

令和2年11月28日
令和2年度加美町放射性物質に関する勉強会
加美町立小野田中学校の視聴覚ホール



放射性物質が身体に与える影響

(放射線の人体影響)

福本 学

自己紹介

2



1976年 京都大医学部 卒
 1998～2016 東北大 加齢医学研究所 教授
 2014～2016 日本放射線影響学会 会長・理事長
 2016～2019 東京医大 特任教授
 2019～ 理研 革新知能統合センター 研究員



放射線：ヒト健康影響を知る難しさ



チェルノブイリ(今中氏)



3.6mSv/年



秋田県玉川温泉

疑問

- ◆ 『直ちに影響ない』(急性傷害なし) は安心? (晩発傷害はないか) ガンにならない? 子孫への影響?
- ◆ 低いレベル: 健康に良い?
- ◆ 人工放射線: 健康に悪影響? 自然放射線は問題ない?
- ◆ 内部ひばく: 外部被ばくよりも危険?

事実

- ◆ 全身4Gy被ばく: 体温が0.001度上昇するに過ぎない程度のエネルギーなのに・・・
→ 60日以内に半数の人が死ぬ
- ◆ 急性死を逃れた後、**発がん**リスクは上昇
- ◆ 若年時被ばくで生涯**がん死亡**リスクが高い

ヒトで不明であることがわかっていないこと

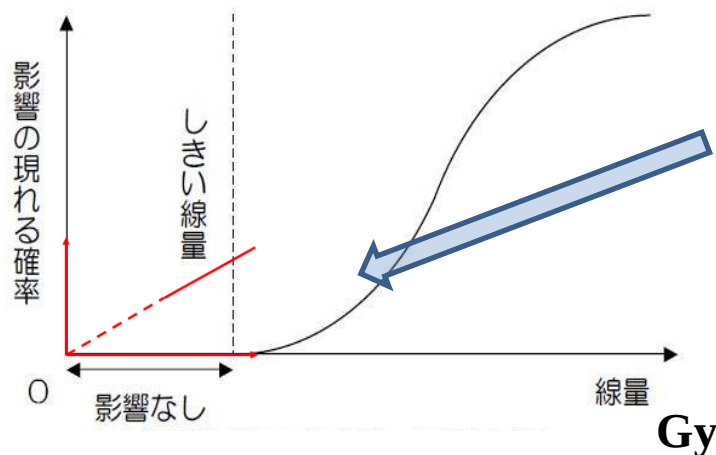
- ◆ 0.1Gy以下の健康影響
- ◆ 放射線誘発に特異的な組織型の腫瘍
- ◆ 遺伝影響

確定的影響と確率的影響の比較

4

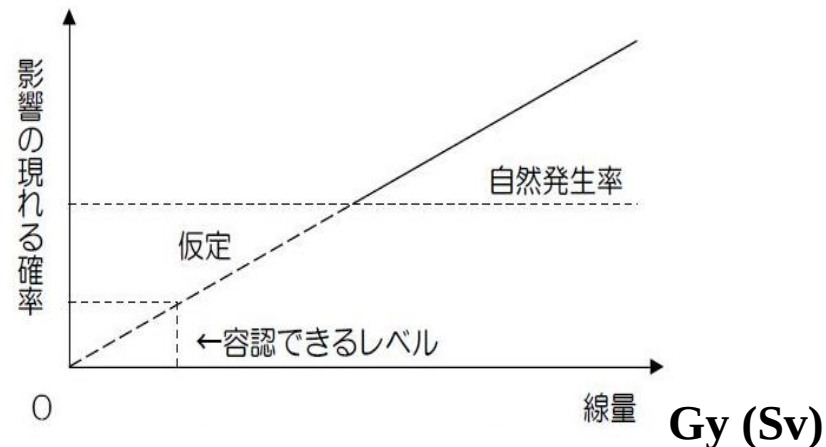


確定的影響 ≡ 急性障害



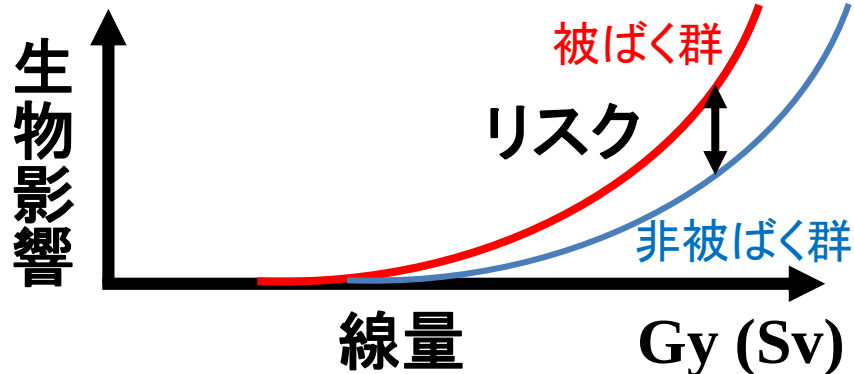
脱毛・皮膚障害・白内障など
幹細胞死
高線量・粒子線

確率的影響 ≡ 晩発障害



がん・白血病・遺伝など
がん起始細胞遺伝子変異
低線量・低線量率

(「緊急被ばく医療「地域フォーラム」テキスト(平成20年度版)より)

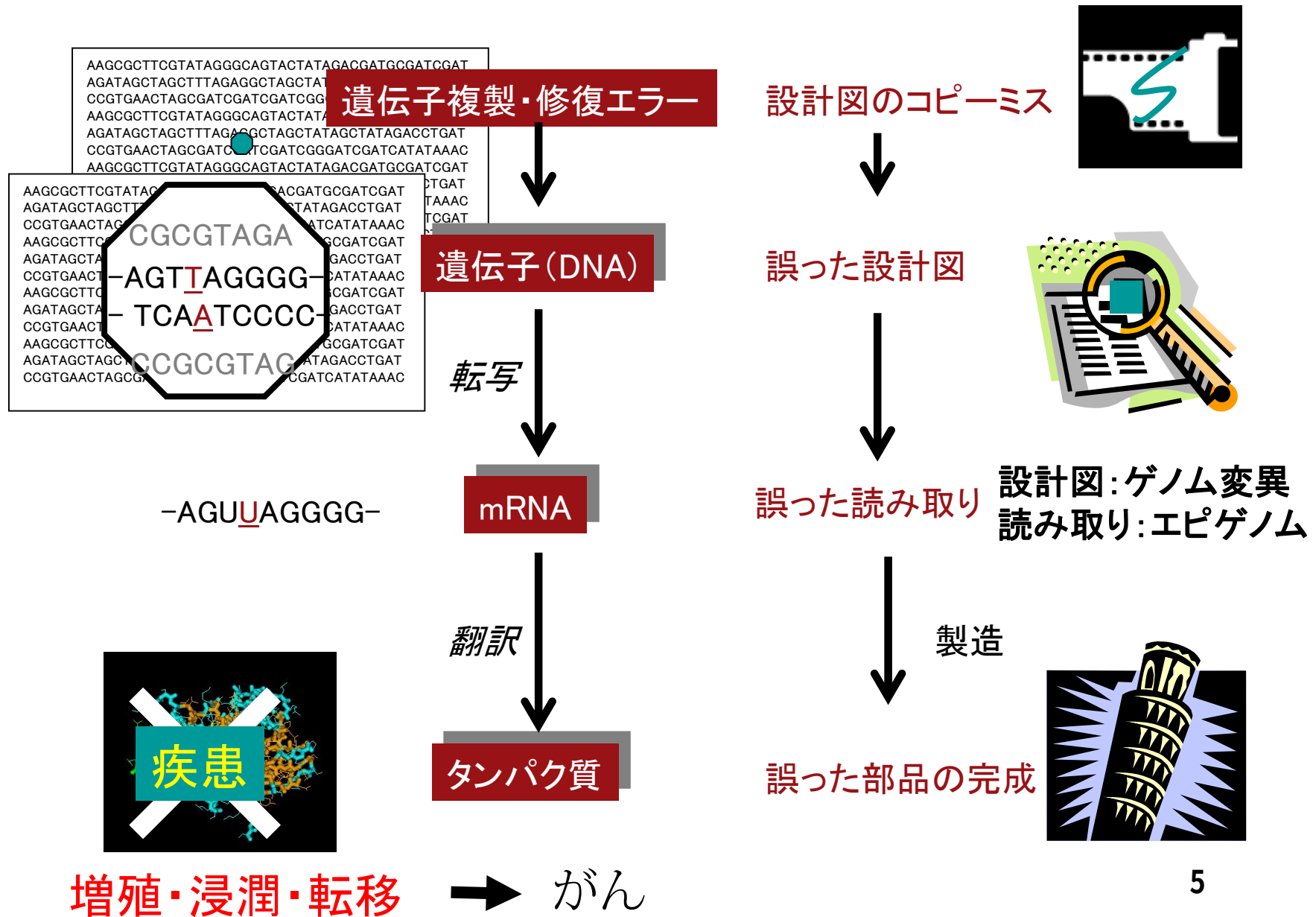


リスク:

一般的: 危害の発生確率及びその危害の程度の組合せ (ISO/IEC Guide 51)。

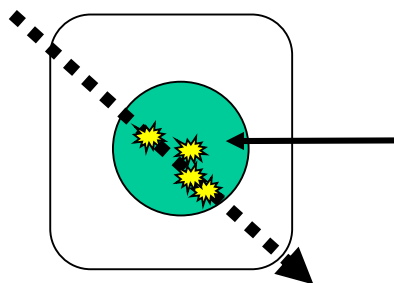
放射線防護分野: ある特定の有害な結果の確率、より端的には「がん・遺伝性 影響の発生や死亡の可能性 (ICRP)」

発がんの分子機構



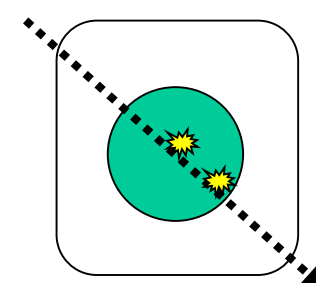
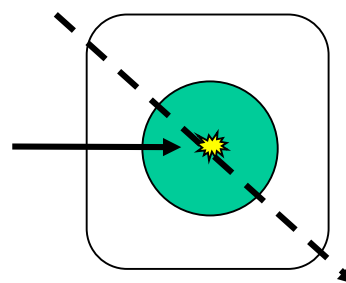


