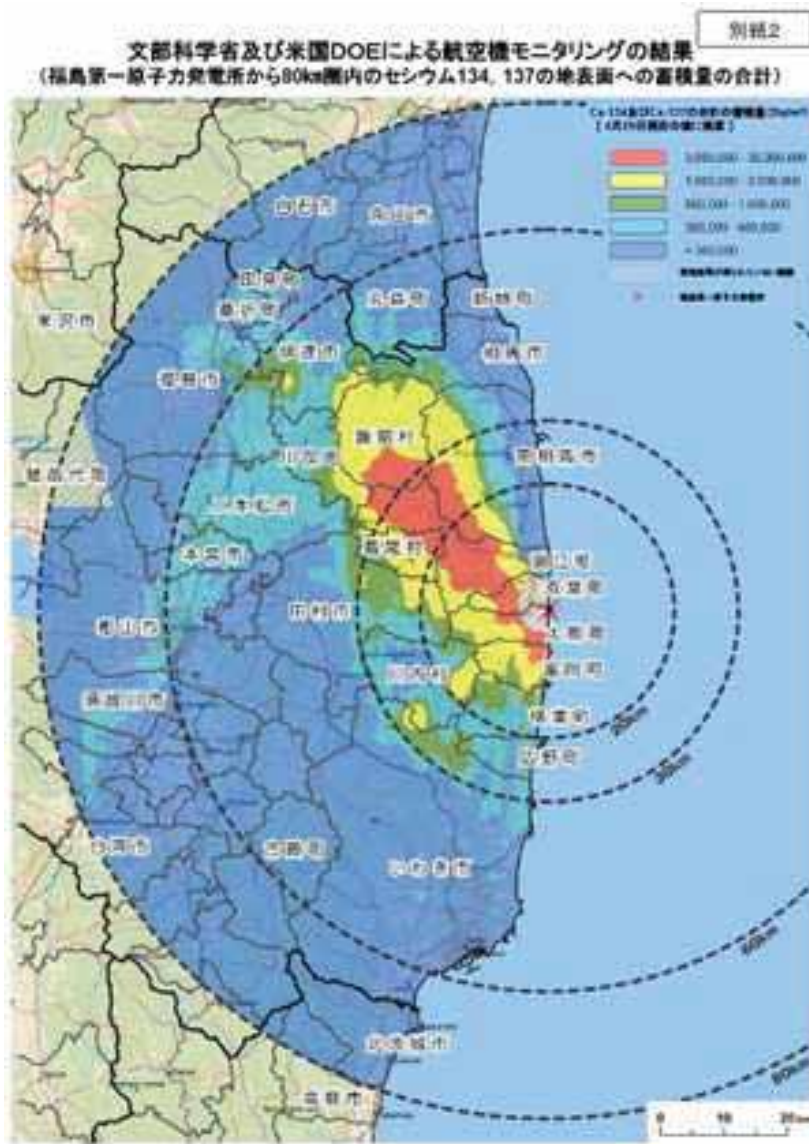


2011年7月25日

田中俊一

原発事故により放出された放射能とその対策
福島における放射能除染のあり方について

福島第1原発事故により環境へ放出された放射能



福島放射線量の状況

○ 緊急時被ばく状況

ICRPは、今回の事故のように大量の放射性物質が環境に放出された場合は、被ばく量が年間20～100mSv/年の範囲に収まるようにする目安(参考レベル)を提案している。

一方、我が国の原子力防災指針では、50mSv以上の被ばくの可能性がある場合は避難、10～50mSvの被ばくの可能性がある場合は、屋内待機とされており、20km圏内の避難、30km圏内の待機はこの指針に基づいている。

また、飯舘村などの計画的避難区域、伊達市の特定避難勧奨地点は、来年3月11日まで現在の地に留まって生活を続けた場合、積算線量が20mSvを越えることになるという予測に基づいて避難の判断がなされている。

○ 現存被ばく状況

ICRPは、緊急避難区域から外側にありながらも、放射能に汚染された環境で生活する場合には、被ばく量が年間1～20mSv/年の範囲に収まるようにする目安(参考レベル)を提案し、長期的には1mSvを目指すべきとしている。

郡山市等は、平常時より高い放射線量が観測されているので、現存被ばく状況にある。

(3) 計画的被ばく状況

平常時に放射性物質の管理ができている場合で、公衆の被ばく量は1mSv以下にすること。

ICRP:国際放射線防護委員会

計画的避難区域等を解除するための除染について

国は年間20mSvを基準として、来年3月まで留まると20mSvを越える可能性があるとして避難を勧奨。

住民が復帰し、生活できる条件

- ・ 年間の被ばく線量が1～20mSv範囲であること。
- ・ 耕作、牧畜等を行うためには、セシウムによる土壤汚染を5000ベクレル/kg以下にすること。

住民が復帰し、生活するために成すべきこと

- ・ 住民が村に復帰し、あるいは避難せずに生活できる条件を達成するためには、住居、田畑、山林等の放射能を除去し、放射能濃度を下げ、年間の被ばく線量を20 mSv以下にすること。
- ・ 子供等のことを考慮すれば、被ばく線量は20 mSvから出来るだけ下げることが必要。
- ・ 土壤等の放射能汚染は、Cs-137(半減期30年)、Cs-134(半減期2年)によるものであり、自然の減少はほとんど期待できない。
- ・ 従って、放射線量率や土壤等の放射能濃度を下げて、住民が村に復帰し、生活できるようにするためには、セシウムを積極的に除去する必要がある。

富成小学校・幼稚園の放射能除染

- 目標
子供・幼児の学校、幼稚園での年間積算線量1mSv(放射線量率:0.1~0.2 μ Sv/h)以下。
- 7月2日、3日:除染準備(約50名)
7月9日-15日:除染実施(約20~30名/日)
7月16日、17日:除染実施(地域住民、ボランティアを含む)
- 除染の方法
 - ・土壌、草地については剥取り(刈払いは父兄の協力)
土手、校舎周囲の剥ぎ取りは、地域住民およびボランティアの協力
 - ・窓などのルーズな汚染はふき上げ(父兄の協力)
 - ・コンクリート、アスファルト、レンガ等については、セシウムが表面の孔などに吸着されているので、サンドブラスト法や電気カンナ等を利用して表面を薄く剥離(約1ミリ厚)
 - ・排水溝等については、土壌、コケを除去し、高圧水洗浄。
 - ・プールの除染は、溜まっている水、アオコなどのセシウムを除去処理して排水。その後、プール内、周囲の除染
 - ・幼稚園については、屋根、雨樋、プール、プール周囲、玄関先(化粧レンガ)の除染
- 廃棄物
 - ・廃棄物は、学校の裏手(体育館)にまとめて保管。表面線量を測定して適宜遮蔽をした上で近接防止のロープを設置。

学校の除染



校庭の除染



埋設地
表面: $0.25 \mu\text{Sv/h}$
1m: $0.5 \mu\text{Sv/h}$

土手(法面)の除染

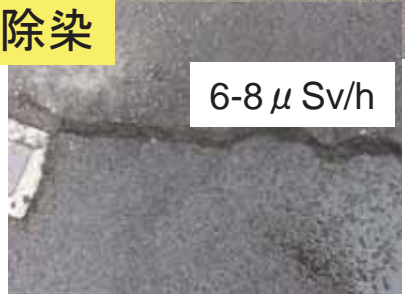
土手: $3-5 \mu\text{Sv/h} \rightarrow 1-1.5 \mu\text{Sv/h}$



