

新刊書籍 発売！ 2012年10月10日 刊行

「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し、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>



放射線を科学的に理解する

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

東京大学教養学部 放射線講義 スライドのご案内

ごらんのファイル以外にも、別学期の講義シリーズのファイルがあります。

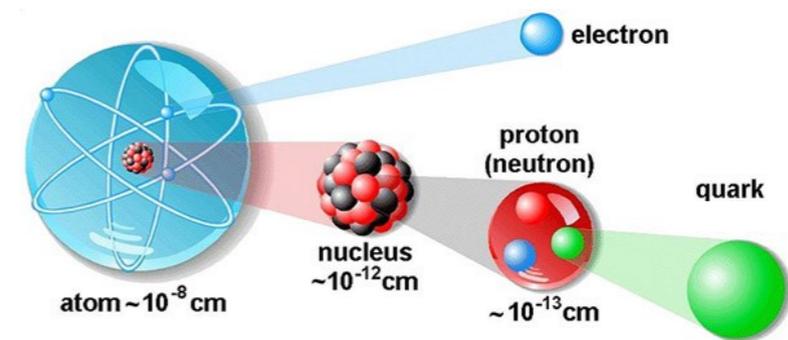
書籍「放射線を科学的に理解する — 基礎からわかる東大教養の講義 —」

とあわせて、どうぞご利用下さい。

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

2011年度夏学期
自主講義

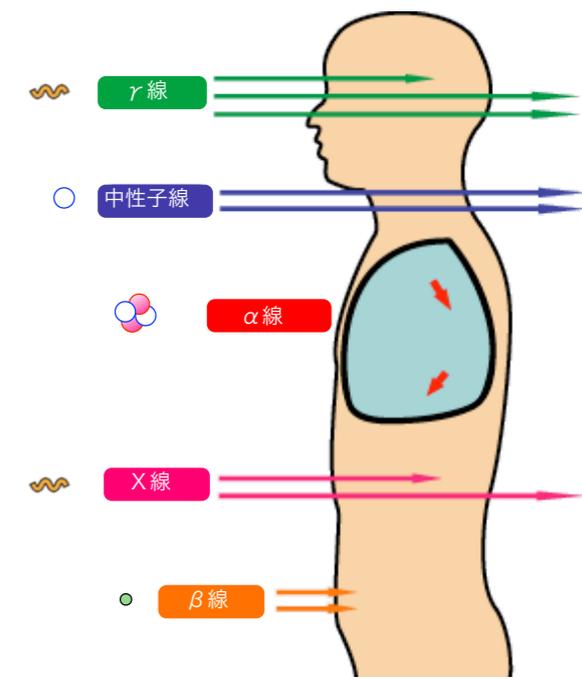
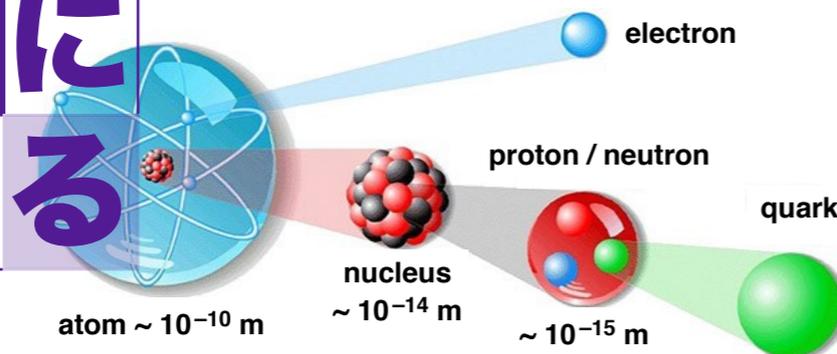
自主講義
放射線学



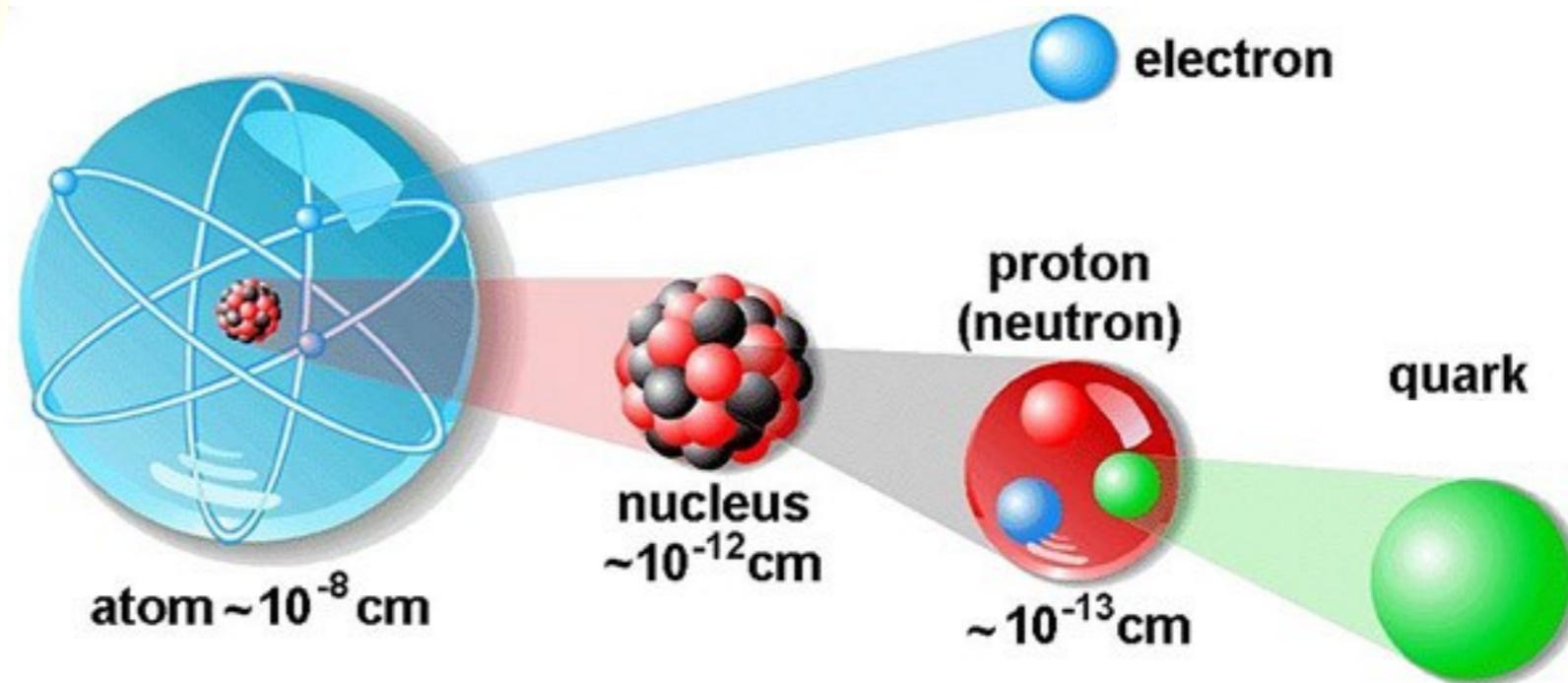
2011年度冬学期
主題科目テーマ講義

2012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



自主講義 「放射線学」



物理部会／広域・相関 助教 鳥居 寛之

(粒子線物理学・素粒子原子物理学)

東京大学 教養学部／大学院総合文化研究科

自主講義 「放射線学」

● 講義日程

- 第1回 5/10 (火)
- 第2回 5/17 (火)
- 第3回 5/24 (火)
- 第4回 5/31 (火)
- 第5回 6/ 7 (火)
- 第6回 6/14 (火)
- 予備日 6/21 (火)

物理部会／広域・相関 助教 鳥居 寛之

(粒子線物理学・素粒子原子物理学)

東京大学 教養学部／大学院総合文化研究科

自主講義 「放射線学」

- 第1回：講義概要のイントロ
(5/10) 放射線とは？
- 第2回：放射線と物質との相互作用《放射線物理学》
(5/17) (エネルギー損失、各種反応・散乱過程)
- 第3回：放射線の生体への作用と影響《放射線生物学》
(5/24) 放射線と放射能の単位
放射線の防護《放射線安全管理学》
- 第4回：原子核の壊変《原子核物理学》
(5/31) 核分裂反応《原子力工学》
- 第5回：放射線の利用、放射線診断・治療《放射線医療》
(6/7) 放射線の測定《放射線計測学》
- 第6回：高エネルギー・素粒子物理学《加速器科学》
(6/14) discussion

自主講義 「放射線学」

- 第1回：講義概要のイントロ
(5/10) 放射線とは？
- 第2回：放射線と物質との相互作用 《放射線物理学》
(5/17) (エネルギー損失、各種反応・散乱過程)
- 第3回：放射線の生体への作用と影響 《放射線生物学》
(5/24) 放射線と放射能の単位
放射線の防護 《放射線安全管理学》
- 第4回：原子核の壊変 《原子核物理学》
(5/31) 核分裂反応 《原子力工学》
- 第5回：放射線の利用、放射線診断・治療 《放射線医療》
(6/7) 放射線の測定 《放射線計測学》
- 第6回：高エネルギー・素粒子物理学 《加速器科学》
(6/14) discussion

人はなぜ恐れるのか。

知らないものには恐怖を感じる（生物の自己防御反応）。

慣れると恐れは弱まる。

根拠のない過信・安心は問題だが、👉 JCO の事故

根拠のない恐れや不安もまた問題。👉 パニック、風評。

被災地に対する風評被害

日本人・モノに対する外国の過敏対応（日本製品の輸入禁止、海外の空港で放射線検査、関西でも観光客・留学生激減）

「絶対安全」は世の中に存在しない。
相対的なリスク評価の目を養うべき。

BSE の全頭検査要求は絶対安全の幻想を求めた結果。
（あるいは、米国の対策に対する不信感の表れ）

（原発の是非を論ずるのではなく、現在の汚染状況においてどう行動すべきかの指針となることを今日の講義の目的とする）

身の回りにも放射線が存在している。食品にも。

放射線を恐れるあまりカリウムを摂取しないと栄養問題で体調に失調をきたす。

他のリスクとの比較。交通事故、転落事故、食中毒、携帯電話の電波の影響？、新型インフルエンザ対策

避難・移住によるリスク、避難所での保健衛生対策（東北の避難生活で亡くなった人は数十名を下らない。）

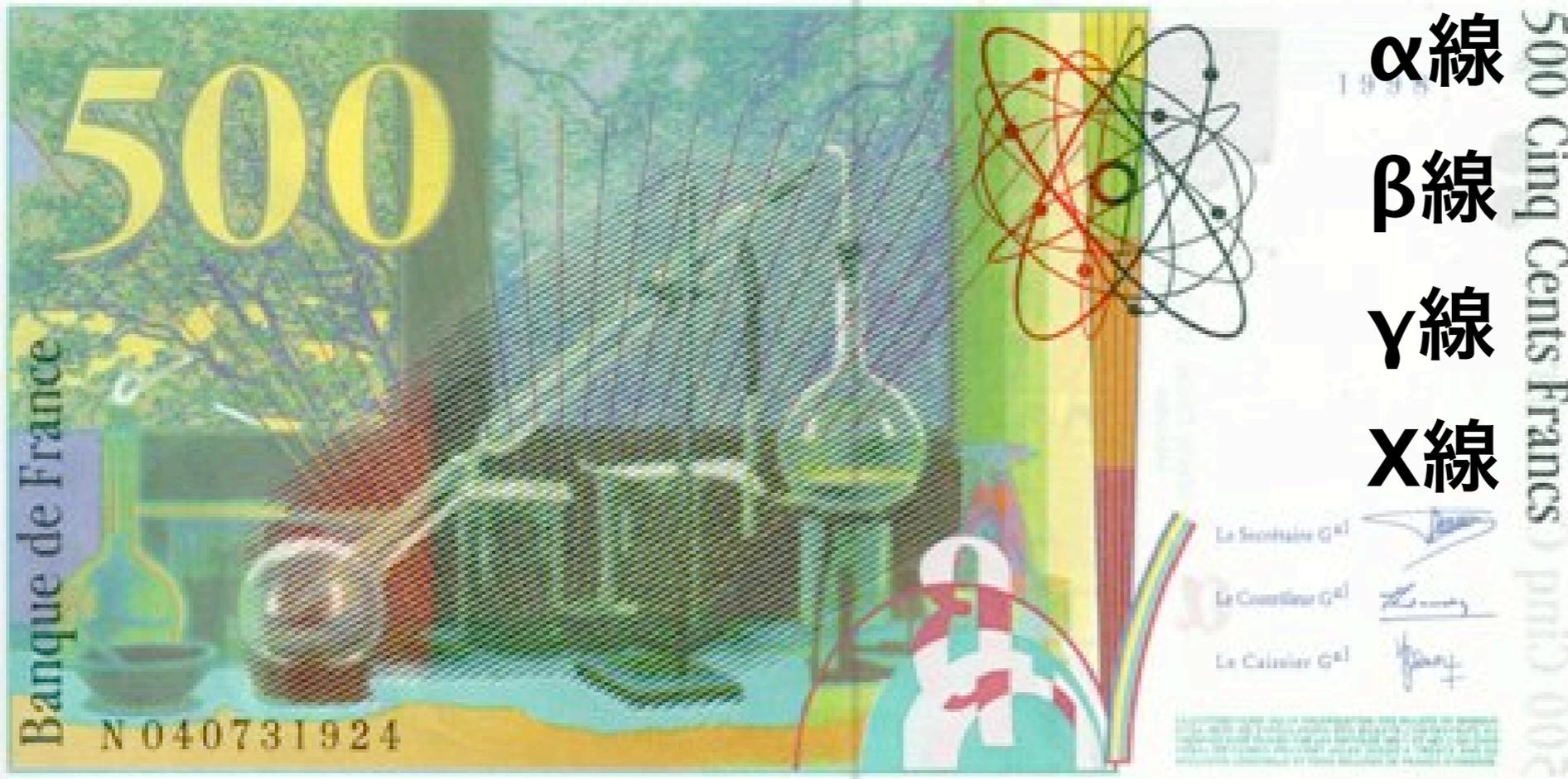
知らぬが仏：冷戦時代の核実験

合理性：ベネフィットとリスク、またコストとの兼ね合い。

放射線とは？

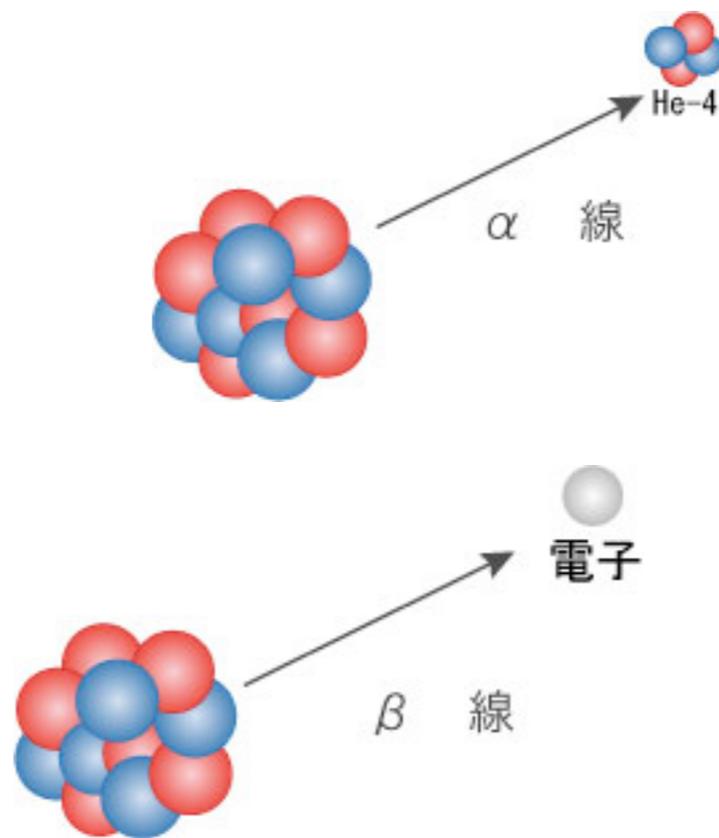
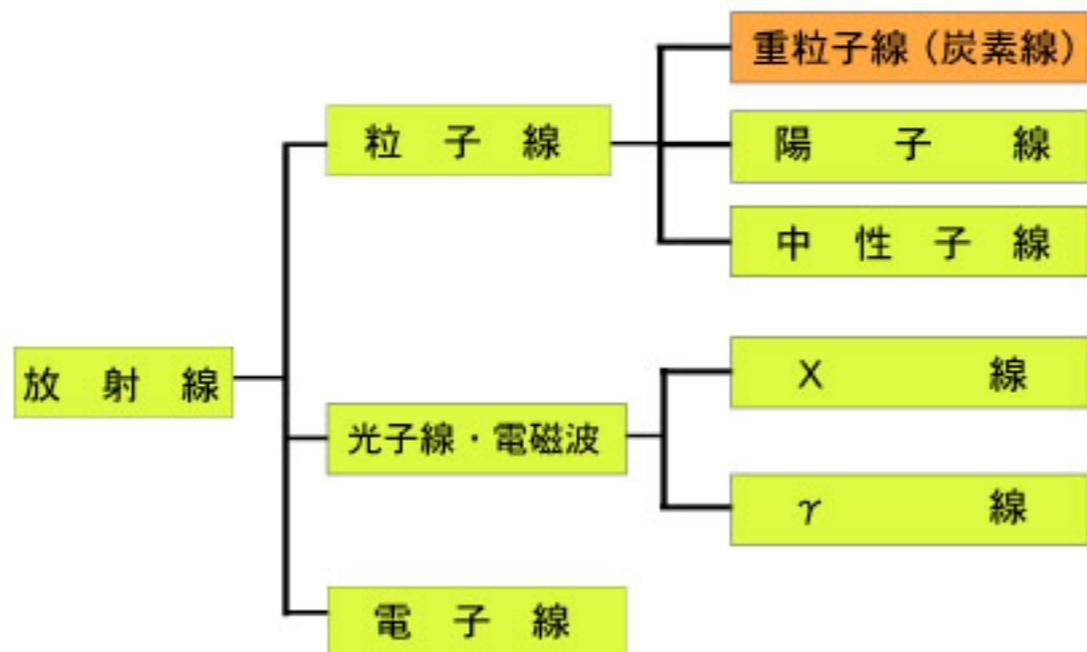


Billet de 500 Francs Français
en circulation: 1993–1999



- α 線 ヘリウム原子核
- β 線 高速の電子
- γ 線 光子（電磁波）
- X線 光子（電磁波）

放射線の種類 (放射線治療分野で用いられる分類)

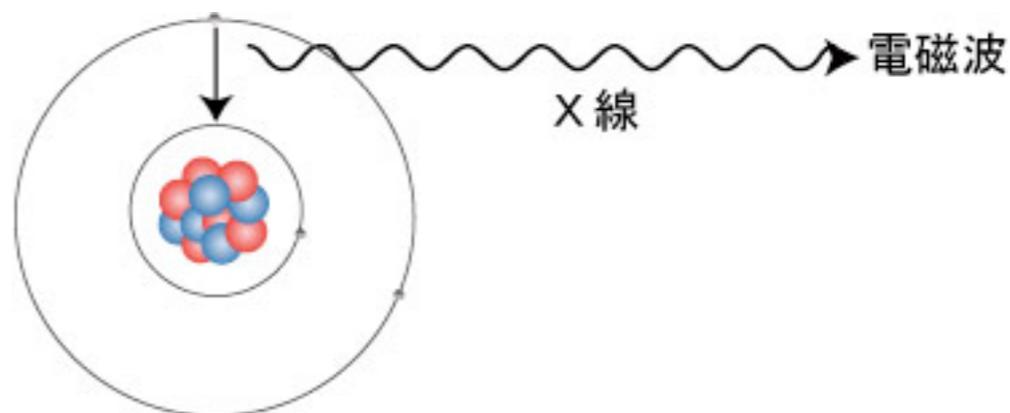
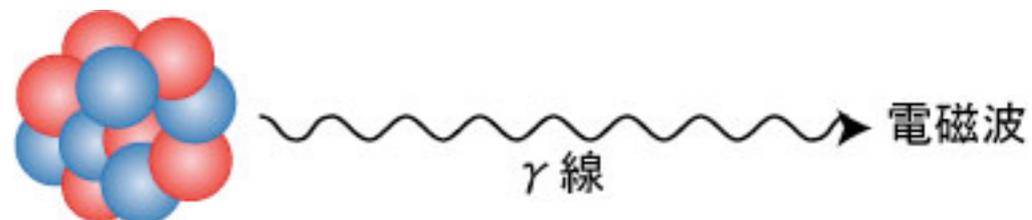


放射線のもつエネルギーは？

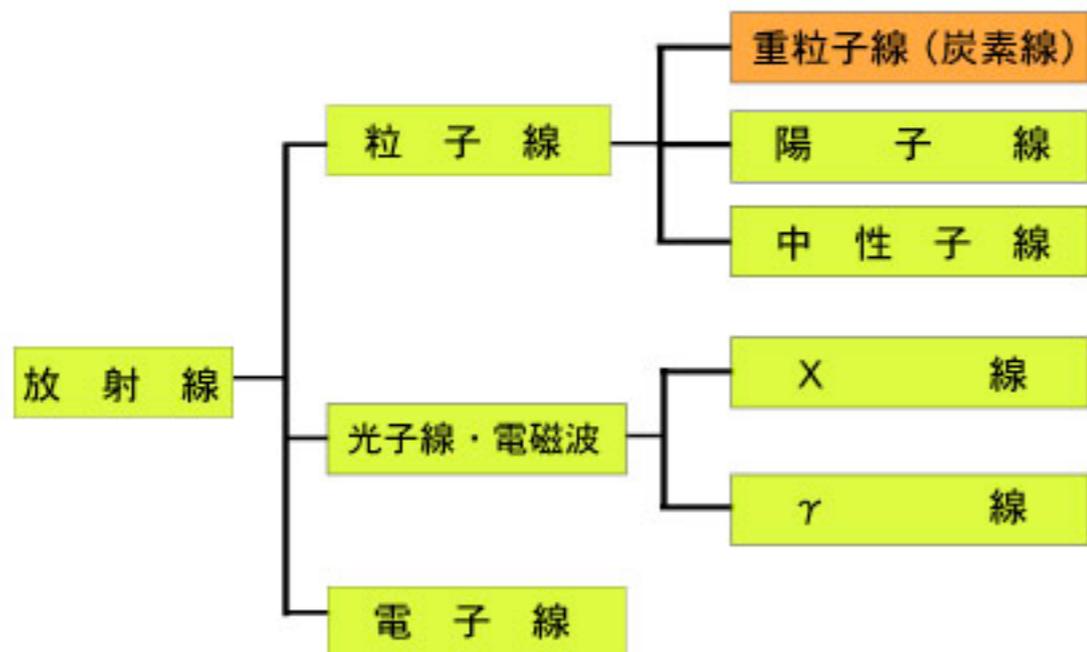
👉 **100 keV ~ MeV** for α/β/γ

原子の束縛エネルギーは？

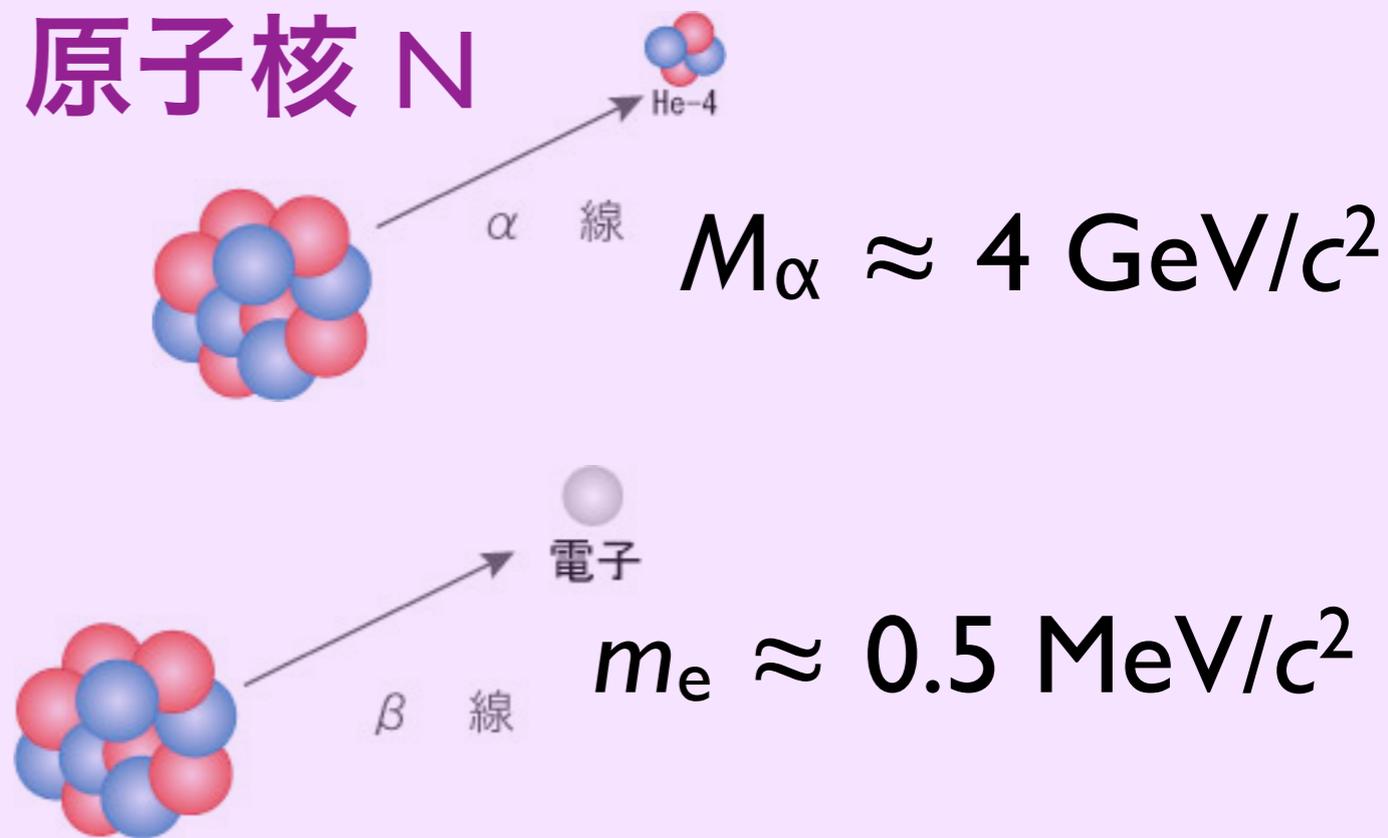
👉 **最外殻電子で 10 eV 程度**



放射線の種類 (放射線治療分野で用いられる分類)



原子核 N

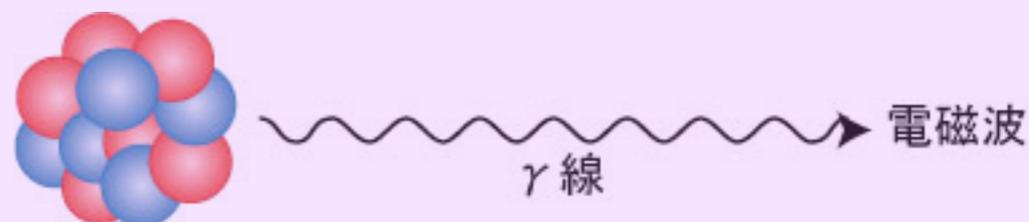


放射線のもつエネルギーは？

👉 100 keV ~ MeV for $\alpha/\beta/\gamma$

原子の束縛エネルギーは？

👉 最外殻電子で 10 eV 程度

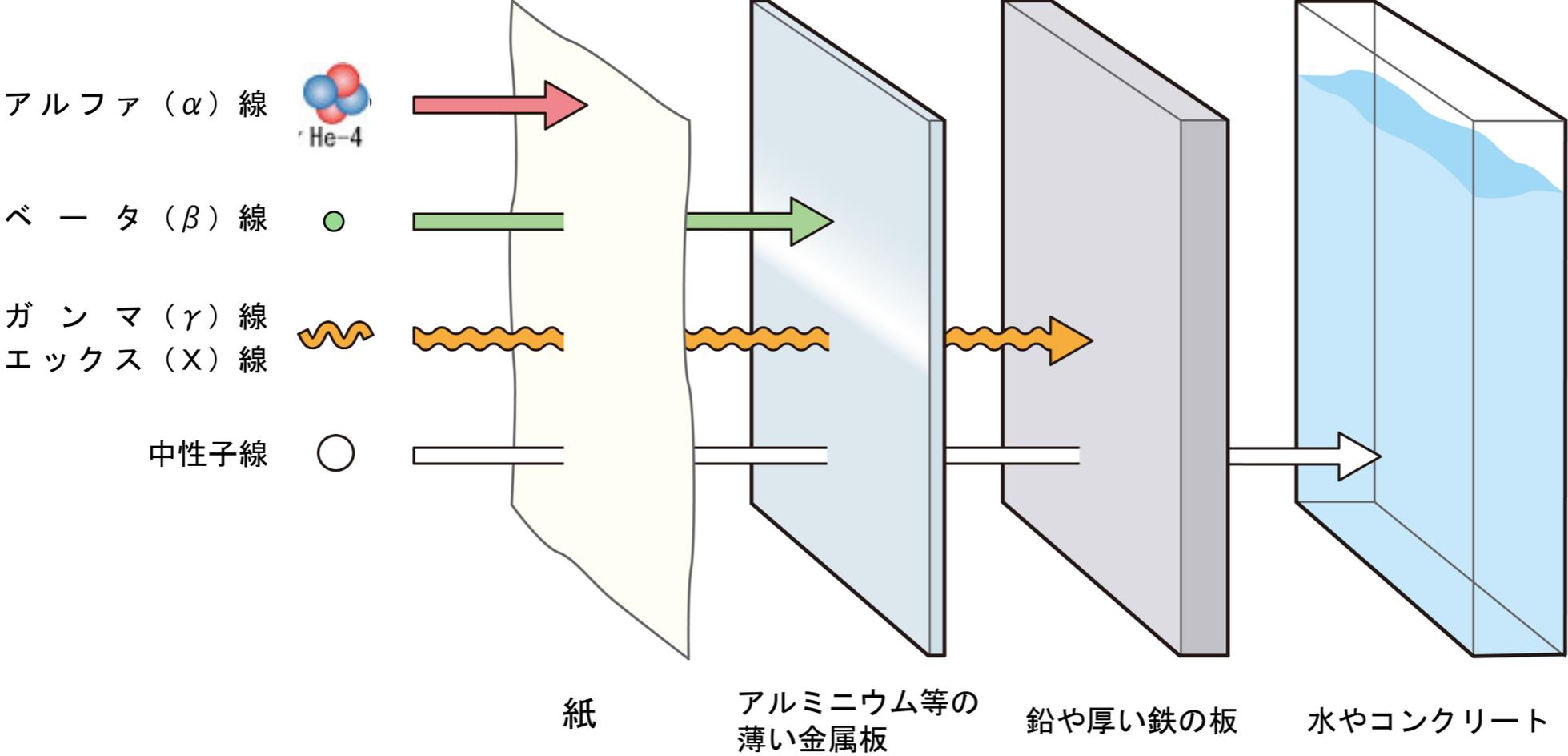


原子 A 10 ~ 100 keV

放射線の種類、透過力と遮蔽

透過力が強い =
なかなか反応しない

α線を止める β線を止める γ線、X線を止める 中性子線を止める



飛程 Range

阻止能の逆数を積分。

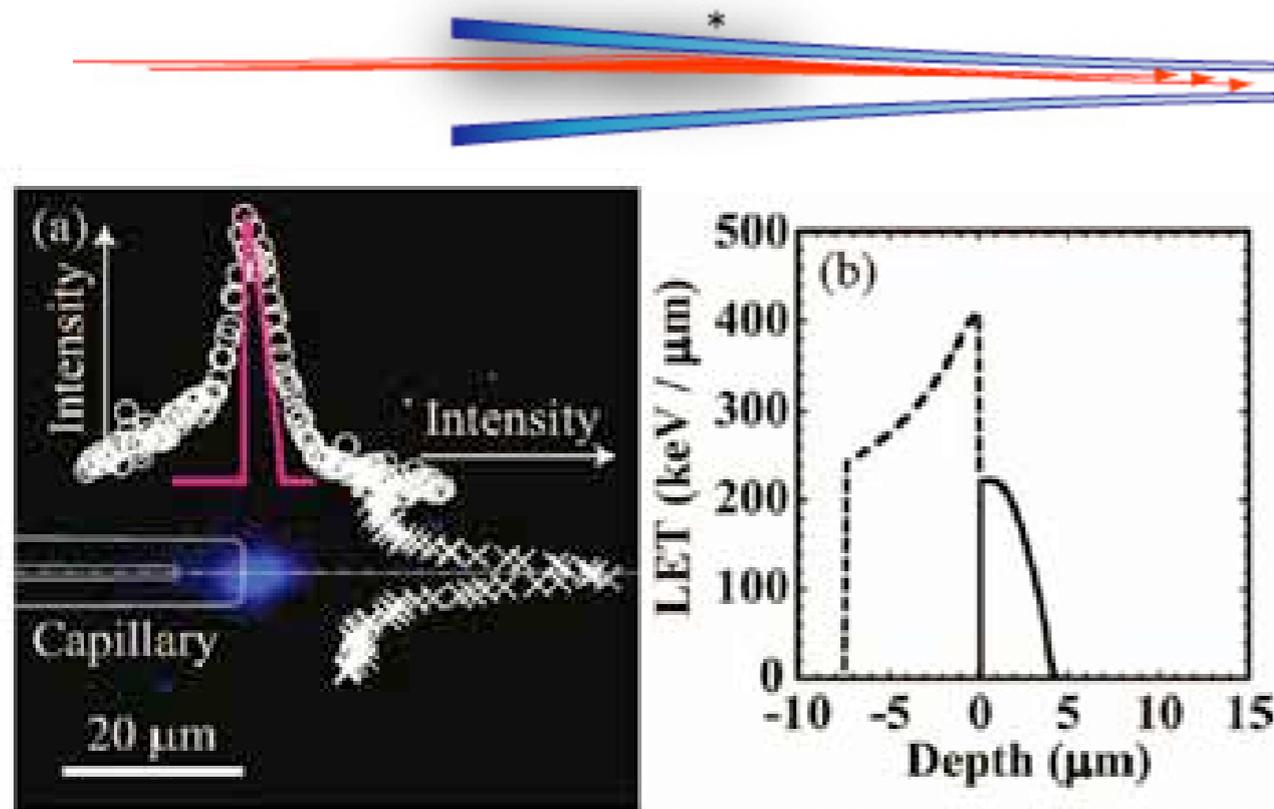
質量阻止能
MeV / (g / cm²)

$$-\frac{1}{\rho} \left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle \propto \frac{z^2}{v^2} = \frac{z^2 M/2}{Mv^2/2} \propto \frac{z^2 M}{T}$$

