

# 「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・土壌肥料学》
  - 10章 放射線の防護と安全《放射線防護学》
  - 11章 役に立つ放射線《放射線の利用・加速器科学》
- Q&A

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

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

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

# 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

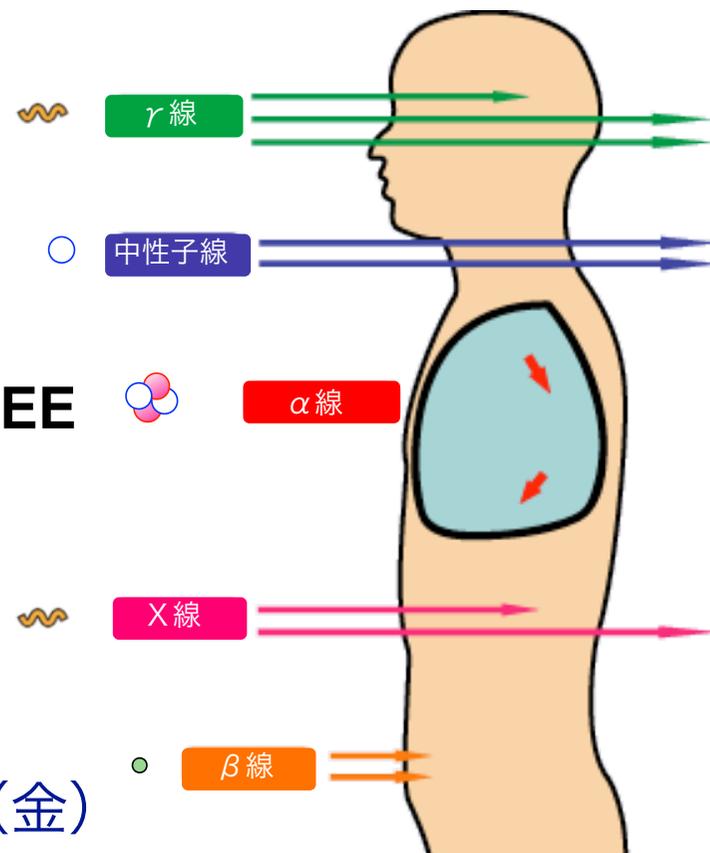


金曜 5 限

@ 21 KOMCEE  
(West)

K303教室

2016 / 11 / 4 (金)



第 6 回

## 放射線生物学

放射線の細胞および生体への影響

渡邊 雄一郎

東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

# 放射線を科学的に理解する

- 9/30 放射線入門 【鳥居】
- 10/ 7 放射線物理学 【鳥居】
- 10/14 放射線計測学 【小豆川】
- 10/21 放射線物理・化学 【鳥居】
- 10/28 環境放射化学 【小豆川】
- 11/ 4 放射線生物学 【渡邊】
- 11/11 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 12/ 2 原子核物理学・原子力工学
- 12/ 9 放射線医療 【芳賀】 【鳥居】
- 12/16 放射性物質汚染と農業 【藤原】
- 12/23 環境放射化学 【小豆川】
- 1/ 6 放射線の利用 【渡邊】
- 1/12 加速器科学・放射線防護学  
(木曜振替) 【鳥居】

鳥居 寛之

小豆川 勝見

渡邊 雄一郎

《教養学部》

坪倉 正治 《医科学研究所》

芳賀 昭弘 《医学部附属病院放射線科》

藤原 徹 《農学部応用生命化学》

ゲスト講師

2016年11月4日

# 放射線生物学 (放射線の細胞および 生体への影響)

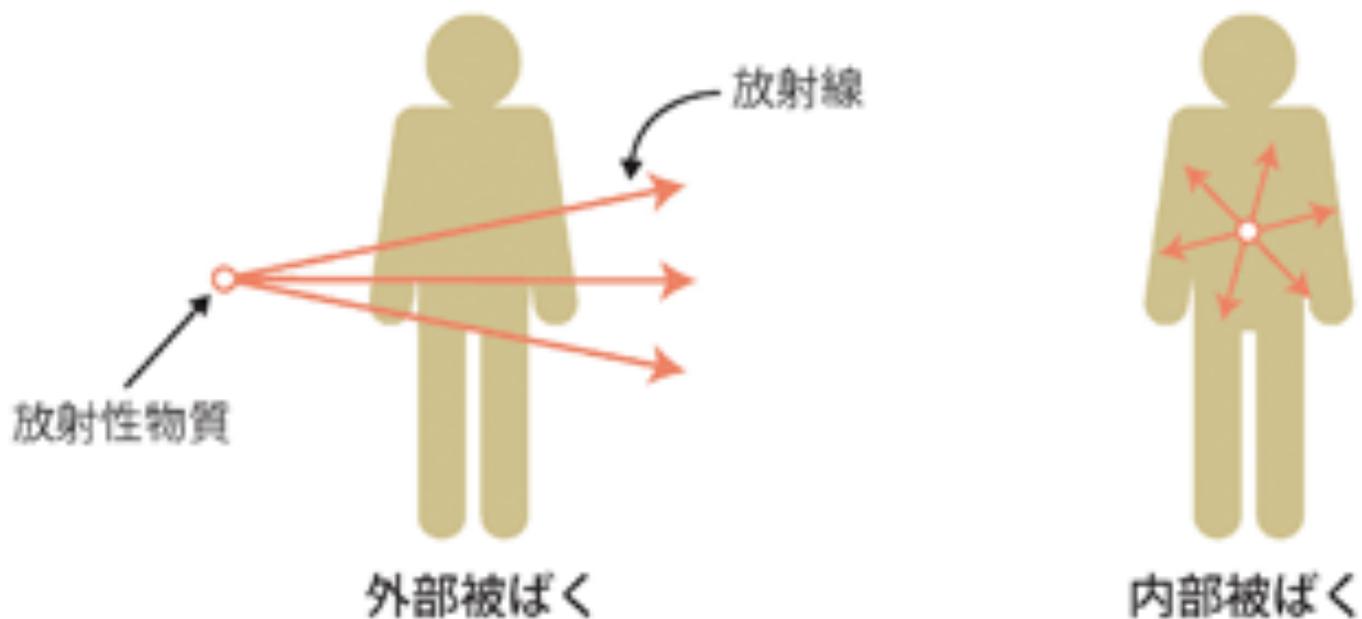
学術フロンティア講義「放射線を科学的に理解する」

総合文化研究科 生命環境科学系

渡邊雄一郎

# 被ばく

放射線を受けること



「原子力・エネルギー図面集 2012」より

# 理解の目標

- 我々がうける放射線にはどのような由来のものがあるか.
- 内部被曝と外部被曝のちがいは何か. 放射線防護を考える場合の対処の違いは.
- 受けた放射線被曝による影響を、細胞はいかにして抑えるか.
- 食品などに設定された基準値はどのような根拠に基づいて設定されているか.

# どのような由来の放射線があるか 放射線量をどう評価するか

地球、宇宙に生きている以上、常に  
自然放射線を受けている

事故や医療現場からの放射線は  
そのレベルと比較してどうなのか

# 自然界から年間数ミリシーベルトの放射線を浴びている

日本平均	宇宙から	0.30
	食物から	0.99
	呼吸から	0.48
	大地から	0.33
<hr/>		
	年間	約 2.1 mSV

土壌中ガスのラドン濃度は4,000~40,000ベクレル/m<sup>3</sup>の範囲にある。このようなガスが混入して大気中のラドン濃度が上昇する。

ある場所の屋内濃度は、その位置、換気の状態、周辺土壌のウラン含有量などによって大きく変動する。年間平均大気中濃度は0.6から30,000ベクレル/m<sup>3</sup>の間に分布するが、ふつうは10~100ベクレル/m<sup>3</sup>の範囲に入る。

**医療被曝は除外して考えます**

日本では、平均濃度が13ベクレル/m<sup>3</sup>、最大濃度は310ベクレル/m<sup>3</sup>と報告されている。

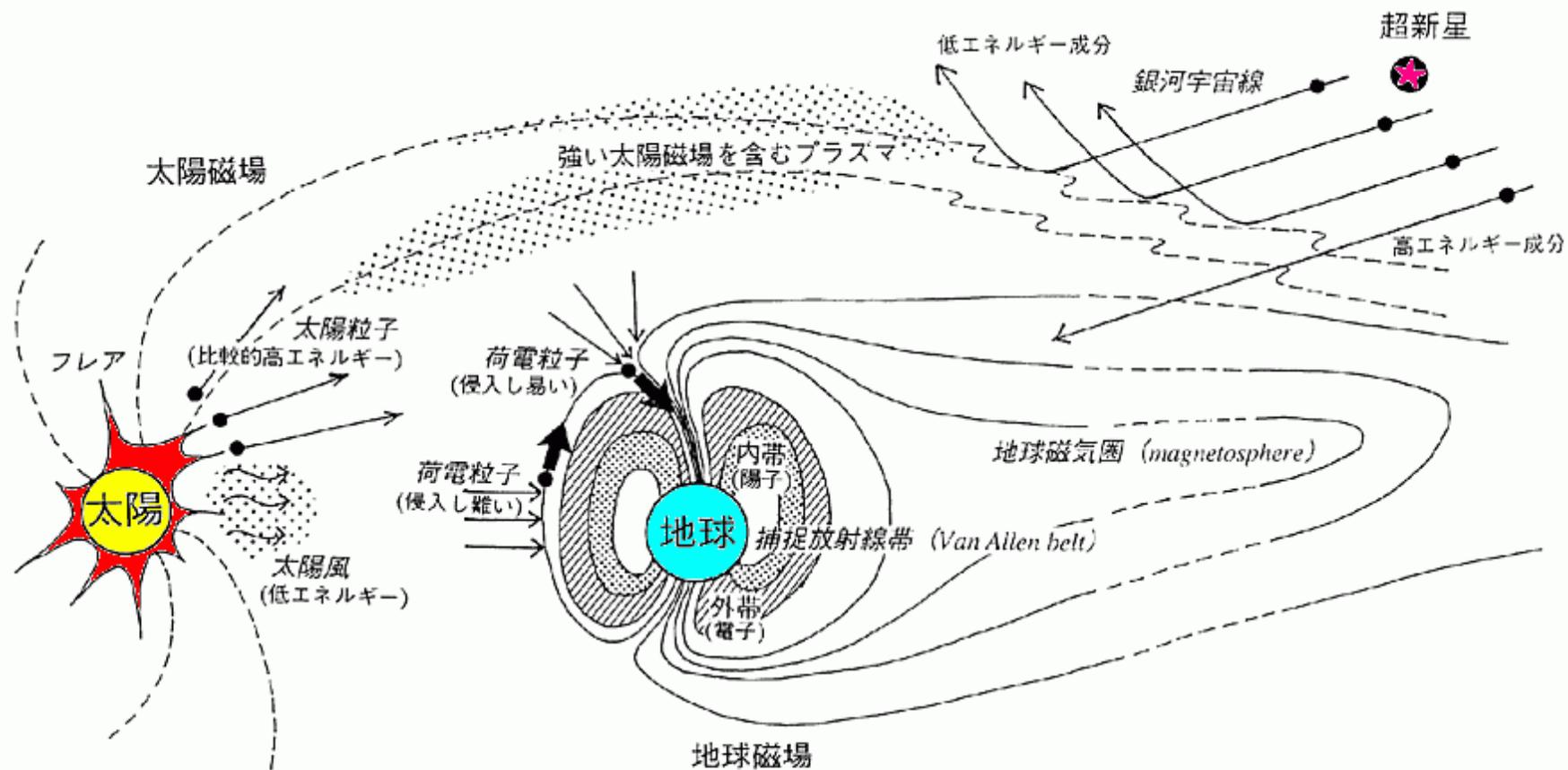


図1 宇宙放射線環境の構造

[出典] 藤高 和信: 宇宙環境の放射線、日本原子力学会誌、35(10)、21(1993)

表3 わが国における地方別屋内ラドン濃度の  
年平均値( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ )

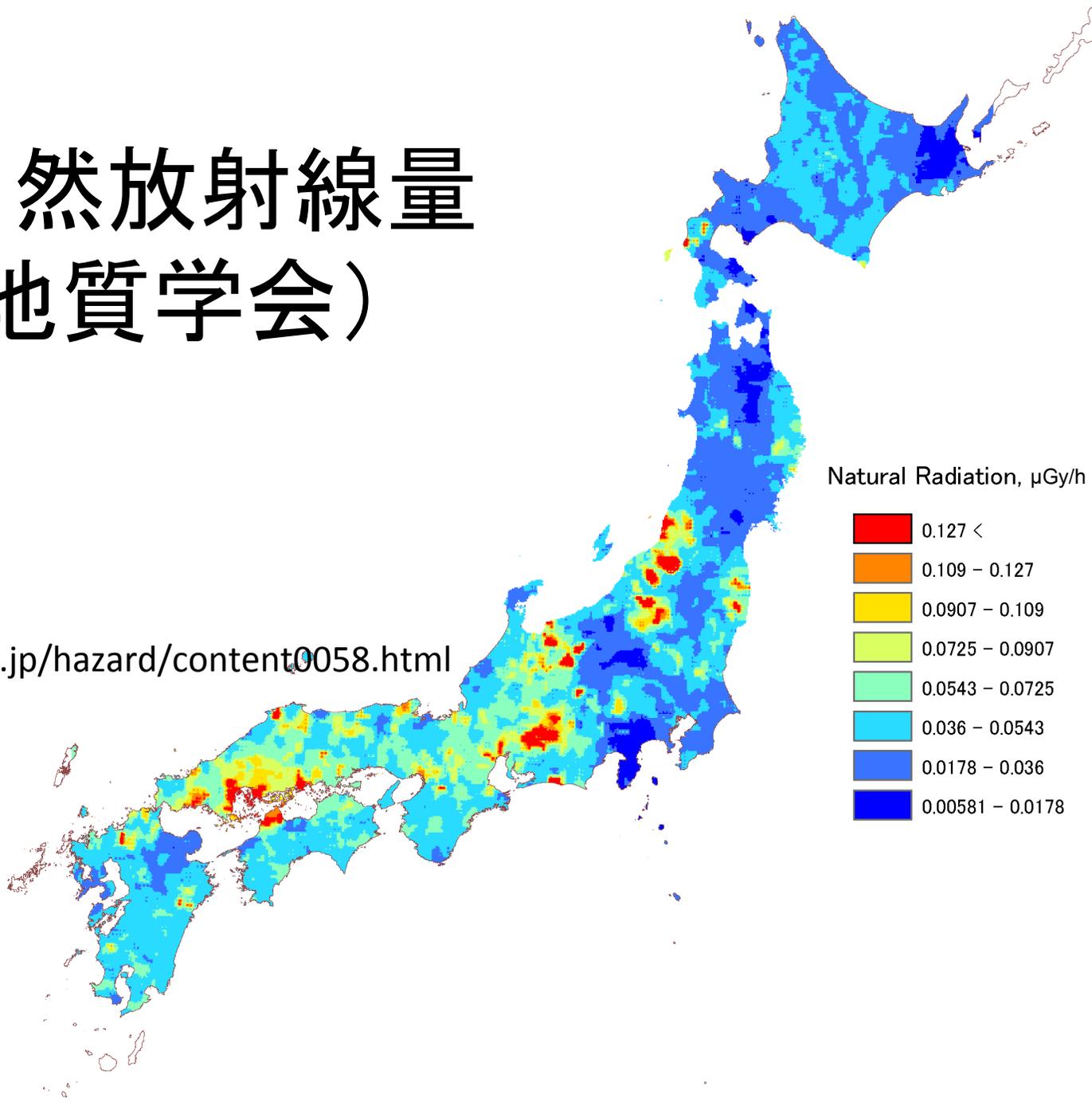
地方名	家屋数	ラドン濃度	標準偏差	最大値
北海道・東北	138	16.0	12.9	85
関東	134	12.4	9.5	70
中部	174	14.1	9.4	63
近畿	132	17.1	16.2	143
中国	95	16.7	9.8	55
四国	78	14.4	8.7	61
九州・沖縄	148	17.6	20.4	208
合計	899	15.5	13.5	208

[出典]下道国、山田裕司(編):環境放射能セミナーシリーズ、No.27、  
NIRS-M-140、放射線医学総合研究所、p35(2000年11月)

