

2018年9月19日(水)  
易しい科学の話

# 放射線の人体への影響

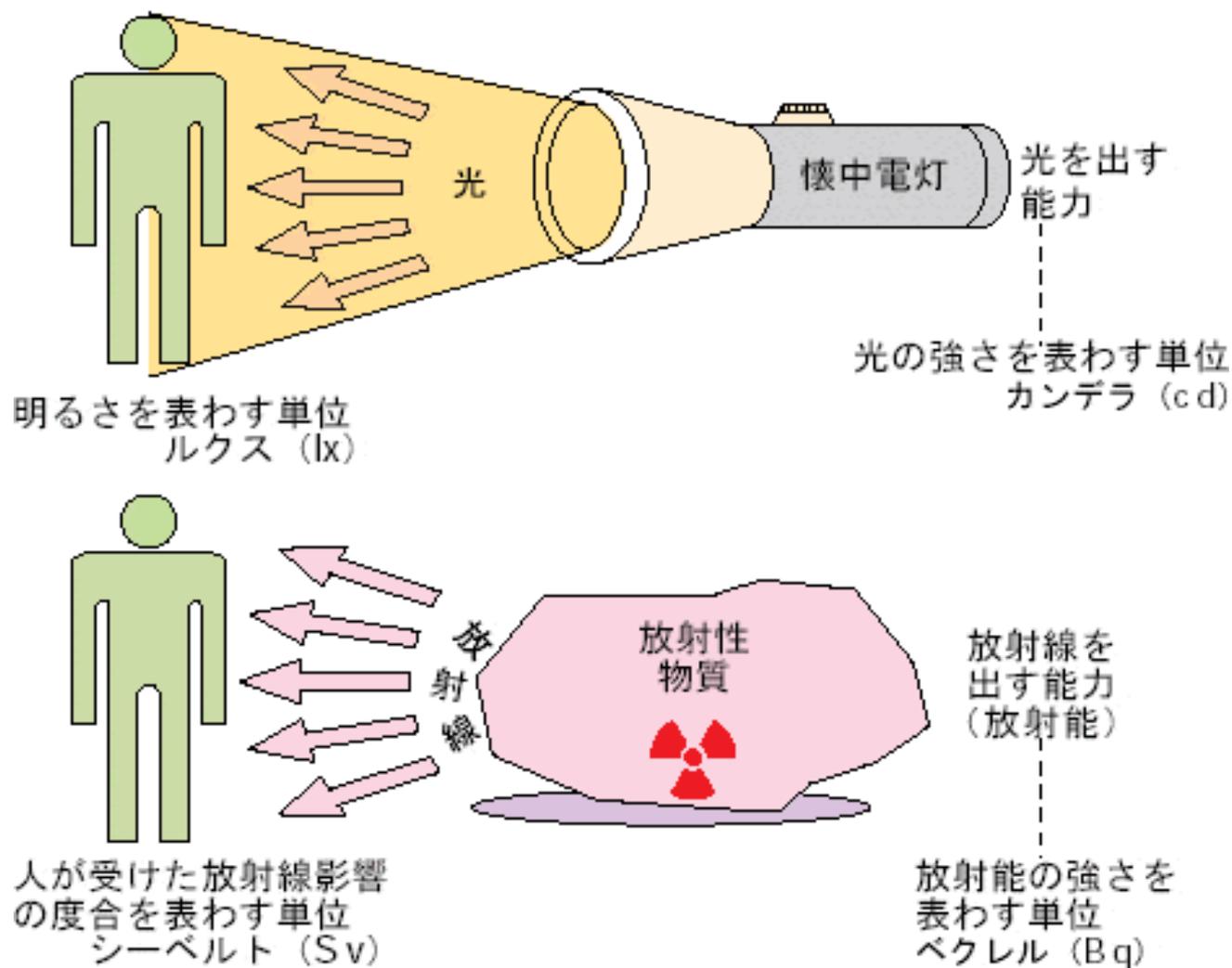
吉岡 芳夫

本資料は、インターネット上の情報  
日本原子力文化振興団の資料  
などをもとに作成しています。

# 放射線の人体への影響

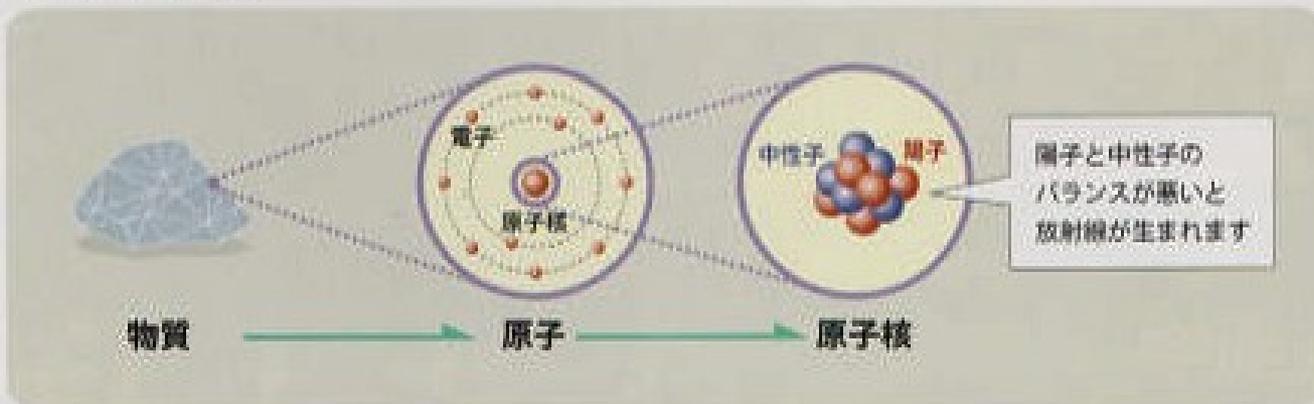
- 放射線の特徴は？それが、なぜ人体に影響を与えるのか？
- 原発事故で大気中に放出された放射性物質、住民を避難させた基準とは？
- 汚染水浄化後に残るトリチウムを含んだ大量の水の取り扱いを今後どうするのか？
- 癌などの画像診断に際して浴びる放射線の量と、その影響は？
- 癌の治療に使う放射線の照射量と、健全な部分に与える影響は？
- 放射性物質を、注射する医療診断

# 放射能と放射線

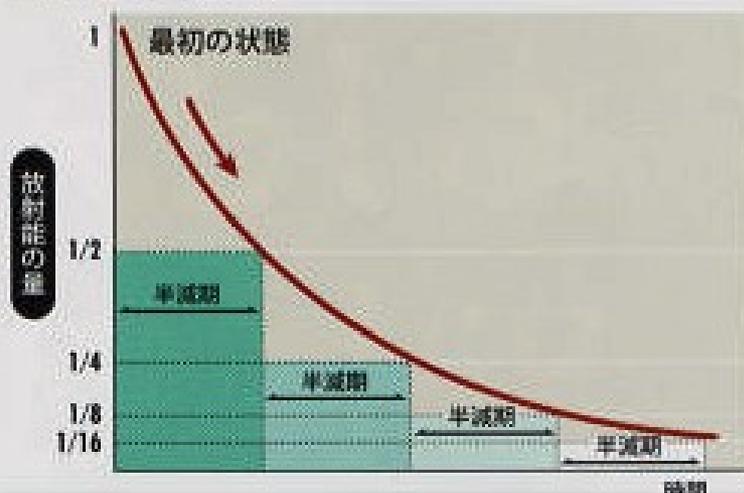


# 放射線はどこから出るのか？

## ■ 原子と原子核



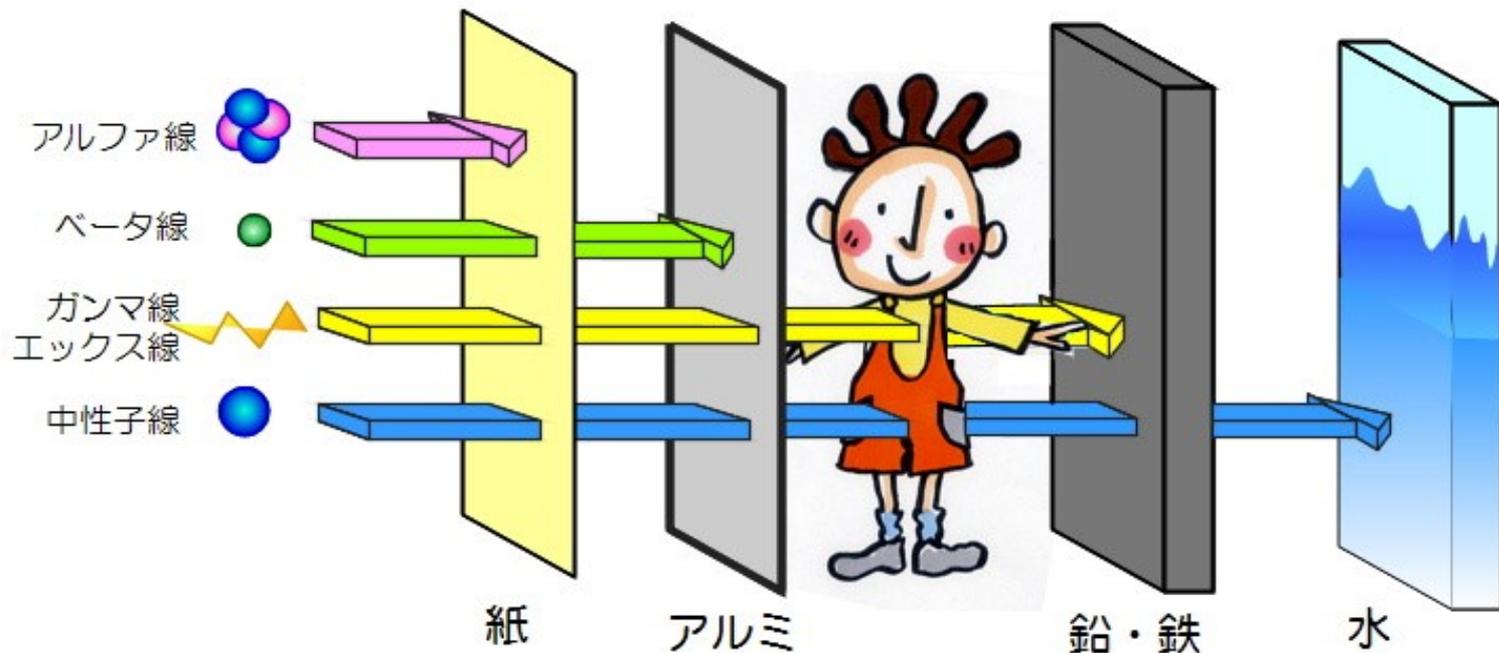
## ■ 放射能の減り方



原子核の種類		半減期
ナトリウム 24	$^{24}\text{Na}$	15.0 時間
ラドン 222	$^{222}\text{Rn}$	3.8 日
ヨウ素 131	$^{131}\text{I}$	8.0 日
コバルト 60	$^{60}\text{Co}$	5.3 年
ストロンチウム 90	$^{90}\text{Sr}$	28.8 年
セシウム 137	$^{137}\text{Cs}$	30 年
ラジウム 226	$^{226}\text{Ra}$	1600 年
プルトニウム 239	$^{239}\text{Pu}$	2.4 万年
カリウム 40	$^{40}\text{K}$	12.6 億年
ウラン 238	$^{238}\text{U}$	45 億年

