

第2回東京都健康安全研究センター
環境保健衛生シンポジウム

「知っておきたい放射線の知識」
～健康影響、放射線測定について～

基調講演

放射線の基礎知識と健康影響

湘南鎌倉総合病院臨床研究センター

佐々木 康人

2013年11月26日(火)14:00-15:00
於:セシオン杉並ホール

話 題

1. 放射線と放射能の発見と利用小史
2. 放射線の障害作用 ―放射線は両刃の剣―
3. 放射線防護体系と基準 ―その変遷―
4. 福島原発事故後の対応

It All Began in 1895



W. C. Röntgen demonstrates his x-rays in Würzburg on Geheimrat von Kölliker's hand

©佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

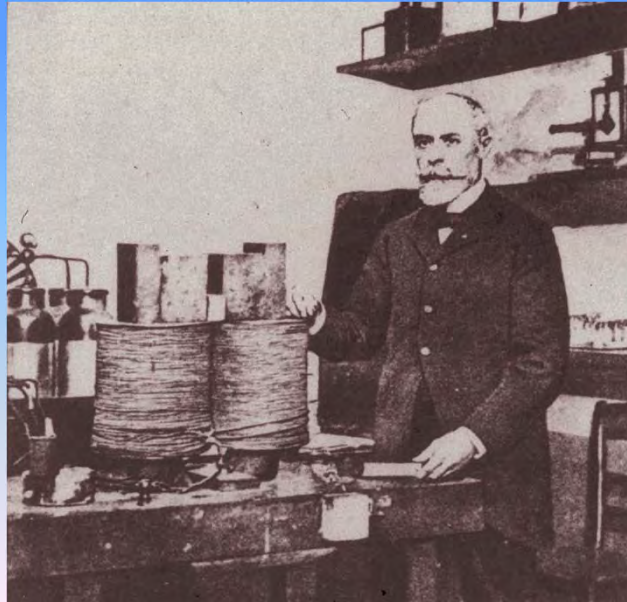
銃弾を捉えた初期の頭部X線写真



©佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

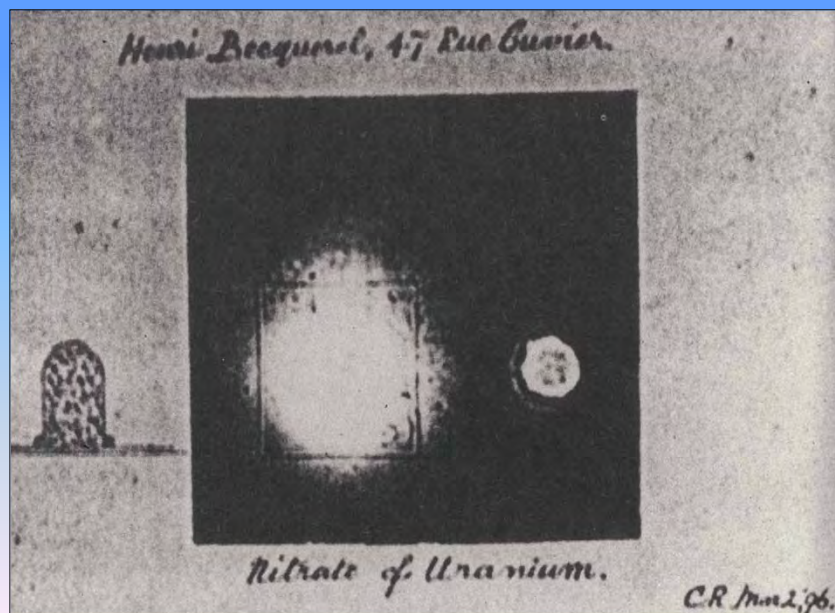
放射能を発見したアンリ・ベクレル



©佐々木康人

Copyright © Y. Sasakj 2013.11

ウラン塩を用いた感光写真(1896. 3. 2)