校舎の除染

表面: $2-3 \mu\text{Sv/h} \rightarrow 0.7-1 \mu\text{Sv/h}$

アスファルトの除染



$6-8 \mu\text{Sv/h}$



校舎裏の除染

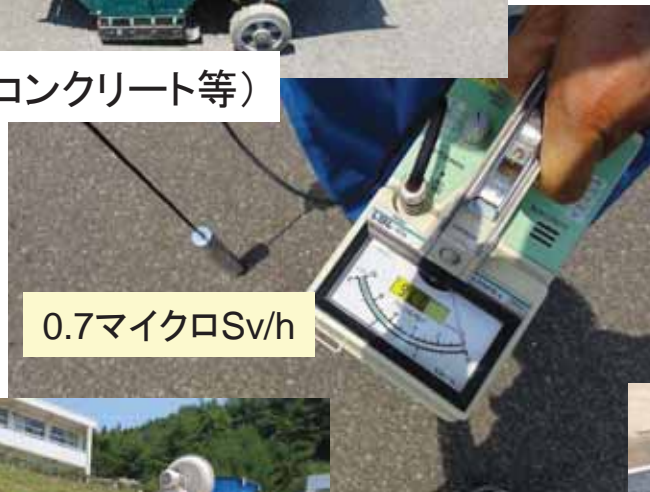
$5 \mu\text{Sv/h} \rightarrow 1 \mu\text{Sv/h}$



ブラスト(コンクリート等)



父兄による刈払い



0.7マイクロSv/h



ボランティアによる剥取り



真空吸引法



中央階段(電気カンナ)



富成小の除染廃棄物



或る小学校の校庭の除染廃棄物

プールの除染

- ・ プール水: 650Bq/kgを50Bq/kg以下まで浄化排水
- ・ プール周囲、脱衣所屋根(コンクリート)、排水溝の除染



プール水は検出限界以下(<7Bq/kg)
周囲の空間線量率 0.7-0.8 μ Sv/h



プール側溝: 6-8 μ Sv/h \rightarrow 1 μ Sv/h以下

飯舘村長泥地区での放射能除染試験

○ 家屋、屋敷の除染

雨樋、屋根の除染

- ・ ポリイオン溶液を注ぎ、Csの飛散防止をしてから土、枯葉を除去
- ・ 屋根は全体を高圧水洗浄
- ・ 雨樋は屋根の洗浄後、高圧水洗浄

屋敷表

- ・ 砂利(碎石)の土壤にポリイオン溶液を散布(Csの飛散防止)
- ・ 雨水ピットの土壤を除去
- ・ スポット状の汚染土壤を剥離
- ・ 花壇の土、石苔は移植ベラで簡単に除去、また常緑樹については一部剪定

屋敷裏

- ・ ポリイオン溶液を散布後、土壤を剥離(雨樋下近傍:3~4cm程度)
- ・ 裏手、横の草地は、1cm程度の厚さで杉林の境界まで剥離
- ・ 屋敷近傍の杉の枝、枯葉を林の奥に移動
- ・ スポット状の汚染土壤を剥離
- ・ 家近傍の杉、もみの木を伐採、枝打ち

○ ビニールハウス(ビニール無し)、水田、牧草地の除染

- ・ 一定の試験面積に複数の成分をもつポリイオン溶液を散布(5月20日)
- ・ 併せて、コアサンプリングによる分析用サンプルを採取
- ・ 剥離し、除染効果を確認(5月26日)

民家周囲の線源



屋敷杉

物置・牛舎(屋根、雨樋)

母屋(屋根、雨樋)

草地

車庫

屋敷表・横側

空間線量率: 13~15 μ Sv/h
表面線量率: 20~170 μ Sv/h



前庭・花壇、畑



杉の枝

もみの木(葉)



杉の落葉

雨樋

地面

屋敷裏側

家屋周囲の線量 & 放射能 (除染前)

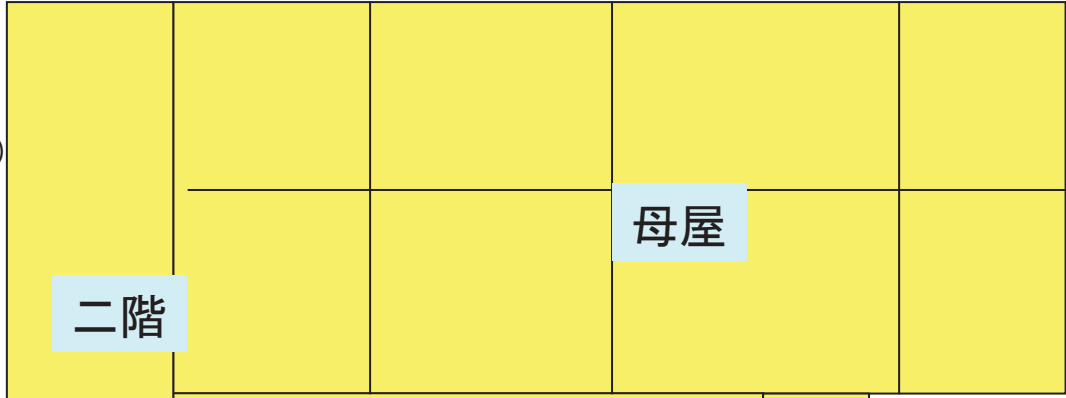
表面での
計数率、線量率

草地・杉葉 15~30kcpm、15~30 μ Sv/h

杉林

10~41kcpm、10~61 μ Sv/h

土手(草)



物置・牛舎
屋根31kcpm
>30 μ Sv/h

雨樋ピット:65kcpm

9~20kcpm、11~19 μ Sv/h

9k~ 23kcpm
10~18kcpm、8~18 μ Sv/h

7~25kcpm、8~17 μ Sv/h

車庫

6~23kcpm、7~23 μ Sv/h

屋根14kcpm
28 μ Sv/h

花壇 常緑樹15kcpm、苔30kcpm

屋根、雨樋の除染



雨樋(裏):最後に高圧水洗
 除染前 40-50kcpm
 除染後 10kcpm以下

雨樋(表)	線量率(μ Sv/h)	
	除染前	除染後
落口①近傍	45 ~ 65	14
落口②近傍	50 ~ 170	
全体	10 ~ 35	

屋敷前庭の除染



ポリオン溶液を散布

コンクリート叩きとの境界が汚染レベルが高い
(雨水が樋から落下するため)



