

ベクレル → グレイ → シーベルト



Nov. 2013

Date city, Fukushima



# 内部被ばくの線量換算係数

どうやって求めているのですか？

かなり難しい  
お話です

# 1BqのCs-137が 手に付いた場合の線量は？

髪の毛から放射性Csが検出された...  
砂に放射性Csが入っている...

そもそも線量をどうやって推計しているのかを説明する試みです

## eVからの線量推計

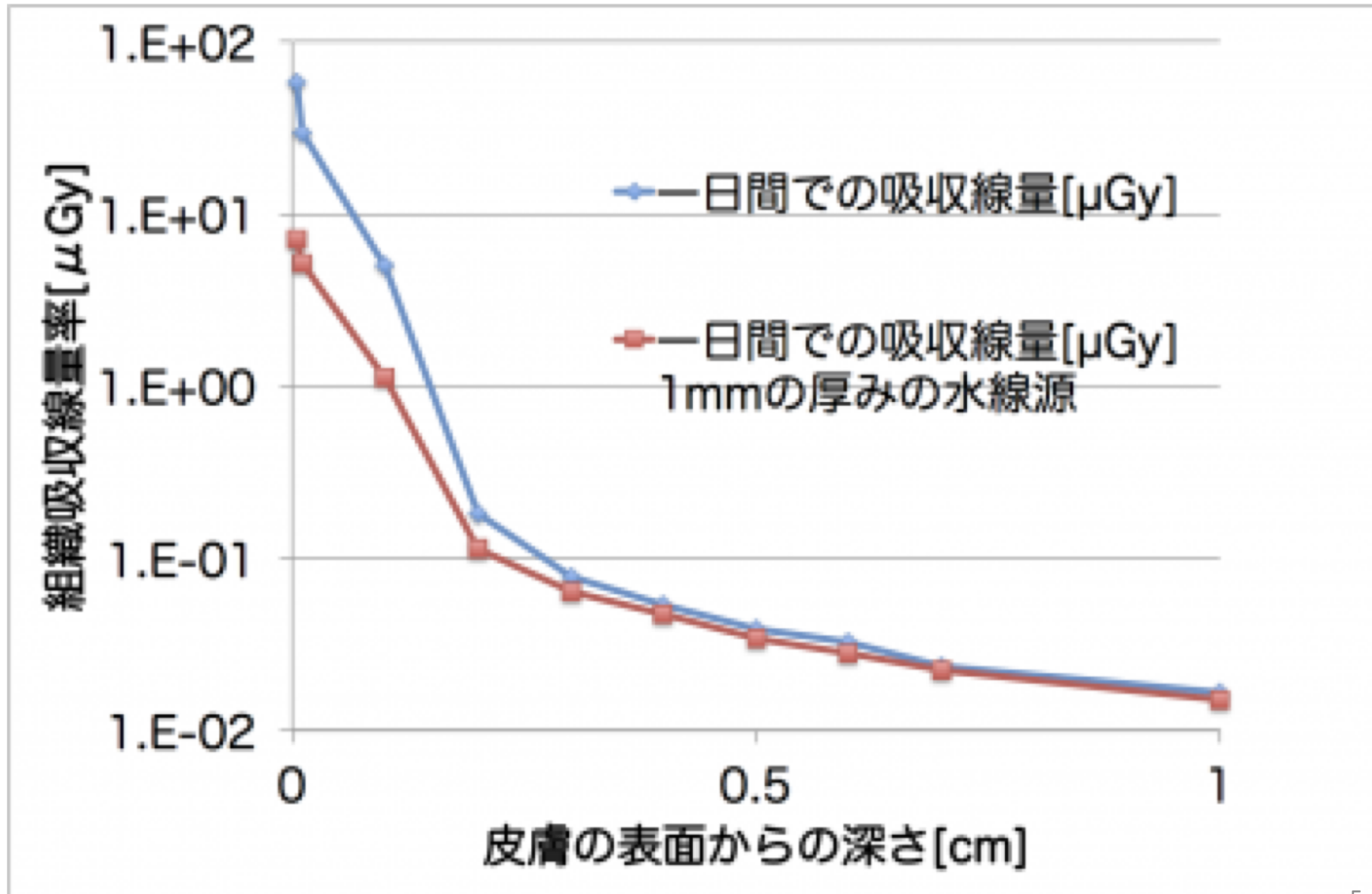
手に付いたCs-137からの  
ベータ線による線量

電子ボルトは  
エネルギー  
の単位

[http://ndrecovery.niph.go.jp/trustrad/skin\\_dose.html](http://ndrecovery.niph.go.jp/trustrad/skin_dose.html)



# 皮膚表面1Bq/cm<sup>2</sup>( $\gamma$ 線も考慮)



# ICRUのReport 56のデータ

- アイソトープ手帳に掲載
- Cs-137の表面汚染 ( $1\text{Bq}/\text{cm}^2$ ) に対する皮膚から  $70\mu\text{m}$  の深さでの組織吸収線量率
  - Cs-137の $\beta$ 線に由来したもので  $1.4\mu\text{Gy}/\text{h}$
- $0.4\text{mm}$  の深さでの吸収線量率
  - $385\text{nGy}/\text{h}$
- $3\text{mm}$  の深さでの吸収線量率
  - $0.7\text{nGy}/\text{h}$

