

# 放射線学入門

——福島原発事故を受けて——

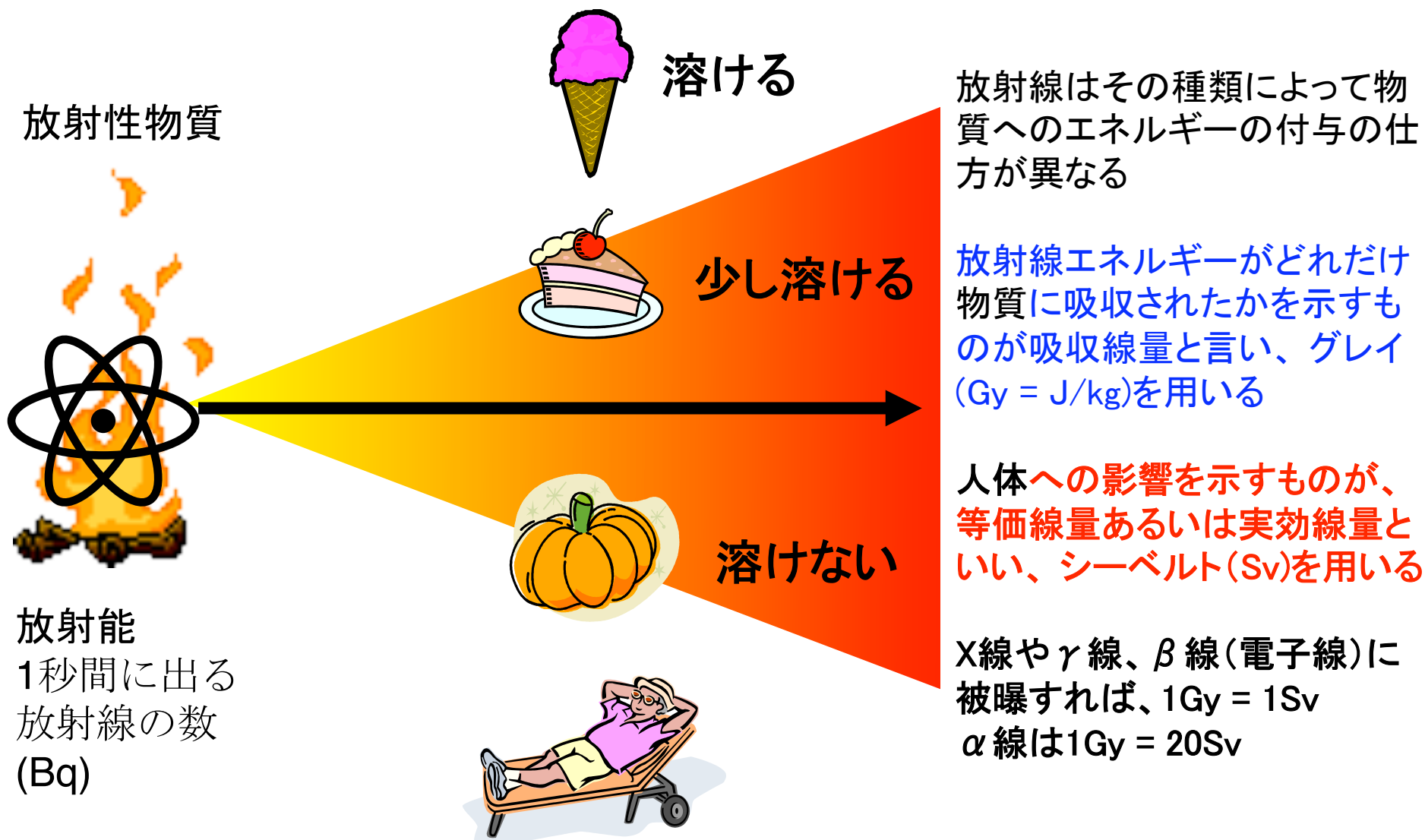
産業医科大学医学部  
放射線衛生学講座

## まず放射線の単位を理解しましょう

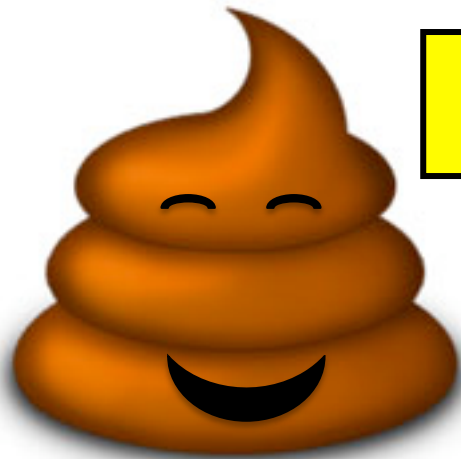
	単位	意味	簡単に説明すると
放射能	Bq ベクレル	放射性物質が1秒間に崩壊(壊変)した数	放射性物質から1秒間に1つ放射線が出ると1ベクレル
吸収線量	Gy グレイ	ある任意の物質中の単位質量あたりに放射線により付与されたエネルギーの平均値	放射線が物質に与えるエネルギーの単位
等価線量	Sv シーベルト	組織・臓器における放射線の影響を、放射線の種類やエネルギーによる違いを補正し、共通の尺度で表現する量	放射線の人に対する影響に用いる単位
