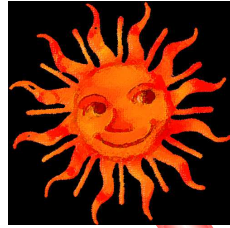
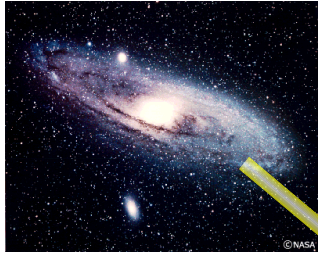


# 環境中の放射能

担当 秋吉 優史

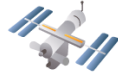
## 自然界の放射能

## 人工放射能



# 宇宙からの放射線

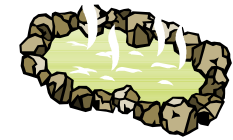
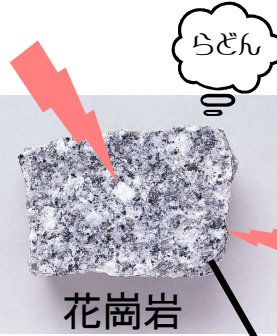
宇宙ステーション



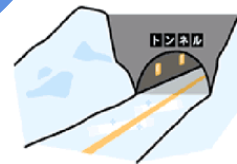
# 医療での放射線



# 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



イタリア・ピサの大聖堂

# 宇宙からの放射線

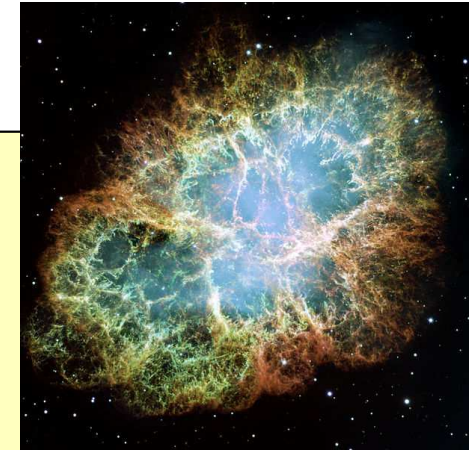
大気で地球上の生物は守られている



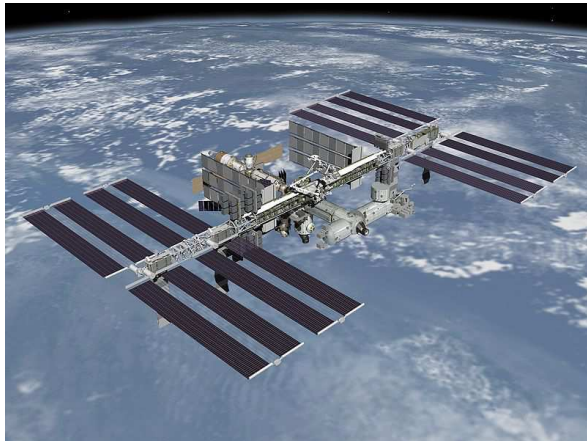
アラスカ、フェアバンクスで観察されたオーロラ

太陽から放出された帯電した粒子は地球の磁場に捉えられて、その一部は北極や南極の近くで大気にぶつかってオーロラとして観測される。

超新星爆発などで発生した非常にエネルギーの高い ( $\sim 10^{20}\text{eV}$ ) 宇宙線も飛んできており、大気とぶつかって二次的な放射線のシャワーを降らせる。  
また、核反応により放射性核種の生成が起こる (C-14:  $10^{15}\text{Bq/y}$ , H-3:  $10^{18}\text{Bq/y}$ )。



おうし座のかに星雲。  
超新星爆発の残骸。



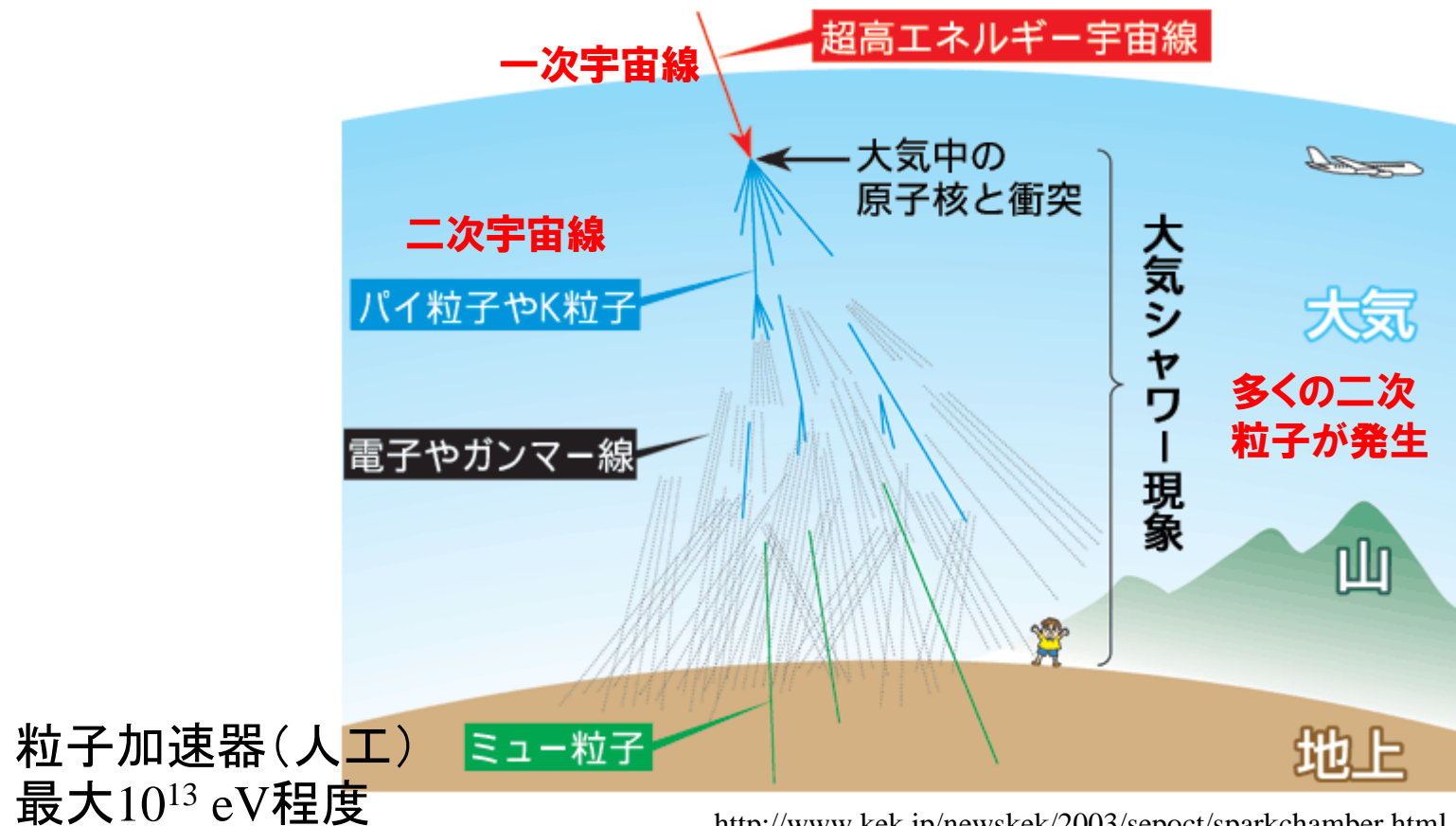
国際宇宙ステーション ISS の完成予想図

上空では、まだ十分に宇宙線が弱くなっていないので、飛行機に乗ると放射線量が増加する (ヨーロッパへの往復で  $100\sim 200\mu\text{Sv}$  程度)。宇宙ステーション (ISS: 高度  $400\text{km}$ ) 滞在中の宇宙飛行士の被ばく線量は、1日当たり  $0.5\sim 1\text{mSv}$  程度にもなる。

# Cosmic ray

銀河系内を起源とし、超新星残骸などにより加速されていると考えられている

陽子をはじめとする荷電粒子  
最大  $10^{20}$  eV



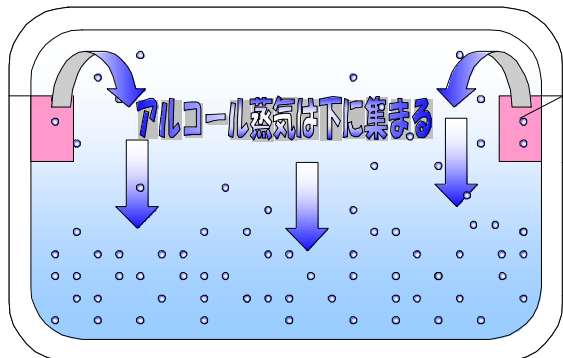


# 宇宙線による刺激が、大気中での雲の生成に関与しているという説があります

## 霧箱の原理

簡単に言うと、放射線がアルコールの過飽和蒸気の中を通るとき、通り道に沿ってできるアルコールの霧を観察する装置、です。

飛行機雲 → 大気上空の過飽和水蒸気を飛行機が刺激



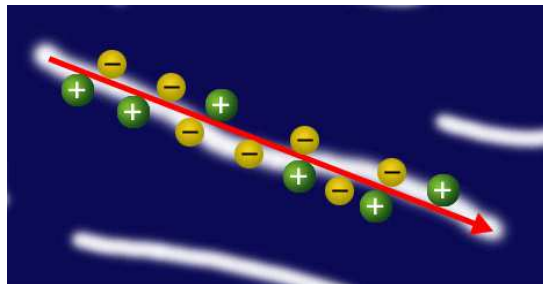
エチレングリコールを吸ったスポンジとヒーター。エチレングリコールの蒸気が発生します。

エチレングリコールの蒸気が冷やされて、過飽和状態になっています。

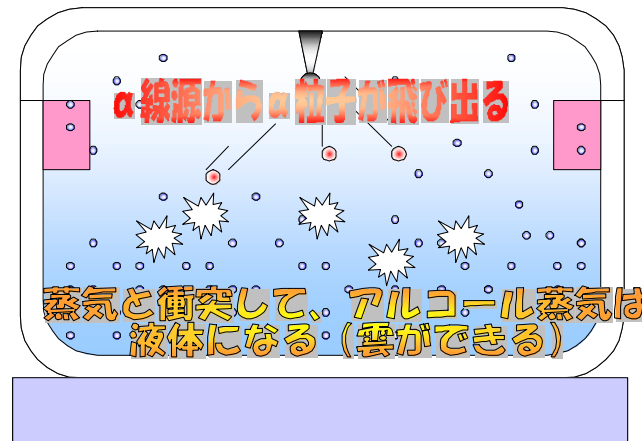
深さ10cm前後の容器上部のヒーターでアルコールを蒸発させ、容器の下部(底部)は空冷で室温程度に冷却します。

これにより容器内部で上下の温度差が数十℃程度の急激な温度勾配を作ると、容器の上方はアルコール気体の飽和状態、下方には過飽和状態ができます。

室温程度に冷却されています



アルコール気体の過飽和状態の中を電荷を持った高速の放射線が走ると、その道筋にある窒素や酸素の気体分子の電子が跳ね飛ばされ、イオンができます。このイオンが核となって飽和状態のアルコール分子が集まり、アルコールの液滴となって霧ができます。



