

放射能と健康影響 ー放射線とのつきあい方ー

(社)日本アイソトープ協会
佐々木 康人

2011年6月27日(月) 14:30ー15:00
於:ベルサール汐留2F イベントホールA

話 題

1. 放射線の健康影響
2. 放射線防護基準の変遷
3. 平常時の防護体制
4. 非常時の防護体制

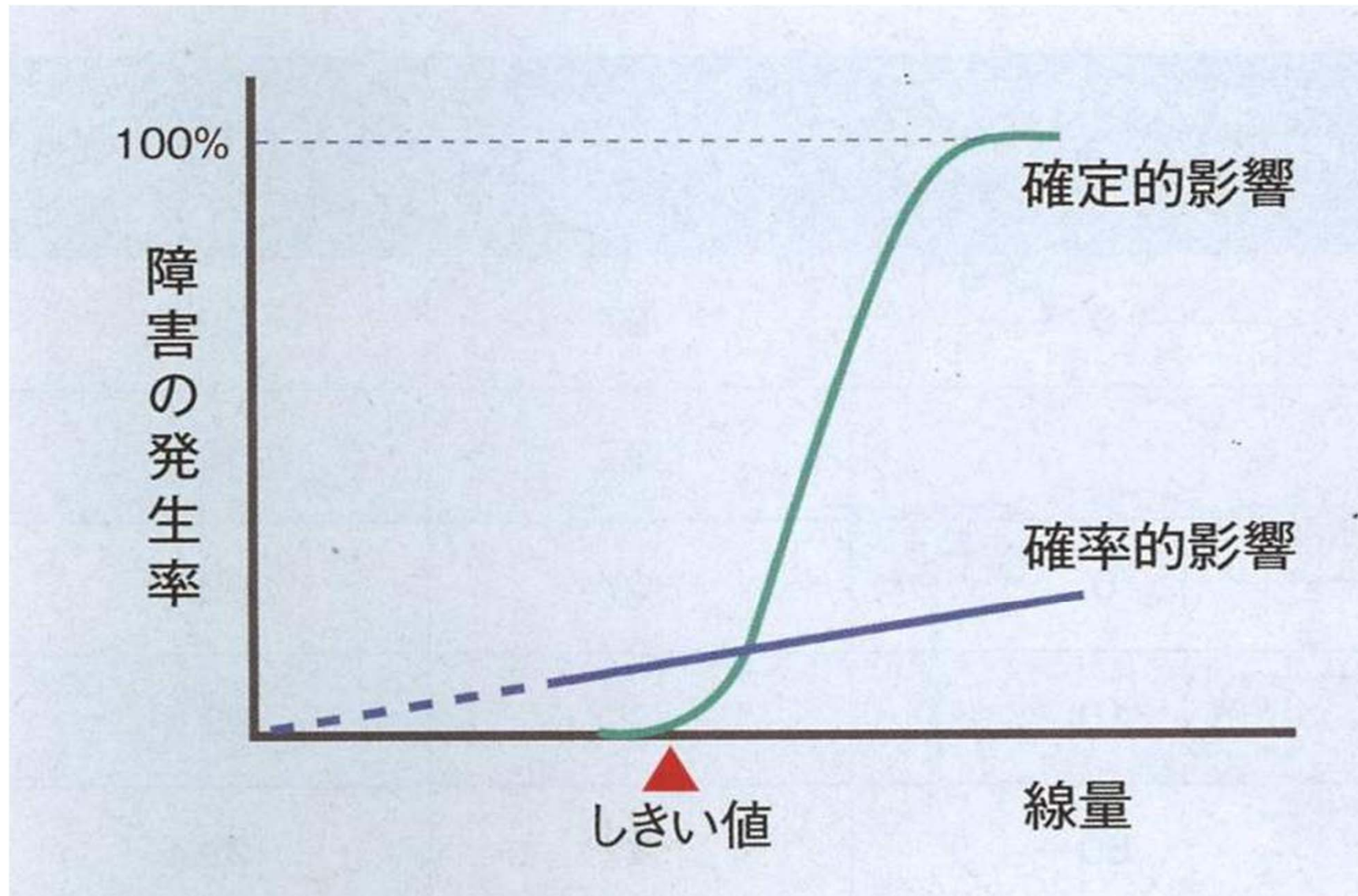
参考資料：実効線量の求め方と使い方

放射線の健康影響

2つのタイプがある

1. 症状、徴候が現れる身体的障害(確定的影響)(組織反応)
 - ・1グレイ以下ではない
 - ・症状ごとに「しきい線量」がある
2. 将来がんが発生する可能性(リスク)が高まるかもしれない影響(確率的影響)(晩発影響)
 - ・被ばく集団と非被ばく集団の比較で検知
 - ・被ばく者個人は認知できない
 - ・防護の目的で低線量(100ミリシーベルト以下)でも線量に比例してリスクが増加すると仮定
(しきい線量なし)

放射線影響の線量反応関係



急性放射線症の主な兆候

線量	1－2 Gy	2－4 Gy	4－6 Gy	6－8 GYv	➤8 Gy
潜伏期(日)	30以上	18－28	8－18	7未満	3未満
主な症状	疲労感 脱力感	発熱、感染 出血、脱毛 疲労感	高熱、感染 出血、脱毛	高熱、下痢 めまい	高熱、下痢 脱毛、 意識障害
死亡率(%) *	0	0－50	20－70	50－100	100

ICRP Pub.96

全身ガンマ線被ばく後のしきい値の推定値

影 響	臓器／組織	影響の発現時間	吸収線量(Gy)
罹 病:			<u>1%発生率</u>
造血系の機能低下	骨髓	3～7日	～0.5
皮膚の火傷	皮膚(広い区域)	2～3週間	5～10
一時的脱毛	皮膚	2～3週間	～4
白内障(視力障害)	眼	数 年	～1.5
死 亡:			
骨髓症候群:			
治療しない場合	骨髓	30～60日	～1
胃腸管症候群:			
治療しない場合	小腸	6～9日	～6
間質性肺炎	肺	1～7か月	6

