

宇宙放射線



2011.6.7 ROSCOSMOS-JAXA宇宙放射線計測に関する研究協力協定によって27Sソユーズで打上・帰還したArea PADLES線量計

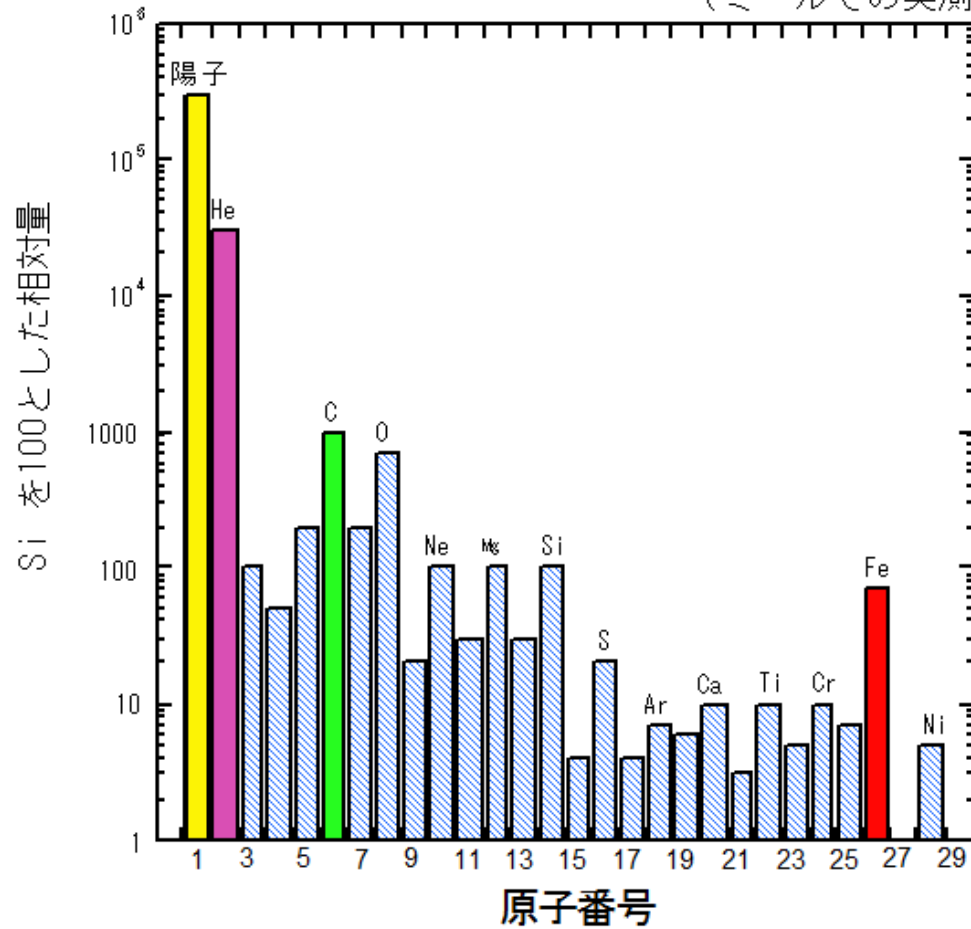


永松愛子氏提供

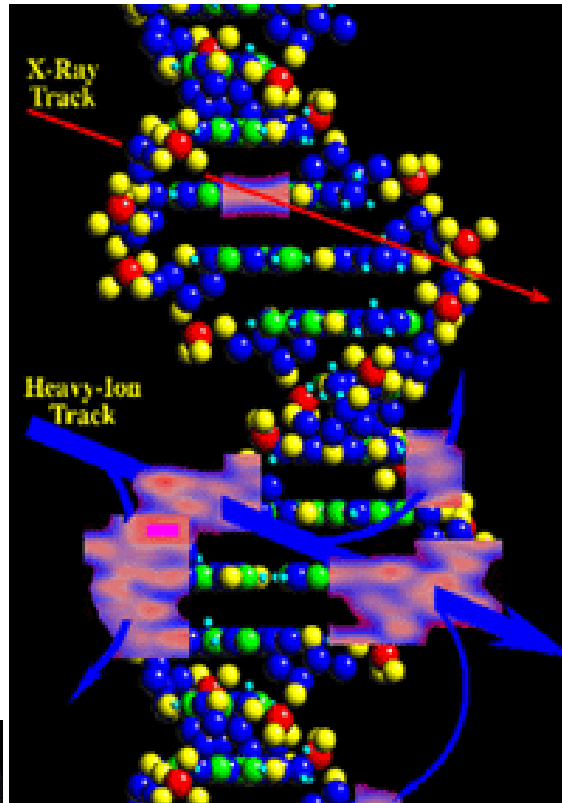
宇宙放射線(粒子線)の成分

宇宙線に含まれる重粒子には何があるか

(ミールでの実測)



重粒子線は強カパワー

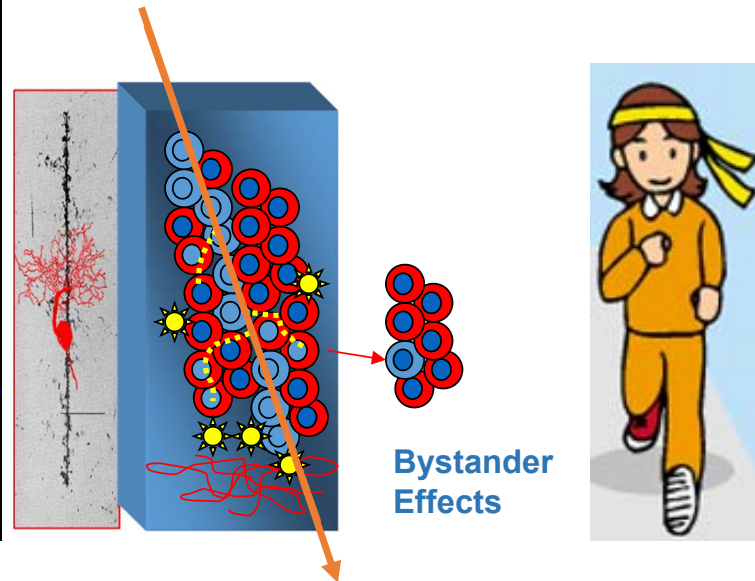


NASA Space Radiation Health Project より

高LET放射線

DNA二重鎖結合切断

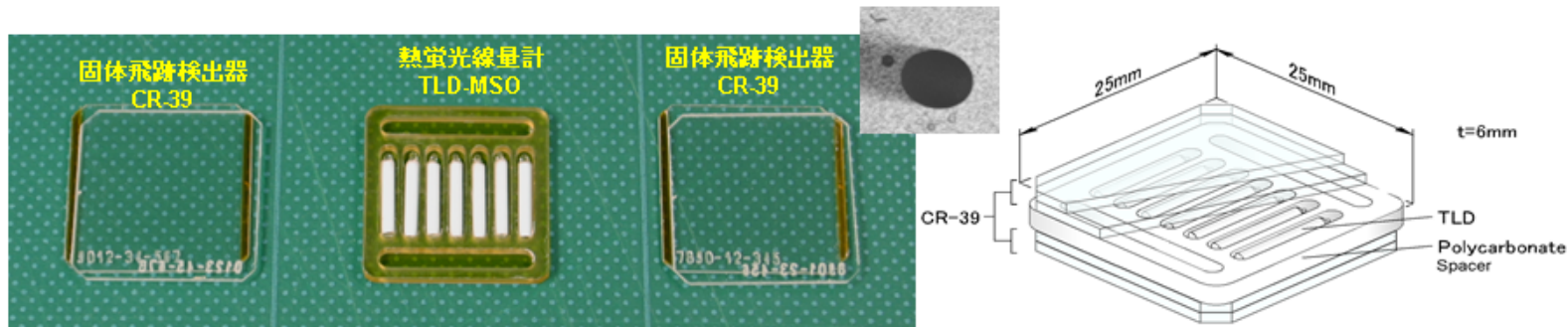
周囲の細胞に影響を及ぼす。



PADLESパドレス (Passive Dosimeter for Life science Experiments in Space)