# 放射線は防御できるのか？

放射線の種類とつきぬける力（透過能力）



アルファ線と、ベータ線（電子線）は、簡単に防げるが、X線や中性子線は人体を通り抜ける。診断や治療に使うのは、X線とガンマ線、最近では電子線や陽子線なども使う。

# 放射線が人体に与える影響

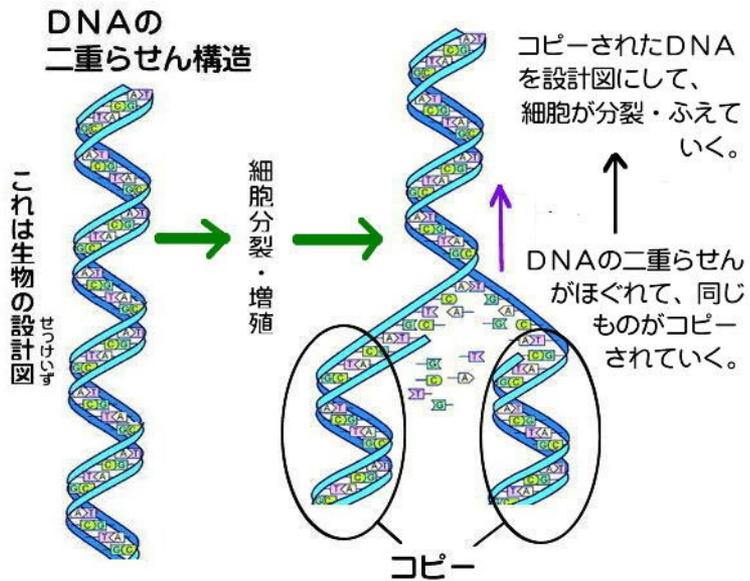
# Team nakagawaの自己紹介

- 東大病院で放射線治療を担当するチームです。
- 医師の他、原子力工学、理論物理、医学物理の専門家がスクラムを組んで、今回の原発事故に関して正しい医学的知識を提供していきます。
- Twitter: team\_nakagawa

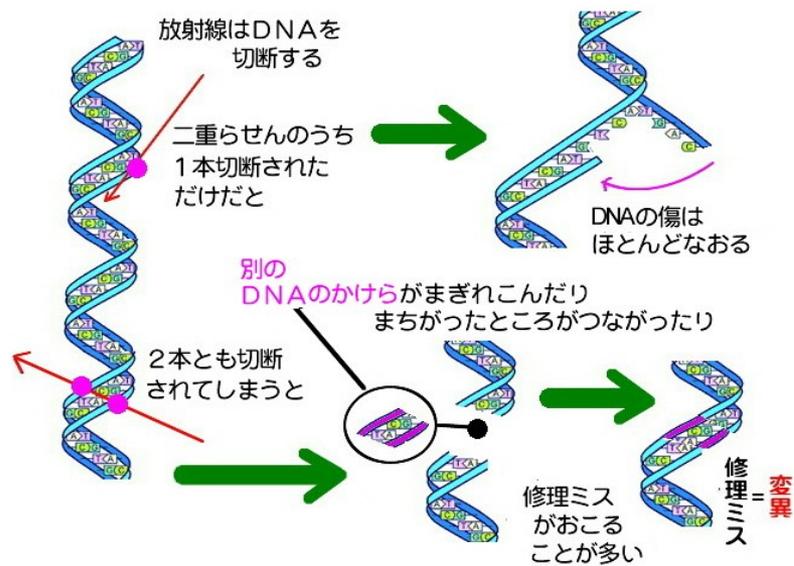
# 放射線は細胞内のDNAに傷を作る

- DNAは細胞を作る設計図面のようなものですから、DNAに傷が作られると、その細胞は生きてゆけなくなる可能性があります。ただし、DNAに書き込まれた設計図にも重要な部分のごくわずかしかありません。
- 正常な細胞には、傷を受けたDNAを修復する機能があり、100-200 mSv[ミリシーベルト]以下の放射線量であれば放射線で受けた傷のほとんどは、わずか2時間以内で修復されてしまいます。
- さらに、傷を治せなかった細胞には、自殺(アポトーシスと呼ばれています)することによって、傷の残った細胞が増えてゆくのをふせぐ機能もあります。
- また、傷が残ってしまっても、それが特に重要なもの(細胞の生存に支障をきたすもの)であれば、多くの場合は自然に細胞が分裂できなくなって死んでしまいますし、重要でない部分であればDNAに傷が残っても何の支障もありません。

さいぼう ぶんれつ ぞうしよく  
**細胞分裂・増殖のしくみ**

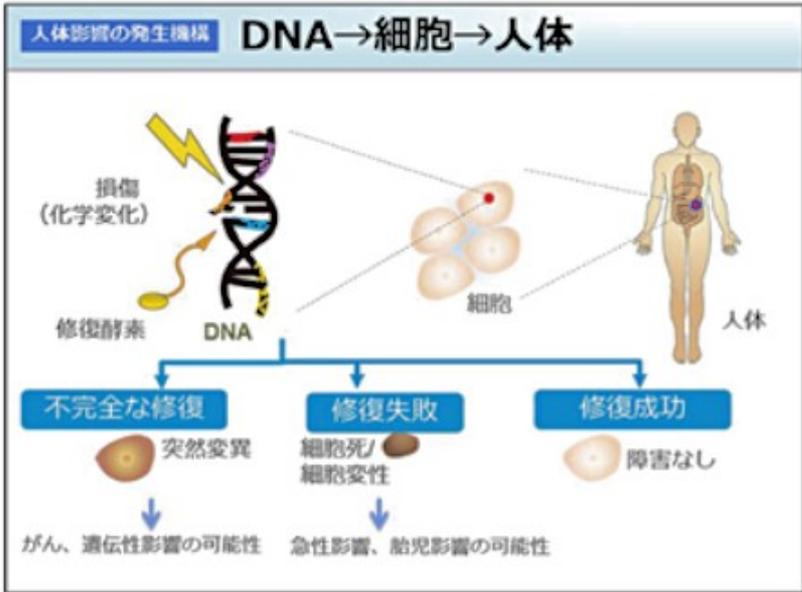
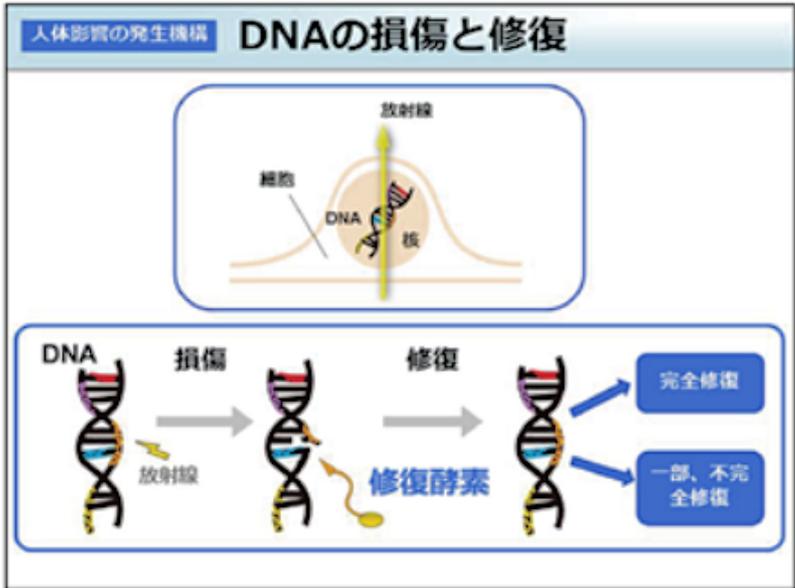


**放射線によるDNA切断**

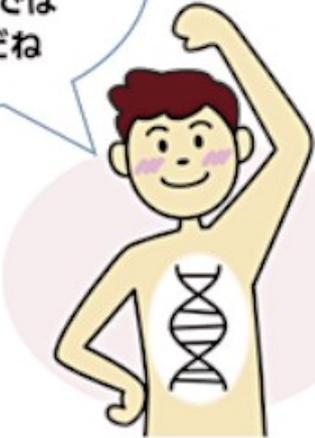


DNAは毎日  
1万~100万もの  
損傷と修復を  
繰り返して  
いるんだよ

人間の体って  
すごいね!