これを検証してみよう

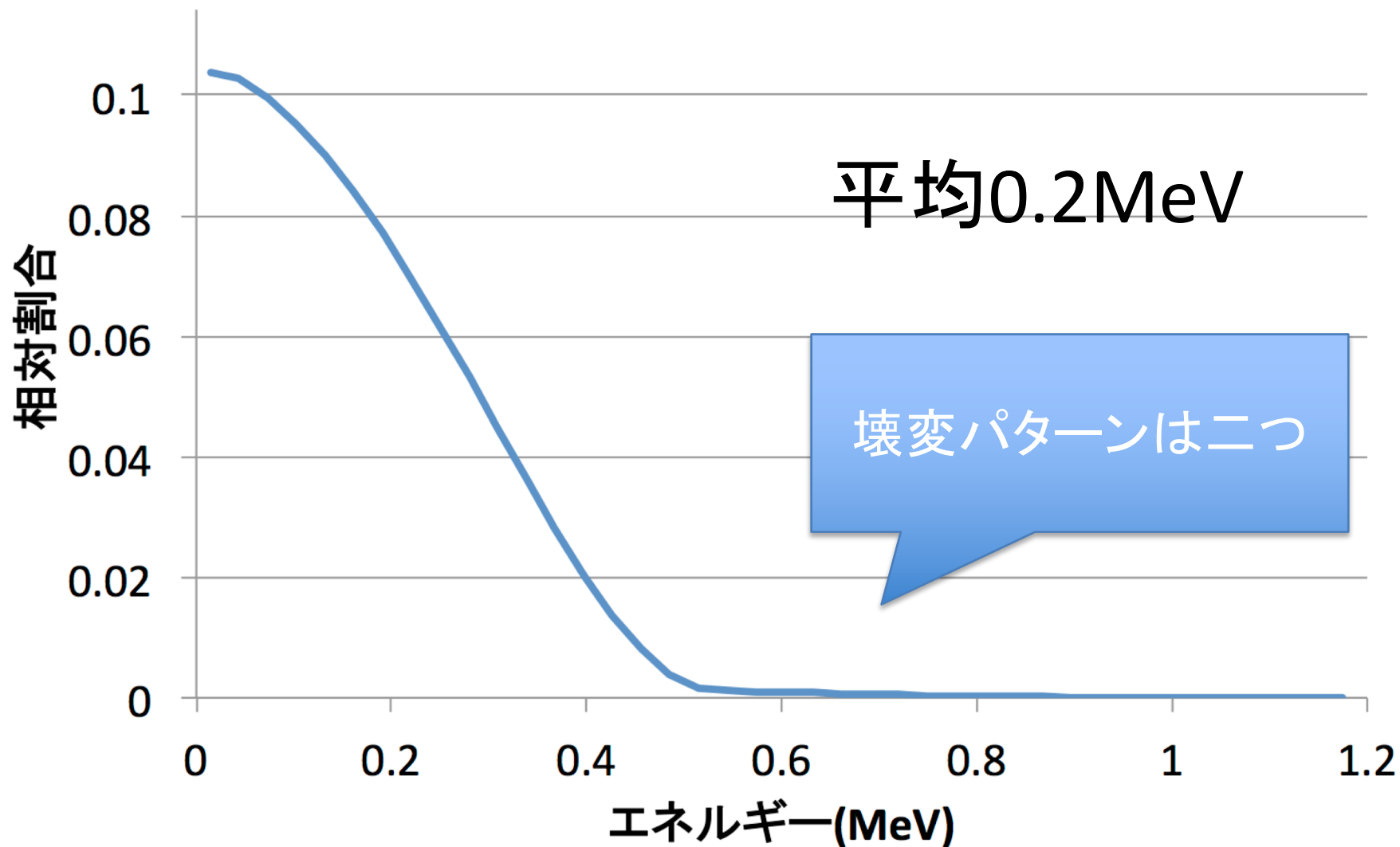
# 計算してみよう

難易度高し...

(理科が得意な中高校生ならOKそう)



# Cs-137のベータ線のエネルギー



β線の平均  
エネルギー

# 皮膚に付いたCs-137

- 1Bq/cm<sup>2</sup>のCs-137(汚染面積1cm<sup>2</sup>)
- 1時間の壊変数:[ ]/cm<sup>2</sup>/h
- 皮膚が受けるβ線のエネルギー:
- $[0.2 \times \quad \div 2] \text{MeV} = [ \quad ]$   
MeV = [ ] GeV/h

皮膚に  
入射する分

✓ 1eV =  $1.6 \times 10^{-19} \text{J}$  (1GeV =  $1.6 \times 10^{-10} \text{J}$ )なので

✓ [  $\times 10^{-} \text{J/h}$

eVからJの換算係数

- 深さ0.5mmまででエネルギーを失うとすると
- [  $\times 10^{-} \text{J}/0.05\text{g/h} \equiv \quad \times 10^{-} \text{[J/kg/h]} = \quad \mu\text{Gy/h}$

面積1cm<sup>2</sup>で厚さ0.5mmの皮膚の重さ

β線の平均  
エネルギー

# 皮膚に付いたCs-137

- 1Bq/cm<sup>2</sup>のCs-137 (汚染面積1cm<sup>2</sup>)
- 1時間の壊変数: [3,600]/cm<sup>2</sup>/h
- 皮膚が受けるβ線のエネルギー:
- $[0.2 \times 3,600 \div 2] \text{MeV} = [360] \text{MeV} = [0.36] \text{GeV/h}$ 
  - ✓ 1eV=1.6 × 10<sup>-19</sup>J (1GeV=1.6 × 10<sup>-10</sup>J)なので
  - ✓ [0.58 × 10<sup>-10</sup>]J/h
- 深さ0.5mmまででエネルギーを失つとすると
- $[0.58 \times 10^{-10}] \text{J} / 0.05 \text{g/h} = 0.11 \times 10^{-5} [\text{J/kg/h}] = 1.1 \mu\text{Gy/h}$