実効線量	Sv シーベルト	等価線量を組織荷重係数によって補正し、全身の放射線影響の指標となる量	

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。報道で言われているシーベルトという単位は「毎時」が省略されているので、注意。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。

# 放射線を火に例えると、影響は「モノ」によって違う



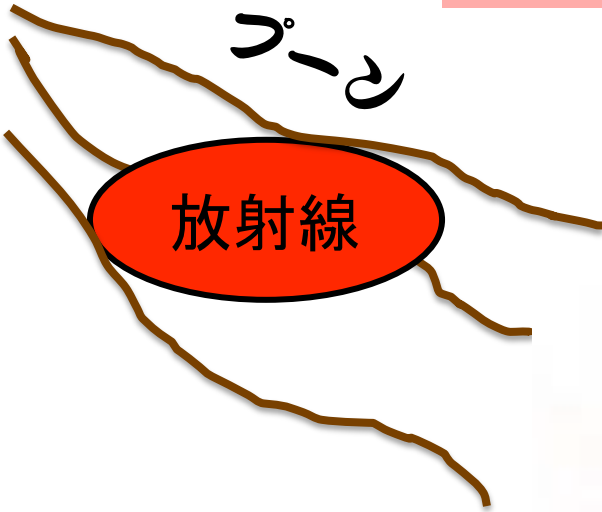
# 放射線をうんちに例えると



放射性物質

臭いが人体に及ぼす影響  
シーベルト(Sv)

