内部が暖かく、温泉が出るのも、地球の内部の放射性物質の崩壊によるエネルギーだと言われています。



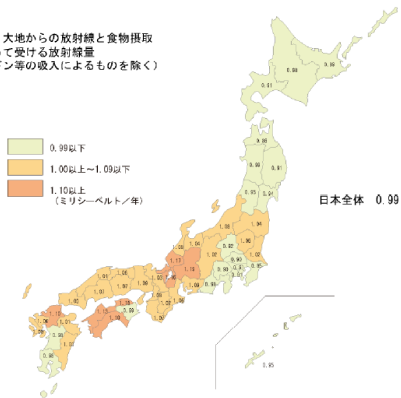
トンネルの中は周囲を岩石に囲まれてるため地表よりも放射線量が高くなります。

(東名高速の日本坂トンネルで0.13 μ Sv/h など地表の倍程度)

壊変系列の中に気体の放射性核種、ラドンが含まれていて、石の中から出てきて空気中を飛んでいます。これが肺の中で α 線を放出して内部被曝を起こします。

全国自然放射線量

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)



世界には日本よりはるかに自然放射線量が高い(年間10mSv以上)地域があります。国内でも岩盤が多く露出している地域では比較的放射線量が高く、火山灰で覆われている地域などは低く、県単位の比較でも年間で300 μ Sv程度異なります。



ピサの斜塔

イタリア・ピサの大聖堂

食品からの放射線

福島事故以前から
含まれる放射能



カリ肥料

天然のカリウム1gには30BqのK-40が入っています。カリウムは作物に、そして人間にとっても必須の元素の一つです。昆布や椎茸、キュウリなどに沢山含まれており、人間の体の中にも体重60kgで4000BqのK-40が含まれていて一年間で170 μ Sv 被曝しています。

60kgの日本人の体の中にはおよそ 20BqのPo (ポロニウム) -210と言う放射性核種が含まれています。K-40が β 線/ γ 線を放出するのに対して、このPo-210は α 線を放出するため、内部被曝量は年間で800 μ Svにもなります。



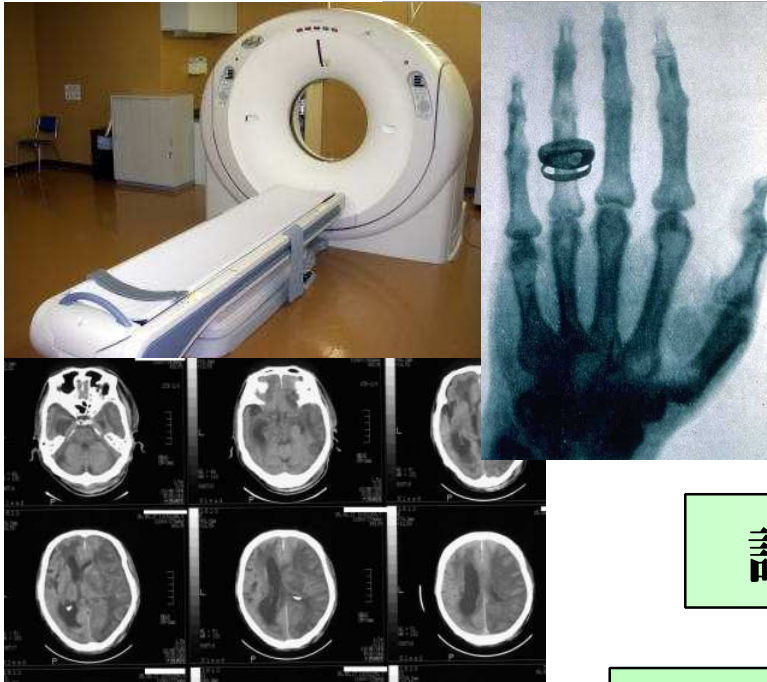
タバコ1本には 0.024Bq のPo-210が含まれており、一日一箱の喫煙で年に100 μ Sv 被曝します。

医療での放射線

先進医療により
被曝線量は増える

胸のX線検診で $50 \mu\text{Sv}$
胃のX線検診で $600 \mu\text{S}$ 、
CT スキャンでは **数mSv**

被曝によるリスク \leftrightarrow ケガ 病気のリスク
どちらが大きいかをよく考える必要があります。
★100mSv でガンによる死亡率 0.5% 上乗せ



診察だけでなく、「治療」にも放射線が使われています

多方向からの照射や画像誘導でのピンポイントの照射
甲状腺ガン: $3.7 \sim 7.4\text{GBq}$ の大量のヨウ素-131を投与

体の奥の手術が難しいガン:
加速器からの**イオンビーム**で
特定の深さを集中攻撃

広範囲に分散したガン:
ホウ素を取込ませた癌細胞に
中性子をあてる

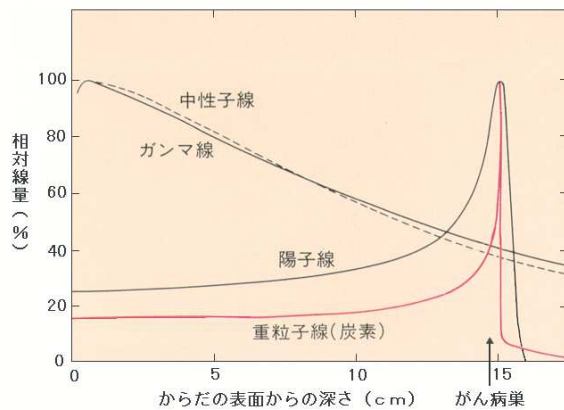
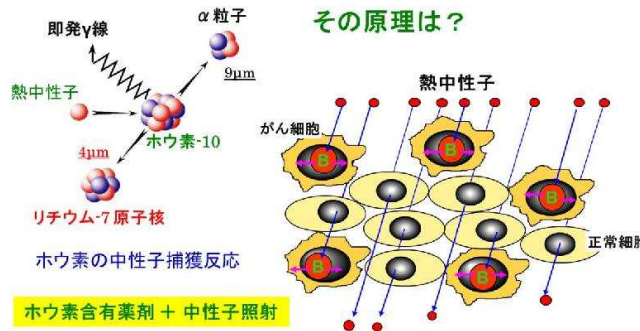


図2 重粒子線照射治療の利点(2)

この図では深さ約15cmのところにおいて最大線量となり、がん病巣に大きな線量を与えることができる。深さは調節できる。

[出典]放射線医学総合研究所: 重粒子線がん治療装置HIMAC、1995年8月

ホウ素中性子捕捉療法
Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)



