

■本資料のご利用にあたって(詳細は「利用条件」をご覧ください)

本資料には、著作権の制限に応じて次のようなマークを付しています。
本資料をご利用する際には、その定めるところに従ってください。

*****: 著作権が第三者に帰属する著作物であり、利用にあたっては、この第三者より直接承諾を得る必要があります。

CC: 著作権が第三者に帰属する第三者の著作物であるが、クリエイティブ・コモンズのライセンスのもとで利用できます。

Ⓒ: パブリックドメインであり、著作権の制限なく利用できます。

なし: 上記のマークが付されていない場合は、著作権が東京大学及び東京大学の教員等に帰属します。
無償で、非営利的かつ教育的な目的に限って、次の形で利用することを許諾します。

- I 複製及び複製物の頒布、譲渡、貸与
- II 上映
- III インターネット配信等の公衆送信
- IV 翻訳、編集、その他の変更
- V 本資料をもとに作成された二次的著作物についての I からIV

ご利用にあたっては、次のどちらかのクレジットを明記してください。

東京大学 Todai OCW 学術俯瞰講義
Copyright 2013, 飯本 武志

The University of Tokyo / Todai OCW The Global Focus on Knowledge Lecture Series
Copyright 2013, Takeshi Iimoto

平成25年度学術俯瞰講義「物質の神秘」
その生い立ちから私たちの未来まで

放射線のリスクと防護の科学

環境安全本部
飯本武志

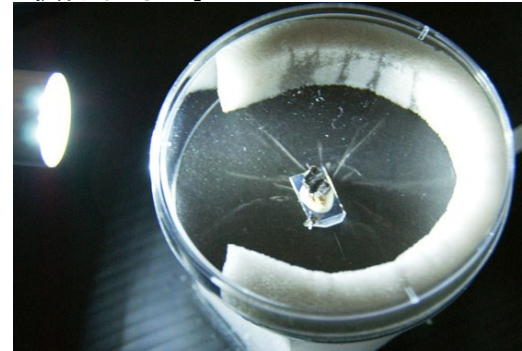
放射線のリスクと防護の科学

- 我々と放射線のかかわり
 - 自然放射線の存在
 - 人工放射線の利用
 - 事故後の新たな環境放射能との闘い
- 放射線の正体
 - 放射線の視覚的理解
 - 放射線の種類と特徴、単位
- 放射線リスクの理解
 - 疫学データの整理
 - 広島・長崎原爆被災者
 - 高線量自然放射線量地区居住者
 - リスクの考え方と防護への展開
- 放射線防護の科学
 - 放射線防護のための基盤となる議論
 - 放射線防護体系の三本柱
 - 放射線防護のための基準値の理解
 - 事実の認知(放射線計測と線量評価)



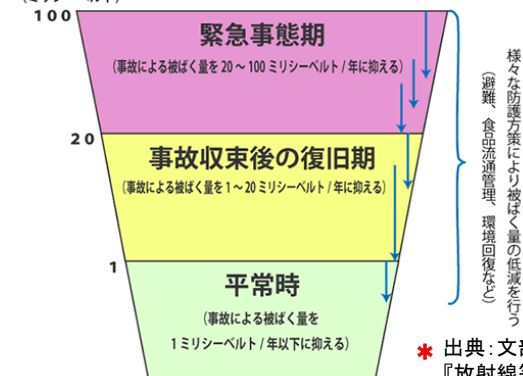
* 出典:放射線教育サイト「らでい」

出典:放射線教育サイト「らでい」



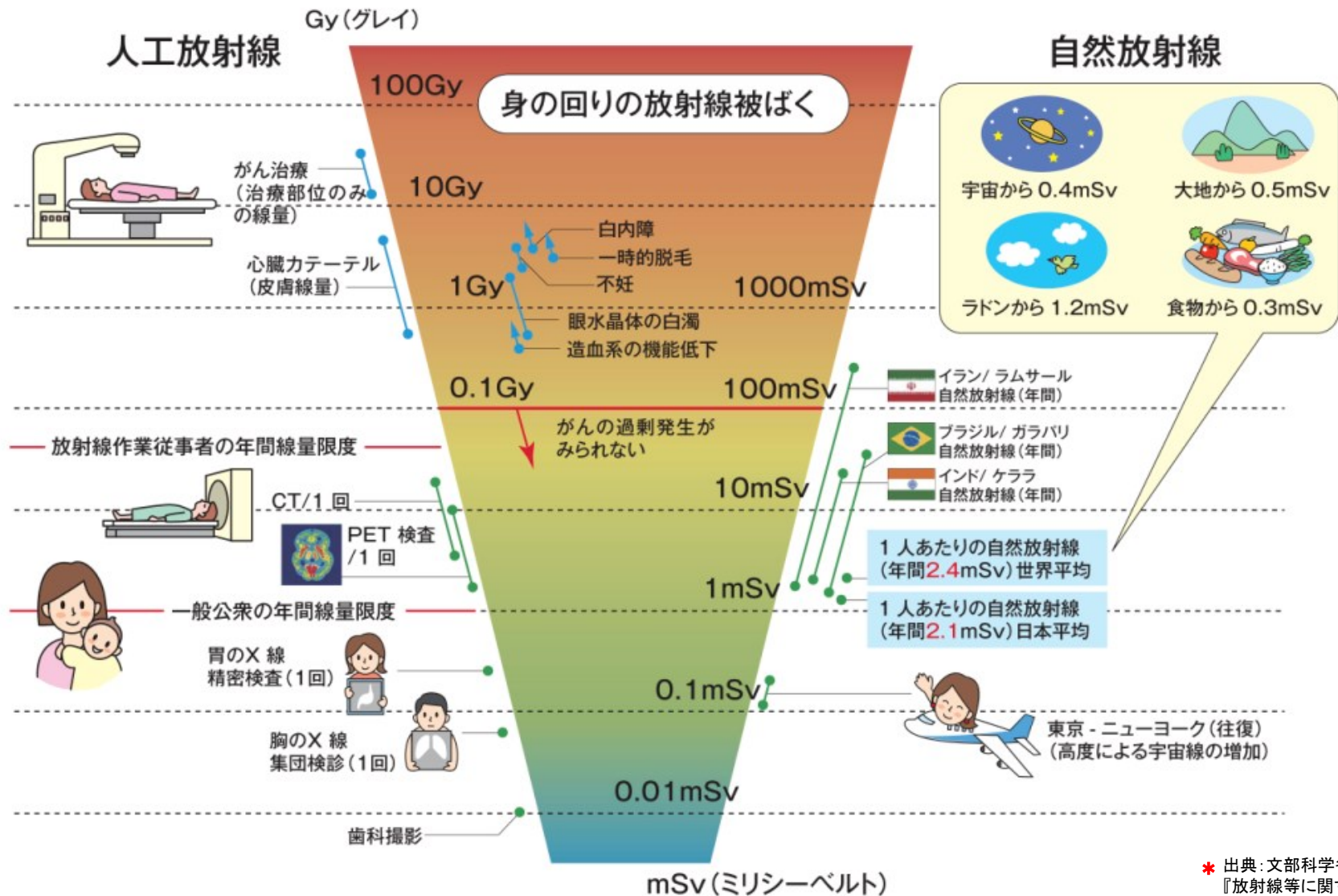
* 出典:原子力・エネルギー図面集2013

放射線の目安 (ICRP)



* 出典:文部科学省『放射線等に関する副読本』

日常生活と放射線



自然放射線から受ける年間線量

一人あたりの年間線量(世界平均)



