

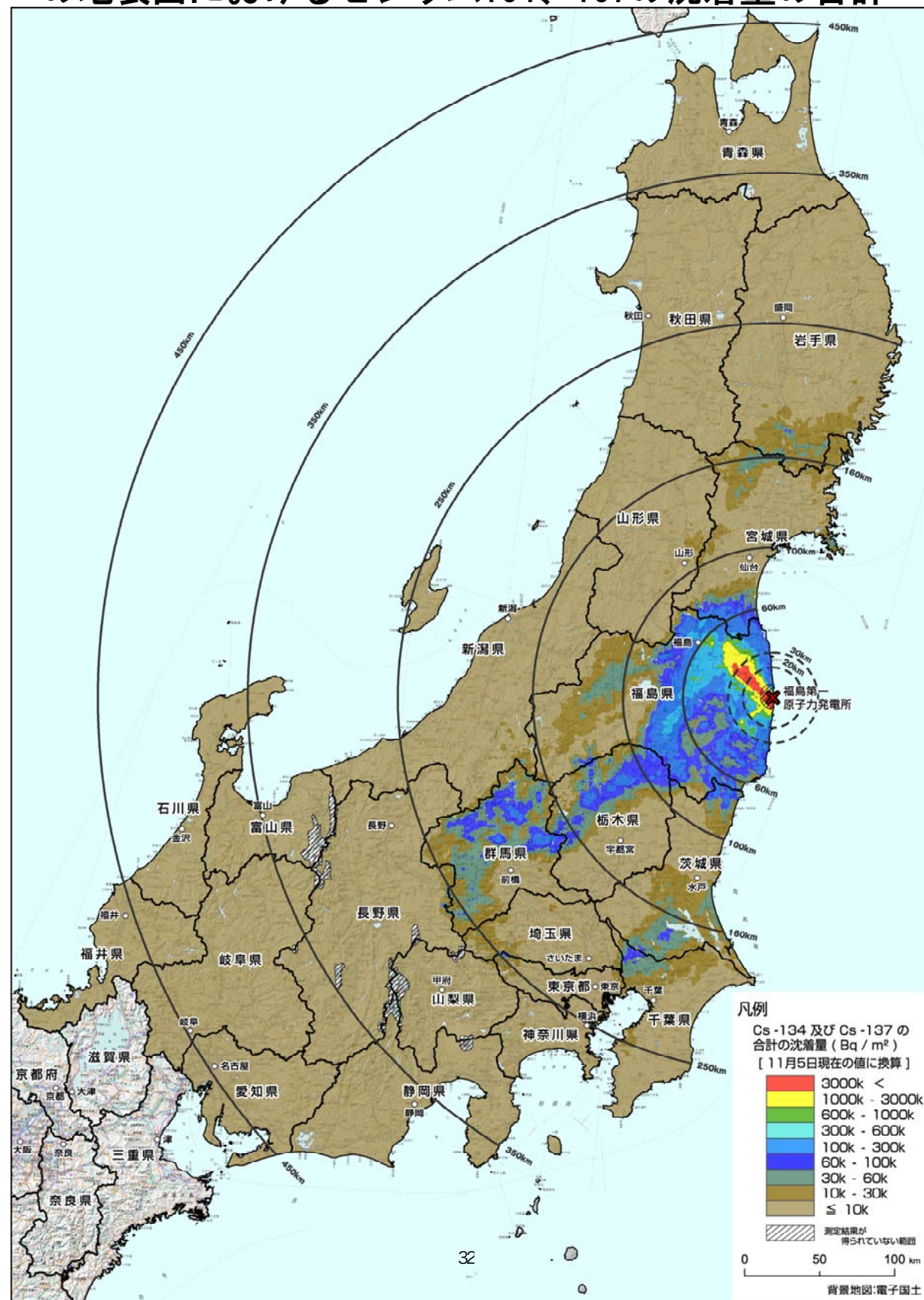
放射線測定の
何に気をつけるか
市民と行政と企業

KEK
野尻美保子

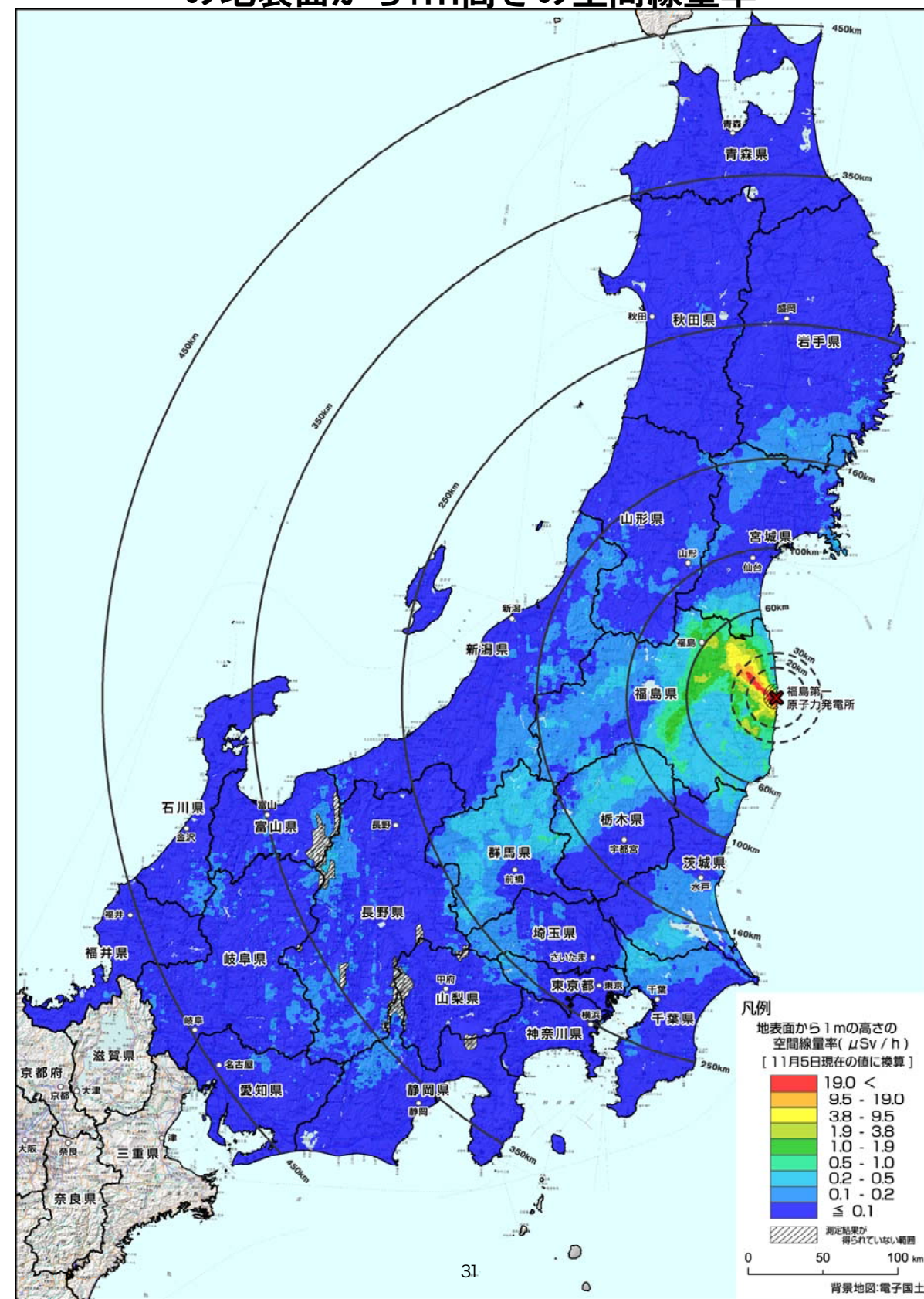
なぜここにいるか

- 震災前 科学ネタ+マンガネタ+SFネタ+猫ネタなどで楽しく Twitter で遊んでいた中年科学者（専門は素粒子理論）
- 震災後 福島原発のことを調べているうちに、一般の質問に答えることに。
- そのうちに 1) 「よくわからない線量計」 2) 「よくわからない食品測定」 3) 「よくわからない WBC」などがでてきて戦うことに

(参考2)
第4次航空機モニタリングの測定結果を反映した東日本全域
の地表面におけるセシウム134、137の沈着量の合計



(参考1)
第4次航空機モニタリングの測定結果を反映した東日本全域
の地表面から1m高さの空間線量率



※本マップには天然核種による空間線量率が含まれています。

様々な単位

- ベクレル (Bq) 一秒間に崩壊する数 (あるいはそれに対応する放射性物質の量を意味する単位として使われる)
- グレイ (Gy) グレイ は吸収した放射線のエネルギーの総量 (吸収線量) を表すSI単位である。1 グレイ = 100 ラド
- シーベルト (Sv) 人体が吸収する放射線の影響を計る単位。大人と子供、あるいは吸収する臓器などで、違った係数になる。極めて人間的な量。