雨水ピット: 65kcpm
土壌を剥離除去



剥離作業

屋敷裏の除染



草地(スコップで漉取り)
 除去前: 全面15kcpm~30kcpm
 除去後: 全面 <6kcpm



カヤの木:伐採

屋敷の裏側は、土壌、草地を剥離除去

上方向が高い



高さ方向の線量率変化

雨樋下の土壌 (cpm)
 除染前 10k ~ 41k
 剥離後 < 8.0k

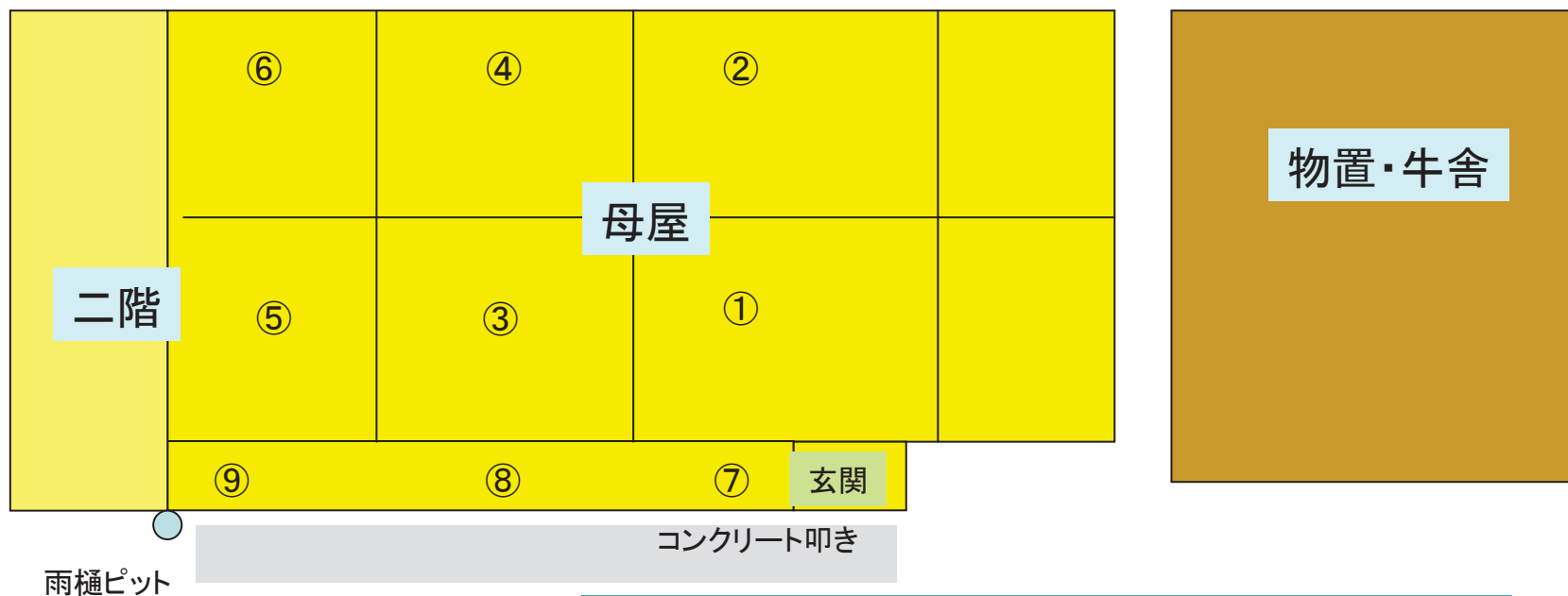


屋内線量率を下げるためには、屋敷周囲の木々の伐採、剪定が必要



周囲の樹木からの放射線の寄与が大きく、屋内の線量率は床より天井が20%から50%高い

除染による屋内線量率の変化



100cm(床面)高さでの線量率(μSv/h)

	除染前 5月19日	除染後(床面) 5月20日	除染後(床面) 5月26日
①	3.9	3.7(3.2)	3.1(2.8)
②	9.6	4.7(3.3)	3.9(3.2)
③	4.2	4.1(3.6)	3.2(3.0)
④	8.6	4.8(4.4)	4.3(3.9)
⑤	4.2	4.2(3.0)	3.0(2.7)
⑥	6.5	4.6(3.3)	3.6(3.0)
⑦	4.8	4.7(3.7)	3.3(2.8)
⑧	5.2	4.7(4.5)	3.1(2.8)
⑨	7.1	6.6(5.3)	3.7(3.5)

ビニールハウス(畑)の除染

- ・10mx4mにポリイオン溶液を散布(5月20日)
- ・乾燥後剥離(5月26日)



ポリイオン溶液の散布
(10mx4m)
天然ポリイオンと合成ポリイオン
を散布



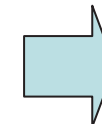
草刈鎌で剥取り



ポリイオンで固化した土壌

GM測定値

	剥取り前	剥取り後(3~4cm厚)
鉛コリメータ無し	15k ~ 23k cpm	1.6k ~ 1.7kcpm
固化土壌のみ剥取り(0.5~1cm厚)		
鉛コリメータ付き	13.5k ~ 17.5kcpm	3k ~ 4.7kcpm

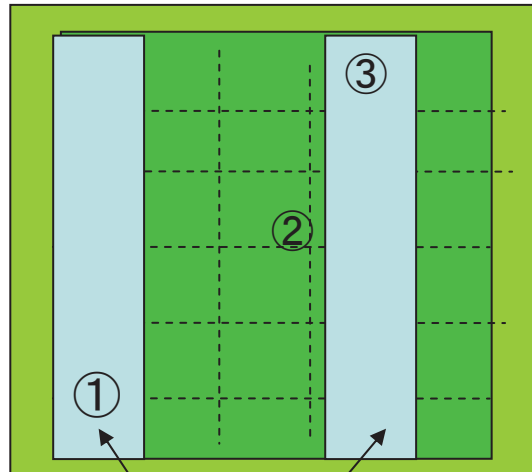


除去率: 89% ~ 93%

牧草地の除染

除染前

牧草地(5mx5m)



ポリイオン散布

	GM (cpm)	NaI (μ Sv/h)	
		表面	100cm
①	37k	20.0	11.8
		9.3	5.5
②	42k	20.0	12.6
		10.0	5.8
③	49k	21.1	12.8
		9.7	5.8

下段;鉛コリメータ付き

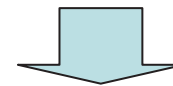
除染後



剥取り後のGM測定値(鉛コリメータ無し)

2.6kcpm ~ 2.7kcpm

ポリイオン溶液で草の根まで固定化されており、剥取りが容易(3cm~4cm厚)

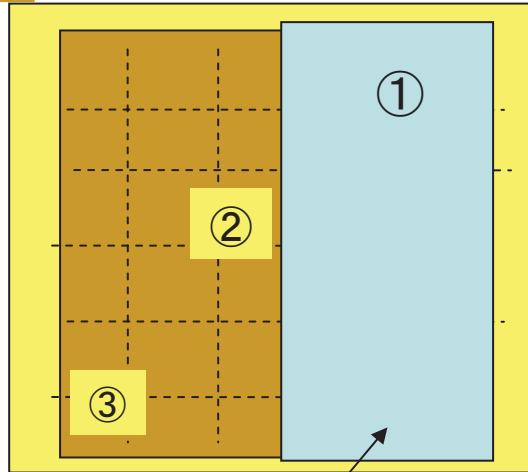


$$\text{除去率} = (43 - 2.65) \text{kcpm} / 43 \text{kcpm} = 94\%$$

水田の除染

除染前

水田 (5m x 5m)



ポリイオン散布

	GM (cpm)	NaI (μSv/h) 表面 100cm	
①	17k	15.1	10.3
		6.8	4.5
②	14k	14.8	9.8
		6.9	4.6
③	17k	15.4	10.3
		7.0	4.7

下段;鉛コリメータ付き

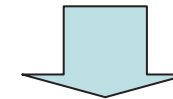
除染後



剥取り後のGM測定値(鉛コリメータ無し)

2.5kcpm ~ 5kcpm

稲株の有無によってバラツキがある。土壤の除去は稲株も一緒に除去することが必要



$$\begin{aligned} \text{除去率} &= (16-2.5)\text{kcpm}/16 \text{ kcpm} = 85\% \\ &= (16-5)\text{kcpm}/16 \text{ kcpm} = 69\% \end{aligned}$$

試験結果のまとめ

- ☆ 屋内線量率は、 $3.9\sim 8.6\ \mu\text{Sv/h}$ が $3.1\sim 4.3\ \mu\text{Sv/h}$ に低下。さらなる低下のためには、家屋の周囲50m～100mの範囲の除染が必要。
- ☆ ビニールハウス(畑)、牧草地、水田の放射能(セシウム)の濃度は、耕作制限値の5分の1～2分の1に低下。

ビニールハウス(畑):	89%～93%(暫定値)
牧草地:	93%～95%(暫定値)
水田:	69%～85%(暫定値)

この値は、測定器のBG補正をすれば、さらに除去率は5%から10%良くなると推測。

根気良く適切な努力すれば、放射能の除去（除染）は可能である。

除染と生活

放射能の溜まりやすい場所



屋根(枯葉、コケ)
雨樋(土、枯葉)