宇宙



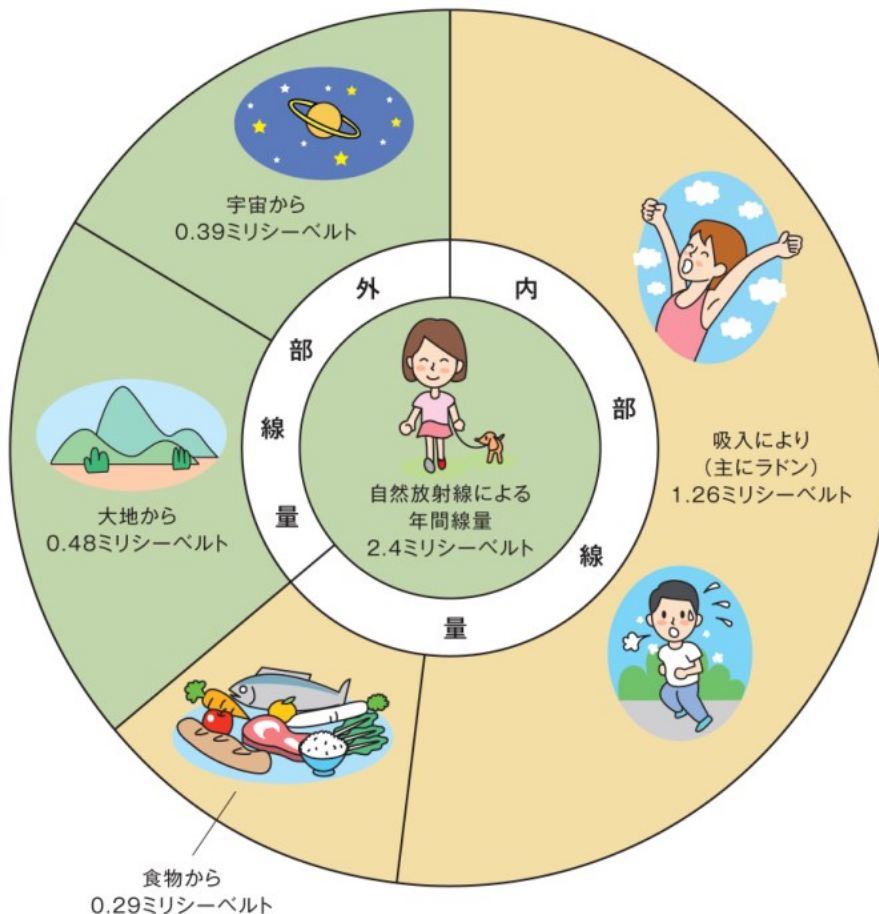
空気



食物



大地



* 出典: 文部科学省
『放射線等に関する副読本』

* 出典: 文部科学省
『放射線等に関する副読本』

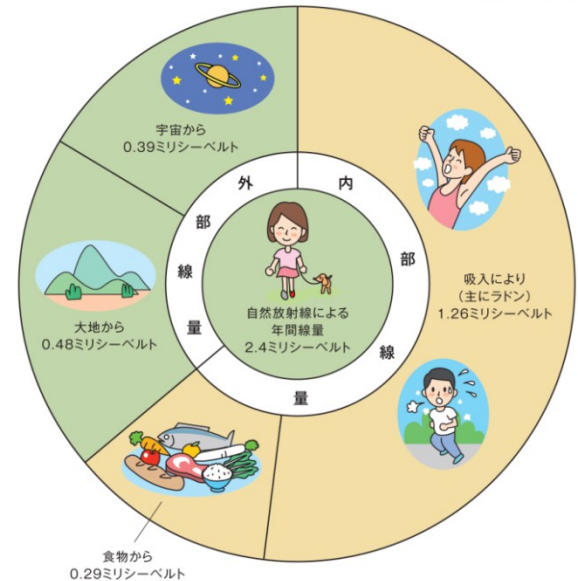
ウラン系列

放射性壊変系列 (ウラン系列)

ラドン

ラドン壊変生成物

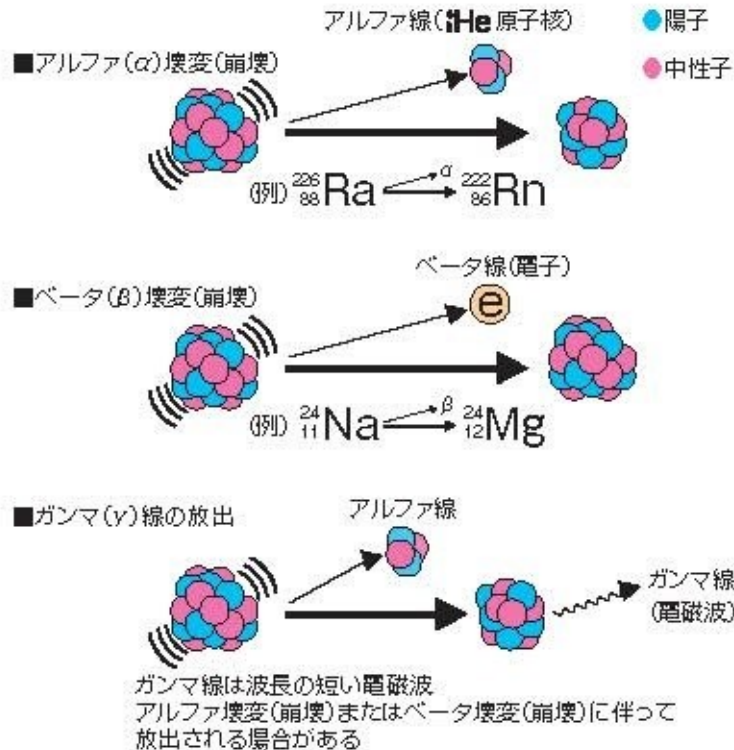
核種	γ 線のエネルギーと放出割合
^{214}Pb	0.0532 - 1.2%
	0.242 - 7.43%
	0.295 - 19.3%
	0.352 - 37.6%
^{214}Bi	0.609 - 46.1%
	0.768 - 4.94%
	1.120 - 15.10%
	1.238 - 5.79%
	1.765 - 15.40%
^{214}Po	2.204 - 5.08%



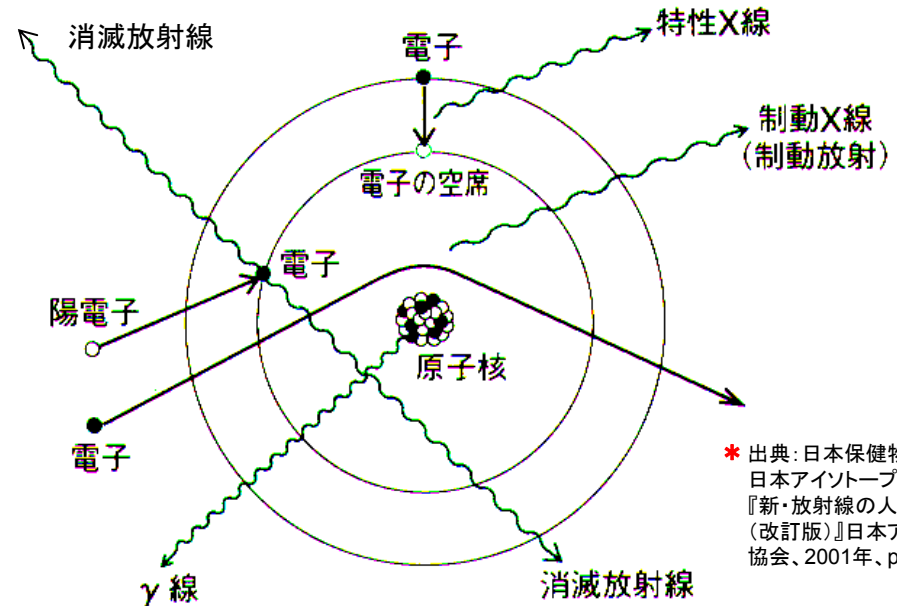
* 出典: 日本アイソトープ協会(編)『アイソトープ手帳11版』丸善、2011年、p.11