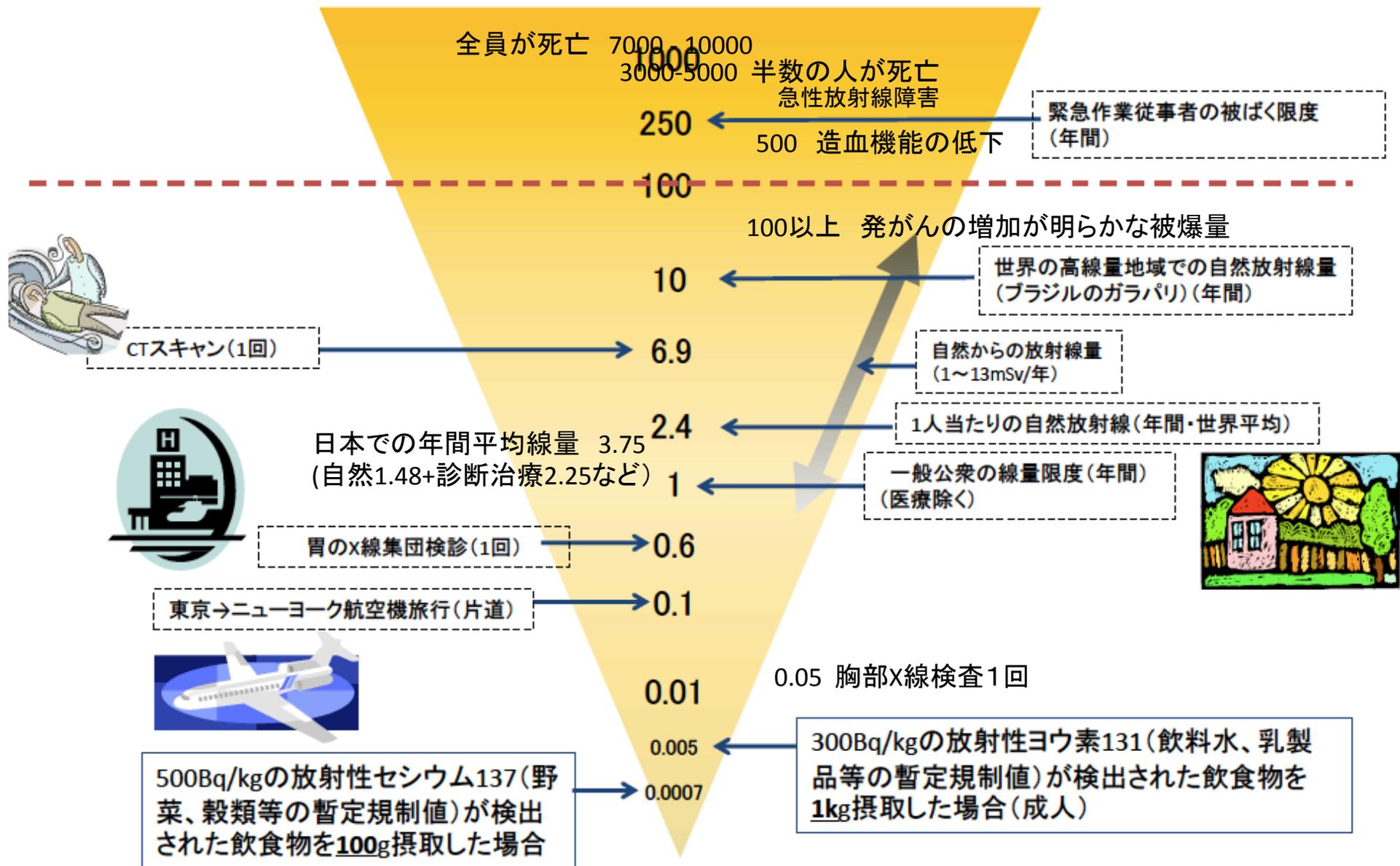
[http://www.rist.or.jp/atomica/data/fig\\_pict.php?Pict\\_No=08-01-03-12-03](http://www.rist.or.jp/atomica/data/fig_pict.php?Pict_No=08-01-03-12-03)

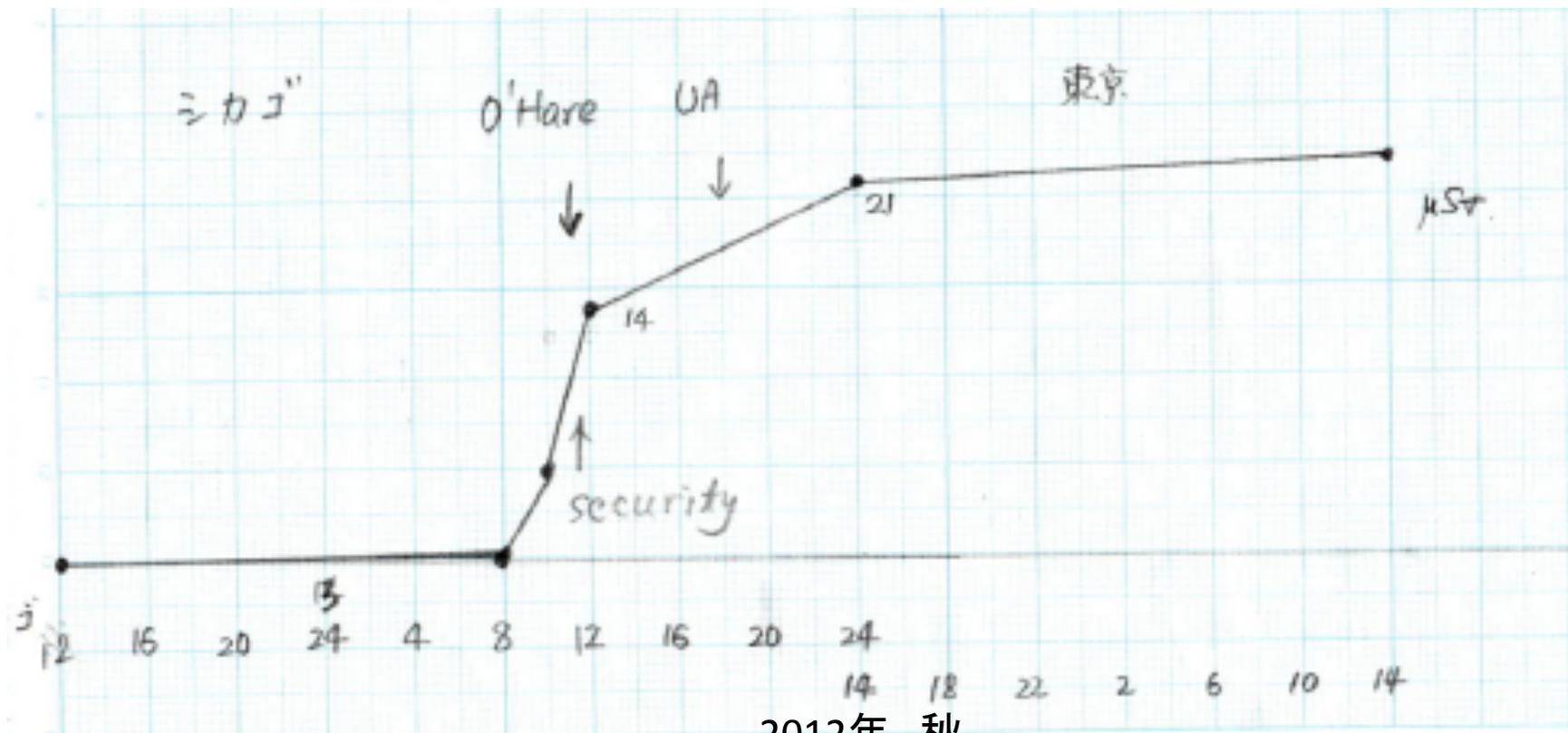
# 日本の自然放射線量 (日本地質学会)

<http://www.geosociety.jp/hazard/content0058.html>

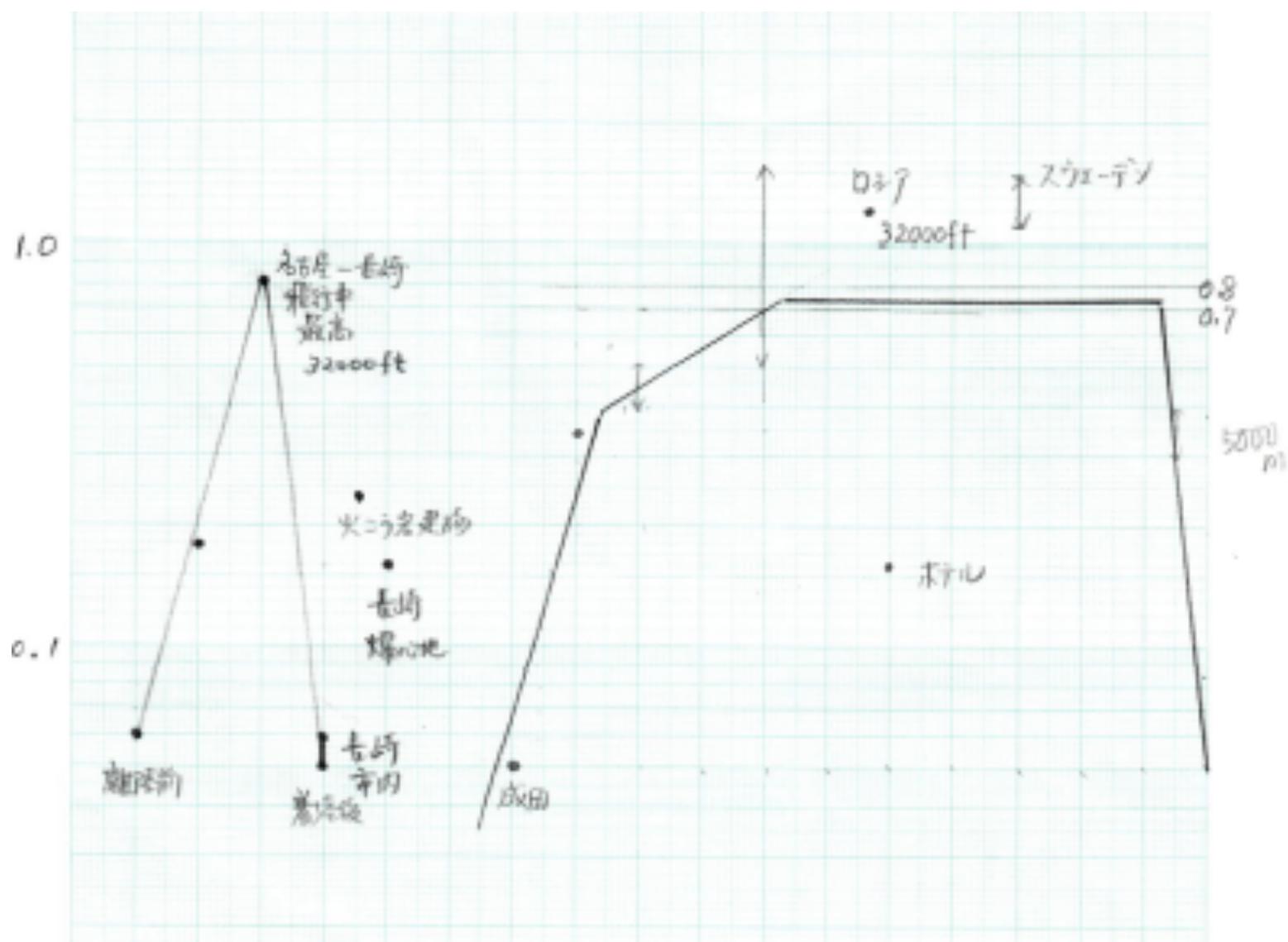


# 日常生活と放射線(単位:mSv(ミリシーベルト))





2012年 秋  
 大学院生がニューヨークにいきました。  
 往路 16  $\mu\text{Sv}$ , 復路で 35  $\mu\text{Sv}$ でした。  
 合計 51  $\mu\text{Sv}$



自然な食品でも もとから  
 $^{40}\text{K}$ などが含まれている

食品には従来から自然に  
ある程度放射能が含まれている

われわれ人体にももともと  
4000 Bq / body

## 放射線の透過力・線量計算

- $\alpha$ 線は空気中の飛程が数 cm。  
生体では表層の細胞 2-3 個で止まる。
- $\beta$ 線も外部被曝では皮膚への影響を考える ( $\beta$ 線熱傷)。
- $\alpha$ 線も  $\beta$ 線も内部被曝が問題。全てのエネルギーが短い飛程の間に細胞に与えられる。
- $\gamma$ 線は多くは相互作用 (光電効果・コンプトン散乱) せず体を素通りし、一部が体内で吸収される。外部被曝でも体内も被曝する。
- X線の場合も吸収されるエネルギーは何割か程度。

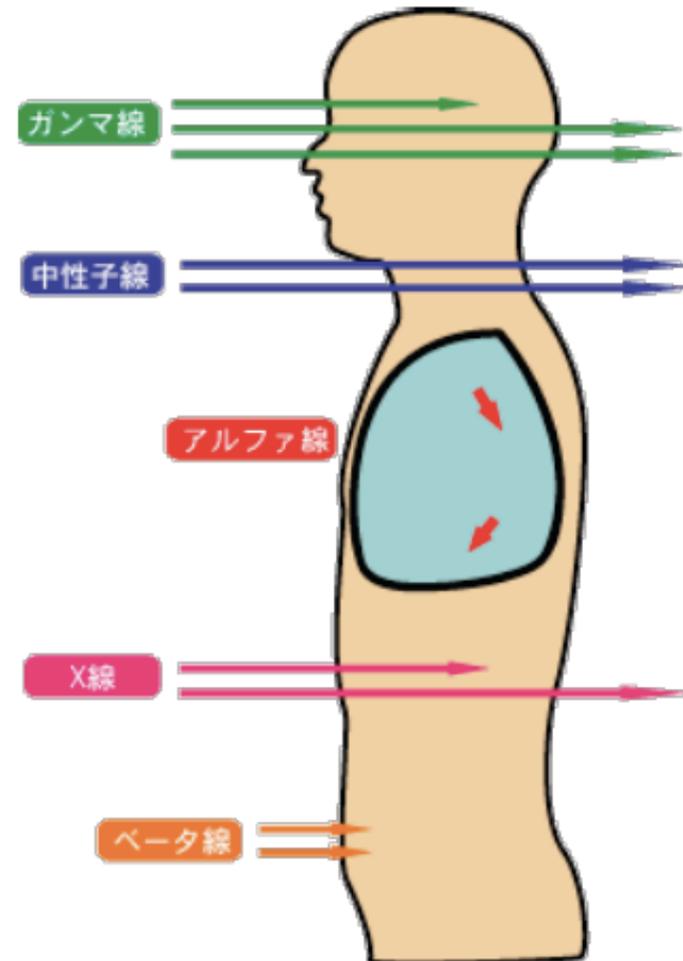


図3 人体を透過する放射線

# 放射線の測定と単位

- **放射性物質の量(Bq)**
  - 放射性物質の崩壊量(1秒間に崩壊する核数)
- **照射線量(C/kg)、空気カーマ(J/kg=Gy)**
  - 照射された放射線のエネルギー量
- **吸収線量(Gy)**
  - 物質に吸収された放射線のエネルギー量
- **等価線量(Sv)**
  - 放射線の種類による生体への影響を考慮(放射線加重係数)
    - ガンマ線、ベータ等(1倍)、アルファ線(20倍)、中性子線(2~20倍)
  - 各臓器でのリスク評価に用いる
- **実効線量(Sv)**
  - 部分的曝露を受けた場合の臓器の大きさ(確率的影響の発生確率)の影響を考慮(組織加重係数)
  - 放射線防護に用いる

# 物理化学的な放射線量と 生物学的な影響をつなぐ単位

- 物質が吸収したエネルギー（単位質量あたり） **放射線量の単位**  
radiation dose

吸収線量  $D$  [J / kg] = [Gy] グレイ

Gray

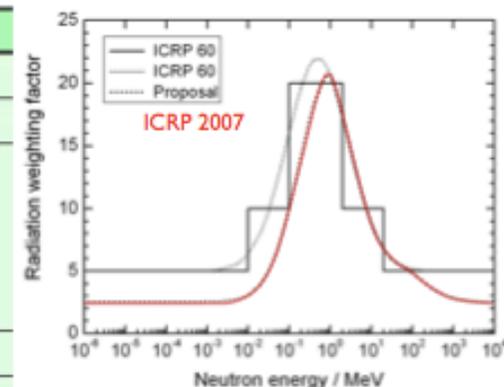


- 放射線の種類による生物学的影響の違いを考慮

等価線量  $H_T = W_R \times D$  [Sv] シーベルト

放射線加重係数  $W_R$

放射線の種類・エネルギーの範囲	放射線加重係数 $W_R$	
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	右図を参照
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

- 全身被曝での影響に換算（臓器ごとに**組織加重係数  $w_T$** をかけて合算）

実効線量  $E = \sum_T w_T \times H_T$  [Sv] シーベルト

Sievert



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

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

実効線量[Sv] →

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]

組織 T の組織加重係数

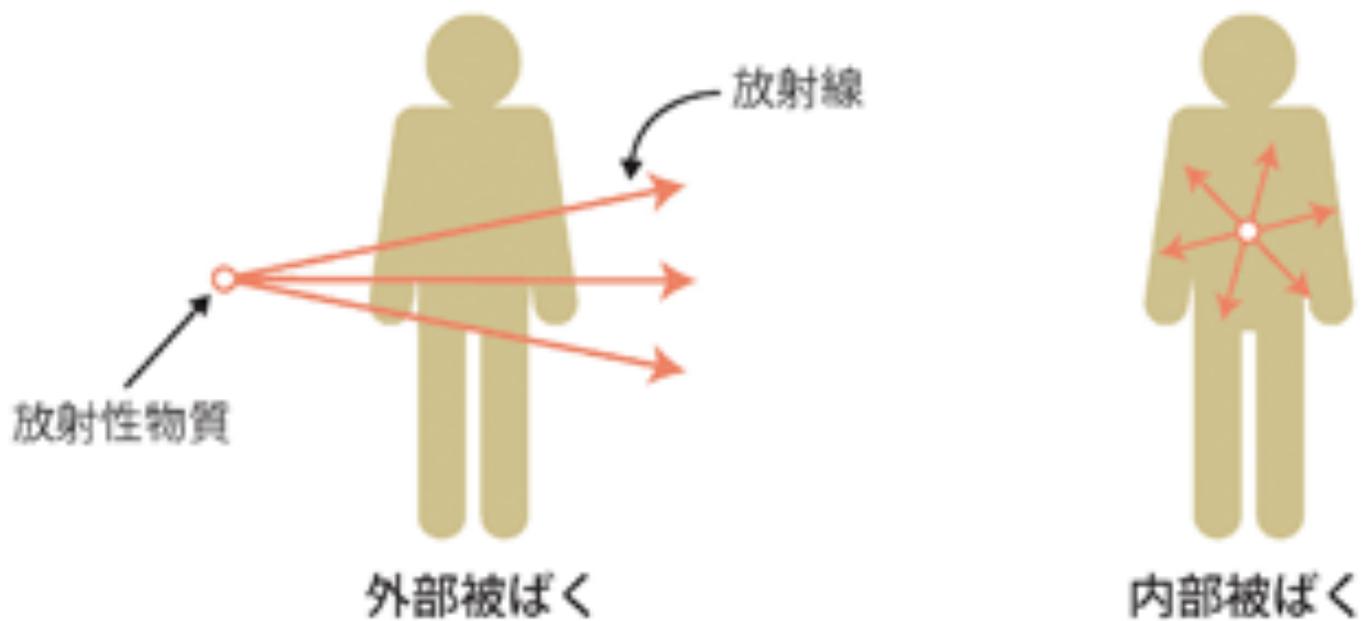
器官・組織	組織加重係数: $w_T$	
生殖腺	0.20	0.08
骨髄(赤色)	0.12	0.12
結腸	0.12	0.12
肺	0.12	0.12
胃	0.12	0.12
膀胱	0.05	0.04
乳房	0.05	0.12
肝臓	0.05	0.04
食道	0.05	0.04
甲状腺	0.05	0.04
皮膚	0.01	0.01
骨表面	0.01	0.01
脳		0.01
唾液腺		0.01
残りの器官・組織 <sup>※2</sup>	0.05	0.12
合計(全身)	1.00	1.00