被曝のリスク

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

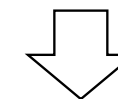
原爆被爆者の疫学調査結果から求められた確率係数。

全年齢1万人が1Sv
被曝した時に致死の
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

年齢とリスク

茨城大学有志の会作成資料

(参考資料1) 年齢による放射線の影響の違い

100mSvの外部被ばく後の、癌による生涯死亡確率の増加分予想
(ICRP Publication60 より)

被ばく時年齢	過剰死亡確率(男性)	過剰死亡確率(女性)
5	0.01276	0.01532
15	0.01144	0.01566
25	0.00921	0.01178
35	0.00566	0.00557
45	0.00600	0.00541
55	0.00616	0.00505
65	0.00481	0.00386
75	0.00258	0.00227
85	0.00110	0.00090

約3倍

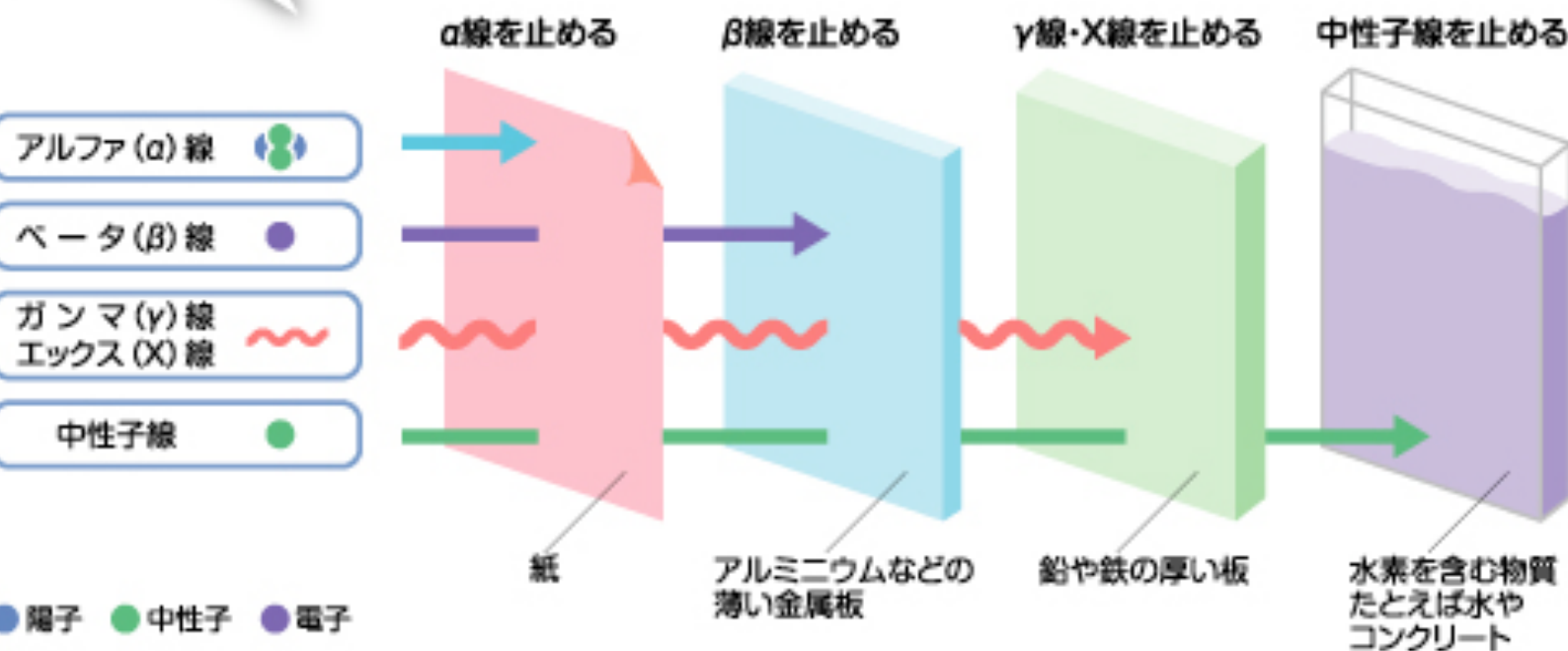
15歳以下のガン死亡率増加は35歳以上の3倍程度。
同じ被爆でも子供は大人よりも放射線の影響が出やすい。