ホウ素含有薬剤 + 中性子照射

自然放射線から受ける線量

一人あたりの年間線量(日本平均)

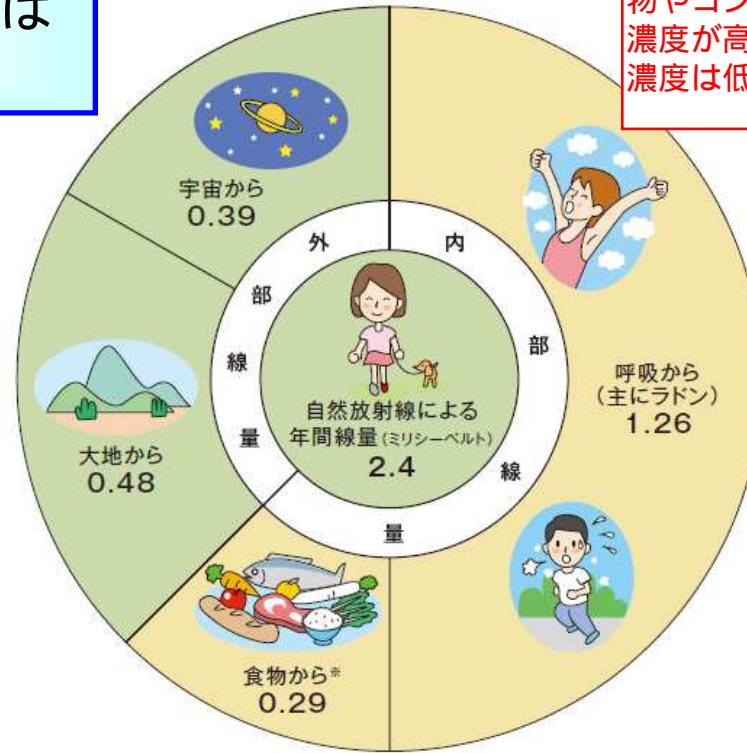
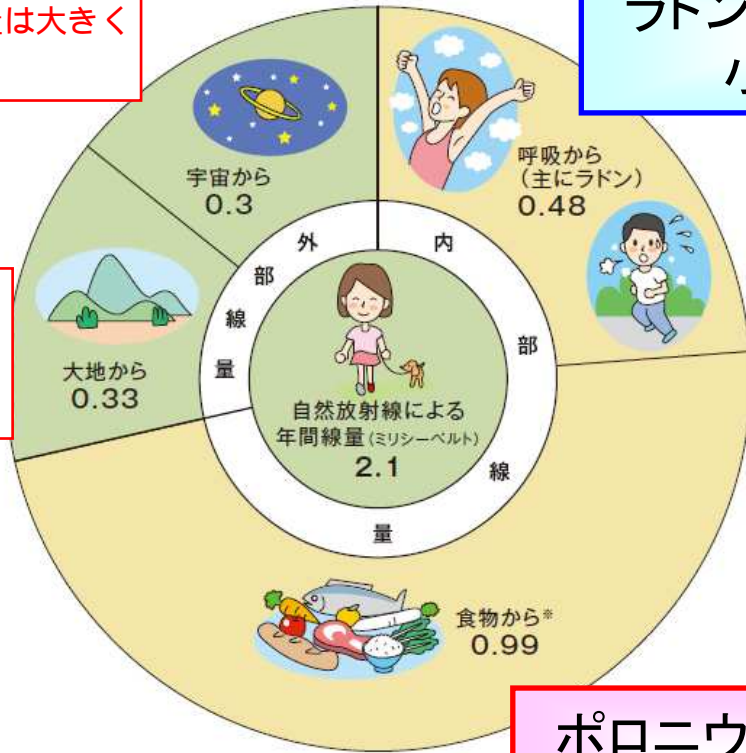
一人あたりの年間線量(世界平均)