ICRP Publ.103

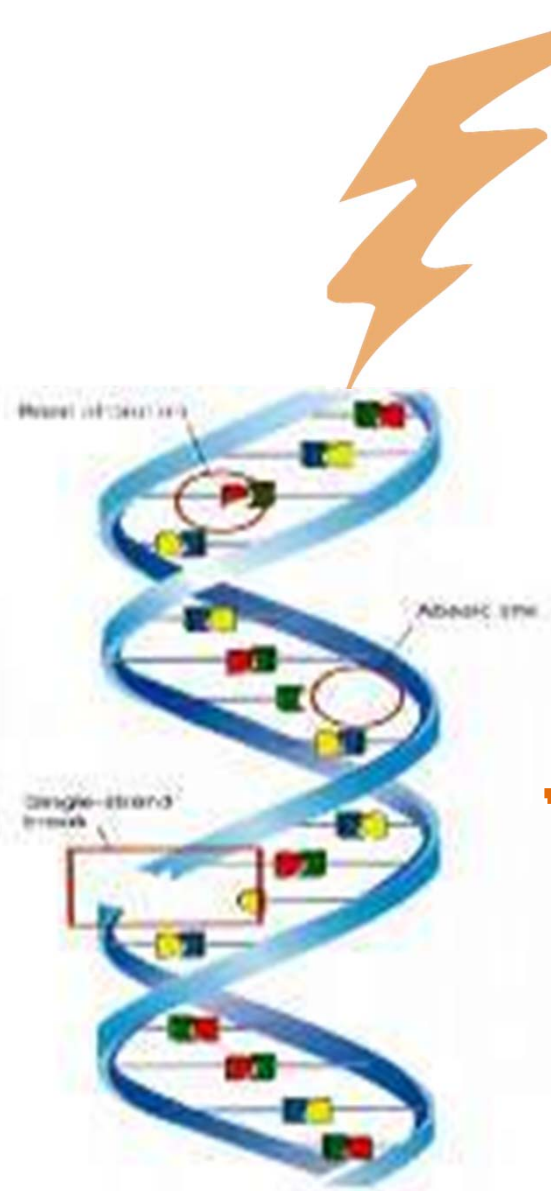
低線量慢性被ばくのリスク推定

1Gy当たりの%

全集団 成人	がん		遺伝的影響	
	Publ.103	Publ.60	Publ.103	Publ.60
	5.5	6.0	0.2	1.3
	4.1	4.8	0.1	0.8

線量・線量率効果係数(DDREF)2を採用

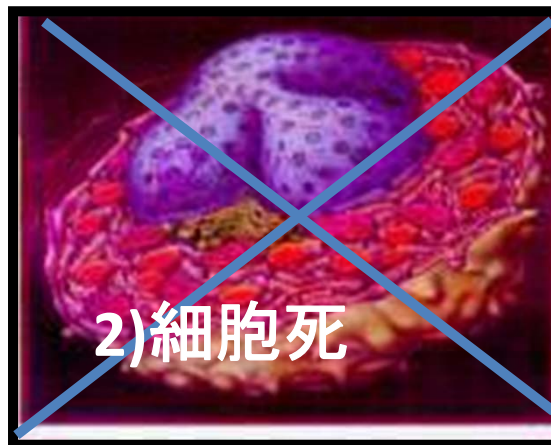
(ICRP Publ.103)



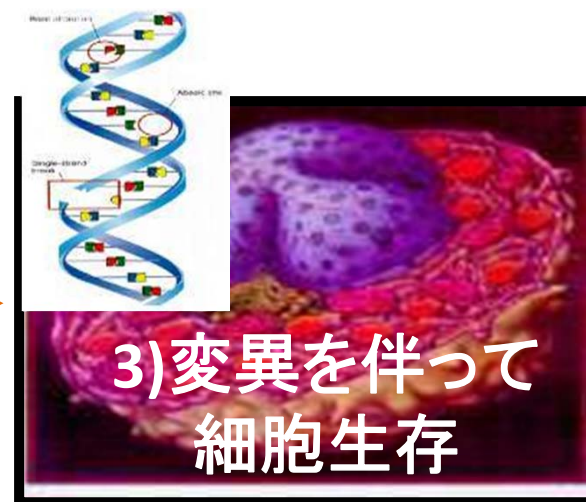
DNA変異
 $p_D \cong a D$



変化なし



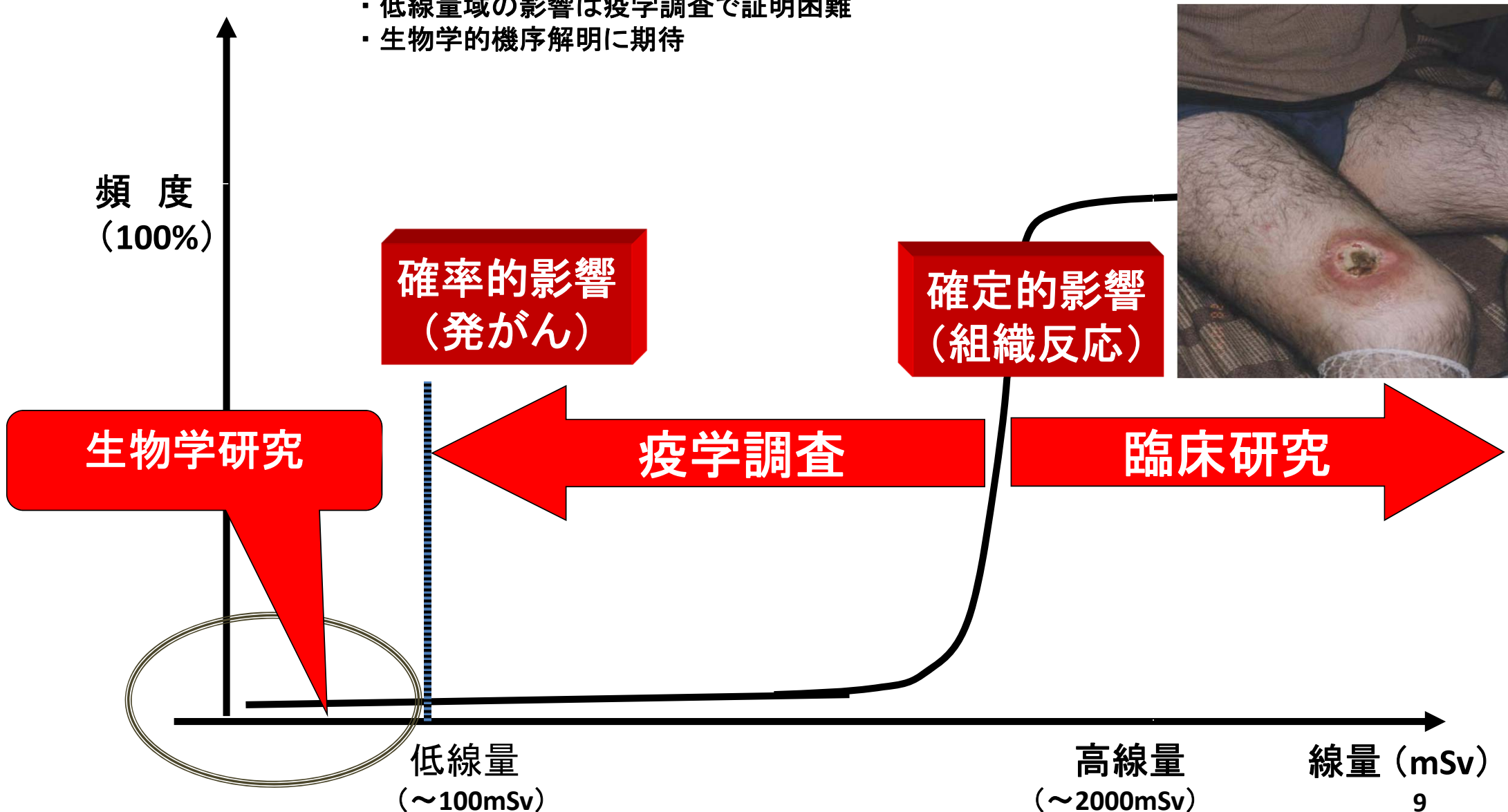
確定的影響
($> \sim 1\text{Gy}$)