©佐々木康人

Copyright © Y. Sasakj 2013.11

仮説：光を当てると蛍光を発する物質は、蛍光と同時にX線も放出する

実験方法

ウラン塩に光を当てると、ウラン塩は蛍光と同時にエックス線も放出するはず

蛍光は遮光紙で遮られるが、X線は透過して写真乾板に写る

ところが実際は…

光に当てずにしばらく放置

ウラン塩は光が当たらなくても常に透過力の強い放射線を放出している

放射能の発見

誤った仮説に基づいた実験に偶然が重なって世紀の発見がなされた

©佐々木康人 Copyright© Y. Sasakj 2013.11

キュリー夫妻



©佐々木康人

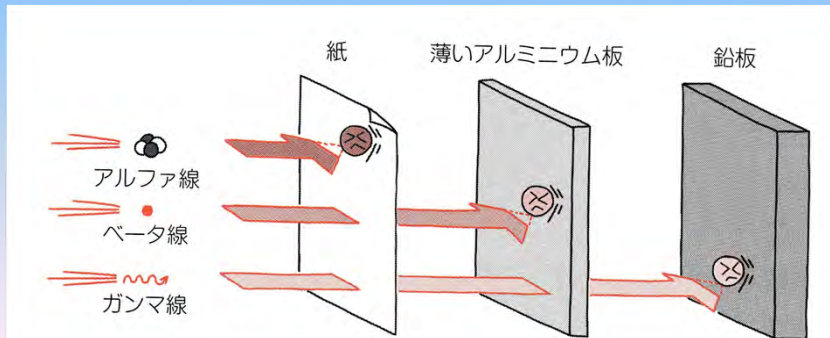
Copyright© Y. Sasakj 2013.11

放射線の種類



Ernest Rutherford(1871-1937)

α 線	ラザフォード	1899年
β 線		
γ 線	ヴィラード	1900年



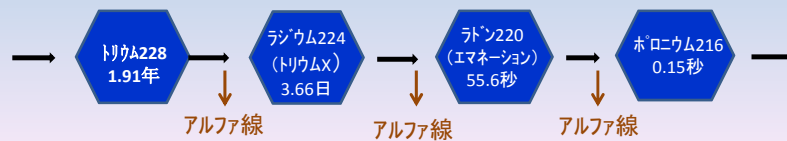
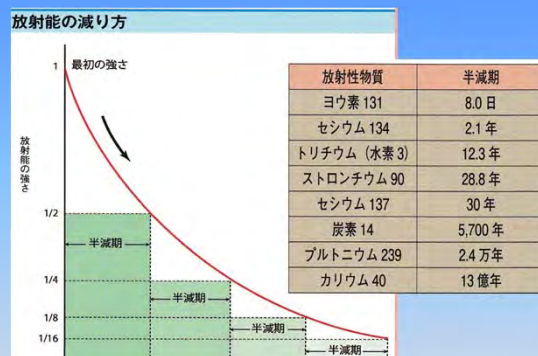
©佐々木康人

Copyright© Y. Sasaki 2013.11

放射能の正体 — 元素の変質(壊変)



Frederic Soddy(1877-1956)



トリウムの放射性壊変(トリウム系列の一部)。壊変するときに放射線が放出される

Copyright© Y. Sasaki 2013.11

放射性同位元素の発見

1913年 Frederic Soddy

「周期律表の同じ位置を占める」

→ “Isotope”と命名 Margaret Todd

族 周期	1	2	3	4	5	6	7	8
1	H 水素							He ヘリウム
2	Li リチウム	Be ベリリウム	B ホウ素	C 炭素	N チツソ	O 酸素	F フッ素	Ne ネオン



©佐々木康人

Copyright© Y. Sasagi 2013.11

自然放射線による被ばく



高自然放射線地域

(国連科学委員会 2008 年報告による)

ケララ・マドラス(インド)、ラムサール(イラン)、ガラバリ(ブラジル)、エルビタール(イタリア)、陽江(中国)

©佐々木康人

Copyright© Y. Sasagi 2013.11

人工放射能の発見

Frédéric Joliot-Curie と Irène Joliot-Curie 1934年



原子炉によるRI 製造
加速器によるRI 製造



仁科芳雄博士
(1890-1951)



Frédéric Joliot-Curie
(1900-1958)



Irène Joliot-Curie
(1897-1956)

Copyright © Y. Sasaki 2013.11

放射線・放射性同位元素(RI)の利用

- 医学利用
- ライフサイエンス研究
主として放射性追跡子(トレーサ)法
- 工業的利用
非破壊検査、材質強化、殺菌
- 農・水産業への利用
品種改良、食品衛生