* 出典: 文部科学省『放射線等に関する副読本』

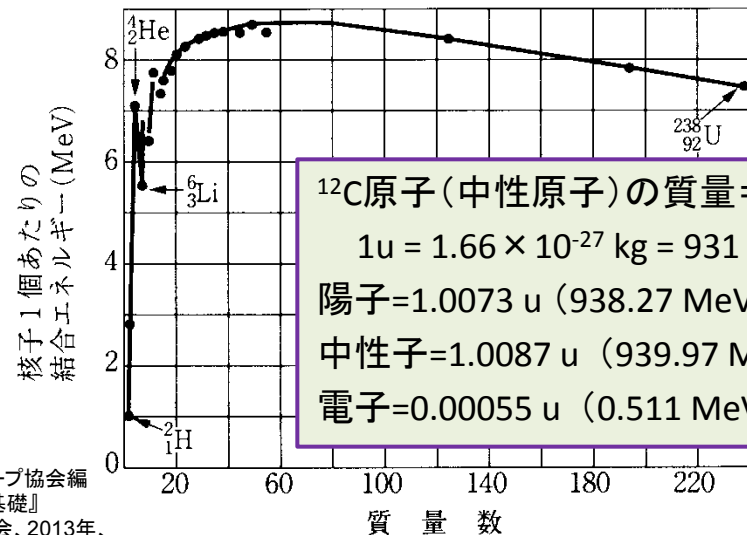
放射性壊変と放射線の種類



* 出典: 文部科学省
『放射線等に関する副読本』



* 出典: 日本保健物理学会・
日本アイソトープ協会編
『新・放射線の人体への影響
(改訂版)』日本アイソトープ
協会、2001年、p.7



${}^{12}\text{C}$ 原子(中性原子)の質量 = 12u
 $1\text{u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931 \text{ MeV}$
 陽子 = 1.0073 u (938.27 MeV)
 中性子 = 1.0087 u (939.97 MeV)
 電子 = 0.00055 u (0.511 MeV)

* 出典: 日本アイソトープ協会編
『6版 密封線源の基礎』
日本アイソトープ協会、2013年、
p.7 図1.3

放射線の利用



* 水分を保つ覆当て材

流速・流量の調査

非破壊検査



* 仏像を壊さずに内部を調査

溶接検査

厚みの測定

ゲージング

新薬開発

化合物構造の研究

アイソトープ電池



* コーヤーやスイカに卵を産み付けてしほうウリミバエ

放射線の利用

がんの治療

エックス線CT

エックス線検査

発芽防止

品種改良

組成等の調整

強化プラスチック



* 強度を高めた自動車のタイヤ



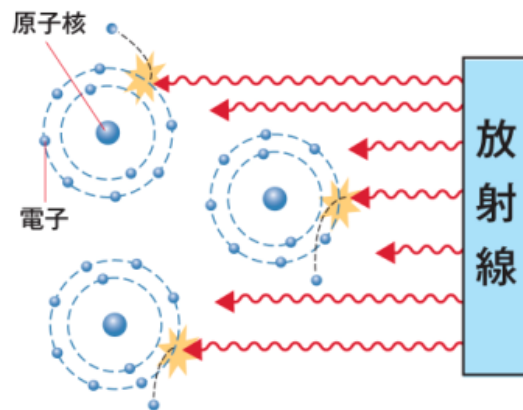
* ジャガイモへの放射線照射



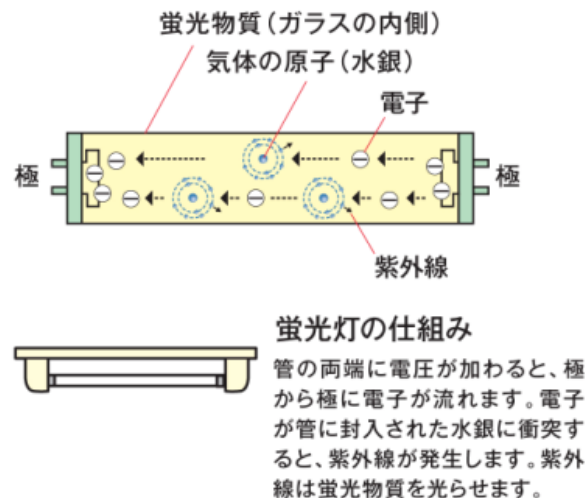
* 医薬品の滅菌

放射線の性質 (物質との相互作用)

