

東京顕微鏡院

食と環境のセミナー「放射性物質と内部被ばくを考える」

平成24年6月1日、日本橋公会堂、東京

「低線量被曝の健康影響」

-福島原発事故を自分で正しく判断し
正しく行動するために



渡邊正己

京都大学・名誉教授

京都大学・放射線生物研究センター・特任教授

(msm@orange.plala.or.jp)

日本放射線影響学会

福島原発事故対応プログラム



日本放射線影響学会
THE JAPAN RADIATION RESEARCH SOCIETY

○日本放射線影響学会とは？

- (1) 昭和29年ビキニ水爆実験に伴う第五福竜丸事件を契機に昭和34年設立。
- (2) **放射線の人体と環境に与える影響を研究**する世界最大級の科学者集団
で会員は、およそ1,000名。

○活動の内容は？

- (1) Q&A 質問窓口：受付アドレス：gimon@rri.kyoto-u.ac.jp
- (2) Q&A HP：<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jrr/gimon/gimon.html>
平成23年3月18日開設 対応メンバー 28名
- (3) Q&A 講演会：平成23年9月より28回実施、3回実施予定。
平成23年9月5日活動開始 対応メンバー11名

○活動目的は？

- (1) 少人数(30～40名)グループを対象とし、複数の専門家を派遣する質疑応答を重視した開催費無料の勉強会⇒情報難民を無くすため

平成24年度支援団体等：

京都大学、高エネルギー加速器研究機構、科学技術振興機構、公益財団法人 ひと・健康・未来研究 財団、日本コルマー株式会社、株式会社富士通テン、福島県女性経営者プラザ

福島原発対応Q&A講演会担当者

(平成24年5月現在11名)

宇佐美徳子 (高エネルギー加速器研究機構・講師)
小野哲也 (東北大学 大学院医学系研究科・教授)
島田義也 (放射線医学総合研究所・プロジェクトリーダー)
鈴木啓司 (長崎大学 医歯薬学総合研究科・准教授)
松田尚樹 (長崎大学 先端生命科学研究支援センター・教授)
松本英樹 (福井大学 高エネルギー医学研究センター・准教授)
松本義久 (東京工業大学 原子炉工学研究所物質工学部門・准教授)
田内 広 (茨城大学 理学部 理学科 生物科学コース・教授)
立花 章 (茨城大学 理学部 理学科 生物科学コース・教授)
三谷啓志 (東京大学 大学院新領域創成科学研究科・教授)
渡邊正己 (京都大学・名誉教授 放射線生物研究センター)

(*青表記は、本日の講演者)

目の前のリスクに関する情報は正確に伝わらないことが多い

- 情報は、「流し手の知識と価値観」と「受け手の知識と価値観」で伝わる内容が変わる。
- それを回避するための王道はなく
原子力や放射線について
 - ・ 互いの**知識**を高める ⇒ 教育
 - ・ 互いの**価値観**を認める ⇒ 信頼
 - ・ 互いに**会話(質問)**する ⇒ 相互理解
- 信頼できる社会形成に参加する
⇒

社会構成員としての責任

1.とりあえず 放射線は何かを知ろう

放射線が引き起こす現象は、日常目の前で起きている現象と同じように理解することができない現象を含む。

⇒量子科学



ヴェルヘルム・コンラット・レントゲン(1845-1923) 物理学者。
1901年ノーベル物理学賞

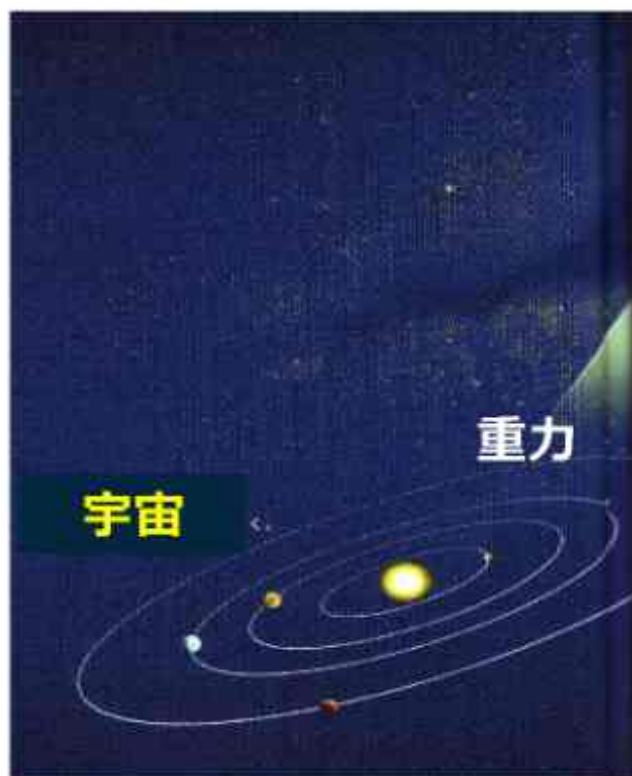


マリア・スクウォドフスカ・キュリ (1867-1934)
物理学者。
1903年ノーベル物理学賞
1911年ノーベル化学賞

原子はビッグバンから生じた

不思議

エネルギーが物質
に変わる??



原子とはどんなものなのか？

素粒子

原子

核子

陽子

中性子

電子



-----正に荷電 (1Da*)

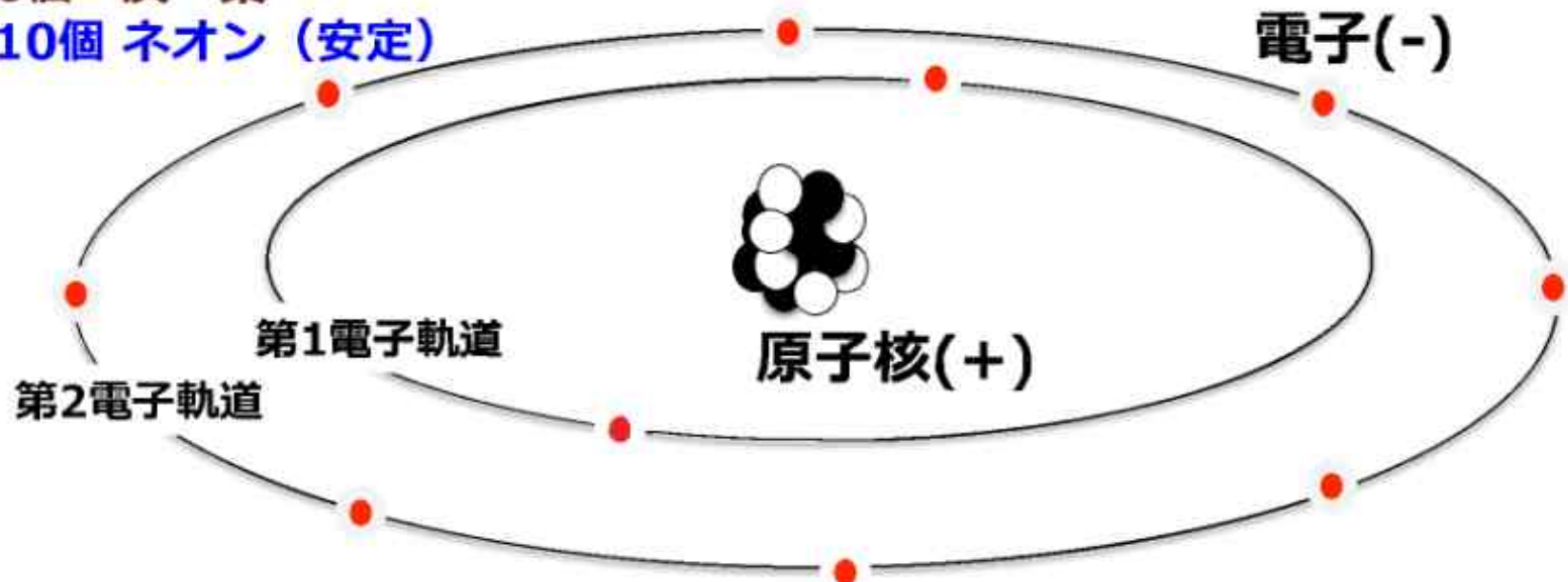
-----電荷なし (1Da)

-----負に荷電 (0.00054 Da)

(*1 Da=1.66x10⁻²⁷ kg)

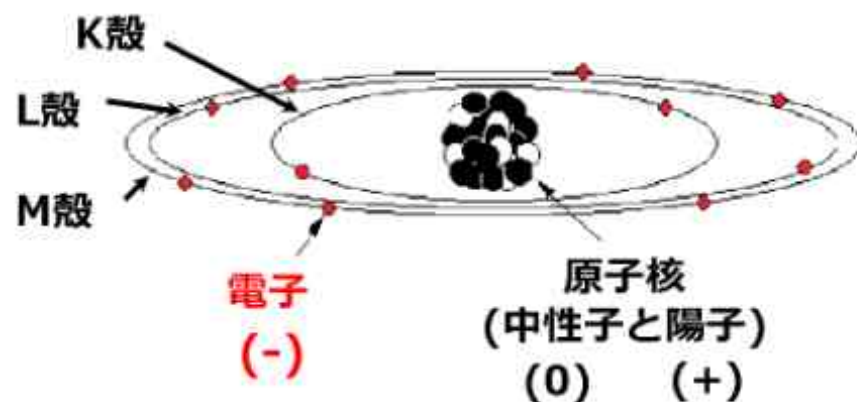
陽子1個 水 素
陽子2個 ヘリウム(安定)
陽子3個 リチウム
陽子6個 炭 素
陽子10個 ネオン (安定)

- 元素は電氣的に中性
- 軌道電子が満ちると安定



不思議2： 電氣的に陽電荷しかない原子核がなぜ反発しないで固まるのか？

原子の世界だけでしか見られない現象



質量(M)



核力(E)

⇒

質量がエネルギーに変化し
核子を結び付ける



湯川秀樹

1935年に陽子と中性子
を結びつける役割を
持つ中間子の存在を
予測

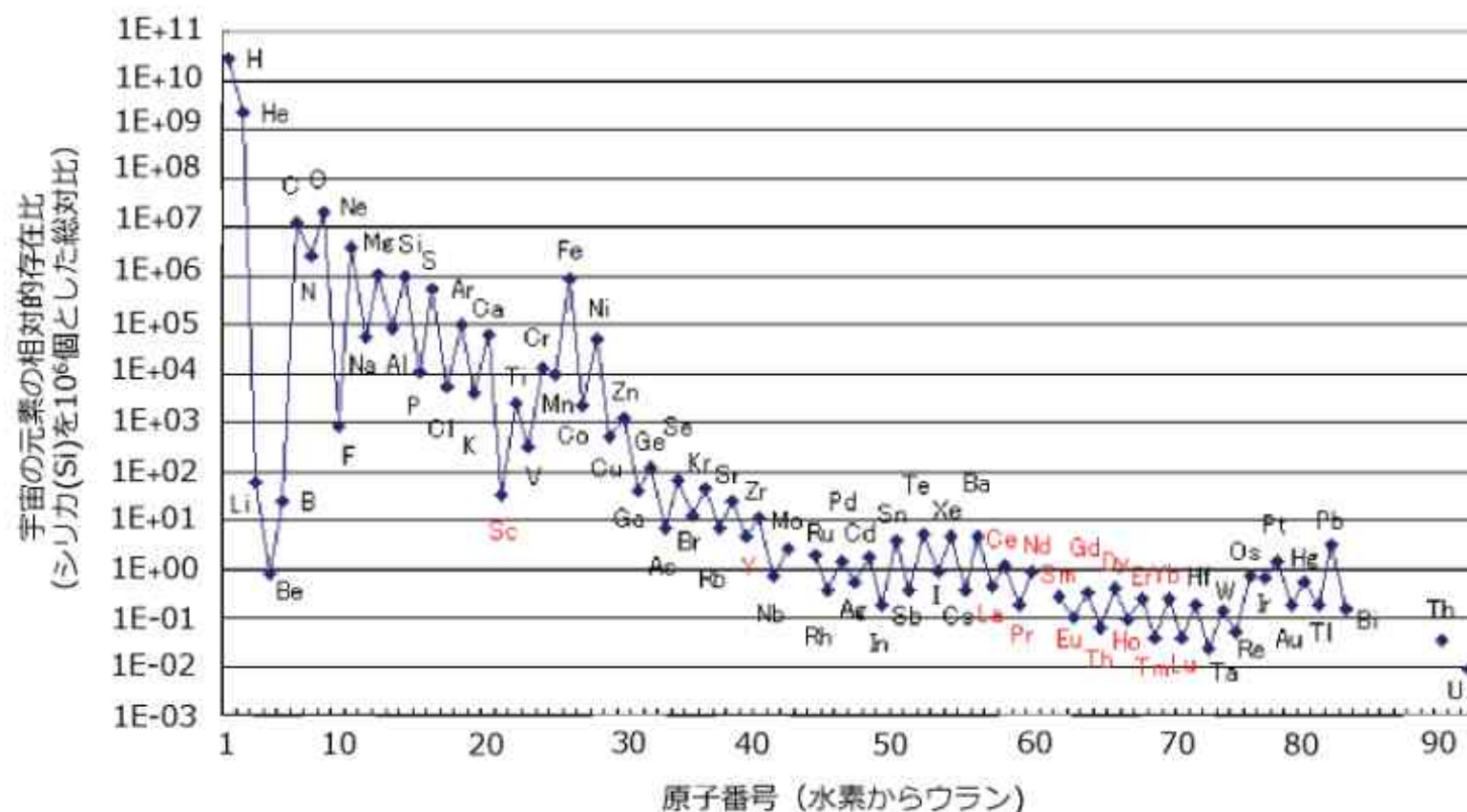
1949年ノーベル
物理学賞受賞

原子力の本体は原子
核を作っている結合
エネルギー (核力)

⇒エネルギーと物質は相互変換できる = 色則是空・空則是色

宇宙に存在する元素の種類と存在度

核融合を繰り返しながら92種の元素ができた



⇒万物は全て原子エネルギーからできている

原子の化学的性質はなにで決まるか？

- 陽子の総数が原子の種類を決める。
- 最外殻にある電子が化学反応を起こす。

元素

メンデレーエフの周期律表

自然界には92種類の原子と
19種類の人工原子がある

1																	18	
1 H	2 He																	
3 Li	4 Be												5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg												13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	*1	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	*2	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo	

ストロンチウムは
アルカリ土類金属元素。
カルシウムに似ている。

セシウム
はアルカリ
金属元素。
カリウムや
ナトリウム
に似ている。

第一電子軌道(2)
第二電子軌道(8)
第三電子軌道(8)
第四電子軌道(18)
第五電子軌道(18)
第六電子軌道(18)

ヨウ素は
ハロゲン元素。
最も外殻の
成分。

- アルカリ金属
- アルカリ土類
- ハロゲン
- 希ガス
- 遷移元素

*1 ランタノイド:	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
*2 アクチノイド:	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

2.放射線は原子から飛び出す 高いエネルギーを持った エネルギーか粒子

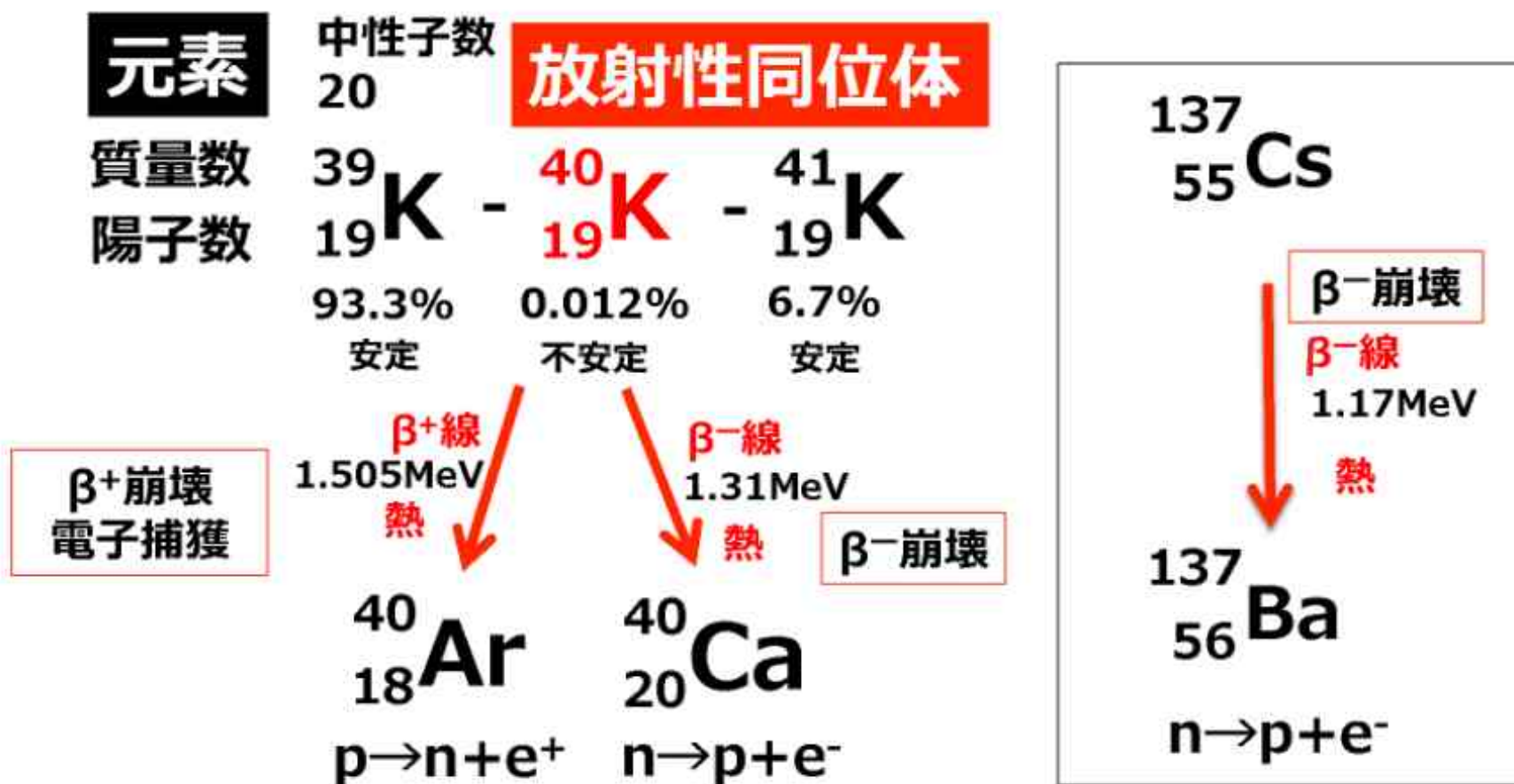
原子はいつまでも
そのままではいな
い。そして壊れて
飛び出した素粒子
やエネルギーが放
射線である。