皮膚に  
入射する分

eVからJの換算係数

表面積1cm<sup>2</sup>で厚さ0.5mmの皮膚の重さ



# 類題

K-40による内部被ばく

# グレイからシーベルト

GyからSv

BqからGyの先

# 線量の単位

- 吸収線量: グレイ (Gy) = J/kg
- 等価線量: シーベルト (Sv)
  - 組織の平均吸収線量 × 放射線加重係数
- 実効線量: シーベルト (Sv)
  - $\Sigma$ 等価線量 × 組織加重係数
- 線量当量: シーベルト (Sv)
  - 実効線量 (や等価線量) を模擬するもの
    - 色々ある... (周辺線量当量、個人線量当量)

$\alpha$ 線や中性子は  
1ではない

臓器による放射  
線感受性の違い  
を考慮



# 皮膚に付いたCs-137による 実効線量は？

皮膚に1BqのCs-137が付着  
1cm<sup>2</sup>の範囲で1.4μGy/h程度

これを計算で  
確認しました

# 皮膚の平均吸収線量？

- 皮膚の表面積を $15,000\text{cm}^2$ とすると
- $1.4/15,000\mu\text{Gy}/\text{h}\doteq 0.1\text{nGy}/\text{h}$
- $2.4\text{nGy}/\text{d}$
- $1\mu\text{Gy}/\text{y}$ 程度

# 皮膚についてのCs-137の β線による実効線量

- 皮膚の平均吸収線量: 2.4nGy/d
- 皮膚の等価線量: 2.4nSv/d
  - β線の放射線加重係数は1なので
- 実効線量は24pSv/d
  - 皮膚の組織加重係数は0.01なので
  - 10nSv/y程度
    - ガンマ線も考慮すると23nSv/y程度
    - 経口摂取時の実効線量換算係数は13nSv/Bq(成人)



# ベータ線とガンマ線

- ベータ線
  - スピードが速い電子
  - 放射性セシウムから出る
- ガンマ線
  - 波長が短い電磁波（紫外線よりも短波長）
  - 放射性セシウムから出る
  - 体の中でスピードの速い電子を作る
    - ベータ線と見分けはつかない...

# 放射線の種類による違い

$\alpha$ 線は同じ吸収線量[Gy]でも  
20倍影響が大きい

ベータ線とガンマ線？

細いビームを使った実験が進行中

# これまでの説明法

- K-40がある
- 事故前から放射線を受けてきた
- 変動範囲内
- 他にもリスクがある

行政の説明への反発  
追加で受ける線量が  
我慢出来ない！

# リスクメッセージを伝える役割の人々が有する問題

- 4つの義務を果たす意思がない
- 4つの義務を果たすための技術的問題がある
- 情報を得る側の(リスク)認知に配慮しない
- 情報を得る側のニーズに配慮しない
- リスクに関する理解と説得されやすさの関係を理解していない
- 情報量を制限する
- すばやく対応しない

堀口逸子先生の  
講義資料から

# 気持ちのすれ違いをどうする？

放射線のことを語るのが難しい状況

現場で何が問題か？  
—不信の連鎖を断ち切り  
対話に向かうためには  
どうすればよいのか—



ご質問やコメントをお願いします

[ndrecovery.niph.go.jp](http://ndrecovery.niph.go.jp)

いただいたご質問

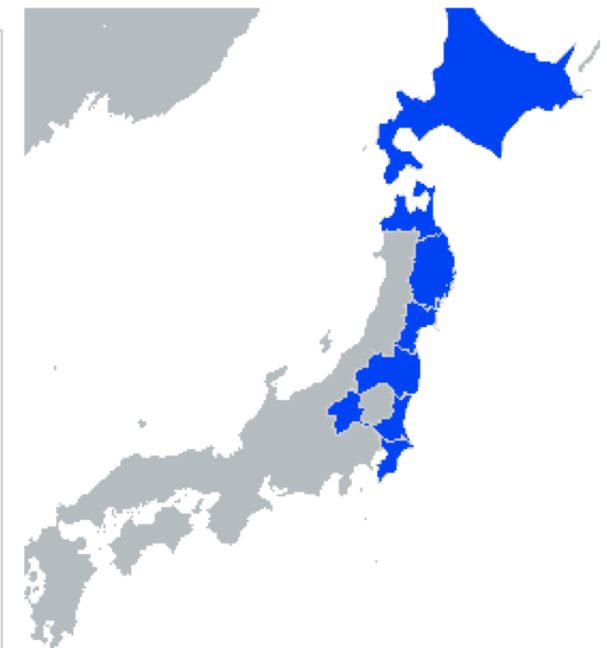
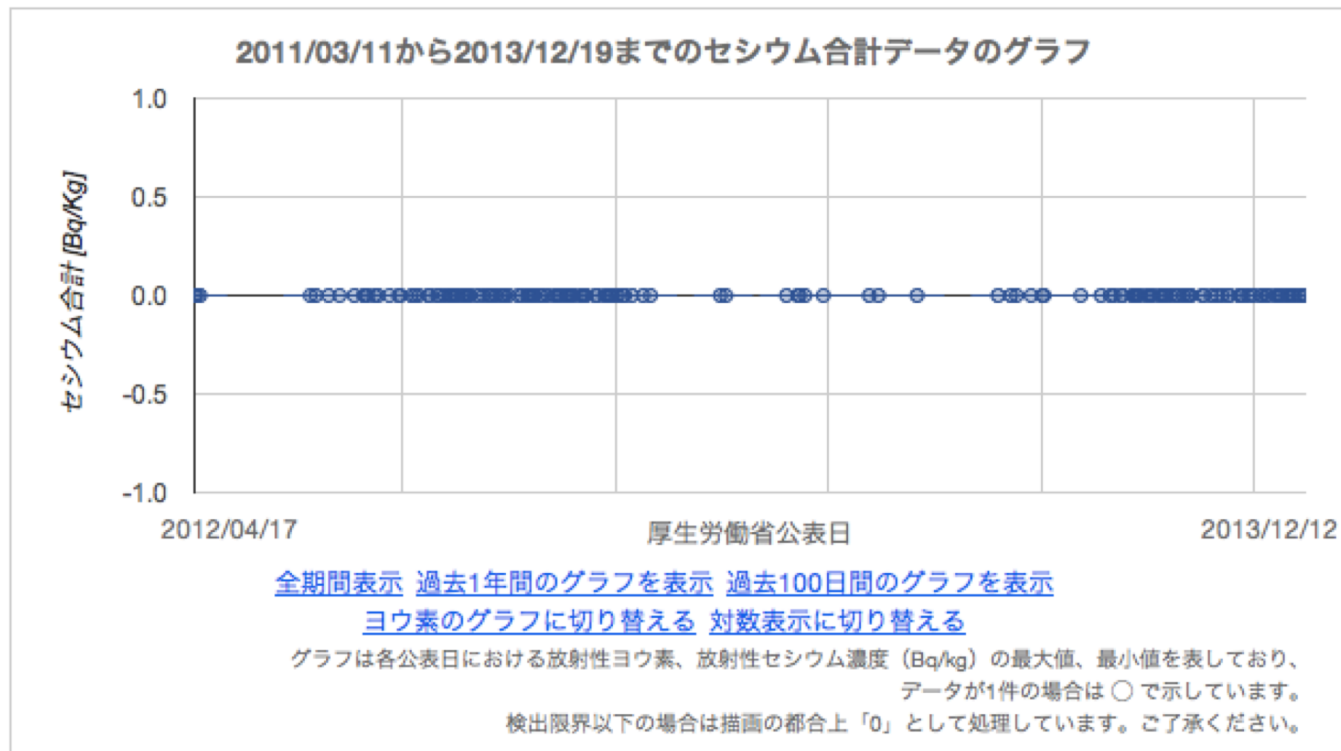
# ころんだ時に 直ぐ手を洗った方がよいの？