緯度が高いほど、また標高が高いほど、宇宙線の量は大きくなります

地域によって大地からの放射線量も大きく異なります。

ラドンの影響は小さい

ラドンは、岩石に含まれるウランやトリウムが崩壊して出来るので、石造りの建物やコンクリートの建物で濃度が高く、木造建築では濃度は低くなります。



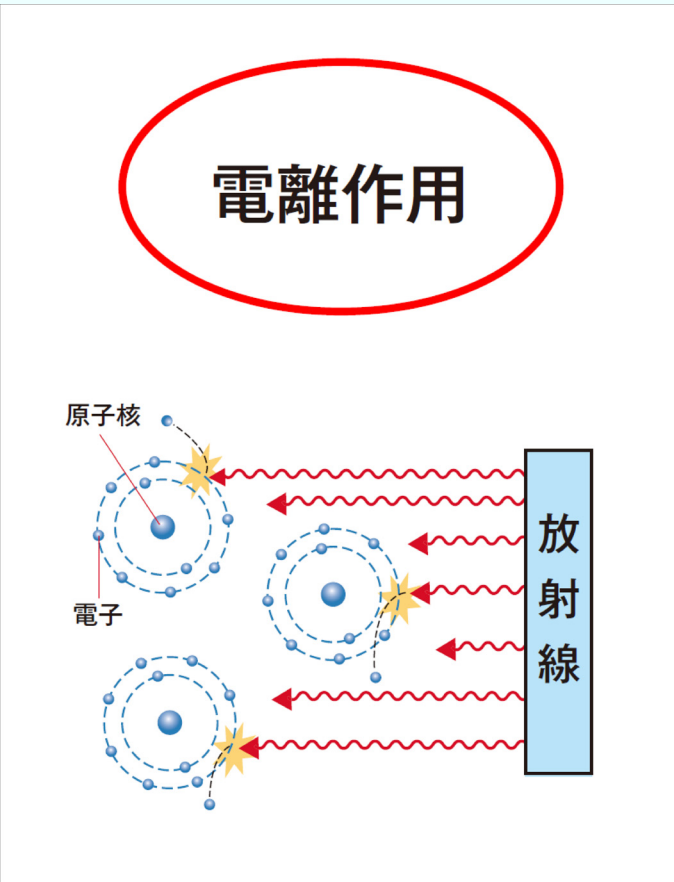
ポロニウムの影響が大きい

小魚の骨などに多く含まれるポロニウム-210を日本人は20ベクレルだけ持っています。たった20ベクレルが年間0.8ミリシーベルトにもなります。

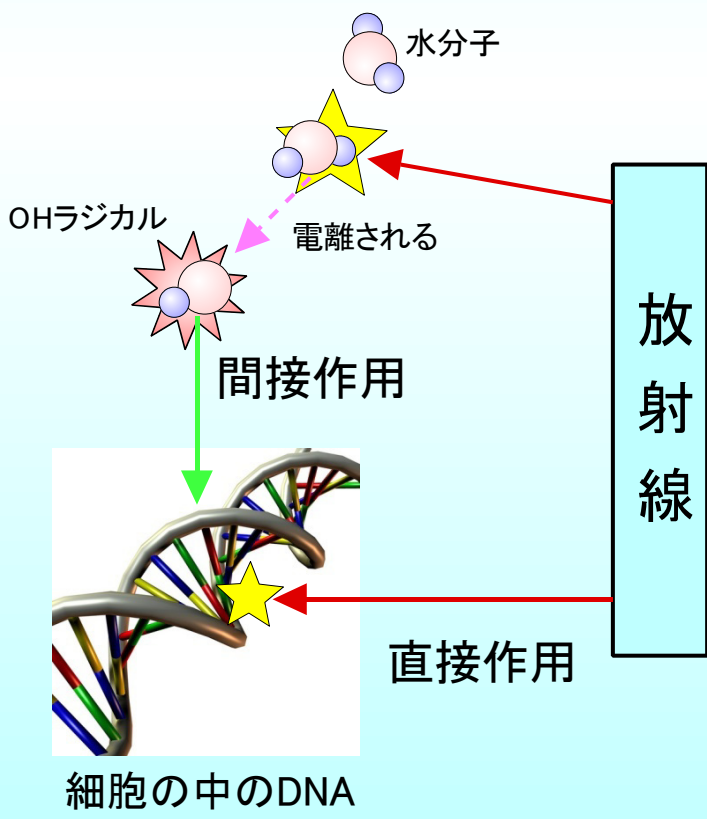
※欧米諸国に比べ、日本人は魚介類の摂取量が多く、ポロニウム210による実効線量が大きい

放射線を身体に受けると何が起ころの

放射線は原子の周りの電子を弾き飛ばしてしまい、結合している手を切ってしまう「電離作用」を示します。



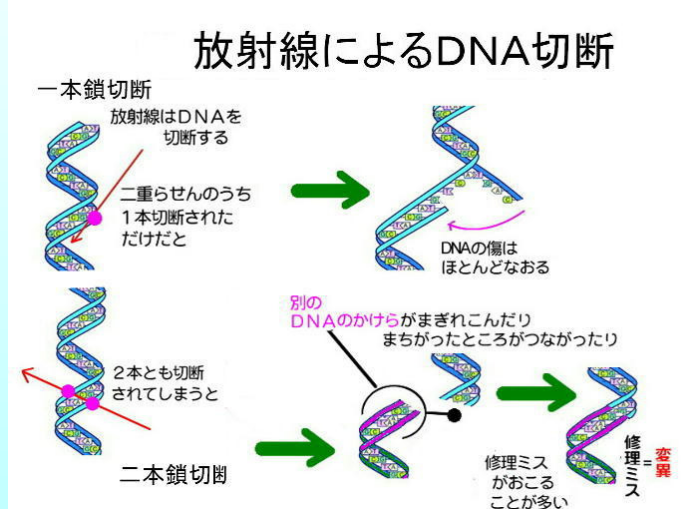
直接DNAを構成する原子を電離して切断するほかに、水を電離して、活性酸素のような化学的に活性なラジカルを作り出します。このラジカルが、間接的にDNAを切断します。



細胞のDNAは放射線以外にも呼吸により発生する活性酸素などで常に攻撃されています。

このため、細胞は切断されたDNAを元通りに修復しています。修復できないほどDNA切断が多い場合には、アポトーシス(自分のDNAを細かく切り刻む現象)によって細胞は自ら死んでしまい影響を後に残しません。

余りにもたくさんの攻撃を受けると、ごくまれに起こるDNA修復誤りによって遺伝子突然変異が起こり、発がんの原因になると考えられています。



放射線の被ばく

酸素呼吸によるエネルギー生成、紫外線や様々な化学物質

がんを防ぐ体のはたらき

放射線が直接DNA鎖を切ってしまう直接作用もありますが、6-7割程度が活性酸素による間接作用です。



偏った食事や過労などのストレスにより、体の防御機能が上手く働かなくなってしまいます。

活性酸素などの発生

放射線や紫外線、生きていく上で絶対に必要な酸素呼吸によるエネルギー生産の過程で、化学的な活性の高い、活性酸素などのラジカルが発生します

活性酸素などがDNAと反応すると、二重らせんの鎖を切断してしまいます。

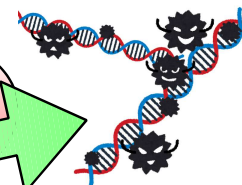
ビタミン、ポリフェノールや酵素などによる還元

DNA損傷の生成



バックアップデータからの修復

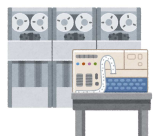
DNA損傷の修復誤り



あまりにもダメージが大きいと、完全に修復しきれなくなり、修復の際にミスが起こることがあります。

修復ミスが残ると、一部の細胞はがん化してしまいます。毎日数千個のがん細胞が発生しており、長い時間をかけて増殖しがんになり成長します。刺激物などによる炎症はがん化を促進します。

野菜や果物に含まれるビタミンやポリフェノールや体内で作られる酵素には、活性酸素を還元し無害にする働きがあります。



修復を断念して死を選ぶ

がん細胞の発生

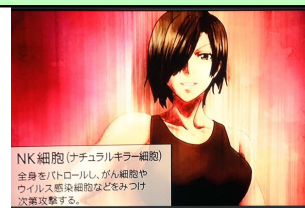


DNAはお互いペアとなる分子が1組となり2重のらせん構造を持っているため、片方の鎖が切れてももう片方のデータをコピーすることで修復することができます。また、2本とも切れてしまった場合でもほとんどの場合で修復できる働きがあります。



免疫細胞による攻撃

あまりにもダメージが大きいと、完全に修復しきれなくなり、修復が無理だと判断した細胞は自ら死を選ぶことで、間違った遺伝情報が残らないようにします(アポトーシス)。人の体は37兆個といわれる沢山の細胞で出来ていて、毎日沢山の細胞が死んで、また新しく生まれて機能を維持しています。