放射線の種類

今はほとんどセシウム

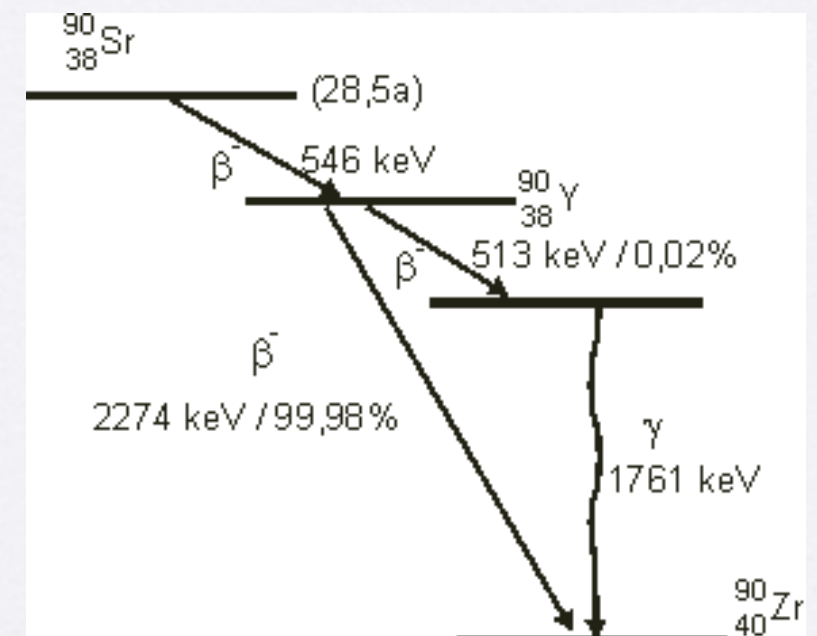
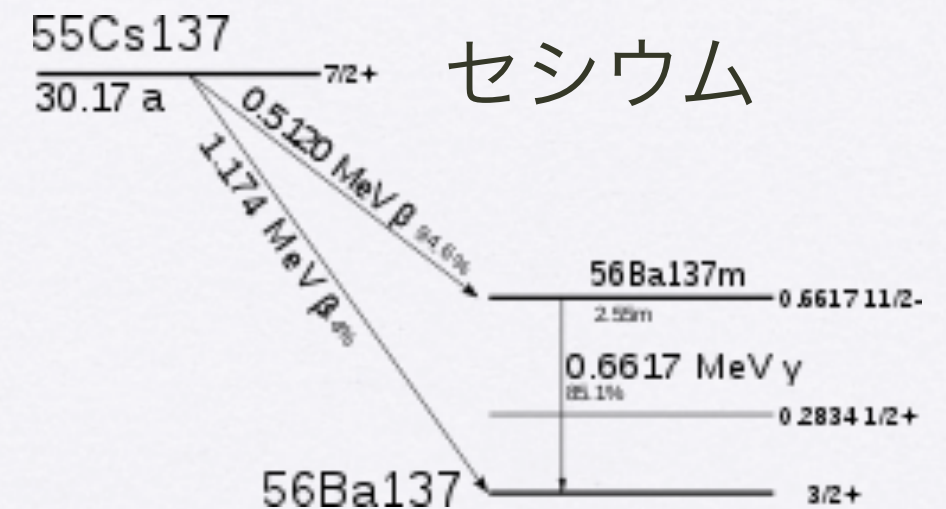
放射線の種類と透過力

放射線は、いろいろな物質で
さえぎることができる。



空気中でβ線は O(1m)

γ線は O(100m)



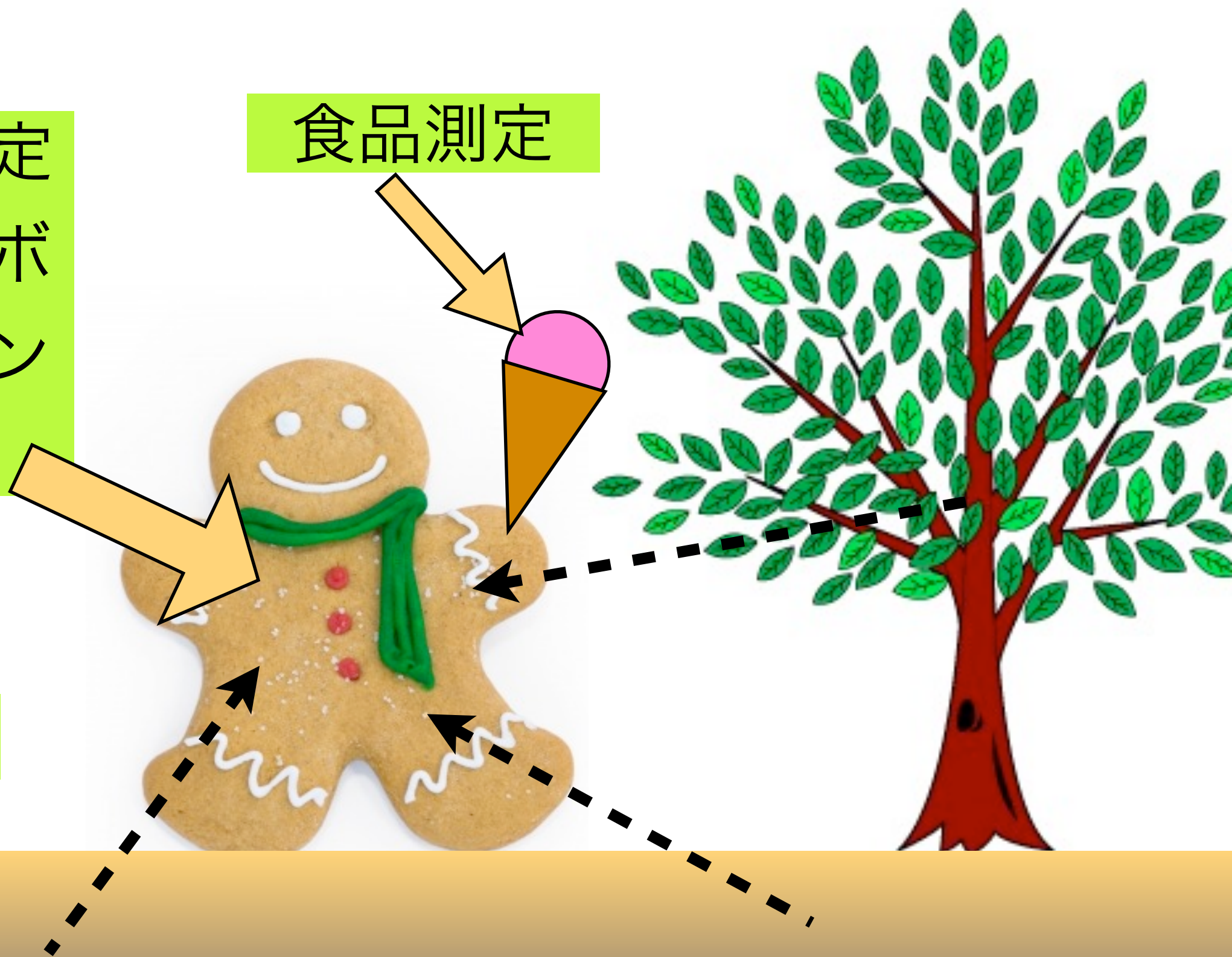
ストロンチウム

放射線測定 と我々の健康

人体の測定
(ホールボ
ディカウン
ター)

