

放射線学入門

—福島第一原発事故を受けて—

一般向け緊急被曝ガイド

平成23年12月28日版

P17: 緊急時被曝線量限度、福島は100mSvになっています

P78: 朝日新聞の放射性ストロンチウムについての記事追加

1月中旬頃に医療科学社から書籍として出版されます

産業医科大学医学部

放射線衛生学講座

お問い合わせ先: j-hsyseg@mbox.med.uoeh-u.ac.jp

まず放射線の単位を理解しましょう

	単位	意味	簡単に説明すると
放射能	Bq ベクレル	放射性物質が1秒間に崩壊(壊変)した数	放射性物質から1秒間に1つ放射線が出ると1ベクレル (1崩壊でα線とγ線またはβ線とγ線が同時に出ることもあるので、厳密には違います。)
吸収線量	Gy グレイ	ある任意の物質中の単位質量あたりに放射線により付与されたエネルギーの平均値	放射線が物質に与えるエネルギーの単位
等価線量	Sv シーベルト	組織・臓器における放射線の影響を、放射線の種類やエネルギーによる違いを補正し、共通の尺度で表現する量	放射線の人に対する影響に用いる単位
実効線量	Sv シーベルト	等価線量を組織荷重係数によって補正し、全身の放射線影響の指標となる量	

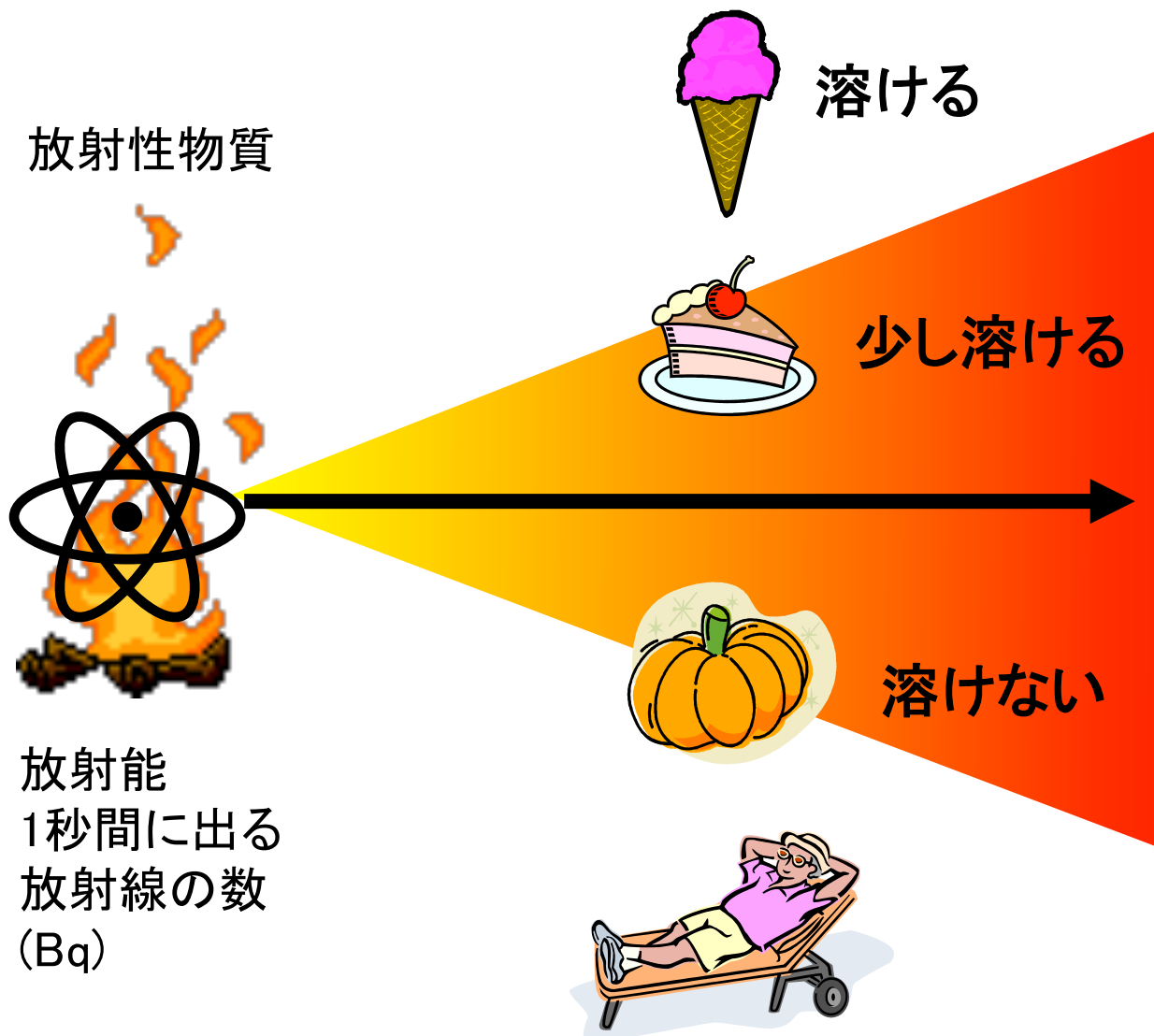
核分裂生成物に関しては、GyとSvは同じと考えていいです。当初、報道で言われているシーベルトという単位は「毎時」が省略されていた。すなわち1時間被曝し続けないとその線量にはならないということ。この当たり前のことが理解されていないようにみられる。時速300kmで5分走っても、300kmに達しないのと同じ。

単位

- テラ (T): 1兆 (10^{12})
- ギガ (G): 10億 (10^9)
- メガ (M): 100万 (10^6)
- キロ (k): 1000 (10^3)
1MBq=1000kBq=100万Bq
- ミリ (m): 1000分の1 (10^{-3})
- マイクロ (μ): 100万分の1 (10^{-6})
1Sv=1000mSv=100万 μ Sv

放射線を火に例えると

影響は「モノ」によって違う



放射線はその種類によって物質へのエネルギーの付与の仕方が異なる

放射線エネルギーがどれだけ物質に吸収されたかを示すものが吸収線量と言い、グレイ (Gy = J/kg) を用いる

J(ジュール)は仕事、熱量、電力量に用いられる単位

人体への影響を示すものが、等価線量あるいは実効線量といい、シーベルト(Sv)を用いる

X線や γ 線、 β 線(電子線)に被曝すれば、 $1\text{Gy} = 1\text{Sv}$
 α 線は $1\text{Gy} = 20\text{Sv}$

放射線をうんちに例えると

放射性物質



どれくらい臭いを出すか
ベクレル(Bq)

吸った臭いの量 : グレイ(Gy)



臭いが人体に及ぼす影響
シーベルト(Sv)

外部被曝 : 臭いを嗅ぐ
内部被曝 : うんちを摂取する
表面汚染 : うんちが付着する

嗅がないように、離れる、覆う、短時間で

口、皮膚、気道から入らないように

付いたうんちは洗えば良い

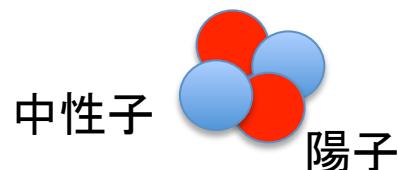
放射性物質から
身を守るため

放射線の正体

放射線は、
電離や励起を引き起こす **粒子線** あるいは **電磁波**

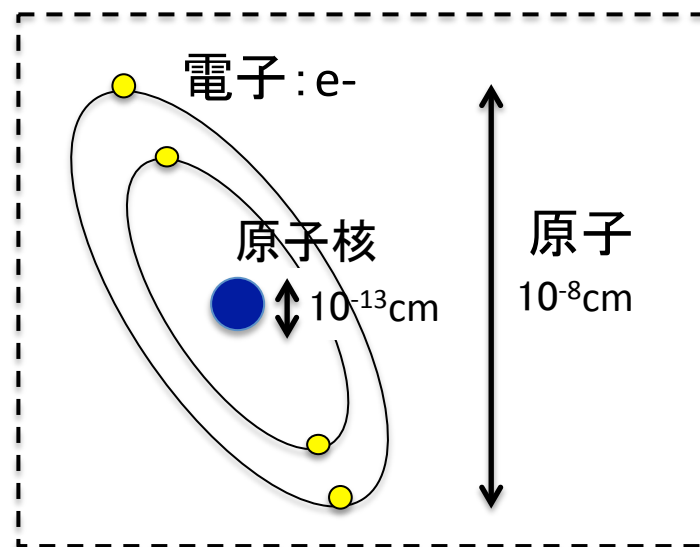
小さな粒 (粒子線)

アルファ線: 陽子2個、中性子2個からなるヘリウム原子核



ベータ線: 電子 ● 9.1×10^{-31} kg

中性子線: ● 1.6×10^{-27} kg



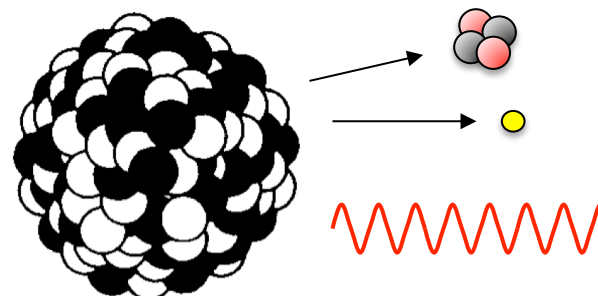
見えない光 (光子、電磁波)

ガンマ線、X線: 超高周波数 (波長は短い) 電磁波



放射性物質

放射線をだす物質



「放射能漏れ」という言葉はありません！
この点に関して、マスコミはいつもデタラメ。

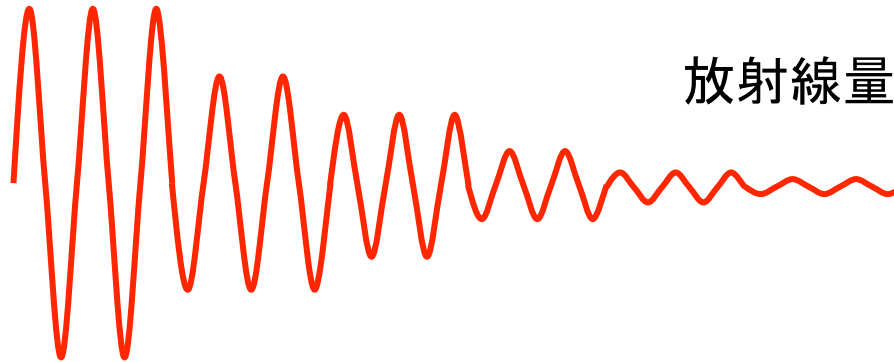
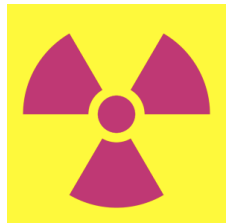
放射能とは、
放射性物質が放射線を出す能力のこと。

「放射性物質漏れ」が正しい。

放射線と放射性物質の遠距離到達の違い

放射線は離れる程、線量は弱くなりますが、この時の放射線はガンマ線やX線のこと。
せいぜい数十mしか飛びません。

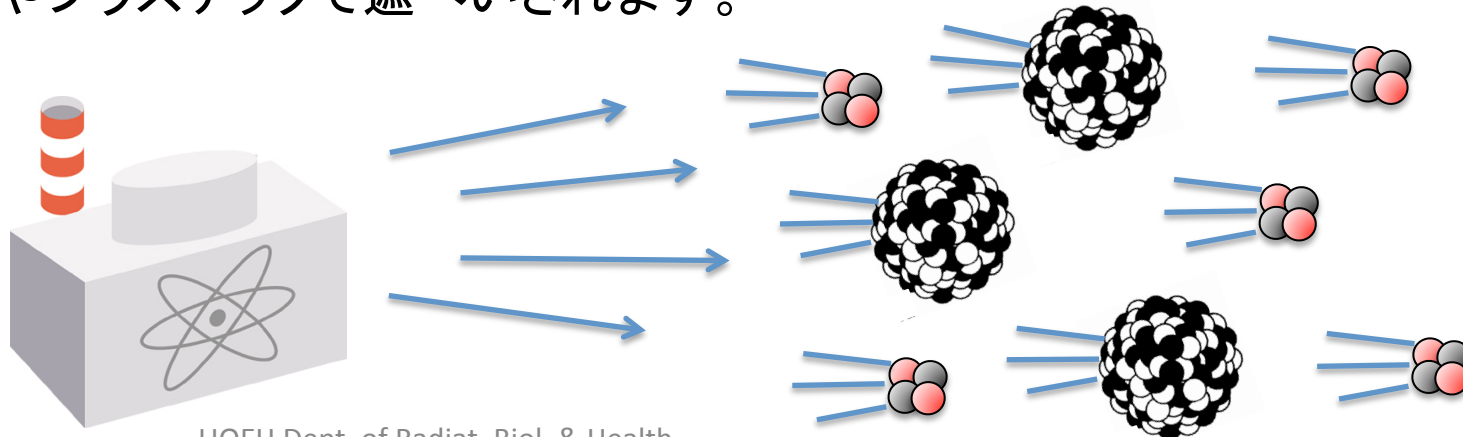
エネルギーの強いγ線では数百m飛びますが、一般市民の方がそのような強いエネルギーのγ線に遭遇することはないでしょう。



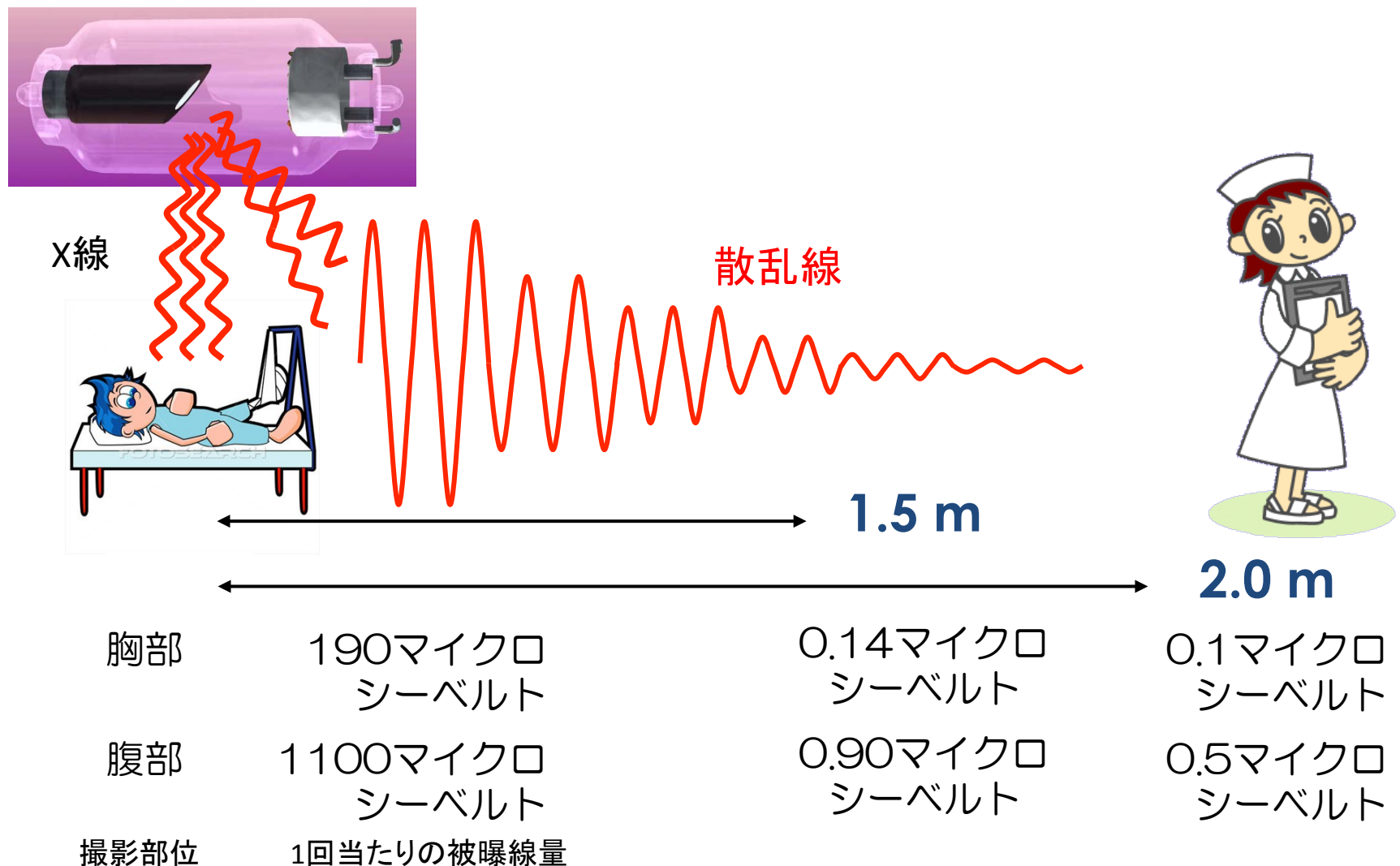
放射線量は距離の二乗に反比例します

何もない

放射性物質とは放射性同位元素を含んでいるので、そのものから放射線が出ます。この時に問題になるのはアルファ線やベータ線。数mmから数cmしか飛ばないので、花粉を払う如く除去すれば良いのです。アルファ線は紙1枚で、ベータ線はアクリルやプラスチックで遮へいされます。