- 土のCs-137濃度を約5[Bq/g]と仮定した場合
- この土が1[g]胸に付着したとすると
  - $\gamma$ 線による実効線量率は成人で1.6pSv/h/Bq程度
    - 小児ではこの4倍と仮定すると6.4pSv/h/Bq程度
  - $\beta$ 線による平均吸収率は体重を20kgと仮定すると約20[pGy/h/Bq]
- 従って1時間放置するよりも、すぐに洗った方が30pSv程度線量を低減できそう
- <https://ndrecovery.niph.go.jp/trustrad/iwaki.html>

# サンマを食べても大丈夫？

濃度は低いです

- <http://www.radioactivity-db.info/product.aspx?product=サンマ>



# 牡蠣を食べても大丈夫？

濃度は低いです

## 食品中の放射性物質検査データ

ホーム

産地から探す

品目から探す

詳細検索

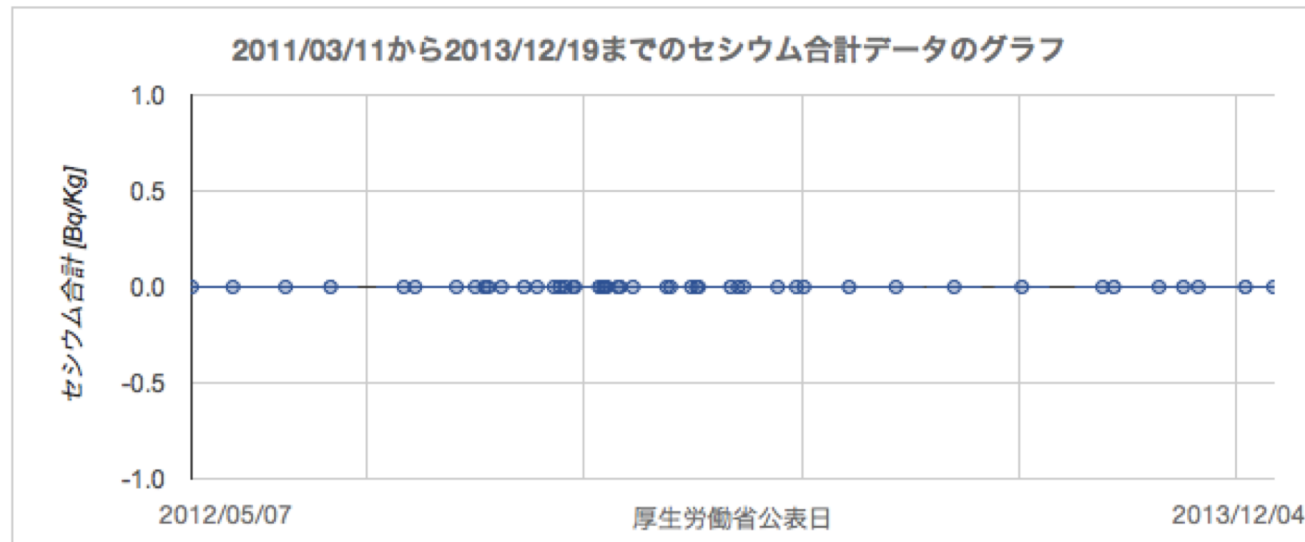
出荷制限情報

[HOME](#) > [品目から探す](#) > [水産物](#) > 牡蠣

## 牡蠣の検査結果データ

牡蠣(水産物)の放射性物質検査データは**76**件あります。このうち基準値（暫定規制値）を超える放射性物質が検出されたものは**0**件です。（※）検査された産地は宮城県(22),北海道(20),兵庫県(10),広島県(6),三重県(5),静岡県(4),岡山県(4),山口県(1),岩手県(1),京都府(1),福島県(1),新潟県(1)です。1週間以内に採取された牡蠣の検査データは**0**件です。