ラファエロの爆発する頭
ダリ 1951年

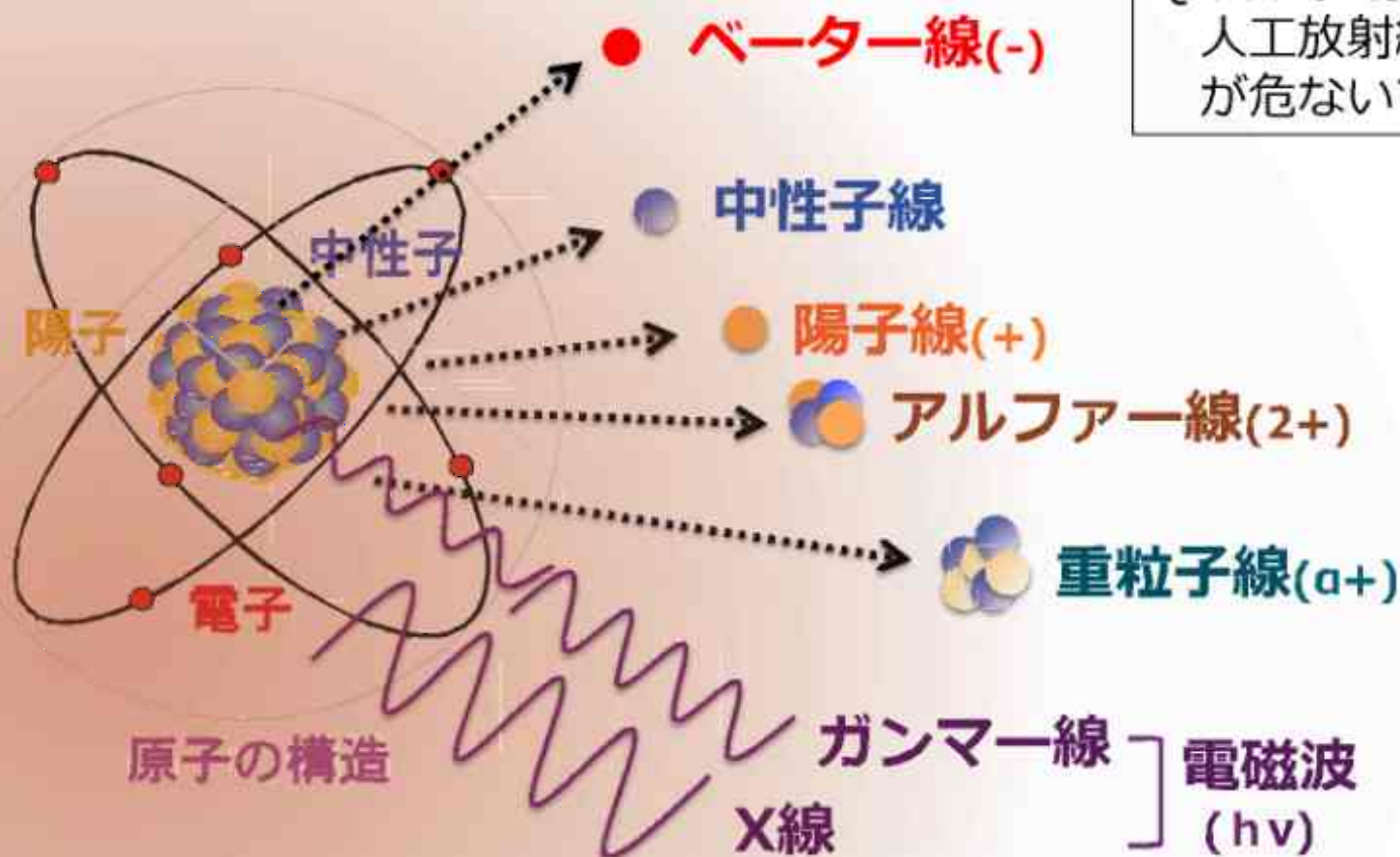
原子の放射性崩壊とは？

- 陽子と中性子の数のバランスが悪い原子核は不安定。
- 不安定な原子核は安定になるように陽子と中性子のバランスを変え放射線と熱を出す。⇒放射性崩壊



放射性崩壊時に**原子の構成粒子**および**エネルギー**が**放射線**として飛び出す

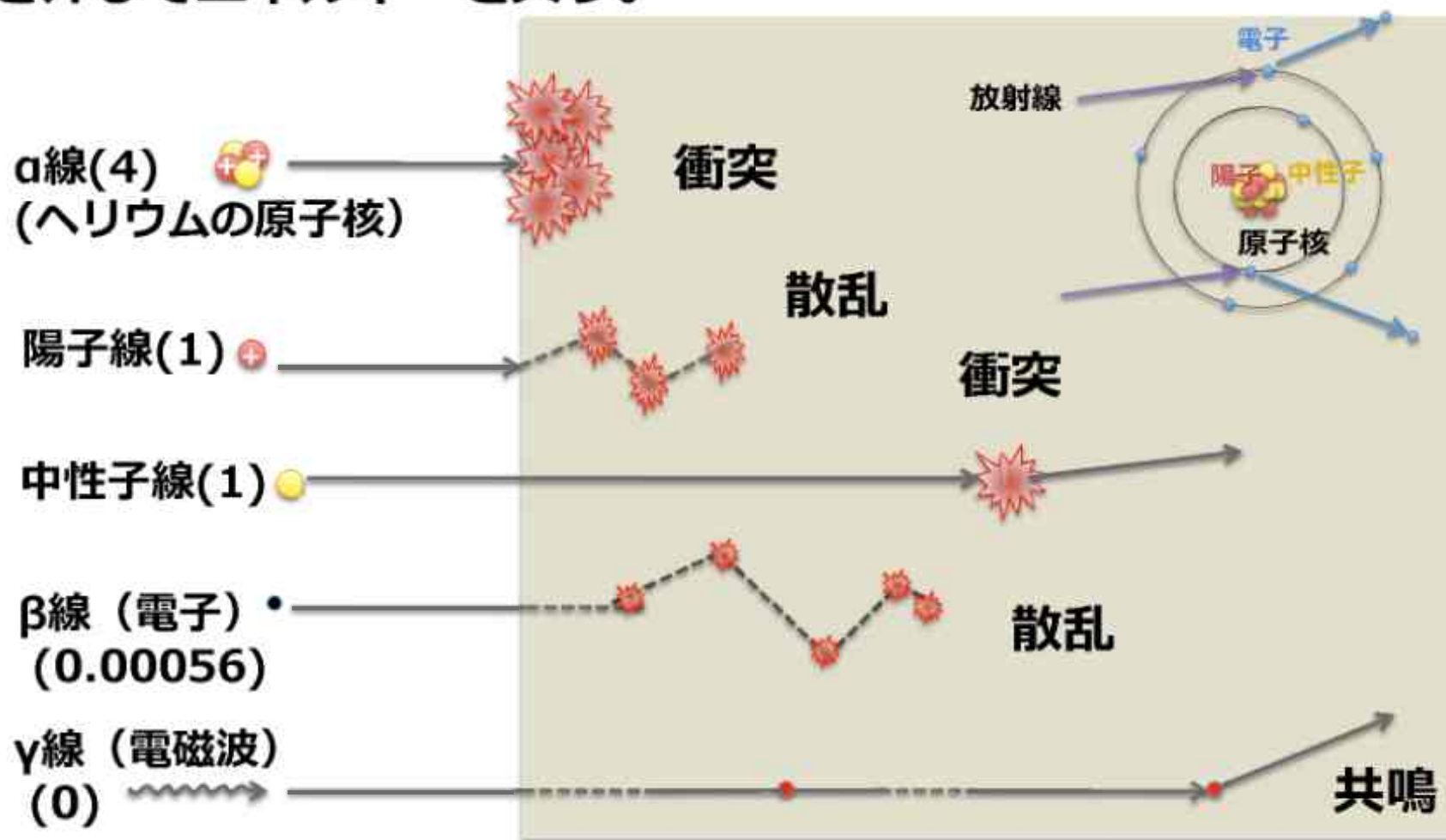
Q: 自然放射線より
人工放射線の方が
危ないですか？



崩壊熱

放射線は物質にどのように作用するか？

- 放射線は物質を構成する原子と**衝突**、**散乱**あるいは**共鳴(共振)**を介してエネルギーを失う。



Q: 線量(Gy)を実効線量(Sv)に換算する意味はなにですか？

放射線を測る

Q：放射線測定器は全ての種類の放射線を図ることができる？



画像：日立アロカメディカル（株）

GM（ガイガー・ミュラー）
サーベイメーター

検出面積が大きいものは**表面汚染測定用**
 β 線、 γ 線の両方を測定
放射性物質の区別は不可



シンチレーション式
サーベイメーター

空間線量率の測定
低線量に感度が良い



ゲルマニウム半導体検出器

食品や空気中の放射性物質
の分析高感度、放射性物質
を区別できる

ガラスバッジ
クイクセルバッジ（個人線量計）
個人の積算被ばく量を測る
値は直読できない検出限界
は $\sim 0.01\text{mSv}$ ($10\mu\text{Sv}$)



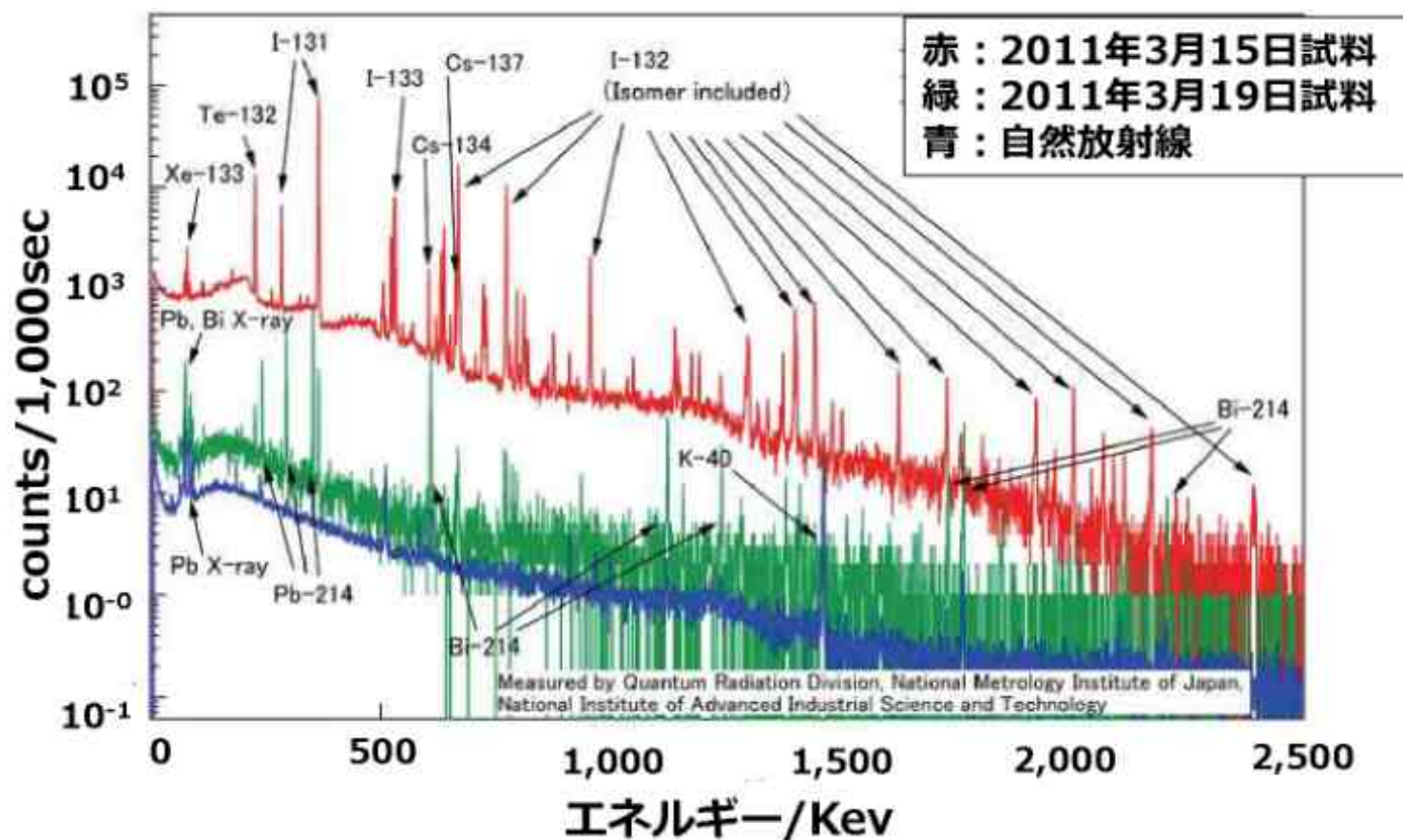
画像：千代田テクノル

GIII型ガラスバッジ

Q:放射性物質の種類はどのように測れますか？

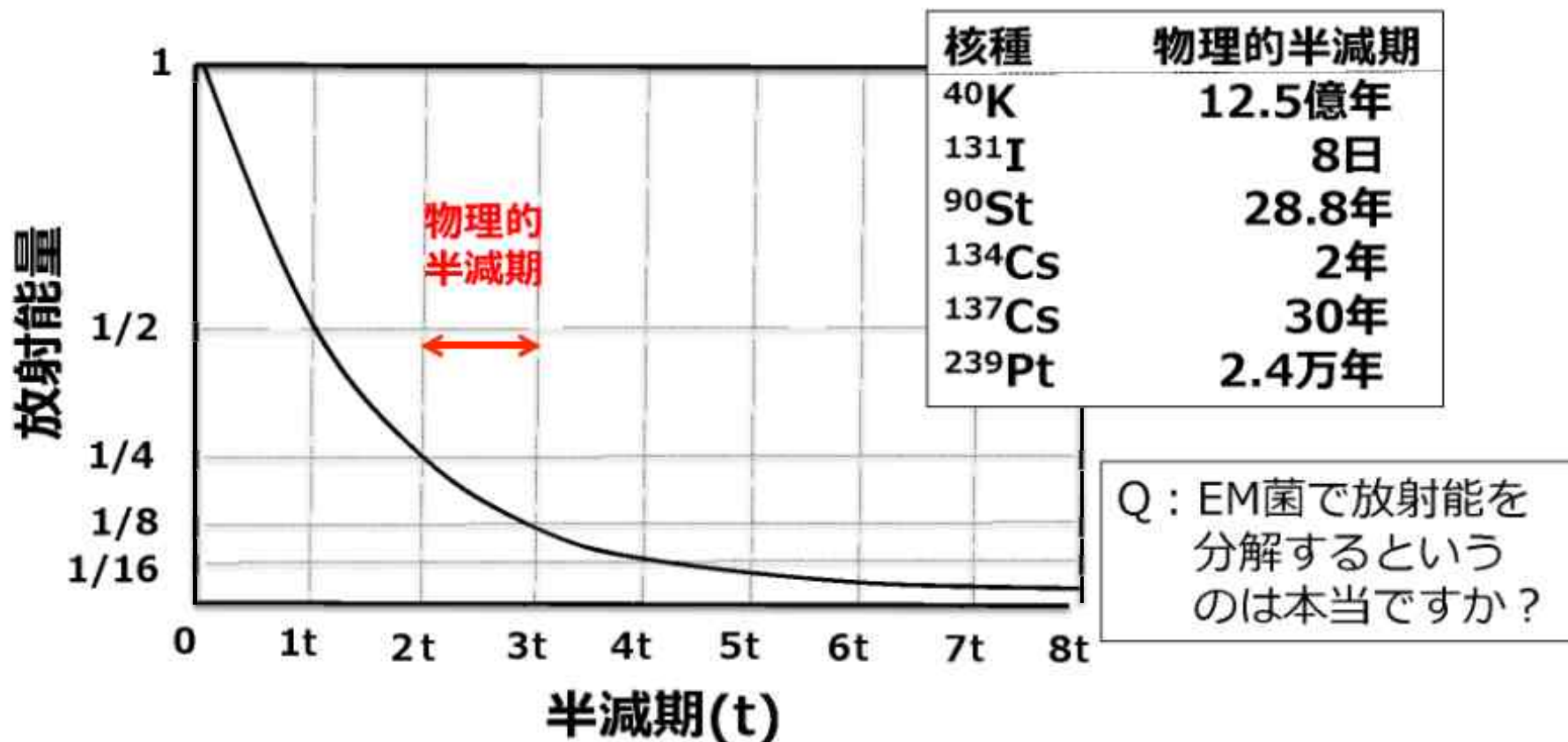
⇒ガンマー線スペクトラム計で放射性物質の種類を同定できる

福島原発事故による降下物からの放射線エネルギースペクトル



(産総研つくばセンターで測定)

放射性崩壊速度はいかなる環境条件に影響されない-物理的半減期は一定



- ・放射性崩壊の速度(物理的半減期)は、圧力、温度など環境条件に影響されず一定。

自然界には様々な放射性元素が存在しそれ由来の放射線が存在する

自然界に存在する放射性同位元素と半減期

ウラン238	45億年
ウラン235	7億年
トリウム232	140.5億年
ラジウム226	1,600年
ラドン222	3.8日
カリウム40	12.5億年
炭素14	5,730年

