



# 放射線

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

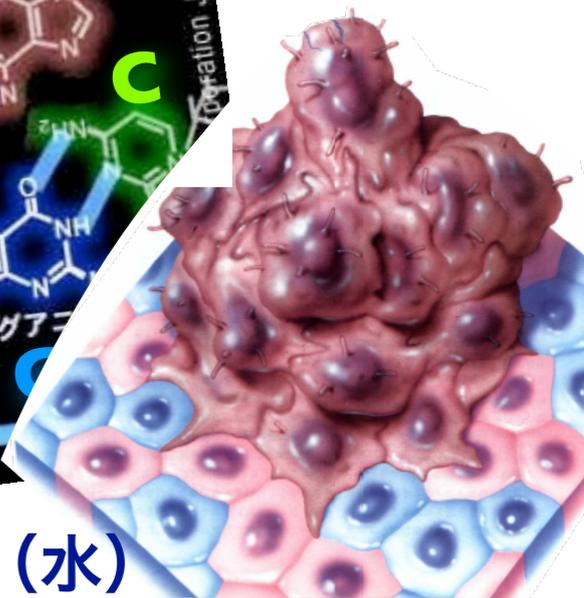
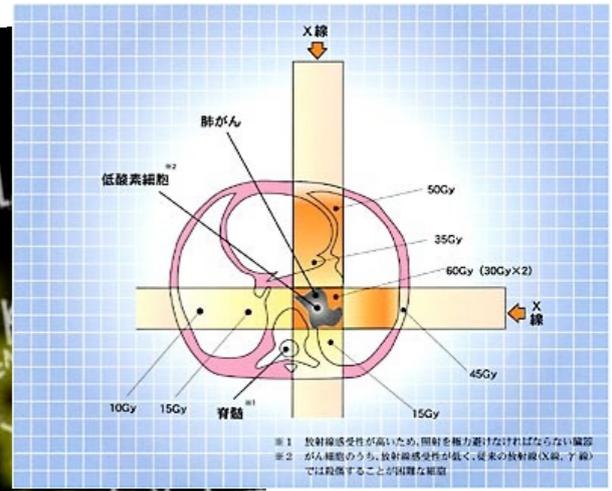
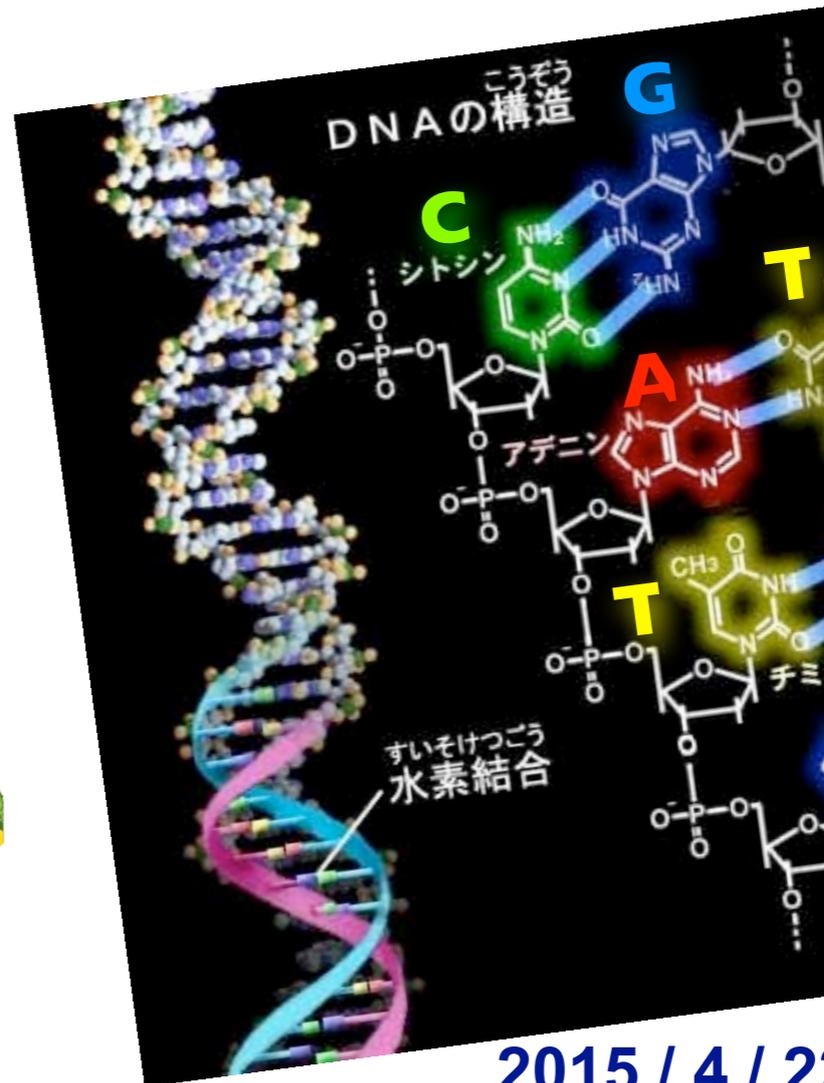
- 1章 放射線とは？《放射線入門》
  - 2章 放射線の性質《放射線物理学 I》
  - 3章 原子力発電で生み出される放射性物質  
《原子核物理学・原子力工学》
  - 4章 放射線量の評価《放射線物理学 II》
  - 5章 放射線の測り方《放射線計測学》
  - 6章 環境中での放射性物質《環境放射化学》
  - 7章 放射線の細胞への影響《放射線生物学》
  - 8章 放射線の人体への影響《放射線医学》
  - 9章 放射性物質と農業《植物栄養学・土壤肥料学》
  - 10章 放射線の防護と安全《放射線防護学》
  - 11章 役に立つ放射線《放射線の利用・加速器科学》
- Q&A

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是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>

# 放射線の科学と安全



2015 / 4 / 22 (水)

## 第4話 放射線生物学・放射線防護学

### 放射線の利用・医療

# 参加したセミナーリスト

2011～12年度分

理化学研究所原子物理セミナー「低線量放射線の生体への影響」2011年6月6日

日本物理学会主催「物理学者から見た原子力利用とエネルギー問題」，立教大学，2011年6月10日.

日本学術会議緊急講演会「放射線を正しく恐れる」2011年7月1日

東大病院講演「チェルノブイリから福島を学ぶ」2011年10月28日

日本アイソトープ協会勉強会「ICRPを読み解く—第2回—」，學士會館，2012年2月13日

東京大学大学院 理工農医 4 研究科合同公開講座「放射線を知る」，2012年2月19日

東京大学，博報堂，時事通信社，特別協力：環境省，「災害廃棄物処理を考えるプロジェクト」2012年3月

文部科学省「東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の分布状況等に関する調査研究結果」に関するシンポジウム，2012年3月13日

日本物理学会第67回年次大会シンポジウム，領域1「放射線が生体に与える影響—原子分子から生物まで—」，関西学院大学，2012年3月24日

日本物理学会第67回年次大会シンポジウム，物理と社会「福島原発事故から1年：これまでとこれから」・「科学者の役割とは何か：不確実性の中での科学と社会」・「福島原発事故と物理学者の社会的責任」，関西学院大学，2012年3月.

東京大学教養学部 学術俯瞰講義「リスクと社会」，2012年4月～7月

京都大学 基研主導研究会2012「原子力・生物学と物理」2012年8月8日～10日，プレ・コンファレンス 8月7日

アルスタウンミーティング「福島原発事故の反省と「科学と社会」の在り方について」（共催：東北大学GCOE「物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開」），東北大学，2012年8月24日

日本学術会議主催学術フォーラム「リスクを科学するフォーラム」2012年8月31日

日本学術会議主催学術フォーラム「原発事故調査で明らかになったこと—学術の役割と課題—」2012年9月1日

東京大学医科学研究所「現場からの医療改革推進協議会 第7回シンポジウム」2012年11月10・11日

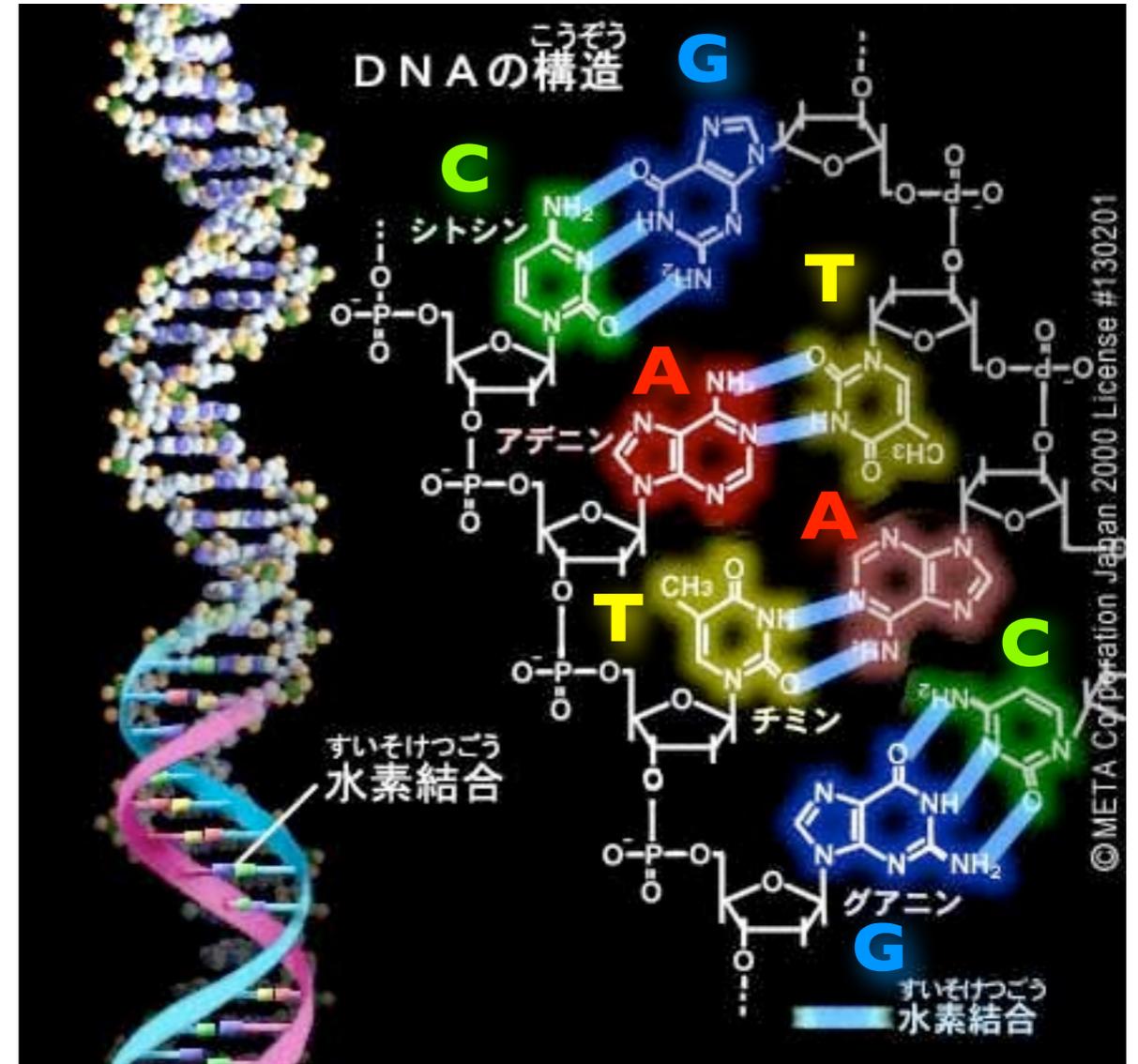
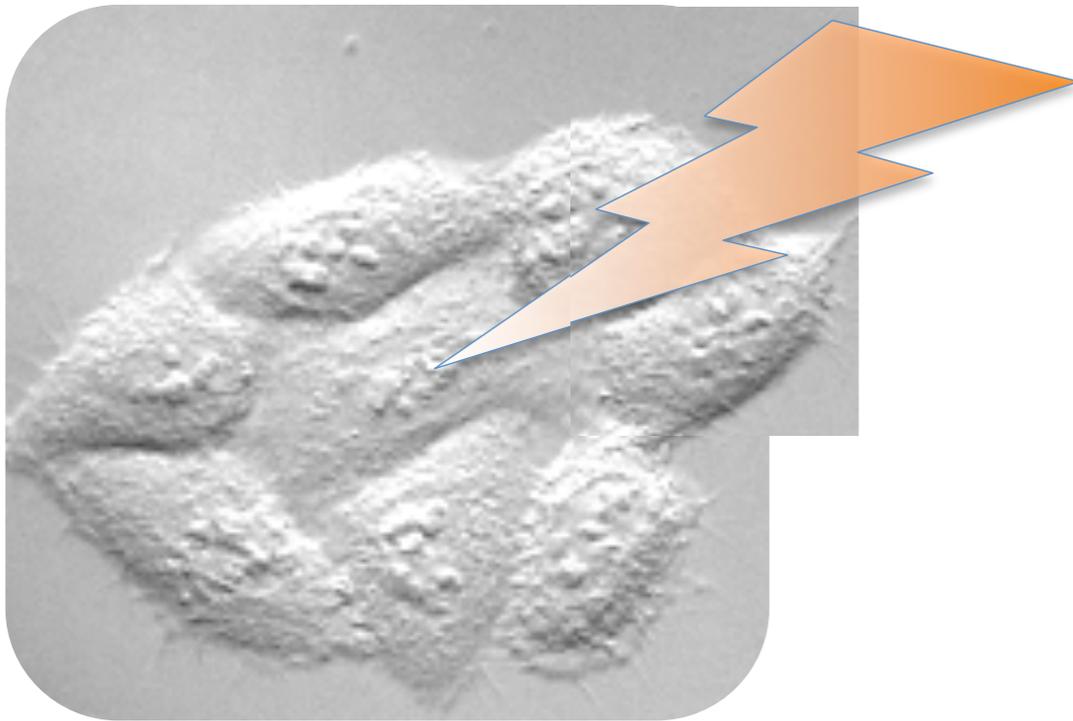
日本学術会議主催学術フォーラム「東日本大震災がもたらした食料問題を考える」2012年11月21日

日本物理学会第68回年次大会シンポジウム，物理と社会「医学における物理学の貢献」，広島大学，2013年3月28日

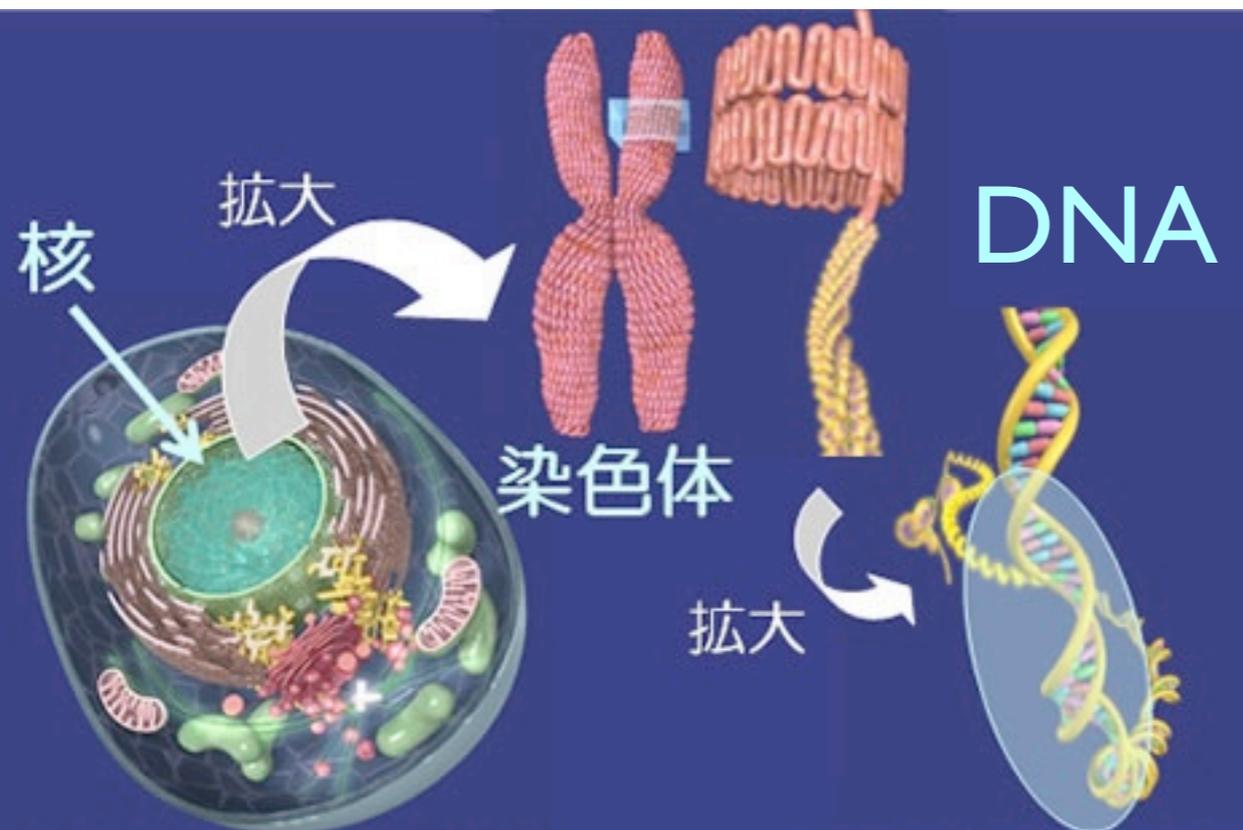
# 放射線生物学

# 細胞の核に放射線が照射

## DNA



出典：IPA「教育用画像素材集サイト」 <http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>



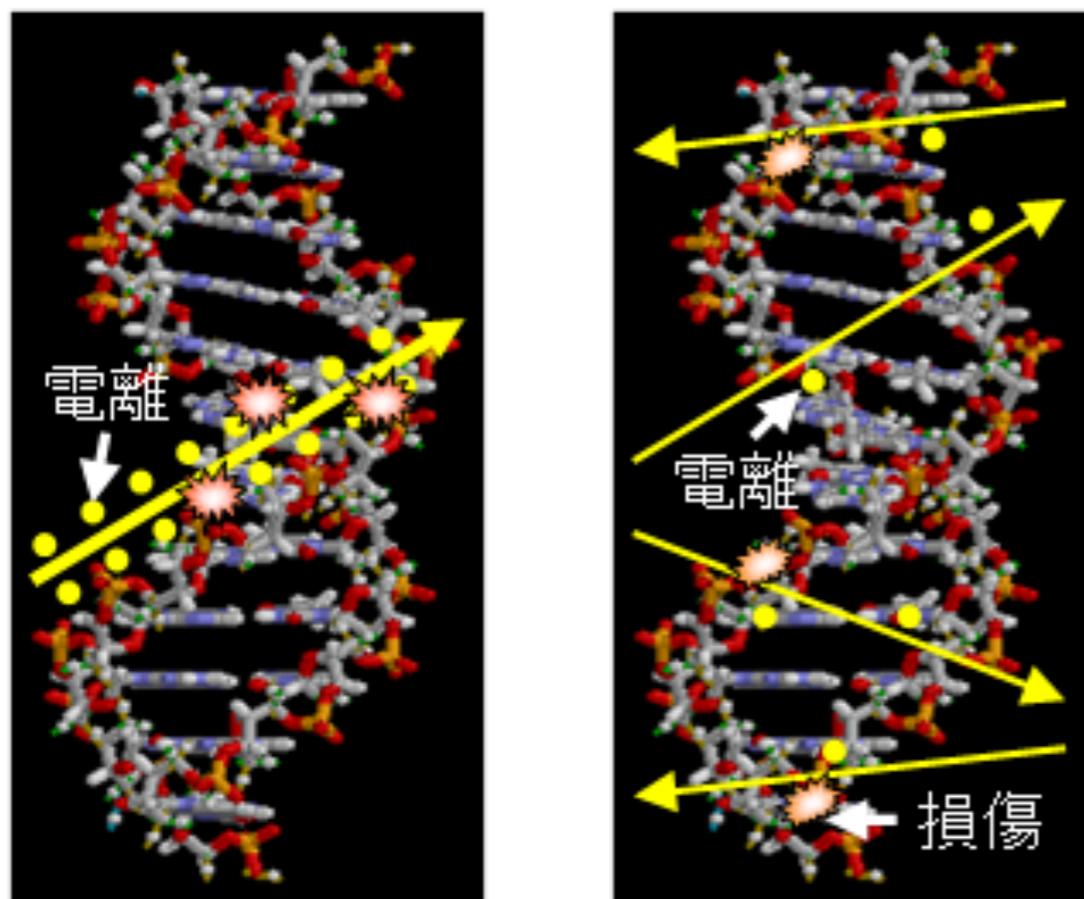
細胞(60兆個)

一部が遺伝子

図1 核、染色体、遺伝子

# 放射線による DNA 損傷

**ラジカル  
(活性酸素)**



重イオン

電子

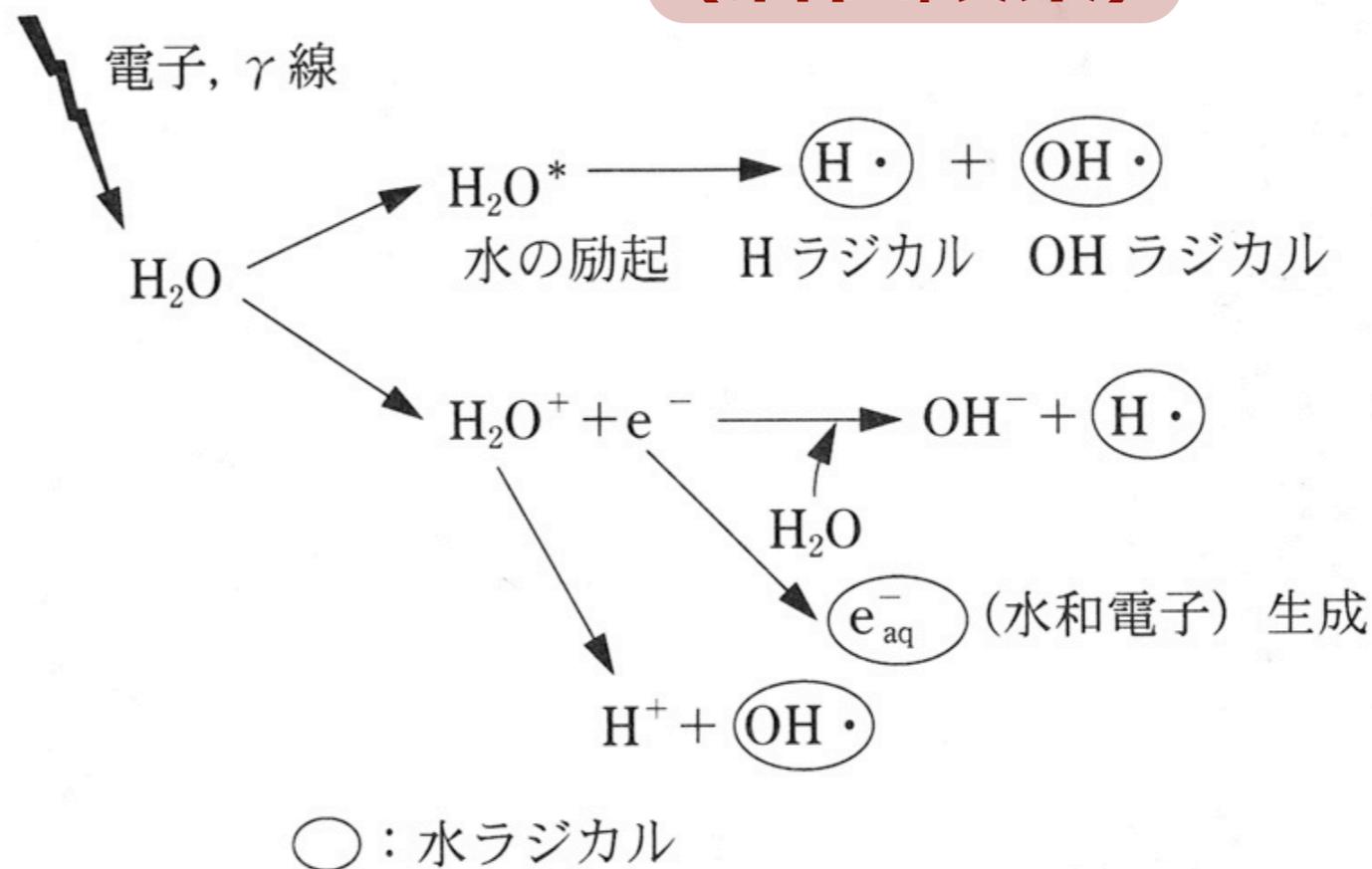


図 6・5 電離放射線による水分子の電離と励起の概略  
(書籍「図解 放射性同位元素等取扱者必携」オーム社、より引用)

## LET : 線エネルギー付与

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**  
 $\alpha$ 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**  
 $\beta$ 線,  $\gamma$ 線

何もなくても DNA 損傷は自然発生している（複製ミスなど）

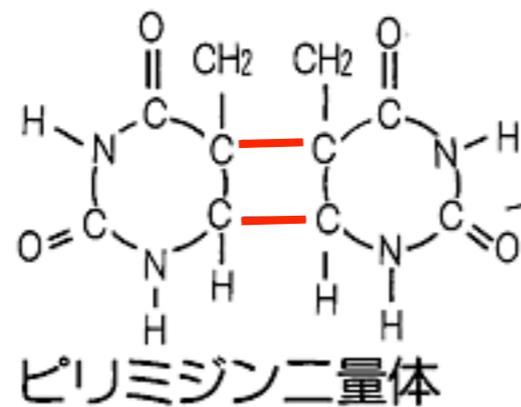
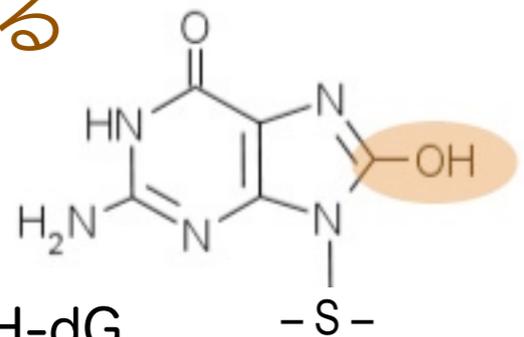
表5 増殖期のヒト細胞における DNA 損傷の自然発生率と放射線誘発率の比較<sup>7)</sup>

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 <sup>2,19)</sup> )	40

特定の化学物質によっても DNA 損傷が起きる

・OH ラジカルによる酸化

8-OH-dG



ピリミジン二量体

紫外線照射でも頻発

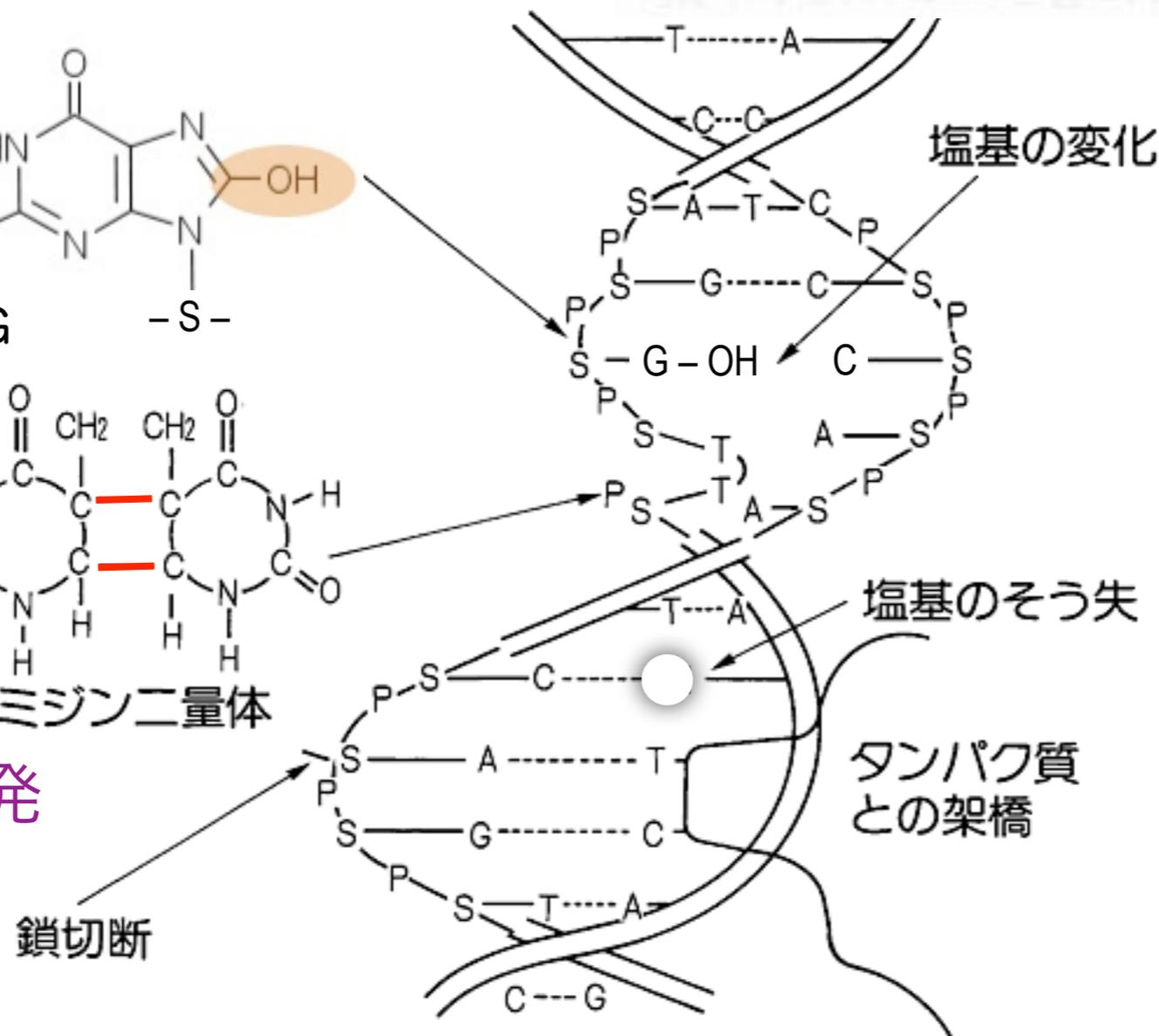
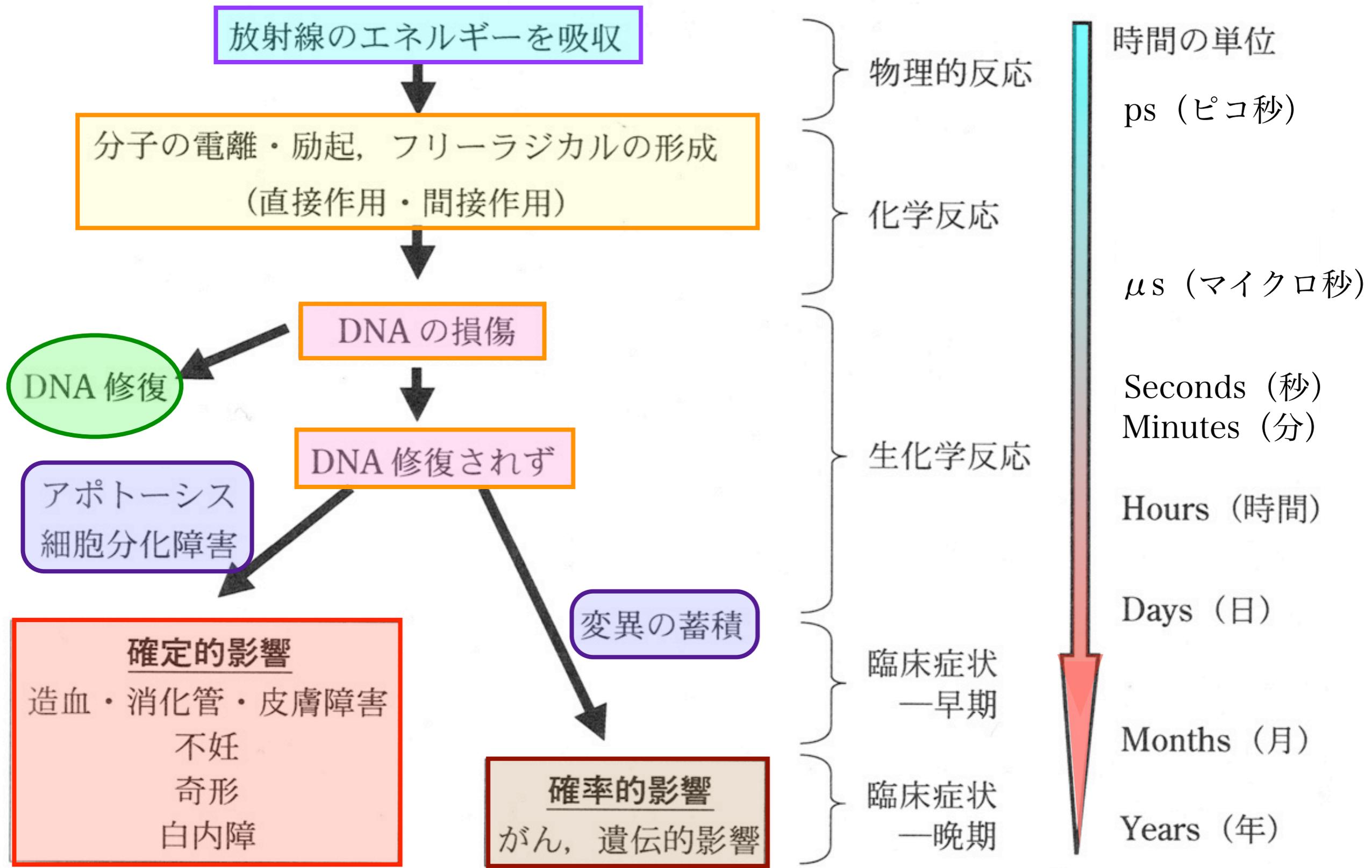


図2 放射線照射を受けた細胞から抽出された DNA に見られる種々の損傷

[出典] 江上信雄：生き物と放射線、東京大学出版会、1975

図は一部内容を改変。



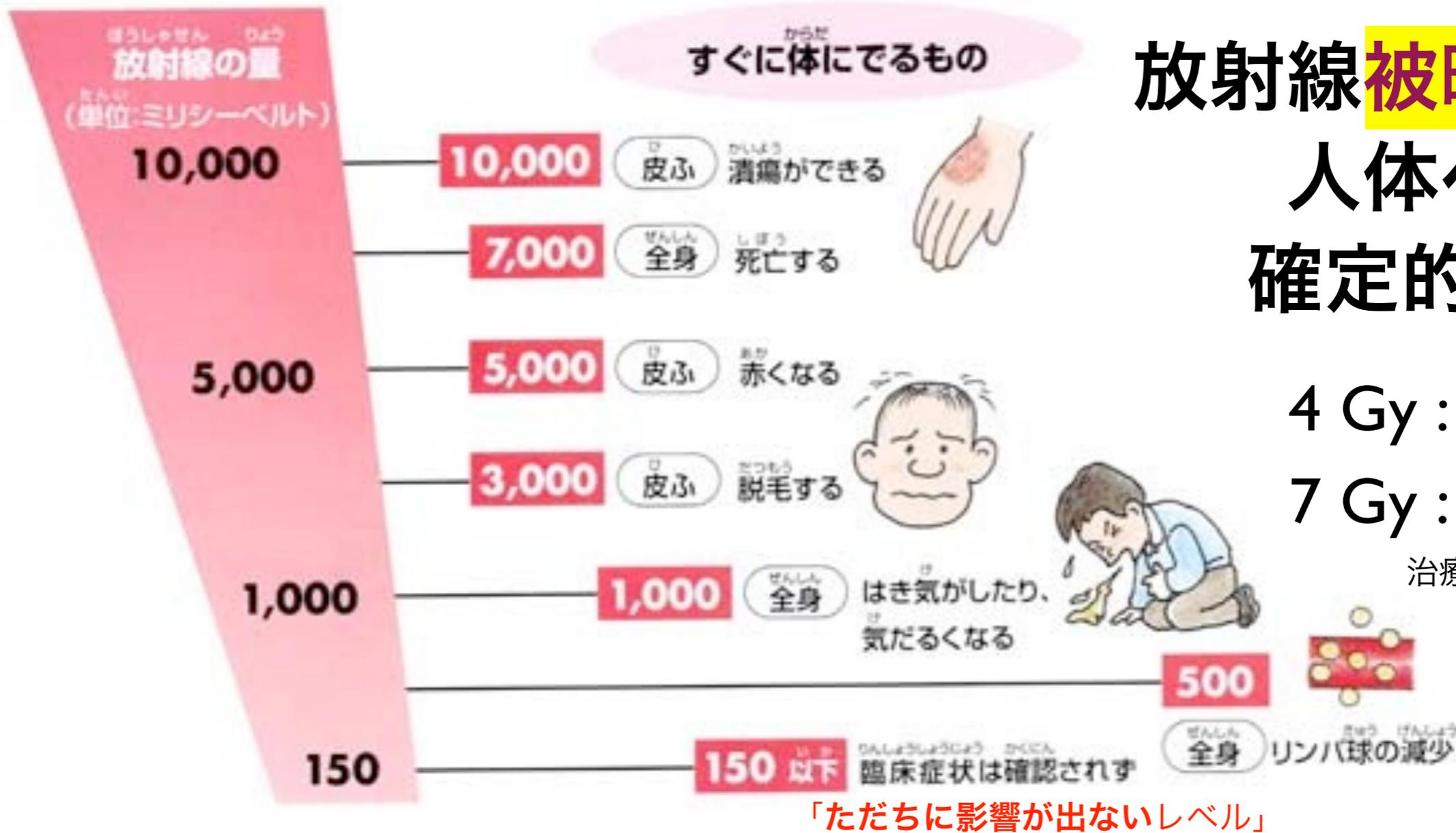
放射線被ばく後に起こる生体反応の経時的変化

# 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



東海村 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 (分裂) ↓ 機能細胞 (老化) ↓ 老熟細胞 (死滅)	幹細胞 ↓ リンパ球 好中球 赤血球 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