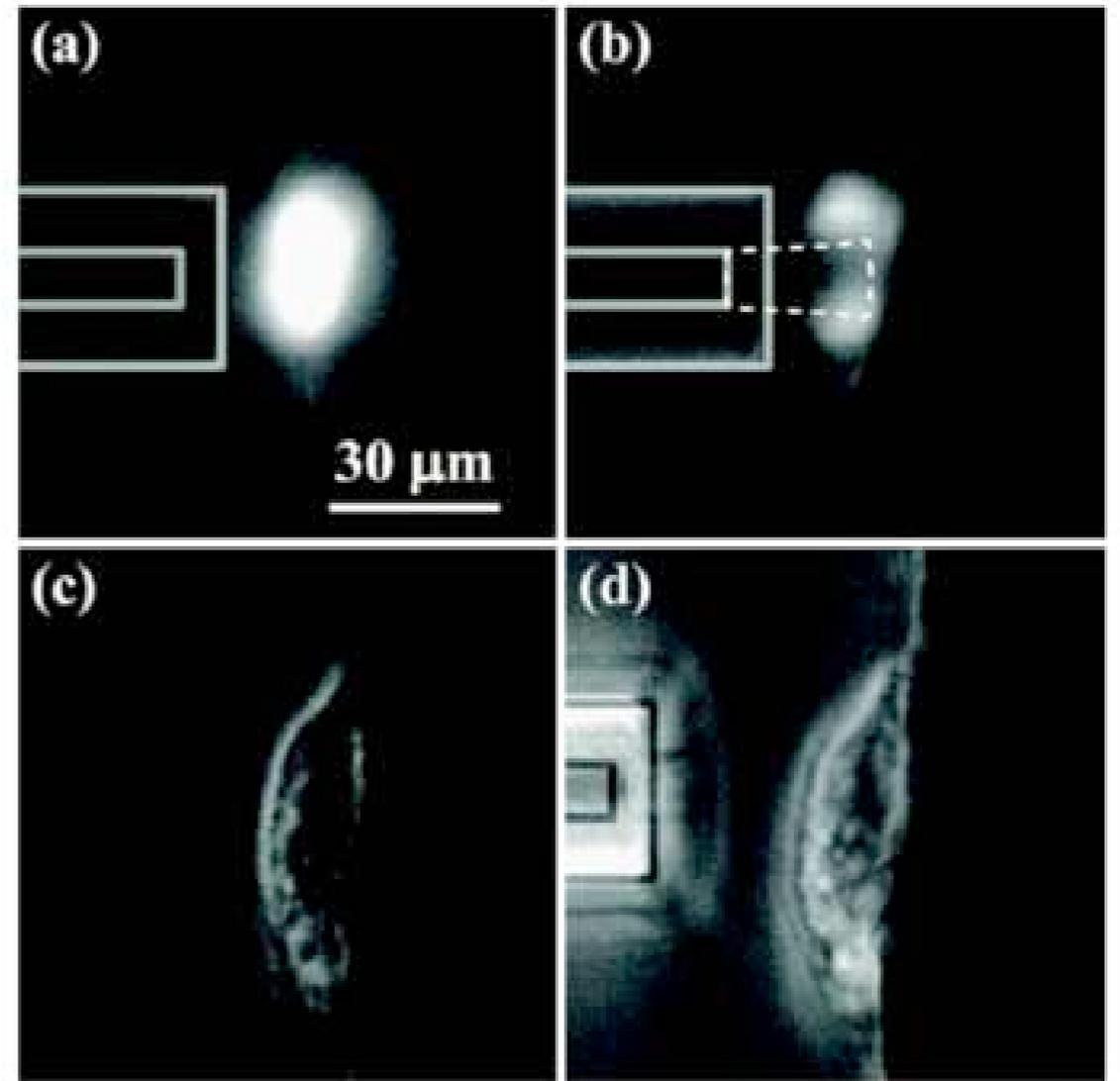
放射線生物学

イオンマイクロビームの 細胞照射

理研 山崎原子物理研
高知工科大



Y.Iwai *et al.* APL 92, 023509 (2008).



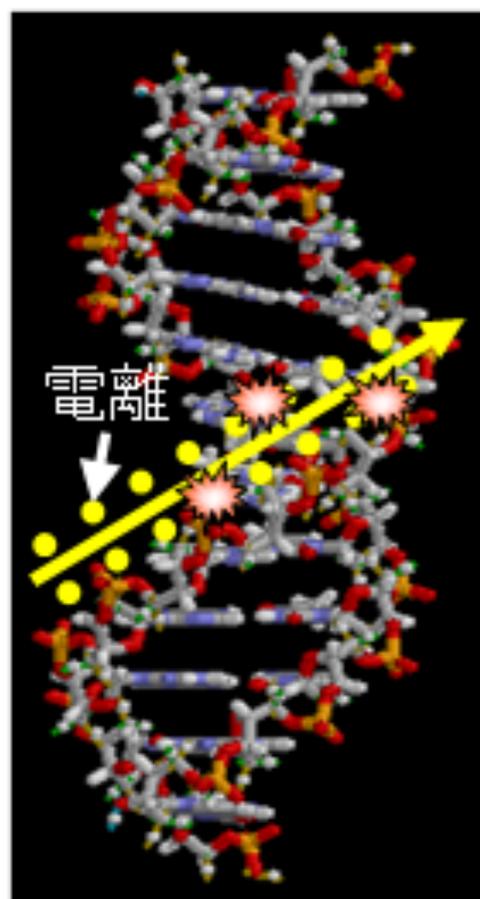
Y.Iwai *et al.* APL 92, 023509 (2008).

実際の細胞内の標的に照射した実験を紹介する。
標的はHeLa細胞の核で、核内にあるヒストン
(H2B) と、蛍光タンパク質 (green
fluorescent protein : GFP) との融合タンパク質
で核がラベルされ、楕円形に光っている：図(a)。

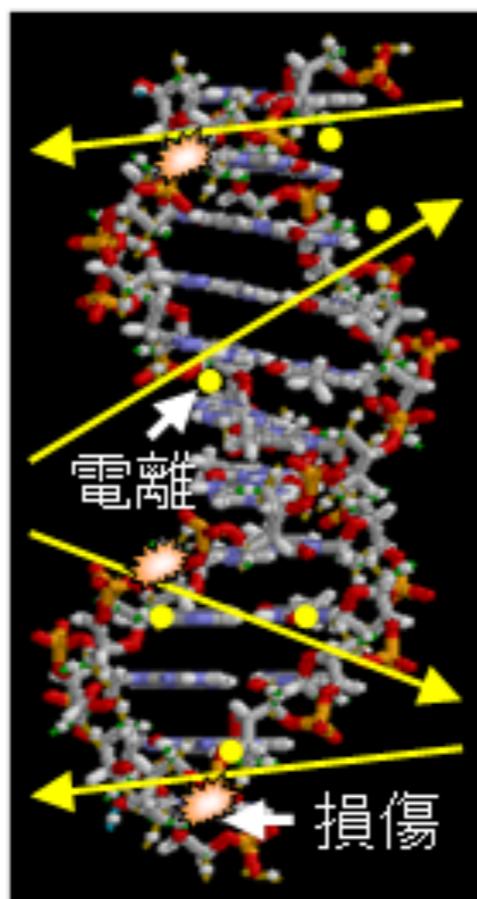
図：ヒストンとGFPの融合タンパク質でラベルされた核をもつHeLa細胞への
照射前と後の写真：蛍光イメージによる照射前 (a) と 4 MeV He 2+ イオンマ
イクロビーム照射後 (b) 、および位相差顕微鏡でのイメージによる照射前 (c) と
照射後 (d) : (d) では、照射が終了してガラスキャピラリー先端を細胞から離
したところ。また、(b) の点線領域はSRIM-2006によるシミュレーションで予
測した被照射領域。

図(b) は照射を始めてから約7秒後の蛍光イメージ。光っていた領域の内部に暗い領域が現われたが、これは
GFP分子内の蛍光を担っている部分がダメージを受けて被照射領域のみが退色したものと考えられ、核内の選
択的照射が行われたことを示している。

放射線による DNA 損傷



重イオン



電子

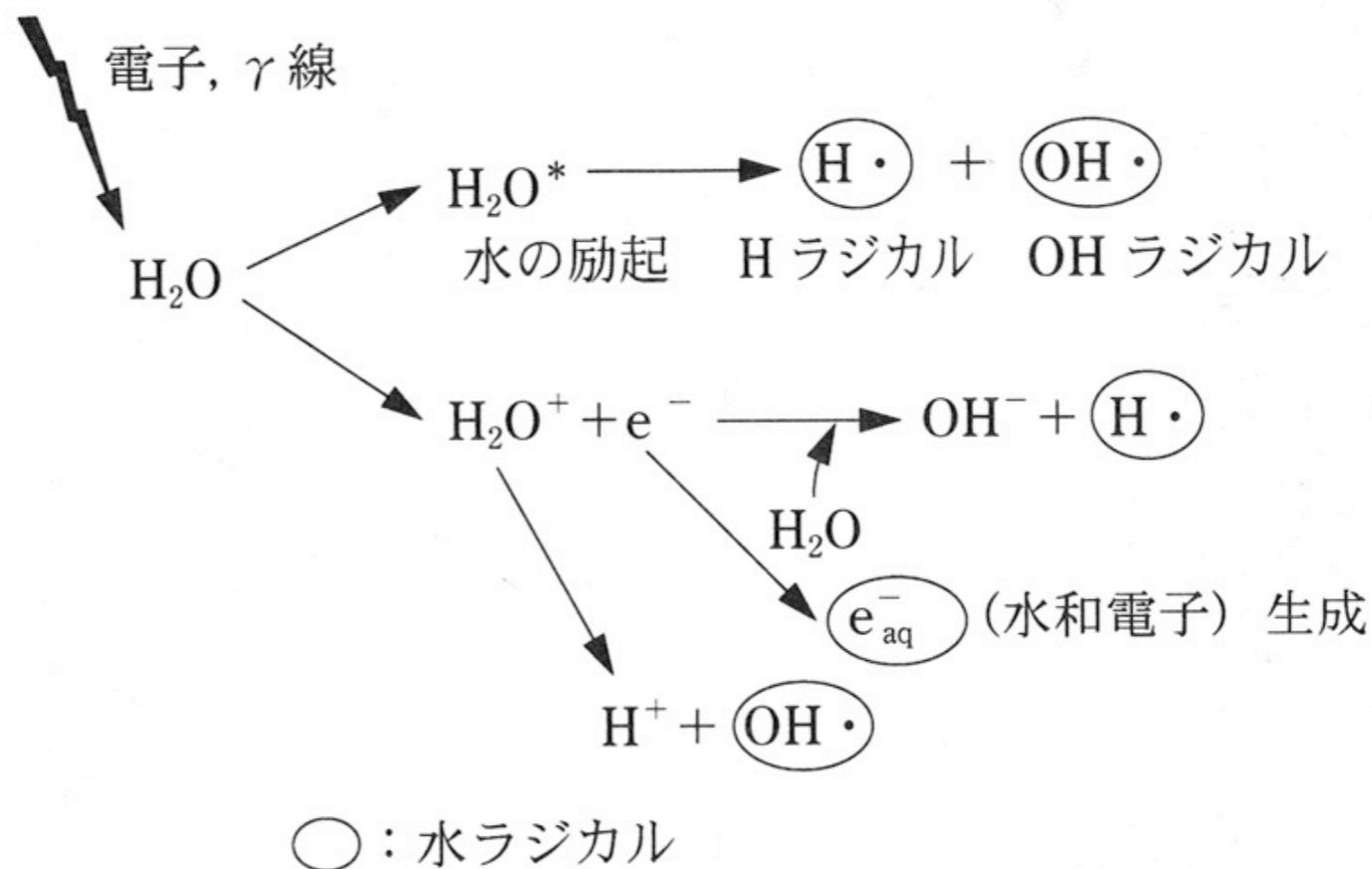
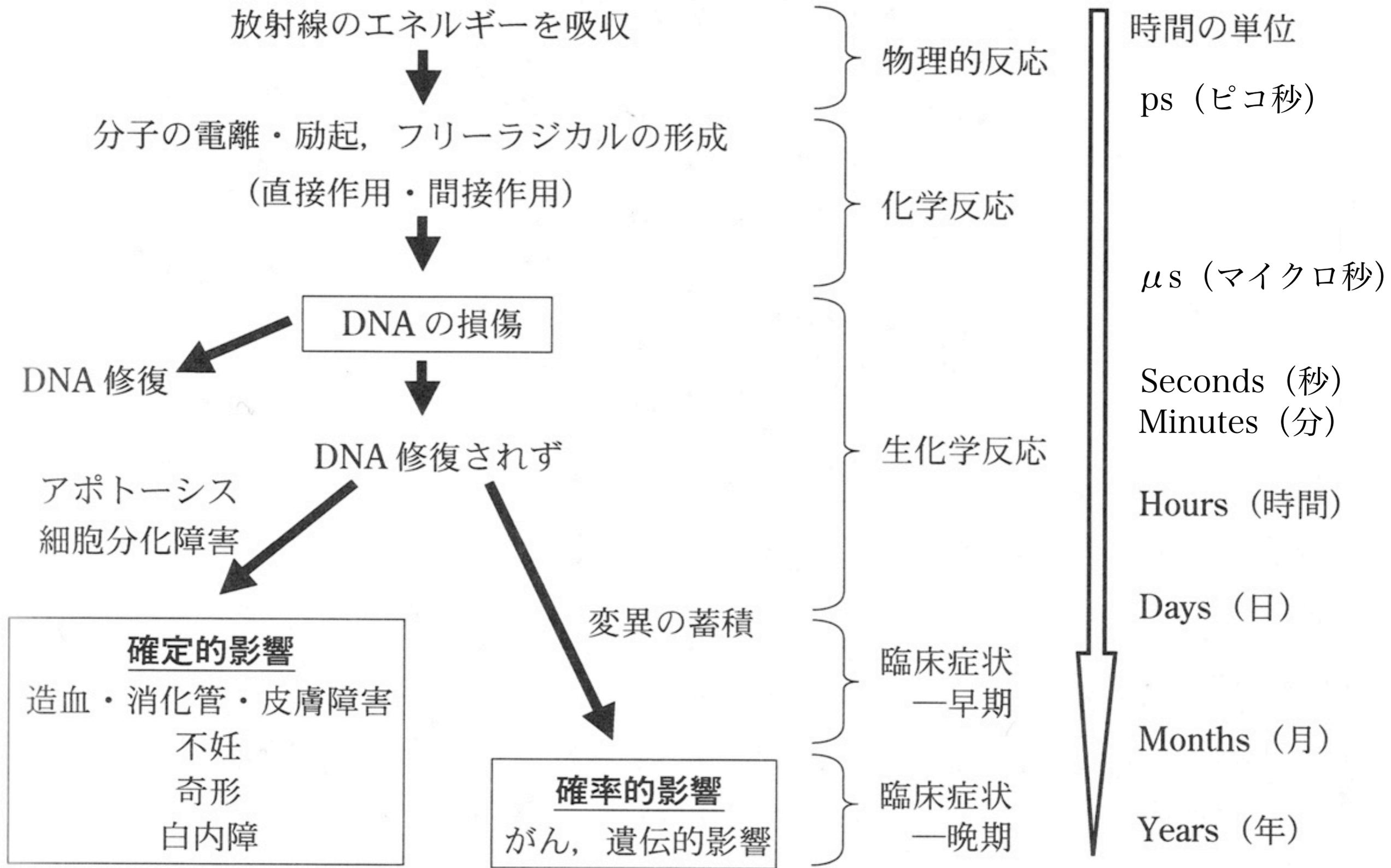


図 6・5 電離放射線による水分子の電離と励起の概略

放射線の直接作用：荷電粒子が直接 DNA 分子を叩く **高 LET 放射線**

と間接作用：水の電離で生じるラジカルが DNA 分子に作用

低 LET 放射線



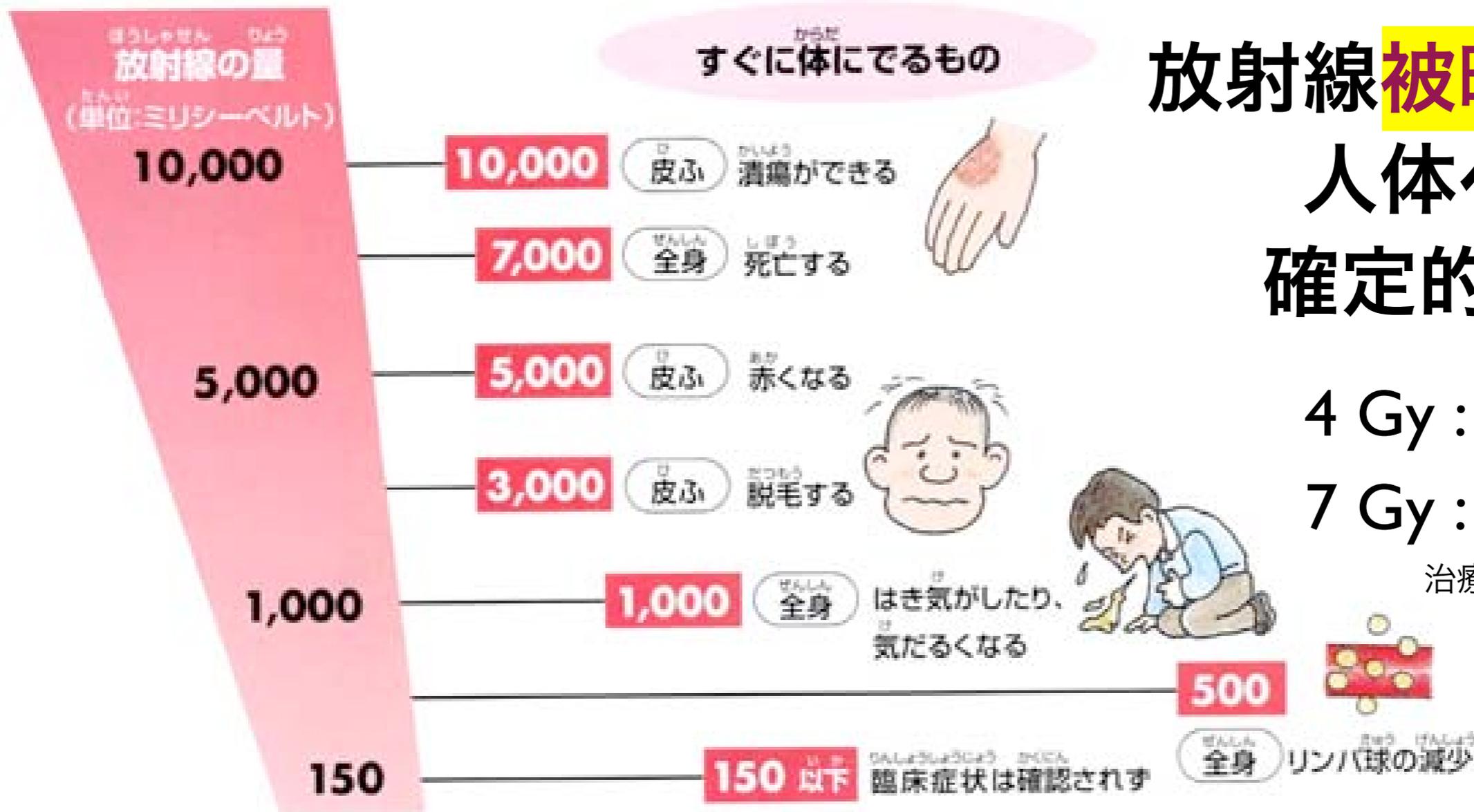
放射線被ばく後に起こる生体反応の経時的変化

放射線被曝による 人体への 確定的影響

4 Gy : 半数死亡
7 Gy : 全員死亡

治療により助かることも。

すぐに体にできるもの



JCO 事故 チェルノブイリの 消防隊員

細胞再生系	造血組織				腸上皮	皮膚	精巣	水晶体
幹細胞 ↓ 幹細胞 芽細胞 ↓ 機能細胞 ↓ 老熟細胞 ↓ 老熟細胞 (死滅)	幹細胞 ↓ リンパ球 好中球 赤血球 血小板				腺窩 (幹細胞) ↓ 絨毛	基底細胞 (幹細胞) ↓ 角質層	幹細胞 ↓ 精子	上皮 (幹細胞) ↓ 水晶体繊維 赤道部
正常な分化過程	4	4	4	4日	2日	2週間	3-4週間	1/2-3年
正常な成熟過程	1	7-10	7	100日	2日		7-8週間	
照射による変化	免疫能力低力	血液凝固時間延長	食作用低力	酸素輸送低力	絨毛の短縮と喪失、出血、下痢	紅斑、萎縮、潰瘍	一時的または永久不妊	白内障

確定的影響

幹細胞の損傷による組織細胞の欠如、
造血器障害（☞ 骨髄移植）、不妊

影響は即座ではない。

表1 確定的影響(放射線症と半致死線量LD_{50/60})

放射線障害	被ばくと障害	線量 (Gy)	被ばく後の障害発症時間	出典
造血器症候群	急性被ばく			
造血能低下	発症閾値	0.5	1週間以内	(1)、(2)
白血球減少	50%発症	1-2	約48時間	(2)
造血器障害(医療なし/不十分)	50%死亡	約2.5	60日	(2)
同上(十分な医療)	同上	約5	同上	(2)
同上(骨髄移植成功の場合)	同上	~9	同上	(2)
消化管症候群	急性被ばく			
嘔吐	50%発症	約2	約3時間	(2)
消化管障害	死亡	約5-15	10-20日	(1)
神経症候群	急性被ばく			
神経障害	死亡	>15	1-5日	(1)
その他				
精巣(一時的不妊)	急性被ばく	0.15	-	(1)
同上	慢性被ばく	0.4 Gy/年	-	(1)
卵巢(不妊)	急性被ばく	2.5-6 Gy/年	-	(1)
同上	慢性被ばく	>0.2 Gy/年	-	(1)

注: (1) …ICRP 1990年勧告 (2) …UNSCEAR 1988年報告書

下記の出典をもとに作成した。

[出典](1)(社)日本アイソトープ協会:国際放射線防護委員会の1990年勧告(1991年11月)、p.122、p.124

(2)放射線医学総合研究所(監訳):放射線の線源・影響およびリスク、(株)実業広報社(1990年4月)、p.653、p.655

低線量被曝では**確定的**影響は起きない。

「**ただちに影響が出ないレベル**」

確率的影響(の可能性)が議論の対象となる。

❖ がん

❖ 遺伝的影響の有無

あくまで確率でしか議論できない。

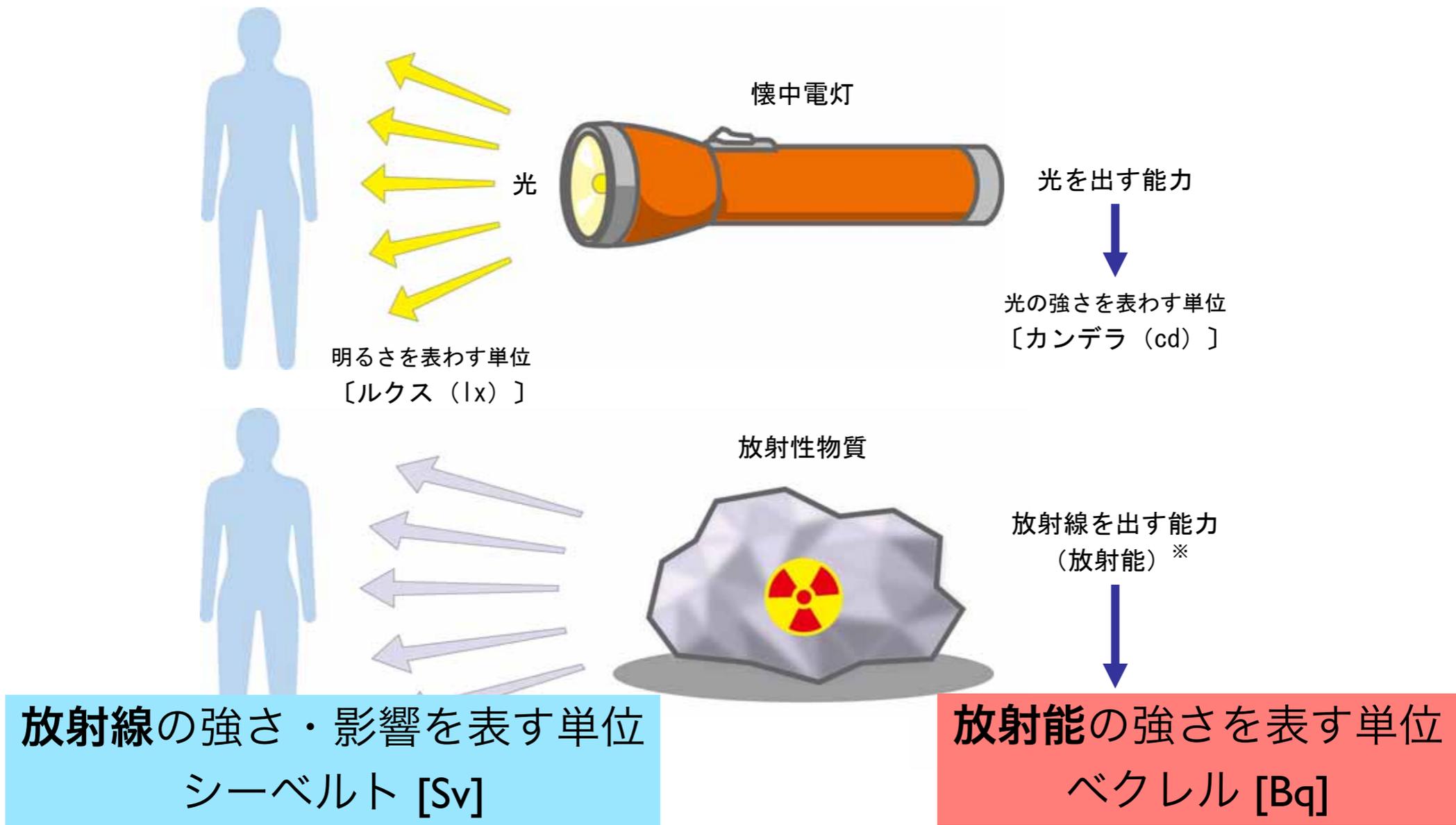
リスクの確率。

しかしそもそも、放射線を浴びなくても確率はゼロではない。

(日本人の3人に1人はがんで死亡する。)

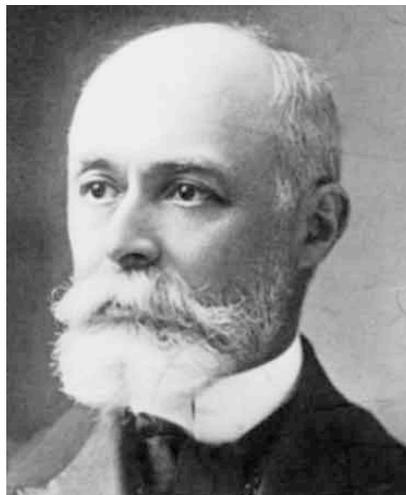
疫学調査の結果から結論を導きだすのは**統計学的**に困難。

放射能と放射線



6-1

出典：資源エネルギー庁「原子力2010」



放射能 (radioactivity) の単位

$$[\text{Bq}] \quad | \quad \text{Bq} = 1 \text{ dps}, \quad [\text{Ci}] \quad | \quad \text{Ci} = 37 \text{ GBq}$$