地球が出来た時に生成した長寿命放射性核種などが残っている。

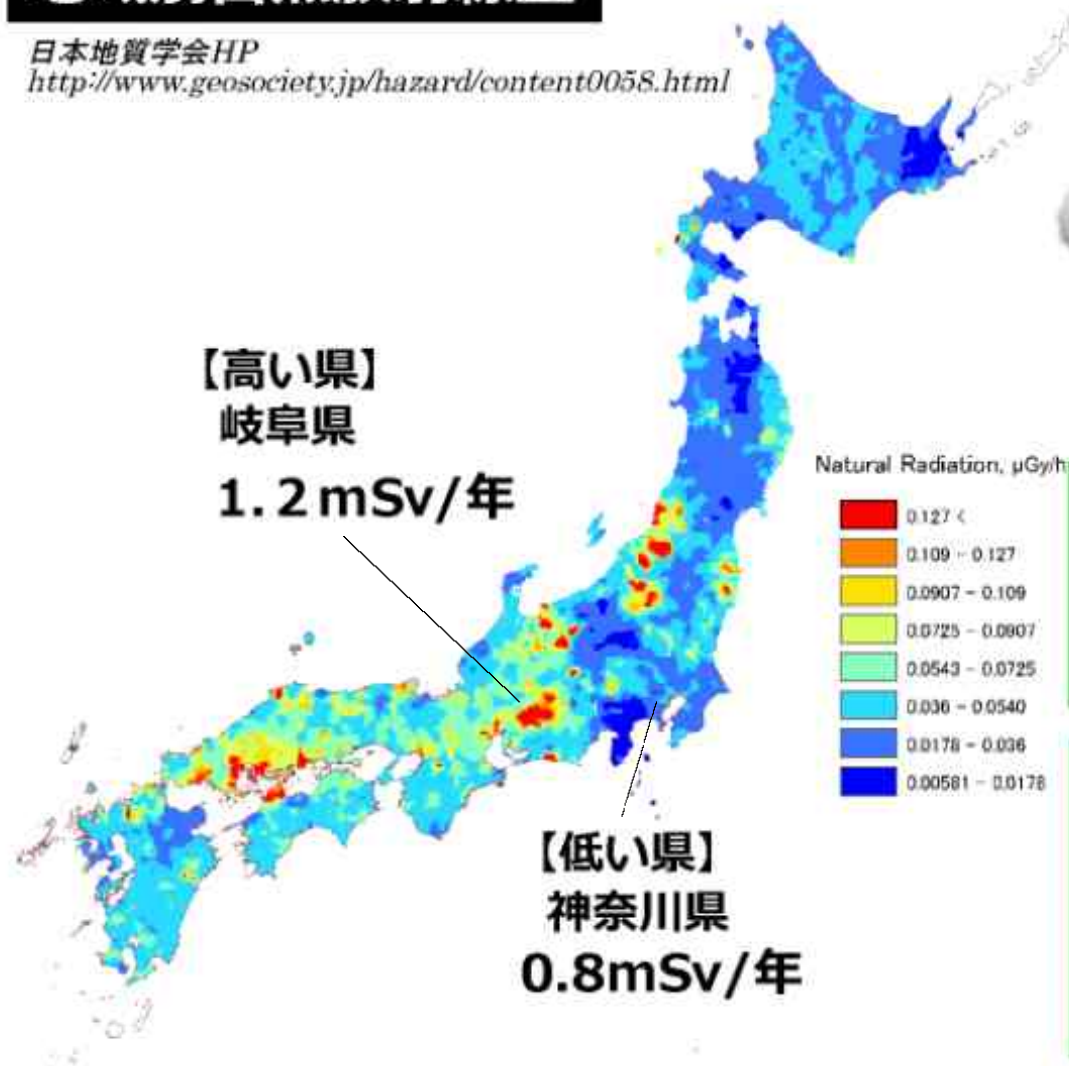


日本の自然放射線の地域差

地域別自然放射線量

日本地質学会HP

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

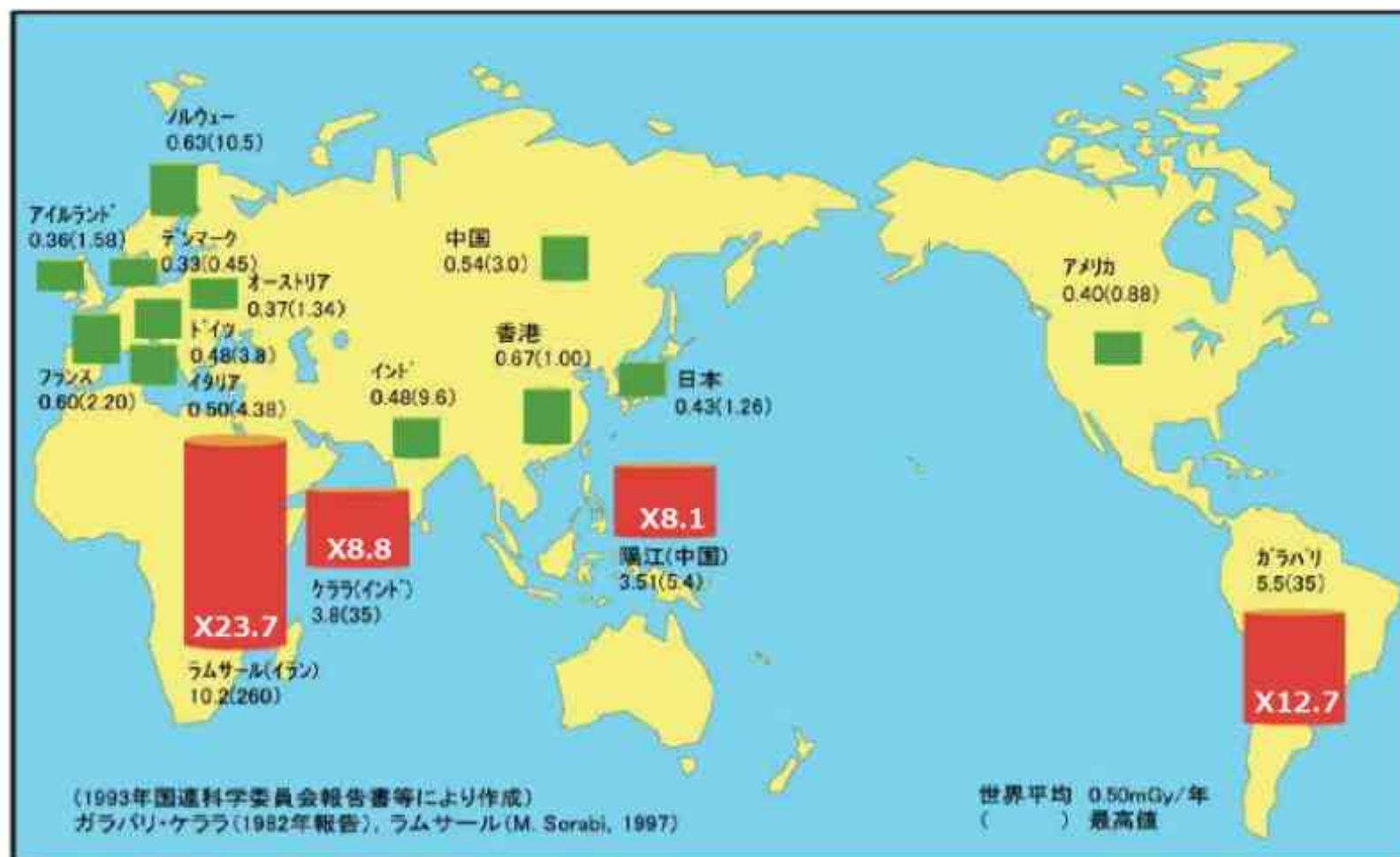


引越しすると...

神奈川県→岐阜県
年間約0.4mSv増加！
生涯で28mSv！

神奈川県→デンバー
(4mSv/年)
年間約3.2mSv増加！
生涯で224mSv！

大地から受ける年間自然放射線量



(財)体質研究会ホームページより 近畿大学 森嶋彌重先生作成

食品(生き物の体)には、当然、放射性物質が含まれている

食品名	カリウム40 の放射能量 (Bq/kg)
干こんぶ	2,000
干しいたけ	700
ポテトチップ	400
ほうれん草	200
生わかめ	200
牛肉・魚	100
牛乳	50
食パン・米	30
ビール	10



100Bq/日

120Bq/kg体重

- Q:食品の新基準値 100Bq/kgは適切ですか?
- Q:食品の放射能汚染ゼロ宣言は適切ですか?
- Q:各地における瓦礫焼却の基準は適切ですか?

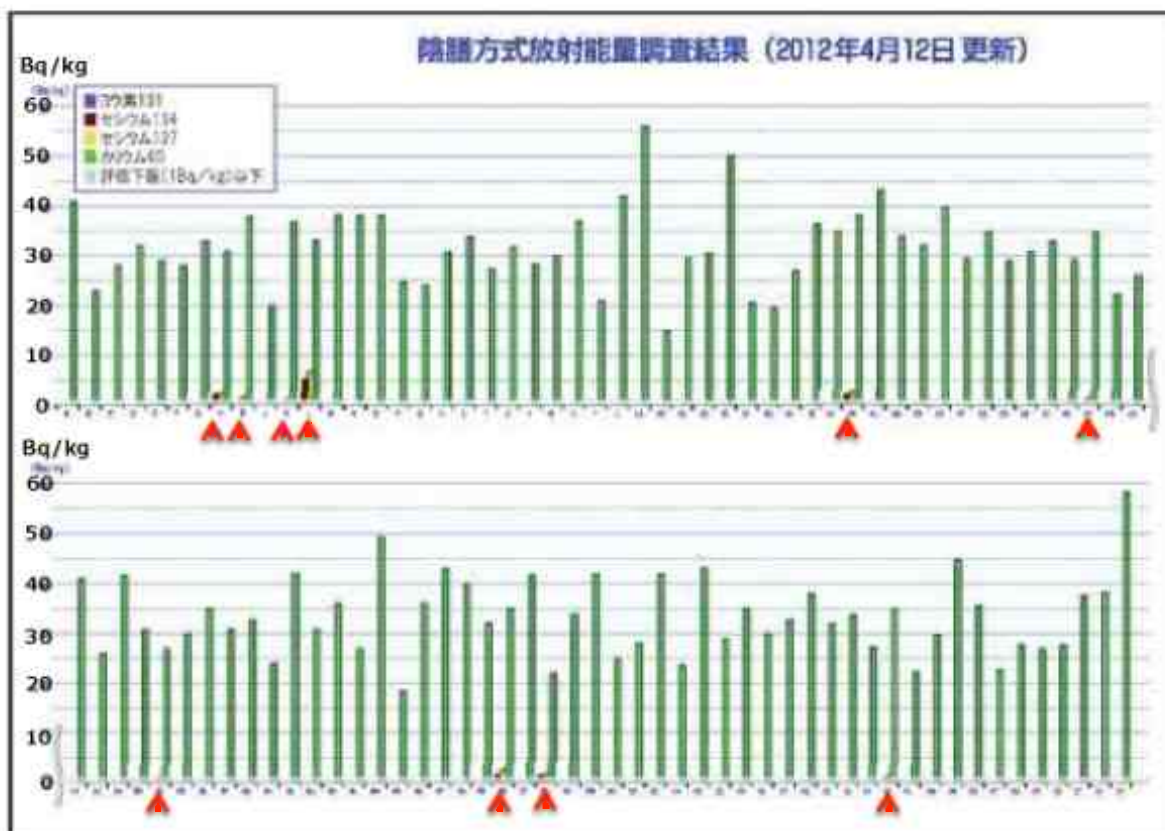
コープふくしまの試み

- 100家族を対象に陰膳方式で放射能汚染を観測
- 解析の終わった100家族のうち1Bq/kg以上のセシウム134/137を検出したのは10世帯の食事
- 最高で11.7Bq(Cs134、6.7Bq/kg ; Cs137、5Bq/kg)
⇒年間被ばく線量は0.14mSv以下

放射性物質の種類と量を知ることが重要

内部被ばく（経口）
の換算係数($\mu\text{Sv/Bq}$)
Cs-137 0.013
K-40 0.0062

⇒CsはKのおおよそ2
倍の健康影響を及ぼす



3. 福島原発でなにが起きたのか？

残存している放射性物質の量と種類から事故の状況が判り、注意すべき生体影響を予想することができる。



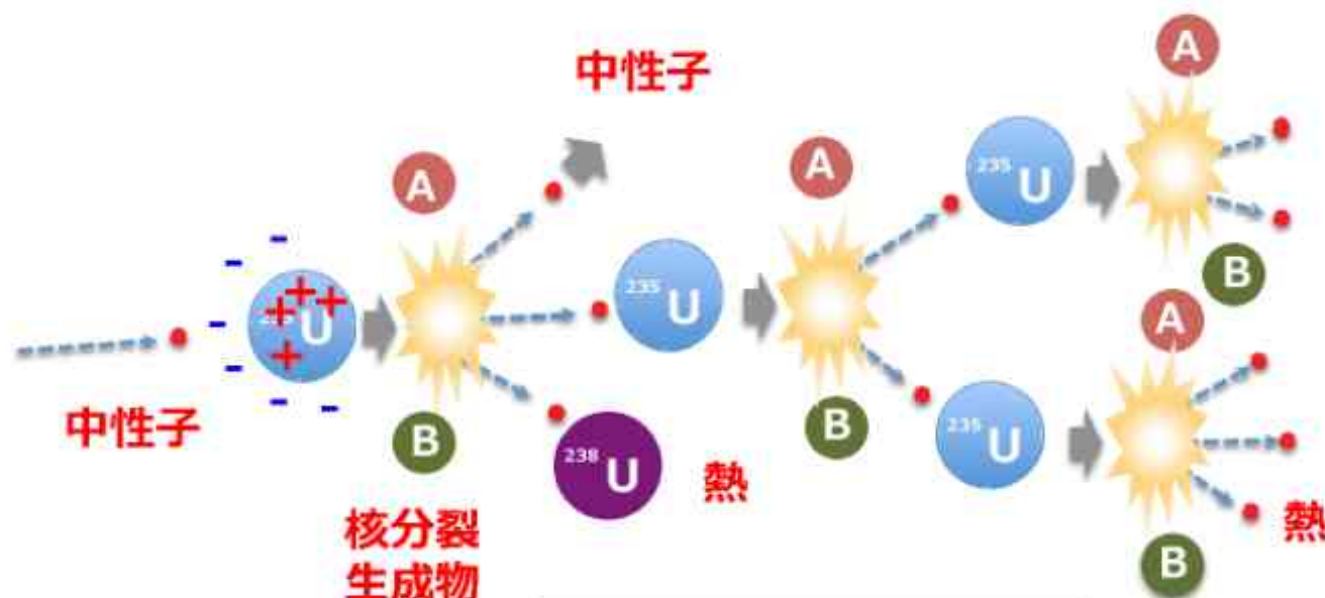
⇒チェルノブイリの場合とかなり様相が違う。

原子炉内で起きていることー原子核分裂

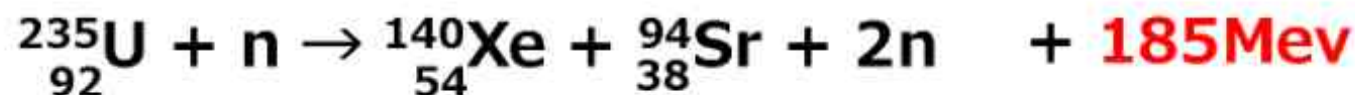
中性子には電荷がないので電子、陽子との間で電氣的斥力が働かず、原子核にぶつかりやすい。



1938年
熱中性子線の発見
/Eフェルミ



核分裂連鎖反応



核力の解放

4,000万倍

化学反応 (電子移動で原子の結合や切断が起きる反応)

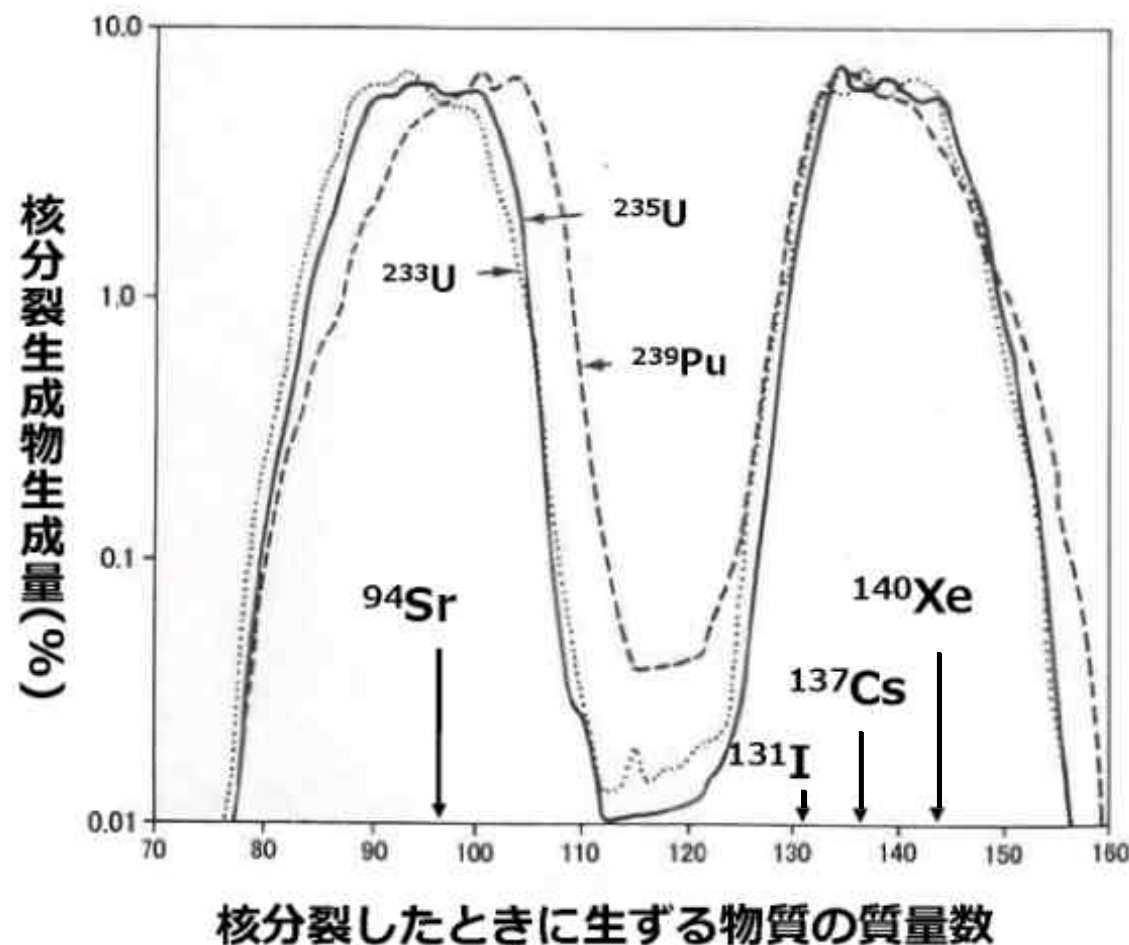


原子炉中には様々な核分裂生成物ができる



(平成23年3月14日午前11時に起きた3号機の水素爆発と煙)

Q:福島原発から放出された放射性プルームには何が含まれていたのか？



福島原発事故では放射性物質を含む元素数で約40種類、質量数で約100種が放出された。

同じ濃度のセシウム137で汚染された土壌における核種存在量の比較

核種	物理的 半減期	汚染濃度 (Bq/m ²)		壊変形式	沸点温度
		チェルノブイリ事故	福島原発事故		
I-131	8 日	3,800,000	3,200,000	β (γ)	184°C
Cs-134	2.1 年	102,000	170,000	β (γ)	671°C
Cs-136	13 日	74,000	24,000	β (γ)	
Cs-137	30 年	185,000	185,000	β (γ)	
Sr-89	50 日	250,000	500	β→β ⁻ (γ) : Y- ₈₉	1,382°C
Sr-90	28.8 年	20,000	150	β	
Te-129m	33 日	520,000	12,000 (~500,000)	β, IT (γ)	988°C
Pu-238	87.7 年	33	なし	α	3,228°C
Pu-238+Pu-240	6564 年	66	(0.008)	α	
Pu-241	14.3 年	6,200	なし	α	
Ag-110m	250 日	不明	550	β, IT (γ)	2,162°C
Cm-244	18.1 年	900	なし	α	3,110°C
Ru-103	39 日	360,000	微量 (?)	β (γ)	4,100°C
Ru-106	373 日	159,000	?	β	
Ba-140	12.7 日	520,000	微量 (?)	β (γ)	1,913°C