放射線(散乱線)の影響

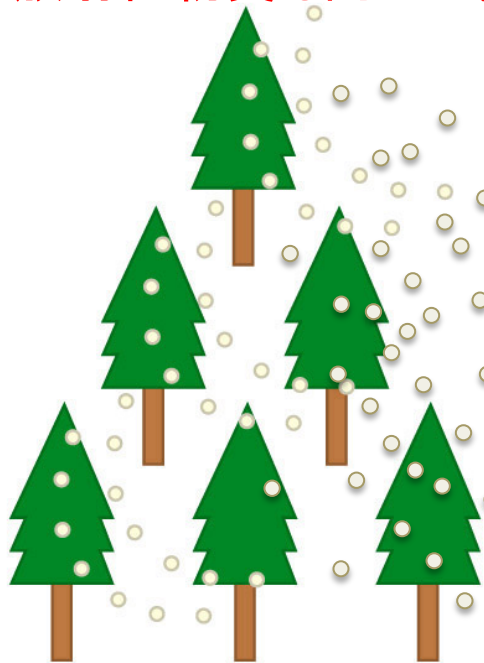


一般的に放射線(散乱線)の影響は距離の二乗に反比例します。
 つまり、離れるほど放射線(散乱線)の影響は少なくなります。
 (放射線線源や放射性物質は飛んできません)

放射性物質の影響

原発からは放射性物質が飛んできます。健康被害を与えるような高濃度の放射性物質との接触をさけるために、福島原発から20km圏内は退避区域にしてあります。20から30kmの所は屋内退避です。チェルノブイリ原発30km圏内は強制退避区域です。大爆発でもない限り、30kmで充分と思われれます。

放射性物質を花粉に例えると
花粉は遠く離れる程、量が少なくなります。
放射性物質も同じです。



屋内退避区域で放射性物質に対して
衣服等に付着したら払いましょう
吸い込まないようにマスクしましょう
対処は花粉と同じ

放射線をお酒に例えると

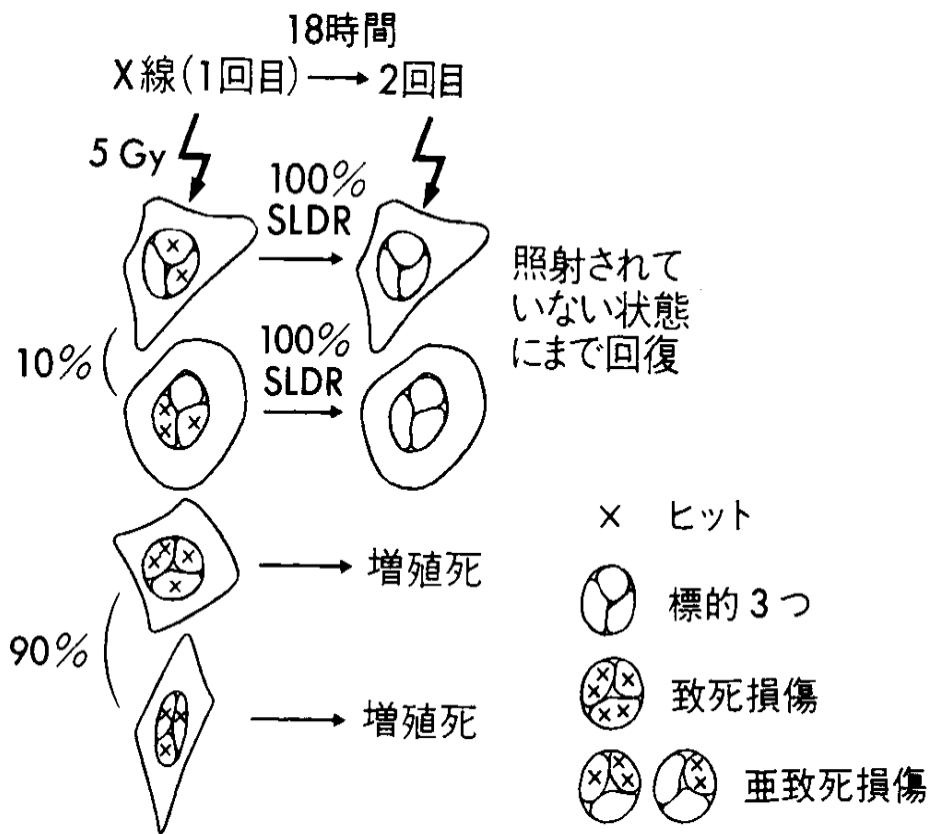


大量のお酒を一気に飲むと死ぬかもしれません。毎日少しずつだと、おいしく飲めます。飲み方によっては、二日酔いになったり、病院で治療を受けたり、飲んだ量や時間によって影響は異なります。放射線も同様、同じ線量でも分割照射だと修復時間が出来るので、影響が軽減されます。細胞には障害に対する修復能があります。障害が大きいと修復できなくなり、死んでしまいます。また、時間当たりの放射線量(線量率と言います)が小さい程、放射線の影響は小さくなります。 UOEH Dept. of Radiat. Biol. & Health 11

予備知識:分割照射の効果

亜致死損傷からの回復

(Sublethal Damage Recovery SLD回復) Elkind回復



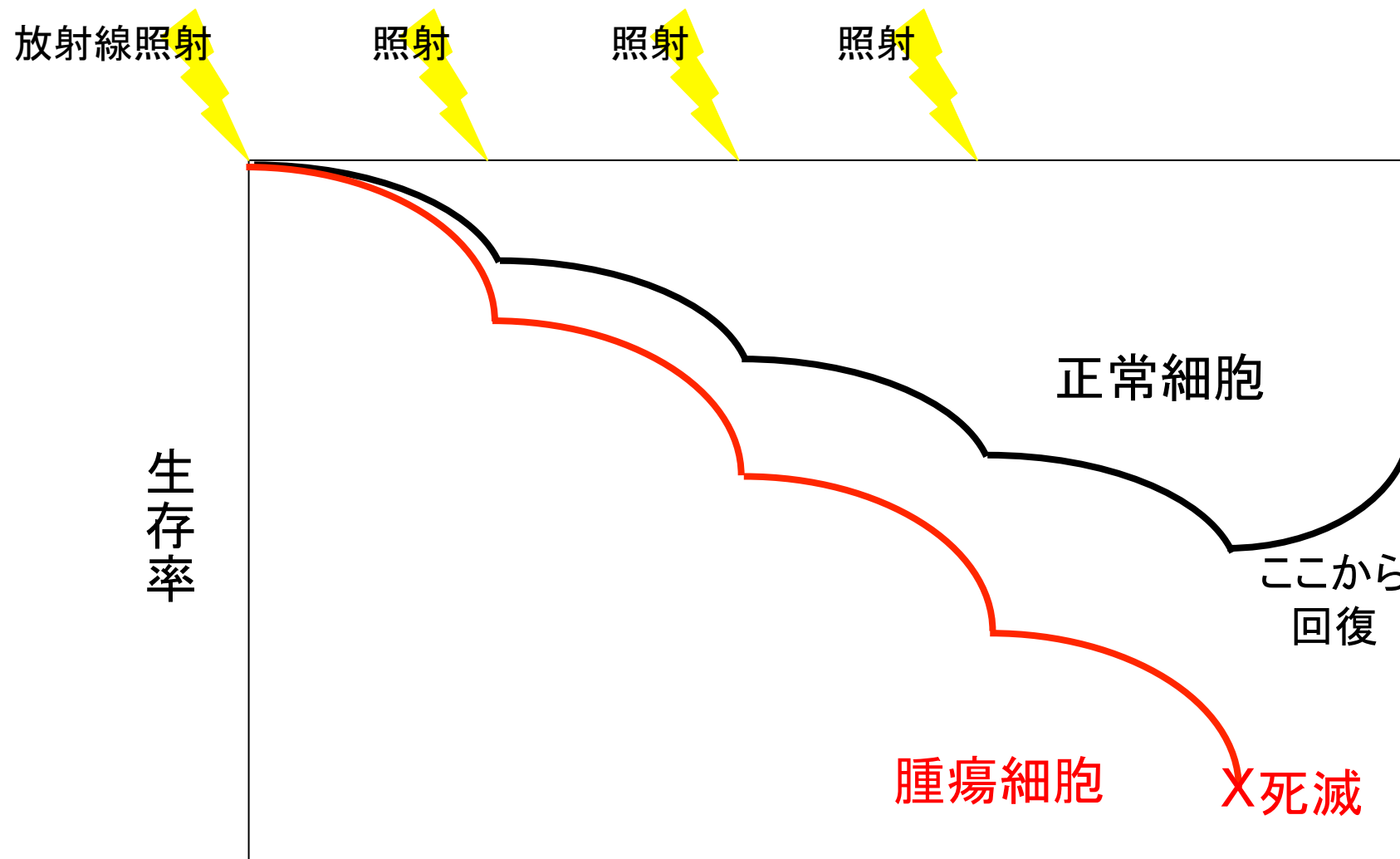
同じ10Gyでも、5+5Gyだと修復する時間がある生存率が上昇する。

分割照射は**放射線治療**に応用されています

腫瘍細胞に合計20-30Gy照射しますが、一気に照射すると正常細胞のダメージが大きく修復できなくなるからです

国の暫定規制値は1年間で5mSvというものもあるが、被曝線量として無視できる数値。

実際の放射線治療における腫瘍細胞と正常細胞の分割照射による生存率の差



亜致死損傷からの回復 (Sublethal Damage Recovery (SLD回復) Elkind回復) は正常細胞と腫瘍細胞で異なる

福島県波江町(福島第一原発から20Km)

平成23年4月7日

58.5マイクロシーベルト毎時を観測

1日だと1411マイクロシーベルト(58.4 x 24時間)

約71日で100mSvを超えてしまいます

が、

1回で短時間に100mSvを被曝するのと
長時間に渡って100mSvを被曝するのは、
同じ影響ではありません!



積算線量の表示は環境測定として意味がある。健康被害を表す数値ではない。
1日で100mSv被曝するのと71日で100mSv被曝するのでは、健康被害は同じでない

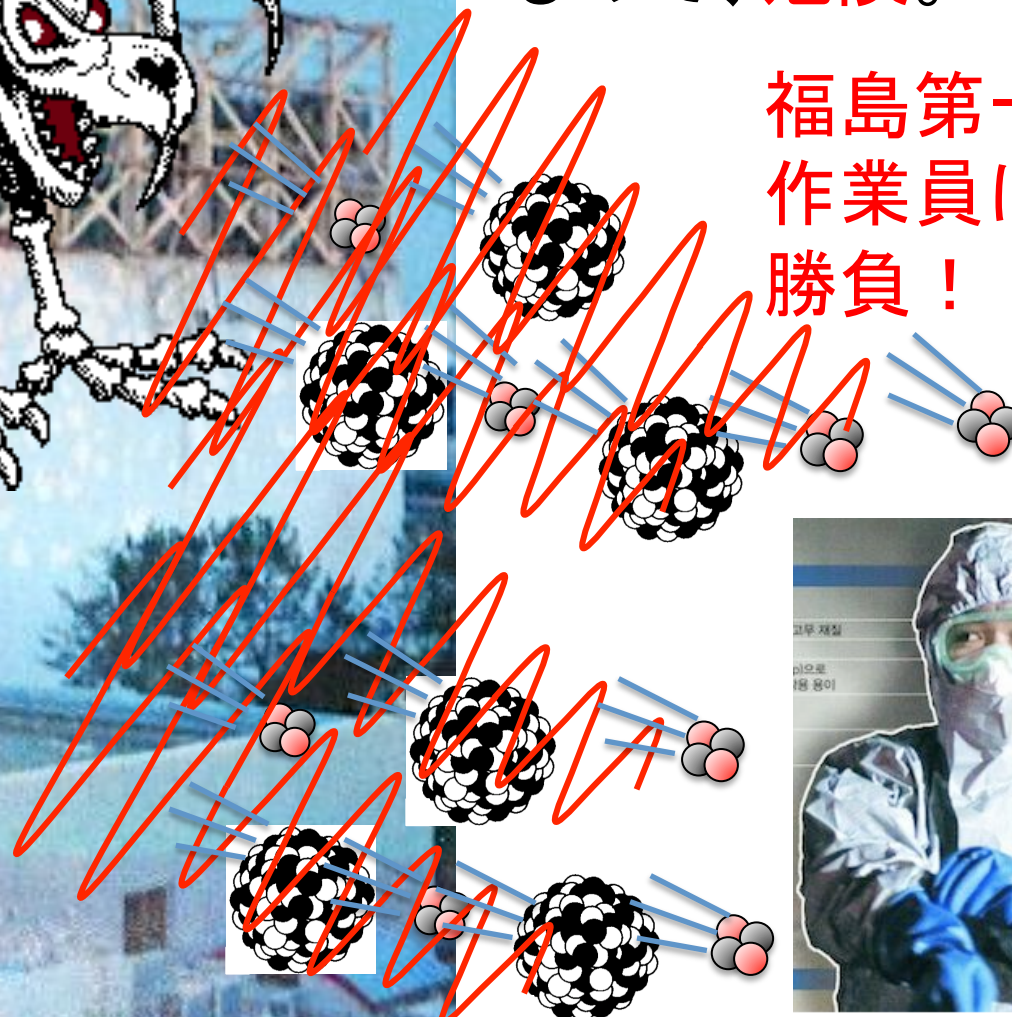
文部科学省

福島第1及び第2原子力発電所周辺のモニタリングカーを用いた固定測定点における空間線量率の測定結果
(随時データが更新されています) http://www.mext.go.jp/a_menu/saigaijohou/syousai/1304001.htm



原発近くは高放射線量。
短時間でたくさん被曝する
ので、**危険**。

福島第一原発の
作業員は時間との
勝負！



放射線業務従事者の線量限度

法令で定められている線量限度

I. 実効線量限度（全身被曝として） 100mSv／5年
（ただし、年あたり50mSvを超えないこと）

II. 等価線量限度（組織や部位に対して）

- ・目の水晶体 150mSv／年
- ・皮膚 500mSv／年
- ・妊娠可能な女子の腹部 5mSv／3月
- ・妊娠中の女子の腹部表面 2mSv
- 内部被ばく（妊娠を申告してから出産まで） 1mSv

平成23年3月24日足にたまり水で被曝した人は170-180mSvと言われていた。もし皮膚だけの被曝であれば、線量限度内。しかし全身被曝としての線量なので、通常の線量限度を超えている。実際皮膚には2Sv以下の被曝だったようである。