確率的影響

放射線健康影響と研究手段

- ・ 低線量域の影響は疫学調査で証明困難
- ・ 生物学的機序解明に期待



放射線防護の変遷(1)

- 1895年 X線の発見 1896年 X線皮膚炎の報告
- 1896年 W. Fuchus 防護の3原則(距離・時間・遮蔽)提案
- 1925年 国際放射線医学会(ICR)に
「国際X線単位委員会(IXRU)」創設
- 1928年 ICRに「国際X線ラジウム防護委員会(IXRPC)」
創設
- 1928年 勧告 表層組織障害と内部組織の混乱を回避
(職業被ばく平均 $\sim 1000\text{mSv/年}$)
- 1934年 勧告 耐容線量 $\sim 0.2\text{r/d}$ ($\sim 500\text{mSv/y}$)

(Pub.109)

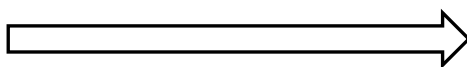
放射線防護の変遷(2)

- 1950年 勧告 最大許容線量(MPD)0.5r/w(全身)、
手、前腕1.5r/w
IXRU → ICRU、IXRPC → ICRP
- 1954年 勧告 職業被ばくのMPD 1.5rem/y (150mSv/y)、
公衆は1/10
- 1958年 勧告(Pub.1)線量限度職業 50mSv/y、D=5(N-18)、
公衆 5mSv/y
- 1966年 確率的影響、LNT、最適化の議論—Pub.9
- 1977年 勧告 線量限度(職業50mSv/y、公衆1mSv/y)、正当化、
最適化(ALARA) 社会全体の防護
- 1990年 勧告 「行為(practice)」と「介入(intervention)」、
線量限度、最適化(線量拘束 dose constraints)
- 2007年 勧告 3つの被ばく状況、最適化に重点「参考レベル」、
個人の防護

(Pub.109)

放射線防護規準の変遷

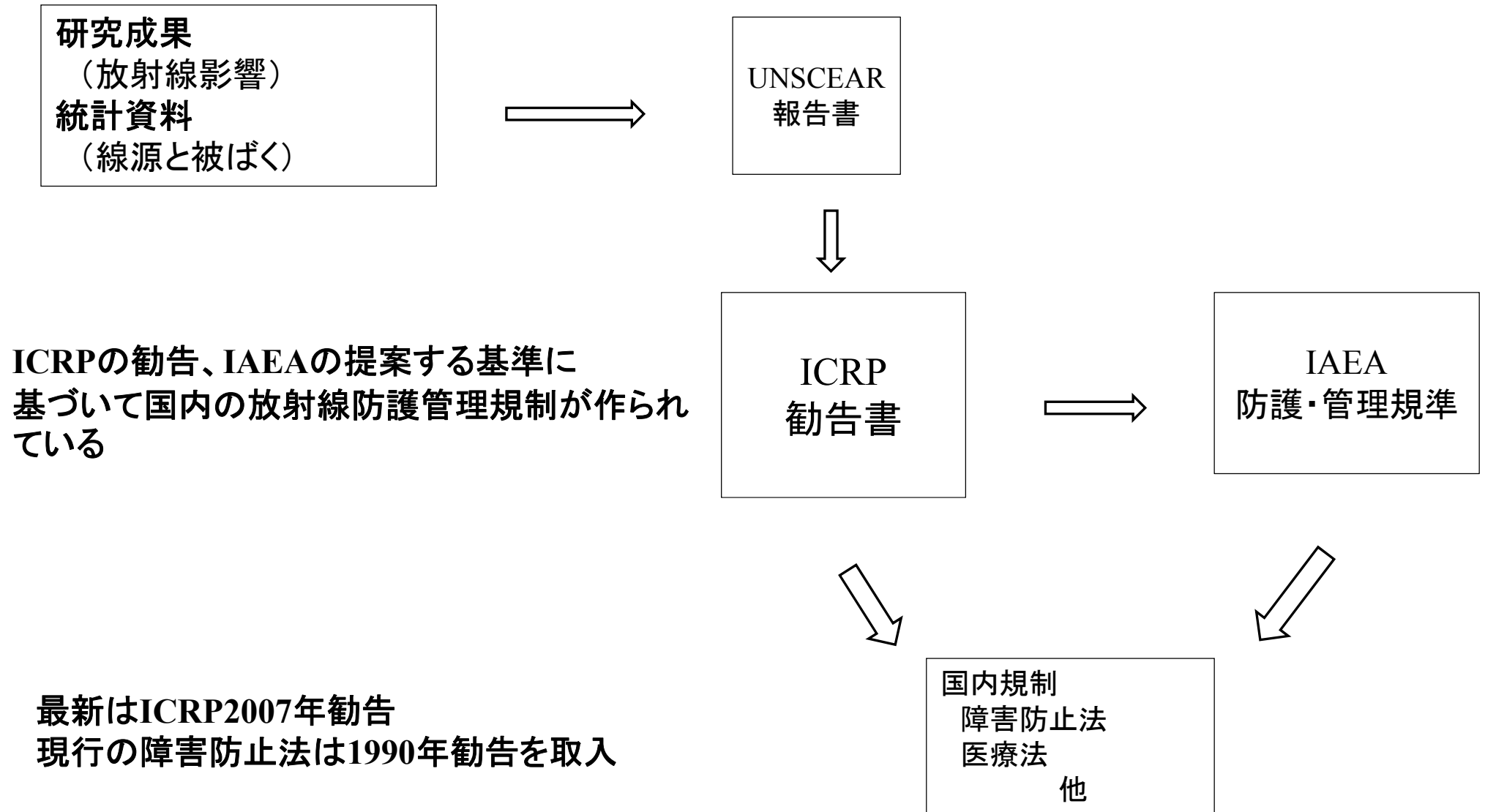
過 去



現 在

医療従事者の防護	全職業被ばく	全ての被ばく
人の防護	環境は防護されると想定	環境(人以外の生物種)の防護
確定的影響の回避	確率的影響の認知	確定的影響の回避 確率的影響の極小化
実際の助言	線量限度	最適化と拘束値