Becquerel

decay/disintegration
per second

Curie



放射線量 (radiation dose) の単位

Gray



吸収線量 absorbed dose $D [J / kg] = [Gy]$

等価線量 equivalent dose $H_T [J / kg] = [Sv]$

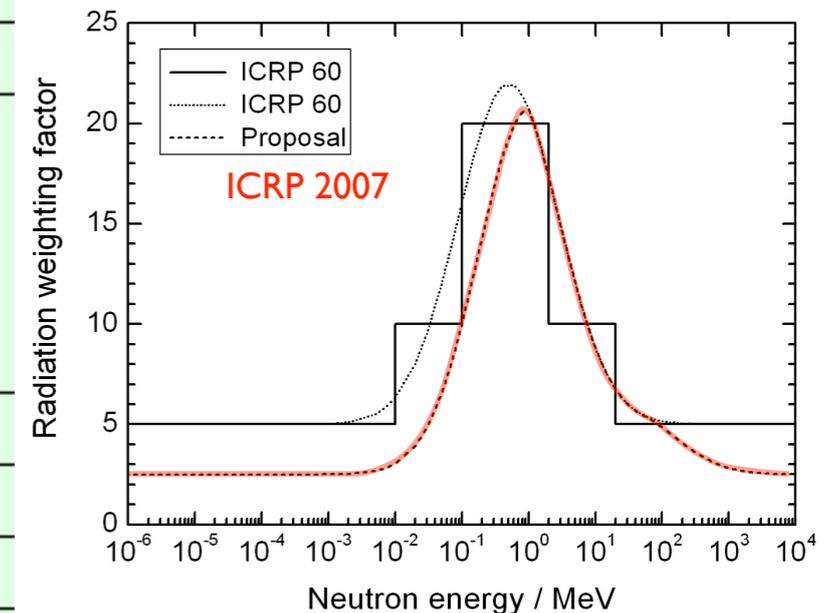
実効線量 effective dose $E [J / kg] = [Sv]$

Sievert



表 1 放射線荷重係数

放射線の種類・エネルギーの範囲	放射線荷重係数: W_R	
光子(X線・γ線); 全てのエネルギー	1	1
電子(β線)およびミュー粒子; 全てのエネルギー	1	1
中性子; 10keV 以下	5	see graph
10keV~100keV	10	
100keV~2MeV	20	
2MeV~20 MeV	10	
20MeV以上	5	
反跳陽子以外の陽子; エネルギー 2MeV 以上	5	2 (正負パイオンも)
アルファ粒子(α線)	20	20
核分裂片	20	20
重原子核	20	20



[出典] 日本アイソトープ協会:ICRP Pub 60、国際放射線防護委員会の1990年勧告、丸善、p7(1991)

赤字 ICRP 2007

身の周りの放射線



ブラジル・ガラバリの放射線
(年間、大地等から) 10

放射線の量
(ミリシーベルト)

10

Sv (E)

胸部X線コンピュータ断層
撮影検査(CT スキャン)(1回) 6.9



1人あたりの
自然放射線(年間)(世界平均) 2.4

1

一般公衆の線量限度(年間)
(医療は除く) 1.0



岐阜 ↔ 神奈川



0.4

胃のX線集団検診(1回) 0.6



国内自然放射線の差(年間)
(県別平均値の差の最大)

0.1

胸のX線集団検診(1回) 0.05



Sv (E)

東京—ニューヨーク航空機
旅行(往復)
(高度による宇宙線の増加) 0.2

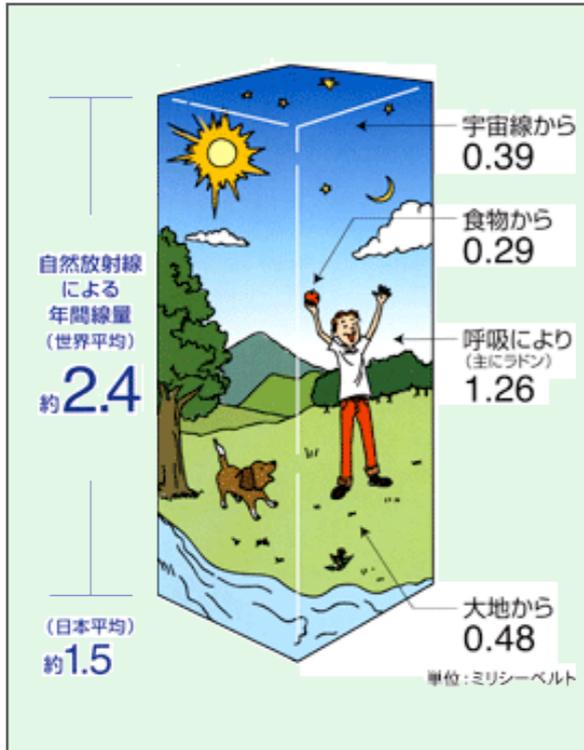


再処理工場からの放射性物質
の放出による評価値(年間) 0.022

クリアランスレベル導出の
線量目安値(年間) 0.01

0.01

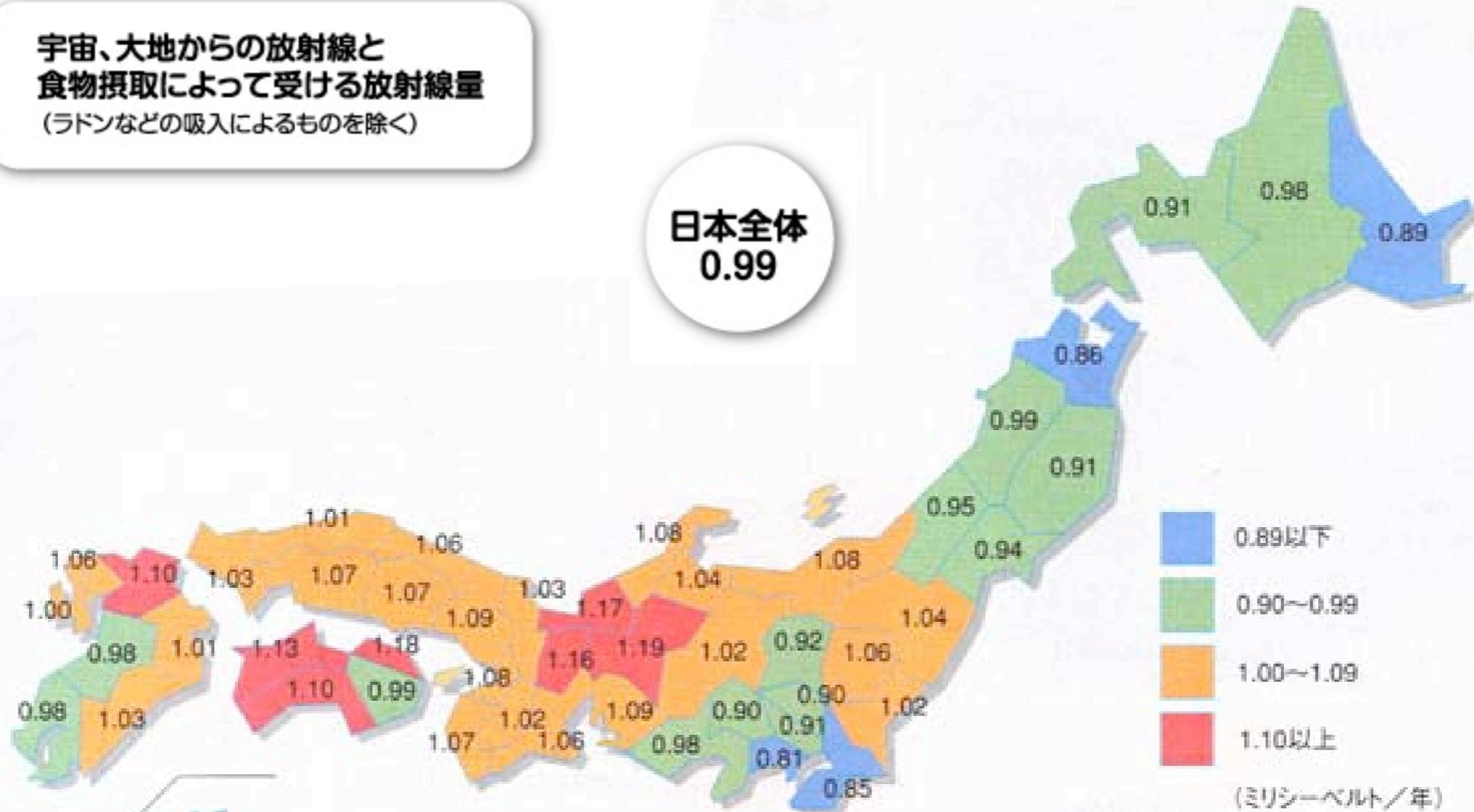
原子力発電所(軽水炉)周辺の線量目標値(年間)
(実績ではこの目標値を大幅に下回っています)



全国の自然放射線量

宇宙、大地からの放射線と
食物摂取によって受ける放射線量
(ラドンなどの吸入によるものを除く)

日本全体
0.99



〔放射線医学総合研究所調べ〕 (1988年)

《表5》 土壌や岩石中に含まれる天然の放射性物質

放射性物質の種類	放射能濃度 (ベクレル/kg)	
	一般の土壌・岩石	花こう岩
カリウム40	100~700	500~1600
ウラン238 (娘核種を含む)	10~50	20~200
トリウム232	7~50	20~200

出典：国連放射線影響科学委員会報告 (1982) など

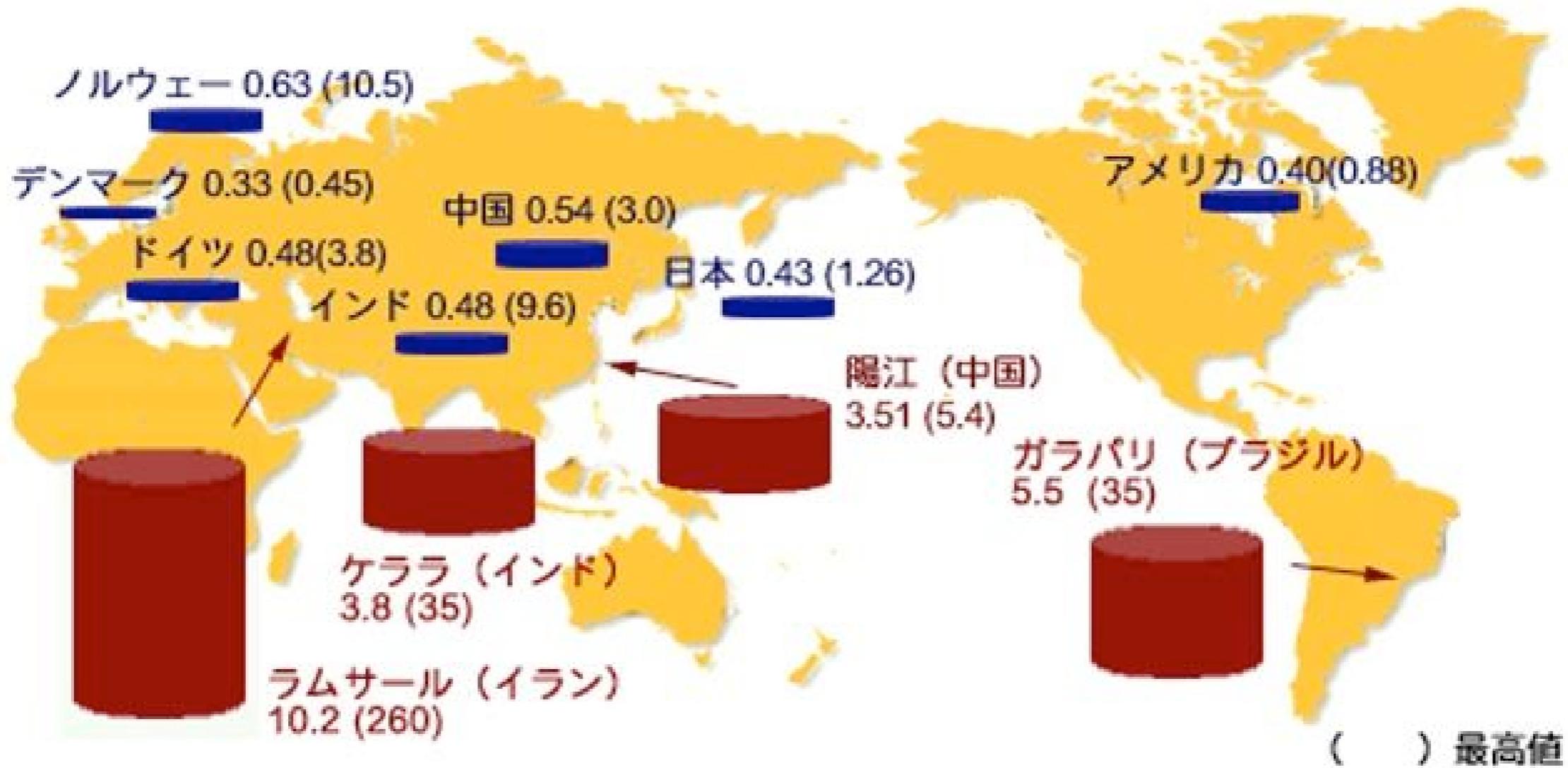


図2 陽江市・恩平県放射線環境調査実施地域

表1 高自然放射線地区と対照地区におけるがん死亡率の比較^{7,8)}

	高自然放射線地区	対照地区
自然放射線量率 (mSv/年)	5.5	2.1
がん死亡率 (10万人・年)	48.8	51.1
調査人数・年	1,008,769	995,070

《表6》世界各地における年間積算線量の例 (ラドンを除く)

国名	空間線量のみ (ミリシーベルト/年)	備考
オーストリア	0.47~0.56	
フランス	{ 0.45~0.9 1.8~3.5	石灰岩 花崗岩と頁岩
日本	{ 0.23~0.37 0.79~1.19	関東ローム 花崗岩と地域
スウェーデン	{ 0.7~1.0 0.6~1.2 0.5	ストックホルム街路 火成岩 粘土
イギリス	{ 0.18~0.61 0.77~1.55	堆積岩または粘土 花崗岩地域
アメリカ	0.45~1.3	23州での測定
インド	1.31~28.14	ケララ地方
ブラジル	~12.0	ミナミ地方

出典：主として「放射線化学1971-6月」(放射線医学総合研究所編)

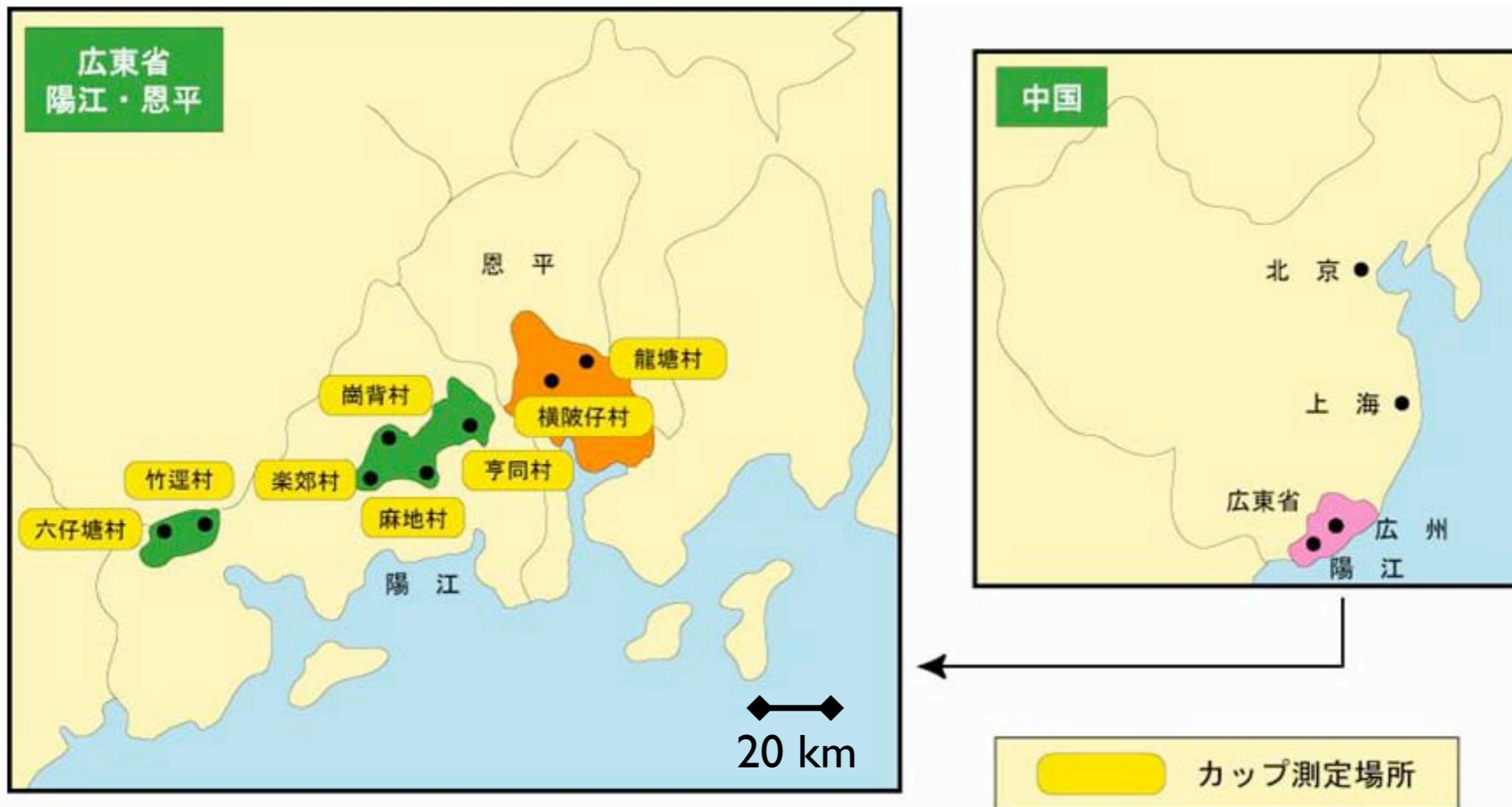


図2 陽江市・恩平県放射線環境調査実施地域

表1 高自然放射線地区と対照地区におけるがん死亡率の比較^{7,8)}

	高自然放射線地区	対照地区
自然放射線量率 (mSv/年)	5.5	2.1
がん死亡率 (10万人・年)	48.8	51.1
調査人数・年	1,008,769	995,070

低線量・低線量率の被曝とガン死亡

表3 航空パイロットと一般人のがん死亡率の比較^{2,16)}

累積線量 (mSv)	0~4.9	5.0~14.9	15.0~24.9	25.0+
全がん死観察数 (O)	116	79	98	72
全がん死期待数 (E)	128	117	138	120
全がん死のSMR (O/E)	0.91	0.67	0.71	0.6
(95% 信頼限界)	(0.72~1.1)	(0.53~0.87)	(0.58~0.91)	(0.45~0.77)

飛行機パイロットの線量は、一般人の線量よりも約10倍高い。

表5 増殖期のヒト細胞におけるDNA損傷の自然発生率と放射線誘発率の比較⁷⁾

傷の種類	自然の傷(/細胞/日)	X線誘発の傷(/細胞/1 Sv)
塩基損傷	20,000	300
1本鎖切断	50,000	1,000
2本鎖切断	50(推定 ^{2,19)})	40

表6 がん死の相対比と放射線の少線量被ばく量やDNA修復不全との関連*

少線量被ばくなどの調査集団	がん死の相対比	被ばく量(被ばく期間) ; 遺伝的不全
1) ベラルーシ国ゴメリの子供	1.00	150 mSv(5年間)
2) 中国の高自然放射線地区住民	0.95	330 mSv(60年間)
3) 米国の原子力船修理造船工	0.85	35 mSv(10数年間)
4) 英国の放射線科医	0.71	100 mSv(20年間)
5) 欧州の航空機パイロット	0.68	20 mSv(約10年)
6) 原爆放射線被ばく者	1.08	200 mSv(~数マイクロ秒)
7) ナイミーヘン切断症候群患者	600	DNA修復不全

*1) は図2より; 2) は表1より; 3) は表4より; 4) は表2より; 5) は表3より; 6) は式(1)より; 7) は「ナイミーヘン切断症候群」のセクションより。

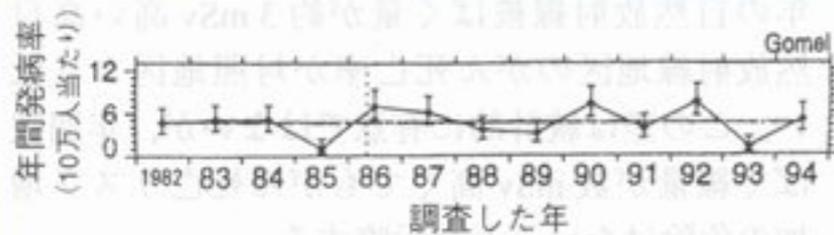
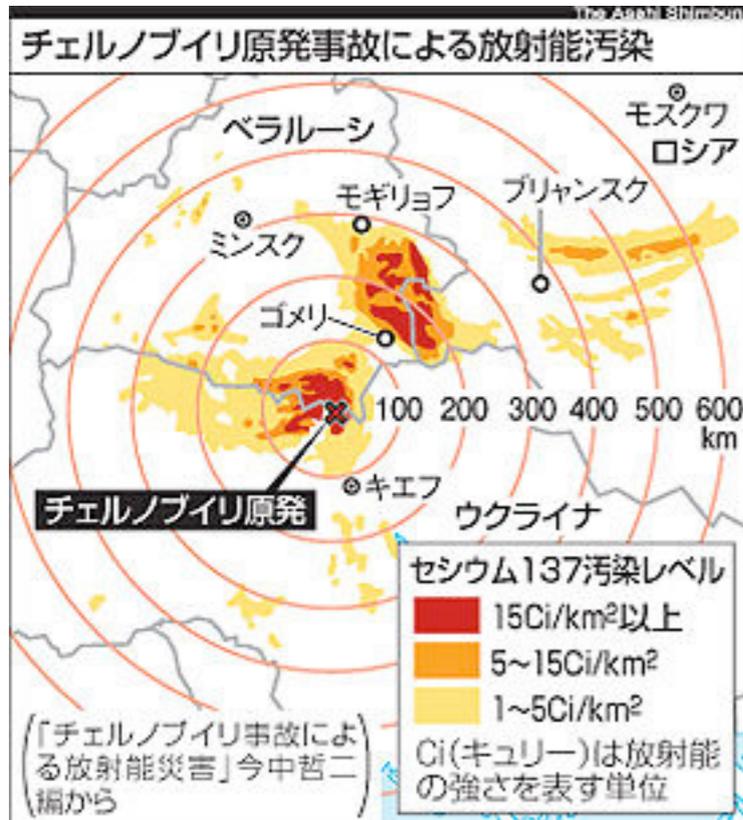


図2 ゴメリの小児白血病の年間発病率(●)の年次変化男子の場合。チェルノブイリ事故は1986年に発生。(E. P. Ivanov, et al.: Radiat. Environ. Biophys., 35: 75-80 (1996) より)

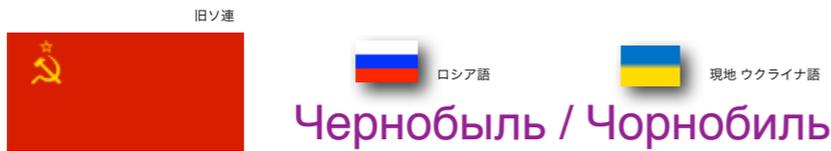


原爆では放射線の全線量が瞬時に照射されたから、200 mSvの被ばくでも放射線の危険性がつきまとった。他方、放射線の少しずつの慢性被ばくでは、DNA損傷が少しずつ時間をおいてできるので、放射線による傷はDNA修復で完全治癒される時間的余裕がある。DNA 2本鎖切断の修復不全症であるナイミーヘン切断症候群患者のがん死の相対比は600と異常に大きい。

人体の細胞では核内のDNAが最も重要な分子である。DNAには毎日たくさんの傷が自然に発生している(表5)が、正常人の細胞はこれらのDNAの傷を修復する防御機能を持っている。正常な人の身体は、少しずつ浴びる放射線にはびくともしない。これは、正常人の場合、放射線によるDNA損傷を、自然のDNA損傷と同様に、DNA修復が見事に治癒してくれるからである。

近藤宗平「放射線の功罪 -放射線の危険性に対する防御-」Isotope News 2007/4
「人は放射線になぜ弱いのか(第3版)」講談社、ブルーバックス B-1238 (1998)

低線量・低線量率の被曝とガン死亡



チェルノブイリ原発事故

^{131}I (ヨウ素131) total **2 EBq** ^{200 京ベクレル}
(2×10^{18} Bq) !!

初期消火に当たった消防隊員らが
致死・亜致死量の被曝。28人死亡。

3 km にあるプリピャチ市民は翌日に強制避難
半径 10 km 圏内の避難が1週間遅れた。

(最大で 750 mSv の被曝)

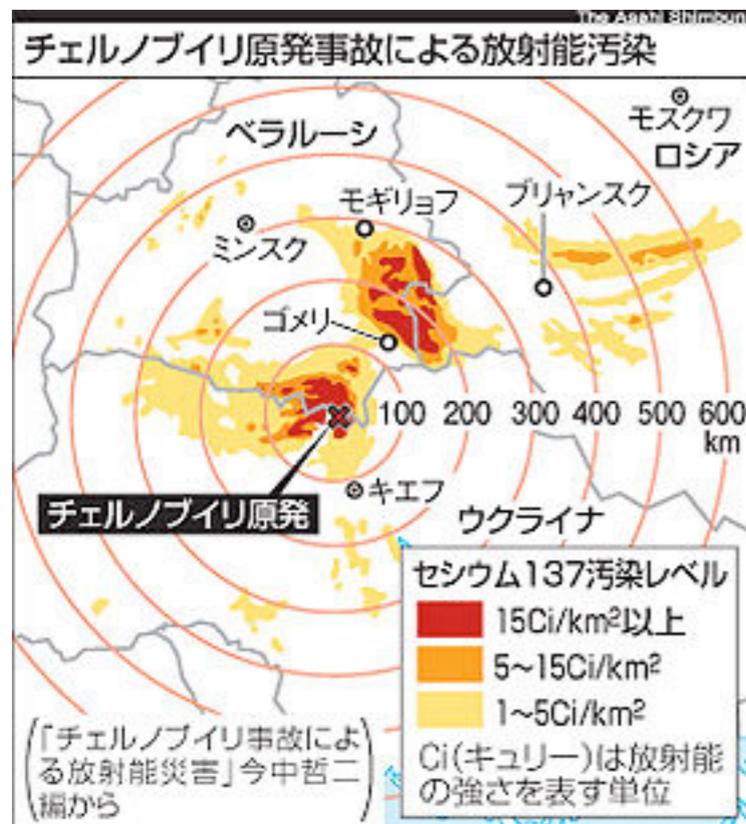
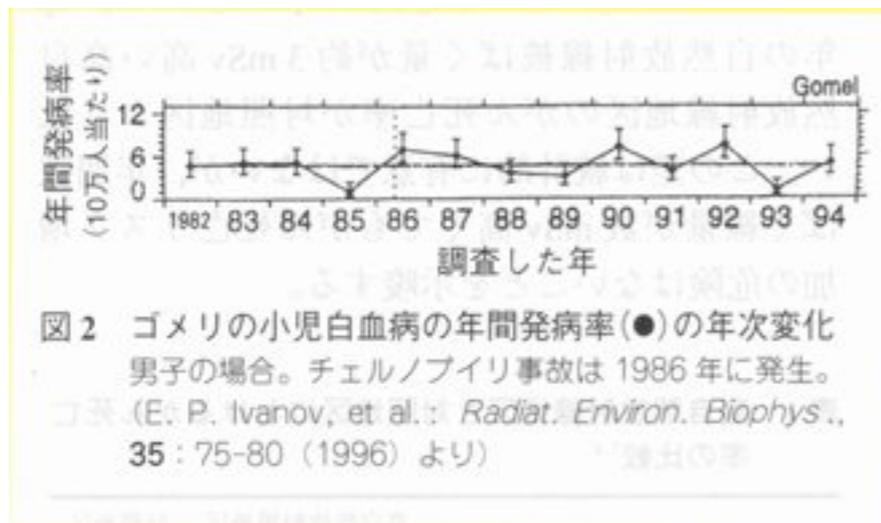
30 km 圏内の牛乳の摂取規制がなされず。

一般住民で確認された健康への影響は
こどもの甲状腺ガンの増加のみ。

毎年 1/300,000人 → 1/10,000人
(患者数 5000人、死亡 15人)

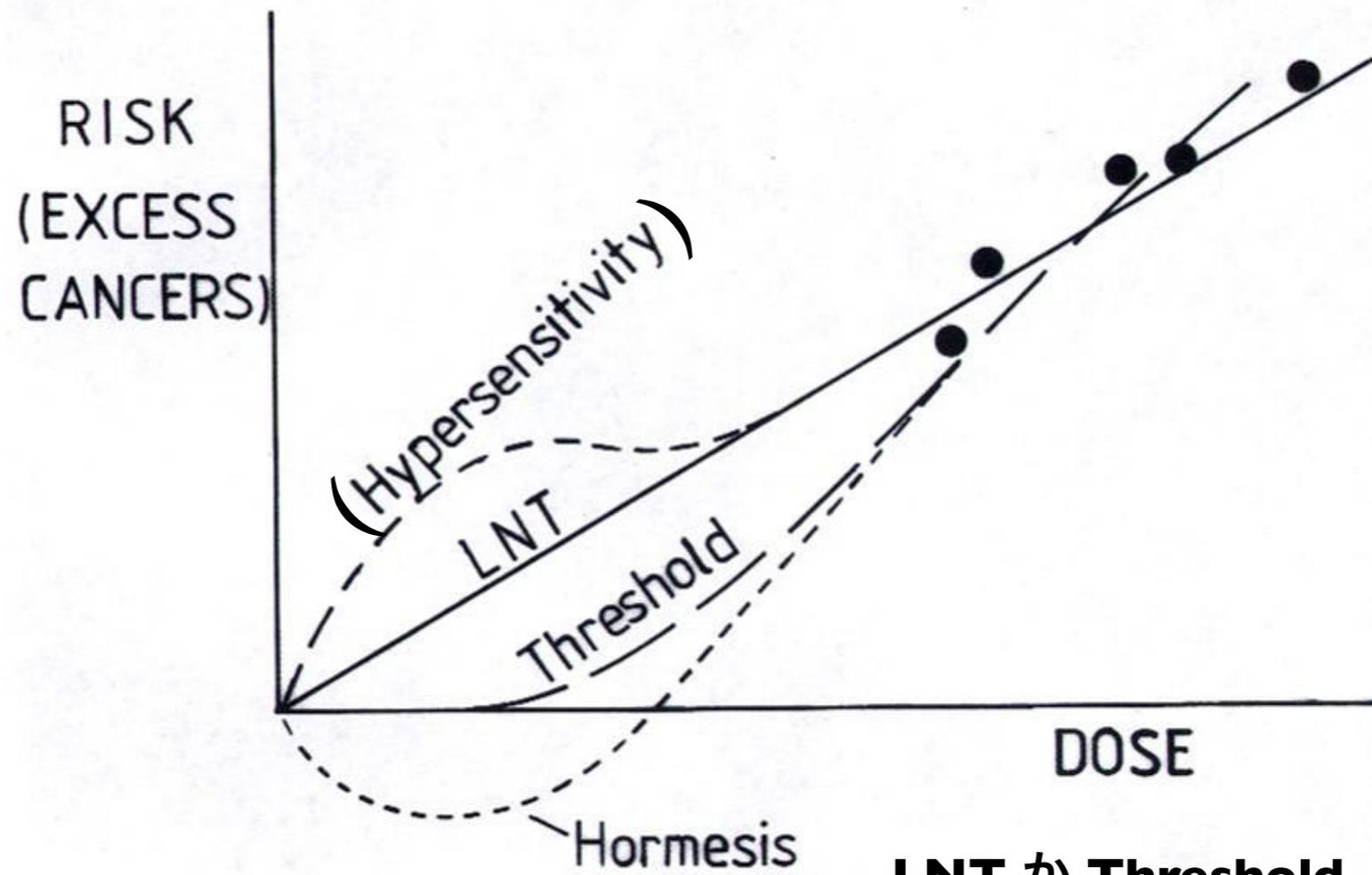
甲状腺平均被曝量 2 Gy !!