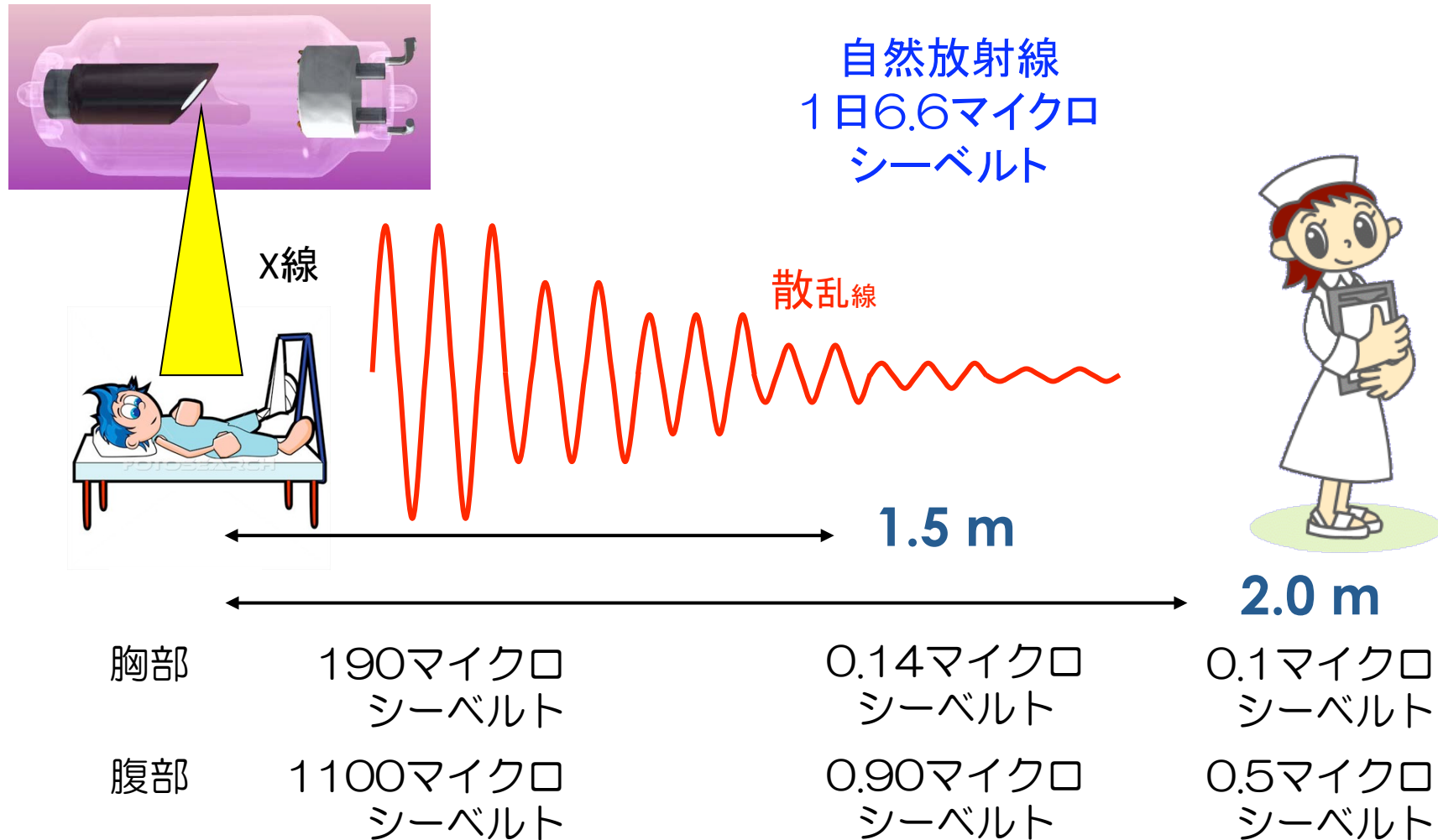
どれくらい臭いを出すか  
ベクレル(Bq)



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

吸った臭いの量：グレイ(Gy)