左欄黒字 ICRP 1990

右欄赤字 ICRP 2007

# 被ばく

放射線を受けること



「原子力・エネルギー図面集 2012」より

# 放射線防護の方策

## 〔放射線防護の3原則〕

- (1) 線源と人体の間に遮へいを置く (遮へい体を用いる)
- (2) 線源と人体の間に距離をとる (距離を大きくとる)
- (3) 被ばくする時間を短くする (時間を短くする)

外部被曝からまもるためにこの3原則は実行できるか

内部被曝からまもるためにこの3原則は実行できるか

# 放射性物質を含んだ食品による影響

物理的な崩壊

新陳代謝による減少

体の中で濃縮、あるいは排出

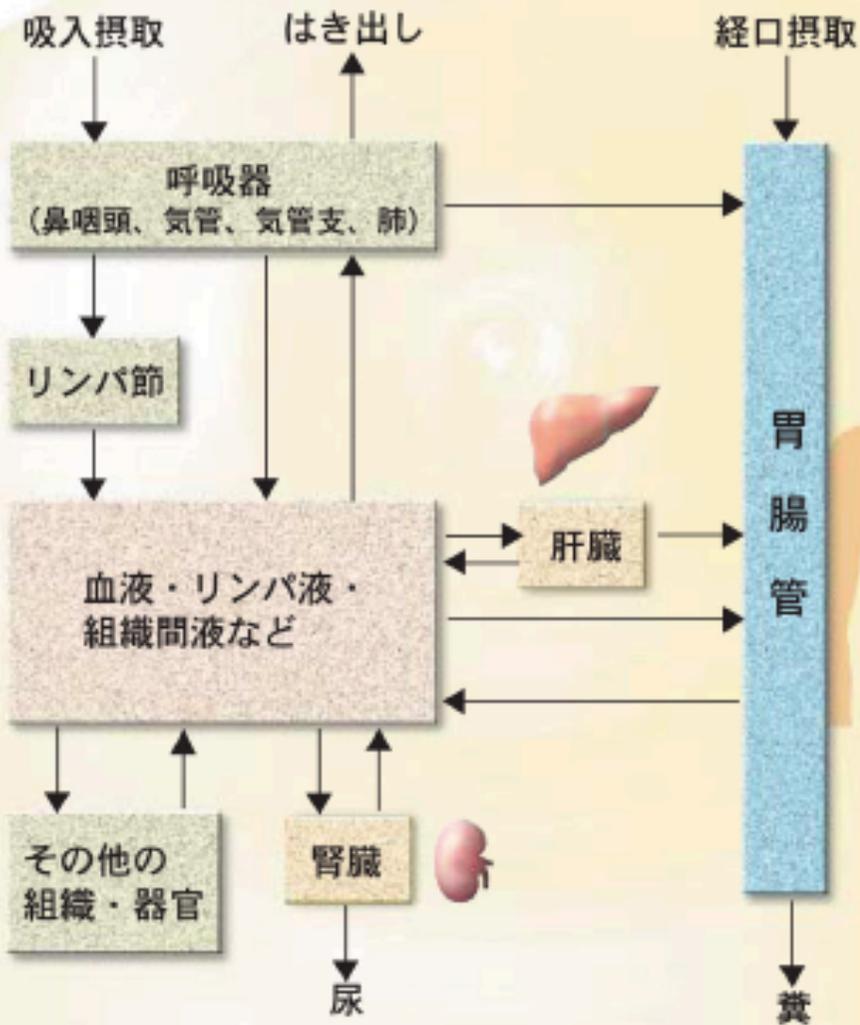
Csは 体内半減期 30 - 110日

蓄積する組織

影響受けやすい受けにくい組織

たとえば ヨウ素は甲状腺

# 放射性物質の体内での動き



生物学的半減期という  
ものがある

原子力百科事典・ATOMICA「内部被ばくの評価」を基に作成

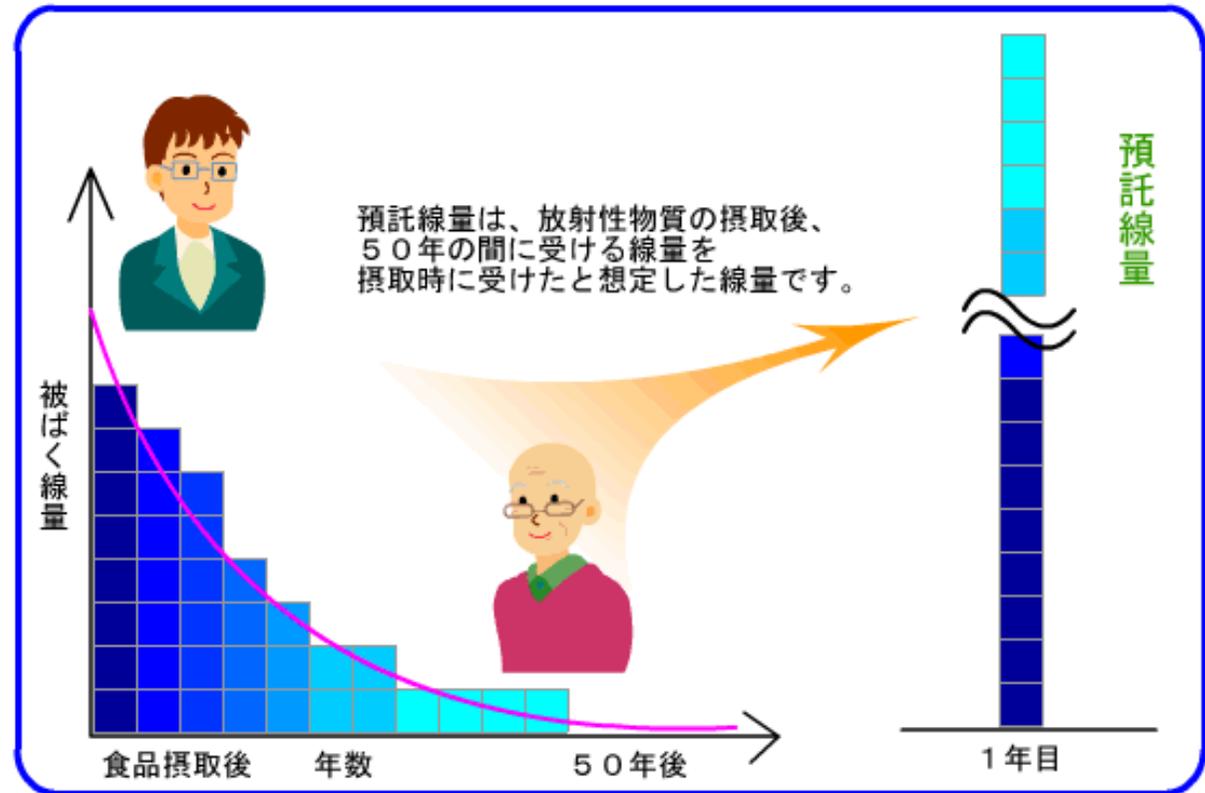
# 「外部被曝」と「内部被曝」

- 外部被曝
- 内部被曝

教科書 p.67-68参照

- 元素の違い(化学的性格)により吸収されやすい臓器が異なる(ヨウ素→甲状腺、ストロンチウム→骨、セシウム→筋肉・体全体)
- 吸収された組織での等価線量の評価→リスク
- 「預託線量」=吸収された放射性物質による将来すべての曝露量を実効線量として評価
  - 線種、物理学的半減期( $^{137}\text{Cs}$ =30年)、生物学的半減期( $^{137}\text{Cs}$ =40~90日)・・・
  - $^{137}\text{Cs}$ を100Bq、毎日1年間摂取すると $100\text{Bq} \times 365\text{日} = 36500\text{Bq}$
  - $0.013(^{137}\text{Cs}$ の実効線量係数) $\times 36500 = 470\mu\text{Sv} = 0.47\text{mSV}$

# 預託線量



体内に摂取された放射性物質は放射能が減衰するとともに、代謝により体内から徐々に排泄される。この間に放出される放射線で組織や臓器が被ばくをうける。預託線量とは、一般成人に対して摂取後の50年間(子供や乳幼児に対しては摂取時から70歳まで)に受ける量を摂取時に受けたと想定した放射線量。

参考：[原子力百科事典 ATOMICA http://www.atomin.go.jp/atomica/index.html](http://www.atomin.go.jp/atomica/index.html)

<http://search.kankyo-hoshano.go.jp/food2/Yougo/yotaku.html>

### ① 「一般食品」の基準値

まず、年齢や性別などにより10区分に分け、区分ごとに一般食品の摂取量と体格や代謝を考慮した係数を使って限度値を算出しました。その結果から、最も厳しい値（13～18歳の男性：120ベクレル/kg）を下回る**100ベクレル/kg**を全区分の基準としました。これは、**乳幼児をはじめ、すべての世代に配慮した基準**です。

食品からの線量の上限值  
**1ミリシーベルト/年**

★飲料水の線量（約0.1ミリシーベルト）を引く

一般食品に割り当てる  
線量を決定

年齢区分	性別	限度値 (ベクレル/kg)
1歳未満	男女	460
1歳～6歳	男	310
	女	320
7歳～12歳	男	190
	女	210
13歳～18歳	男	120
	女	150
19歳以上	男	130
	女	160
妊婦	女	160
	最小値	<b>120</b>

各年齢層等ごとに、通常の食生活を送れば、年間線量の上限值を十分に下回る水準に設定

**100ベクレル/kg  
に基準値を設定**

★すべての年齢区分の限度値のうち最も厳しい値（120）を下回る数値に設定

# 測定現場

2014年3月いわき市

漁業組合一鮮魚



農協一野菜



農協一米



逆引き事典から探す キーワードから探す Googleカスタム検索 検索

会見・報道・広報	政策情報	統計情報	申請・お問い合わせ	農林水産省について
----------	------	------	-----------	-----------

ホーム > 組織・政策 > 基本政策 > 東日本大震災に関する情報 > 生産関係 > 農産物に含まれる放射性セシウム濃度の検査結果 (随時更新)

更新日：平成28年11月1日

担当：生産局総務課

## 農産物に含まれる放射性セシウム濃度の検査結果 (随時更新)

### 厚生労働省が平成28年10月31日に公表した「食品中の放射性物質検査結果について」の概要

食品中の放射性セシウムの結果について都道府県などが実施している検査の結果については、厚生労働省が週毎にとりまとめ、公表しています。

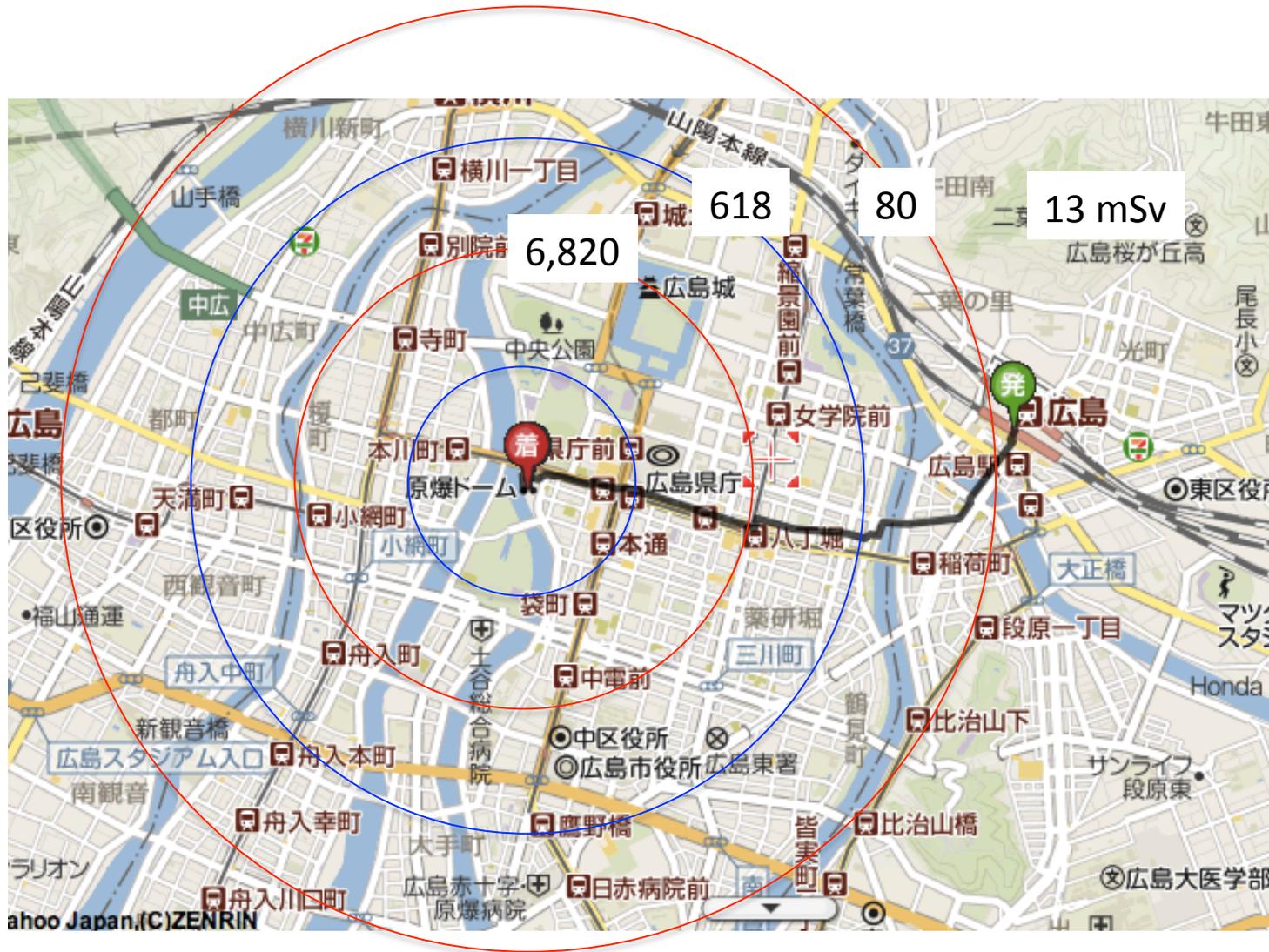
**食品中の放射性物質の検査結果について (第1005報) (東京電力福島原子力発電所事故関連) [外部リンク]**

- 検査自治体：小樽市、青森県、岩手県、盛岡市、宮城県、山形県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、さいたま市、千葉市、柏市、東京都、文京区、世田谷区、神奈川県、横浜市、川崎市、新潟県、山梨県、岐阜市、浜松市、名古屋市、豊橋市、滋賀県、京都府、京都市、大阪府、大阪市、豊中市、高槻市、兵庫県、神戸市
- 検査点数：7,122点
- 基準値以下：7,096点
- 基準値超過：26点 (山梨県産野生ショウゲンジ (5)、山梨県産野生アマタケ (1)、山梨県産野生アカモミタケ (1)、宮城県産イノシシ肉 (2)、茨城県産イノシシ肉 (1)、群馬県産ツキノワグマ肉 (5)、福島県産イノシシ肉 (10)、福島県産ヤマドリ肉 (1))

最新の  
情報は  
HP公開

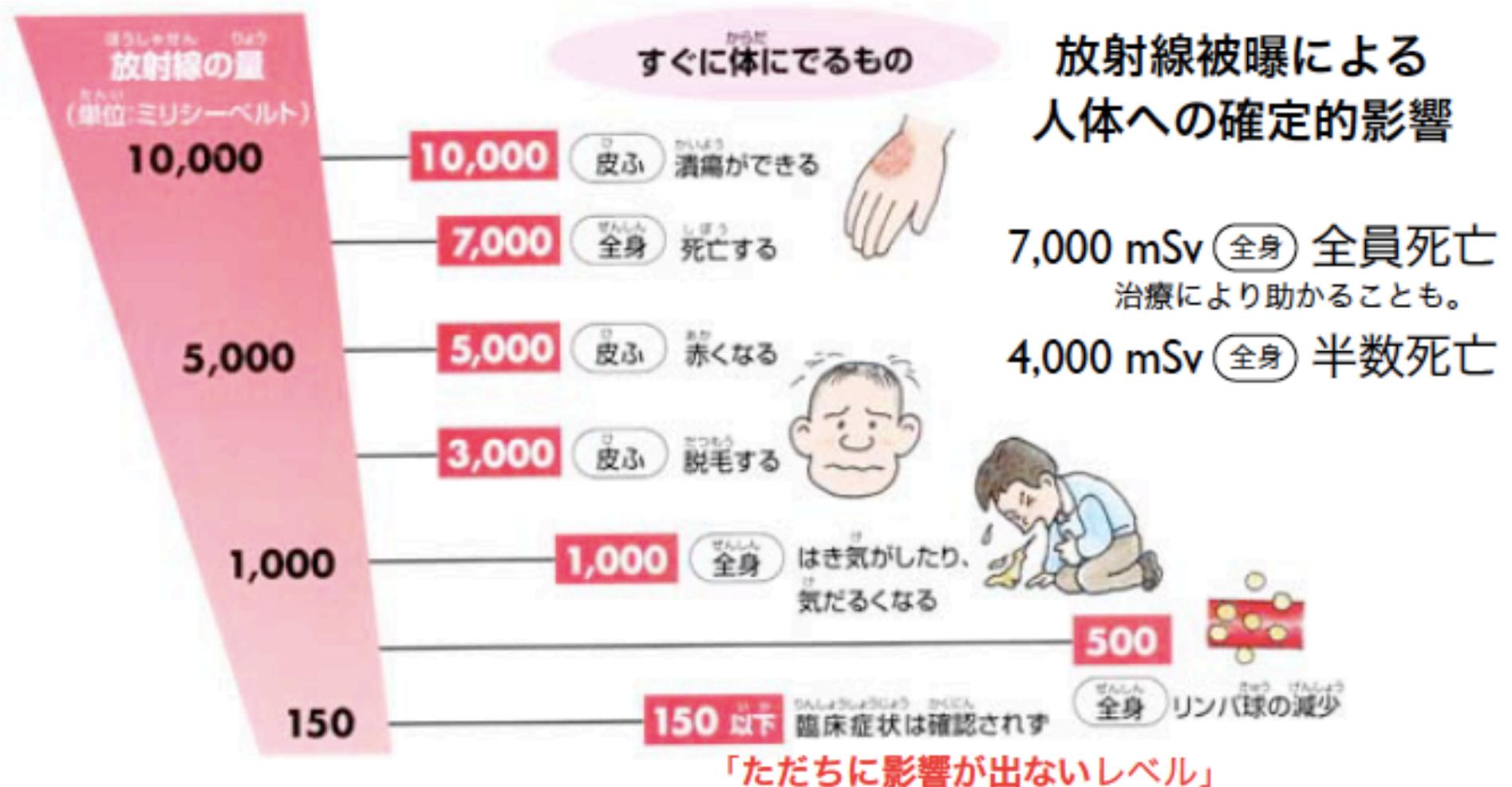
## 放射線の健康影響

- 確定的影響(組織反応)
  - 放射線によって細胞や組織が障害される
  - 比較的線量の高いところで生じる(閾値がある)
  - 重症度が線量に比例する
  - 急性: 消化管障害、造血障害、不妊、白内障、など
  - 晩発性: 循環器疾患・白内障など
- 確率的影響
  - 放射線によって細胞のDNAなどに傷が生じる
  - 多くは修復されるが、されなかった場合には、他の発がんメカニズムと合わさって、長期間かかってがんなどが生じる
  - 線量に応じて確率的に生じる(閾値はないとする)
  - 線量と発症後の重症度は関連しない
  - がんと遺伝的影響