体の中には病原菌やウイルス、がんを攻撃する様々な免疫細胞がはたらいています。その中の一つナチュラルキラー細胞(NK細胞)はがん細胞を狙い撃ちすることが出来る細胞です。笑うことによって活性化する一方、ストレスに弱いことが知られています。免疫細胞の働きで、体内で発生した変異細胞のほとんどが摘み取られています。

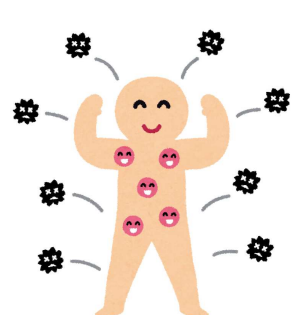
がん細胞の悪性化

放射線治療



逆に、大量の放射線のがんに集中的に照射することで、がん細胞を殺してしまう治療法があります。

バランスの取れた楽しい食事
健康な体を保ちましょう!



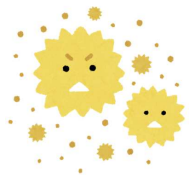
→ 医療のコーナーをチェック!



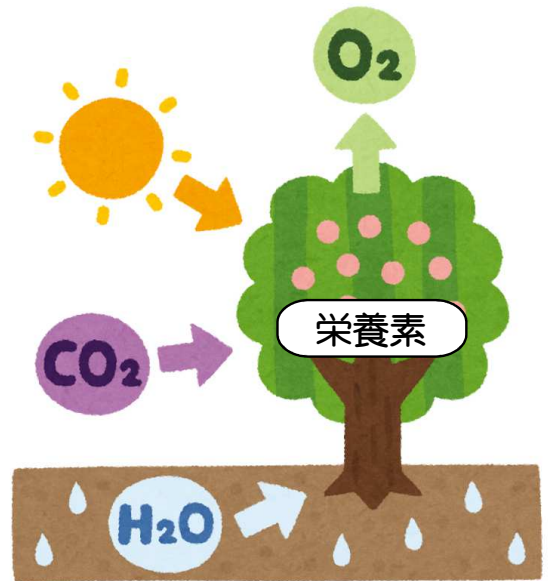
どうして野菜を食べなくちゃいけないの？

光合成の際の化学反応や紫外線の影響

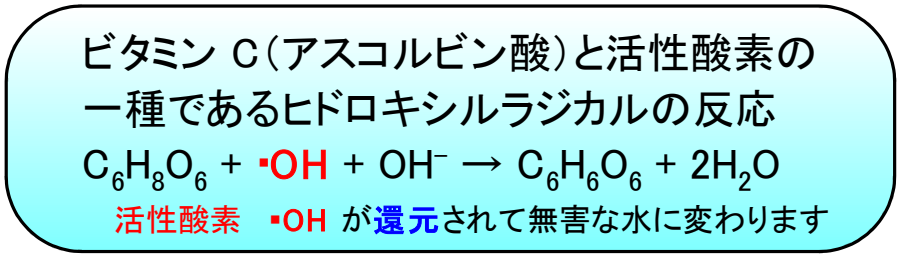
活性酸素などの発生



植物は光合成により水と二酸化炭素と光のエネルギーからデンプンなどの栄養と酸素を作り出しています。この時の化学反応で、非常に活性の高い活性酸素が沢山作り出されてしまい、そのままでは植物は自分の光合成反応のために死んでしまいます。



植物による光合成



そこで、植物はビタミン類やポリフェノールなど様々な抗酸化物質を自分で作り出すことで、活性酸素を還元して無害にし、自分の体を守っています。また一部の色素は紫外線を吸収して活性酸素の生成を抑制します。

ビタミン類やポリフェノールを自分で作れない動物は、野菜や果物、肉食獣ならばそれを食べた他の動物を生で食べることで自分の体にビタミンなどを取込み、活性酸素から身を守っています。

植物が作ってくれたビタミンなどを、感謝して頂きましょう！



生活の中でどれくらい被ばくしているの？

歯科レントゲン撮影1回:
10 μ Sv



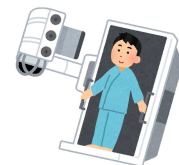
0.01mSv
(10 μ Sv)

胸部レントゲン撮影1回:
50 μ Sv



0.1mSv
(100 μ Sv)

胃がん検診1回:
600 μ Sv



ICRP 1990/2007年勧告
一般公衆への追加線量限度
年間 1mSv

CTスキャン1回:
数mSv



1mSv



国内線の飛行機1回:
3 μ Sv程度

国際的な免除レベル:
10 μ Sv/年

無視可能個人線量とも呼ばれ、これ以下となる発生源の管理を免除するという考え方。クルックス管からの被ばく線量はこの値以下とする事を目標としている。

自然放射線による
1ヶ月の 外部被ばく線量:
50 μ Sv(全国平均)
(0.07 μ Sv/h 程度)



国際線の飛行機での
欧米への旅行1回:
100-200 μ Sv



日本人が特有に持っている20Bqのポロニウム210による年間被ばく線量: 800 μ Sv

イランのラムサール地方やインドのケララ地方などでの大地からの年間被ばく線量:
~10mSv

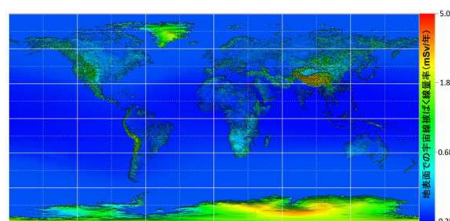
排水濃度限度
(60,000 Bq/L) の
トリチウムを含む水を
1L 飲んだときの
預託線量: 1.1 μ Sv



*トリチウムの
実効線量係数(経口):
1.8 $\times 10^{-8}$ mSv/Bq

ランタンのマントル* を
1時間体に貼付ける:
全身 1 μ Sv (γ 線)
皮膚 10 μ Sv (β 線 + γ 線)

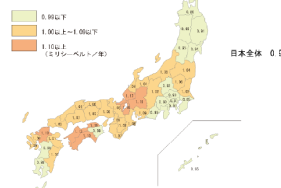
*トリウム使用のサウスフィールド ハイパワー-DXマントル



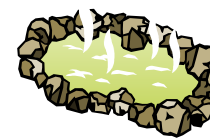
年間の宇宙線量の世界平均と
日本平均の差:
50 μ Sv(日本の方が小さい)