この白い飛行機雲のように見えるアルコールの霧に光りを当て、放射線の通った跡(「放射線の飛跡」という)を観察します。

# 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U-238とその娘核種などから沢山の放射線が出ている。地殻全体の平均で1tあたりウランは2.4g含まれている。花崗岩には11gも含まれていて、140kBqに相当する。U-238の娘核種もまた放射能を出して別の核種となる、壊変系列を形成している。岩石中にはこれらの系列核種も一緒に含まれているので、実際の放射能はずっと大きな値となる。



トンネルの中は周囲を岩石に囲まれているため地表よりも放射線量が高い。(東名高速の日本坂トンネルで $0.13 \mu\text{Sv/h}$ など地表の倍程度)

壊変系列の中には、気体元素のラドンが含まれており、肺の中で内部被曝を起こす。またラドンの娘核種は気体ではないが、埃などに付着して漂っており、地下室などでは高い濃度になっている。



パリ・シャンゼリゼ通りの石畳 ( $0.389 \mu\text{Sv/h}$ )

ヨーロッパは岩盤で覆われており日本よりはるかに(10倍以上)自然放射能が高い地域が多い。国内でも岩盤が多く露出している岐阜県などでは比較的放射線量が高く、富士山の火山灰で覆われている関東は比較的低い。

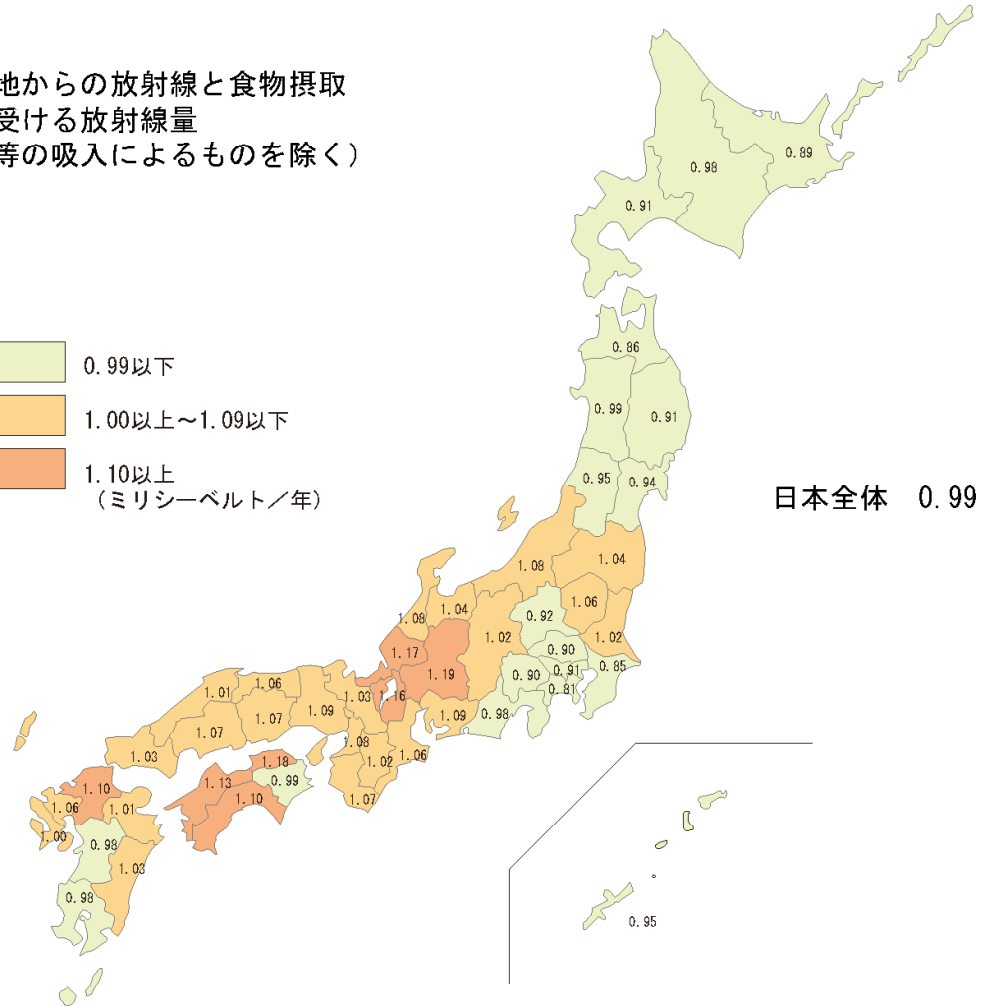


ピサの斜塔

イタリア・ピサの大聖堂

# 全国の自然放射線量

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)

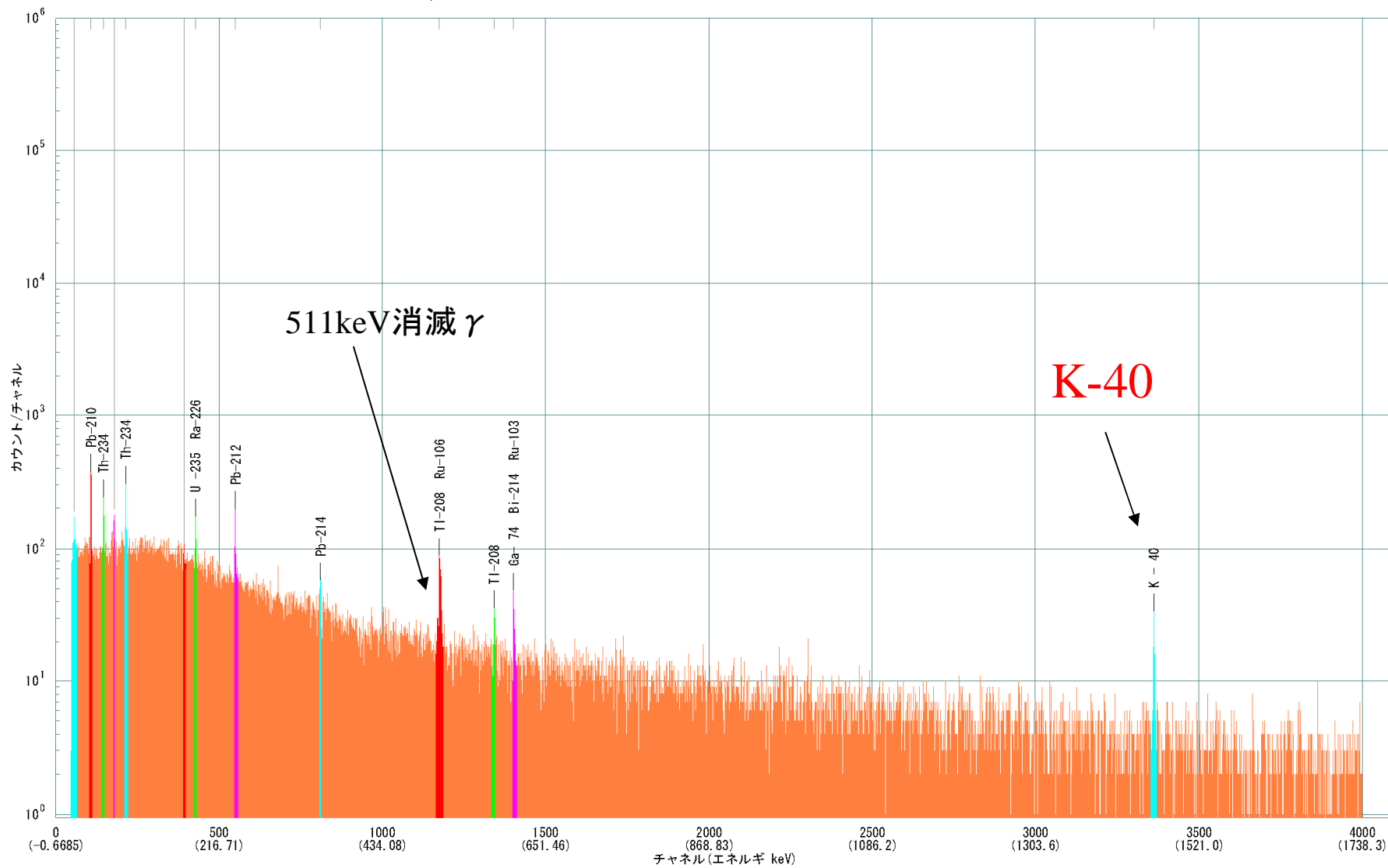


# バックグラウンド放射線のスペクトル

131126\_BackGround.CHN

(5~10cmの鉛で遮蔽)

Acquired:2013-11-26 01:11:53 Real Time:60006.5(sec) Live Time:60000.0(sec)





# 天然の放射性核種

地球が誕生して約50億年、未だに天然の放射性核種が残る。

放射性核種の半減期則より

10半減期の後では元の1024分の1、

40半減期では1兆分の1 となるため、半減期の短い核種は既に消滅している。

## 壊変系列をつくる放射性核種

親となる核種の寿命が長く (U-238 45億年, Th-232 140億年)、  
 $\alpha$ 崩壊に伴って質量数が親核種から4ずつ小さくなる。

## 系列を作らない核種

大気上層で宇宙線により  $^3\text{H}$  ( $10^{18}\text{Bq/y}$ )、 $^{14}\text{C}$  ( $1.3 \times 10^{15}\text{Bq/y}$ ) が生成される。

$^3\text{H}$  は半減期12.3年、 $^{14}\text{C}$ は5730年と短い。

一方、地球誕生時から存在したものとして以下の核種などが知られている。

$^{40}\text{K}$	(半減期12.8億年, 天然のK中の存在比 0.0117%)、
$^{87}\text{Rb}$	(480億年, 27.8%)
$^{147}\text{Sm}$	(1060億年, 15.1%)
$^{148}\text{Sm}$	(8000兆年, 11.3%)
$^{115}\text{In}$	(510兆年, 95.7%)
$^{113}\text{Cd}$	(9000兆年, 12.2%)
$^{187}\text{Re}$	(400億年, 62.6%)
$^{144}\text{Nd}$	(2100兆年, 23.8%)

# 年代測定法の一例

天然放射性物質の性質を使って、  
試料の年代を測定出来る

## 炭素14法

宇宙線により発生するC-14は、現在崩壊して減少する速度と釣り合っており、平衡状態となっている。このため、大気中のCO<sub>2</sub>に含まれるC-14濃度は一定であり、現在生きて活動している生物中の濃度も一定である。しかし、生物が死んで代謝が停止すると、半減期5730年の崩壊に従ってC-14濃度は減少していく。このため、C-14濃度を評価すれば元になる炭素を取込んだ生物が死んでからの時間が分かる。

ただし、大気中の平行濃度は一定とは限らず、他の方法で年代が明らかな試料の測定から、若干大気中の濃度が変動していることが分かっている。

## カリウム-アルゴン法

K-40は半減期12.5億年で壊変して、希ガス元素であるAr-40に変わる。気体であるAr-40は、岩石が熱せられると逸脱してしまうため初期値を0と考え、岩石が冷えてからは逸脱できずに岩石の中にたまっていくと考える。Ar-40は岩石を熱することにより集める事が出来るためこの量を測定すると、岩石が溶岩から固まってからの年代を測定できる。

