



鳥居 寛之
小豆川勝見
渡辺雄一郎
著
中川 恵一
執筆協力

科学的に
理解する

基礎からわかる東大教養の講義

丸善出版

「放射線を科学的に理解する

— 基礎からわかる東大教養の講義 —

鳥居寛之・小豆川勝見・渡辺雄一郎 著

中川恵一 執筆協力

丸善出版

本体 2500円+税

- 1章 放射線とは? 《放射線入門》
 - 2章 放射線の性質 《放射線物理学 I》
 - 3章 原子力発電で生み出される放射性物質
《原子核物理学・原子力工学》
 - 4章 放射線量の評価 《放射線物理学 II》
 - 5章 放射線の測り方 《放射線計測学》
 - 6章 環境中での放射性物質 《環境放射化学》
 - 7章 放射線の細胞への影響 《放射線生物学》
 - 8章 放射線の人体への影響 《放射線医学》
 - 9章 放射性物質と農業 《植物栄養学・土壤肥料学》
 - 10章 放射線の防護と安全 《放射線防護学》
 - 11章 役に立つ放射線 《放射線の利用・加速器科学》
- Q&A

放射線を理解するには、物理学・化学・生物学・医学・工学など多くの分野の知識が必要です。しかしこれらすべてを網羅することは難しく、系統立てて学べる機会は非常に少ないのが実情です。

本書は東京大学教養学部で行われた講義をもとに、放射線について多角的に学べるよう配慮しています。日常生活や原発事故にかかわる具体的な例を引きながらやさしくていねいに解説しましたので高校生や一般の方にも広く読んでいただきたいと願っています。

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/radiolect-kn.html>

2013年度冬学期 主題科目テーマ講義

放射線

を

科学的に

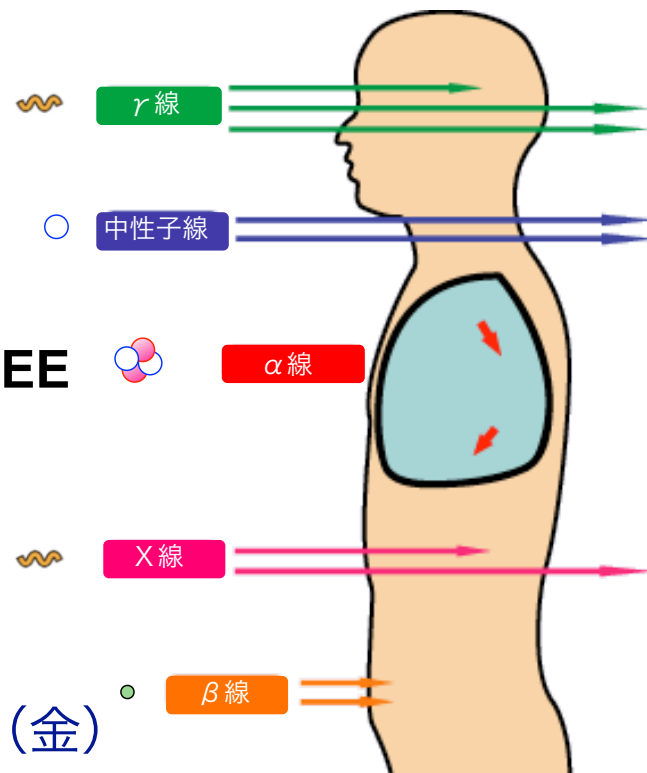
理解する

金曜5限

@ 21 KOMCEE

K303教室

2013 / 12 / 20 (金)



第10回

放射線防護学

放射線防護の考え方と実社会への適用

飯本 武志

東京大学 環境安全本部

放射線を科学的に理解する

- 10/11 放射線入門 【鳥居】
- 10/18 放射線物理学 【鳥居】
- 10/25 放射線計測学 【小豆川】
- 11/ 1 放射線物理・化学 【鳥居】
- 11/ 8 放射線生物学 【渡邊】
- 11/15 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 11/29 原子核物理学・原子力工学 【鳥居】
- 12/ 6 環境放射化学 【小豆川】
- 12/13 環境放射化学 【小豆川】
- 12/20 放射線防護学 【飯本】
- 1/10 植物栄養・肥料学 【藤原】
- 1/24 放射線の利用 【渡邊】
- 1/27 加速器科学・まとめ 【鳥居】