全国自然放射線量

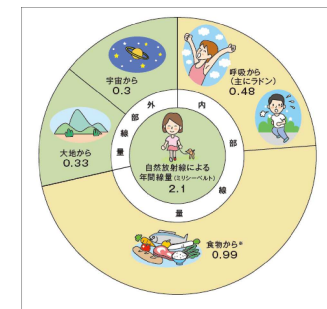
宇宙、大地からの放射線と食物摂取によって受ける放射線量(ラドン等の吸入によるものを除く)



年間の平均外部線量が最も
高い岐阜県と最も低い神奈
川県の差: 380 μ Sv

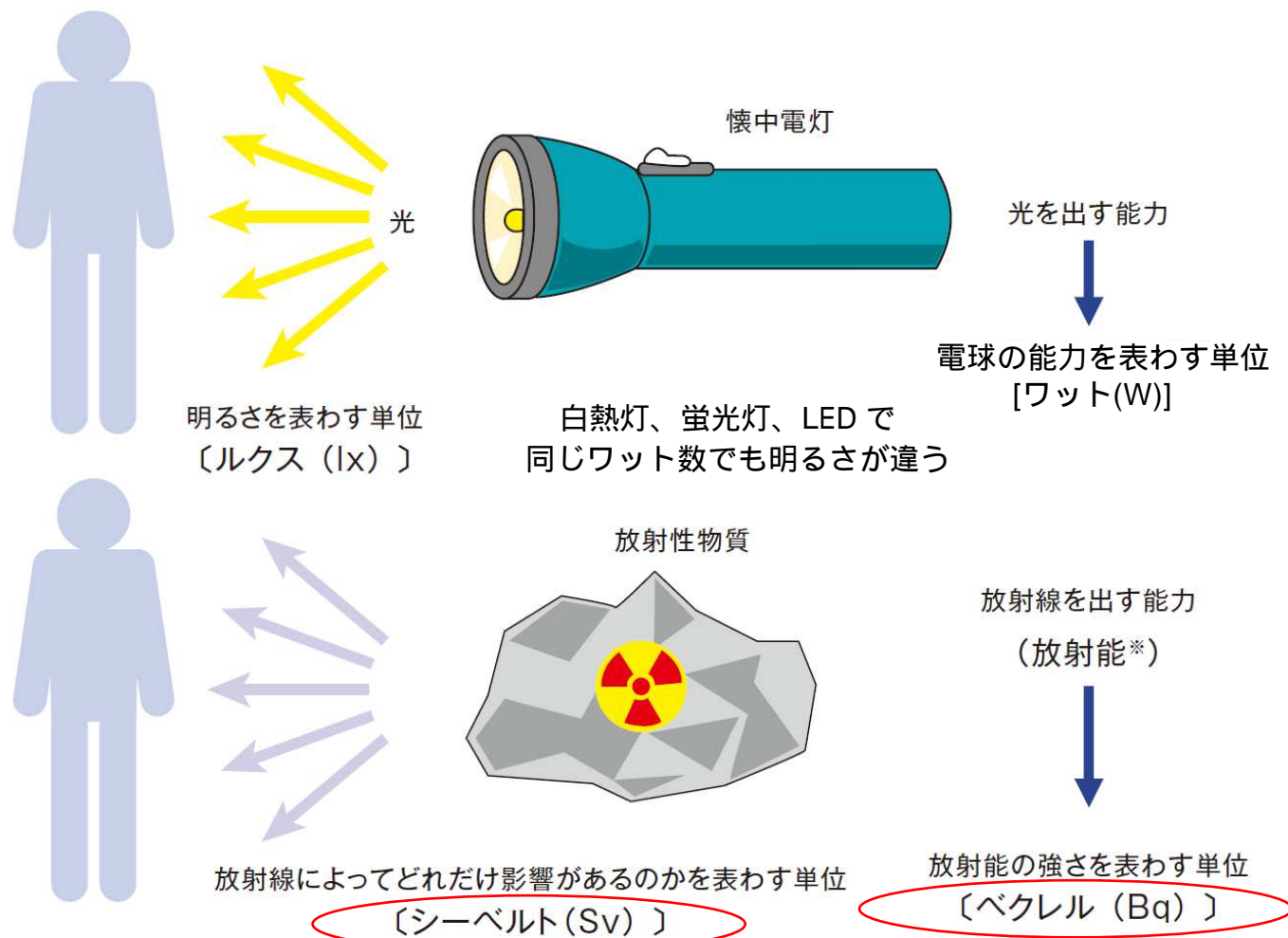


世界平均と日本平均での
ラドンによる年間被
ばく量の差:
800 μ Sv
(日本の方が小さい)



自然放射線による
年間の被ばく線量
日本平均 2.1mSv
世界平均 2.4mSv

放射能と放射線



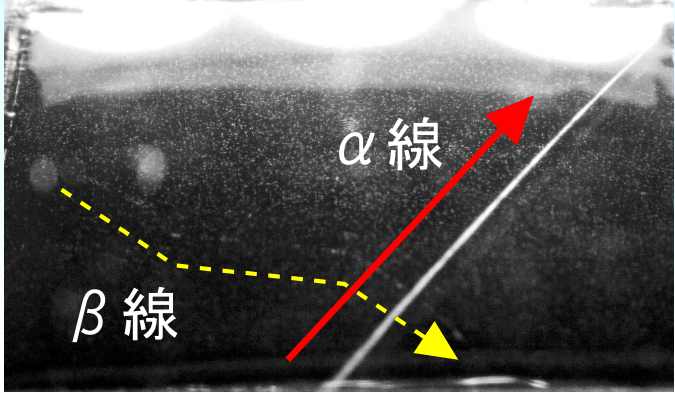
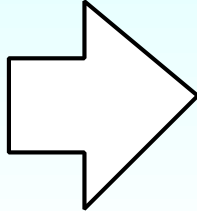
※放射能を持つ物質(放射性物質)のことを指して用いられる場合もある

核種によって同じベクレル数でも
人体に対する影響が違う

放射線の種類によって影響が違います

同じエネルギーの放射線を吸収した場合でも、**アルファ線**と、**ベータ線**、**ガンマ線**とでは、**20倍**も影響の大きさが違います。

相互作用の違いを反映



*体重60kgの日本人

体内の放射能

1年間に被ばくする実効線量

カリウム
K-40: 4,000Bq

0.17 ミリシーベルト

β・γ線のみ

ポロニウム
Po-210: 20Bq

0.80 ミリシーベルト

α線を放出

100ベクレル を肺に吸入したときの被ばく線量	
プルトニウム-239	3.2 ミリシーベルト
セシウム-137	1万分の 6.7 ミリシーベルト
トリチウム(H-3)	百万分の 4.1 ミリシーベルト