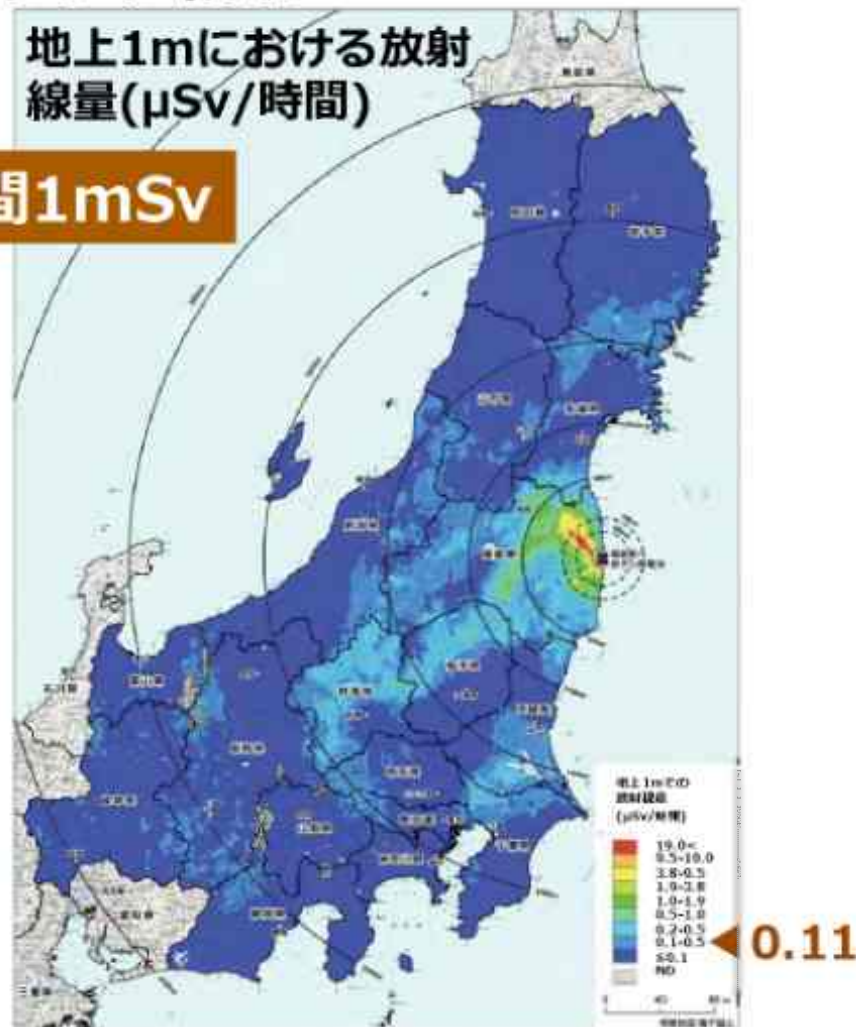
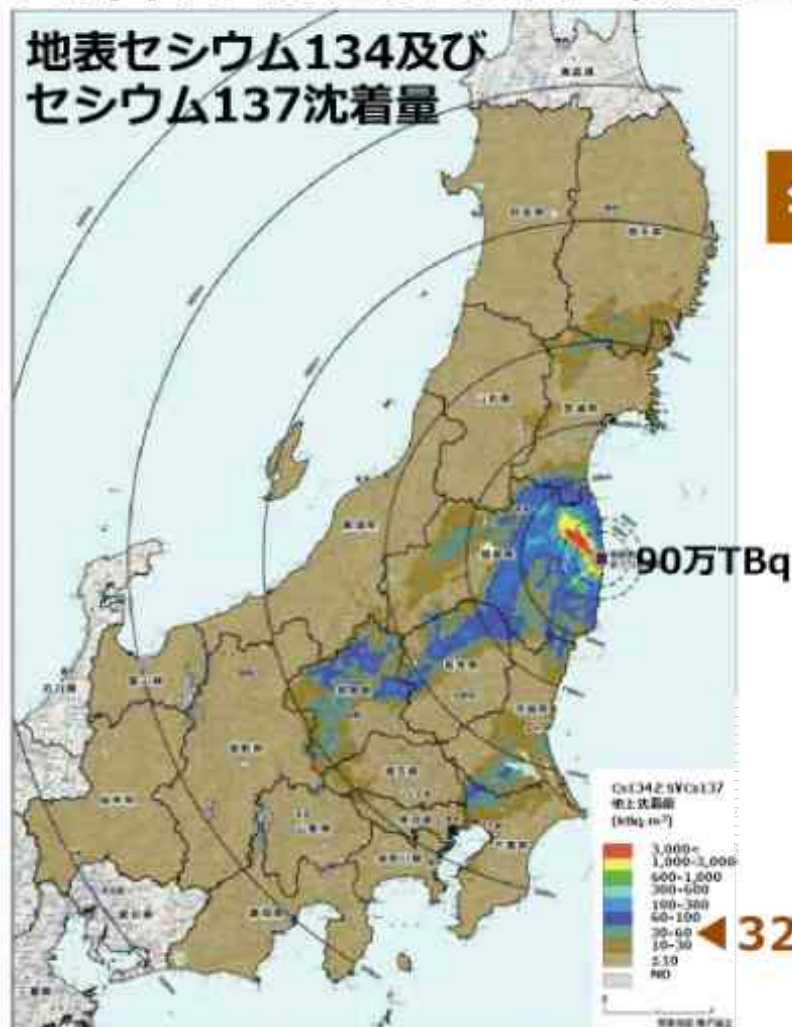
チェルノブイリの濃度はUNSCEAR報告書(2008)に基づく放出割合からの推測。福島事故の濃度は波江町周辺の土壌分析結果。

U 4,131°C

Q：福島ではなぜセシウムだけに注意が払われるのですか？

福島原発事故後の放射能汚染の現状

文部科学省による航空機モニタリング結果

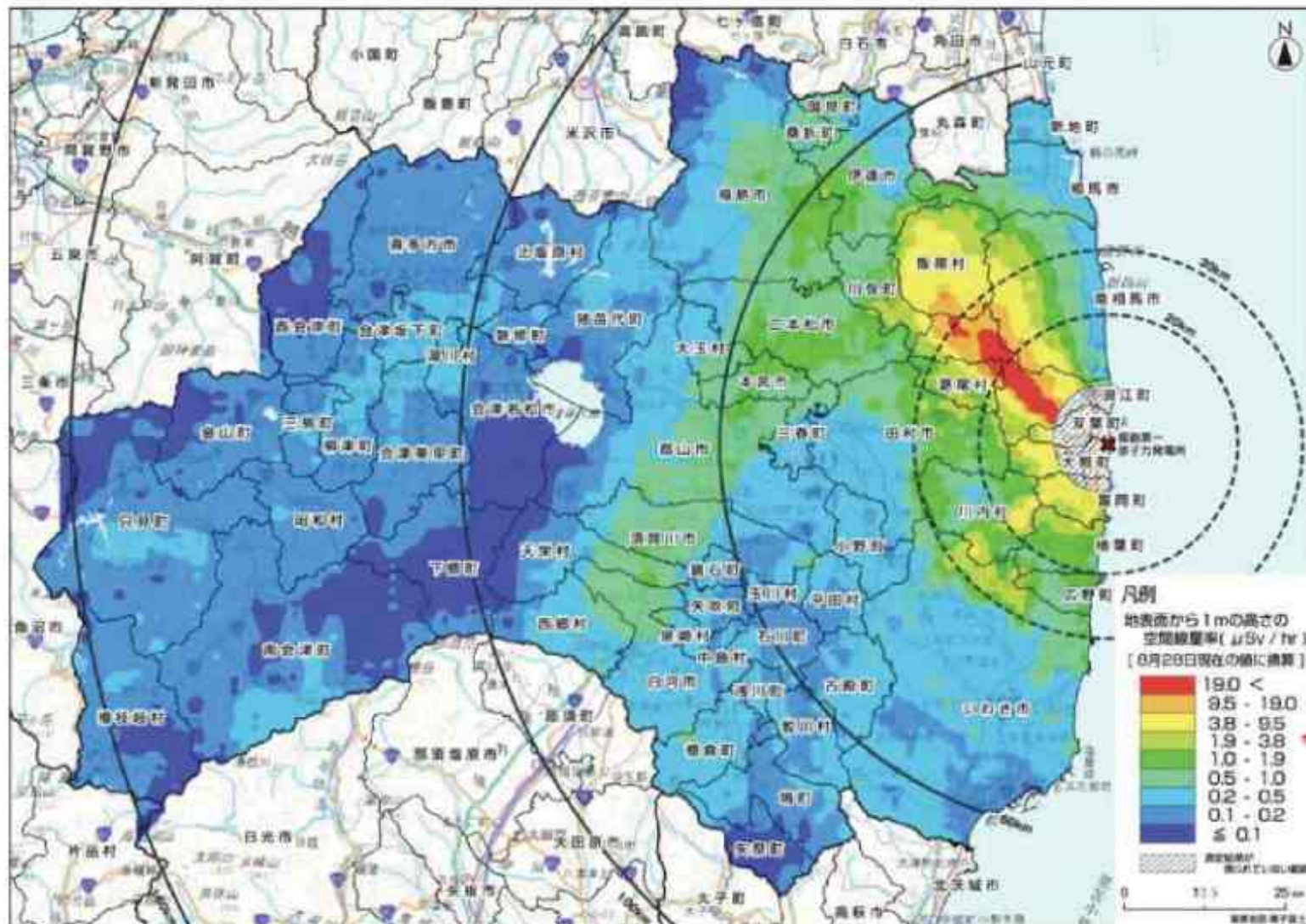


土壌セシウム濃度 (kBq/m²) = 276 × 空間線量率 (μSv/hr)

平成23年11月11日

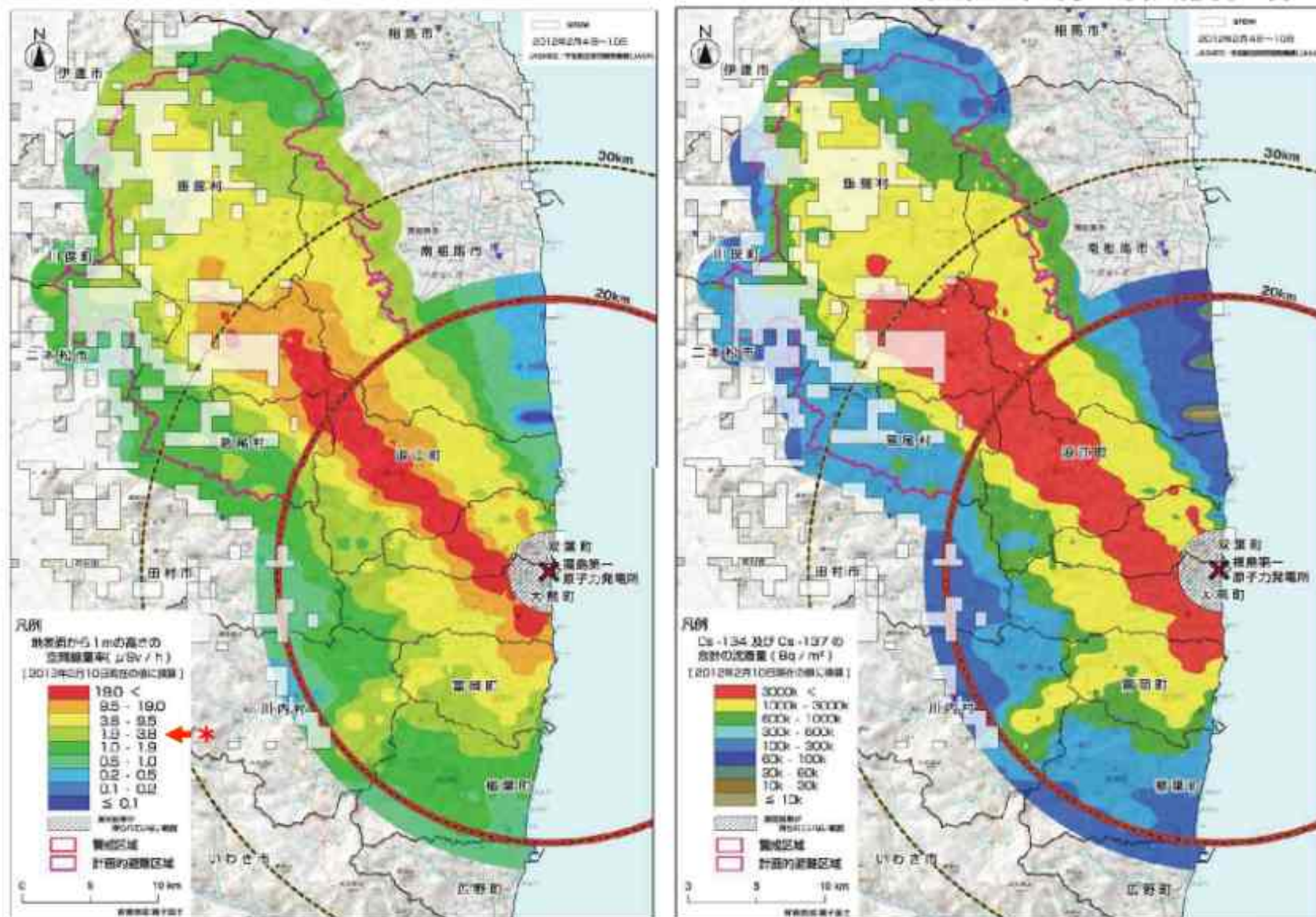
文部科学省による航空機モニタリング結果

地上1mにおける放射線量($\mu\text{Sv}/\text{時間}$)



警戒区域及び計画的避難区域における航空機モニタリングの結果

平成24年2月24日 文部科学省資料



★ 屋外で8時間、木造屋内で16時間を過ごすとして年間被ばく量が20mSvを越えない線量率(計画避難区域)

現在の状況

Q: 年間1~20mSvの被ばくはどのような健康影響を与えますか？

0.41mSv/年 + α ?

元からカリウム100Bq
ぐらいを毎日食べている

食物中の放射性物質：
自治体、農林水産省のHPで公開



宇宙線（宇宙からの放射線）

以前と変わらない

0.29mSv/年

今は空気中には原発からの放射性物質はない
元からあったラドンだけ（1日約300Bq）

0.4mSv/年



0.38 mSv/年 + 1.1mSv/年

セシウム134, 137 + 元からあった自然放射性物質

⇒1.5 mSv/年

放射線を被ばくする経路



外部被ばくと内部被ばく

外部被ばく



- ・体の外から放射線が来る
- ・透過力と飛距離の長い**ガンマ線**や**中性子線**が問題。

○防護法⇒時間と遮蔽と距離

内部被ばく



数ミクロンの飛程

- ・放射性核種を体に取り込むと細胞に取り込まれ長期間その細胞を照射し続けることになる。
- ・透過力の低い**α線**や**β線**源が問題

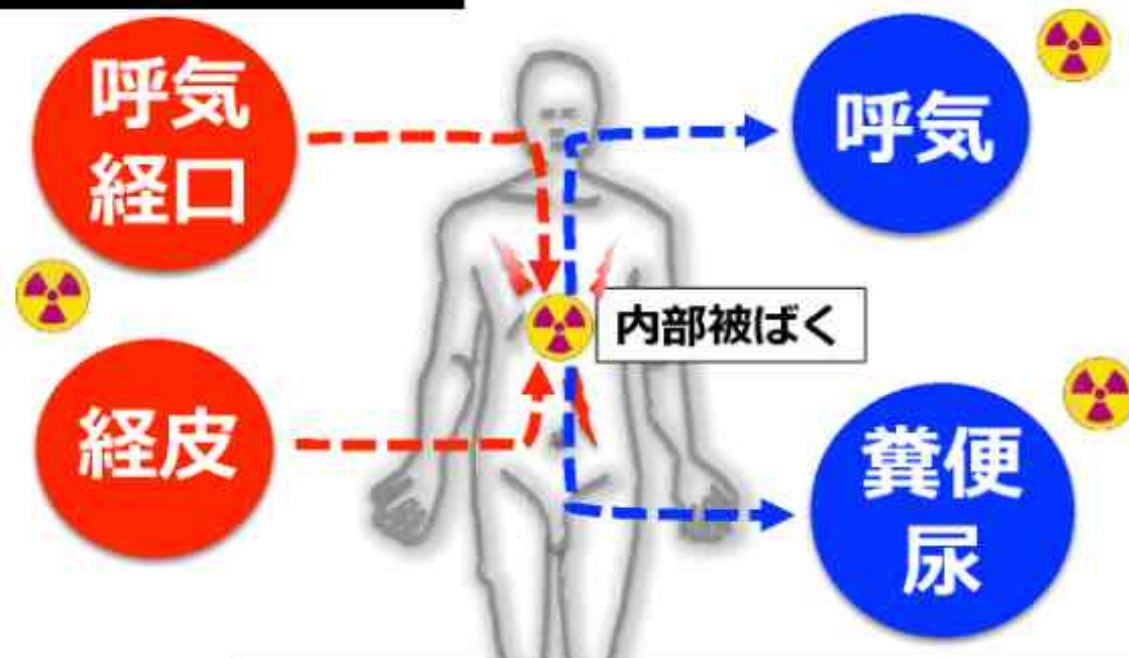
○防護法⇒摂取しないこと

Q：内部被ばくのほうが外部被ばくより危険ですか？

⇒等価線量(Sv)が同じならば内部被ばくも外部被ばくも生体影響の程度は同じ。

体内に取り込まれた放射性物質の動きは？

生物学的半減期



生物学的半減期
(体内滞留時間)に
影響する因子

- ・ 濃度
- ・ 生物学的親和性
- ・ 化学的親和性
- ・ 代謝活性
- ・ 年齢

($1/\text{実効半減期} = 1/\text{物理的半減期} + 1/\text{生物学的半減期}$)

核種	物理的半減期	生物学的半減期	実質的半減期
^{131}I	8日	~80日	7.3日
^{90}Sr	28.2年	50年	18.2年
^{137}Cs	30年	70日	72日
^{239}Pu	2.4万年	数10年	数10年

福島原発事故後、注意が必要なものは放射性ヨウ素と放射性セシウム

○放射性ヨウ素：

- ・半減期がおよそ8日間 事故後1年以上経て残存無し
- ・初期、放射性ヨウ素を含む牛乳や食品の流通はなかった
- ・推定体内被ばく量は、 $0.01 \sim 0.1 \mu\text{Sv}$ *

*いわき市、川俣町、飯館村で0から5歳の子供を対象に実施した結果による。内閣府 原子力被災者生活支援チーム医療班の発表資料(1,150名中45%で検出)

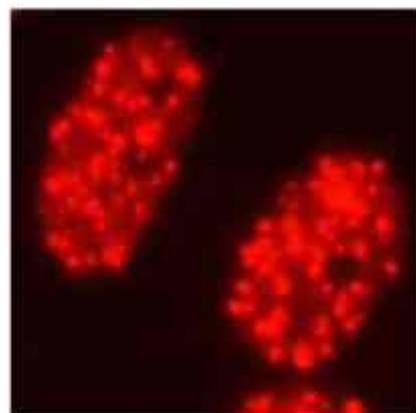
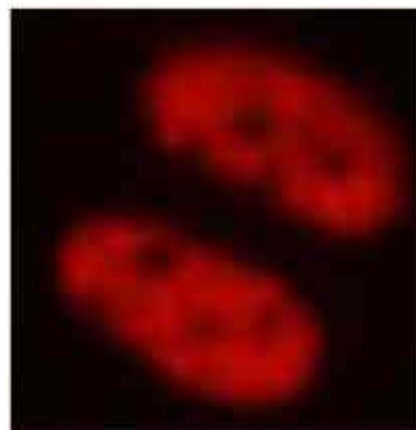
○放射性セシウム：

- ・Cs134/半減期2年 Cs137/半減期30年
- ・地上に降下するとアルミノケイ酸成分(ゼオライトと同じ)と結合し不溶性になる⇒水や植物への移行は極めて少ない

Q:福島の子供は甲状腺がんになるのですか？

4.放射線は生体にどのように作用するのか？

生物は地球上発誕生してから36億年以上の間放射線を始め様々な過酷なストレス（紫外線、化学物質、生物など）に攻撃されてきましたが、それに対応する能力を獲得してきた。



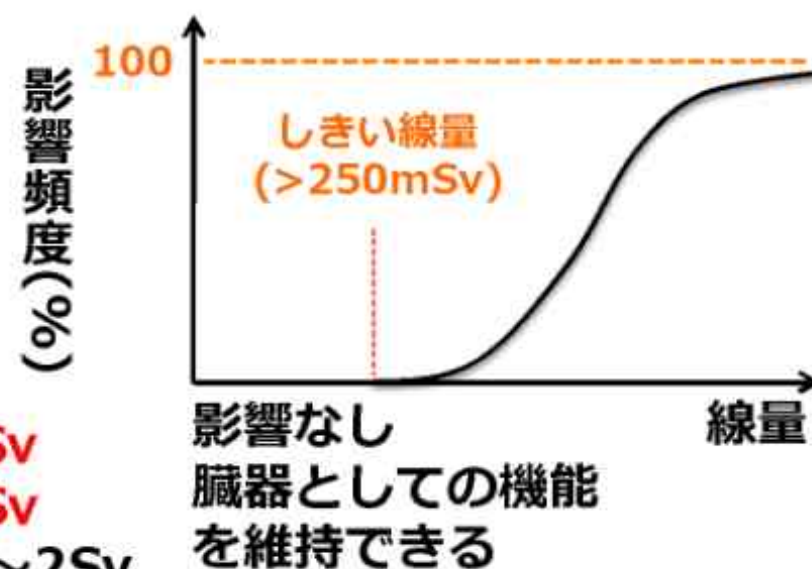
DNA損傷の可視化

確定的影響

被ばく後、数日から30日程度である程度以上の線量を被ばくした人すべてに現れる影響

- (1)しきい値があり、高い線量域(>250 mSv)でしか起こらない。
- (2)臓器の細胞死の程度があるレベルを超えたときには、臓器の正常機能を維持できなくなって影響が現れる。