鳥居 寛之

小豆川 勝見

渡邊 雄一郎

《教養学部》

坪倉 正治 《医科学研究所》

飯本 武志 《環境安全本部》

藤原 徹 《農学部応用生命化学》

ゲスト講師

【放射線を科学的に理解する】

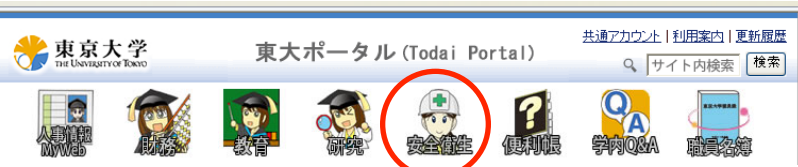
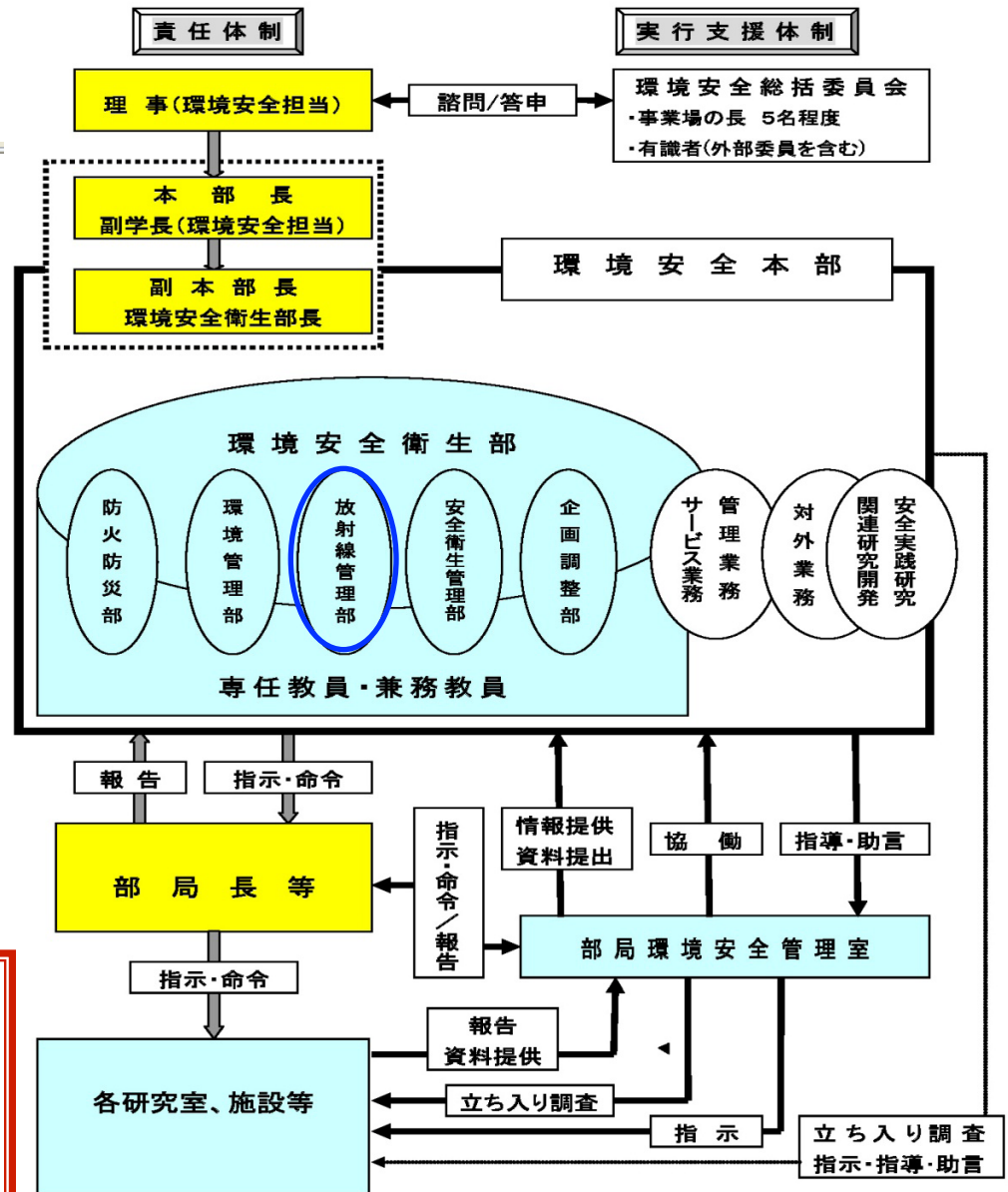
放射線防護学

～その歴史と現在の論点～

環境安全本部 飯本武志

東京大学の環境安全組織体制

環境安全本部



- 本学環境・安全対応の“コア”組織
- 環境安全衛生部に“5つの部”(+全学部局連携)
 - 「企画調整部」
 - 「環境管理部(化学物質等)」
 - 「放射線管理部」
 - 「安全衛生管理部」
 - 「防火・防災部」



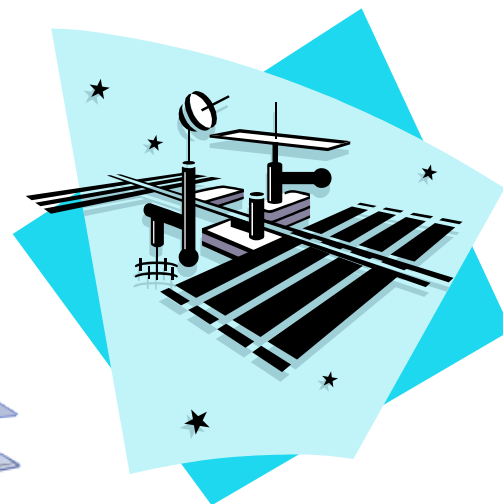
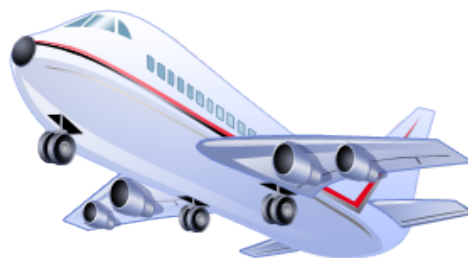
放射線防護学

～その歴史と現在の論点～

- 我々と放射線の関わり
- 放射線防護の考え方の変遷
- 放射線防護の目的
- 放射線防護体系の基盤
- 放射線防護のための基準値の意味
- 現在の代表的な論点の例