緊急時被曝線量限度

ICRP(国際放射線防護委員会)の勧告による緊急時の線量限度

実効線量(全身被曝として): 100mSv

一時福島では250mSV

電離則の特例に関する省令(厚生労働省令23号)による
11月1日より100mSvに下げられています。

目の水晶体: 300mSv

皮膚: 1000mSv

皮膚の急性障害

3 Gy～	脱毛
3 - 6 Gy	紅斑・色素沈着
7 - 8 Gy	水泡形成
10 Gy～	潰瘍形成
20 Gy～	難治性潰瘍 慢性化、皮膚がんへ移行

福島原発で足に被曝した方は6 Svまでなら晩発障害が起こる可能性はぎりぎりセーフか？

平成23年4月11日放射線医学総合研究所受診。白血球やリンパ球の数の減少なし。皮膚に熱傷の症状や紅斑などなし。推定で2Sv以下の被曝と考えられる。

全身被曝による急性影響の症状と被曝線量との関係

γ線を急性全身均等被曝した時

線量 (mGy)	症状
250以下	ほとんど臨床的症狀なし (緊急時被曝線量限度の根拠)
500～1000	白血球 (リンパ球) の一時減少、染色体異常
1000	放射線宿酔 (吐き気、嘔吐、全身倦怠) リンパ球の著しい減少 (急性障害は治癒)
1500	50%の人に放射線宿酔
2000	5%の人が数週間で死亡 (骨髄死: 白血球、血小板減少、感染、出血)
3000～5000	30日間に50%の人が死亡 (LD50/30)
6000	14日間に90%の人が死亡
7000	100%の人が死亡

但し、100mGy以下では人体への影響は無い (今回1Gy=1Svと考えて構いません)

線量と人体影響の関係 (X線やγ線被曝の場合)

下記の組織反応は、その線量(しきい線量)以上被曝すると現れる症状。
 例えば、0.5Gy以上被曝すると白血球減少がみられるようになる。

影 響	しきい線量 (Gy)	
白血球減少	0.5	
悪心・嘔吐	1	0.25Gy以下はほとんど臨床症状なし。
皮膚の紅斑	5	
脱 毛	3	低LET、高LET放射線とも
一時的不妊(男)	0.15	0.1Gy(100mGy)以下では、胎児も含め人体への影響はおこらない。
永久不妊(男)	3.5~6	
永久不妊(女)	2.5~6	
胎児の発育遅延	1	UNSCEARの報告だと
白 内 障	5	500mGy以下の被曝で重篤な障害はない。
//	*15以上	
皮膚の潰瘍	*20以上	

今回1Gy=1Svと
 考えて構いません

*は長時間にわたる被曝(慢性被曝)でそれ以外は短時間の被曝(急性被曝)の場合の線量

線エネルギー付与 (LET = Linear Energy Transfer)

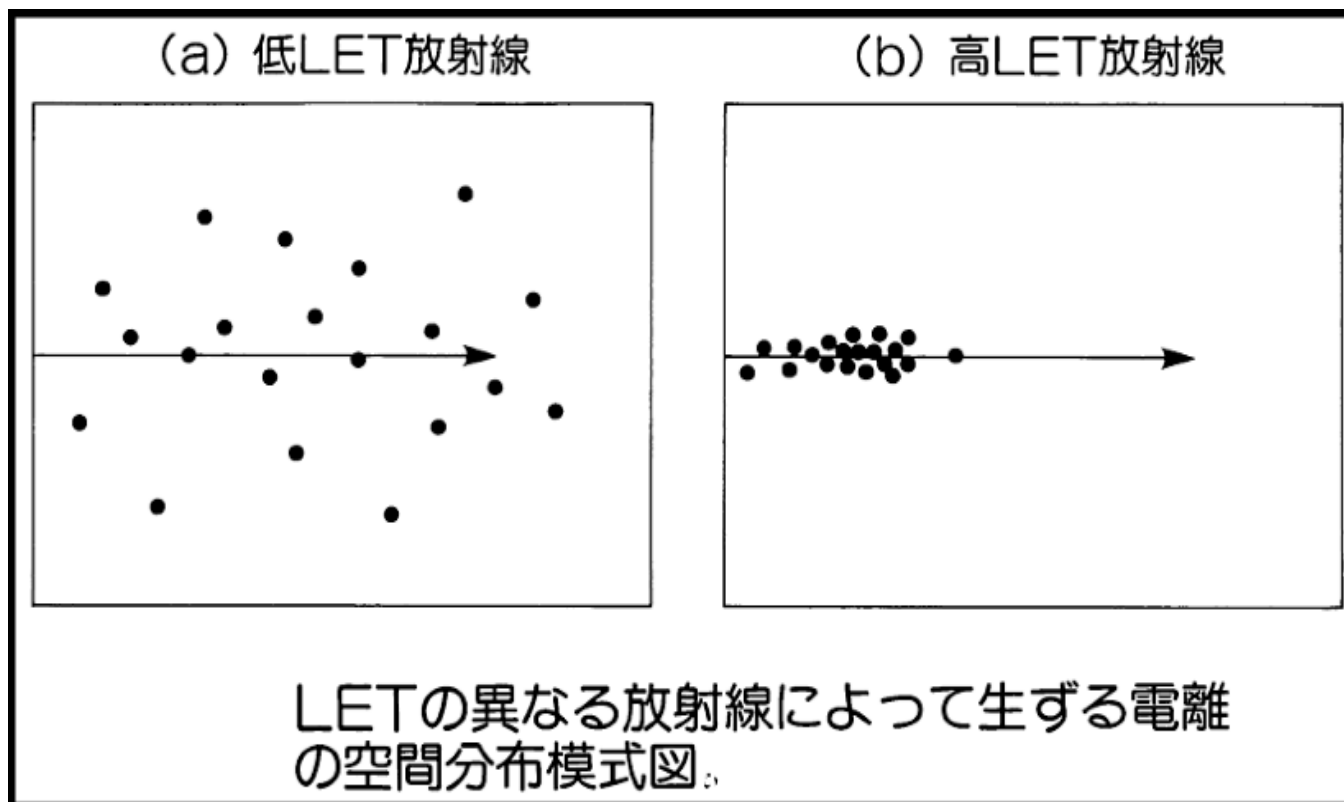
1 μm 進んだ時に平均何keVのエネルギーを与えたか? (keV/ μm)

低LET放射線: γ 線、X線、 β 線

まばらにしかラジカルを生成しない(あるいは電離しない)放射線

高LET放射線: α 線、中性子線、陽子線、重粒子線

密にラジカルを生成する(あるいは電離する)放射線



全身被曝による急性影響の症状と被曝線量との関係

γ線を急性全身均等被曝した時

急性被曝線量 (Gy)	臨床症状	死亡率(%)
2～10	骨髓死: 白血球、血小板減少、 感染、出血	0～90% 数週間
10～50	胃腸死: 食欲不振、下痢、発熱、 電解質消失	90～100% 約9日間
50以上	中枢神経死: 意識障害、傾眠、痙攣、 昏睡	100% ～50時間

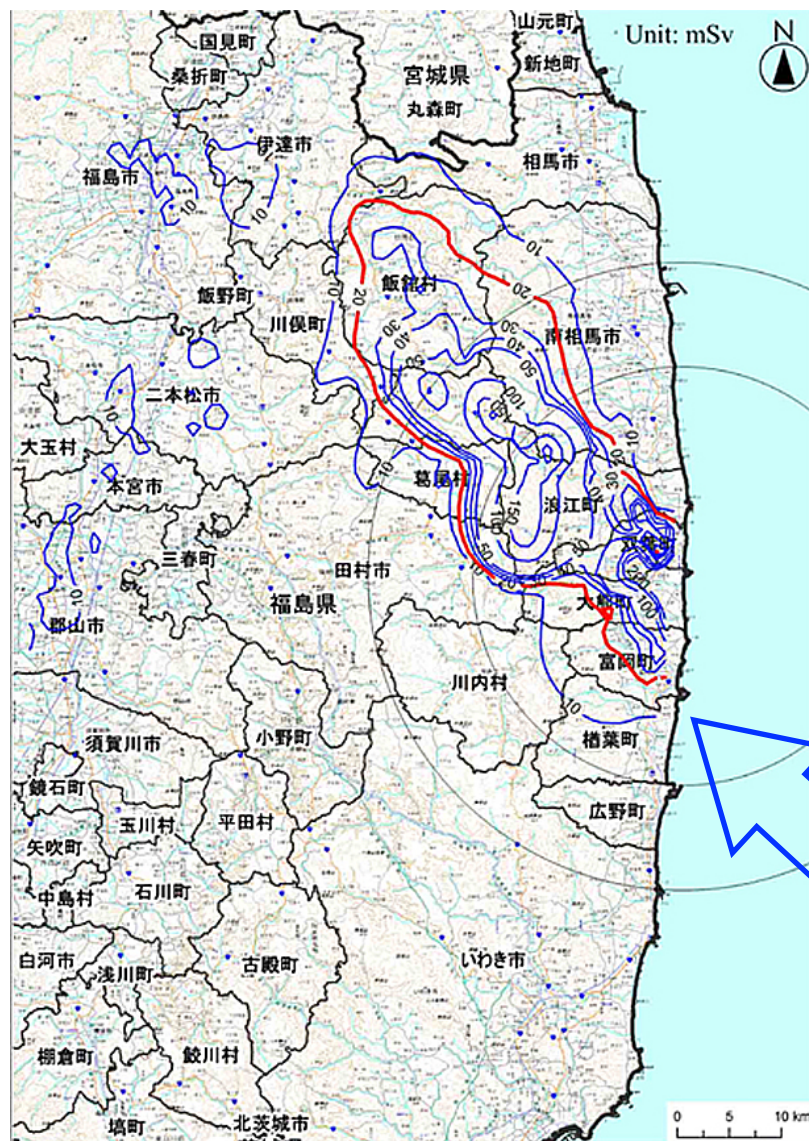
全身被曝による急性放射線症候群の症状 (ICRP Publ. 28)

線量	致死線量以下		生存可能(治療により)		致死	
	0-1Gy	1-2Gy	2-6Gy	6-10Gy	10-15Gy	>50Gy
治療	不要	経過観察	治療有効	治療可能性	対症療法	対症療法
主障害臓器	造血系		造血系	造血系	消化管	中枢神経系
主症状	軽度の白血球減少 血小板減少		高度の白血球減少、紫斑 出血、感染 脱毛(3Gy以上)		下痢、発熱 電解質異常	運動失調 傾眠、痙攣
主症状潜伏期			2-6週間		3-14日	1-48時間
治療法	鎮静	鎮静、観察 血液検査	輸血 抗生物質	輸血 骨髄移植	電解質の補正	対症療法
死亡率	0%	0%	0-80%	80-100%	90-100%	100%
死亡時期			2ヶ月	2ヶ月	1-2週	数時間-数日
死因			出血、感染、菌血症		腸炎	中枢神経死

風により放射性物質が運ばれるるので、20kmや30km圏というくりでなく、これからは**環境測定**という観点で、実測値を測り線量の認知を行っていくことが重要になってきます。

20kmや30km圏であっても、マイクロシーベルト毎時の線量、**即、健康被害と結びつけて考える必要はないです。**

積算線量の表示は環境線量の値として重要ですが、健康被害と直結はしない情報であるので、あまり意味があるとは思えません。住民に不安を与えるだけ。



農作物の放射性物質汚染

UOEH Dept. of Radiat. Biol. & Health



2011年3月20日

茨城県高萩市のホウレンソウから検出された
ヨウ素(^{131}I)で、1キロ当たり15,020ベクレル(Bq)

規制値: 1キロ当たり2,000ベクレル

セシウム(^{137}Cs)は、1キロ当たり690ベクレル

規制値: 1キロ当たり500ベクレル

緊急時に考慮すべき放射性核種に対する実効線量係数
経口摂取の場合

$$^{131}\text{I} \quad 2.2 \times 10^{-8} \text{ Sv / Bq}$$

$$^{137}\text{Cs} \quad 1.3 \times 10^{-8} \text{ Sv / Bq}$$

100mSvに達するまでに何キロ食べないといけないか？

$$^{131}\text{I}: 15,020 \times 2.2 \times 10^{-8} = 3.3 \times 10^{-4} \text{ Sv} = 0.33 \text{ mSv / kg}$$

$$100 \text{ mSv} / 0.33 = \underline{303 \text{ kg}}$$

$$^{137}\text{Cs}: 690 \times 1.3 \times 10^{-8} = 897 \times 10^{-8} \text{ Sv} = 0.0090 \text{ mSv / kg}$$

$$100 \text{ mSv} / 0.0090 = \underline{11148 \text{ kg}}$$



25

但し100mSvの被曝は1回で急性的に被曝したら障害が出るという値。同じ線量でも分割して被曝するとその効果は軽減する。

人体中の放射性物質の放射能

体内に
カリウム40 (^{40}K)
炭素14 (^{14}C)
が含まれています。



この2つの核種で合計**約6000ベクレル**が
人から通常でも放出されています。
ベクレルだとどうしても大きな値になりますが、
その数字に驚かないで。

人同士被曝させあっているということではありません。

半減期

放射性物質は時間がたつと放射能はだんだん弱くなります。
放射能が半分になるまでの時間を**半減期**といいます。

福島原発から出てきている放射性物質
ヨウ素(^{131}I)の半減期は約8日
セシウム(^{137}Cs)の半減期は約30年

これらは体内に取り込まれることが問題となります(内部被曝)

Q: セシウム(^{137}Cs)を身体に取り込むと30年間の内部被曝するの？



A: 体内で代謝され尿や糞などで約100日で排泄されます。

しかし、セシウムによる健康被害の報告はない。

原発事故時のヨウ素131 (^{131}I)による甲状腺がんからの予防

チェルノブイリ原発事故により多くのヨウ素131が飛散し、子供の甲状腺がんが増えました。甲状腺がんを防ぐためにヨウ化カリウムを服用します。

福島第一原発事故では、ヨウ化カリウムを慌てて服用する必要はありません。
最悪の事故を想定して事故当初、ヨウ化カリウムは配布されていて良かったかもしれません。

最悪の場合、下記のように服用します。

100mgのヨウ化カリウム投与した時の ^{131}I の摂取防止率

投与時期	^{131}I の摂取防止率
被曝24時間前	約70%
被曝12時間前	約90%
被曝直前	約97%
被曝3時間後	約50%
被曝6時間後	防止できない

40歳以上は甲状腺がんのリスクが認められないので、服用対象者にならない。

特に新生児、乳幼児や妊婦の服用は優先。ヨウ素として100mgを1回服用(原則1回投与。再度被曝の時はもう1回服用する。ただ妊婦は胎児の副作用を考慮して2回目投与は慎重に。

投与基準: 甲状腺の被曝線量が50mSv(2011, 6月, IAEA)

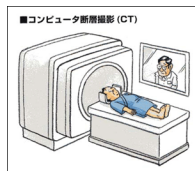
日本人は海藻の摂取量が多いのでどちらかといえば普通でもヨウ素過剰の状態。チェルノブイリ近辺の人は海藻の摂取はほとんど無く、ヨウ素欠乏状態でしたので、放射性ヨウ素の体内被曝が大きくなったともいわれている。

日常で見られる放射線被曝線量

Gy(グレイ):