**同じベクレルの放射能でも
体に与える影響は全く異なります!**

プルトニウム-239: 5.1MeV の α線、半減期 2.4万年、肺や肝臓などに沈着
セシウム-137: 0.51MeV の β線と 662keVの γ線、半減期 30年、カリウムなどとともに体外に排出
トリチウム(H-3): 18.6keV の β線、半減期 12.3年、水と共に体外に排出

内部被ばくはずっと体内で放射線を出すから危ないんじゃないの？

クイズ: 1kg あたりセシウム-137 を 100 Bq 含む米を、一食あたり1合(精米で150g、炊きあがりでは330g)、一日三食、365日食べつづけたとして、そのあと50年間で被ばくする線量はどの程度になるでしょう？

答え: 0.21ミリシーベルト

現在一般食品中の放射能濃度の基準値は、放射性セシウムで 100ベクレル/kg となっており、この設定は基準値の上限値の場合となっています。現在も福島県産の米については全量検査が続けられていますがほぼ全てのサンプルで検出できないぐらい放射能は少なくなっています。ですので、今回のクイズは有り得ないぐらい高い濃度の食品だけをずっと摂取し続けた場合、と言う極端な例だとお考え下さい。



欧米に飛行機で旅行すると、宇宙線の増加により0.2ミリシーベルト程度被ばくします。

「内部被ばく」による影響

- ・どんな放射線の種類か(α 、 β 、 γ)
- ・どのぐらいのエネルギーか
- ・物理的な半減期
- ・排出されやすさ(生物学的半減期)
- ・どんな臓器に蓄積されやすいか
- ・蓄積される臓器の感受性

全部考慮して評価しています

その後 50年間にわたる影響を、取込んだ時点でいっぺんに被ばくしたとして被ばく線量(シーベルト)の計算をします。

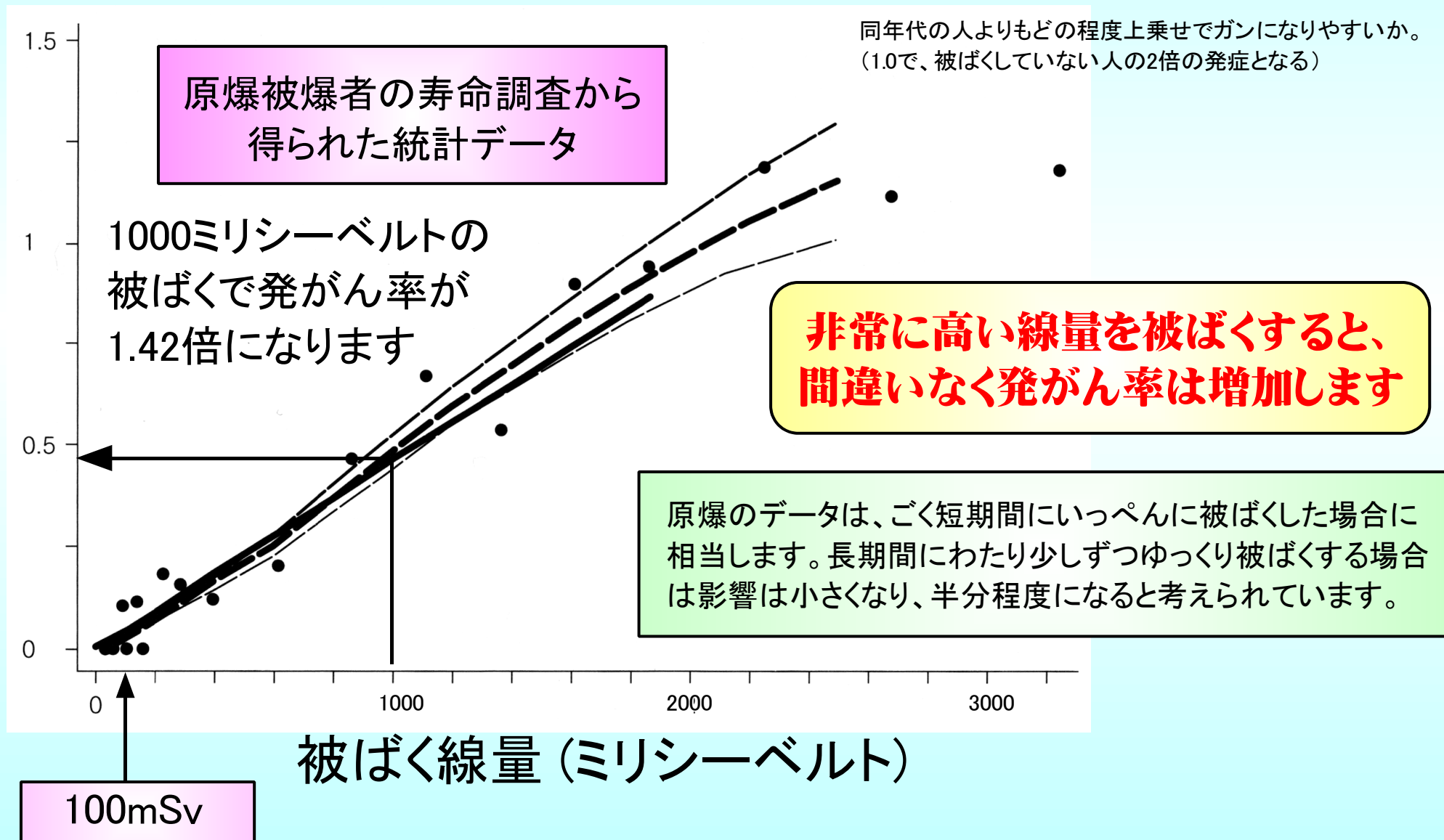
このようにして求められた**内部被ばくの線量**と、**外部被ばくの線量**とは、**同じリスク**になります。

実際には、**同じ量**を**少しずつ長い期間にゆっくり**被ばくするのと、**いっぺん**に被ばくするのとでは、DNA修復のメカニズムがあるため、**ゆっくりの方が影響は小さくなります**。