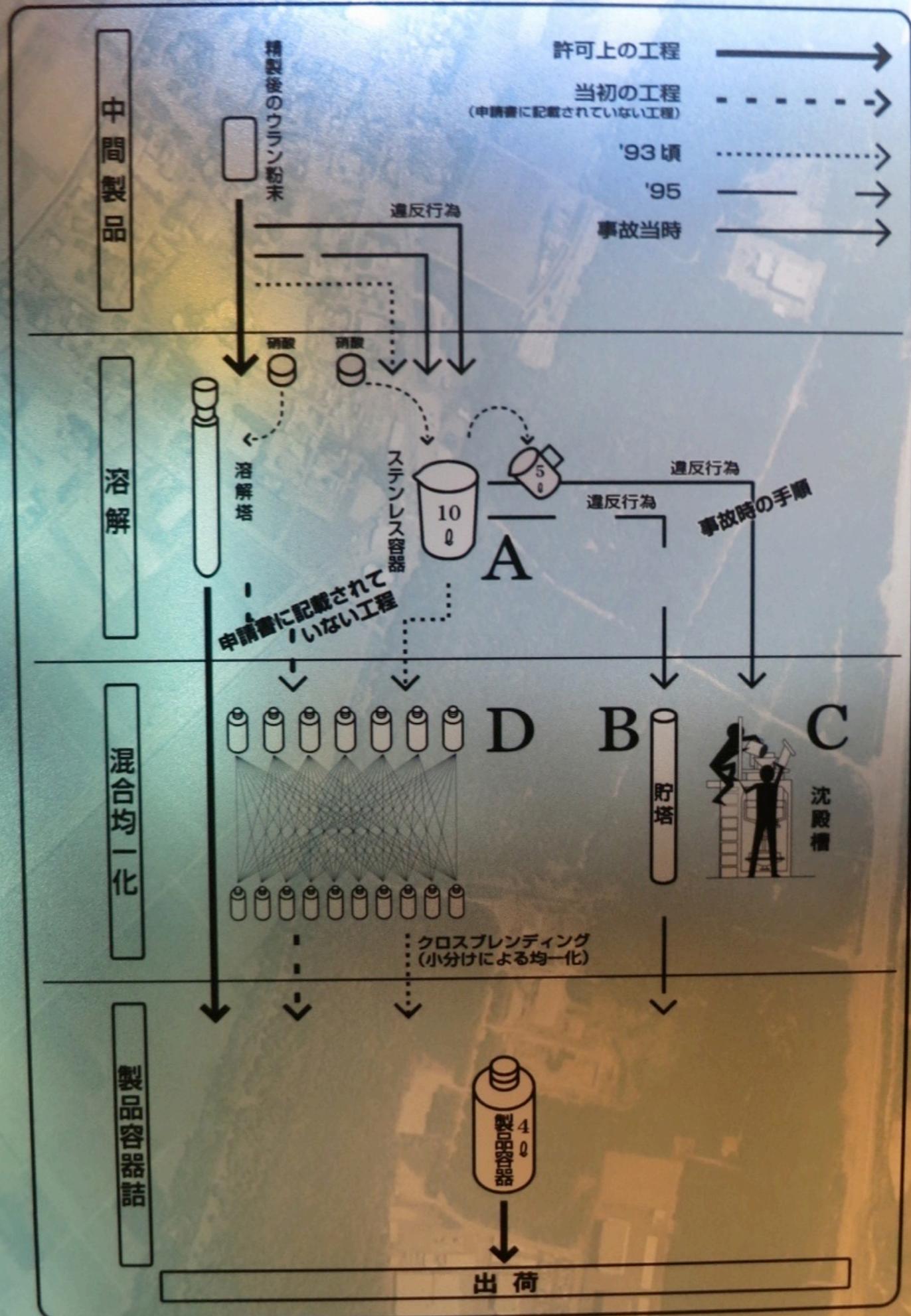
# JCO 臨界事故

The JCO Criticality Accident

この事故は、株式会社ジェー・シー・オー (JCO) 東海事業所のウラン転換試験棟で発生した。当時、この建物では高速実験炉「常陽」の燃料原料となる濃縮度18.8%のウランを硝酸に溶かし、均一にする作業が行われていた。

この作業に使用すべきでない沈殿槽と呼ばれる設備に、制限量を大幅に上回るウラン溶液を投入した結果、内部でウランがひとりりで核分裂し始めた。このような事態を「臨界事故」とよぶ。

その結果、核分裂連鎖反応による放射線（中性子線およびガンマ線）が敷地外にまで放出され、このような状態が約20時間にわたって継続した。事故の最初の瞬間には激しい核分裂が起こったため、沈殿槽を使って作業していた2名の方が亡くなるといういたましい結果となった。



J-PARC  
情報コーナー

Informational display board with diagrams and text, including a large schematic diagram of a water treatment process.

Large industrial-scale sedimentation tank apparatus. The central cylindrical tank is labeled "沈澱槽B" (Sedimentation Tank B). It is supported by a light blue metal frame with a yellow handrail and a staircase on the left side. The tank is connected to a network of pipes and valves. Below the tank is a circular collection tray.

Control panel with a screen and buttons. The screen displays the following text:  
JCO 操作手順  
スタートボタンを押してください  
Please press the ENGLISH button

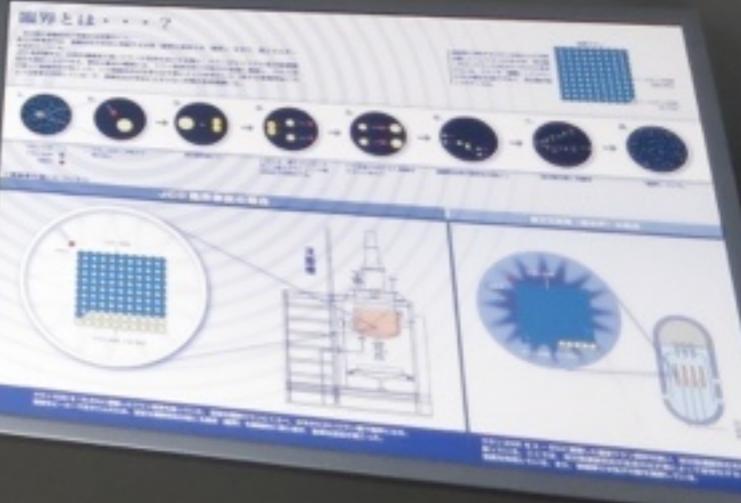
Control panel with a diagram and buttons. The diagram shows a cross-section of the sedimentation tank with various components labeled. Below the diagram are several buttons and a small display.

Visitor safety railing and stools. A metal railing runs across the foreground, with three black and white stools positioned behind it for visitors to sit on while observing the equipment.



沈澱槽B

ウラン溶液をステンレス製ビーカーと  
漏斗を使い、手作業で投入していった。



# 放射線被曝の確定的影響

線量閾値あり

細胞再生系	造血組織	腸上皮	皮膚	精巣	水晶体			
<p>幹細胞 幹細胞 芽細胞 (分裂) 機能細胞 (老化) 老熟細胞 (死滅)</p>	<p>幹細胞 リンパ球 粒球 好中性球 赤血球 球(血小板)</p>	<p>腺窩(幹細胞) 絨毛</p>	<p>基底細胞(幹細胞) 角質層</p>	<p>幹細胞 精子</p>	<p>上皮(幹細胞) 水晶体繊維 赤道部</p>			
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

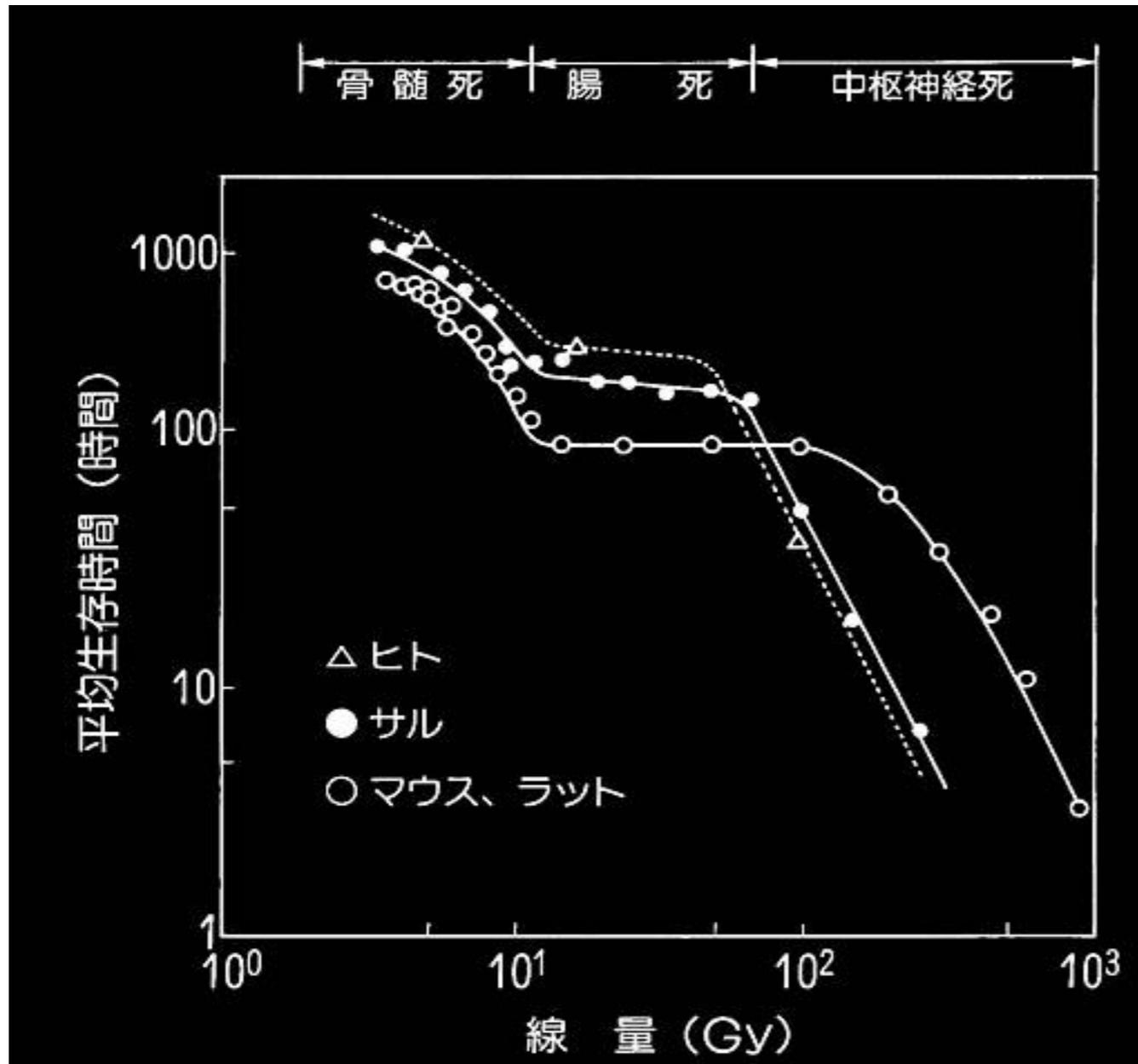
図1 細胞再生系

(造血組織、腸上皮、皮膚、精巣、水晶体の分化、成熟過程による変化)

[出典]吉井義一:放射線生物学概論[第2版](1922)

# 急性放射線障害

## 全身被曝による死亡



骨髓死 4 Gy

腸管死 10 Gy

中枢神経死 20 – 100 Gy以上

東海村 JCO 事故

チェルノブイリの消防隊員

原爆

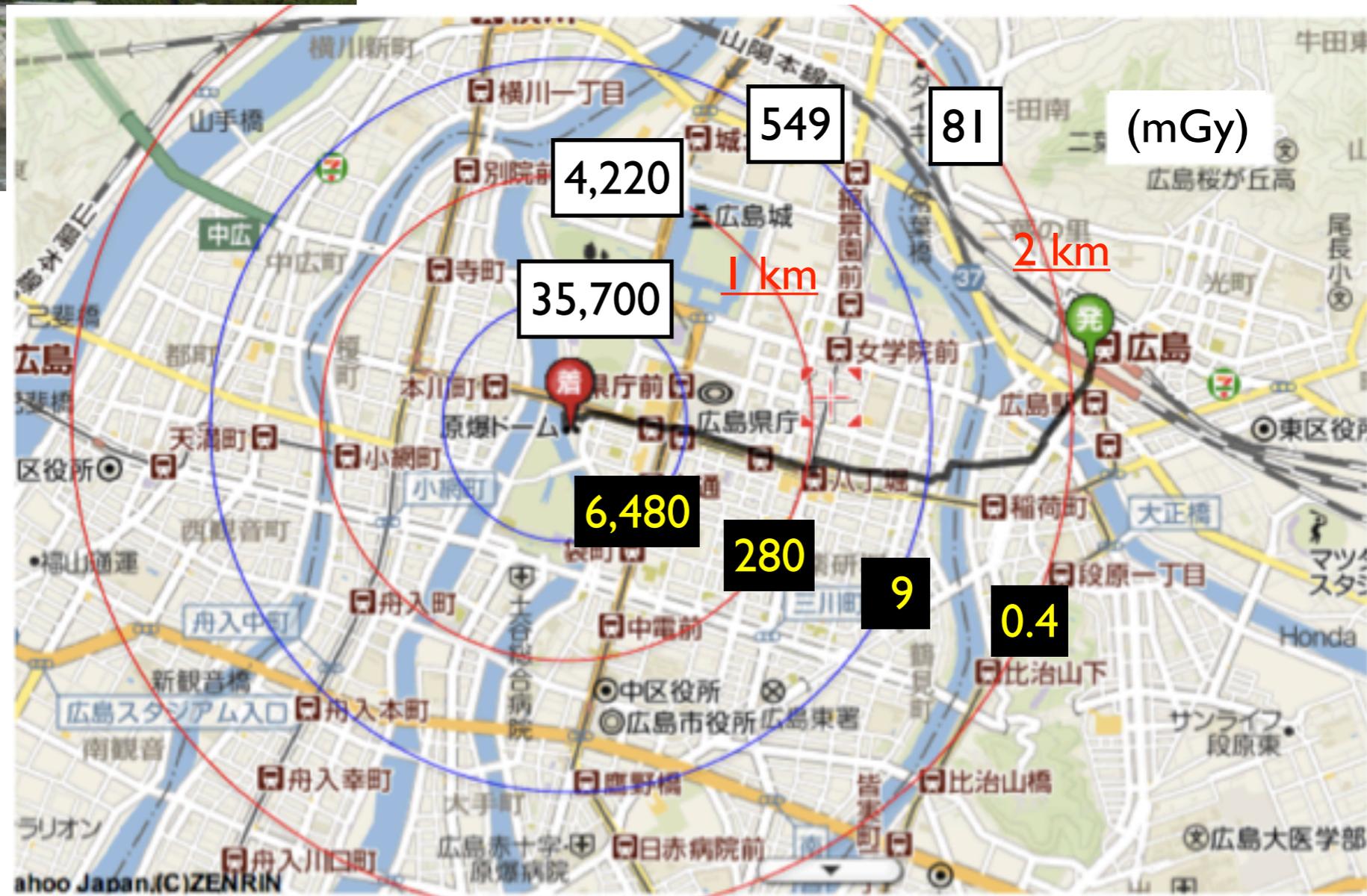
# 広島 原爆ドーム





# 広島 原爆ドーム

$\gamma$ 線による 推定被曝線量  
中性子線による (mGy)



# 確定的影響の閾値

組織及び影響	しきい値 (1回照射、ミリシーベルト)
骨髄 造血能低下)	500
悪心・嘔吐	1000
精巣 一時的な不妊 精子の一時的減少) 永久不妊	150 3500—6000
卵巣 不妊	2500—6000
水晶体 検知可能の白濁 視力障害 白内障)	500—2000 5000
胎児 奇形 重度精神発達遅滞	100 120—200

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。

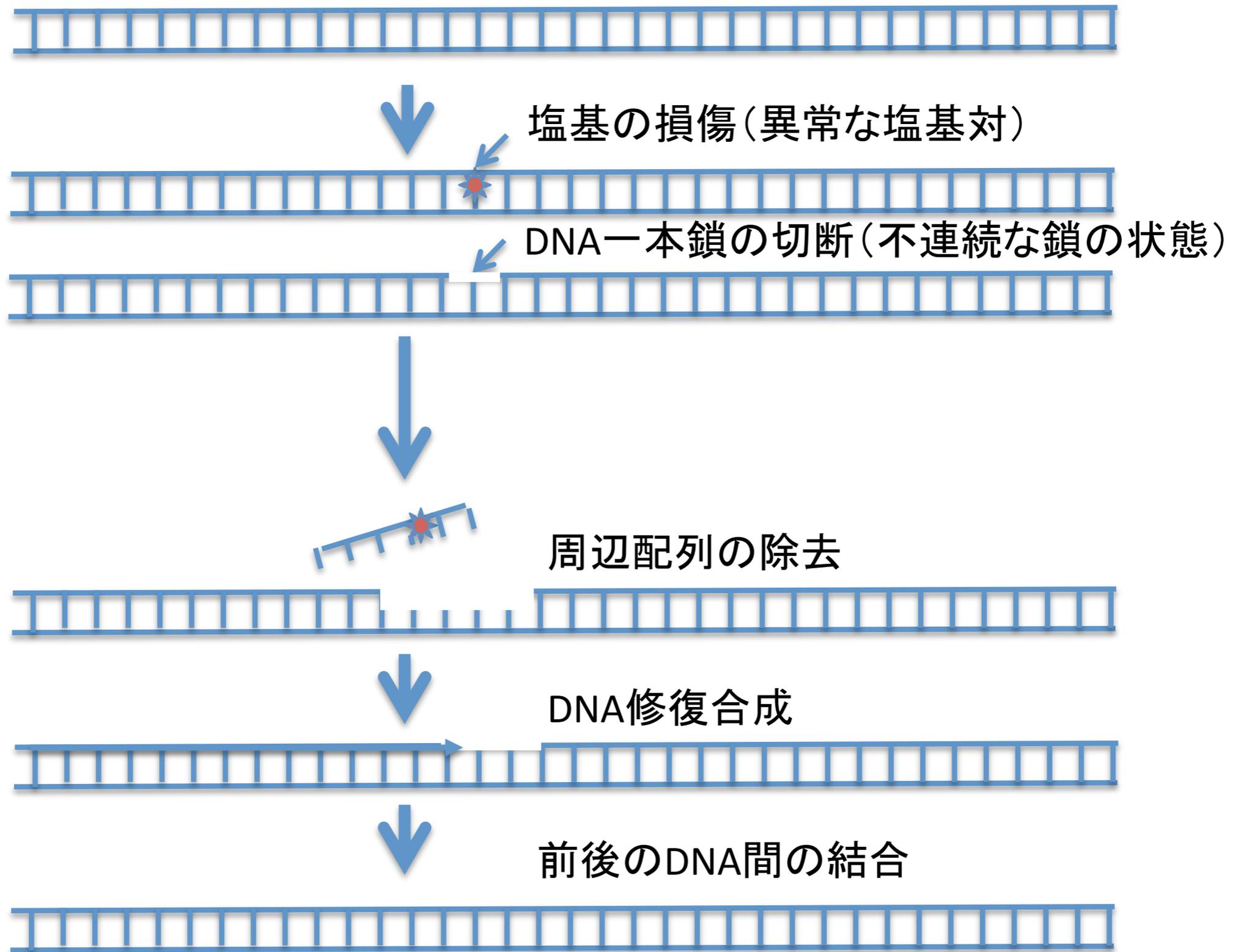
**リスクの確率。**

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。

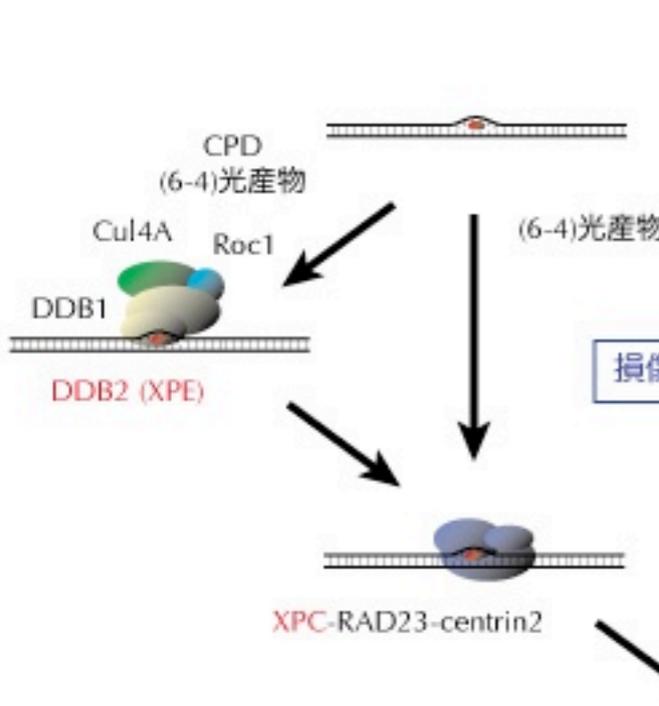
(日本人の3人に1人はがんで死亡する。)

**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。

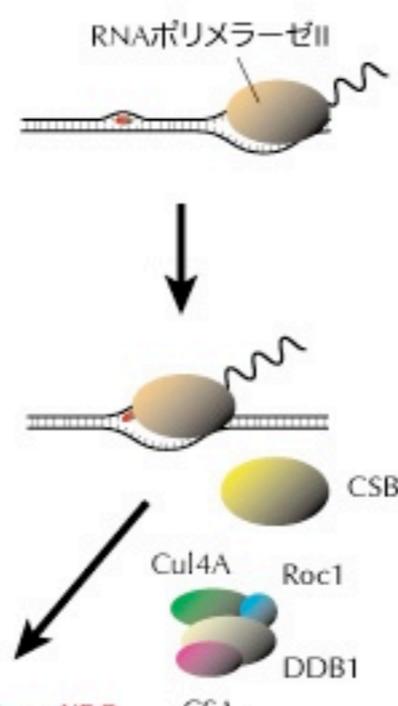
# DNA 修復



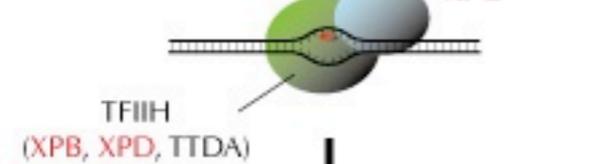
## ゲノム全体を対象とする修復 (GGR)



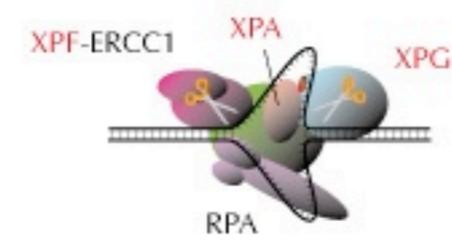
## 転写と共役した修復 (TCR)