我々と放射線の関わり

～生活環境と放射線～

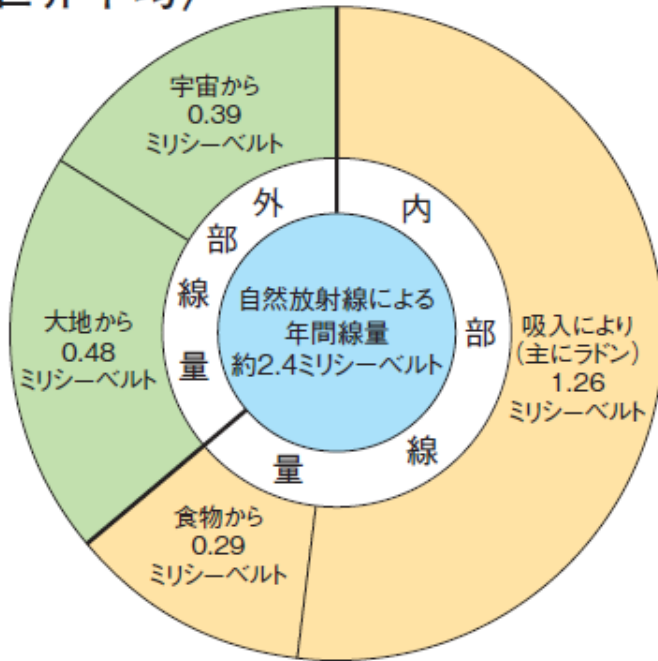


自然界から受ける放射線量

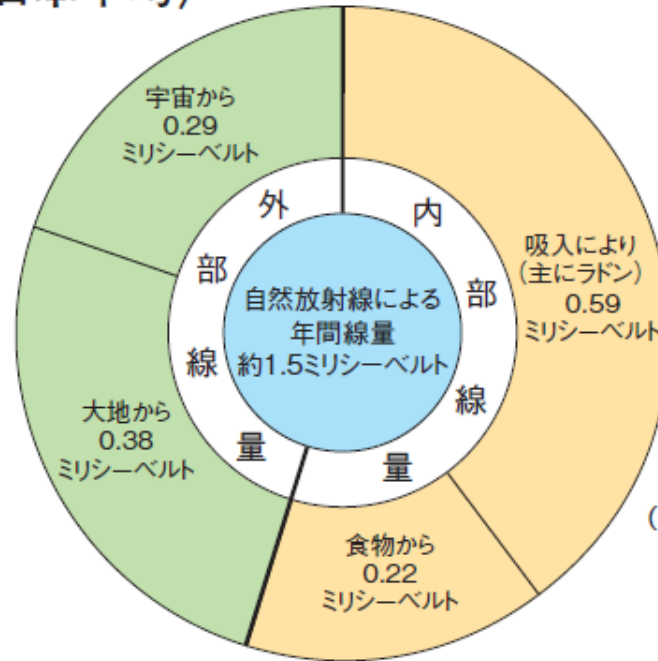
◆自然界から受ける放射線量

一人当たりの年間線量

〈世界平均〉



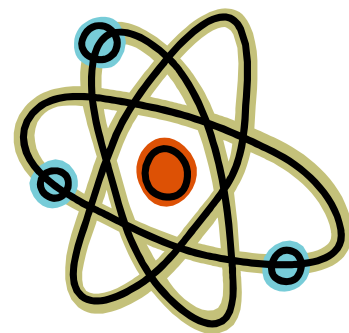
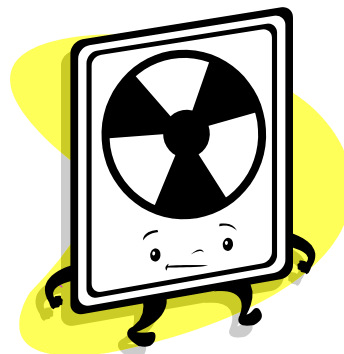
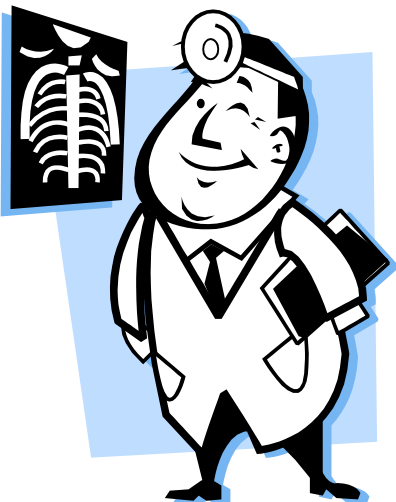
〈日本平均〉



(注) 2005年に日本分析センターから、自然界から受ける年間の放射線量2.2ミリシーベルトという数値が公表されています。

我々と放射線の関わり

～放射線や放射性物質の利用～



放射線障害の歴史

暦年	出来事	発見者または報告者
1895 (11/8)	X線の発見(論文発表12/28)	W.K.Roentgen
1896 (1月)	手のX線皮膚炎	Grubbe
(3/3)	眼の痛み	T.A.Edison
(4/10)	皮膚炎をともなわなない脱毛	J.Daniel
	X線火傷の報告	H.D.Hawks
(11/18)	X線火傷の起きることの実験による確認	E.Thomson
1901	X線による哺乳類(モルモット)の火傷をともなわなない死亡	W.H.Rollins
	実験動物における流産	Bar & Boule
1902	慢性X線潰瘍から皮膚ガンに悪化、転移	Frieben
1911	放射線科医におけるX線による白血病の誘発の報告	N.V.Jagie,et al.
1919	胎児X線照射からのヒトの奇形	E.Aschenheim
1923	ラジウム顎についての報告	T.Blum
1924	シュネーベルグ病(ラドンガスによる肺がんの報告)	P.Ludewig & E.Lorensen
1926	ダイアル・ペインターの白血球減少性貧血	G.S.Reitter,et al.
1927	X線照射(ショウジョウバエ)による遺伝的影響の発見	H.J.Muller
1929	ダイアル・ペインターの骨肉腫	H.S.Martland

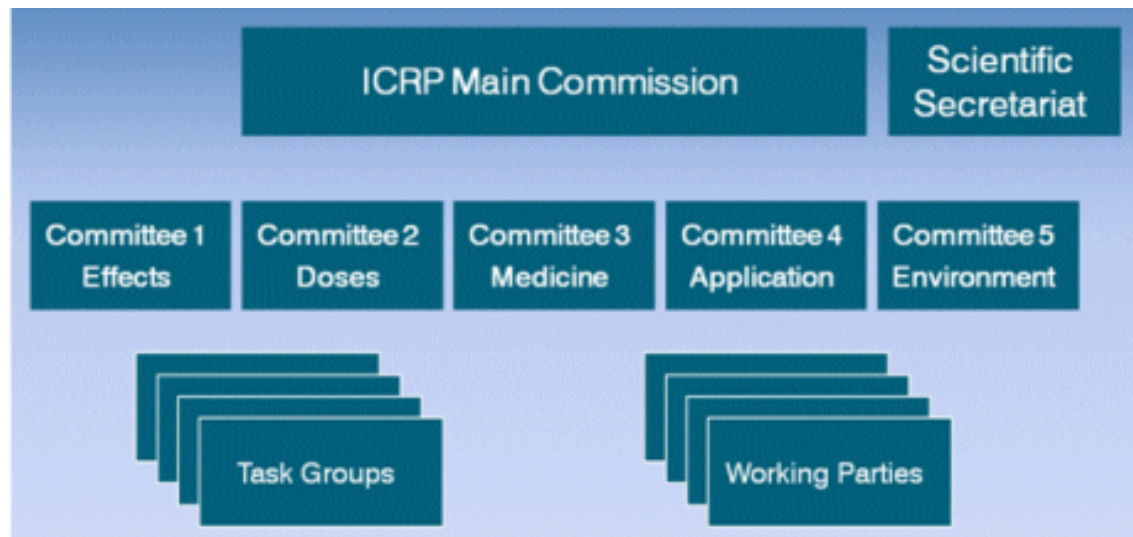
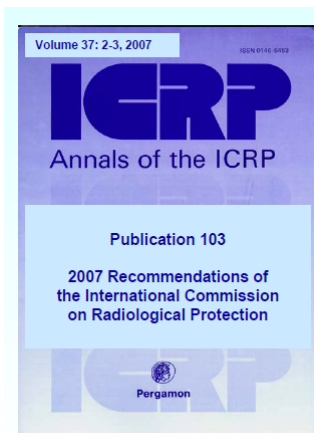
放射線防護の考え方の変遷

- 1895年 レントゲンがX線発見
- 1896年 X線被ばくによる急性皮膚炎の報告
 - その後数年で放射線による身体的影響の報告
- 1921年 英国でX線及びラジウム防護委員会設立
- 1928年 国際X線ラジウム防護委員会 (IXRPC) 設立
 - *International X-Ray and Radium Protection Committee
 - 線量の制限: 1000 mSv ← 紅斑発症の1/10