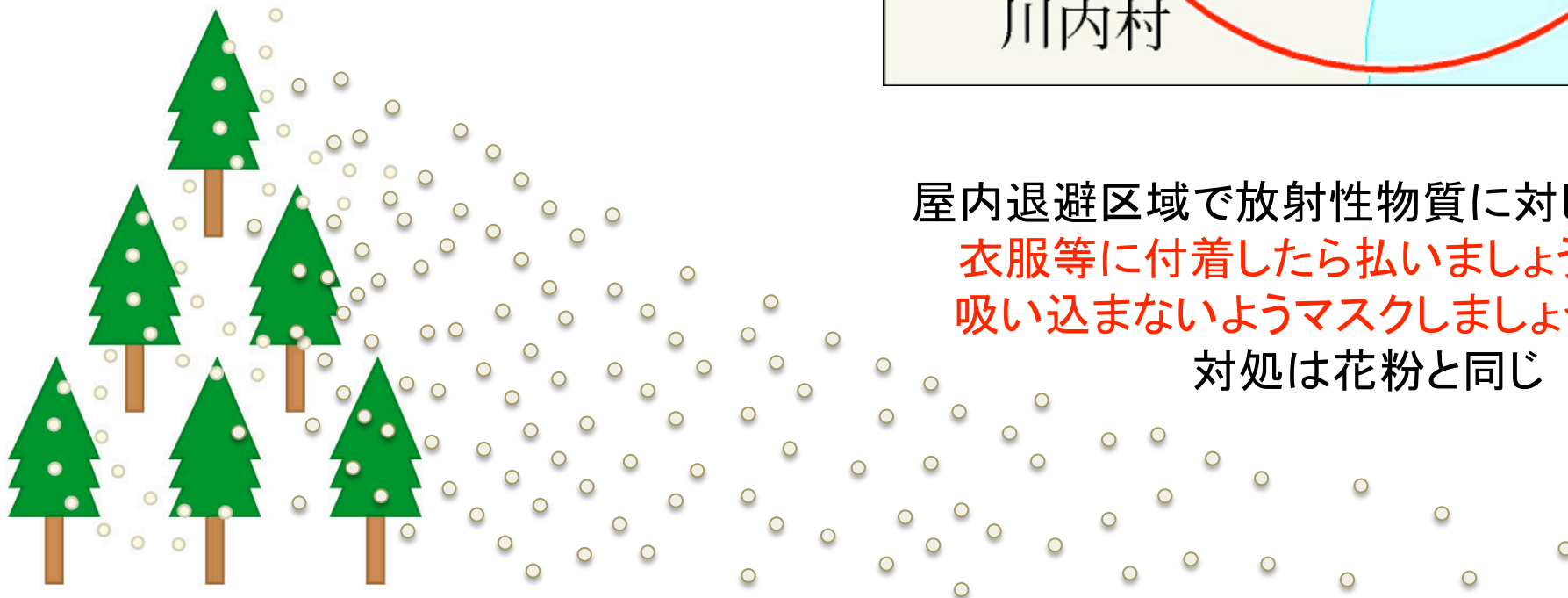
病室でレントゲン検査を受けている患者さんから離れるほど、看護師さんの放射線(散乱線)の影響は少なくなります。



一般的に放射線の影響は距離の二乗に反比例して小さくなります。  
(放射線線源や放射性物質は飛んできません)

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い放射性物質  
を避けるために、福島原発から20km圏内  
は退避区域です。  
20から30kmの所は屋内退避です。

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。



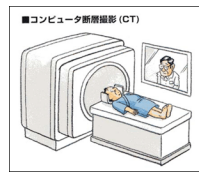
屋内退避区域で放射性物質に対して  
衣服等に付着したら払いましょう  
吸い込まないようにマスクしましょう  
対処は花粉と同じ

# 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)

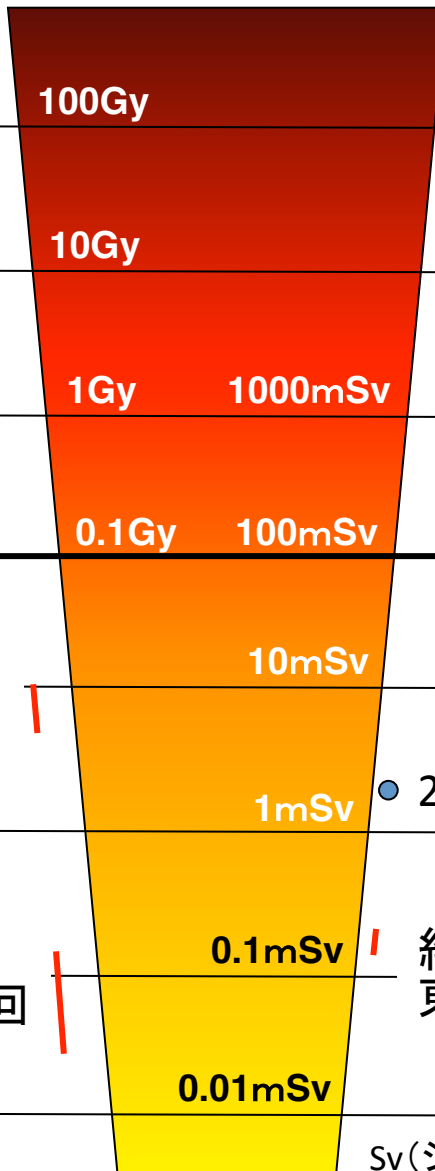


■コンピュータ断層撮影 (CT)