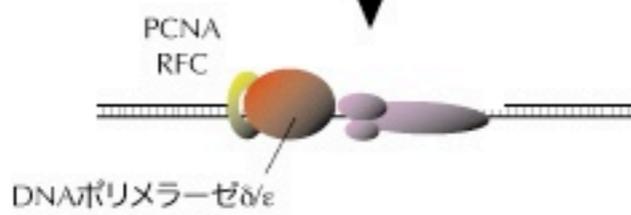
TFIIHによるDNA二重鎖の巻き戻し



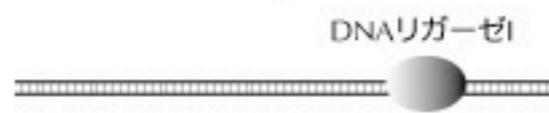
損傷両側における一本鎖切断



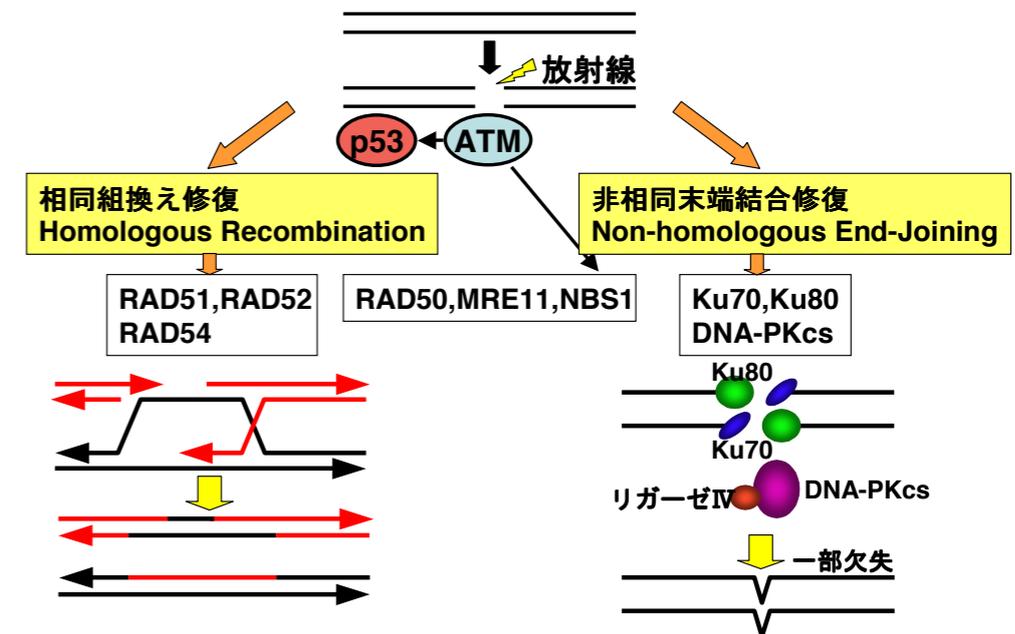
DNA修復合成



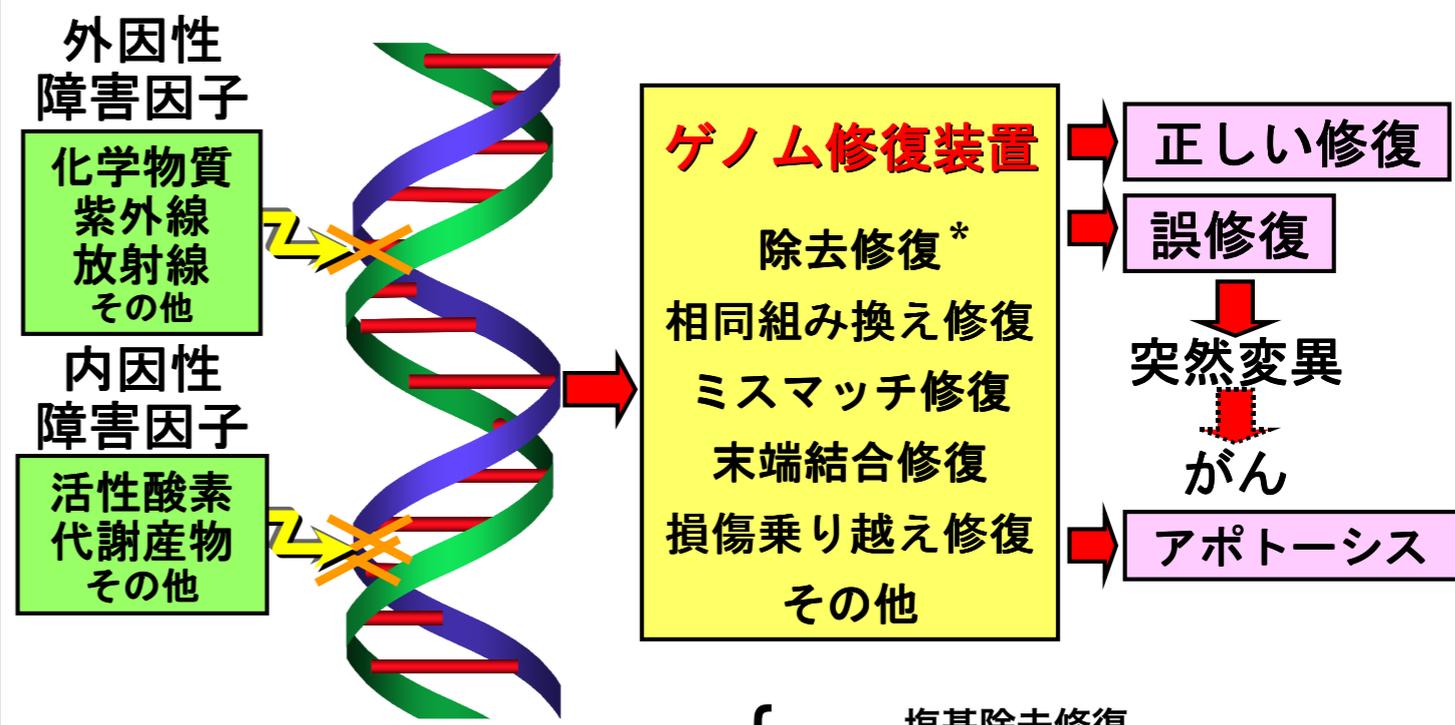
DNA鎖の再連結



## DNA二本鎖切断の修復経路

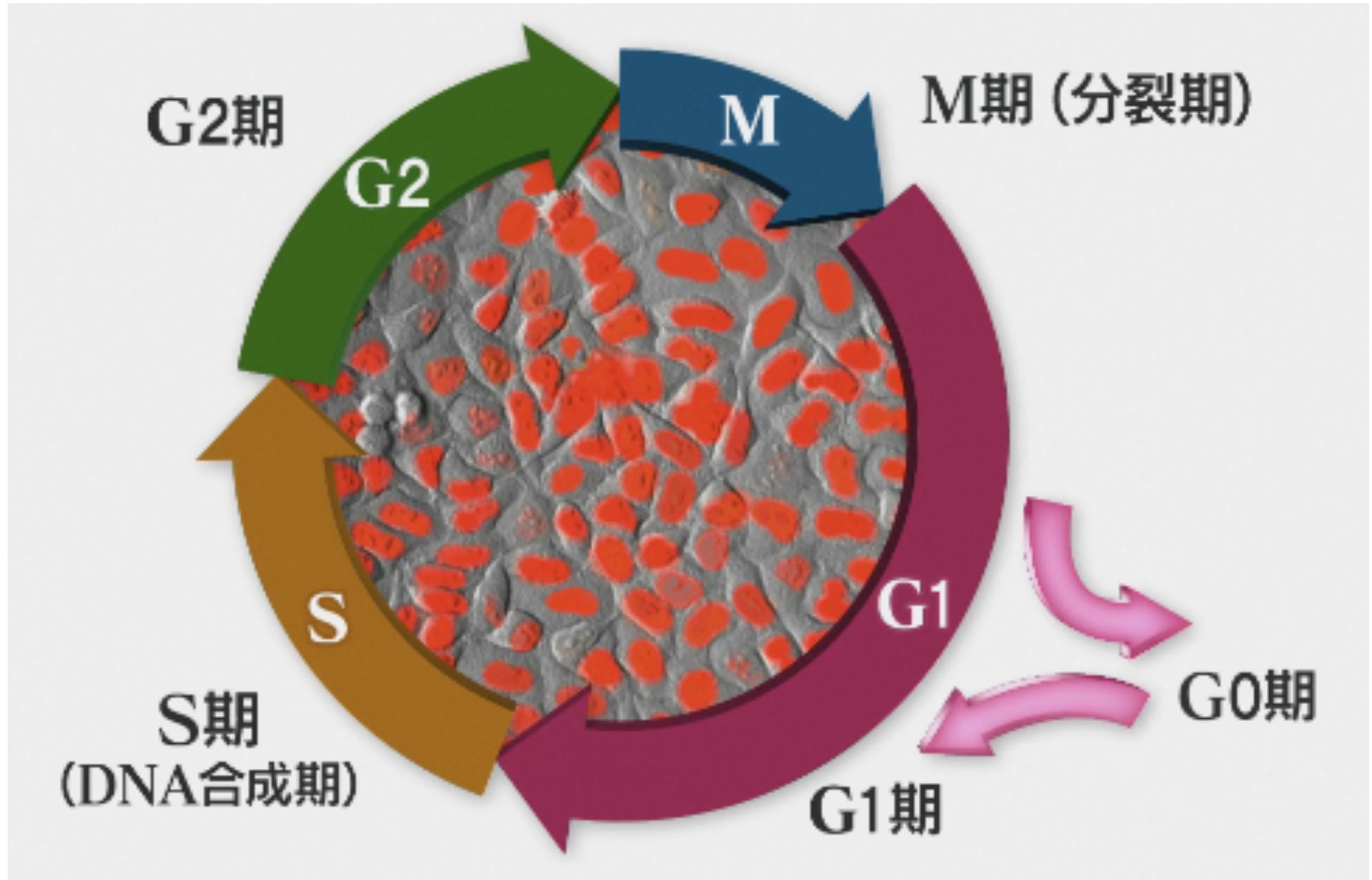


## ゲノムのキズを修復するシステム



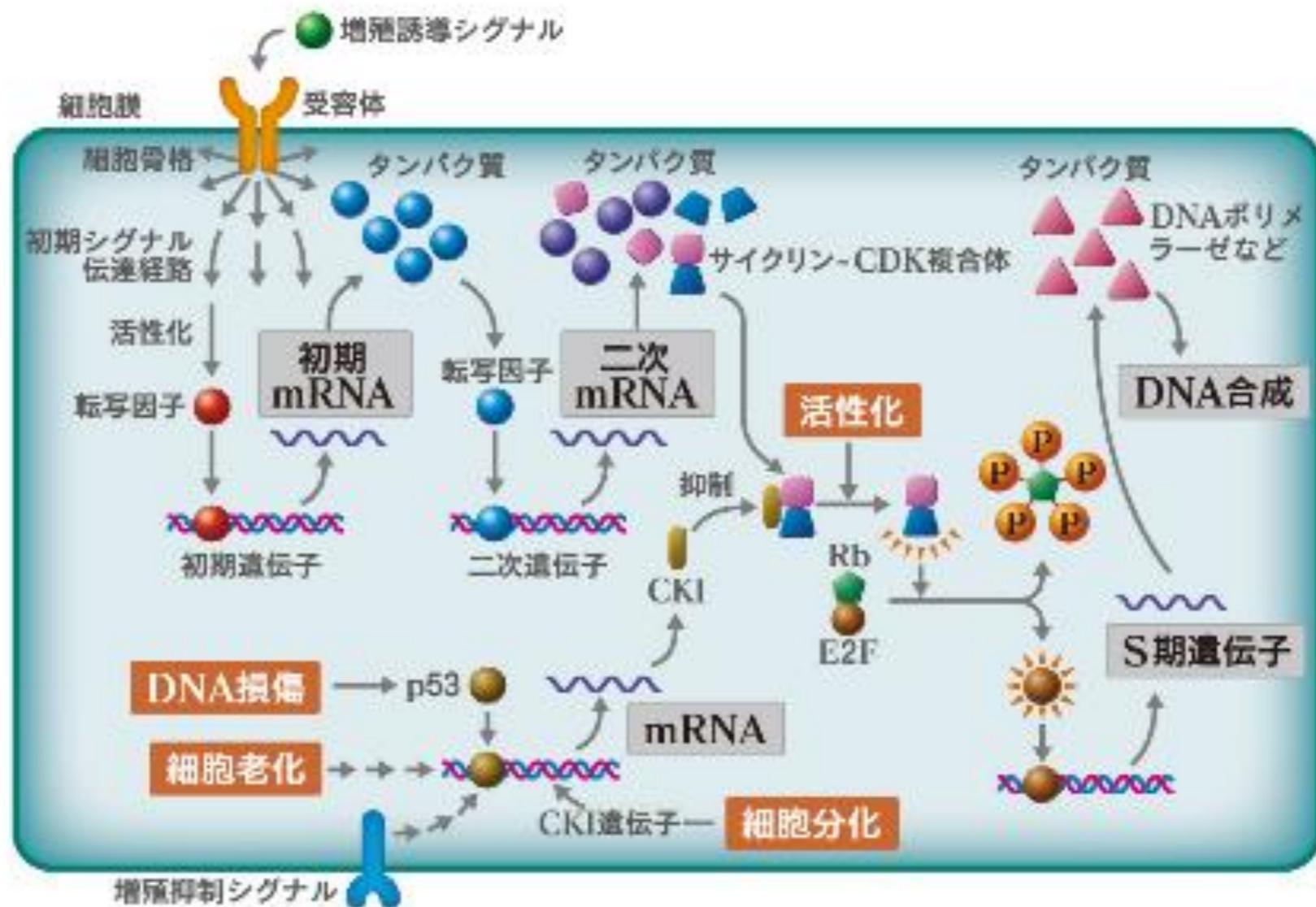
(\*) { 塩基除去修復  
ヌクレオチド除去修復

# 細胞周期と放射線感受性

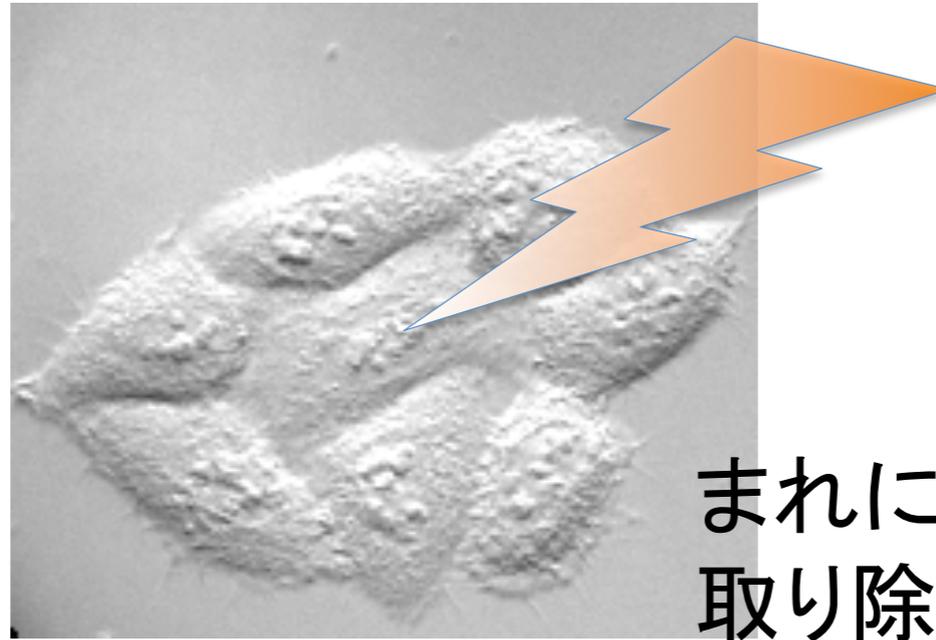


チェックポイント機構

# DNA損傷→P53がみつける 細胞周期の進行を調節する



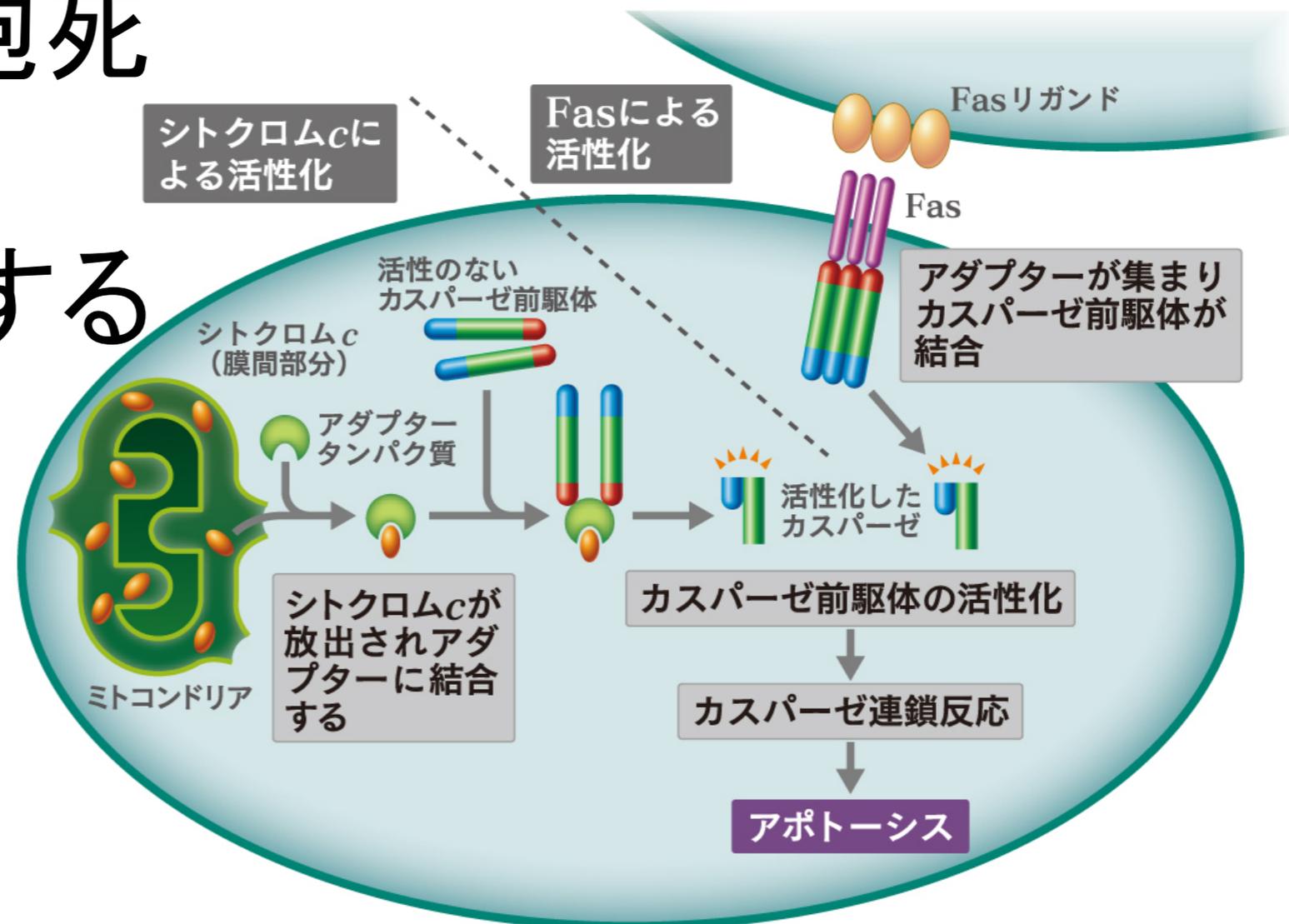
## 細胞周期の進行を調節する

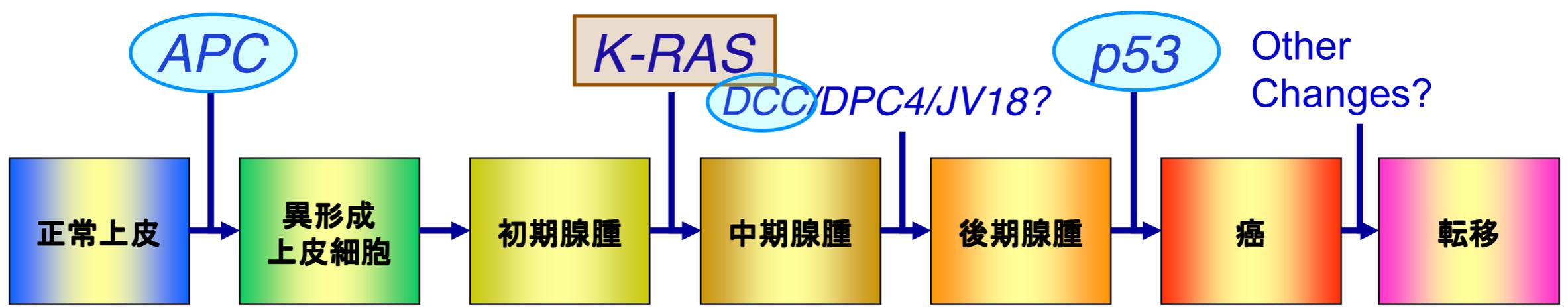


まれにDNA分子の傷が  
取り除けずに残ってしまう

# プログラム細胞死

## 細胞が自爆する





## 多段階発がん仮説

がん = 細胞の異常増加

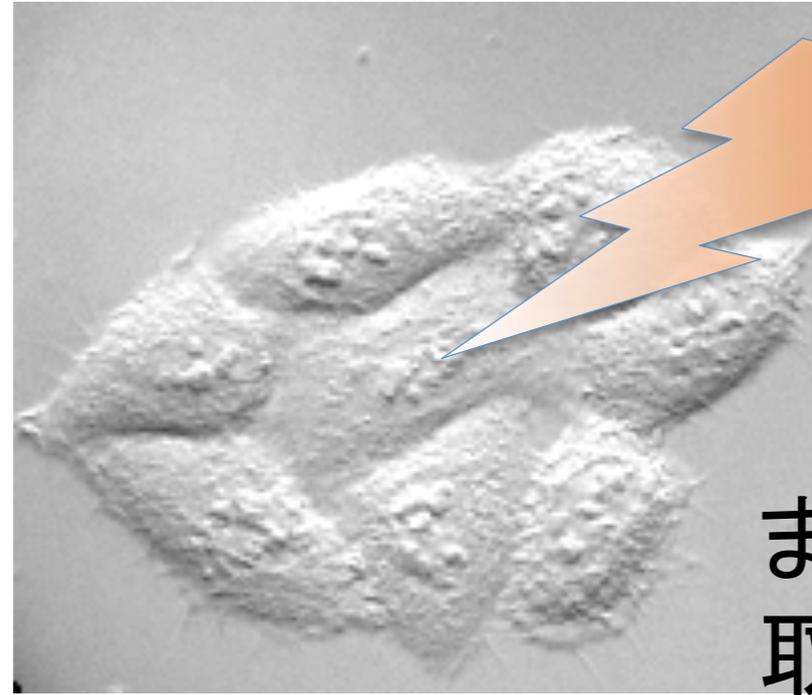
がん遺伝子

がん抑制遺伝子

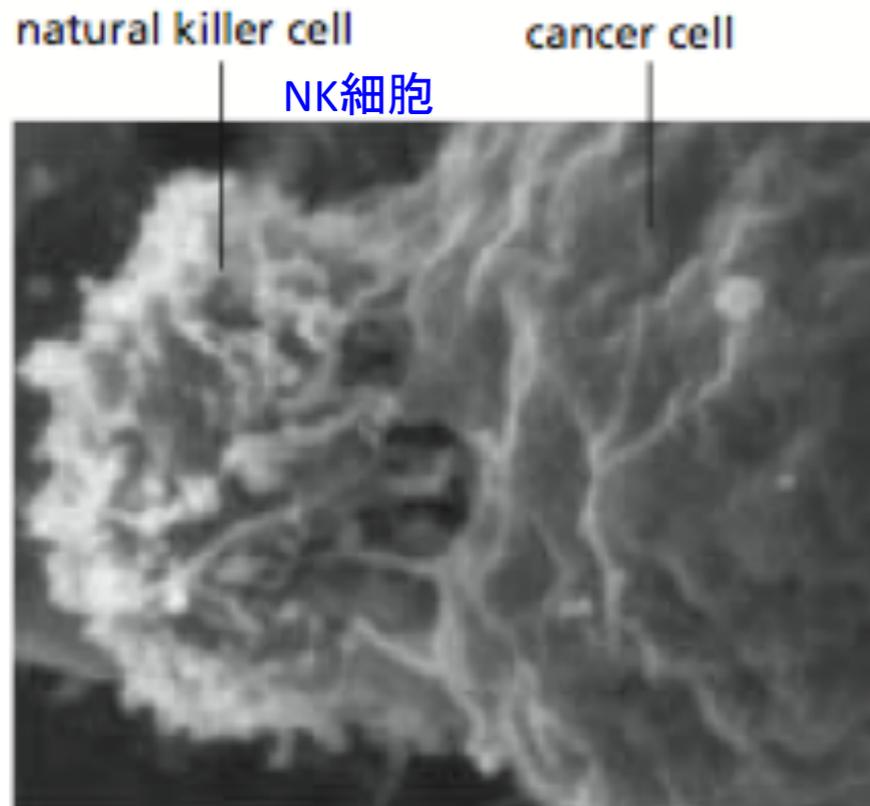
ミスマッチ  
修復の欠陥

ゲノム不安定性の誘導

- 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きい）。
- 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）



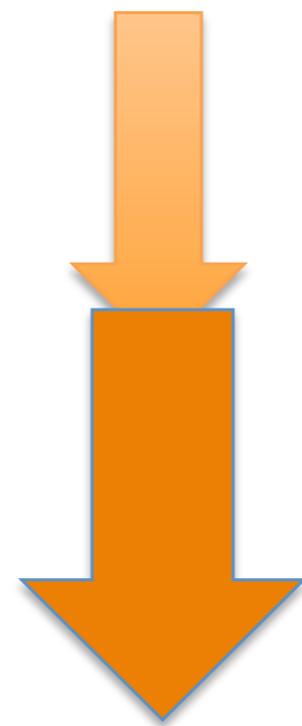
まれにDNA分子の傷が  
取り除けずに残ってしまう



natural killer cell

NK細胞

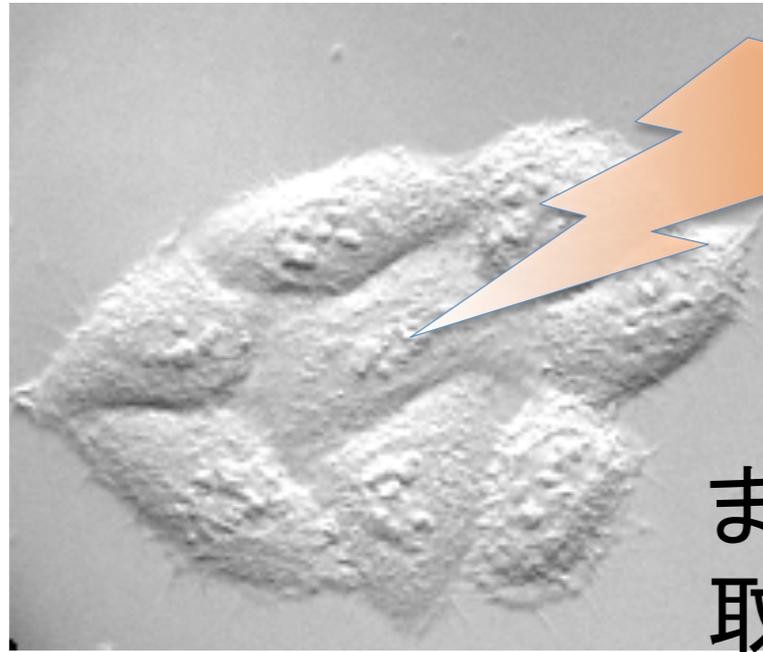
cancer cell



修復の失敗

細胞死も起こらない

自然免疫系にとらえられる

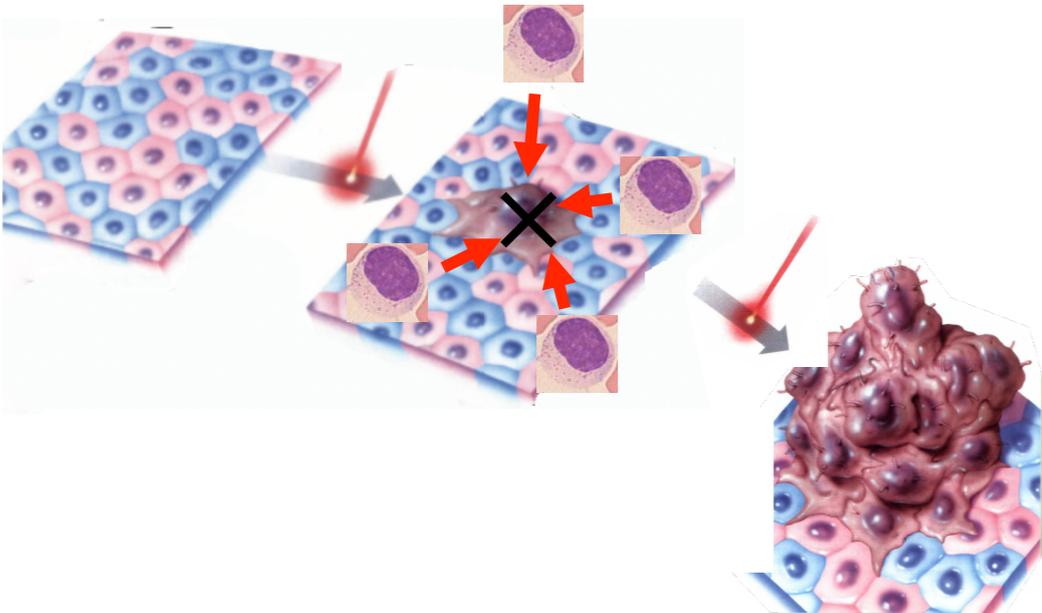


まれにDNA分子の傷が  
取り除けずに残ってしまう

修復の失敗

細胞死も起こらない

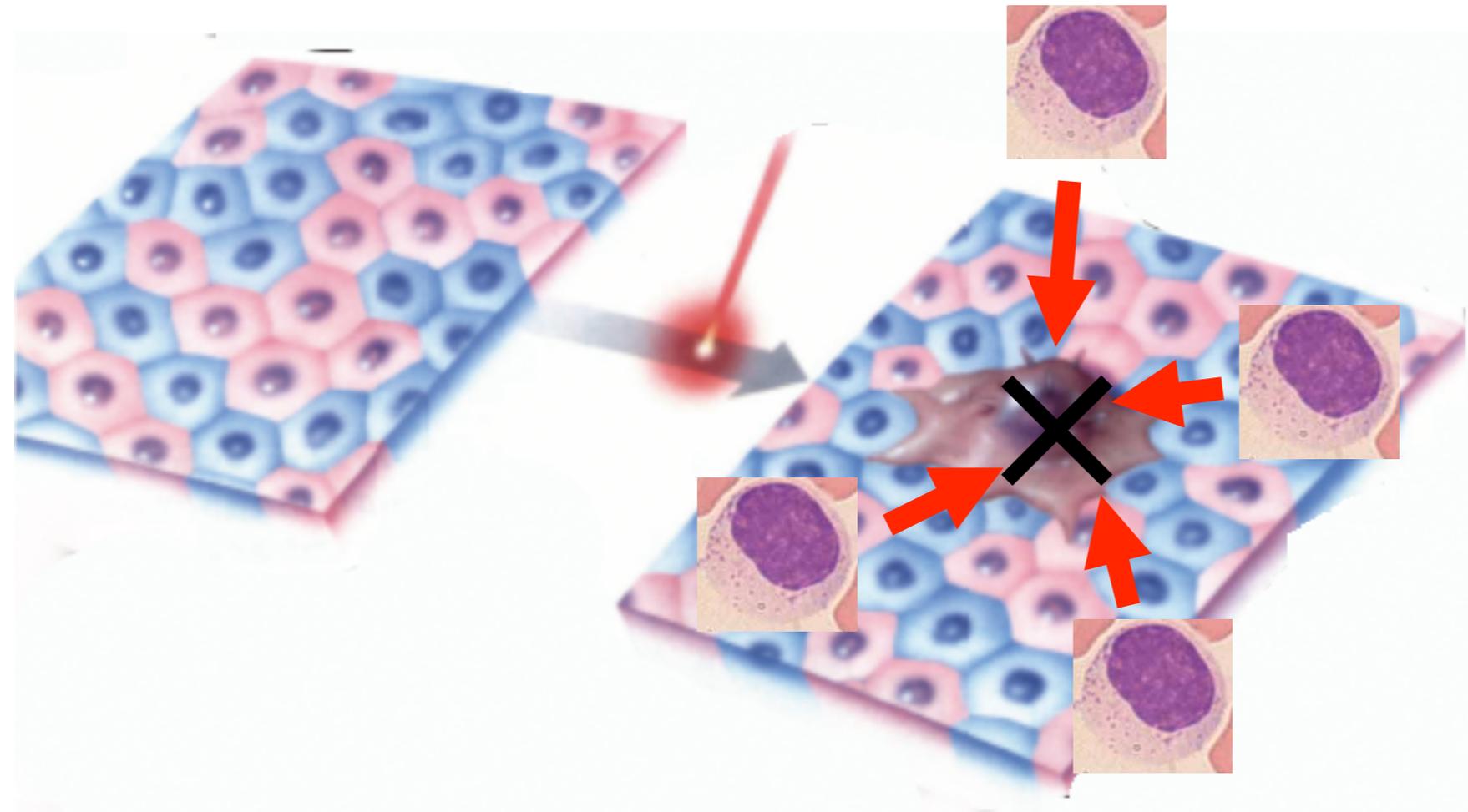
NK細胞も取り逃がした  
(自然免疫系)



がん細胞が残ってしまう 良性／悪性  
浸潤性

# がん、とは？

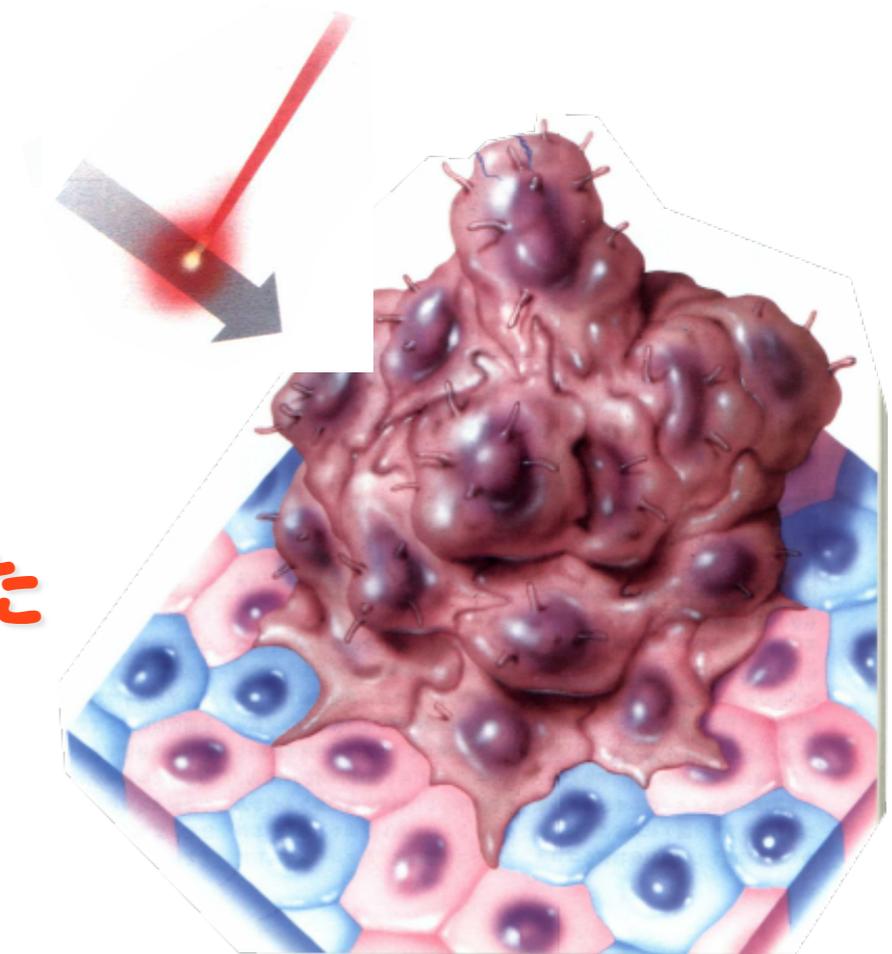
がん細胞は毎日5000個もできている！！



リンパ球が、できたてのがん細胞を殺す

免疫の攻撃をかいくぐった  
ものが「がん」

がん、とは一種の「老化」

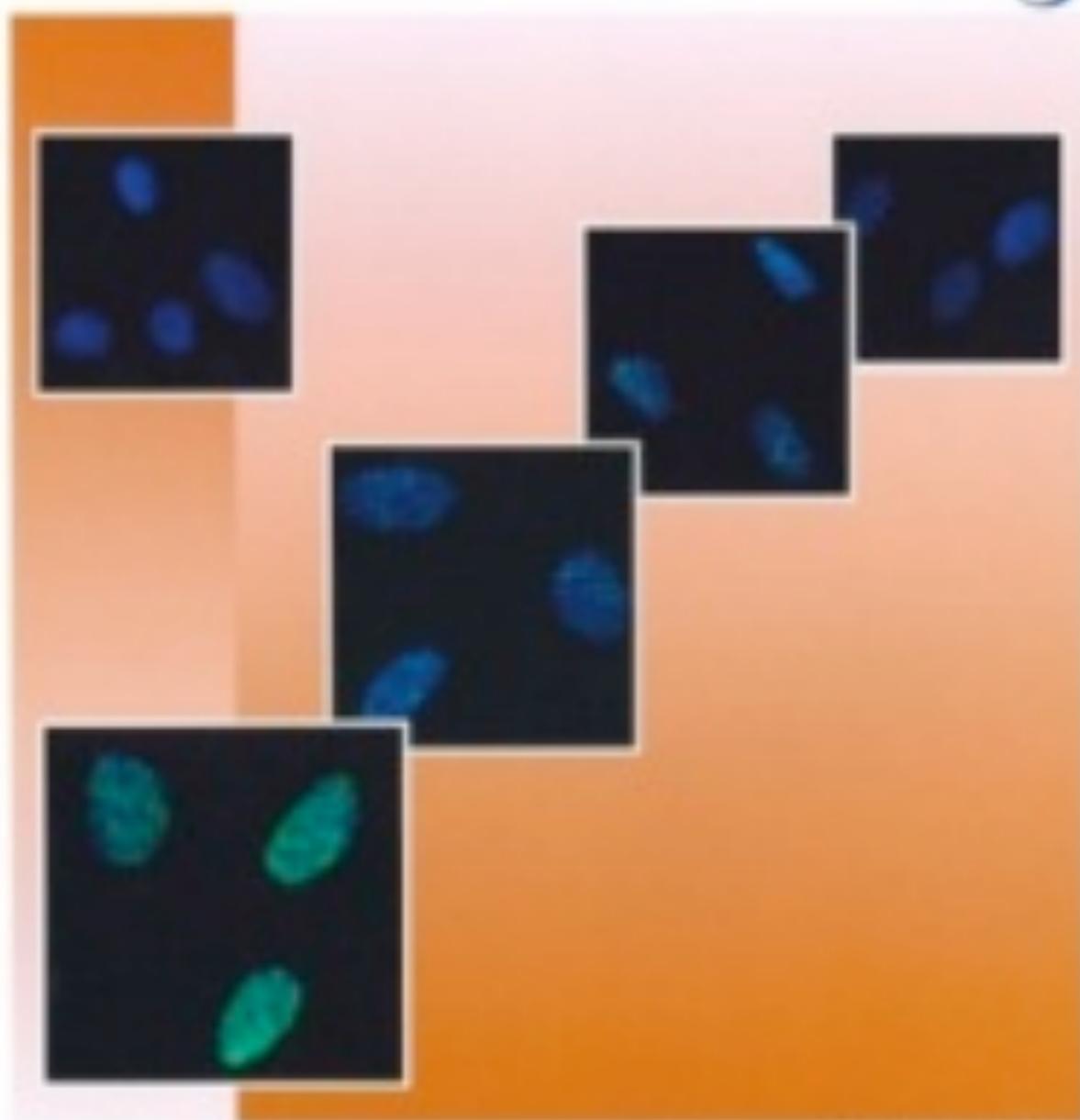


# 日本物理学会誌

- 放射線の人体への影響
- スケール不変性 vs 実形不変性

**BUTSURI**  
JOURNAL OF THE PHYSICAL SOCIETY OF JAPAN  
2013 VOL. 68 NO. 3

3



<http://www.jppt.or.jp/>

## 放射線の人体への影響

泉 雅子

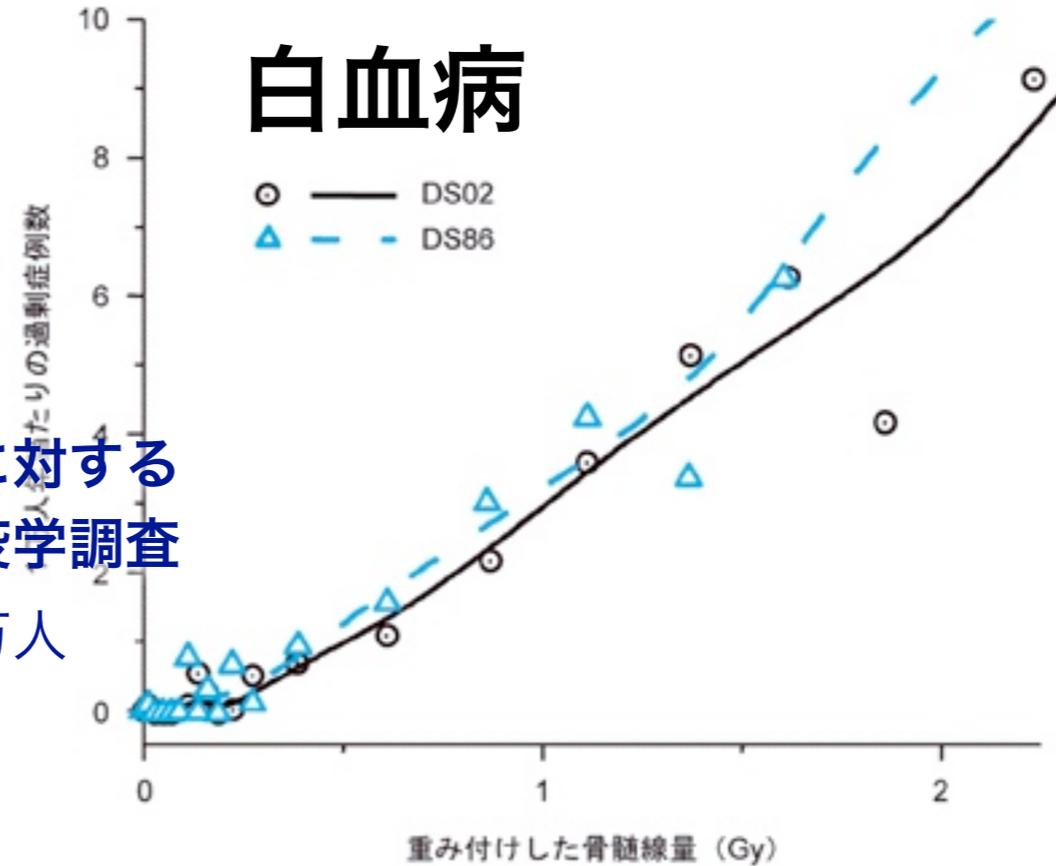
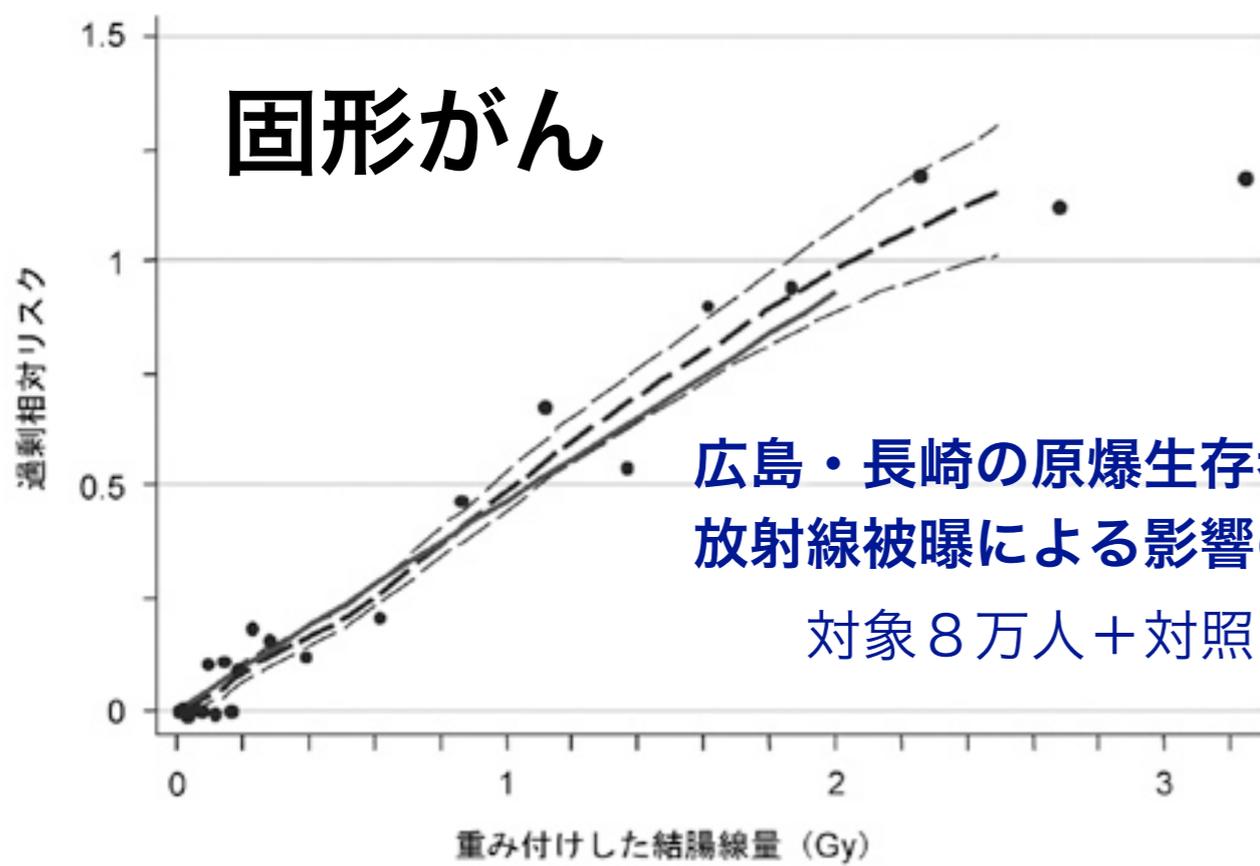


図 LSS (寿命調査) 集団における固形がん発生の過剰相対リスク (線量別) 1958-1998年。太い実線は、被爆時年齢30歳の人が70歳に達した場合に当てはめた、男女平均過剰相対リスク (ERR) の線形線量反応を示す。太い破線は、線量区分別リスクを平滑化したノンパラメトリックな推定値であり、細い破線はこの平滑化推定値の上下1標準誤差を示す。

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歳の人々の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%

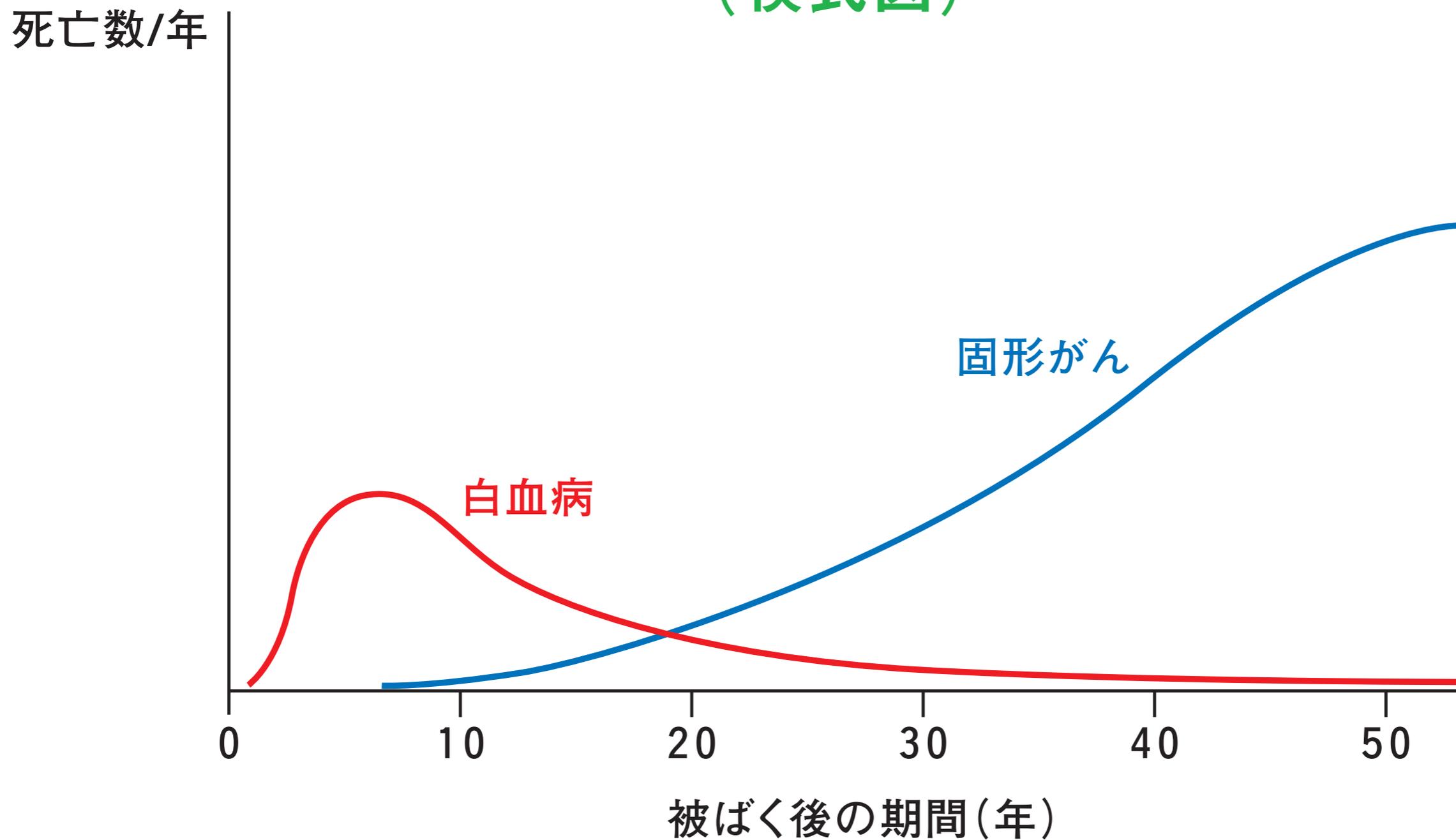
表. LSS集団における白血病による死亡の観察数と推定過剰数、1950-2000年