放射線を受けても  
必ずがんに  
なるわけでは  
ないんだね



# DNAの傷でがんになる場合

- DNAにできる傷のうち問題になるのは、細胞分裂をコントロールする遺伝子(がん原遺伝子やがん抑制遺伝子はその代表例)に傷が残ってしまった場合です。
- その結果、細胞が分裂速度のコントロールを失って、際限なく細胞分裂が繰り返されるようになった状態が「がん」という病気なのです。
- ちなみに、実際、毎日多数のがん細胞が、私たちの体内に生まれていますが、できたばかりのがん細胞は、体の中にある免疫細胞によってほとんどが殺されてしまいます。
- しかし、年齢とともに、DNAの傷が積み重なることで、がん細胞の発生数が増えていき、一方で、免疫の働きは衰えていきます。このため、年齢とともに、がんは増えていきます。がんは「老化の一種」だと言えます。

# 私たちの細胞には、DNAの損傷を修復する機能がある

- 生命誕生以来、38億年ものあいだ、自然放射線とつきあってきたので、1日に数ミリシーベルト以下の低い線量率で、放射線を受けている場合には、傷がごくわずかなうちに、DNAの修復メカニズムが働き、DNAの傷を治してくれる。
- したがって、放射線の総量が数Sv(シーベルト)になっても、まったく症状は現れないか、あってもごくわずかです。しかし、一度に大量の放射線を浴びた場合には、DNAにできる傷の数も多くなるために、傷をうまく治せずに死ぬ細胞が多くなり、その放射線量が250 mSvのレベルを超えると、白血球の減少といった検査異常(確定的影響)が現れます。
- つまり、放射線量が同じであっても、一度に(短時間に)まとめて放射線を浴びた場合と何回にも分けて(長い時間をかけて)ゆっくり放射線を浴びた場合とでは、症状の現れ方がまったく異なります。

# がんの死細胞を貪食し、がん免疫を活性化する新しいマクロファージを発見

- がん細胞は、体の免疫監視をかいくぐり、免疫系の攻撃を受けずに増殖していきます。
- しかし、放射線照射などによってがん細胞を殺すと、死んだがん細胞を免疫系が認識し、がんに対する免疫が活性化する場合があります。
- マクロファージは、死んだ細胞を食べて処理する免疫細胞です。
- マクロファージの役割は、体に侵入した異物や自己の死細胞を掃除するだけとわれていましたが、最近、食べた死細胞を有効活用して、免疫反応を制御していることが分かってきました。
- 独立行政法人理化学研究所(野依良治理事長)、理研免疫・アレルギー科学総合研究センター(谷口克センター長)自然免疫研究チームの田中正人チームリーダー、浅野謙一研究員らによる研究成果です

放射線を照射して殺したがんの死細胞を、皮下注射しておく。何も投与していないマウスに生きたがん細胞を植えると、がんが大きくなってマウスは死んでしまうが、あらかじめがんの死細胞を投与しておいたマウスでは、がんの発育を完全に抑えることができる

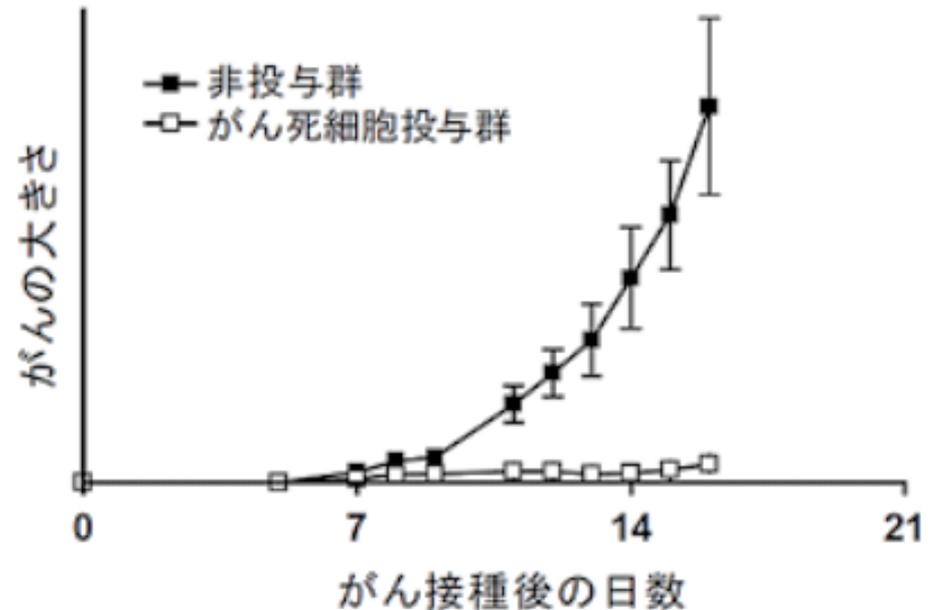
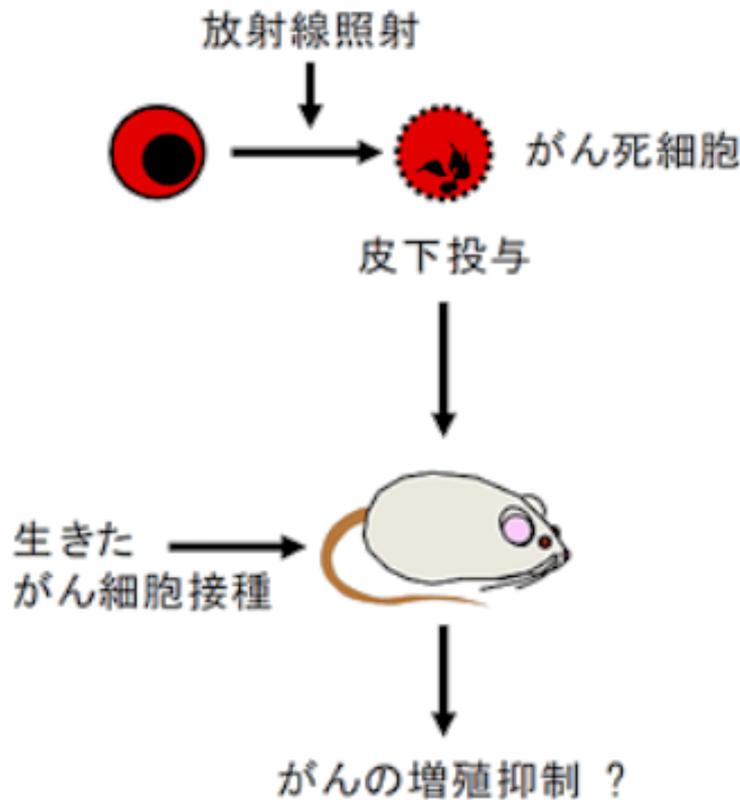


図1 がんの死細胞を使ったがん免疫誘導実験の手法と結果

抗がん剤を投与したり、放射線を照射したりすると、がんが壊れて一度に大量のがんの死細胞が生じる。このがんの死細胞は、近くのリンパ節に流れていきCD169陽性マクロファージに取り込まれる。がんの死細胞を取り込んだマクロファージがキラー細胞を活性化し、がん免疫を強化する。