© 佐々木康人

Copyright © Y. Sasaki 2013.11

放射線は両刃の剣

1896年 E. Grubbé X線皮膚炎を報告
W. Fuchus が手の防護について助言



放射線防護の原則

時間
距離
遮蔽

職業人の被ばく管理



©佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

放射線障害の実例(1)

X線熱傷と脱毛	1896年
放射線誘発皮膚がん	1902年
放射線誘発白血病	1911年
ウラン鉱山労働者の肺がん	1924年
夜光塗料工員の骨肉腫	1934年

©佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

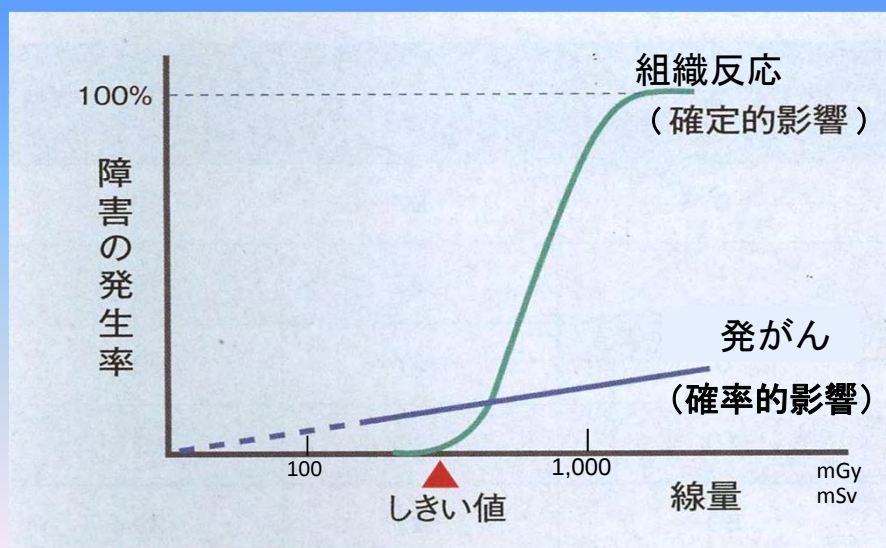
放射線の健康影響 2つのタイプがある

1. 症状、徴候が現れる身体的障害
(組織反応)(確定的影響)
 - ・症状ごとに「しきい線量」がある($>0.5\sim1$ グレイ)
2. 将来がんが発生する可能性(リスク)が高まる影響
(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
 - ・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)