8.8-10mSv CT/1回



0.05-0.65mSv 胸部X線/1回



1000mSv

1Gy

0.1Gy

100mSv

10mSv

1mSv

0.1mSv

0.01mSv

100mSv: 人体に影響ない線量

● 2.4mSv: 年間自然放射線

約0.2mSv:  
東京ニューヨーク間往復



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

先進工業国の成人の平均

検査	mSv
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

UNSCEAR(原子放射線の影響に関する国連科学委員会)2000の報告



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( $^{131}\text{I}$ )**で、1キロ当たり15020ベクレル(Bq)

規制値: 1キロ当たり2000ベクレル

**セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )**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？

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

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

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

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

無理!



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。

放射性物質は時間がたつと放射能が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( $^{131}\text{I}$ )の半減期は約8日**  
**セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )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)

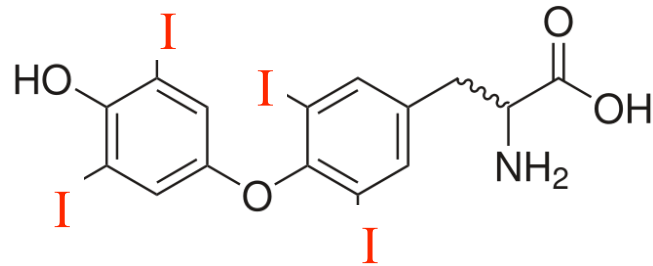
Q: セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )を身体に取り込むと30年間の内部被曝するの？



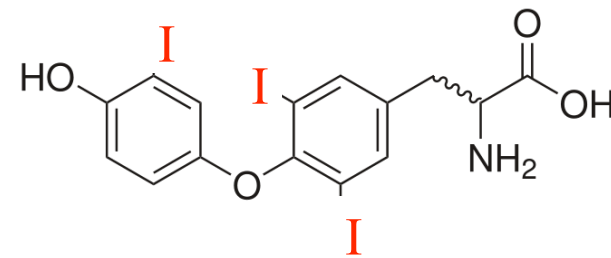
A: 尿や糞などで代謝され約100日で排泄されます。

甲状腺ホルモン: ヨウ素は体内に約25mg、成人1日摂取量約1.5mg

T4: サイロキシン



T3: トリヨードサイロキニン



100mgのヨウ化カリウム投与した時の<sup>131</sup>Iの摂取防止率

投与時期	<sup>131</sup> 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。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。  
被曝線量が50mSv以下の場合は服用しない方が良い。500mSv以上は積極的使用。

# 各組織・臓器の致死がんの名目確率計数(ICRP2007年勧告)

組織・臓器	致死がんの確率計数 ( $10^{-4} \text{ Sv}^{-1}$ )
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
<b>合 計</b>	<b>565</b>

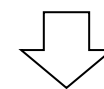
原爆被爆者の疫学調査結果から求められた確率係数。

全年齢1万人あたり  
1Sv被曝した時の  
致死がんの確率

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  
名目確率計数

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0.00377%増加

ちなみに自然発生白血病の生涯リスクは0.7%

従って、今回の放射線被曝により白血病になる  
リスクは0.70377%になる

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



# 放射線の危険度の程度

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！

# 各種危険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)	
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	

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



## 10万に当たり死亡に至るリスク

喫煙	28
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

# 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とも
一時的不妊(男)	0.15	0.1Gy(100mGy)以下
永久不妊(男)	3.5~6	では、胎児も含め人
永久不妊(女)	2.5~6	体への影響はおこら
胎児の発育遅延	1	ない。
白 内 障	5	UNSCEARの報告だと
//	*15以上	500mGy以下の被曝
皮膚の潰瘍	*20以上	で重篤な障害はない。

\*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

# 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 (Gy)	症状
0.25以下	ほとんど臨床的症狀なし
0.5～1	白血球(リンパ球)の一時減少、染色体異常
1	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)
1.5	50%の人に放射線宿酔
2	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)
3～5 (LD50/30)	30日間に50%の人が死亡
6	14日間に90%の人が死亡
7	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)