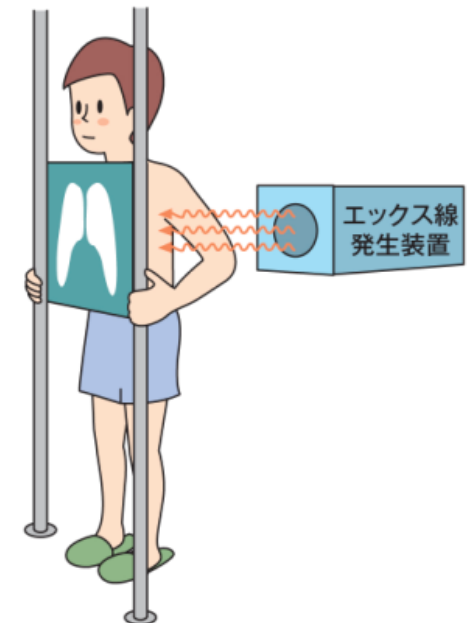
電離作用



蛍光作用

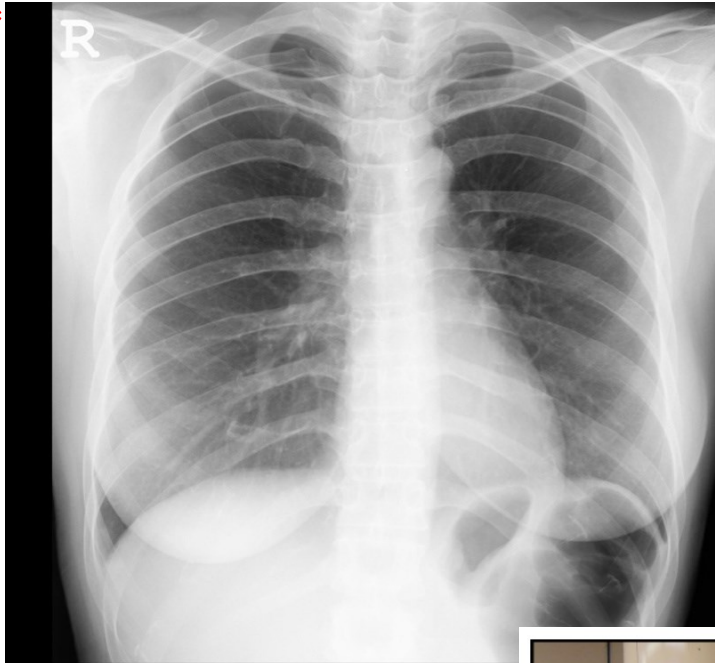


透過作用



【医療分野】検査、治療

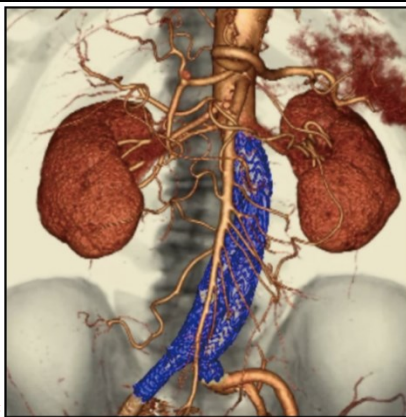
胸部レントゲン撮影、ガンマナイフ



らでい <http://www.radi-edu.jp/>



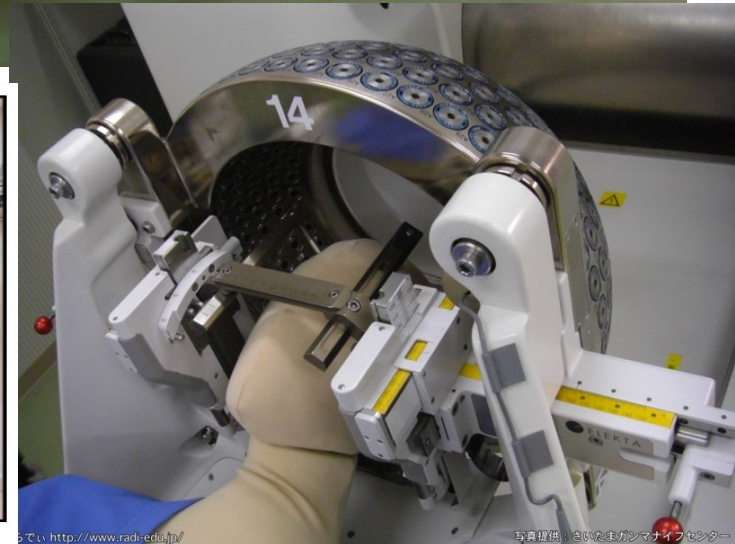
らでい <http://www.radi-edu.jp/>



人の腎臓周辺の立体画像



重粒子線がん治療照射室



らでい <http://www.radi-edu.jp/>

放射線教育サイト「らでい」

【工業分野】品質検査 厚さ計



らでい <http://www.radi-edu.jp/>

写真提供：王子ネピア名古屋工場

* 出典：放射線教育サイト「らでい」



*
出典：
文部科学省
『放射線等
に関する副
読本』

厚さ計

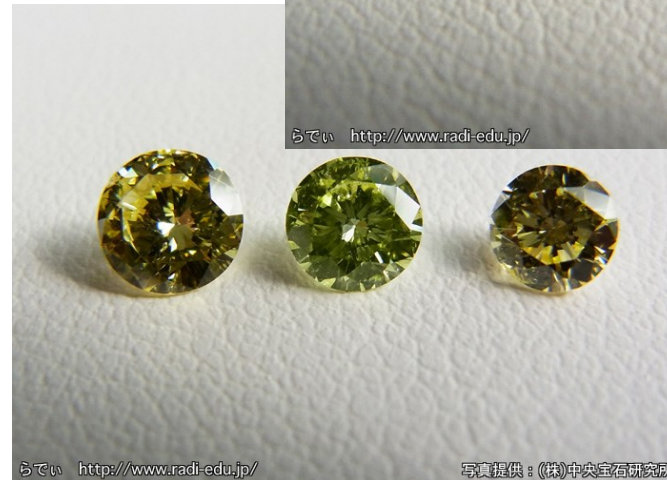


らでい <http://www.radi-edu.jp/>

写真提供：王子ネピア名古屋工場

* 出典：放射線教育サイト「らでい」

【工業分野】材質強化、着色 テニス用ガット、カラーダイヤモンド



【工業分野】滅菌



【農業分野】品種改良

菊(花色変異)、梨(対黒斑病)

出典(左上の画像): 文部科学省
『放射線等に関する副読本』
出典(その他の画像): 放射線
教育サイト「らでい」



*



農業生物資源研究所 放射線育種場

*



写真提供: 農業生物資源研究所 放射線育種場

*



らでい <http://www.radi-edu.jp/>

写真提供: 農業生物資源研究所 放射線育種場

*



<http://www.radi-edu.jp/>

写真提供: 農業生物資源研究所 放射線育種場

*

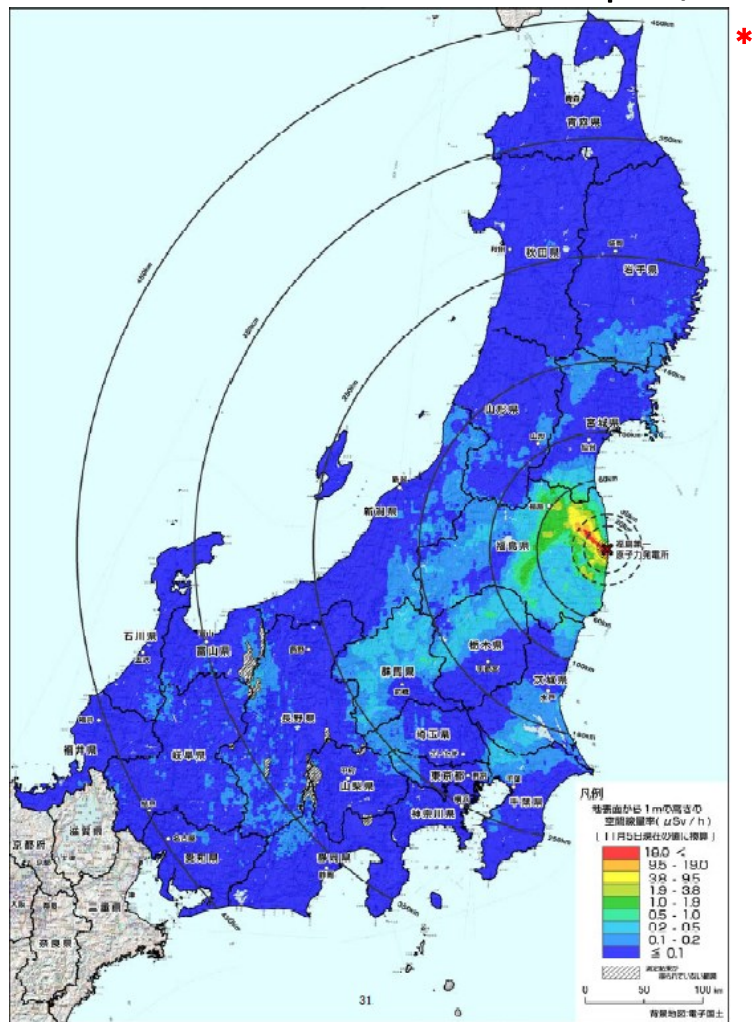


*

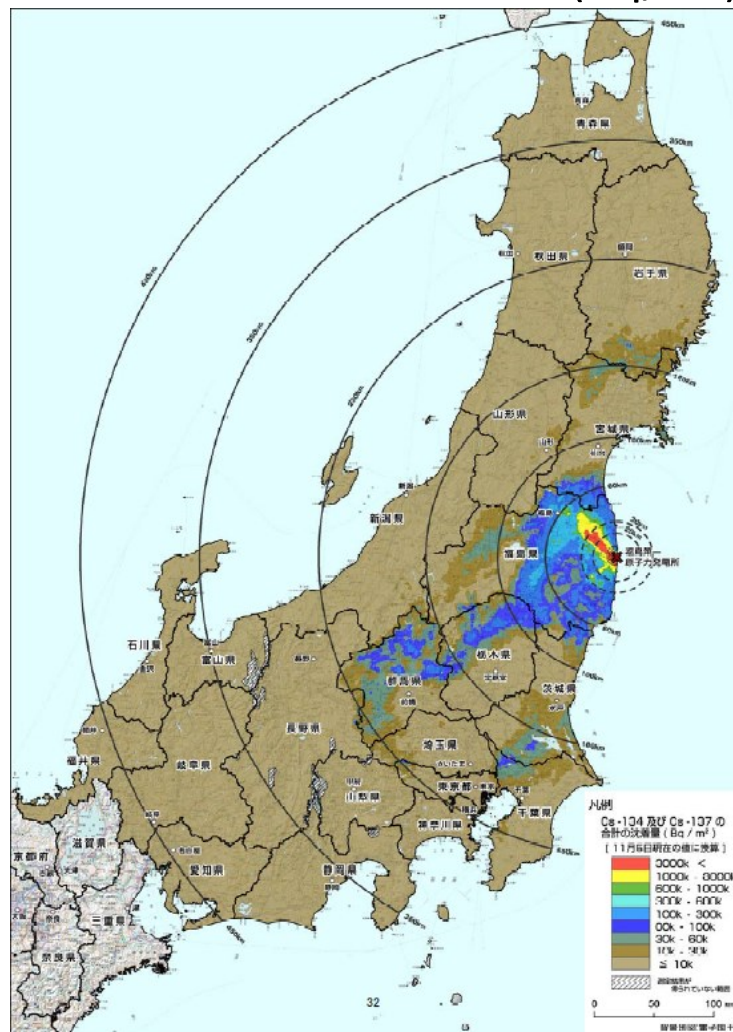
事故後の新たな環境放射能との闘い

— 航空機モニタリングの測定結果 (平成23年12月16日発表) —

高さ1mでの空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)



$^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ の土壌沈着量 (Bq/m^2)



* 出典:「文部科学省による第4次航空機モニタリングの測定結果について(平成23年12月16日)」原子力規制委員会ウェブサイト、(左図)p.31 参考1、(右図)p.32 参考2

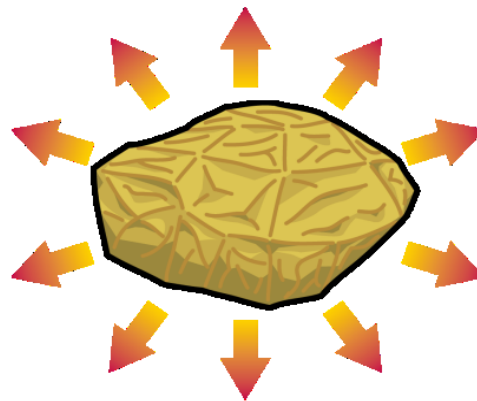
放射線に関する重要な単位

ベクレル(Bq)