と、ずっと大きいストレスによる失調



低線量におけるリスク評価

(0 – 100 mGy)



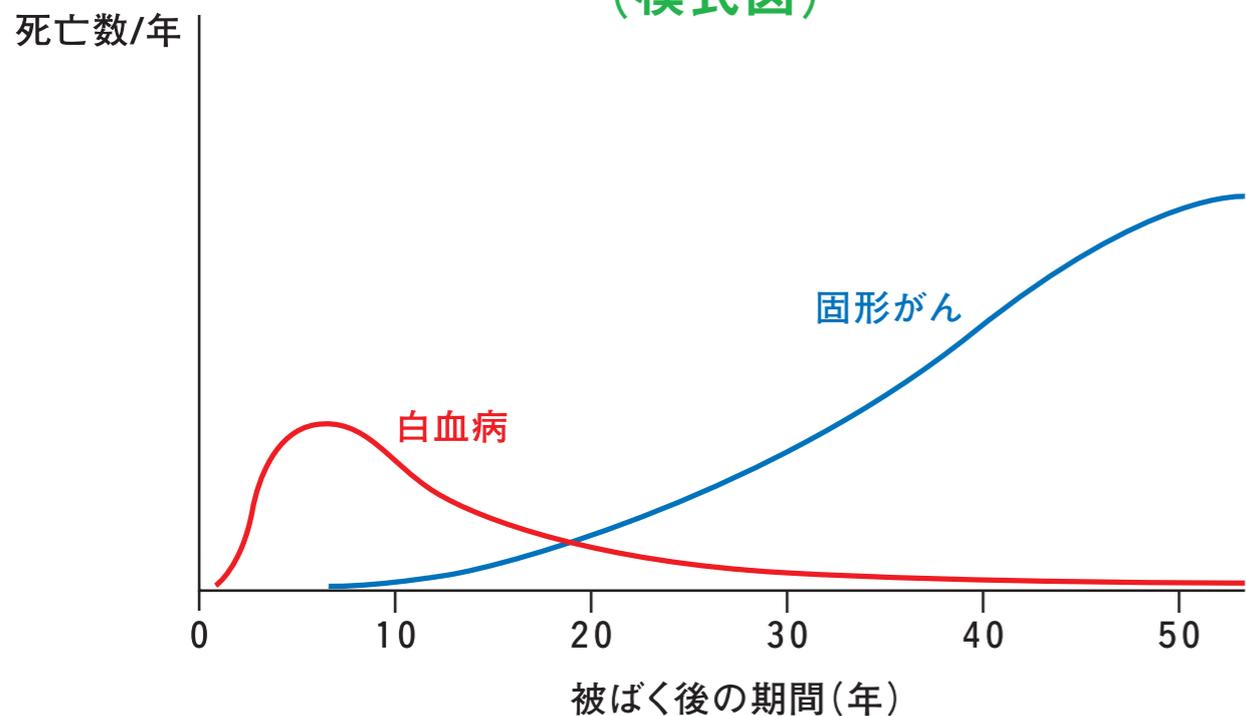
LNT か **Threshold** (閾値あり) かは疫学調査から統計学的に判断がつかず、議論が分かれている。

国際放射線防護委員会 (**ICRP**) は安全サイドに立って **LNT** (Linear Non-Threshold = 線形閾値なし) 仮説を採用。

広島・長崎の原爆生存者に対する放射線被曝による影響の疫学調査

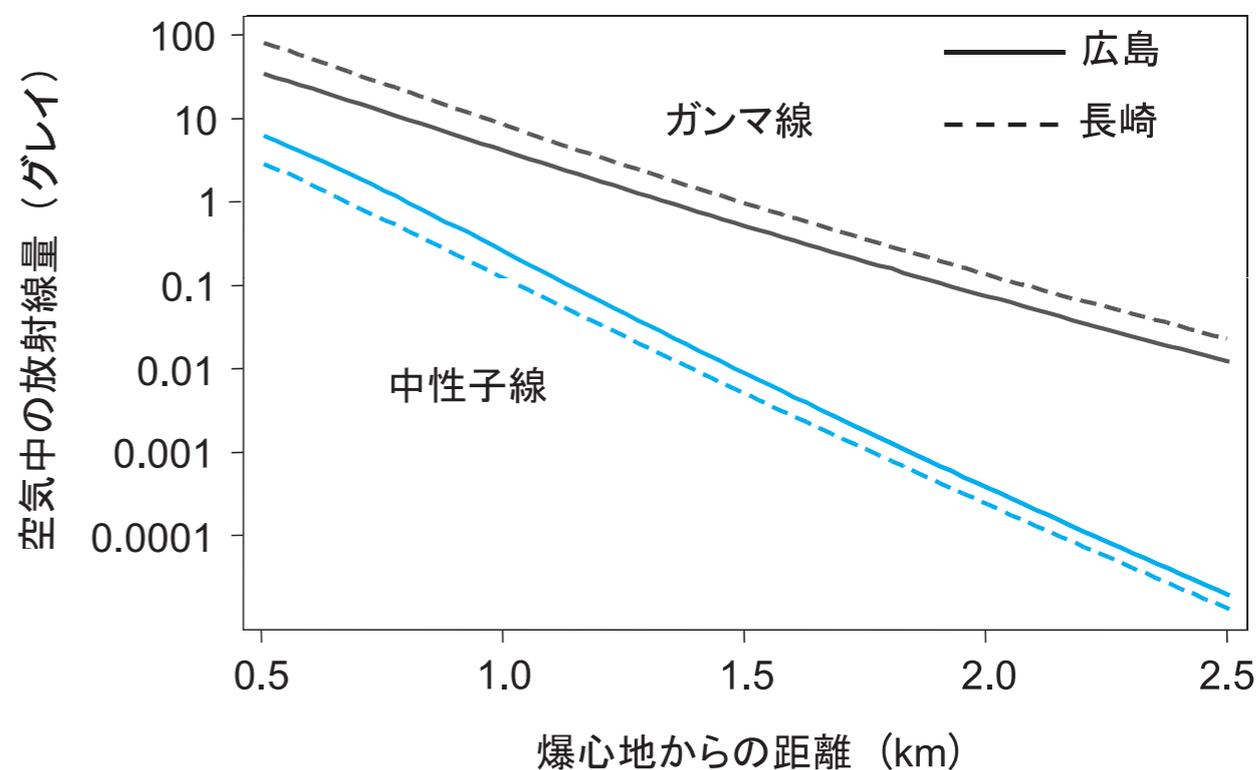
対象 8 万人 + 対照 4 万人

原爆放射線に関連する死亡数の時間的経過
(模式図)



(財)放射線影響研究所 パンフレット「わかりやすい放射線と健康の科学」

図4. 爆心地からの距離と空中線量 (無遮蔽)
DS02 (2002年線量推定方式)* による



(財)放射線影響研究所 パンフレット「放射線影響研究所のご案内」

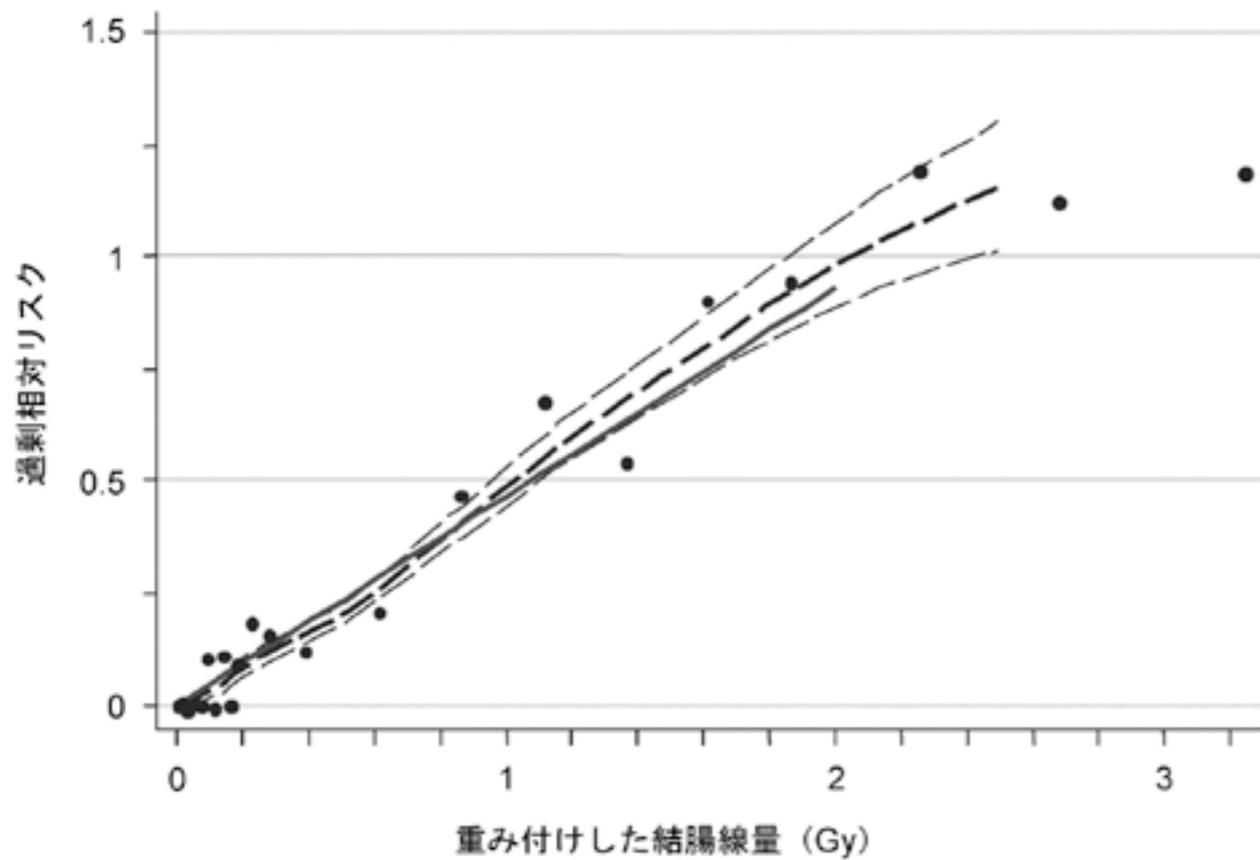


図 LSS集団における固形がん発生の過剰相対リスク（線量別）、1958－1998年。
太い実線は、被爆時年齢30歳の人70歳に達した場合に当てはめた、男女平均過剰相対リスク（ERR）の線形線量反応を示す。太い破線は、線量区分別リスクを平滑化したノンパラメトリックな推定値であり、細い破線はこの平滑化推定値の上下1標準誤差を示す。

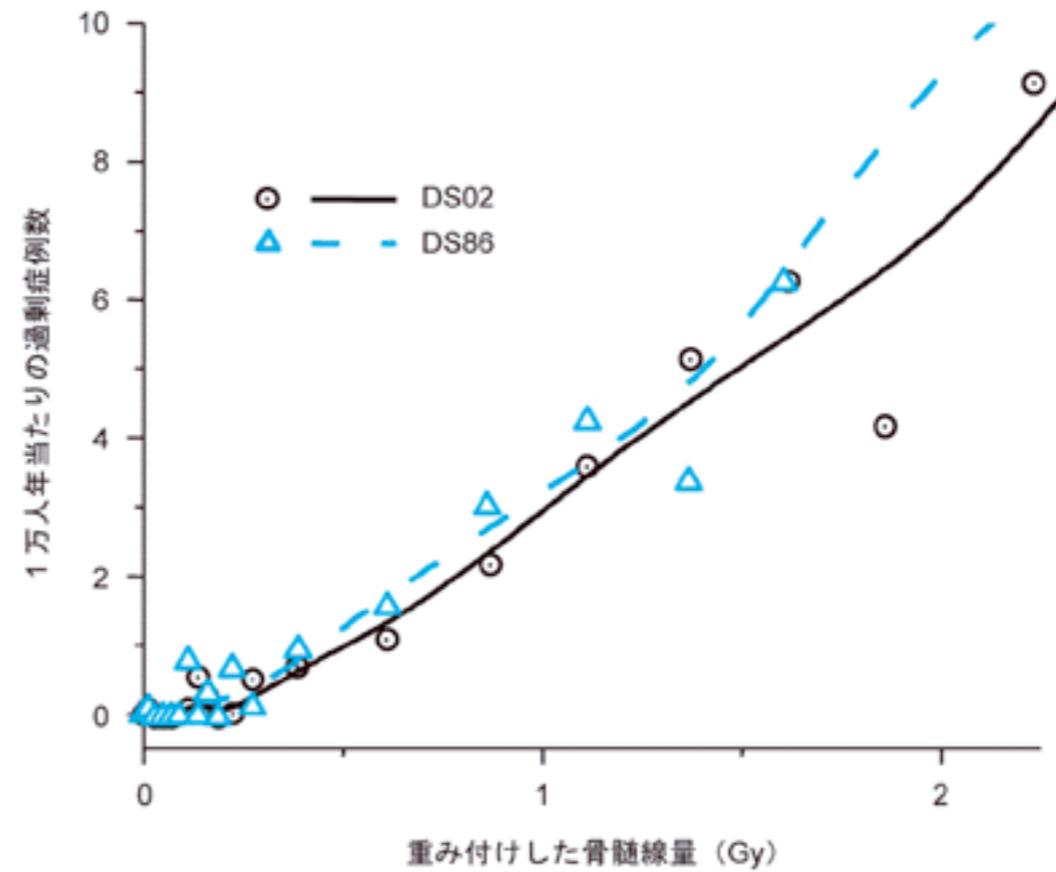


図. DS02とDS86による白血病のノンパラメトリックな線量反応、1950－2000年。
被爆時年齢20－39歳の人70歳に達した場合の1970年における男女平均リスク。

表. LSS集団における固形がん発生のリスク（線量別）、1958－1998年

重み付けした結腸線量 (Gy)	対象者数	がん		寄与率
		観察数	推定過剰数	
0.005 - 0.1	27,789	4,406	81	1.8%
0.1 - 0.2	5,527	946	75	7.6%
0.2 - 0.5	5,935	1,144	179	15.7%
0.5 - 1.0	3,173	688	206	29.5%
1.0 - 2.0	1,647	460	196	44.2%
>2.0	564	185	111	61.0%
合計	44,635	7,851	848	10.7%

表. LSS集団における白血病による死亡の観察数と推定過剰数、1950－2000年

重み付けした骨髄線量 (Gy)	対象者数	死亡		寄与率
		観察数	推定過剰数	
0.005 - 0.1	30,387	69	4	6%
0.1 - 0.2	5,841	14	5	36%
0.2 - 0.5	6,304	27	10	37%
0.5 - 1.0	3,963	30	19	63%
1.0 - 2.0	1,972	39	28	72%
>2.0	737	25	28	100%
合計	49,204	204	94	46%

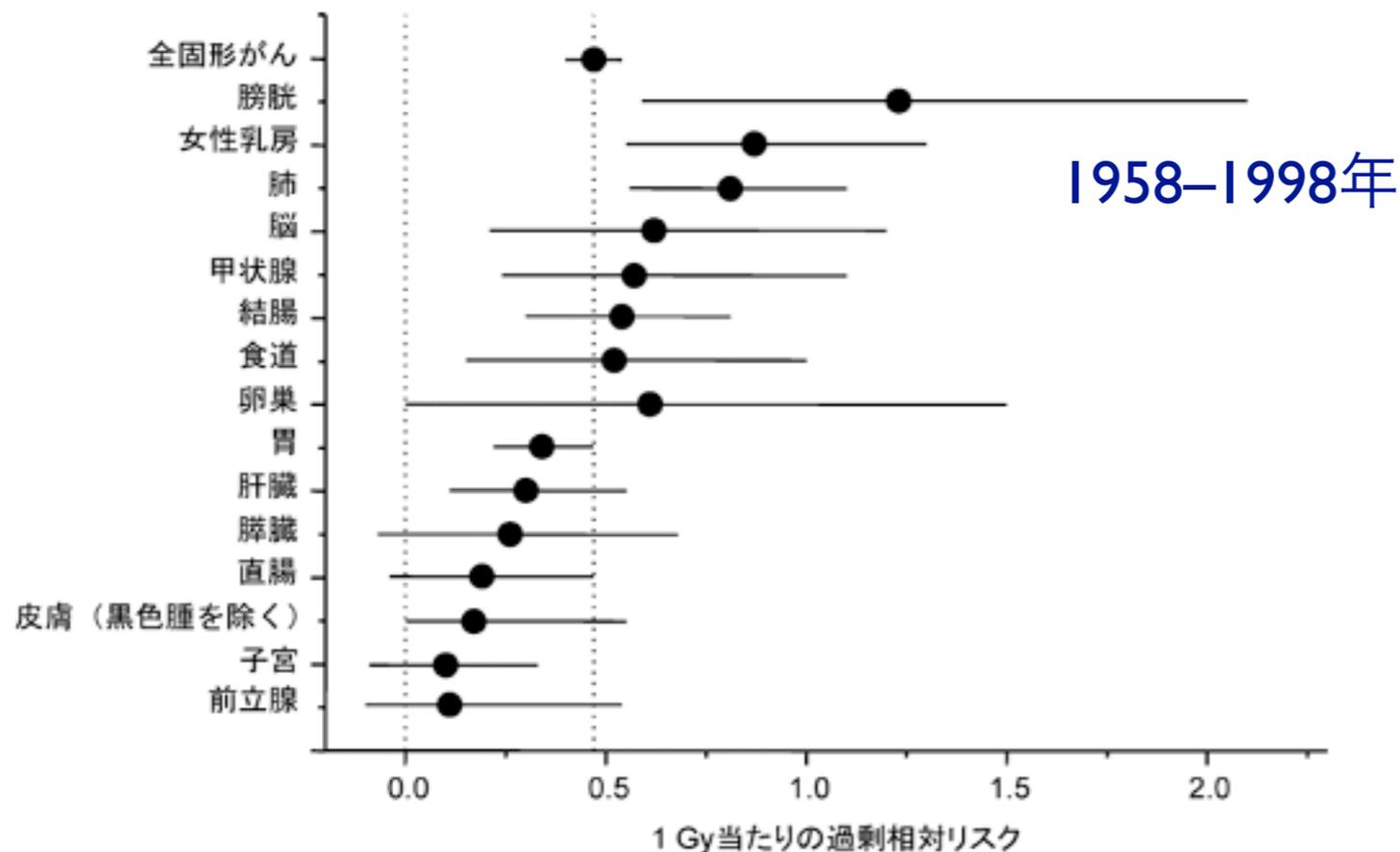


図1. LSS集団における被爆時年齢30歳（男女平均）の人が、70歳に達した時の1 Gy 当たりの部位別がん発生率の過剰相対リスク。横線は90%信頼区間を示す。

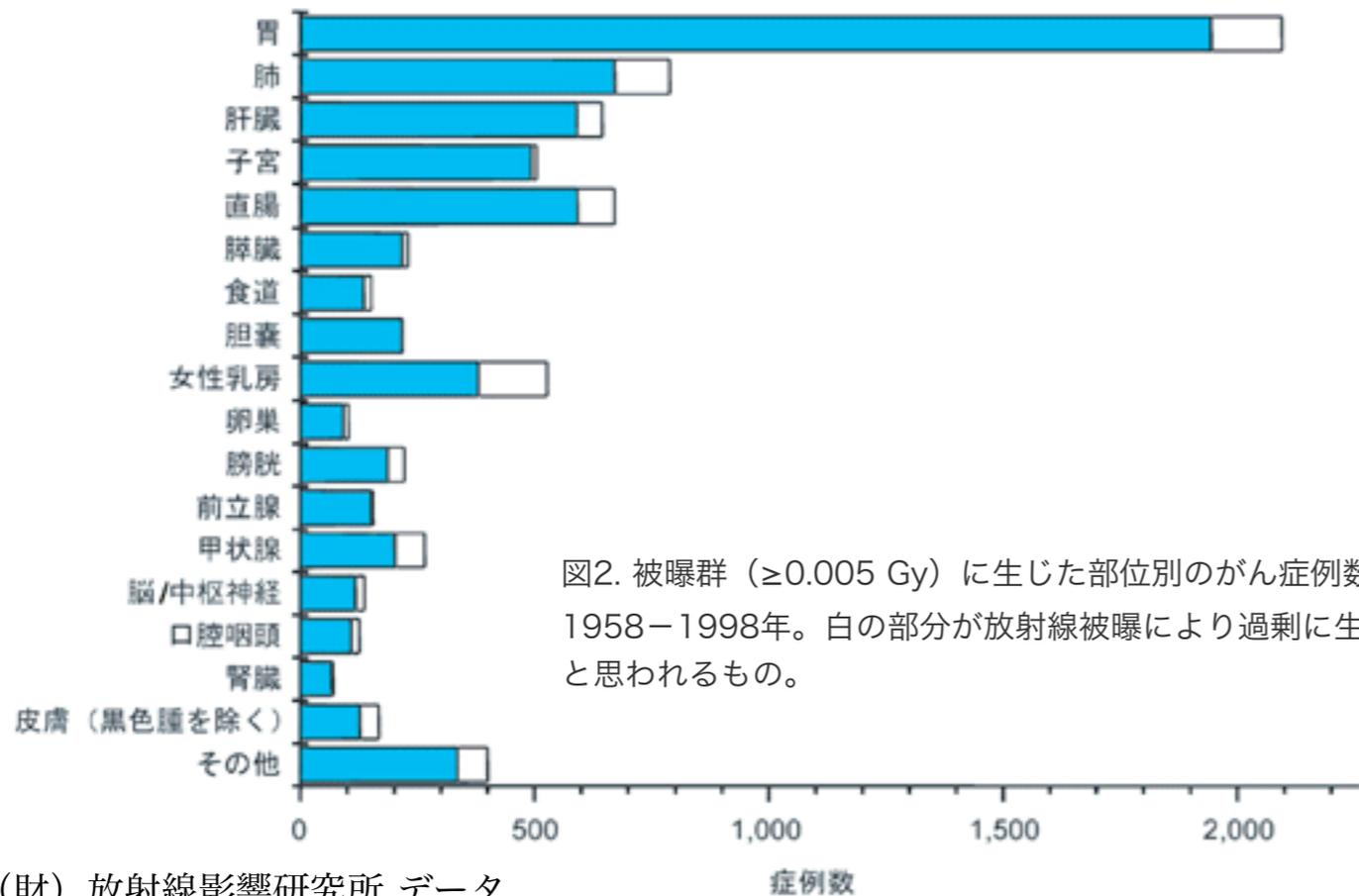
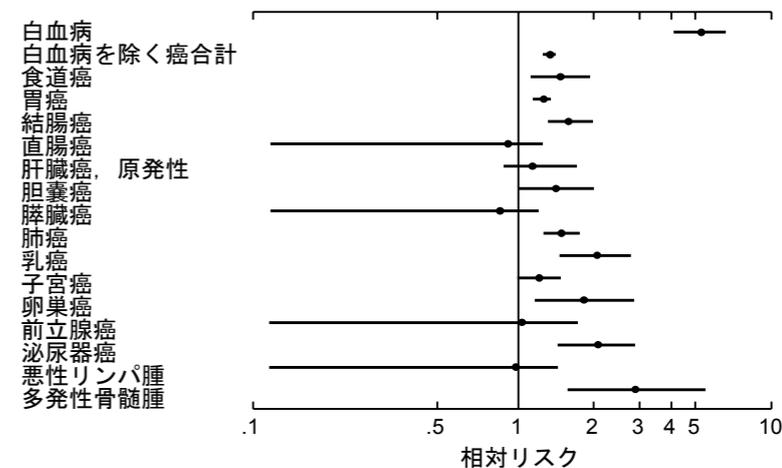


図2. 被曝群 (≥ 0.005 Gy) に生じた部位別のがん症例数、1958-1998年。白の部分が放射線被曝により過剰に生じたと思われるもの。

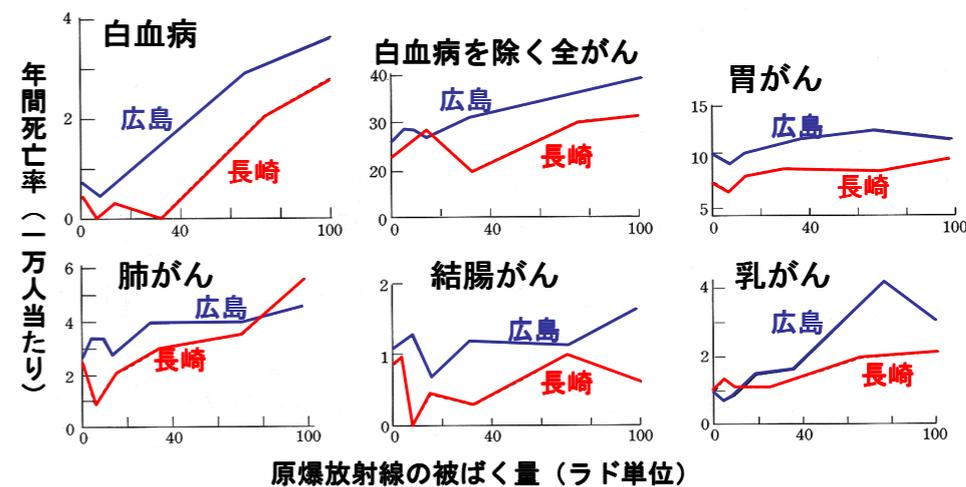
(財)放射線影響研究所 データ

部位別癌死亡の1Gy（遮蔽カーマ線量）における相対リスクおよび90%信頼区間，1950～1985年



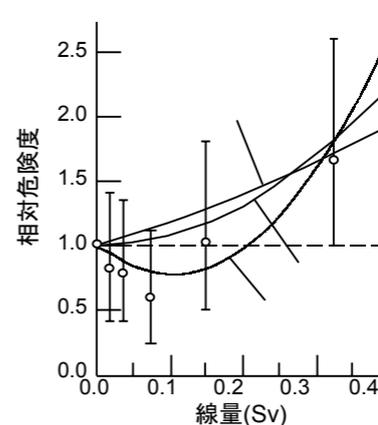
加藤寛夫、清水由紀子 他：原爆放射線の人体影響1992，文光

5種類のがん死亡率（1950-1986間の平均値）と低レベル原爆放射線被ばく量の関係

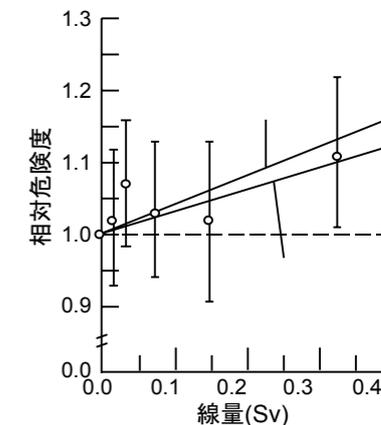


清水由紀子ほか（1987）

白血病

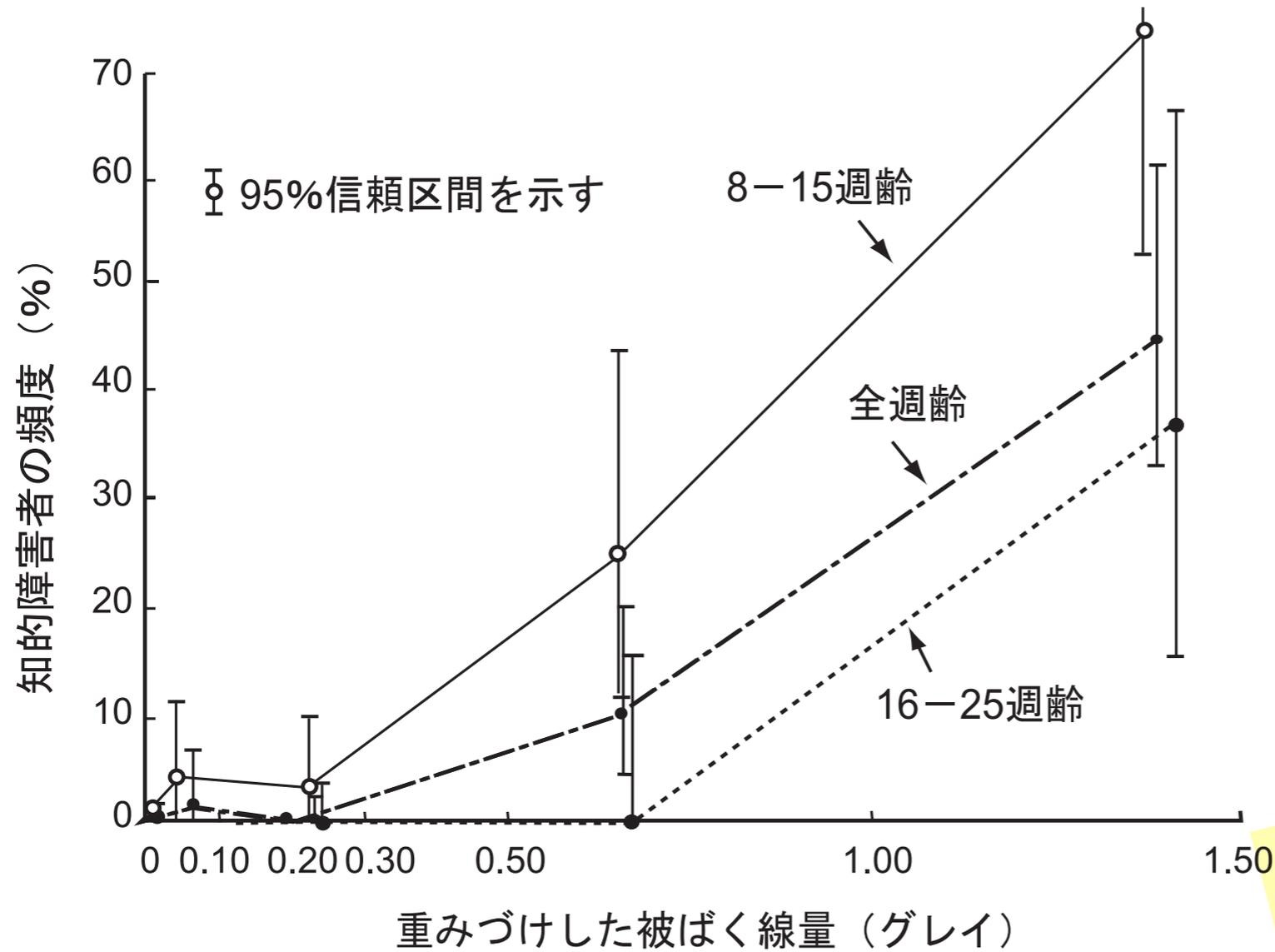


白血病以外の全がん



Shimizu, Y., et al.: RERF Update RERF News 1992.