放射線防護規制作成の国際的枠組み



一般人の放射線被ばく

世界平均値

実効線量 (mSv/年)

自然放射線

2.4

人工放射線源

放射線診断

0.4

大気圏核実験

0.005

チェルノブイリ事故

0.005

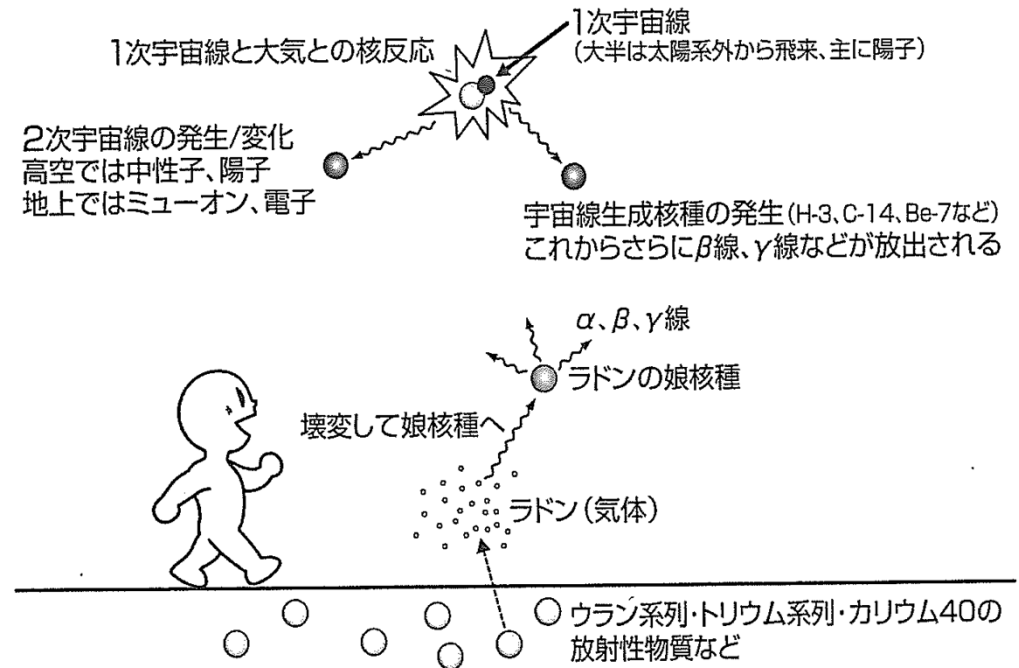
核エネルギー製造

0.002

(UNSCEAR2000年報告)

自然放射線による人の被ばく

- 自然界には地殻由来、宇宙由来の放射線源があり、人々は毎年2.4ミリシーベルト（世界平均）の放射線を受けている

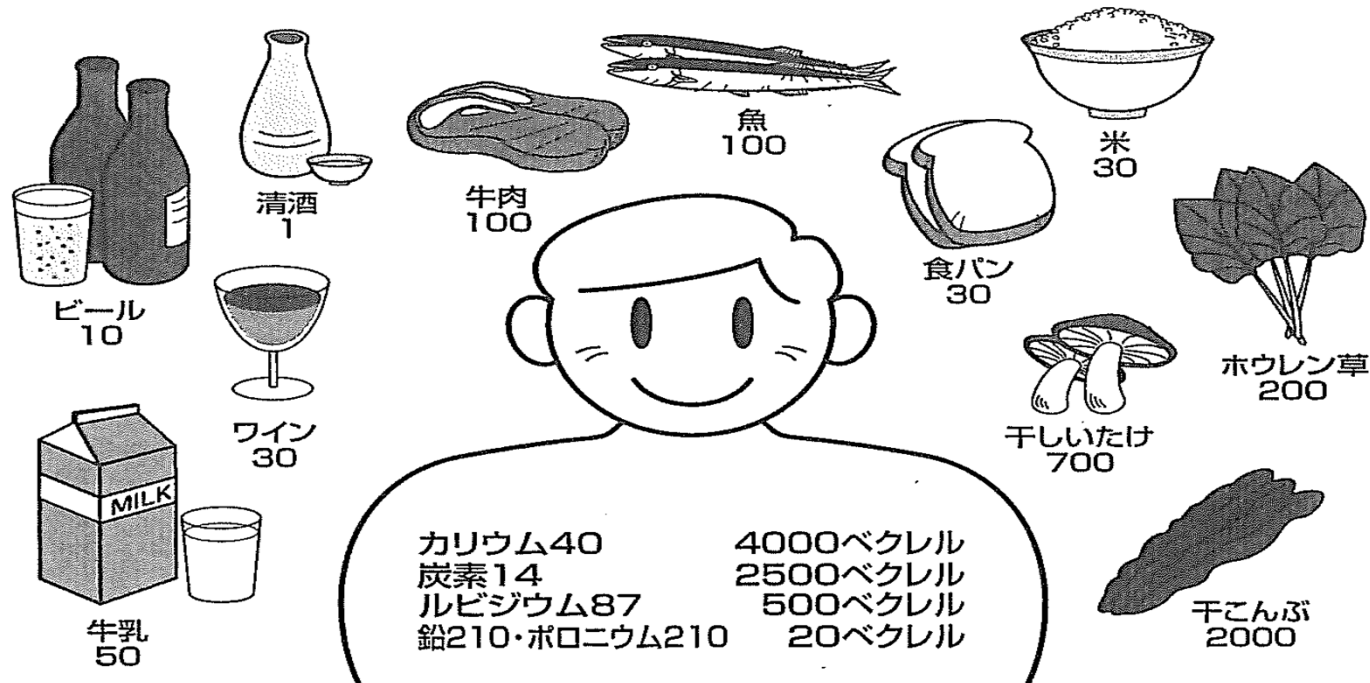


- 自然放射線レベルが高い地方がある
ブラジル: ガラパリ地方(～10 ミリシーベルト)、インド: ケララ地方(～30 ミリシーベルト)、イラン: ラムサール地方(～100 ミリシーベルト)