© 佐々木康人

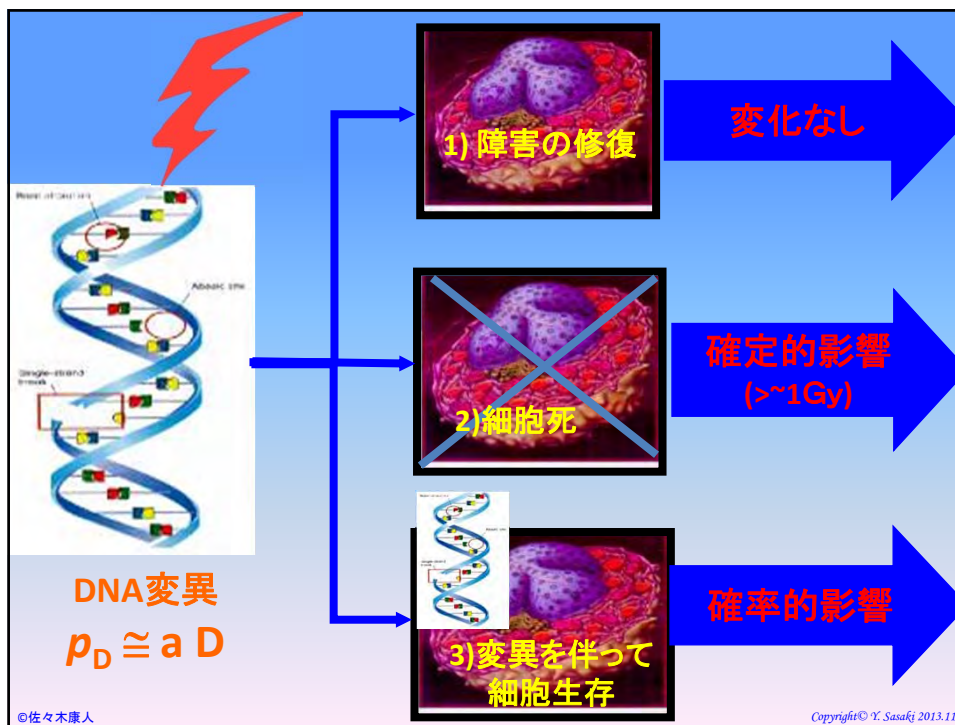
Copyright © Y. Sasakj 2013.11

放射線影響の線量反応関係



© 佐々木康人

Copyright © Y. Sasakj 2013.11



全身ガンマ線被ばく後のしきい値の推定値

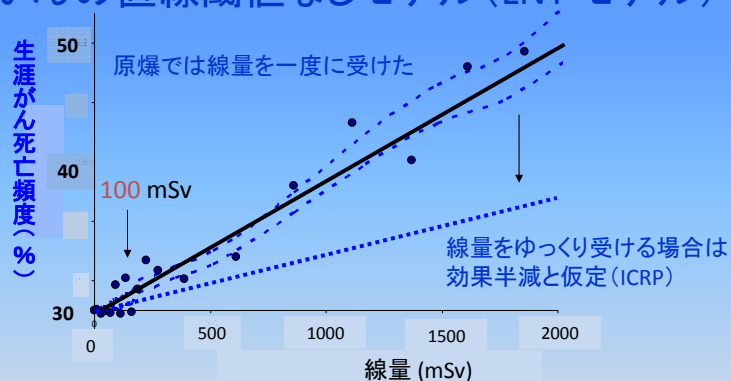
影 響	臓器／組織	影響の発現時間	吸収線量(Gy)
罹 病:			<u>1%発生率</u>
造血系の機能低下	骨髄	3～7日	～0.5
皮膚の火傷	皮膚(広い区域)	2～3週間	5～10
一時的脱毛	皮膚	2～3週間	～4
白内障(視力障害)	眼	数 年	～1.5
死 亡:			
骨髄症候群: 治療しない場合	骨髄	30～60日	～1
胃腸管症候群: 治療しない場合	小腸	6～9日	～6
間質性肺炎	肺	1～7か月	6

ICRP Publ.103

©佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

防護のために考えられたリスクモデル 発がんの直線閾値なしモデル(LNTモデル)



100 mSv 以下で増加は有意ではない(有意でない程度に低い)
 防護のためには、この線量以下も問題になる
 100 mSv 以下でも線量に比例して直線的にがんが増加すると想定
 → 直線閾値無しモデル(LNTモデル)
 急性被ばくで1%、低線量率被ばくで0.5%の増加を想定

©佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

低線量慢性被ばくのリスク推定

1Sv当たりの%

	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

全集団

成人

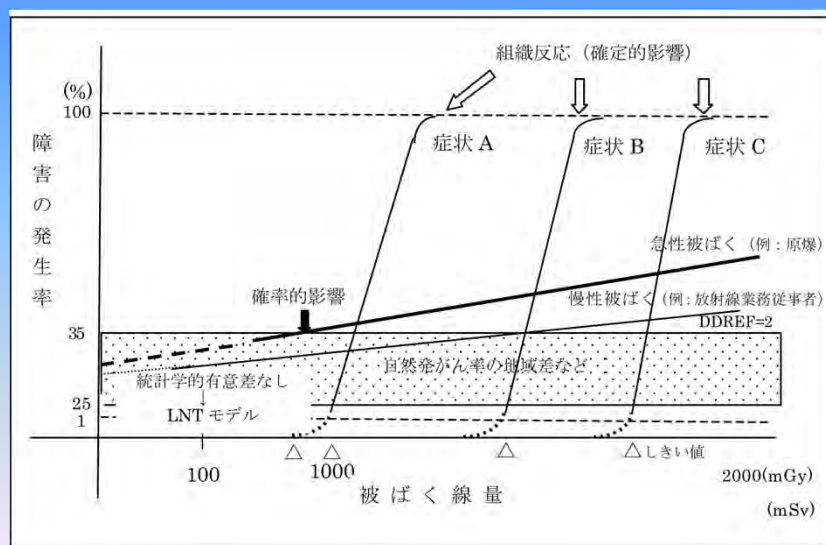
線量・線量率効果係数(DDREF)2を採用

(ICRP Publ.103)