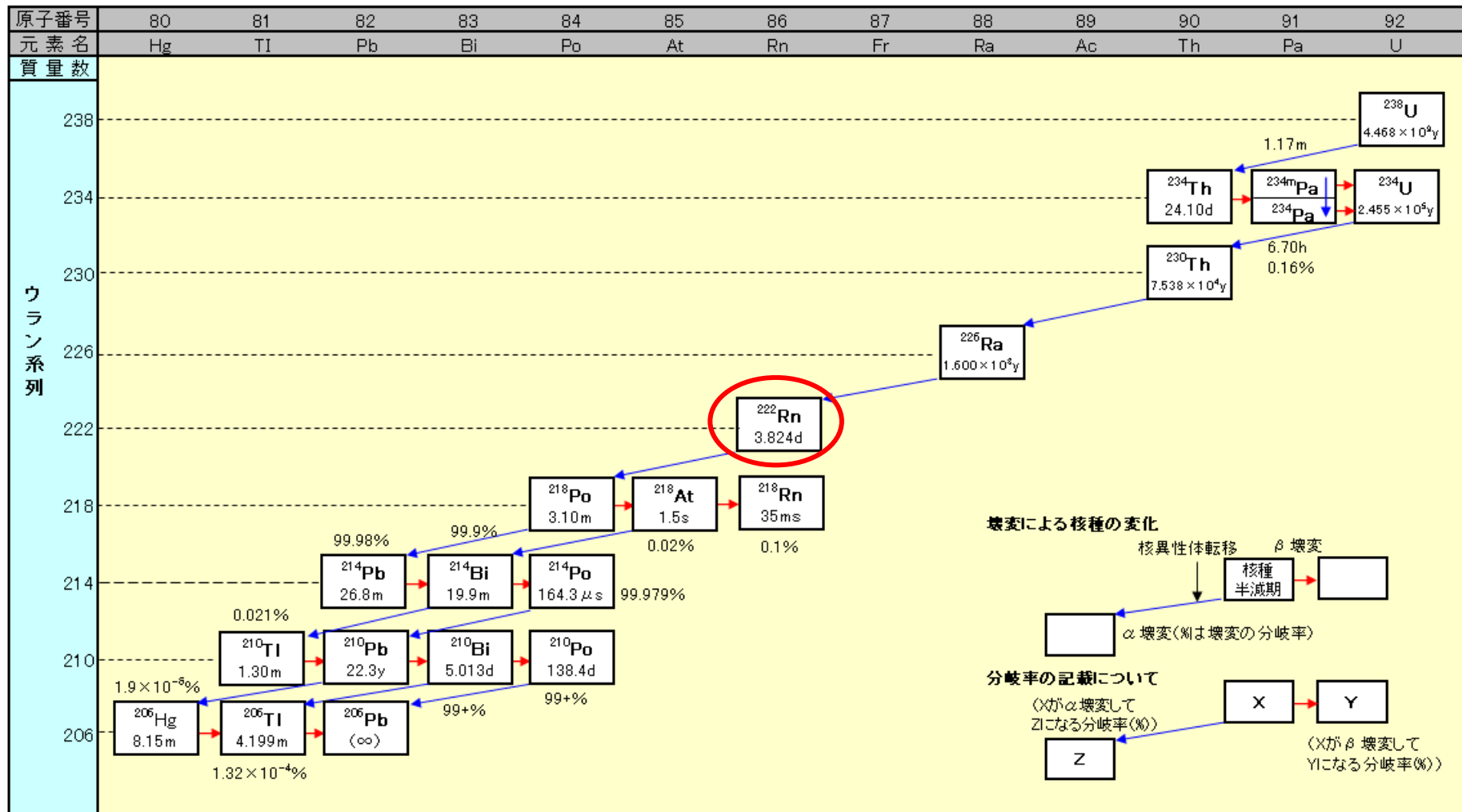
ただし、変成作用などにより岩石が途中で熱せられると一部のAr-40が逸脱してしまうため、評価年代が若くなってしまう。U-Pb法などと併用すると逆に変成作用を受けた年代が評価できる。

表1 放射年代測定法の適用範囲および適用物質

放射年代測定方法	現在からさかのぼる適用年代(BP年)										地球外物質	火成岩・火成岩物	変成岩	堆積岩・堆積物	ガラス類	海洋性沈殿物	生物起源炭酸塩類	湖・河川堆積物	地上堆積物	地下水・海水	木片など有機物	骨・歯・角	陶器・煉瓦		
	プレカンブリア	古生代 中生代	第三紀	第四紀		完新世																			
	10 <sup>10</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	1														
親・娘核種の放射性同位体比の利用												◎	◎	◎	○	△								△	
<sup>40</sup> K/ <sup>40</sup> Ar <sup>39</sup> Ar/ <sup>40</sup> Ar <sup>87</sup> Rb/ <sup>87</sup> Sr <sup>147</sup> Sm/ <sup>143</sup> Nd <sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb, <sup>235</sup> U/ <sup>207</sup> Pb, <sup>232</sup> Th/ <sup>208</sup> Pb												◎	◎	◎	○	△								△	
宇宙線由来の放射性核種の利用																									
<sup>14</sup> C <sup>3</sup> H/ <sup>3</sup> He <sup>10</sup> Be <sup>36</sup> Cl <sup>39</sup> Ar <sup>53</sup> Mn												○	○	○	△		○	◎	◎	△	△	○	◎	◎	△
ウラン系列の放射非平衡を利用													◎		○	○	◎	◎	△					○	
<sup>230</sup> Th/ <sup>234</sup> U <sup>231</sup> Pa/ <sup>235</sup> U <sup>234</sup> U/ <sup>238</sup> U <sup>230</sup> Th過剰 <sup>230</sup> Th過剰/ <sup>232</sup> Th <sup>231</sup> Pa過剰/ <sup>230</sup> Th過剰 <sup>210</sup> Pb U/He													◎		○	◎	◎	△					○	○	
放射線損傷を利用した年代測定																				◎				◎	
熱蛍光(TL)法 電子スピン共鳴吸収(ESR)法 フィッシュントラック												△	△	△	△	△	○	◎	△	◎			△	◎	

————— : 多方面で適用可能な範囲      - - - - - : 制限付きで確立された適用範囲      ◎ : 多用される  
 - - - - - : 適用可能な範囲      ———— : 開発・研究中範囲      ○ : よく用いられる  
 ..... : 制限付きで適用可能な範囲      △ : 用いることが可能

# 放射壊変系列 1: ウラン系列 (4n+2)

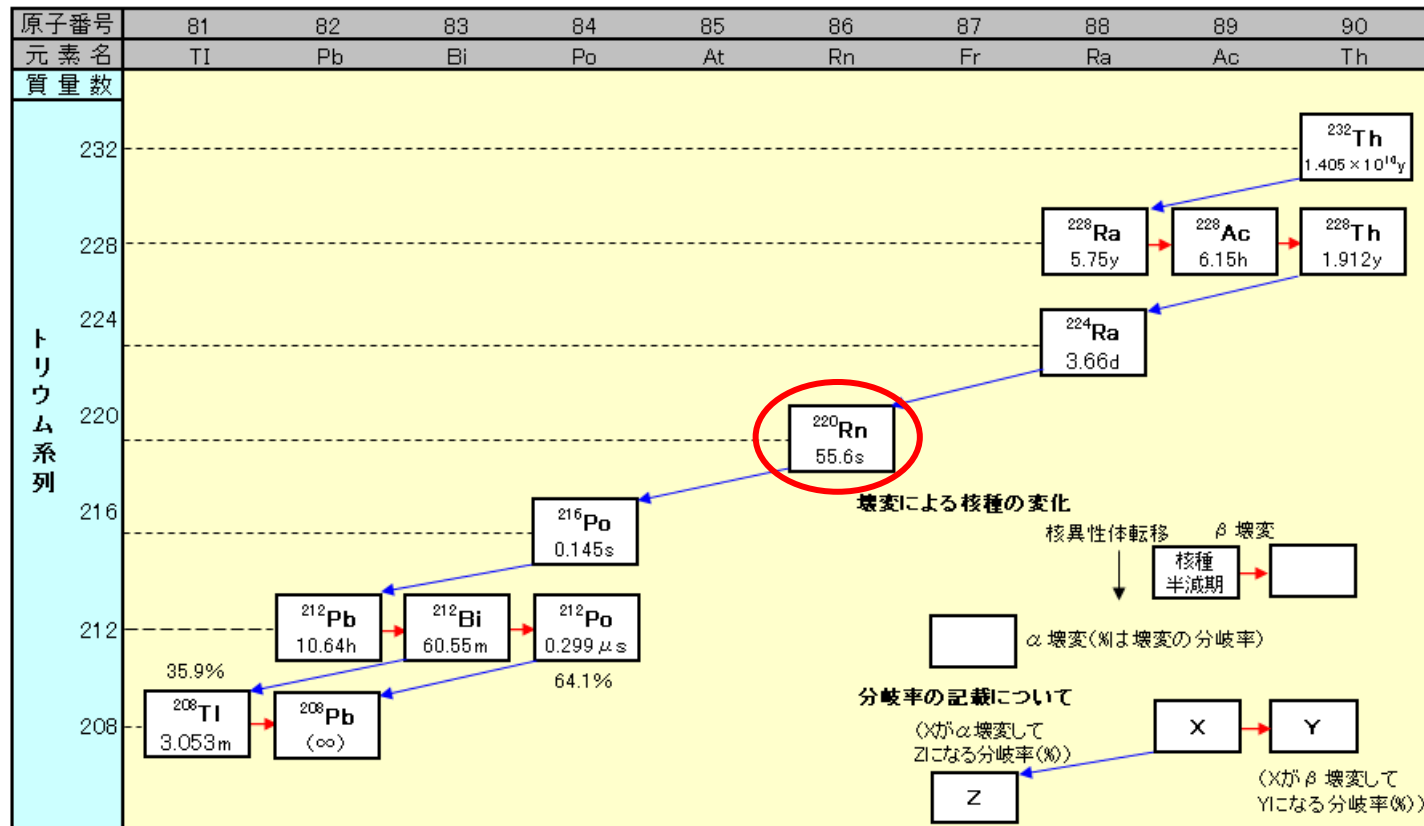


半減期の記号;s(秒), ms(10<sup>-3</sup>秒), μs(10<sup>-6</sup>秒), m(分), h(時), d(日), y(年)

図1-1 天然放射性核種の壊変系列図(ウラン系列)(1/4)