雨水の流れる場所



庭などの草、コケ



ポリオン法は、畑などの放射能の除去に適している

ポリオン溶液を散布すると、その部分が固まり、土壌や草を薄く剥ぎ取るのが容易になりセシウムも飛ばなくなるので剥ぎ取り作業中の内部被ばくを防ぐ効果がある。



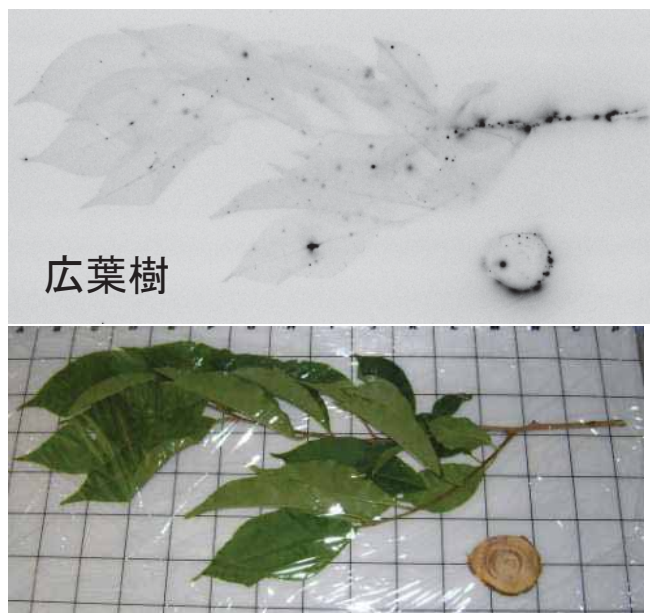
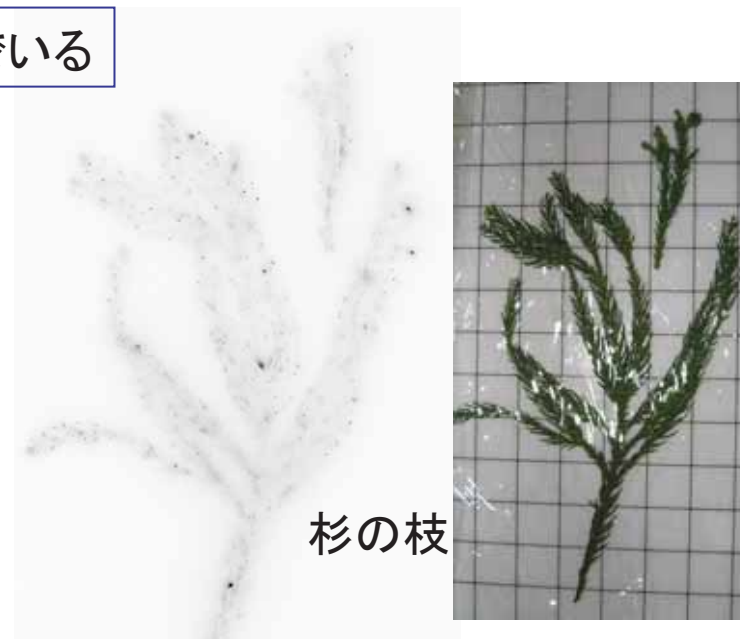
ポリオンは、顔のパックやアイスクリームの粘着材として使われているもので安全で、環境への負荷もない。

ポリオンは、晴天なら3日ぐらいで固まる

放射性セシウムは、草木や樹木に入り込んでいる



土壤層には放射性物質はほとんど存在しない。



草地は、草野根元と土の表面に大部分のセシウムが留まっているので、これを丁寧に薄く剥ぎ取る。

杉や広葉樹の葉や枝にセシウムが取り込まれている。これは、水洗いしても落ちないので、できるだけ枝払いをする。

食物摂取基準値

飲食物摂取制限に係る基準 摂取限度(5mSv)		制限値 (Bq/kg)	
		日本	欧州
ヨウ素	飲料水、牛乳、乳製品	300	500
	野菜類	2000	2000
セシウム	飲料水、牛乳、乳製品	200	1000
	野菜類、穀類、肉、卵、魚、その他	500	1250

保守的な仮定

- ・ 年平均濃度とピーク濃度の比をEUでは1/10に対して、1/2を仮定 ⇒ 5倍
- ・ Sr-90/Csの比を0.1と仮定(実際は、0.01以下) ⇒ 5%
- ・ 食品摂取量について調査結果1365g/日を1600g/日と仮定 ⇒ 17%
- ・ 全ての食品が汚染されていると仮定 ⇒ 非現実

セシウム-137の内部被ばく換算 1mSv/72000Bq

- ★ 伊達市のキロ当たり580Bq梅を一年間に10kg食べた場合の被ばく量は、75 μ Sv。
- ★ 神奈川県の新茶から、570Bq/kgのセシウムが検出されたことで、出荷自粛措置がとられたが、これは一年間に135kgのお茶を食べた場合、1mSvになる値である。

飯舘村長泥地区の野菜の放射能検査結果 (Bq/kg)

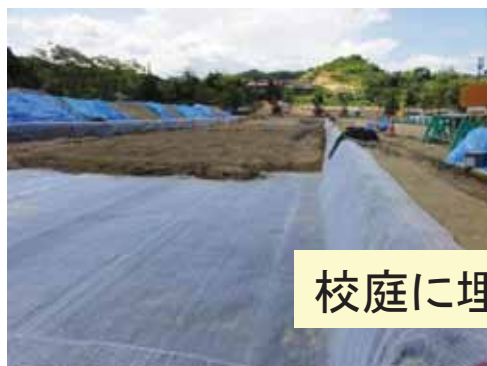
	ヨウ素—131	セシウム—137	セシウム134	合計
アスパラガス	不検出	5.46	2.6	8.13
しいたけ	不検出	127	120	247
わらび	不検出	215	191	406
ほうれん草	9.16	233	204	437
ニンニクの芽	29.6	73.5	68.6	142
筍	不検出	14400	12800	27200
		12500	11200	23700
筍(皮)		9100	7900	17000

筍以外は、摂取制限値以下である。

よく土を洗い落とせば、
飯舘村長泥の野菜も
美味しく食べられる。



廃棄物の処分場があれば除染はできる。



管理型集積処分場が必要です！

土壌、草、樹木、コンクリート屑、汚泥など、除染をすれば廃棄物がでるので、これを集積して安全に処分できる場所の確保が必要である。その量は膨大。

放射性廃棄物は、放射能が減って安全になるまでは管理処分するのが鉄則である。校庭に埋めるのは無管理状態で、その後の安全が担保できない。管理処分場で常に放射能の監視を続けられれば、安全は担保できる。特に、セシウムはベントナイトやゼオライトに吸着されると動かないので、管理が容易である。

茨城県東海村では、20年ほど前に我が国最初の試験用原子力発電所を解体し、放射能の低いコンクリート等をトレンチ型と呼ぶ処分場に埋めた実績がある。

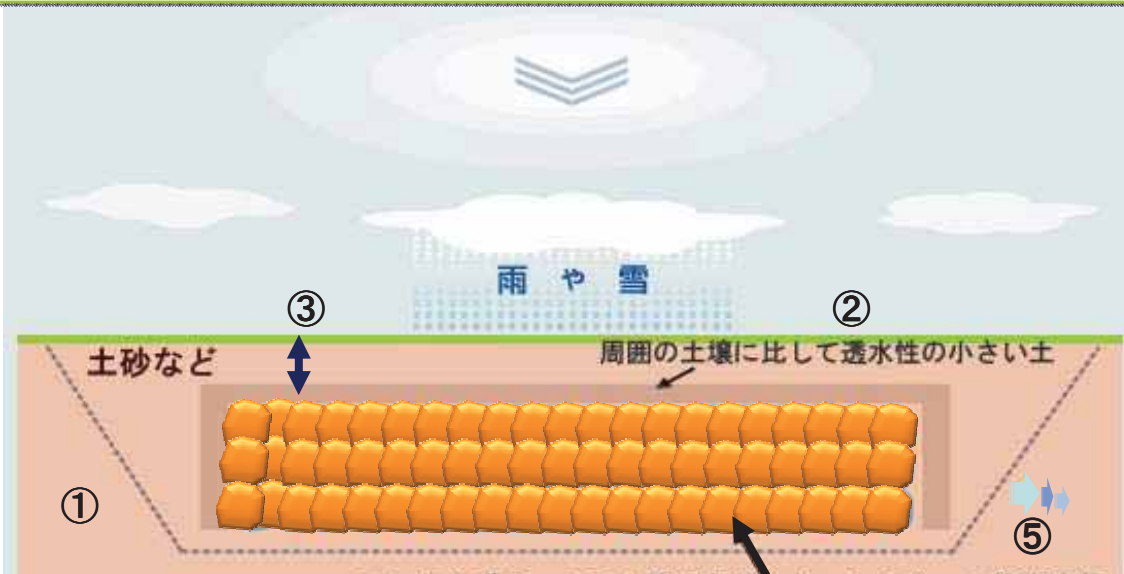
村上村長のメッセージ

「私は原子力についての素人でありますので確たる事は申し上げられませんが、十分に研究された後実施された方法であることから何ら懸念するものはございません。ただ、私共地元民としては、埋設以後十分な期間モニタリングしてくれることを望んでおり、そのことで安心が得られるものと思っております。望んでいることは、このことのみで不安は全くございませんと云えます。」