- ・脱毛(30日程度) :>3Sv
- ・皮膚障害(30日程度) :>3Sv
- ・造血器障害(30日程度) :>0.25Sv
- ・白内障(1年程度) :>2Sv
- ・胎児への影響
 - 着床前(受精後8日まで) :>0.1Sv
 - 器官形成期(受精後8日~8週) :>0.1Sv
 - 胎児期(受精後8週~出生) :>0.5~2Sv



生物はどの程度の放射線量で死ぬのか？

X線を照射された様々な生物の半数致死線量



ゾウリムシ

アメーバー

酵母

大腸菌

うさぎ

ラット

マウス

サル

ヒト

イヌ



3,500 (Gy≒Sv)

1,000

300

56

8.4

6.8

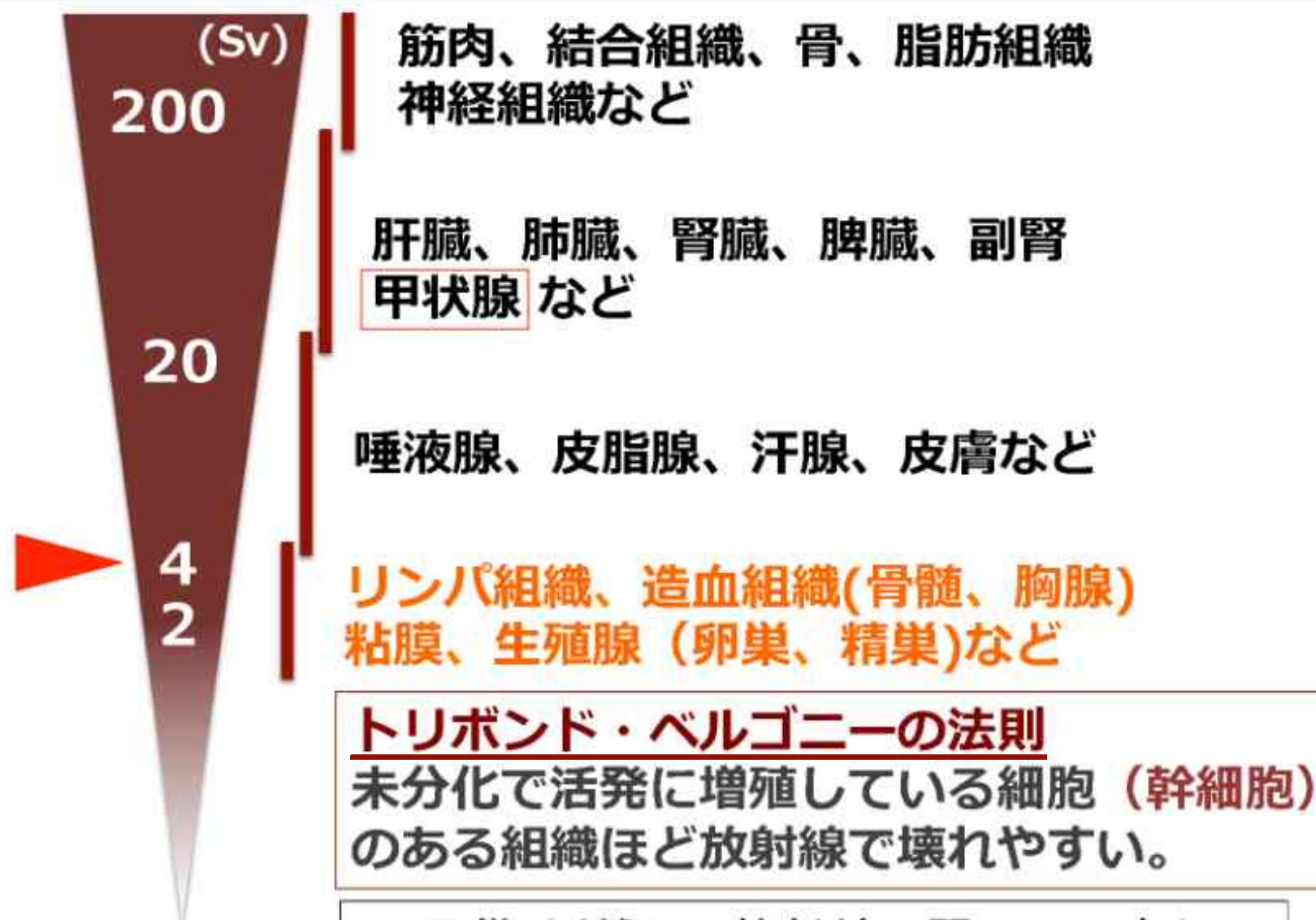
7.0

5.3

4.0

3.7

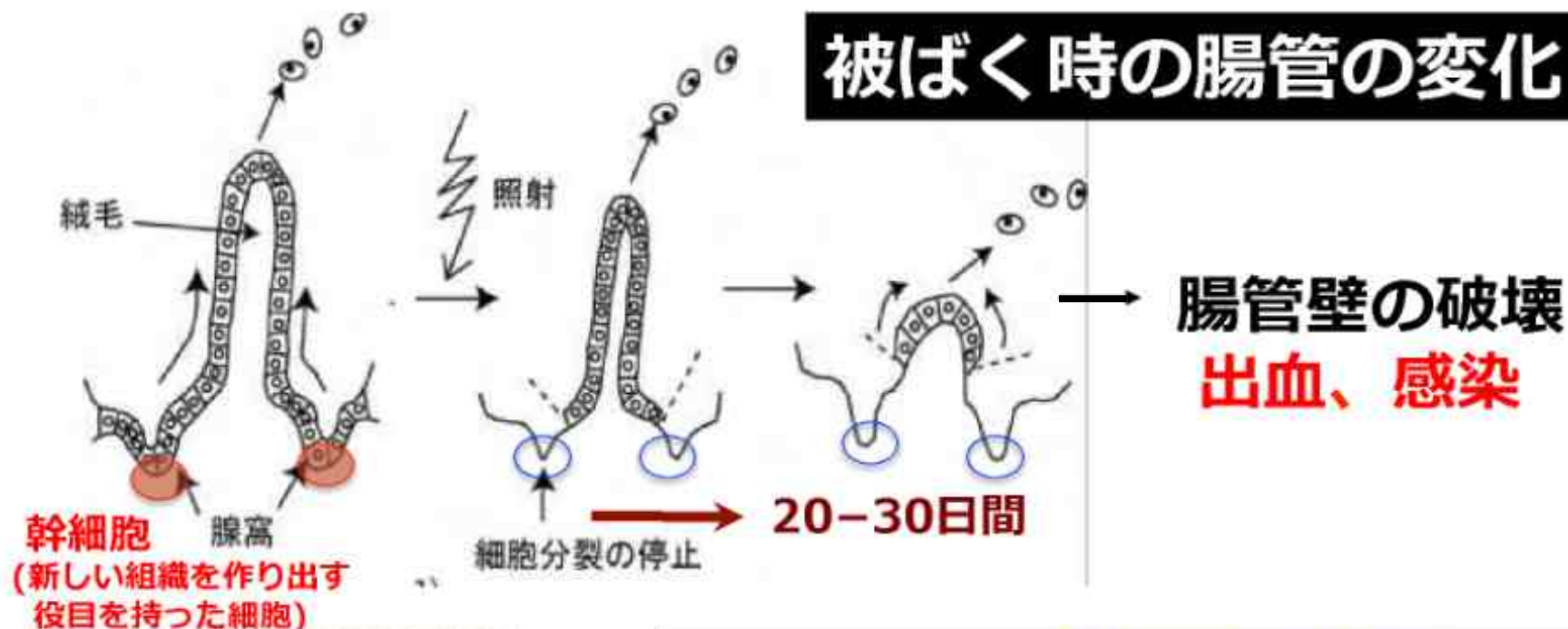
個体死の原因となる重要な臓器はなに？



Q: 子供はどうして放射線に弱いのですか？

腸死のメカニズム

4Gy以上の放射線被ばく後20-30日で死亡する例



小腸絨毛の幹細胞が損傷し、
壊れた組織を再生できず絨
毛機能を喪失する。

確定的影響（胎児への影響）

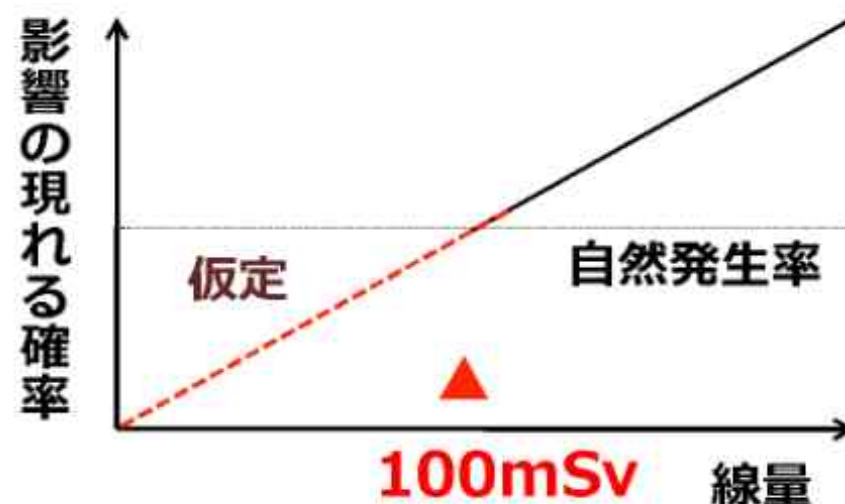


一回被ばく時の一番小さな閾値は
 100mSv

確率的影響

被ばく後、長期間経ったあとに被ばくした人の一部に現れる影響（晩発影響）

- ・がん(20~30年後)
- ・白血病(2~3年後)
- ・遺伝影響



- (1) 細胞死を免れた細胞に低い頻度で起きる。
- (2) どんなに線量が少なくても線量に比例して影響が起きる
(と仮定する)。
- (3) しきい値がない (と仮定する)。

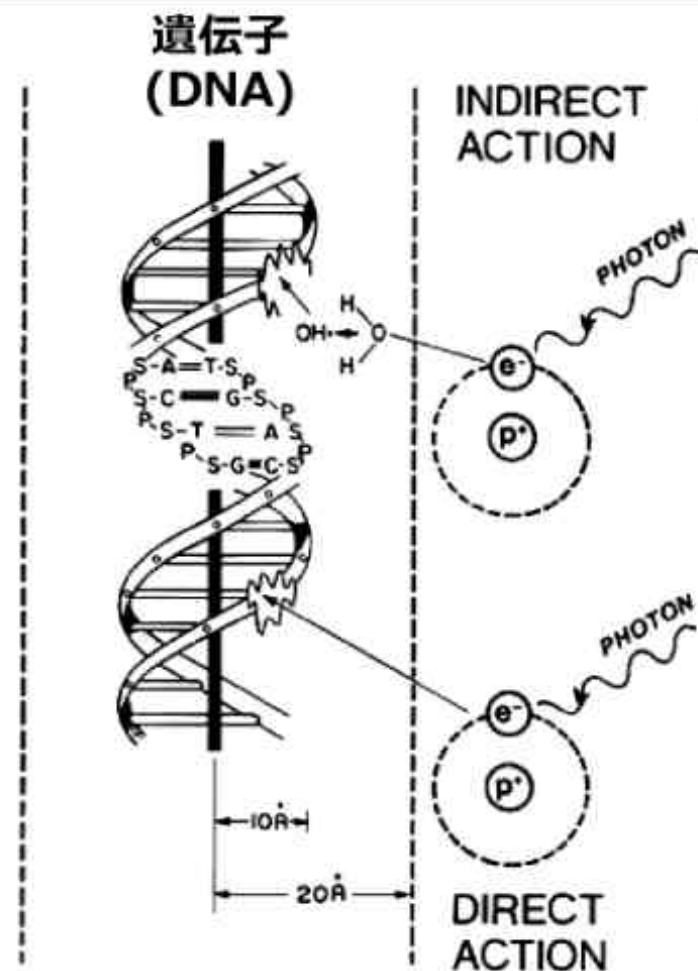
⇒LNT仮説が国際的に放射線防護基盤概念になっている。

なぜLNT仮説が用いられるのか？

大前提：
確率的影響の原因はDNA損傷である。

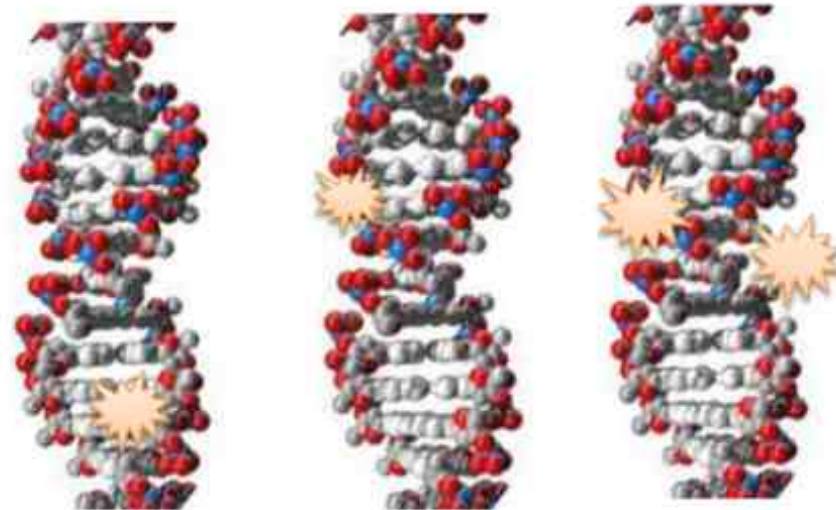
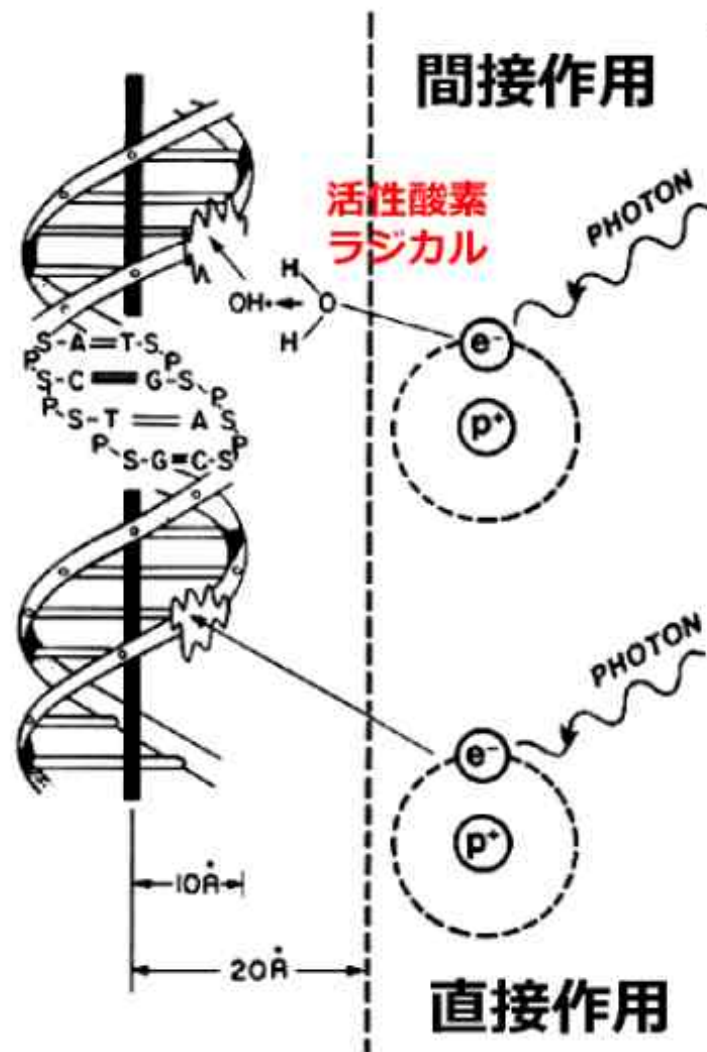
- (1)放射線照射は細胞に物理的
確率でエネルギーを与える
- (2)DNA損傷は直接および間接
効果によって誘導される
- (3)従って、DNA損傷量は放射
線量に比例する。

発がん頻度はどんなに少ない
線量でも放射線量と比例する
-閾値なし直線(LNT)仮説



From: Hall, "Radiobiology for the Radiologist"

放射線で命の青写真 (DNA) が壊れる？



DNA損傷数/細胞/mSv

DNA塩基 損傷	DNA一本鎖 切断	DNA二重鎖 切断
3個	1個	0.04個

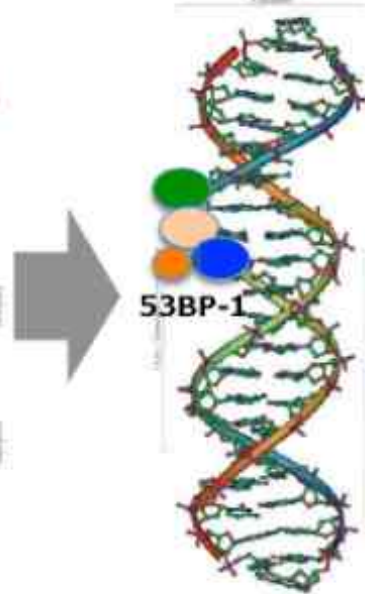
○放射線被ばくがなくても細胞あたり毎日5万～50万個のDNA損傷ができています

細胞はDNA損傷を治す仕組みを複数備え それを組み合わせて様々な損傷を治す

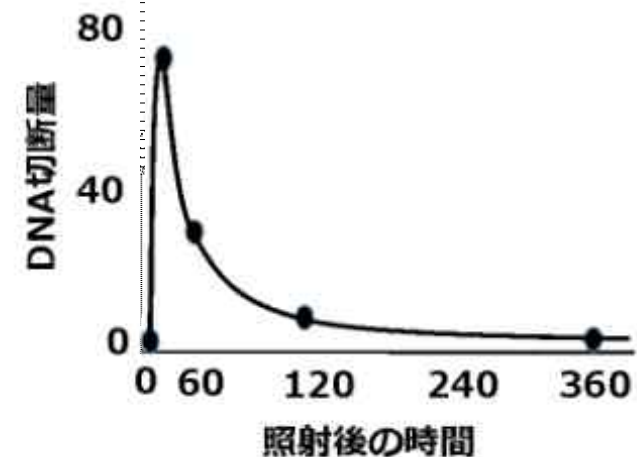
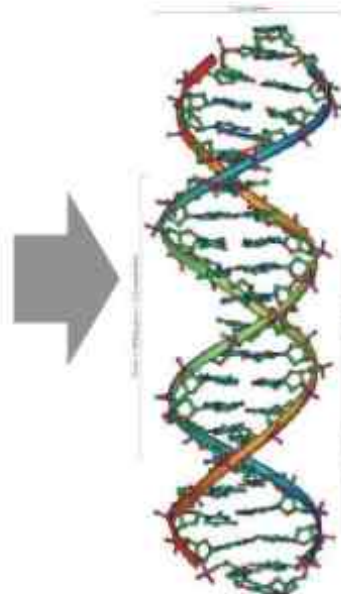
放射線を被ばく
DNA切断が出来る