がん化学療法や放射線治療

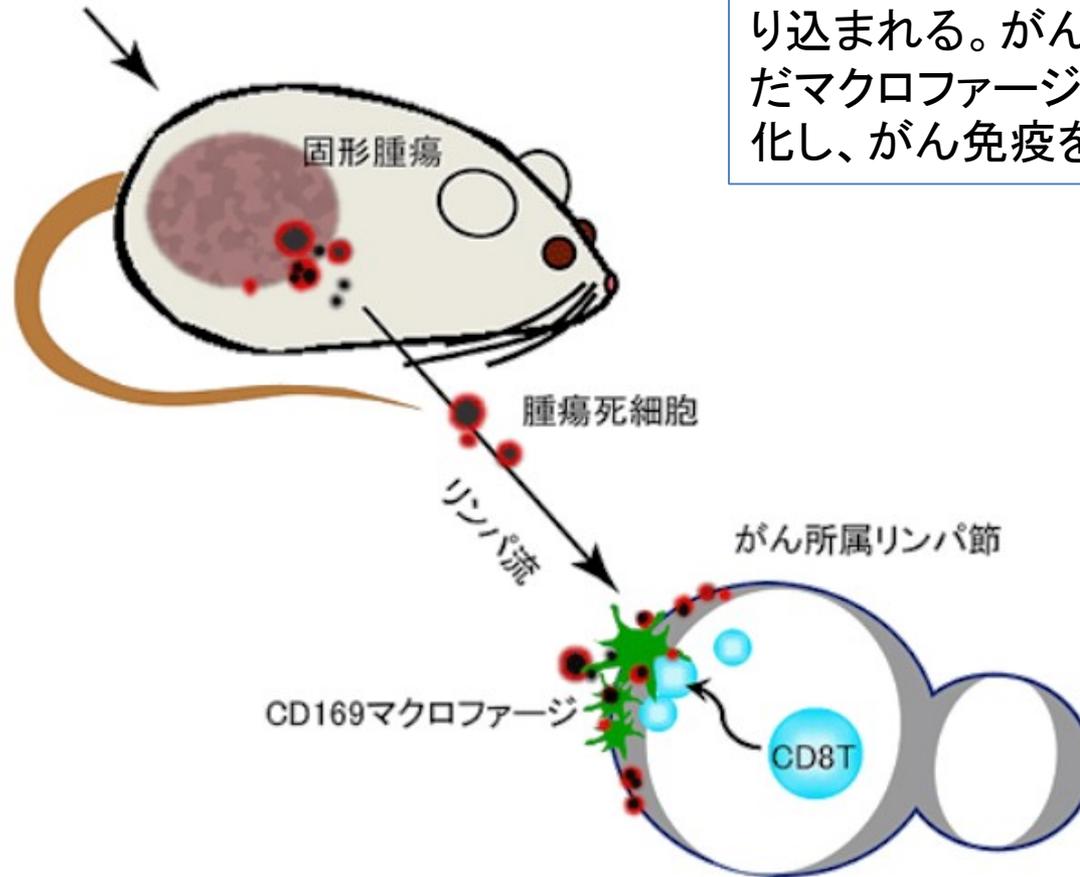


図4 がん細胞の死とがん免疫

# 被ばくには、内部被ばくと外部被ばくがある

**外部被ばく** 宇宙・大地からの自然放射線や、病院の検査などで人工放射線を受けることです。

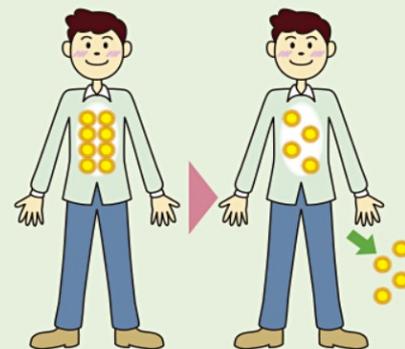


**内部被ばく** 食事や呼吸などで体内に取り込まれた放射性物質から放射線を受けることです。  
被ばくには、



## 生物学的半減期

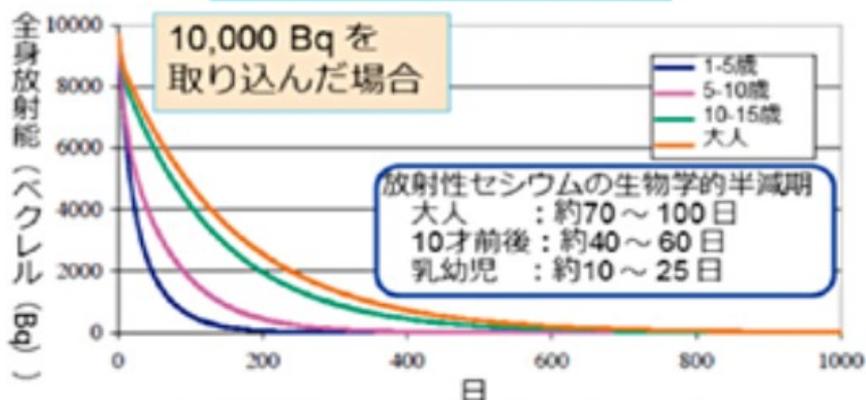
体内に取り込まれた放射性物質が、代謝などにより体外に排出されることで半分に減るまでの期間です。



● 生物学的半減期(ヒト(全身)の場合)

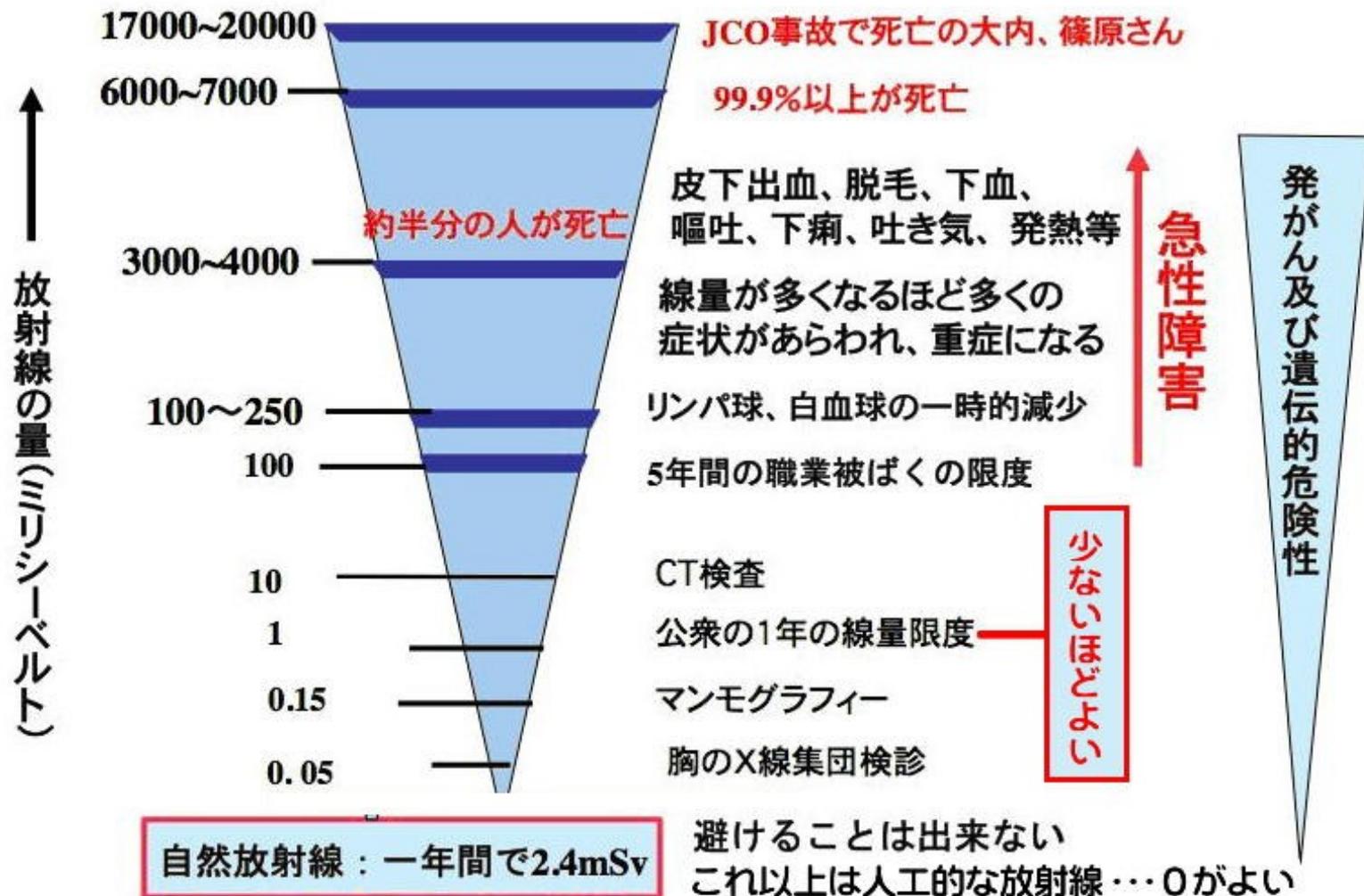
セシウム134、セシウム137	
1歳まで：9日	30歳まで：70日
9歳まで：38日	50歳まで：90日

## 放射性セシウムの生物学的半減期



**子どもの方が代謝が早い**

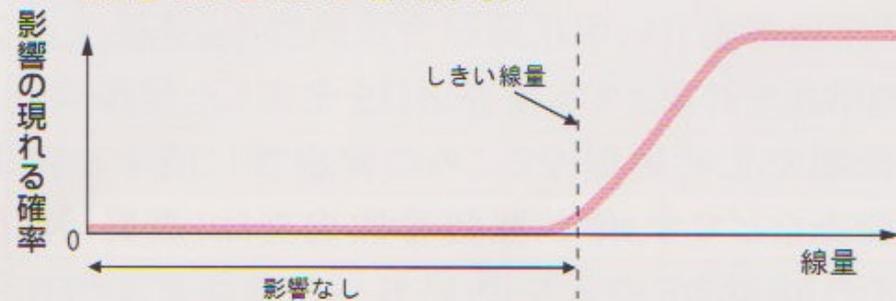
# 放射線の量と障害の関係



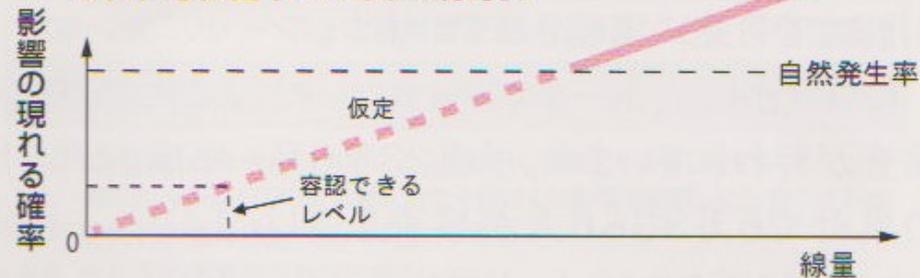
## ■放射線防護の考え方

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(がん・白血病等)〕



出典:(財)放射線影響協会「放射線の影響がわかる本」

## ■放射線と生活習慣によってがんになる相対リスク

(対象:40~69歳の日本人)

要 因	がんになるリスク
1000~2000ミリシーベルトの放射線を受けた場合	1.8倍
喫煙 飲酒(毎日3合以上)	1.6倍
痩せ過ぎ	1.29倍
肥満	1.22倍
200~500ミリシーベルトの放射線を受けた場合	1.19倍
運動不足 <sup>※1</sup>	1.15~1.19倍
塩分の取り過ぎ	1.11~1.15倍
100~200ミリシーベルトの放射線を受けた場合	1.08倍
野菜不足 <sup>※2</sup>	1.06倍

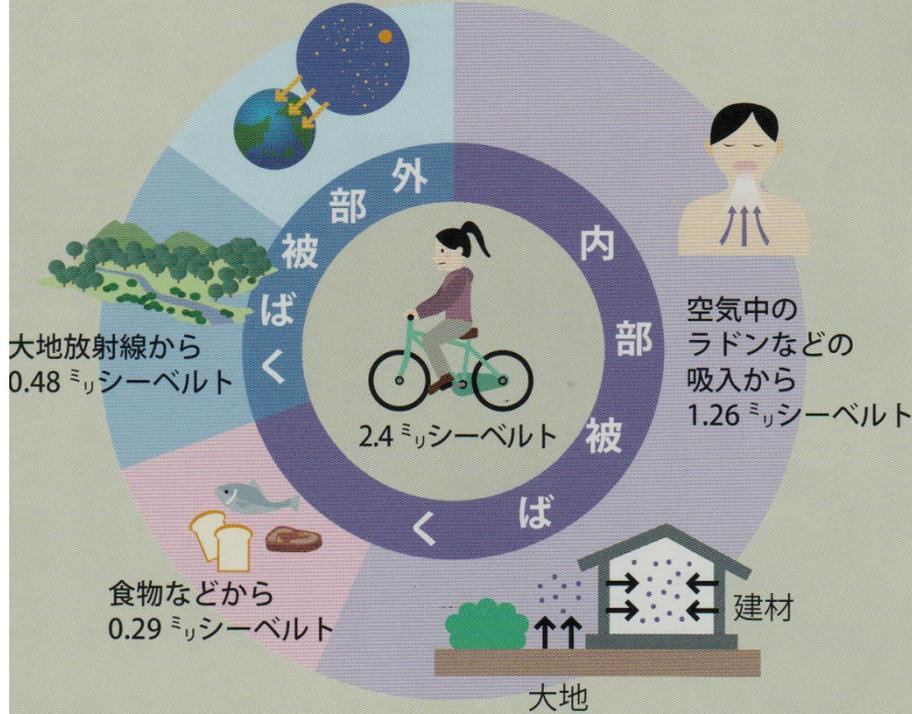
(注) 放射線は、広島・長崎の原爆による瞬間的な被ばくを分析したデータ  
(固形がんのみ)であり、長期にわたる被ばくの影響を観察したものではない