放射性物質が放射線を出す能力を表す単位

1ベクレルとは、1秒間に一つの原子核が壊変(崩壊)^{*}することを表します。例えば、370ベクレルの放射性カリウムは、毎秒370個の原子核が壊変して放射線を出しカルシウムに変わります。

※壊変(崩壊)とは
原子核が放射線
を出して別の原
子核に変わる現
象のことです。



放射性物質



グレイ(Gy)

放射線のエネルギーが
物質や人体の組織に吸収された量を表す単位

放射線が物質や人体に当たるともっているエネルギーを物質に与えます。1グレイとは、1キログラムの物質が放射線により1ジュール^{*}のエネルギーを受けることを表します。

※ジュール:エネルギーの大きさを表す単位

シーベルト(Sv)

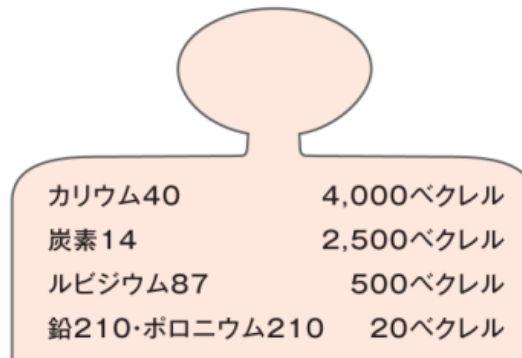
人体が受けた放射線による
影響の度合いを表す単位

放射線を安全に管理するための指標として用いられます。

体内・食物中の放射能

●体内の放射性物質の量

(体重60kgの日本人の場合)



●食物中のカリウム40の放射性物質の量(日本)

(単位:ベクレル/kg)



【放射線の飛跡を視覚化】

霧箱のつくりかた



でじょん
手順にそって、
霧箱をつくって
みましょう！

実験をはじめる前に・・・

- ①大人といっしょに実験しましょう。
- ②プラスチックのいれものは強くたたくたり、落とすと割れるので注意しましょう。
- ③ドライアイスは直接さわると危険です。
- ④エタノールは、火の近くで使わないでください。

1

スポンジテープを貼る

- 黒い紙を底にいます
- プラスチックのいれものの内側に、スポンジテープを貼りつけます

ふたが、きちんとしめるように！

2

エタノールをしみこませる

- スポンジテープに、スポイトに入れたエタノールをたっぷりとしみこませます

3

ふたをしめて、横から照らす

- 放射線がでるものを黒い紙の上におき、ふたをしめます
- プラスチックのいれものを、ドライアイスにのせます
- かいちょう電灯で、横から照らします

ドライアイスはさわらないこと！

4

観察する

- 3分くらい待つと、飛行機雲のような白い線がみえるはず・・・



霧箱で放射線を見てみよう！

残念ながら放射線自体は目で見えることはできません。しかし、「霧箱」という道具を使うと、放射線の通った後にできる霧の筋（飛跡）を観察することができます。これはちょうど、飛行機が通った後にできる飛行機雲のようなものです。

霧はなぜできるのでしょうか？

霧は空気中の水蒸気が寄り集まって、小さな水滴になったものです。このとき空気中の塵（ちり）などが、寄り集まるときの中心（核）となります。空気中の水蒸気が急に冷やされ、限界以上に水蒸気を含んでいる不安定な状態（過飽和）であると、霧はできやすくなります。

飛行機雲の原理

よく間違われるのですが、飛行機雲は飛行機から出る排気ガスではありません。その中身は他の雲と同様に水蒸気の霧なのです。飛行機が飛ぶ高度1万メートルの気温は、地上から100メートル高くなるごとに0.6℃ずつ下がっていきますので、マイナス40℃くらいになります。

水蒸気がマイナス40℃で急激に冷やされ、過飽和となっているところに飛行機が通り、その飛行機の排気ガスから出る塵などが核となることで、霧ができて飛行機雲が発生します。ですから、空気中が水蒸気でいっぱいになっていないと、飛行機雲はできません。

霧箱って、飛行機雲ができる原理と同じなんだ・・・。ビックリ！！



ドライアイスは、マイナス 79℃とすごく冷たいのよ。



霧箱の中では・・・

霧箱の中では、過飽和な状態をつくりやすくなるために、水蒸気の代わりとしてアルコールの蒸気を利用します。また気温とドライアイスとの急激な温度差も重要で、モナス石[※]から出る放射線（α線）は、容器中のいろいろな分子とぶつかってイオン（電離作用）をつくり、そのイオンが核となって霧の筋をつくりまします。私たちは、この飛行機雲のような霧の筋を放射線の「飛跡（ひせき）」と呼んでいます。

※モナス石

モナス石は天然の鉱石です。日本では岐阜県中津川市、福島県石川郡などで採ることができます。モナス石に含まれているトリウム、ウランには放射線を出す能力があります。



ノーベル賞を受賞

イギリスの物理学者
チャールズ・ウィルソン
（1869～1959）は
イギリスで最も高い山、ベン・ネビス（1,344m）にある気象

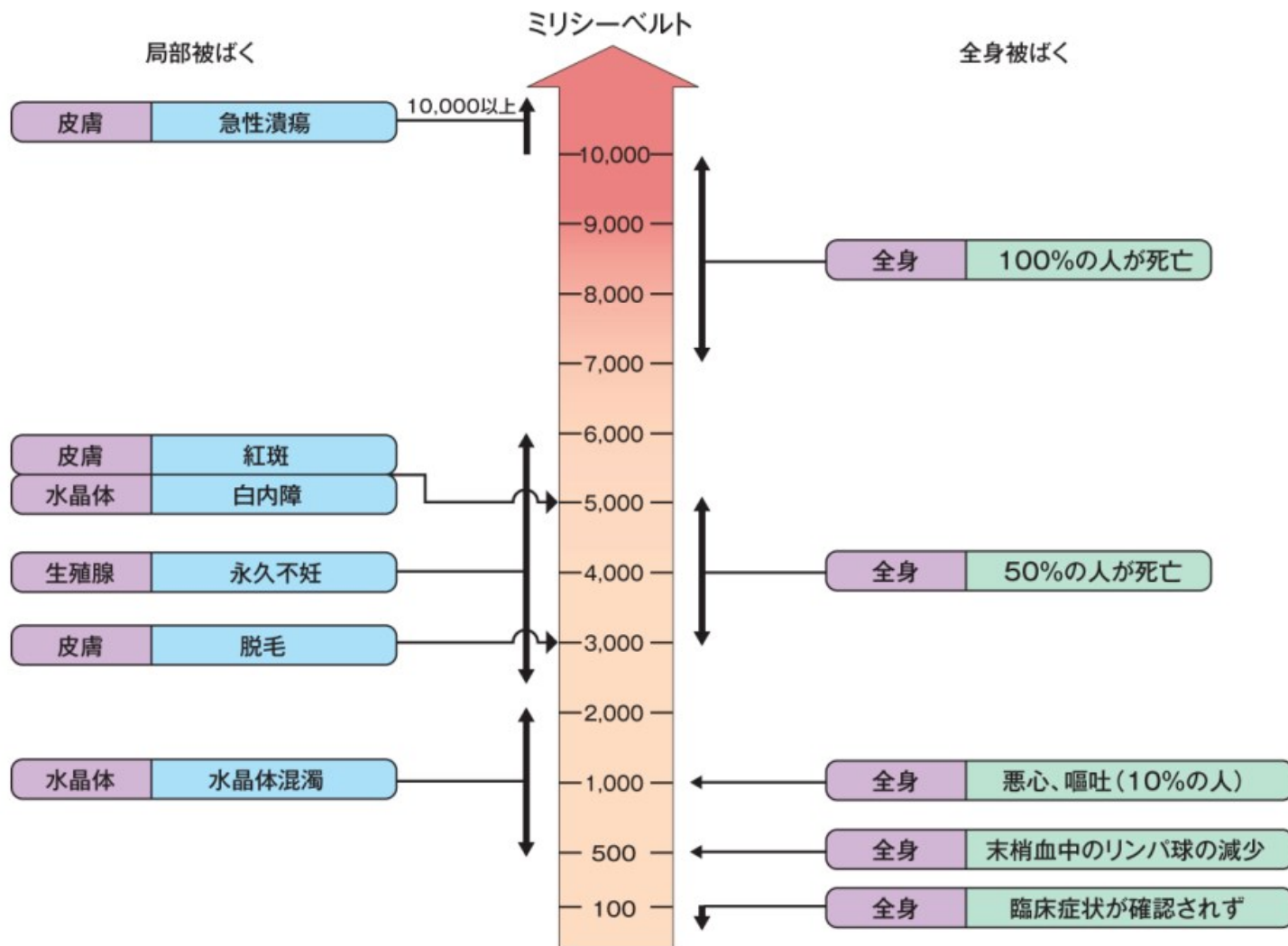
観測所で観察した雲や霧に感動したことをきっかけに、霧についての研究をはじめました。その後、ウィルソンは空気を減圧（断熱膨張）することによって、霧が発生するしくみ「霧箱」を発明することに成功しました。