食品測定

空間線量



空間放射線測定の特徴

- 「放射線」はランダムに崩壊する原子核から飛んでくる「粒」（「神様はスロットを回している」）
- これが測定器の中に入ると「一定の確率」で測定器に信号を残す。（ここでもサイコロをふっている）測定器はその数やエネルギーを数えている。
 - 放射線が多い → たくさんスロットを回している
 - 測定器がよい → たくさん当たりが出る。
- 確率が同じでも「あたりがなかなか出ないとき」、「どんどん出るときがある」。我慢が大事。
 - 「長時間平均を取りましょう」大きいガイガー管、大きい結晶だと早く安定した結果が出る。



ガイガー管



商品としての放射線測定器

- どのくらいの線量から「快適」に計れるか。（「表示範囲」にだまされない）
 - 価格 10万以上 1 μ で1000 カウント／分 価格2~5 万 100 カウント／分 (RADEX) これ以下は線量測定には勧めない
- 測定時間が3分以上に設定できること。計測時間が短いものは数字が安定しない
- どのくらいの線量まで計れるか。0.01~ 9.99 までのものが多いが、側溝などではさらに高い場合も
- 一日にどのくらい浴びたかを知りたいならカード型あるいはペン型の積算線量計も便利。多くは線量計としての機能はおまけ。福島県では ガラスバッチも



積算線量計



ガラスバッチ



内部被曝と食品基準

- 新しい食品基準の算定方法

$$\begin{aligned} & \text{（「一般食品」の限度値）（Bq/kg）} \\ &= \text{（「一般食品」に割り当てられる年間線量）（mSv/y）} \\ &\div \Sigma \text{（各食品分類での対象核種合計線量係数）（mSv/Bq）} \\ &\times \text{（当該食品分類の年間摂取量）（kg/y）} \\ &\times \text{（流通する食品の汚染割合）} \end{aligned}$$

1mSv/y-水に分=0.881mSv

年齢ごとに
区分して評価

0.5と仮定。ただし牛乳と
乳児用食品は1

Sr その他も計算に
入っている

年齢区分別限度値 食品分類ごとの換算

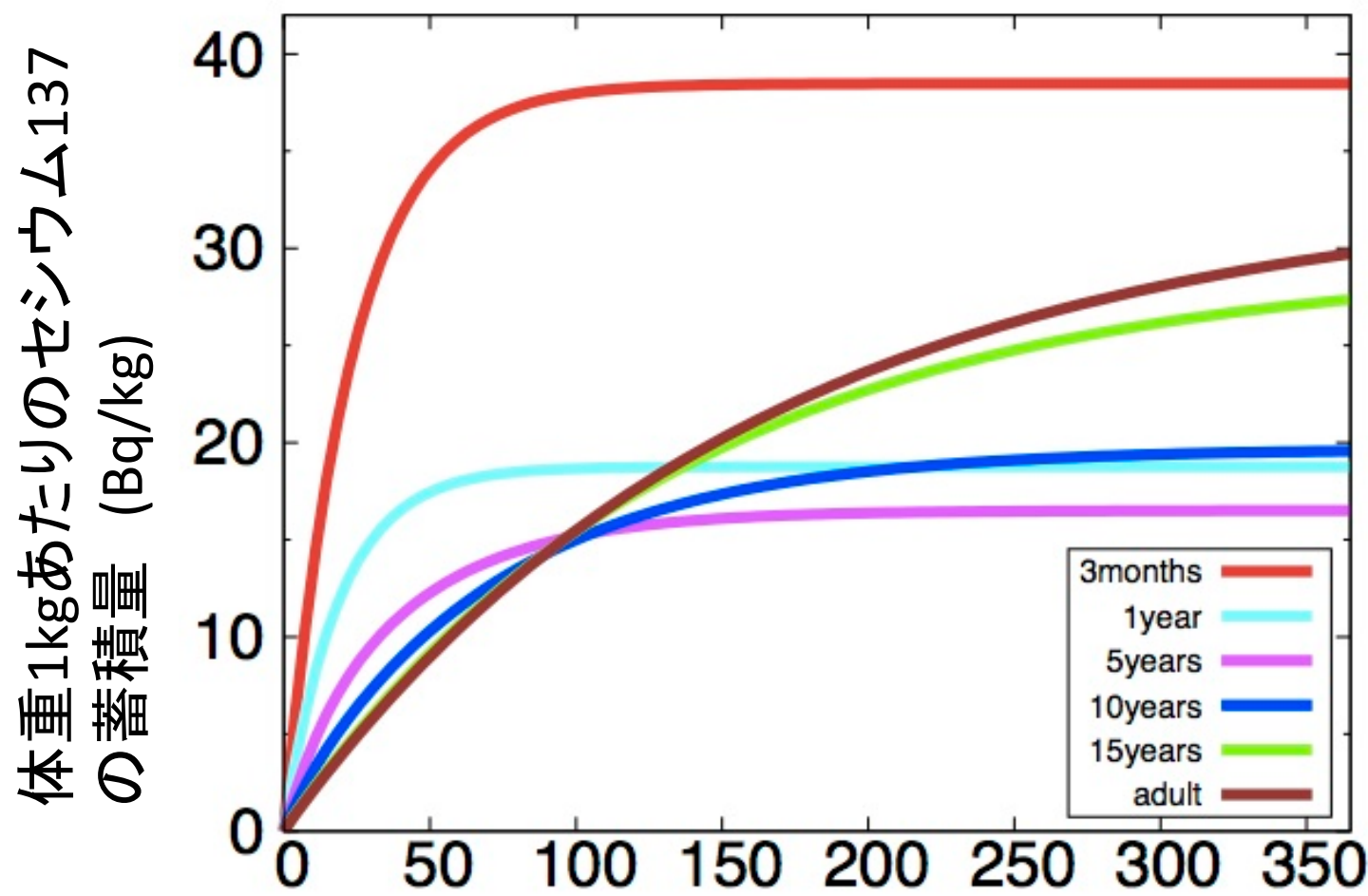
表 年齢区分別の限度値（一般食品）

年齢区分	摂取量	限度値(Bq/kg)
1歳未満	男女平均	460
1歳～6歳	男	310
	女	320
7歳～12歳	男	190
	女	210
13歳～18歳	男	120
	女	150
19歳以上	男	130
	女	160
妊婦	女	160
最小値		120
基準値		100