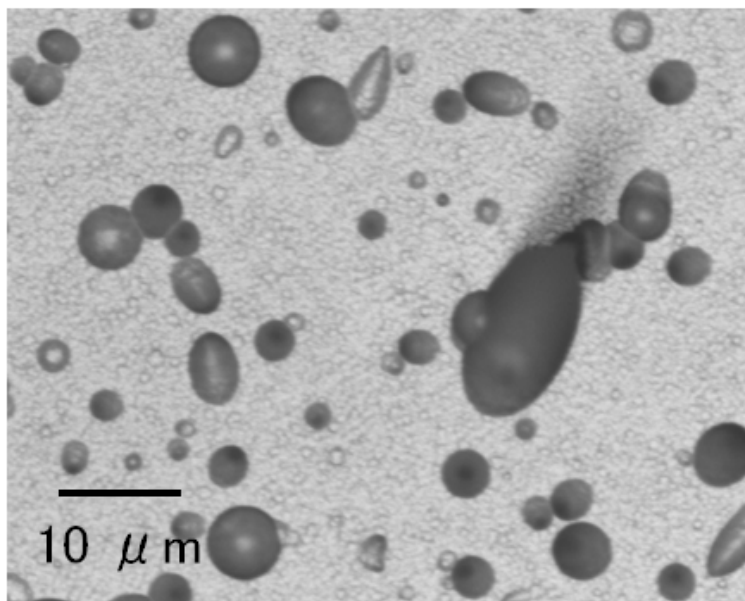
- 宇宙放射線環境を測定するのに優れた2種類の線量計素子 (CR-39プラスチック飛跡検出器、熱蛍光線量計) を組み合わせた受動型線量計と、その解析システム
- 打ち上げ前に線量計を準備・組み立てて搭載し、帰還後に地上で線量解析



- ・小型で生物試料のごく近傍に設置が可能
- ・船内・船外活動を通して、線量計の携帯が可能
- ・電源不要で搭載への制約がほとんどない
- ・搭載場所に応じてサイズが可変
- ・軌道上操作が不要
- ・CR-39を使って、高LET放射線のLET分布が測定できる

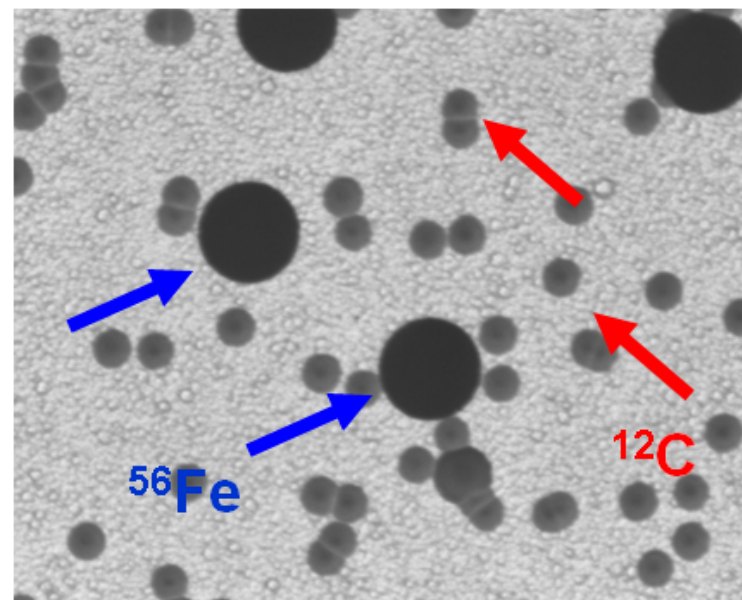
エッチピットの写真

きぼう船内に301日間
搭載されたCR-39固体飛跡検出器



宇宙放射線

重粒子加速器HIMACで照射した
CR-39固体飛跡検出器



$^{56}\text{Fe} + ^{12}\text{C}$ 粒子

JAXA ISS宇宙飛行士の被ばく管理(線量制限値)

国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告をもとにJAXAが制定した
「宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士放射線被ばく管理規定」

JAXAの定めるISS搭乗宇宙飛行士の生涯実効線量制限値

初めて宇宙飛行を行った年齢	男性の制限値	女性の制限値
27～30歳	600mSV	500mSV
31～35歳	750mSV	600mSV
36～40歳	800mSV	650mSV
41～45歳	950mSV	750mSV
46歳以上	1000mSV	800mSV

ISS(高度400km)滞在中の宇宙飛行士の被ばく線量
0.5～1mSv/day

宇宙飛行士の宇宙滞在期間は、「宇宙放射線の被ばく線量」によって、制限を受ける。

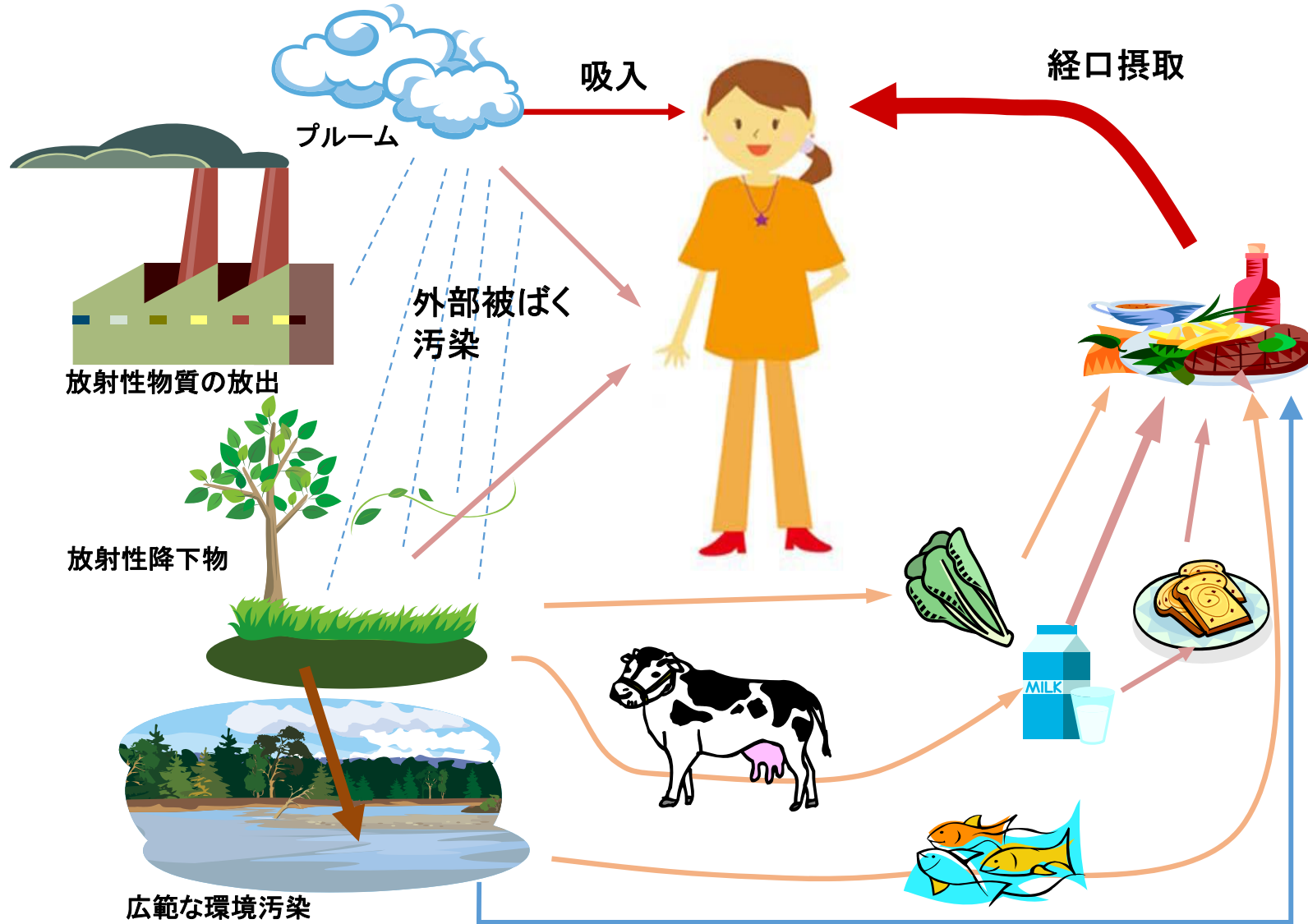
線量限度(実効線量)