発がんへの影響はどのぐらいなの？

30歳の時に被ばくした人が、70歳になったときの過剰相対リスク

固形ガン発症の過剰相対リスク



低線量放射線の影響はどのぐらいなの？

固形ガン発症の過剰相対リスク

生涯にわたってどこかでガンによって死亡するリスクは、被ばく時の年齢、性別などを全世界で平均化した場合、慢性被ばく100mSvで0.5ポイントだけ「**上乗せ**」されます。

高い線量での関係から、直線的だと考えて管理・規制しています

高い線量での発がん率から計算すると、100mSvを短時間に被ばくすることにより、被ばくしていない人より、ガンの発症リスクが1.05倍に増加となります*。
(被ばくしていない人の発症率を20%とすると、21%になります)

* 30歳で被ばくした人が70歳になったときの値で、被ばくしたときの年齢、その時の年齢で上乗せのリスクは変わってきます。

0.05

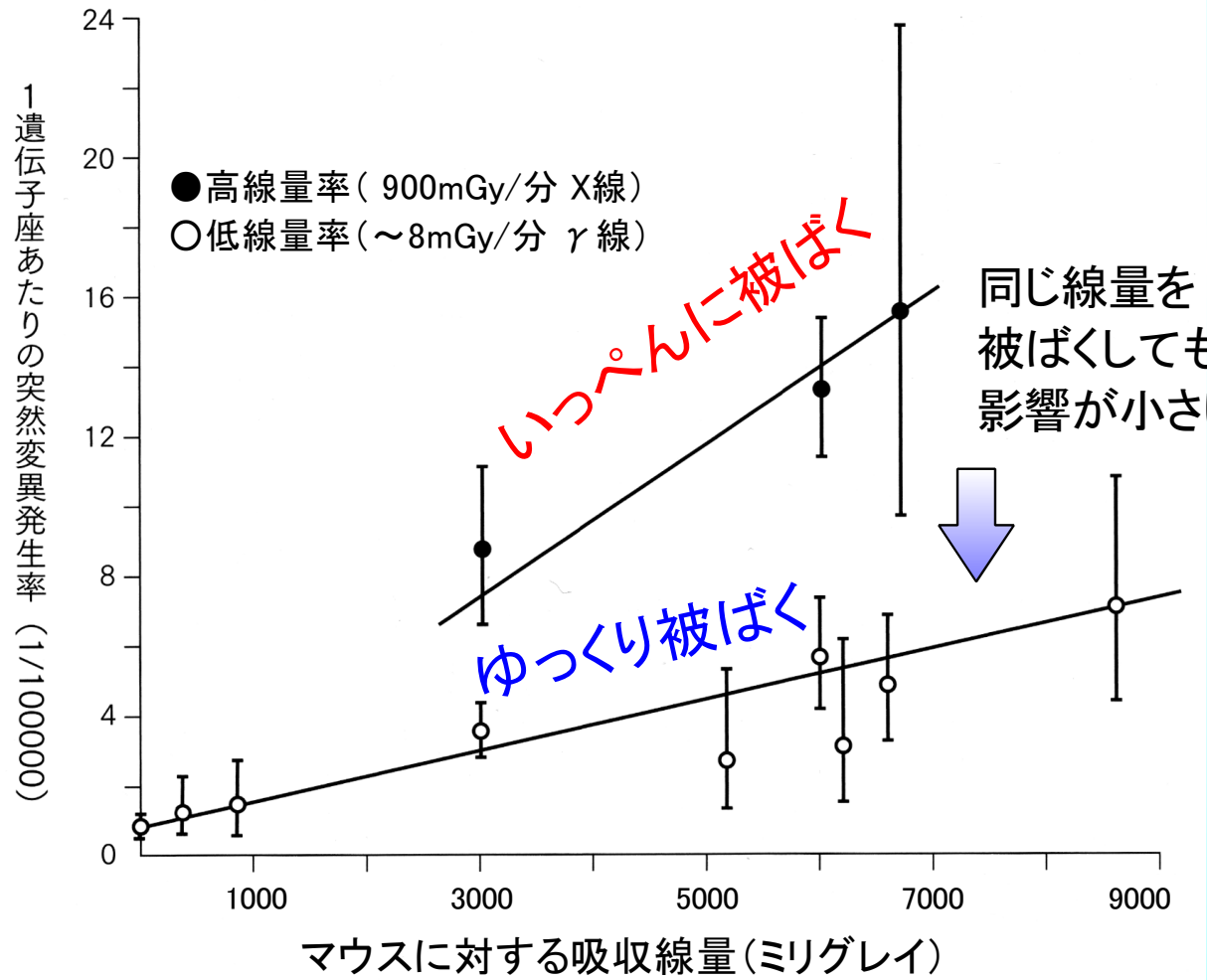
100mSv

これ以下の線量でも影響はあるかも知れませんが、影響が小さすぎて、他の生活習慣などに隠れてしまっているのか無いのか良く分からない、というのが100ミリシーベルトという線量です。