※) 本サイトにおいては、平成24年4月より適用されている現行基準値の経過措置は考慮しておらず、平成24年4月以降の検査結果は現行基準値、それ以前の検査結果は暫定規制値を用いて判定しています。

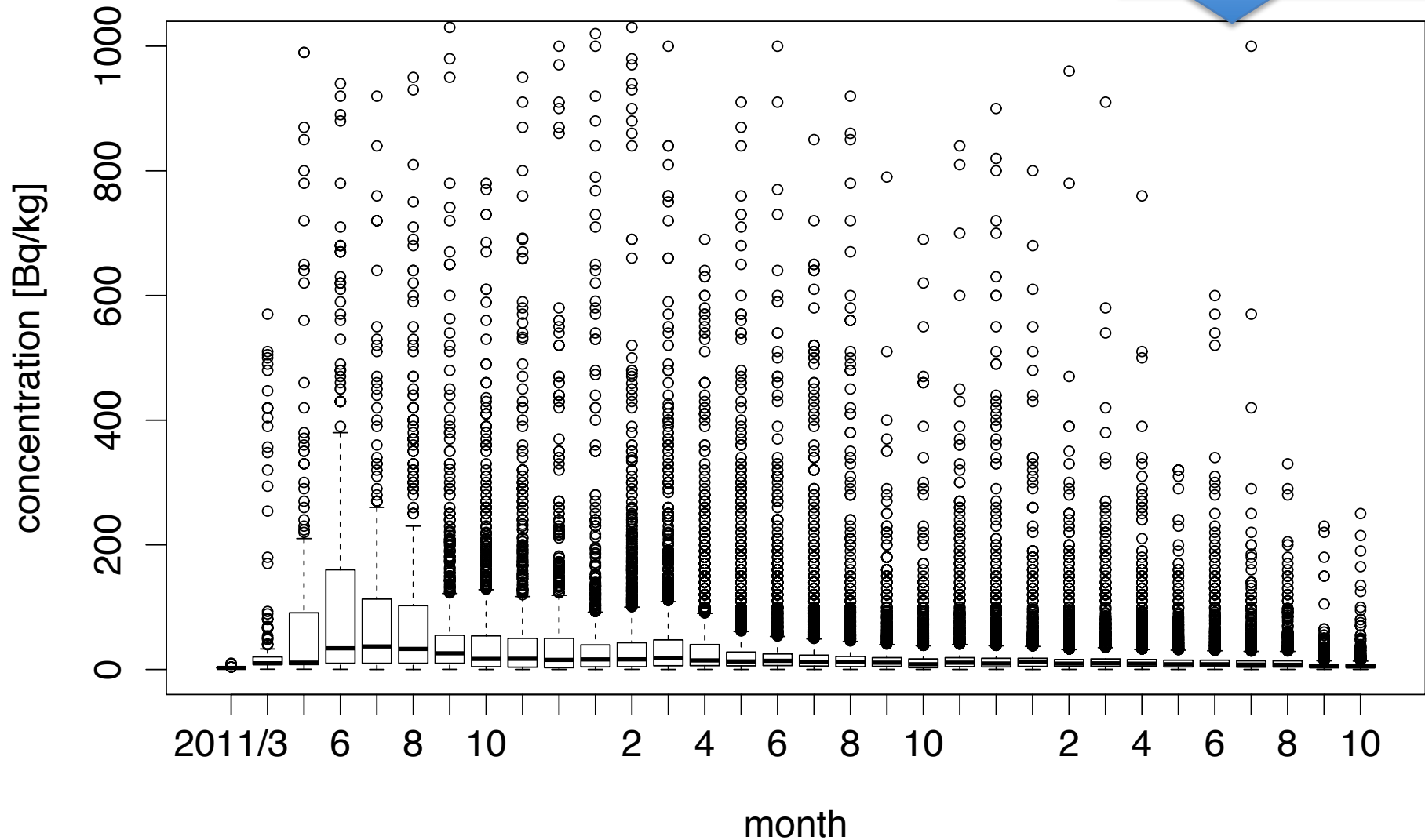


- <https://www.radioactivity-db.niph.go.jp/product.aspx?product=牡蠣&category=水産物>

# 太平洋産の魚を避けるべき？

## 魚介類、福島

福島産でも中央値は  
低いです  
漁業者の努力を学ば  
れる機会があるとよ  
いのでは



# 福島の牛乳を飲んでも大丈夫？

濃度は低いです

検索条件を選択して、「検索」ボタンをクリックします。検査結果データの一覧とグラフが表示されます。  
※産地または品目の少なくとも一方を必ず選択してください。

産地

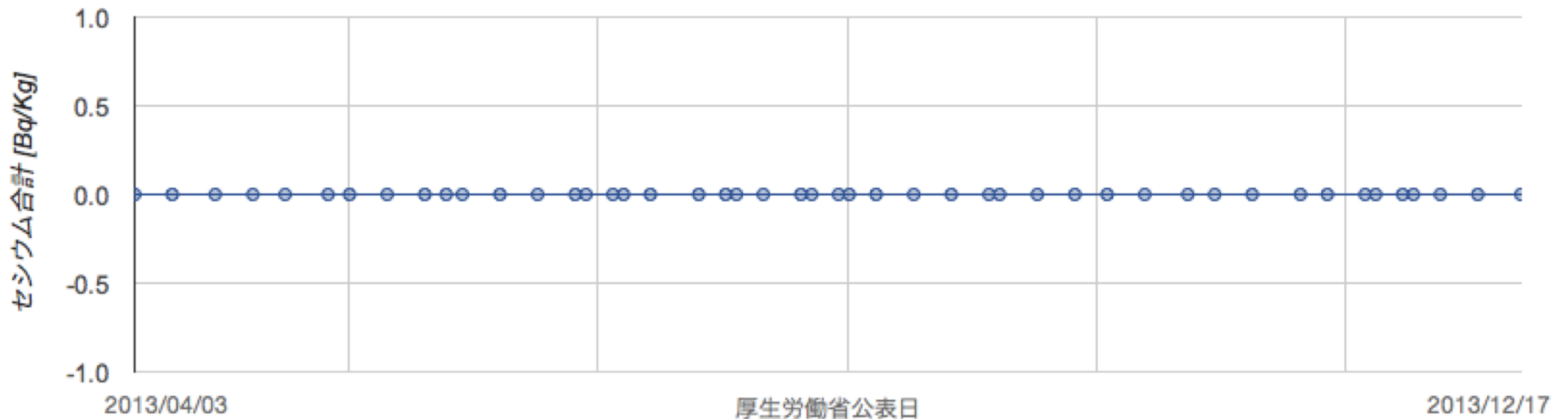
品目

採取日  ~  公開日  ~

表示順  厚生労働省公表順  採取日

319件の検査データが見つかりました。

2013/04/01から2013/12/19までのセシウム合計データのグラフ





# 溶接作業労働者の放射線安全は？

- 溶接棒タングステンにはトリウムが含まれています
- 業界
  - [http://www.jtmia.com/Others/J\\_others\\_W6.html](http://www.jtmia.com/Others/J_others_W6.html)
- NORMデータベースにはタングステン鉱のみ
  - <http://www.nirs.go.jp/db/anzendb/NORMDB/index.php>
- 専門の学会による解説例
  - <http://radi-info.com/q-1523/>

# 〇〇しても大丈夫？

- どうしても〇〇したくても、それで10mSv/yを超えるような場合
  - そうされることをお勧めできません
    - ご相談ください
- (余裕があれば) 比べて考えることができます
  - 比較？
    - そうしないことで減らせる線量の大きさ
    - そうすることで得られる何か
  - 線量のスケール感？
    - 自分で比較するしかない
    - 調べてなっとくノート(県の保育士研修では参加者から好評)
    - [http://josen-plaza.env.go.jp/materials\\_links/](http://josen-plaza.env.go.jp/materials_links/)

# 心配した方がよいの？

- 皆さんの一生懸命さはお子さんに伝わっているのでは
  - 無理に頑張らなくても、線量は一定程度に制御されています
    - 辛ければ、放射線対策を無理に考えられなくてもよいのでは
- がんばってできそうであり、そうしないとられないような気持ちであれば、その放射線防護対策を実施なさってよいのでは
- お互いの考え方を尊重しつつ、正直に気持ちをお話できるとよいと思います
  - あまりに辛い場合には専門職が対応できます
- 具体的な疑問は、サイトの記事が考えることに役立つかもしれませぬ
  - <https://ndrecovery.niph.go.jp>
  - 解決しない疑問はお気軽にお寄せ下さい

# 線量推計

学ばれたい場合には地域で  