公衆 1mSv/year

放射線作業従事者 50mSv/y,100mSv/5y

(女子 5mSv/3m)

福島原子力発電所の事故



環境への放出割合

80万kWe級PWRをモデル
環境中への放出量が100テラベクレル

緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の
試算について (原子力規制庁より)

核種G	核種	環境への放出割合 (炉心内蔵量 に対して)
希ガス類	Kr-85, Kr-85m, Kr-87, Kr-88, Xe-133, Xe-135	1
ヨウ素類	I-131, I-132, I-133, I-134, I-135	3.00E-4 ^{*1}
Cs類	Rb-86, Cs-134, Cs-136, Cs-137	3.00E-4
Te類	Sb-127, Sb-129, Te-127, Te-127m, Te-129, Te-129m, Te-131m, Te-132	1.22E-4
Sr類	Sr-89, Sr-90, Sr-91, Ba-140	4.80E-5
Ru類	Co-58, Co-60, Mo-99, Tc-99m, Ru-103, Ru-105, Ru-106, Rh-105	2.00E-6
Ce類及びLa類	Y-90, Y-91, Zr-95, Zr-97, Nb-95, La-140, Ce-141, Ce-143, Ce-144, Pr-143, Nd-147, Np-239, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Am-241, Cm-242, Cm-244	2.20E-6 ^{*2}

* 1;ヨウ素については、3.00E-04の放出割合のうち、5%が有機ヨウ素として、95%が無機ヨウ素として環境に放出されると仮定。

* 2; OSCAARコードではCe類とLa類の環境への放出割合を区別していないため、今回の計算では、放出割合の大きいCe類の値を双方に用いると仮定した(Ce類; 2.20E-6、La類; 2.08E-6)。

外部被ばく線量推定

$$\begin{array}{ccccc} \text{外部被ばく量} & = & \text{空間線量率} & \times & \text{時間} \\ (\mu\text{Sv}) & & (\mu\text{Sv} / \text{h}) & & (\text{h}) \end{array}$$

低減係数	屋外	1
	屋内(木造)	0.4

皮膚汚染と皮膚の等価線量の関係

核種	放射線	70 μ m線量当量
I-131	β 線・ γ 線	1.32
Cs-137	β 線・ γ 線	1.43

単位： μ Sv/h

皮膚汚染密度：1 Bq/cm²、皮膚汚染面積：1 cm²

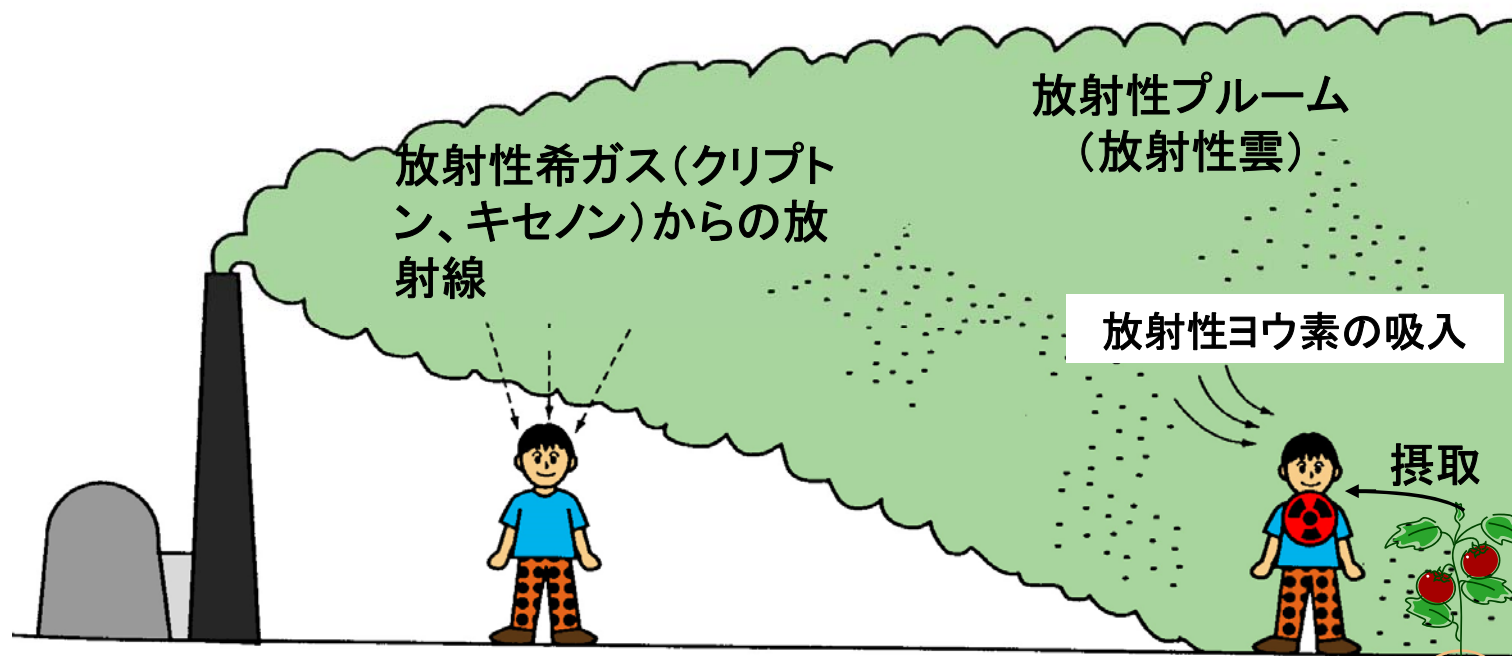
(例) 表面密度限度40Bq/cm²のI-131による汚染が1時間付着していた場合の皮膚の等価線量は

$40\text{Bq/cm}^2 \times 1.32 (\mu\text{Sv/h}) / (\text{Bq/cm}^2) \times 1\text{h} = 53 \mu\text{Sv}$

にとどまり、皮膚の年間の等価線量限度500mSvを十分下回る。

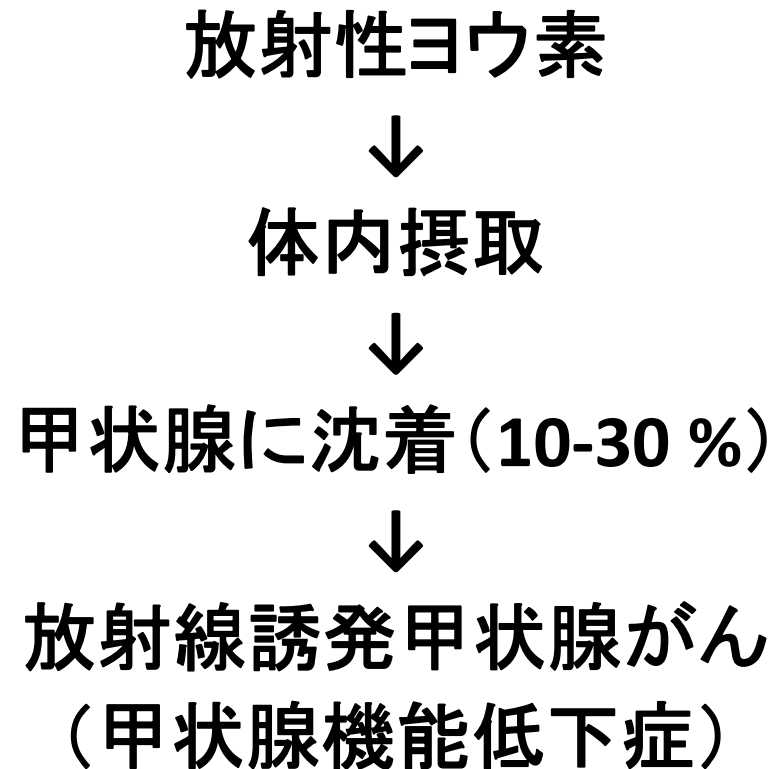
放射線管理上ヨウ素131、セシウム137による皮膚汚染に伴う外部被ばくは重要でない場合が多い。内部被ばく防止の観点から除染を急ぐ。