放射線は直接見ることができませんが、霧箱を利用することで見えないものが飛跡として見えるようになったのです。

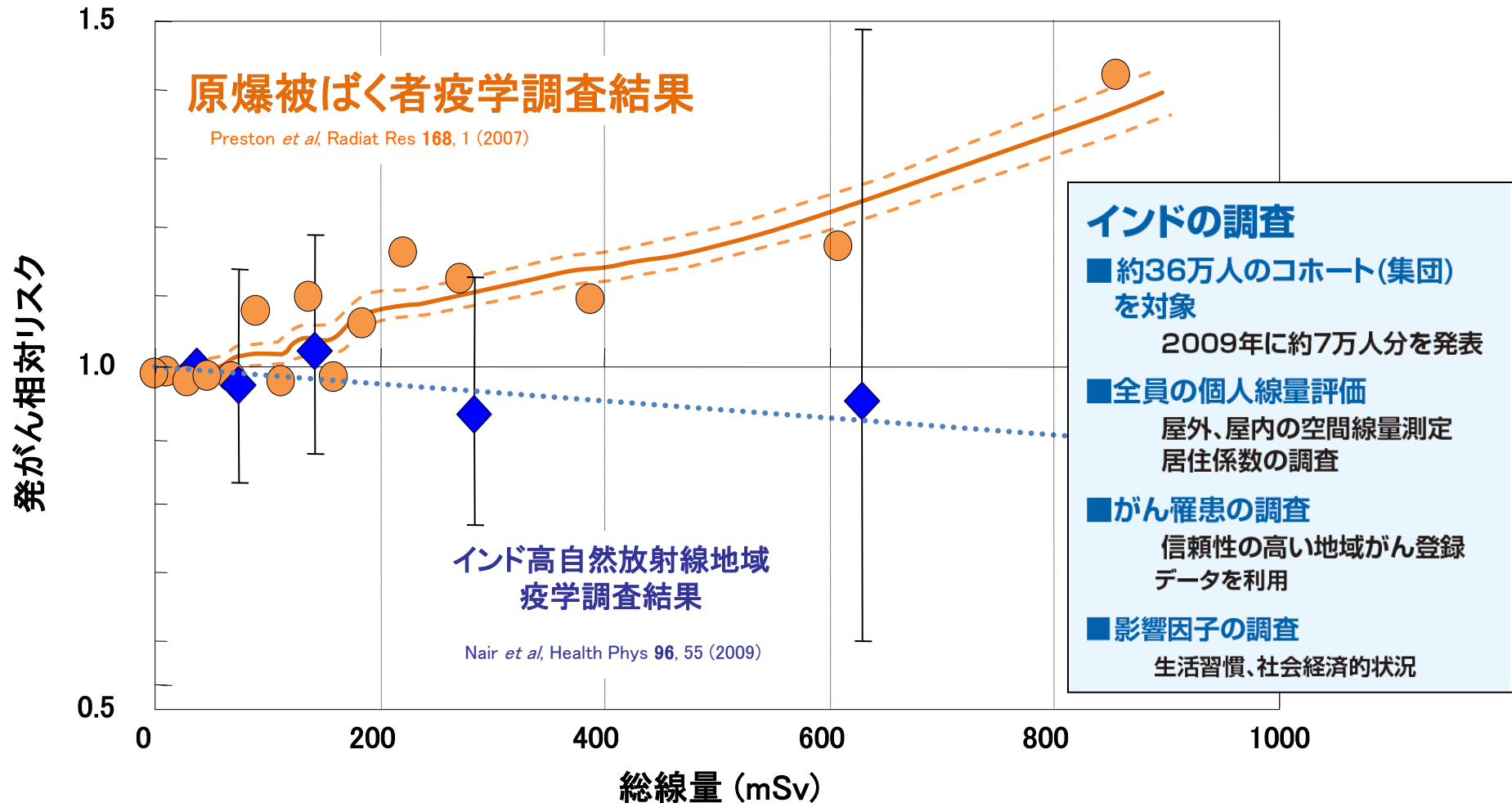
このため霧箱は、放射線や核物理学などの研究者にとって非常に重要なものとなり、この功績によってウィルソンは、1927年にノーベル物理学賞を受賞しました。

放射線を一度に受けたときの症状

凡例 部位 症状

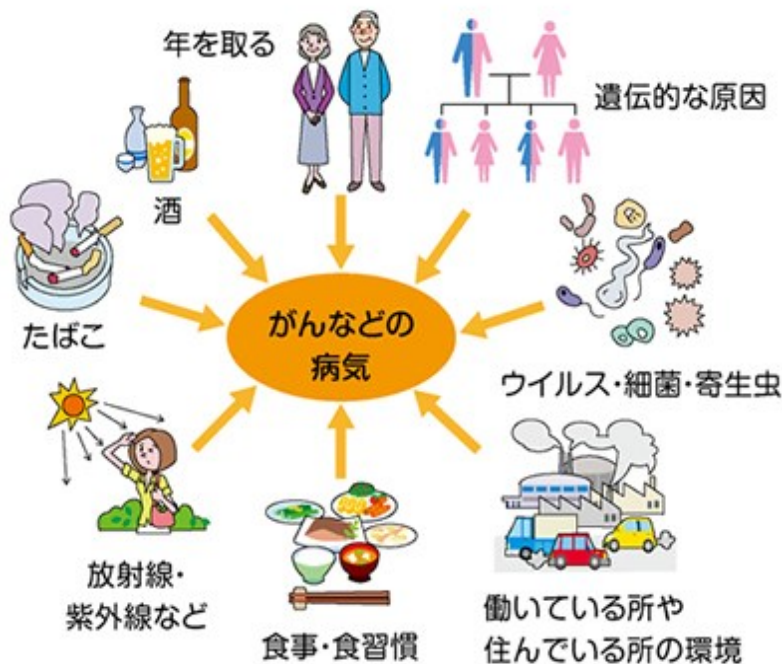


短期間1回被ばくと長期間にわたる被ばく影響の比較 原爆被ばく者/高自然放射線地域住民



生活習慣とがんのリスク

◆がんなどの病気を起こす色々な原因



出典:(社)日本アイントープ協会

「改訂版 放射線のABC」(2011年)などより作成

参考〈放射線と生活習慣によってがんになる相対リスク〉

下の表は、国立がん研究センターが発表した調査結果である。がんになるリスクの数値は、喫煙なら、非喫煙者など基準となるグループと比べ、何倍がんになるリスクが高くなるか(相対リスク)を示している。

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	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	1.06倍

- 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。
- その他は、国立がん研究センターの分析したデータである。