科学の話をわかりやすく伝えられる  
方を活用するとよさそう

# 木製遊具に触れることによる線量

- がんばり山の木製ベンチ
- 1kcpm ( $\approx 20$ cps) を超える計数率
- Cs-137のみと仮定し、 $\beta$ 線の計数効率を1とみなすと40Bq/20cm<sup>2</sup>
- 20kBq/m<sup>2</sup>
- 接触部の皮膚が受ける線量3 $\mu$ Gy/h
  - ICRU report 56: 1.43( $\mu$ Gy/h)/(Bq/cm<sup>2</sup>)
- 体が受ける線量0.06 $\mu$ Sv/h

# 廊下の竹の入れ替え

- GM計数管では計数率の増加がはっきりとしなかった(100 cpm程度)
  - 20 cpm程度の増加はないと考えられそう
- Cs-137が20 cpmあったとして0.33 cpsの増加
  - $\beta$ 線の計数効率を1とみなすと0.7Bq/20 cm<sup>2</sup>
  - 0.4 kBq/m<sup>2</sup>
- 寝っ転がった場合の線量は最大で1.4 nSv/h

# 甲状腺がんが増えているの？

- 増加は確認できていません
  - がんと診断された方の特性が原発事故由来では説明が付きづらい
- 確認するには
  - 対照群でも大規模調査
    - 調査のデメリットをどう考えるか
      - 研究に貢献したい方を多数確保できれば実施できそう...

# 今後がんが増えるの？

- 受けた線量からは増加を検出するのは困難と考えられています
  - 線量が大きくないと考えられるので
  - X線CTを受けた方の大規模調査ではリスクが見出されています
    - プール研究をすればリスクを検出できるかもしれません
  - 原発事故をもたらしたインパクトは大きい
    - 放射線の直接的な影響以外では観察されています



# 福島にいと骨のがんになると 言われました

- リスクは小さいと考えられます
- 放射性ストロンチウムの摂取量が多いと骨髄の線量が大きくなると考えられます
- 放射性ストロンチウムの摂取量はほとんど増えていないと考えられます
  - 魚でもSr-89が検出されていない
- プルトニウムも環境放出されています
  - しかし環境での存在量の増加は確認できていません
  - 同位体比の変化から環境放出が確認されたのみ

# 原発事故前から放射性セシウムがあったと聞きました

- 青森県の野生キノコが出荷停止
- Cs-134の濃度が低いので原発由来ではないと考えられます

No	実施主体	産地		採取区分	食品分類	品目	検査機関	採取日 (購入日)	結果 判明日	厚生労働 省 公表日	結果(Bq/kg)				詳細
		都道府 県	市町村								ヨウ 素-131	セシウ ム-134	セシウ ム-137	セシウム合 計	
1210120003	青森県	青森県	十和田 市	非流通 品	農産物	チチタ ケ	(社) 青森県薬剤師会衛生検査セン ター	H24.10.5	H24.10.12	H24.10.12	-	<10	120	120	<a href="#">詳細</a>
1210090040	青森県	青森県	十和田 市	非流通 品	農産物	チチタ ケ	(社) 青森県薬剤師会衛生検査セン ター	H24.10.1	H24.10.5	H24.10.9	-	<10	77	77	<a href="#">詳細</a>