処分場の立地は住民・自治体の問題。国に依存しては絶対解決しない。

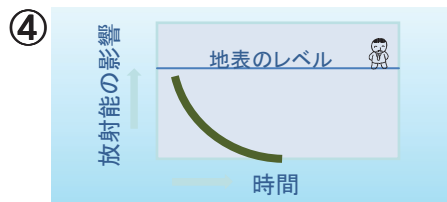
実績のある埋設処分場（東海村）

- ① 地下水の少ない場所に、
- ② 遮水性及び閉じ込め能力の高い土(粘土など)で囲んで、
- ③ 十分な厚さの土砂で覆う。
- ④ 放射性物質の地下の挙動をシュミレーションで予測するとともに、
- ⑤ 周りへの影響が無いことを十分な期間モニタリングする。



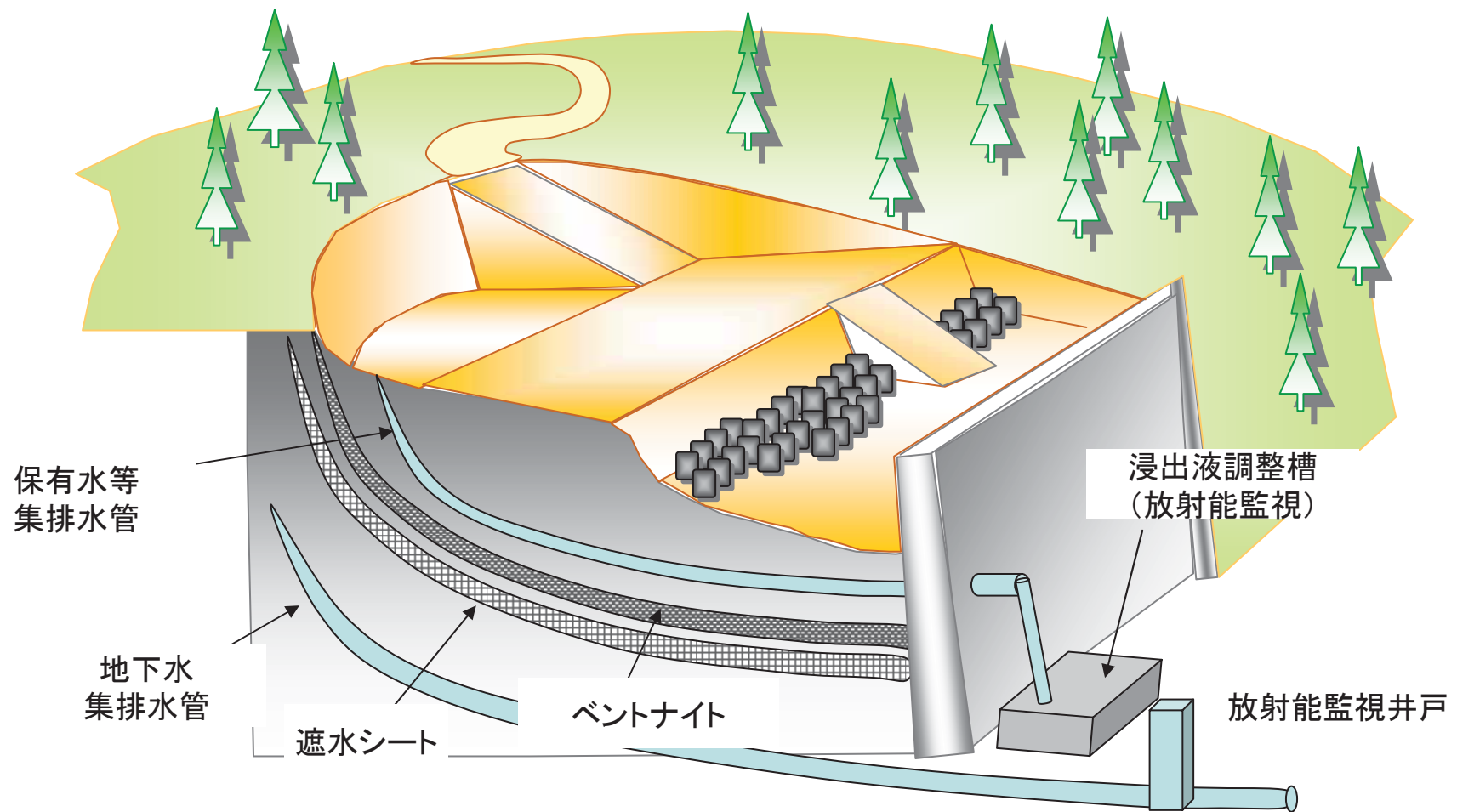
土壤等回収残渣

セシウムは、土壌中の粘土成分と結合し、動きは非常に緩慢な性質に着目



日本原子力研究開発機構での
放射性物質の埋設処分場

廃棄土壌管理処分場(全体イメージ)



- ・ベントナイト中でのセシウムの300年間の移動距離は0.1mm
⇒ 数mmのベントナイト層を設ける事でセシウムの閉じ込めが可能。
- ・排水中のCs-137濃度を連続モニターで監視
- ・排水中のCs-137濃度が基準を上回った時には、ゼオライト吸着塔などを用いて排水を処理
- ・覆土を100cmすれば、放射線量は0.0001 μ Sv/h以下

放射線ABC

セシウムは特定の臓器に蓄積しないので、シーベルトで計算した被ばく線量による体への影響は内部被ばくでも外部被ばくでも同じです。

セシウムを72000ベクレル吸入した時の内部被ばく量は、1ミリシーベルト(1000マイクロシーベルト)