© 佐々木康人

Copyright © Y. Sasakj 2013.11

放射線の健康影響(線量・反応関係)



© 佐々木康人

Copyright © Y. Sasakj 2013.11

放射線の受け方

- ・全身被ばくと局所被ばく
- ・1度又は短期間の被ばく(急性被ばく)と何年にもわたる被ばく(慢性被ばく)
- ・身体の外の線源からの被ばく(外部被ばく)と体内にある線源からの被ばく(内部被ばく)
- ・高線量被ばくと低線量被ばく(100ミリシーベルト以下)

© 佐々木康人

Copyright© Y. Sasaki 2013.11

国際放射線防護委員会(ICRP)創設

1928年第2回 国際放射線医学会ストックホルムにて

International X-ray and Radium Protection
Committee (IXRPC)設立

→ International Commission on
Radiological Protection (ICRP)

国際放射線防護委員会

議長: Rolf Sievert



© 佐々木康人

Copyright© Y. Sasaki 2013.11

ICRP 役割と機能

ICRPは常に助言的役割を果たし、放射線防護の理念と原則についての勧告を果たしてきた。

この勧告は、各国、各地域、各国際機関が発表するもっと詳細な規範や規則の基礎をなしている。

過去に出版した総論的勧告

1928年 (Publ.1)、1964年 (Publ.6)、1966年 (Publ.9)、
1977年 (Publ.26)、1991年 (Publ.60, 1990年勧告)

→放射線障害防止法改正 (2001年4月)

2007年新勧告 (Publ.103)

© 佐々木康人

Copyright© Y. Sasaki 2013.11

状況の変化

加速器

原子炉

核兵器

核兵器実験によるフォールアウト

1950年 IXRPC、ICRPに
改名

1955年 原爆被ばく者に
白血病頻度増加

一般公衆の被ばく管理



© 佐々木康人

Copyright© Y. Sasaki 2013.11

原子放射線の影響に関する国連科学委員会

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
(UNSCEAR)

大気圏内核爆発実験によるフォールアウトの
影響に対する不安と関心が世界中に高まった

国連総会決議で1955年12月に設置
第1回会合が1956年3月に開催された
2006年4月第54回会合時に設立50周年記念式典

© 佐々木康人

Copyright © Y. Sasaki 2013.11

U N S C E A R

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

国連の委員会

- ・ 27ヶ国が代表団を送り、年1回委員会を開催して国連総会へ報告
- ・ 世界中の放射線源と影響について情報収集、検証し、被曝と影響を推定
- ・ 数年に1回まとめの報告書を発表

© 佐々木康人

Copyright © Y. Sasaki 2013.11

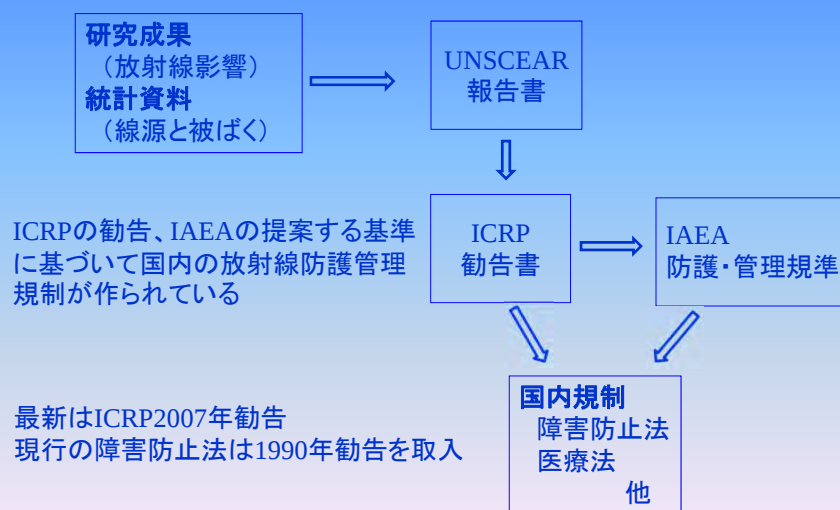
一般人の放射線被ばく 世界平均値

	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)	