放射線が物質に与えるエネルギーの単位

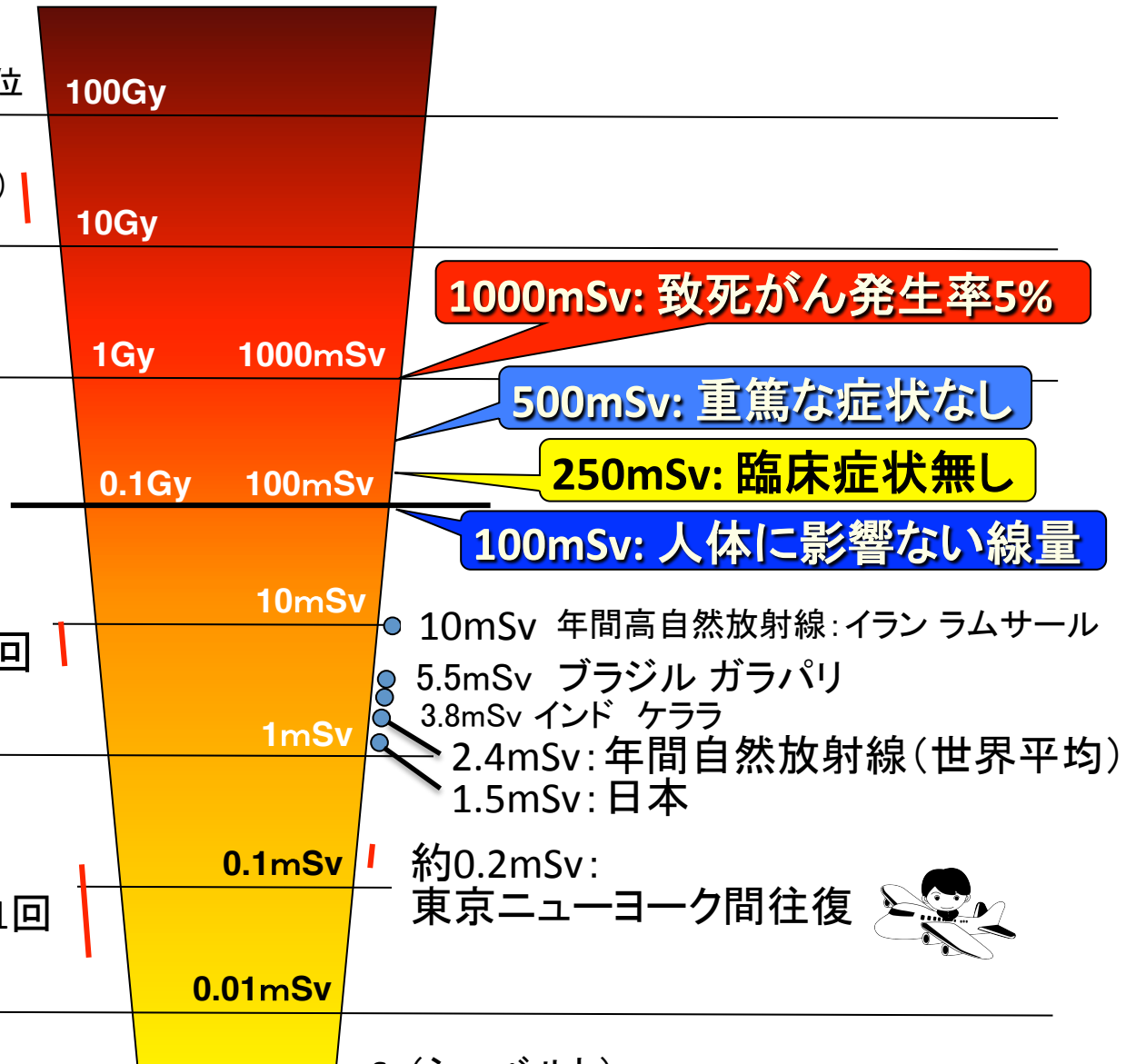
20-30Gy: がん治療(がんに対して)



8.8-10mSv CT/1回



0.05-0.65mSv 胸部X線/1回



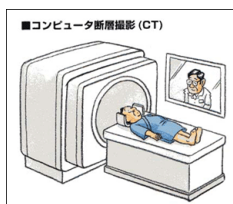
Sv(シーベルト):

放射線の人に対する影響に用いる単位

X線検査当たりの実効線量(全身被曝線量)

先進工業国の成人の平均

検査	mSv (ミリシーベルト)
胸部(直接撮影)	0.14
胸部(間接撮影)	0.65
腰椎	1.8
胸椎	1.4
骨盤・股関節	0.83
腹部	0.5
上部消化管	3.6
下部消化管	6.4
乳房撮影	0.5
CT	8.8
血管撮影	12.0
歯科	0.02



高性能CTだと
40あるいは100mSv被曝する

UOEH Dept. of Radiat. Biol. & Health

核医学検査及び治療における全身被曝量

放射性同位元素(アイソトープ)を用いる検査及び治療

検査	核種	使用量 (MBq)	おおよその全身被曝量 (mSv)
甲状腺シンチ	ヨウ素123 (^{123}I)	3.7	0.814
甲状腺がん治療	ヨウ素131 (^{131}I)	1850-7400	約2000mSvを限度 (甲状腺には50-200Sv)
甲状腺機能亢進症治療	ヨウ素131 (^{131}I)	111-370	70-100 (甲状腺には50Sv)
PET	フッ素18 (^{18}F)-FDG	370	7
骨シンチ	テクネシウムリン酸塩 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	370	3
心筋シンチ	タリウム (^{201}Tl)	74	17
腫瘍シンチ	ガリウム67 (^{67}Ga)-サイトレイト	74	9

各組織・臓器の致死がんの名目確率係数(ICRP2007年勧告)

組織・臓器	致死がんの確率係数 (10^{-4} Sv^{-1})
食 道	15.1
胃	77.0
結 腸	49.4
肝 臓	30.2
肺	112.9
骨表面	5.1
皮 膚	4.0
乳 房	61.9
卵 巢	8.8
膀 胱	23.5
甲状腺	9.8
骨 髄	37.7
その他の固形がん	110.2
生殖腺(遺伝性)	19.3
合 計	565

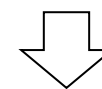
原爆被爆者の疫学調査結果から求められた確率係数。

全年齢1万人が1Sv被曝した時に致死的ながんになる確率

すなわち

$$565 \times 10^{-4} / \text{Sv}$$

1万人の人が10mSv被曝



1万人のうち5.65名に発がんリスク

例えば、赤色骨髄10mSv被曝した時の白血病リスクは？

骨髄の
名目確率係数 10mSv

$$37.7 \times 10^{-4} / \text{Sv} \times (10 \times 10^{-3}) \text{Sv} = 3.77 \times 10^{-5}$$

すなわち放射線により0.0377%増加

ちなみに自然発生白血病の生涯リスクは0.7%

自然発生

10mSv被曝により白血病になるリスク

0.7% → 0.7377%

教訓:

1000 mSv(1Sv)を被曝してがんが発生する率は、
運転中に携帯メールを打って事故に遭う危険度
と同じ程度のリスク



5%上昇をどう考えますか？

放射線のリスクの程度

UOEH Dept. of Radiat. Biol. & Health

健康障害のリスク	余命損失日数の評価値 アメリカの平均(日)
喫煙20本/日	2,370 (6.5年)
体重過多(20%超過)	985 (2.7年)
全事故の合計	435 (1.2年)
自動車事故	200
飲酒	130
家庭内事故	95
溺死	41
自然放射線(計算値)	8
医療診断X線(計算値)	6
全天災(地震等)	3.5

日常の放射線よりも、タバコや肥満の方がもっとリスクが高い！

各種リスクによるアメリカの年間死亡統計

(Sci Am. 1982; 246(2):41-9)

喫煙	15万	
アルコール	10万	
自動車	5万	
ピストル	1.7万	アメリカ 4 日本 0.02/10万
オートバイ	3,000	
水泳	3,000	
外科手術	2,800	
X線診断	2,300 (推定値)	医療被曝程度の 放射線と比べると 喫煙やアルコール の死亡数が高い
鉄道	2,000	
航空機	1,300	
自転車	1,000	
登山	30	
原子力発電	3 (推定値)	
ワクチン接種	3	

10万に当たり死亡に至るリスク

喫煙	28(人)
自動車事故	10
航空機事故	0.04
鉱業	131
漁業	58.3
建築業	19.9
運輸業	12.7
製造業	5.39
全事業	7.44
放射線業務(原子力発電)	1

厚生労働省が示している食品の摂取制限に関する放射性ヨウ素の暫定基準値

飲料水と牛乳・乳製品1キロ当たり300ベクレル

1歳未満の乳児については、1キロ当たり100ベクレル



成人が放射性ヨウ素1キロ当たり100ベクレルの水を1年間毎日1リットル飲んで、甲状腺がん発症の生涯リスク

1万分の2

乳児の場合でも影響は少ない。

生涯交通事故に遭うリスク

200人に1人



喫煙者が肺がんになるリスク

100人に2人



喫煙による相対リスク

受動喫煙 (非曝露=1)		家庭	職場
	肺がん	1.29倍	1.14倍
虚血性心疾患	1.23倍	1.35倍	
能動喫煙 (非曝露=1)	肺がん	4.39倍(男性)、2.79倍(女性)	
	虚血性心疾患	2.51倍(男性)、3.35倍(女性)	

喫煙による年間死亡者数(2008年)

	男性		女性	
受動喫煙	2,221人(うち職場1,814人)		4,582人(うち職場1,811人)	
能動喫煙	肺がん	48,610人	肺がん	18,239人
	虚血性心疾患	42,156人	虚血性心疾患	34,426人

年間死亡数(2008年)は、受動喫煙で合計6,803人、能動喫煙者は143,431人
 2010年 国立がん研究センター 片野田耕太氏報告

1000mSv被曝: がんになる確率5%(対象全がん) 100mSv以下では発がんもありません

福島原発20-30km圏内移動してきた方々から、 放射性物質がうつることはありません！

そもそも放射性物質がバクテリアやウイルスのように感染するという概念自体存在しません。現状の20-30km圏内で測定されている空間線量をもたらしていると思われるフォールアウト（放射性物質の降下物）が付着している程度では、他人の被曝を問題にすることはありません。



くしゃみをすることで、
放射性物質が人に
空気感染や飛沫感
染を起こすことはあ
りません！

UOEH Dept. of Radiat. Biol. & Health

放射性物質は花粉やホコリと同じ。服を変えたり、お風呂に入れば、放射性物質はなくなり、他の人に健康被害を及ぼすことはありません。

避難してきた方々への診療拒否や乗車拒否、子供たちの学校での差別、放射性物質汚染検査証明書の要求など、**恥ずべき行為**であることと考えてください。

2011/4/15 福島出身を理由に結婚破談？のニュース

「放射能の影響で元気な子供が生まれなかったらどうするの？」と、婚約者男性の母親からこう言われ、福島出身の女性が結婚破談？

もしこれが事実なら、明らかに放射線影響の知識不足

放射線被曝による遺伝的影響はありません！

原爆被爆者における胎児の死産率及び奇形率

父母の原爆被爆状況	死産	奇形率
被爆無し	1.3%	0.92%
高線量被爆者	1.4%	0.7%

差無し

現状のまとめ

放射線被曝による健康被害を考える時、短時間にたくさんの線量を被曝することが問題です。

現在、色々な農作物や海産物、環境放射線の値が報道されますが、様々な基準は非常に厳しく設定されているので、それらの数値が少し位上昇しても、右往左往することは有りません。それらの数値を気にしないといけないのは、原子炉の状況が今より悪化し、燃料棒破損の進行等により放射性物質が新たに放出されたり、施設が再度水素爆発等を起こしてしまった時だけと考えています。

放射線は正しく怖がりましょう！

健康影響に関しては、不安感を先行させるのではなく、「正當に怖がるための努力と、そのための関連情報の収集と理解」が肝要です。

放射線をむやみに怖がるのではなく、正しい知識を持って怖がるのが大切と考えています。

お問い合わせは
j-hsyseg@mbox.med.uoeh-u.ac.jp

参考1

ヨウ素131 (^{131}I) 半減期 8.04日

ベータ線を放出して、キセノン-131 (^{131}Xe)となり、**ガンマ線**が放出される。1 x 10⁹ kgのウラン238(^{238}U)の自発核分裂によって4.6 x 10¹⁸ベクレル生じる。

チェルノブイリで子供の甲状腺がん増加が問題となった。

セシウム137 (^{137}Cs) 半減期 30.1年

ベータ線を放出してバリウム-137(^{137}Ba)となるが、94.4%はバリウム137m ($^{137\text{m}}\text{Ba}$)を経由する。バリウム137mから**ガンマ線**が放出される。1 x 10⁹ kgのウラン238(^{238}U)の自発核分裂によって6.3 x 10¹⁵ベクレル生じる。

セシウムによる健康被害の報告はない。

ヨウ素131とセシウム137は、原子炉で最も発生しやすい放射性物質の仲間であり、揮発性で水に溶けやすく、飛散しやすい。

参考2

プルトニウム239 (^{239}Pu) 半減期 2.41万年

原子炉を運転すると、プルトニウム239が生成し**アルファ線**を放出して、ウラン235 (^{235}U)となる。**アルファ線**による内部被曝が問題になる。

アルファ線は1Gyのエネルギーで20Svの影響を及ぼす。

体内に取り込まれる経路は主に**吸入**による。経口摂取しても消化管からほとんど吸収されない。生物学的半減期は、骨で50年、肝臓で20年、生殖腺ではさらに長いと考えられている。

プルトニウムの比放射能(重さ当たりの放射能の強さ)はウランよりも約10万倍強い。しかし、原子炉で生成される放射線同位元素の中でプルトニウムの割合は非常に少なく、その放射能が占める割合は0.数%に過ぎない。また半減期が長いので、プルトニウムの崩壊(放射性崩壊)が起こりにくく、結果として**放射能は著しく低くなる**。

ビーグル犬を用いた実験では、発がん性は高かった。

ヒトの場合、プルトニウム吸入した者で発がん例はない。

プルトニウム239は、非常に重い物質なので爆発でもない限り、広範囲に飛散しない。

参考3

ストロンチウム90 (^{90}Sr) 29.1年

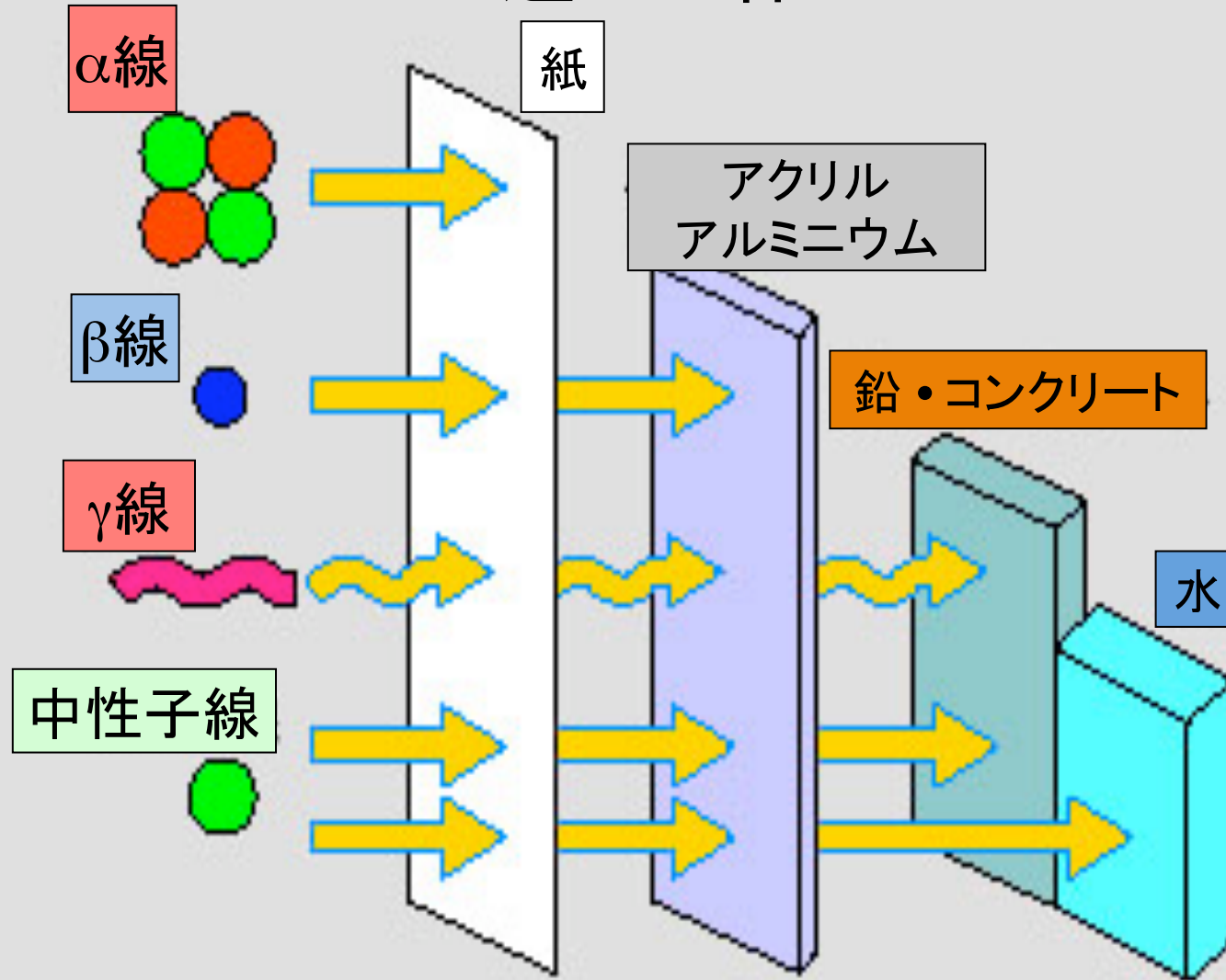
ベータ線を放出してイットリウム90 (^{90}Y , 2.67日)となり、イットリウム90もベータ崩壊してジルコニウム90 (^{90}Zr)となる。ウラン238 (^{238}U)の自発核分裂などによって生じるが、生成量は少ない。チェルノブイリ原発事故では**ストロンチウム90**の放出量は、セシウム137 (30.1年)に比べて小さかった。ストロンチウムはカルシウムと似た性質で、体内に取り込まれると骨に長く沈着する。またイットリウム90が出すベータ線はエネルギーが強いため、健康影響は大きい。