伊達市の空気中の放射能は、5月以降は全く検出されていないので、呼吸から吸い込むことはありません。

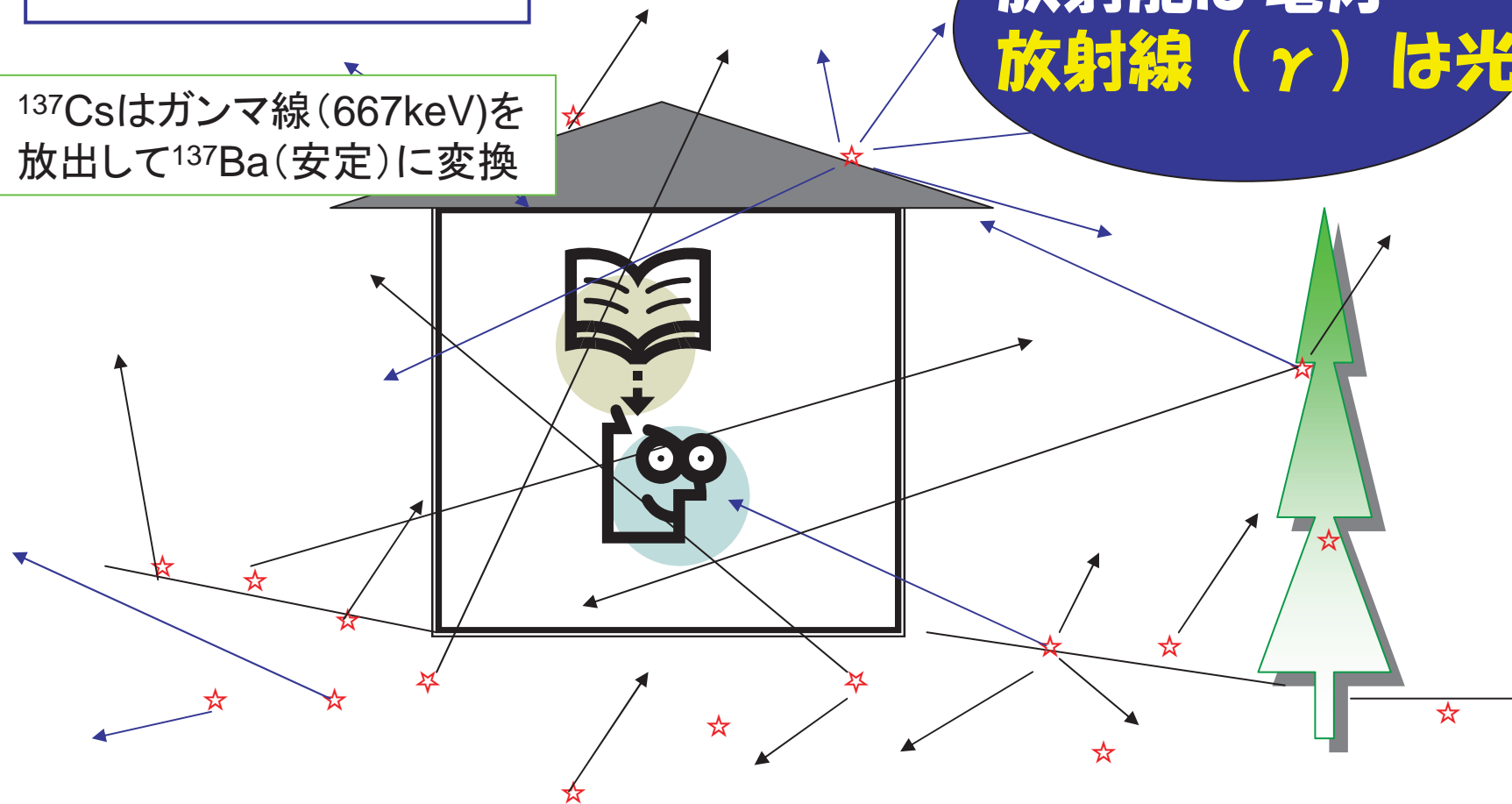
食べ物、飲み物には、少し含まれている可能性があります。

- ★ 伊達市のキロ当たり580ベクレルの梅を一年間に10kg食べた場合の被ばく量は、 $75 \mu \text{Sv}$ 。
- ★ 神奈川県のキロ当たり570ベクレルの足柄茶を一年間に1kg食べた場合の被ばく量は、 $8 \mu \text{Sv}$ 。
- ★ 飯舘村のキロ当たり247ベクレルしいたけ(ハウス)を一年間に10kg食べた場合の被ばく量は、 $34 \mu \text{Sv}$ 。
- ★ 飯舘村のキロ当たり406ベクレルのわらびを一年間に10kg食べた場合の被ばく量は、 $56 \mu \text{Sv}$ 。

放射能と放射線

^{137}Cs はガンマ線(667keV)を放出して ^{137}Ba (安定)に変換

放射能は電灯
放射線(γ)は光

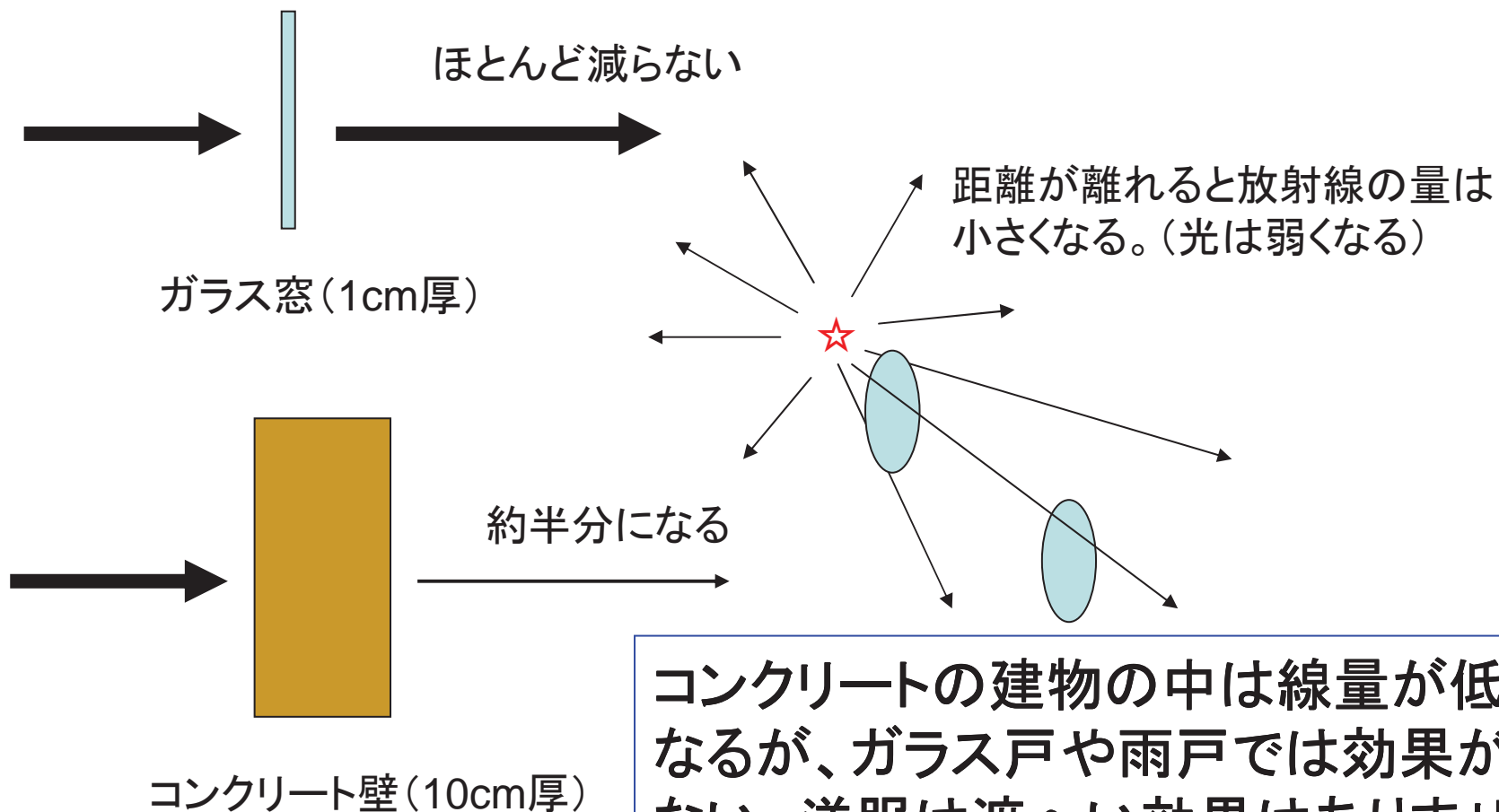


★ 放射能(ベクレルBq):放射線を放出するもの
 $\text{Cs}137$ 、1Bqは毎秒1回崩壊し、その度に1個の
ガンマ線を出す。

→
放射線(光)