損傷が多い場合

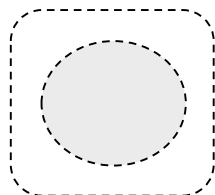


DNA2本鎖
切断

損傷が少ない場合

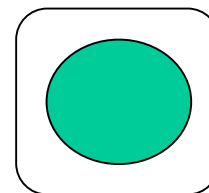


プログラム細胞死



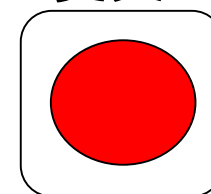
損傷細胞の排除

完全修復



元の細胞

癌関連遺伝子
変異

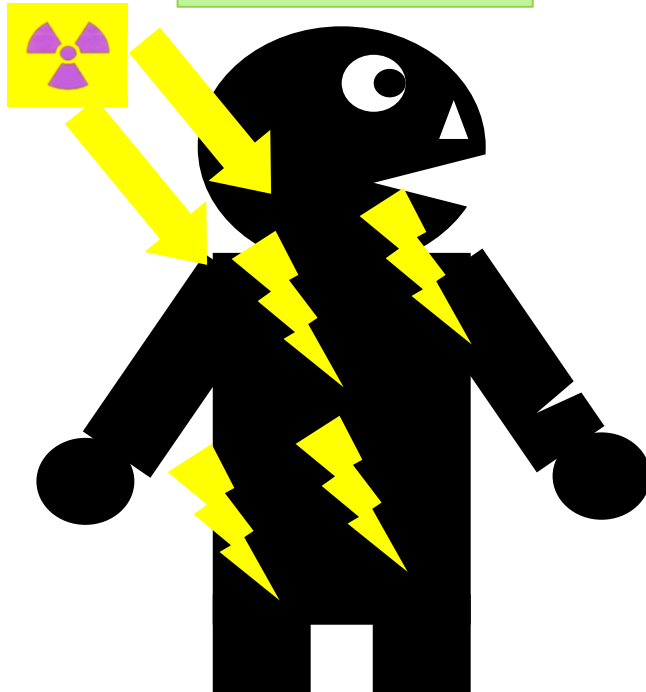


がん化

外部被ばくと内部被ばく(晩発影響)

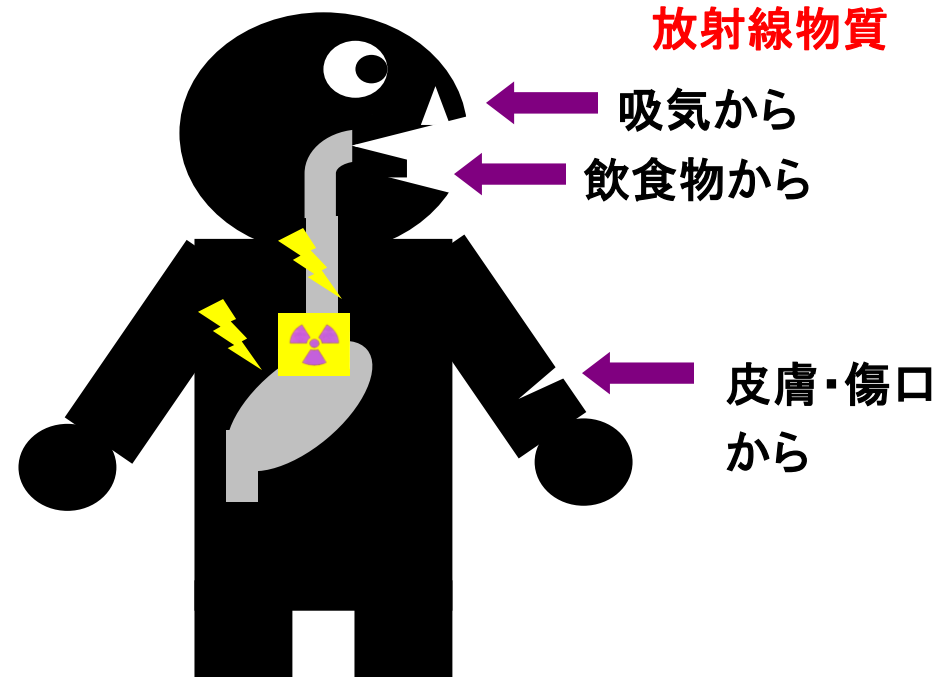


外部被ばく



被ばくは**短時間**のことが多い
全身の臓器すべてが**被ばく**する
 γ 線など低LET放射線による
被ばくが主な問題になる
原爆被爆者のデータが基礎となる

内部被ばく



放射線物質が**長期間**体内に留まる
特定臓器に局所大量**被ばく**が生じる
放射能は物理的に減衰する
 α 線など高LET放射線による
被ばくも問題になる
核種により体内動態が異なる

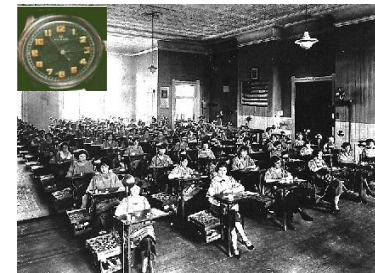
疫学的に明らかなヒト放射線関連腫瘍

8

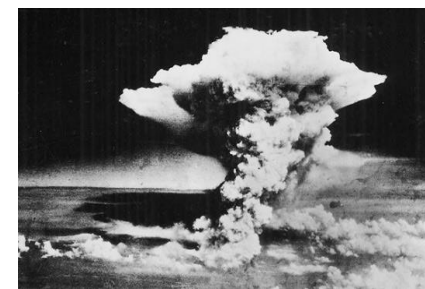


(ほぼ年代順)

The Radium Girls



(Memorial University HP)

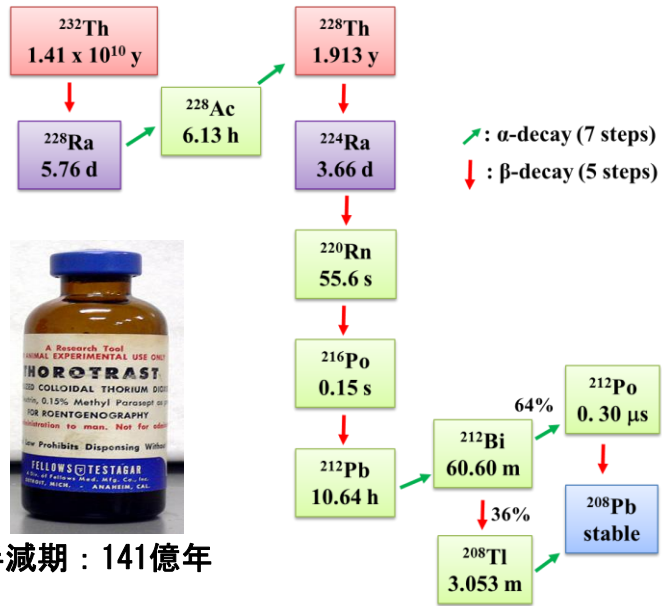


(Asahi-com.or.jp)

	線量率/期間	被ばく様式	主な放射線源	誘発腫瘍
時計文字盤工	低/長	内	α ($^{226}, ^{228}\text{Ra}$)	骨
トロトラスト症	低/長	内	α (^{232}Th)	肝・白血病
広島・長崎 被爆者	高/短	外	α 中性子	白血病 消化管など
関節炎治療	低/長	内	α (^{224}Ra)	骨
マヤク労働者	低/長	内/外	α (^{239}Pu)	肺・肝・骨
ウラン坑夫	低/長	内	α (^{222}Rn)	肺
チェルノブイリ	高/短	内/外	γ (^{137}Cs) β (^{131}I)	甲状腺
高バックグラウンド 地域	低/長	外/内	α ($^{238}\text{U}, ^{232}\text{Th}$) γ	なし

(Harrison JD & Muirhead CR, *Int J Radiat Biol* 79:1, 2003; Brenner AV et al, *Environ Health Perspect*, 119:933, 2011.)

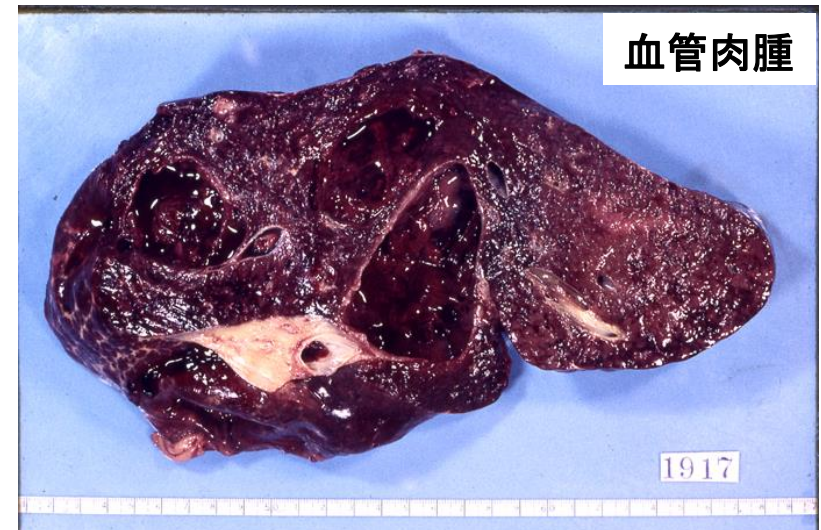
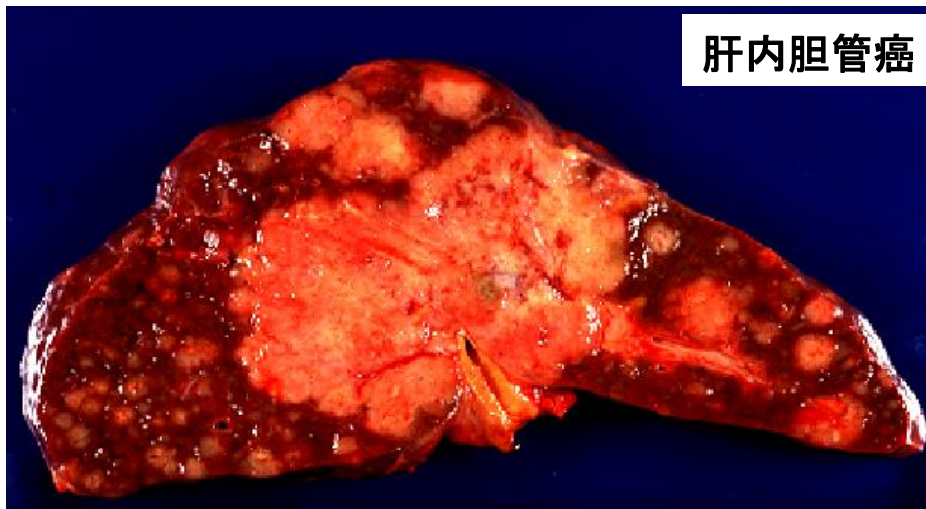
トトロラスト誘発肝腫瘍



	トトロラスト症		非トトロラスト症
	日本	デンマーク	日本
胆管細胞癌	43.5	32.3	9.6 (%)
血管肉腫	35.6	26.0	0.2
肝細胞癌	15.4	35.4	81.5
その他	31.3	6.3	8.6

(Andersson M et al. Rad Res 1994)