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%

(財) 放射線影響研究所 データ

**低線量被曝の影響について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。**

# 原爆放射線に関連する死亡数の時間的経過 (模式図)



# 公益財団法人 放射線影響研究所 (放影研 RERF)



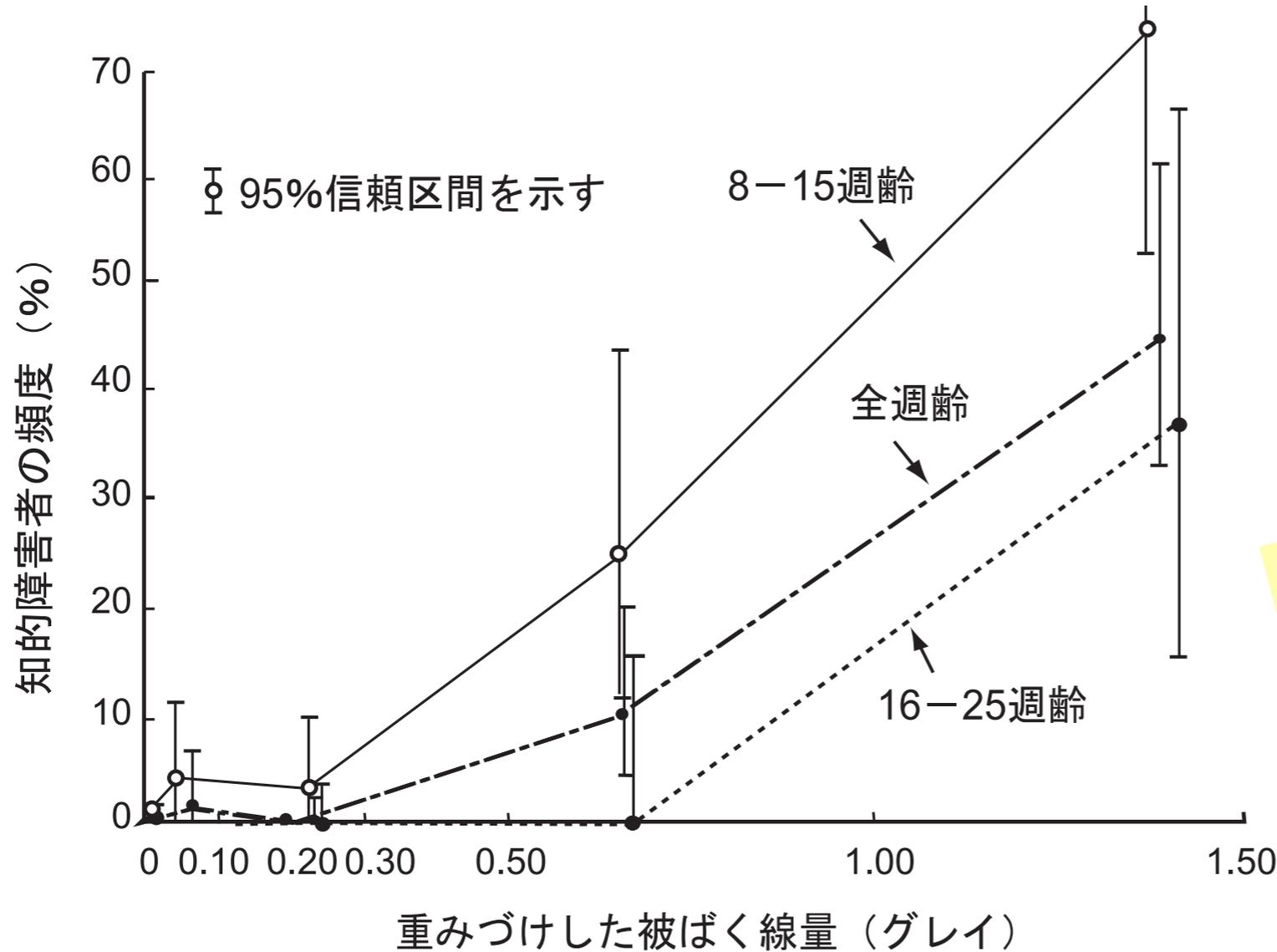
@広島市南区 比治山公園



@長崎市蛭茶屋

# 胎内被爆者における放射線の影響

本人が胎内で被曝



(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。

親の精子／卵子が被曝

# 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

チェルノブイリ原発  
黒鉛炉  
格納容器なし  
1週間燃え続けた

福島第一原発  
沸騰水型軽水炉  
格納容器あり  
水素爆発・汚染水流出

$^{131}\text{I}$  (ヨウ素 $^{131}\text{I}$ ) total **200京ベクレル !!**

初期消火に当たった原発作業員・消防隊員が  
致死・亜致死量の被曝。28人死亡。

事故処理に当たった軍人ら“リクビダートル”  
60万人が数百 mSv 被曝

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)

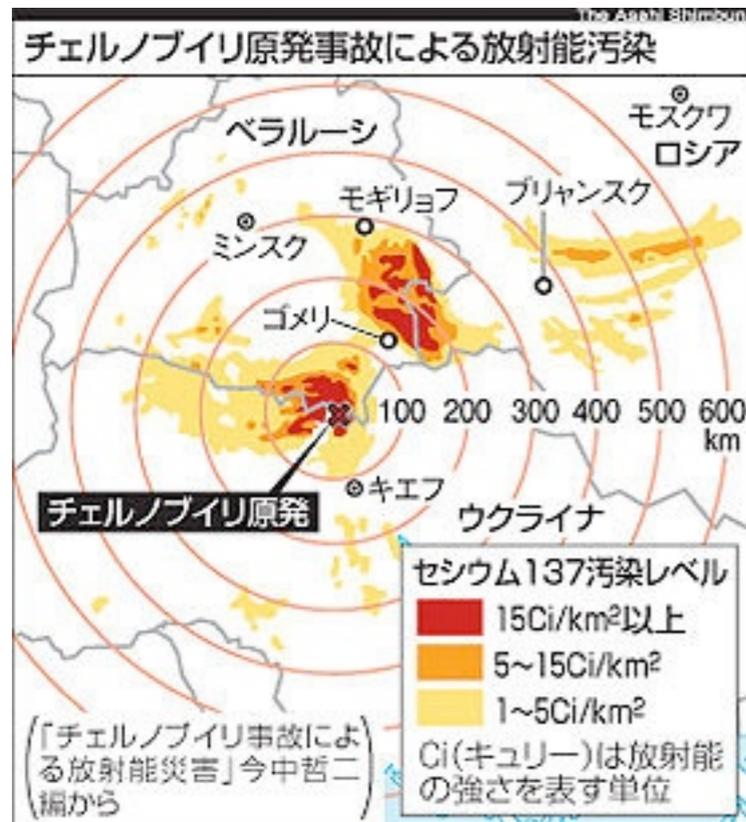
30 km 圏内の牛乳の摂取規制がなされず。

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・低線量率の被曝とガン死亡

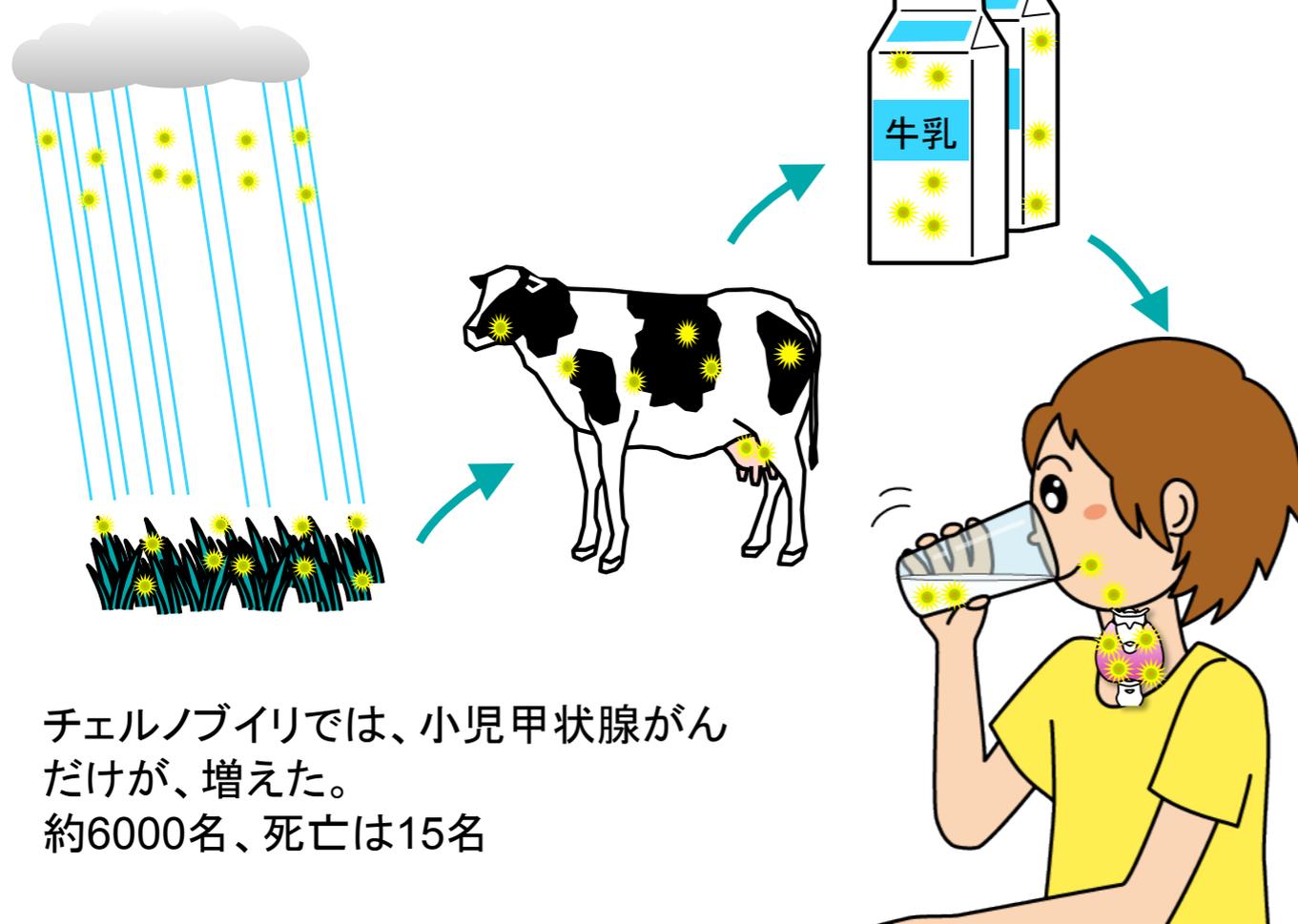


ロシア語  
Чернобыль / Чорнобиль



## チェルノブイリ原発事故

$^{131}\text{I}$  (ヨウ素 $^{131}\text{I}$ ) total 200京ベクレル !!



チェルノブイリでは、小児甲状腺がんだけが、増えた。  
約6000名、死亡は15名

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。  
(地産地消の牛乳による摂取が問題)

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**

= **2000 mSv !!** (10 Gy 以上の被曝も!)  
と、ずっと大きいストレスによる失調

いわき市、飯舘村のこどもの甲状腺被曝調査  
最大で **35 mSv** の被曝 (甲状腺等価線量)

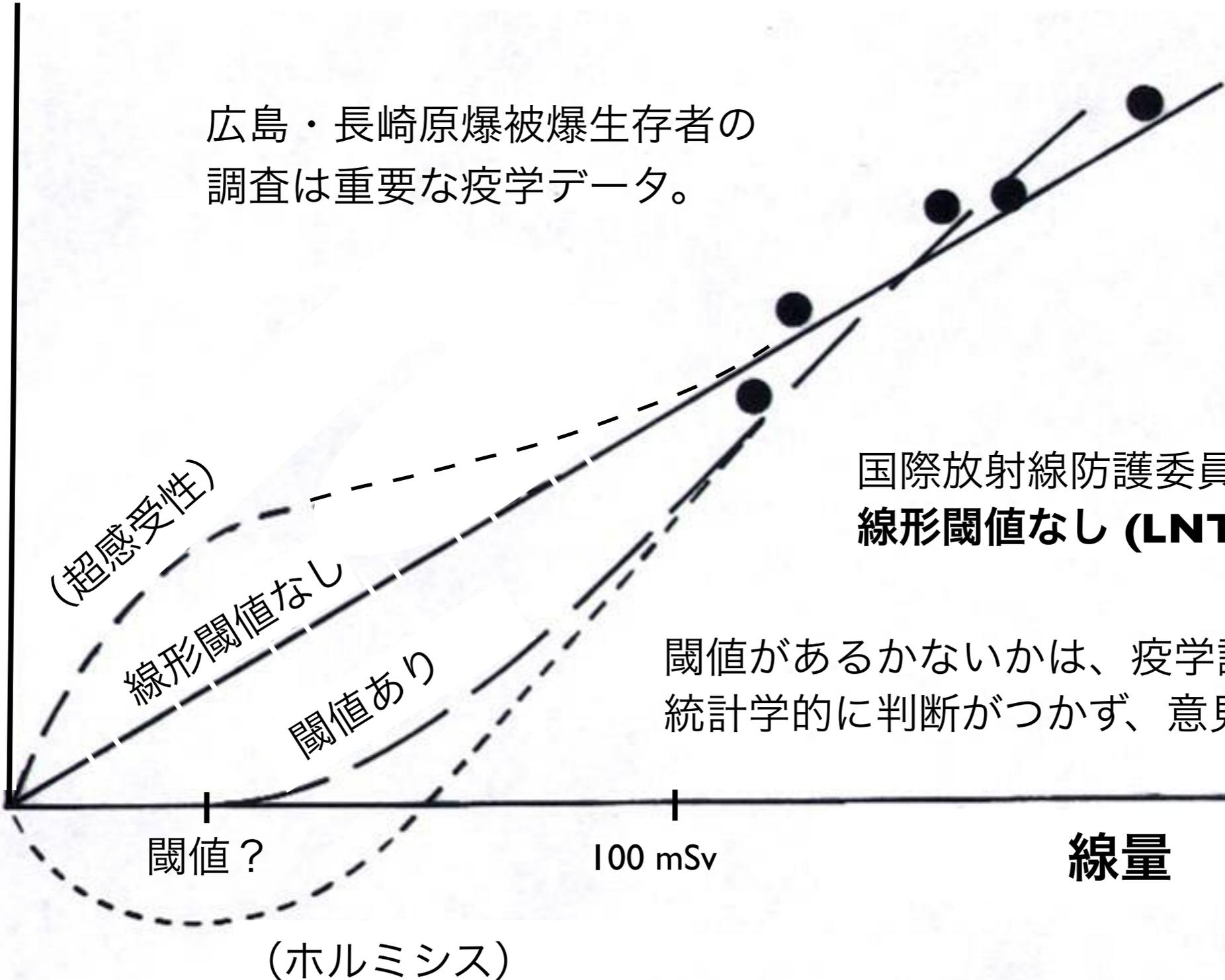
震災・事故による喪失感は共通

# 放射線のリスク評価と防護

# 低線量におけるリスク評価

将来のガンの増加リスク

広島・長崎原爆被爆生存者の調査は重要な疫学データ。



国際放射線防護委員会 (ICRP) は線形閾値なし (LNT) 仮説を採用。

閾値があるかないかは、疫学調査から統計学的に判断がつかず、意見が分かれる。

閾値？

100 mSv

線量

(ホルミシス)

# 低線量におけるリスク評価

将来のガンの増加リスク

広島・長崎原爆被爆生存者の調査は重要な疫学データ。

20.5%

国際放射線防護委員会 (ICRP) は線形閾値なし (LNT) 仮説を採用。

閾値があるかないかは、疫学調査から統計学的に判断がつかず、意見が分かれる。

20%

(超感受性)

線形閾値なし

閾値あり

閾値？

100 mSv

線量

日本人の将来のガン死亡リスクは男性が 26%、女性が 16%

(ホルミシス)

慢性被曝が急性被曝に比べて効果が何分の 1 になるかの係数

線量・線量率効果係数 **DDREF = 2**

## 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）

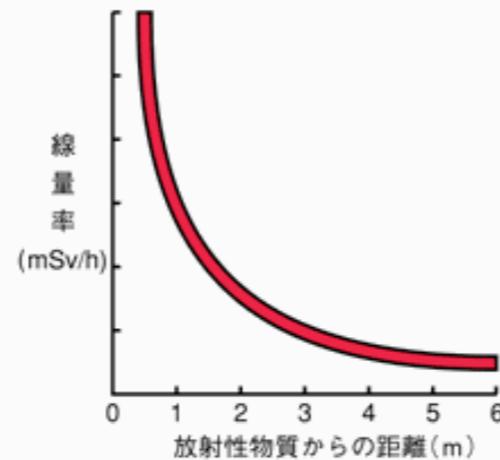
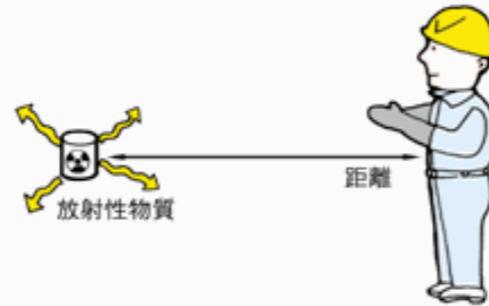
**等価線量も実効線量も、放射線防護の目的にのみ使用できる量である。つまり、放射線を利用する計画に伴う将来のリスクを予測評価するための目安であって、すでに受けてしまった放射線曝露から個人が受けるリスク（たとえば、将来がんを誘発する可能性）を評価するために用いるべきではない。**

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

# 放射線防護

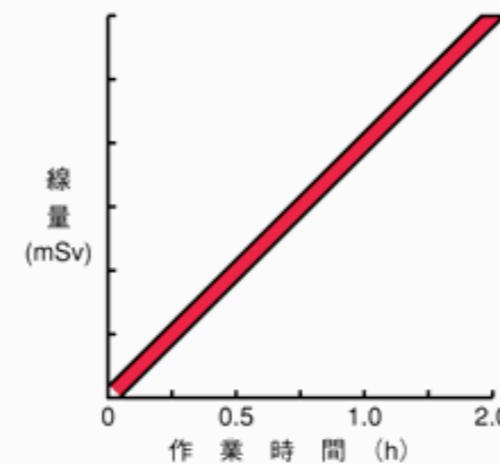
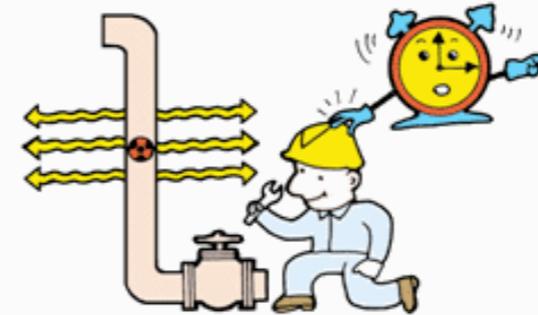
## ● 距離による防護

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



## ● 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

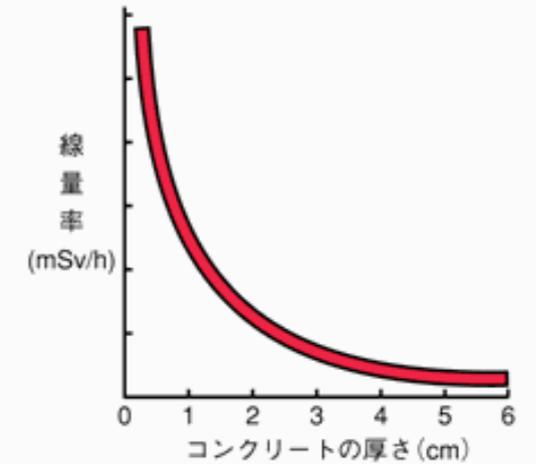
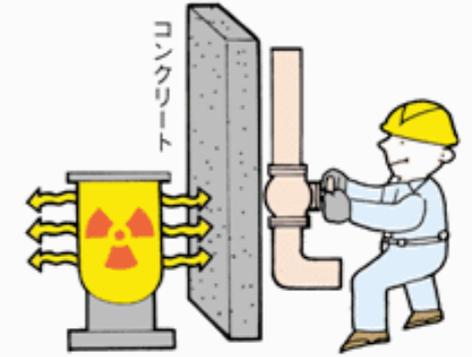


図1 遮へい3原則の図

[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
女子 妊娠中の女子	5 mSv / 3月 内部被曝について 1 mSv / 期間中
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 / 期間中

	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 <sup>2)</sup>
皮膚等価線量	500mSv/年 <sup>1)</sup>	500mSv/年
手・足の等価線量	500mSv/年	500mSv/年 <sup>3)</sup>
その他の組織	—	500mSv/年

1) 被ばく部位に関係なく、深さ7 mg/cm<sup>2</sup>、面積1 cm<sup>2</sup>の皮膚についての平均線量に適用される。

**年リスク千分の1** (18歳から65歳までの就業期間の被曝の場合で、65歳までのリスクの最大値)

## 線量限度の一覧表（一般公衆）

### 公衆被曝（一般公衆）

実効線量	1 mSv / 年
等価線量	
水晶体	—
皮膚	—

	1990 勧告	1977 勧告
実効線量	1 mSv/年	5 mSv/年 <sup>1)</sup> , 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 <sup>3)</sup>	50 mSv/年
その他の組織	—	50 mSv/年 <sup>2)</sup>

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5 mSv/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。

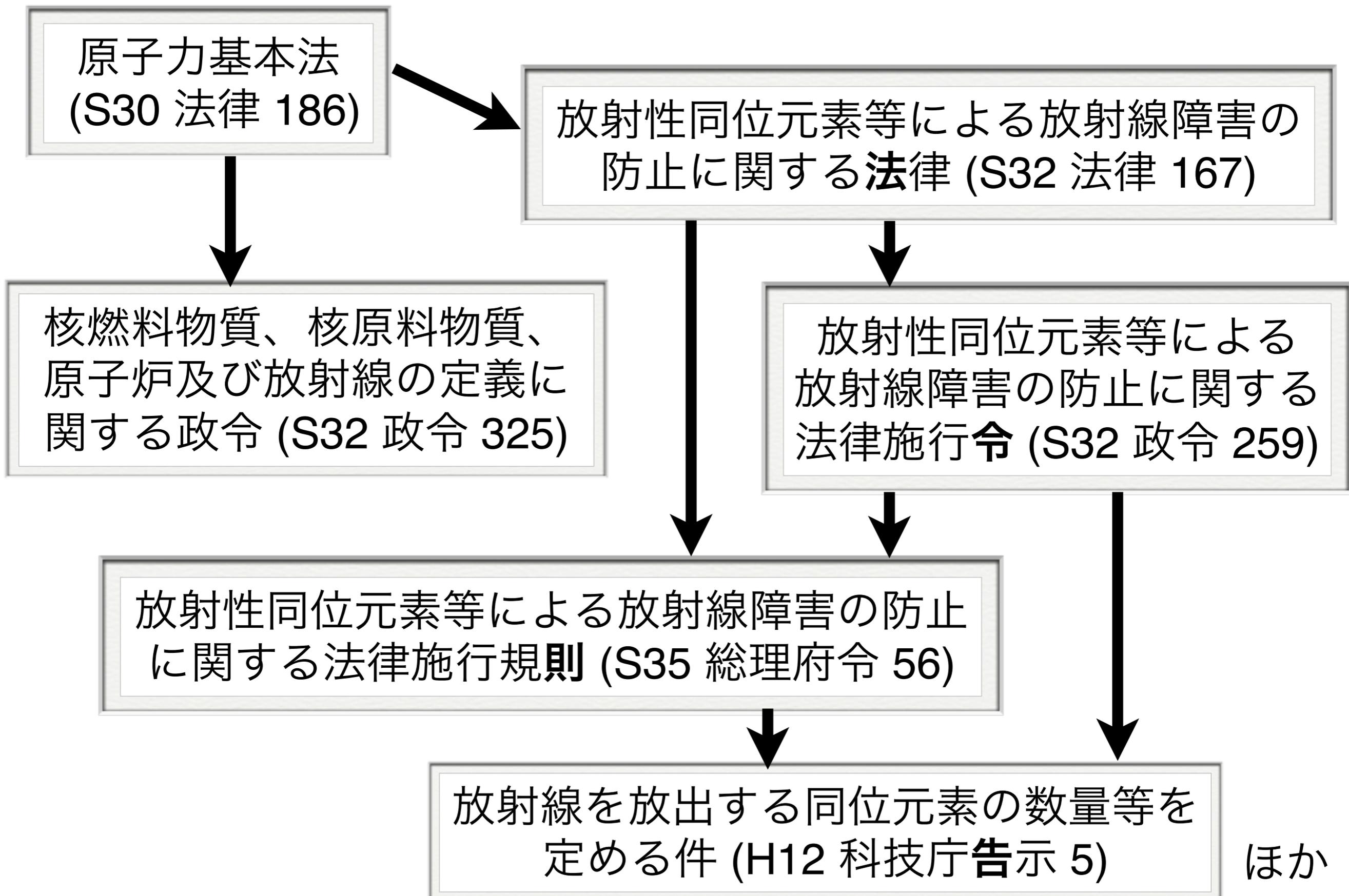
**年リスク1万分の1** (毎年被曝の場合、65歳までの最大値) **ICRP 勧告**

〔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）

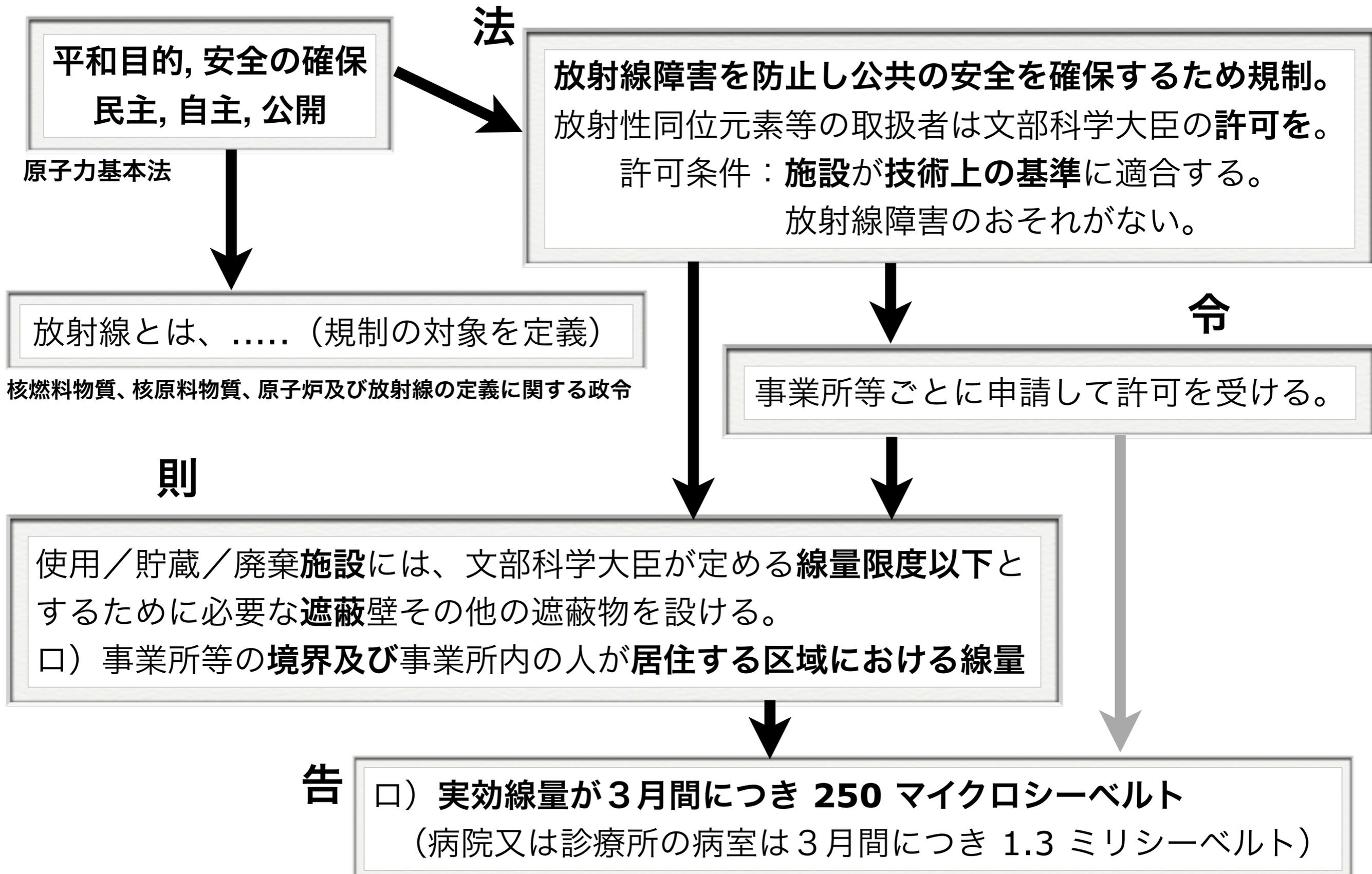
〔「ICRP1990年勧告-その要点と考え方-」、草間朋子編、日刊工業新聞社、50ページ〕

国内法令による防護基準

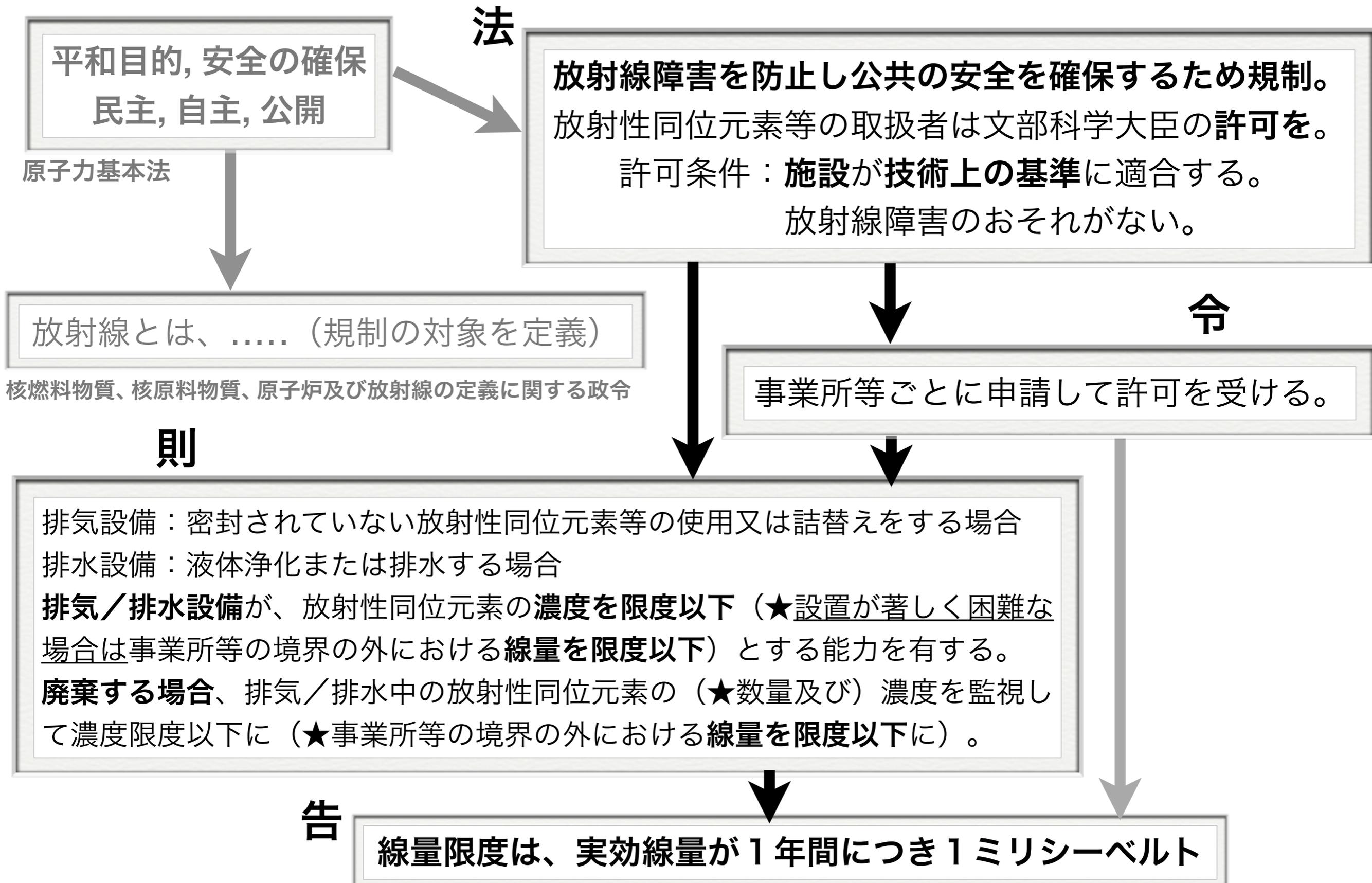
# 放射性同位元素等による放射線障害防止の法体系



# 公衆の追加線量限度が 1 mSv である法的根拠 (1)



# 公衆の追加線量限度が 1 mSv である法的根拠 (2)



# 放射線規制に関するそのほかの法令・規則

## 電離放射線障害防止規則 労働安全衛生法・同施行令

事業者は、労働者が電離放射線を受けることをできるだけ少なくするように努めなければならない。

- ◆ 障害防止法に含まれないX線装置およびX線作業が主な対象。
- ◆ 障害防止法同様、管理区域の明示、放射線業務従事者の被曝限度などを定めているが、一般公衆に関わる規定はなさそうである。

## 医療法施行規則 医療法・同施行令

- ◆ 医療および医薬品は、放射線障害防止法施行規則の適用外

病院又は診療所の管理者は、放射線取扱施設又はその周辺に適当なしゃへい物を設ける等により、人が**居住する区域及び敷地の境界**における線量を限度以下としなければならない。

-  **実効線量が3月間につき250マイクロシーベルトを超えない**

## 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律・同施行令

-  **周辺監視区域外の線量限度は、実効線量について1年間につき1ミリシーベルト**

国際放射線防護委員会 (ICRP) や国の法令による  
放射線**線量限度**は、**自然放射線を除いた追加被曝線量**に  
ついてのもので、検診や治療などの**医療被曝も対象外**。