ストロンチウムは原発からの放出は非常に少ない。揮発性化合物をつくりにくく、排気中には含まれない。問題になるなら再処理工場からの放出で海洋汚染。

参考4

放射線の種類	本体	遮へい体	問題となるのは
アルファ線 (^{239}Pu)	ヘリウム原子核	紙	内部被曝
ベータ線 (^{131}I , ^{137}Cs , ^{90}Sr)	電子	アクリル プラスチック	内部被曝
ガンマ線 (^{131}I , ^{137}Cs) X線	光子	鉛	外部被曝

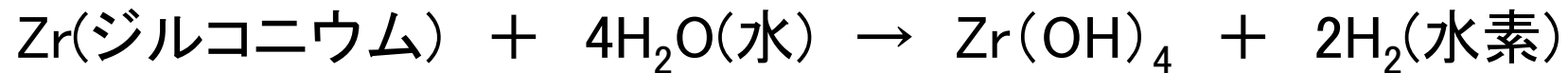
遮へい体



参考4

水素爆発

燃料棒外側の金属(ジルコニウム)が高温となり水と反応すると水素が発生します。



水素ガスは極めて引火しやすく、十分な量の水素が空気と混ざると、空気中の酸素と急速に反応して爆発を生じます。

水蒸気爆発

原子炉内の水の中に、非常に高温となったジルコニウム等の熱い細粒物質と触れると急激に水が気化し発生する爆発現象

参考5

原発爆発で想定される当初 の放射性物質の放出量

放射性物質	放出量(g)	Bq
総量	7.1×10^3	1.5×10^{19}
I-131	1.5×10^1	8×10^{16}
Pu-239	0.0375	1.36×10^9
Cs-137	3.1×10^3	1.0×10^{16}
Sr-90	0.0224	1.4×10^{12}

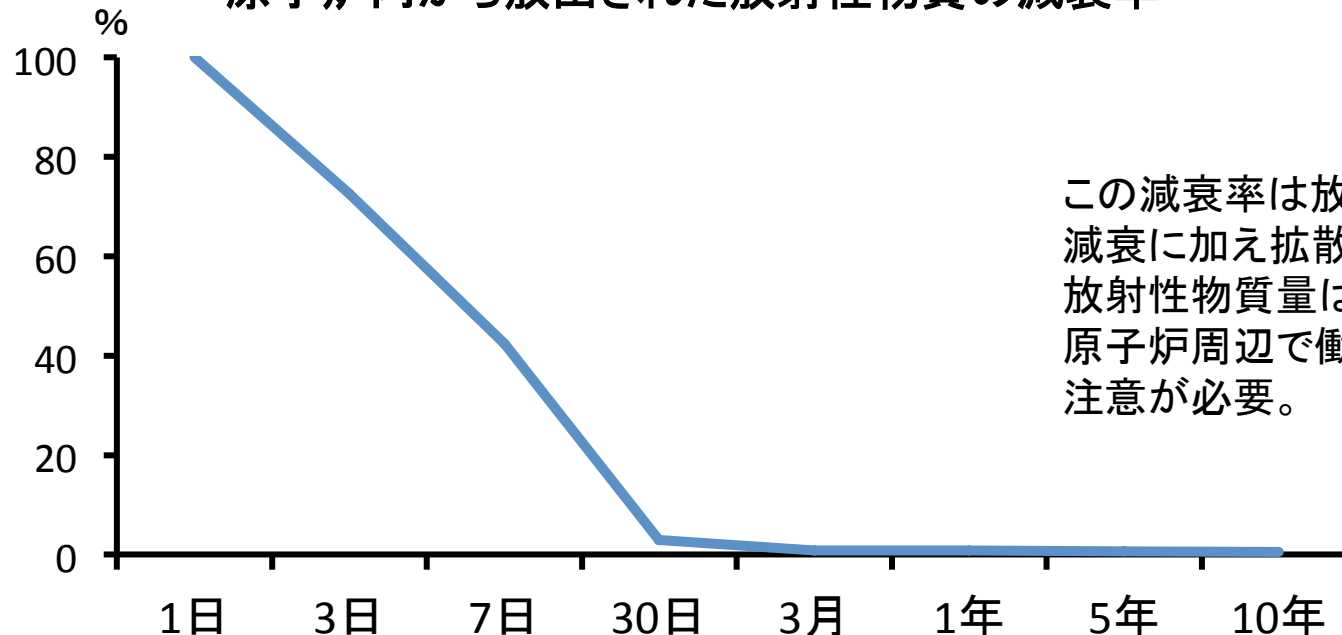
原子炉内から放出された放射性物質は、半減期の短いものが多いため、約3ヶ月でほとんどが放射性物質ではなくなる。

初期はI-131対策が主な問題となる。

Cs-137は半減期は長いですが、今後は土中に入るのので、土を掘り返さない限り、影響は少ないと思われる。

Pu-239の半減期は長いですが、元々の生成量は少ないため、原子炉直近以外の影響は少ない。

原子炉内から放出された放射性物質の減衰率



この減衰率は放出された全量の減衰率。減衰に加え拡散が加わるので、環境中の放射性物質量はもっと早く減少します。原子炉周辺で働く人は拡散源に近いので注意が必要。

文部科学省の福島県教育委員会等に対する通知

福島県内の学校等の校舎・校庭等の利用判断における暫定的考え方について

平成23年4月19日

児童生徒等の受ける線量を考慮する上で、16時間の屋内（木造）、8時間の屋外活動の生活パターンを想定すると、20mSv／年に到達する空間線量率は、

屋外：毎時3.8マイクロシーベルト

屋内：毎時1.52マイクロシーベルト

非常に低く設定されている。

放射線管理区域内の作業場所での線量限度

法令で定められた空間線量限度

1週間で1mSv

但し、就労時間は1日8時間、週5日として、
時間当たりに換算すると毎時25マイクロシーベルト

国際宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士の生涯実効線量制限値

初めて宇宙飛行を行なった年齢	男性 (mSv)	女性 (mSv)
27～29歳	600	600
30～34歳	900	800
35～39歳	1000	900
40歳以上	1200	1100

宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
国際宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士の放射線被曝管理指針
第3章第13条

水や食物中に存在する放射性物質の実効線量係数 マイクロシーベルト／ベクレル

	ヨウ素-131	セシウム-137	セシウム-134
乳児(3ヶ月)	0.18	0.020	0.026
幼児(1歳)	0.18	0.012	0.016
子供(2-7歳)	0.10	0.0096	0.013
成人	0.022	0.013	0.019

水1kgあたりに、
ヨウ素-131が8.59Bq(ベクレル)、セシウム-137が0.45Bq、セシウム-134が0.28Bq
含まれていると仮定(東京都が3/18~4/11に発表した数値の平均値)
その水を乳児が1日1.65リットル、29日間飲んだ場合

ヨウ素-131: $0.18 \times 8.59 \times 1.65 \times 29 = 74.0$ マイクロシーベルト・・・(1)

セシウム-137: $0.020 \times 0.45 \times 1.65 \times 29 = 0.43$ マイクロシーベルト・・・(2)

セシウム-134: $0.026 \times 0.28 \times 1.65 \times 29 = 0.35$ マイクロシーベルト・・・(3)

受ける放射線量 = (1) + (2) + (3) \doteq 74.8マイクロシーベルト

幼児では74.4、子供では41.5、成人では10マイクロシーベルトとなる

空気中に存在する放射性物質の実効線量係数 マイクロシーベルト／ベクレル

	ヨウ素-131	ヨウ素-132	セシウム-137	セシウム-134
乳児(3ヶ月)	0.072	0.0011	0.11	0.070
幼児(1歳)	0.072	0.00096	0.10	0.063
子供(2-7歳)	0.037	0.00045	0.070	0.041
成人	0.0074	0.000094	0.039	0.020

東京で空気中のちりの中の放射能濃度がもっとも高かった3月15日10:00-11:00
 ヨウ素131、ヨウ素132、セシウム137、セシウム134の濃度はそれぞれ、241、281、60、64ベクレル/m³
 この1時間に乳児が空気2.86m³を吸い込むことによって将来受ける放射線量の合計の概算値

ヨウ素131 : $0.072 \times 241 \times 2.86 \times 1/24 = 2.07$ マイクロシーベルト・・・(1)

ヨウ素132 : $0.0011 \times 281 \times 2.86 \times 1/24 = 0.037$ マイクロシーベルト・・・(2)

セシウム137 : $0.11 \times 60 \times 2.86 \times 1/24 = 0.787$ マイクロシーベルト・・・(3)

セシウム134 : $0.070 \times 64 \times 2.86 \times 1/24 = 0.534$ マイクロシーベルト・・・(4)

受ける放射線量 = (1) + (2) + (3) + (4) = 3.42マイクロシーベルト/時間

子どもの呼吸率としては、1日当たり、乳児(3ヶ月)で2.86m³、幼児(1歳)で5.16m³、子ども(5歳)で8.72m³、
 子ども(10歳)で15.3m³、子ども(15歳)で20.1m³、成人22.2m³(ICRP Publ 71)

幼児では5.95、子供では5.77、成人では5.01マイクロシーベルトとなる

福島第一原発から北側15km離れた海底の土 1kgあたりから放射性ヨウ素、セシウム

平成23年5月4日

	ベクレル	1m離れた場所で($\mu\text{Sv/h}$)
ヨウ素131	190	0.0000124
セシウム134	1300	0.000324
セシウム137	1400	0.000130

5月24日文科省発表

5月10～12日採取した宮城，福島，茨城沖9カ所の表層と水深100メートルでの海水に、ヨウ素131，セシウム134及び137の汚染なし。

7月8日文科省発表

岩手、宮城両県海底土から1kgあたり24～1380ベクレルの放射性セシウム検出

放射線影響の無い線量域



原爆被爆者約12万人のデータより
100mSv以下の一回の被曝では、
人に対する放射線影響は
認められていない

UOEH Dept. of Radiat. Biol. & Health

(%)

不確定不確実な線量域

0 mSv

10mSv

100 mSv

1 mSv
公衆被曝限度

20 mSv
現在、緊急時
公衆被曝限度

5月12日文科省発表で
年間10mSv以下と試算

250 mSv
急性被曝の
臨床症状なし

500 mSv
急性被曝で
重篤な症状なし

急性放射線障害

1000 mSv

100mSvで0.5

1.25

2.5

5

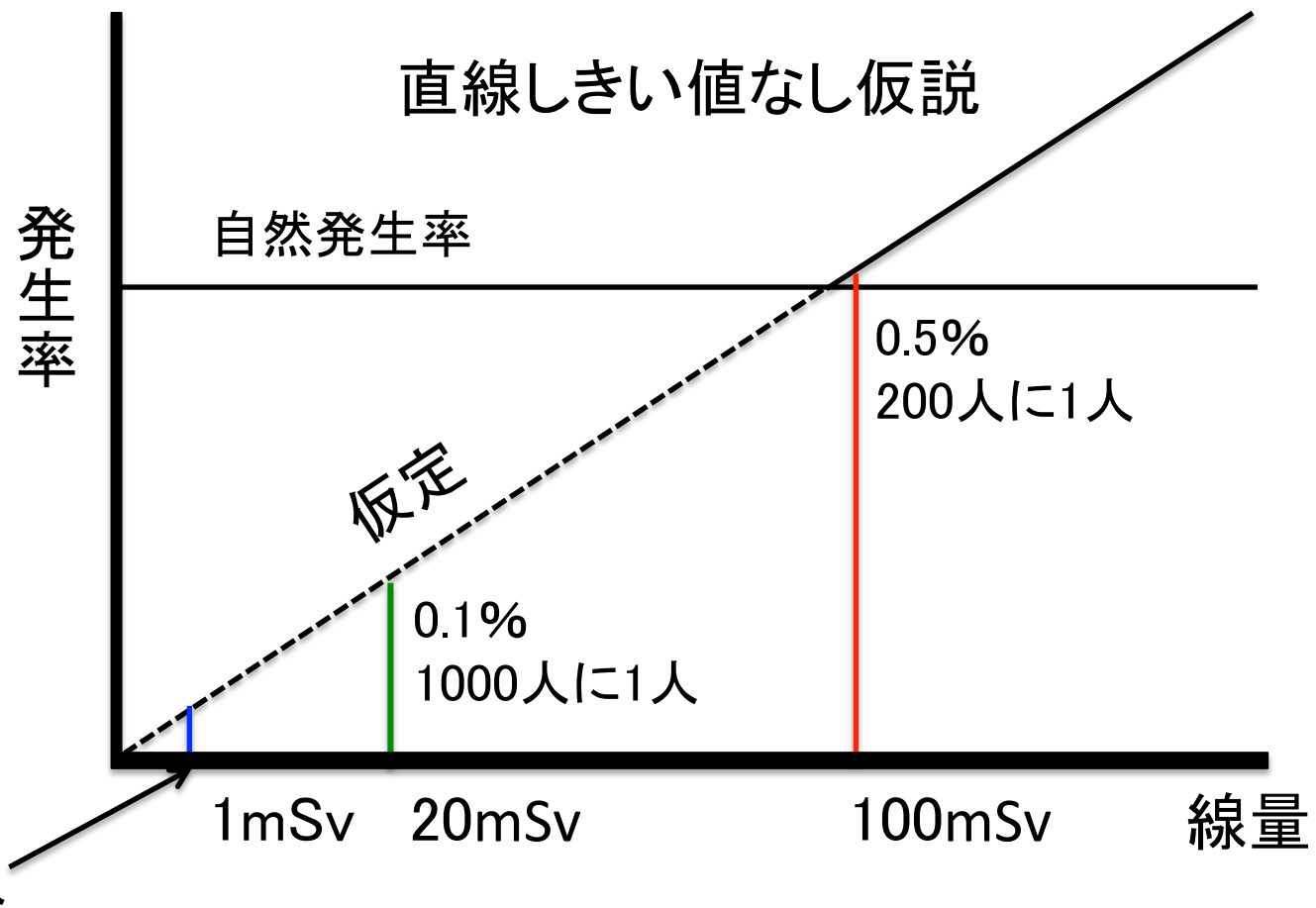
致死がん発生率

年間10mSv被曝する地域があるが、がんの発生率等疾患が増加したという報告はない。
公衆被曝限度が1mSvから20mSvになったとはいえ、放射線影響のない安全域での増加。
また一回被曝でなく、1年間の被曝限度なので、放射線影響が出るとは考えにくい。