※1 運動不足:身体活動の量が非常に少ない

※2 野菜不足:野菜摂取量が非常に少ない

## ■自然界から受ける放射線量（世界平均）

宇宙線から  
0.39 ミリシーベルト



出典：(独)放射線医学総合研究所「放射線被ばくに関するQ&A」  
(社)日本アイントゥープ協会「改訂版 放射線のABC」

## 健康診断で浴びる放射線量

胸部X線	0.2mSv/回
腹部X線	1.0mSv/回
胃のX線	3から5mSv/回
胃の透視	10mSv/分

福井市の放射線量は、0.438mSv/年

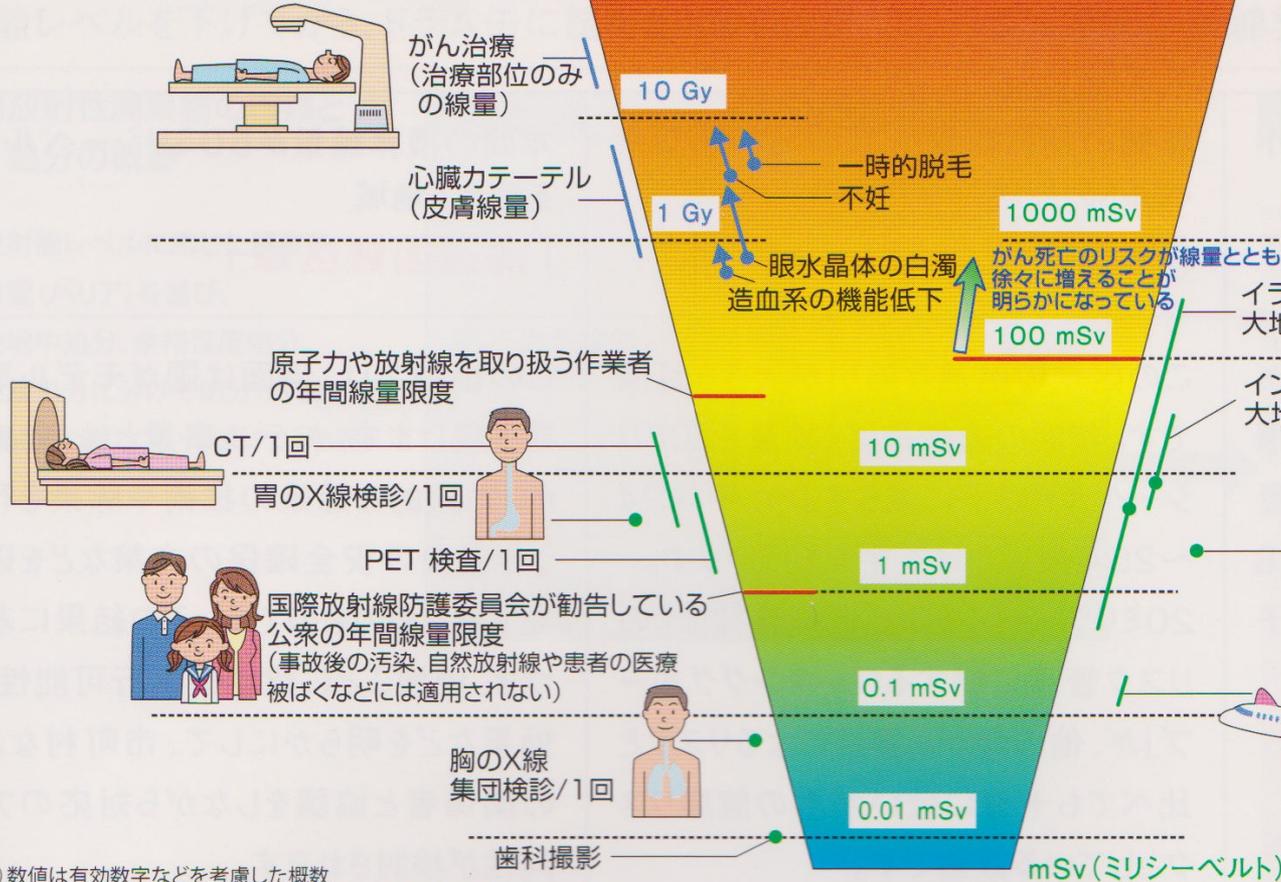
このほか、医療において人工的な放射線を受けることもあり、一般的なX線検査では1件当たり0.1～7.4ミリシーベルト、CT検査を受けると1件当たり2.4～12ミリシーベルトになります。

# 日常生活と放射線

## 人工放射線

Gy(グレイ)

身の回りの放射線被ばく



## 自然放射線

宇宙から0.4mSv 大地から0.5mSv

ラドン等の吸入 1.2mSv 食物から0.3mSv

イラン/ラムサール  
大地からの自然放射線(年間)

インド/ケララ、チェンナイ  
大地からの自然放射線(年間)

1人当たりの自然放射線  
(年間2.4mSv)世界平均

東京-ニューヨーク(往復)  
(高度による宇宙線の増加)

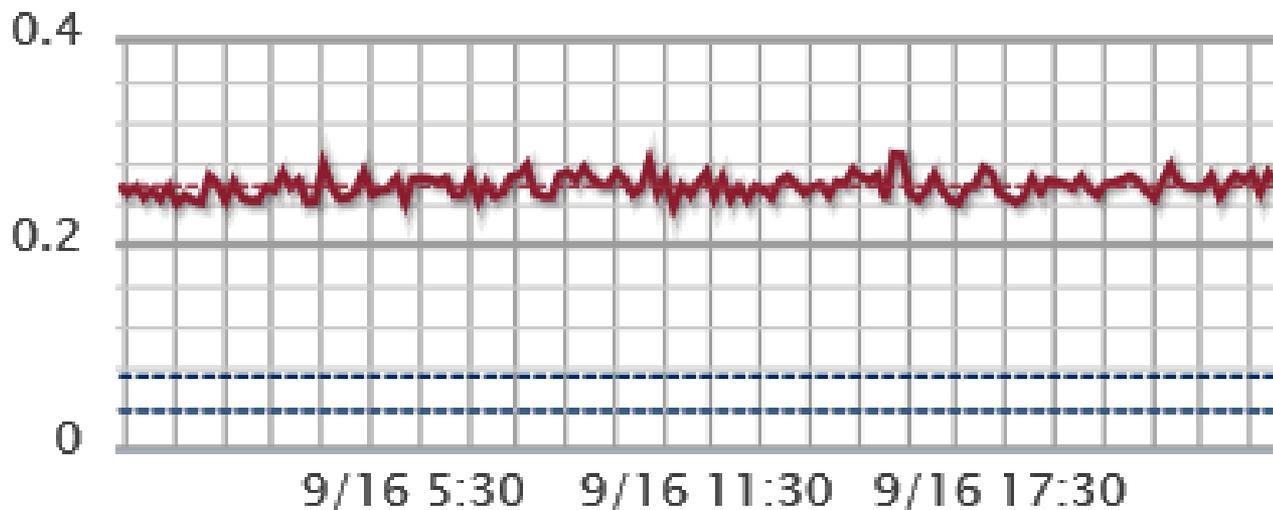
各部位に均等に、ガンマ線1 Gyの吸収線量を全身に受けた場合、実効線量で1000mSvに相当する。

(注) 数値は有効数字などを考慮した概数  
目盛(点線)は対数表示のため、ひとつ上がる度に10倍上がる  
出典: (独)放射線医学総合研究所ホームページより作成

# 福島県

0.25  $\mu\text{Sv}/\text{時間} = 2.19 \text{ mSv}/\text{年}$

日間 | 週間 | 月間



日平均:  $\square$   $\mu\text{Sv}/\text{h}$  ( $\mu\text{Sv}/\text{h} \sim \mu\text{Sv}/\text{h}$ )

現在値:  $\blacksquare$  **0.252**  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  (2018/09/16 23:20)

平常値: 0.037  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  - 0.071  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  (0.0倍)

[『双葉町役場<平成25年12月に新規設置>』の情報をもっと見る](#)

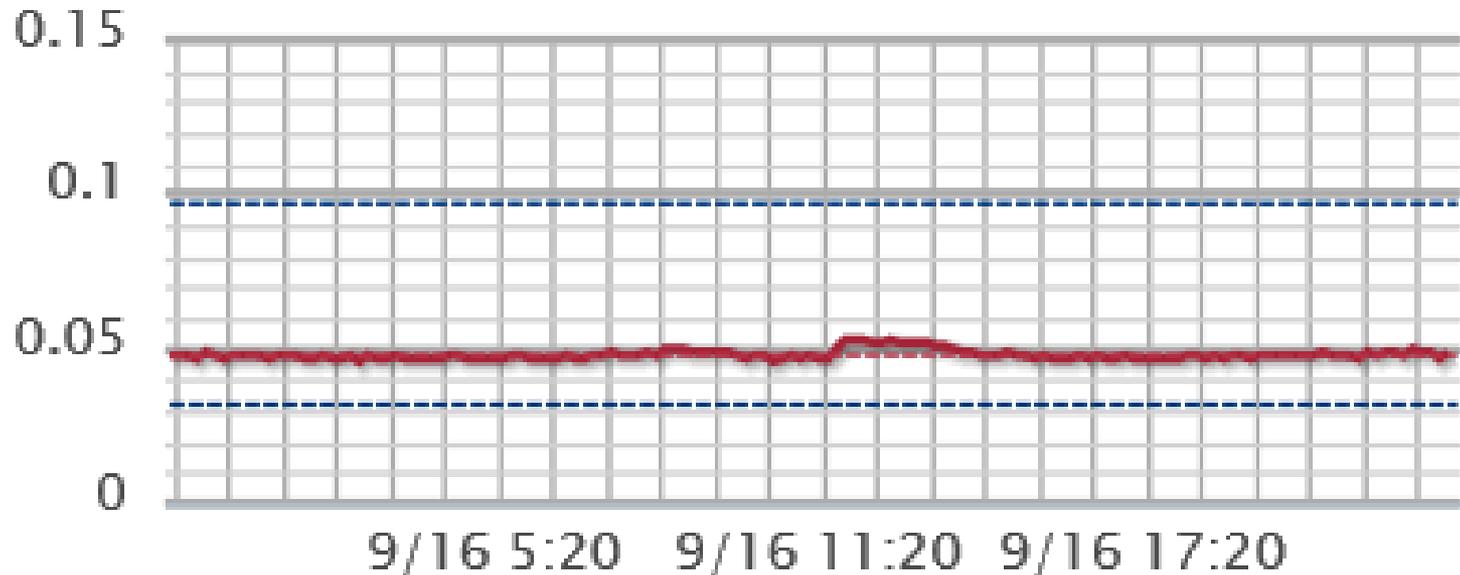
福島県小丸多目的集会所 8.337  $\mu\text{Sv}/\text{時間} = 73.032 \text{ mSv}/\text{年}$