環境中への放射性ヨウ素の放出



安定ヨウ素剤予防服用の 考え方と実際

原子力事故時におけるヨウ素剤の予防投与 (1)



原子力事故時におけるヨウ素剤の予防投与 (2)

安定ヨウ素剤をあらかじめ予防服用



甲状腺への放射性ヨウ素の沈着を低減



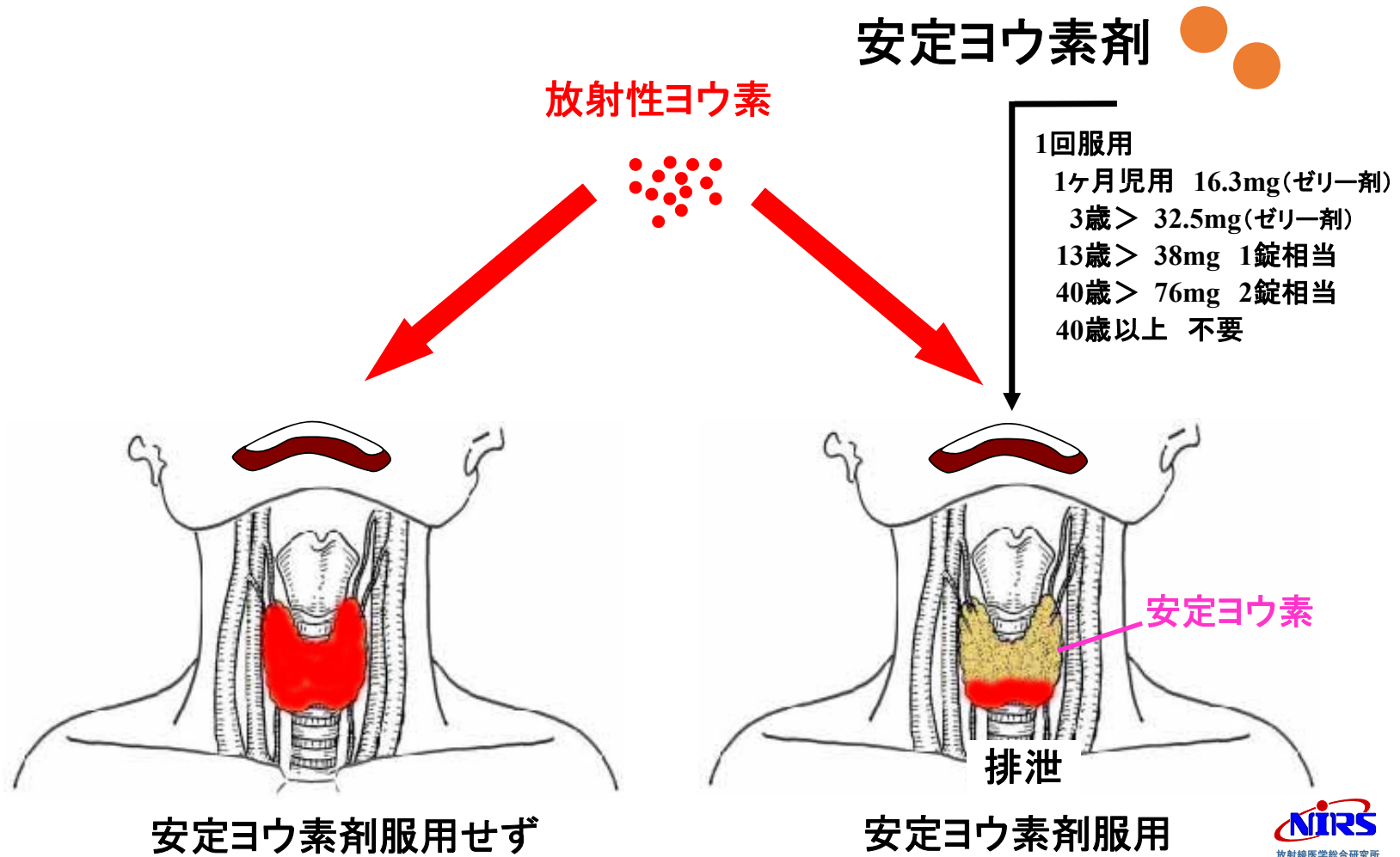
甲状腺の被ばく量を低減



放射線誘発甲状腺がんのリスクを回避

原子力事故時におけるヨウ素剤の予防投与(3)

安定ヨウ素剤の服用



原子力事故時におけるヨウ素剤の予防投与(4)

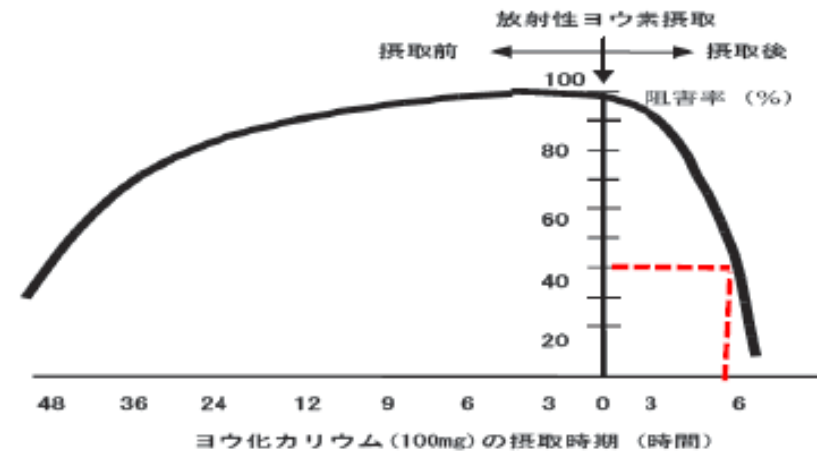
内部被ばくの防護



写真出典元

- 放射線医学研究所
- 公益財団法人原子力安全研究協会ホームページより

③ 安定ヨウ素剤の予防服用



ヨウ化カリウムの投与時期と効果

ヨウ化カリウムを投与しないときの甲状腺への放射性ヨウ素の集積量を1とし、ヨウ化カリウムを投与したときの放射性ヨウ素の甲状腺への集積量から投与時期に対する阻害率を計算したもの。