確率的影響

がん
白血病
遺伝的影響

あくまでも
計算上です



日常に起こりうるリスクとほぼ同程度
容認できるレベルと考える

日常死亡リスク

交通事故1-2万に1人

ワクチン50-300万人に1人

世界の高自然放射線地域における大地放射線量

地域	平均値 (mSv/年)	線量範囲 (μ Sv/h)	最高値 (mSv/年)
ラムサール (イラン)	10.2	0.2~8.0	260
ガラパリ (ブラジル)	5.5	1~130	35
ケララ (インド)	3.8	0.09~15	35
陽江 (中国)	3.5	—	5.4

<http://www.taishitsu.or.jp/HBG/ko-shizen-2.html>

cpm (count per minute)

とは、放射線測定器で1分間に測った放射線数

全ての放射線測定器で得られた測定値は、全放射能の値(ベクレル)ではない。計数効率(測定機器の放射線数を測ることの出来る割合)によって、測定値を補正し、放射能(ベクレル)を求める。

例

標準線源(酸化ウラン U_3O_8): 500ベクレル(1秒間の値)

標準線源の測定値: 4000 cpm

計数効率: $4000 \text{ cpm} \div 60 \text{ 秒} \div 500 \times 100\% = 13.3\%$

仮に ^{131}I を測ったとして、1500cpmという値を得たとすると

$1500 \text{ cpm} \div 60 \text{ 秒} \div 13.3\% = 188 \text{ ベクレル}$

成人で経口摂取したとすると

$188 \text{ ベクレル} \times 0.022 \text{ マイクロシーベルト/ベクレル}$

$= 4.14 \text{ マイクロシーベルト}$

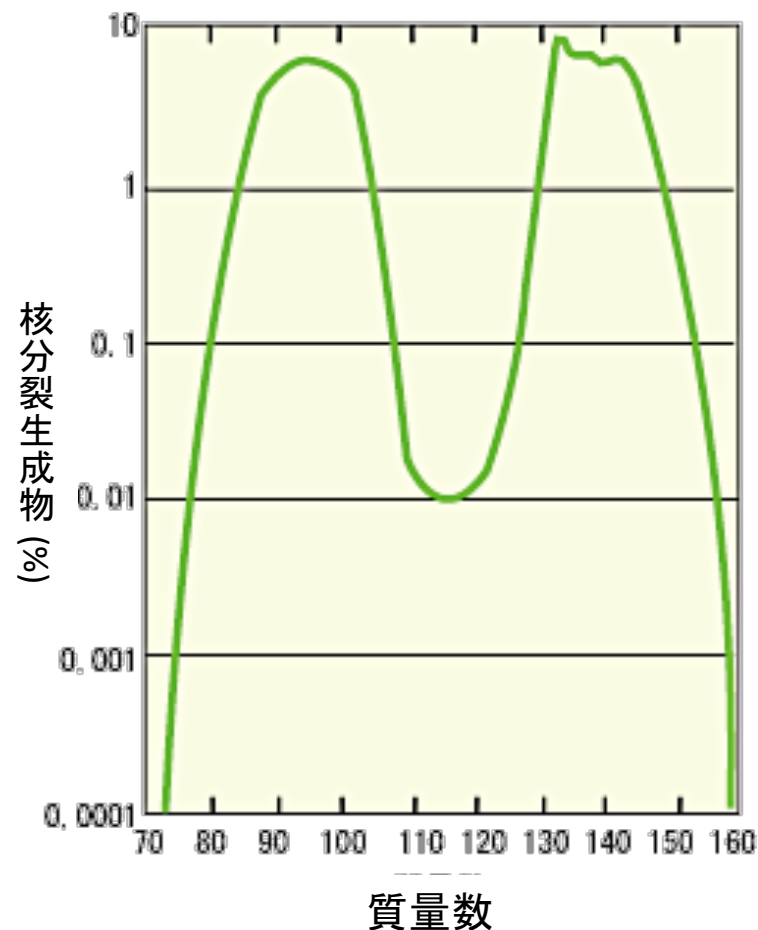
の被曝をしたことになります。

平成23年6月3日保安院報告

3月11日から15日の間、テルル-132 (^{132}Te 、半減期3.2日)が検出されていた

ウラン-235 (^{235}U)が熱中性子を吸収して分裂した場合に生ずる核分裂生成物の分布。質量数90~100および135~145の附近的放射性物質が生成される。

これから未公表のデータが出てくるでしょうが、遅れるのは、計測には時間がかかるからです。



主要な核分裂生成物

核種		半減期	核分裂集率 (%)
^{85}Kr	クリプトン-85	10.8年	0.3
^{89}Sr	ストロンチウム-89	51日	4.8
^{90}Sr	ストロンチウム-90	28年	5.8
^{131}I	ヨウ素-131	8.04日	3.1
^{133}Xe	キセノン-133	5.27日	6.6
^{135}Xe	キセノン-135	9.1日	6.3
^{134}Cs	セシウム-134	2.06年	6.8
^{137}Cs	セシウム-137	30年	6.2
^{147}Pm	プロメチウム-147	2.64年	2

チェルノブイリと東電福島第一原発事故の違い

	チェルノブイリ 1986年4月26日	東電福島第一 2011年3月11日
原子炉	黒鉛減速沸騰軽水圧力管型	沸騰水型
格納容器	なし	あり
初動状態	制御棒抜いたまま	制御棒挿入された
放射性物質排出量	520万TBq	57万TBq
爆発後発表	3日間発表せず 大統領公式発表は1週間後	即日
事故直後空間線量最高値	3306 μ Sv/h	170 μ Sv/h
放射性ヨウ素を含む牛乳	出回る	出回っていない
放射性ヨウ素による 被曝線量	50-100mSvから2千mSv	0.01から0.1 μ Sv/h* (1149人のうち45%)
甲状腺がん	6848人 (事故当時18歳未満)	?
甲状腺がんによる死者	15人(0.22%)	?

*3月24～30日：いわき市と川俣町、飯舘村で0～15歳の子どもを対象に実施
99%は0.04 μ Sv/h以下。最高値0.1 μ Sv/hは1歳児、預託線量として50mSv 原子力安全委員会

1986年4月チェルノブイリ原発事故後の**妊婦墮胎例**

1. **キエフ市民**: 死の灰を浴びたので、ある妊婦は胎児影響を心配



死の灰: ^{131}I , ^{137}Cs

ハンガリーで放射能検査

甲状腺には高い値、胎児影響はないレベル



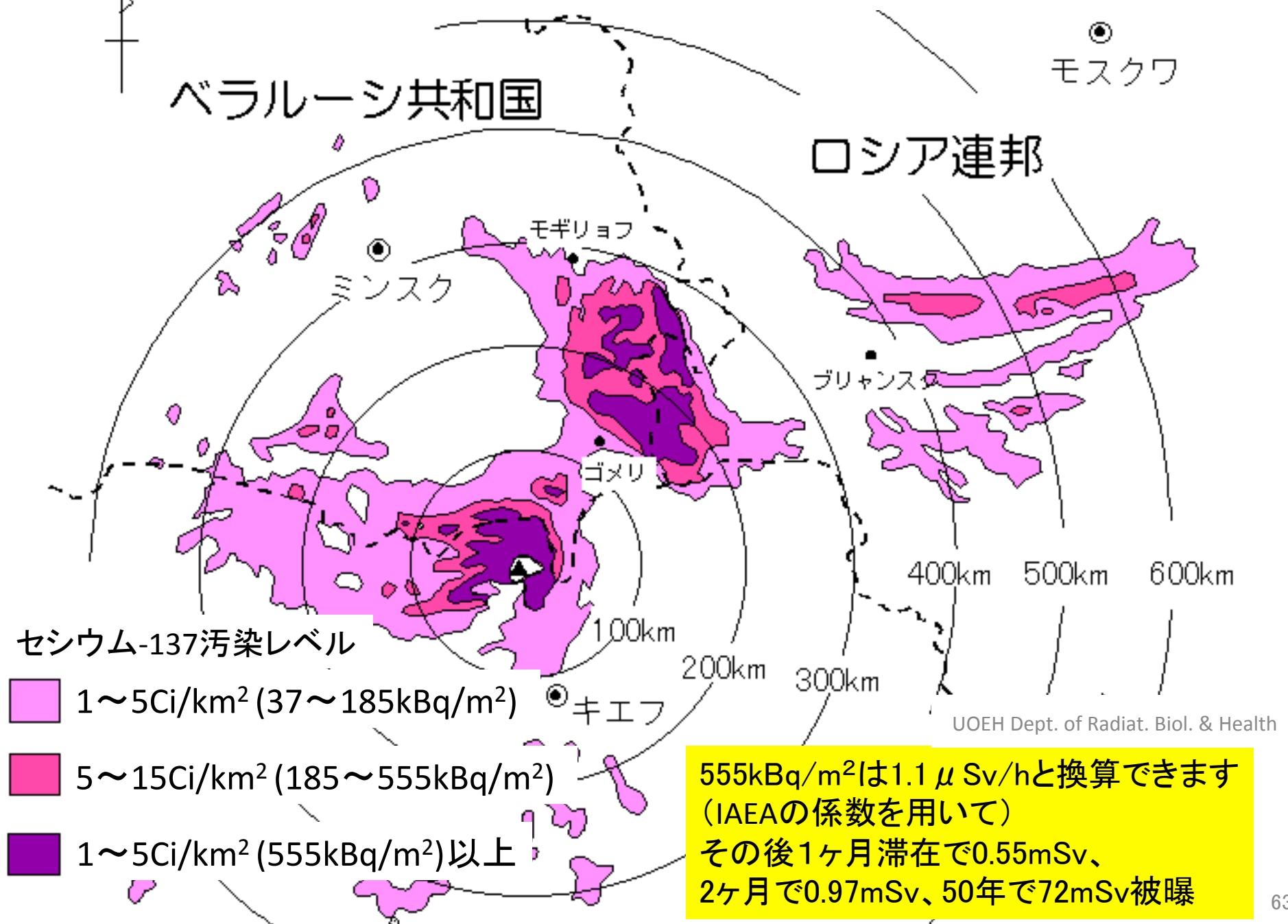
にもかかわらず

中絶

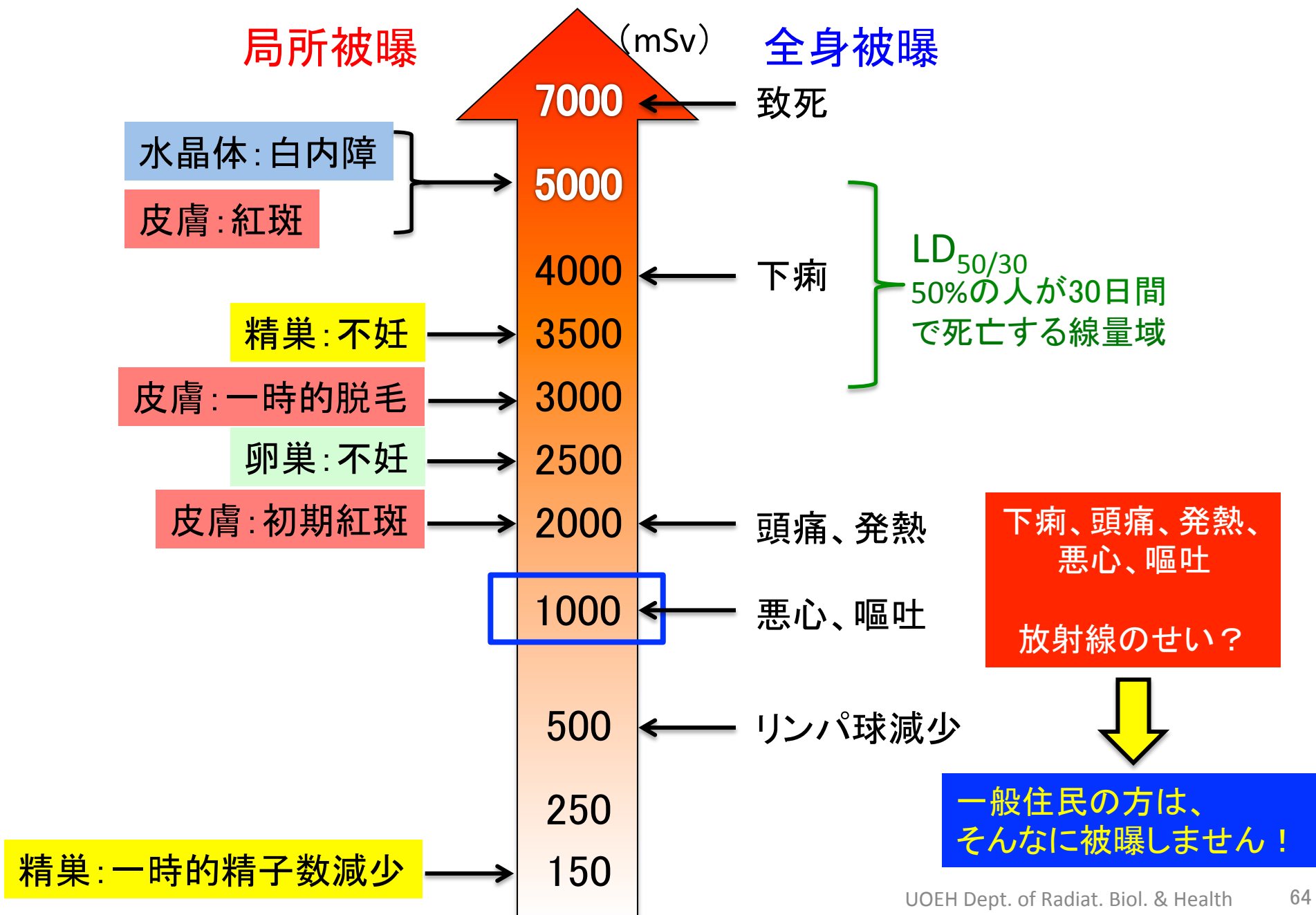
2. **ハンガリー**: 1986年5-6月早産の割合が**10.7%**に増加
それ以外の月は平均**9.75%**
ハンガリーでのその時の被曝は**0.1mSv/月**
母親の放射線に対する恐怖心が胎児に影響
3. **ギリシャ**: 墮胎例数千件、1986年の被曝量**0.6mSv/年**
4. **全欧州**: 胎児の奇形を恐れて**10万人以上の母親が墮胎した**
被曝量は**0.001 - 2mSv/年**

日本でこんなことが起こらないように祈ります！

1989年春頃チェルノブイリ周辺のセシウム137汚染地図



急性放射線被曝の局所及び全身症状



γ線を400日間連続照射した後の寿命や死因を調べたマウス実験
400日間で計20mGy、400mGy、8000mGyとなるように照射している

各群500匹使用

照射マウス	寿命の長さ	寿命短縮に関わるがん死	発生率が増加したがん
オス			
20mGy	変わらず	なし	なし
400mGy	変わらず	なし	なし
8000mGy	短縮 (約100日)	悪性リンパ腫・ 肺腫瘍・血管腫	白血病・肝腫瘍
メス			
20mGy	変わらず	なし	なし
400mGy	短縮 (約20日)	悪性リンパ腫	なし
8000mGy	短縮 (約100日)	悪性リンパ腫・軟部 組織腫瘍・血管腫	卵巣腫瘍・肺腫 瘍・血管肉腫

20mGy/400日、つまり20mSv/年は全く問題なし！

財団法人環境科学技術研究所による研究

平成23年3月12日から1年間の積算放射線量

最初の3週間は¹³¹Iと¹³⁷Csがあるので室内室外関係なく、当時示された空間線量のまま被曝したとし、それ以降は¹³⁷Csのみで、室外はその当時示された空間線量で室内ではその半分量被曝したとして計算