放射線防護の考え方の変遷

- 1950年 ICRPに名称変更
 - * International Commission on Radiological Protection
- 1951年 最大許容線量 (3mSv/週相当)
- 1957年 職業人: 50mSv/年相当 公衆: 5mSv/年相当
- 1958年 Publication 1
 - ALAP (As Low As Practicable)
 - ALARA (As Low As Reasonably Achievable, economic and social considerations being taken into account) (1973年)
- 1977年 Publication 23 放射線防護体系の基礎の確立
- 1986年 チェルノブイリ原発事故
- 1990年 Publication 60 現在の放射線防護体系の基盤
- 2007年 Publication 103 新しい放射線防護体系へ進化

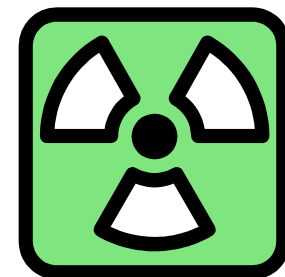
ICRPの組織委員会と役割



- 主委員会
- 第1委員会：放射線影響
- 第2委員会：放射線被ばくの線量
- 第3委員会：医療放射線
- 第4委員会：ICRP勧告の適用
- 第5委員会：環境の防護



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

放射線防護体系の基盤

■ 被ばくの**カテゴリー**

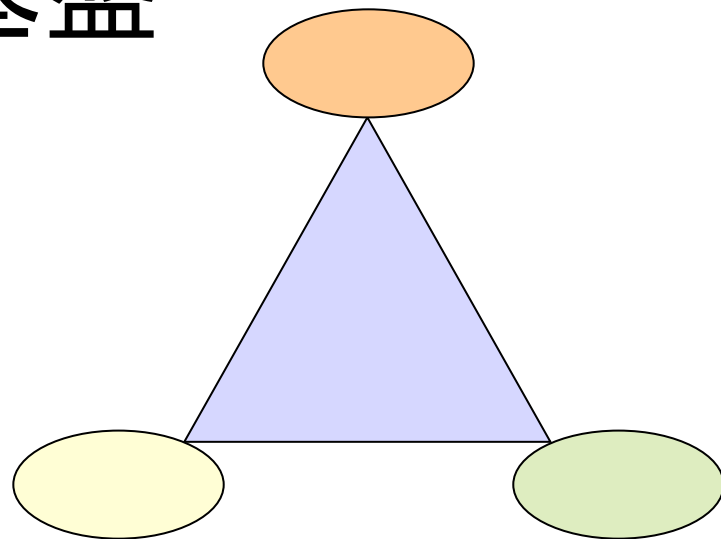
□ 公衆 職業人 患者

■ 被ばくの**状況**

□ 計画被ばく 緊急時被ばく 現存被ばく

■ 放射線防護の**三原則**

□ 正当化 最適化 線量限度



被ばくのカテゴリー

- **公衆**の被ばく
 - 職業人および患者以外の一般の人々の被ばく
- **職業人**の被ばく
 - 業務の過程で職業人として受ける被ばく
- **患者**の医療上の被ばく
 - 放射線診断や放射線治療の過程で患者として受ける被ばく
 - 放射線診断や治療を受けた患者の介助者（業務上関わる職業人を除く）の受ける被ばく
 - 新しい技術などの研究開発に伴い被検者の受ける被ばく



被ばくの状況

■ 計画被ばく状況

- 線源の意図的な導入と運用を伴う状況のことである。計画被ばく状況は、発生が予想される被ばく(通常被ばく)と発生が予想されない被ばく(潜在被ばく)の両方を生じさせることがある。

■ 緊急時被ばく状況

- 計画された状況を運用する間に、若しくは悪意ある行動から、あるいは他の予期しない状況から発生する可能性のある好ましくない結果を避けたり、減らしたりするために緊急の対策を必要とする状況のことである。

■ 現存被ばく状況

- 管理について決定をしなければならない時に既に存在する被ばくの状況のことである。緊急事態の後の長期被ばく状況はこれに含まれる。

放射線防護の三原則

■ 正当化の原則

- 放射線被ばくの状態を変化させるいかなる決定も、害より便益を大きくするべきである。

■ 防護の最適化の原則

- 被ばくする可能性、被ばくする人の数、及びその人たちの個人線量の大きさは、すべて、経済的及び社会的な要因を考慮して、合理的に達成できる限り低く保たれるべきである。

■ 線量限度の適用の原則

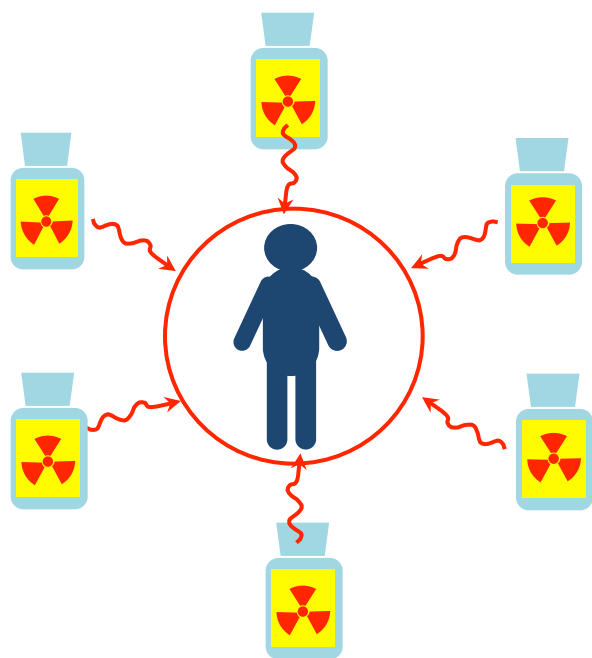
- 患者の医療被ばくを除く計画被ばく状況においては、規制された線源からいかなる個人への総線量も、委員会が勧告する適切な線量限度を超えるべきでない。

線量限度 vs 線量拘束値、参考レベル

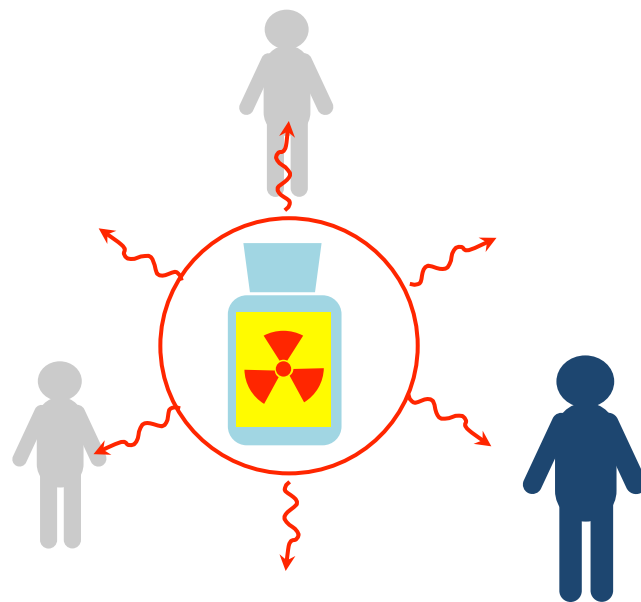
(計画被ばく)