[出典] 国立天文台(編):理科年表 2010年版、丸善(2009年10月)、p.468-469

# 放射壊変系列 2: トリウム系列 (4n)



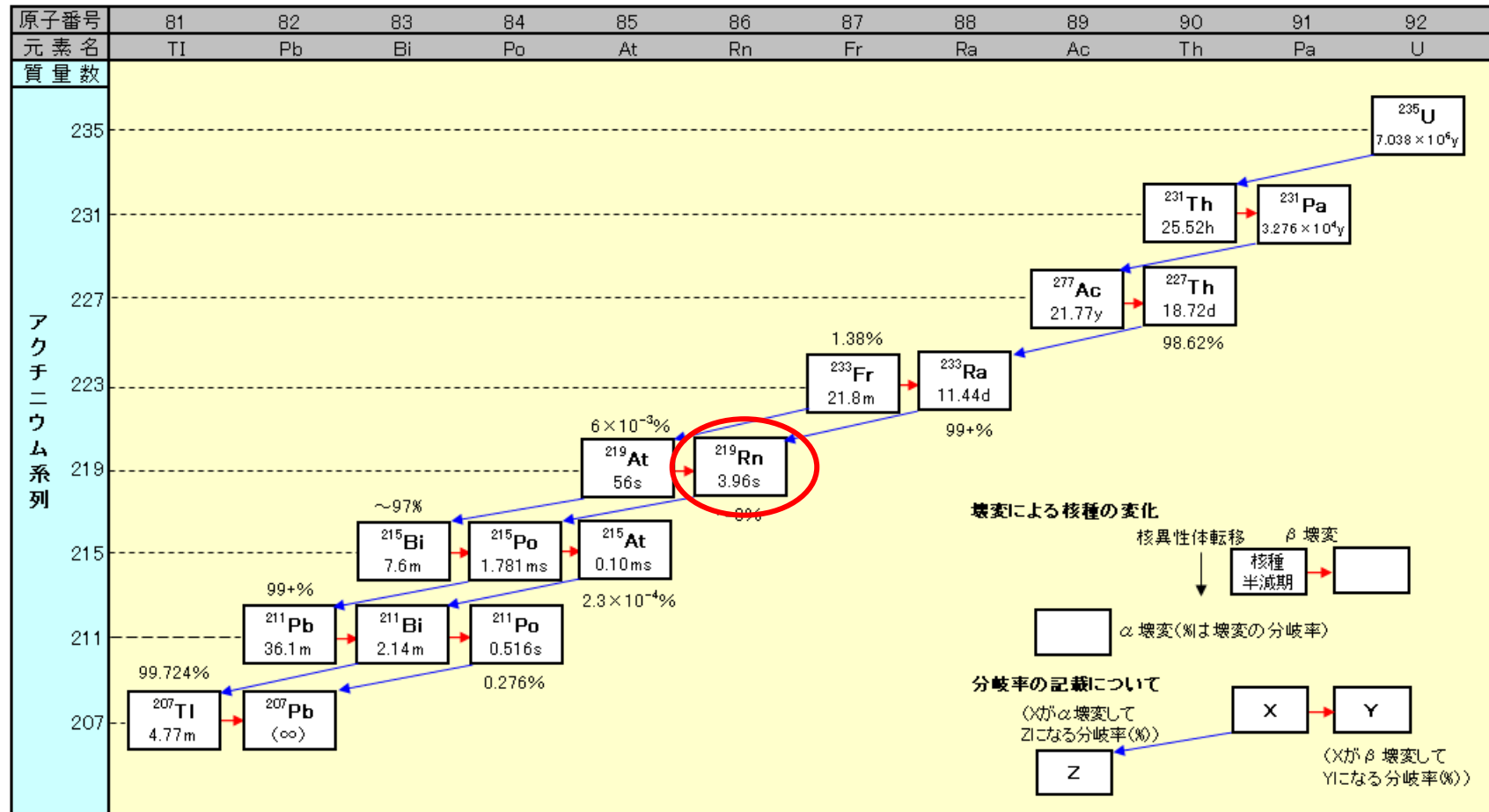
半減期の記号; s(秒), ms( $10^{-3}$ 秒),  $\mu$ s( $10^{-6}$ 秒), m(分), h(時), d(日), y(年)

図1-3 天然放射性核種の壊変系列図(トリウム系列)(3/4)

[出典] 国立天文台(編):理科年表 2010年版、丸善(2009年10月)、p.468-469



# 放射壊変系列 3: アクチニウム系列 (4n+3)

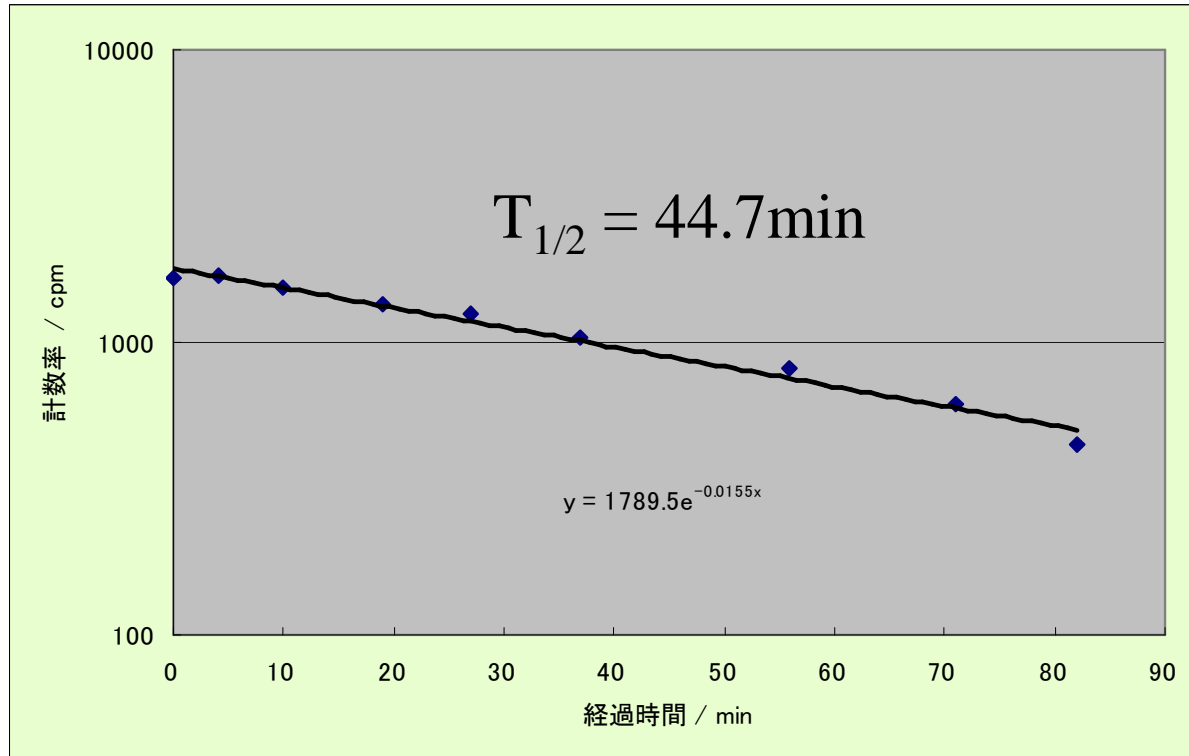


半減期の記号;s(秒), ms(10<sup>-3</sup>秒), μs(10<sup>-6</sup>秒), m(分), h(時), d(日), y(年)

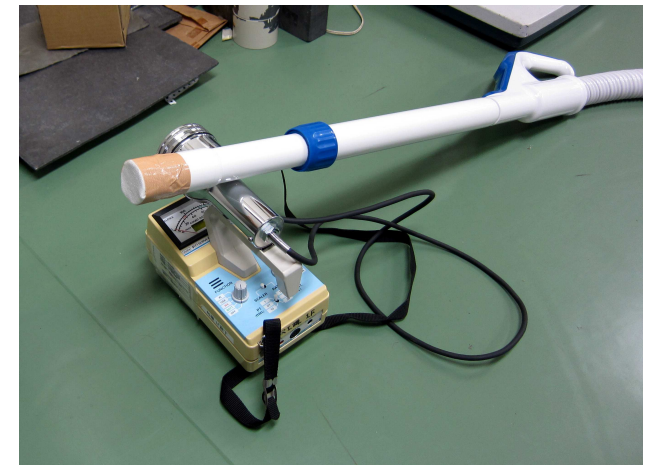
図1-2 天然放射性核種の壊変系列図(アクチニウム系列)(2/4)

[出典] 国立天文台(編):理科年表 2010年版、丸善(2009年10月)、p.468-469

## 空気中のラドンの娘核種の捕集と崩壊曲線

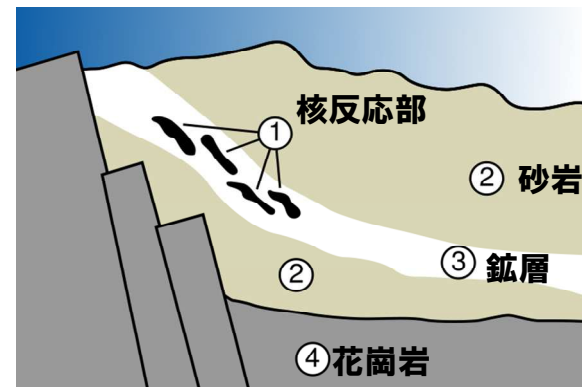
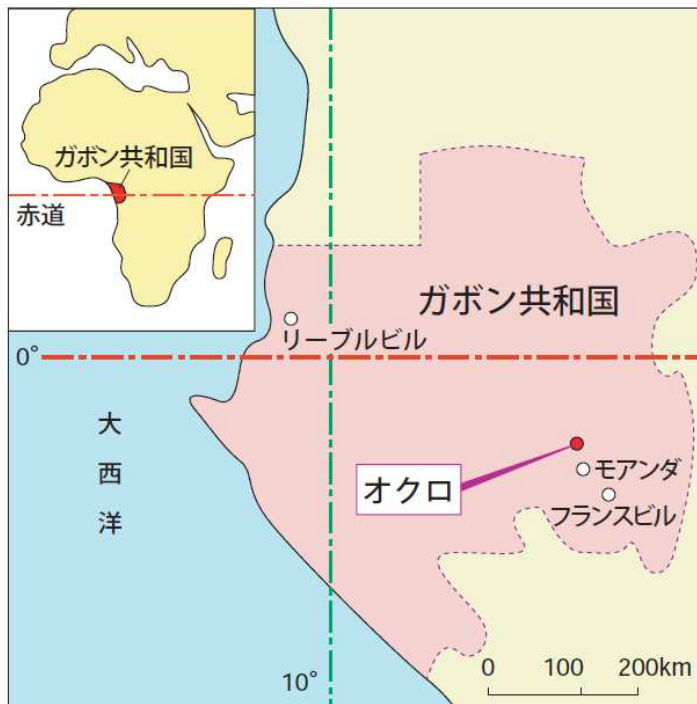


市販の掃除機吸入口先端にガーゼ(ベンコット)をかぶせて5分ほど吸引し、広窓型GMサーベイメータ TGS-136のスケーラーモードで1分間計数した



# 天然原子炉(オクロ原子炉)

1. 天然原子炉の発見の経緯
2. 天然原子炉の存在の証明
3. 天然原子炉に関する研究



## P.K.Kuroda: 1956年、天然原子炉を予言

U-235の存在比が現在より大きかった昔のウラン鉱床の中では、中性子減速に効く水の量と不純物など環境条件が満たされると核分裂連鎖反応が起きることを、公開されたばかりのFermiの原子炉理論を使って計算。