胎内被爆者における放射線の影響



(財)放射線影響研究所 パンフレット「放射線影響研究所のご案内」

チェルノブイリ事故の後、ヨーロッパ全土で不必要な墮胎が数万人以上だったともいわれる。(風評・過度の心配による犠牲)

放射線による遺伝的影響は認められず

これまでのところ原爆被爆者の子供に臨床的または潜在的な影響を生じたという証拠は得られていない。事実これはマウスを用いた実験からの予測と一致しており、遺伝的变化に関する限り、ヒトは放射線に対してマウス以上に高い感受性を示すわけではないことを示唆している。

表2 低線量、低線量率放射線被ばくに伴うがん死亡の生涯リスク(ICRP1990)

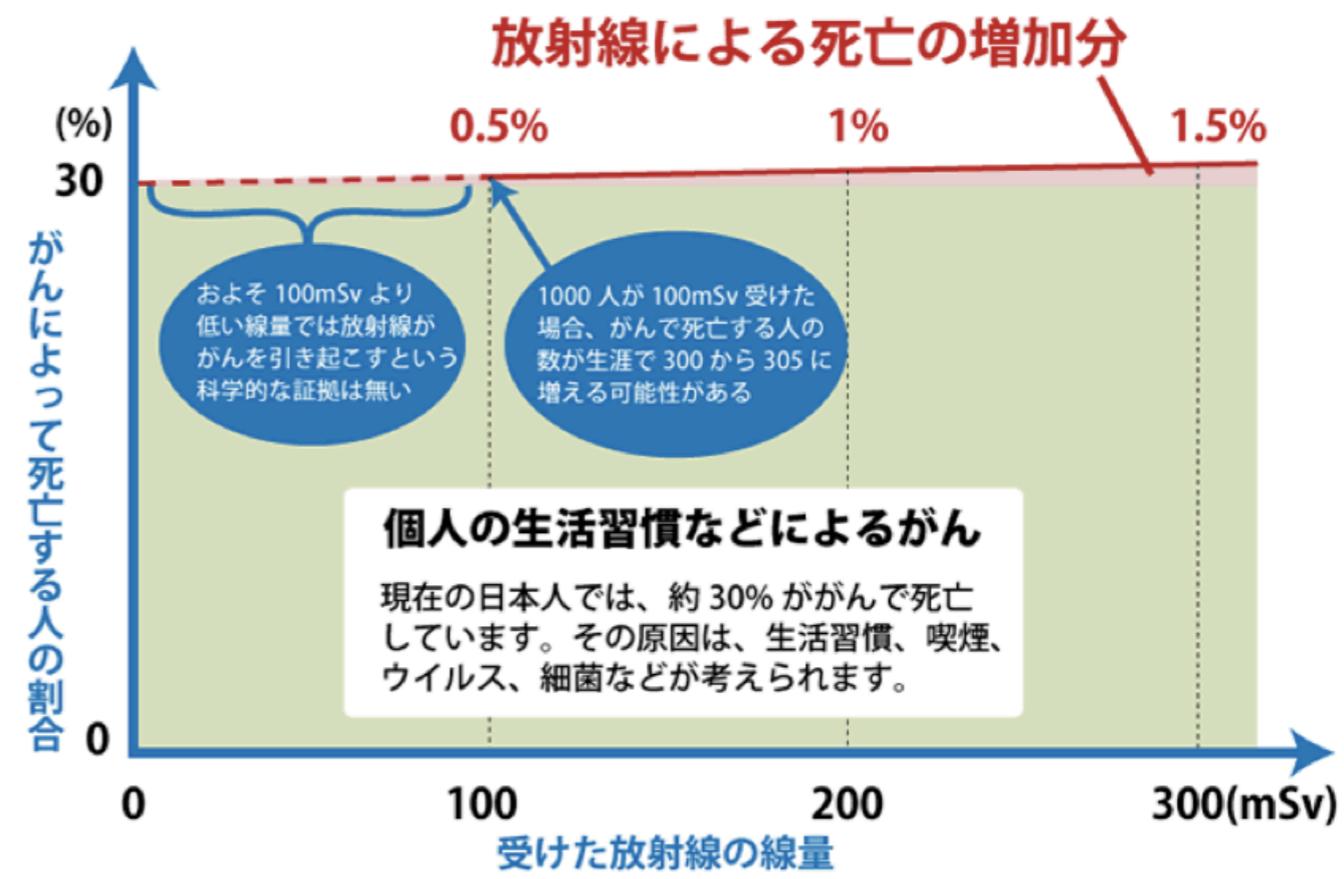
(10,000人当り、全年齢平均、1Sv当り過剰死亡数)

	ICRP 1977年勧告	ICRP 1990年勧告
赤色骨髄	20	50
骨表面	5	5
膀胱		30
乳房	25	20
結腸		85
肝臓		15
肺	20	85
食道		30
卵巣		10
皮膚		2
胃		110
甲状腺	5	8
その他	50	50
合計	125	500

[出典](社)日本アイソトープ協会:国際放射線防護委員会の1990年勧告(1991年11月)、p.157

低線量・低線量率の被曝

放射線によるがん・白血病の増加



ICRP 1990 の勧告値

100 mSv の被曝で人口あたり 0.5% の増加 (LNT仮説)

喫煙によるリスクより遥かに小さい。

放射線の単位

放射線量の単位

放射場には

多様なエネルギーの

多種放射線（光子、粒子線）が

様々な方向を向いて飛び交い、

それぞれの強度で存在している。

これをひとつの物理量で表すのは

一筋縄ではいかない。

様々な放射線量の単位が存在する。

放射線量の単位



Röntgen



Gray

放射計測量 radiometric quantity

粒子フルエンス fluence Φ [cm^{-2}]

エネルギーフルエンス energy fluence Ψ [MeV cm^{-2}]

線量計測量 dosimetric quantity : エネルギー変換

カーマ kerma (Kinetic Energy Released in MAterial / MAtter) 非荷電粒子線 K [J / kg] = [Gy]

シーマ cema (Charged particle Energy imparted to MAtter) 荷電粒子線 C [J / kg] = [Gy]

照射線量 光子 (x線・γ線) X [C/kg], [R] | R $\approx 2.58 \times 10^{-4}$ C/kg

線量計測量 dosimetric quantity : エネルギー付与

吸収線量 D [J / kg] = [Gy], [erg / g] = [ram] | Gy = 100 ram

放射線量の単位

線量計測量 **dosimetric quantity** : エネルギー付与

吸収線量 absorbed dose $D [J / kg] = [Gy]$ Gray
[erg / g] = [ram] | Gy = 100 ram

放射線防護のための線量 **protection quantity**

等価線量 equivalent dose $H_T [J / kg] = [Sv]$ Sievert

実効線量 effective dose $E [J / kg] = [Sv]$

[erg / g] = [rem] | Sv = 100 rem

係数

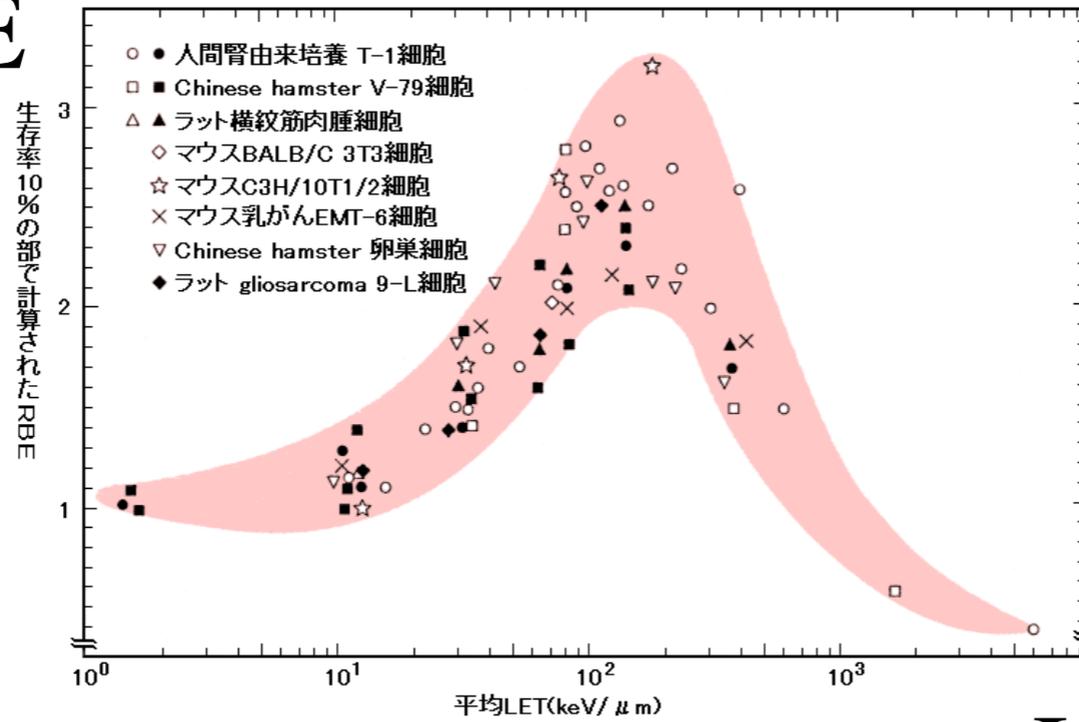
生物学的効果比 RBE (Relative Biological Effectiveness) 放射線生物学の観測量

線質係数 Q 放射線防護のための取り決め

放射線荷重係数 W_R 放射線防護のための取り決め



RBE



黒印はピーク幅を広げたときのピークとプラトー部のRBE、白印はピーク幅を広げず、本来ビームが持つdepth-dose curveのピークとプラトー部のRBEである。

生物学的効果比 RBE

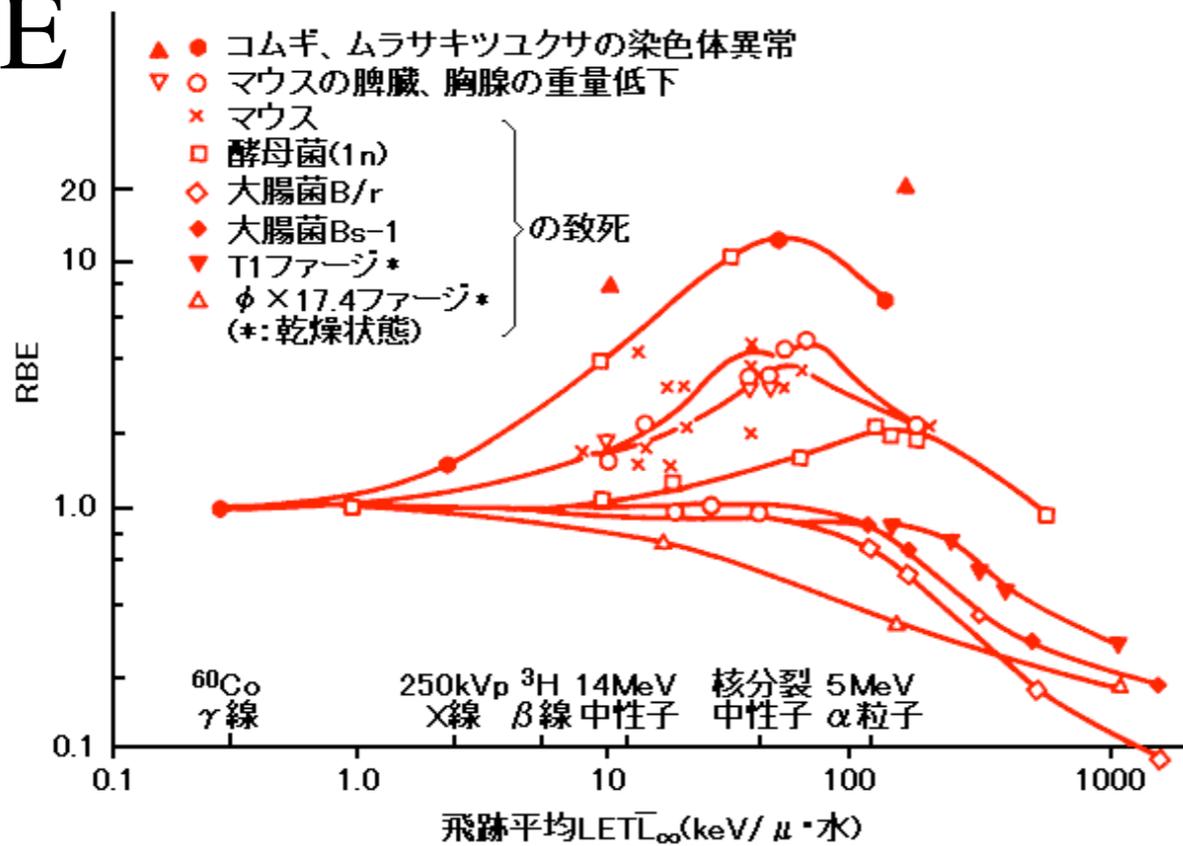
(Relative Biological Effectiveness)

LET (線エネルギー付与)

keV/μm

放射線の軌跡上の単位長さ当たり物質に与えられるエネルギー

RBE



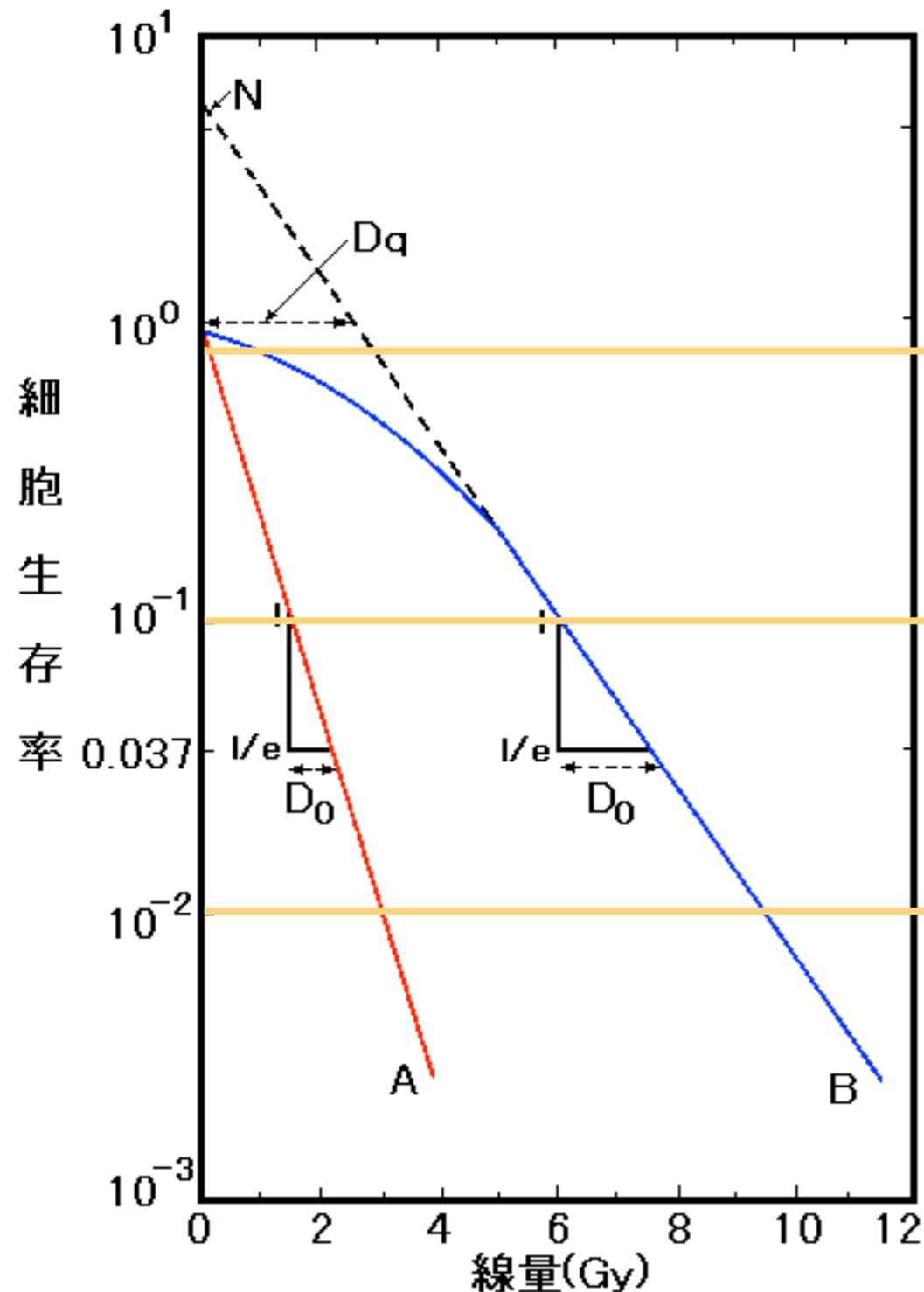
様々な生物反応(マウスの臓器の重量低下や致死、高等植物の染色体異常等)において、いずれも約80keV/μm付近のLET値をもつ放射線が最大のRBE値を示す。

LET

図2 体細胞的効果に対する各種放射線のRBEとLETの関係

細胞死（増殖死）の標的理論

※ 増殖死とは、本来は増殖能を持つ細胞がその分裂能を失うことを意味する。



nは標的数
 D_0 は標的の大きさの逆数
 D_q は傷害からの回復の程度

低線量での α 線の RBE $\gg 4$

細胞生存率 10% での α 線の RBE = 4

細胞生存率 1% での α 線の RBE = 3

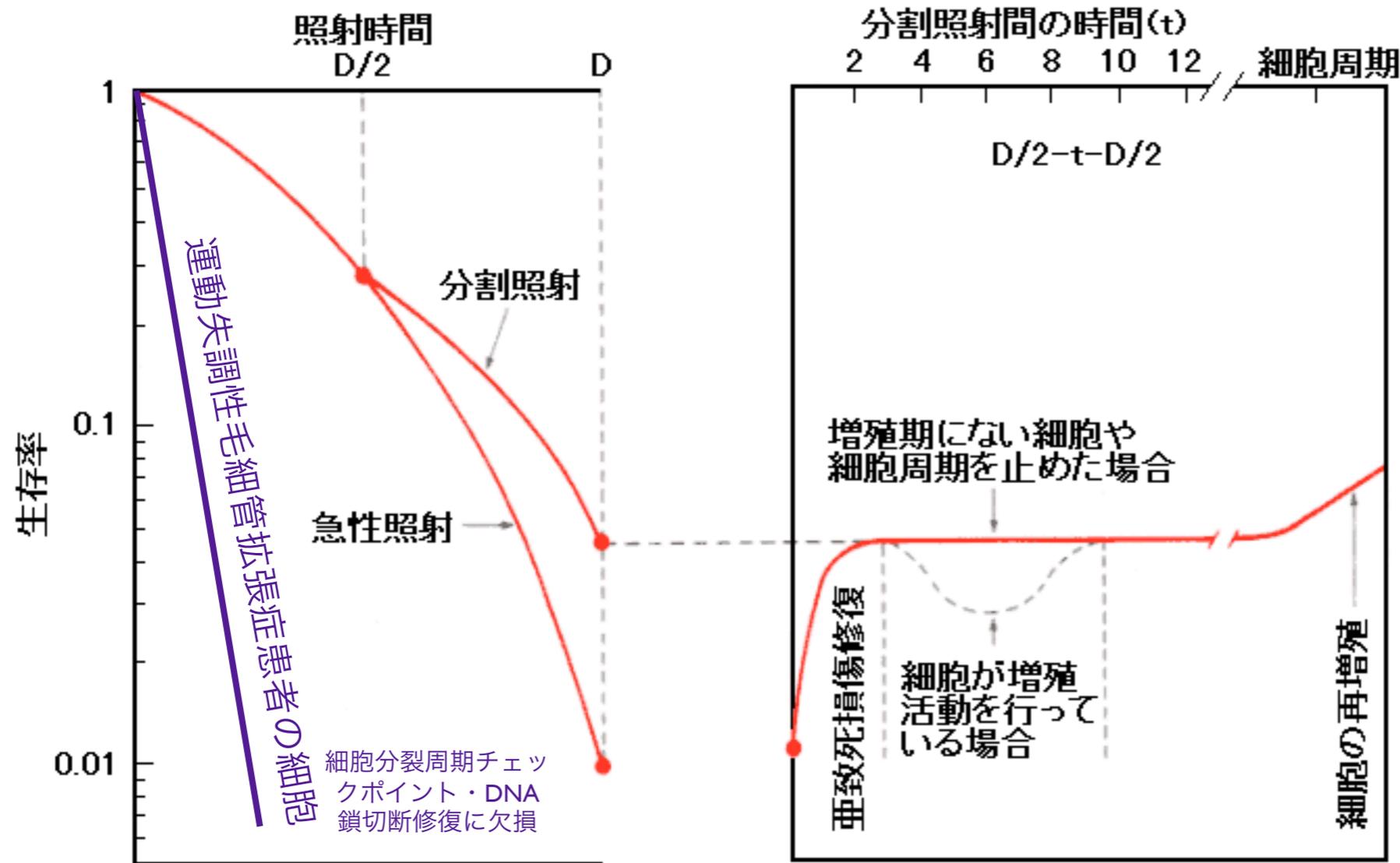
A: 高 LET 放射線照射 (α 線など)

B: 低 LET 放射線照射 (X線など)

図1 線量－生存率曲線

[出典] 田坂皓ほか(編): 放射線医学大系、第35巻
 放射線生物学病理学、中山書店(1984)

SLD (亜致死損傷) 回復 Sublethal Damage Recovery



数時間の中に
損傷からの回復
(DNA修復)が
行われている。

低LET放射線では
細胞周期によっても感受性が違う。
(分裂期末とDNA合成期が弱い)

分割照射(左図)では、あらかじめ一定の線量(D/2)を照射した後、十分な修復時間(t)を置くと最初の損傷は修復されて無傷の状態になるため、続きの照射(分割照射)に対して一度に照射(急性照射)した場合と同じ程度の肩を持つ生存率曲線が見られる。

修復時間を変えた実験(右図)を行うと、最初の2-3時間で亜致死損傷修復が見られる。細胞が増殖活動を行っている場合には細胞周期の同期が起こり、2回目の照射が感受性期に当たると生存率が下がる。増殖期にない細胞や細胞周期を止めた場合にはこの生存率の低下は見えない。また、分割間隔が細胞周期より長くなると細胞の再増殖のため見かけの生存率が再び上昇する。

細胞が放射線照射を受けると細胞分裂の周期を止めて(分裂遅延)DNA修復を待つしくみも備えている。

図2 分割照射による亜致死損傷の回復

[出典] Eric J Hall(著)、浦野宗保(訳):放射線生物学、篠原出版(1995)、p.132

DNA 修復に異常がある場合は細胞生存率が著しく低下する。

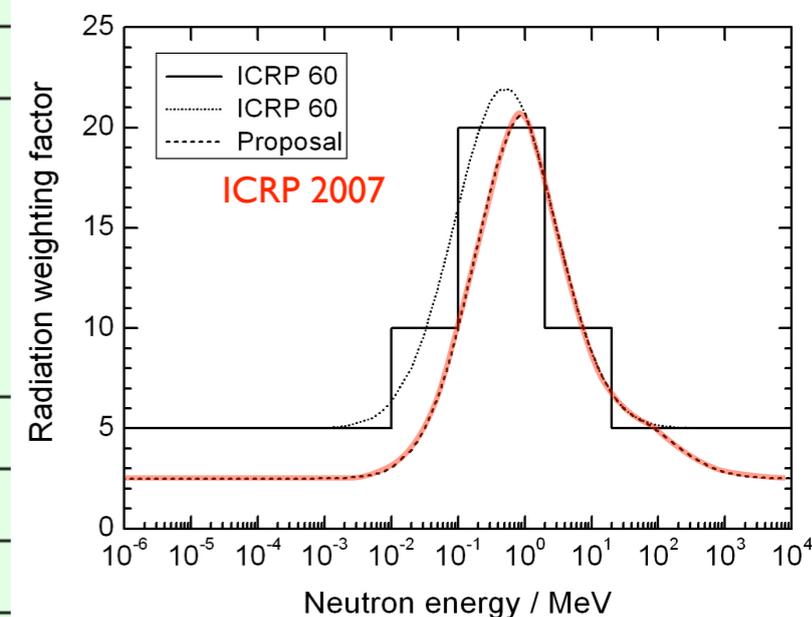
等価線量 equivalent dose $H_T [J / kg] = [Sv]$

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

等価線量 [Sv] R 放射線荷重係数 平均吸収線量 [Gy]

表 1 放射線荷重係数

放射線の種類・エネルギーの範囲	放射線荷重係数: w_R	
光子(X線・γ線); 全てのエネルギー	1	1
電子(β線)およびミュー粒子; 全てのエネルギー	1	1
中性子; 10keV 以下	5	see graph
10keV~100keV	10	
100keV~2MeV	20	
2MeV~20 MeV	10	
20MeV以上	5	
反跳陽子以外の陽子; エネルギー 2MeV 以上	5	2 (正負パイオンも)
アルファ粒子(α線)	20	20
核分裂片	20	20
重原子核	20	20



[出典] 日本アイソトープ協会:ICRP Pub 60、国際放射線防護委員会の1990年勧告、丸善、p7(1991)

赤字 ICRP 2007

実効線量 effective dose $E [J / kg] = [Sv]$

$$E = \sum_T w_T \times H_T = \sum_T w_T \times \left(\sum_R w_R \times D_{T,R} \right)$$

組織 T の組織荷重係数

組織 T における
等価線量 [Sv]

組織 T における
平均吸収線量 [Gy]

器官・組織	組織荷重係数: w_T	
生殖腺	0.20	0.08
骨髄(赤色)	0.12	0.12
結腸	0.12	0.12
肺	0.12	0.12
胃	0.12	0.12
膀胱	0.05	0.04
乳房	0.05	0.12
肝臓	0.05	0.04
食道	0.05	0.04
甲状腺	0.05	0.04
皮膚	0.01	0.01
骨表面	0.01	0.01
脳		0.01
唾液腺		0.01
残りの器官・組織 ^{※2}	0.05	0.12
合計(全身)	1.00	1.00

黒字 ICRP 1990

赤字 ICRP 2007

コメント

放射線荷重係数は、低線量で低線量率の放射線被曝がもたらす健康影響に関する RBE（生物学的効果比）であるから、これを放射線治療の投与線量を表すために用いることはもちろん、大きな線量を高い線量率で曝露したときに起きる急性障害のリスクを記述するために用いるのも不適切である。👉 **Gy-Eq** を用いる

等価線量や実効線量などの放射線防護のための線量は、1 Sv 程度よりも小さな放射線曝露の範囲に限って意味をもつ。

放射線管理上の測定線量 **operational quantity**

線量当量 dose equivalent $H^*(d), H'(d, \Omega), H_p(d)$ [Sv]

線量が放射線防護の分野で使用する基本的尺度として採用されたのは、論理的に放射線障害量と直接比例関係にある物理量を基本としようとしたことによる。しかしながら、放射線と生物との相互作用には多くの因子を導入して組み立てたため、仮想的には線量の測定はできても、実際の被曝線量を評価することは困難である。放射線防護の分野で放射線管理に必要な線量値が得られ難いとすれば、それに代わる物理量で基準を作らなければならない。このため、国際放射線単位測定委員会 (ICRU) は実効線量に代わる放射線管理上の測定量として、周辺線量、方向性線量および個人線量についての線量当量 (dose equivalent) を定義した。我が国では、放射線防護上使用される計測量は、一般に、空間線量も、人の被ばく線量も、1cm線量当量 (実効線量 (effective dose) に対応) および70 μ m線量当量 (等価線量 (equivalent dose) に対応) と呼ばれ、それぞれ適切な測定器、あるいは測定方法により直接測定される。

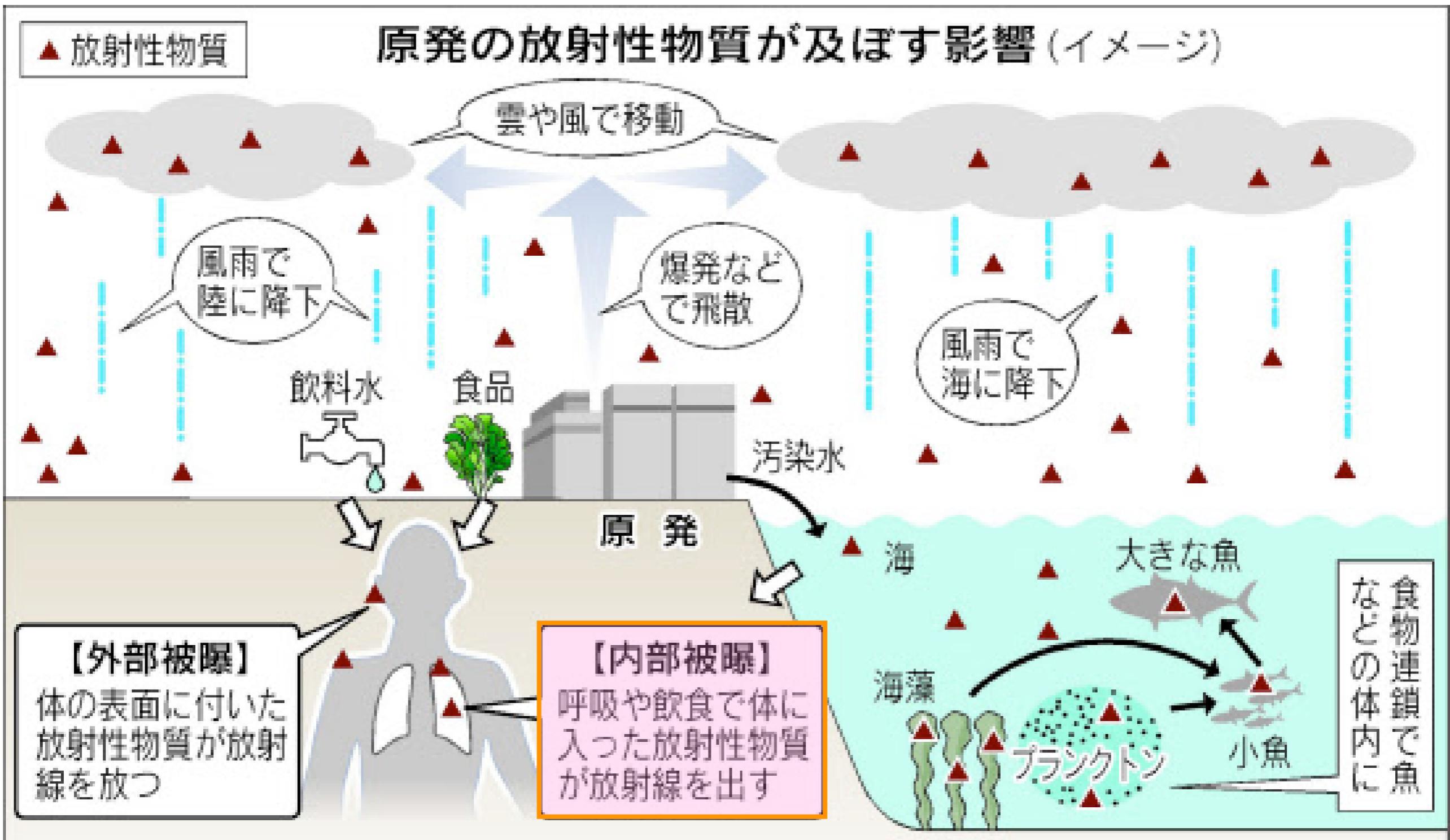
http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=09-04-02-06

放射線量率 (dose rate) の単位

単位時間あたりの放射線量

[Gy/h], [Sv/h], etc....