© 佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

放射線防護規制作成の国際的枠組み



© 佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

ICRP Publication



© 佐々木康人

Copyright © Y. Sasakj 2013.11

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する可能性のある状態で管理することあり

© 佐々木康人

Copyright © Y. Sasakj 2013.11

放射線防護の原則

線源関連(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

個人関連(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

© 佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

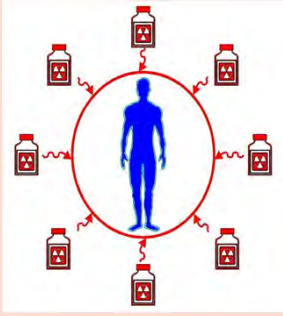
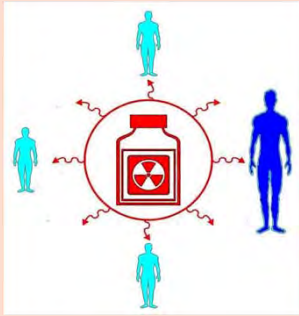
線量限度の適用

- ・ 公衆被ばくの線量限度 年間1mSv(実効線量)
- ・ 職業被ばくの線量限度 5年間に100mSv
特定の1年に50mSv
- ・ 安全と危険の境界を示す線量ではない
- ・ 患者の医療被ばくには線量限度を適用しない

© 佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

作業者と公衆の構成員を防護するための線量限度と
線量拘束値及び参考レベルとの対比

個人関連制限 (Individual Related Restriction)	線源関連制限 (Source Related Restriction)
線 量 限 度	線 量 拘 束 / 参 考 レ ベ ル
全ての管理された線源からの 被ばく総量／計画被ばく状況	一つの線源からの 被ばく／全被ばく状況
	