表 食品分類ごとの摂取量と対象核種合計線量換算係数

食品分類	対象核種合計線量係数 (経年変化の最大値) (Sv/Bq) (C)	平均摂取量 (g/day) (D)	当該食品分類からの年間 被ばく線量 (Sv・g/Bq) (E) [(C) × (D) × 365 日 × 汚染割合]
穀類	1.83×10^{-8}	127.5	4.26×10^{-4}
コメ	1.58×10^{-8}	499.4	1.44×10^{-3}
芋類	1.60×10^{-8}	79.2	2.31×10^{-4}
葉菜類	2.14×10^{-8}	139.9	5.46×10^{-4}
根菜類	2.52×10^{-8}	77.1	3.55×10^{-4}
豆類	2.05×10^{-8}	64.4	2.41×10^{-4}
果菜類	1.78×10^{-8}	149.4	4.85×10^{-4}
乳製品	1.63×10^{-8}	25.8	7.67×10^{-5}
牛肉	1.58×10^{-8}	27.3	7.87×10^{-5}
豚肉	1.58×10^{-8}	68.0	1.96×10^{-4}
鶏肉	1.53×10^{-8}	39.1	1.09×10^{-4}
鶏卵	1.79×10^{-8}	51.4	1.68×10^{-4}
淡水産物	1.53×10^{-8}	6.1	1.70×10^{-5}
海産物	3.06×10^{-8}	82.3	4.60×10^{-4}
牛乳	1.63×10^{-8}	216.2	6.43×10^{-4}
調製粉乳（粉状）	1.63×10^{-8}	0	0
その他	1.81×10^{-8}	398.5	1.32×10^{-3}
		合計	6.79×10^{-3}

図1：1年間にセシウムの体内蓄積量が増加する様子



平均10Bq/kgの汚染食品を食べ始めてからの日数

平均10Bq/kgの汚染度の食事を1年間続けたときに受ける(預託)放射線量

年齢	3カ月	1歳	5歳	10歳	15歳	成人
想定食事量	1 kg/day	1 kg/day	1kg/day	1.3 kg/day	1.5 kg/day	1.5 kg/day
内部被爆量	0.077 mSv	0.044 mSv	0.035 mSv	0.047 mSv	0.071 mSv	0.071 mSv

ターゲットと食品測定器選び

- 100 Bq/Kg 以上がはかれる >> ベクレルモニター
 - 構成 NaI 直径3cm 程度、遮蔽 2cm くらい。測定器に入ってきた放射線の数をは測るがエネルギーは測っていない。K40 など自然放射線も合算。お値段100万円
- 10Bq/Kg 以上 >> スペクトルメーター
 - 構成 NaI 直径5cm 程度、遮蔽鉛 3cm~5cm 放射線のエネルギーごとの数が計れる。お値段 300万
- 1Bq/Kg 以上 >> ゲルマニウム測定器
 - γ 線のエネルギーが「正確」にはかれる。お値段1000万、ランニングコスト

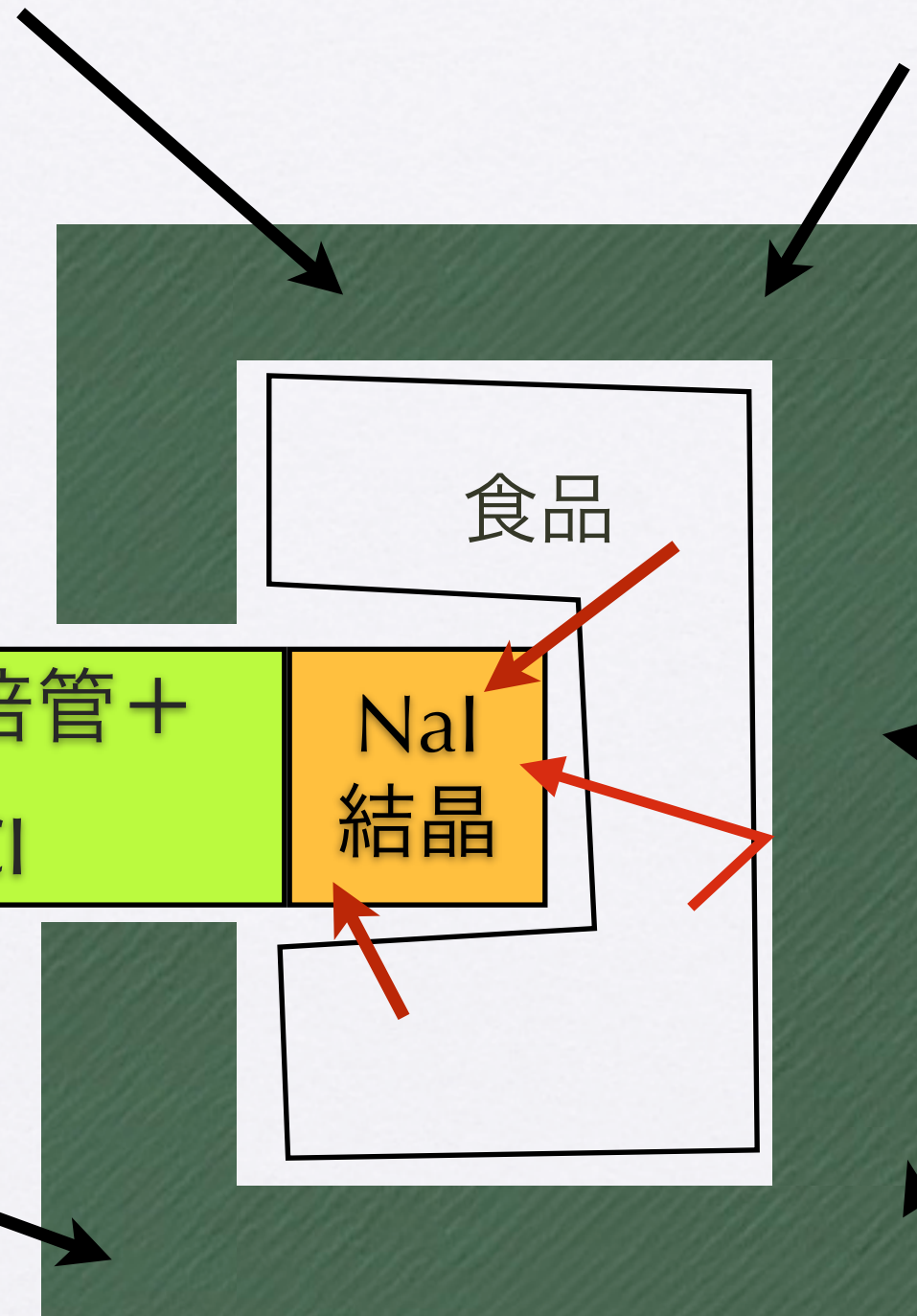


番外or 論外

(検出限界が200Bq/Kg 空間

線量 0.1 μ)