(計画被ばく)

(緊急時被ばく/現存被ばく)



VS

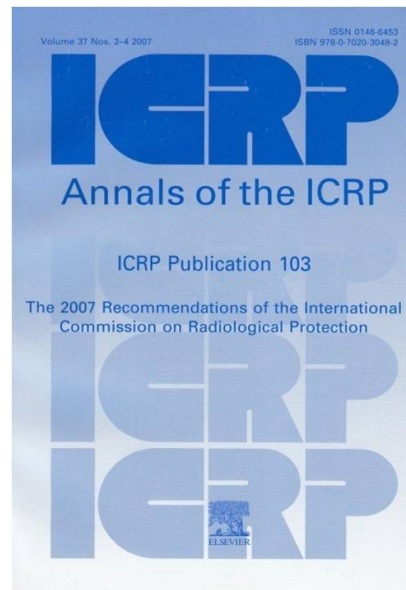
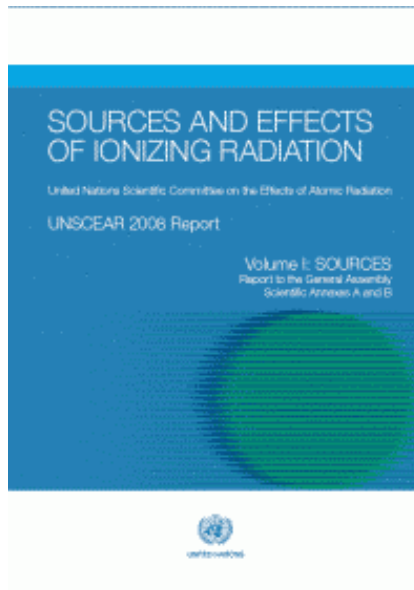


計画被ばく状況での
全ての線源からの被ばく
(個人関連の線量制限)

全ての被ばく状況での
単一线源からの被ばく
(線源関連の線量制限)

放射線防護体系の実務適用

- 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) = 国際基準とルールを整備
- ※ 他にも、ICRU、WHO、OECD/NEA等



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 1996

法令等で定められた線量限度

原子炉等規制法/放射線障害防止法等(計画被ばく)

◆ 公衆 年間1 ミリシーベルト相当

→ 施設設計目標値(線量拘束値)を用意
(例)軽水炉設計時=0.05 ミリシーベルト)