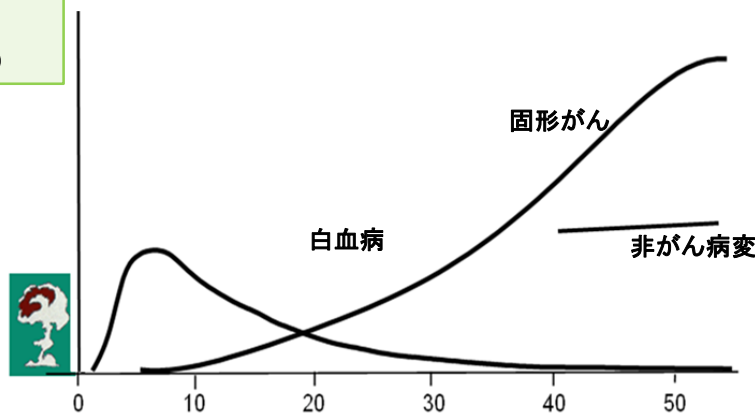
(Mori T et al. Ibid 1999)



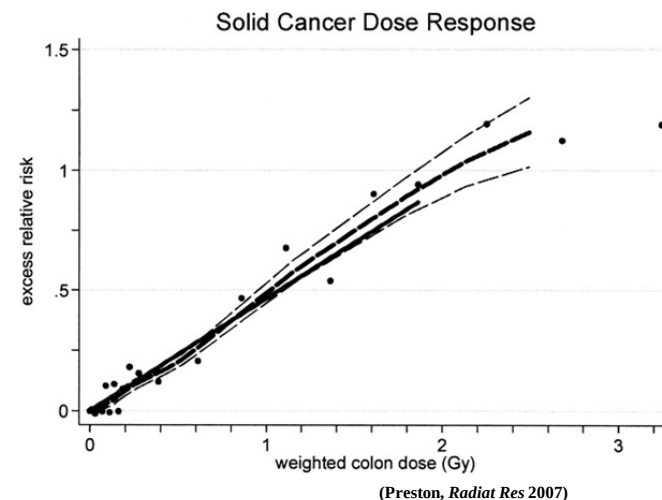


影響の経時変化

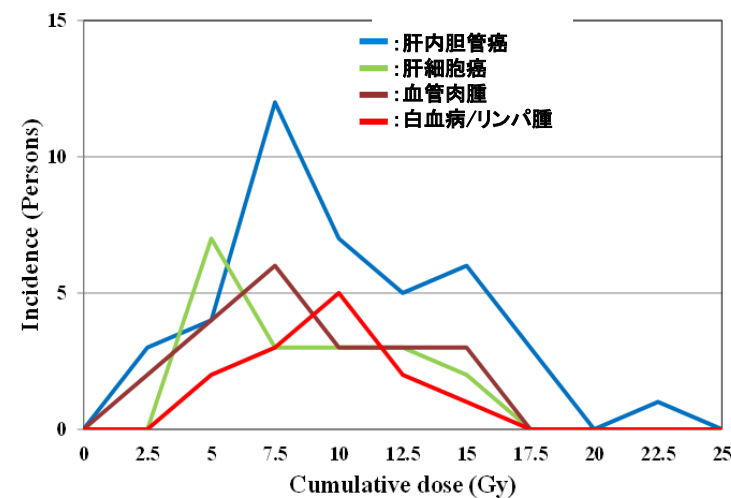
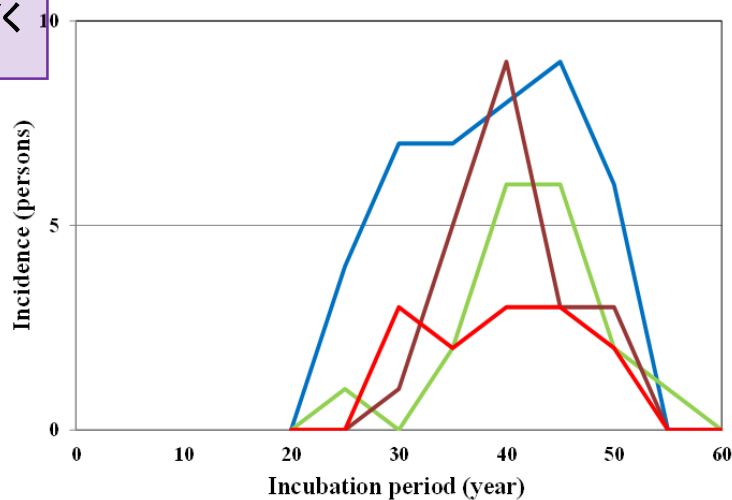
原爆による体外被ばく
(大線量率・急性被ばく)



線量と発がんリスク



トロトラストからの内部被ばく
(長期微量・慢性被ばく)

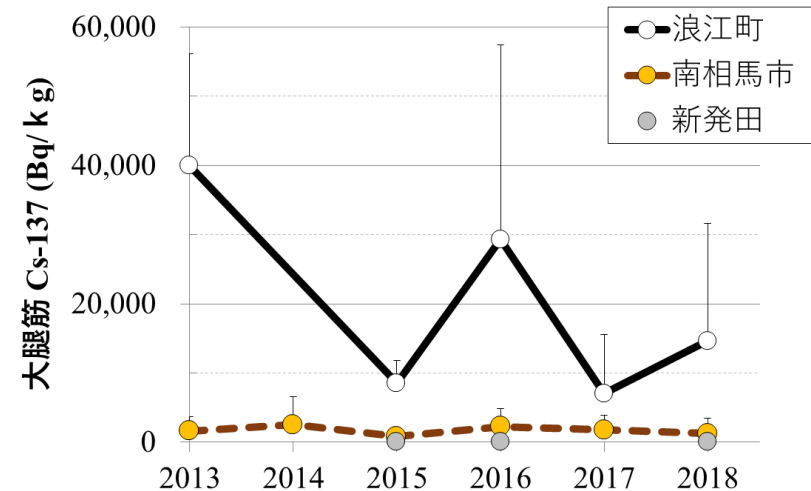
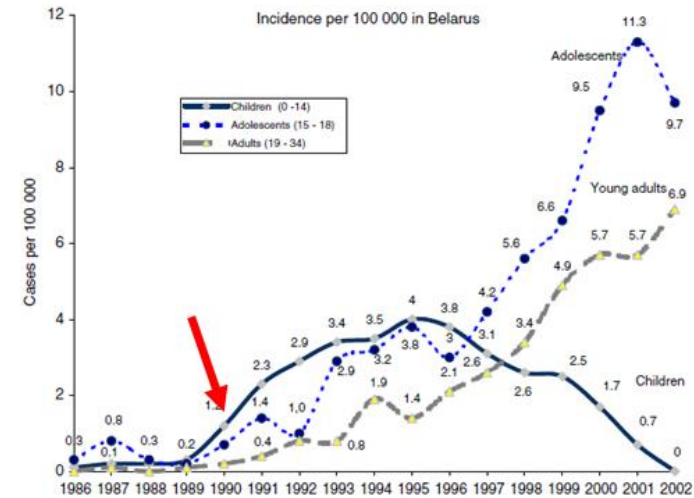
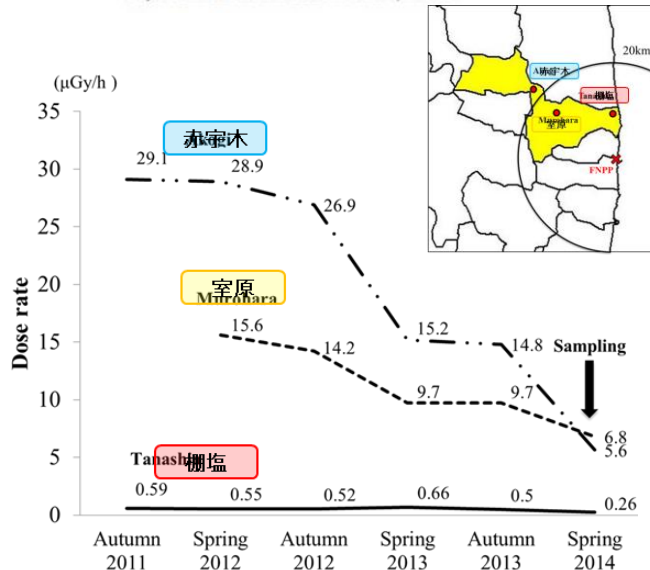
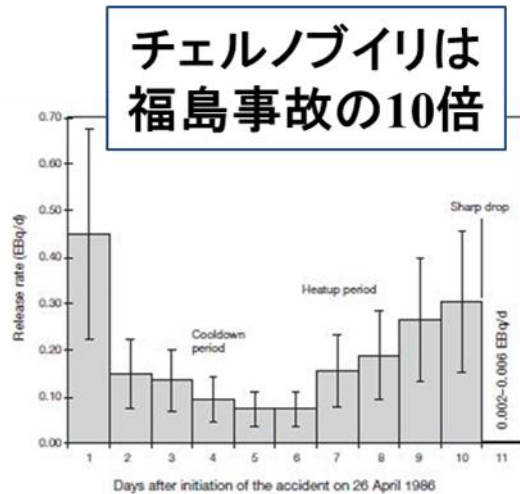


(Fukumoto, Pathol Int 2014)