放射線量率の時間積分が (積算) 放射線量になる。



放射性物質が一部東京まで飛来。
放射線が直接東京に届いたのではない。

放射線防護のための線量 protection quantity

預託線量 committed dose (内部被曝) [Sv]

預託等価線量

預託実効線量

体内摂取した放射性物質から出るすべての放射線を、摂取した時点で被曝したと見なして計算をする。Bq から Sv への換算には、物理学的半減期のみならず排泄機能による生物学的半減期も考慮のうえ、50年間分の積分をする。

実効線量係数 (成人)

核種	半減期	経口摂取 (Sv/Bq)	吸入摂取 (Sv/Bq)
C-14	5730年	5.8×10^{-10}	5.8×10^{-9}
P-32	14.3日	2.4×10^{-9}	3.4×10^{-9}
K-40	12.8億年	6.2×10^{-9}	2.1×10^{-9}
I-131	8.04日	2.2×10^{-8}	7.4×10^{-9}
Sr-90	29.1年	2.8×10^{-8}	1.6×10^{-7}
Cs-137	30.0年	1.3×10^{-8}	3.9×10^{-8}

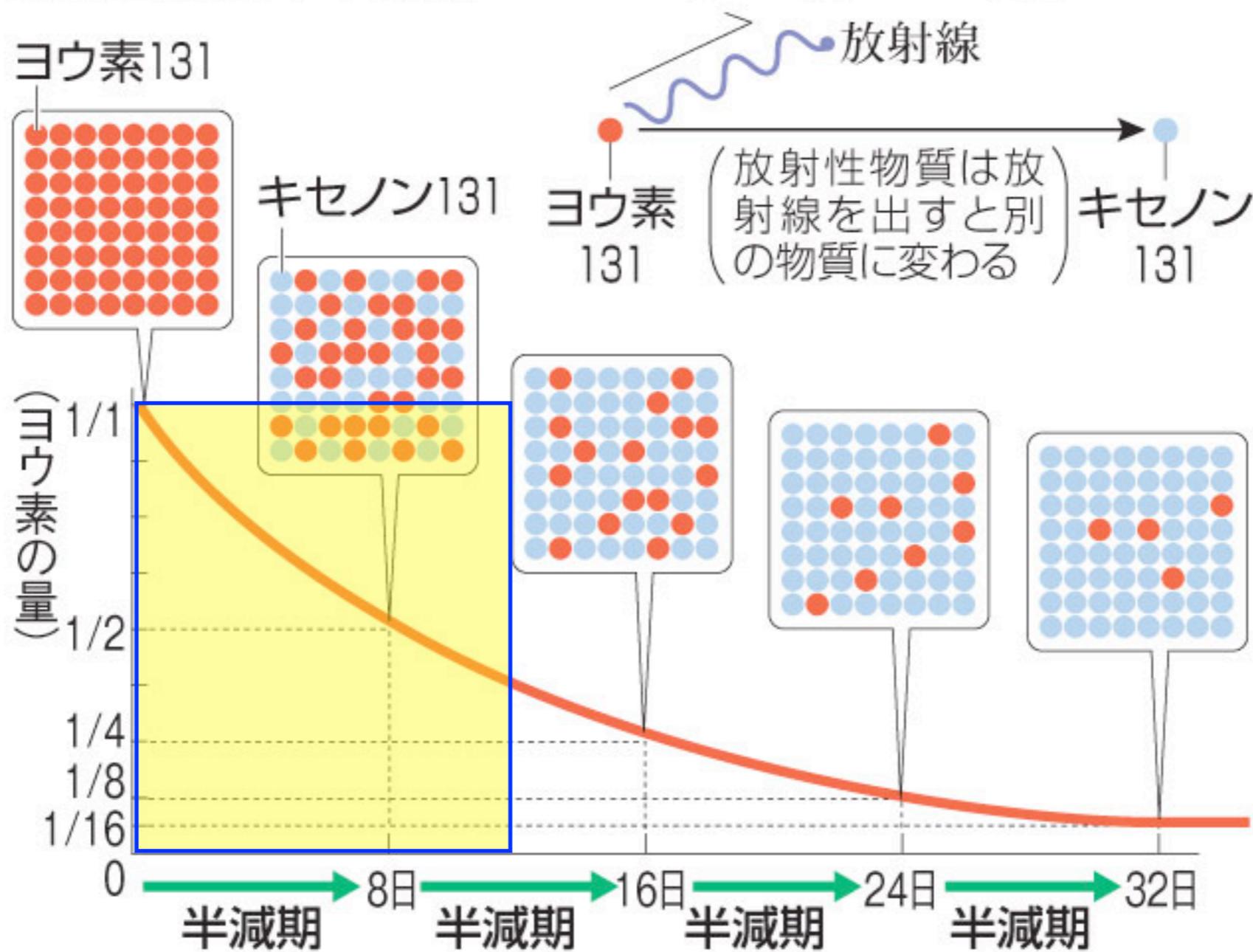
経口摂取	乳児 (3ヶ月)	幼児 (1歳)	子供 (2-7歳)	成人
I-131	1.8×10^{-7}	1.8×10^{-7}	1.0×10^{-7}	2.2×10^{-8}

(ヨウ素換算63万テラベクレル, <http://bit.ly/fRxmkt> これを放射性ヨウ素131の質量に焼き直すと, およそ1) 100トン 2) 100 キログラム 3) 100 グラム 4) 100ミリグラム, ?)

less than a minute ago via [Echofon](#) ☆ [Favorite](#) ↻ [Retweet](#) ↩ [Reply](#)



放射性物質の半減期のしくみ(ヨウ素131の例)



$^{131}_{53}$ 8 days $7/2+$ β 248 keV max (2.1%)

β 線の最大エネルギーの平均値
0.574 MeV ($= 9.2 \times 10^{-14}$ J)

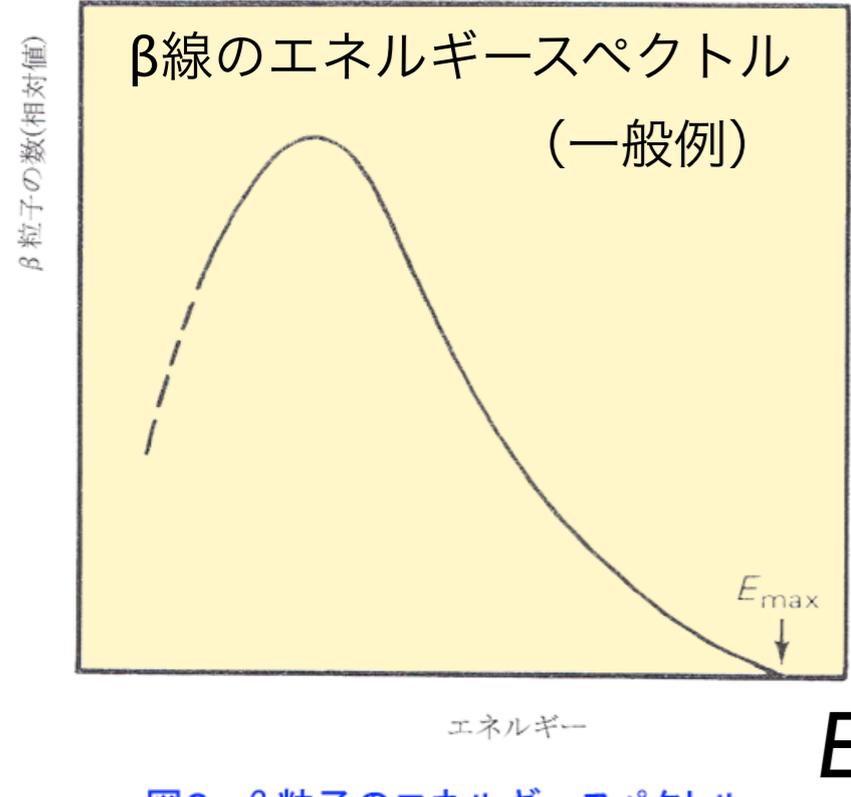
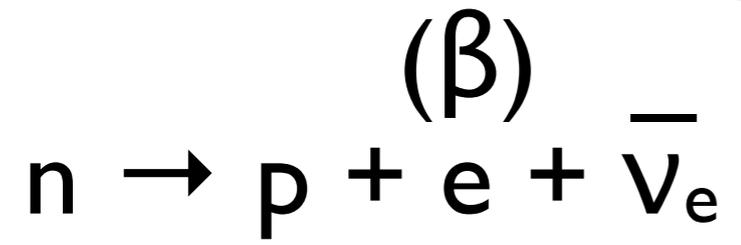
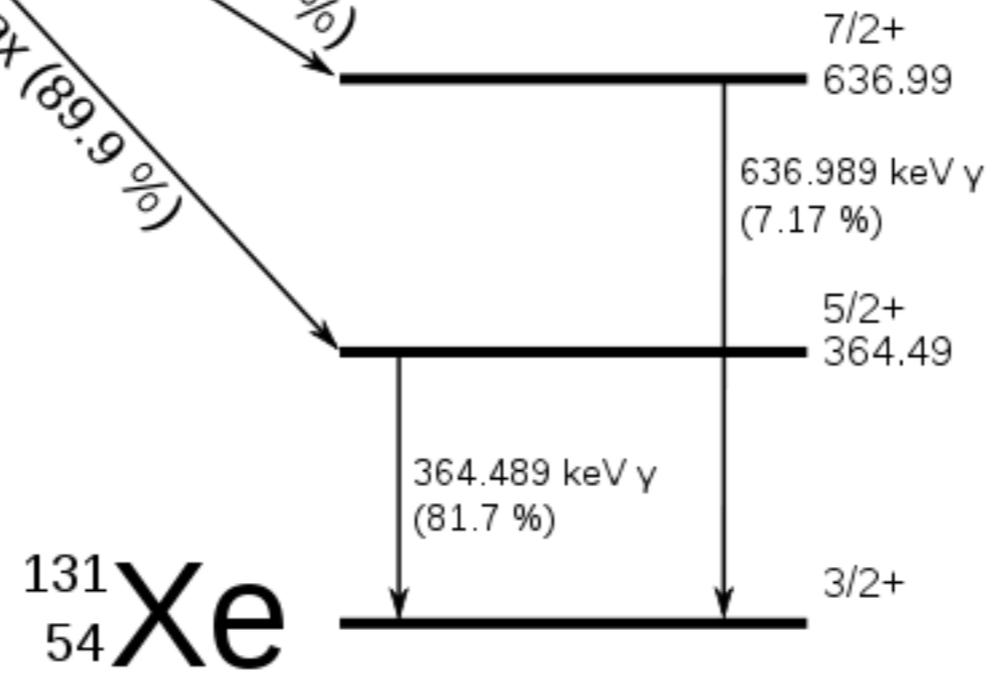
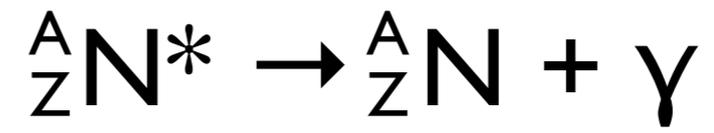


図2 β 粒子のエネルギースペクトル
[出典]石川友清(編):初級放射線、通商産業研究社、p.37

β 333.8 keV max (7.27%)
 β 606.3 keV max (89.9%)

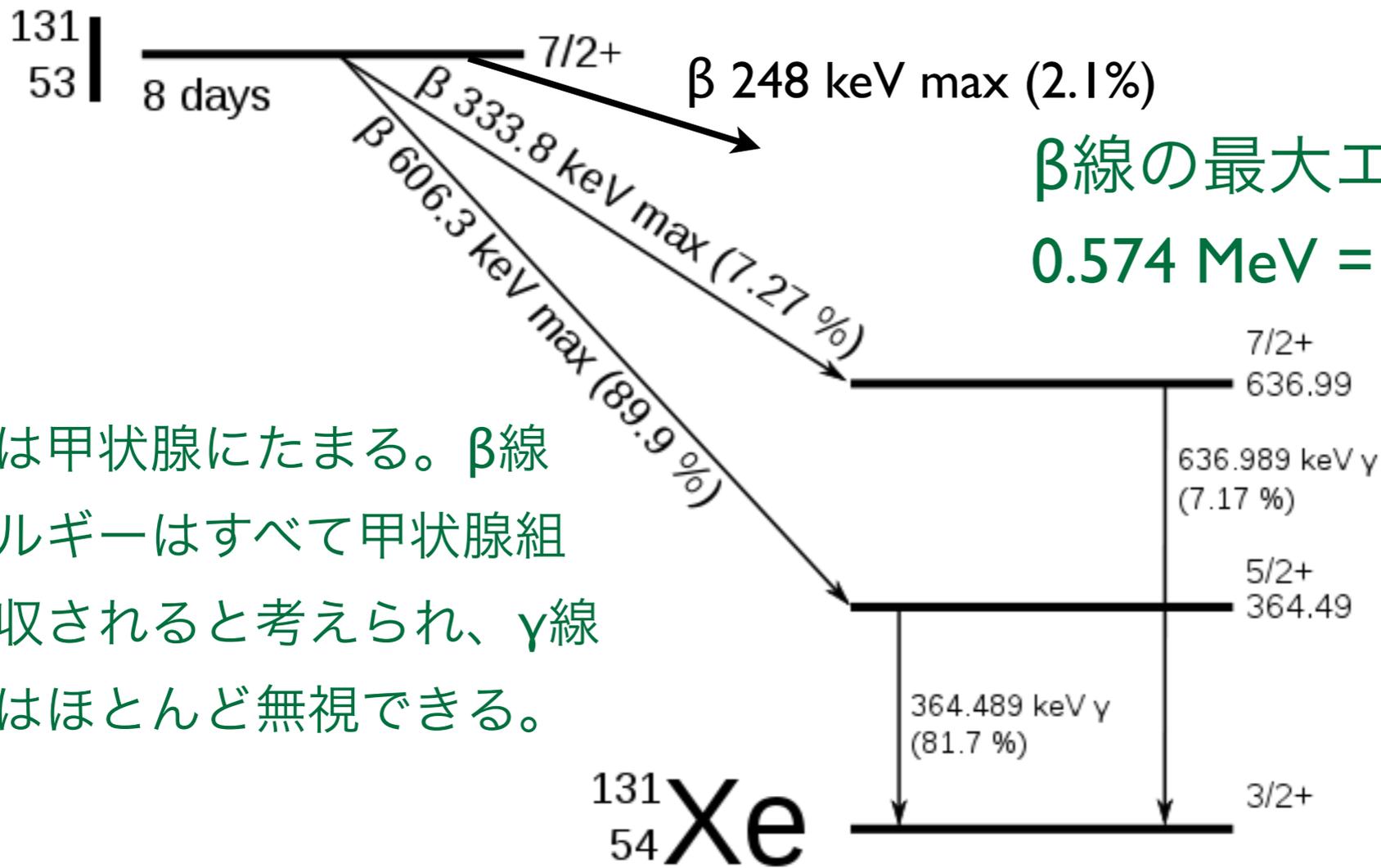


γ 線：原子核の脱励起



γ 線 (定まったエネルギー)

β 線 (連続スペクトル)
エネルギーの平均値 ~ 0.3 MeV



β線の最大エネルギーの平均値
 $0.574 \text{ MeV} = 9.2 \times 10^{-14} \text{ J}$

β線のエネルギー
 スペクトルの平均値
 $\sim 5 \times 10^{-14} \text{ J}$

ヨウ素は甲状腺にたまる。β線のエネルギーはすべて甲状腺組織に吸収されると考えられ、γ線の効果はほとんど無視できる。

1 Bq あたり $8.04 \text{ d} \times 86400 \text{ s/d} / \ln 2 = 1,000,000 \text{ decays}$

$5 \times 10^{-14} \text{ J} \times 1,000,000 / \text{Bq} = 5 \times 10^{-8} \text{ J/Bq}$

成人の場合

成人の場合

これのうち 20% が甲状腺に取り込まれる（残りは排泄）と見積もると、20 g の甲状腺の

吸収線量 = 等価線量は $5 \times 10^{-8} \text{ J/Bq} \times 0.2 / 0.02 \text{ kg} = 0.5 \mu\text{Sv/Bq}$

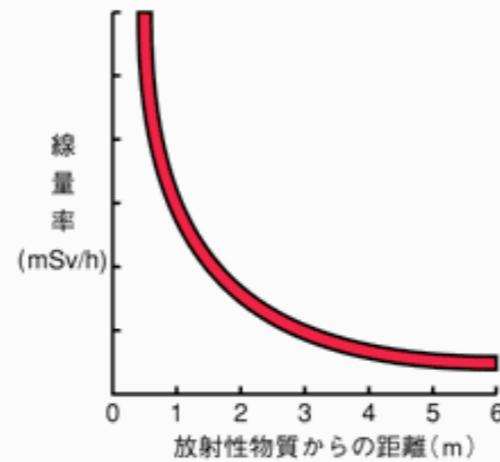
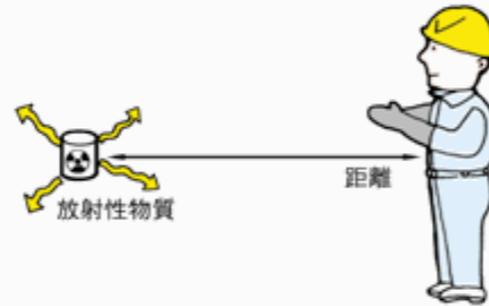
甲状腺は組織荷重係数が 0.05 なので、全身被曝量としての実効線量は

$0.5 \times 0.05 = 0.025 \mu\text{Sv/Bq}$ 。表の値 $2.2 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$ とほぼ一致。

放射線防護

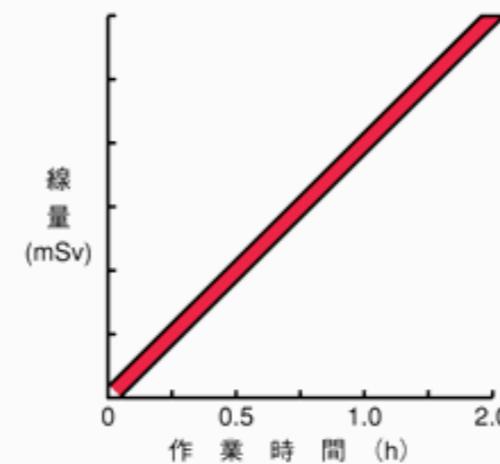
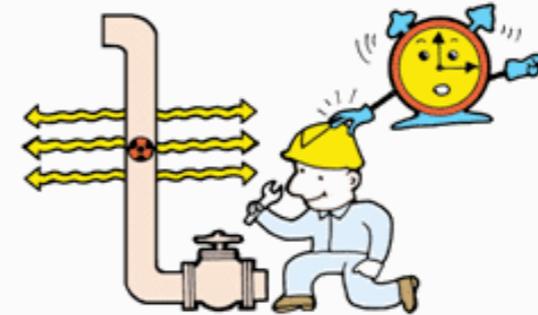
● 距離による防護

$$[\text{線量率}] = [\text{距離}]^2 \text{に反比例}$$



● 時間による防護

$$[\text{線量}] = [\text{作業場所の線量率}] \times [\text{作業時間}]$$



● 遮へいによる防護

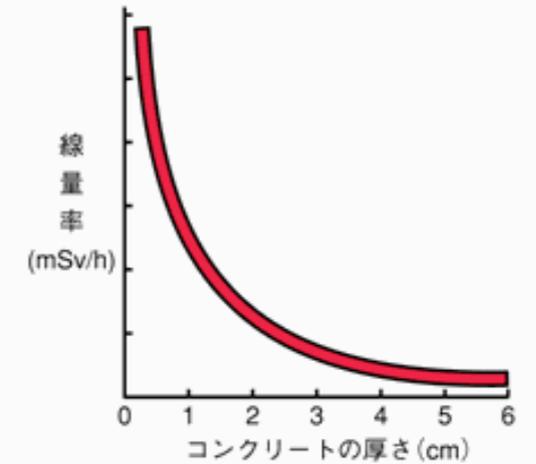
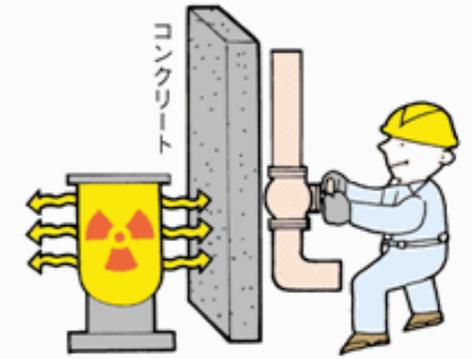


図1 遮へい3原則の図

[出典] 電気事業連合会:「原子力・エネルギー」図面集2003-2004、p.130

防護の最適化：個人線量、被曝人数、潜在的被曝の可能性のすべてを、経済的および社会的要因を考慮に入れたうえで、合理的に達成できる限り低く保つべきである。

(ALARA の原則 = As Low As Reasonably Achievable)

個人被曝の線量限度

線量限度の一覧表（作業者）

職業被曝（作業者 放射線業務従事者）

実効線量	100 mSv / 5年 かつ 50 mSv / 年 5 mSv / 3月 内部被曝について 1 mSv
女子 妊娠中の女子	
等価線量	
水晶体	150 mSv / 年
皮膚	500 mSv / 年
妊娠中の女子の 腹部表面	2 mSv / 年

公衆被曝（一般公衆）

実効線量	1 mSv / 年
等価線量	
水晶体	—
皮膚	—

国内法令による防護基準

	1990勧告	1977勧告
実効線量	20mSv/年（5年平均）	50mSv/年
水晶体等価線量	150mSv/年	150mSv/年 ²⁾
皮膚等価線量	500mSv/年 ¹⁾	500mSv/年
手・足の等価線量	500mSv/年	500mSv/年 ³⁾
その他の組織	—	500mSv/年

1) 被ばく部位に関係なく、深さ7 mg/cm²、面積1 cm²の皮膚についての平均線量に適用される。

2) 1980年のブライトン声明で300mSv/年から150mSv/年に下げた。

3) 1978年のストックホルム声明で追加された。

線量限度の一覧表（一般公衆）

	1990 勧告	1977 勧告
実効線量	1 mSv/年	5 mSv/年 ¹⁾ , 1 mSv/年（生涯の平均）
水晶体等価線量	15 mSv/年	50 mSv/年
皮膚等価線量	50 mSv/年 ³⁾	50 mSv/年
その他の組織	—	50 mSv/年 ²⁾

1) 1985年のパリ声明で主たる限度を1年につき1 mSvとして、補助的な限度を5mSv/年とした。

2) 1985年のパリ声明で実効線量当量の制限によって不要になった。

3) 被ばく部位に関係なく、深さ7 mg/cm²、面積1 cm²の皮膚についての平均線量に適用される。

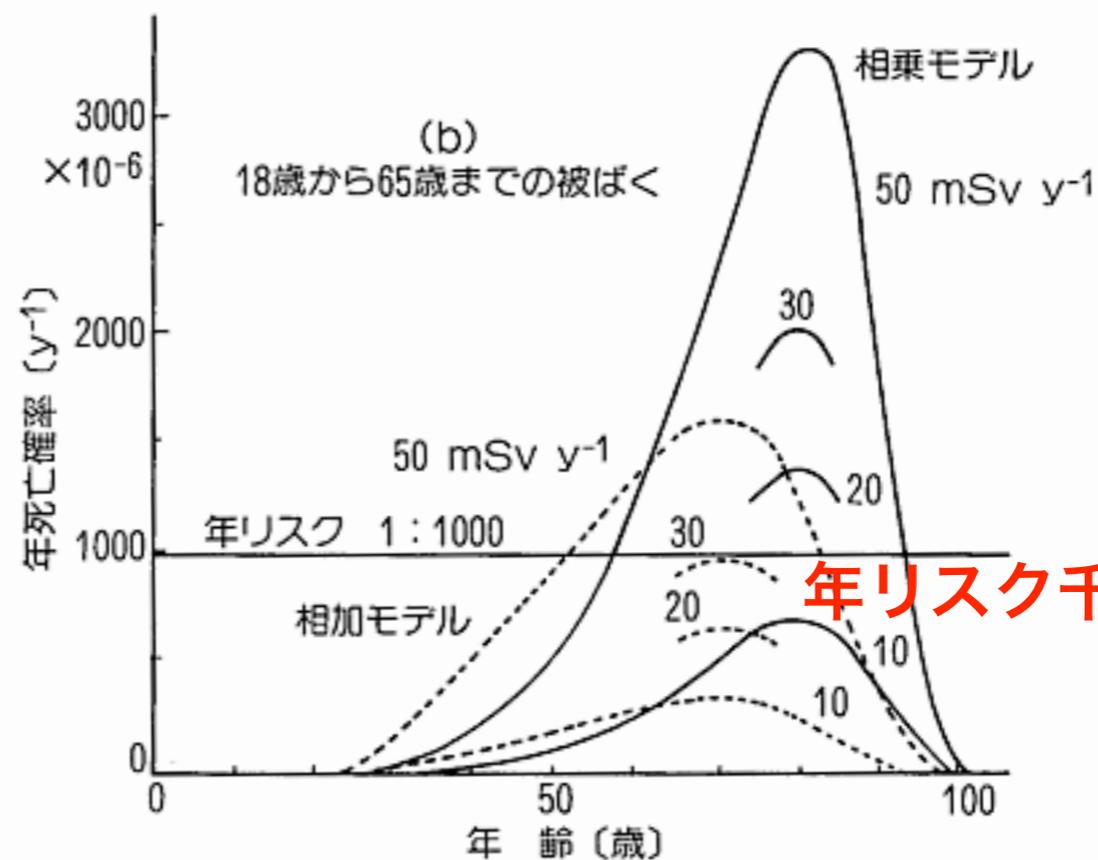
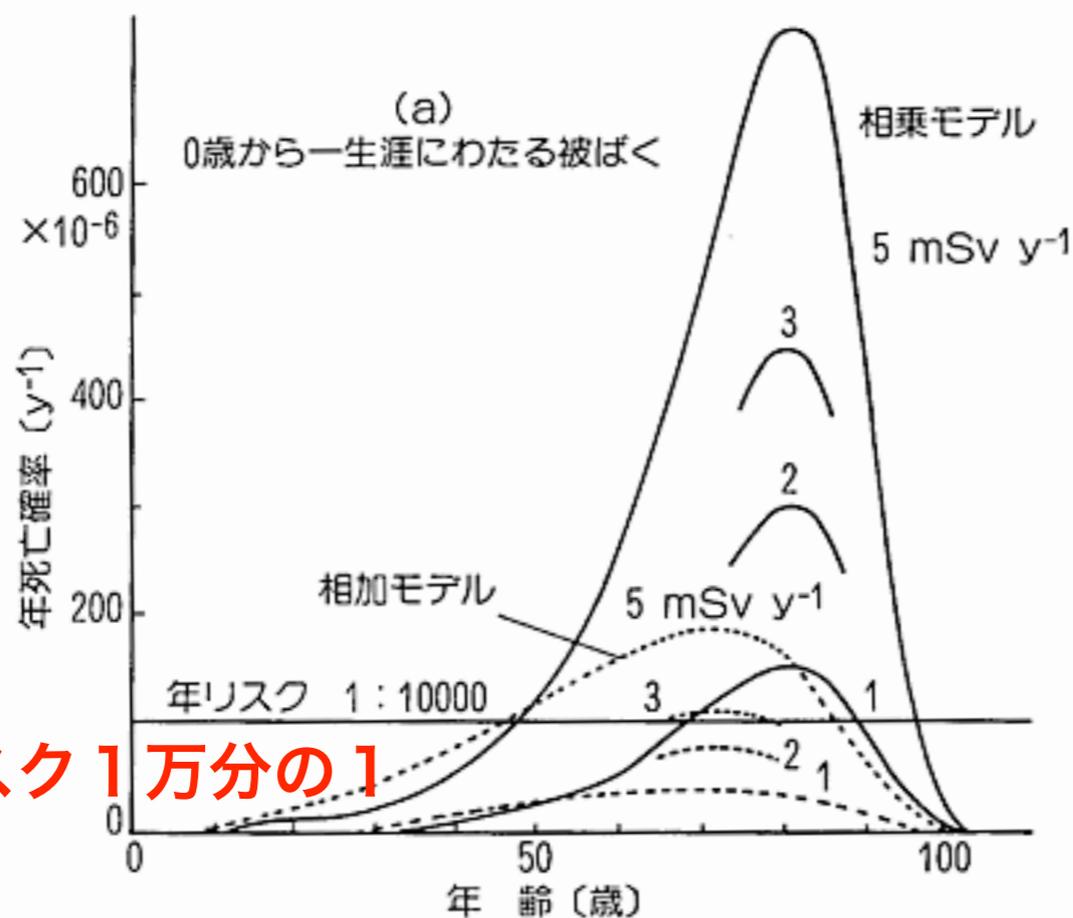
ICRP 勧告

〔出典〕（1990年ICRP新勧告と1977年ICRP勧告における線量限度値対照表）

〔「ICRP1990年勧告-その要点と考え方-」、草間朋子編、日刊工業新聞社、50ページ〕

公衆被曝（一般公衆）

職業被曝（作業者）



年リスク 1万分の1

年リスク千分の1

a) 誕生から一生涯にわたる被曝 及び b) 18歳から65歳までの被曝
それぞれ女性について計算したもの。線量及び線量率効果係数(DDREF)は2と仮定。

図2 生涯死亡率（無条件年死亡率）

〔出典〕 ICRP Publication 60 "Recommendation of International Commission on Radiological Protection", (邦訳: 日本アイソトープ協会)、附属書C(図C-9)から引用

コメント

LNT（線形閾値なし）仮説はあくまでも放射線あるいは環境化学物質に対する基準の策定に必要な防護の具体的数値を算出するための仮説として提出されたもので、メカニズムの面からは必ずしも支持されるわけではない。

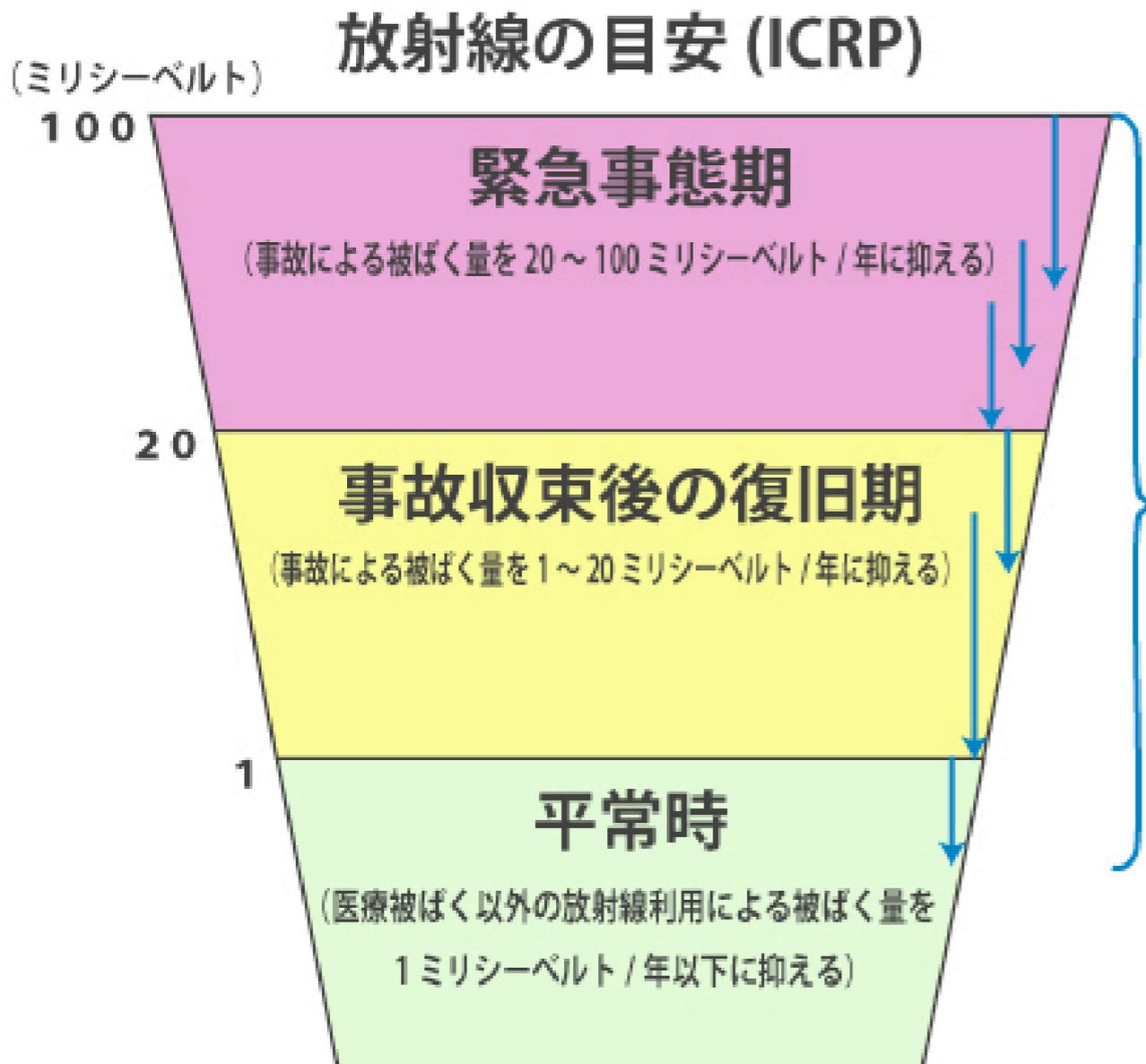
佐渡敏彦ほか「放射線および環境化学物質による発がん：本当に微量でも危険なのか？」（医療科学社）