◆ 放射線業務従事者

◇年間 最大50ミリシーベルト

◇5年 100ミリシーベルト

◇妊娠可能女性;3ヶ月 5ミリシーベルト

◇緊急時作業;1回 100ミリシーベルト

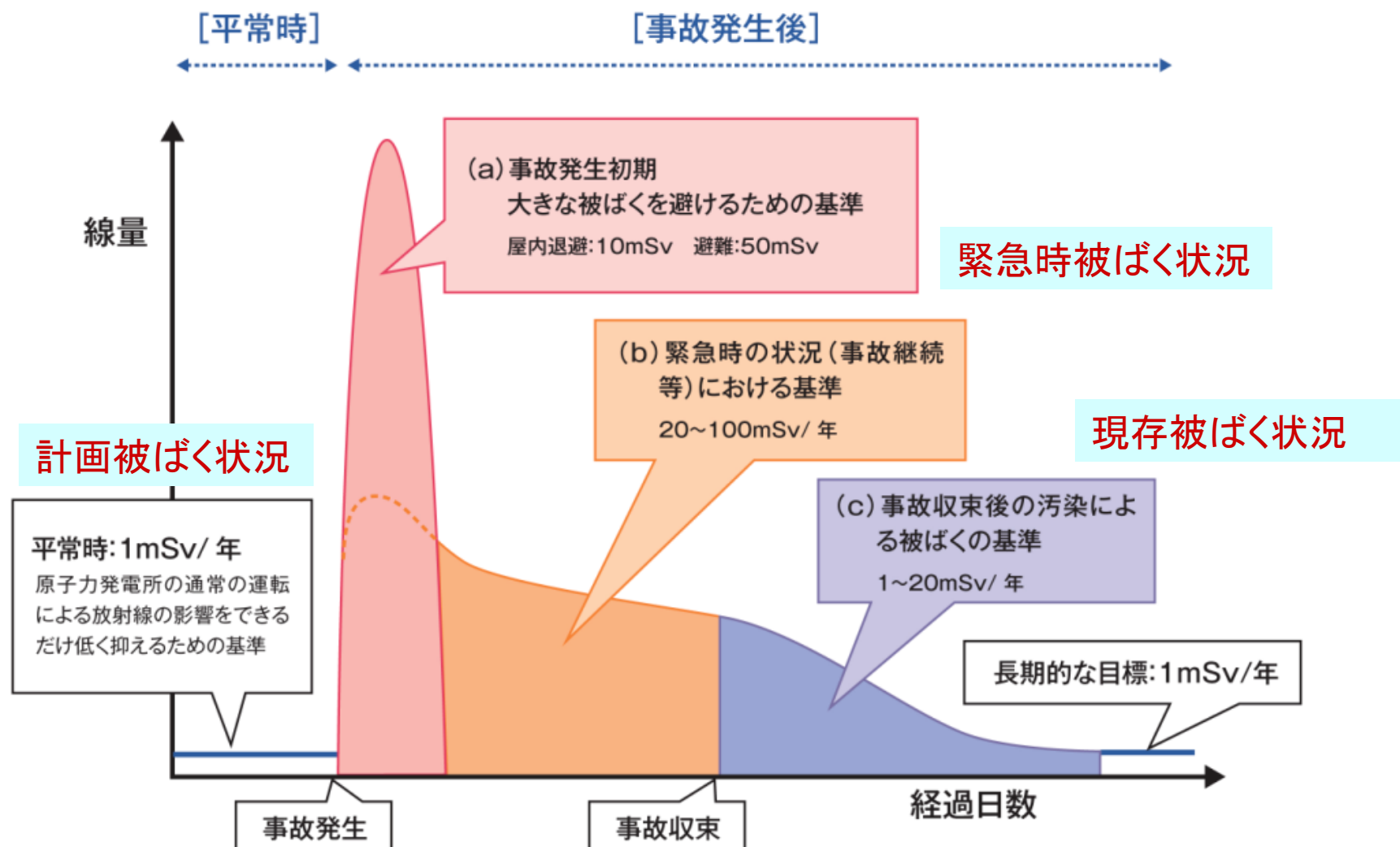


(※すべて自然放射線と

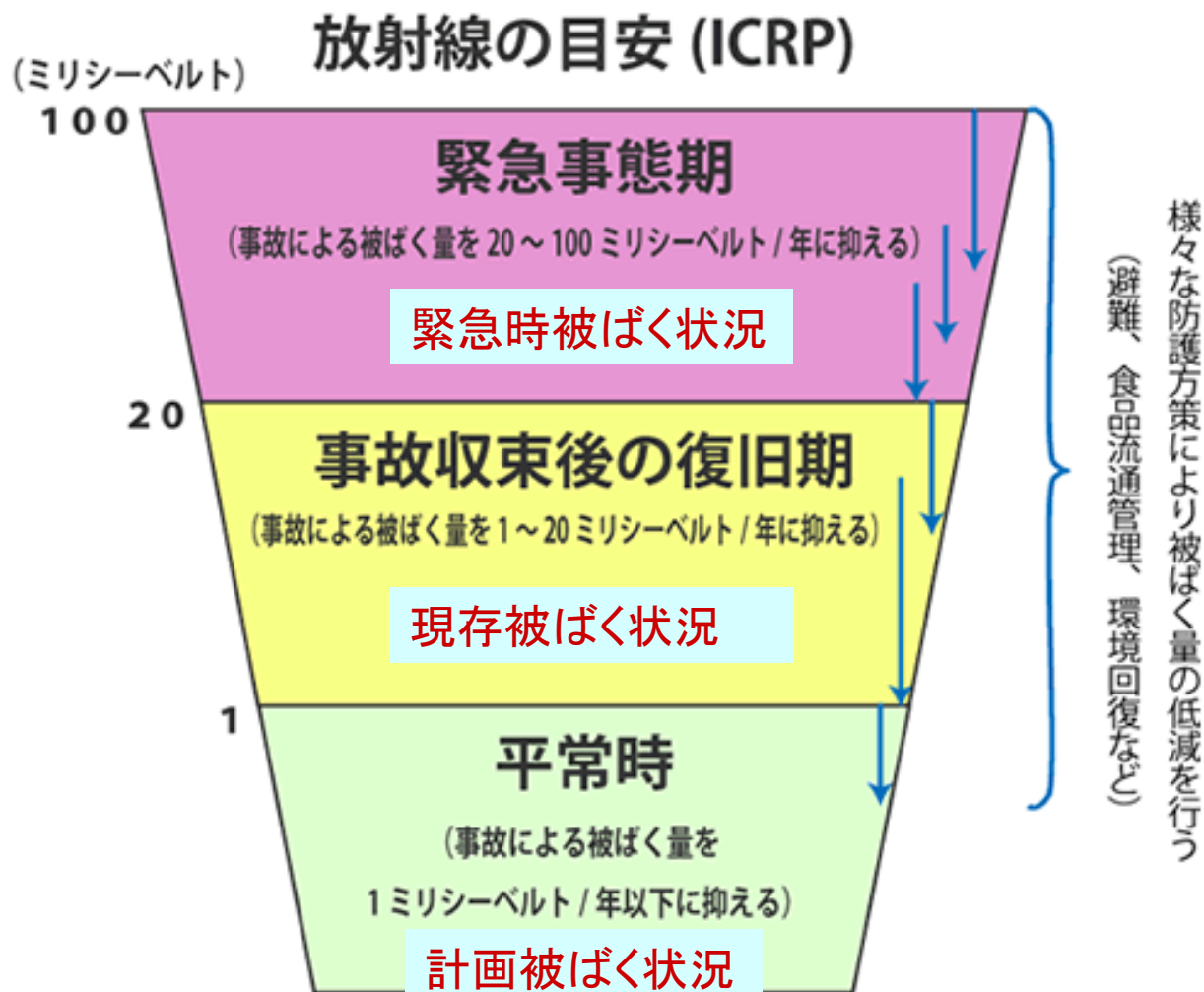
患者の医療放射線の線量を除く)



放射線防護のための基準値の意味



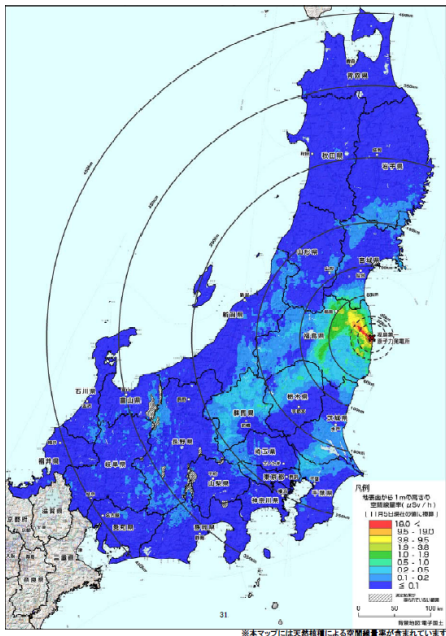
放射線防護のための基準値の意味



現在の代表的な論点の例

■ 現存被ばく状況

- 【例1】 広範囲の放射能汚染環境
- 【例2】 高放射能自然線源／高線量自然環境



【例1】 広範囲の放射能汚染環境

東電福島第一原発事故後の対応 (基準値の例1) 環境の除染

参考レベル

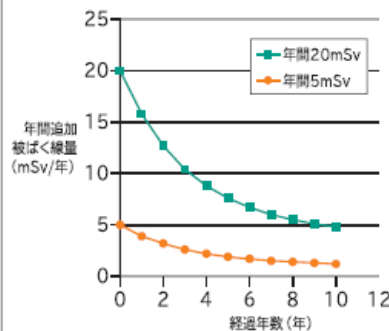
除染はどのように進めていくの？

長期的な目標とする年間追加被ばく線量は1ミリシーベルト以下です。
子どもの生活環境を最優先にしながら、地域ごとに進めます。

目
標

- ① 長期的な目標として、追加被ばく線量を年間1ミリシーベルト以下とします。
- ② 平成25年8月末までに、一般公衆の年間追加被ばく線量を平成23年8月末と比べて、放射性物質が自然に減っていく量を含めて約50%減少した状態を実現します。
- ③ 学校、公園など子どもの生活環境を優先的に除染することによって、平成25年8月末までに、子どもの年間追加被ばく線量が平成23年8月末と比べて、放射性物質が自然に減っていく量を含めて約60%減少した状態を実現します。

【事故由来の放射線量の減衰】



放射性物質の性質により、空間線量は自然に減っていくので、図のように年間追加被ばく線量も同様に減っていくことになります。除染することでさらに減らすことができます。

[単位]ミリシーベルト (mSv)