**年間1ミリシーベルト**は、国が**事業所に求める基準値**  
(施設の遮蔽、排気や排水に関して敷地境界で守るべき値)

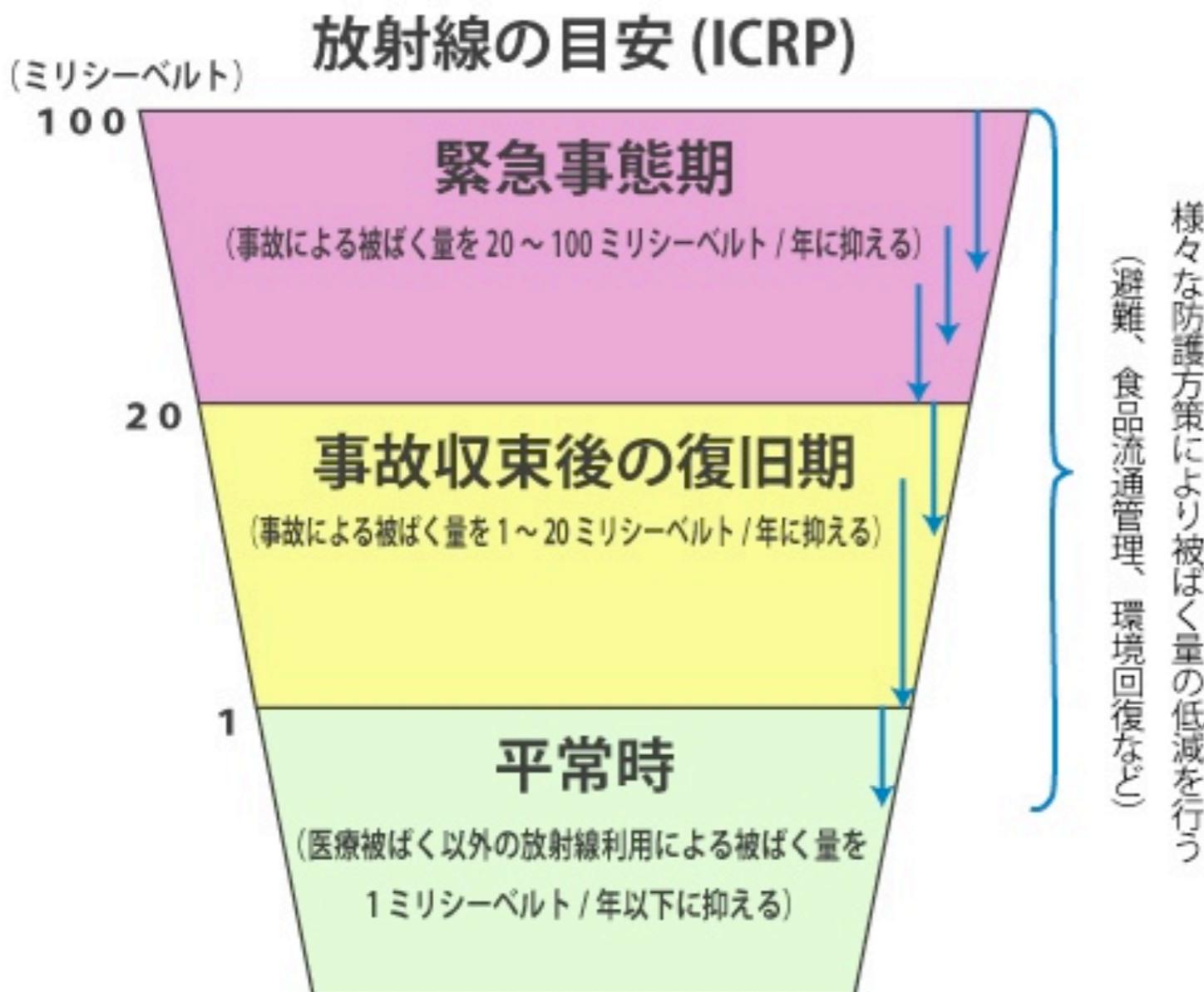
自然放射線との比較：放射線ゼロの場所は地球上に存在しない  
**ゼロリスクは存在しない**

リスクが十分に小さくなるように**基準値**を決めてある  
(**社会的合意**)

**安全と危険の境界ではない**

## 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。

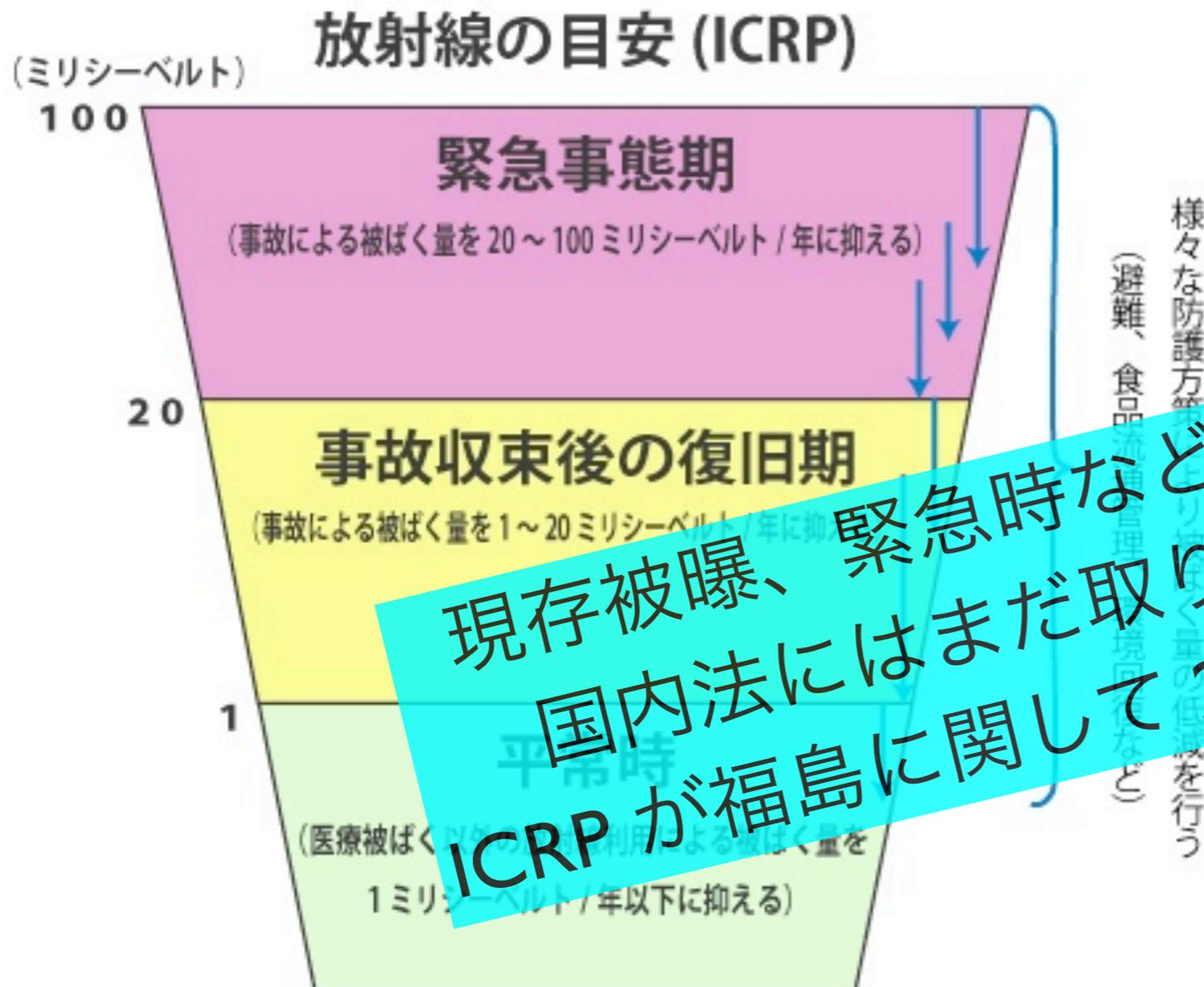
今回の国の方針は、緊急事態期の被ばくとして定められている20~100ミリシーベルトの下限値にあたるもので、福島原発周辺の方々の被ばくが、事故による被ばくの総量が100ミリシーベルトを超えることがないような対応をしつつ、将来的には年間1ミリシーベルト以下まで戻すための防護策を講ずることを意味していると思われます。

**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。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值にあたるもので、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。



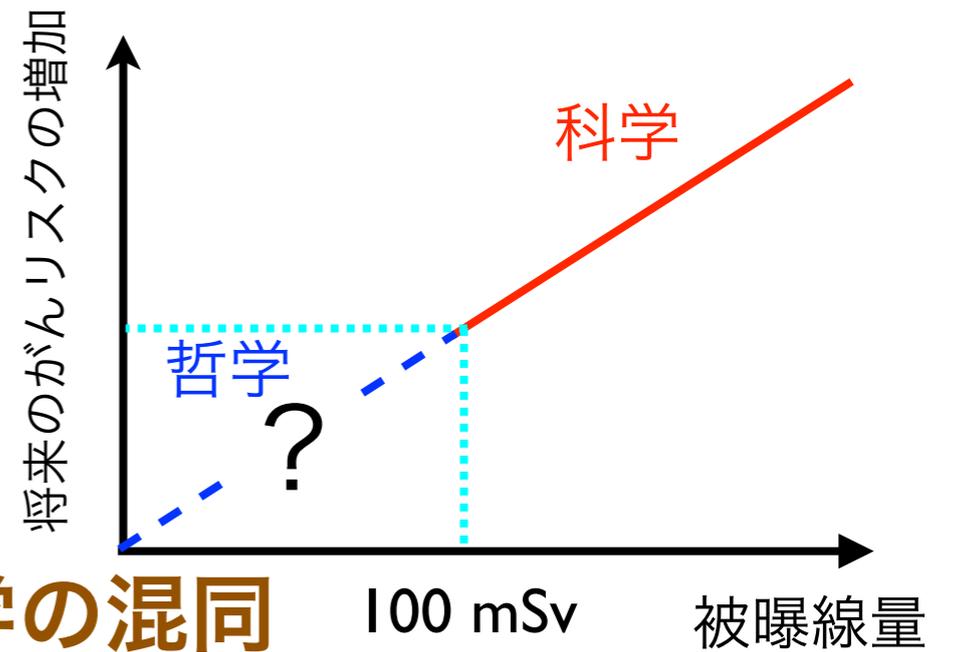
# 放射線の影響に関して異なった意見があるのはなぜか

がんの原因が医学的に分かっていない

疫学調査の問題点

統計学的有意性

影響の因果関係 スクリーニング効果・別の要因

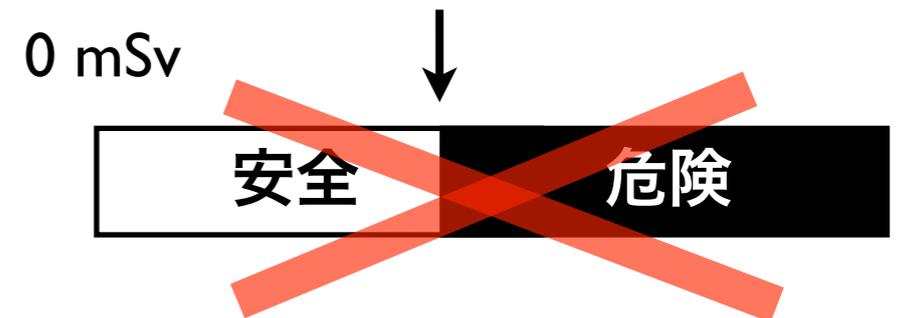


科学的知見と防護学(安全管理学)の哲学の混同

リスクをどこまで許容するか

安全と危険の線引きはできない。

他のリスクとの相対比較



リスクは相対的

基準値

(社会が決める)

放射線のリスク

「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。

正しい情報をどうやって判断するか。

根拠のない過信・安心は問題だが、  
根拠のない恐れや不安もまた問題。

☞ JCO の事故

☞ パニック、風評、健康被害。

# 放射線の影響に対して異なった意見があるのはなぜか

福島住民のリスクは？

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

慣れない土地での生活ストレス

生業・収入の損失

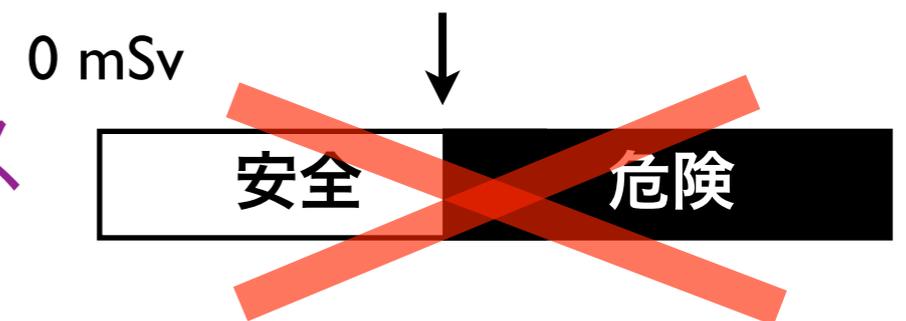
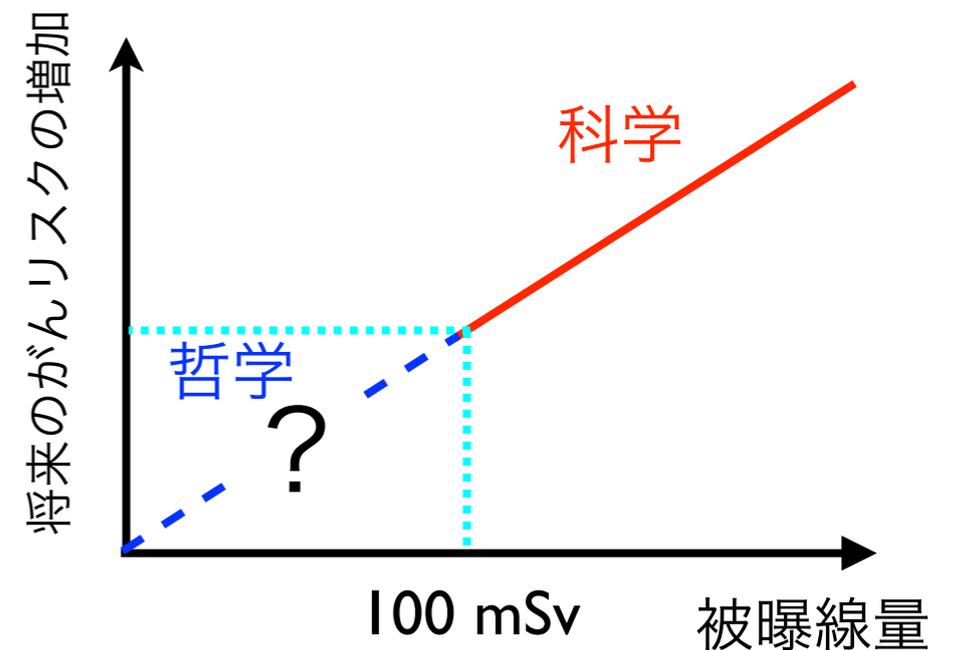
年齢、家族構成、職業

リスクのトレードオフは

人それぞれに違う。

どう判断すべきか、自分で考えるしかない。

原発作業員のリスクは？



リスクは相対的

基準値  
(社会が決める)

放射線のリスク

# 科学的「確率」をどう理解するか。

がんの影響は「確率的」に現れる

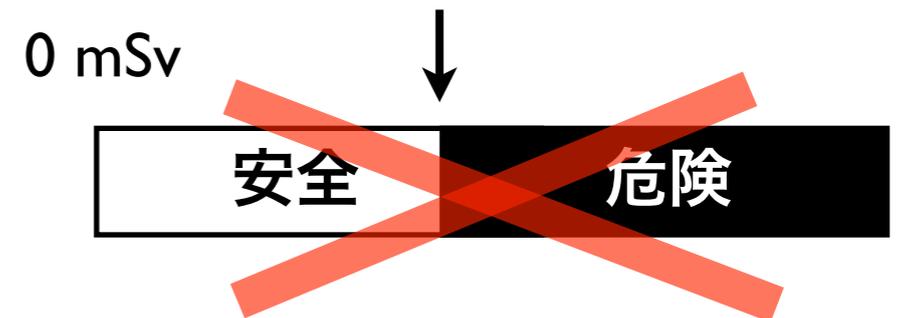
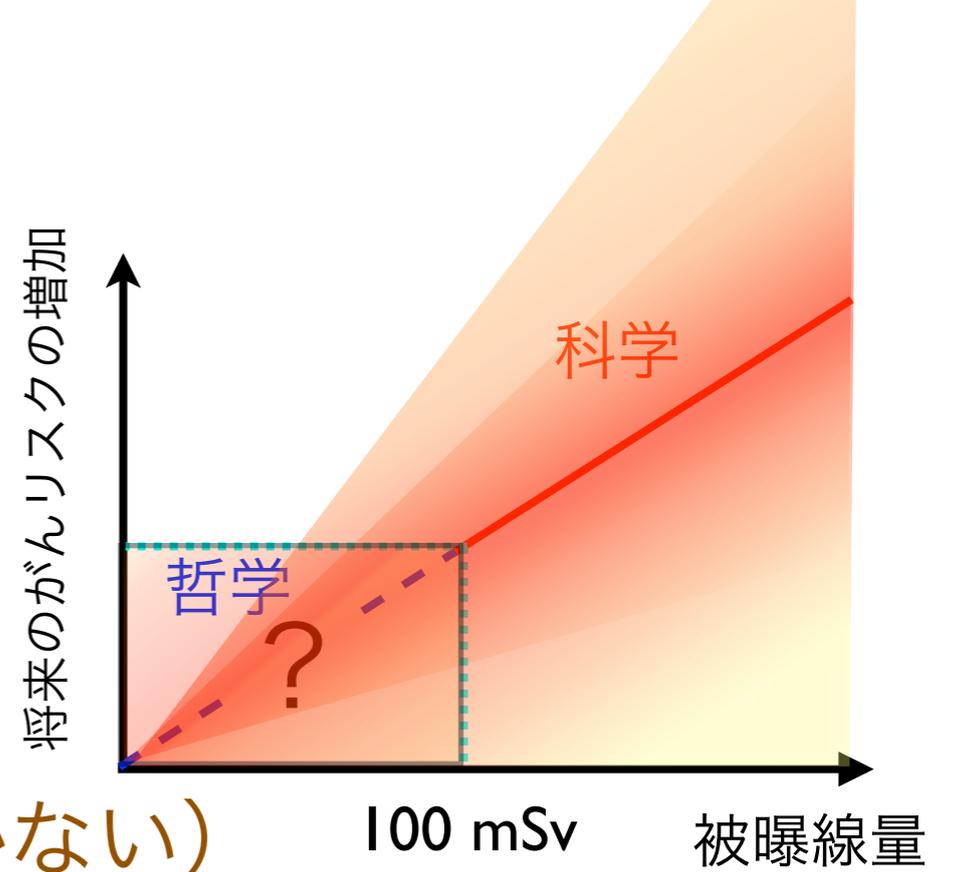
個別の事象との因果関係は分からない

放射線によるがんは特徴がないのが特徴  
(ほかの要因によるがんと全く区別がつかない)

その確率さえ不確かさを伴う

トランスサイエンス

科学に問うことはできるが、科学(だけ)では答えることのできない問題群の領域



リスクは相対的

基準値  
(社会が決める)

放射線のリスク

# 原発と共存が現実 自ら置かれた環境 どう見極めるか

原発事故における避難などの根拠となったのが国際放射線防護委員会（ICRP）が示す数値だ。副委員長のジャック・ロシャルールさんは3・11後、福島で被災者との対話を続けてきた。チェルノブイリ原発事故後の歩みもよく知るフランス人の目に、福島や日本はどう映ったのか。専門家が語るべきことは。来日した際に東京で聞いた。

「2年半前の初来日から、福島での対話集会は少人数の車座のものも含めると10回以上になります。そうした集会をなぜ続けるのですか。」  
「国際会議で来日した際にNPOの人たちと出会い、復興にかかわる様々な関係者が協力する必要があると感じ、福島市や伊達市、いわき市で開いてきました。最初、被災者は政府や東京電力に懐疑的で、不信感も渦巻き、日本人以外の専門家に話を聞きたいという感じでした。『このまま住み続けても大丈夫か』『引越したほうがいいか』という質問で開いてきました。最初、被災者は政府や東京電力に懐疑的で、不信感も渦巻き、日本人以外の専門家に話を聞きたいという感じでした。『このまま住み続けても大丈夫か』『引越したほうがいいか』という質問

## 国際放射線防護委員会（ICRP）

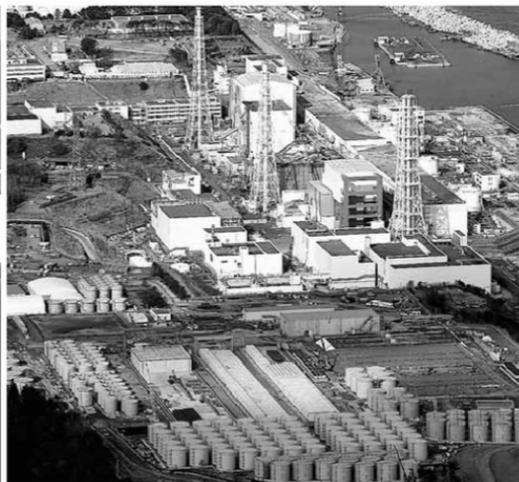
1928年に前身の組織が生まれた。医療現場でエックス線の利用が広まり始めたころだった。50年にいまの組織に。主委員会と五つの専門委員会構成され、世界約30カ国の専門家が無報酬で参加。運営費は各国にある約20の原子力の研究組織による資金援助が8割、残りは刊行物の収入。日本からは、主委員会のメンバーで震災後に福島に移住した丹羽太貴・京都大学名誉教授ら7人がいる。

「しかし、その答えは人生で何を重視するかという個々の価値観によります。冷たく聞こえたと思います。が、人生相談には乗れませんかと断つたうえで、どのように自らを取り巻く環境を見極めるか、ということを放射線防護の経験から伝えました」

「個人的に福島への思い入れも強いようですね。」  
「個人的に福島への思い入れも強いようですね。」

## 国際放射線防護委員会（ICRP）副委員長 ジャック・ロシャルール さん

Jacques Lochard 50年生まれ。放射線防護の専門家、経済学者。フランスのNPO、原子力防護評価研究所（CEPN）所長も務める。パリ在住。



東京電力福島第一原発＝本社機から



「5月中旬に南相馬市の対話集会に出て福島県立医科大学を訪ねます。ムネオさんにも会いたい」  
＝麻生健撮影

「5月中旬に南相馬市の対話集会に出て福島県立医科大学を訪ねます。ムネオさんにも会いたい」  
＝麻生健撮影

# 無力感漂う人々に 専門家が持つ情報 沈黙せず伝える

「だがそれは、そうした意識はなかなか変わりません。」  
「昨年11月のいわき市の集会はそのままで違った雰囲気でした。以前は立場の違う人に向けた言葉が飛び交っている感じだったのが、『私は』という主語が増え、自身について語る人が多かったのです。『事故直後はマラソンを走っているように感じたけれど、私はもう一度歩けるようになった』、『どこまで放射線防護が必要なのかと考え続け、私がたどりついた答えはどこまで私がそれを求めているかということだった』など、希望や慈愛、ときにユーモアも感じました」

「もちろん、すべての被災者がそうしたとは言いません。ただ、3年という時間を経て、1ミシーベルトという数字に振り回されるのではなく、自分の生活圏でいかに被曝量を減らすかという点に意識が向かってきている人もいます」

「1つは、すべての被災者がそうしたとは言いません。ただ、3年という時間を経て、1ミシーベルトという数字に振り回されるのではなく、自分の生活圏でいかに被曝量を減らすかという点に意識が向かってきている人もいます」

「1つは、すべての被災者がそうしたとは言いません。ただ、3年という時間を経て、1ミシーベルトという数字に振り回されるのではなく、自分の生活圏でいかに被曝量を減らすかという点に意識が向かってきている人もいます」

「1つは、すべての被災者がそうしたとは言いません。ただ、3年という時間を経て、1ミシーベルトという数字に振り回されるのではなく、自分の生活圏でいかに被曝量を減らすかという点に意識が向かってきている人もいます」

「1つは、すべての被災者がそうしたとは言いません。ただ、3年という時間を経て、1ミシーベルトという数字に振り回されるのではなく、自分の生活圏でいかに被曝量を減らすかという点に意識が向かってきている人もいます」

「1つは、すべての被災者がそうしたとは言いません。ただ、3年という時間を経て、1ミシーベルトという数字に振り回されるのではなく、自分の生活圏でいかに被曝量を減らすかという点に意識が向かってきている人もいます」

「1つは、すべての被災者がそうしたとは言いません。ただ、3年という時間を経て、1ミシーベルトという数字に振り回されるのではなく、自分の生活圏でいかに被曝量を減らすかという点に意識が向かってきている人もいます」

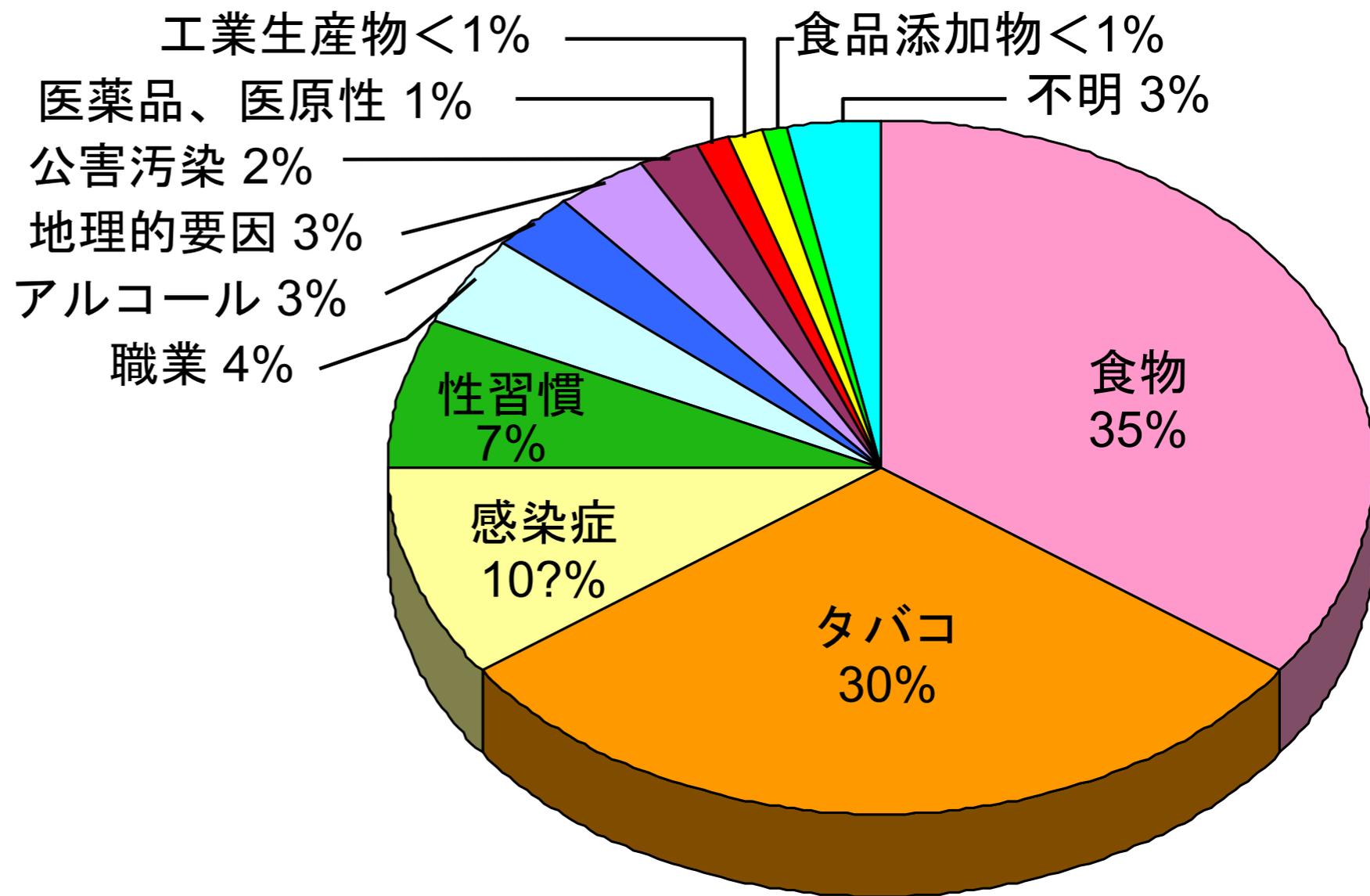
## 放射線と生活習慣の発がんの相対リスク比較

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
運動不足	1.15~1.19倍
200~500ミリシーベルトを浴びる	1.19倍
肥満	1.22倍
500~1000ミリシーベルトを浴びる	1.4倍
毎日2合以上の飲酒	1.6倍
喫煙	
毎日3合以上の飲酒	1.8倍
1000~2000ミリシーベルトを浴びる	

※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

## ヒトのがんの原因と関連のある因子



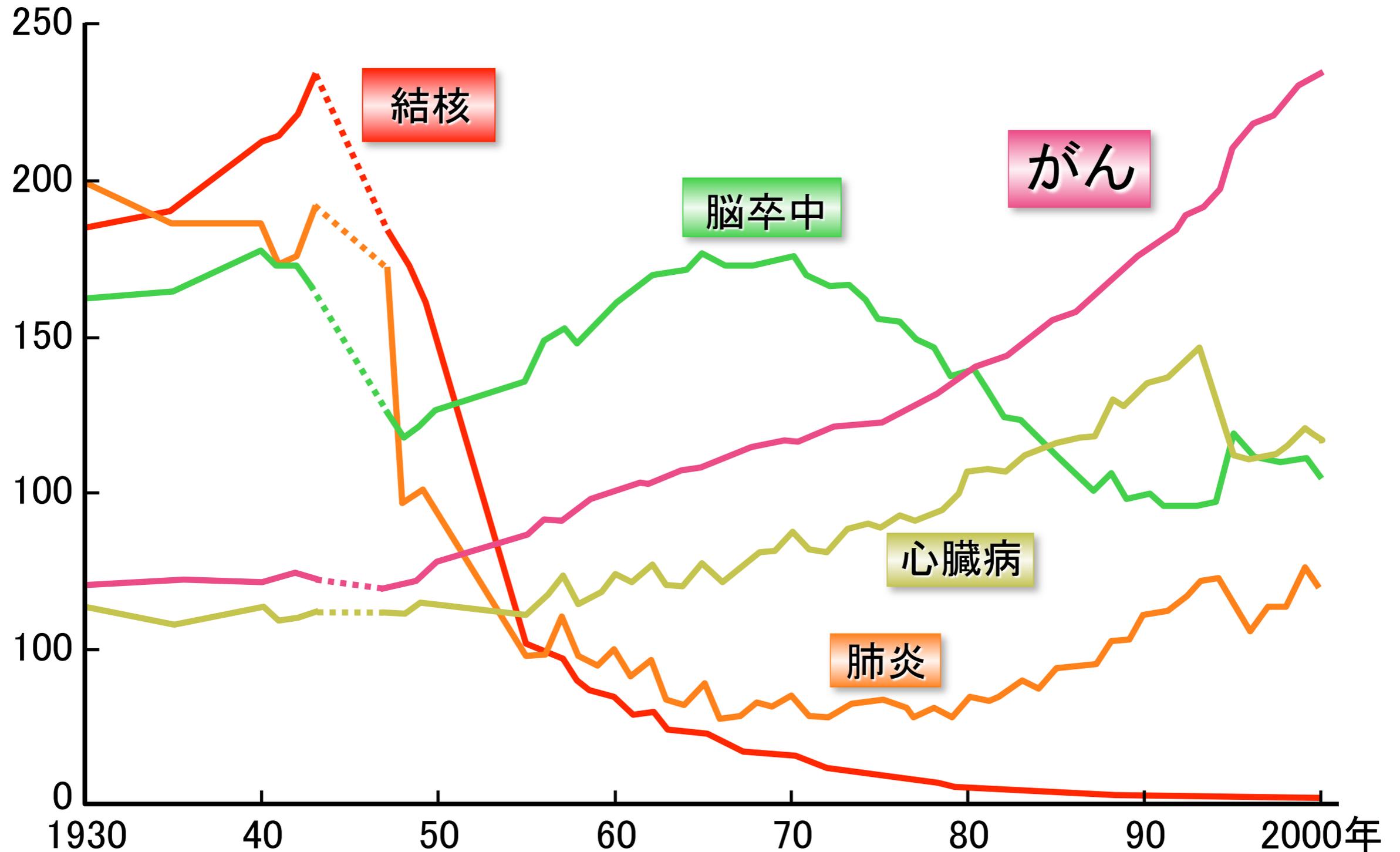
(R.Dool and R.Peto, 1981)

表の値は短時間での被曝の場合。

がん死中にしめる各因子の割合 (%)

(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。ICRPは係数1/2を採用。)

日本人の2人に1人が、生涯のうちにがんにかかり、  
毎年死亡者のうち3人に1人はがんで死んでいる。



がんで死なないためには、

👉 がんにならないのが一番

+ なっても、早期発見で完治させる

**早期発見 = がん検診**

(症状に気づいてからでは遅い)

## がんにならない生活習慣

- タバコは吸わない
- 酒はひかえめ (赤くなる人は特に)
- 肉と塩分はひかえめ
- 野菜を十分に
- 運動

東大医学部附属病院

中川 恵一 先生



「ものをこわがらな過ぎたり、こわがり過ぎたり  
するのはやさしいが、**正当にこわがる**ことは  
なかなかむづかしい**ことだと思われた。**」

寺田 寅彦 (1935年)

**被曝を**

**怖れすぎても、怖れなさすぎても**

**健康被害が出る。**

(東大病院 放射線科 中川恵一先生)

**病は気から** = 精神失調、免疫力低下などに注意

# リスクの伝え方

リスクを誇大に喧伝するのは正義か  
リスクの適切な評価が不可欠。  
過小評価も過大評価もダメ。

科学者による踏み越え

誰が何の「専門家」なのかの見極め

科学的合意点と論争点との峻別

科学的事実と個人の価値判断の区別

中立な立場での発言

御用学者？／恐怖の煽動？

イデオロギーの問題（原発推進／反原発、その他の利権？）

# 放射線医療

～ 治療 ～

# 放射線の医学利用

- Röntgen博士によるX線の発見
  - 1895年に論文発表

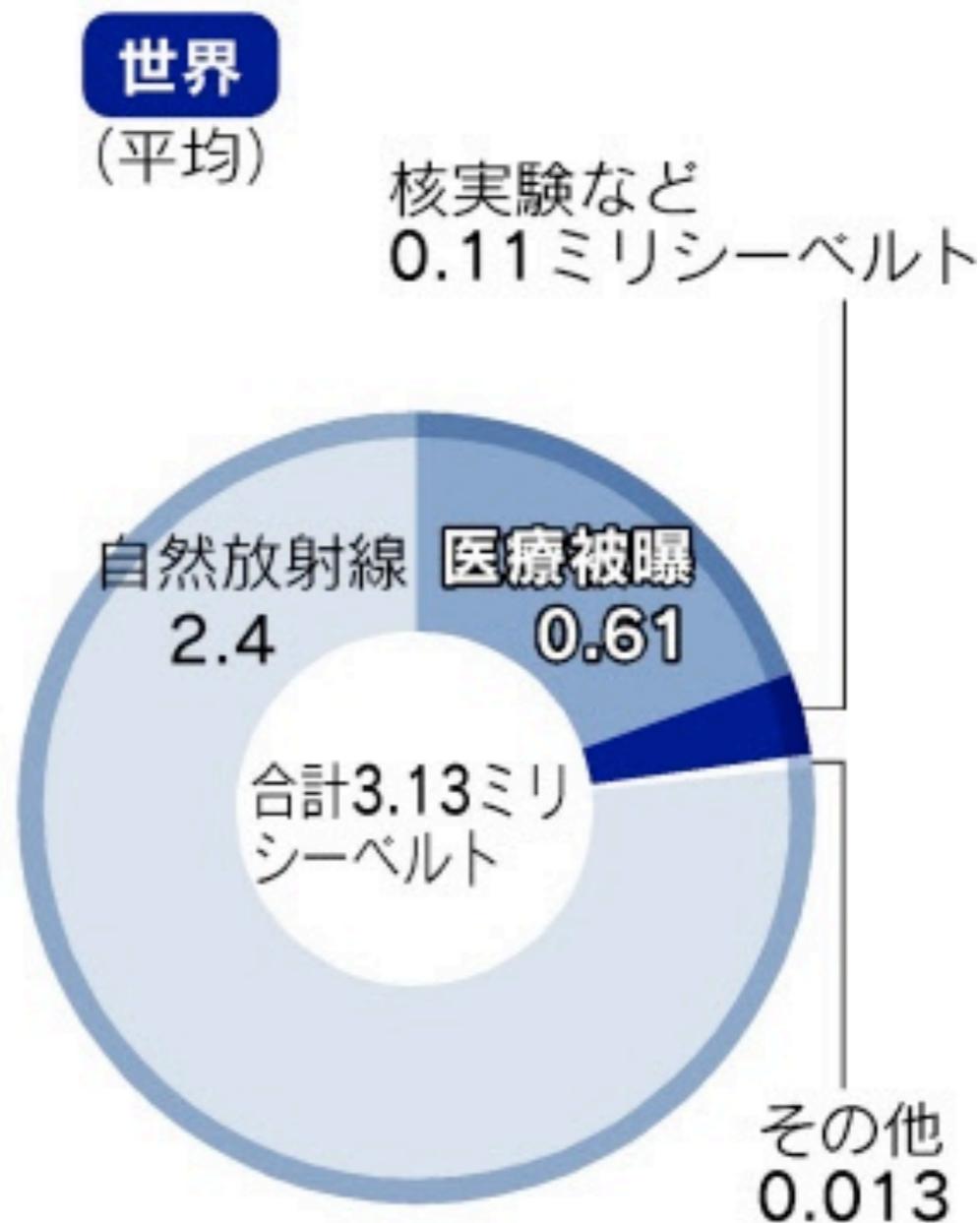


1896.1.23撮影

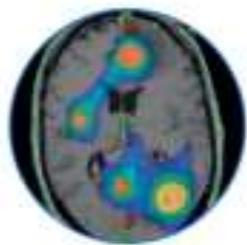


以降、主に医学の分野で  
広く用いられる

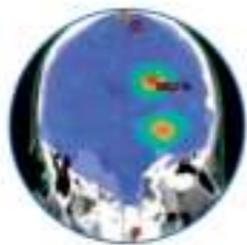
# 1人が1年間に浴びる放射線量



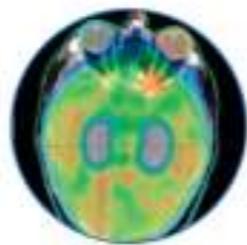
(注) ICRPが定める一般人が浴びてもさしつかえないとする限度1ミリシーベルトは医療被曝と自然放射線は除く。「原子力・エネルギー図面集 2011年版より」