# 確定的影響

自然放射線量をはるかにこえるレンジ



このあとは、確率的影響を考える

# 確定的影響の具体例

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

# 放射線の健康影響

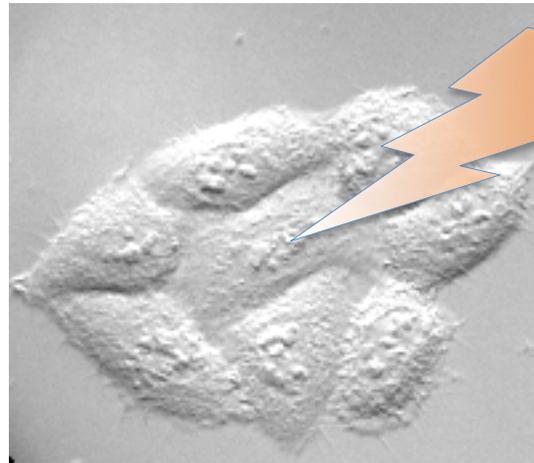
- 確定的影響(組織反応)
  - 放射線によって細胞や組織が障害される
  - 比較的線量の高いところで生じる(閾値がある)
  - 重症度が線量に比例する
  - 急性: 消化管障害、造血障害、不妊、白内障、など
  - 晩発性: 循環器疾患・白内障など
- 確率的影響
  - 放射線によって細胞のDNAなどに傷が生じる
  - 多くは修復されるが、されなかった場合には、他の発がんメカニズムと合わさって、長期間かかってがんなどが生じる
  - 線量に応じて確率的に生じる(閾値はないとする)
  - 線量と発症後の重症度は関連しない
  - がんと遺伝的影響

太古の昔から自然放射線がある中で、  
生物は生存、進化してきた

生物が放射線に対して脆弱な存在であったら、  
存続してこなかったであろう。

実際に、生物を構成する細胞には、  
被曝による損傷を乗り越えるための機構が  
幾重にも備わっている。

確率的影響を考える上で、  
放射線が細胞に与える影響を知る必要がある

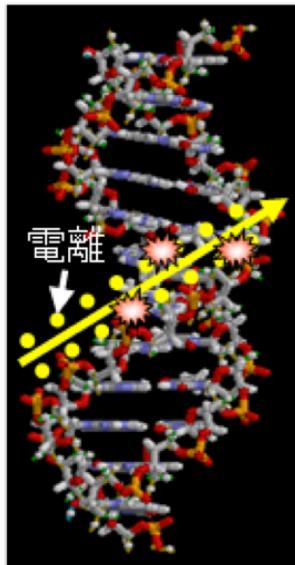


低線量被ばくによる影響

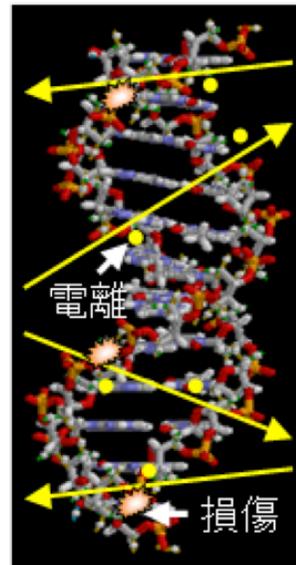
**核**にヒットしてしまうと、  
DNA分子を傷つける

> 修復機能との量的な関係

# 放射線によるDNA損傷



重イオン



電子

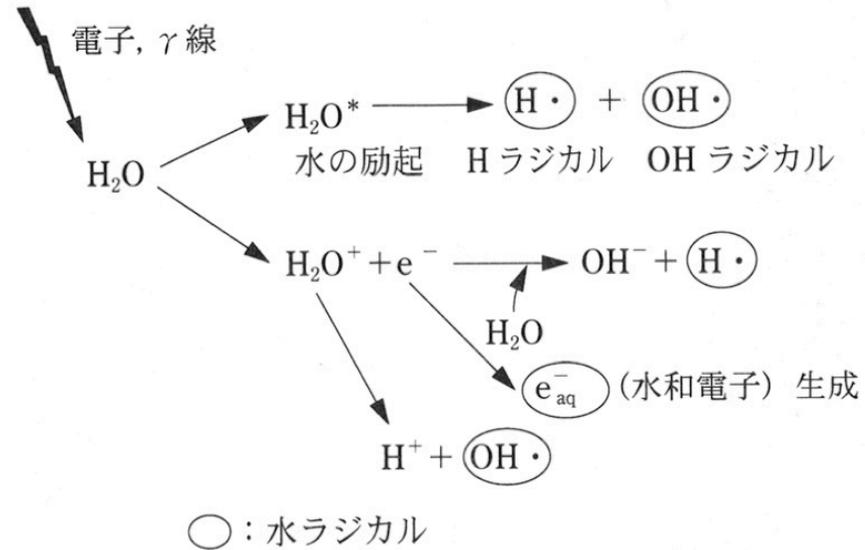


図 6・5 電離放射線による水分子の電離と励起の概略

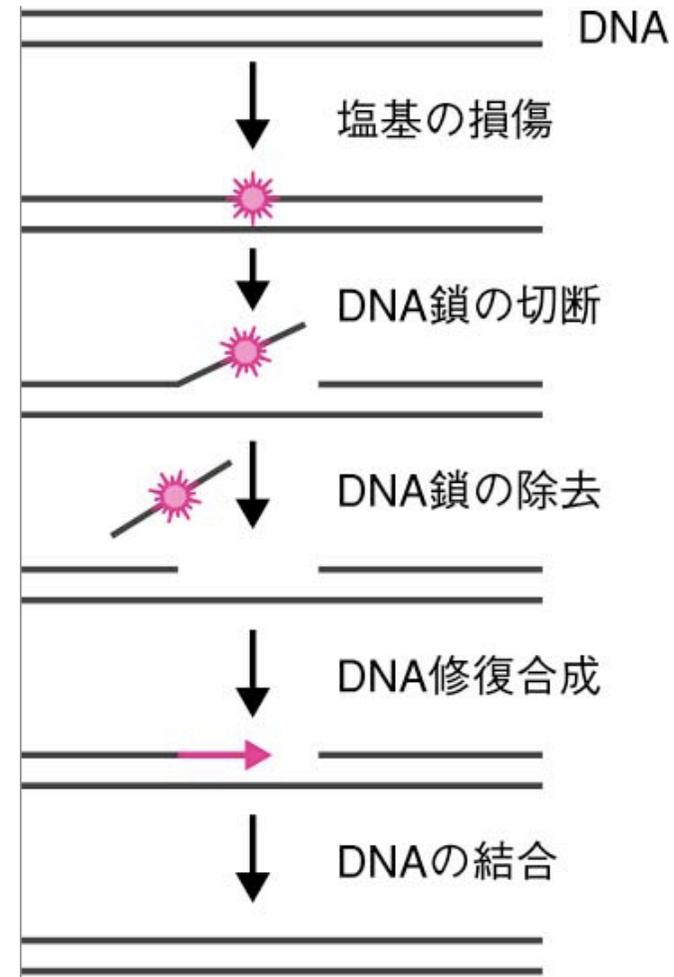
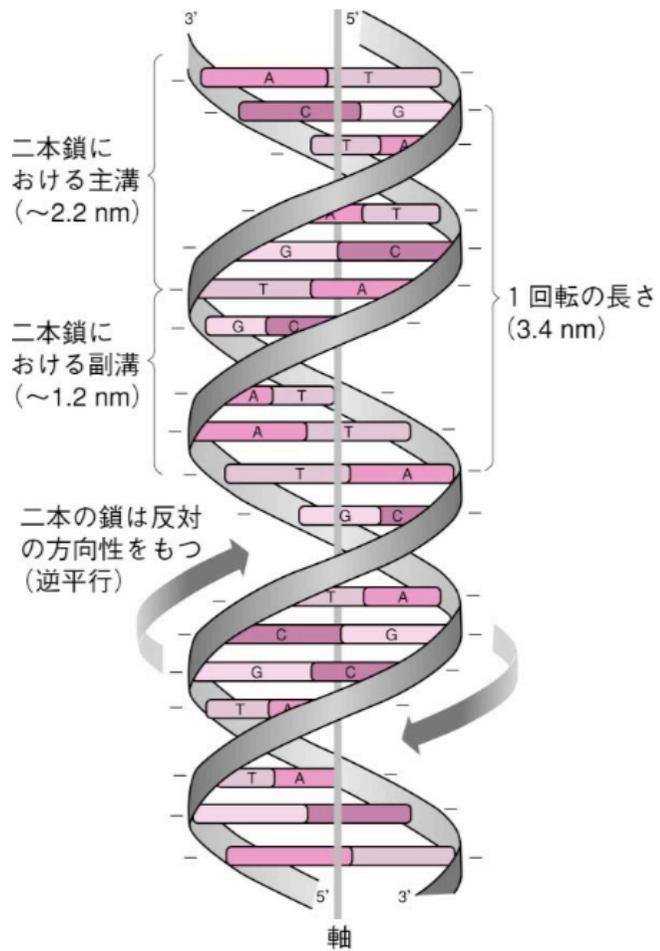
## LET : 線エネルギー付与

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**

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**

# 放射線によるDNA損傷

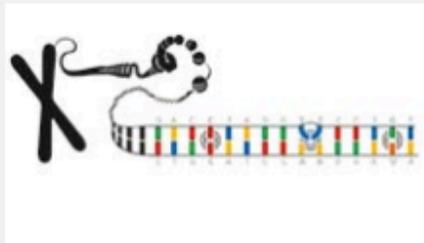


生物にはDNAの損傷を直す機構がある。→不可逆的に全て残るわけではない

# DNA repair

– providing chemical stability for life

## 2015 Chemistry Prize



Ill: © Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

### 2015 Nobel Prize in Chemistry

The [Nobel Prize in Chemistry 2015](#) was awarded jointly to [Tomas Lindahl](#), [Paul Modrich](#) and [Aziz Sancar](#) "for mechanistic studies of DNA repair".

[→ Read more](#)



Tomas Lindahl. Photo: Cancer Research UK

### I Feel Very Lucky and Privileged"

"I'm not a politician. I'm not used to talk on two phones at the same time." Life is getting busy for Tomas Lindahl, awarded the 2015 Nobel Prize in Chemistry. In this short interview, Tomas Lindahl also talks about his research and early days in Sweden.

[→ Interview and transcript](#)



Paul Modrich. Photo: K. Wolf/AP Images for HHMI

### "Shock. Surprise. Excitement"

Paul Modrich was on vacation in his little cabin in the woods in New Hampshire when he got the news through e-mail that he had been awarded the 2015 Nobel Prize in Chemistry. "I'm in the right place at the right time."

[→ Interview and transcript](#)



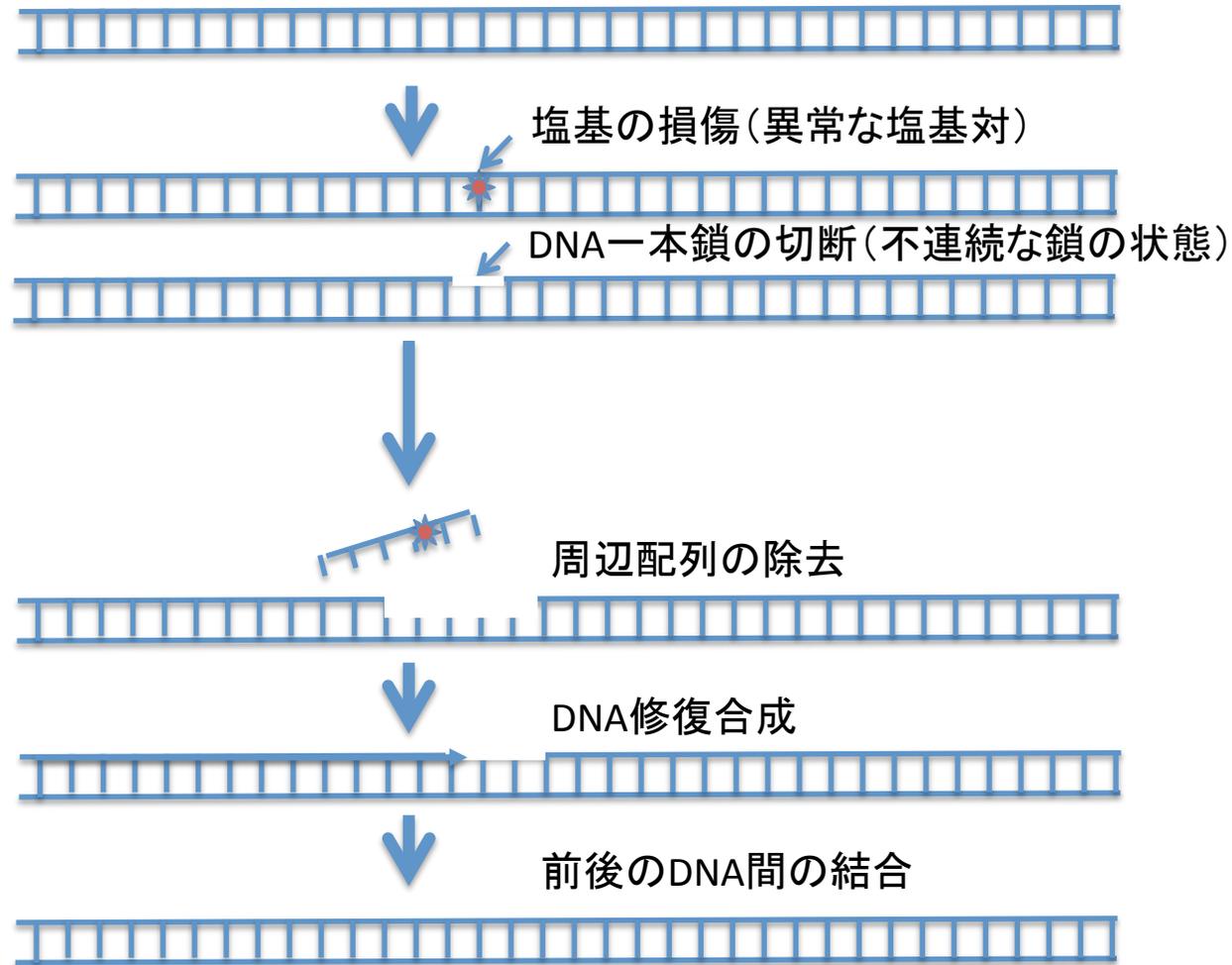
Aziz Sancar. Photo: M. Englund, UNC-School of Medicine

### Aziz Sancar: "I'm Honored to Get this Recognition"

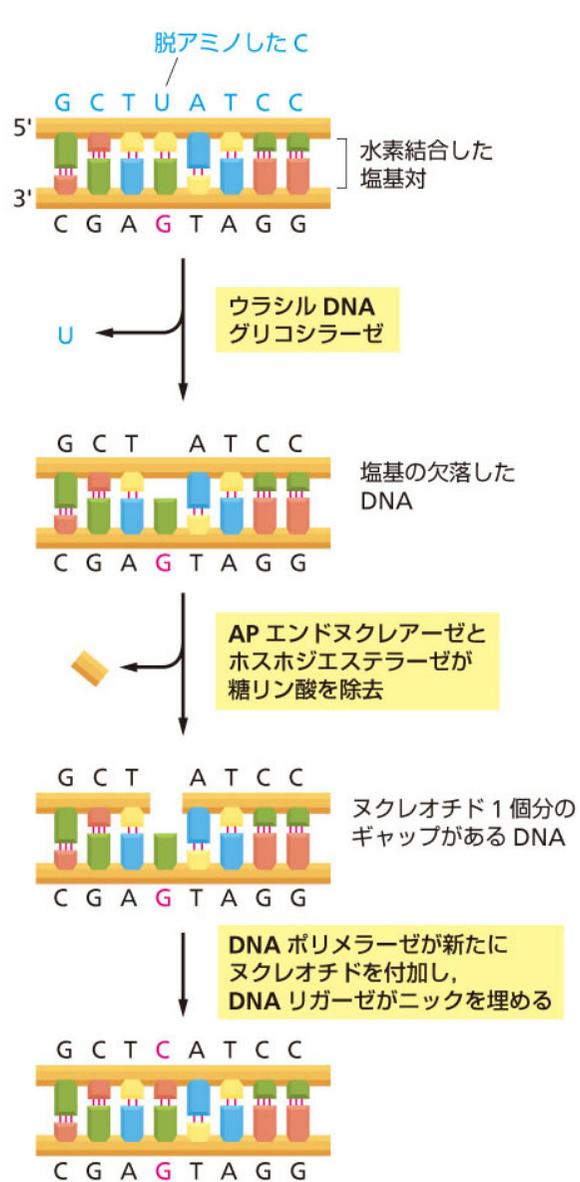
"My wife took the call and woke me up". Chemistry Laureate Aziz Sancar on being awarded the Nobel Prize.