被ばく線量（短時間での被ばくの場合）

長期間の被ばくの方が危険じゃないの？

合計で同じ線量を被ばくするなら、
時間あたりの線量が小さい方が影響は少ない！



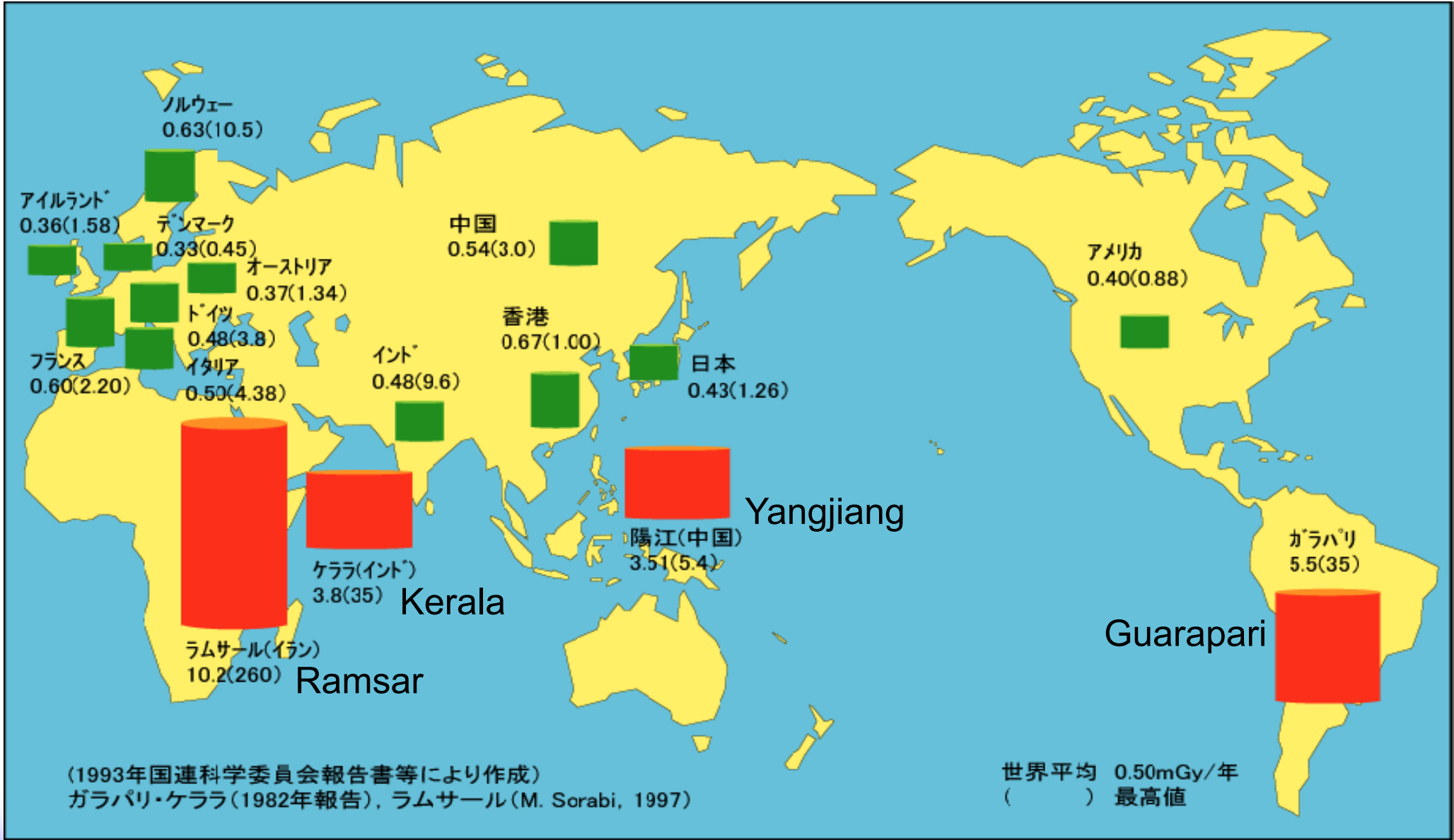
細胞にはDNAを修復する力があります

1950年代に行われた、700万匹にも及ぶマウスを用いた、「メガマウスプロジェクト」からのデータです。これほど大規模な実験は現在では国家レベルでも不可能です。

グレイは物質に吸収される放射線のエネルギーです。100ミリグレイのX線やガンマ線を人間が吸収した場合、100ミリシーベルトと同じ数値になります。

放射線必須データ32、創元社、p.20。(メガマウスプロジェクトの論文より引用、原典では横軸単位はレントゲン)

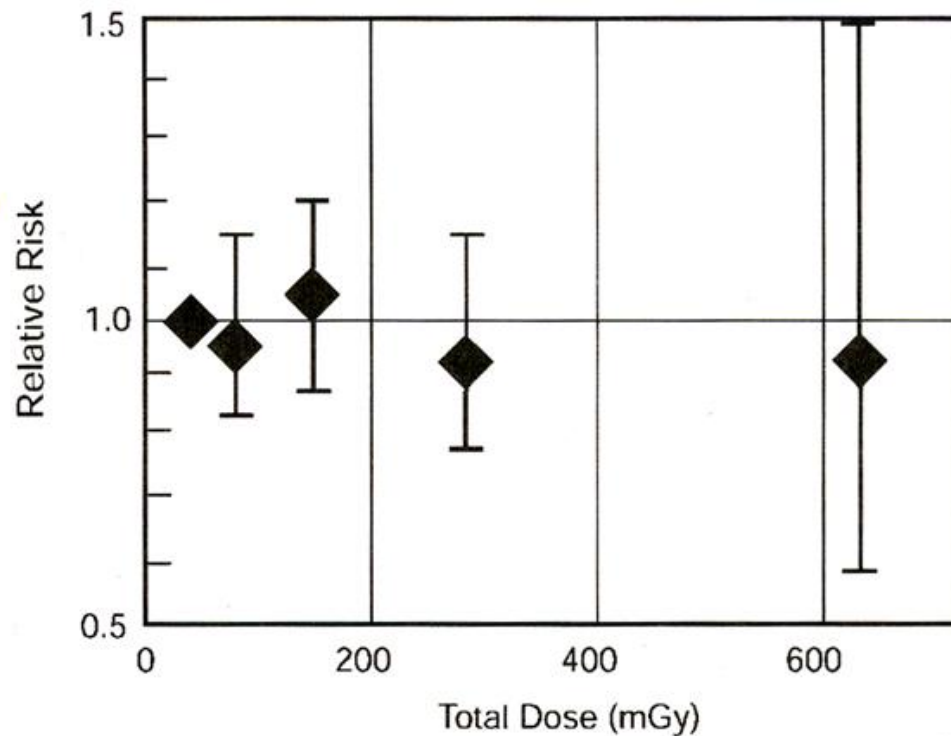
世界の自然放射線



高自然放射線地域でのがん罹患率

インドケララ州高自然放射線地域

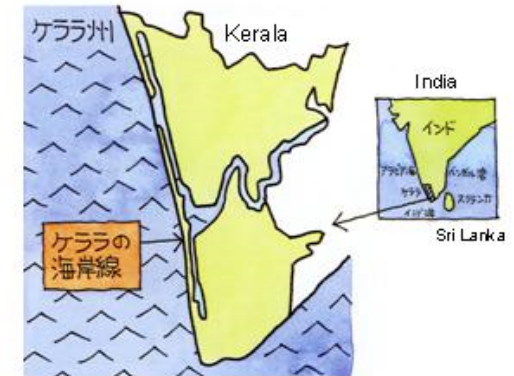
全がん(白血病を除く)の相対リスク



推定累積線量

地域住民の発がんリスクは
高くない

トリウムを含む黒い砂浜で暮らす漁民



(「世界の大地放射線」放射線照射利用促進協議会)

(Nair, R. R. K. et al., *Health Phys.*, 96, 55-66, 2009)