(出典) JAMA 1987; 258: 649-654. から引用

初回の服用は安定ヨウ素剤を2丸

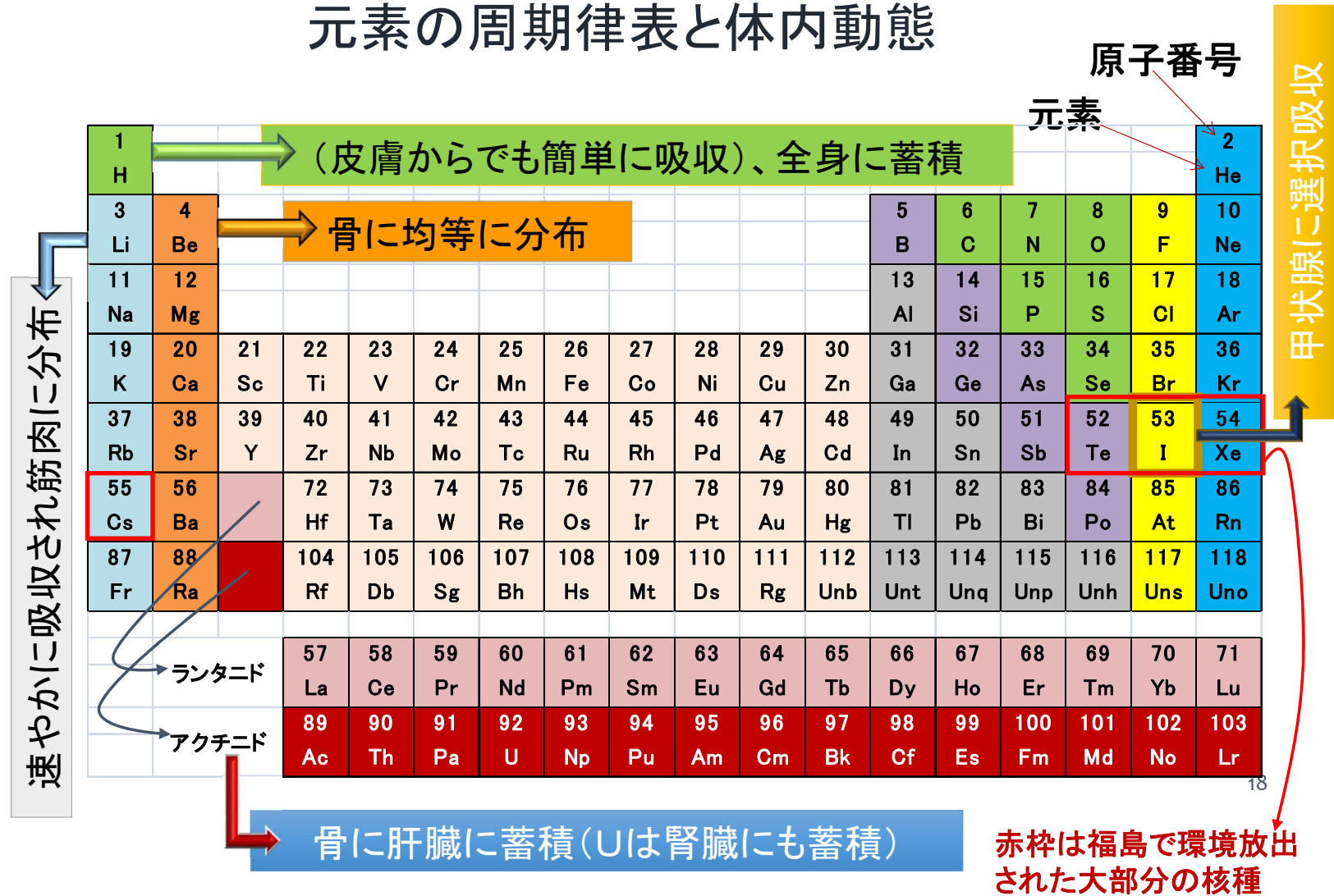
内部被ばく

内部被ばく

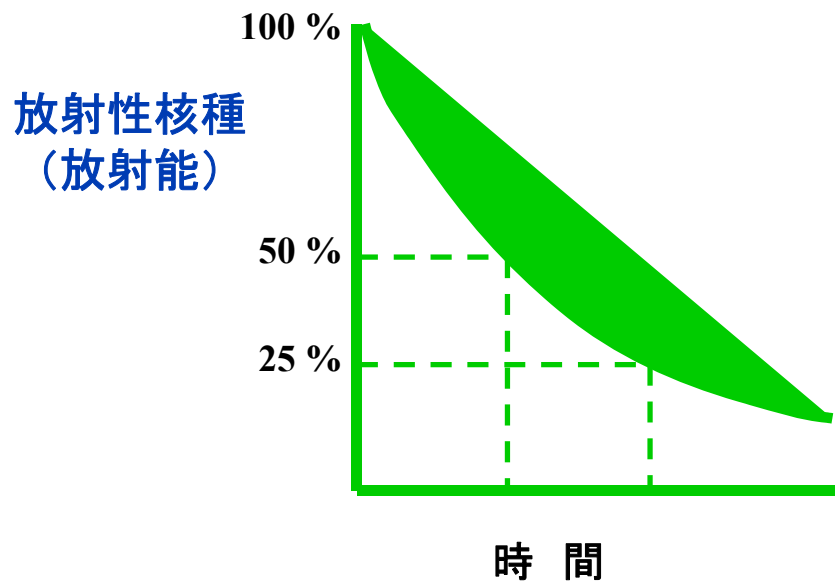
- 吸入
- 経口 (飲食物から)