[→ Interview and transcript](#)

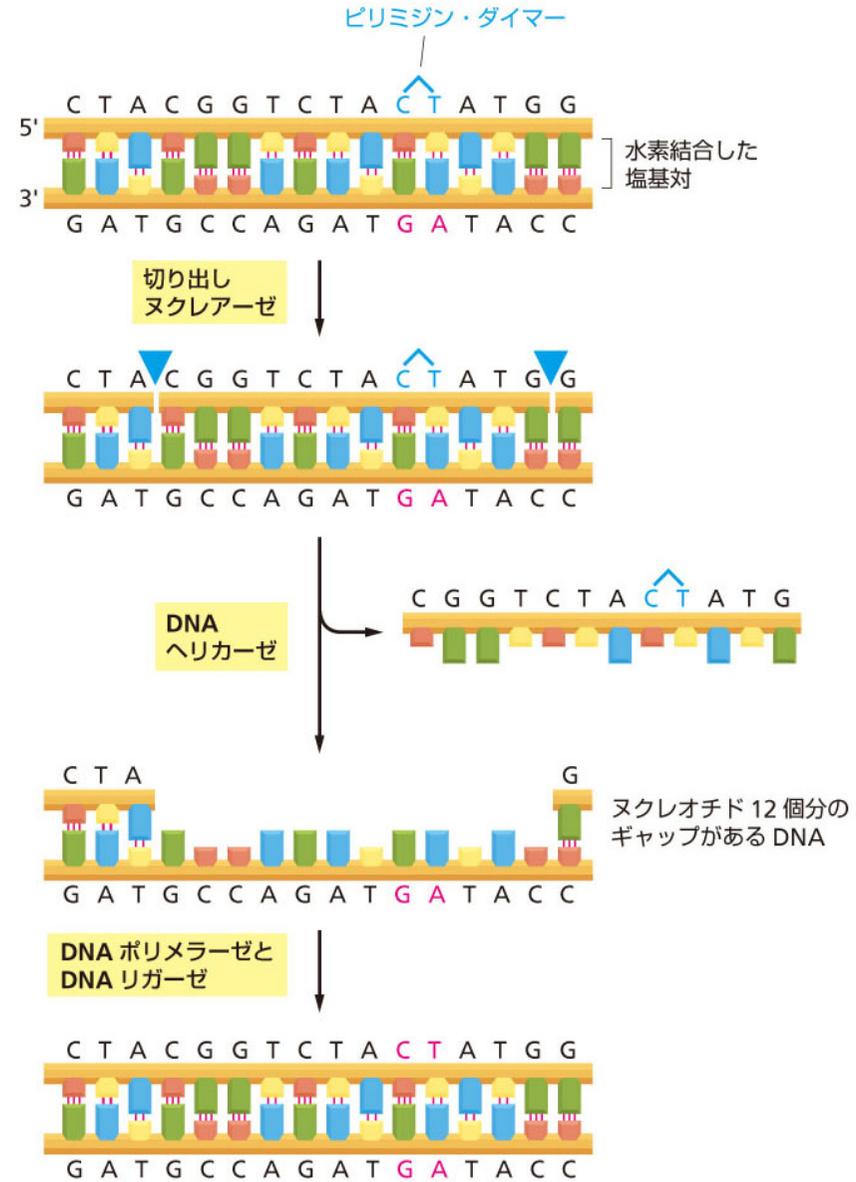
# DNA二本鎖片側が損傷した場合の修復



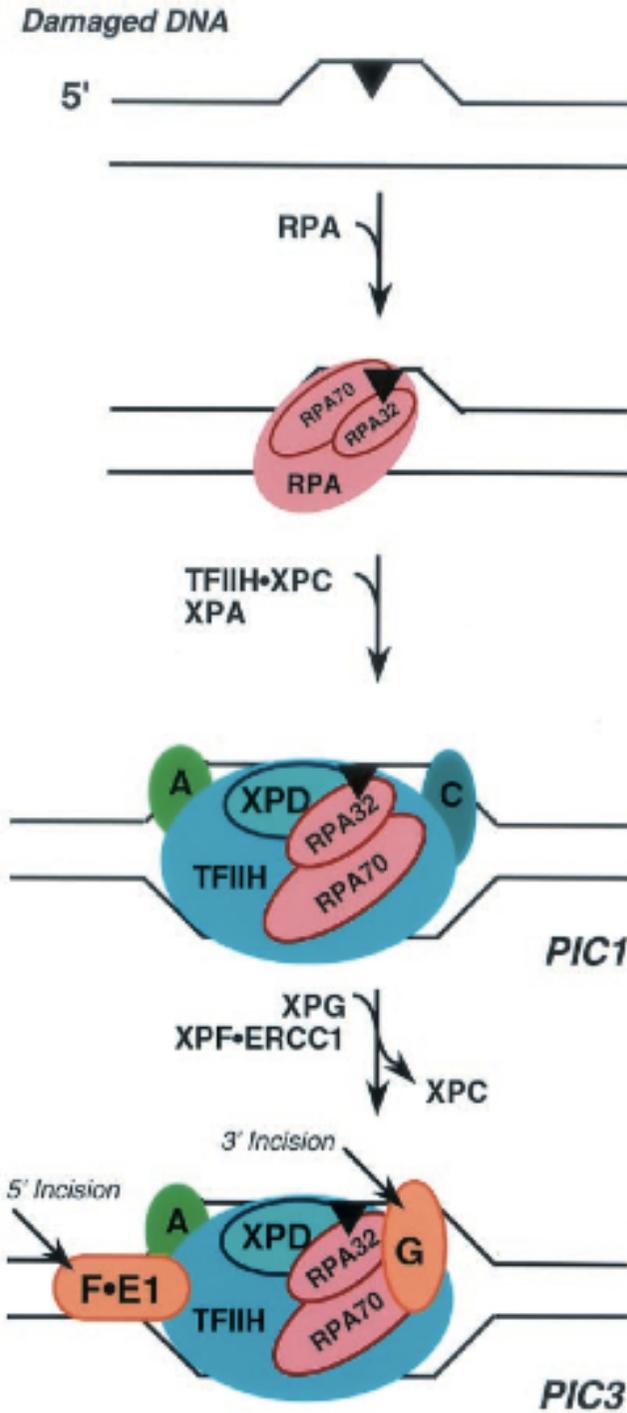
(A) 塩基除去修復



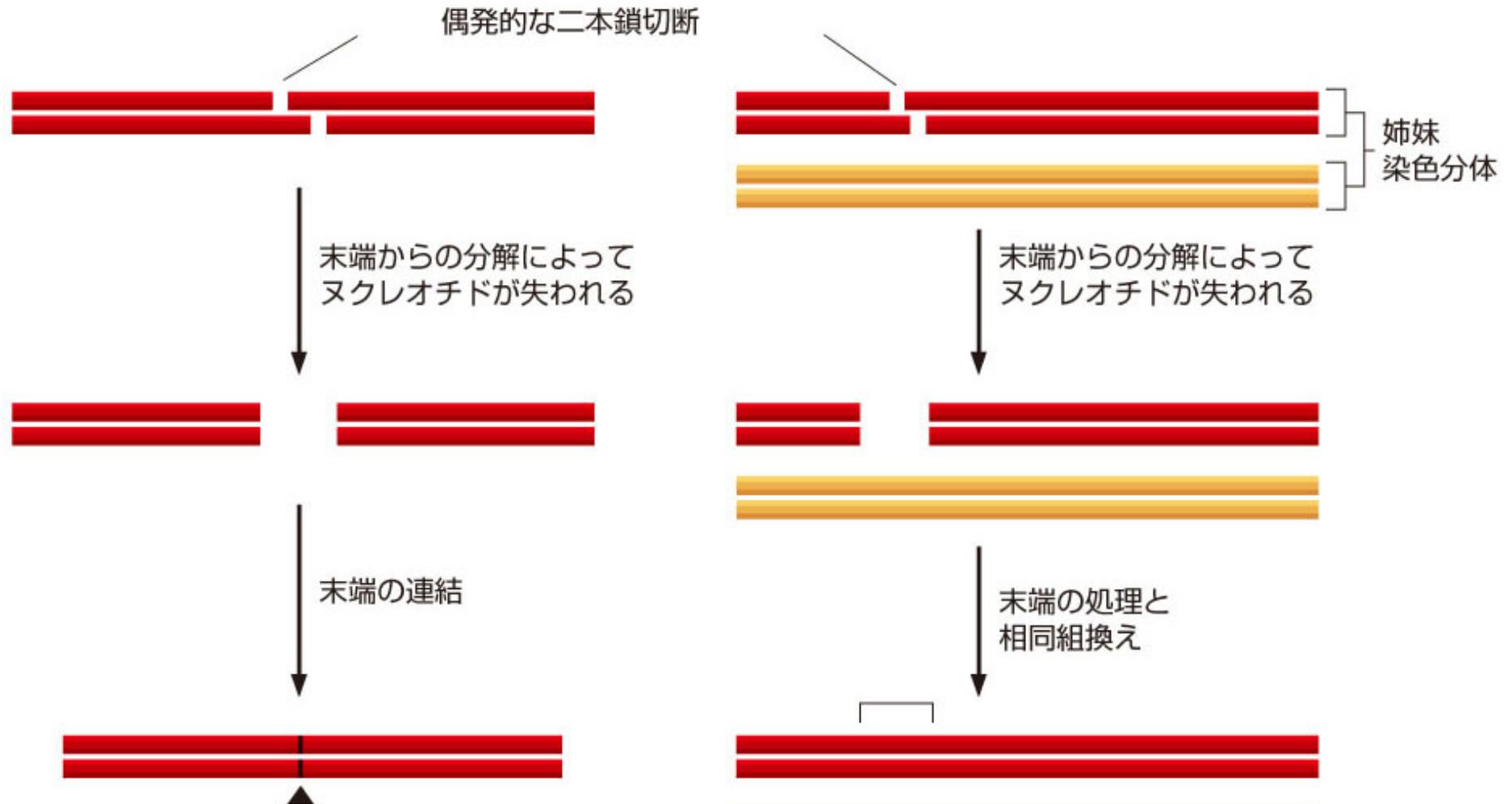
(B) ヌクレオチド除去修復



詳細があきらかとなっていて、さまざまな因子が関与している。それぞれに名前がつけられている

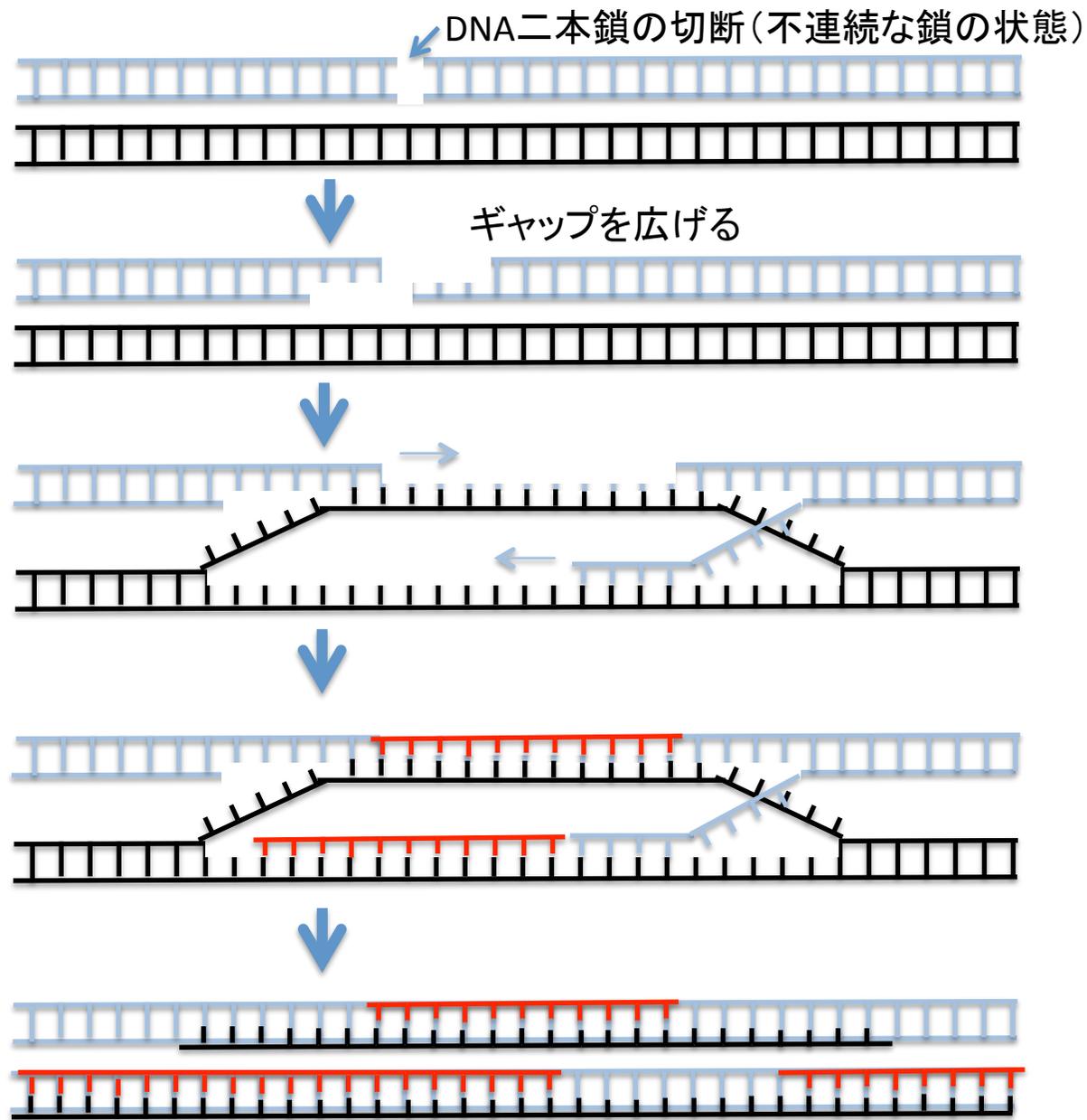


# DNA二本鎖ともに切断した場合の修復

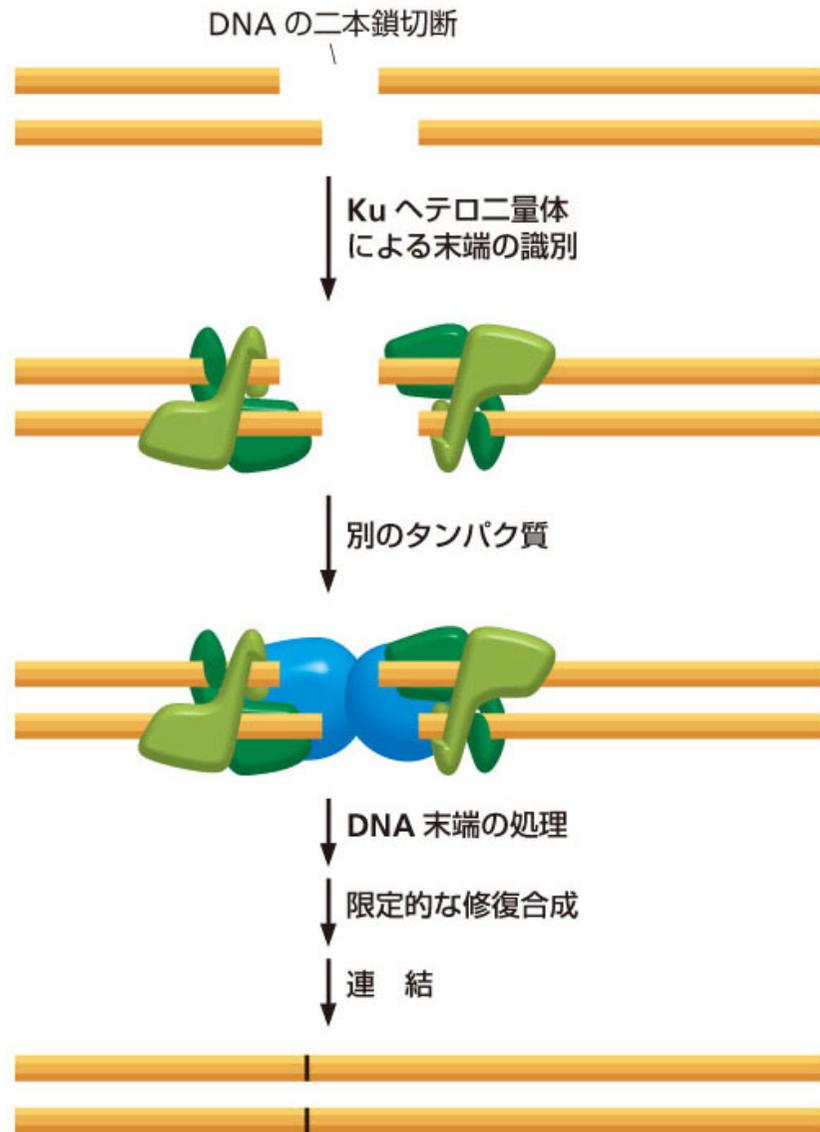


非分裂細胞の場合

分裂細胞の場合



分裂細胞の場合



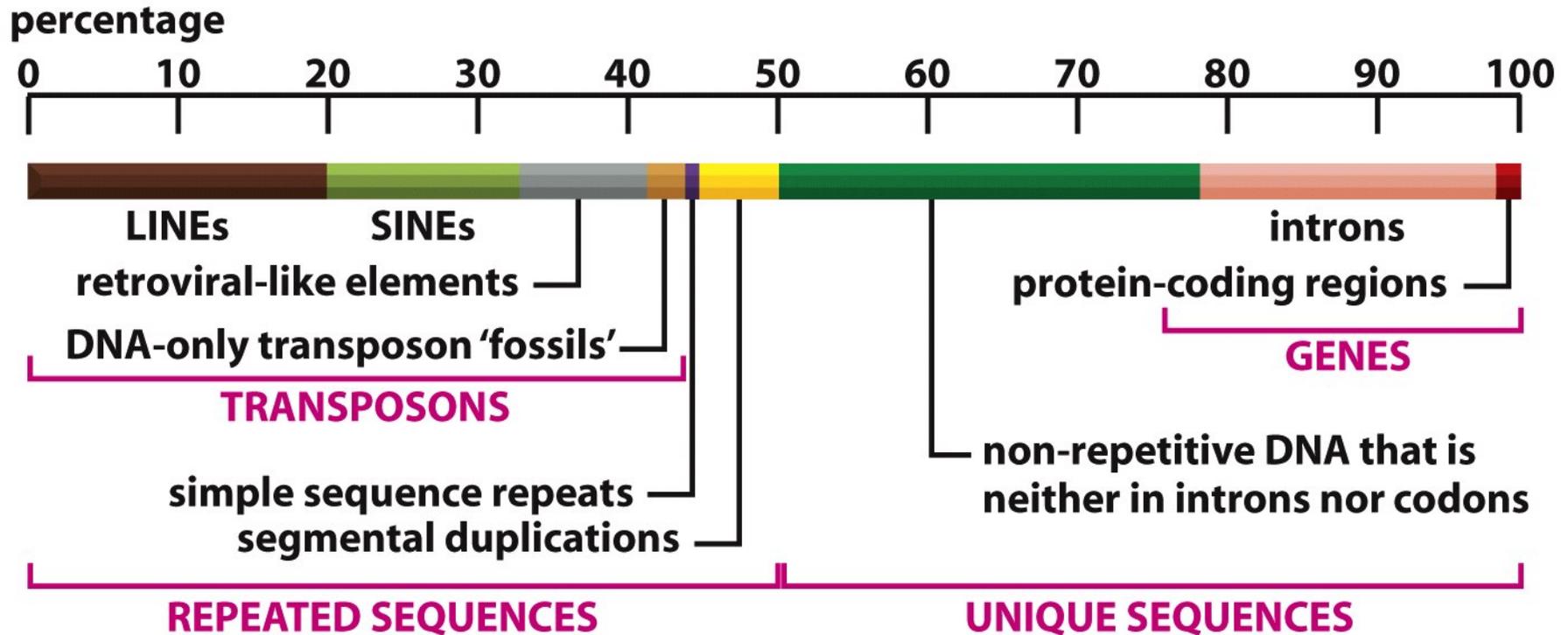
修復された DNA では、普通はヌクレオチドが欠失する

(A)