食品検出器の仕組み



1) 外からくる放射線
は鉛で遮る。

2) 食品からでた放射線は
測定器 (NaI 結晶) に入る

3) NaI 結晶に落ちたエネ
ルギーを測る



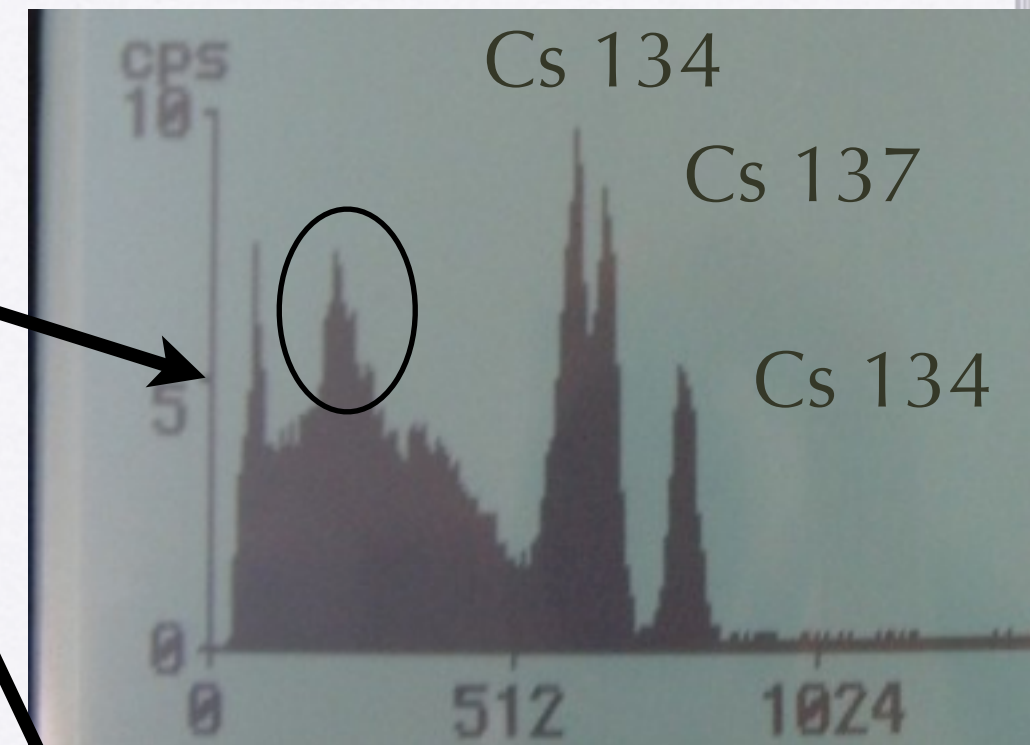
NaI の測定器

エネルギー測定精度はそれほど良くない。

偽物のピーク（後方散乱ピーク）も存在。

核種同定は苦手 Co60, ヨウ素...数々の誤
検出

Ge でみると
他と構造が違う



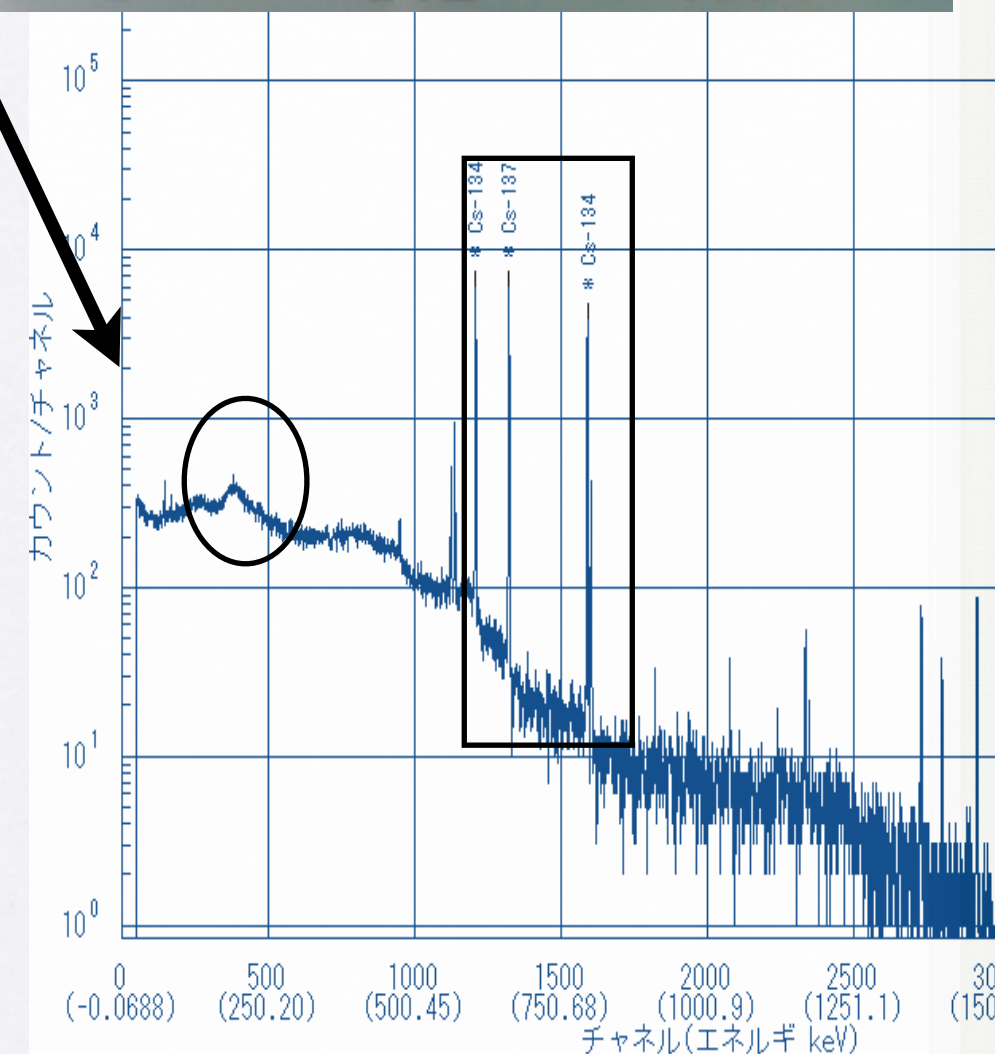