食物と人体に取り込まれた放射能

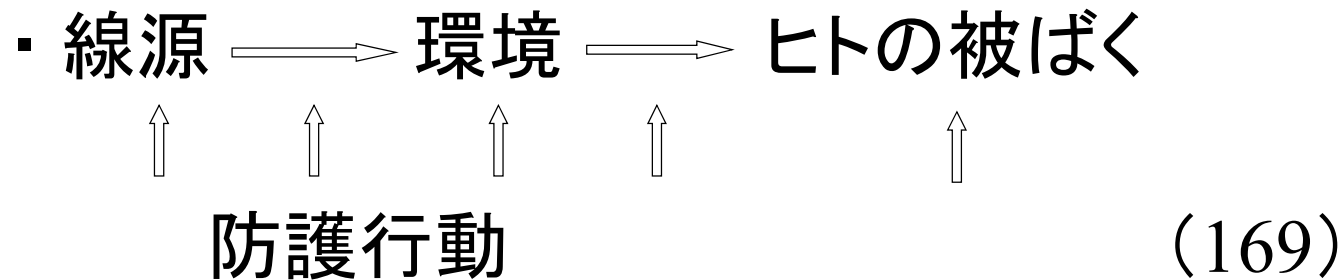
- ・ 大気、海水、土壌中の自然放射線源を取り込む植物、それを食べる動物の体内にも放射能がある
- ・ 空気、水、食物中の放射能を取り込む人体にも放射能がある

食物1kg当たりの自然放射能(ベクレル)



体重60kgの人の自然放射能

ヒトの放射線防護の枠組み



- 被ばくの種類 (3 categories)
 - (1) 職業被ばく (2) 公衆の被ばく (3) 患者の医療被ばく
 - (1) ~ (3) は独立 線量は加算しない
- 「行為と介入」から「被ばく状況」(types of exposure situations) への変更
 - (1) 計画 (2) 緊急時 (3) 現存 被ばく状況

放射線防護の目的

1. 平常時(計画被ばく状況)

身体的障害は起こさず、がんのリスクをできるだけ低く抑えるように放射線業務従事者と公衆の被ばくを管理する

2. 非常時(緊急時被ばく状況)

重篤な放射線障害を回避するよう初期対応に従事する
作業者と公衆の被ばくを管理する
(がんのリスク増加に優先して対処)

3. 非常事態からの復旧期等(現存被ばく状況)

身体的障害は起こさず、がんリスクは平常時より増加した状態で管理することあり

放射線防護の原則

一つの線源からの被ばくに対して(全ての被ばく状況に適用)

- 正当化

新しい線源の導入や古くからの被ばくを低減するに当たり、
利益 > 損失を達成

- 最適化

線量拘束とリスク拘束及び参考レベルを用いて ALARA
(as low as reasonably achievable) 原則達成

個人の受ける全ての線源からの被ばくに対して

(計画被ばく状況に適用)

- 線量限度の適用

患者の医療被ばくは別扱い

計画被ばく状況での線量限度

線 量 単 位	職 業 被 ば く	公 衆 被 ば く
実効線量	年間 20mSv 定められた5年間の平均 特別な状況では年間 50mSv	年間 1mSv 特別な状況では 年間 5mSv
右記組織の等価線量	眼の水晶体 年間 150mSv 皮 膚 年間 500mSv 手 足 年間 500mSv	年間 15mSv 年間 50mSv —

* 患者の医療被曝には適用されない

* 42万人に職業被ばく 年間<1mSv 95%、<5mSv 99%

職業被ばく線量限度の決め方

- 科学的情報だけでなく、正常な状況では通常受け入れられないリスクのレベルを考慮した価値判断
- 職業人として生涯線量が1000ミリシーベルトを超えない
- 確定的影響が起こらない
- 線量限度に達することは滅多にない

以上の条件を考慮して100mSv/5年の線量限度を選定

- 限度いっぱいの線量を毎年47年間受け続けた場合の線量
 $20\text{mSv/年} \times 47\text{年}(18\text{歳} \sim 65\text{歳}) = 940\text{mSv}$
- わが国の実態 99% が5mSv/年以下

被ばくの定量

1. 放射エネルギー(Bq)

- ・ベクレル(Bq): 1秒間に壊変する放射エネルギー) 1キュリーは370億ベクレル
- ・測定器で計測する1分間当たりのカウント(cpm)

2. 被ばく線量

1) 吸収線量(Gy:グレイ): 物質(人体組織)が放射線を受けて吸収するエネルギー

2) 放射線防護のために用いる線量(Sv:シーベルト)

確率的影響(がんリスクの増加)に注目して、放射線の種類による健康影響の違いと(等価線量)臓器の放射線感受性(がんになり易さ)(実効線量)を加味した線量(標準人ファントムとモデルを用いて計算: 実測できない)

3. 実用線量($\mu\text{Sv/h}$)ICRUが勧告

放射線測定器(サーベイメータ)が計測する1分間当たりのカウント(cpm)を1時間当たりのマイクロシーベルトに換算して表示(ICRUファントムを用いて校正)

最適化と線源関連制限

計画被ばく状況

現存及び緊急時被ばく状況

線量限度

線量拘束値

最適化

↓ 参考レベル

最適化

拘束値と参考レベルの枠(バンド)と適用例

枠(バンド) (予想実効線量mSv) (急性又は年線量)	適用例
20－100	放射線緊急時の最大残余線量に 設定する参考レベル
1－20	・計画被ばく状況での職業被ばく拘束値 ・家屋内でのラドンに対する参考レベル ・非密封線源治療後の介助・介護者の拘束値
1以下	計画状況での公衆被ばくに設定する 拘束値

非常時（緊急時被ばく状況）の対応

- 防護の目的：重篤な身体的影響の回避
(2000ミリシーベルト以上)
- 予測線量、回避線量、残存線量の推定
- 初期対応
対応作業者の参考レベル
 <100 → <500 → <1000ミリシーベルト
公衆の参考レベル 20－100ミリシーベルトのバンド内で
- 回復期
- 復旧期 ⇒ 現存被ばく状況 1－20ミリシーベルトのバンド内で

放射線の受け方

1. 全身、局所

例1: 線源の事故や環境の汚染 — 全身被ばく

例2: 放射線診断、治療 — 局所被ばく

2. 外部、内部

外部被ばく: 身体の外にある放射線源から
受ける — ガンマ線が主役

内部被ばく: 気体の吸入、食物や飲物の経口摂取に
よるまたは皮膚から体内に取り込まれ
た線源からの被ばく — アルファ線、
ベータ線が主役

内部被ばく対応

1. 放射能汚染物に触れない。摂取しない
吸入、経口摂取、傷
2. 摂取量と放射性同位元素(RI)の種類同定
3. 生理的モデルを用いて算出した換算係数を用いて
全身の被ばく線量(実効線量)と臓器線量(等価線
量)の推定(預託線量)
4. 低減化 (ヨウ素剤、プルシアンブルー、下剤、
利尿剤、キレート剤等)