© 佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

最適化と線源関連制限

計画被ばく状況

線量限度
線量拘束値
↓ ↓ ↓
最 適 化

ICRP INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION

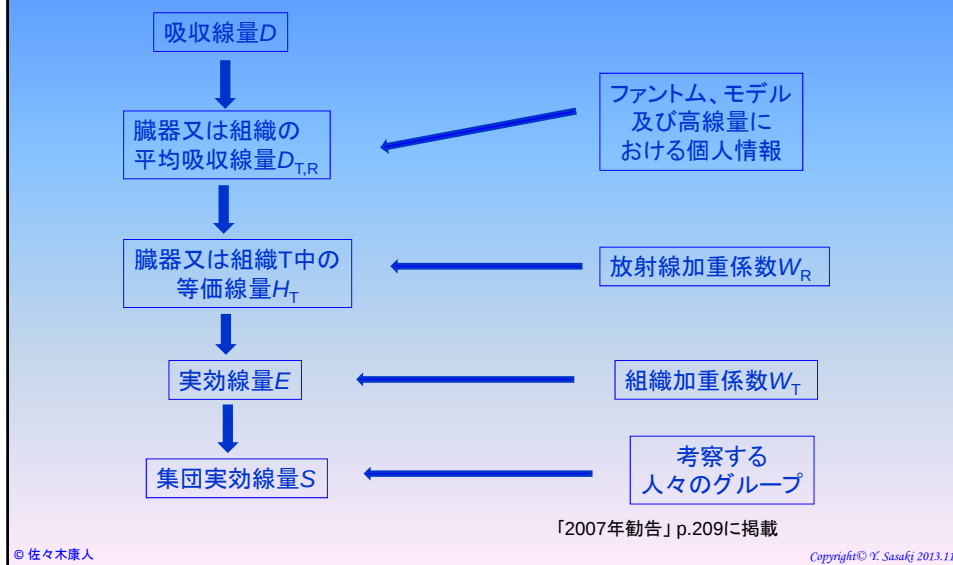
現存及び緊急時被ばく状況

↓
参考レベル
↓ ↓ ↓
最 適 化

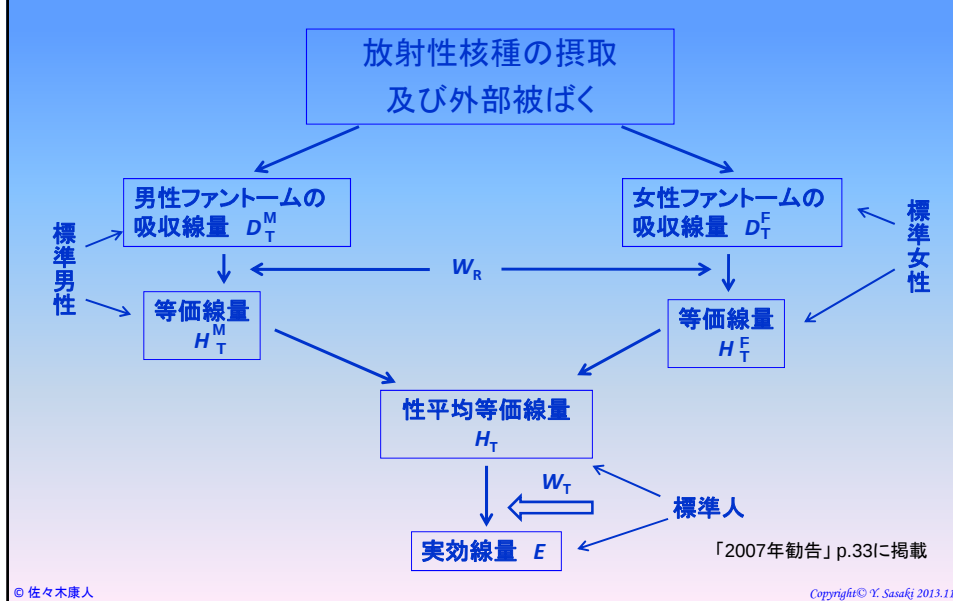
© 佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

放射線防護に用いられている線量の体系



実効線量を求めるための性の平均化



実効線量(E)の使用

- 防護基準順守の指標、前向きの計画に使用
- 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

© 佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

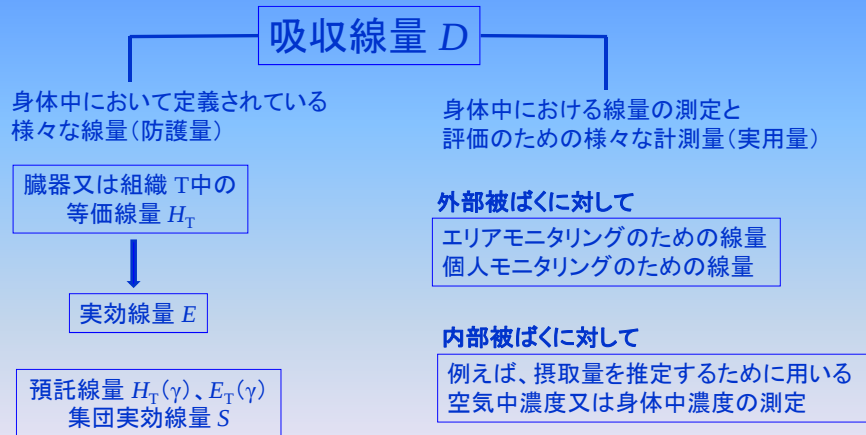
集団実効線量の使用

- 最適化の手段として使用
- 技術や防護手段の比較に使用
- 疫学的リスク推定には使用しない
疫学に基づくリスク予想に用いるのは不適切
- がん死亡の数の予測には使用しない
(不合理で ICRP の意図しない、間違った使用法)