地名	7月3日時点で	9月15日時点で	10月19日時点で
飯館	8.00	7.87	7.80
南相馬	1.29	1.28	1.27
浪江(赤宇木)	42.1	41.6	41.4
浪江(下津島)	11.9	11.7	11.5
福島	4.11	4.07	4.04
郡山	1.72	1.66	1.63
いわき	0.79	0.78	0.77
会津若松	0.23	0.23	0.23
南会津	0.07	0.07	0.07

あくまでもおおざっぱな計算です。この3ヶ月間の計算で1年間の積算線量は小さくなりました。1年後20mSv/年を超えるのは浪江(赤宇木)くらいでしょう

UOEH Dept. of Radiat. Biol. & Health

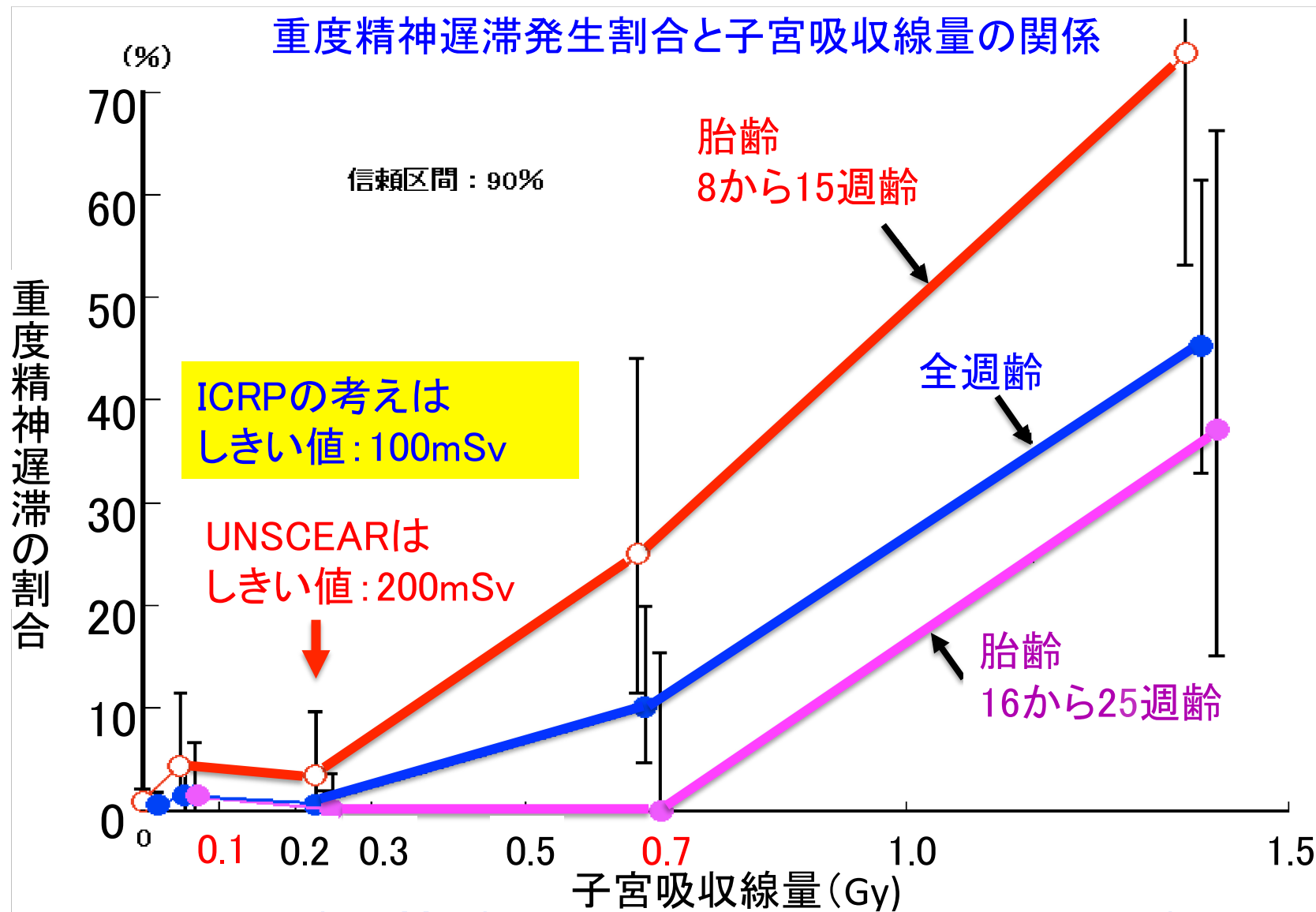
7月8日文科省発表:福島県内の小中学校等55施設で過ごした場合の年間被曝線量は推定0.1~0.6mSv(平均0.3mSv)(4月27日から7月3日までの教師の線量計より) 66

ヒトの疫学的研究およびマウスの実験的研究に基づいて得られたヒトの放射線障害推定線量

放射線医学総合研究所資料より

胎児週齢 (日)	最低致死線量 (mGy)	LD50 近似値 (mGy)	最低線量 (mGy)		
			永久発育遅滞	精神遅滞	重度奇形
1-5	100	<1000	生存者は影響なし		
18-36 (器官形成期)	250-500	1400	200-500	-	200
36-50	500	2000	250-500	-	500
50-150	>500	>1000	250-500	500	-
出産まで	>1000	母体と同じ	500	1000	-

100mSv以下で症状は出ません

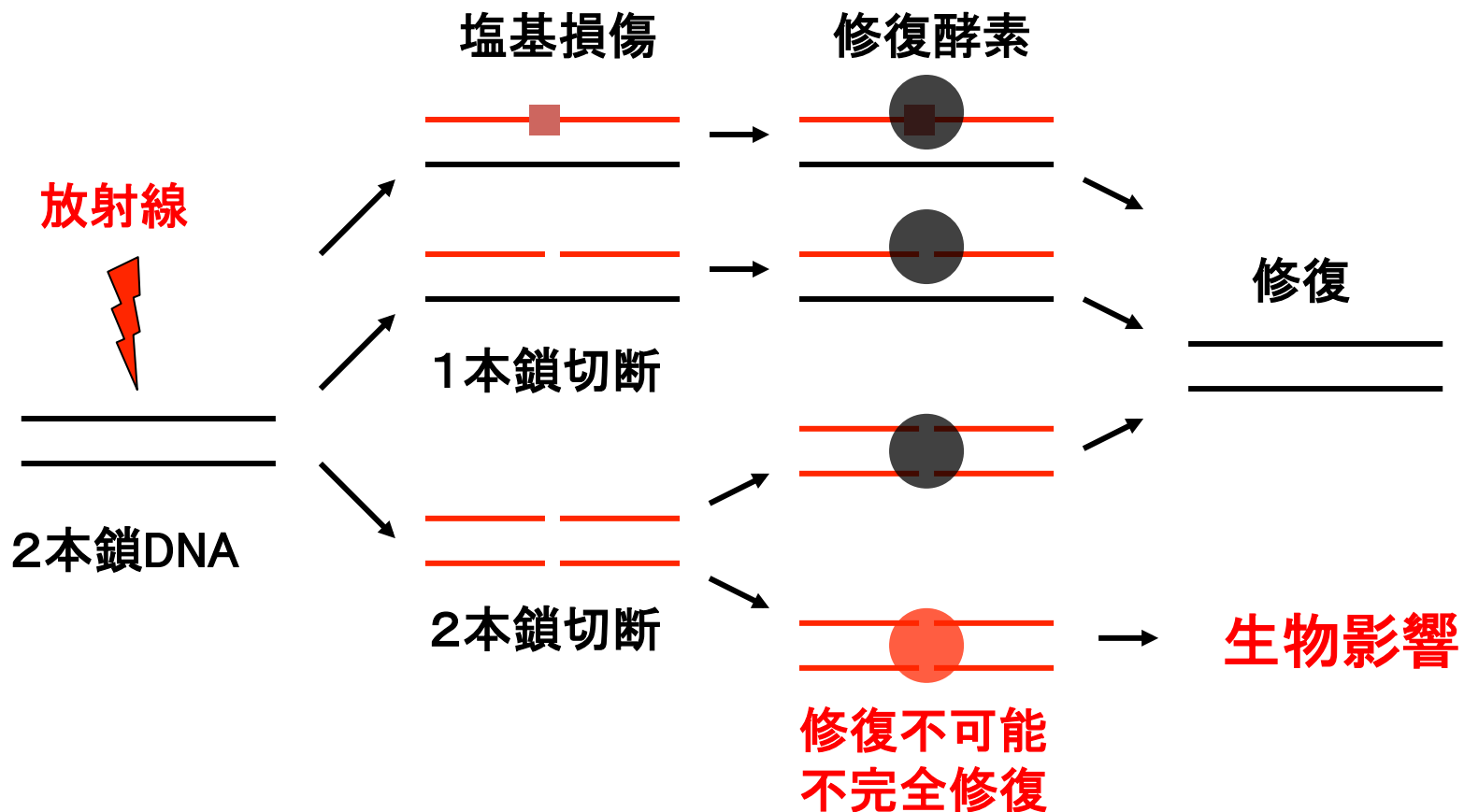


1988年 UNSCEAR報告

原爆被爆時に母親の胎内で被曝した胎内被爆者の研究

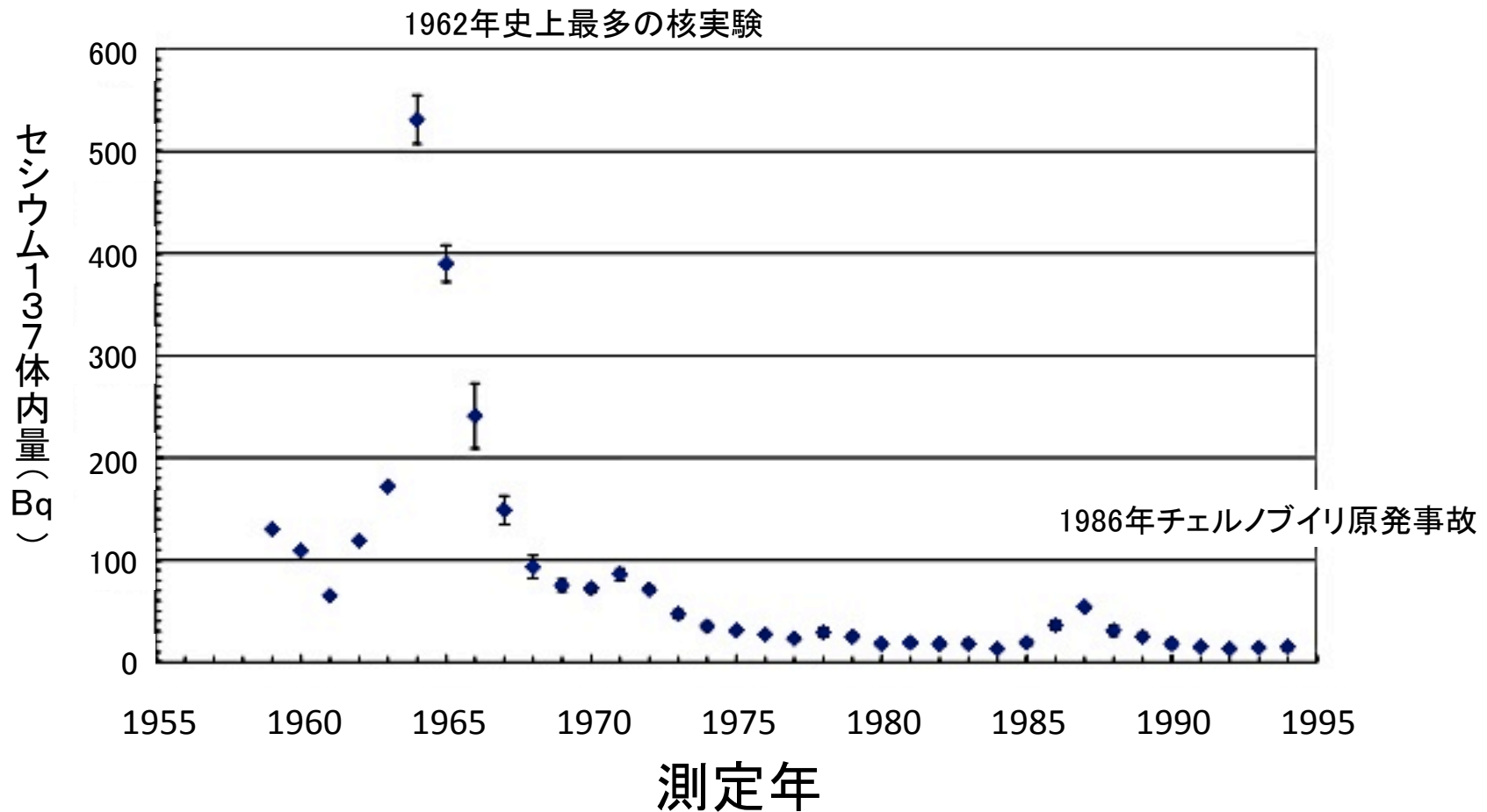
母体で胎児の器官形成が終了してからの被曝で起こりうる重度精神遅滞

100mSv以下で症状は出ません



損傷	自然発生 (/細胞/日)	放射線誘発 (/細胞/Gy)
塩基損傷	20,000	300
1本鎖切断	50,000	1,000
2本鎖切断	10	30

細胞が1Gy被曝すると、
2本鎖切断が自然発生
よりも20個増える

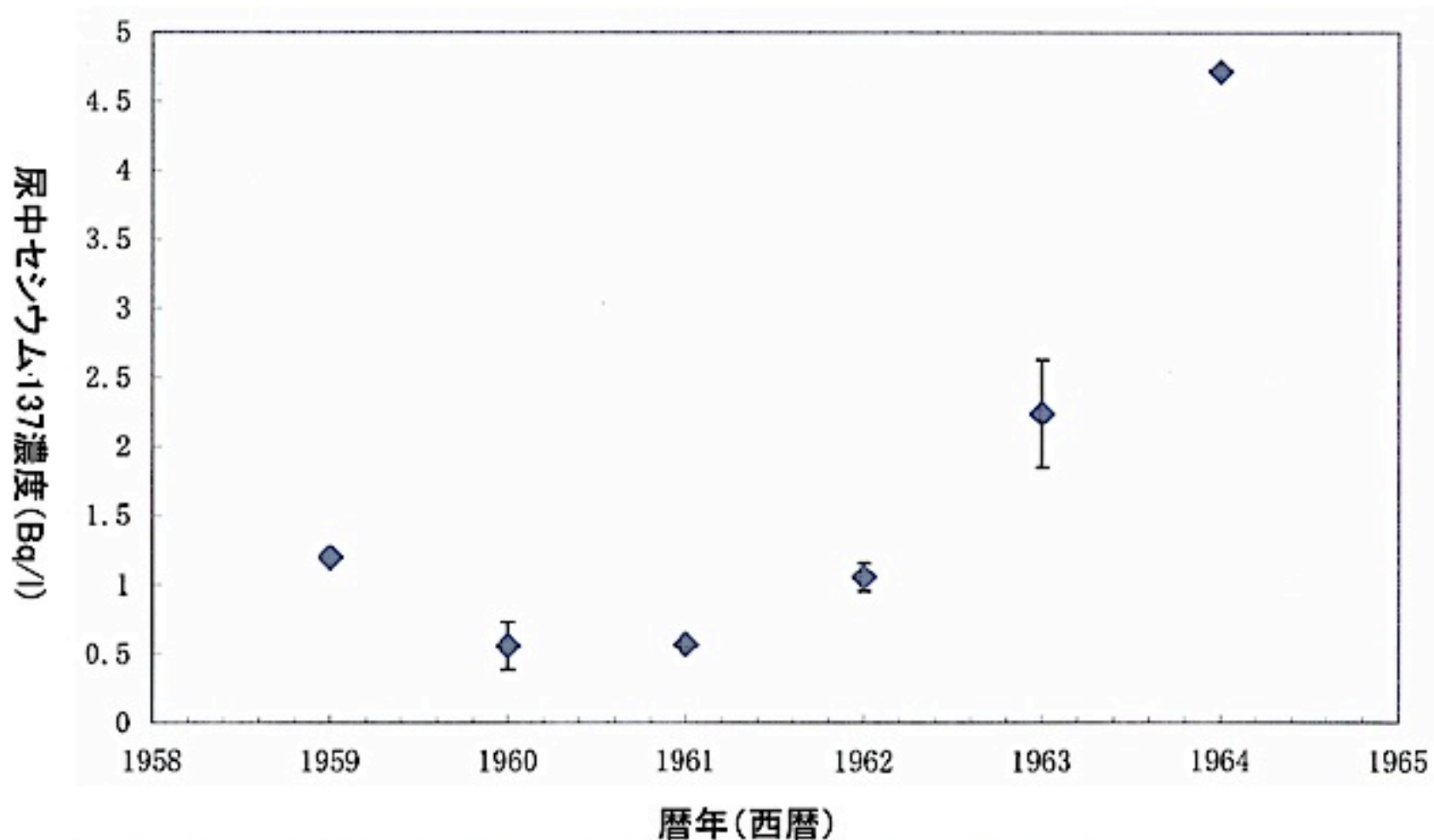


日本人成人男子群のセシウム137体内量の推移

出典: Health Physics 71, 322 (1996)