サルの内部汚染は続いている



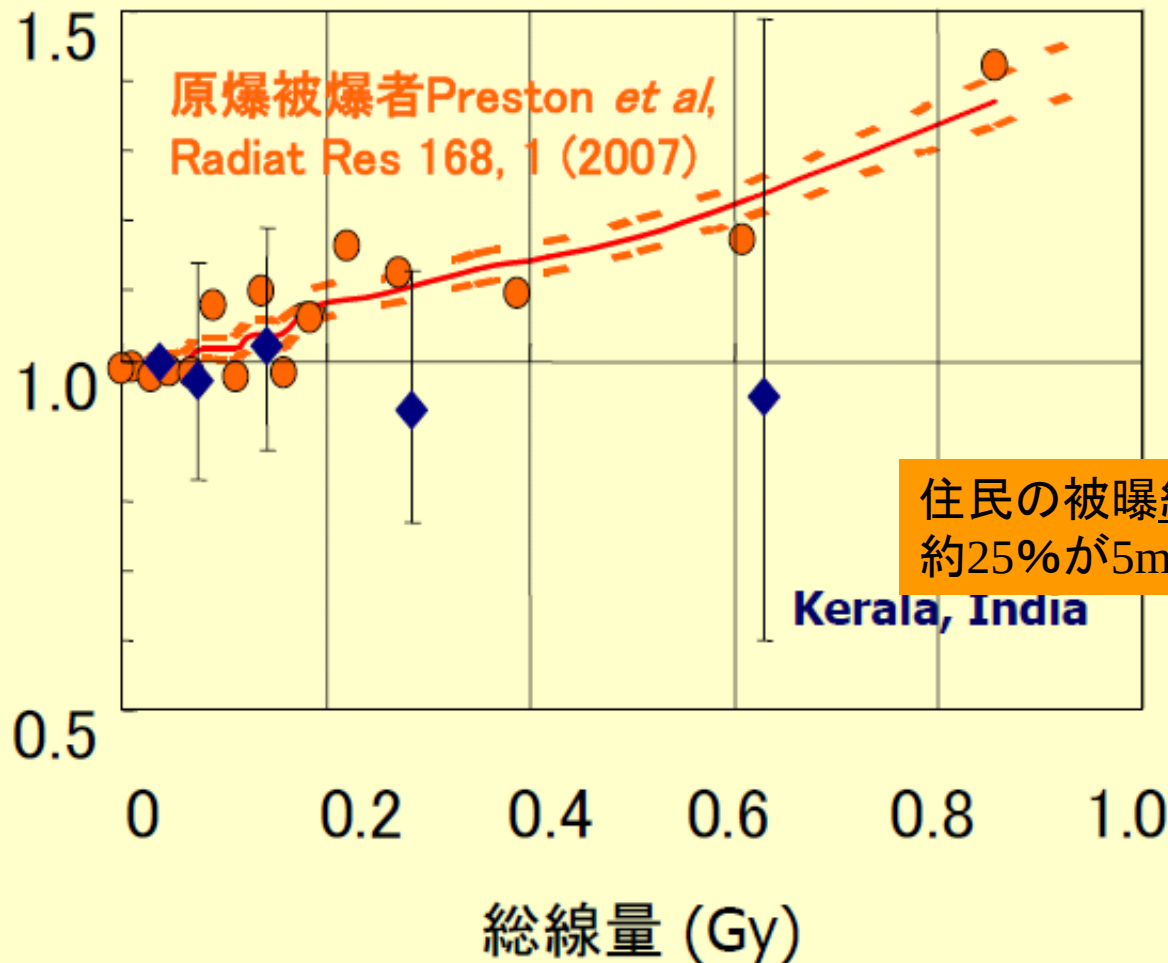
1. 精巣・骨髄で変化はあるが顕著な異常は認めない
2. 軽度の酸化ストレス下にある
3. 変化は内部被ばく線量率に相関している



高自然放射線地域における発がんリスク¹²



相対リスク



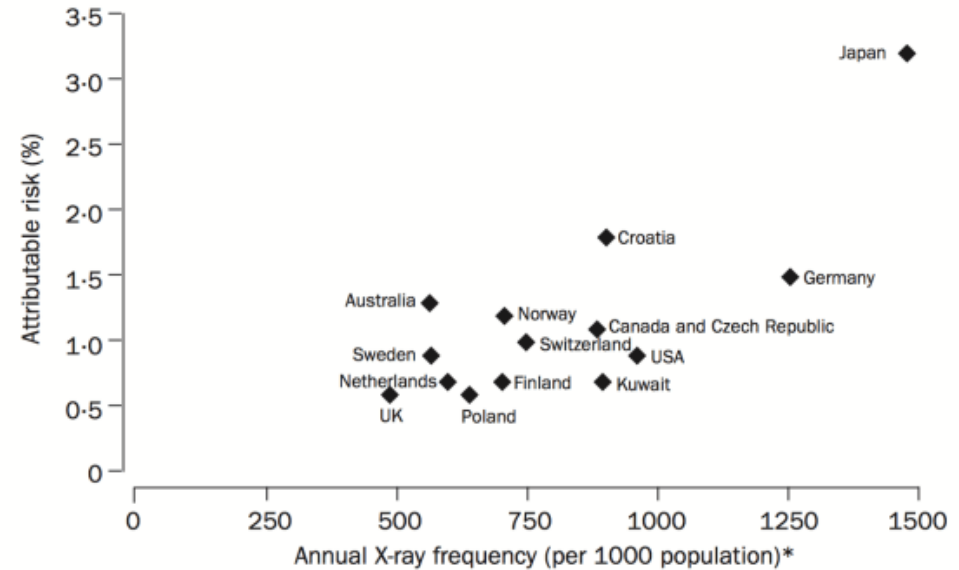
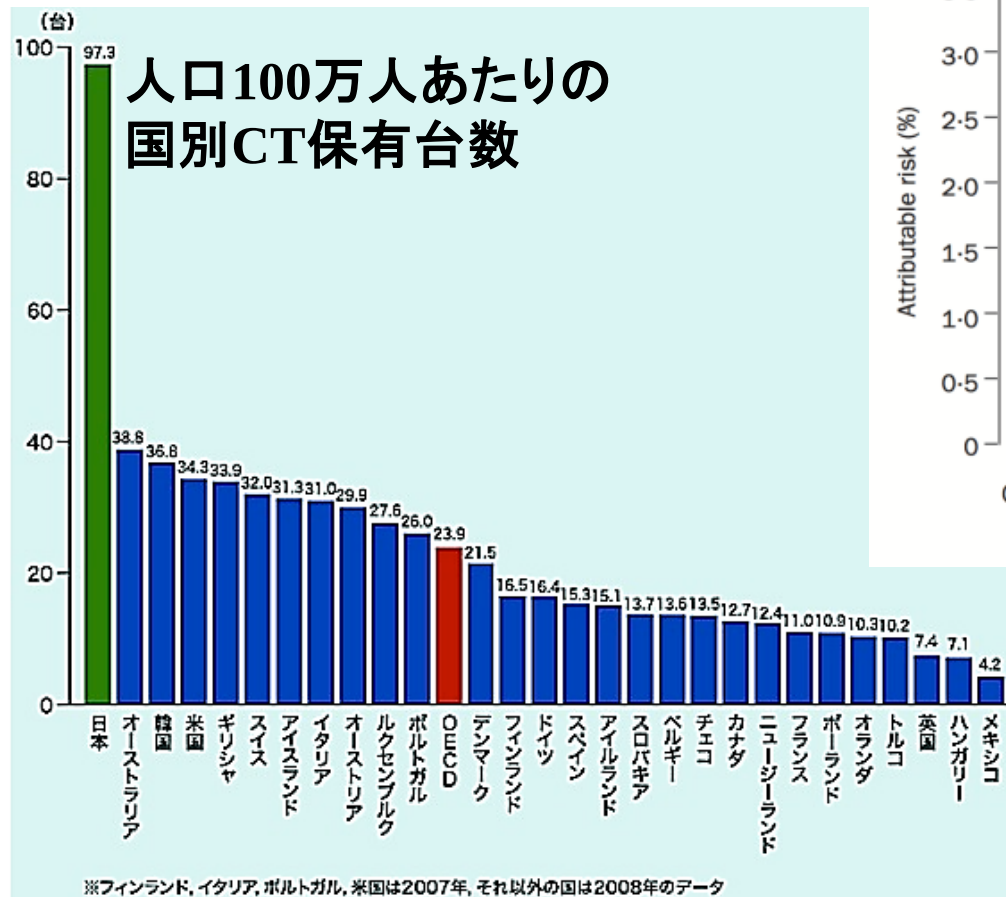
住民の被曝線量は 3.8mGy/年
約25%が5mGy/年を超える

Nair et al, Health Phys 96, 55 (2009)

日本の自然放射線: 2.4 mSv

一般公衆の線量限度: 1 mSv/年 (医療被ばくは含めない)

我が国の医療被ばく事情



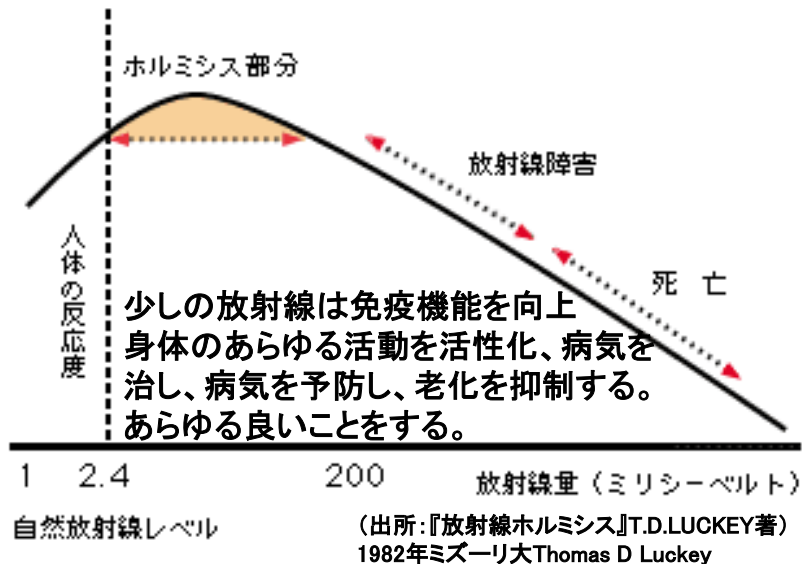
A. Berrington de GONZÁLEZ and S. DARBY, Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries, , Lancet, 363, 345-351 (2004).

OECD加盟国

- ・OECDにおいて、日本国民の寿命は最長である(84.2歳)
- ・男性の喫煙率はOECD内で8番目に高い(29.4%)
- ・CT1回あたりの被ばく量: 5~30 mSv



病気治療への応用の可能性



鎮痛効果

メチオニンエンケファリン
ベータエンドルフィン
の分泌促進



病気の進行阻止

抗酸化物質の増加
↓
活性酸素の害を抑制



がん治療効率の 向上と再発防止

がん抑制遺伝子p53の増加
免疫機能の活性化



老化の防止

- 総合的な活性化
- 新陳代謝の活性化
- 細胞膜の保護
- 抗酸化防御機能の
活性化
- 免疫機能の活性化



鼻血の話

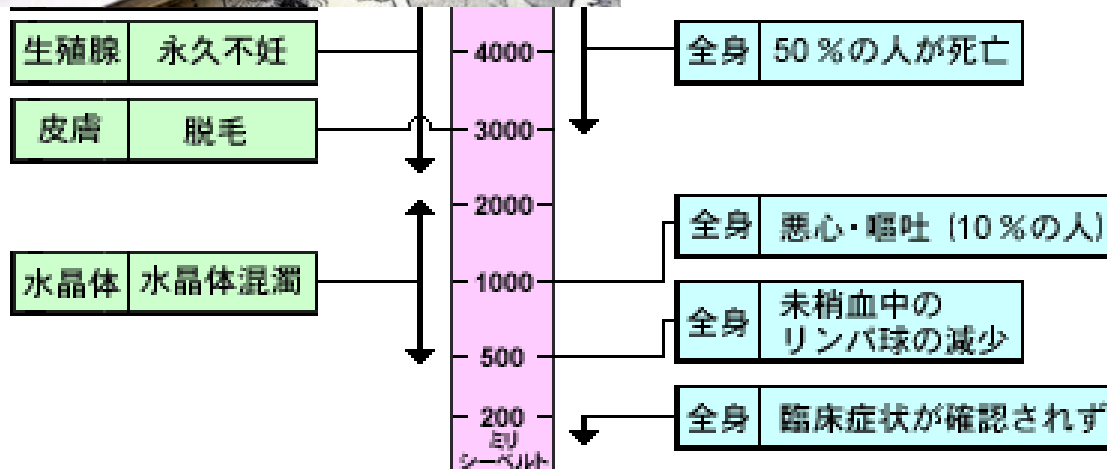


急性の放射線影響



2014年4月28日発売号で原発取材後の主人公が原因不明の鼻血を出し(右)、最新号では井戸川克隆・前双葉町長の「今の福島に住んではいけない」との発言が描かれた(左)