等価線量も実効線量も、放射線防護の目的にのみ使用できる量である。つまり、放射線を利用する計画に伴う将来のリスクを予測評価するための目安であって、すでに受けてしまった放射線曝露から個人が受けるリスク（たとえば、将来がんを誘発する可能性）を評価するために用いるべきではない。

多田順一郎「わかりやすい放射線物理学 改訂2判」オーム社

Q. 政府が計画的避難地域を指定しましたが、基準になっている20ミリシーベルトの意味について教えてください。

A. 国際放射線防護委員会(ICRP)は専門家の立場から放射線防護に関する勧告を行う国際学術組織ですが、今回の基準は、このICRPの勧告を基に原子力安全委員会の助言を得て定められたと報道されています。

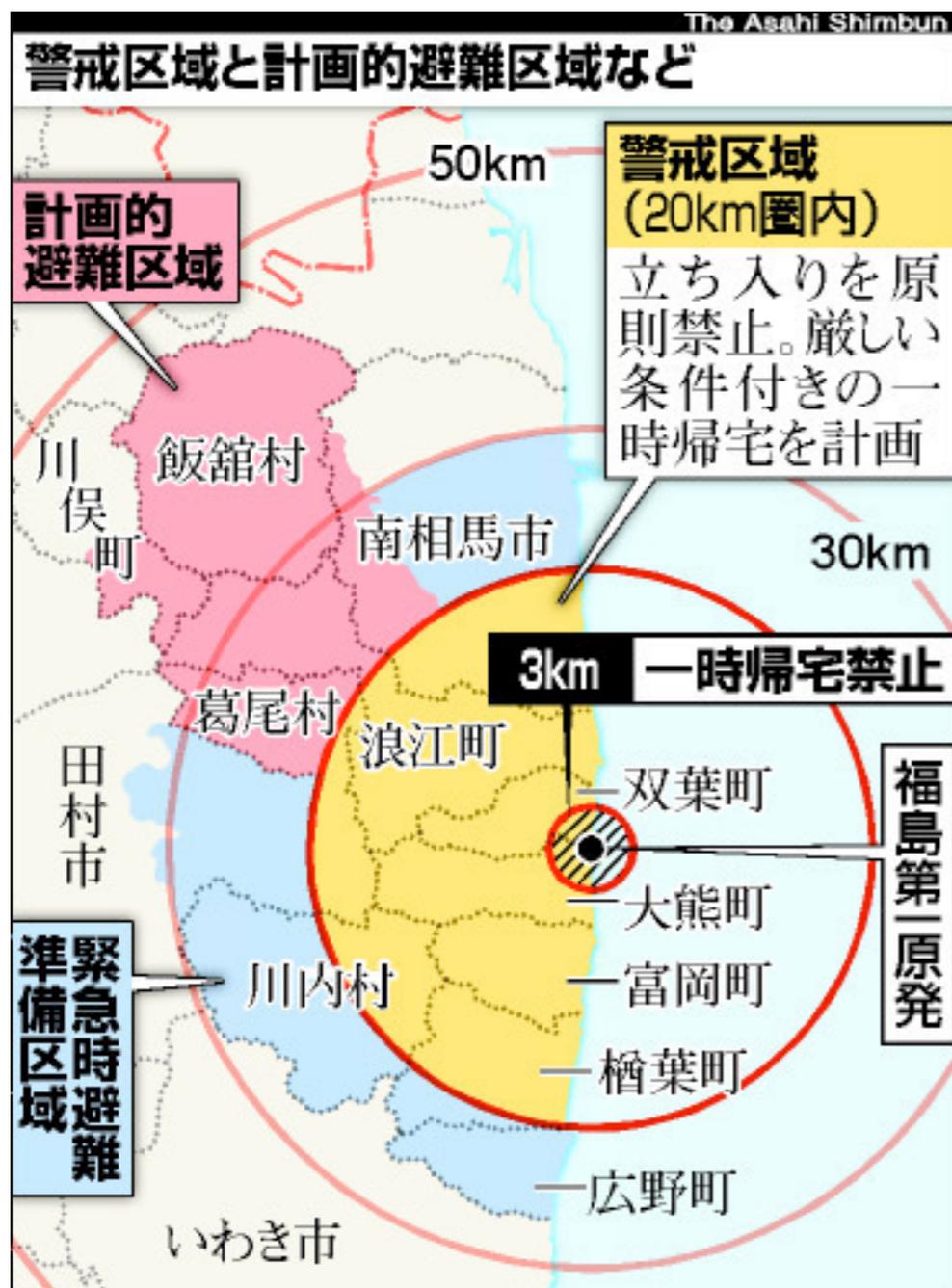


ICRPの2007年勧告では、非常時の放射線の管理基準は、平常時とは異なる基準を用いることとしています。

また非常時も、緊急事態期と事故収束後の復旧期を分けて、以下のような目安で防護対策を取ることとしています。現在の福島第一原子力発電所の状況は、緊急事態期に当たります。

- * 平常時：年間1ミリシーベルト以下に抑える
- * 緊急事態期：事故による被ばく量が20~100ミリシーベルトを超えないようにする
- * 事故収束後の復旧期：年間1~20ミリシーベルトを超えないようにする

今回の国の方針は、緊急事態期の被ばくとして定められている20~100ミリシーベルトの下限値にあたるもので、福島原発周辺の方々の被ばくが、事故による被ばくの総量が100ミリシーベルトを超えることがないような対応をしつつ、将来的には年間1ミリシーベルト以下まで戻すための防護策を講ずることを意味していると思われます



飯舘村の住民のリスクは？

住み続けるリスク

放射線の影響？

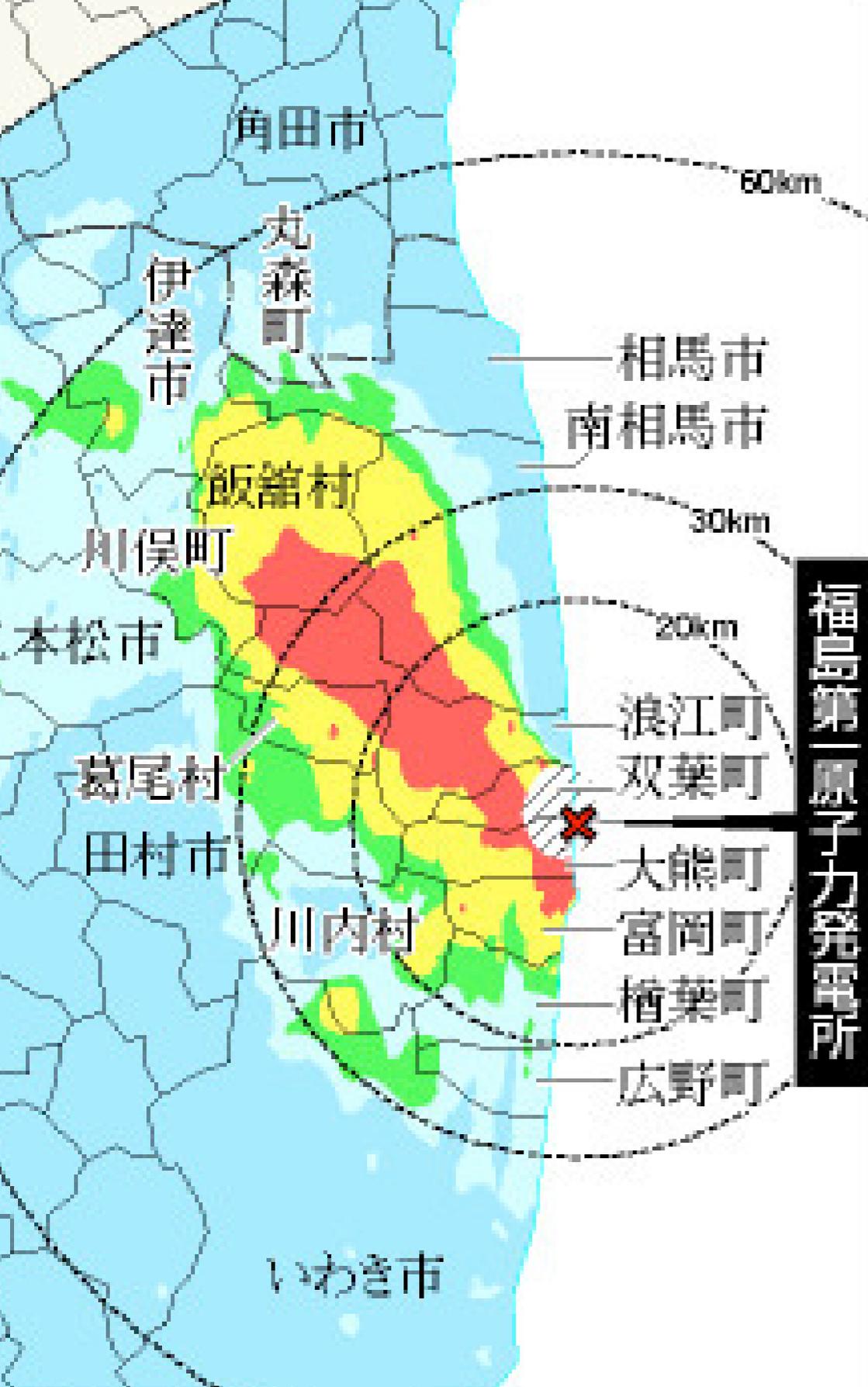
日常サービスの低下／欠如

避難生活でのリスク

非日常の集団生活ストレス

生業・収入の損失

年齢、家族構成、職業



福島第一原子力発電所

単位は1平方メートルあたりのベクレル
 300万~3000万 100万~300万 60万~100万
 30万~60万 30万以下 測定結果が得られていない範囲
 4月29日現在で換算。文部科学省及び米エネルギー省による
 航空機モニタリングの結果から

飯舘村の住民のリスクは？

住み続けるリスク

放射線の影響？

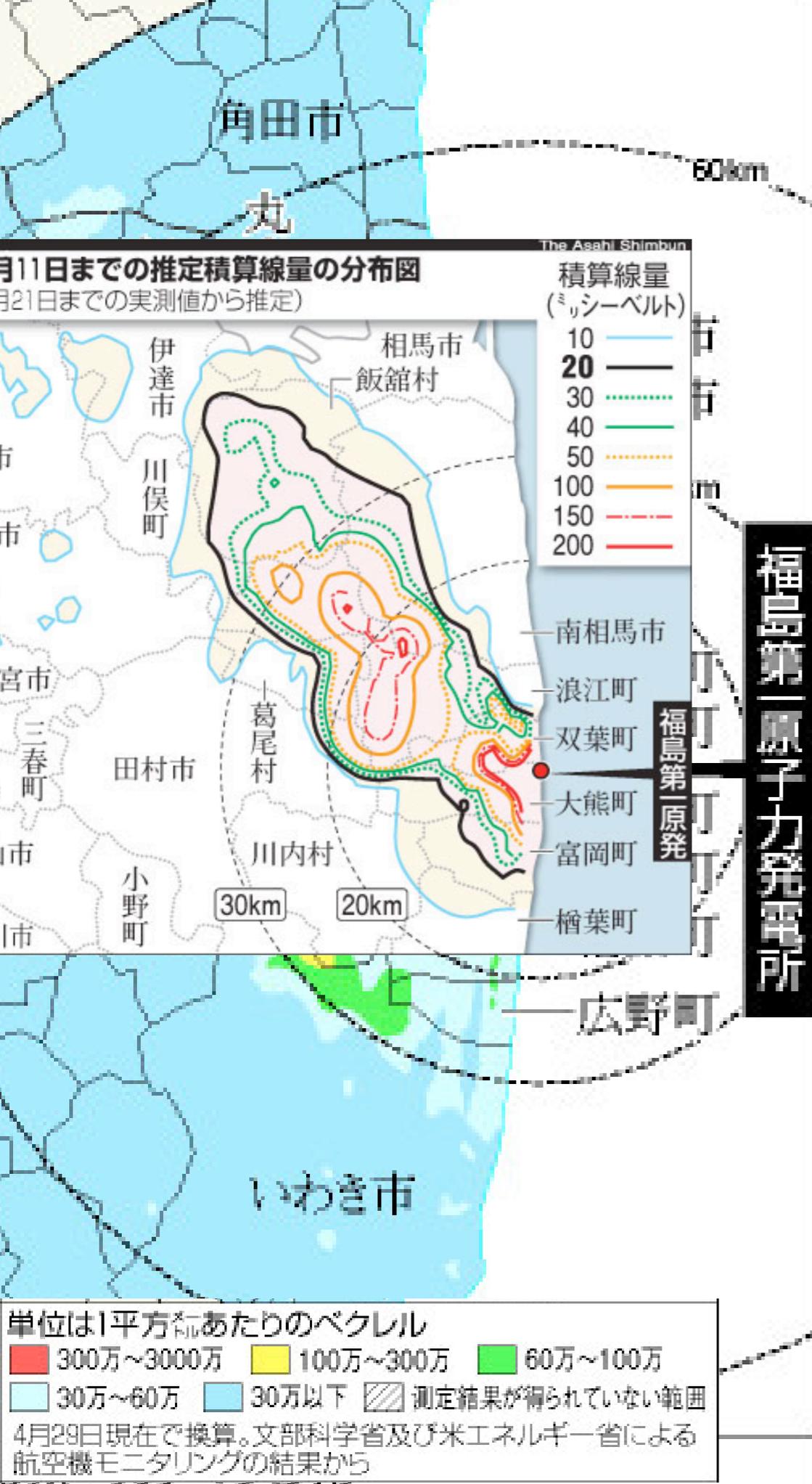
日常サービスの低下／欠如

避難生活でのリスク

非日常の集団生活ストレス

生業・収入の損失

年齢、家族構成、職業



飯舘村の住民のリスクは？

住み続けるリスク

放射線の影響？

日常サービスの低下／欠如

避難生活でのリスク

非日常の集団生活ストレス

生業・収入の損失

年齢、家族構成、職業

放射線生物学

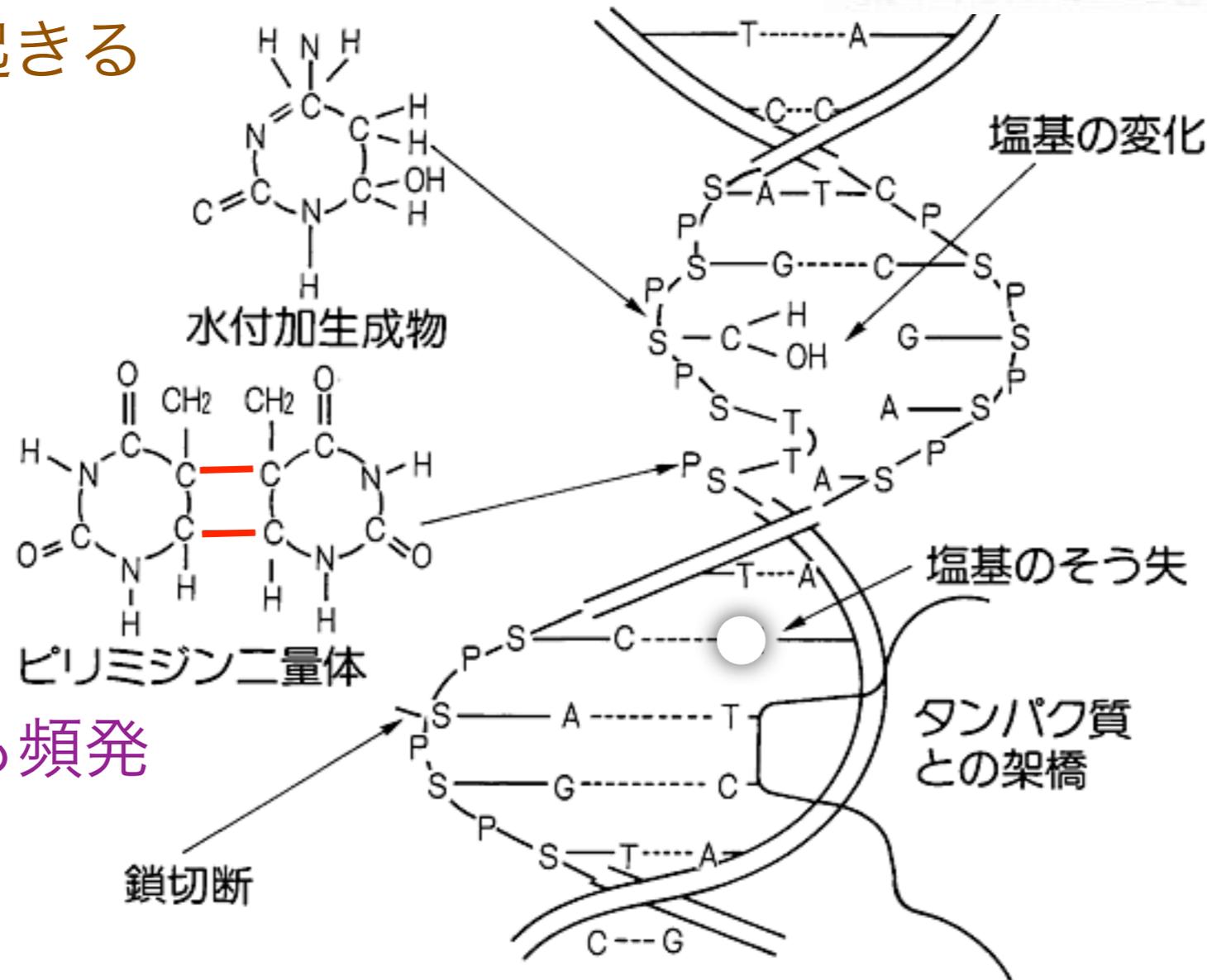
～ 損傷修復 ～

何もなくても DNA 損傷は自然発生している (複製ミスなど)

表5 増殖期のヒト細胞における DNA 損傷の自然発生率と放射線誘発率の比較²⁾

傷の種類	自然の傷(/細胞/日)	X線誘発の傷(/細胞/1 Sv)
塩基損傷	20,000	300
1本鎖切断	50,000	1,000
2本鎖切断	50(推定 ^{2,19)})	40

特定の化学物質によっても DNA 損傷が起きる

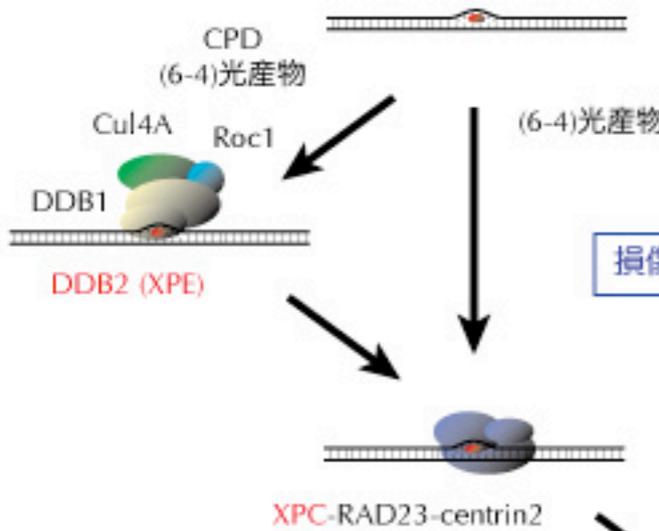


紫外線照射でも頻発

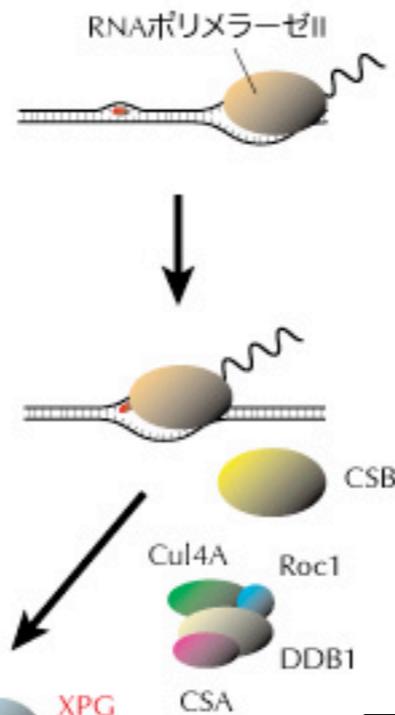
図2 放射線照射を受けた細胞から抽出された DNAに見られる種々の損傷

[出典] 江上信雄：生き物と放射線、東京大学出版会、1975

ゲノム全体を対象とする修復 (GGR)



転写と共役した修復 (TCR)

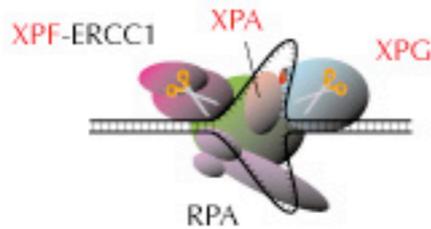


損傷の認識

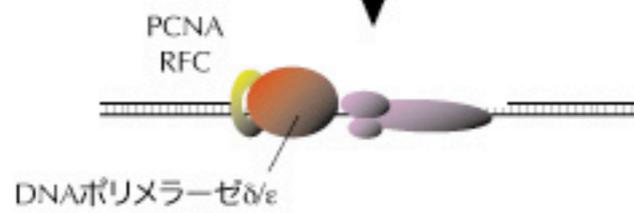
TFIIHによるDNA二重鎖の巻き戻し

TFIIH (XPB, XPD, TTDA)

損傷両側における一本鎖切断



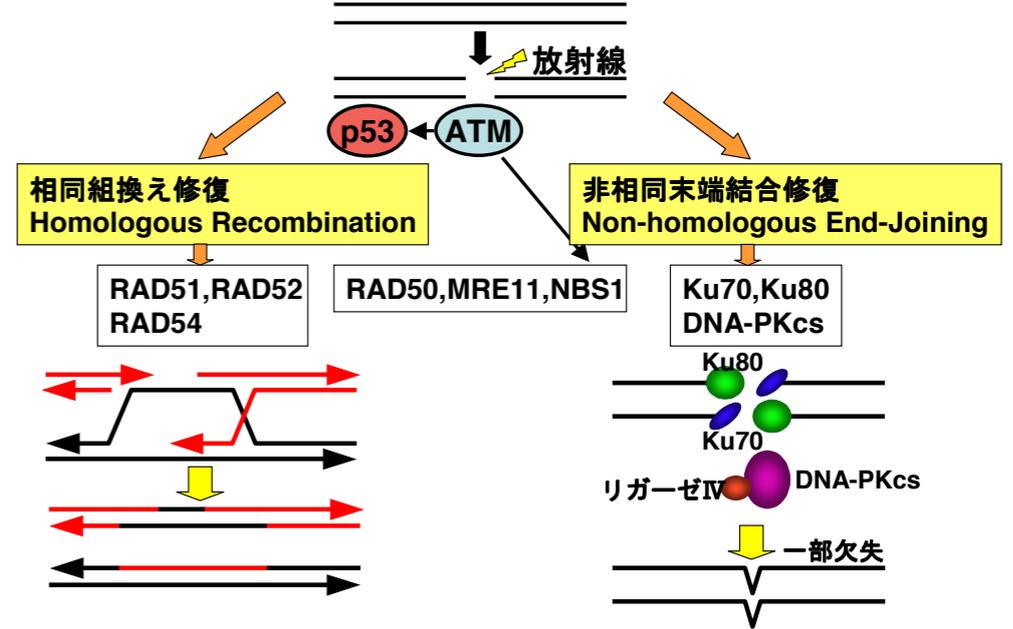
DNA修復合成



DNAリガーゼI

DNA鎖の再連結

DNA二本鎖切断の修復経路



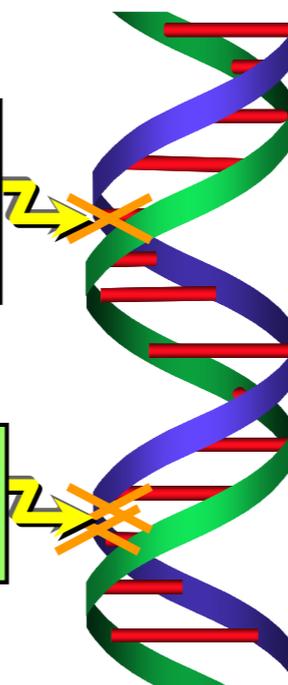
ゲノムのキズを修復するシステム

外因性障害因子

化学物質
紫外線
放射線
その他

内因性障害因子

活性酸素
代謝産物
その他



ゲノム修復装置

除去修復*
相同組み換え修復
ミスマッチ修復
末端結合修復
損傷乗り越え修復
その他

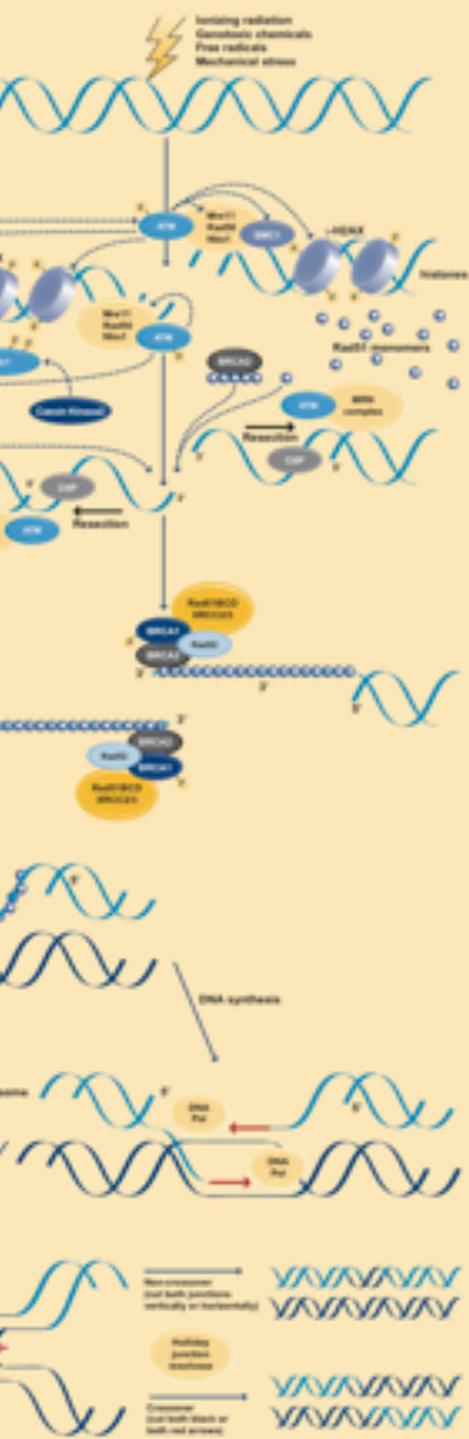
正しい修復

誤修復

突然変異
がん

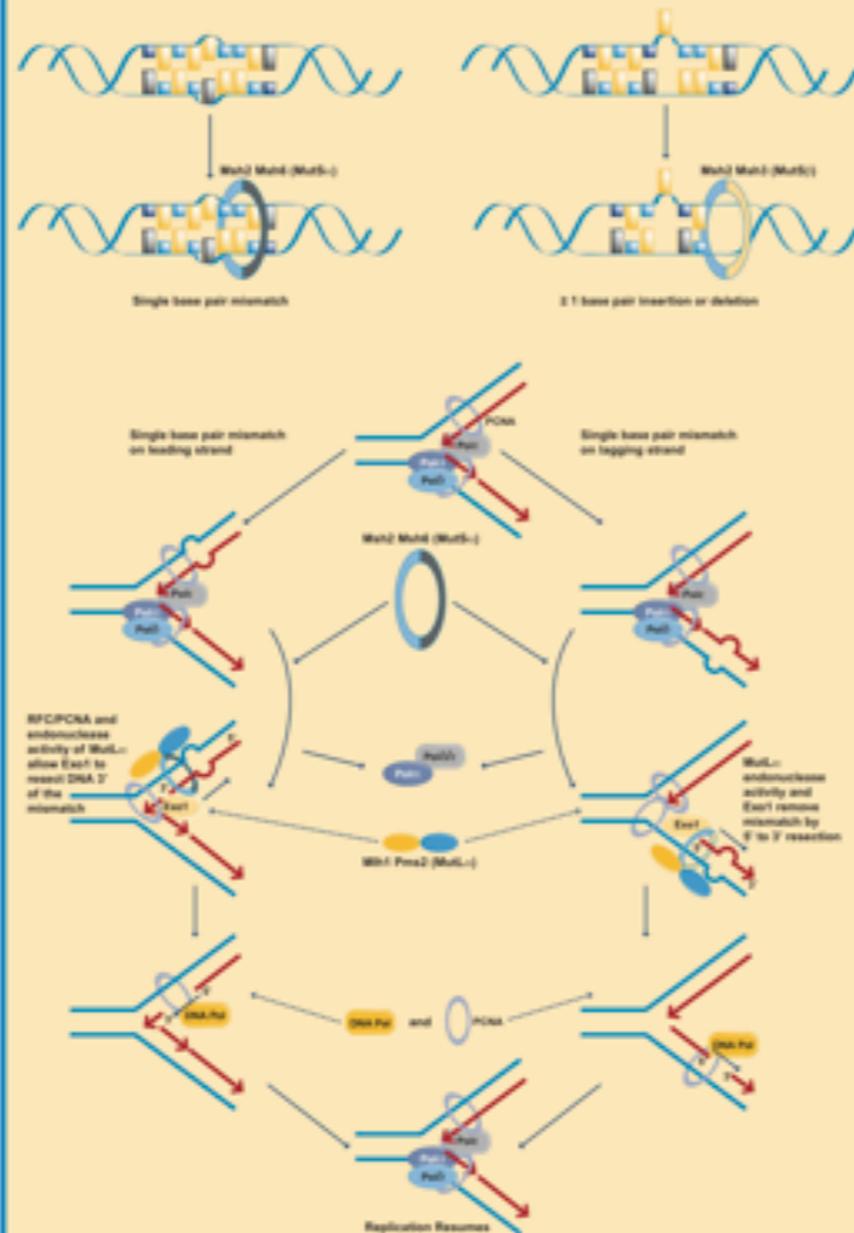
アポトーシス

(*) { 塩基除去修復
ヌクレオチド除去修復

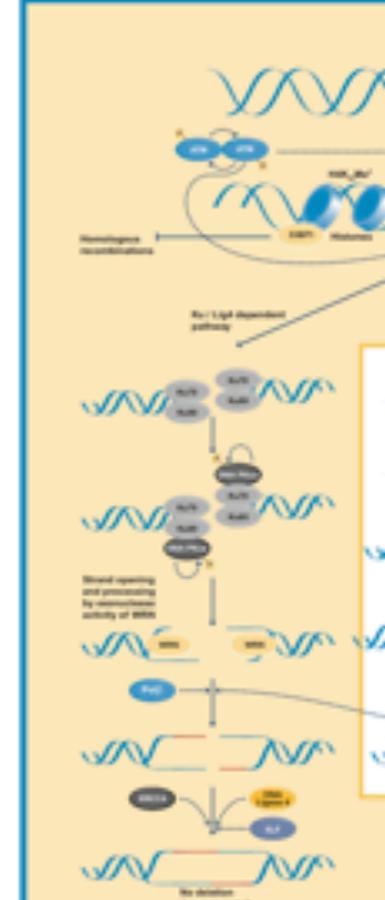
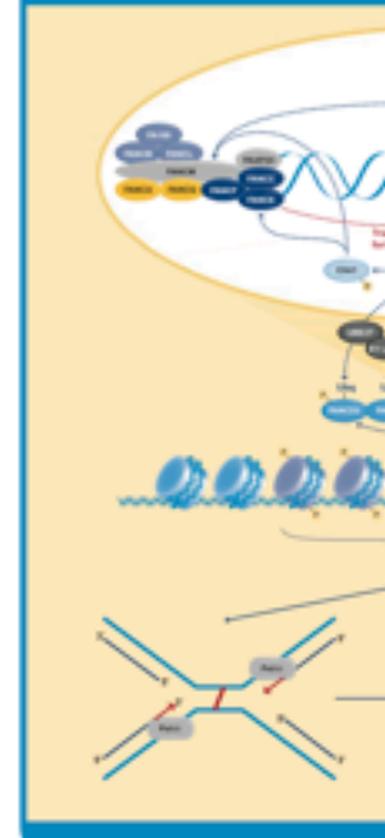
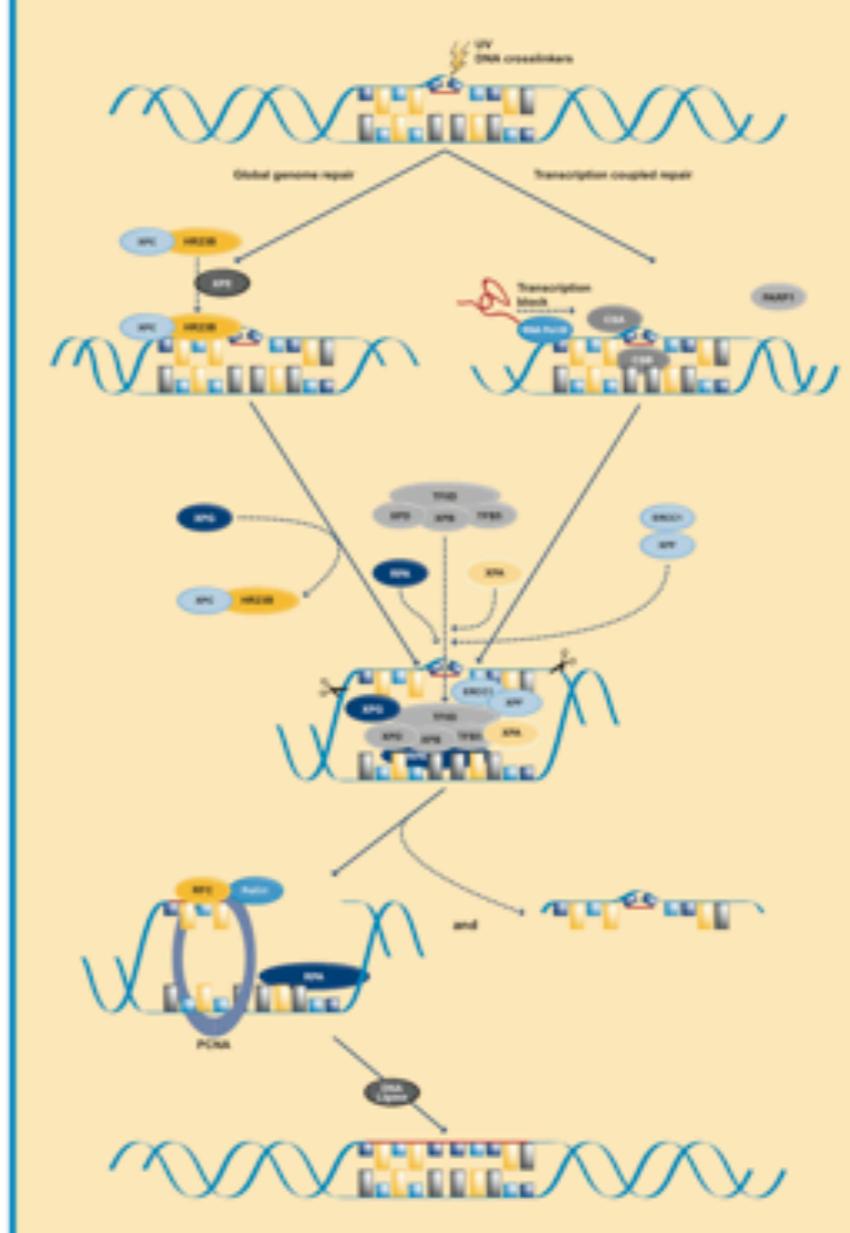