内部被ばく線量評価

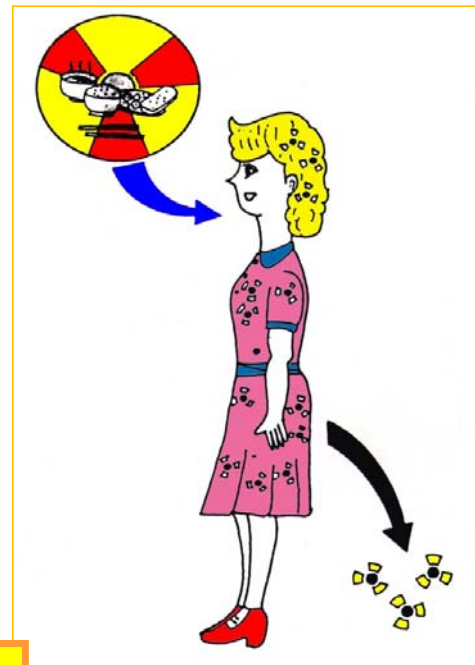
元素の周期律表と体内動態



物理学的半減期



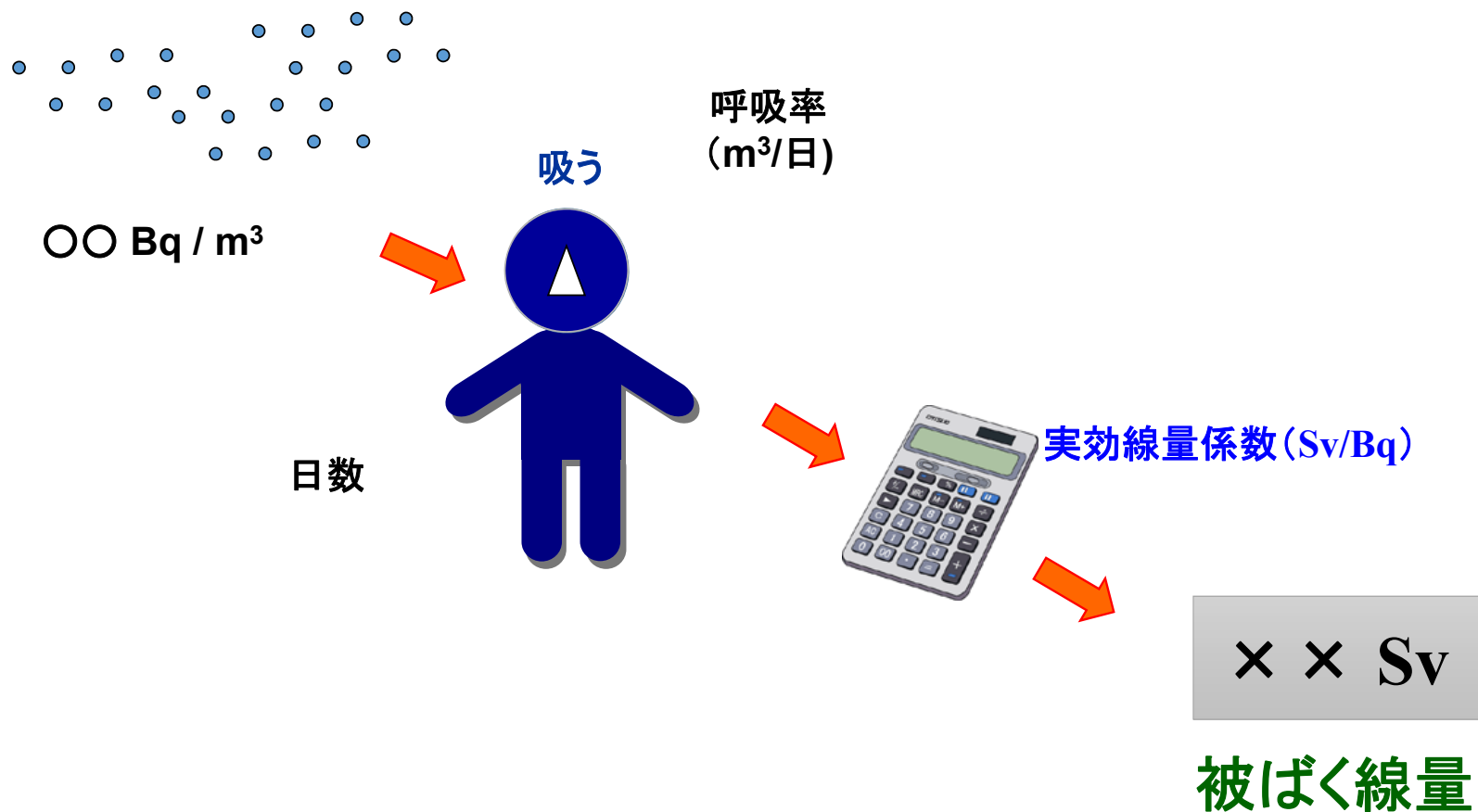
生物学的半減期



実効的半減期

身体への影響

空気中の放射性物質からの線量計算



吸入による内部被ばく線量推定

被ばく量(μSv)

$$= \text{放射性物質濃度} \times \text{実効線量係数} \times \text{呼吸率} \times \text{日数}$$

(Bq/m^3)
($\mu\text{Sv}/\text{Bq}$)
($\text{m}^3/\text{日}$)
(日)

実効線量係数	ヨウ素-131	ヨウ素-132	セシウム-137	セシウム-134
乳児(3ヶ月)	0.072	0.0011	0.11	0.070 ($\mu\text{Sv}/\text{Bq}$)
幼児(1歳)	0.072	0.00096	0.10	0.063
子供(2-7歳)	0.037	0.00045	0.070	0.041
成人	0.0074	0.000094	0.039	0.020

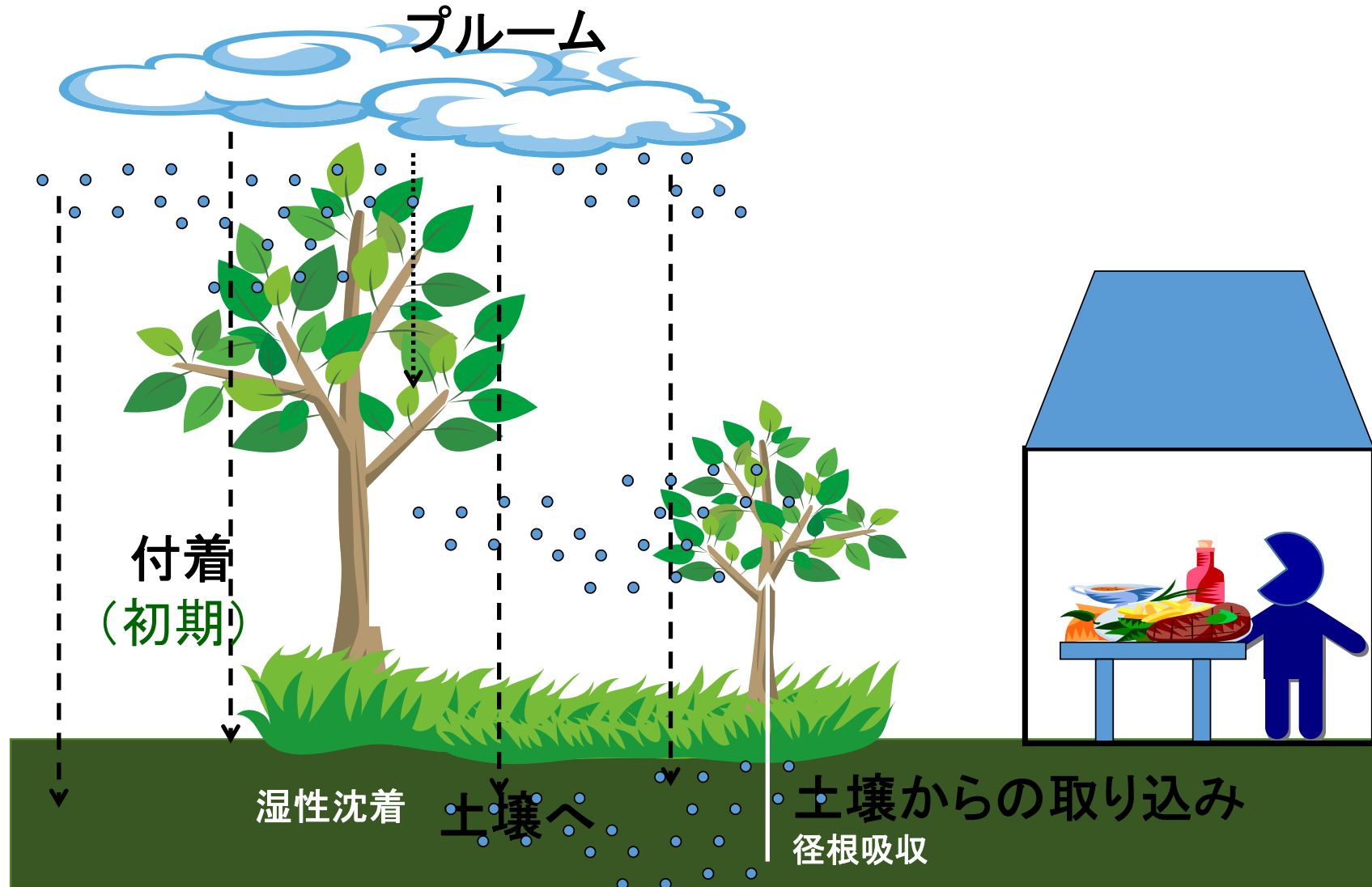
※(粒子状(TypeF)吸入摂取、ICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the Public, CD-ROM, 1998を基に放射線医学総合研究所で編集)

呼吸率	乳児(3ヶ月)	幼児(1歳)	5歳	10歳	15歳	成人
	2.86	5.16	8.72	15.3	20.1	22.2 $\text{m}^3/\text{日}$

国際放射線防護委員会(Publication 71)