## 非分裂細胞の場合

致命傷から免れるために DNA切断面同士結合する。ただ、端が減ったり増えたりする可能性はある。

幸運なこと(？)  
われわれヒトの染色体DNA配列上、  
いわゆるタンパク質をコードする部分は2%未満  
遺伝子情報を厳密に保持している部分は少ない



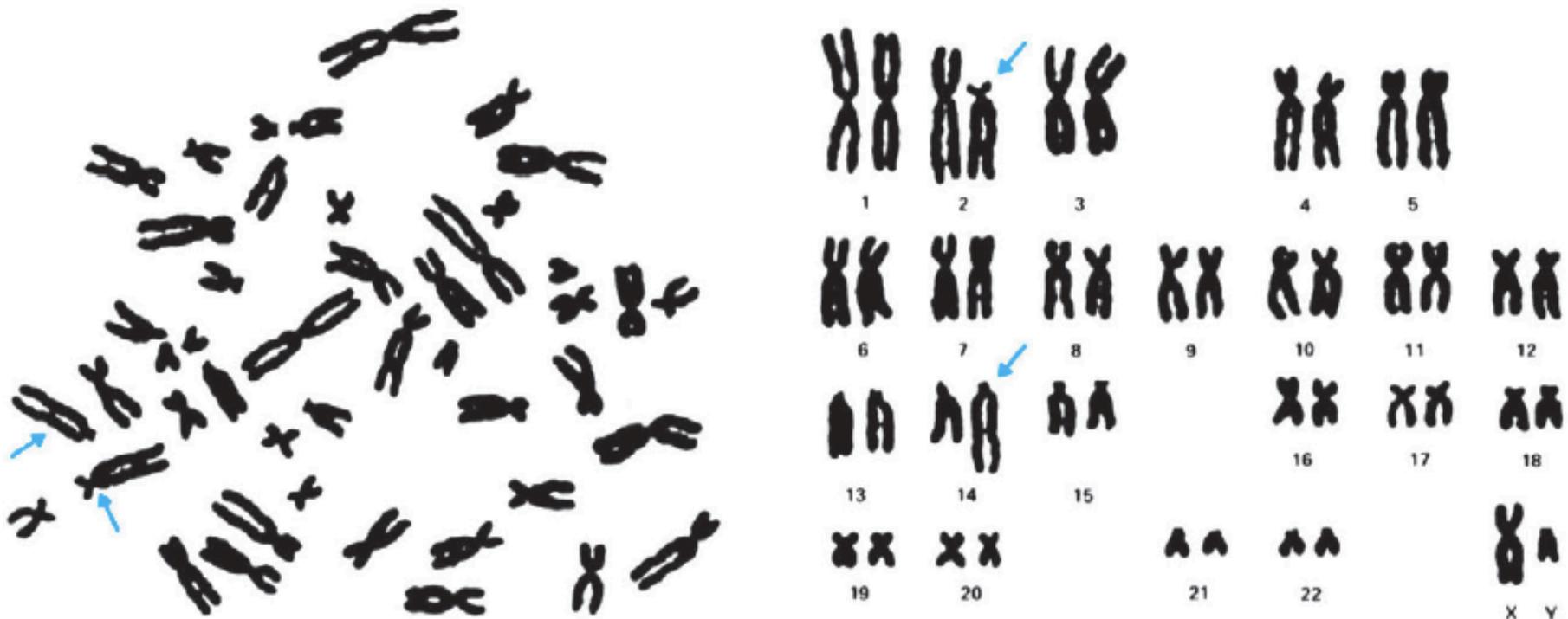
修復も大まかでも許容されることも多いのだろう(か？)

修復能力がないと  
通常環境で普通に生活していても  
がんになる

DNAは 紫外線でも損傷をうけるが、  
その損傷を直す機能を  
失なった場合の病気が知られている

# 染色体異常が起こる場合もある

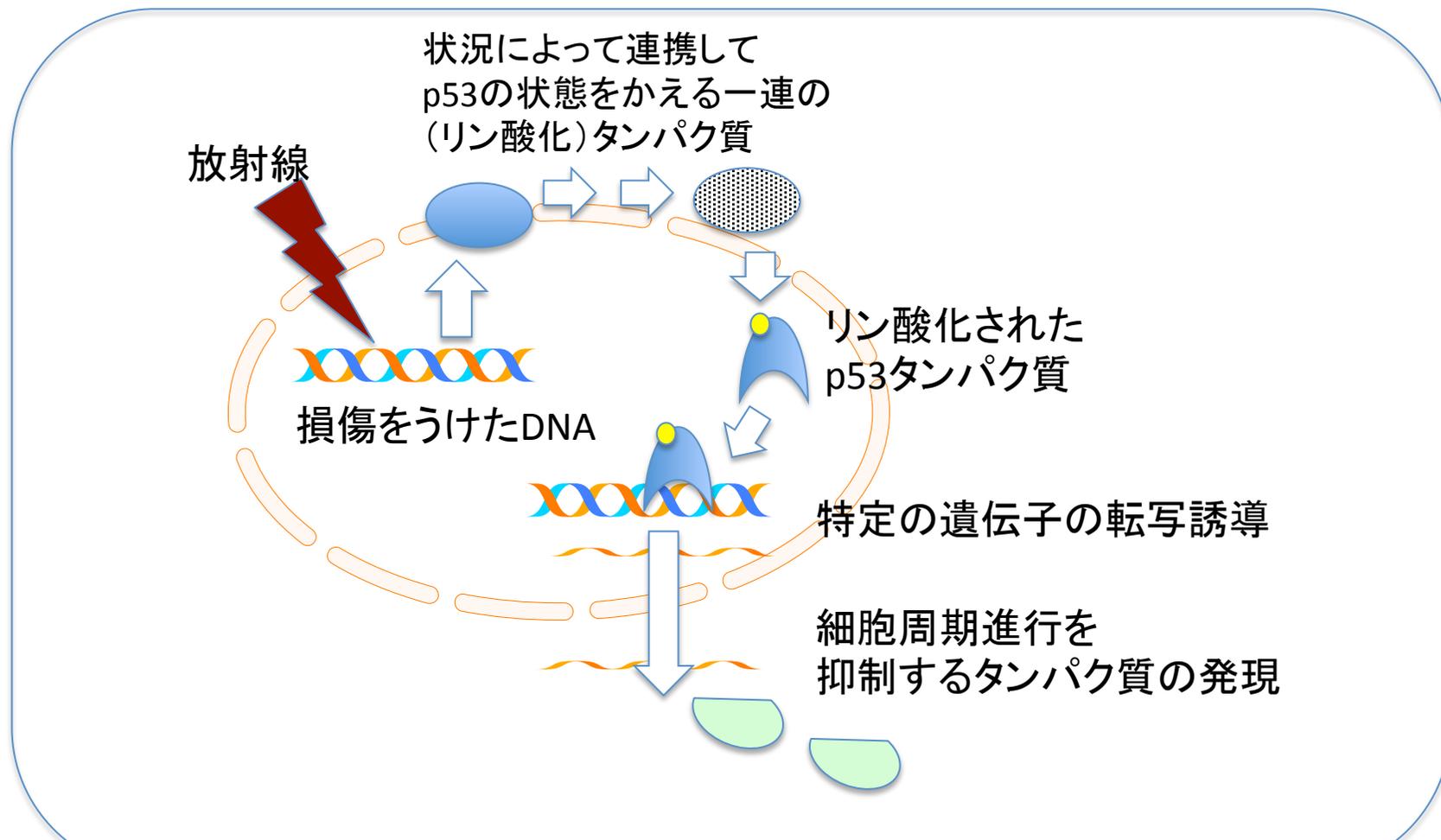
図5. 左は異常（矢印）を持った細胞分裂像。右は同じものを染色体の大きさに従って並べかえたもの。異常染色体は、第2染色体と第14染色体の一部の交換によって生じたことが分かる（矢印）



「RERFの案内」より

# DNA損傷

- p53がみつけ細胞周期の進行を抑制する
- がん細胞の増殖の抑制



# 癌遺伝子とはどのようなものか？



## 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



- 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 $\alpha$ 線、中性子線は生物学的効果大きい）。
- 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方は、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）