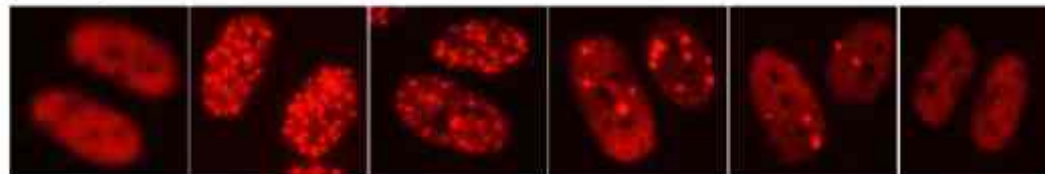
修復酵素が集積



正常に戻る



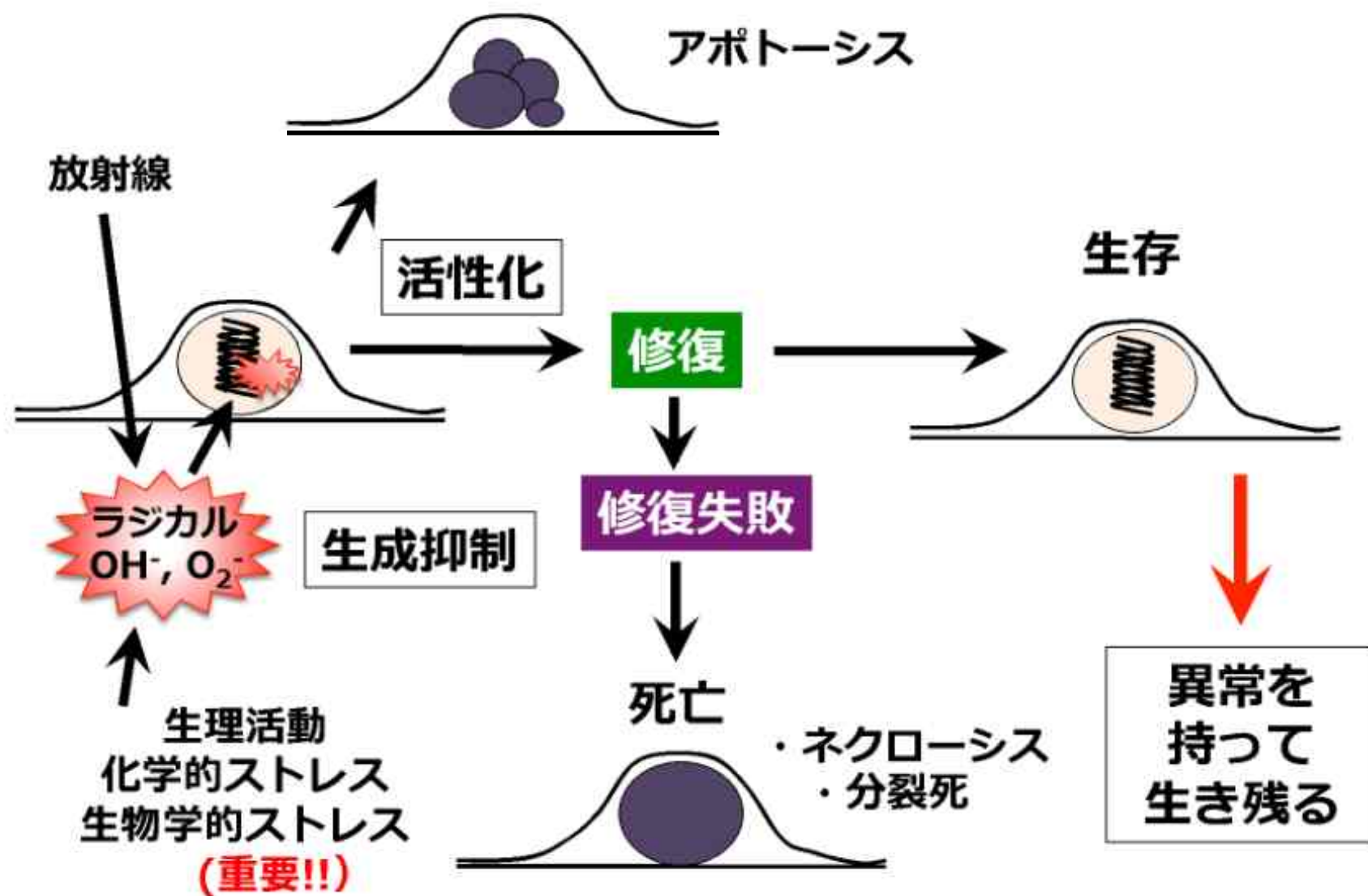
1GyのX線照射後の53BP 1 フォーカスの消長



未照射 照射直後 10分後 60分後 120分後 360分後

- ・ 除去修復機構
- ・ 塩基除去修復機構
- ・ ヌクレオチド除去修復
- ・ ミスマッチ修復
- ・ 校正修復
- ・ 一本鎖切断修復
- ・ 組替え修復
- ・ 相同組替え修復
- ・ 非相同末端再結合
- ・ SOS修復
- など

DNA損傷ができると細胞はどのように反応するか？



DNA損傷

修復ミス

突然変異 & 遺伝子再配列

体細胞

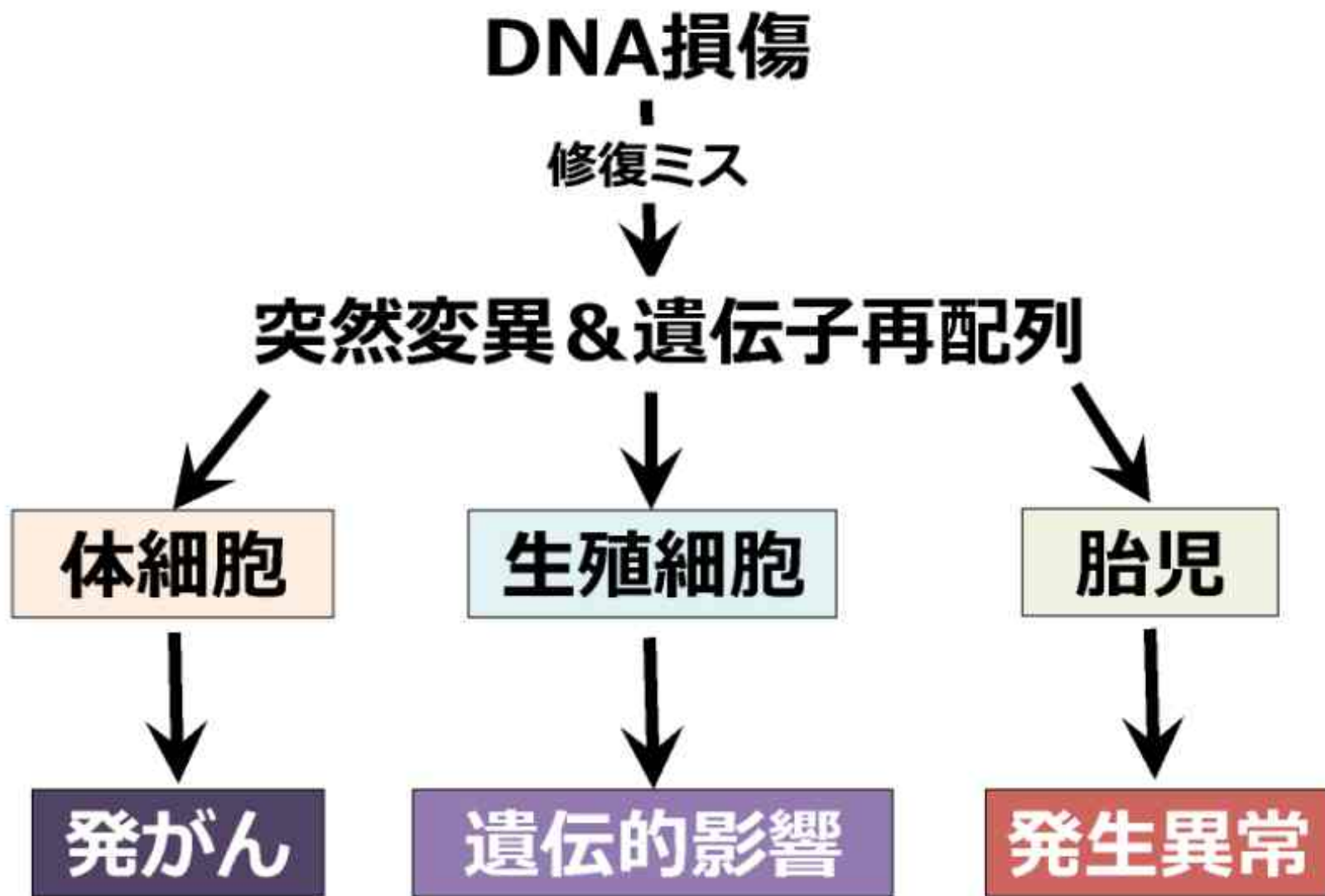
生殖細胞

胎児

発がん

遺伝的影響

発生異常



低線量放射線のホルミシス効果??

Planel et al.1987



ゾウリムシ

(LD50/30=3,500Gy)

自然放射線状態での飼育
(推定被ばく量:1.75
mGy/年)

鉛箱内で放射線を遮蔽し
て飼育 (0.3mGy/年)

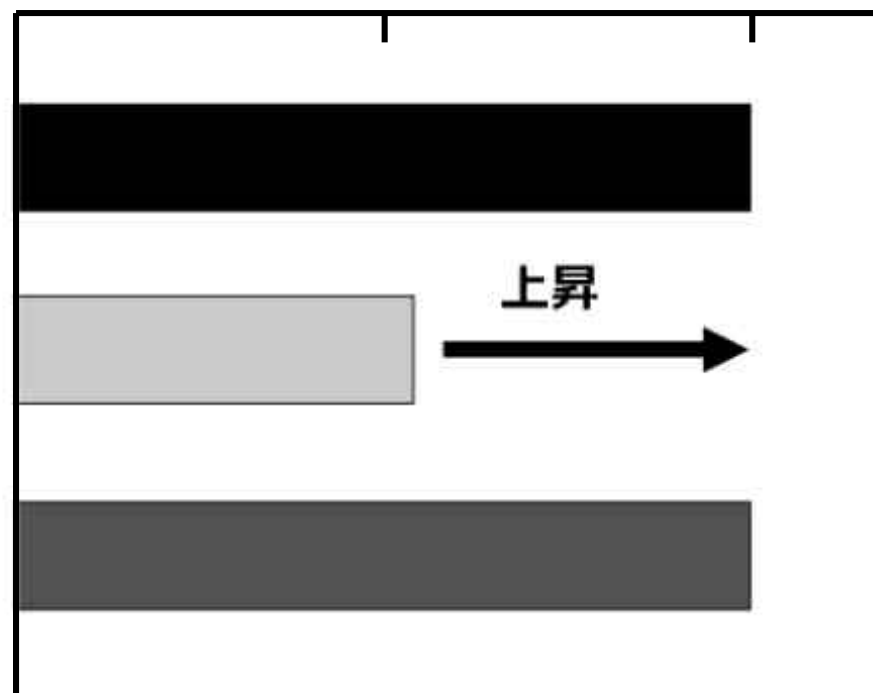
鉛箱内に²³²トリウムを入
れ自然放射線状態に戻し
て飼育 (1.7mGy/年)

相対的増殖度

0

0.5

1.0



ゾウリムシには自然放射線は必須??
ヒトも同じ????

放射線損傷に対する修復機構は万能？

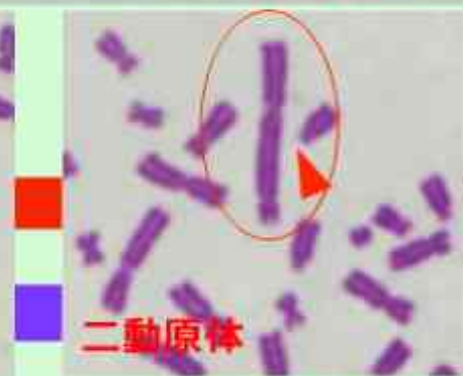
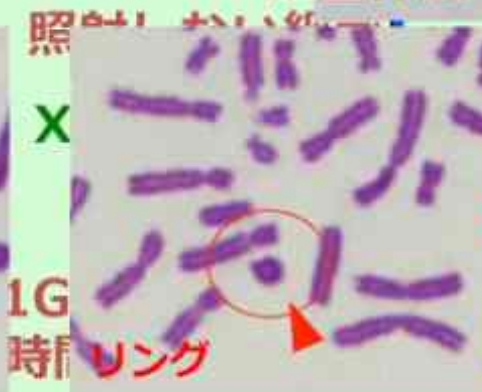


Wolff S et al. 1984

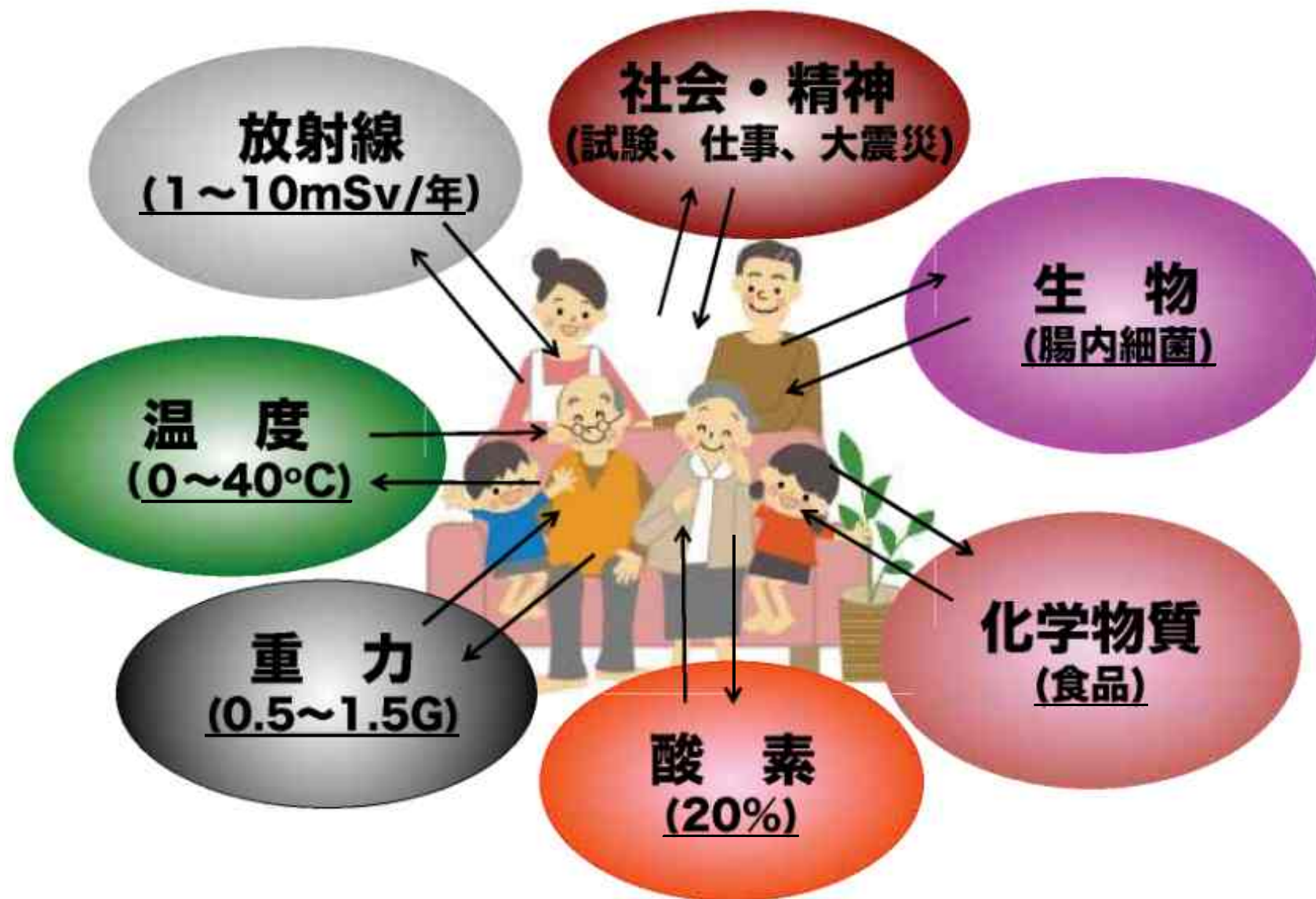
最初の刺激は
X線に限らない。



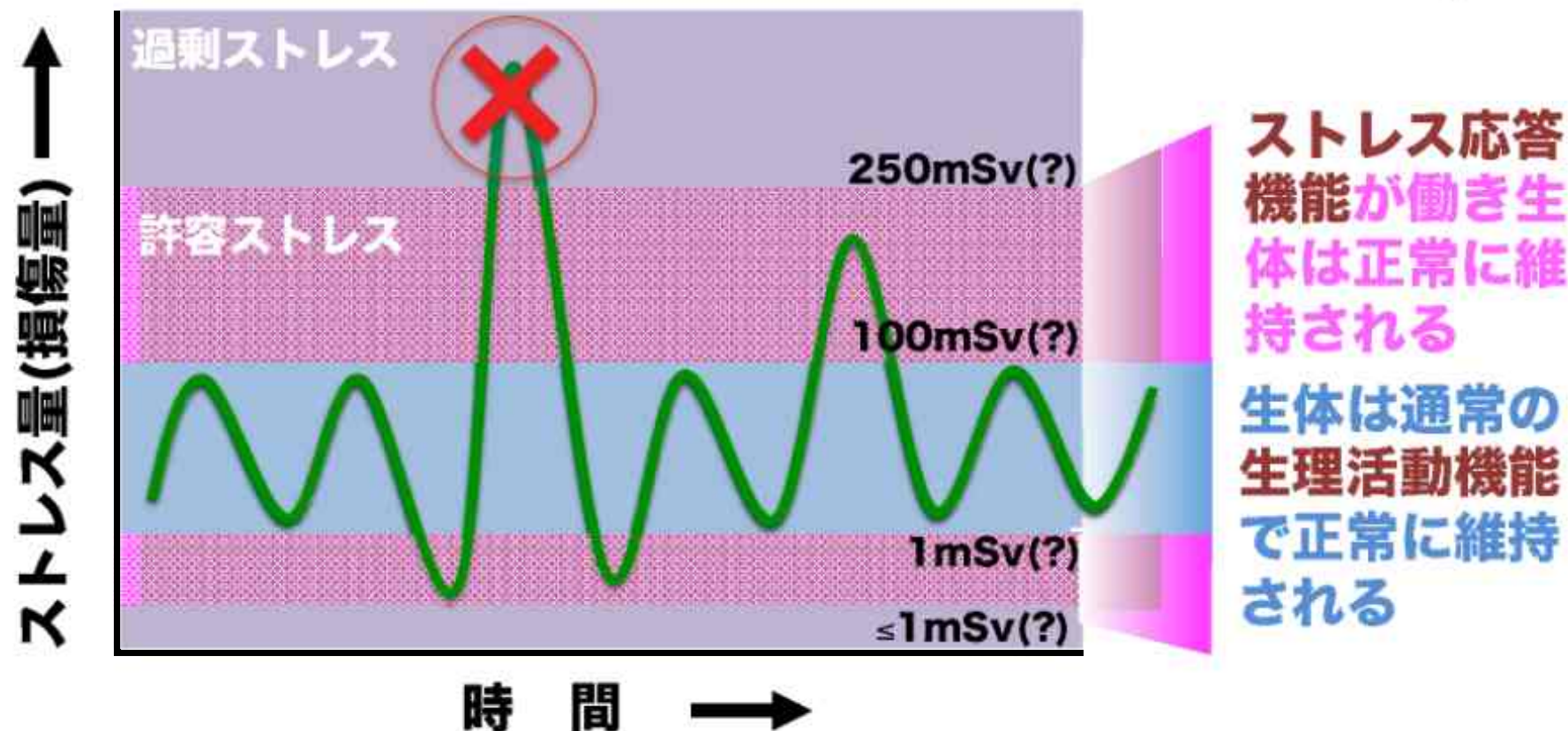
低線量放射
は染色体異
誘発を押さ
る。



自分が普通に生きているとは？



バランスをとることが生きること



- 通常の**生理活動**の**ストレス**は巧く**処理**できる。
- ある程度の**過剰なストレス**の**処理機能**を備えている。
- 生理活動とストレス応答活動の**バランス**が**取れた状況**が**生き**ていること。