放射性医薬品による患者の線量

Pub. 106

例: Tl-201 塩化タリウム(心筋血流シンチグラフィ) 半減期3.05日

臓器	単位投与量当たりの吸収線量 (mGy/MBq)	
----	-------------------------	--

	成人	15才
--	----	-----

心臓	0.19	0.24
----	------	------

肝臓	0.15	0.20
----	------	------

甲状腺	0.22	0.35
-----	------	------

実効線量 (mSv/MBq)	0.14	0.20
----------------	------	------

投与量 120MBqで成人の実効線量 16.8mSv

比放射能 担体なし 塩化タリウム量 ~15ng

内部被ばく 例示

水道水中に放射性ヨウ素 (^{131}I) (半減期8日、 β 線、 γ 線放出) が
210Bq/L検出された。

生後3カ月～1歳の児が1日1リットルこの水を飲む

- ・ 体内の ^{131}I が線源となって放射線を浴びる(体内被ばく)
甲状腺の線量 0.78ミリシーベルト(等価線量)
全身の線量 0.038ミリシーベルト(実効線量)
- ・ 210Bq/Lが続いたとして100日間1リットル飲み続けると
甲状腺の線量は78ミリシーベルト
全身の実効線量は 3.8ミリシーベルト
- ・ 放射線障害の症状なし。
10年以上後にがん罹患リスク約0.02-0.4%増加すると仮定して
防護対策をたてる

対策を実効するために勧告される 回避可能線量

対 策	回避可能線量 (対策が一般的に最適化されるための)
屋内退避	2日で～10mSv(実効線量)
一時避難	1週間で～50mSv(実効線量)
ヨウ素剤予防投与(放射性ヨウ素が存在するとき)	～100mSv(甲状腺に対する等価線量)
移 住	～1000mSv又は最初の年に～100mSv(実効線量)

(ICRP Pub.96より引用)

食品の介入レベル

1種類の食品に対する制限10mSv(1年間に)

(正当化される回避線量)

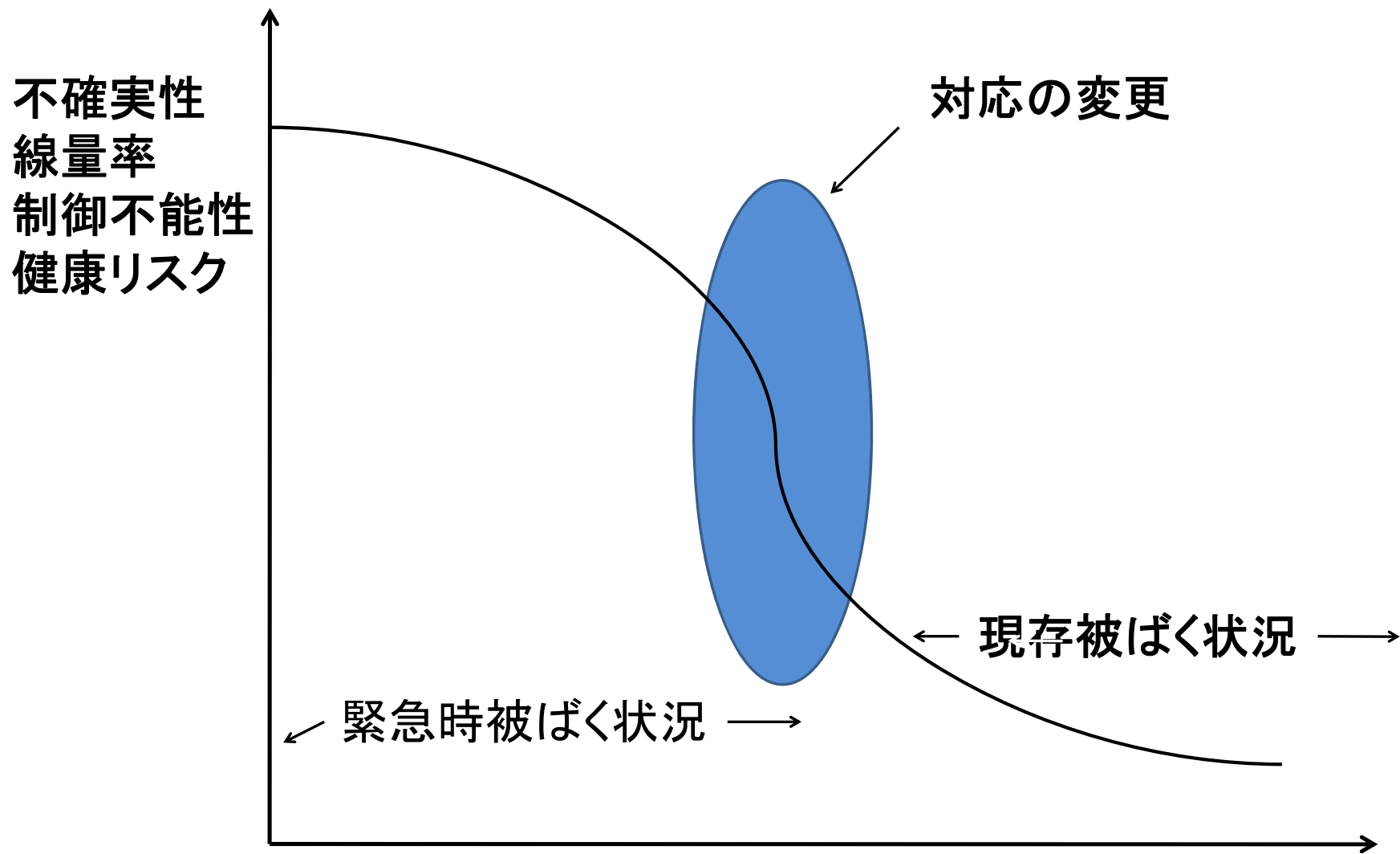
最適値の範囲 1,000-10,000 Bq/kg(β/γ 放射体)

10-100 Bq/kg(α 放射体)

(刊行物63)

介入:放射線被ばくを定年する行動(1990年勧告)

行為:放射線被ばくを増加する行動



汚染の事後処理

- 環境汚染の測定調査 立入禁止区域、除染
- 人の被ばく線量推定
- 健康影響推定と対応
- 迅速で合理的な計画と実行
 専門分野横断的、省庁横断的、
 被災者代表の参加