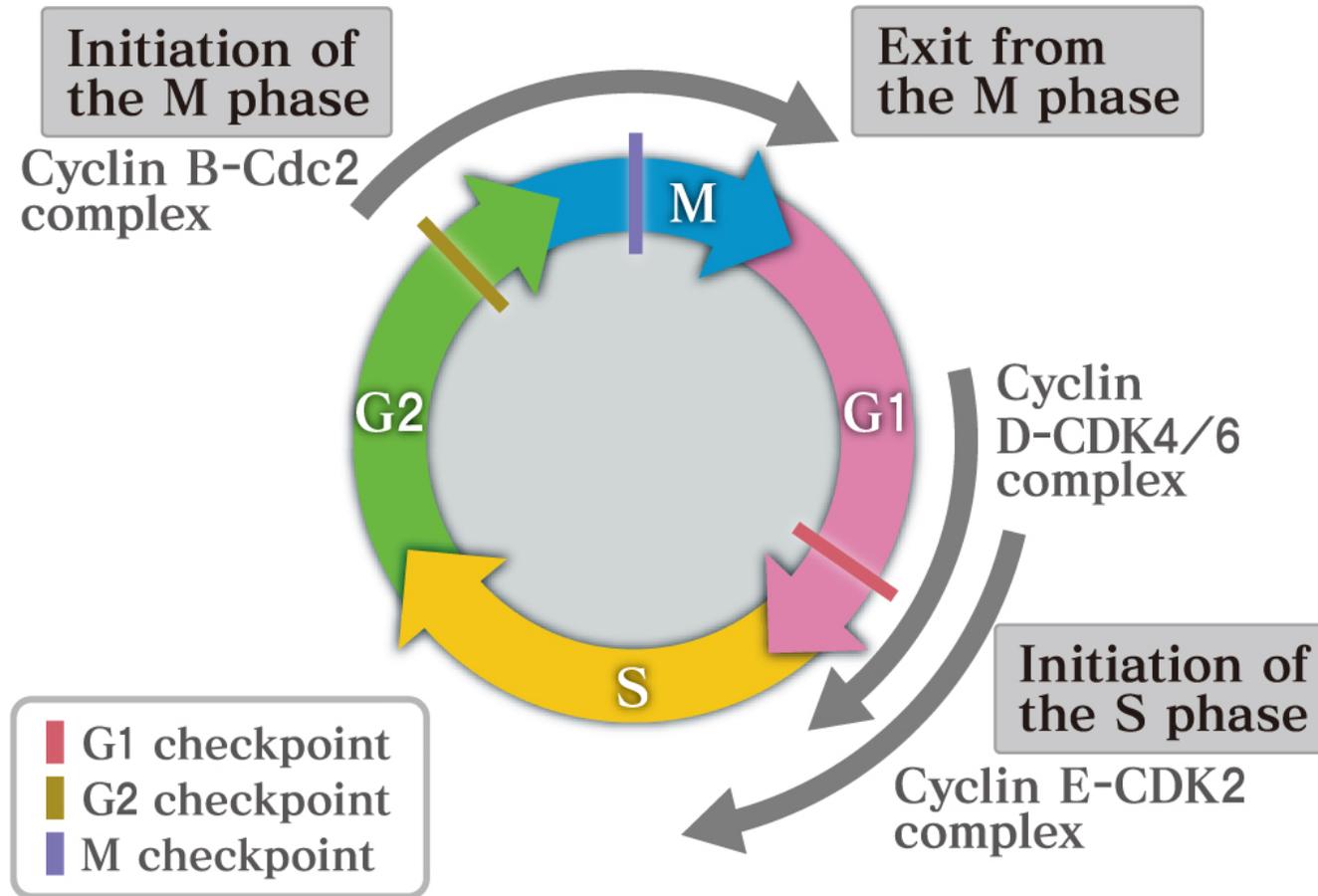
# 遺伝子の傷がもつ影響

- いわゆる癌が発生する

→ 癌遺伝子が生まれる？  
特定の遺伝子の突然変異

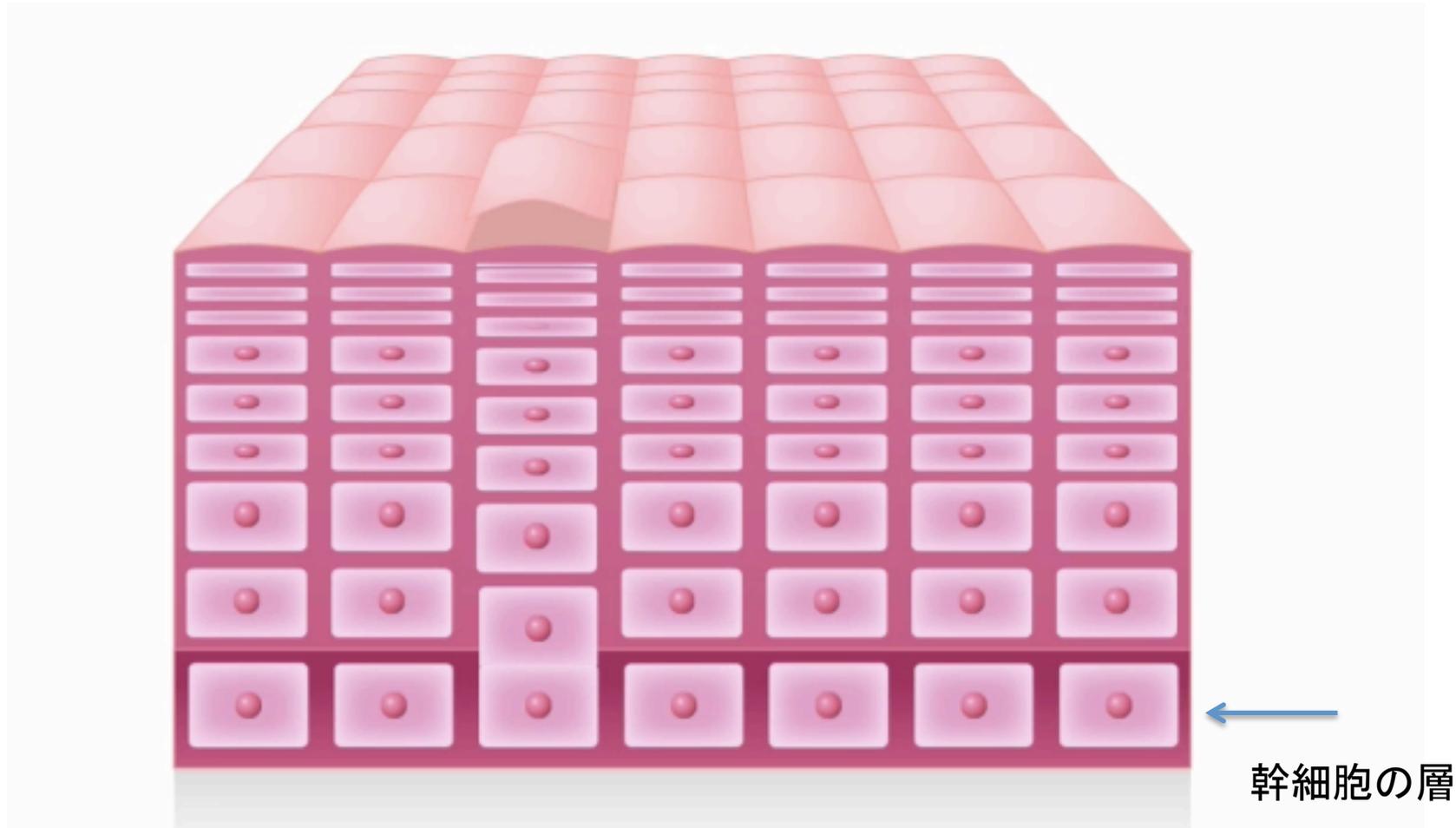
p53, RAS などに変化がおこると  
がんを抑える機構が弱まる

正常な分裂準備があって細胞周期が進行する  
=> 異常な過程を多段階でチェックしている

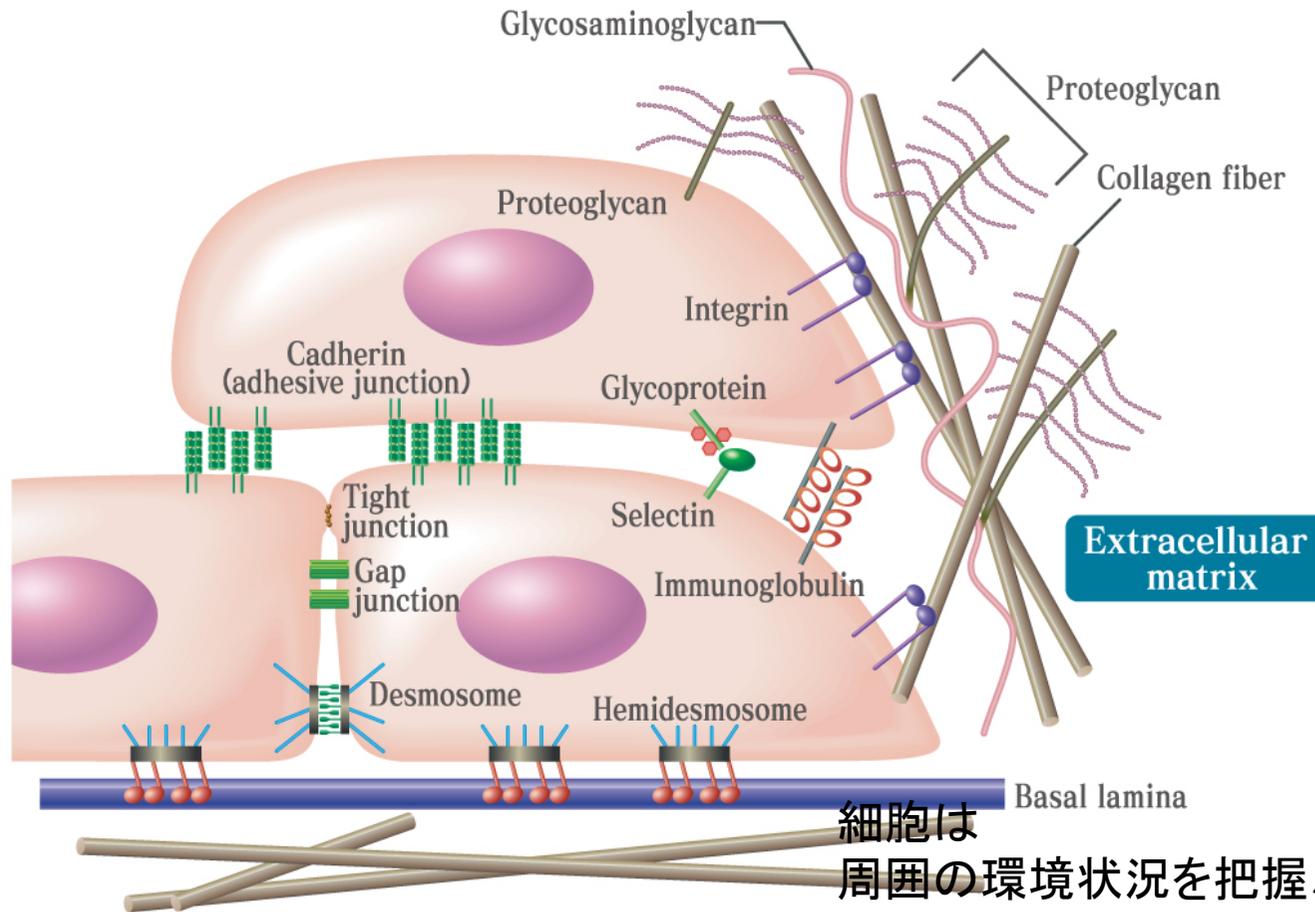


多くの素材が以下のサイトにあります © University of Tokyo  
<http://csls-db.c.u-tokyo.ac.jp/index.html>

# 皮膚の幹細胞の様子 深さ70 $\mu$ m 程



# 正常細胞は周囲の仲間と コミュニケーションしている



細胞は  
周囲の環境状況を把握、協調して  
周囲の組織、器官と仲良く納まっている。

# 細胞のトランスフォーメーション

ウイルスによってがん化する例の図ですが、放射線がきっかけとなることもある

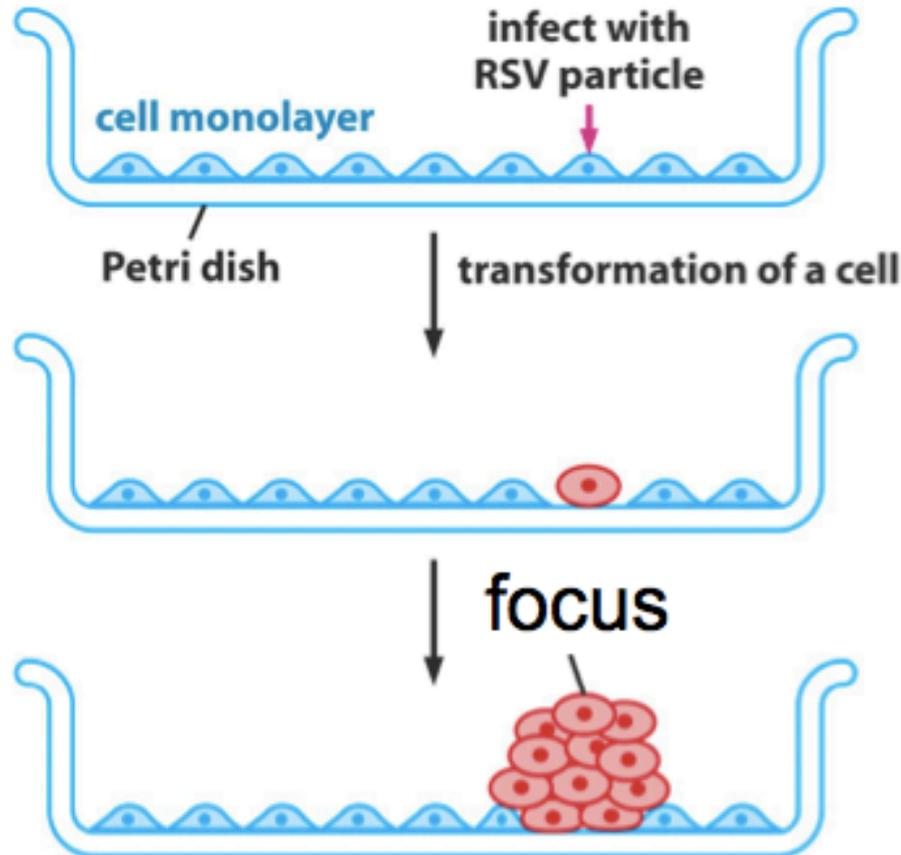
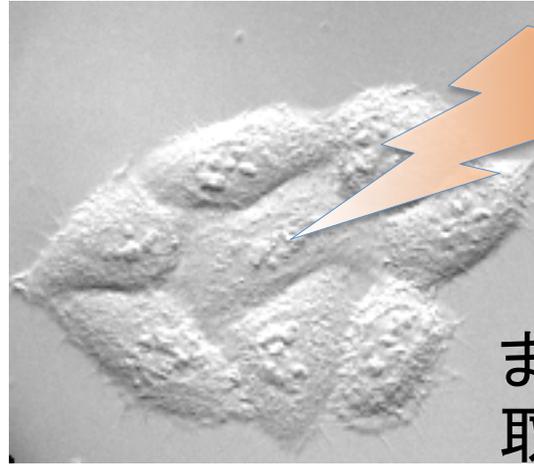


Figure 3-7a The Biology of Cancer (© Garland Science 2007)



Figure 4-3a The Biology of Cancer (© Garland Science 2007)