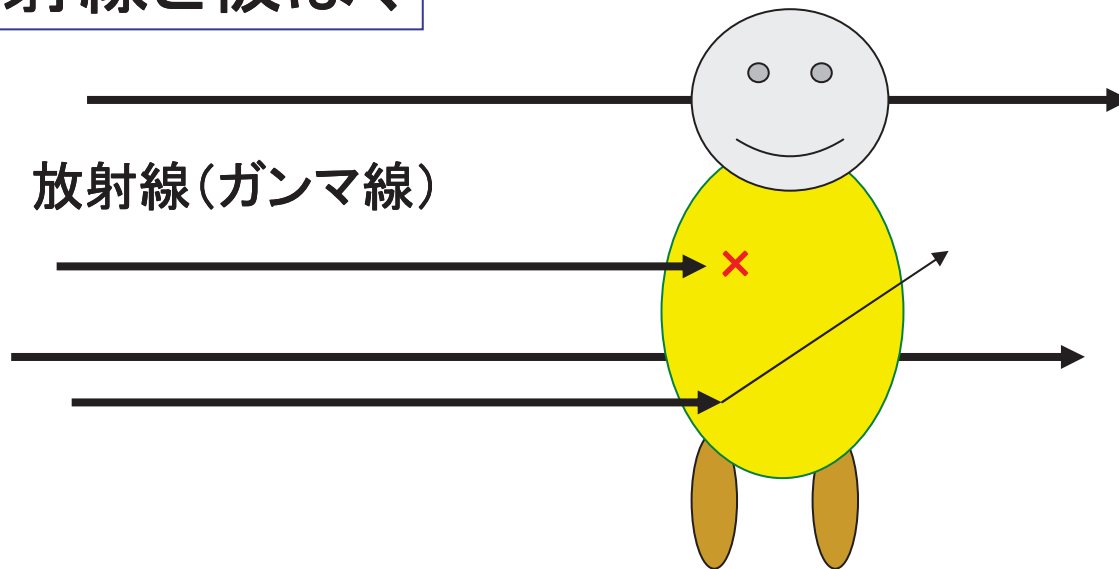
Cs-137ガンマ線の遮蔽

赤外線、紫外線、X線、ガンマ線は、すべてエネルギーの大きさが違う光の仲間です。



コンクリートの建物の中は線量が低くなるが、ガラス戸や雨戸では効果がない。洋服は遮へい効果はありません。

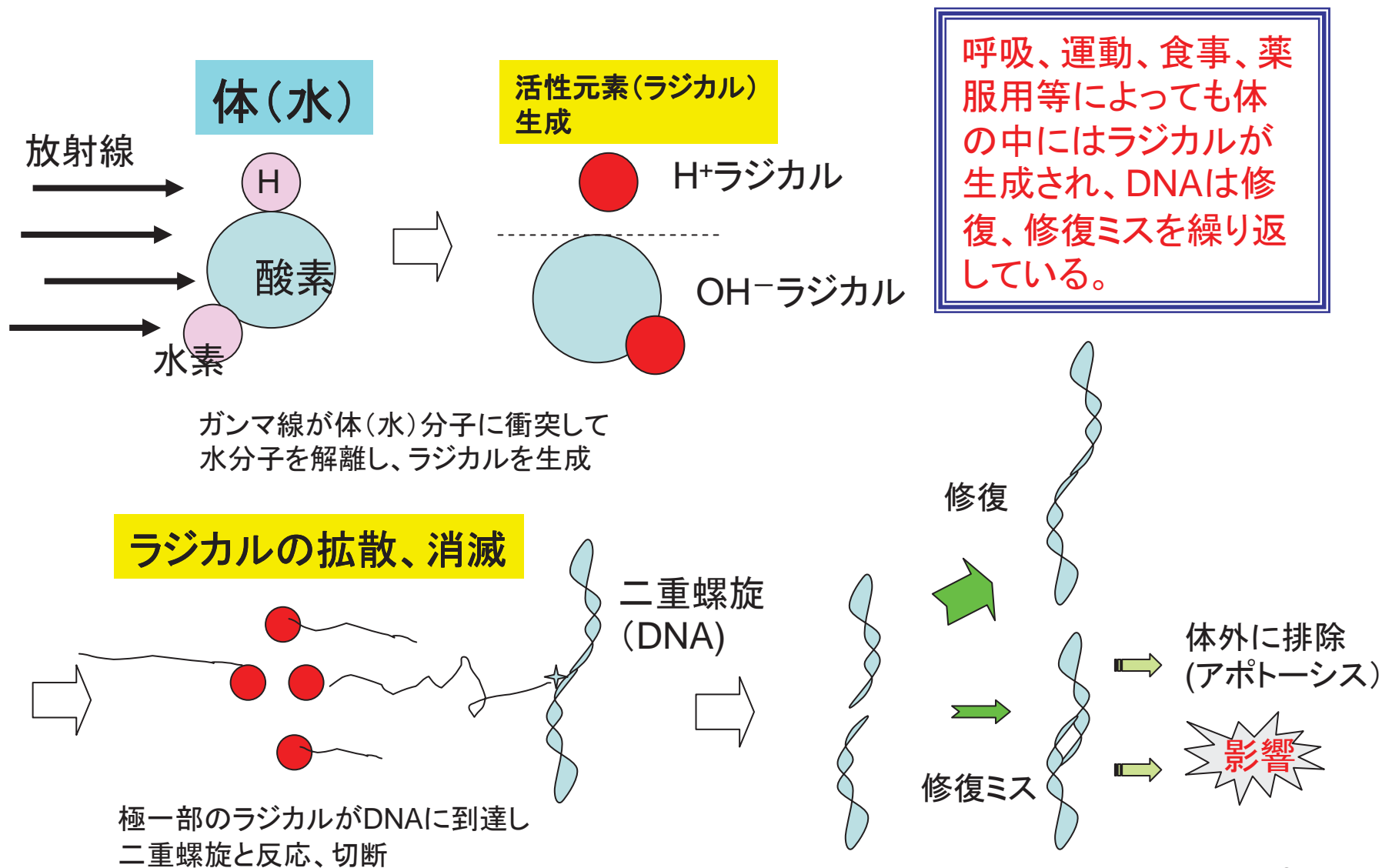
放射線と被ばく



被ばく量とは、放射線が体と衝突して、一部のエネルギーが吸収され、そのことによって人体が受けるダメージ(損傷)の量
(シーベルト: Sv)

セシウムの場合、内部被ばく量も外部被ばく量もシーベルトで量れば、人体へのダメージは同じ。

放射線によるDNAの損傷(放射線の人体への影響)



誰の云うことを信じるか？
国際機関の科学的なデータを信頼すべき。

放射線防護に関する国際機関

UNSCEAR (国連科学委員会)

ICRP (国際放射線防護委員会) 非営利組織

IAEA (国際原子力機関)

WHO (世界保健機構)

放射線の人体に対する影響の科学的知識

- 原爆投下
 広島・長崎
- 原水爆実験
 マーシャル群島(ビキニ環礁、Bravo Test) ネバダ(米国)、
 セミパラチンスク(ソ連)、英国、フランス、中国、インド、
 パキスタン
- 原爆製造中事故
 ハンフォード(米国)、南ウラル(ソ連)
- 原発事故スリーマイルズ、チェルノブイリ、JCO(東海村)
- 職業被ばくウラニウム鉱山、蛍光塗料業者、原発従事者
- 医療被ばく診断・治療
- 医療事故世界各地(IAEA、WHOに報告) 頻度が高い

広島・長崎の原爆被爆者の長期追跡調査(人)

- ・寿命調査(1950-) 120,000
- ・成人健康調査(1958-) 20,000(2年に1回受診)
- ・胎内被ばく(1950-) 3,300
- ・被爆二世(1946-) 88,000

UNSCEAR 2006 (2009) 報告書

○放射線と癌の疫学的研究による放射線の生涯の死亡リスクは
1シーベルトで**4.3－7.2%**、
100ミリシーベルトで0.36－0.77%である。

○胚及び胎児における放射線影響

子宮内被曝後の癌リスクは、小児期早期の被曝後のリスクと同様で、最大でも集団全体のリスクのおよそ3倍と仮定することが慎重である。

放射線を浴びた場合と日常生活によるがんのリスク

(国立がん研究センター調べ)

要因	対象	比較対象	がんになるリスクの 増え方(倍)
喫煙(男性)	現在の喫煙者	非喫煙者	1.6
広島・長崎での 放射線被曝	1000ミリシーベルト	被曝なし	1.5
大量飲酒(男性)	エタノール換算で 週300~449g	ときどき飲む	1.4
やせ(男性)	BMI:14.0-18.9	BMI:23.0-24.9	1.29
肥満(男性)	BMI:30.0-39.9	BMI:23.0-24.9	1.22
運動不足	1日のMETs時が 男性25.45、女性26.10	1日のMETs時が 男性42.65、女性42.65	1.15~1.19
高塩分食品	干物等で1日43g、 たらこ等で4.7g	干物等で1日0.5g、 たらこ等で0g	1.11~1.15
野菜不足	1日摂取量が110g	1日摂取量が420g	1.06
広島・長崎での 放射線被曝	100ミリシーベルト	被曝なし	1.05
非喫煙女性の 受動喫煙	夫が喫煙者	夫が非喫煙者	1.02~1.03