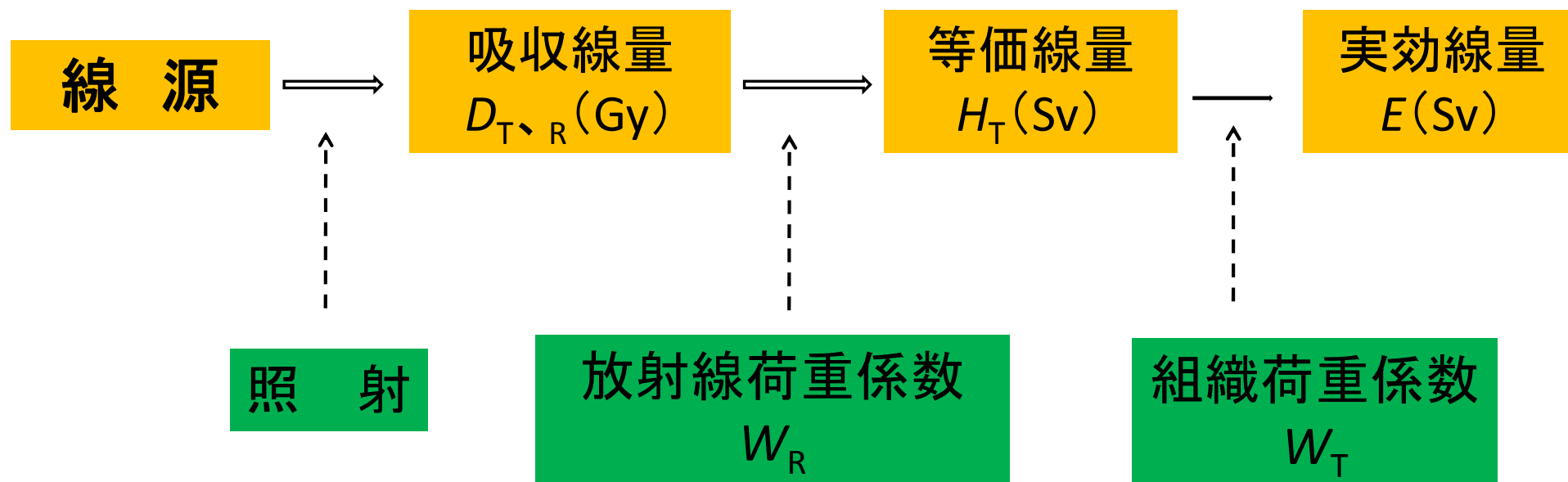
第1回国際放射線医学会 1925年ロンドン (International Congress of Radiology : ICR)

放射線被ばく程度を示す国際的に
共通した単位が必要

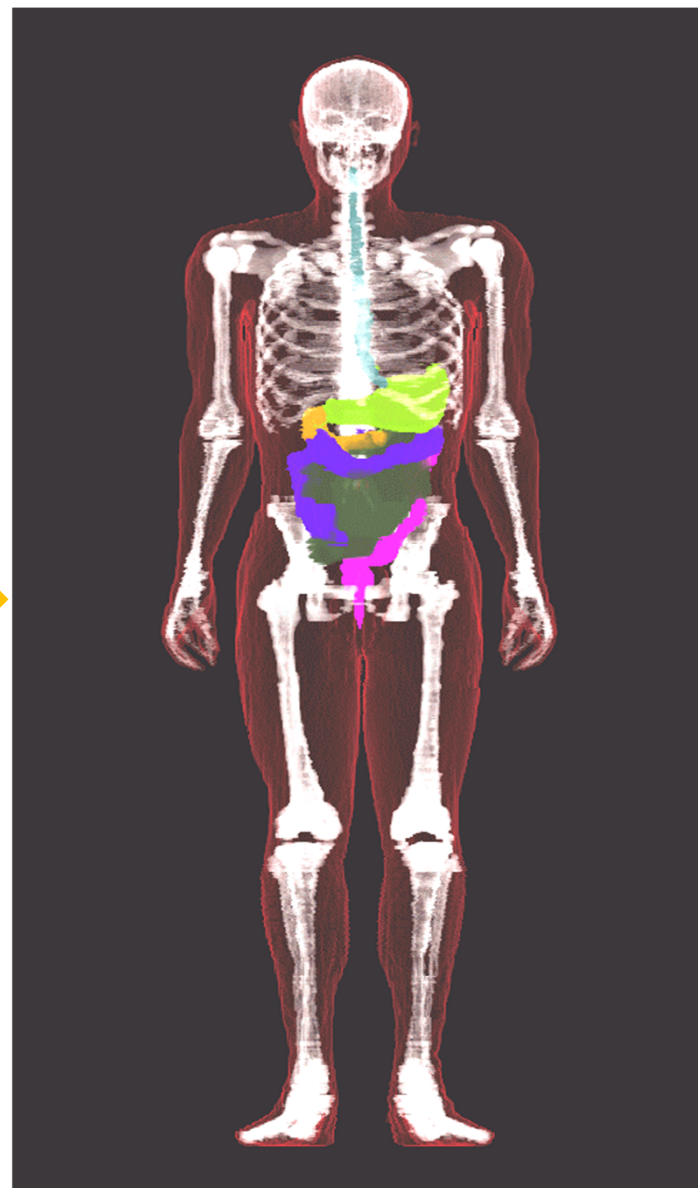
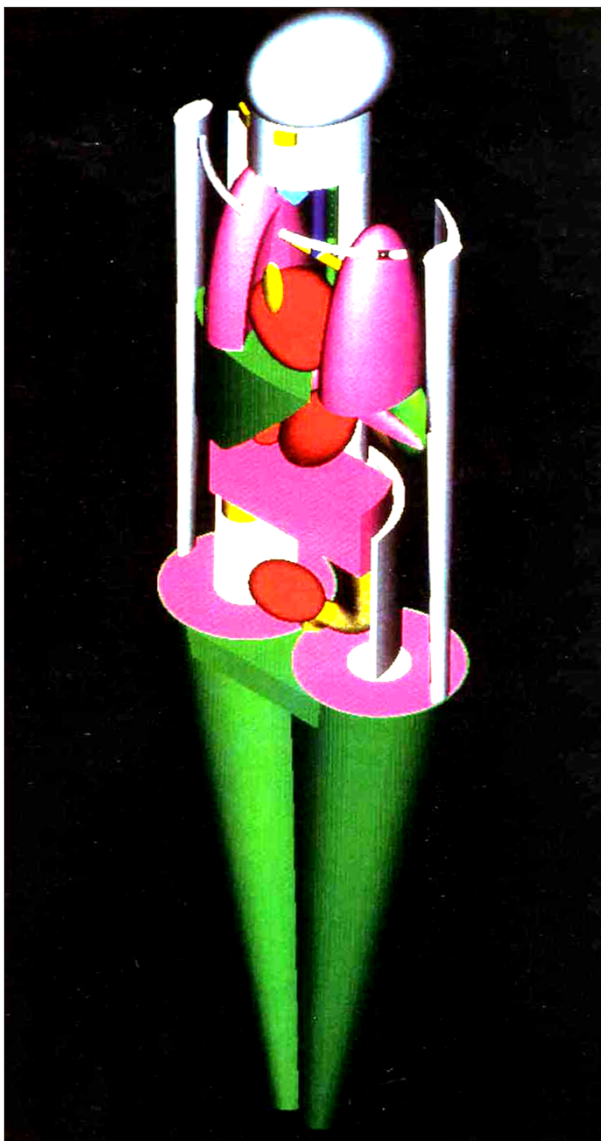
国際 X 線単位委員会設立