当時ほとんどの研究者がその現象の存在を疑問視し、注目されず。

1972年、オクロ鉱山で17億年前に核分裂連鎖反応が起きたことが立証された。

その他、太陽系初期における消滅核種Pu-244の存在の証明など

## 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

K-40は半減期12.5億年、同位体比0.012%の放射性核種であり、天然のカリウム1gに30BqのK-40が入っている。畑にまく肥料の一つにカリ肥料があり、カリウムは作物に、そして人間にも必須の元素の一つである。昆布や椎茸、キュウリなどに沢山含まれており、これらの食物を通して人間の体の中にはおよそ4000BqのK-40が存在しており一年間で $170\mu\text{Sv}$ 被曝する。

Po-210はU-238系列に属する放射性物質で魚介類に多く含まれ、日本人は特に多く摂取しており、60kgの人間の体の中にはおよそ20Bq存在する。カリウム-40が $\beta$ 線/ $\gamma$ 線を放出するのに対して、このPo-210は $\alpha$ 線を放出するため、内部被曝量は年間で $800\mu\text{Sv}$ にもなる。



タバコ1本には24mBqのポロニウム-210が含まれており、一日一箱の喫煙で年に $100\mu\text{Sv}$ 被曝する

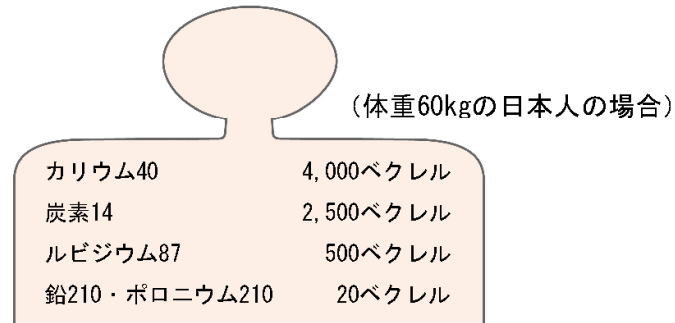
内部被曝の実効線量を求める際は、対象となる放射能を摂取した瞬間に成人の場合今後50年間、子供は70歳までに体内に放射能が存在することによって被曝するであろう線量を積算して、いっぺんに被曝した物として線量評価を行う、預託線量という考え方が取り入れられている。

実際に被曝する線量は、放射能の物理的半減期に加え、代謝による排泄で体内の量が減る生物学的半減期も加味して実効線量係数が算出される。



# 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の放射能量 (日本)

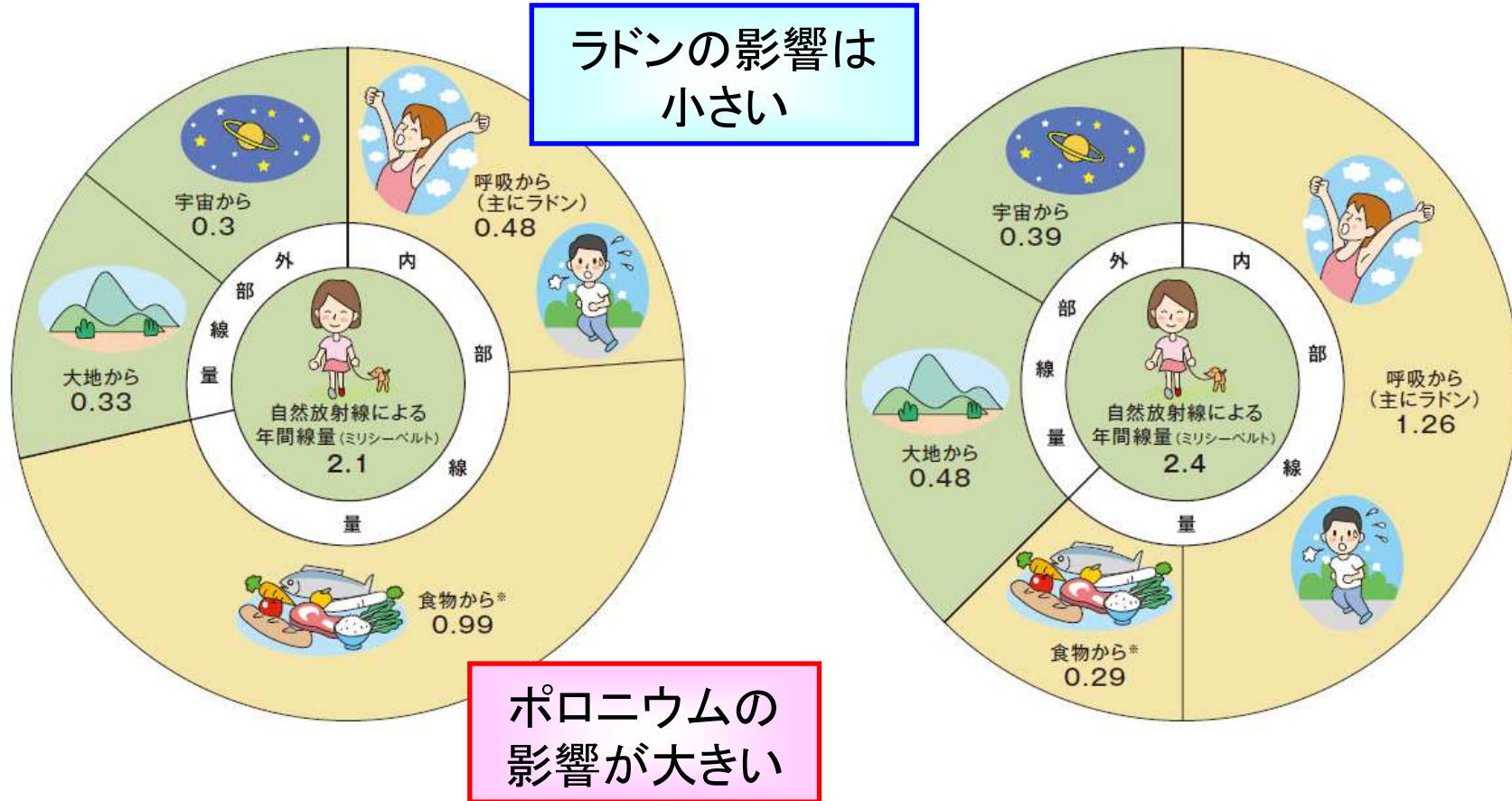
(単位: ベクレル/kg)



# 自然放射線から受ける線量

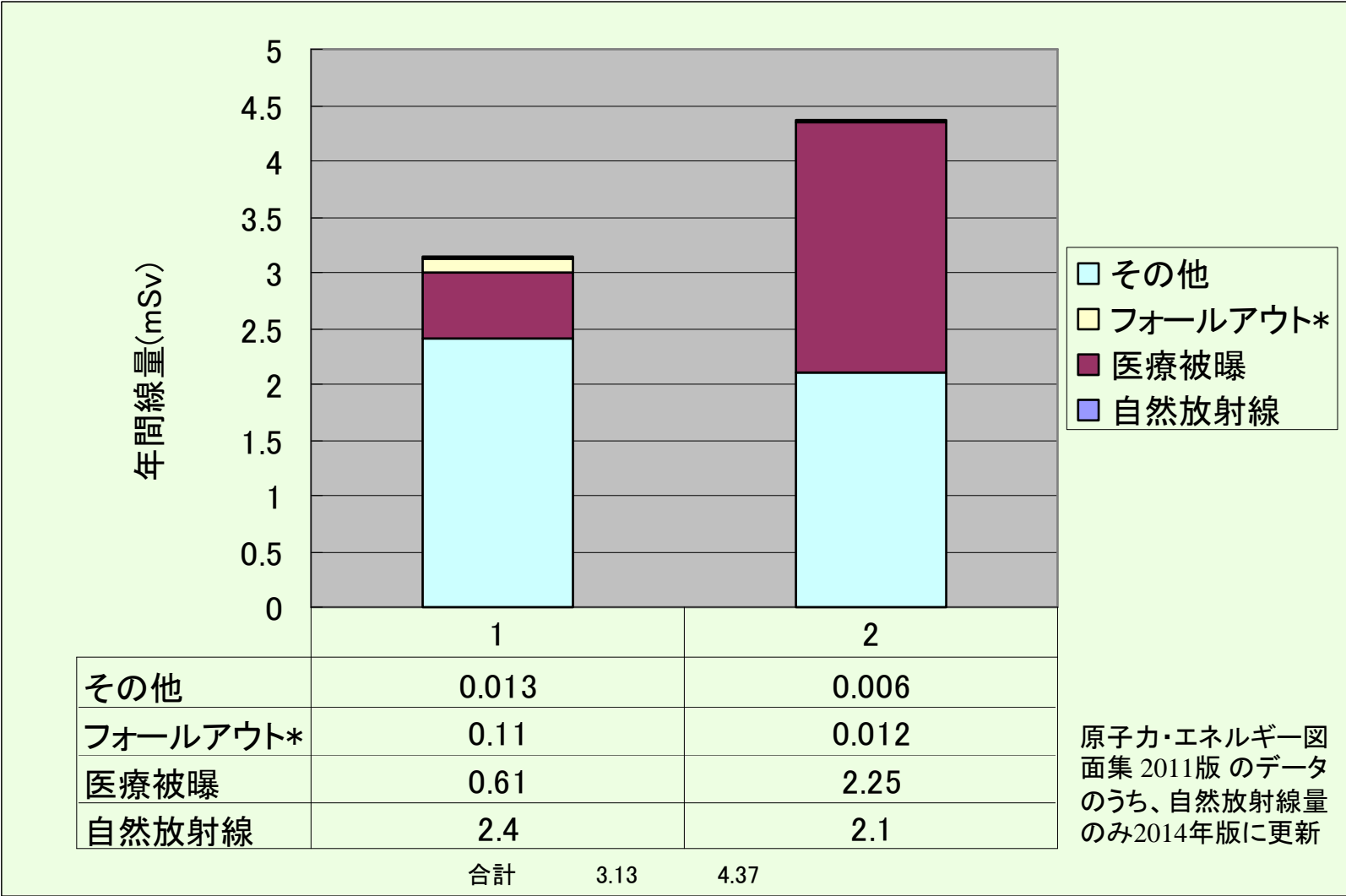
一人あたりの年間線量(日本平均)

一人あたりの年間線量(世界平均)



※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による実効線量大きい

# 一人あたりの年間被曝線量の比較



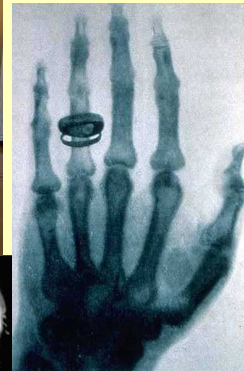
**\* 福島の影響は加味されていません**

中学生以下を対象に、平成24年11月から平成25年1月までの3ヶ月間、個人線量計(ガラスバッジ)により外部被ばく線量の測定を行った結果、98%が0.5mSv以下(81%が0.1~0.5mSv)。

# 人工放射線

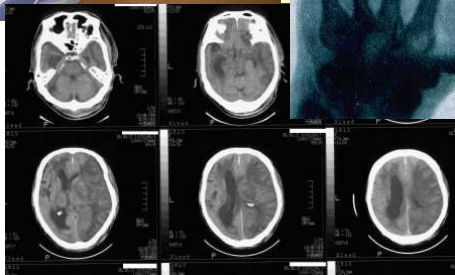
# 医療での放射線

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  $600 \mu\text{Sv}$ 、  
CT スキャンでは 数mSv