# 福井市自然放射線強度

一時間当たり 約 0.05マイクロSv

0.05  $\mu\text{Sv}/\text{時間} = 0.438 \text{ mSv}/\text{年}$

日間 | 週間 | 月間



日平均:  **0.048** $\mu\text{Sv}/\text{h}$  (**0.046** $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ~**0.053** $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )

現在値:  **0.049** $\mu\text{Sv}/\text{h}$  (2018/09/16 23:00)

平常値: 0.032 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ -0.097 $\mu\text{Sv}/\text{h}$  (**0.5倍**)

[『福井市 越廼ふるさと資料館』の情報をもっと見る](#)



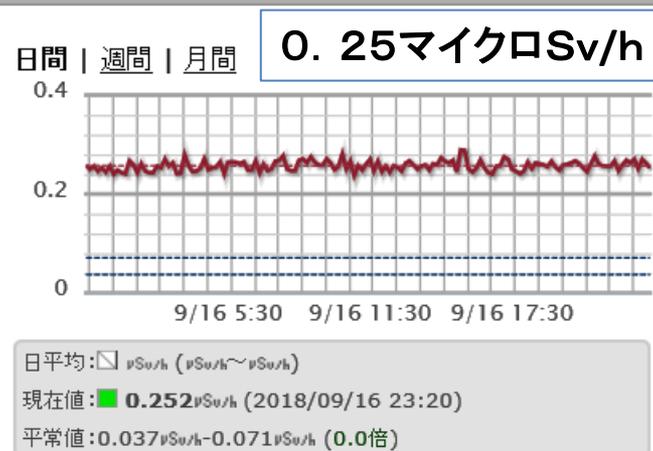
源泉名	空間放射線線量率平均値 水面の値 ( $\gamma$ 線, $\mu\text{Sv/h}$ )	温泉水中の ラドンの量 カウント率 (cpm)	泉温 ( $^{\circ}\text{C}$ )
溪泉閣	0.117	73	42.5
山田区共同浴場	(水面上1m)0.168 0.322	148	
元 石湯旅館	0.243	100	20.5 (閉栓)
万翠楼	0.110 (フロント前)0.101	16	39
河原の湯(露天)	0.08	61	47
菩薩の湯	0.467	24	
薬師の湯(足湯)	0.091	110	
岡山大分室	0.743	172	
株湯飲線	0.113	21	
ブランナール露天	0.186	66	
自然放射線 (三朝川沿い)	0.06~0.08		

表1 各泉源の実験結果

## 三朝温泉の放射線強度

ラジウムから、ラドン(ガス)が出る。

## 福島県 双葉町の放射線強度



『双葉町役場<平成25年12月に新規設置>』の情報をもっと見る

鳥取県立鳥取工業高等学校  
足利裕人

年間の積算線量が20ミリシーベルト以下となることが確認された地域

**「避難指示解除準備区域」**

年間の追加被ばく線量を1ミリシーベルト以下に減らすことが長期的な目標です。当面は、年間の追加被ばく線量を平成25年8月末までに平成23年8月末に比べて一般住民は約5割、子供は約6割減らすことが目標です。

年間の積算線量が20～50ミリシーベルトの地域

**「居住制限区域」**

この区域の迅速な縮小が大きな目標です。年間の追加被ばく線量を20ミリシーベルト以下に減らすよう、平成24～25年度にかけて除染を行います。20ミリシーベルトは、「低線量被ばくのリスク管理に関するワーキンググループ」が、他の発がん要因によるリスクと比べても十分に低い水準の健康リスクとしている数値です。

年間の積算線量が50ミリシーベルトを超える地域

**「帰還困難区域」**

この地域では、当面は国がモデル事業を続けます。モデル事業とは、効率的・効果的な除染の技術や除染を行う作業員の安全確保の方策などを確立するためのものです。その結果に基づき、地域ごとに除染の実行可能性・効果などを明らかにして、市町村などの関係者と協議をしながら対応の方向性が検討されます。

# 福島第一原発3号機で、作業員3名の被ばく

- 3月24日に、福島第一原発3号機で、作業員3名が、足に2から3シーベルトの高線量被ばくをしたと報じられています。
- 放射線皮膚炎の「しきい値」以下と思われるので、症状が出る可能性は高くありません。
- 実際、3人は、元気に退院されています。しかし、全身に2から3シーベルト被ばくしていれば、命に関わっていたはずで
- 今回の原発事故でも、避難地域の外側の地域では、1時間あたりの放射線量は医療で使用するものに比べ、はるかに少なくなっています。
- 4月7日に報じられた原子力安全委員会の政府への提言では、「現在の避難などの考え方を見直し、周辺住民の年間の被ばく量が20ミリシーベルトを超えないように避難指示などの対策を行うべき」としています。

# 医療従事者の被ばく量

- H18年度

- 医師                   0.7mSv       (頭頸部 2.3mSv)
- 技師                   1.62mSv     (頭頸部 3.4mSv)
- 看護師                0.36mSv     (頭頸部 1.8mSv)

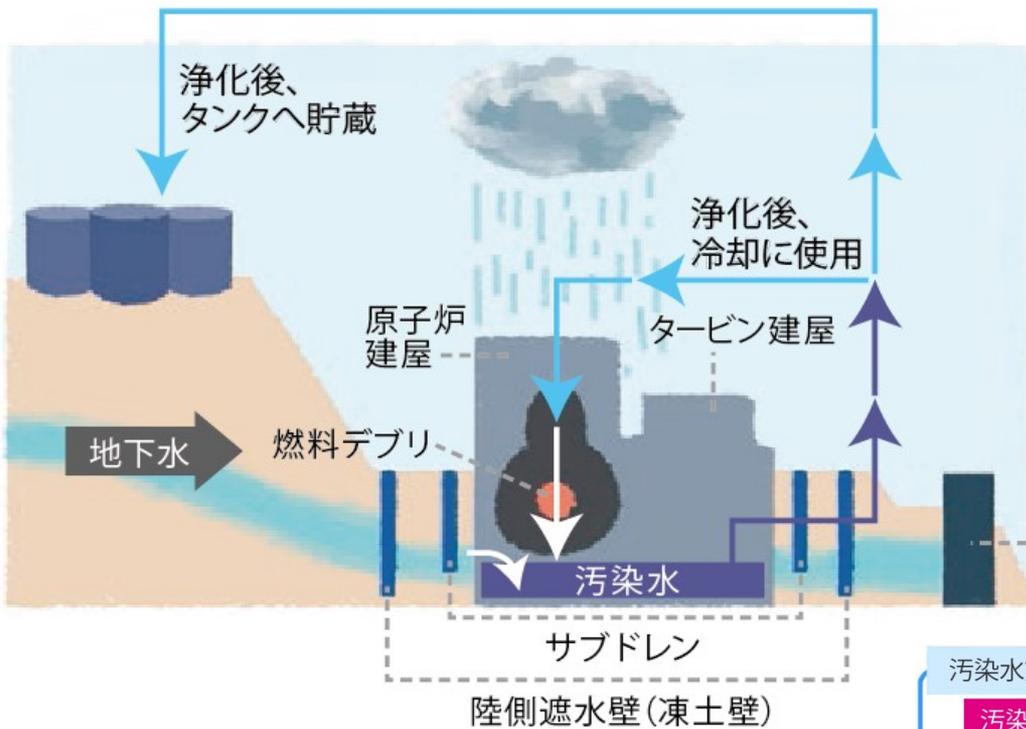
- ICRP(国際放射線防護委員会)

- 18歳から65歳までの50年間で、
- 年間20mSv, 50年間で 1Svとしたとき
- 年あたりの致死がんに対しての受容レベルは、0.089%

# 発がんに対する確定的影響

- 癌で死亡する確率
  - 1mSv/年を、一生涯受けて、0.4%
  - 2mSv/年を、一生涯受けて、0.8%
  - 10mSv/年を、18歳から65歳まで受けて、1.8%
  - 20mSv/年を、18歳から65歳まで受けて、3.6%

福島原発の汚染水から放射性物質を除いた  
あとのトリチウムを含む水について



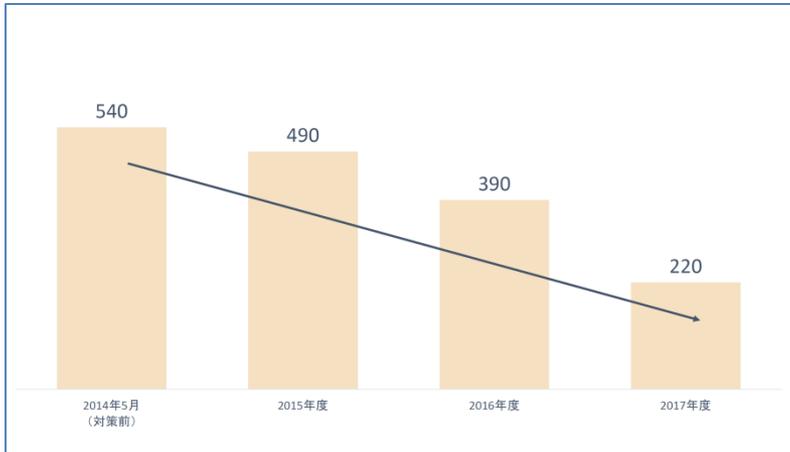
浄化処理をおこなった水 (ALPS処理水) を敷地内のタンクに安全に保管していますが、その中には「トリチウム」という放射性物質が残っています。