# 詳しく考えるための資料

<https://ndrecovery.niph.go.jp>

国立保健医療科学院 山口一郎

# 現場で使えるQ&Aを 目指して

ウェブでも提供します

<https://ndrecovery.niph.go.jp>

どのような疑問でもお知らせ下さい

本当はどうなのかを  
お伝えします

## 質問例

相場観づくりを  
お手伝いします

- 原発から放射性物質が出ているので除染した砂場がまた汚染するのでは？
- 風が強いとモニタリングポストの値が高くなるのは、風でセシウムが舞っているからでは？
- 木製遊戯には放射性物質がこびり付いているので撤去しないと危ないのでは？

細かいところまで  
理解して保護者に伝える  
必要はありません

難しいところは  
専門家がとことん  
付き合います

# 質問例(続き)

- 外のプールはセシウムで汚染するので水に入ると危ないのでは？
- 裸になると放射線をたくさん受けるのでは？
- 虫や葉っぱに触ると危ないのでは？
- 福島産の食品をできるだけ避けた方がよいのでは？
- 放射線のごときは我慢するしかないから、黙っているのがよいのではないの？

# Q&Aのコンセプト

疑問に徹底的にお付き合いします  
考え方を押し付けません  
負担を減らせるように、  
考えるためのヒントを提供します  
保護者の方への対応にも  
役立つものにします



線量のレベルを  
示します

やはり安全と安心について  
自分のどこかでは  
受け入れられない部分がある  
グループ討議でも  
同様の方が多かったように思う  
数値は分かるが...

納得できる判断のためには  
「安全基準づくり」での作法が重要

根拠の明示

決定過程の透明性



# いただいたご意見の例

現在、安全だと言うことは分かった  
しかし、現状はまだ危険であるかの  
ような体制（保育所内で食品検査を  
し戸外活動を規制し、大規模な除  
染活動）で過ごしている

県の研修会なのだから県が安全で  
あることをアピールして欲しい

# リスクの大きさは限定的 (対策を講じれば線量は小さい)

でも、除染は不要ですか？

リスクがあることは受け入れざるを得ないのでは  
(何でもリスクがある...)

対策を講じることは危険性の存在を示すことになる  
ので、やらない方がよいと言う考え方でよい？

(原発事故が起きる前の原発事故対応訓練...)

信頼できる方からのポジティブ情報の提供もまだまだ必要かも  
(多様な考え方があることにも配慮しつつ...)

私は栄養士ですが地元の食品を  
使って欲しいという声、危険という声、  
何を取り入れ安全を  
どう伝えていくか難しいです  
市場を通じた食品を  
現在は使用していますが、  
献立にその日、使用する食品一つ  
を(肉も魚も)1kg分計量し  
役場が測定しています  
それって必要ですか？

測定するなら全部では？  
それかやはり地元野菜のみ？  
市場を通っていただければいいのでは？  
小学校の給食センターでも  
同じことやっていますが...

# 皆さんがなされてきた対策は 子ども達のために意義があった

今後、放射線対策をどこまでやるか  
どうすすめるかを率直に話し合える環境に  
することも大切では...

判断材料は環境経学者が提供できます

食品による  
線量は  
ほとんどが、  
10 $\mu$ Sv/yを  
超えない  
レベル

# 食品からの線量は うまく制御できている

土壌の特性や作物の種類から  
食品中の濃度は類推できる

JAの協力を  
得ては

効果的に過剰な線量を減らせるように  
優先順位を考えていくとよいのでは...

地域の果物などを子供が食べる  
場合の量を考える材料にしては...

# 対策のバランス

放射線のリスクだけが問題ではない  
優先順位も考える必要がある...  
もちろん合理性だけでは割り切れない



以下はQ&Aイメージです

除染した砂場での  
どろんこ遊びを  
制限すべきですか？

放射線防護上は制限しなくてよい  
と考えられます

# 根拠

- 再汚染による線量増加の程度は小さいと考えられます
  - 懸念があれば測っては...
- 砂場での遊びを制限することで、回避できる線量は小さいと考えられます
- どのくらい小さいかイメージつかめましたか？

# 原発から放射性物質が出ているので 除染した砂場が また汚染するのでは？

事故をおこした原発サイトからの  
放出量は0.1億Bq/hまで低下  
原発からの新たな放出よりも  
再浮遊の方が除染した砂場の再汚染に寄与  
それでも再汚染の程度は小さい

# 砂場に座ることでの 再汚染による線量

7.3nSv/時間 程度

1日1時間、週5日間で2  $\mu$ Sv/年間

年間200 Bq/m<sup>2</sup>降下したと仮定

表層1 cmに留まると仮定すると濃度は130 Bq/kg

nSv/h:毎時ナノシーベルト

ナノはミリの百万分の1

$\mu$ Sv/h:毎時マイクロシーベルト

マイクロはミリの千分の1

# 砂を食べることによる線量

- 砂の濃度を0.13 kBq/kgと仮定(再汚染による)
  - 計測すれば確認できる
- 毎日200 mg摂取(\*1)
- 年間52 g摂取(=6.8 Bq: 週5日遊ぶとして)
- 年間摂取で2  $\mu$ Sv
  - 減らせるものは減らした方がよい?
    - 線量からリスクは推計可能だがリスク認知は主観的

(\*1) 環境省, 土壌中ダイオキシンに関する検討会一次報告書, (1999)

Bq(ベクレル): 一秒間に放射性物質が何個変化するか(放射性物質は変化するときに放射線を出す)