これらの被曝による健康への影響は、ゼロではない  
→ 検査をせずに命を失うリスクよりもずっと小さい  
→ トータルでメリットがある  
★ 100mSv でガンによる死亡率 0.5% 上昇



より積極的に、放射線による治療も行われている。  
いかに患部に集中的に放射線を当てるかがポイント

基本は正常細胞と癌細胞の放射線感受性の違いを利用

- ・ 高精度放射線治療：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：3.7~7.4GBqの大量のヨウ素-131を投与

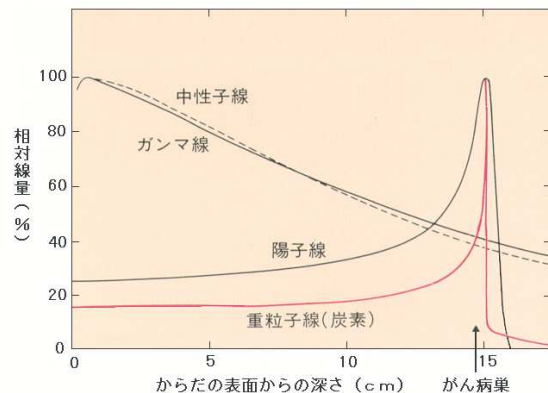
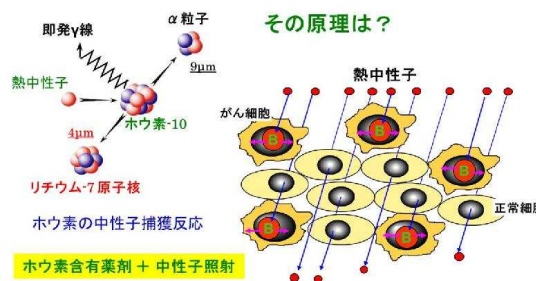


図2 重粒子線照射治療の利点(2)

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)

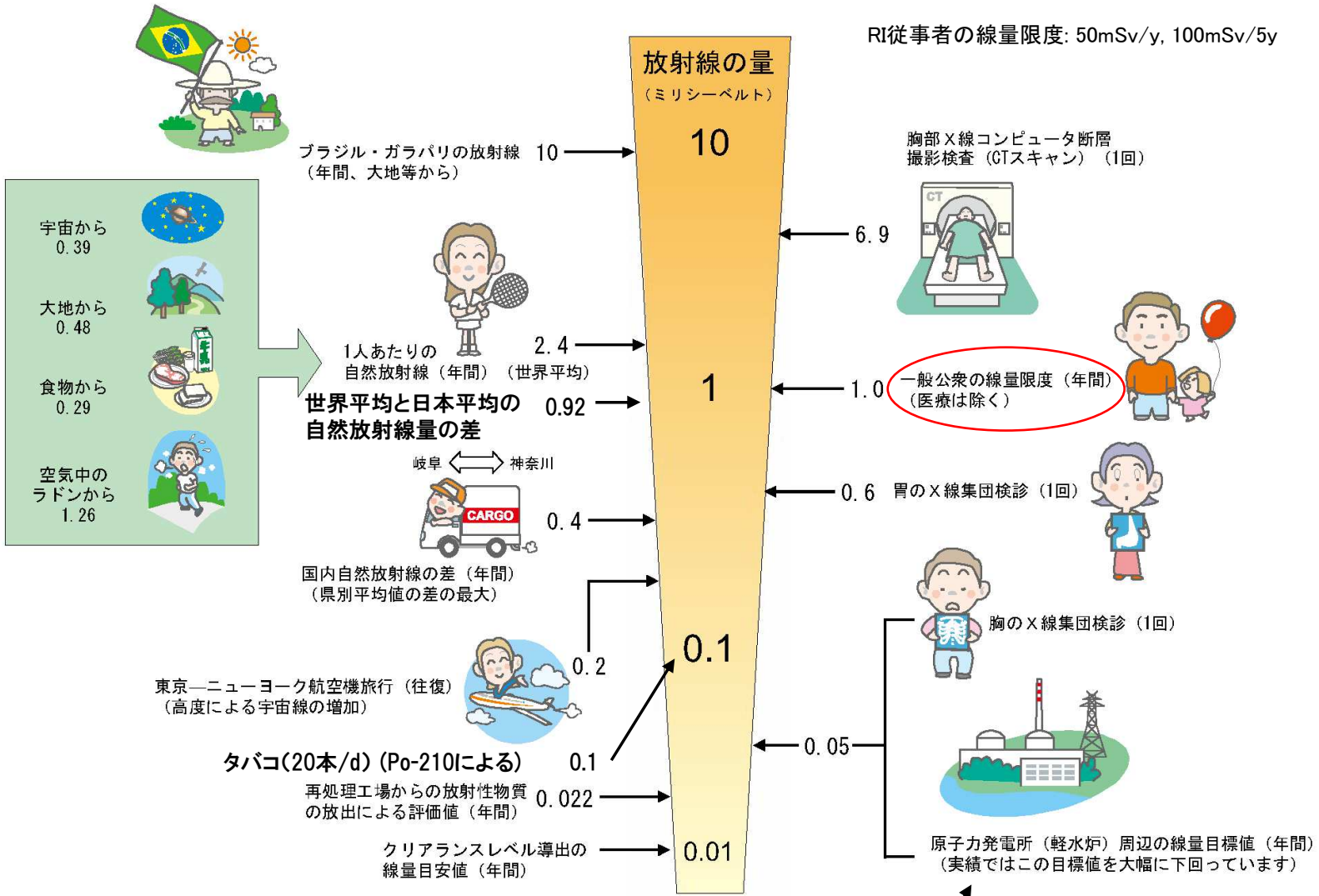


- ・ 体の奥の手術が難しいガン：  
加速器からの粒子線の  
ブラッグピークを利用
- ・ 広範囲に分散したガン：  
ホウ素を取込ませた癌細胞に  
中性子をあてる

熊取町ウェブサイトより



# 日常生活と放射線



平常時の値

VIII 核爆発実験回数

年次	米国	ソ連	英国	仏	中国	印	備考
1945	3	-	-	-	-	-	広島、長崎に原爆投下
~	5	1	-	-	-	-	
1950	-	-	-	-	-	-	
1951	16	2	-	-	-	-	
1952	10	-	1	-	-	-	米国第1回水爆
1953	11	4	2	-	-	-	ソ連第1水爆、第5福竜丸被災
1954	6	7	-	-	-	-	俊鶴丸実験海域に調査派遣される
1955	18	5	-	-	-	-	
1956	18	9	6	-	-	-	俊鶴丸実験海域に調査派遣される(第2次)
1957	32	15	7	-	-	-	英国第1回水爆
1960	-	-	-	3	-	-	
1961	10	51	-	2	-	-	放射能対策本部発足
1962	98	44	2	-	-	-	昭洋丸実験海域に調査に派遣される
1970	-	-	-	-	-	-	
1971	-	-	-	-	-	-	
1972	-	-	-	-	-	-	
1973	-	-	-	-	-	-	
1974	-	-	-	-	-	-	
1975	-	-	-	-	-	-	
1976	-	-	-	-	-	-	
1977	19	18	-	8	1	-	中国第19,20,21回核実験(第20回は地下)
1978	17	27	2	8	3	-	中国第22回核実験
1979	15	29	-	9	-	-	中国第23,24,25回核実験(第24回は地下)
1980	-	-	-	-	-	-	中国第26回核実験
1981	-	-	-	-	-	-	
1982	-	-	-	-	-	-	
1983	-	-	-	-	-	-	
1984	17	25	2	6	2	-	中国第31,32回地下核実験
1985	17	9	1	8	-	-	
1986	14	-	1	8	-	-	
1987	14	23	1	8	1	-	中国第33回地下核実験
1988	14	17	-	8	1	-	中国第34回地下核実験
1989	11	7	1	8	-	-	
1990	8	1	1	6	2	-	中国第35,36回地下核実験
1991	7	0	1	6	0	-	
	936	648	44	192	36	1	合計 1857

## 大気圏核実験によるフォールアウト(放射性降下物)

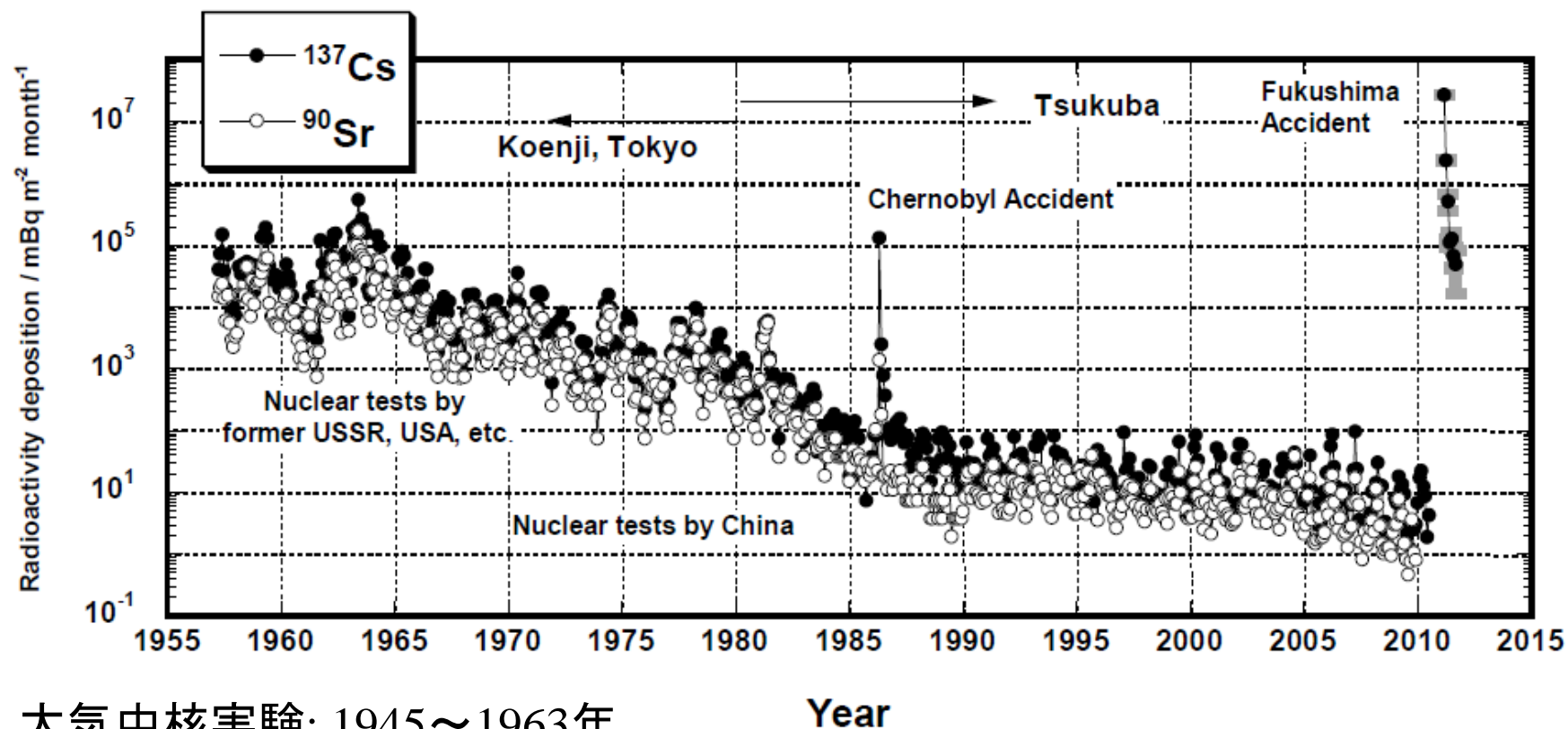
米、英、露などの核保有国は、1963年の部分的核実験禁止条約で大気圏核実験が国際的に禁止されるまで、南太平洋(ビキニ環礁やクリスマス諸島)、サハラ砂漠、北極海などで核実験を繰り返した。これまでの大気圏核実験で  $7.8 \times 10^{15} \text{Bq}$  (7.8PBq) のPu-239が大気圏に放出されて地球全体に広がった。環境試料の測定値などから推定して、平均するとすべての人の体内に40~70mBqが沈着しているとされる。