放射線医学の専門家が「大阪で、受け入れたガレキを処理する焼却場の近くに住む住民1000人ほどを対象に、お母さんたちが調査したところ、放射線だけの影響と断定はできませんが、眼や呼吸器系の症状が出ています」「鼻血、眼、のどや皮膚などに、不快な症状を訴える人が約800人もあったのです」と話す様子が描かれている。



(注) 一般の人の線量限度 1.0mSv/年
原子力発電所周辺の線量目標 0.05mSv/年

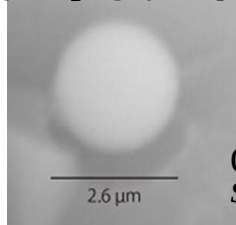
出典:「ICRP Pub.60」他

不溶性放射性セシウム粒子(セシウムボール)



16

福島原発事故で発見



(Adachi K et al.
Sci Rep 3:2554, 2013)

粒子の沈着部位

上気道領域

前鼻道領域

後鼻道・咽頭・喉頭領域

下気道領域

気管支領域
(気管を含む)

細気管支領域

肺胞・間質領域

沈着粒子
粒径

タイプB

(70-400 nm)

~ Bq

0.5 - 100

タイプA

(1-10 μm)

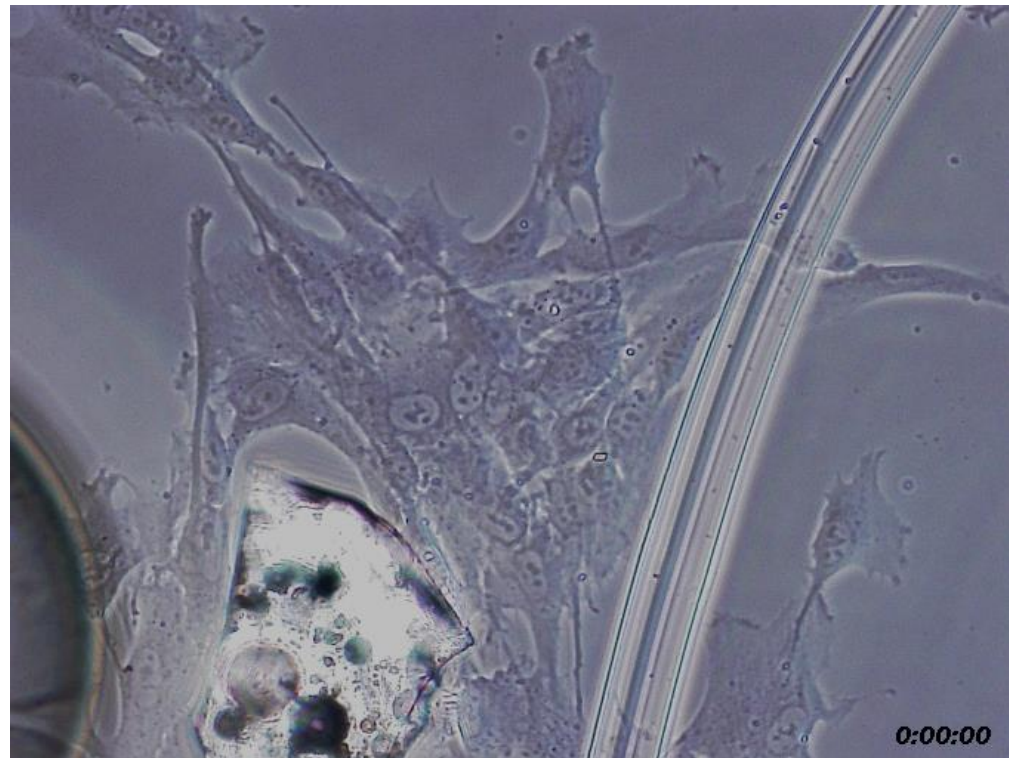
~ 10⁴ Bq

1 - 20

0.1 - 6

0.1 - 3

セシウムボールと共培養したヒト正常上皮細胞



- * チェルノブイリ原発(ホットパーティクル)では
 - ・数μmから100 μm程度
 - ・1個当たり30 ~ 1 × 10⁶ Bq

家庭ラドンとタバコによる肺がんリスク

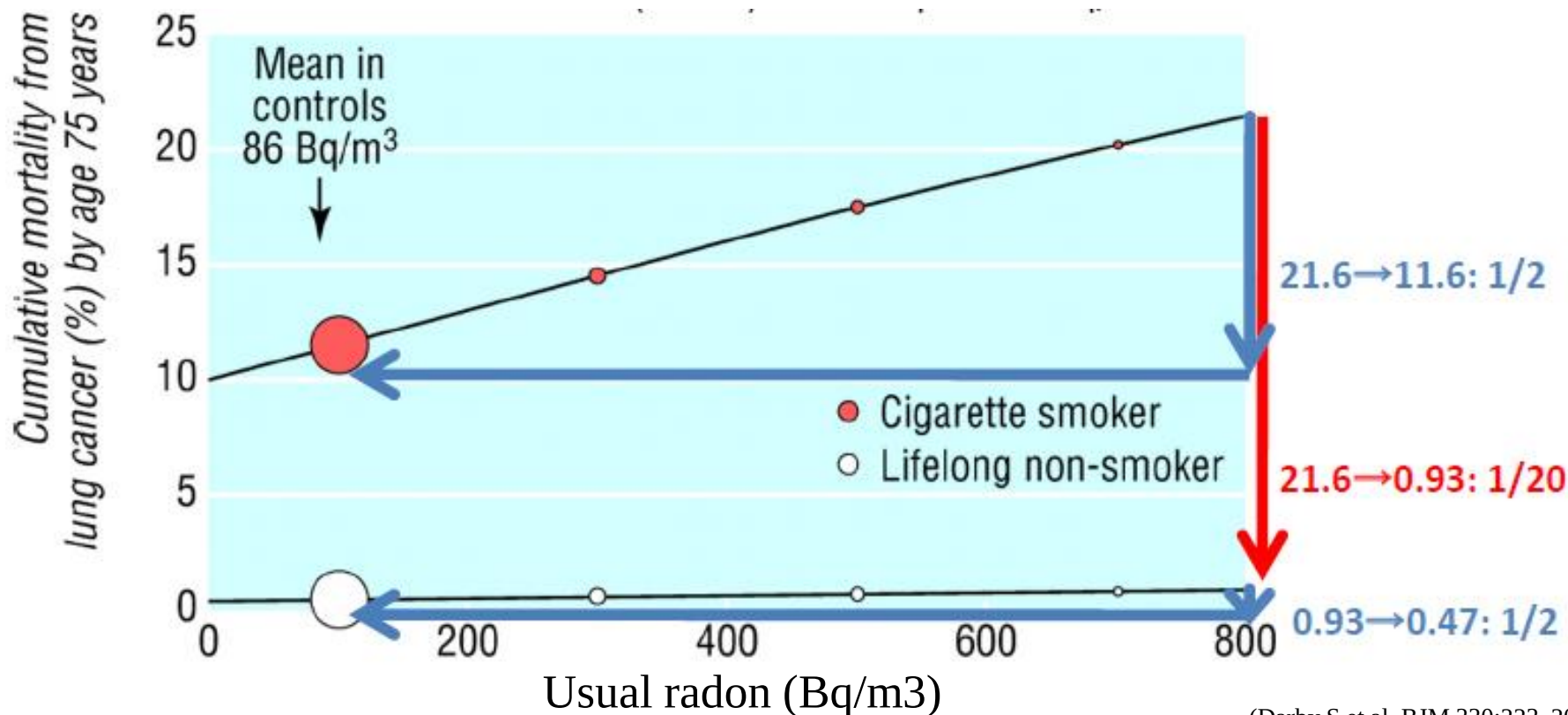


- ・ラドンは人間に対する発癌性物質 group 1 に分類 (IARC)

室内での世界的な平均ラドン濃度: 39 Bq/m^3

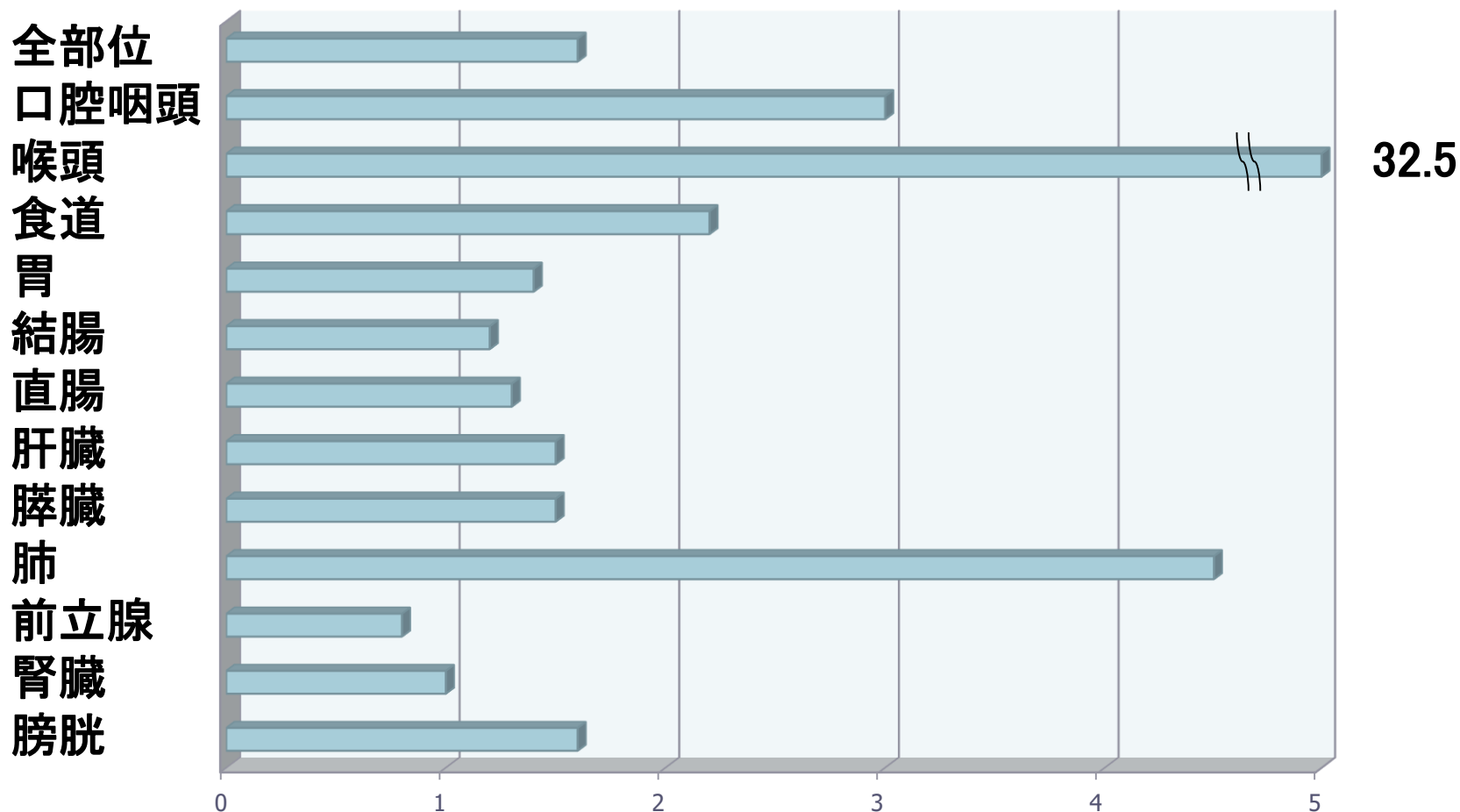
(UNSCEAR)