除染事例 1 放射線量が比較的低い地域の除染方法の例



● 民家の軒下・雨樋の清掃



● 草木の刈り取り



● 側溝の汚泥の除去

(提供) 福島市

除染事例 2 放射線量が比較的高い地域の除染方法の例 (上記の例に加えて除染する方法)



● 校庭表土の削り取り

(提供) JAEA



● 建物の屋根等の洗浄

(提供) 福島市



● 庭土等の土壌の削り取り

(提供) 伊達市

(基準値の例2) 食品基準値の引き下げ

平成24年4月から、食品中の放射性セシウムについて、**暫定規制値**から新しい**基準値**になります。

参考レベル

Q1 新しい基準値はどのようなものですか。

「放射性セシウムの暫定規制値」

食品群	暫定規制値 (Bq/kg)
飲料水	200
牛乳・乳製品	
野菜類	500
穀類	
肉・卵・魚 その他	

新しい「放射性セシウムの基準値」^{注1}

食品群	基準値 (Bq/kg)
飲料水	10
牛乳	50
乳児用食品	50
一般食品	100

注1: 準備期間が必要な米・牛肉は6ヶ月、大豆は9ヶ月間の猶予があります。
: 基準値は放射性ストロンチウム、プルトニウム等を含めた値です。

暫定規制値に適合する食品は、健康への影響はないと評価されていますが、今回、食品の安全と安心をより一層確保するため、年間許容線量を、国際放射線防護委員会の非常時の基準を踏まえた5ミリシーベルト (mSv) から、国際機関のコーデックス委員会の平常時におけるガイドラインを踏まえた1 mSvに引き下げました。
この許容線量に基づき、4つの食品区分ごとに、新しい基準値を設定しました。

Q3 基準値はどのように決められたのですか。

一般食品

・年間許容線量1mSv/年に基づいて「一般食品」に許容線量を割り当て、そこから年齢区分・男女別の限度値を割り出しました。その中で最も厳しい限度値から、新しい「基準値」を決定しました。

年齢区分別の摂取量と放射性物質の健康に与える影響を考慮し限度値を算出^{注2}

年間許容線量^{注3}
1mSv/年

飲料水に割り当てる
線量(約0.1mSv/年)
を引く。

一般食品に割り
当てる線量が
決まります。
(約0.9mSv/年)

年齢区分	摂取量	限度値(Bq/kg)
1歳未満	男女平均	460
1歳～6歳	男	310
	女	320
7歳～12歳	男	190
	女	210
13歳～18歳	男	120
	女	150
19歳以上	男	130
	女	160
妊婦	女	160

基準値
100Bq/kg

注2: 食料自給率や暫定規制値設定の汚染割合50%から、食品の50%が汚染されていると仮定

注3: 食品から被ばくする年間に許容できる線量

飲料水

・世界保健機関(WHO)の指標値を基にしています。

牛乳・ 乳児用食品

・子どもへの配慮と、流通品のほとんどが国産であるという実態から、当該食品の100%が汚染されていると仮定し、一般食品の基準100Bq/kgを半分にして50Bq/kgにしています。

【例2】 高放射能自然線源／高線量自然環境 NORMに関する放射線防護

- 自然起源の放射性物質 **NORM(ノルム)**
- **Naturally Occurring Radioactive Materials**
- 放射能濃度が比較的高いもの
- モナザイト、リン鉱石、
チタン鉱石、鉱物砂等
→ 産業用製品の
 原材料として
 広く利用



人為的に高められたNORM

- NORMを原材料的にして人為的な過程を経たもの
 - 幅広い分野で多くの人に使用されているもの（一般消費財）
 - 火力発電等で発生する大量の石炭灰（フライアッシュ）
 - 原油掘削や製油の過程等で発生するスケール、スラッジ
- 産業活動の過程で、意図せずに自然放射性物質が濃縮され、結果として放射線量が高くなった物質

⇒ **TENORM** (テノルム:
Technologically
Enhanced NORM)

- NORMとTENORMの間に
厳密な境界線を引くことは困難
(NORMと一括扱い)



モナザイト

■ Ce(セリウム)

レンズの研磨材, 磁石や合金の材料, 触媒, ガラスの着色剤

■ La(ランタン)

光学ガラス, コンデンサーなどの電子部品, 合金, 超伝導材料

■ Nd(ネオジム)

ガラスの着色剤, テレビの
ブラウン管などのレーザー発光体

その他, これらはライターや
ガスコンロの着火材料としても。



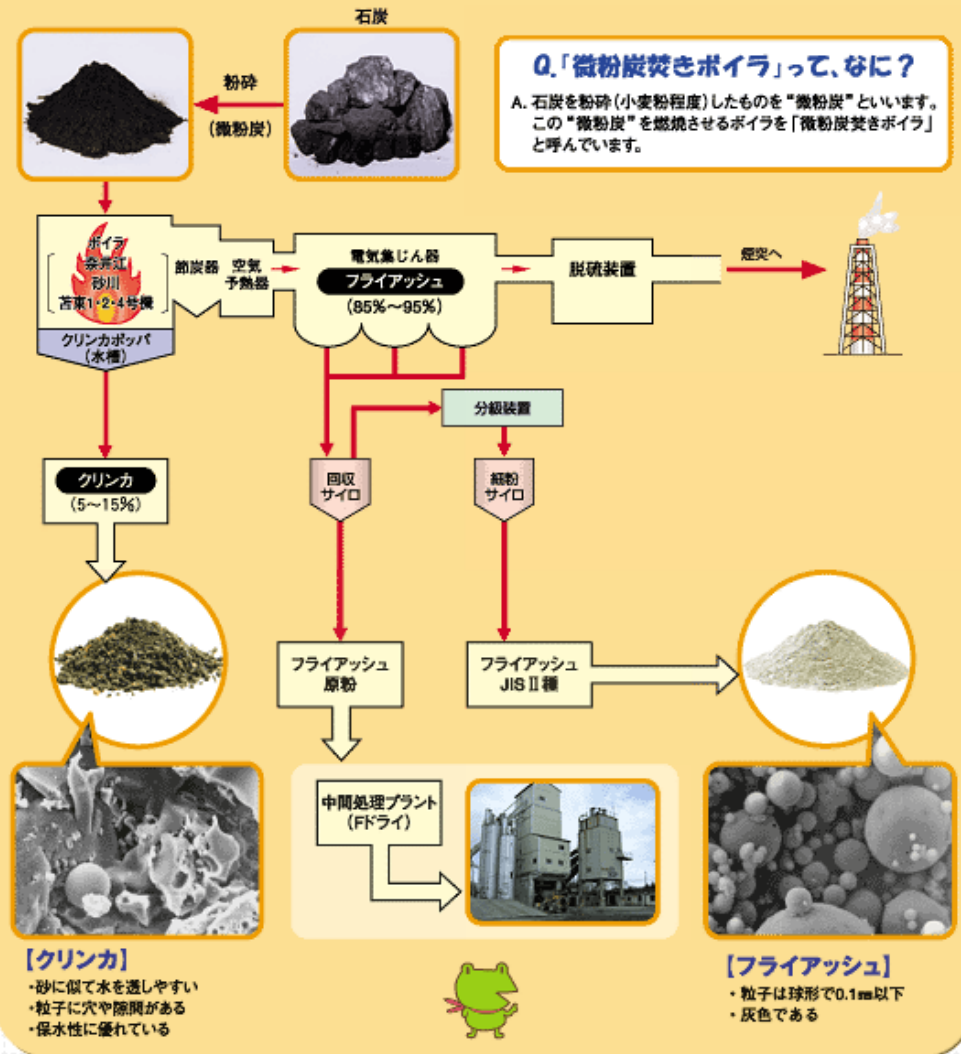
リン酸肥料工場の石膏山 (インドネシア)