# 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 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

- ・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

今回足に被曝した人は170mSvと言われていたが、皮膚の被曝線量限度を考えれば良いので、じつは年間の被曝線量以内。マスクミは100mSvを超えたと言っているが、それは全身に被曝した時なので、局所はスライドでは上記の通り。実際は2-6Svの被曝だったらしい。

# 緊急被ばく

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： 100mSv

現在福島では250mSV

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人は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？

# 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	<b>骨髓死:</b> 白血球、血小板減少、 感染、出血	0～90% 数週間
10～50	<b>胃腸死:</b> 食欲不振、下痢、発熱、 電解質消失	90～100% 約9日間
50以上	<b>中枢神経死:</b> 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

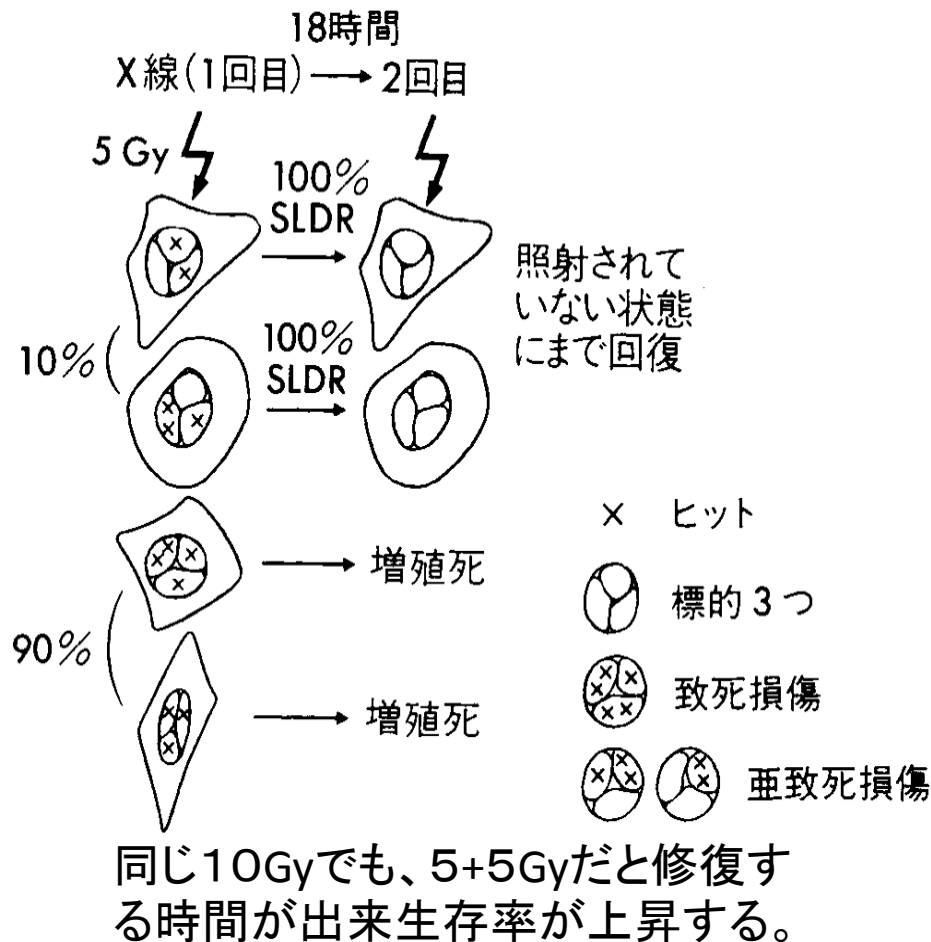


# 予備知識: 分割照射の効果

応用: 放射線治療

## 亜致死損傷からの回復

(Sublethal Damage Recovery SLD回復) Elkind回復



放射線をお酒に例えると、

1升のお酒を一気に飲むと死ぬかもしれませんが。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るので、影響が少なくなります。また、時間当たりの放射線量(線量率と言います)が、小さい方が放射線の影響は小さくなります。

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。

放射線は正しく怖がりましょう！