屋外: $5 \sim 15 \text{ Bq/m}^3$



(Darby S et al. BJM 330:223, 2005)

喫煙による臓器別の発がん相対危険度 18



相対危険度

*「頭頸部癌学会ポスター」

「がん治療認定医サマリー」より引用

がんのリスク (国立がんセンター)



(国立がんセンター津金さんの図)

がんのリスク - 放射線、ダイオキシンと生活習慣(JPHC Study) -

相対リスク	全部位 * 固形がん: 広島・長崎 ダイオキシン: 職業曝露・伊工場爆発事故	特定部位 * チェルノブイリ18歳以下被ばく10-15年後
10～		C型肝炎感染者(肝臓:36) ピロリ菌感染既往者(胃:10)
2.50～9.99		650-1240mSv (甲状腺:4.0) 【1000mSv当たり3.2倍と推計】 喫煙者(肺:4.2-4.5) 大量飲酒(300g以上/週)※(食道:4.6)
1.50～2.49	1000-2000mSv (1.8) 【1000mSv当たり1.5倍と推計】 喫煙者(1.6) 大量飲酒(450g以上/週)※(1.6)	150-290mSv(甲状腺:2.1) 高塩分食品毎日(胃:2.5-3.5) 運動不足(結腸<男性>:1.7) 肥満(BMI>30)(大腸:1.5)(閉経後乳がん:2.3)
1.30～1.49	500-1000mSv(1.4) * 2,3,7,8-TCDD血中濃度数千倍【職業曝露】(1.4) 大量飲酒(300-449g/週)※(1.4)	50-140mSv(甲状腺:1.4) 受動喫煙<非喫煙女性>(肺:1.3)
1.10～1.29	200-500mSv (1.19) 肥満(BMI≥30)(1.22) やせ(BMI<19)(1.29) 運動不足 (1.15-1.19) 高塩分食品 (1.11-1.15)	1000 mSvに被ばくすることは運 転中に携帯メールを打つ危険と 同じ程度のリスクで避けた方が 良いのは確か (Mornreal 2011)
1.01-1.09	100-200mSv (1.08) 野菜不足 (1.06) 受動喫煙<非喫煙女性> (1.02-1.03)	
検出不可能	100mSv未満 2,3,7,8-TCDD血中濃度数百倍【農業工場爆発事故周辺住 民】	

※飲酒については、エタノール換算量を示す



・放射線従事(作業)者

実効線量 $100 \text{ mSv} / 5 \text{ 年}$ (1 年間につき 50 mSv)

等価線量

水晶体 $150 \text{ mSv} / \text{年}$

皮膚 $500 \text{ mSv} / \text{年}$

妊娠可能な女子の腹部 $5 \text{ mSv} / 3 \text{ ヶ月}$

妊娠中の女子の腹部表面 2 mSv (内部被ばく 1 mSv)

・一般公衆

$1 \text{ mSv} / \text{年}$ (自然放射線 2.4 mSv)

※医療被ばくは除く

放射線防護体系の3原則



目標:

組織反応が防止され、かつ確率的影響のリスクが容認できるレベルに制限されるように、電離放射線への被ばくを制御する。(ICRP pub 104, B4)

正当化:

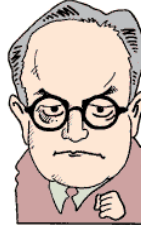
放射線に関する計画された活動の導入又は継続が、活動の結果生じる損害よりも大きな利益を個人と社会にもたらすべきである。

最適化:

被ばくする可能性、被ばくする人の数、及びその人たちへの個人線量の大きさは、すべて、経済的及び社会的な要因を考慮して、合理的に達成できる限り低く保たれるべきである。As Low As Reasonably Achievable (ALARA)

線量限度:

規制された線源からのいかなる個人への総線量も、適切な限度を超えるべきでない。

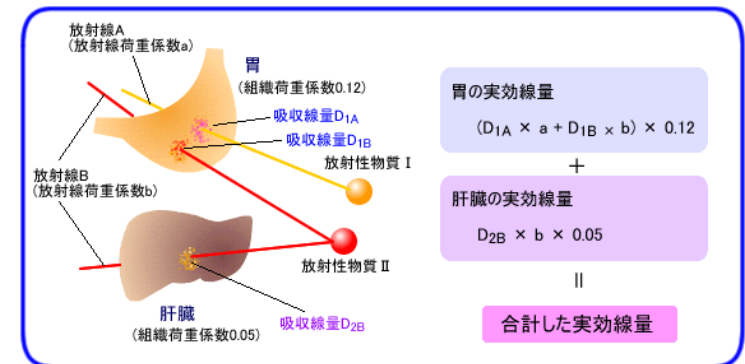
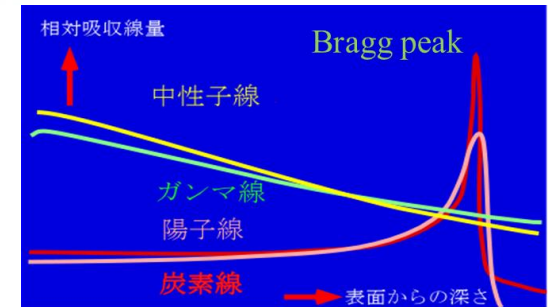
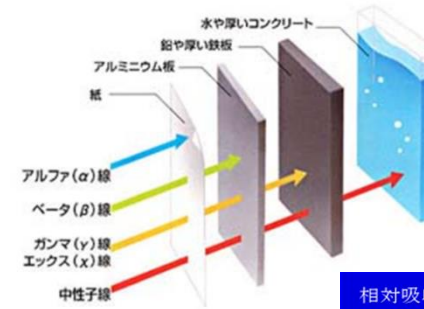


単位	ベクレル	グレイ	シーベルト
	放射能の強さ	吸収されたエネルギー	人体への影響
記号	Bq	Gy	Sv

$1 \text{ Bq} = 1 \text{ decay/sec}$ (1秒間に1回の放射改変)
 $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ (ラジウム1 gの放射能)
 $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$, $1 \text{ Gy} = 6.241 \times 10^{18} \text{ eV/kg}$

1 Sv

等価線量 = 吸収線量 × 線質計数
 実効線量 = 等価線量 × 組織荷重係数
 預託実効線量(内部被ばく)
 個人線量当量
 周辺線量当量(空間線量)



内部被ばくの線量・生物影響評価は難しい



放射性物質の特性

化学的:

臓器集積性

物理学的:

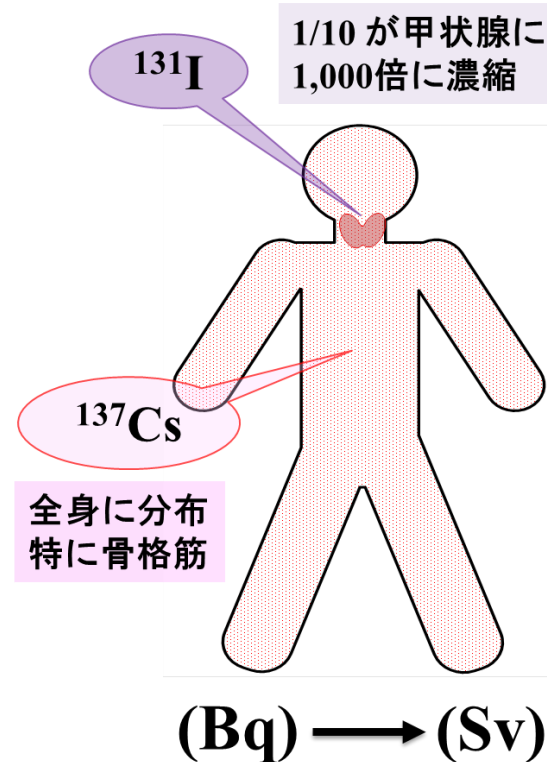
線量・線量率・線質・エネルギー
半減期・状態(粒子径など)

生物学的:

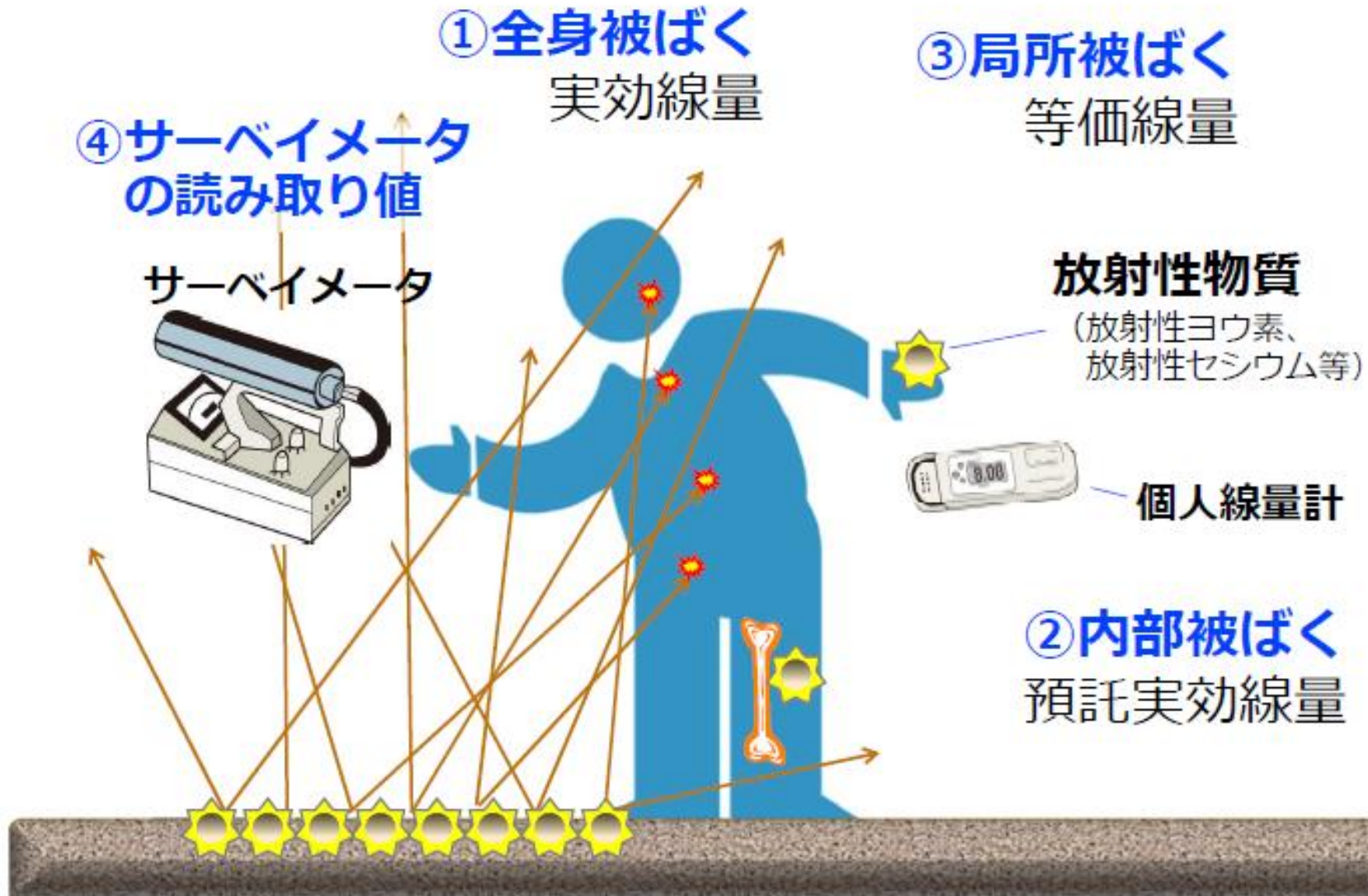
臓器・組織の放射線感受性
性・年齢・排泄能

分布は摂取経路によっても異なる

長半減期で粒子線放射性物質
も問題となる



諸条件が絡み合って
生物・人体影響は複雑





- 医師による新生児の診断(約8万人)
- どうやって市民の出産予定を調べたか？
→ 特別食料配給の制度を用いた(妊娠5ヶ月以降に申請)。
- 申請の際に被ばく状況などの聞き取りを行なった。
- 当時の出産は大半が自宅で行なわれたので、助産師さんに協力を仰いだ。
- 体重、生まれたときの障害(死産、形態異常、早期死亡)、男女比などについて調べた。
- 先天異常(奇形)、死産、早期死亡などに影響は見られなかった。



① 出生時の障害	77,000人(1948－1954)
② 性比	140,000人(1948－1966)
③ 染色体異常	16,000人(1967－1985)
④ 生化学的タンパク質調査	23,000人(1975－1984)
⑤ 死亡率調査	80,000人(1946－継続中)
⑥ DNA調査	1,000家族(1995－継続中)
⑦ 臨床健康調査	10,000人(2002－2006:継続中)

しかし幸いなことに、調べた限りでは親の放射線被ばくの影響は観察されていない。

(影響がなかったのではなくて、観察されないくらい少なかったということだろう)



- 原爆被爆者の子どもについての調査では、親の被ばくの影響は見つかっていない。その理由は恐らくふたつある。
人間のDNAには、さまざまな間違い(突然変異)がすでに蓄積している。それは、アフリカで生まれて以後、人類が繁殖を繰り返してきた証でもある。
他方、放射線の1グレイ被ばくにより新たに生じる突然変異の数は、恐らく細胞当たり一個未満か。
- もしもこれが事実であるならば、放射線被ばくにより新たに生じる突然変異の数は、すでに蓄積されている突然変異の数と比べて相対的にかなり小さいので、影響の検出が難しいのも納得がいく。
- 近年、小児がんの生存者の子どもの調査が報告されるようになった。これらの人が受けた放射線の量はすごく多いが、遺伝的障害の増加は見られていない。
- 今回の原発事故で遺伝について心配することはない。

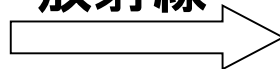
これまでの考えとは違う時代になってきた 28



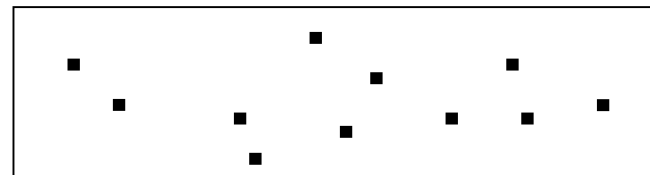
新品のホワイトボード



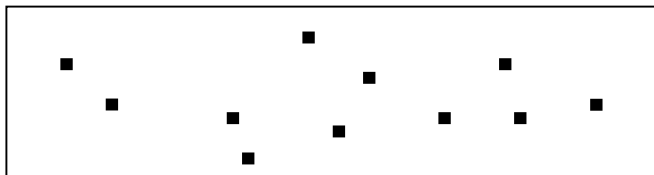
放射線



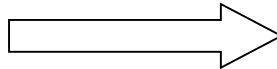
突然変異が起こる



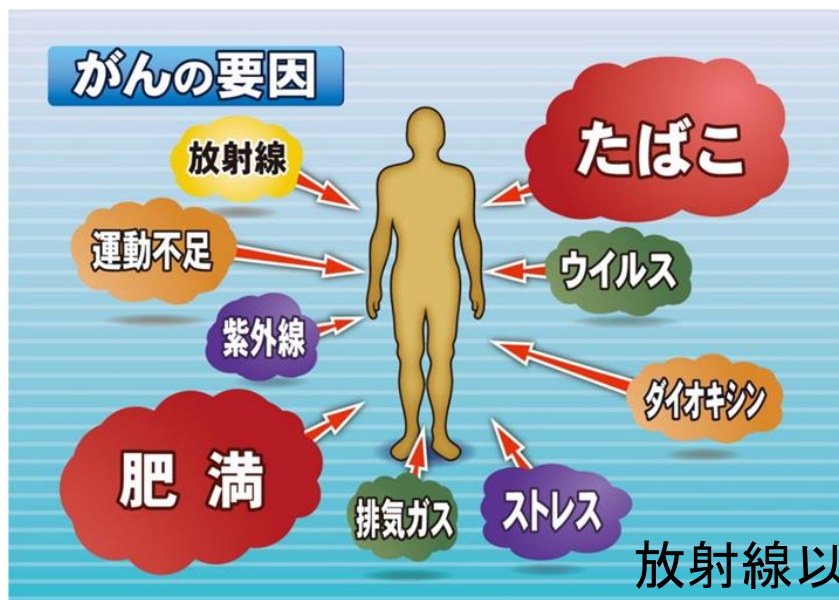
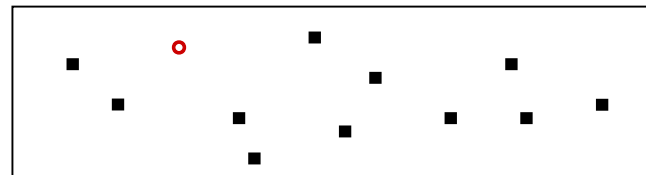
ホワイトボードは新品でない



放射線

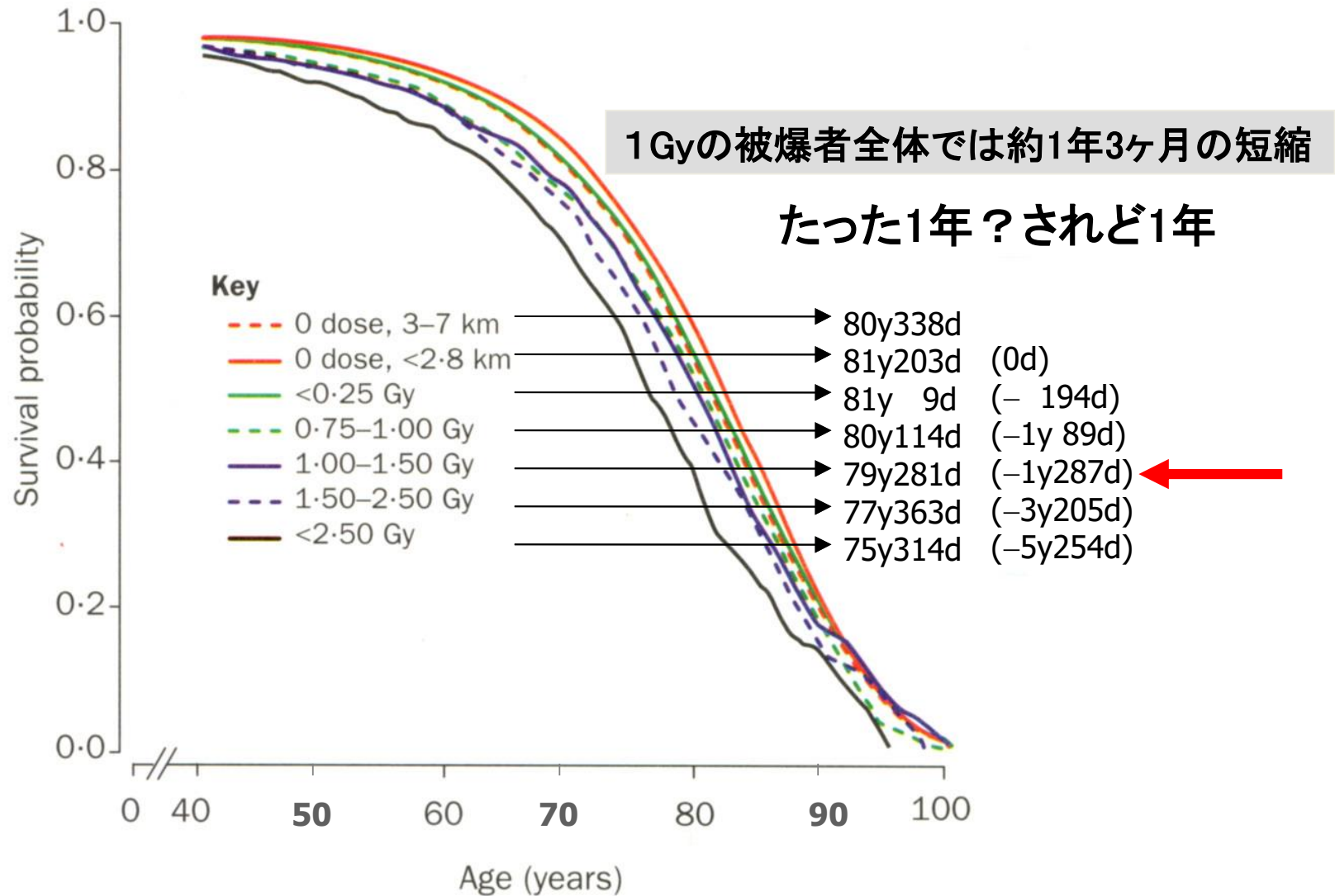


突然変異は起こるけど、すでに存在しているものの方が遥かに多い



放射線以外にも多くの突然変異誘発因子が

寿命短縮



都道府県別平均寿命(平成27年)