# ポケットの砂？

- 砂場のCs-137が10 kBq/kg
- 服に砂が1 g付いた場合(10Bq)の線量は？
- $\gamma$ 線: 15 pSv/h (=  $10^{-12}$  Sv/h) (実効線量)(\*1)
- $\beta$ 線: 14  $\mu$ Gy/h (=  $10^{-6}$  Sv/h) (局所皮膚の線量)

食べてしまった場合を  
考えてもよい

実効線量(じっこうせんりょう): 体が受けた線量(放射線の種類や放射線を受けた臓器の放射線感受性を考慮している)

木製遊戯には放射性物質が  
こびり付いているので  
撤去しないと危ないのでは？

ニスを塗ると放射線の量を  
減らせますか？



# ケースバイケースで 考えるしかないのでは

付着量と滞在する場所との距離で遊具の  
汚染から受ける線量は決定される

遊具を除去することで減らせる線量の大き  
さはあらかじめ見積もることができる

# ニス塗る効果は限定的です

ガンマ線やベータ線を減らす効果は期待できない

固着している汚染は  
そもそも再浮遊しがたい

# 埃の放射性セシウム濃度

かなり高い...

# 室内の埃から100Bqの放射性Cs

- 部屋の広さを20 m<sup>2</sup>とすると、床の汚染密度は 5 Bq/m<sup>2</sup>
- 5 Bq/m<sup>2</sup>あたりの床に接触する皮膚から体内の深さ1 cmでの吸収線量
  - Cs-137: 15 pGy/h
  - Cs-134: 35 pGy/h
- Cs-134:Cs-137を3:7とすると21 pGy/h
- 外部被曝は年間で0.2 μGy/y程度

# 虫や葉っぱに触ると 危ないのでは？

食べることを考えて線量を考えられる  
といかがでしょうか？

線量としては小さいです

# 虫遊びの意義

なんで？どうして？と思ったり考えたりするから探求しようとする。

普通だったら通り過ぎてしまうが...

このような視点で  
物事を考えることが重要では...

# 教科書的な解決策

触る vs 触らない

どちらがよいか比較する

比較結果をみんなで考える

# 比較？

放射線のリスク  
虫を触ることによる健全な発達



# 放射線のリスク？

線量を考える

# どの線量が心配？

- 手掌の虫
  - 外部被ばく(ベータ線とガンマ線)
- 手に付いた汚れ
  - 内部被ばく
- その他

コオロギ一匹 8 Bq

1日間持っていた...

やさしお 10 g ?

K-40: 約百Bq

こおろぎによる  
皮膚の吸収線量は0.3 mGy

皮膚の等価線量限度は500 mGy

これをどう考えるか...

# 持つ時間を10分間に制限

6  $\mu\text{Gy}$ に

これをどう考えるか...

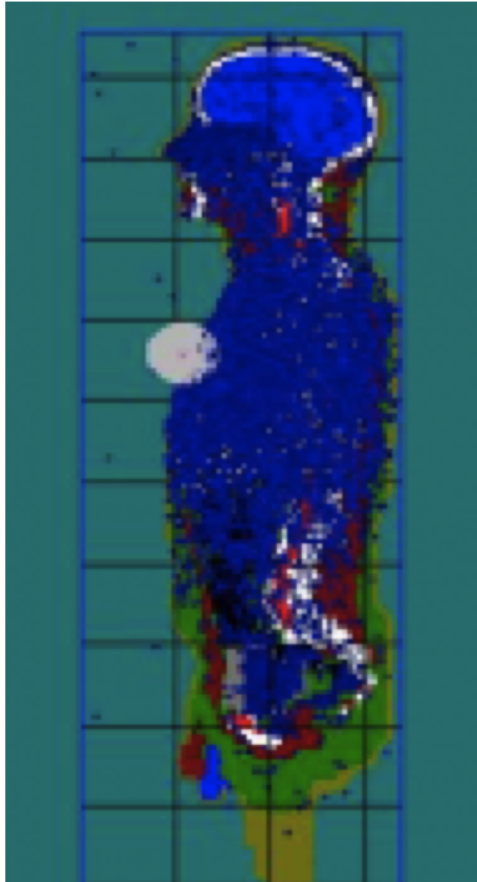
# 実効線量？

至近距離

距離の逆二乗...

一年間持っていて0.2  $\mu\text{Sv}$ 程度

# 衣服についての $^{137}\text{Cs}$ からの線量 (距離の逆二乗)?



砂場のCs-137が1 kBq/kg(\*1)  
服に砂が1 g付いた場合の線量は?  
距離が1 mmだと1 mの場合の百万倍?

- ・放出するエネルギーから計算( $\text{Gy}=\text{J}/\text{kg}$ )
- ・体に入射する放射線の密度から計算
- ・その他

$\gamma$ 線: 1.5 pSv/h ( $=10^{-12}$  Sv/h) (実効線量)(\*2)  
 $\beta$ 線: 1.4  $\mu\text{Gy}/\text{h}$  ( $=10^{-6}$  Sv/h) (局所の皮膚吸収線量)

類題

- ・葉っぱや虫を触った...

(\*1) <http://www.city.adachi.tokyo.jp/kyoiku/kurashi/sekatsu-mondai/n-h-s-shochu-02.html>

(\*2)

[https://ndrecovery.niph.go.jp/trustrad/survey\\_screening.html#head](https://ndrecovery.niph.go.jp/trustrad/survey_screening.html#head)



# 丸ごと食べてしまった...

実効線量は0.1  $\mu\text{Sv}$

これをどう考えるか...

一万匹食べて1 mSv

# 福島産の食品をできるだけ 避けた方がよいのでは？

高い濃度の食品もあるが  
効果は限定的  
気持ちの問題では...