⇒ International Committee for
Radiological Units and Measurements
(ICRU)

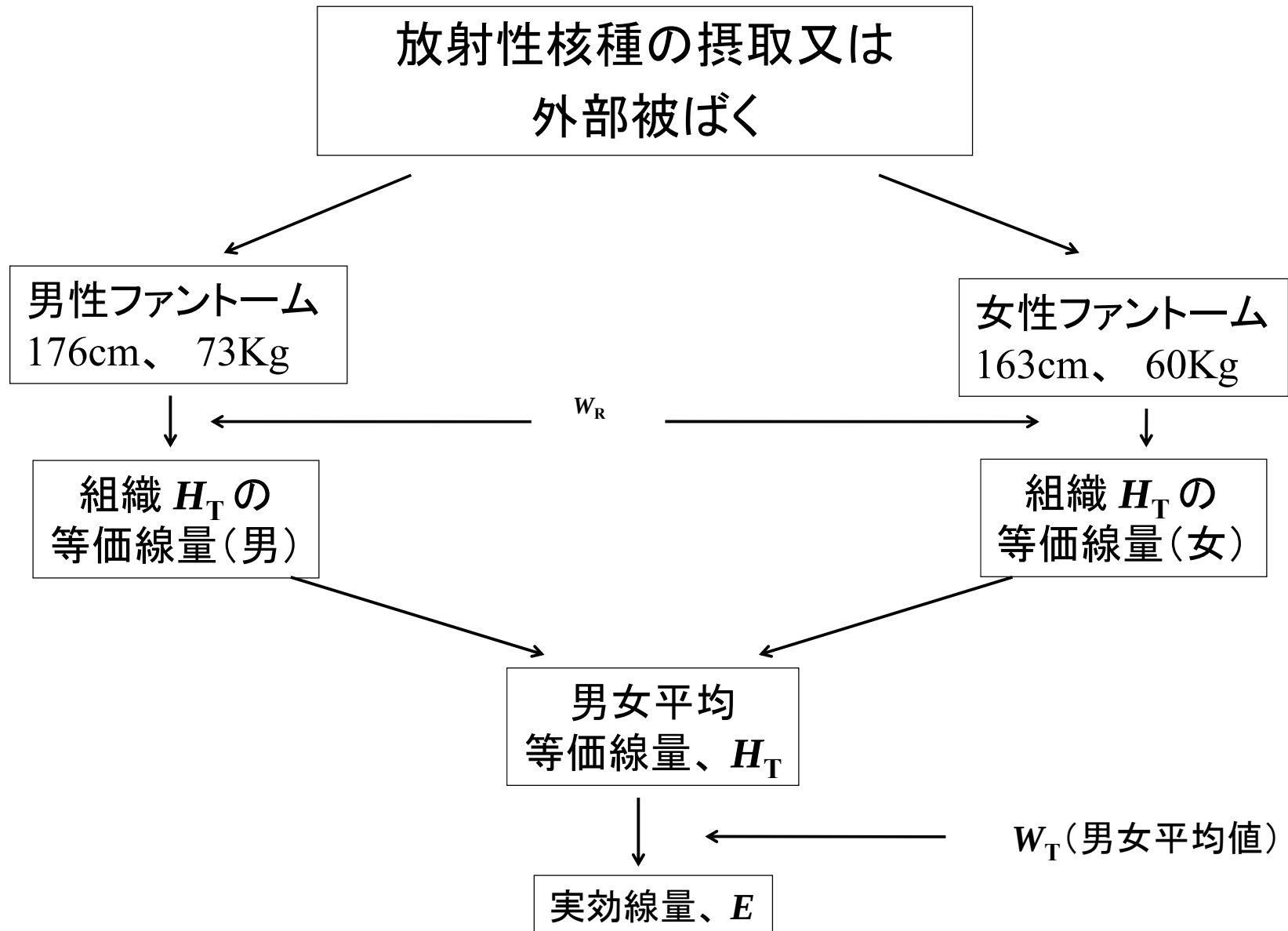
吸収線量・等価線量・実効線量



Adoption of Dosimetric Reference phantoms



実効線量算定における男女平均



放射線荷重係数(W_R)の勧告値

放射線の種類とエネルギー幅	刊行物60	刊行物103
光子、全エネルギー	1	1
電子とミュオン、全エネルギー	1	1
陽子	5	2
α 線	20	20
中性子	階段状函数	連続函数

組織荷重係数(W_T)の勧告値

組 織	W_T	ΣW_T
赤色骨髄、大腸、肺 胃、乳房(0.05)、残りの組織(0.05) *	0.12	0.72
生殖線(0.2)	0.08	0.08
膀胱、食道、肝、甲状腺	0.04	0.16
骨表面、脳、唾液腺、皮膚	0.01	0.04
合 計		1.00

* 残りの組織：副腎、胸郭外部位、胆のう、心、腎、リンパ節、筋肉、
口腔粘膜、膵、前立腺(男性)、小腸、脾、胸腺、
子宮／子宮頸部(女性)

実効線量(E)の使用

- 防護基準順守の指標、前向き計画に使用
- 特定個人の被ばく後の詳細な線量、リスク推定・評価には用いない
- 疫学研究には用いない

参 考 レ ベ ル

- 最適化を参考レベルより高い個人線量から始めなければならないことがある
- それ以上の被ばくが起こることを計画してはいけない線量やリスクを示す
- 選定する参考レベルは広くゆきわたっている (prevailing) 状況に依存する
- 参考レベルを超える被ばくがある場合はそれ以下に最適化する努力をする