Ge 測定器

「エネルギー分解能」良いので山が針のように
高く細い→測定感度も高い。

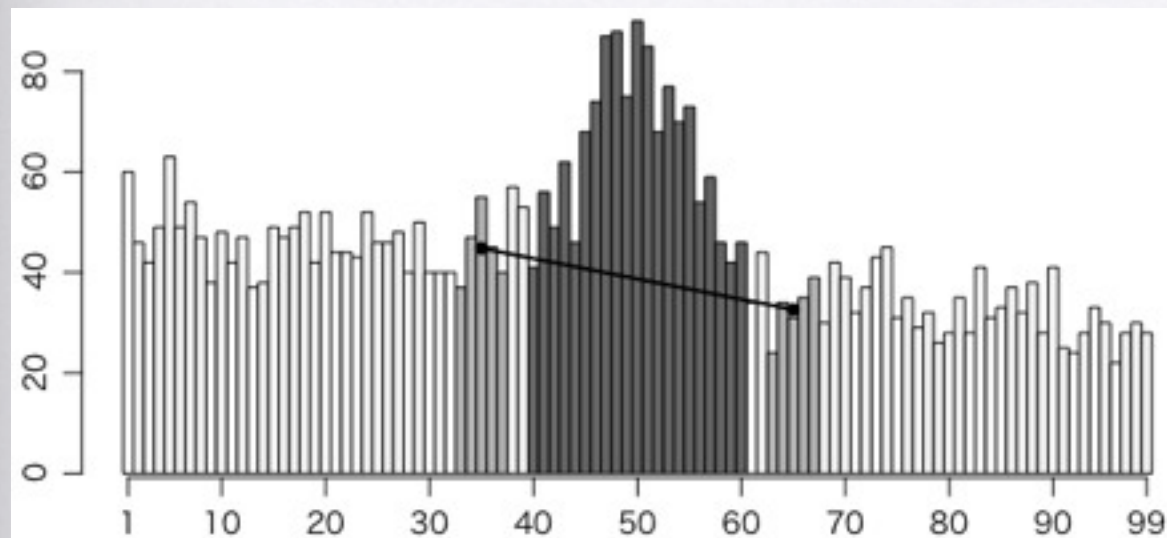
核種の同定にも優れていて事故初期に活躍

液体窒素で冷やしていないと使えない。

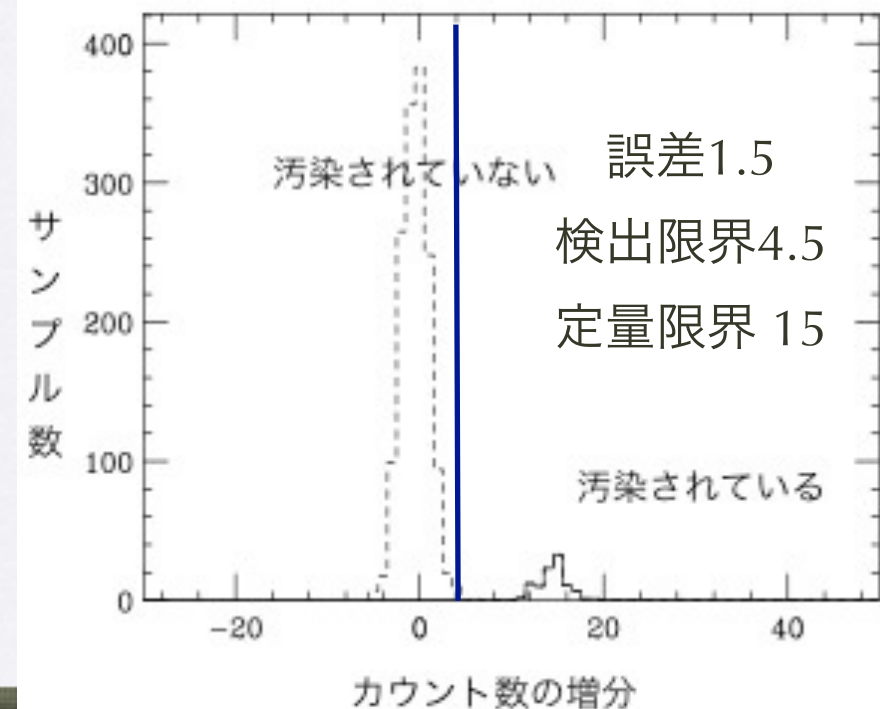
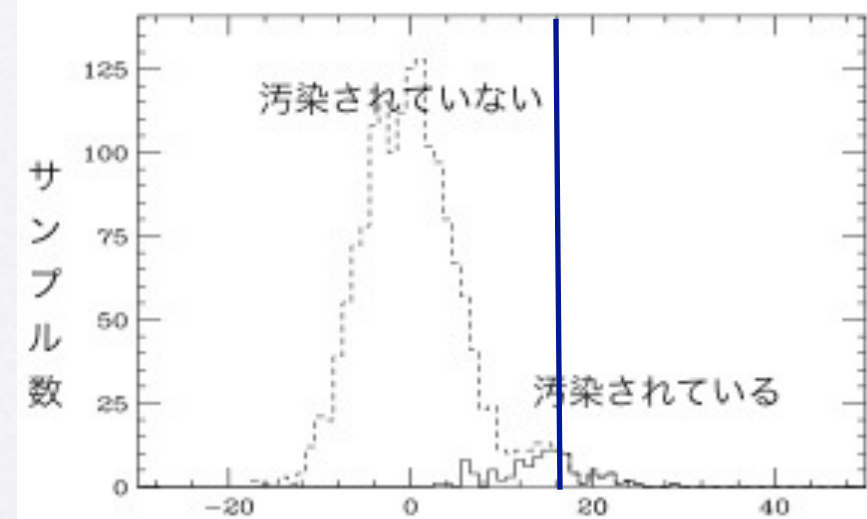
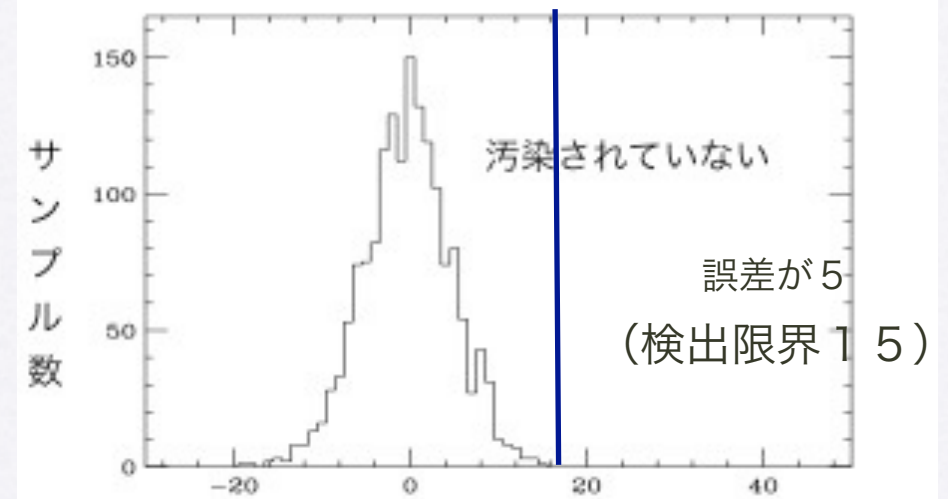
（ランニングコスト、可動性が低い）