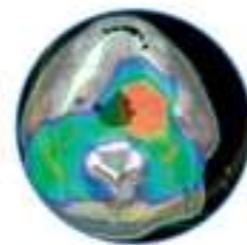
Brain SRS – Multiple Metastases  
3 non-coplanar arcs, 330 sec



Brain SRT – Multiple Metastases and Whole Brain  
2 arcs, 151 sec



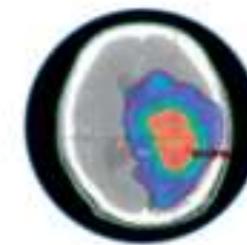
Prophylactic Cranial Irradiation with Hippocampus Sparing  
2 arcs, 155 sec



Head & Neck (Nasopharynx)  
1 arc, 79 sec



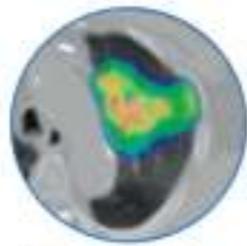
Vestibular Schwannoma  
2 arcs, 140 sec



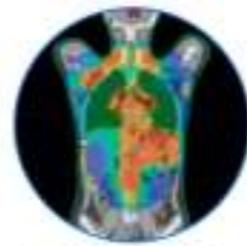
Glioblastoma  
2 arcs, 150 sec



Skull Skin Irradiation  
1 arc, 100 sec



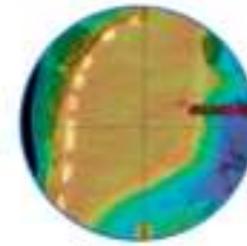
Non-Small Cell Lung Carcinoma SRT  
2 arcs, 210 sec



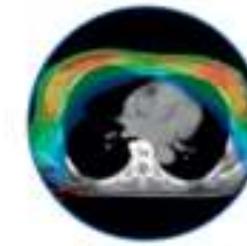
Pediatric Hodgkin's Lymphoma  
2 arcs, 150 sec



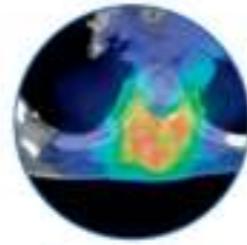
Hodgkin's Lymphoma  
2 arcs, 148 sec



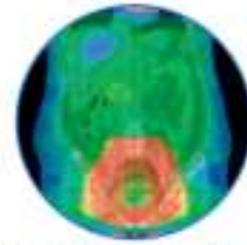
Mesothelioma  
2 arcs, 150 sec



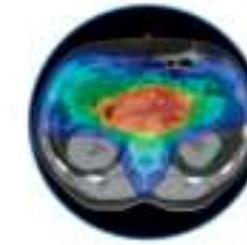
Bilateral Breast  
2 arcs, 150 sec



Paraspinal Lesion  
1 arc, 215 sec



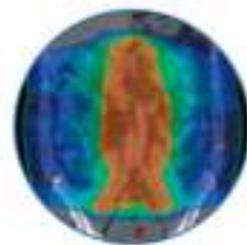
Whole Abdominal Irradiation  
3 arcs, 225 sec



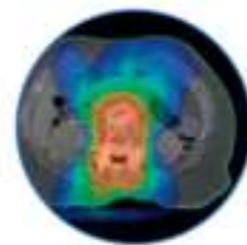
Pancreas  
1 arc, 74 sec



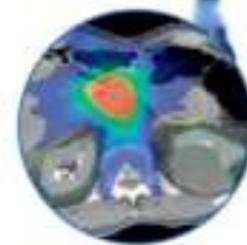
Medulloblastoma  
2 arcs, 148 sec



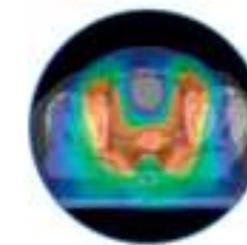
Seminoma  
1 arc, 74 sec



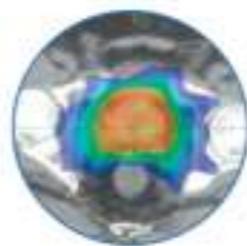
Chordoma  
1 arc, 74 sec



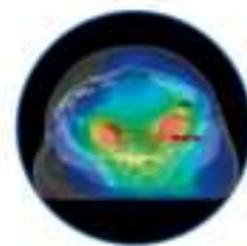
Abdominal Metastases  
1 arc, 176 sec



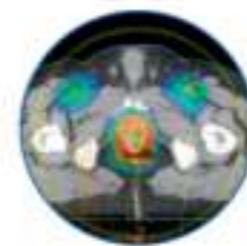
Cervix Uteri  
1 arc, 74 sec



Prostate  
1 arc, 75 sec



Multiple Pelvic Nodes  
2 arcs, 150 sec



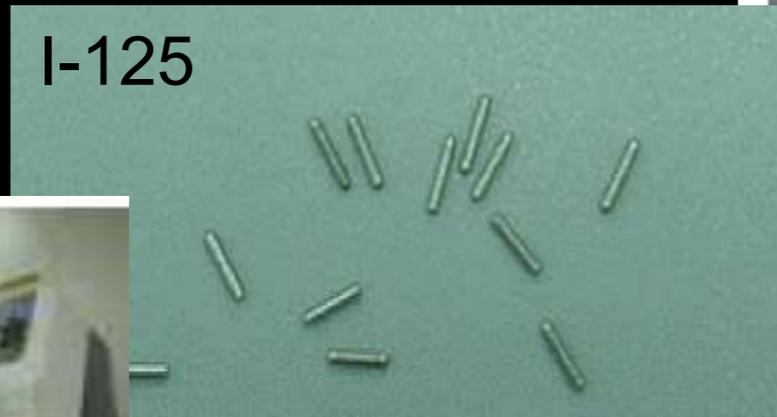
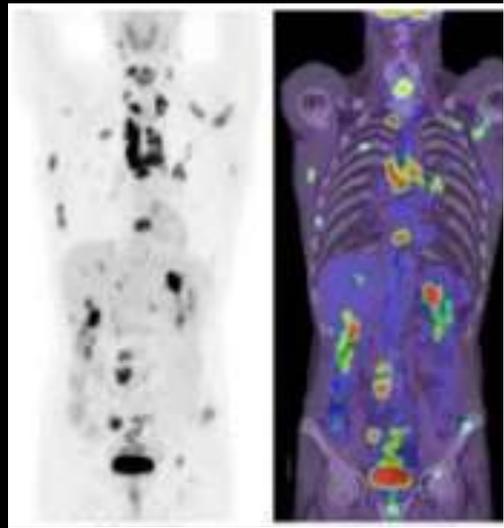
Anal Canal  
2 arcs, 170 sec

Data Center:  
VU Medical Center, Amsterdam  
IRCCS Oncologico della Svizzera Italiana, Bellinzona  
Rigshospitalet, Copenhagen  
CRG, Via Olcese, Montpellier  
Humanitas Institute, Rozzano-Milano  
University Hospital, Turin

Legend  
Number of arcs, beam-on time, Pa



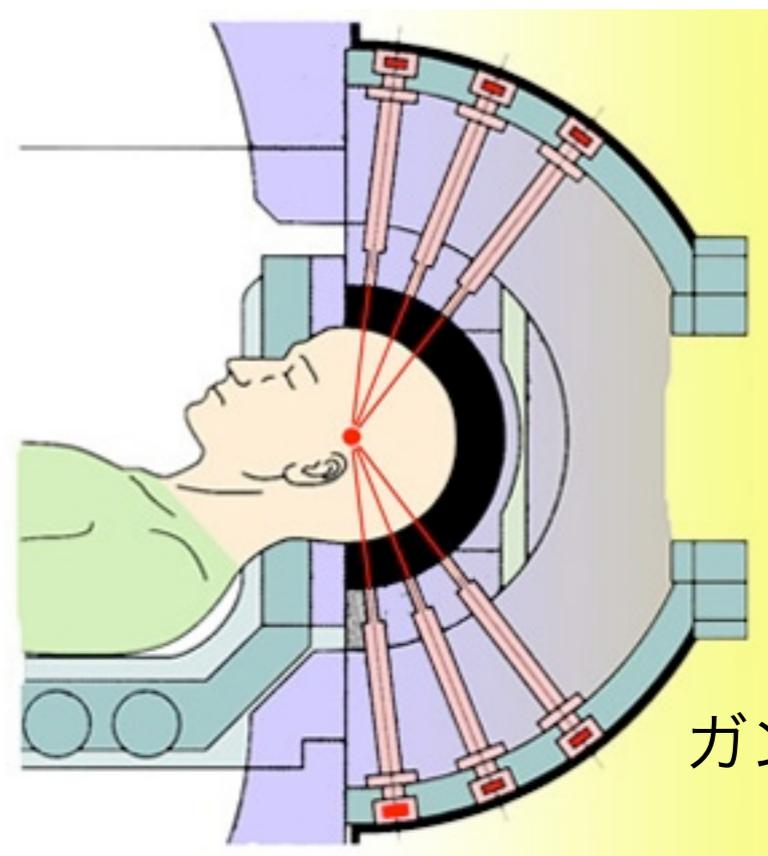
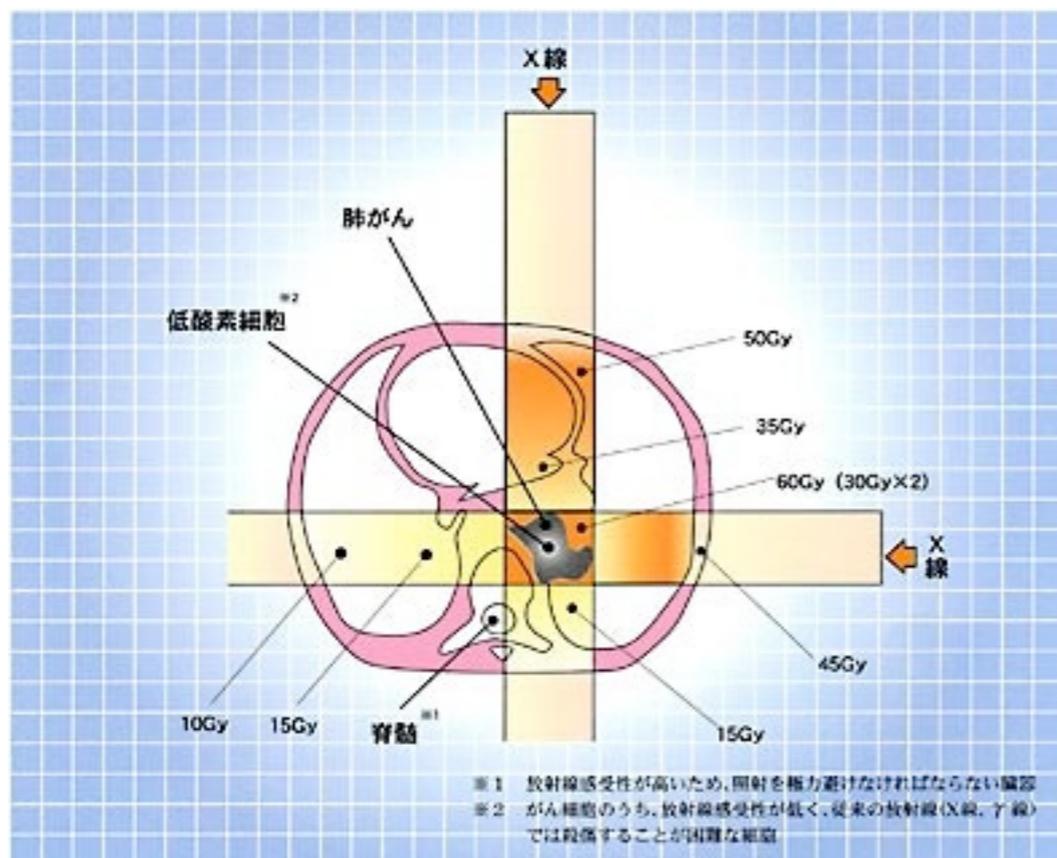
# 医療で使う放射線



# 放射線 がん治療

数 Gy を数十回

## X線



## 医療用線形加速器

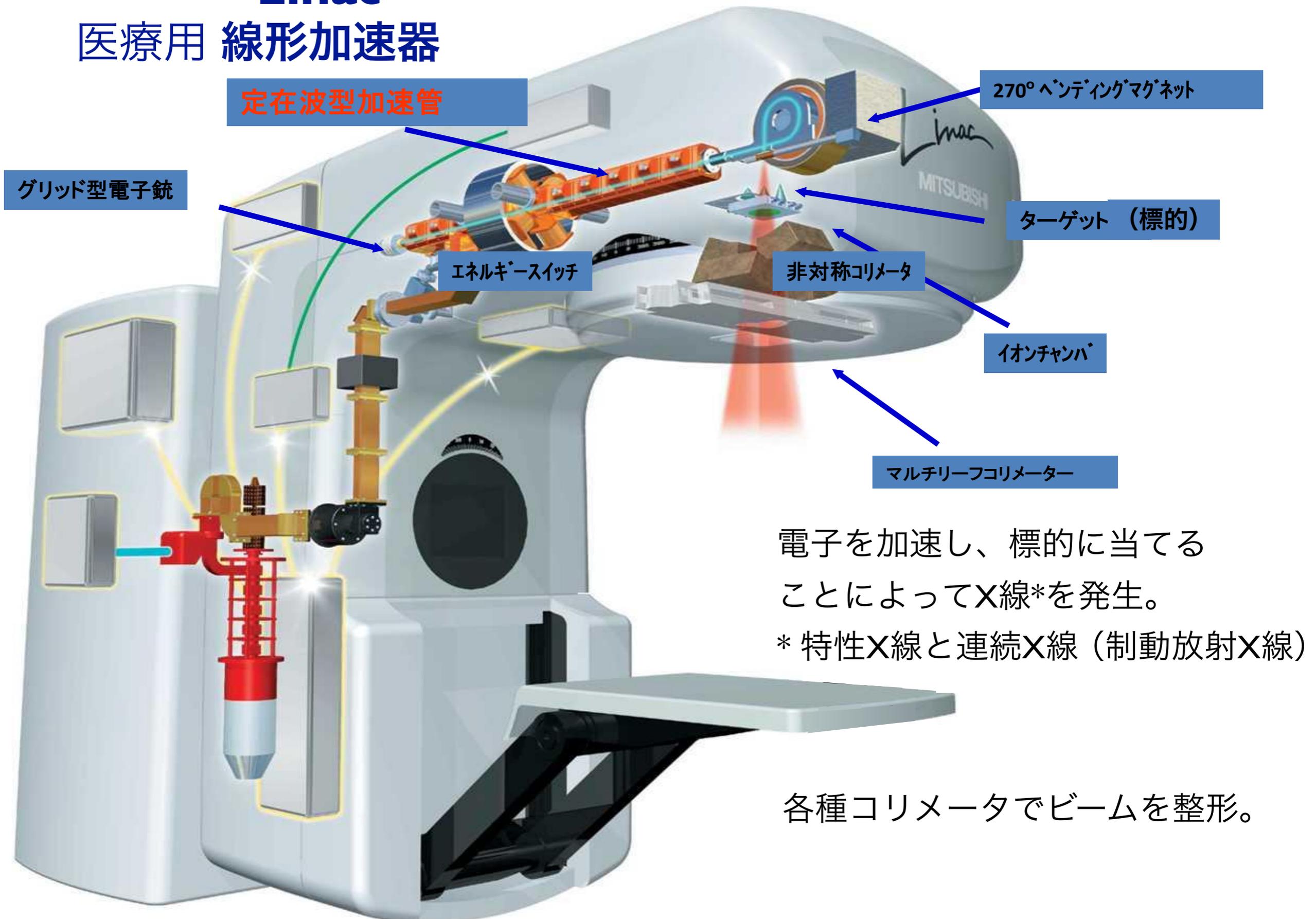
電子線を加速してぶつけ、  
制動X線および特性X線を  
発生させる。

(X線)  
サイバーナイフ



写真提供: (独)放射線医学総合研究所

# Linac 医療用 線形加速器



定在波型加速管

グリッド型電子銃

エネルギースイッチ

270°ベンディングマグネット

ターゲット (標的)

非対称コリメータ

イオンチャンバ

マルチリーフコリメータ

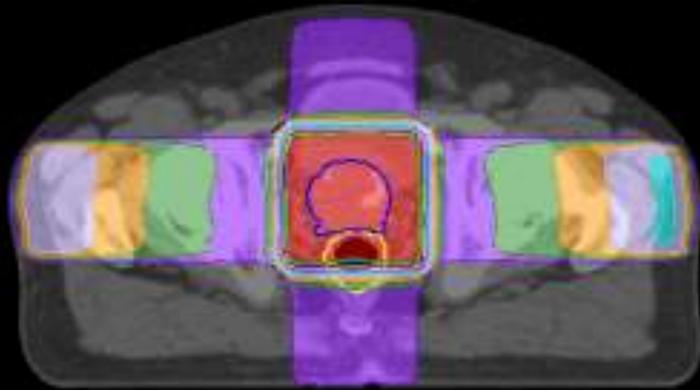
電子を加速し、標的に当てる  
ことによってX線\*を発生。

\* 特性X線と連続X線 (制動放射X線)

各種コリメータでビームを整形。

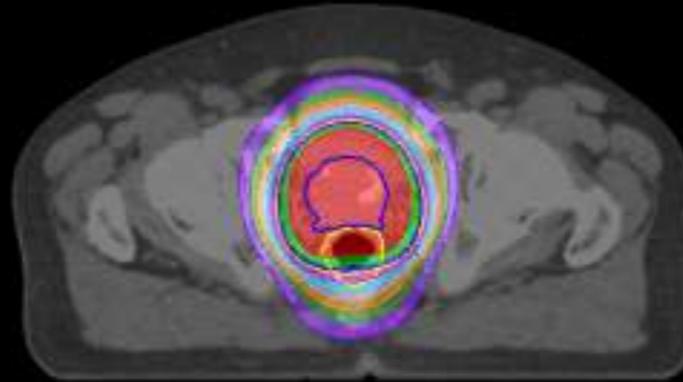
# 前立腺がんの例

前後左右4門照射



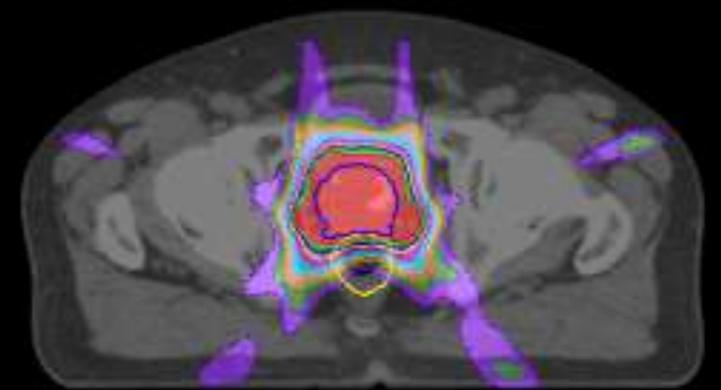
- 前立腺の他に、膀胱や直腸が高線量域に含まれる
- 70Gyが限界（難治性の晩期粘膜障害の発現を許容範囲に抑えるためには、実際には60～66Gy程度が限界となる）

3次元原体照射



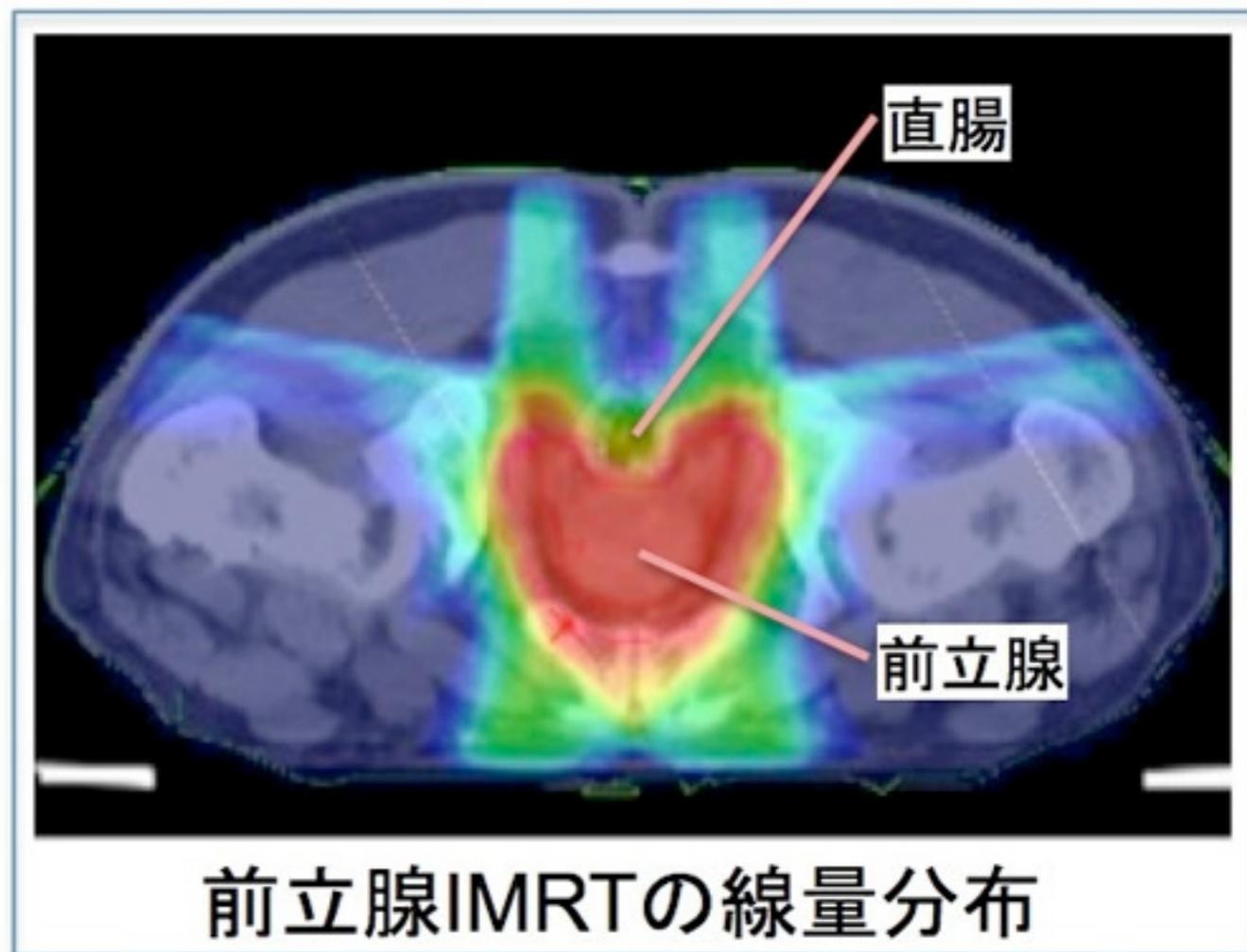
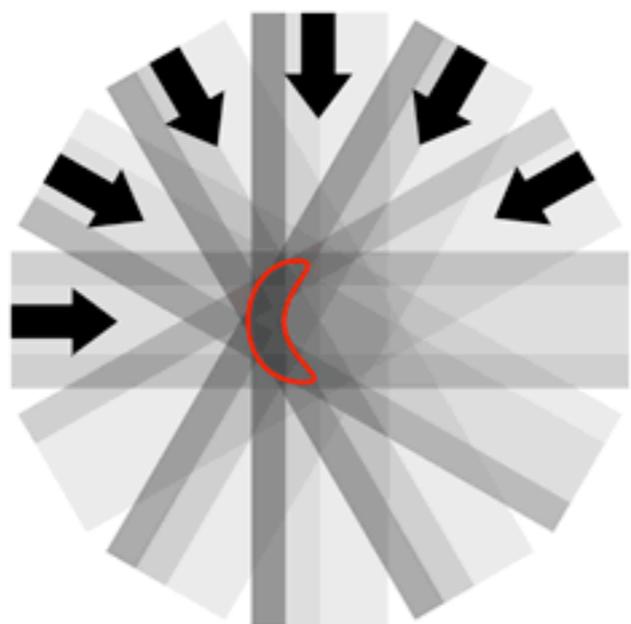
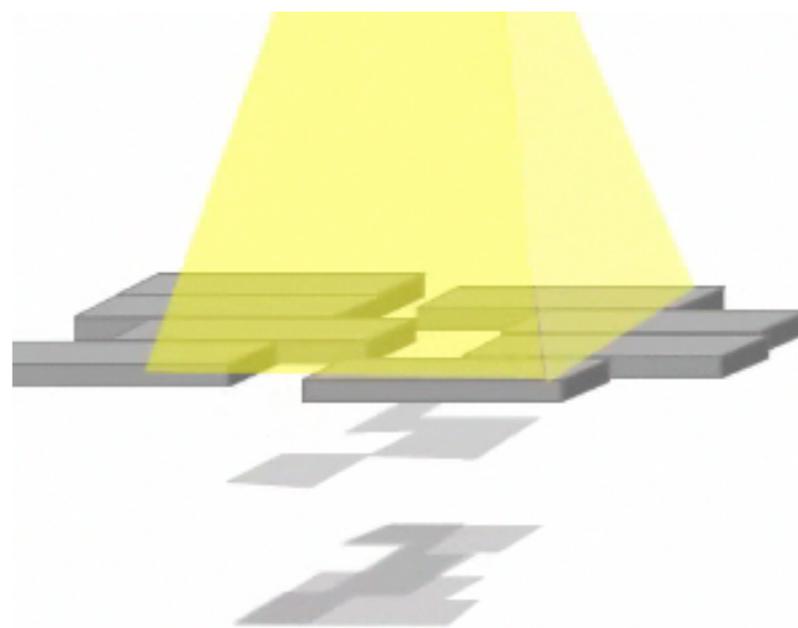
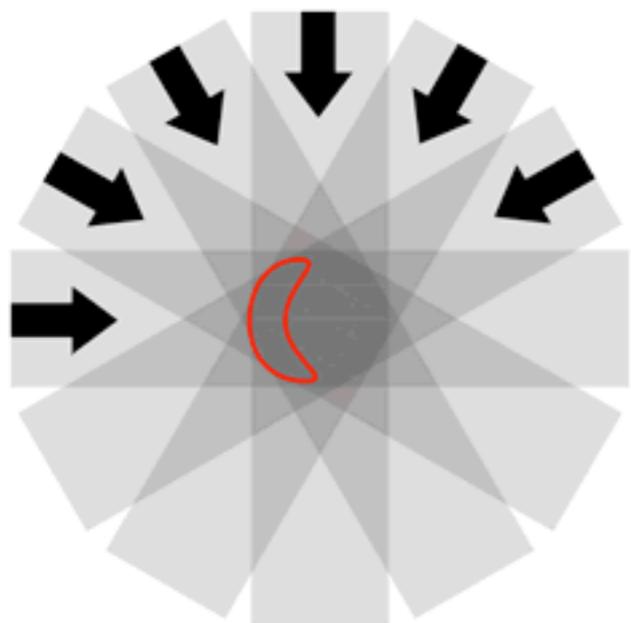
- 前立腺に線量が集中し、膀胱や直腸への線量が低く抑えられる
- 70Gy以上の投与が可能であるが、線量の集中に限界があり、線量増加に伴う副作用の増加が懸念される

強度変調放射線治療



- 前立腺への集中性がさらに強化
- IGRTを併用することで、3次元原体照射を超える高線量を安全に投与することが可能

外照射法の進歩を背景に、前立腺癌に対する線量増加効果が積極的に検討されている。



## 陽子線治療用のコリメータ

材質:真鍮(しんちゅう)