30

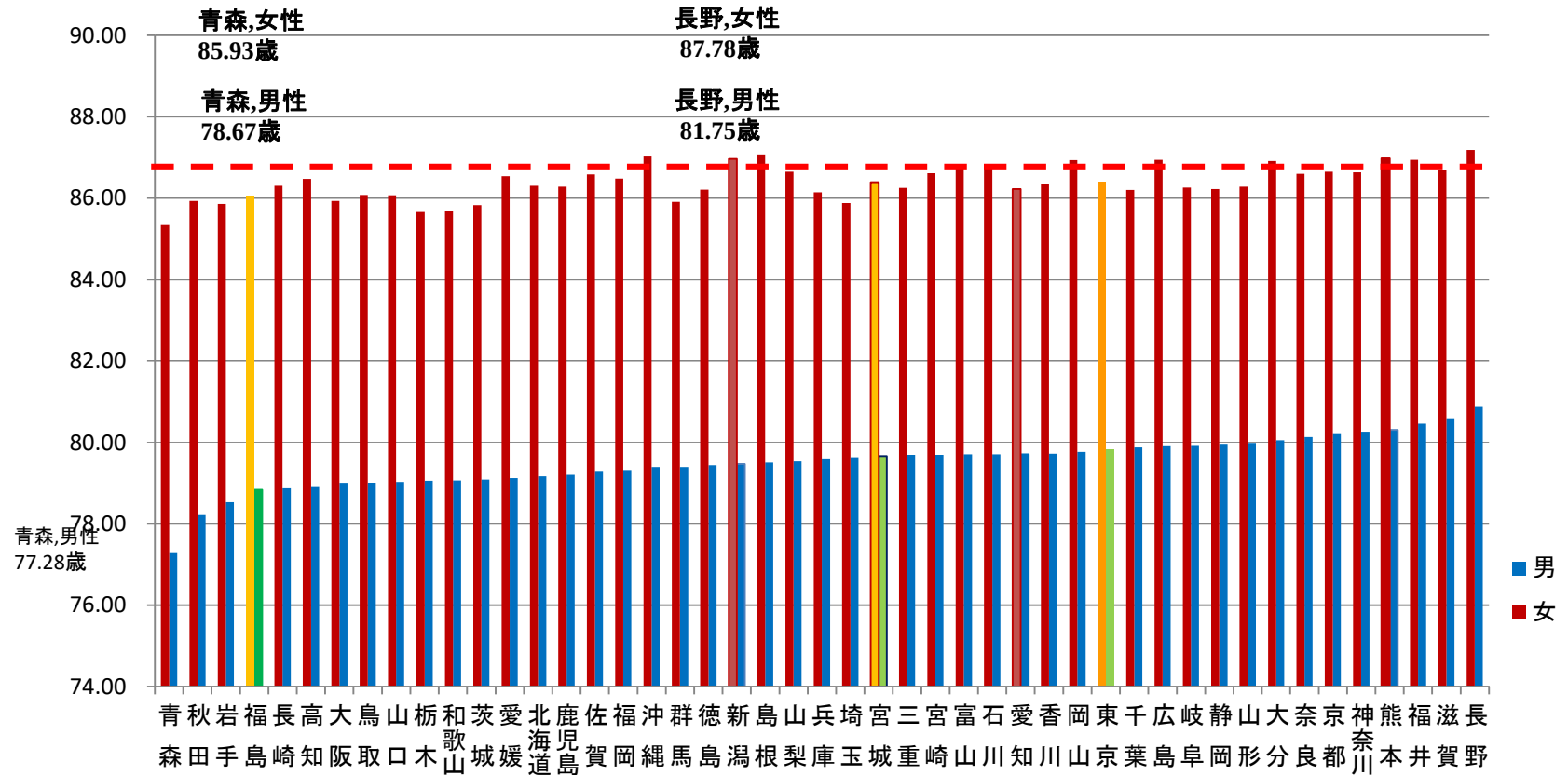


福島女性: 86.40歳(43位)

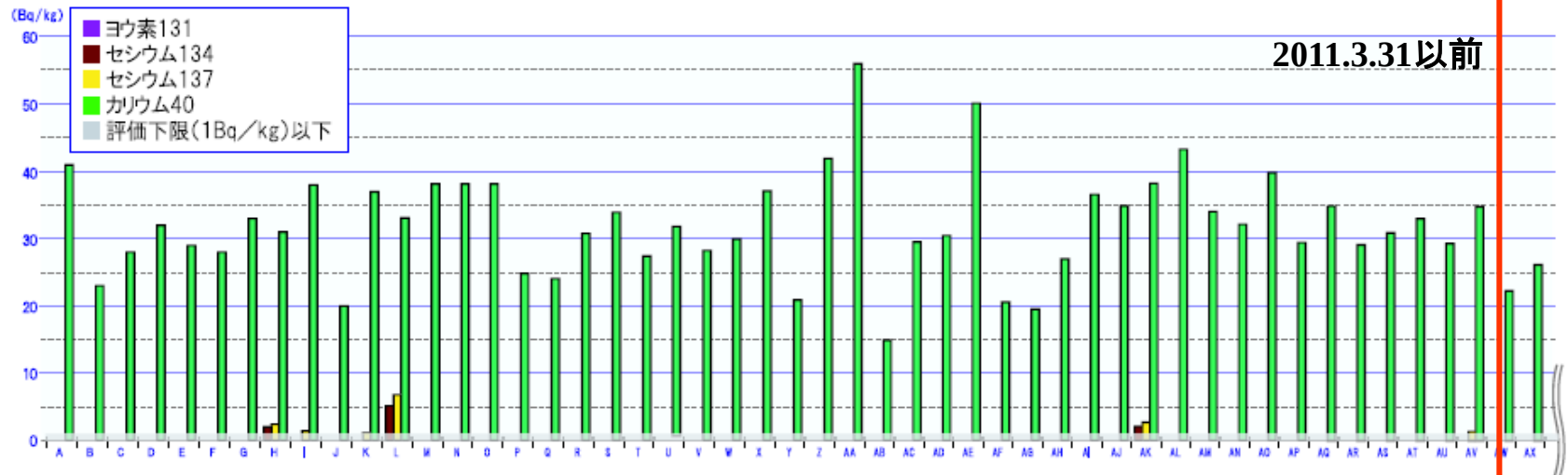
福島男性: 80.12歳(41位)

女性平均87.01歳

男性平均80.77歳



陰膳方式による福島県民の放射能量調査



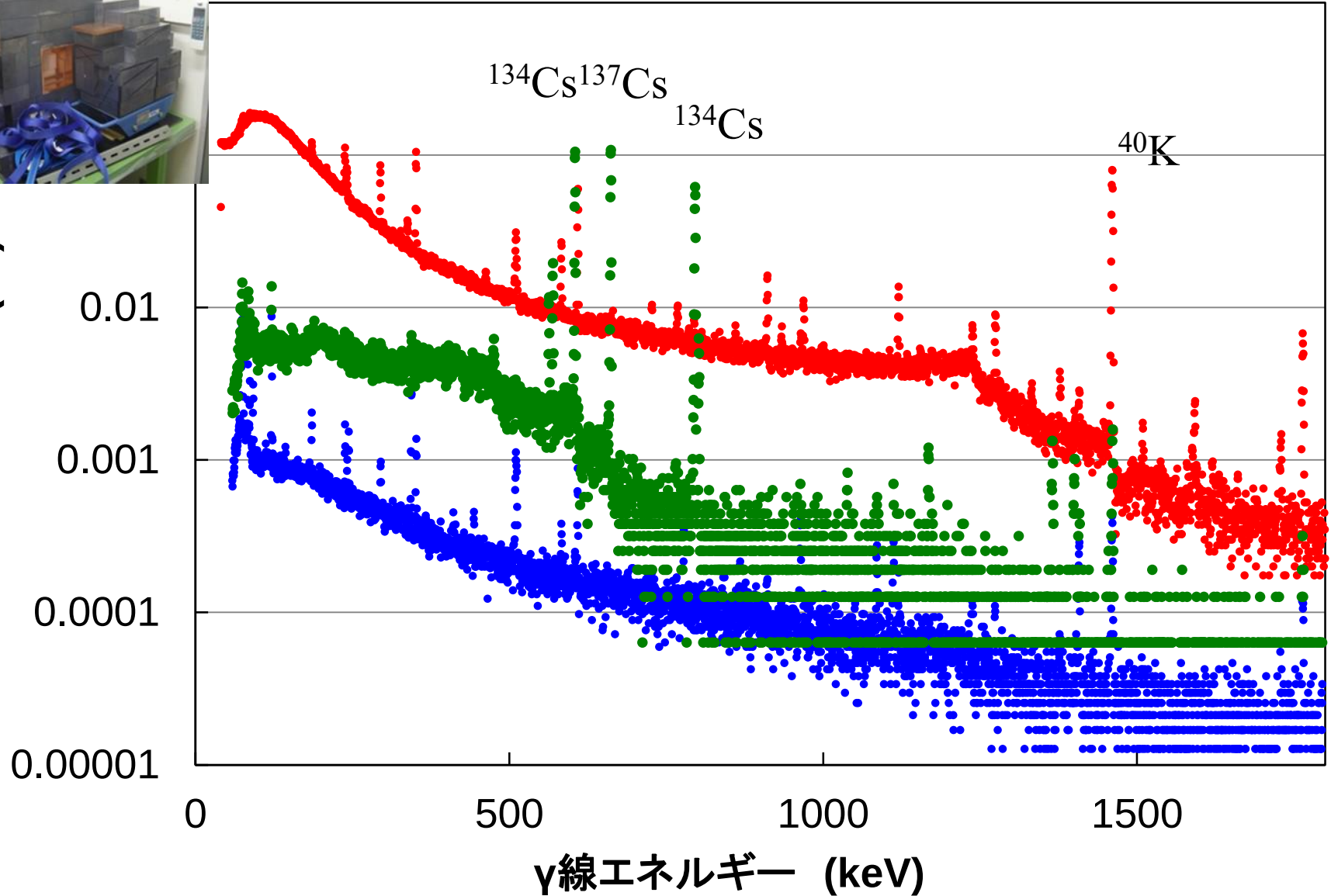
(コープふくしま)

鉛による γ 線の遮蔽効果

32



1秒あたりのカウント数 (s^{-1})





1. 放射線生物学でわかっていることの紹介。
2. 放射性物質による被ばくは、
外部被ばくと内部被ばくがある。
3. 放射線のヒトへの影響を考えるためには
放射線以外の様々な要因も考慮しないといけない。
4. シーベルト(Sv)は、人体に関わる様々な放射線の量を表す。
科学と規制は異なる。
5. 福島原発事故に関して、遺伝影響は心配しなくてよい。