地球上の生き物すべてが逃れることができないものであるが、この量では生き物に悪影響を及ぼすかどうか医学的に判断できない。

- (注) 1. ソ連では、1949~58年に時期不明で18回の実験を実施しており、この分を1958年(\*)に一括計上した。  
 2. 本表は地下核実験を含む。なお、1963年8月以降の米英ソの核爆発実験は、部分的核実験停止条約により、すべて地下実験である。また仏は、1963年8月~1974年12月までに41回の大気核実験を行っている  
 (WORLD ARMAMENT AND DISARMAMENT (SIPRI YEAR BOOK、スウェーデン)から引用)



# 核実験や原子力事故による Fall Out (雨水・ちりなどに含まれる放射性降下物)



大気中核実験: 1945～1963年

TMI: 1979年

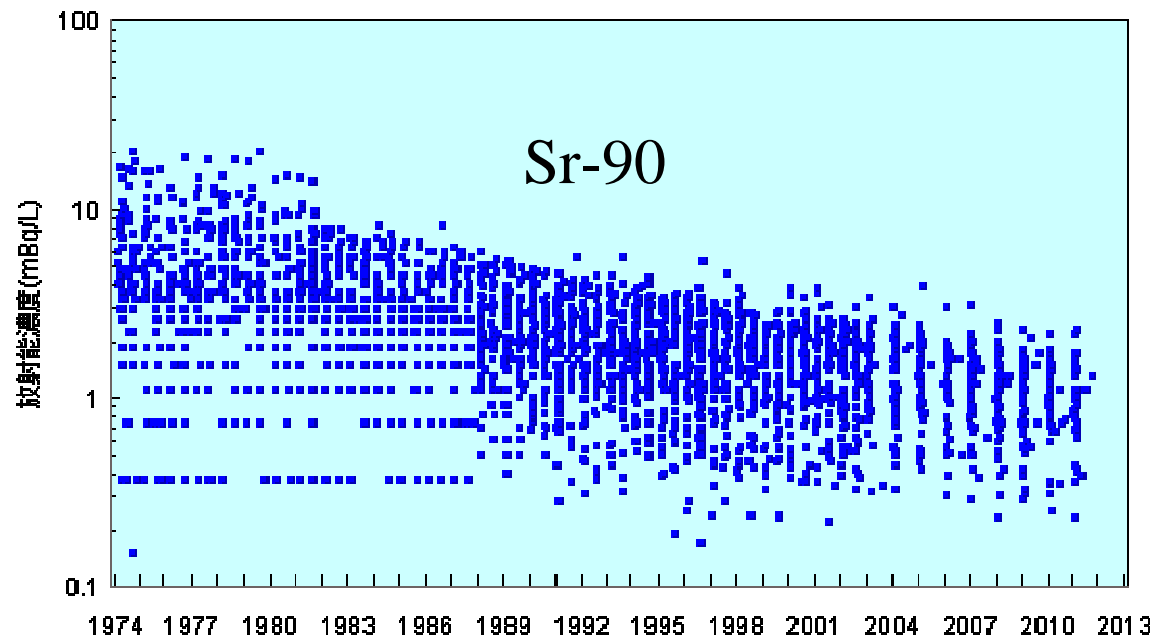
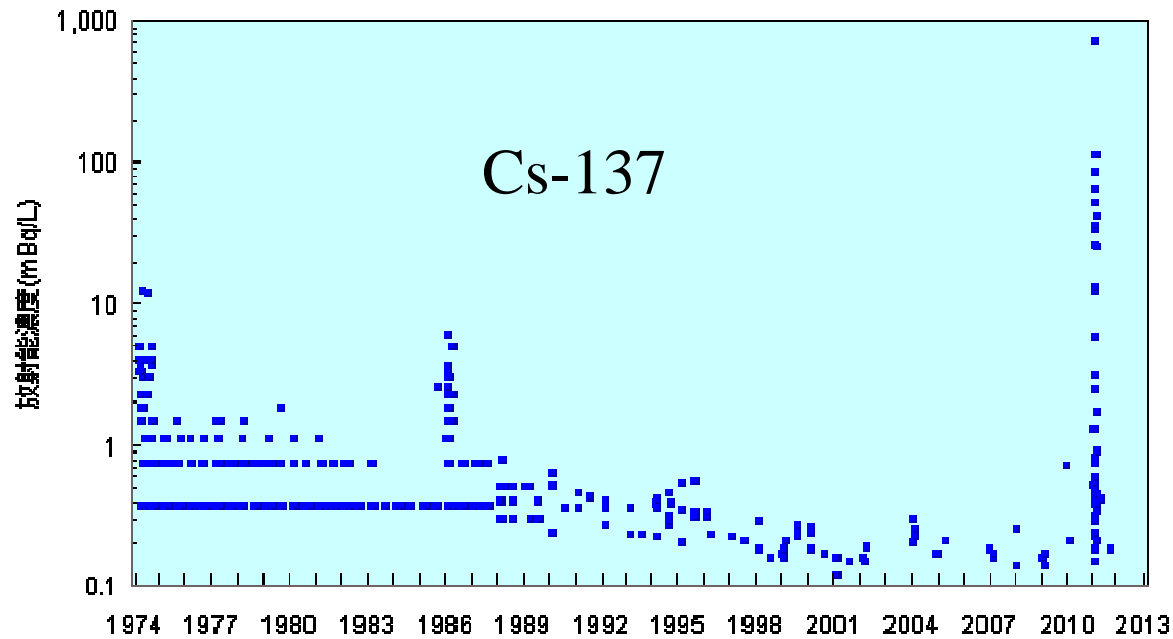
チェルノブイリ: 1986年

福島: 2011年

気象研究所「環境における人工放射能の研究2011」

[http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ge/ge\\_report/2011Artifi\\_Radio\\_report/2011Artifi\\_Radio\\_report.pdf](http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ge/ge_report/2011Artifi_Radio_report/2011Artifi_Radio_report.pdf)

# 水道水

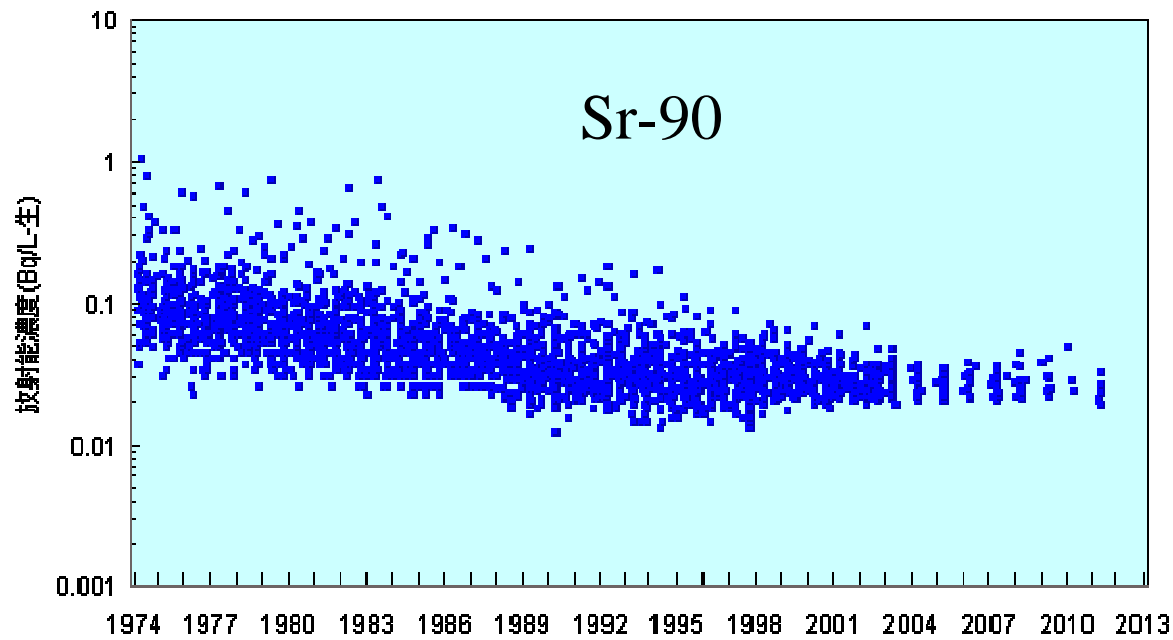
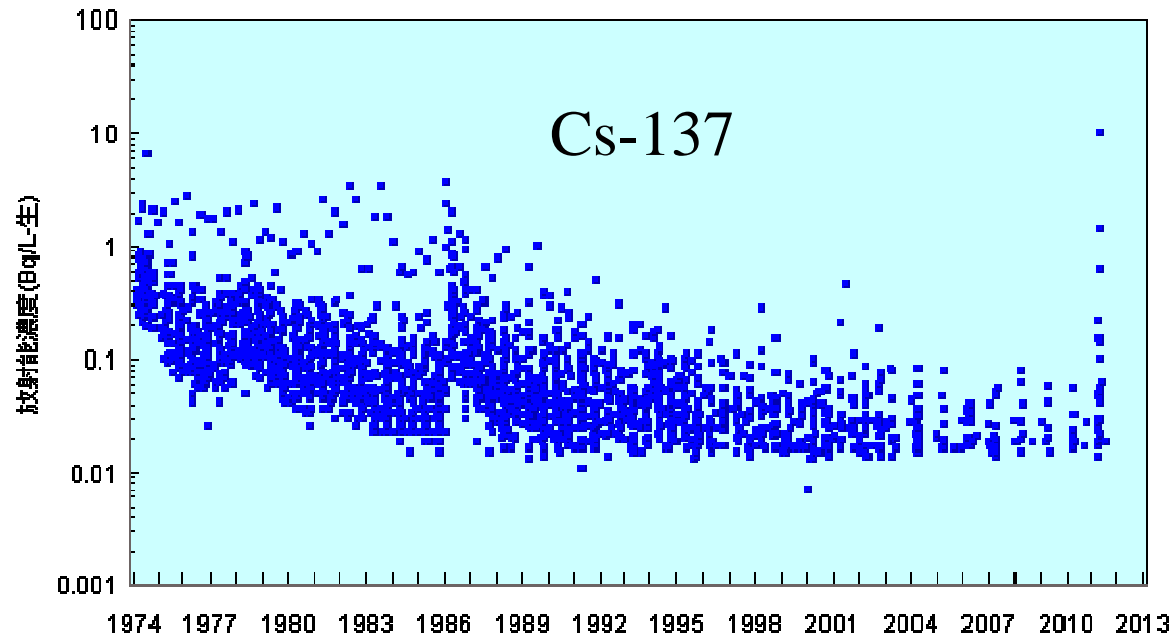