大まかであるが、体内から検出された1Bqのセシウム137は、年間被曝量として0.0359 μ Svと計算される。1964年での年間被曝量は約19 μ Svとなります。

放射線医学総合研究所 稲葉次郎先生試算



日本人中学生尿のセシウム137の濃度の推移(1959~1964年)

出典: Journal of Radiation Research (1962), Survey Data in Japan(1964), ibid (1965)

1日の排泄量が1Bqだと、簡単化するため排泄は全て尿によると仮定すると、体内量82.27Bq。約2.95 μ Svの被曝となります。1964年は約14 μ Sv。

放射線医学総合研究所 稲葉次郎先生試算



バナナ1本約200bq
約0.1 μ Sv被曝します

^{40}K のせいです
カリウムは色々な食物に含まれます

バナナは栄養価が高いので、
被曝を気にせず食べて大丈夫！

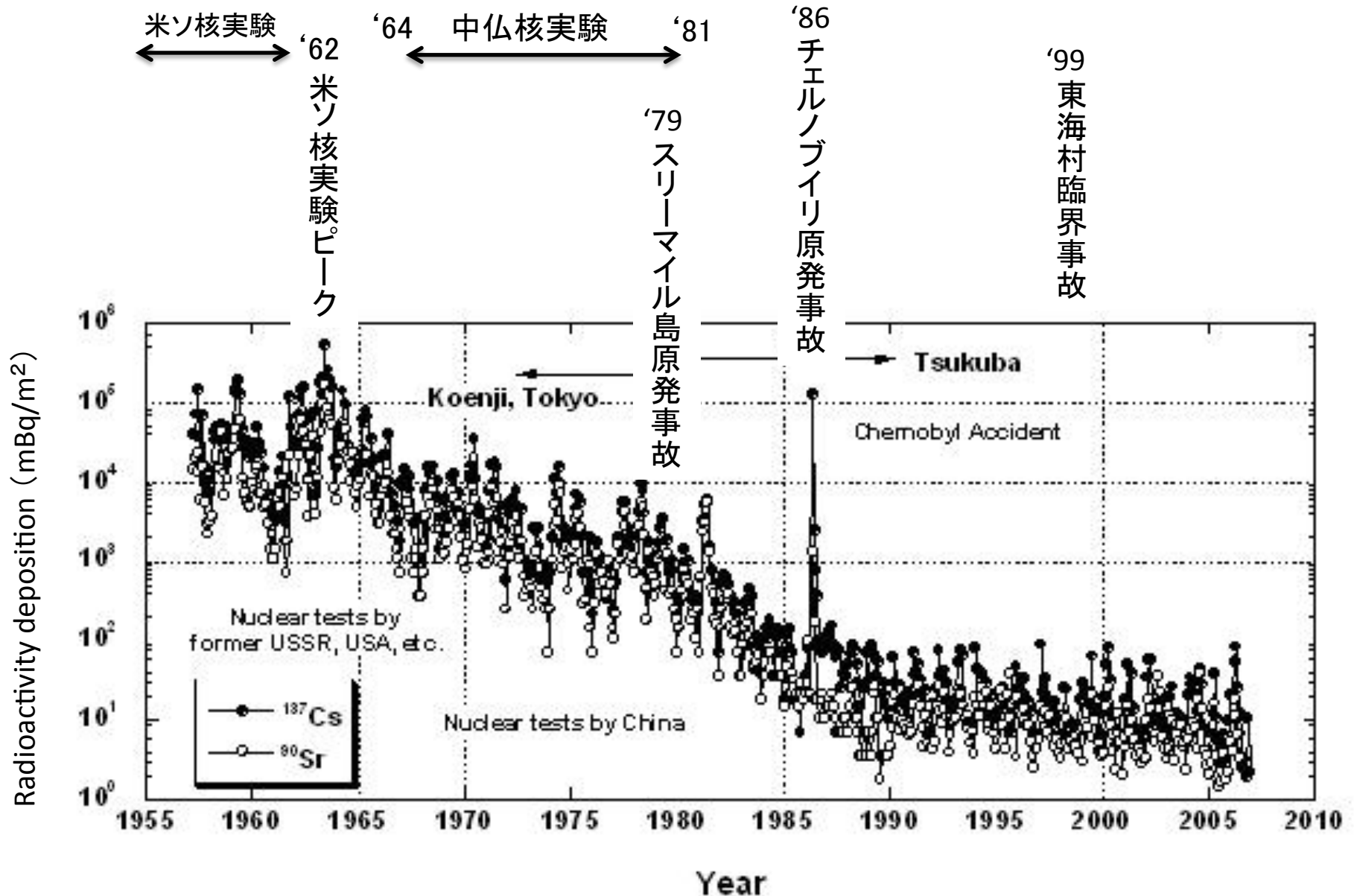
^{40}K は毎日数10ベクレル尿から排出
6月末福島の子供の尿から
0.41~1.3ベクレルの ^{137}Cs
被曝量からすると誤差範囲

バナナのK(カリウム)含有量360mg
 ^{39}K (93.3%)、 ^{40}K (0.0117%)、 ^{41}K (6.7%)

放射性物質
半減期12.8億年

チェルノブイリでは ^{137}Cs 750ベクレル
排出された子供がいます。
体重30kgとして総量15,000ベクレル
しかし ^{131}I による甲状腺がん以外
 ^{137}Cs による白血病や固形がんは
出ていません

環境における人工放射能50年： ^{90}Sr と ^{137}Cs の降下量

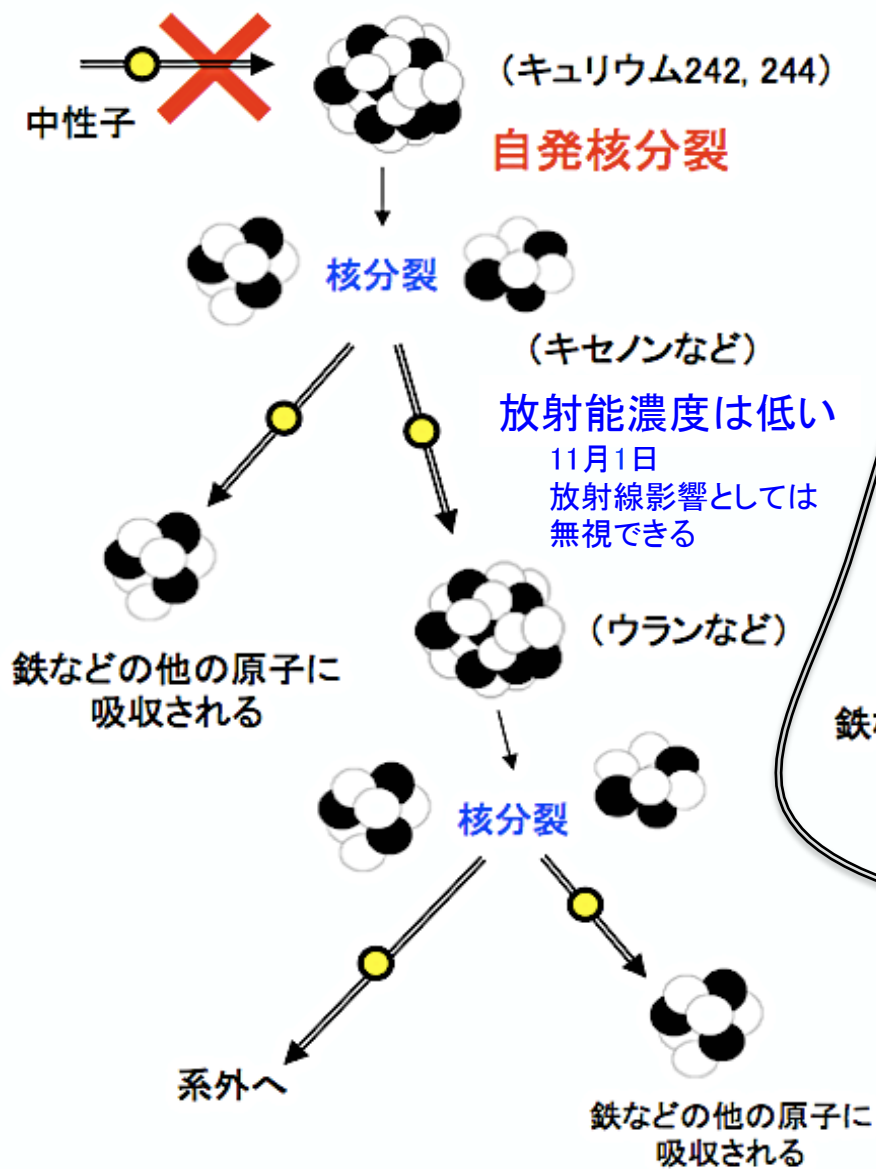


核分裂反応の模式図 (例)

平成23年11月3日
東京電力参考資料改編

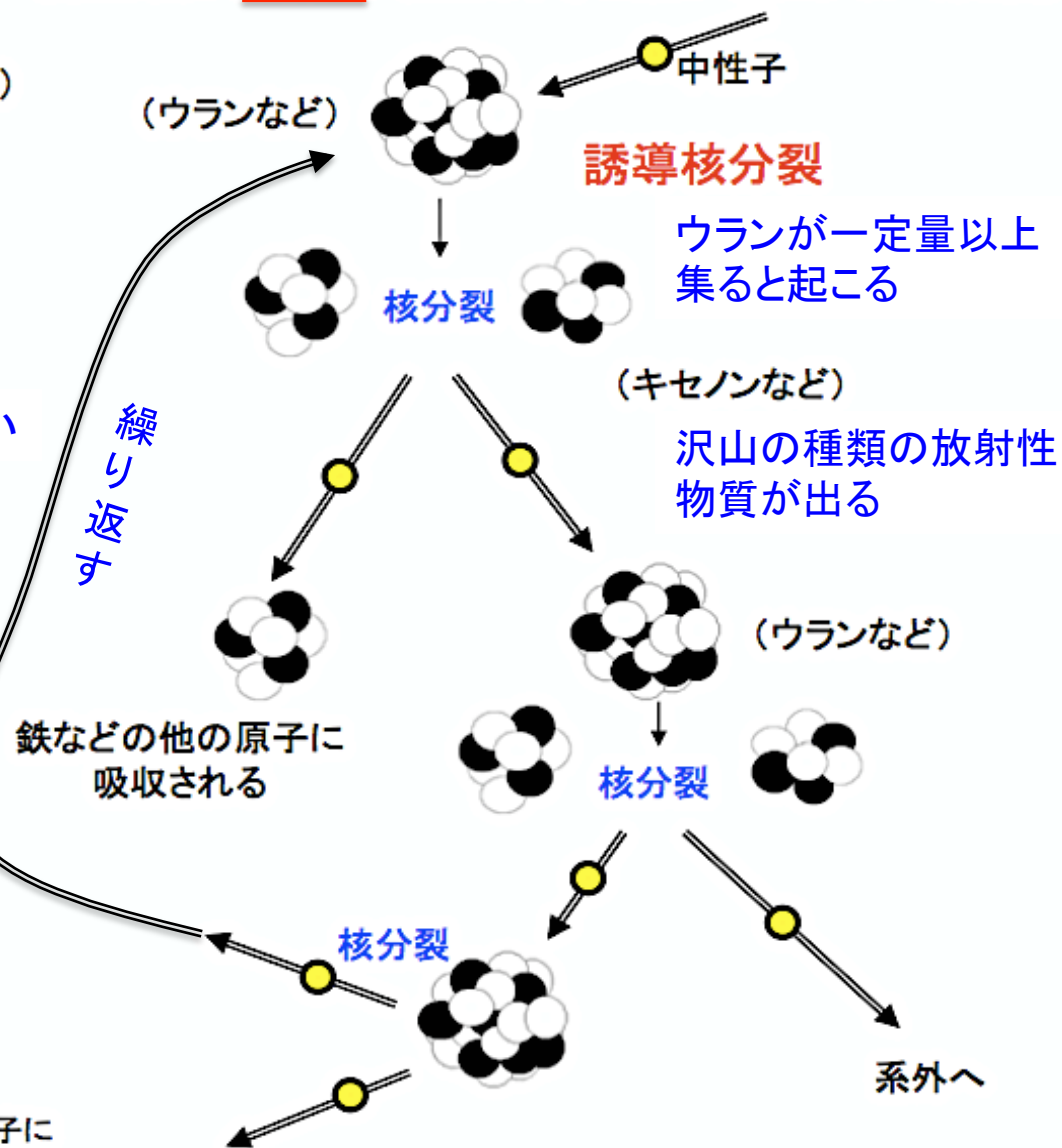
<未臨界>

【核分裂が散発的に発生している状態】



<臨界>

【核分裂が継続的に発生し、その数が増加していく状態】



福島のCs-134およびCs-137の内部被曝について

	経口摂取	吸入摂取	合計
福島	83.1	76.9	160
京都	5.3	—	5.3

単位 μ Sv/年

2011年7月2日から8日までの間にCs-134およびCs-137を食事及び呼吸で体内に取り込んだ量を調べた結果、1年間の内部被曝として、福島では最高160 μ Svとなった。福島で内部被曝でなく、外部被曝の対策が重要と考えられる。

京都大学防災研究所

Environ Health Prev Med 2011 Nov 10. [Epub ahead of print]

UOEH Dept. of Radiat. Biol. & Health

各被曝における内部被曝と外部被曝の比

	内部被曝	外部被曝
福島	1	成人 99 ~ 566 小児 150 ~ 491
チェルノブイリ	1	1
テチャ川	10	1
原爆	1	99

福島で内部被曝を考慮することはほとんど必要ない

放射線とがんのリスクについて

がんの 相対リスク	生涯被曝線量 (mSv)	項目(全部位)
1.50～2.49	1000～2000	喫煙者(1.16) 大量飲酒(450g以上/週)(1.6)
1.30～1.49	500～1000	大量飲酒(300～449g/週)(1.4)
1.10～1.29	200～500	肥満(BMI \geq 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)
1.01～1.09	100～200	野菜不足(1.06) 受動喫煙<非喫煙女性>(1.02～1.03)
検出不可	100未満	

平成23年12月18日朝日新聞掲載記事

放射性ストロンチウム 約462兆ベクレル 海に流出
朝日新聞社試算(今直也記者著)

東北大学農学部水産資源生態学某教授コメント
「骨までまるごと食べるコウナゴやシラス等への蓄積
に特に注意する必要がある」

ストロンチウム-90(半減期28.74年)だけだと
約462兆ベクレルは約90.6g

放射性ストロンチウムはストロンチウム-89(半減期50.53日)もあります
従って、長く残るストロンチウム-90の総量は90gより少ない

ベクレルで表現するととても大きな値
グラムだと小さくなります。
約90gが大海原に拡散されて食物連鎖で人への
影響がどの程度出ると想像されますか？