遺伝的影響

- 特定座位法 (specific locus test) ;
1950年代、米国の W.L.Russell らが
100万匹以上(700万匹)のマウスを用い
て放射線の遺伝的影響を調べた
(メガマウスプロジェクト)。



- メンデル型遺伝を示し外部
から容易に判定できる7つ
の遺伝形質を選び出し、そ
れらすべてについて劣性マ
ウス (PT) を作り出した。

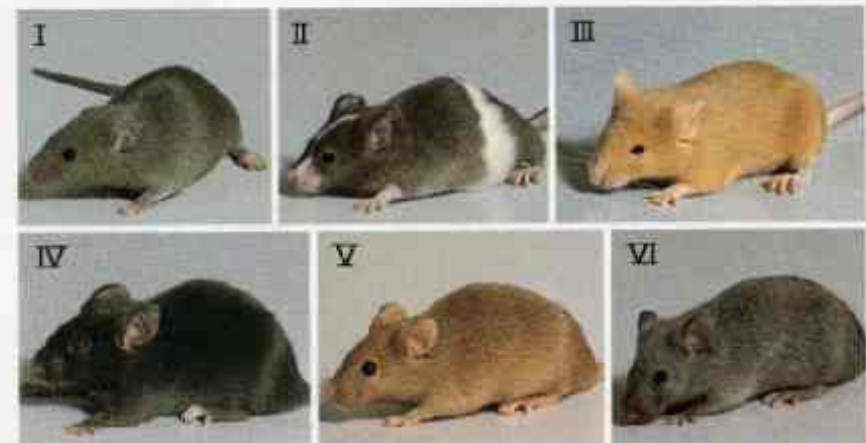


Fig. 1. Phenotypes of specific locus mutations recovered with the T-stock: I d se (double mutant), d dilute; se short-ear. II s piebald spotting. III p pink-eyed dilution. IV a non-agouti. V b brown. VI c^h chinchilla

(Proc Natl Acad Sci USA 79 : 542-544, 1982).

結論

- (1)生殖細胞における七遺伝突然座における変異誘発頻度は線量に比例。
- (2)線量率を下げると誘発効率は1/3まで下がる。7 $\mu\text{Gy}/\text{min}$ (420 $\mu\text{Gy}/\text{h}$) が下限
- (3)精原細胞の倍加線量は
急照射—0.37Gy
緩照射—1.1Gy

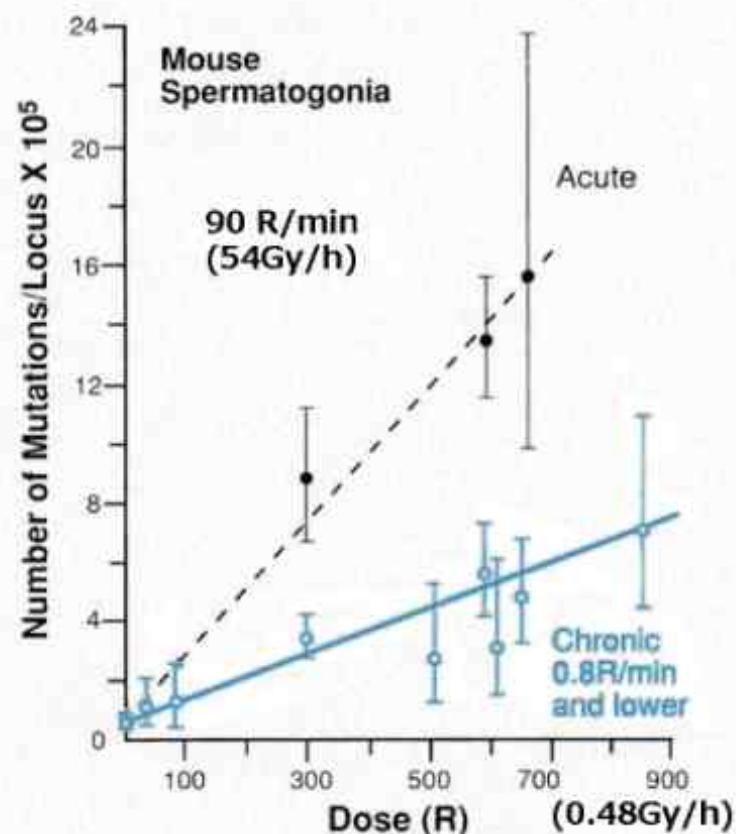


Figure 11.3. Mutations in mice as a function of dose, delivered at high and low dose rates. (Courtesy of Dr. William L. Russell, Oak Ridge National Laboratory.)

ヒトでの遺伝的影響

広島での被ばく二世の蛋白質の調査

対象

被ばく群：両親あるいは片親が 0.01Sv (Gy) 以上
被爆している人（平均 0.491Sv）の子

非被ばく群：0.01 Sv 未満の被爆者の子

測定：血清、赤血球中の30種の蛋白のアミノ酸
組成(電気泳動)と9種の酵素活性

結果

【電気泳動による検査】

	被ばく	非被ばく
子の人数	11,364	12,297
調べた蛋白数	544,779	589,506
変異数	2	4
変異率 (/遺伝子/世代)	0.37×10^{-5}	0.68×10^{-5}

【酵素活性による検査】

	被ばく	非被ばく
子の人数	4,987	5,026
調べた酵素の数	60,529	61,741
変異数	1	0
変異率 (/遺伝子/世代)	1.65×10^{-5}	0×10^{-5}

結論

ヒトでは、有意差なし。

- 現在さらにDNAを2次元電気泳動法にかける方法で解析が続けられている。
- 少なくとも、実験動物に比べ特段に高い突然変異誘発効果を示すことはなさそうである。

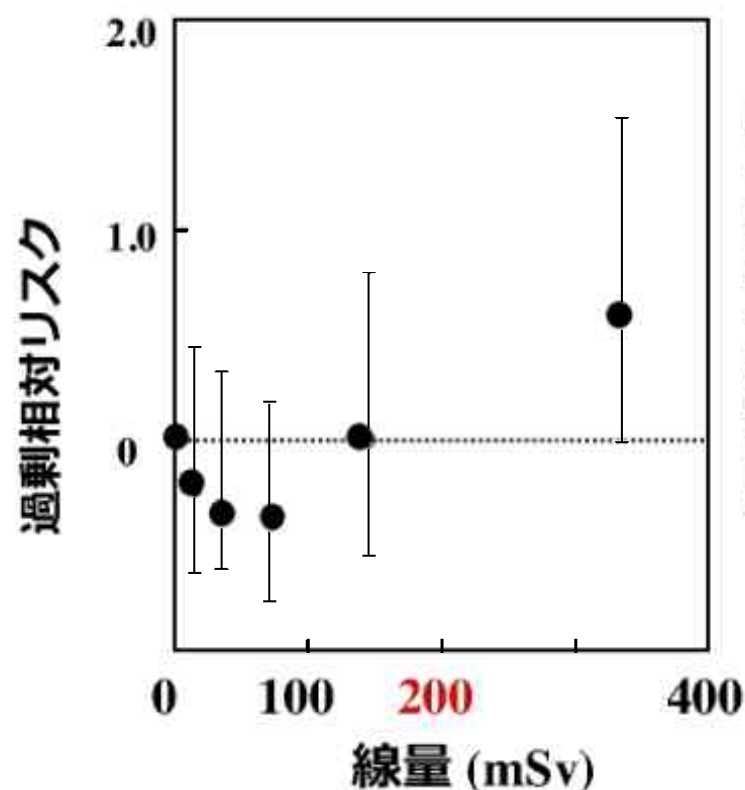
唯一の例外: チェルノブイリーミニサテライト変異—父親由来
MSで1.6倍—しかし、子供には遺伝的影響は見られない(ユーリ・デブロア(英国レスター大学))

「がん」はどうか? ⇒

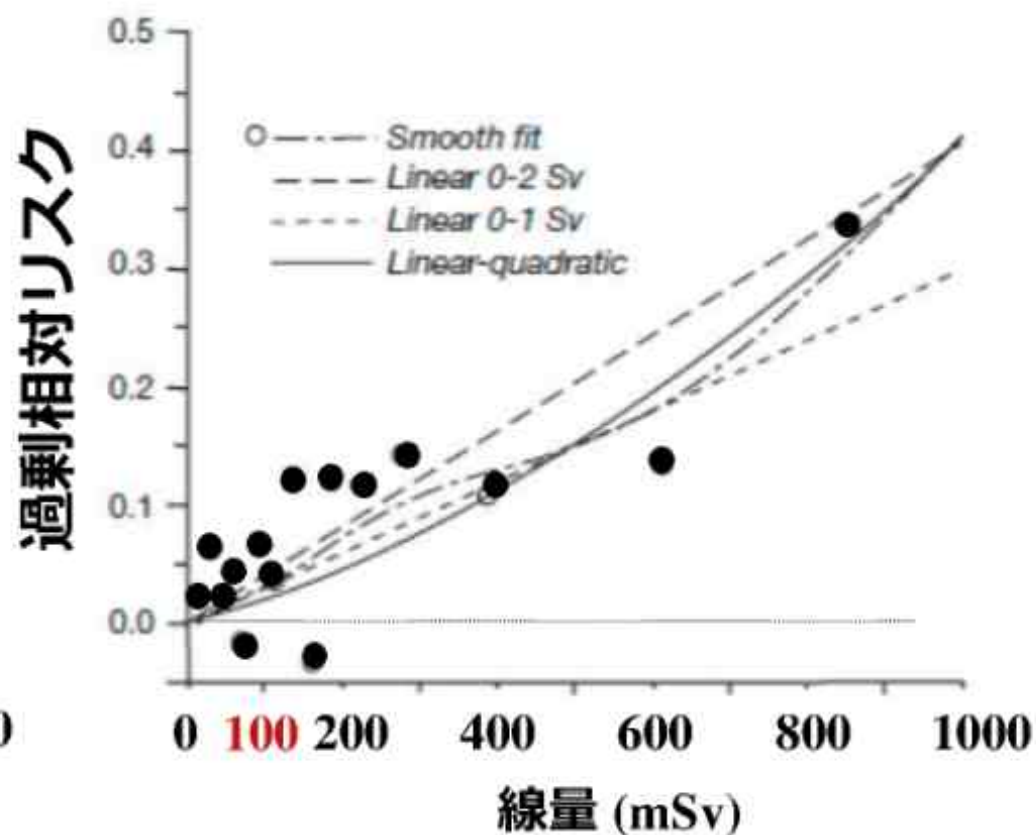
白血病と固形がんによる過剰死亡 リスク

*Pierce et al, Radiat Res 146, 1, 1996.*のデータをもとに作成

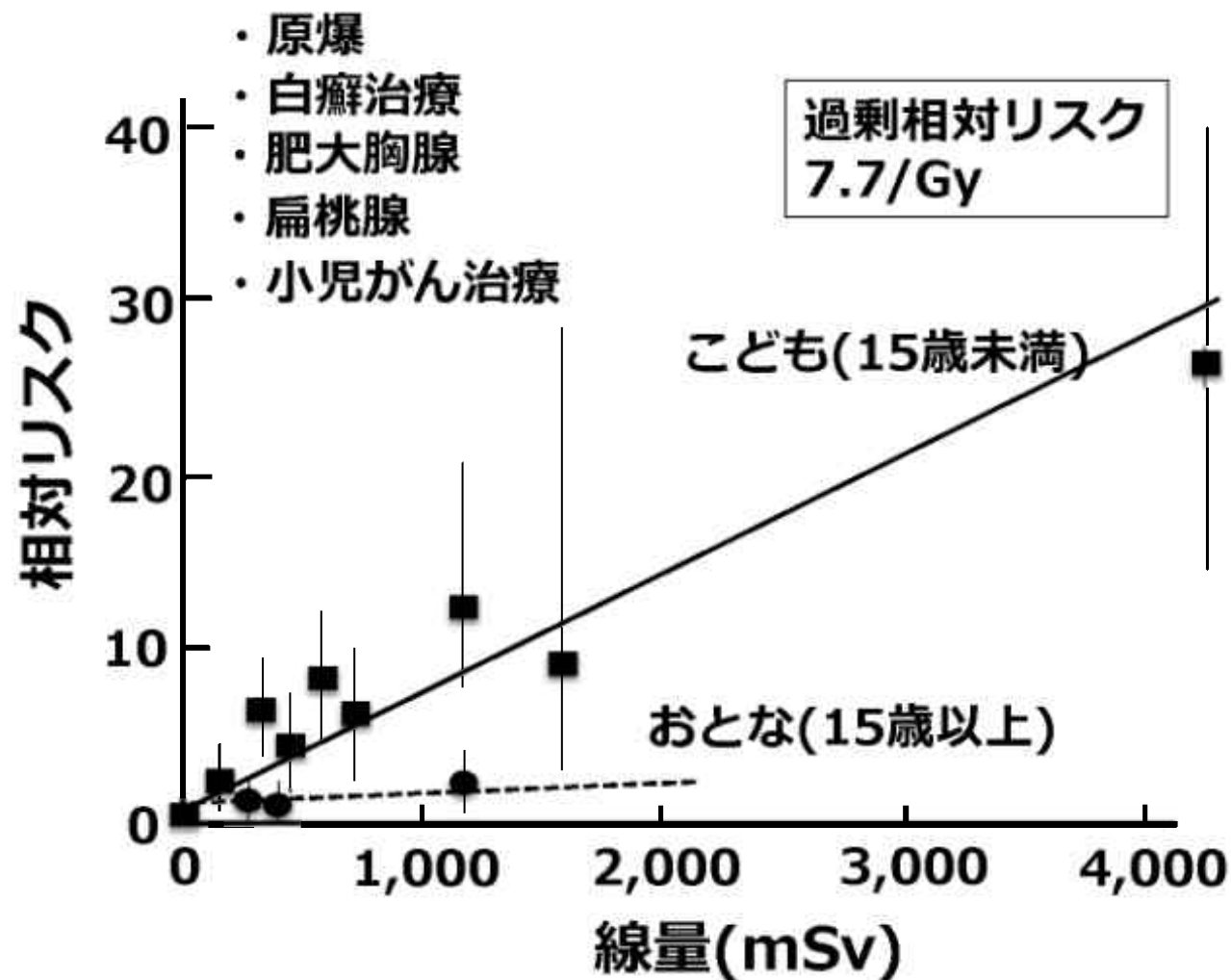
a) 白血病



b) 固形がん > 850例/86,500人



放射線外部照射による甲状腺がんリスク



Ron et al, Radia Res 141, 259, 1995

子供は発がんリスクが大きいのか？

原爆被ばく者の年齢別発がん相対リスク

(固形がん、一万人年あたり)

mSv 年齢	男性			女性		
	5-500	-1,000	-4,000	5-500	-1,000	-4,000
0-9	0.96	1.10	3.80	1.12	2.87	4.46
10-19	1.14	1.48	2.07	1.01	1.61	2.91
20-29	0.91	0.57	1.37	1.15	1.32	2.30
30-39	1.00	1.14	1.31	1.14	1.21	1.84
40-49	0.99	1.21	1.20	1.05	1.35	1.56
>50	1.08	1.17	1.33	1.18	1.68	2.03

- 1Sv以上では小児(19歳未満)の固形がん発症リスクは1.5~4.5倍高い。
- 500mSv以下では固形がん発症リスクに年齢依存性はない

Preston et al. (2007) Radiat Res. 168, 1-64.