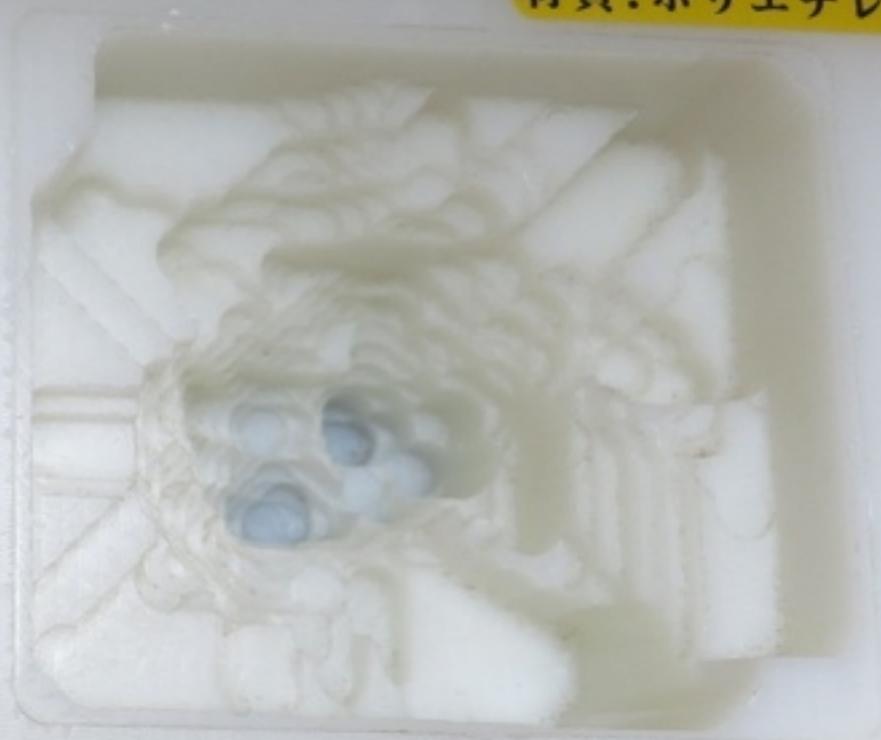
がん病巣の形状に合わせた穴のみを放射線が通過します。

### 持ち上げないでください

国立がんセンター東病院寄贈

## 陽子線治療用のボラス

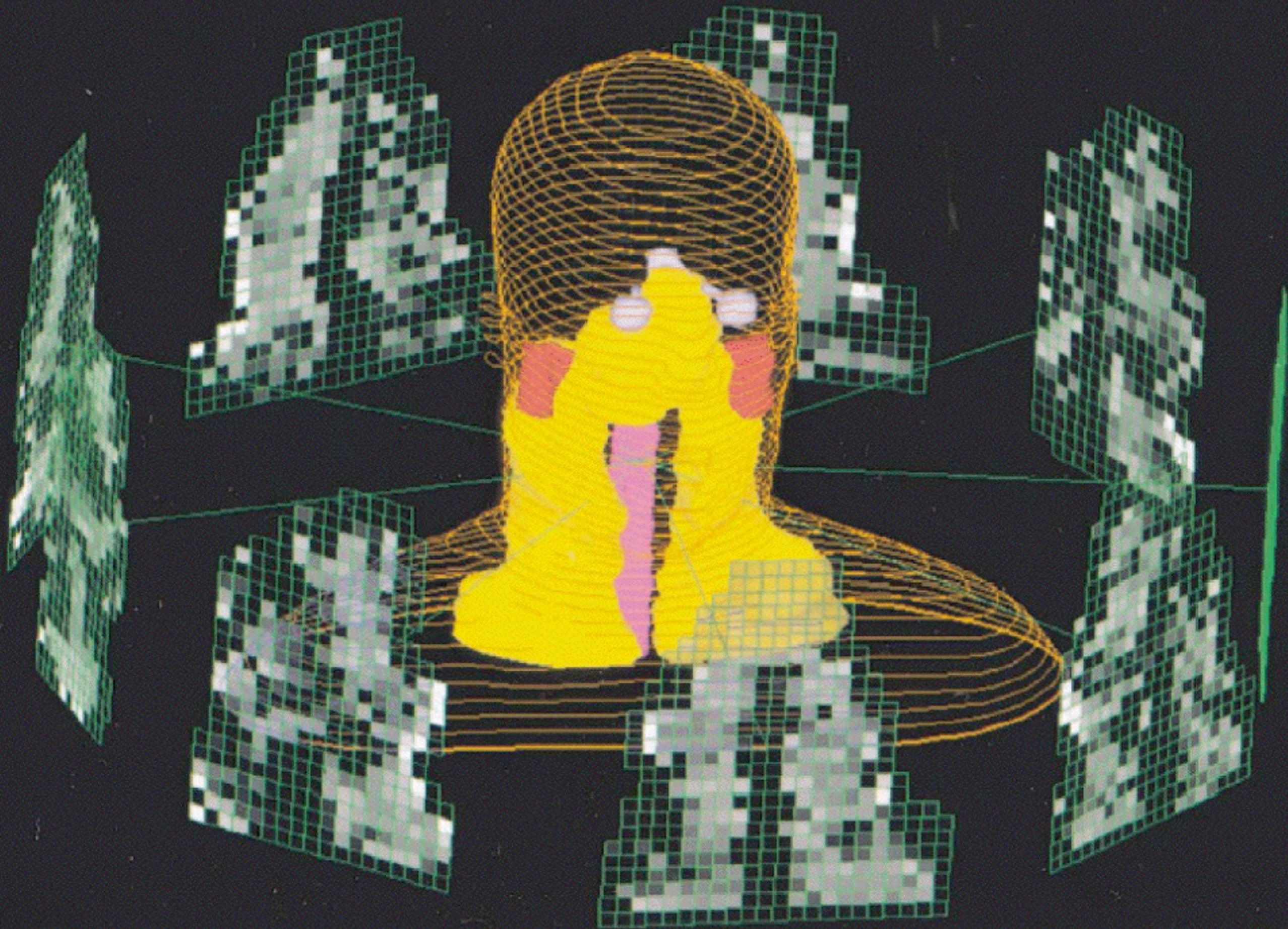
材質:ポリエチレン



がん病巣の形状に合わせて作られており、放射線の深さ方向を調整します。

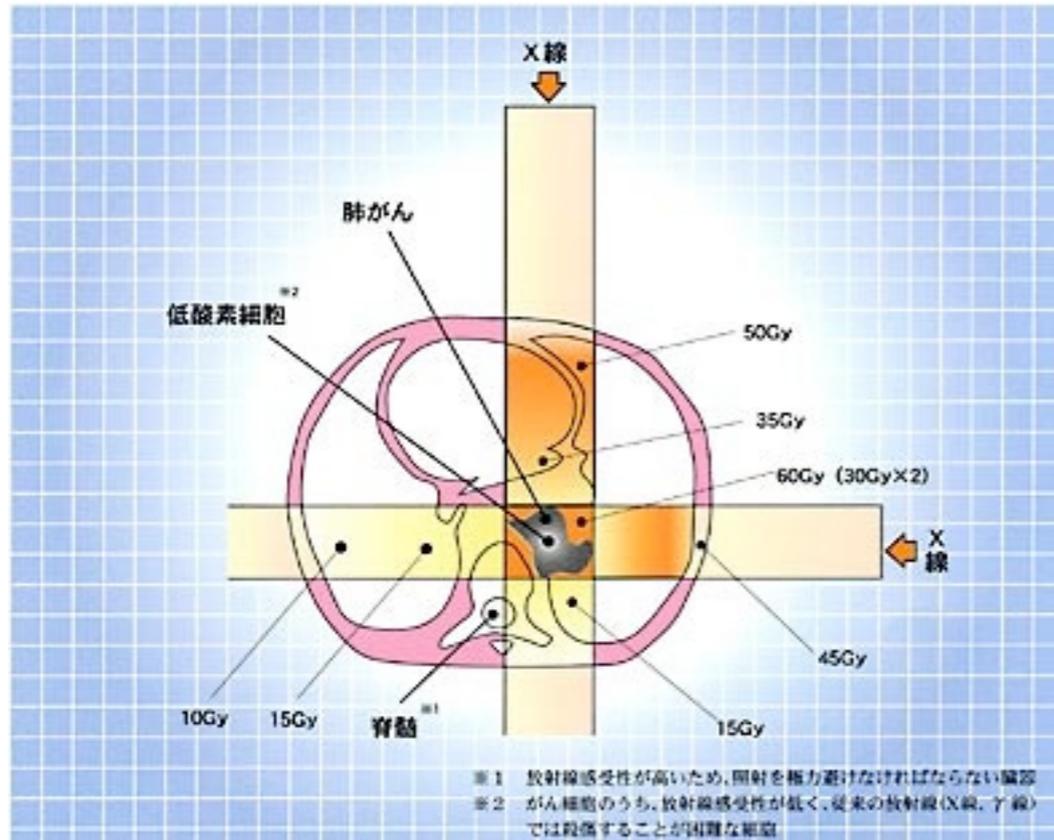
注)ボラスの正式名称は「補償フィルター」です。

国立がんセンター東病院寄贈



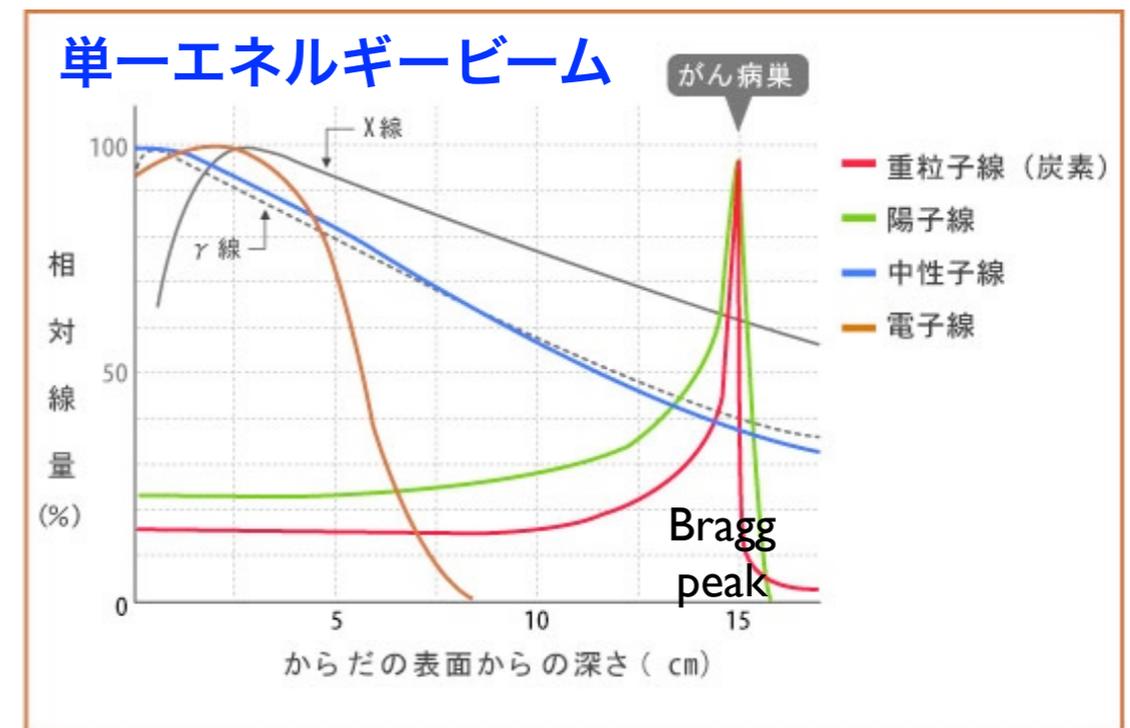
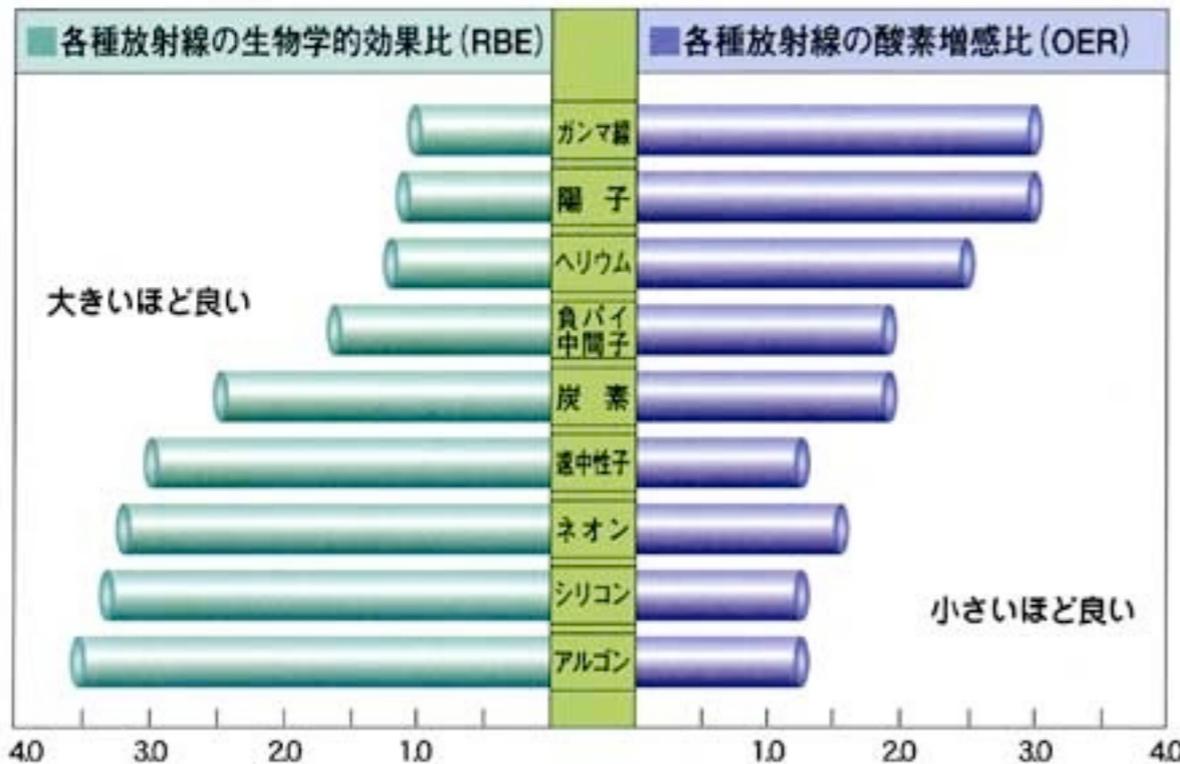
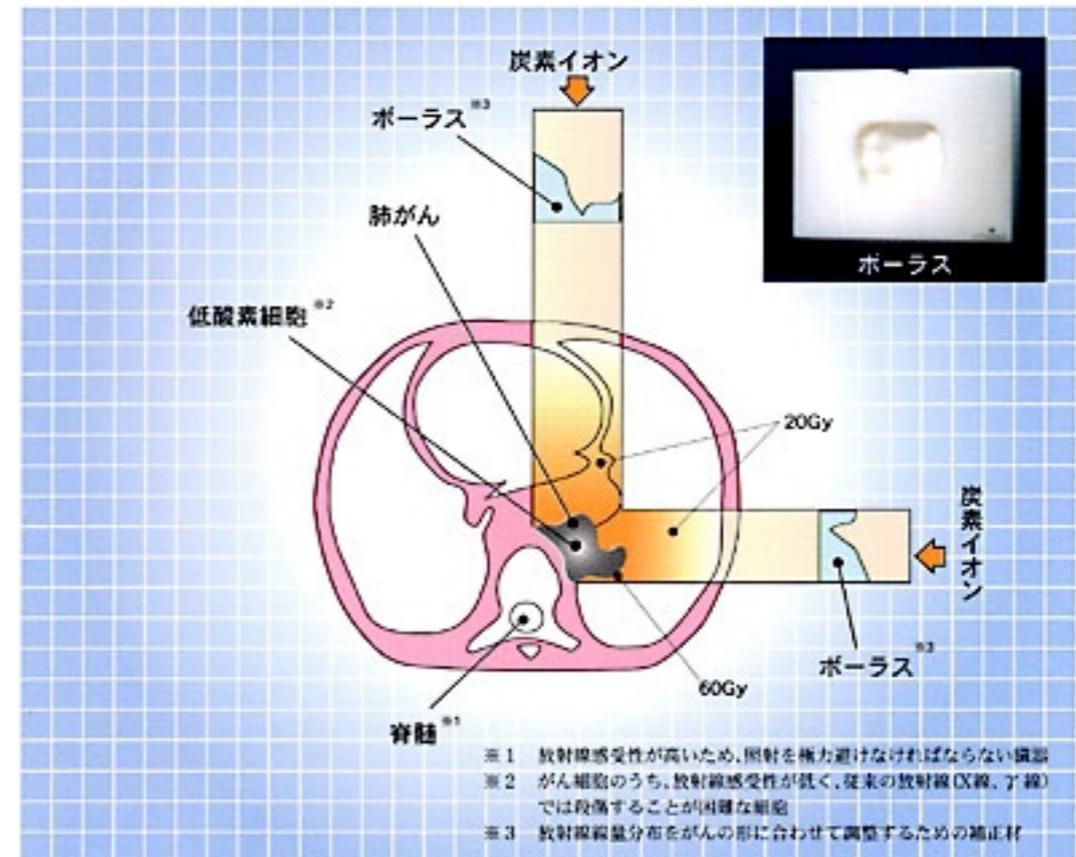
# 放射線 がん治療

## X線



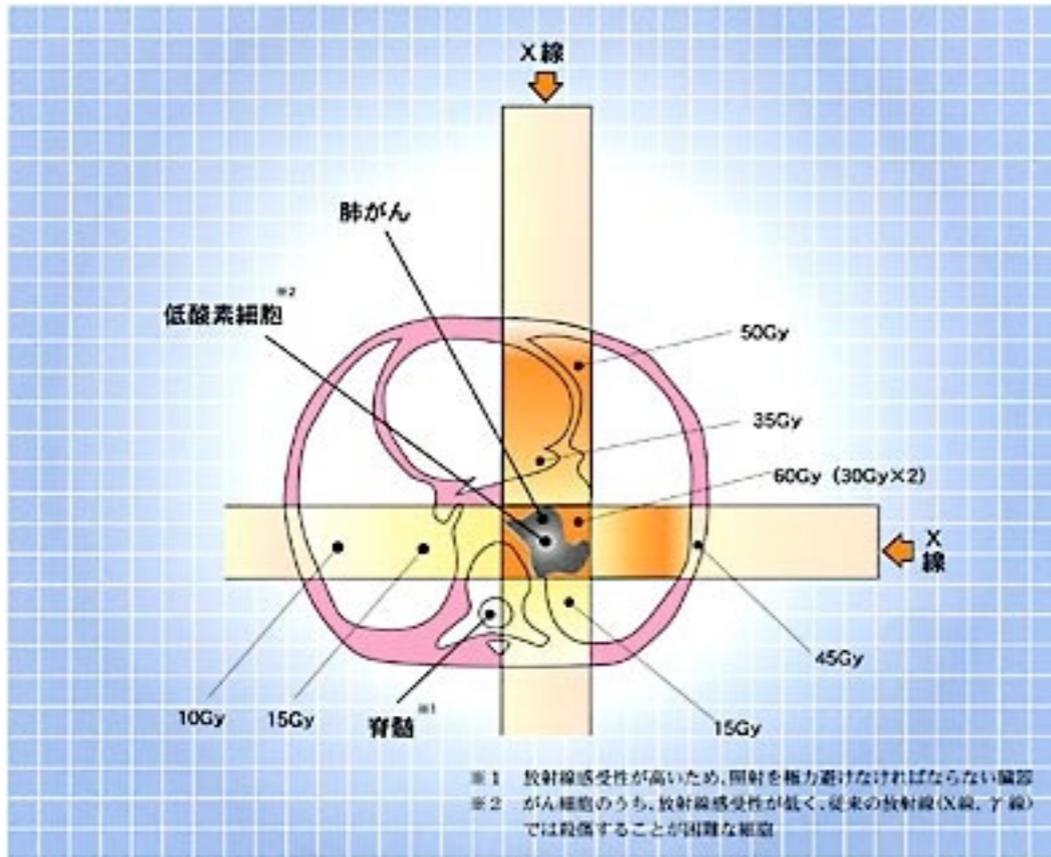
# 数 Gy を複数回

## 重粒子線 (炭素イオン)



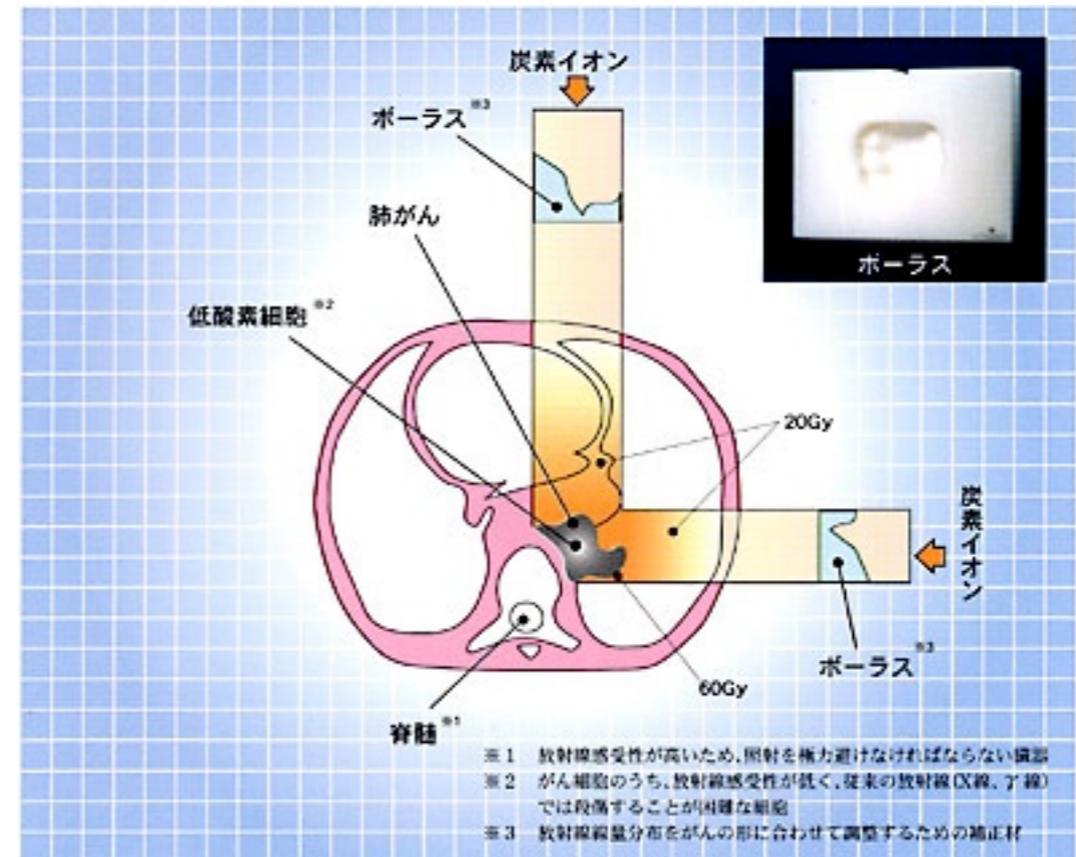
# 放射線 がん治療

## X線



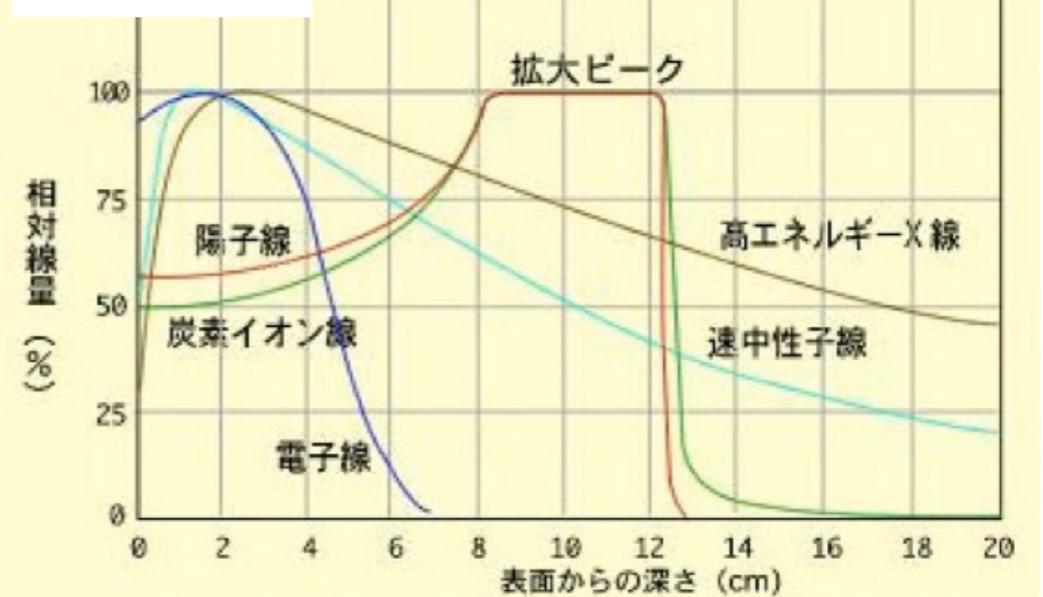
# 数 Gy を複数回

## 重粒子線 (炭素イオン)



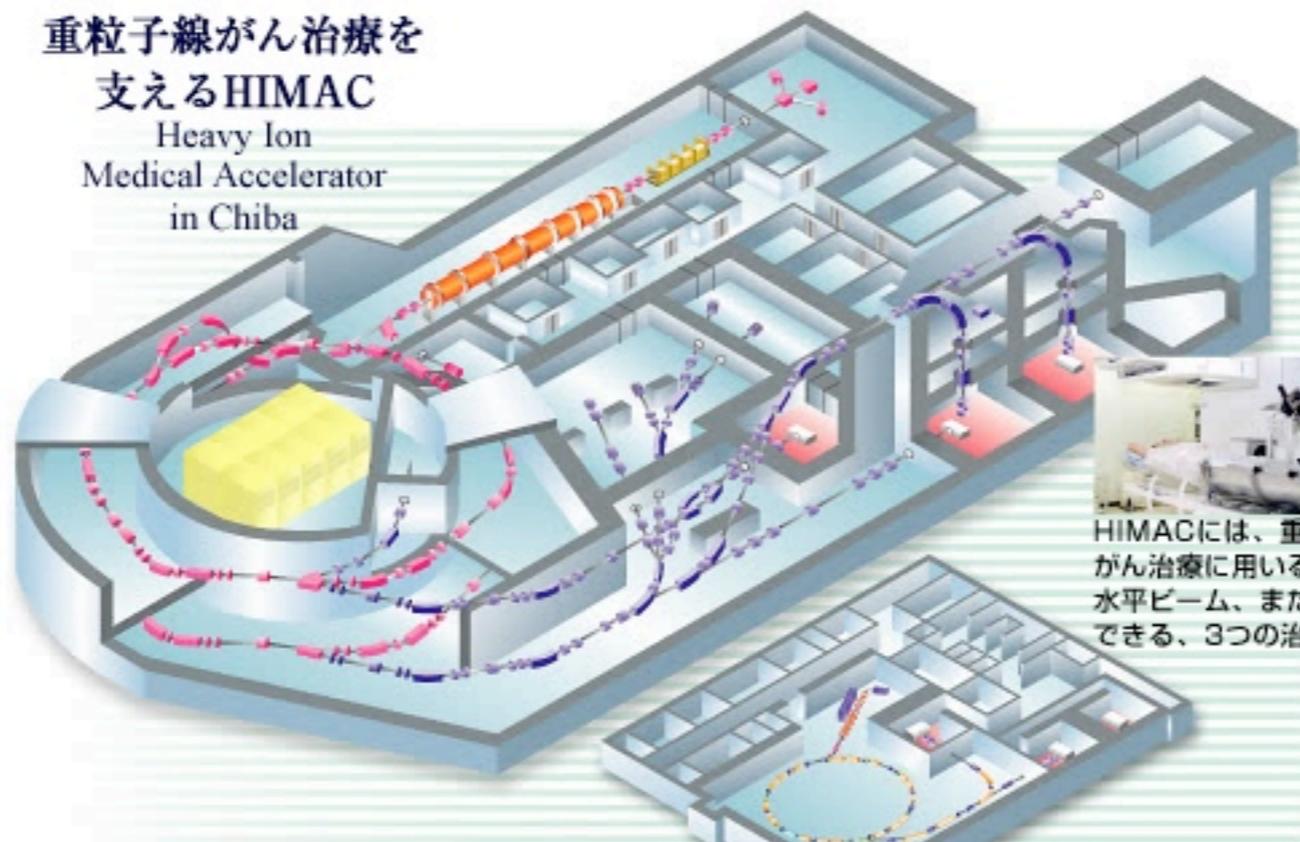
他には：ガンマナイフ、  
 陽子線、パイ中間子  
 研究中：反陽子

### 白色ビーム



# 放射線医学総合研究所（千葉）

重粒子線がん治療を  
支えるHIMAC  
Heavy Ion  
Medical Accelerator  
in Chiba



HIMACには、重粒子線を効率的にがん治療に用いるため垂直ビーム、水平ビーム、またはその両方を照射できる、3つの治療照射室があります。

## ■小型重粒子線がん治療装置

放医研における装置小型化開発研究の成果は、2006(平成18)年度から建設が開始される群馬大学の重粒子線がん治療装置に採用されています。放医研は群馬大学に装置を建設するための技術的な支援を行っています。



写真提供：(独)放射線医学総合研究所

# PET (Positron Emission Tomography) 陽電子断層撮影法

組織の”はたらき”を知る

$^{18}\text{F}$ -FDG (fluorodeoxy glucose),  $^{15}\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2^{15}\text{O}$



放射線医療：診断

$e^+$



陽電子 positron

電子 electron



$e^-$

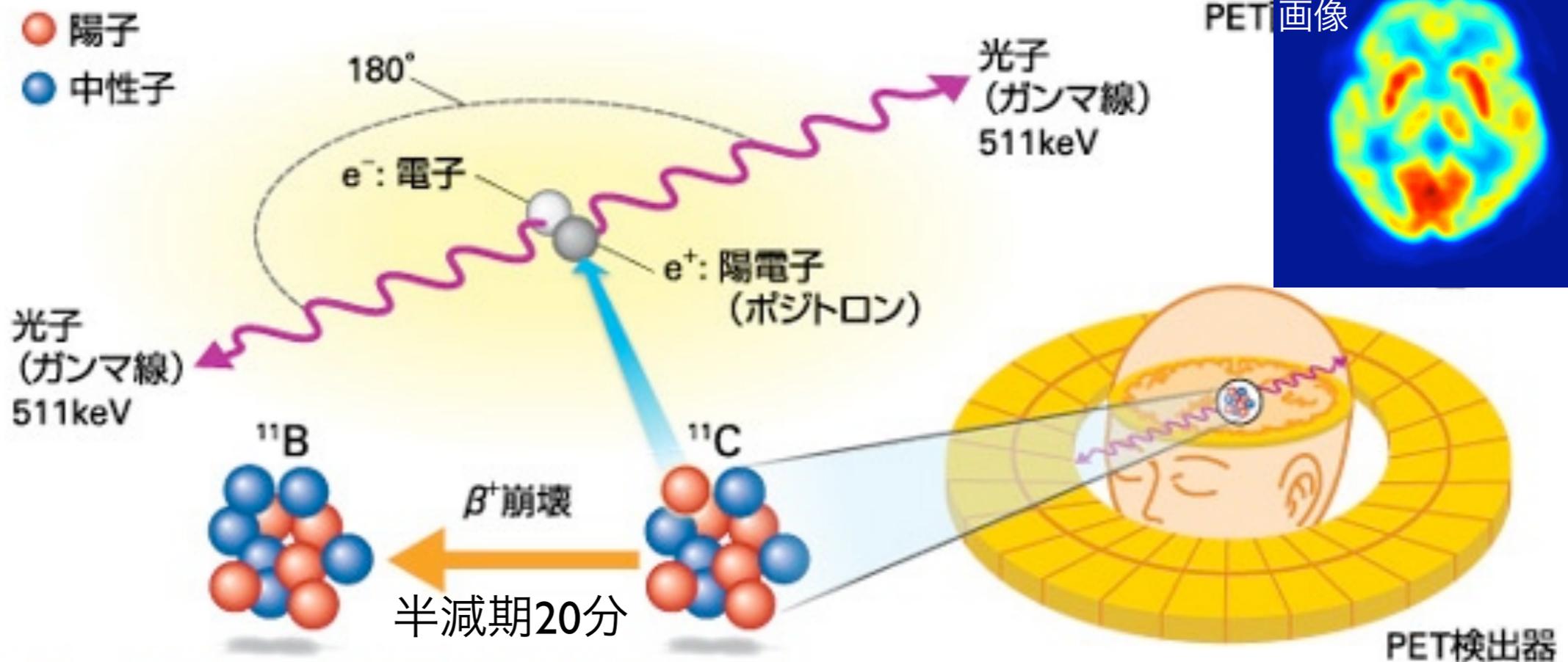


図1 PET (陽電子放射断層画像撮影法) の仕組み

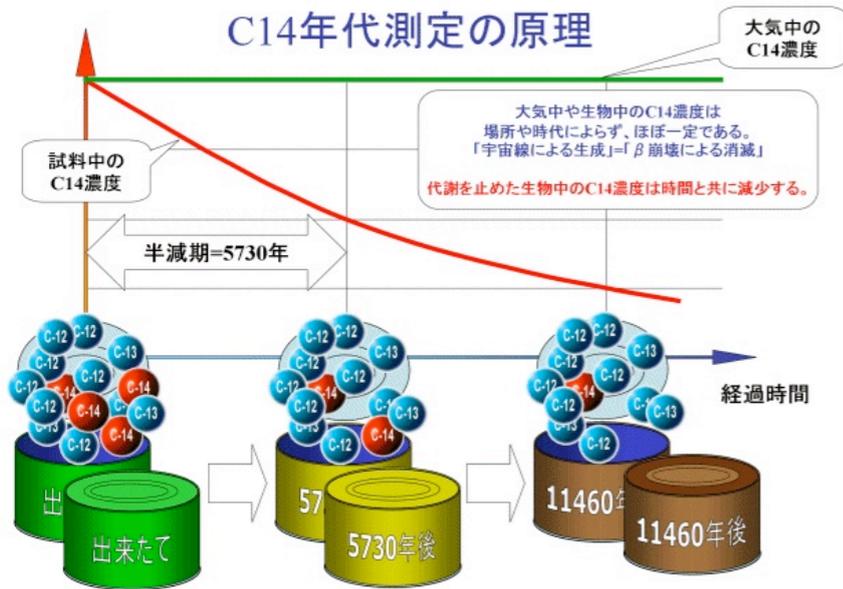
調べたい分子に陽電子を放出する放射性核種を付け、静脈注射によって投与する。例えば、炭素11 ( $^{11}\text{C}$ ) はホウ素11 ( $^{11}\text{B}$ ) に崩壊するとき、陽電子を1個放出する。その陽電子が近くにある電子と衝突し、両方向にガンマ線が放出される。検出器がガンマ線をとらえることで断層画像が得られ、分子がどこに、どれだけ存在しているのかを知ることができる。

$^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  
 $^{15}\text{O}$ ,  $^{18}\text{F}$

# 放射線の利用

# 放射線年代測定

100年 1000年 1万年 10万年 100万年 1000万年 1億年 10億年



C14の濃度を測れば「代謝を止めてからの時間」が判る！

測定方法		100年 1000年 1万年 10万年 100万年 1000万年 1億年 10億年	主要対象
放射性同位元素を使う方法	炭素14年代測定法	0 - 50,000	動植物・貝殻・水など
	カリウム・アルゴン法	10,000 - 100,000	鉱物
	ウラン・鉛法	100,000 - 10,000,000	鉱物
	ルビウム・ストロンチウム法	100,000 - 10,000,000	鉱物
	フィッション・トラック法	100 - 100,000	鉱物・天然ガラス
放射線の照射量を測定する方法	熱ルミネッセンス法	100 - 100,000	鉱物・天然ガラス
	光ルミネッセンス法	100 - 100,000	鉱物
	電子スピン共鳴法	100 - 100,000	鉱物・貝殻・サンゴなど
放射線を使わないその他の方法	ラセミ化法	100 - 100,000	貝殻・甲羅・重炭酸塩
	黒曜石水和層法	100 - 100,000	天然ガラス
	考古(古)地磁気法	100 - 100,000	岩石・磁性鉱物
	火山灰層序法	100 - 100,000	火山灰
	年輪年代法	100 - 100,000	樹木
	氷縞粘土法	100 - 100,000	湖底堆積物(粘土)

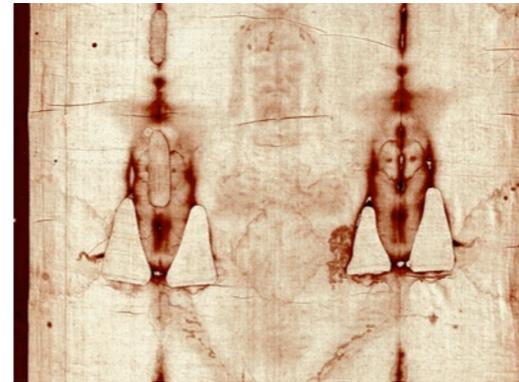
<<図2-1>> 主な年代測定法による測定可能な年代の範囲

出典:ATOMICA他より作成

- $^{14}\text{C}$ ,  $^{40}\text{K}$ -Ar, U-Pb, Rb-Sr

- 弥生時代

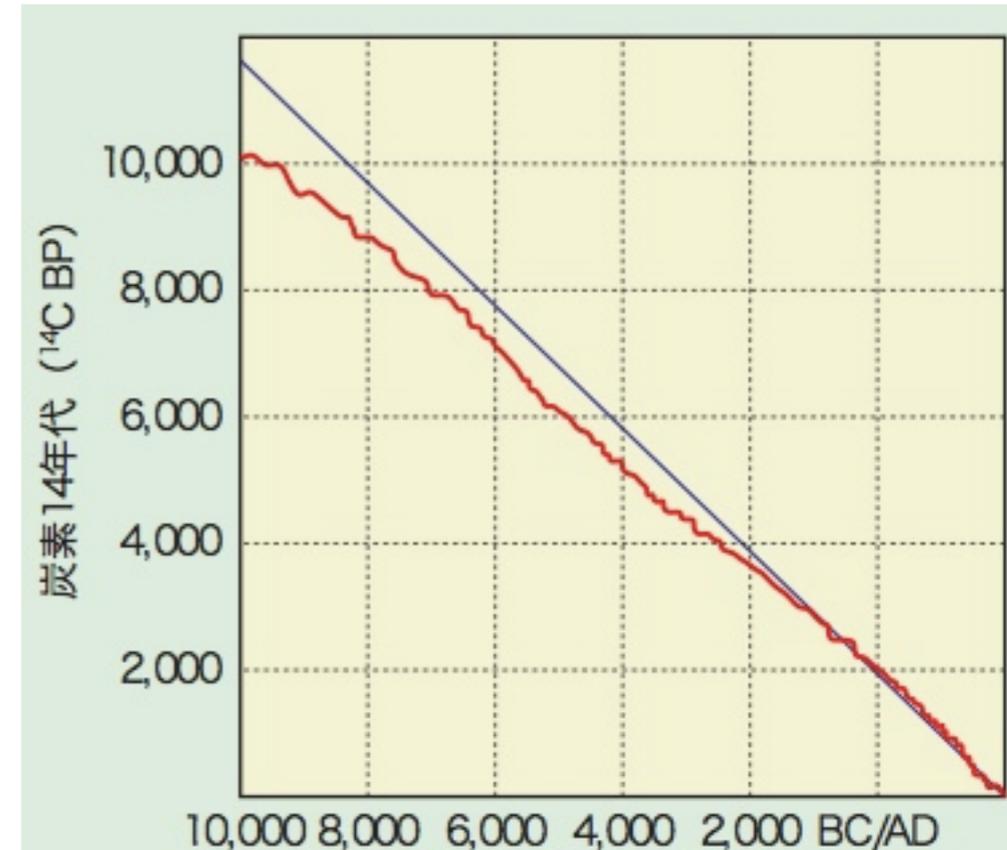
- 聖骸布 (Torino の聖骸布 (1260-1390 A.D., 95% CL))



- 空気中の  $^{14}\text{C}$  の比率はほぼ一定

- 微小な変動は年輪中の炭素データで較正

- 地層、火山灰、年輪データと比較



炭素14年代と年輪年代との較正曲線(赤線)(時代が古くなるほど両者がずれることと大気中の炭素14濃度が変動することによる細かな動きが分かる)

出典:国立歴史民俗博物館

# 粒子加速器 (Accelerators)

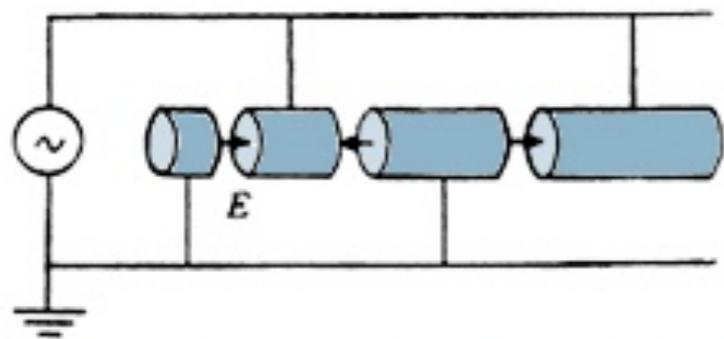


図1 ヴィデレー型リニアック

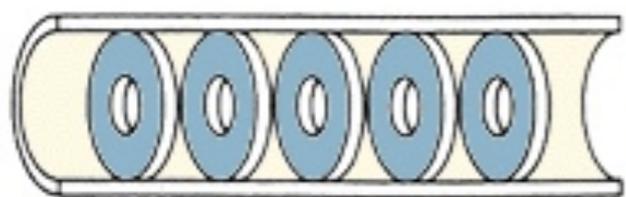


図2 円盤装荷導波管

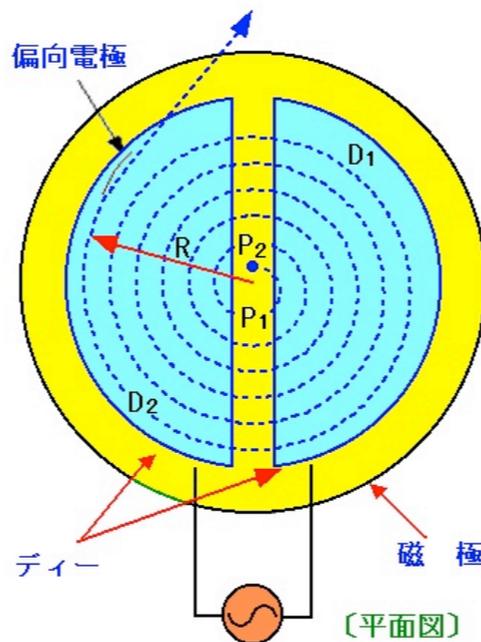
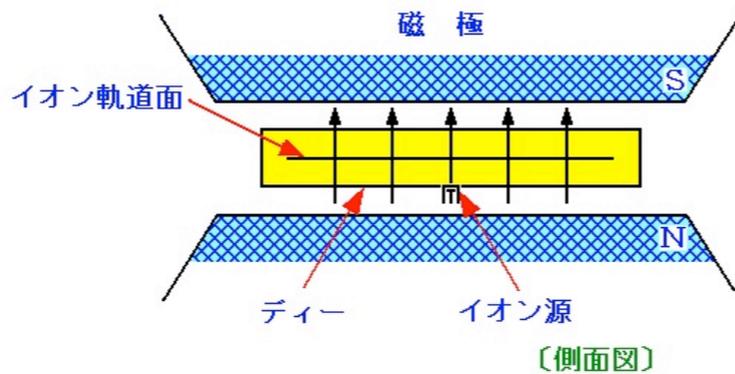