農作物からの影響

放射性物質の農作物への影響



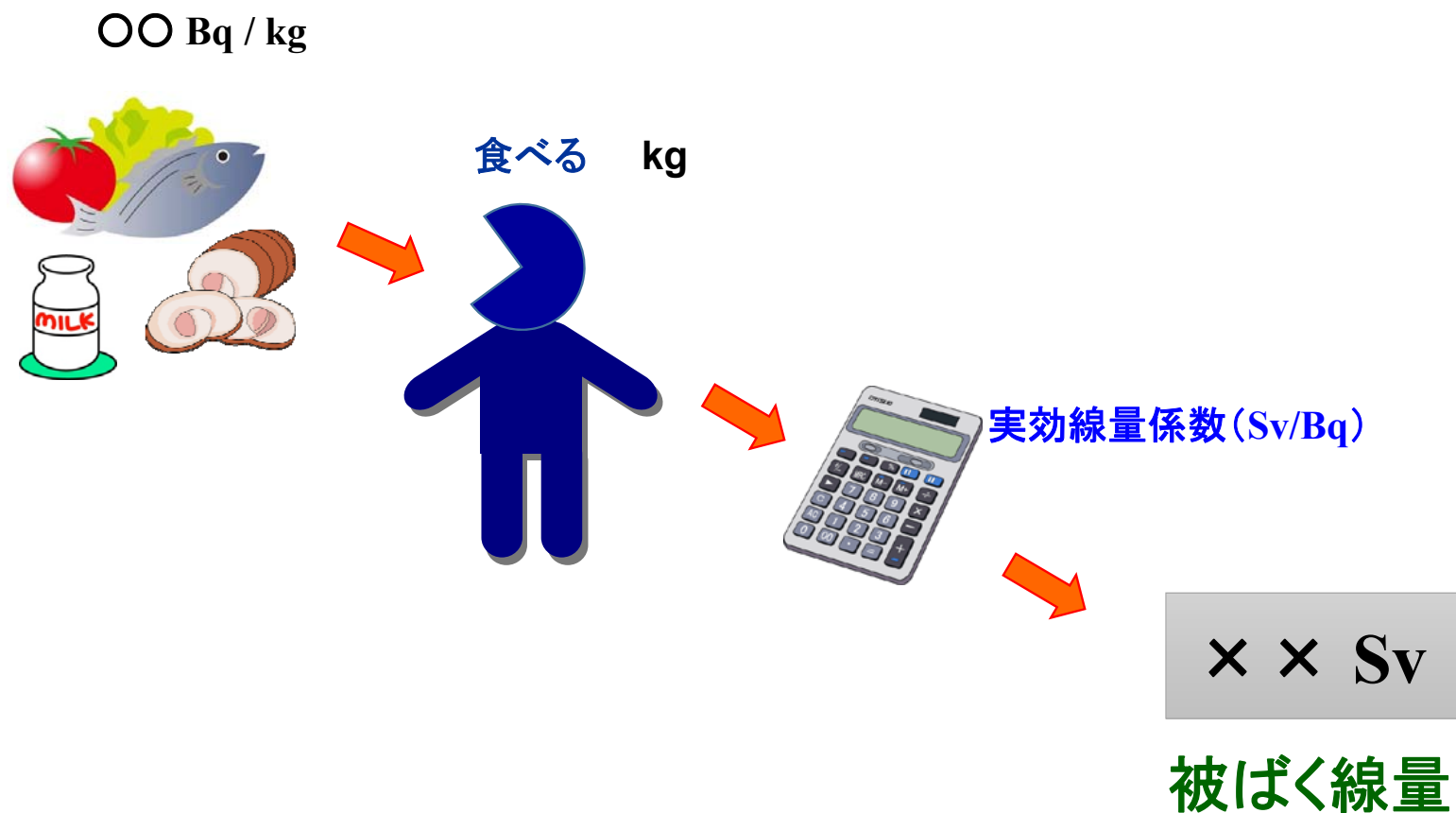
農作物中の放射性物質の分布

植物中の分布

- 平均ヨウ素含量
茎葉部>果実部>可食根(細根は除く)>>子実部
- セシウムは全体に均一に分布する

(土壌から農作物への放射性物質の移行係数,原子力環境整備センター, 1994年3月)

飲食物からの線量計算



飲食物摂取による内部被ばく線量推定

被ばく量 (μSv)

= 放射性物質濃度 \times 摂取量 \times 実効線量係数

(Bq/kg)

(kg)

($\mu\text{Sv/Bq}$)

実効線量係数※(マイクロシーベルト/ベクレル)

	ヨウ素-131	セシウム-137	セシウム-134
乳児(3ヶ月)	0.18	0.020	0.026
幼児(1歳)	0.18	0.012	0.016
子供(2-7歳)	0.10	0.0096	0.013
成人	0.022	0.013	0.019

※(経口摂取、ICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the public, CD-ROM, 1998を基に放射線医学総合研究所で編集)

単位経口摂取量当りの線量 (mSv/Bq)

	成人	幼児(5歳)	乳児
⁸⁹ Sr (実効線量)	2.6×10^{-6}	8.9×10^{-6}	3.6×10^{-5}
⁹⁰ Sr (")	2.8×10^{-5}	4.7×10^{-5}	2.3×10^{-4}
¹³² Te (甲状腺等価線量)	2.9×10^{-5}	1.6×10^{-4}	6.2×10^{-4}
¹³¹ I (")	4.3×10^{-4}	2.1×10^{-3}	3.7×10^{-3}
¹³² I (")	3.4×10^{-6}	1.9×10^{-5}	4.0×10^{-5}
¹³³ I (")	8.3×10^{-5}	<u>4.6×10^{-4}</u>	<u>9.8×10^{-4}</u>
¹³⁴ I (")	5.5×10^{-7}	<u>3.1×10^{-6}</u>	<u>6.5×10^{-6}</u>
¹³⁵ I (")	1.6×10^{-5}	<u>8.9×10^{-5}</u>	<u>1.9×10^{-4}</u>
¹³⁴ Cs (実効線量)	1.9×10^{-5}	1.3×10^{-5}	2.6×10^{-5}
¹³⁷ Cs (")	1.4×10^{-5}	9.7×10^{-6}	2.1×10^{-5}
²³⁸ Pu (")	2.3×10^{-4}	3.1×10^{-4}	4.0×10^{-3}
²³⁹ Pu (")	2.5×10^{-4}	3.3×10^{-4}	4.2×10^{-3}
²⁴⁰ Pu (")	2.5×10^{-4}	3.3×10^{-4}	4.2×10^{-3}
²⁴¹ Pu (")	4.8×10^{-6}	5.5×10^{-6}	5.7×10^{-5}
²⁴¹ Am (")	2.1×10^{-4}	2.8×10^{-4}	3.7×10^{-3}

下線_____の数値は¹³²Iでの比から近似

年齢層1日当りの飲食物摂取量

(kg またはリットル)

飲食物の種類	成人	幼児	乳児
飲料水	1.65 ¹⁾	1.0 ²⁾	0.71 ³⁾
牛乳、乳製品 ⁴⁾	0.2	0.5	0.6
野菜類 ^{5), 6)}	0.6	0.25	0.105
穀類 ^{6), 8)}	0.3	0.11	0.055
肉、卵、魚介類、その他 ^{7), 8)}	0.5	0.105	0.05
全食品(飲料水を除く)	1.6 ⁹⁾	0.965	0.81 ¹⁰⁾

- 1) ICRP Publ. 23による、一日当り総水摂取量3000 ml から、牛乳300 ml を除いた数字。結局、水道水150 ml とその他1500 ml の和である。
- 2) 幼児についての値は、“原子力発電所周辺の防災対策について”(昭和55年6月、平成元年3月改定、原子力安全委員会) p.43 の幼児の1日当り飲料水摂取量によった。
- 3) IAEA SS 81の1年当り260リットル(p.63 のWater and beverages)を用いた。
- 4) “発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針”(原子力安全委員会)第5表によった。
- 5) 葉菜、果花菜、きのこ、果実、海藻、及び、根菜、芋類。
- 6) 米、豆類等、可食部が地上部にあつて殻で覆われている食品群として一括。
- 7) 牛乳を除く動物蛋白質食品、牛肉以外の汚染レベルは低いと考えられる。
- 8) 付表3.2 及び付表3.3 によった。
- 9) 厚生省「国民栄養調査」昭和59年と60年の平均は、1.35 kg である(参考値)。
- 10) WHO、“Derived Intervention Levels for Radionuclides in Food”(1988)で乳児は、1年に275 kg の牛乳と275 kg の水を摂取するとしている。その牛乳の275 kg を1日当りにすると0.75 kg となる。

線量の計算例(1)

放射性ヨウ素の場合

$$\begin{array}{l} \text{ホウレンソウ} \\ 9,840 \text{ Bq / kg} \end{array} \times 0.6 \text{ kg / 日} = 5.904 \text{ Bq / 日}$$

$$^{131}\text{I} \text{ (ヨウ素) の場合: } 4.3 \times 10^{-4} \text{ mSv / Bq}$$

$$5.904 \times \text{Bq / 日} \times 4.3 \times 10^{-4} \text{ mSv / Bq}$$

$$= 2.54 \text{ mSv}$$

甲状腺等価線量

線量の計算例(2)