フライアッシュ／クリンカ

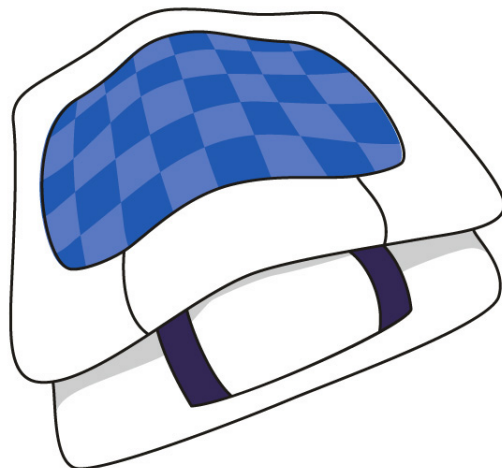


フライアッシュ・クリンカ (微粉炭焼きボイラ)



- 放射能泉
- 健康グッズ
(マイナスイオングッズ)

▪ . . .



NORMの放射線防護の難しさ

- ▶ 実態が必ずしも明確でない
- ▶ 物量がきわめて大きい場合がある
- ▶ 存在場所の範囲の同定が困難な場合がある
- ▶ 放射能の強さの幅が何桁にも広がっている可能性
- ▶ 人間活動の過程で副次的な産物としての場合も
- ▶ 歴史的に(放射性物質とは知らずに)使用
- ▶ 重要な文化の一部として定着

自然放射性物質の安全のあり方を整理するには、さまざまな観点からの正確な情報が必要で、それらを総合的に分析してから、防護方針を判断することが求められる。

NORMに関する被ばく状況

異なるふたつの被ばく状況が混在

- 自然放射性物質を、放射線を放出する性質を意図せずに利用。
- 歴史的に長く利用。

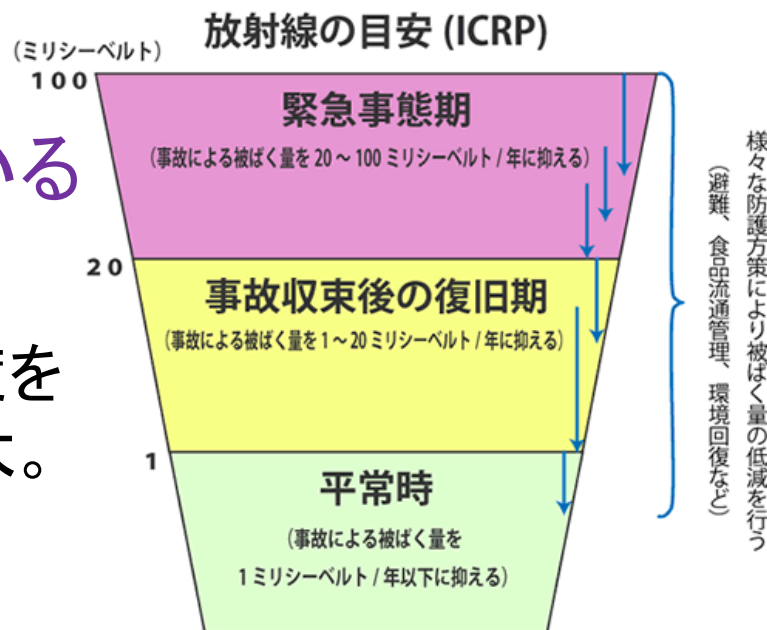
既に被ばくの経路が存在している

＝現存被ばく状況

- 自然放射性物質を採取、加工、濃度を高める、処分するときに被ばくを増大。

目的をもって利用する

＝計画被ばく状況



【論点】

理念の合理的な現場適用に向けて

(例) 「現存する被ばく状況」における安全基準

(安全体系、線量基準値等)はどうあるべきか？

←「基準値」= 国際的な線量基準は「1~20mSv/年」のみ

(ICRP2007年勧告。)

《例題》

- 【例1】 広範囲の放射能汚染環境への対応
- 【例2】 高放射能自然線源/高線量自然環境への対応

(1) 同じ枠組みでの安全基準でよいか？

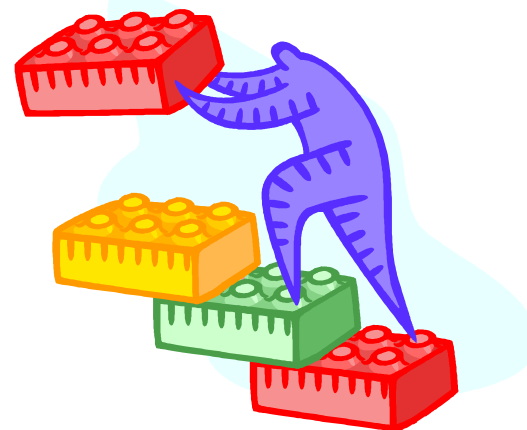
(2) 安全基準(枠組み、基準値)の決定手順は？ (誰が、どのように)

(3) 国、自治体、操業者、専門家、国民、メディア...(利害関係者)の役割は？

【放射線防護学】

まとめにかえて

- ハザードとリスクの**現状認識**と分析に始まり、
- 安全の**理念**が構築され、
- **放射線防護体系**（システム）が確立し、
- 現場に**適用**されるまで の道筋の理解



- ◆ 放射線防護における「**最適化**」の主軸化
- ◆ 「**安全**」と「**危険**」の境界線の議論
- ◆ **利害関係者**（ステークホルダー）の役割

《バランス感覚》

- ★ 多角的な視点に基づく論点の理解
- ★ 科学的知見に基づく安定的な判断
- ★ 大切にしてほしい個々の価値観と直感