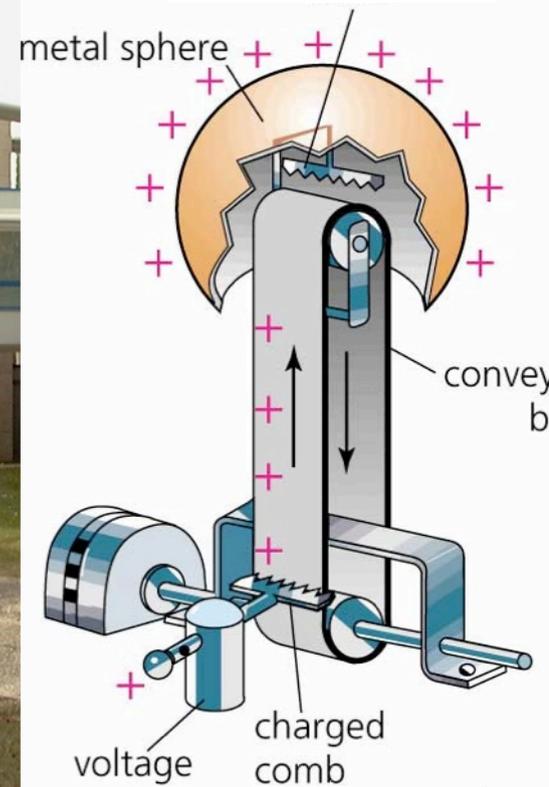
図5 サイクロトロン

[出典] 石川 友清 (編) : 放射線概論、通商産業研究社 (1991年4月)、p.64

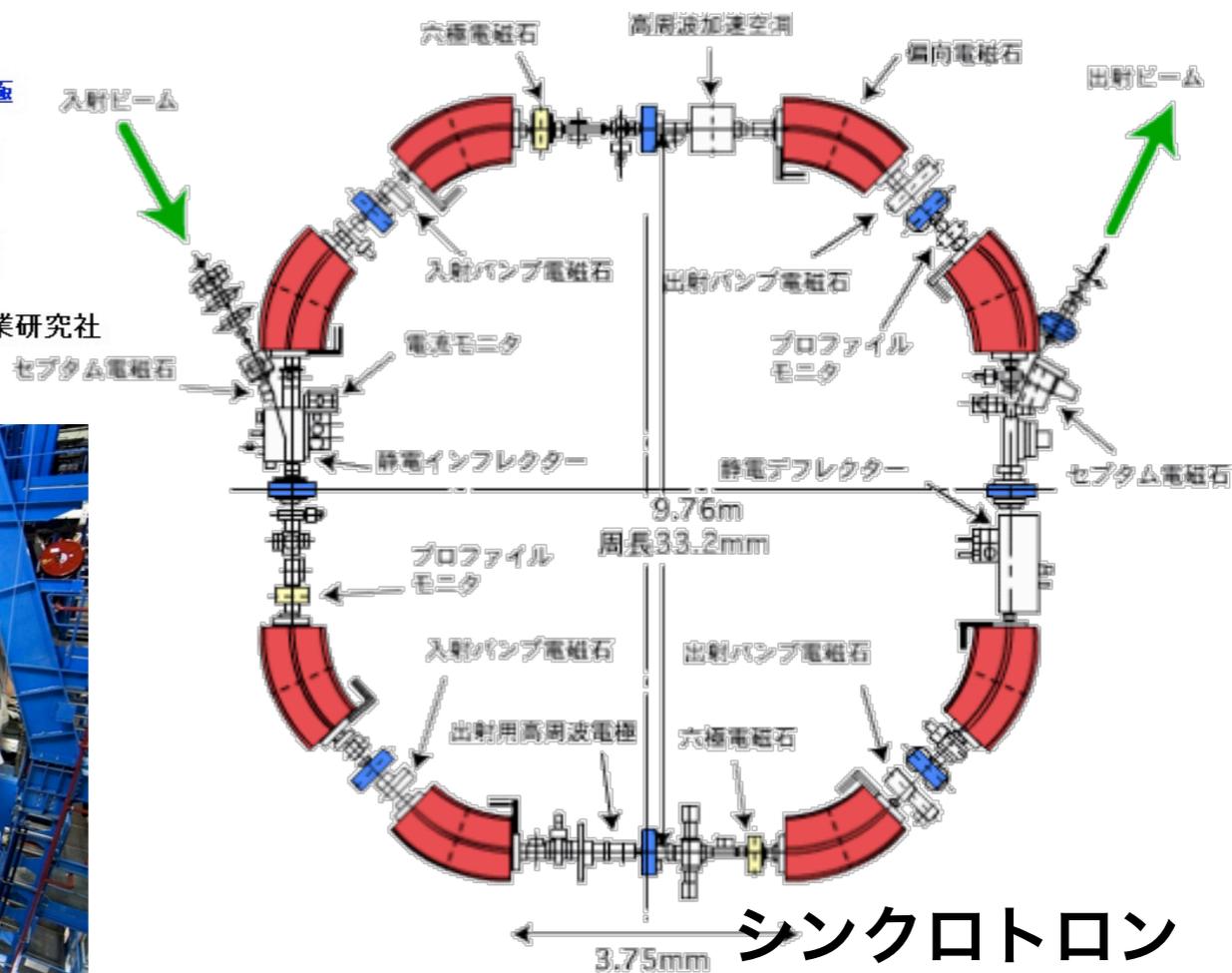
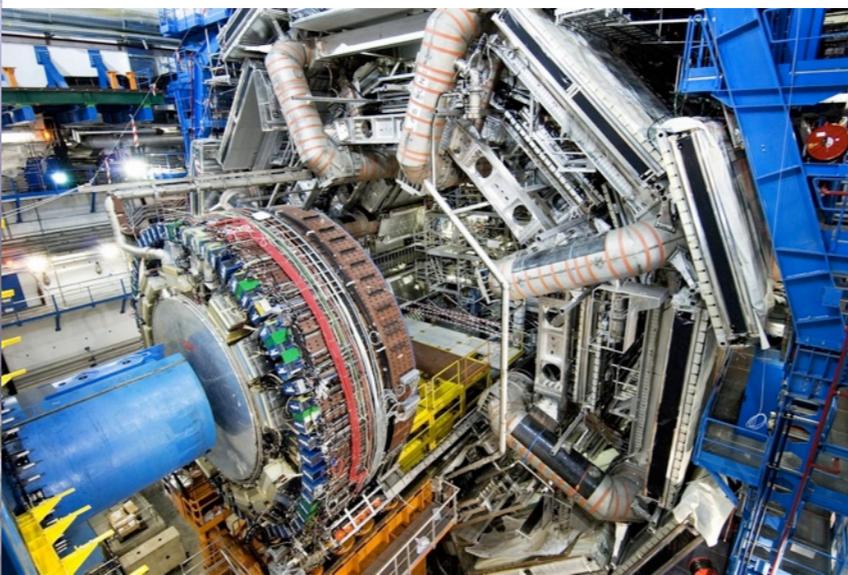
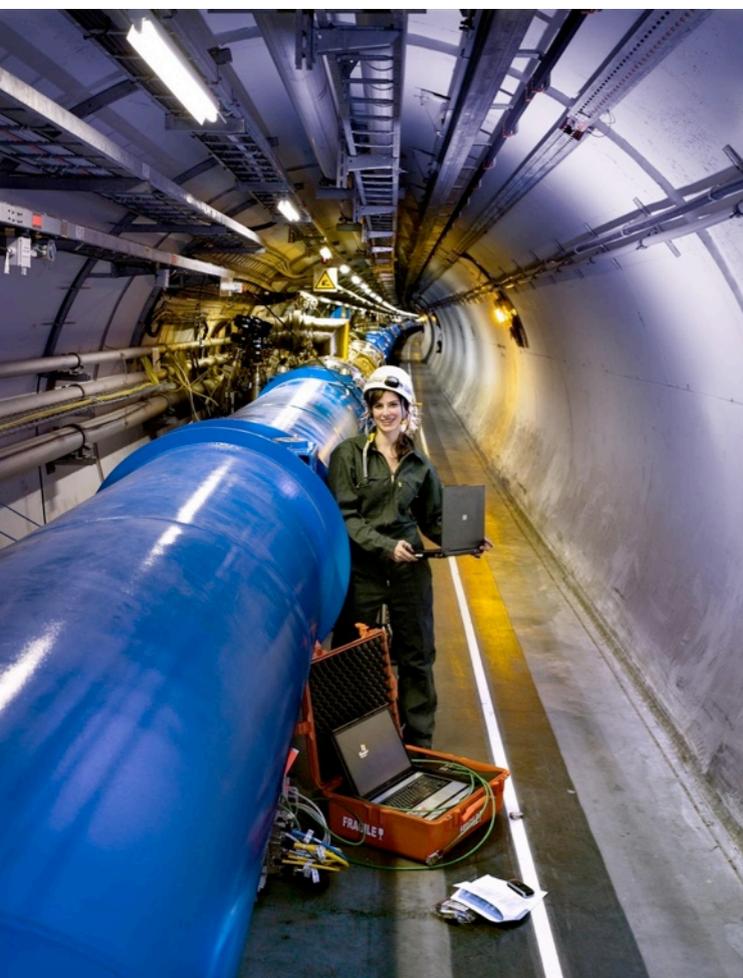
Cockcroft-Walton



Van de Graaf



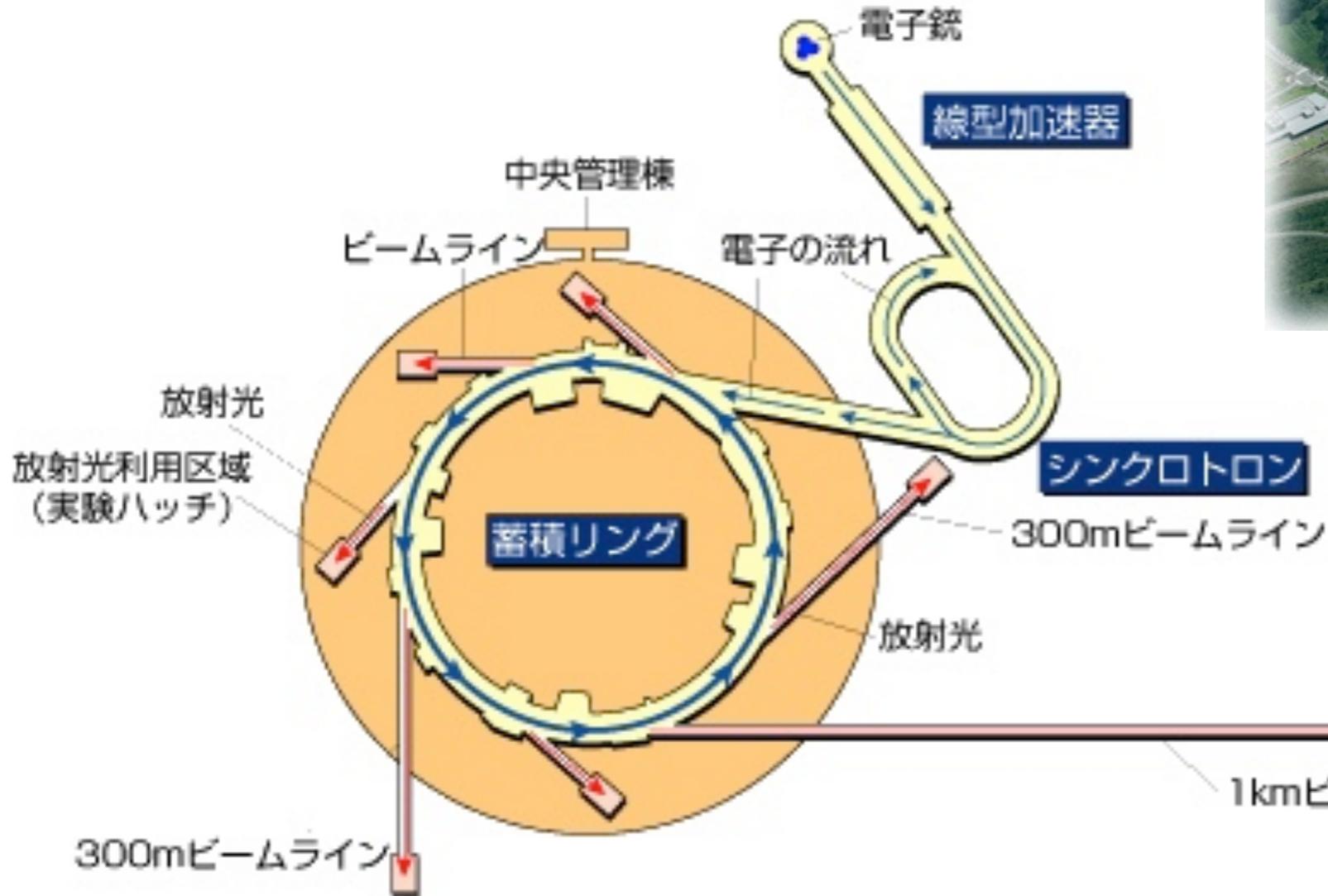
高電圧発生装置・静電加速器



シンクロトロン

# SPring-8 (大型放射光施設：播磨)

8 GeV 電子ビーム ⇒ 放射光 (X線, γ線)



- ・ 生命科学への利用：タンパク質巨大分子の3次元構造解析、非結晶生体材料の小角散乱、薬剤設計、新薬開発など
- ・ 物質科学への利用：先端材料の原子・電子の構造、極端条件下の材料物性、産業材料の評価、新物質創製と材料改質など
- ・ 化学への利用：触媒反応の動的挙動、表面のX線光化学過程、原子・分子分光、超微量元素分析及び化学状態、考古学的研究など
- ・ 地球科学への利用：地球深部物質の構造と状態、極限環境下の物性、隕石・宇宙塵の構造など
- ・ 環境科学への利用：生体試料中の環境汚染微量元素の分析、環境浄化用触媒の分析など
- ・ 医学への利用：微小血管造影法による腫瘍血管の観察、トモグラフィ、屈折コントラスト映像法による呼吸器系疾患の観察など
- ・ 産業への利用：半導体用新酸化物材料の評価、高性能電池材料の局所構造解析、ナノ材料の評価、微量元素分析、材料の断面観察、材料の歪み分布解析など
- ・ 核物理への利用：レーザー電子光 (逆コンプトン散乱) による中間子の生成・クォーク核物理など

# 農業分野での利用

## \*ジャガイモの発芽防止

$^{60}\text{Co}$   $\gamma$  (1.17 MeV / 1.33 MeV), 50–150 Gy

- ◆ 動物飼育実験などで急性毒性、慢性毒性、発がん性、変異原性、遺伝毒性、催奇形性は見出されておらず、**健康に有害な影響を及ぼすような食品成分の変化は生じない。**
- ◆ 食品照射に用いるCo-60の $\gamma$ 線、10 MeV以下の電子線、5 MeV以下のX線のエネルギーは核反応のしきい値以下であり、適正な照射条件では**誘導放射能は生成されない。**  
= **放射化はおこらない。**

## \*放射線育種（品種改良） $\gamma$ 線、イオンビーム

花卉・ゴールド二十世紀ナシ（黒斑病耐性）

## \*害虫駆除（不妊虫放飼法）

$^{60}\text{Co}$   $\gamma$  (1.17 MeV / 1.33 MeV), 70 Gy

さなぎに照射してオスを不妊化。



# 工業分野での利用

## ○ラジアルタイヤ、耐熱電線

ラジアルタイヤは、有機繊維で補強されたゴムで高圧に耐えられる構造になっています。成形器で熱と圧力を加えてタイヤの形にしますが、この時、繊維補強ゴムは大きな変形を受け、補強繊維のずれやはみ出しがおきやすくなります。これを防ぐため、繊維補強ゴムに電子線を照射して強度を上げます。(市場規模:平成15年度1兆円)

また、電線の被覆に使われているゴムやプラスチックはそのまま熱を加えると溶けて流れ落ちます。電子線を照射すると熱を加えても溶けにくくなります。

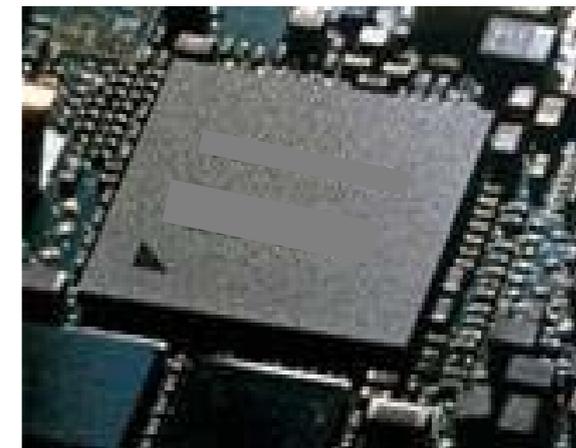


ラジアルタイヤ、耐熱電線

## ○半導体

IC(集積回路)の回路のパターンの線は髪の毛の太さの50~100分の1であり、その細工をするためにリソグラフィといった技術が使われる。リソグラフィは版画の技術のようなもので、半導体表面に光や放射線を当てると化学変化する感光剤を塗り、加工したい形状に切り抜いた板(マスク)をのせて放射線を当てて、マスクの型どおりに加工するもの。イオンビームや中性子ビームを利用した不純物導入等も行っています。

(市場規模:平成15年度6.3兆円)



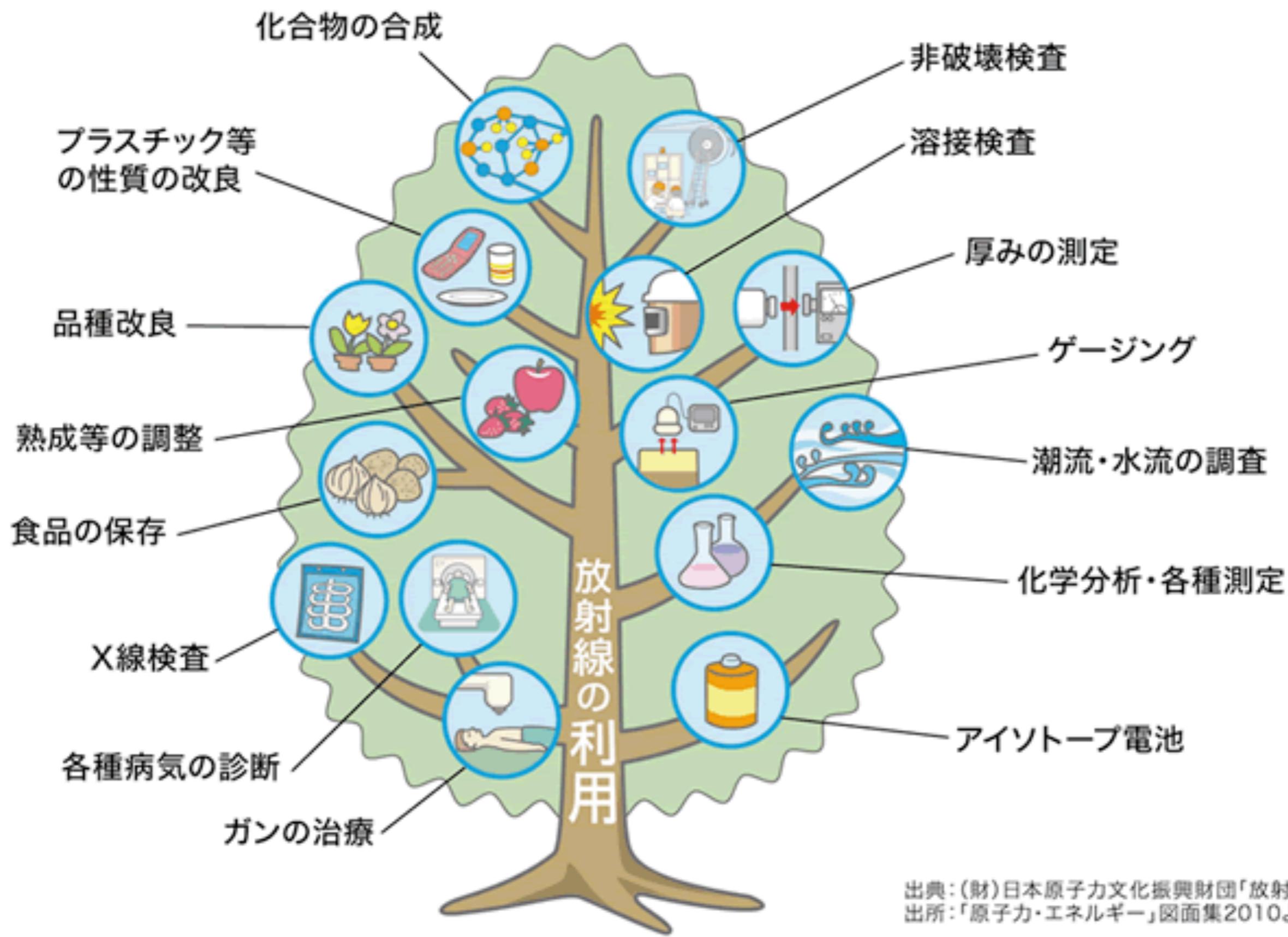
半導体

## ○発泡材料(緩衝材料、断熱材料)

お風呂場で使うバスマット、あるいはプールで使うビート板に使用されている発泡ポリエチレンをご存じですか。あの防水性、浮力が高く、ほどよく硬い素材は、ポリエチレンに放射線を照射し、加熱することで内部に細かい気泡をつくりだしたもので、これもいまから20年以上も前に開発された素材です。

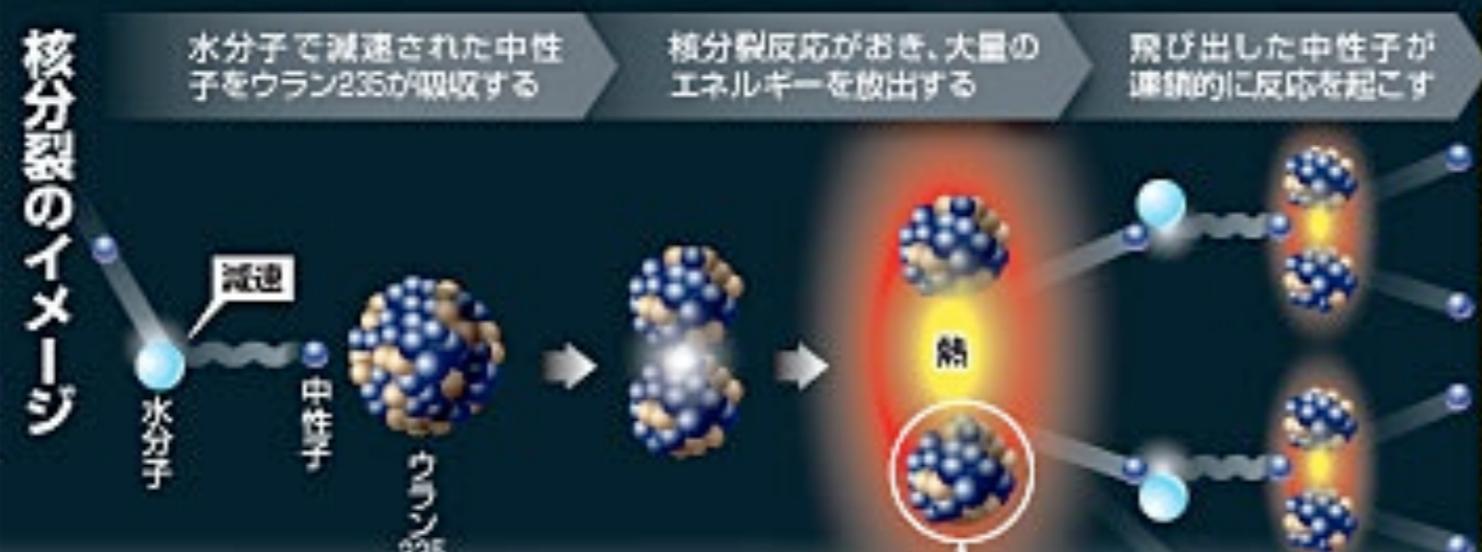
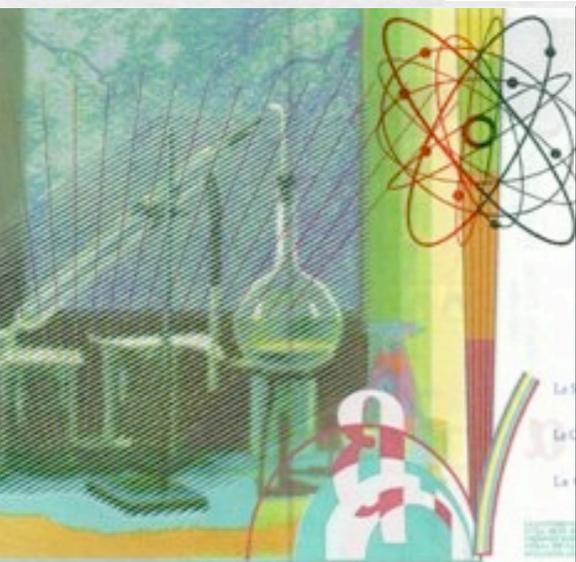
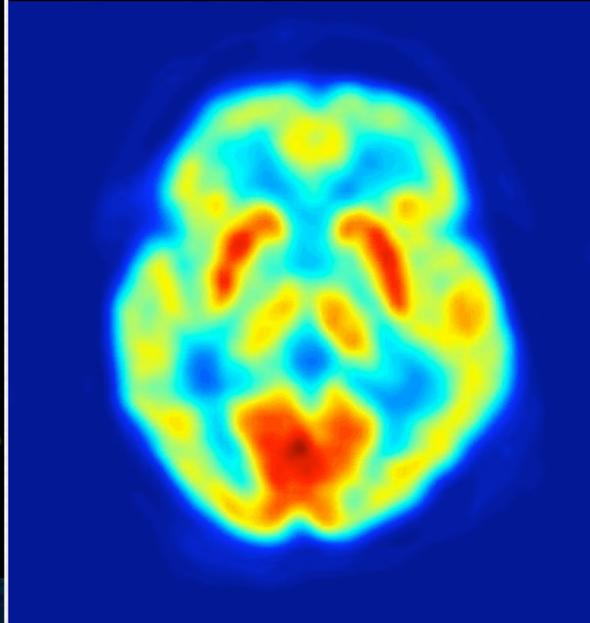
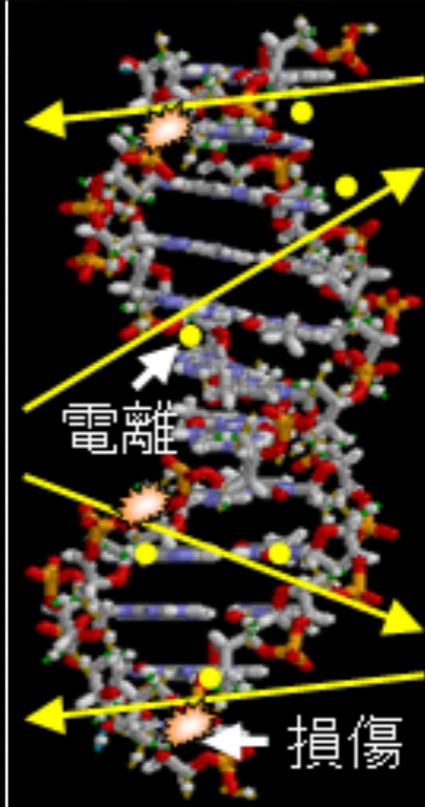
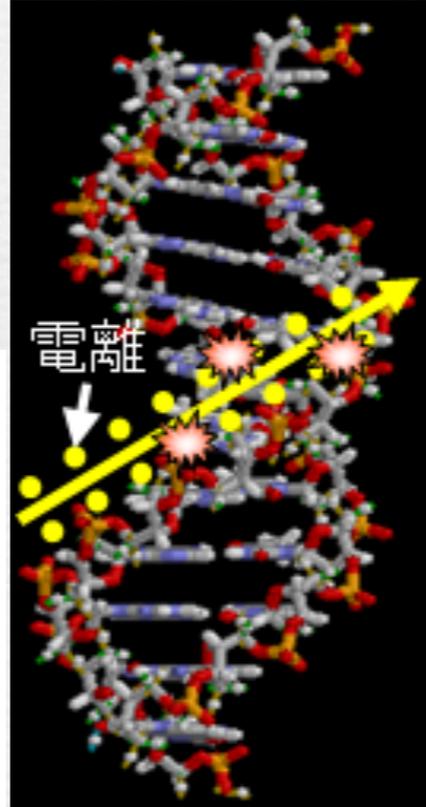
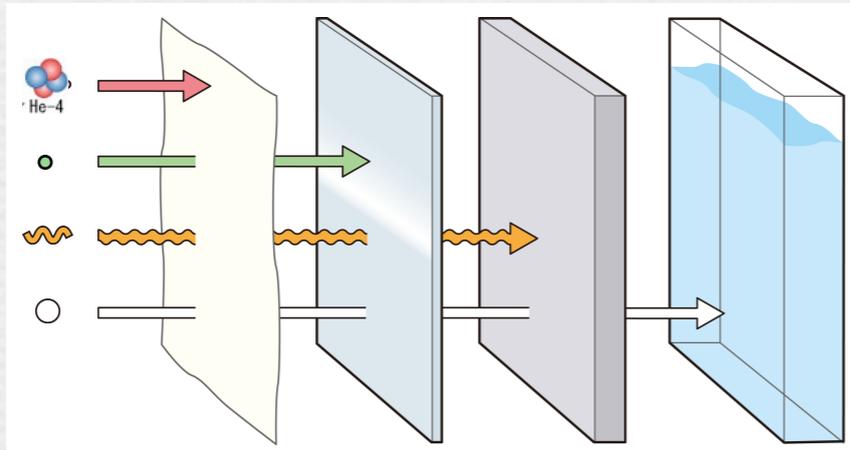
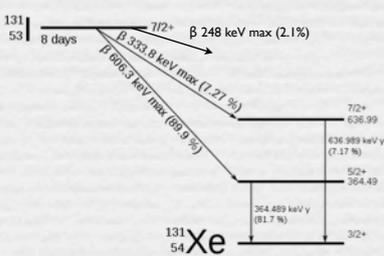
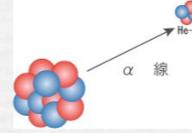
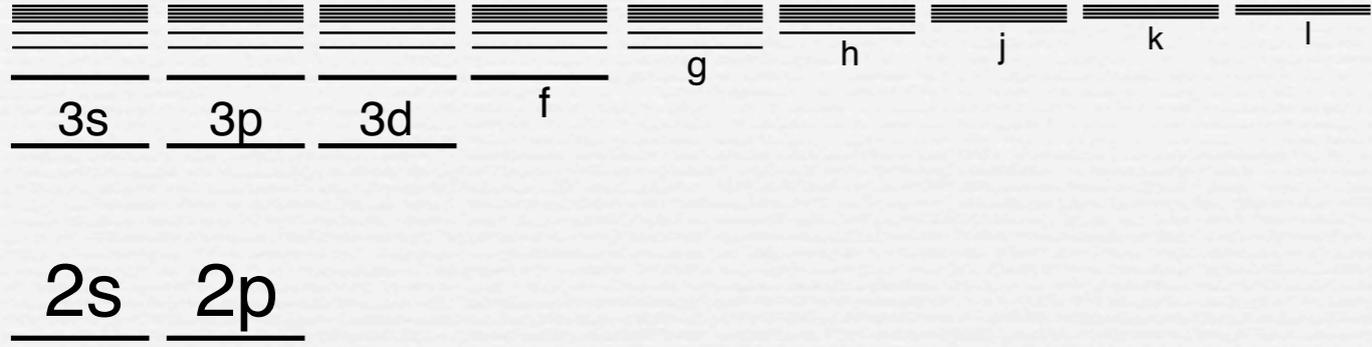
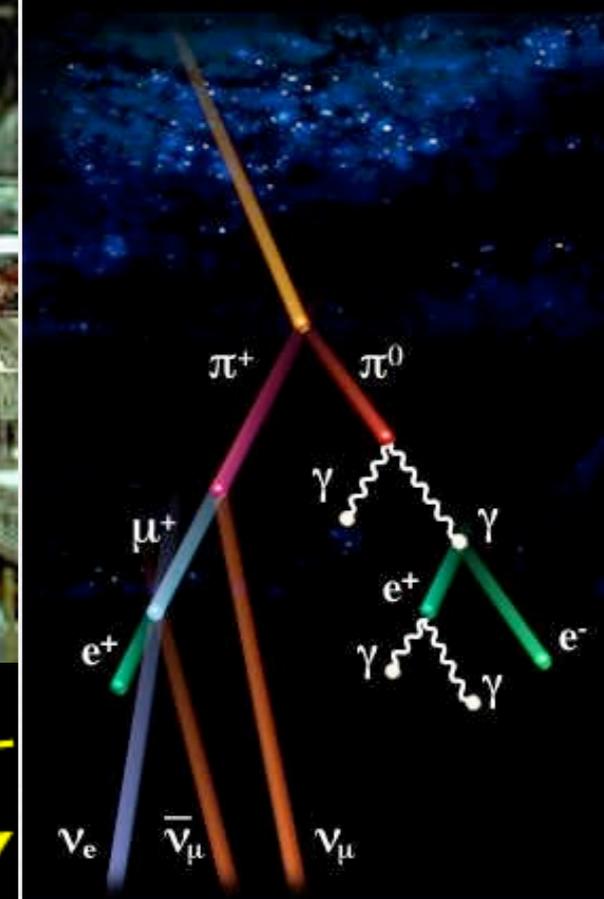
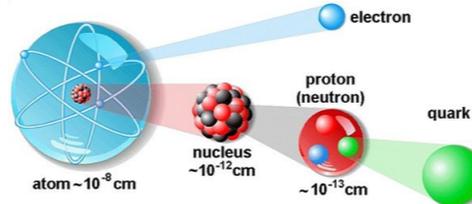


発泡ポリエチレン



出典：(財)日本原子力文化振興財団「放射線のはなし」  
 出所：「原子力・エネルギー」図面集2010より

# 放射線



**Fine.**

Grazie per la vostra attenzione.

Gratias ago pro audientia vestra.

Спасибо за внимание.

Merci de votre attention.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Thank you for your attention.

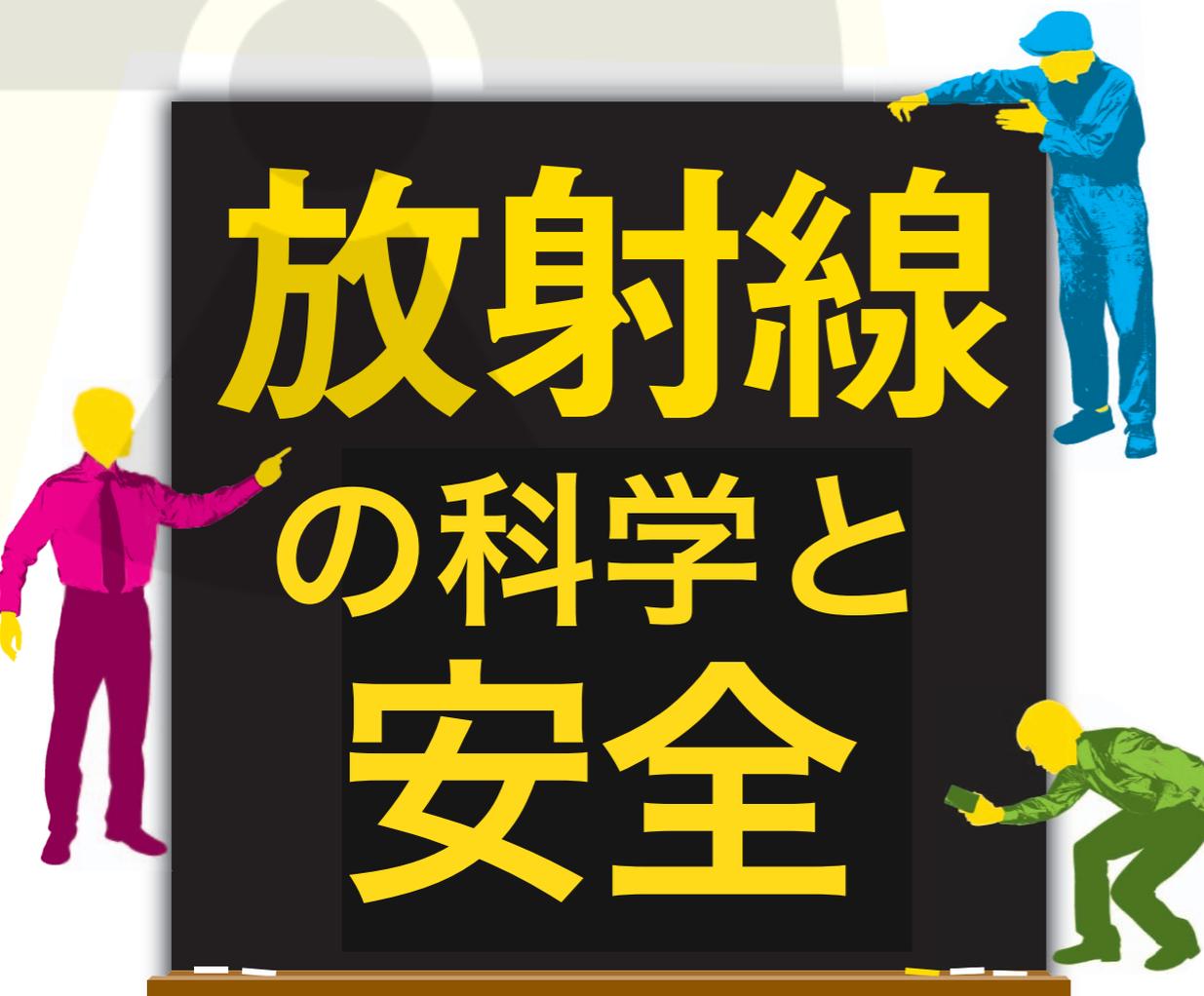
경청해 주셔서 감사합니다.

谢谢您的关注。

ご清聴ありがとうございました。

**鳥居 寛之**

**Hiroyuki A. TORII**



# 放射線 の科学と 安全

- 放射線入門
- 原子核物理学・放射線物理学
- 放射線計測学・環境放射化学  
放射線の単位・線量計算
- 放射線生物学・放射線防護学  
放射線の利用・医療

完

鳥居 寛之

東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

# レポート課題 2015

以下の課題 (A) についてレポートを作成して提出して下さい。

学籍番号、氏名のほかに、研究室や研究分野についても記すこと。

(A) 放射線が物質に及ぼす作用、生体に与える影響を踏まえた上で、放射線防護の考え方や、放射線や放射性同位体を取り扱う際の対策・注意点について述べなさい。被曝事故を起こさないために具体的にどんな準備が有効でしょうか。

ただし、研究において放射線を扱うことがない分野の学生は、上の課題に代えて、以下の課題 (B) を選択してもよい。

(B) 放射線と放射性物質の違い、および放射線と放射能の単位について簡単に説明しなさい。また、福島原発事故後の放射線被曝のリスクと防護対策、避難区域住民の帰還への道筋について、自分の考えを自由に述べなさい。放射線の影響については、安全だという意見と、危険だとする言説とが対立することがありますが、リスクについてどのように考えるべきでしょうか。

## 講義スライド

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

東大教養 放射線 鳥居



検索