放射性セシウムの場合

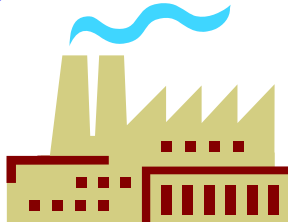
$$\begin{array}{l} \text{ホウレンソウ} \\ 233 \text{ Bq / kg} \end{array} \times 0.6 \text{ kg / 日} = 139.8 \text{ Bq / 日}$$

$$^{137}\text{Cs} \text{ (セシウム) の場合: } 1.4 \times 10^{-5} \text{ mSv / Bq}$$

$$\begin{aligned} 139.8 \times \text{Bq / 日} \times 1.4 \times 10^{-5} \text{ mSv / Bq} \\ = 1.957 \times 10^{-3} \text{ mSv} \\ = 1.96 \mu\text{Sv} \\ \text{実効線量} \end{aligned}$$

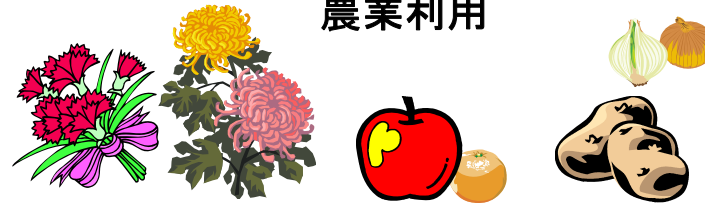
放射線の利用状況

工業利用



材料加工 (タイヤの製造、耐熱電線、耐熱繊維、
半導体の改質、架橋、加硫、ガラス彩色)
材料検査 (新幹線レール、管内閉塞率測定、自動車部品
自動車タイヤ、税関、コンクリート内部、微量液漏れ
原子カプラント、微量液漏れ、厚さの検査)
滅菌・殺菌 (包装材料、医薬・化粧品、有害物の除去)
環境保全 (排ガス・排煙処理、汚泥殺菌)
吸着剤・脱臭剤

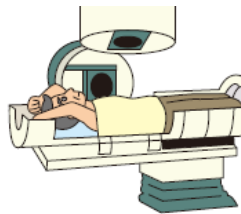
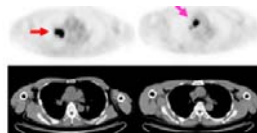
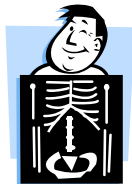
農業利用



育種・品種改良 (ナシ・リンゴ・イネ・ゴボウキク・カーネーション)
害虫駆除 (コクゾウムシ・ミバエ類)
食品照射 (ジャガイモ・タマネギ)
(コメ・コムギの殺虫)
(ウイナーソーセージ・水産練製品の殺虫)
(ミカの表面殺菌)
飼料の殺菌 (家畜・実験動物)



医学・医療利用



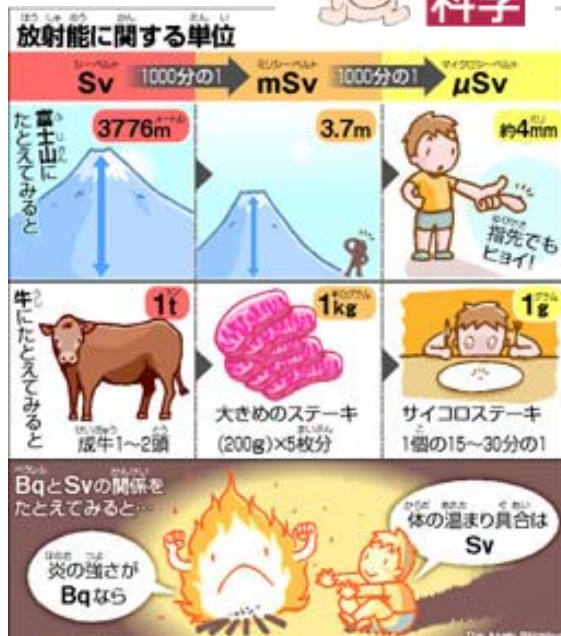
放射線診断 (レントゲン、CT)
放射線治療 (X線、小線源、ガンマナイフ、陽子線、重粒子線)
核医学 (PET, SPECT)
放射性医薬品 (FDG)
滅菌 (医療器具、化粧品、感染性廃棄物処理)
ラドン温泉



教育・その他

年代測定
美術品修復
物質の起源調査
未知の原子核生成
火災警報 (煙感知器)
犯罪捜査 (手荷物検査、放射化分析)
フィルムバッチ、ガラス線量計
宝石、ガラスの着色





ベクレルとシーベルト、どう違う？

大阪府・真本大生(まもとだいせい)さん(18)ほかからの質問(朝日新聞社発行 2011年8月6日付be)

●放射線(ほうしやせん)を出(だ)す側(がわ)か受(う)ける側(がわ)が違(ちが)うの
 ◇ののちゃん ベクレルやシーベルト、ミリにマイクロ。放射能(ほうしやのう)を示(しめ)す単位(たんい)って、色々(いろいろ)あるんだね。

◆藤原先生 それぞれ、表(あらわ)しているものや大きさが違(ちが)うのよ。

◇のの じゃ、ベクレルってなに？

◆先生 ベクレルは、土や食べ物などに含まれている放射性物質(ほうしやせいぶつ)が、放射線を出す能力(放射能)を表すときに使われる単位よ。放射性物質は放射線を出しながら別(べつ)の物質へと変化(へんか)していくんだけど、1秒間に一つの原子核(げんしかく)が壊(こわ)れて放射線を放(はな)つと、それが1ベクレルなの。

◇のの シーベルトは？

◆先生 放射線が人体(じんたい)に及ぼす影響(えいきょう)を示す単位ね。放射線にはいくつか種類(しゅるい)があってその種類や、放射線を受けた臓器(ぞうき)、大人か子供かでも影響は異なるの。ベクレルは放射線を出す側(がわ)から見た量(りょう)だけど、シーベルトのほうは、受け手側の影響を反映(はんえい)している点がベクレルと違うの。

◇のの ベクレルからシーベルトに直すことはできるの？

◆先生 体内(たいない)に入った放射性物質なら、その分布(ぶんぷ)や排出(はいしゅつ)などを反映するさまざまな「実効線量係数(じっこうせんりょうけいすう)」が法令(ほうれい)で定(さだ)められているから、これを放射能濃度(のうど)や飲食(いんしょく)や呼吸(こきゅう)を通して取り込んだ量にかければ計算できるわ。

◇のの ミリとかマイクロは？

◆先生 ミリは千分の一。マイクロはさらにその千分の一なので、もとの百万分の一という意味(いみ)よ。

◇のの イメージがわからないよ。

◆先生 高さ3776メートルの富士山(ふじさん)でいえば、千分の一は3.7メートル、百万分の一だと約4ミリ。日本一の山が指(ゆび)の先(さき)に乗(の)る高さになるわね。

◇のの わっ、かわいい富士山だね！ 1時間あたり約(やく)0.05マイクロシーベルトなら、1マイクロシーベルトより、さらに百分の一レベルだね。

◆先生 1日になおすと1.2マイクロシーベルト。年間量をミリで言えば0.438ミリシーベルト。発がんリスクが少し上がるという100ミリシーベルトの200分の1以下ね。屋内にいれば危険性はさらに下がるわ。

◇のの ほかに単位があるの？

◆先生 あるわよ。シーベルト同様(どうよう)、受け手の影響を示す単位にグレイがあるわ。人体や動物(どうぶつ)や建物(たても)などの「モノ」が受ける放射線量を示すの。ほかには、1分間に検知(けんち)した放射線の量を示すcpm(シーピーエム)。これは、放射性物質の種類や量、感受性がはっきりしなくても出る数字(すうじ)だから、原発事故(げんぱつじこ)の対応にあたる作業員(さぎょういん)の簡易検査(かんいけんさ)などで使われているの。

◇のの どの数字も、事故がなかったら被(ひ)ばくはゼロになるの？

◆先生 いいえ。「被(ひ)ばく」は多少(たしょう)に関係(かんけい)かんけいなく、放射線をあびることを言うの。事故がなくても、天然の岩石(がんせき)や食べ物に含(ふく)まれるごく微量(びりょう)の放射性物質(ほうしやぶつ)などから放射線を浴びているの。被(ひ)ばくは少ない方がいいけど、ゼロになることはないのよ。

(取材協力=放射線医学総合研究所野島久美恵室長、構成=竹石涼子)