BMIは、体重(kg)/身長(m)²で計算

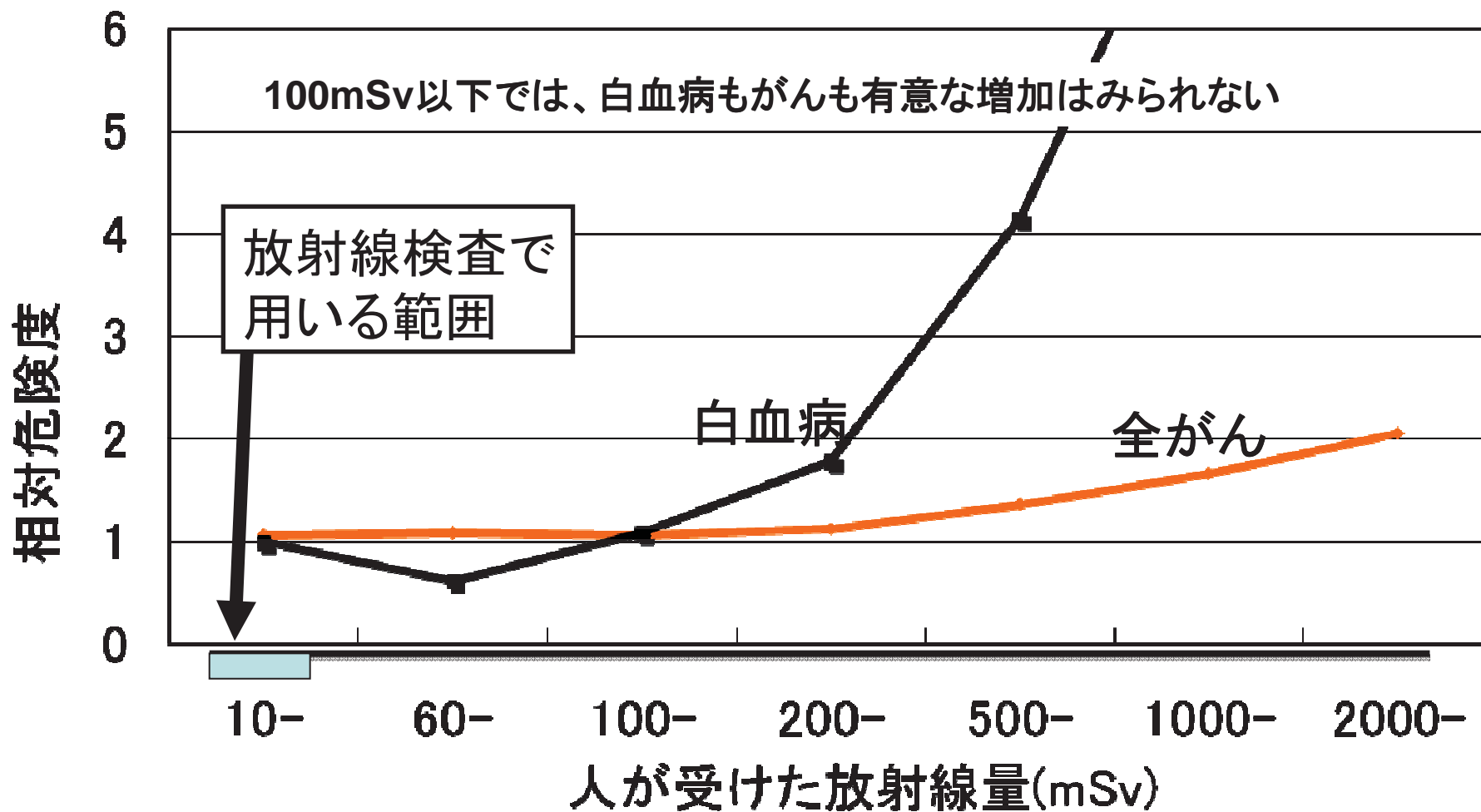
METsは運動によるエネルギー消費量が安静時の何倍にあたるかを示す単位

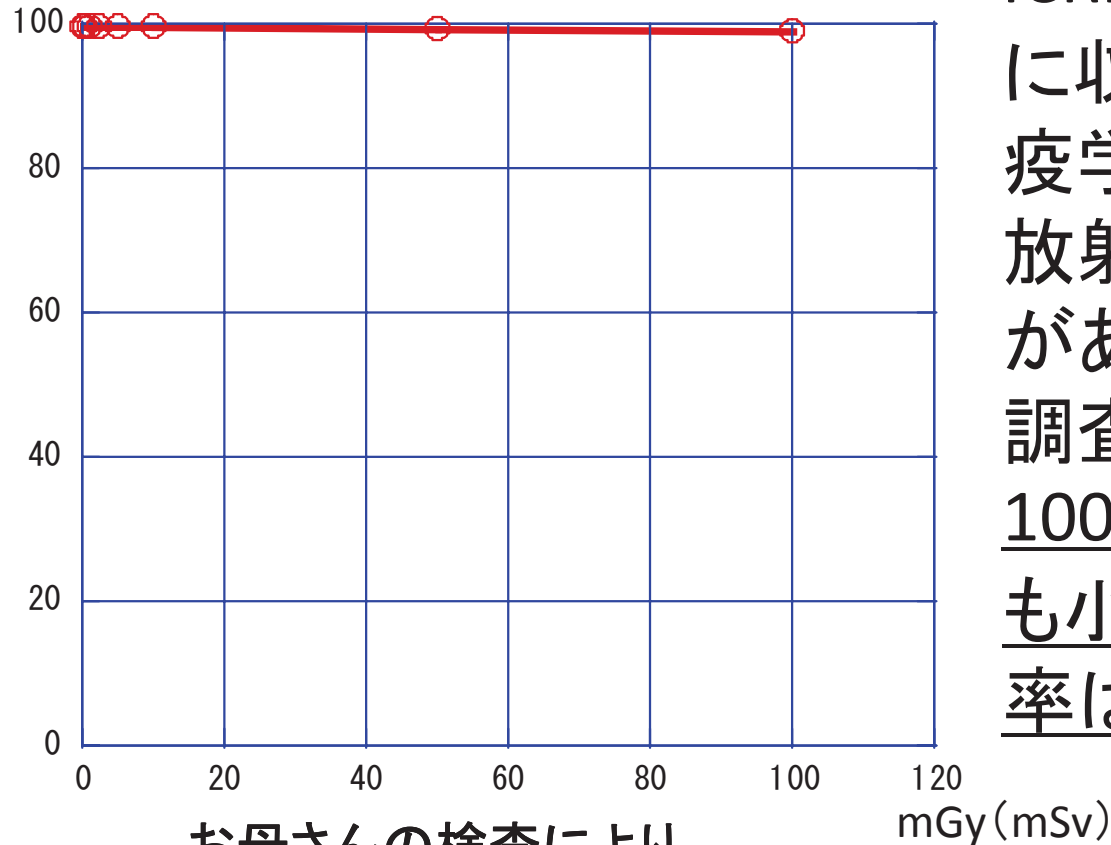
放射線は、広島・長崎の原爆被爆者の追跡調査からのデータで、

G-1面で紹介した100ミリシーベルトでがん死者が0.5%増加といった値とは概念が違い直接比較できない

大量飲酒は1週間にビールなら大瓶13~20本、ワインなら26~39杯を飲むことにあたる

(国連科学委員会1994年報告書より)





お母さんの検査により
お腹の赤ちゃんが受けた放射線量

ICRP勧告84 **妊娠と放射線**
に収載されている、複数の
疫学調査結果。
放射線を大量に使う必要
があった、50年近く前の
調査結果も含まれている。
100mSvの放射線を受けて
も小児がんにならない確
率は99%以上。

放射線の健康影響

JCO臨界事故による住民に対する
最大の影響は心的ストレス