汚染水対策の基本方針

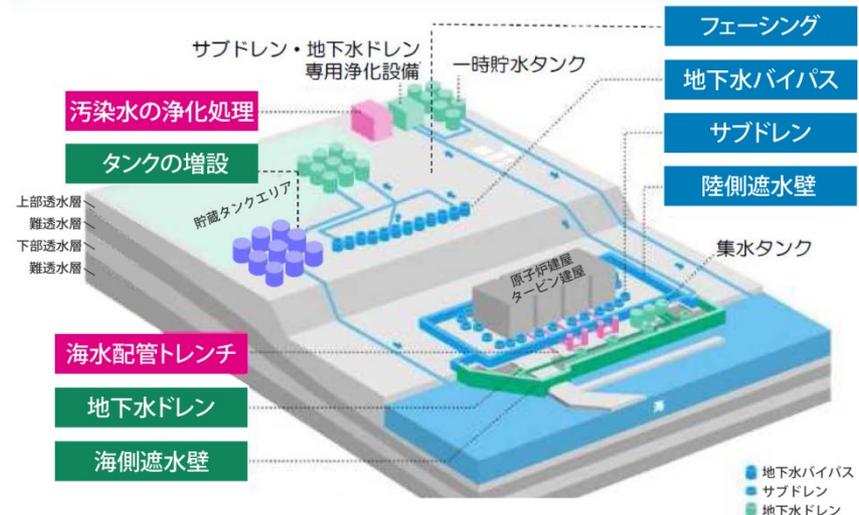
汚染源を取り除く

汚染源に水を近づけない

汚染水を漏らさない



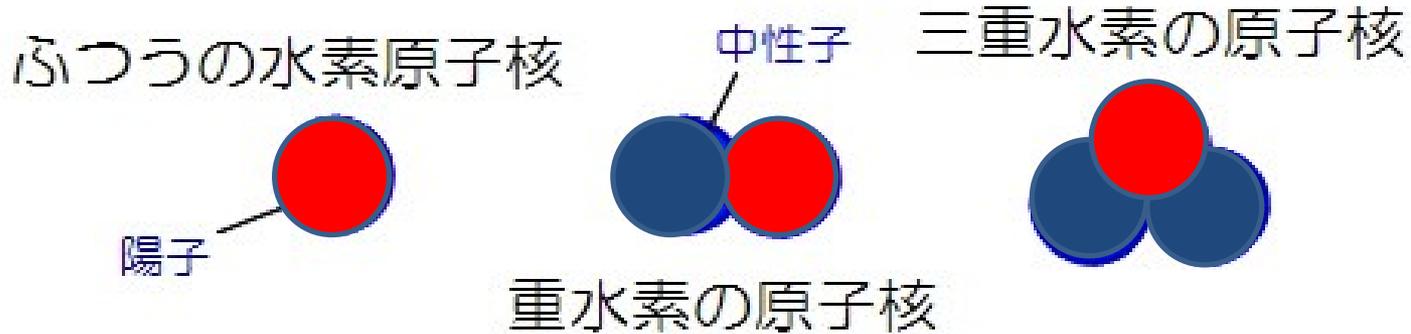
水の量は、年々減っている。



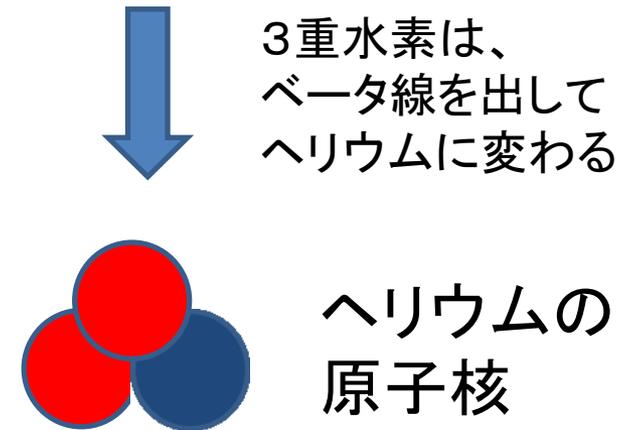
# トリチウム(三重水素)

(普通の水素より、3倍重い水素)

## 水素の同位体の原子核



三重水素が酸素と結合したものが、トリウム水で、放射線(ベータ線)を出す。性質は、普通の水と同じなので、化学反応を使った分離ができない。



# トリチウムを含む水の処理法

- 量は、89万5000トン。
- 放射線量 事故当時 330万ベクレル/(水1L)
  - H28年3月時点で、  
トリチウムの総量は、 $7.6 \times 10^{14}$ ベクレル
  - 重さで、2.1グラム
- 通常の原因からの海への放出量は、 $10^{14}$ ベクレル以下で実施中
- 1リットル当たり420万ベクレルの処理水は、普通の水で70倍に薄め(告知濃度以下)で、一日当たり400トンを超えて海に放流する。
- 汚染水処理対策委員会が、山本名大名誉教授を主査として、8人の専門家が、15回にわたる検討会を開いた結論

# 癌の放射線治療

- 人間が放射線を全身に一度に浴びて、60日以内に50%死亡する放射線量は、4 Gy (=4Sv(シーベルト))
- 癌の放射線治療で、患者に投与する放射線量は、  
50から80 Gy (=50~80Sv)  
ただし、2または3Gyを、25回に分けて照射する。
- これほどの大線量の放射線を、患者さんに治療として投与できるのは、何回にも分けて放射線をかけることと、全身ではなく必要な範囲だけに放射線をかけているから。
- 患者さんは、日常生活を続けながら外来通院で放射線治療をすることができる。

# ピンポイント照射法

- 放射線治療の副作用は、放射線が、かかる範囲によってもちがってきます。
- 最近テレビや新聞記事などでも多く取り上げられるようになってきている「ピンポイント照射」という方法を使えば、8~20 Gy [グレイ]という大線量の放射線を1回で照射することもできます。
- 実際に、ガンマナイフという治療装置を用いたパーキンソン病に対する「定位的視床破壊術」では、きわめて限られた範囲に130 Gy (グレイ)という超高線量を1回で照射することもあります。この放射線は、もし全身に浴びれば数日後には死亡してしまうほどのものです。

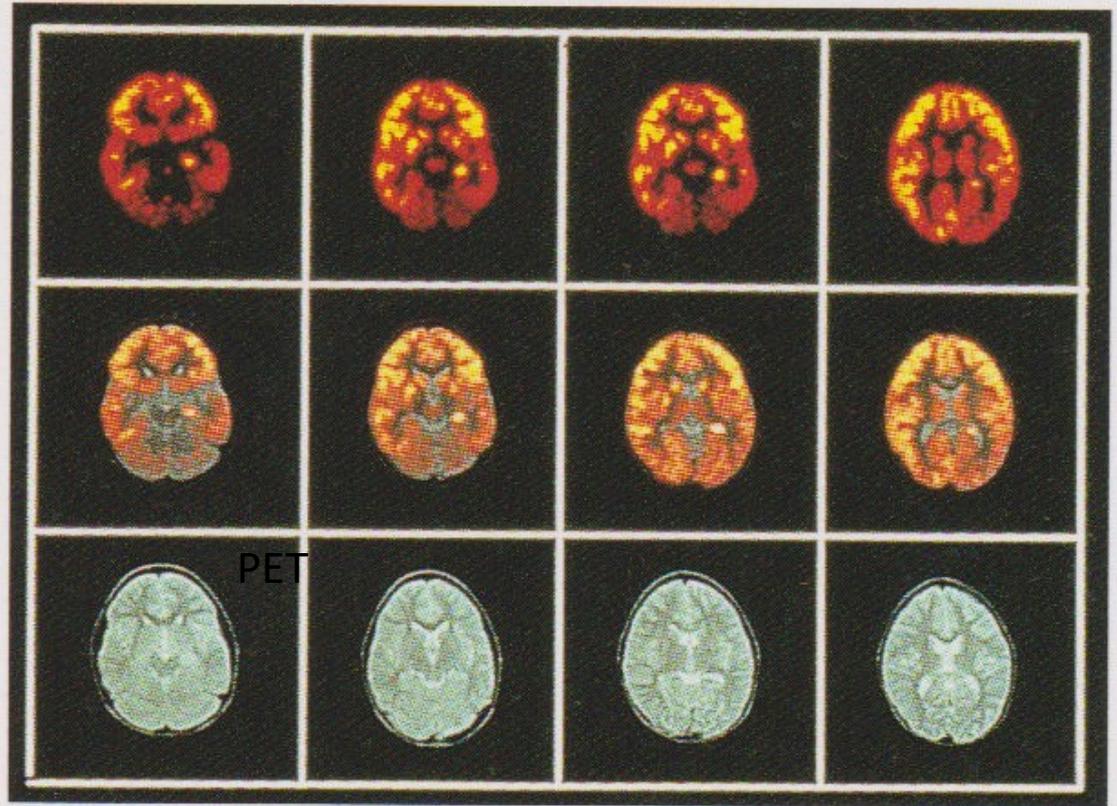
# PET検査

- 「陽電子放射断層撮影」という意味で、  
Positron Emission Tomographyの略。
- がん細胞が正常細胞に比べて3～8倍のブドウ糖を取り込む、という性質を利用、ブドウ糖に近い成分(FDG)を体内に注射し、しばらくしてから全身をPETで撮影します。
- するとブドウ糖(FDG)が多く集まるところがわかり、がんを発見する手がかりとなります。
- ポジトロン核種はまわりの電子と反応して放射線( $\gamma$ 線＝ガンマ線)に変わる特徴があり、この $\gamma$ 線の出る場所と量が、ブドウ糖を消費する細胞の目印となります。