© 佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

放射線防護に用いられる防護量と実用量の体系

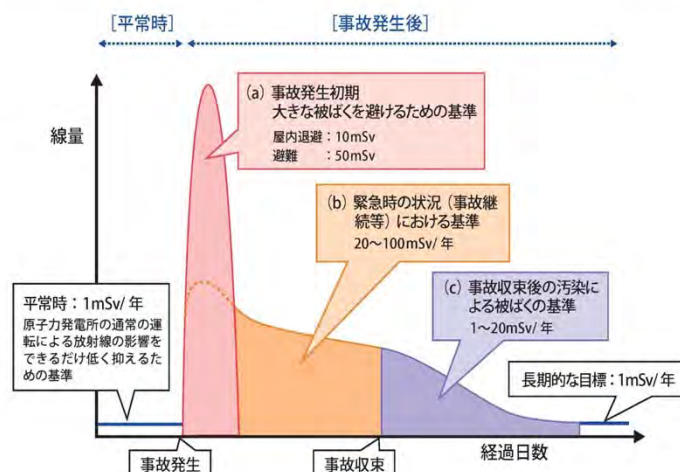


「2007年勧告」p.221に掲載

© 佐々木康人

Copyright © Y. Sasakj 2013.11

放射線防護における線量の基準の考え方



© 佐々木康人

Copyright © Y. Sasakj 2013.11

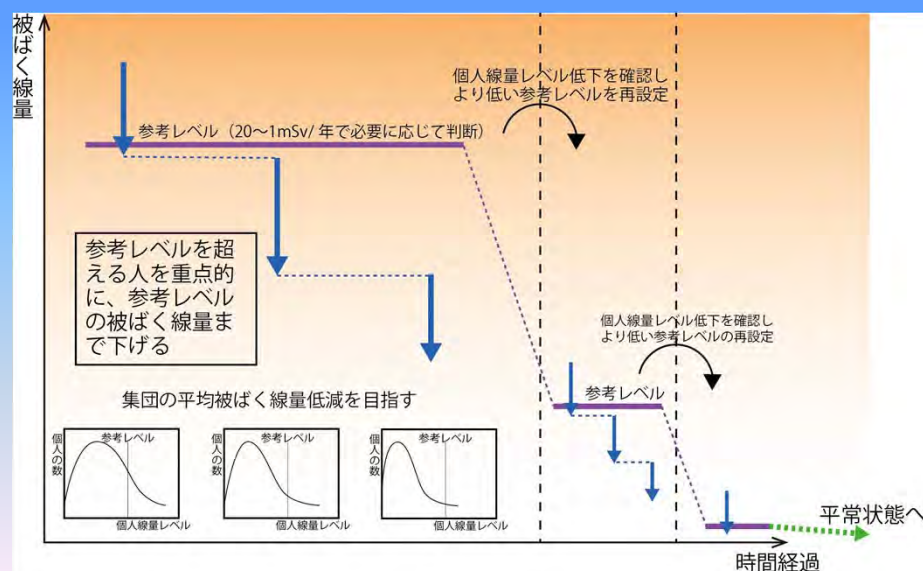
汚染の事後処理

- 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

© 佐々木康人

Copyright © Y. Sasakj 2013.11

現存被ばく状況における 被ばく線量低減の考え方



© 佐々木康人

Copyright © Y. Sasakj 2013.11

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)

© 佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

内部被ばく線量推定の一例

- ・ 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10カ月の幼児が1日0.3リットルこの水を飲む
- ・ ^{131}I の0-1歳児の換算係数:
実効線量 $1.8 \times 10^{-7} \text{Sv/Bq}$ ICRP Publ.26
甲状腺等価線量 $3.7 \times 10^{-7} \text{Sv/Bq}$
- ・ 実効線量 $210 \text{Bq/L} \times 0.3 \text{L} \times 1.8 \times 10^{-4} \text{mSv/Bq} = 0.011 \text{mSv}$
- ・ 甲状腺等価線量 $210 \text{Bq/L} \times 0.3 \text{L} \times 3.7 \times 10^{-4} \text{mSv/Bq} = 0.23 \text{mSv}$

© 佐々木康人

Copyright© Y. Sasakj 2013.11

食品中の放射性セシウム濃度の規制値

(1キログラム当たりのベクレル)

	2011年3月17日 (暫定)	2013年4月1日	EU	USA
飲料水	200	10	1000	1200
牛乳	200	50	1000	1200
一般食品	500	100	1250	1200
乳児用食品	—	50	400	1200

放射線防護基準の変遷まとめ

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 確率的影響の最小化
実際の助言	線量限度	最適化と拘束値・参考 レベル