DNA Repair Pathways

Mismatch Repair



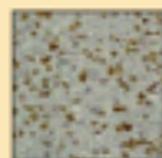
Nucleotide Excision Repair



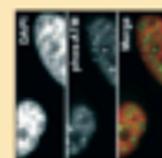
Featured DNA Repair antibodies



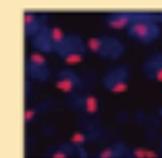
ab29 PCNA antibody
Formaldehyde fixed mouse tissue sections stained with ab29 at 1/6000 dilution.



ab32138 PARP antibody
Paraffin-embedded sections of human brain stained with ab32138 at 1/25 dilution.



ab2888 ATM antibody
HeLa cells stained with ab2888 at 1/200 dilution.



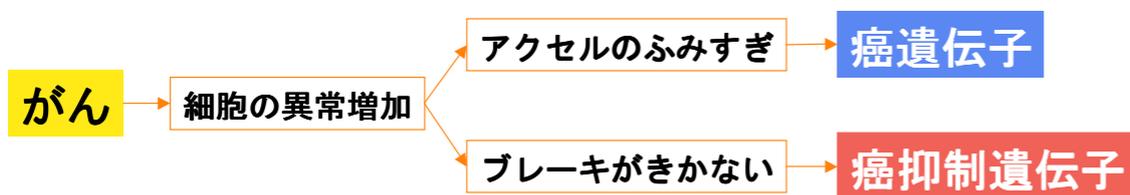
ab2893 gamma H2A.X (phospho 5139) antibody
Pachytene spermatocytes stained with ab2893 at 1/200.

「がん」とは

がんは遺伝子の病気である

がんは細胞が異常に増加することによって起きる病気である

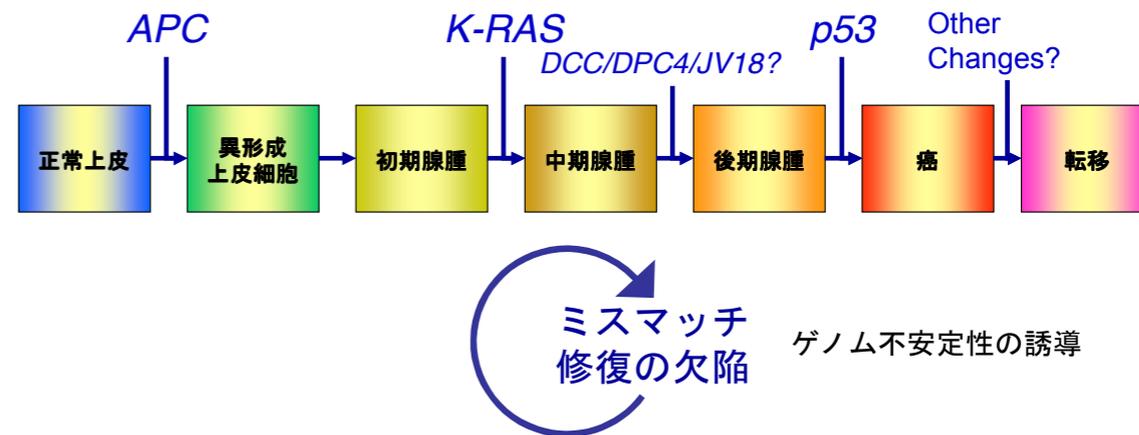
自動車の速度がアクセルとブレーキによって制御されている様に、細胞の増加速度も増殖のアクセルとブレーキによって制御されている



15

大腸癌の発症過程に対応した遺伝子変異

(多段階発がん仮説)



[Kinzler et al, Cell: 87, 159-170, 1996]

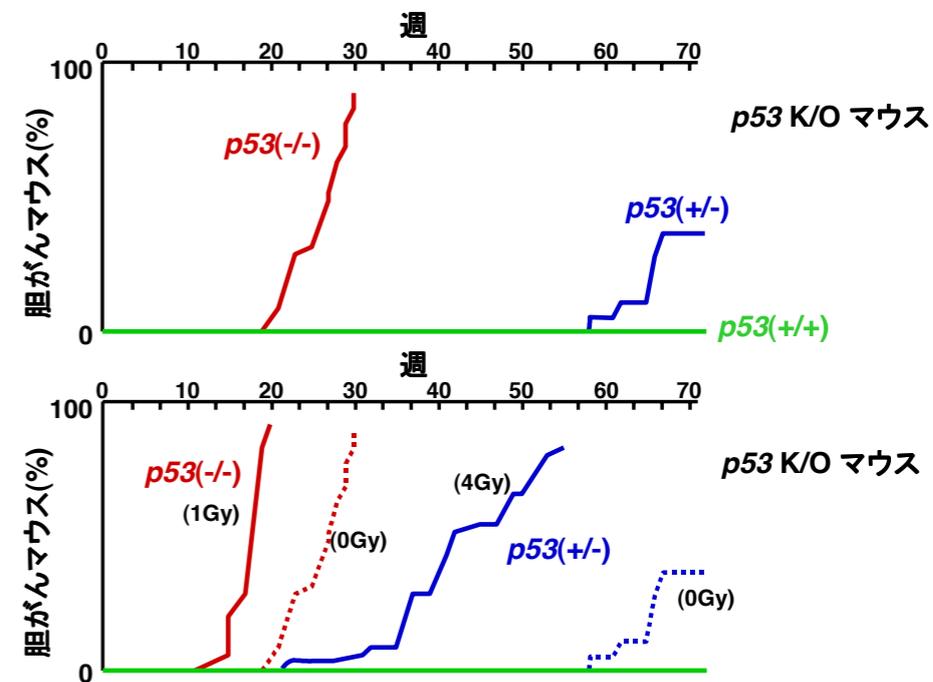
18

ヒト腫瘍での主な遺伝子の異常

腫瘍	がん遺伝子	がん抑制遺伝子
乳がん	erbB-2 myc	RB p53 BRCA-1,-2
大腸がん	K-ras	APC p53 DCC SMAD2
肺がん	myc L-myc N-myc	p53 RB 3p21
胃がん	erbB-2 K-sam K-ras met	1q 12q p53

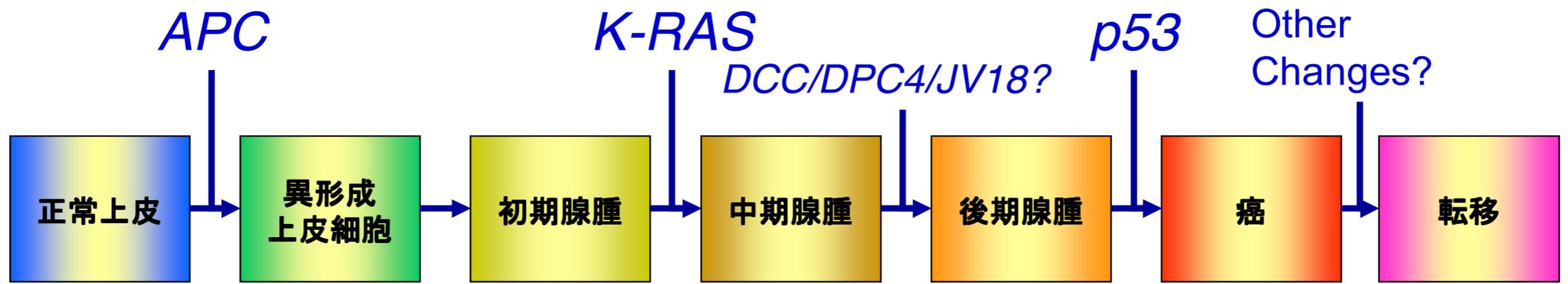
16

放射線発がんに対する遺伝的感受性

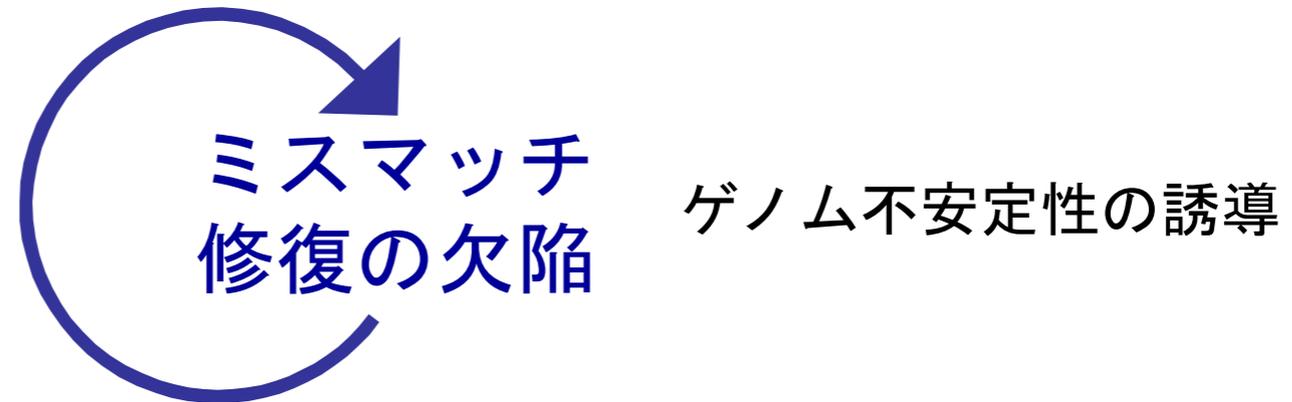


[Kemp et al, Nature Genet., 8, 66-69, 1994]

43

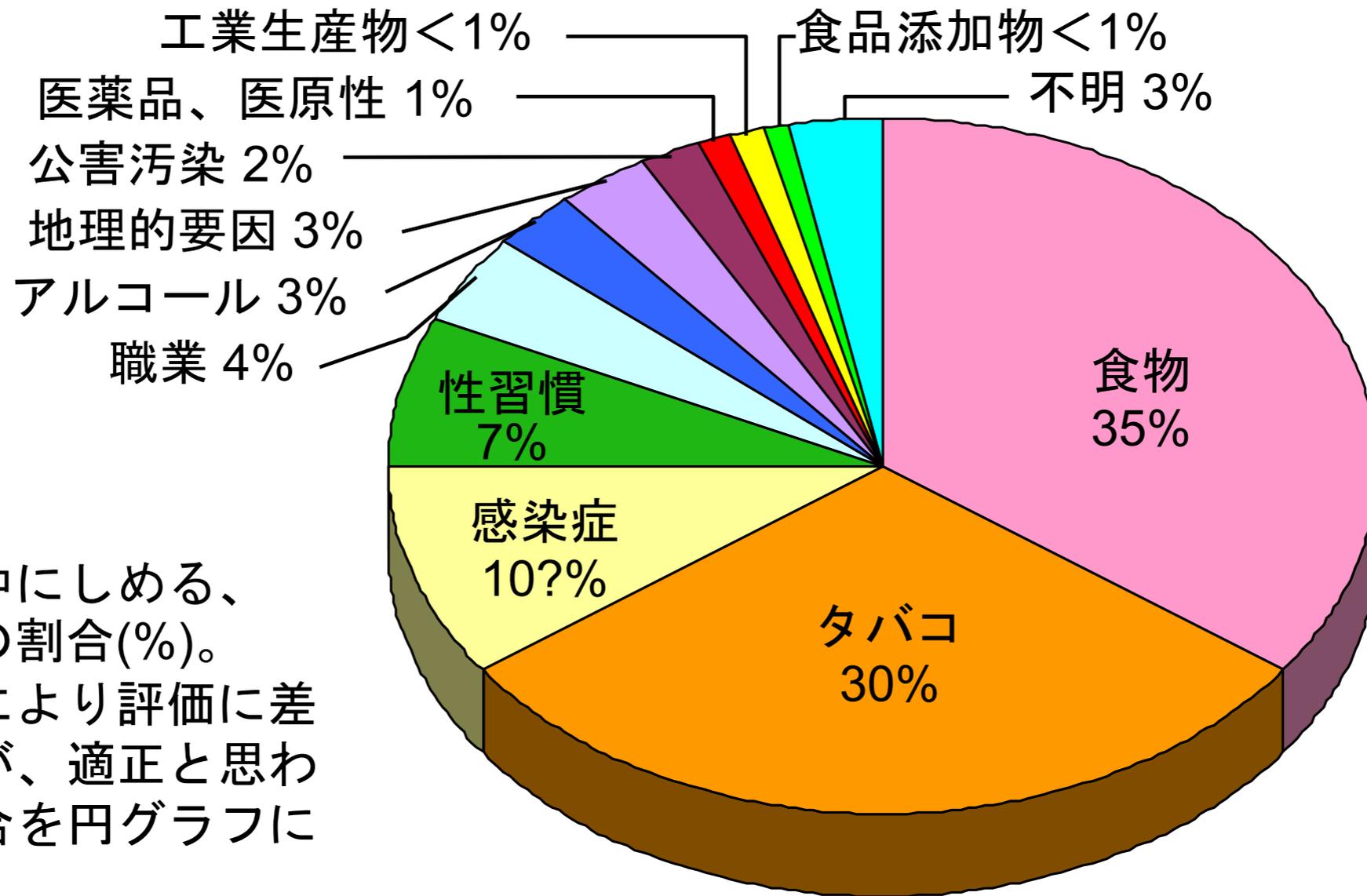


多段階発ガン仮説



- 放射線による直接電離、および水のイオン化で生じるラジカルはたしかに DNA に損傷を与える（おそらく線量に比例）。なかでも二本鎖切断が特に問題となる（高LETを与える α 線、中性子線は生物学的効果が大い）。
- しかしそもそも DNA 損傷は化学物質など放射線以外の要因によっても、また普段の DNA 複製の際の複製エラーでも生じている。
- ヒトを含む生物の細胞には、DNA 損傷に対する多種多様な修復機能が備わっている。
- それら DNA 修復遺伝子自体が損傷を受けると修復機能が低下するが、DNA 損傷が残ってもすぐガンになるのではなく、細胞がガン化するのは多段階のガン遺伝子（アポトーシス(細胞死)に関与する p53 ガン抑制遺伝子を含む）に次々に突然変異が生じた場合。
- 一方で、DNA 修復遺伝子に異常のある病気の人、通常の人よりはるかにガンにかかりやすい。（色素性乾皮症、運動失調性毛細管拡張症、ナイミーヘン切断症候群など）

ヒトのがんの原因と関連のある因子



がん死中にしめる、
各因子の割合(%)。
研究者により評価に差
があるが、適正と思わ
れる割合を円グラフに
示した。

(R.Dool and R.Peto, 1981)

放射線と生活習慣の 発がんの相対リスク比較

受動喫煙の女性	1.02～ 1.03倍
野菜不足	1.06倍
100～200ミリシーベルトを浴びる	1.08倍
塩分の取りすぎ	1.11～ 1.15倍
200～500ミリシーベルトを浴びる	1.16倍
運動不足	1.15～ 1.19倍
肥満	1.22倍
1000～2000ミリシーベルトを浴びる	1.4倍
毎日2合以上の飲酒	
2000ミリシーベルト以上浴びる	1.6倍
喫煙	
毎日3合以上の飲酒	

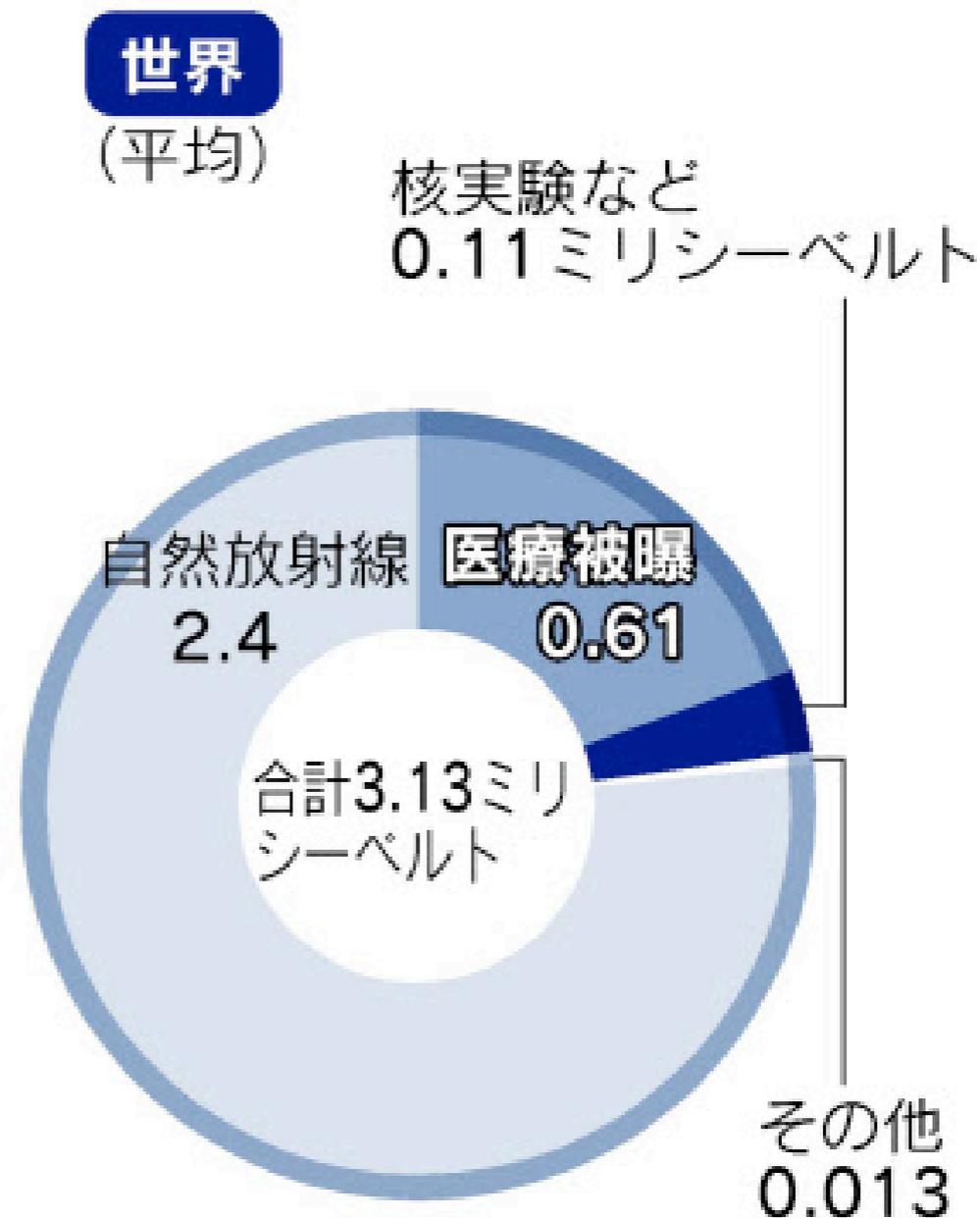
※網かけは放射線

(注)相対リスクは、例えば喫煙者と非喫煙者のがんの頻度を比較した数字

(短時間での被曝の場合)

(低線量率では損傷の修復のためリスクはより小さい。どれだけ小さいかは議論のあるところで、結論は出ていない。)

1人が1年間に浴びる放射線量



(注) ICRPが定める一般人が浴びてもさしつかえないとする限度1ミリシーベルトは医療被曝と自然放射線は除く。「原子力・エネルギー図面集 2011年版より」

放射線医療

CT scan !!

CTDI

DLP

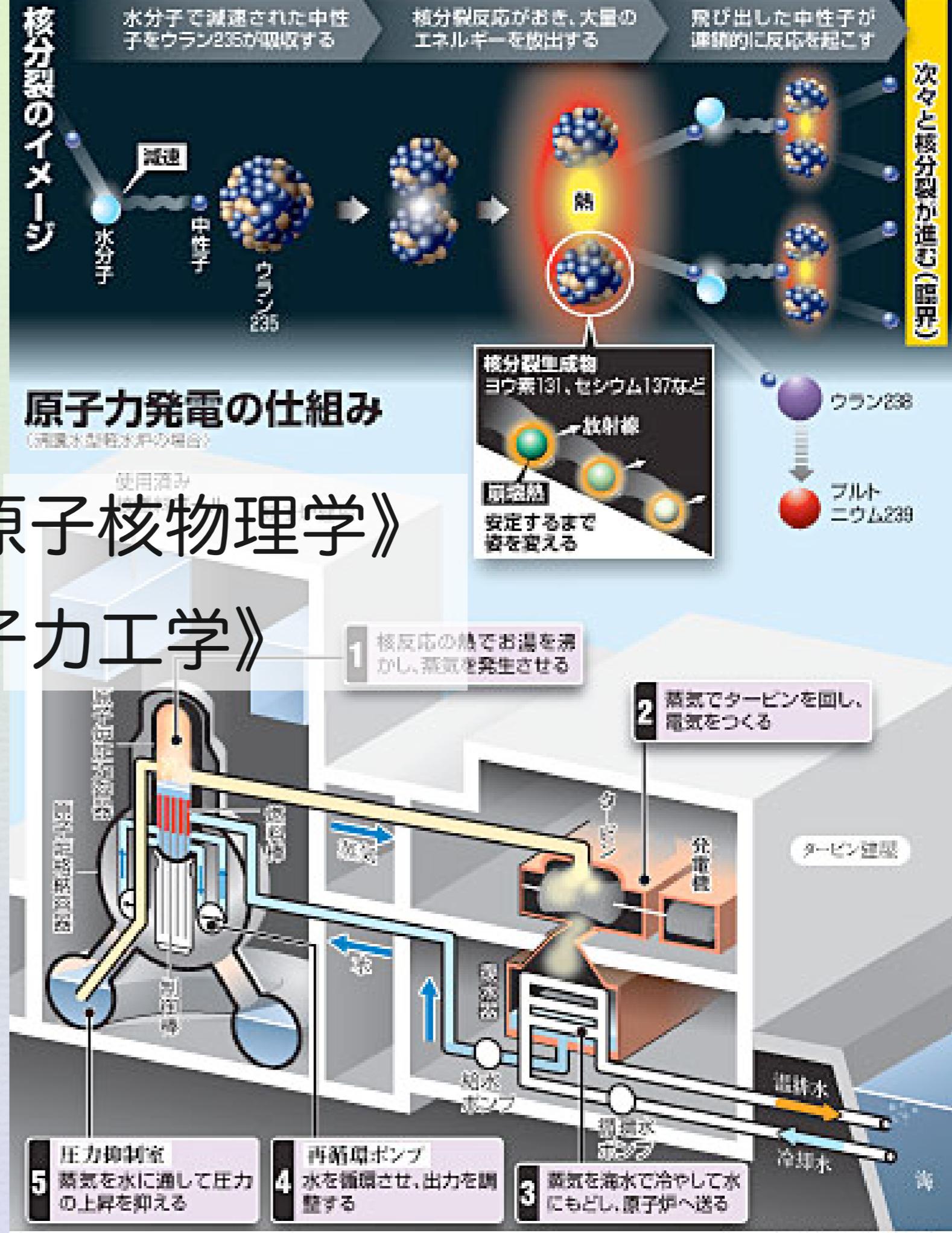
H_T / E

医療（診断・治療）には線量限度がない！

次回予告

第4回 (5/31)

- 原子核の壊変 《原子核物理学》
- 核分裂反応 《原子力工学》



自主講義 「放射線学」

- 第1回：講義概要のイントロ
(5/10) 放射線とは？
- 第2回：放射線と物質との相互作用《放射線物理学》
(5/17) (エネルギー損失、各種反応・散乱過程)
- 第3回：放射線の生体への作用と影響《放射線生物学》
(5/24) 放射線と放射能の単位
放射線の防護《放射線安全管理学》
- 第4回：原子核の壊変《原子核物理学》
(5/31) 核分裂反応《原子力工学》
- 第5回：放射線の利用、放射線診断・治療《放射線医療》
(6/7) 放射線の測定《放射線計測学》
- 第6回：高エネルギー・素粒子物理学《加速器科学》
(6/14) discussion

講義スライド、講義予定

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

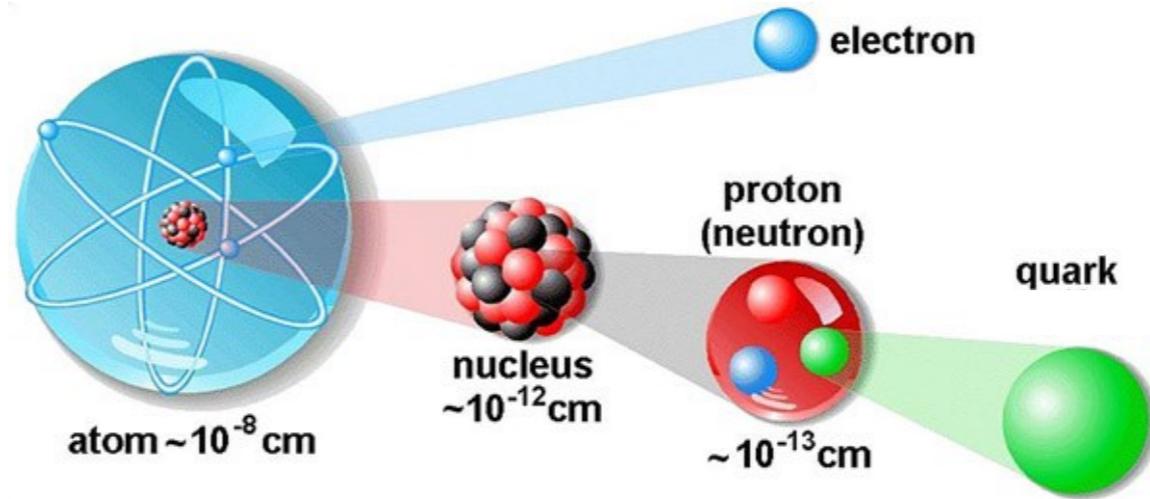
連絡先

torii-radio@radphys4.c.u-tokyo.ac.jp

担当教員:鳥居 寛之

授業アンケート

自主講義 放射線学



放射線を学ぶ

原子力発電所の事故が連日トップニュースで報じられ、世界中が放射能汚染に対しヒステリックなまでに反応している現在、我々には放射線に対する正しい科学的リテラシーが求められています。

一方で、放射線に関する学問は多分野にわたり、大学などで系統立って教えられる機会は非常に限られています。放射線に対する知識不足が、必要以上の不安と混乱を引き起こしている現状があります。

そこで今回、教養学部物理部会に所属して粒子線物理学を専門とする鳥居助教が講師となって、自主講義を企画することにしました。急遽の講義開催決定により正規の授業として組み込むことができなかったため、受講しても単位は出ませんが、意欲ある皆さんの参加を期待します。

講義内容

放射線とは？

放射線と放射能の単位(シーベルト、ベクレルなど)

放射線と物質との相互作用《放射線物理学》

放射線の測定《放射線計測学》

放射線の生体への作用と影響《放射線生物学》

原子核の壊変《原子核物理学》と核分裂反応《原子力工学》

放射線の利用(放射線診断・治療、分析、年代測定)

高エネルギー・素粒子物理学《加速器科学》

講師 鳥居 寛之 教養学部物理部会 助教

講義日程

第1回 5/10(火)

第2回 5/17(火)

第3回 5/24(火)

第4回 5/31(火)

第5回 6/7(火)

第6回 6/14(火)

5/10
火曜5限
開講

場所・時間

11号館1101教室

火曜5限16:20~17:50

対象

主に1, 2年の理系が対象ですが、意欲のある文科生や3年生以降も歓迎します。

Fine per oggi.

Fin du cours pour aujourd'hui.

That's all for today.

Ci vediamo la prossima settimana.

On se verra la semaine prochaine.

See you next week.