半減期の短い  
放射性物質を  
ぶどう糖に混ぜて、  
注射する。

この放射性物質を  
製造する研究センターが  
石川県にある。

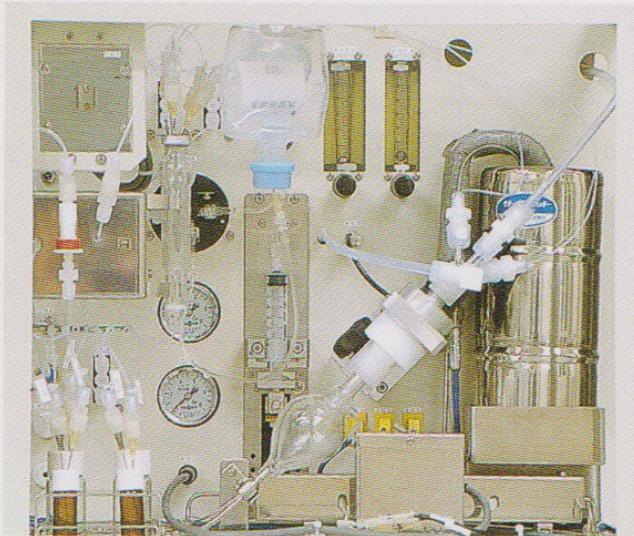


てんかん患者の画像診断例

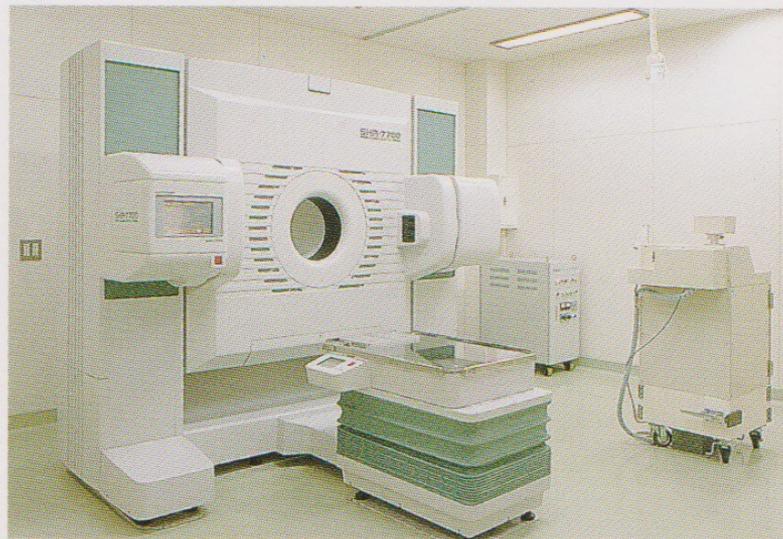
上 段：PET

下 段：MRI

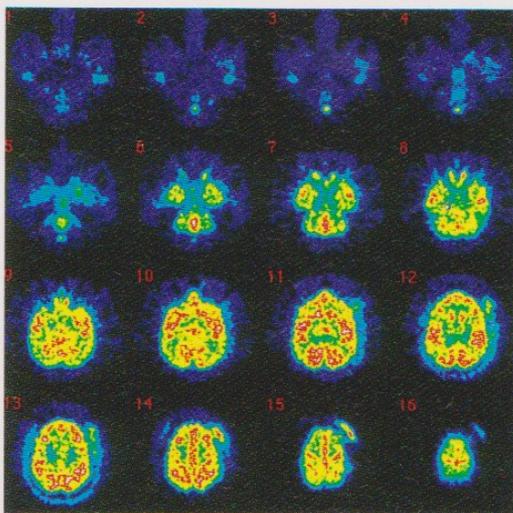
中 段：PETとMRIの重ね合わせ画像



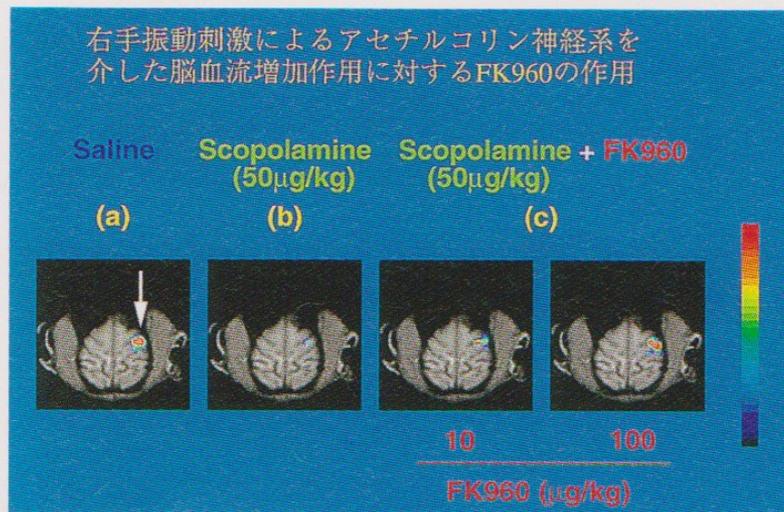
[ア]自動合成装置



[イ]動物PETカメラ(浜松ホトニクス社製 SHR-7700)



[ウ]脳グルコース代謝測定



[エ]脳賦活試験

易しい科学の話  
2018/9/19

# 放射線の人体への影響

終り

## 住民の被ばく(健康管理)

福島県は、平成23年3月11日の夜に政府から原子力緊急事態宣言が出されたのを受け、12日から住民のスクリーニングを開始しました。スクリーニングとは、服や体の表面に付いている放射性物質の量を測定して、被ばくや放射性物質による汚染に対応した処置(被ばく医療)が必要かどうかを判断するものです。避難所や常設会場において、延べ人数で県内の人口の1割を超える20万人以上がスクリーニングを受けましたが、処置が必要な人はいませんでした。

福島県では、県民健康管理調査として、「基本調査」と「詳細調査」を行っています。「基本調査」は、問診票によって平成23年3月11日以降の行動などを把握し、外部被ばく線量を推計するための調査です。平成24年8月31日現在、調査対象者205万6994名のうち、47万593名から問診票の回答を得ています。

この問診票をもとに、平成23年3月11日から7月11日までの4ヵ月間の積算実効線量が推計されています。放射線業務従事経験者を除く11万9450名のうち、1ミリシーベルト未満は6万7976名(57%)、10ミリシーベルト未満は11万9333名(99.9%)、そして、10ミリシーベルトを超えた人は117名(最大25.1ミリシーベルト)となっています。この結果に対し、県の検討委員会は、「放射線による健康影響があるとは考えにくい」と評価しています。

「詳細調査」は、甲状腺超音波検査や、避難区域などの県民を対象とする検査項目を充実した健康検査、妊産婦や生活習慣やこころの健康度に関する質問紙調査などです。甲状腺超音波検査は、震災時に0歳から18歳までの全県民(県外への避難者も含む)約36万人を対象として、平成23年10月から平成26年3月までを目途に実施されています。

このほかにも、ホールボディカウンタによる内部被ばく検査が行われています。平成23年6月～平成24年7月の累計で6万3366人が検査を受け、1ミリシーベルト未満が6万3340人、1ミリシーベルトが14人、2ミリシーベルトが10人、3ミリシーベルトが2人と、健康に影響が及ぶ数値は検出されていません。

福島県では、県民健康管理調査などの結果をデータベース化して、長期的に管理することとしています。

## 作業員の被ばく

日本では、国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告などを踏まえて、放射線業務従事者(放射線管理区域内で放射線業務に従事する者)の線量限度を定めています。その線量は、5年間につき100ミリシーベルト以下、かつ、1年間につき50ミリシーベルト以下となっています。また、事故の発生などの緊急時においては100ミリシーベルトまでとしています。

ICRPでは、緊急時の職業被ばくについて、救命活動者(志願者に限る)の参考レベルを無制限、他の緊急救助者の参考レベルを1000ミリシーベルトまたは500ミリシーベルト以下、他の救助活動の参考レベルを100ミリシーベルト以下の範囲で設定することを勧告しています。(ICRPについてはP.16参照)

福島第一原子力発電所の事故発生後、100ミリシーベルトまでの線量限度内では事故収束に必要な作業を続けることが難しいとの判断から、平成23年3月14日、緊急作業時の線量限度を250ミリシーベルトに引き上げることが決まりました。政府が引き上げた250ミリシーベルトは、ICRPの緊急救助者の参考レベルのうち下限の500ミリシーベルトの半分にあたります。

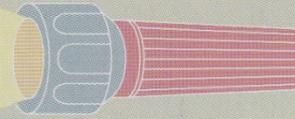
政府の「東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会」最終報告(平成24年7月23日公表)によると、事故収束に向けた作業のなかで、6人が250ミリシーベルトを超えたことが分かっています。中央制御室での指示やデータの採取、計器の復旧作業のほか、屋外での電源の確保に携わった人たちで、その線量は、約309ミリシーベルトから約678ミリシーベルトでした。全員分のチャコールフィルター付マスク(ヨウ素を除去できるもの)を準備できなかったことや、中央制御室内で飲食せざるを得なかったことなどが原因としてあげられています。専門機関で行われた検査では、放射線による健康への影響は認められませんでした。また、使用済燃料プールへの放水作業などを行った自衛隊員や消防隊員などのうち、100ミリシーベルトを超えて被ばくした人はいませんでした。

## ■ 放射線と放射能



[ 懐中電灯 ]

光



光を出す能力

明るさ

ルクス [lx]

光の強さ

カンデラ [cd]



[ 放射性物質 ]

放射線



放射線を出す能力  
(放射能)

人が受ける  
放射線影響の度合い

シーベルト [Sv]

「放射線」を受けた時の人体への影響を表わす単位。

人が被曝した時に受ける影響の強さを表わします。

放射能の強さ

ベクレル [Bq]

放射性物質が放射線を出す能力(放射能の強さ)を表わす単位。

水道水や野菜などに含まれる放射能の強さを表わします。