※対象:40～69歳の日本人

運動不足:身体活動の量が非常に少ない

野菜不足:野菜摂取量が非常に少ない

出典:(独)国立がん研究センター調べ

* 出典:文部科学省
『放射線等に関する副読本』

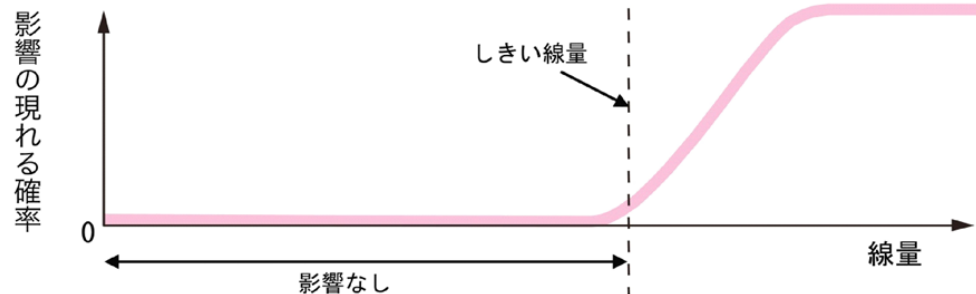
* 出典:文部科学省
『放射線等に関する副読本』

放射線防護のための影響の整理

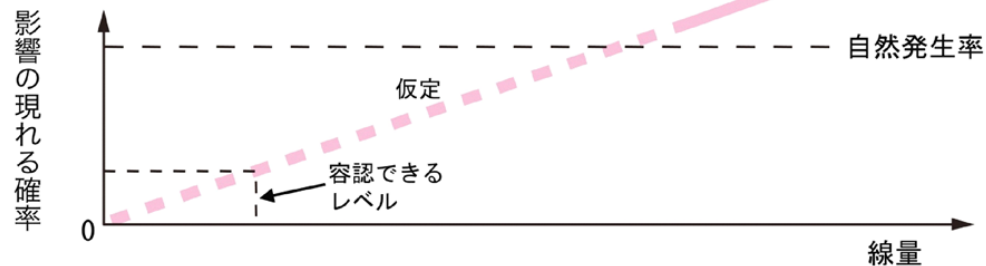
確定的影響は、しきい線量以下に抑えることで影響をなくす。

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）〕



* 出典：原子力・エネルギー
図面集2011

放射線安全のための基盤

【安全に関する国際機関／組織の役割】

- 国連科学委員会(UNSCEAR)＝現状の整理
 - 国際放射線防護委員会(ICRP)＝理念の整理
 - 国際原子力機関(IAEA)＝国際ルールの整備
- ※ 他にも、ICRU、WHO、OECD/NEA等

United Nations Scientific
Committee on the
Effects of Atomic
Radiation,
*Sources and Effects of
Ionizing Radiation:
UNSCEAR 2008 Report,*
Vol.1: Sources, New York:
United Nations Publication,
2010

ICRP, 2007
*Recommendations of the
International Commission
on Radiological,*
ICRP Publication 103,
Annals of ICRP, vol.37
(no.2-4), 2007

IAEA, *International Basic Safety Standards for
Protection against Ionizing Radiation and for the
Safety of Radiation Sources,*
Safety Series No.115, Vienna: IAEA, 1996

放射線安全のための基盤

【放射線防護の目的】

ICRP2007年勧告 (28)～(30) 目的

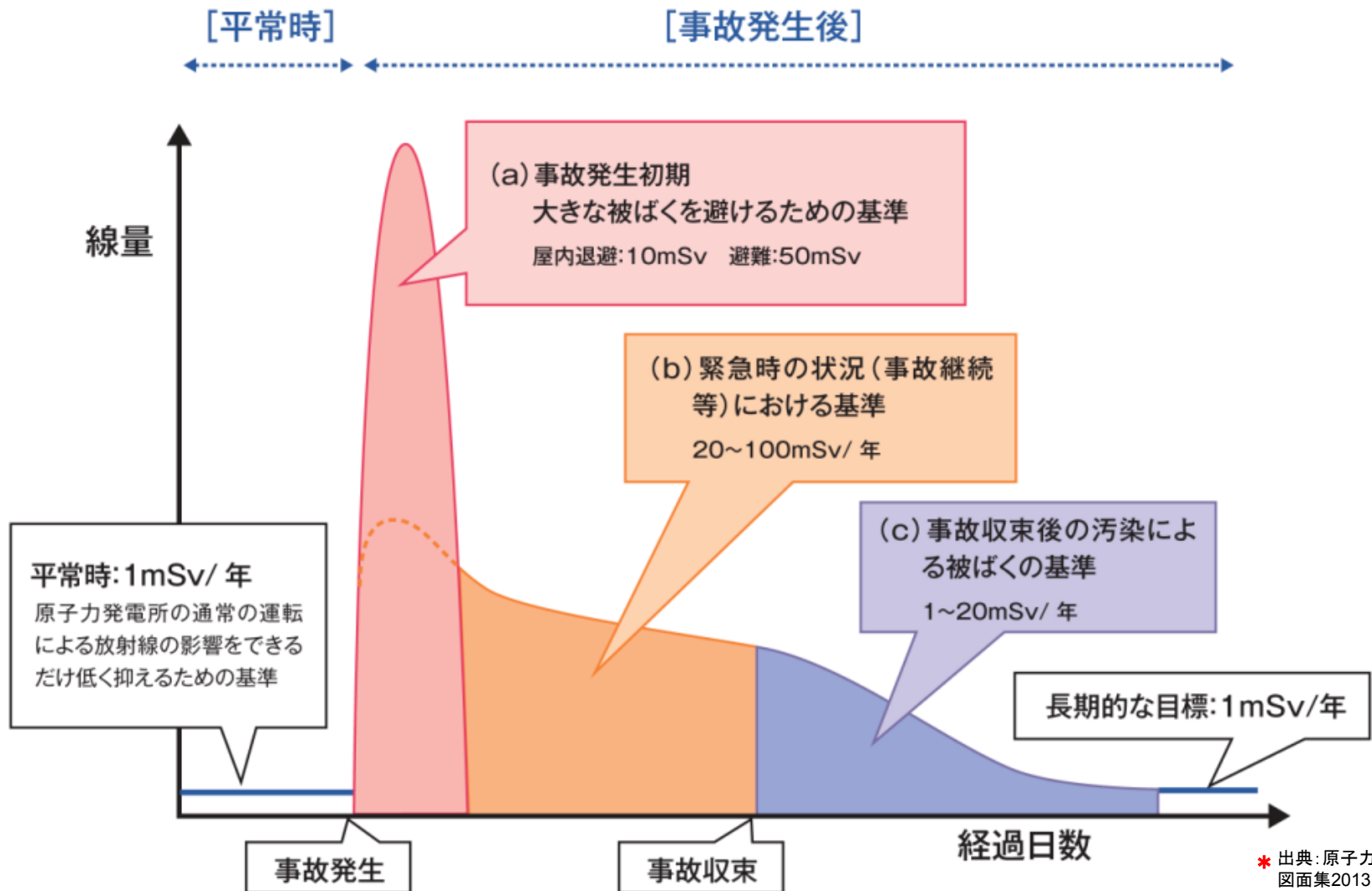
1) 人の健康を防護すること

- 確定的影響(有害な組織反応)を防止
- 確率的影響(がんまたは遺伝的影響)のリスクを合理的に達成できる程度に減少させること

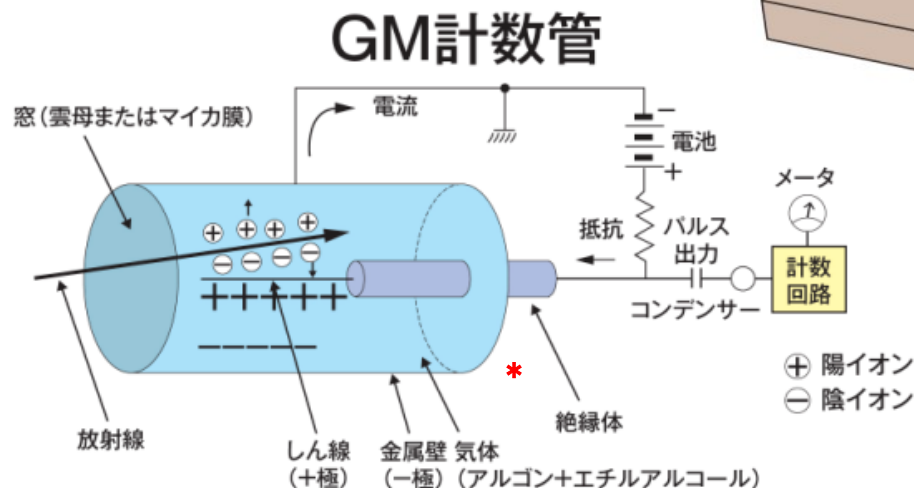
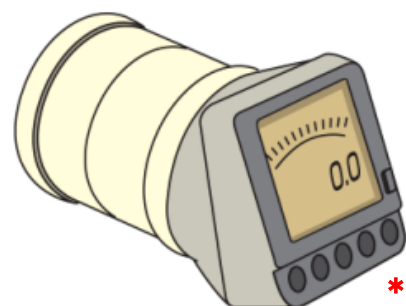
2) 環境を防護すること