他の細胞の上にも増殖細胞が重なっていく。  
癌細胞の特徴。



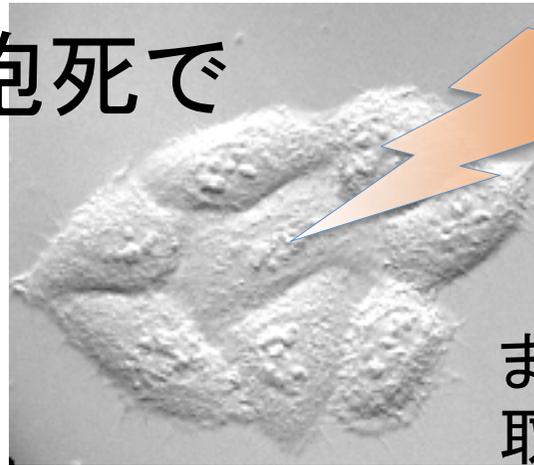
まれにDNA分子の傷が  
取り除けずに残ってしまう



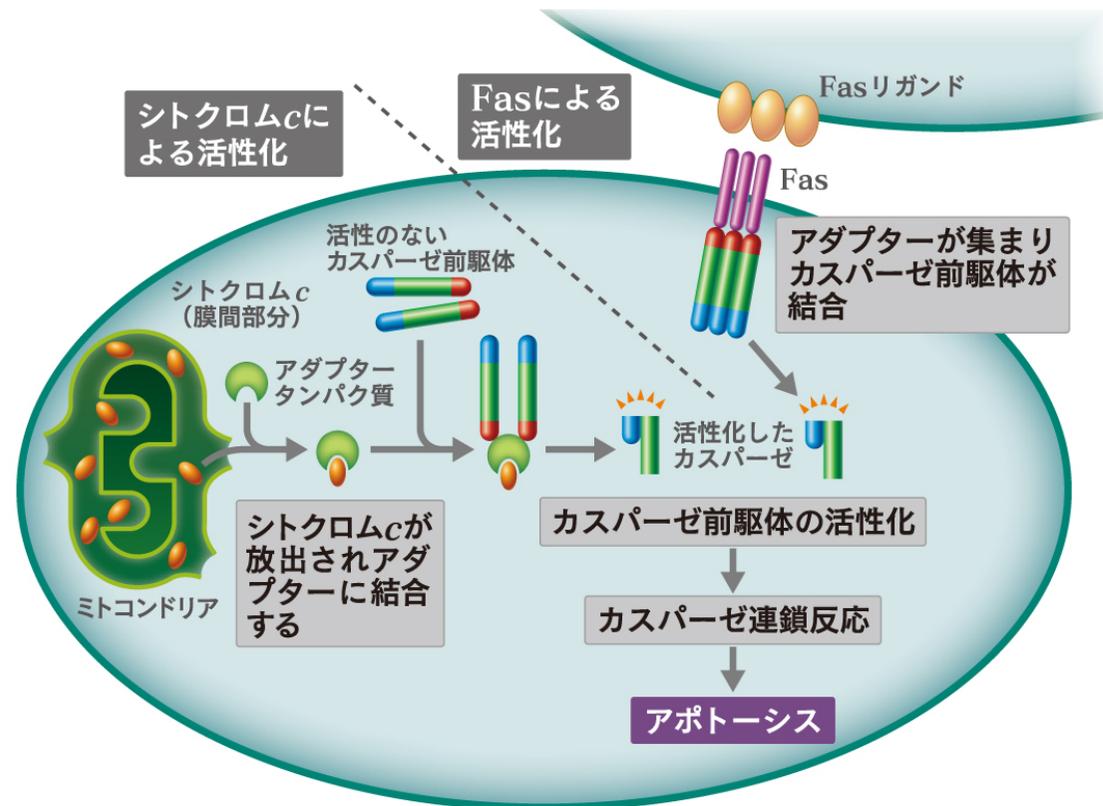
修復の失敗

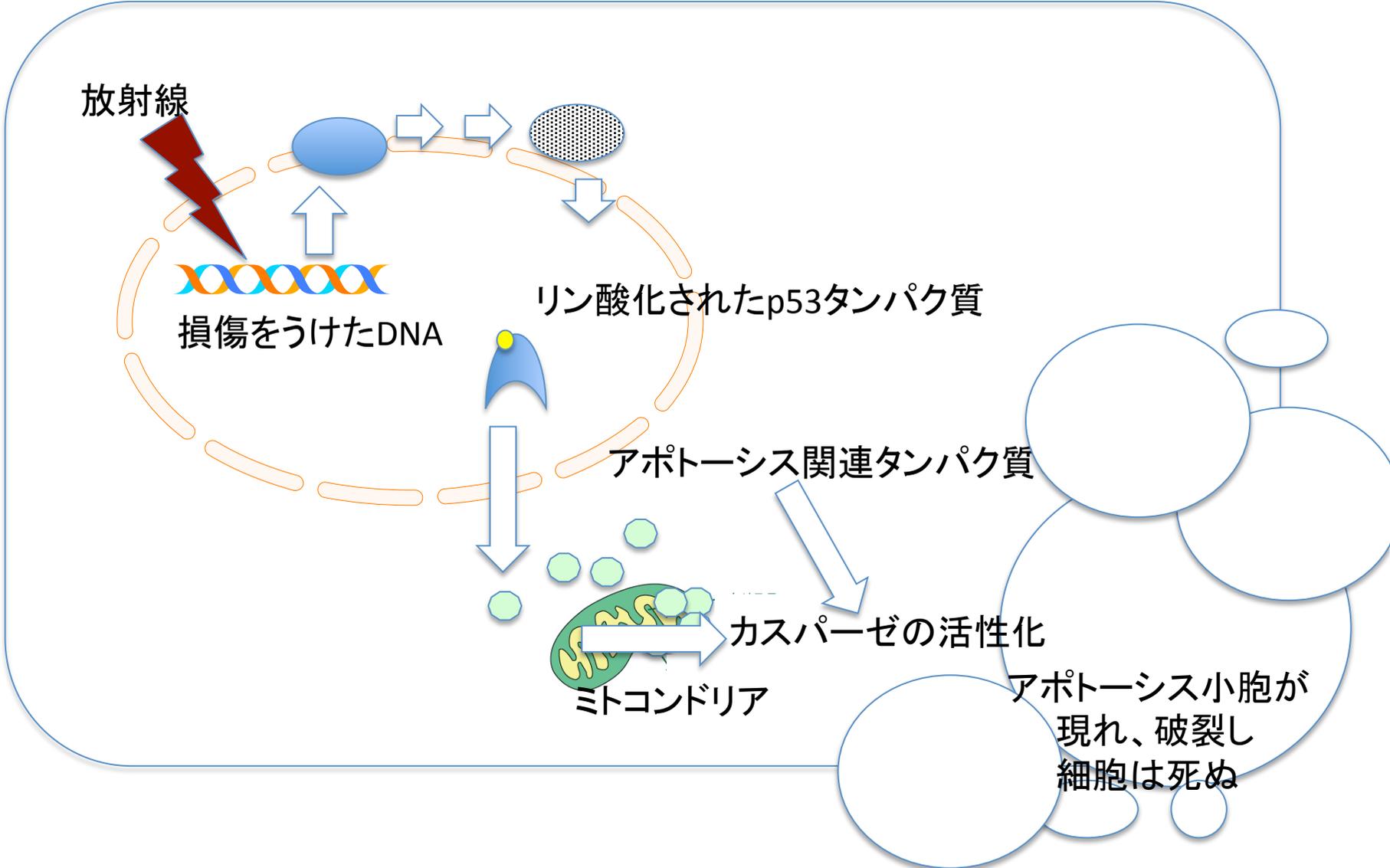
どうなる？

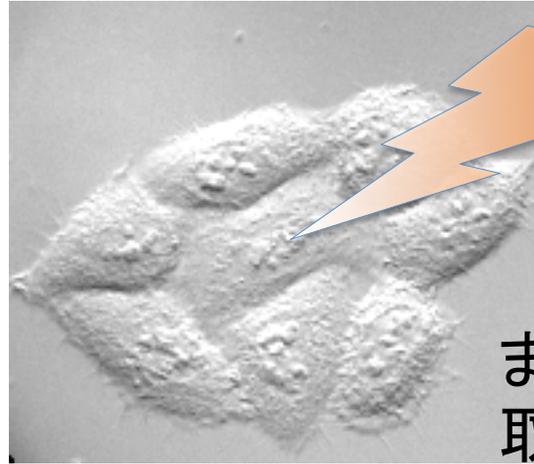
# プログラム細胞死で 異常な細胞は 自爆する



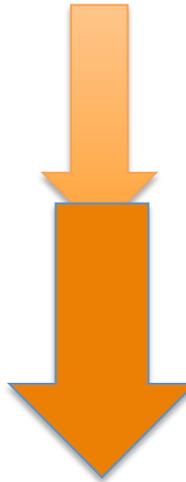
まれにDNA分子の傷が  
取り除けずに残ってしまう







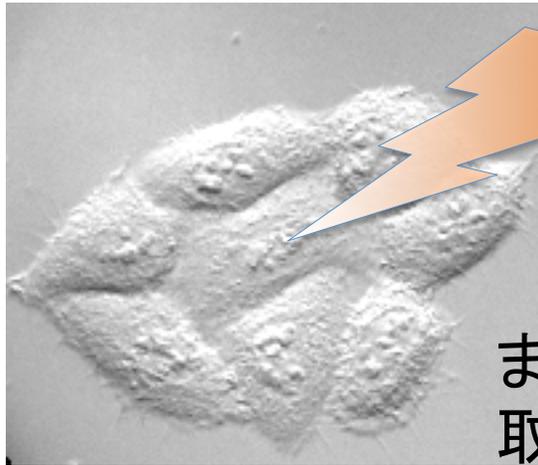
まれにDNA分子の傷が  
取り除けずに残ってしまう



修復の失敗

細胞死も起こらない場合

どうなる？



まれにDNA分子の傷が  
取り除けずに残ってしまう

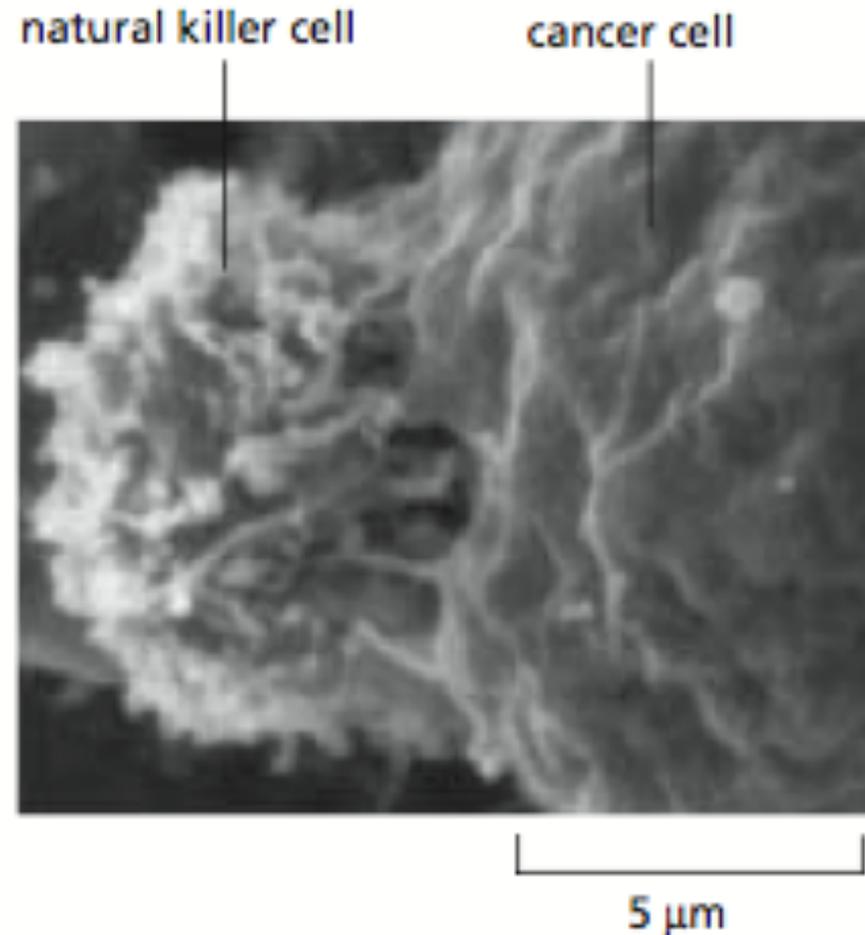
NK細胞

修復の失敗

細胞死も起こらない

自然免疫系に捕えられる

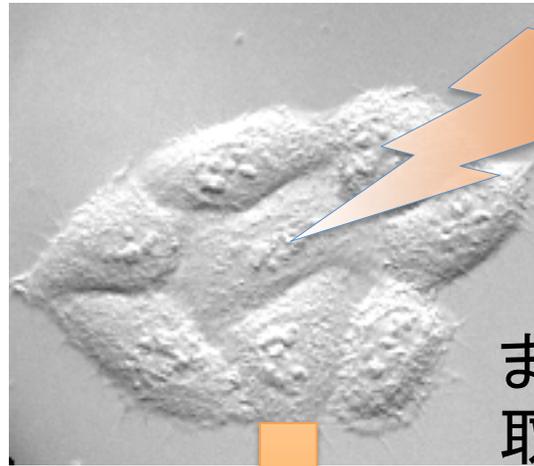
# ナチュラルキラー細胞(NK)ががん細胞を攻撃する



**Figure 24–57** A natural killer (NK) cell attacking a cancer cell. The NK cell is the smaller cell on the *left*. This scanning electron micrograph was taken shortly after the NK cell attached, but before it induced the cancer cell to kill itself. (Courtesy of J.C. Hiserodt, in *Mechanisms of Cytotoxicity by Natural Killer Cells* [R.B.

# 放射線障害で脾臓(免疫系組織)に負担が見られる





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

一生の間にある程度がん細胞が残ってしまう

# がん細胞にも2種類

benign

良性

malignant

悪性

浸潤性

# 平成27年度日本人推計死亡数

死因	死亡数
悪性新生物	370 000
心疾患	199 000
肺炎	123 000
脳血管疾患	113 000
死亡数	1 302 000

28.4% が 癌で死亡

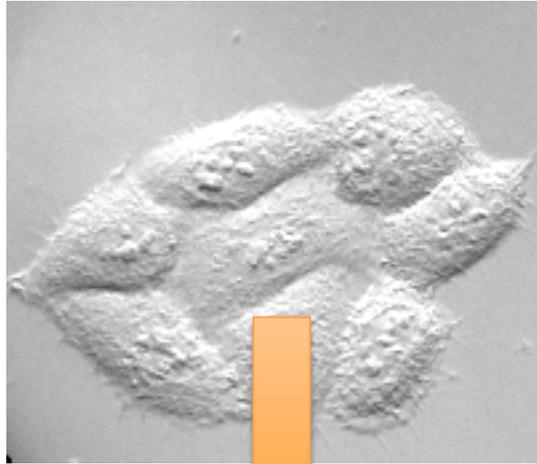
# 発がん率

いろいろとデータはあるが、一例

+ 0.5 % / 100 mSv

平成26年(2014)人口動態統計の年間推計(厚生労働省)  
日本人の死因のうち、癌によるもの (悪性新生物)

28.4 % この値に上乘せ 28.9 %



修復の失敗

細胞死も起こらない

NK細胞も取り逃がした

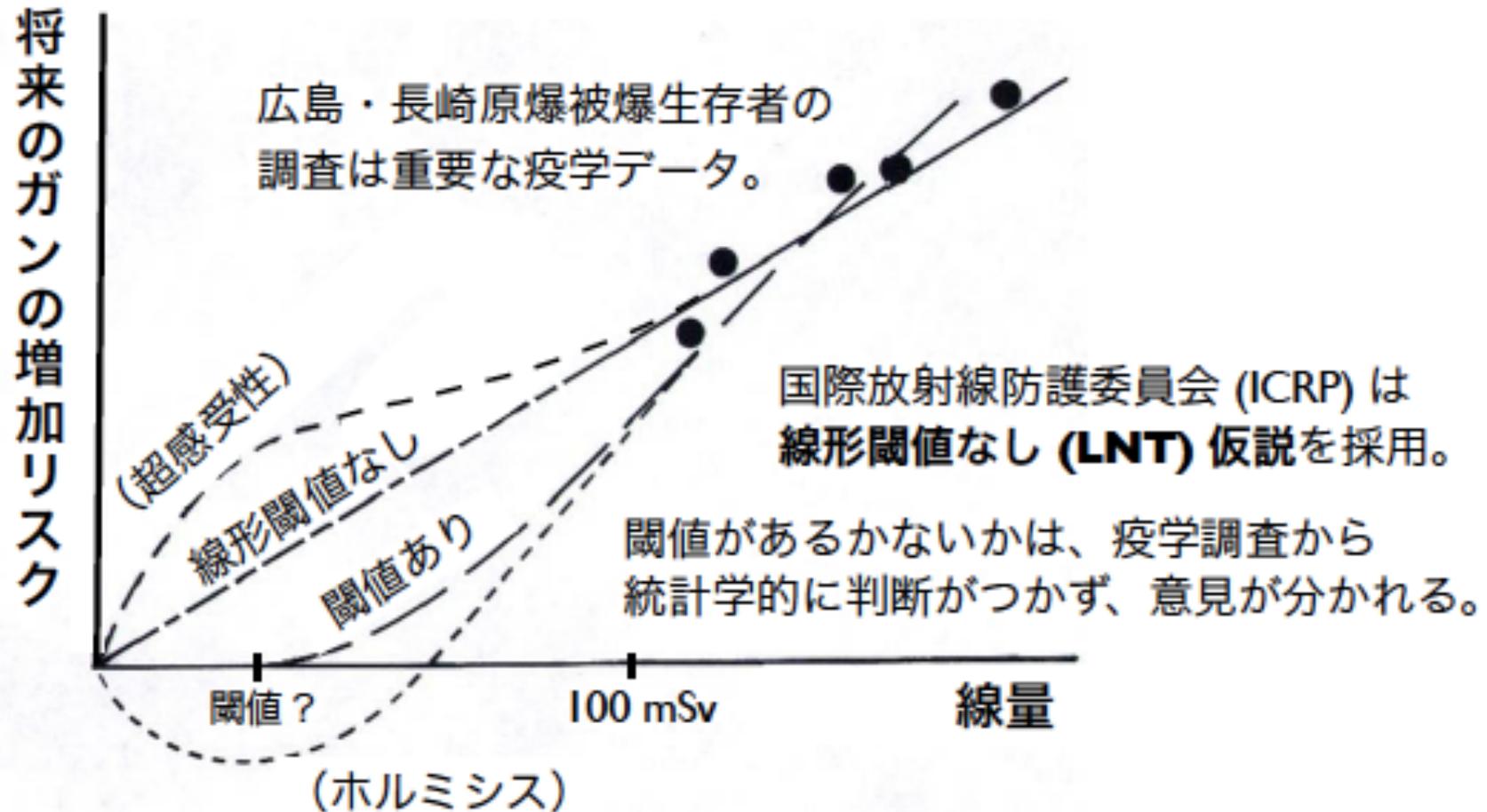
28.4 %

28.9 %

+ 0.5% / 100 mSv

# + 0.5 % / 100 mSv の根拠

## 低線量におけるリスク評価



線形 (比例関係) を想定

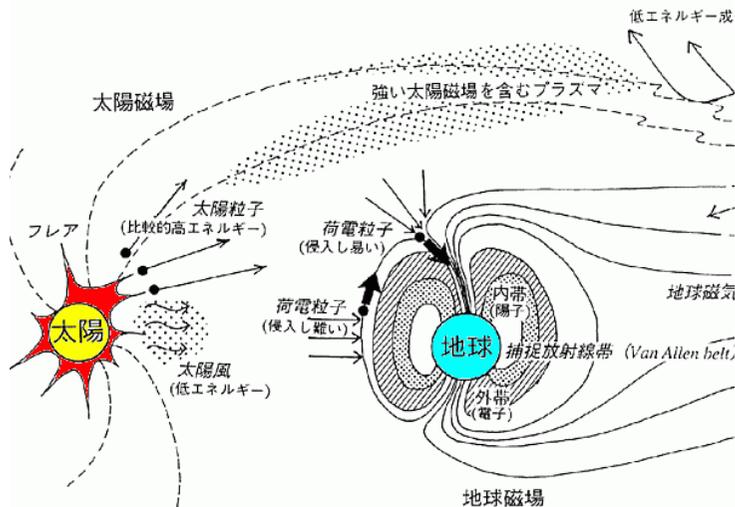


図1 宇宙放射線環境の構造

[出典] 藤高 和信: 宇宙環境の放射線、日本原子力学会誌

OPEN

## Apollo Lunar Astronauts Show Higher Cardiovascular Disease Mortality: Possible Deep Space Radiation Effects on the Vascular Endothelium

Received: 09 May 2016  
Accepted: 22 June 2016  
Published: 28 July 2016

Michael D. Delp<sup>1</sup>, Jacqueline M. Charvat<sup>2</sup>, Charles L. Limoli<sup>3</sup>, Ruth K. Globus<sup>4</sup> & Payal Ghosh<sup>1</sup>

Sci. Rep. 6:29901 (2016)  
DOI:10.1038/srep29901

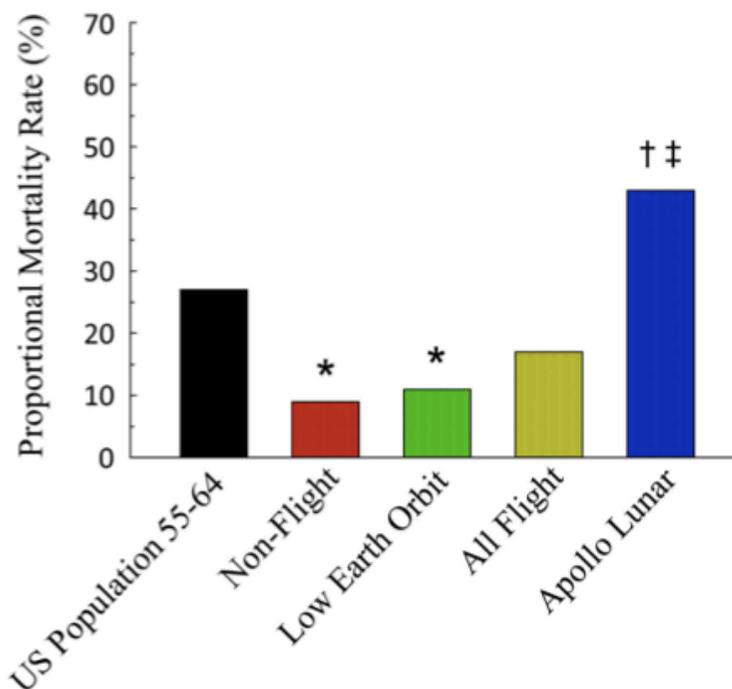


Figure 1. The proportional mortality rate due to cardiovascular disease in the United States among individuals age 55–64 years, non-flight astronauts, astronauts that flew only low Earth orbit missions, all flight astronauts, and Apollo astronauts that flew missions to the Moon. \*Significantly different from the

## 出てくる議論の例

線形関係とは限らないのではないのか

超感受性であることは否定されていない

可能性はゼロではない

すぐには影響はでませんというのは  
いつかは出るということか

# 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



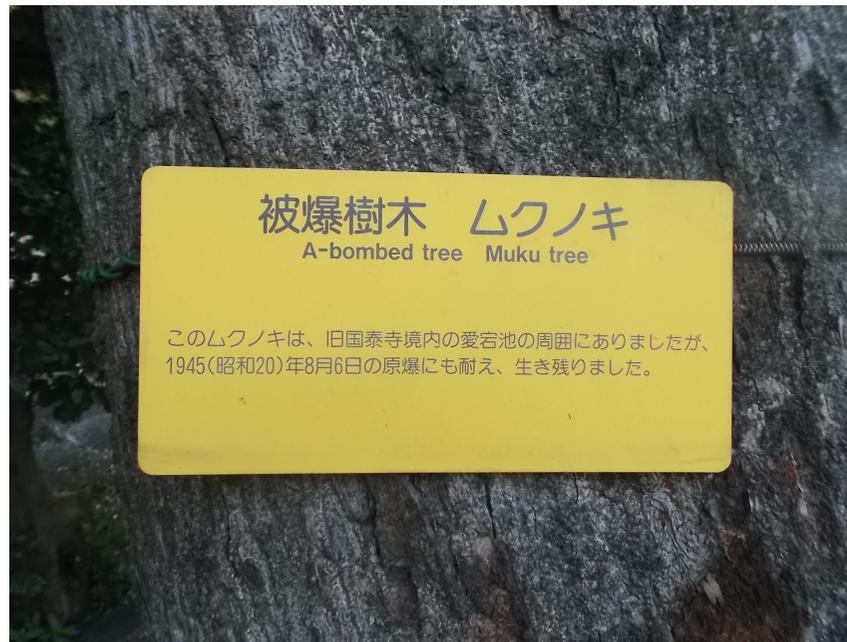
@長崎市蛭茶屋

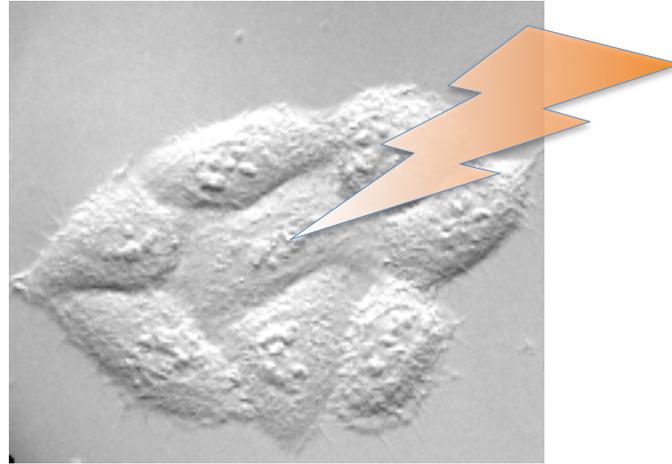
# F1周辺の視察の後に受けた質問： 居住制限地域に変な植物があらわれていませんか？



人里でのバランスが崩れたために、  
道や圃場にそれまで生えることの  
なかった植物がでてきてはいた

# 広島爆心中心で生き残った植物もいる



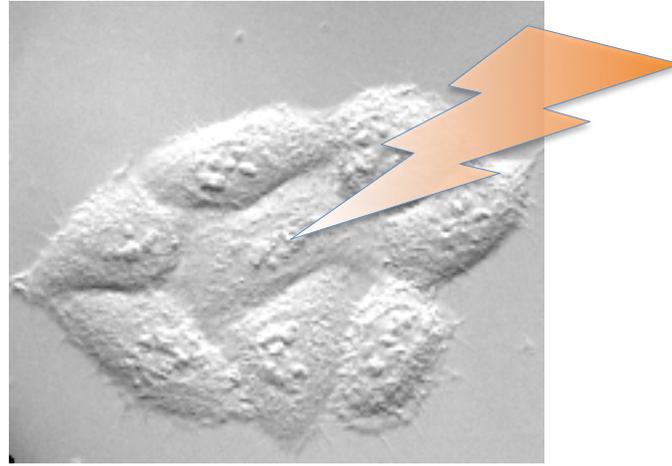


修復の失敗

細胞死も起こらない

NK細胞も取り逃がした

がん細胞が残りにくいようにこうした機能を  
高めることを考えることは現実的に重要



## 発がんリスク

たばこ	1.6倍
酒(2-3合/日)	1.4倍
やせすぎ	1.29倍
肥満	1.22倍
運動不足	1.15-1.19倍
高塩分食品	1.11-1.15倍
野菜不足	1.06倍

修復能の亢進

癌細胞の細胞死誘導

NK細胞の能力亢進

# 生物レポート課題1

福島第一原発事故の後、行なわれている様々な行政対応の例を以下に挙げる。それぞれについて放射線防護の基本に沿ってその意味を説明せよ。

- 避難指示区域の設定(帰還困難区域、居住制限区域、避難指示解除準備区域)
- 県民健康調査、健康支援、心のケア
- 除染作業、仮置場
- 水・食品などの放射性物質の検査