日本分析センター

「日本の環境放射能と放射線」

[http://www.kankyo-hoshano.go.jp/kl\\_db/servlet/com\\_s\\_index](http://www.kankyo-hoshano.go.jp/kl_db/servlet/com_s_index)

# 牛乳



日本分析センター

「日本の環境放射能と放射線」

[http://www.kankyo-hoshano.go.jp/kl\\_db/servlet/com\\_s\\_index](http://www.kankyo-hoshano.go.jp/kl_db/servlet/com_s_index)

# 原子力発電所の事故に伴う放射能の総放出量

	1986年 チェルノブイリ	2011年 福島第一	
$^{133}\text{Xe}$ (5.3d)	7EBq	11EBq	(E=10 <sup>18</sup> )
$^{131}\text{I}$ (8d)	2EBq	0.16EBq	
$^{137}\text{Cs}$ (30y)	90PBq	15PBq	(P=10 <sup>15</sup> )
$^{134}\text{Cs}$ (2y)		18PBq	
$^{90}\text{Sr}$ (29y)	10PBq	0.14PBq	
$^{239}\text{Pu}$ (2400y)	20TBq	3.2GBq	(T=10 <sup>12</sup> G=10 <sup>9</sup> )

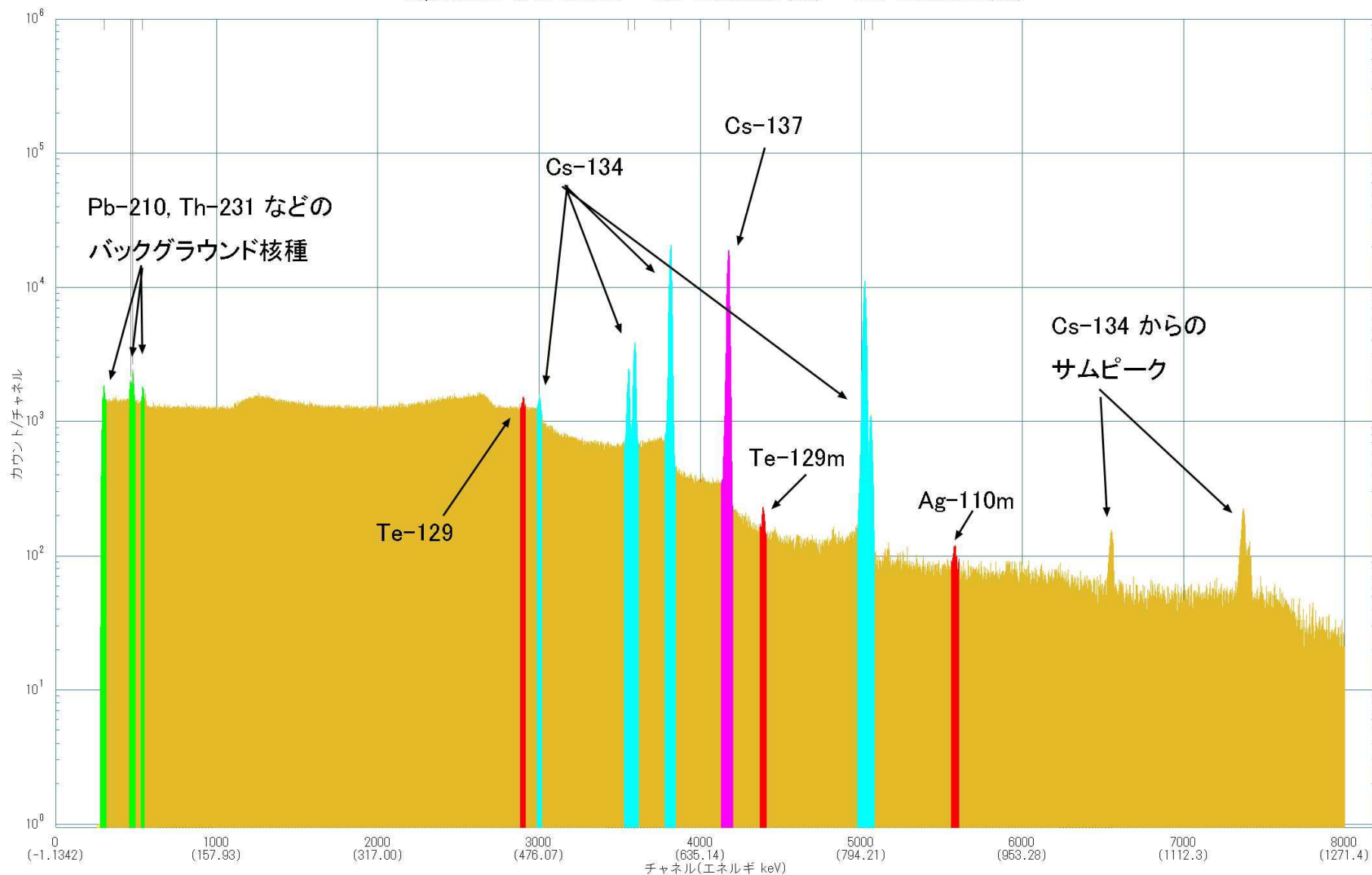
※出典:原子力安全に関するIAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書  
-東京電力福島原子力発電所の事故について-(平成23年6月)原子力災害対策本部



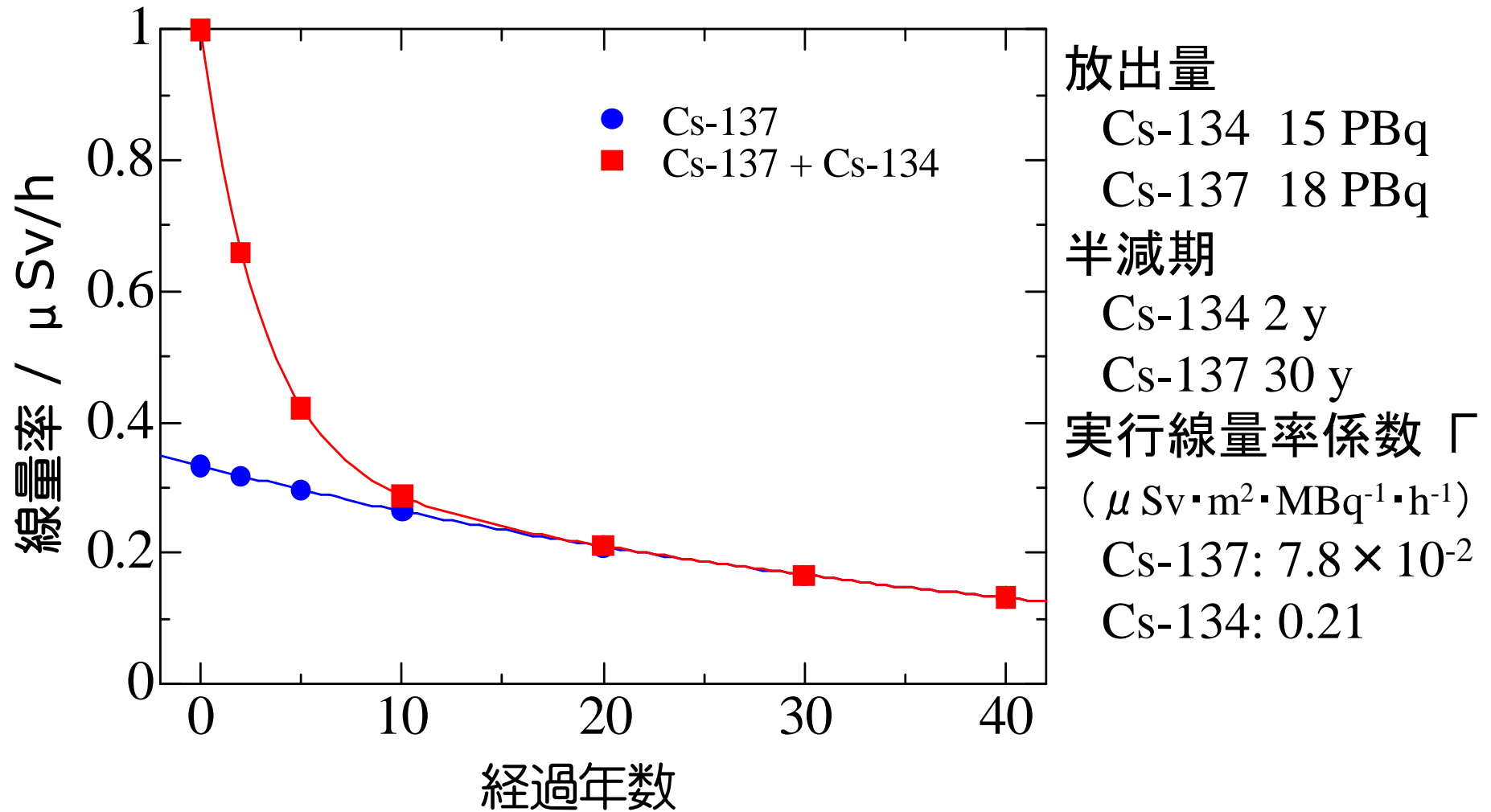
# 福島事故で放出された土壌中の放射能測定結果

20110608\_南相馬市馬事公苑-土\_110620.CHN

Acquired:2011-06-20 12:30:07 Real Time:30068.1(sec) Live Time:30000.0(sec)



# Cs-137 と Cs-134 から放出される放射線の 実行線量等量率の経過年数に伴う減少



## 放射性ヨウ素による内部被爆

原子炉事故時、気体になりやすいヨウ素が広がり、食物や呼吸を通して体内に。

$^{131}\text{I}$  ( $t_{1/2}=8\text{d}$ ),  $^{132}\text{I}$  (2.3h),  $^{133}\text{I}$  (20.8h)

**特に甲状腺に集まる。**

体の中のヨウ素の量が少ないほどその割合が大きくなる。→昆布などを日頃から食べることである程度の予防が可能

甲状腺への集中を防ぐための対策：

妊婦および小児への安定ヨウ素剤(ヨウ化カリウム)投与が重要。一方、成人では甲状腺がんの**リスク**は小さく、特に40歳以上の成人に対する安定ヨウ素剤投与の必要性はない。

逆に、過剰摂取による害が知られており、公衆に対するヨウ素剤の投与にはリスクが存在する。

## ヨウ素131を用いた治療

バセドウ病などの甲状腺機能亢進症や、一部の甲状腺癌の治療に用いられる

数GBqの I-131

→等価線量数10Sv

→ 甲状腺細胞の死滅