- 生物多様性の維持、種の保全、または自然の生息環境、群集及び生態系の健康と状況についてインパクトが無視できるレベルになるように、有害な放射線影響の発生を防止、又は頻度を低減すること

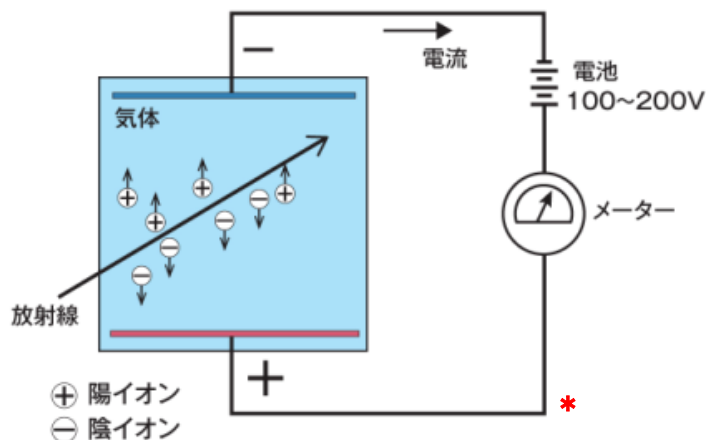
放射線防護を目的とした 基準値(限度や目標値)の考え方



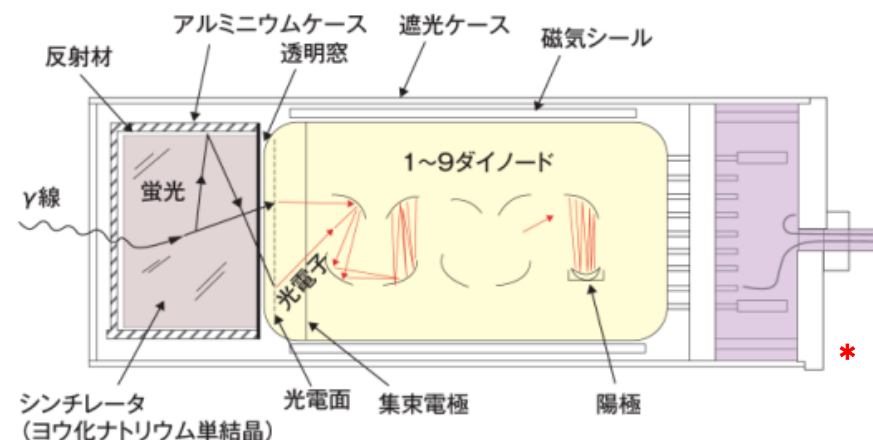
放射線計測器の原理



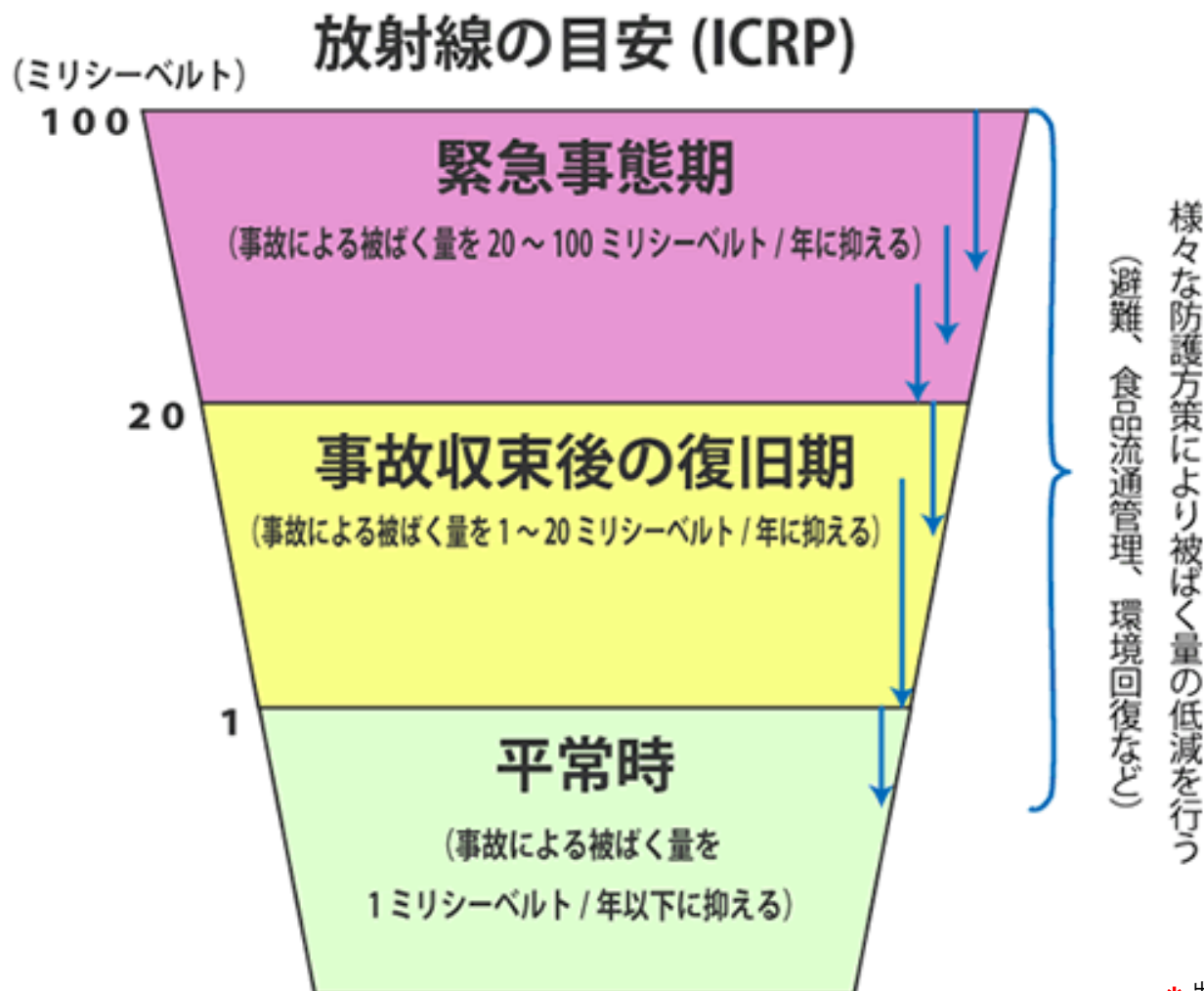
電離箱



シンチレーション検出器



放射線防護を目的とした 基準値(限度や目標値)の考え方



「放射線のリスクと防護の科学」 ま と め

- ▶ 我々と放射線のかかわり
- ▶ 放射線の正体
- ▶ 放射線リスクの理解
- ▶ 放射線防護の科学



* 出典: Microsoft クリップアート

- ◆ 環境の放射線との付き合いはいままでも、これからも
- ◆ 人工の放射線をさまざまな分野で利用してきた歴史といまも利用している現状
- ◆ 一方、関連の影響研究やリスク研究も日々進んでいる
- ◆ 放射線とどのように付き合うか、どのように使っていくか、使わないかはさまざまな視点からの総合的な「判断」「価値観」の問題へ
- ◆ 単位と数値(レベル)の理解。リスクの相場観を身につけて
- ◆ 基礎的な知識を基盤に、系統的で安定的な情報を上手に入手することの大切さ

引用/参考情報

- 放射線医学総合研究所 <http://www.nirs.go.jp/>
- 文部科学省 放射線副読本
http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1313004.htm
「知っておきたい放射線のこと」「知ることから始めよう 放射線のいろいろ」
「放射線について考えてみよう」
- 「アイソトープ手帳」 日本アイソトープ協会
- 「放射線取扱の基礎」 日本アイソトープ協会
- 「放射線概論」 通商産業研究社
- 放射線教育サイト「らでい」<http://www.radi-edu.jp/>
- 放射線利用振興協会 <http://www.rada.or.jp/dbtop/index.html>
- 「原子力・エネルギー図面集2013」 日本原子力文化振興財団

霧箱実験協力

東京大学環境安全本部

(公財)日本科学技術振興財団

林瑠美子助教

掛布智久氏