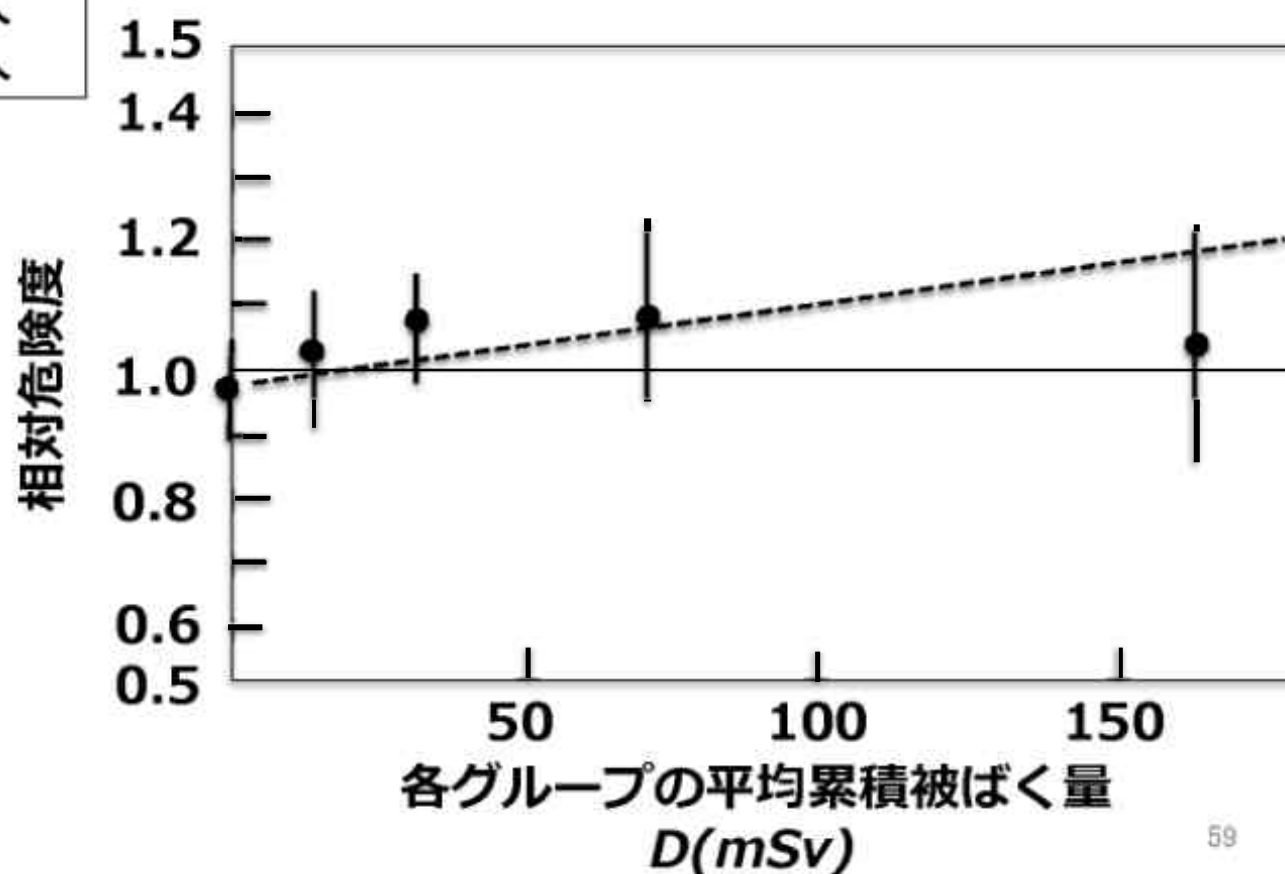
日本原子力産業従事者疫学調査

第四期調査結果

放射線影響協会 文科省委託調査(1990～現在)
平成22年10月

- ◎対象者：男性203,904人
平均被ばく量13.3 mSv
- ◎平均追跡期間：約10.9年
死者：1,4224人
がん死者：5,711人

結論：
低線量域の
放射線が悪
性新生物の
死亡率に影
響を及ぼ
している明
確な証拠は
認められな
かった。



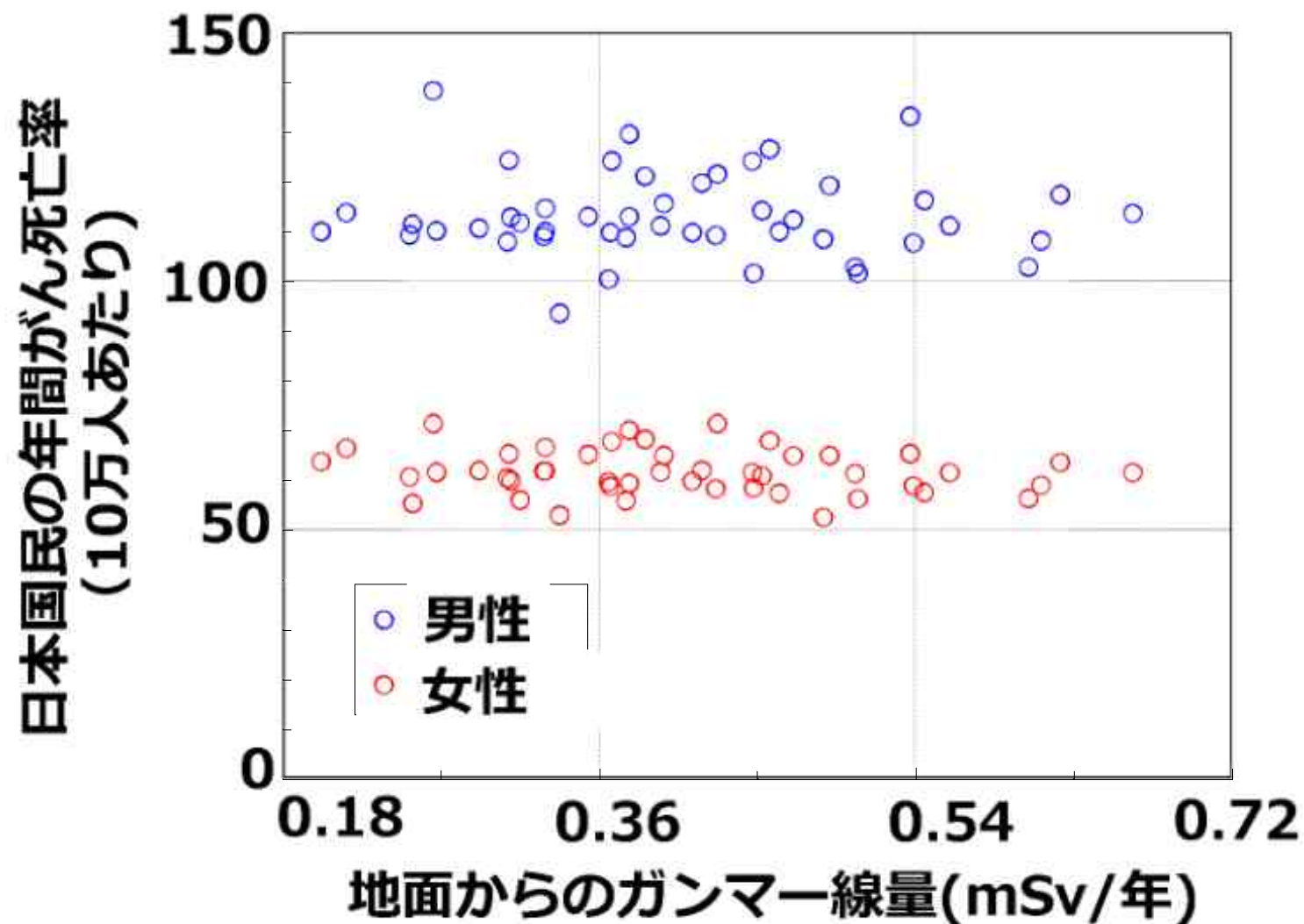
中国広東省陽江地域の高自然放射線地域住民の がん発生危険度

(Morishima, Koga et al., J. Radiat. Res. 41,suppl.9-23, 2000)

項 目	高自然放射線地域	対象地域
調査対象人数(1979-86)	80,640	32,651
人数-年(1979-93)	1,246,340	452,001
線量率(mSv/年)	6.4	2.4
総死亡数	7,441	2,974
がん総数	710	293
肺がん	62	32
白血病	33	11
相対リスク(95% CI)		
総がん	0.99	有為差無し
肺がん	0.81	
白血病	1.12	

<http://www.hps.org/publicinformation/ate/q1254.htm>/より抽出改変

自然放射線被ばく量とがん死亡率

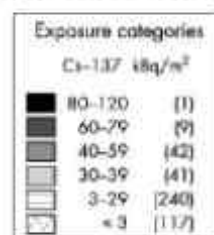


(京都大学、今中作成原図を改変)

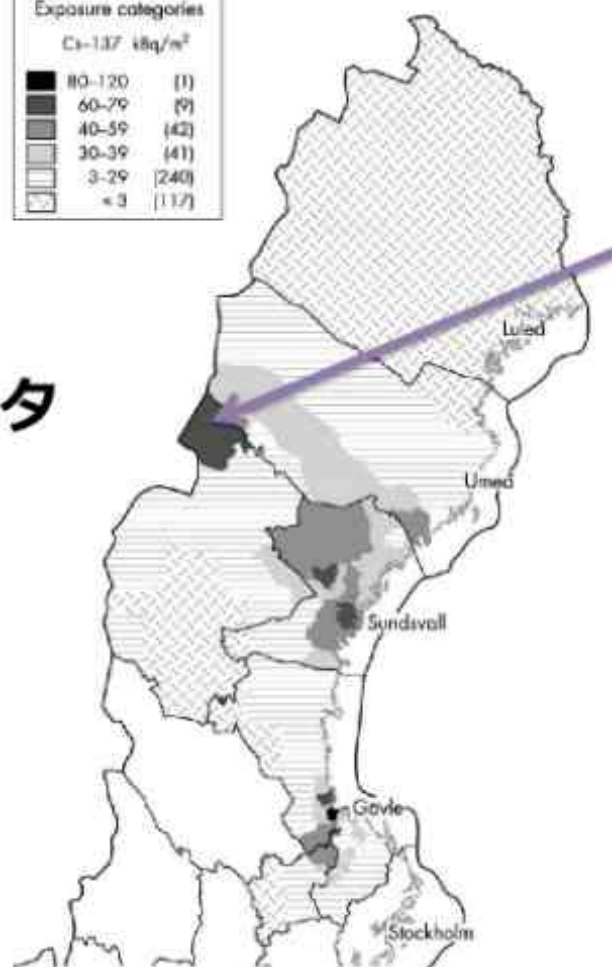
チェルノブイリ汚染の発がんリスク疫学調査

Parishes in the study area classified by ground deposition of caesium-137 and number of parishes in parentheses for each category.

スウェーデン
114万3182人
の固定追跡調査



詳細な汚染測定データ
正確な住民登録
ガン診断登録制度



80-120kBq/m²

＜原子力資料情報室通信 No.381号 2006年3月＞
チェルノブイリからの放射能汚染によりスウェーデンで
ガンが増えている？

(京都大学原子炉実験所 今中哲二氏作成図)

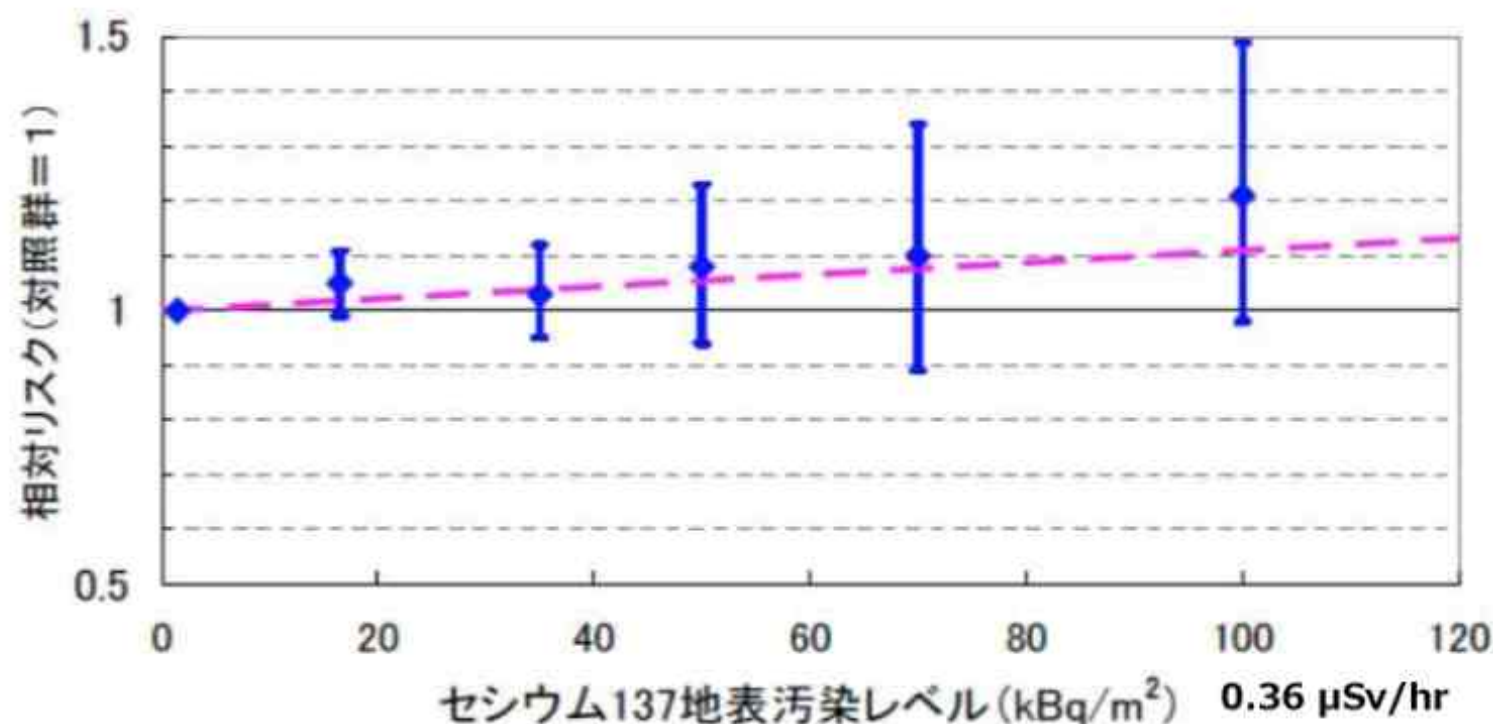


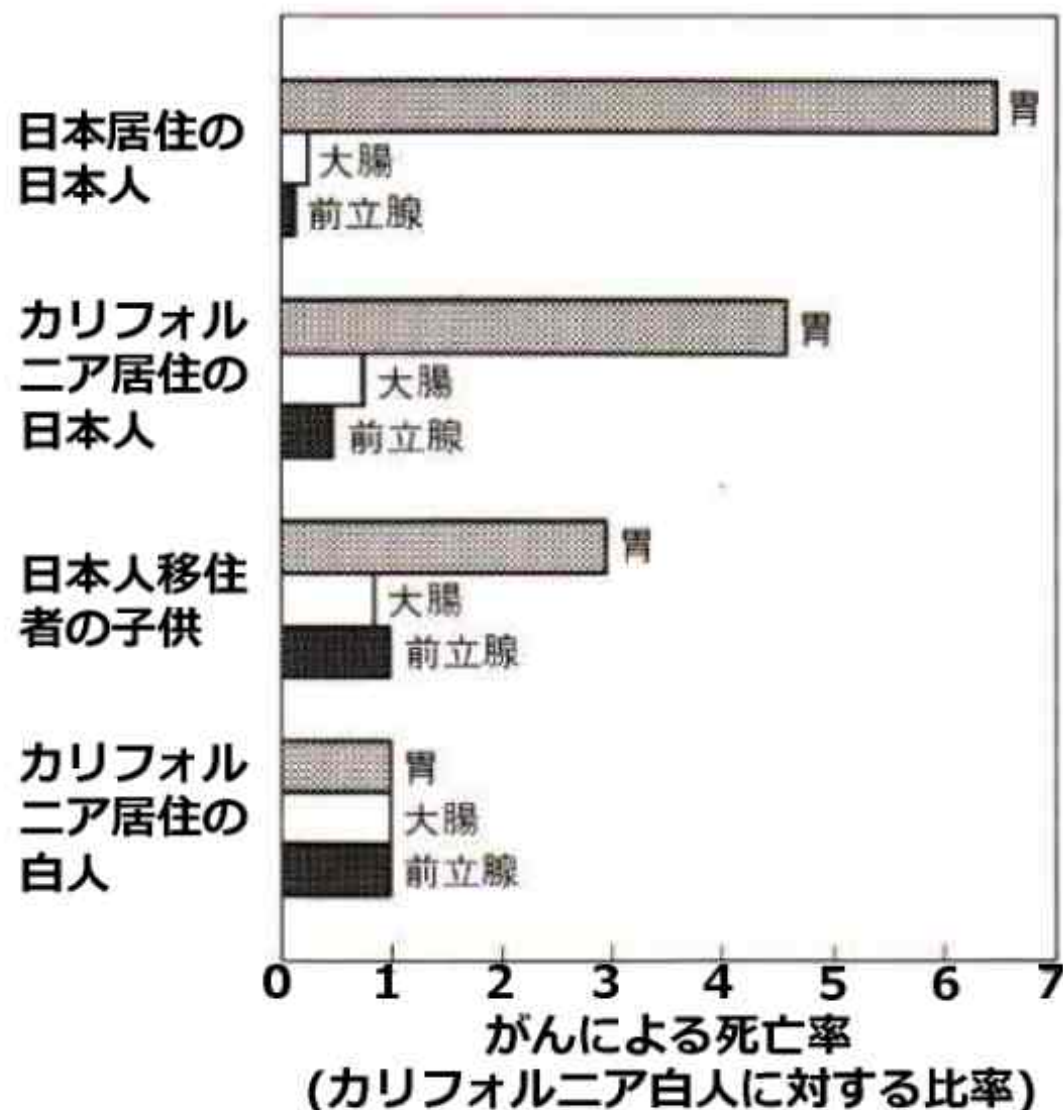
図2. スウェーデン汚染地域でのセシウム137による地表汚染レベルとガン発生相対リスクの関係：1988－1996年.

5. ヒトの全死亡の30%程度ががん死である。

ヒトにおける遺伝子変化の頻度は、 10^{-5} 程度であるががんは30%程度と稀な疾病ではない。

移住による臓器別の発がん頻度の変化

Cairns J 1975

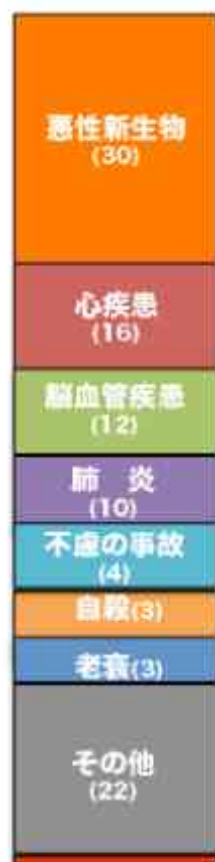


発がん頻度とパターンは、遺伝的因子とともに食事、生活習慣などの環境要因で大きく影響される。

⇒がんの原因はDNA突然変異という説に矛盾する。

100mSvの発がん危険度

日本人の 死亡原因



0.15%

◀ 100mSv ▶

日本人の 発がん原因



0.5%

発がん頻度

- 原爆被ばく者の疫学調査結果をもとに様々な要因を加味しICRPでは1Svの放射線は発がん頻度を5%上昇させると推測。
- 100mSvの発がん頻度は0.5%上昇すると**予想**している。

危険度(リスク)

- タバコや食事による発がんに比べて1/60程度
- ヒトの全死亡原因の0.15%程度

このリスクを貴方は
どのように判断
しますか？

平成18年厚生労働省人口統計月報年計より

放射線と他の発がん要因のリスク

国立がん研究センターHPから一部転写。

相対リスク	全部位 原爆被爆 ダイオキシン	特定部位 チェルノブイリ
1.50-2.49	放射線(1000-2000mSv) 喫煙 飲酒(毎日3合)	150-290mSv(甲状腺) 高塩分(胃) 運動不足(結腸) 肥満(大腸、乳がん)
1.30-1.49	500-1000mSv ダイオキシン血中濃度数千倍 【作業員】 飲酒(毎日2合)	50-140mSv(甲状腺) 受動喫煙(女性)(肺)
1.10-1.29	200-500mSv 肥満(BMI $\geq$ 30), やせ(BMI $<$ 19) 運動不足 高塩分食品	
1.01-1.09	100-200mSv 野菜不足 受動喫煙<非喫煙女性>	
検出不可能	100mSv未満 ダイオキシン血中濃度数百倍 【周辺住民】	

7.放射線防護をどのように考えるか？

放射線基準値はどのように決められたか？

設定目的：被ばくによる致死的な発がんを防止する。

国際組織による科学的検証
(ICRP、UNSCEARなど)

「100mSv以下の線量は健康
影響はない」という科学的判断

放射線被ばく限度勧告
(IAEA)

各国で法規制へ取り込み

一般人：1mSv/年
放射線業務従事者：20mSv/年

今回、緊急時に用いられて
いる被ばく規制値

児童：3.8 μ Sv/時間
(通常の生活パターン;屋外8時間、室内
16時間活動で室内被ばくは屋外被ばく
の40%と仮定して年間被ばく量が
20mSv以下)

一般人：20mSv/年
作業者：50mSv/年
緊急作業者：250mSv/年

これを妥当と
思うかどうか？

放射線影響を理解し着実に復興するために 今日の講義で学んで頂きたいこと

- 放射線や原子力に興味の目を向けて欲しい
- 現状を科学的に理解する。
- 放射線は見えない敵ではない
- 生体にとって低線量放射線は特殊なストレスではない
- 生体は放射線をはじめとする様々なストレスに対応できる能力を持っている
- 事故に伴う様々な現実からは逃れられない。
しかし、大半の地域で十分に元の状態に近く回復できる状況である。
- 個々の価値観を乗り越え個々の専門性を結集して
難局を乗り越える決意を持って欲しい。