Not Detected(ND) (検出限界と定量限界)



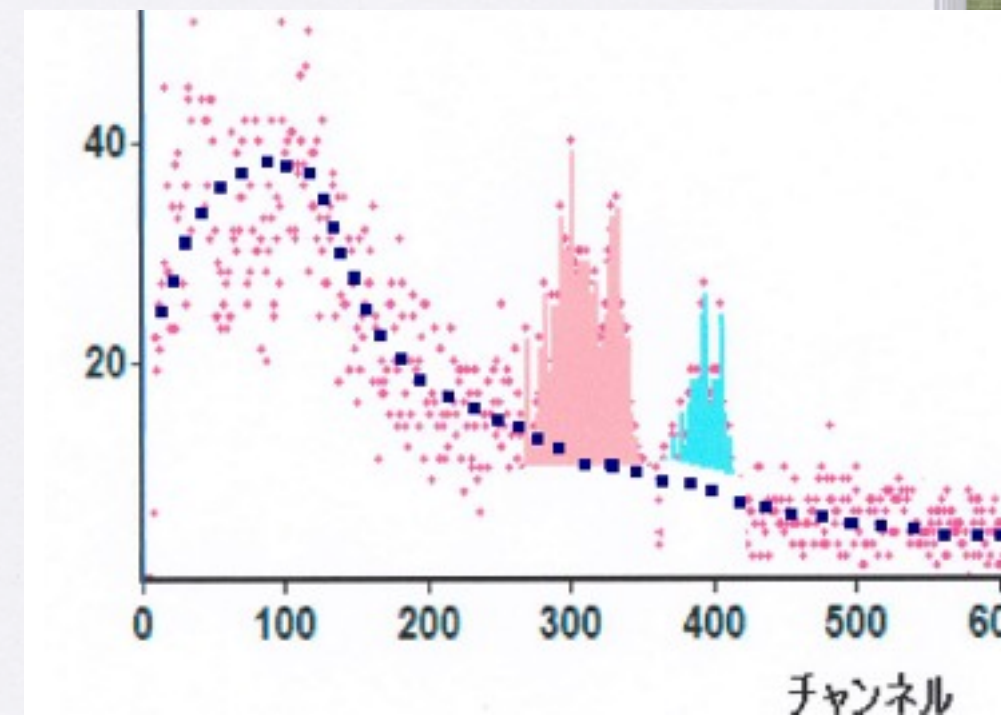
- バックグラウンドの上にシグナル
- 汚染されていないものを測定すると半分は負の値になる
- 検出限界＝汚染されていないものは滅多にこの値より上にならない、というライン。これ以下はND
- ちょうど検出限界だけ汚染されている食品は半分ND
- 定量限界＝これならあるって分かるよね



まさかのソフト問題

- 測定器は良くできていて（遮蔽、結晶）もとのデータ(測定器に入ってくる放射線の数とエネルギー) はきちんとしている。
- ここから食品からくるセシウム分を決めるところに問題がある機種が多い。
- 対処方法（スペクトルを必ず自分の目でみる）
 - 「連続した山」が見えないのに、「検出」していないか。
 - Cs 134:137 の比率が正しいか(現在は約 0.8:1) 震災から 2 年後は 0.5:1
 - いつもの分布を知っておく（例えば小麦粉に土いれて）
 - 「機械が測ってくれる」は妄想。コード書いてるのは人間。非常識なものが出たら疑う。

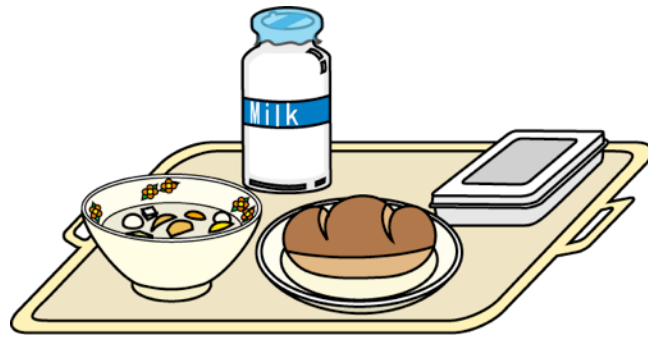
悪い例



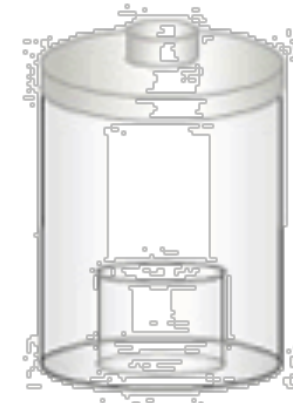
抜き取り検査の設計

- 商品検査としての放射線測定
 - セシウム蕁ショック、汚染米ショック
 - 牛肉・米の全量検査（ブランドである、主食である、等々）ほとんど食べない牛肉の「全量」検査にGe 測定器の稼働時間が費やされているのが日本の現状
 - 実際には簡単な検査で十分食品汚染は下げられる話
- 食品検査としての放射線測定
 - 普段食べる食材で何が放射性物質摂取の元になっているか。市場に入ってくる食材の中で高いものをはねるにはどうしたらいいか。

給食ミキサー検査



子供が食べたのと同じ物を丸ごと



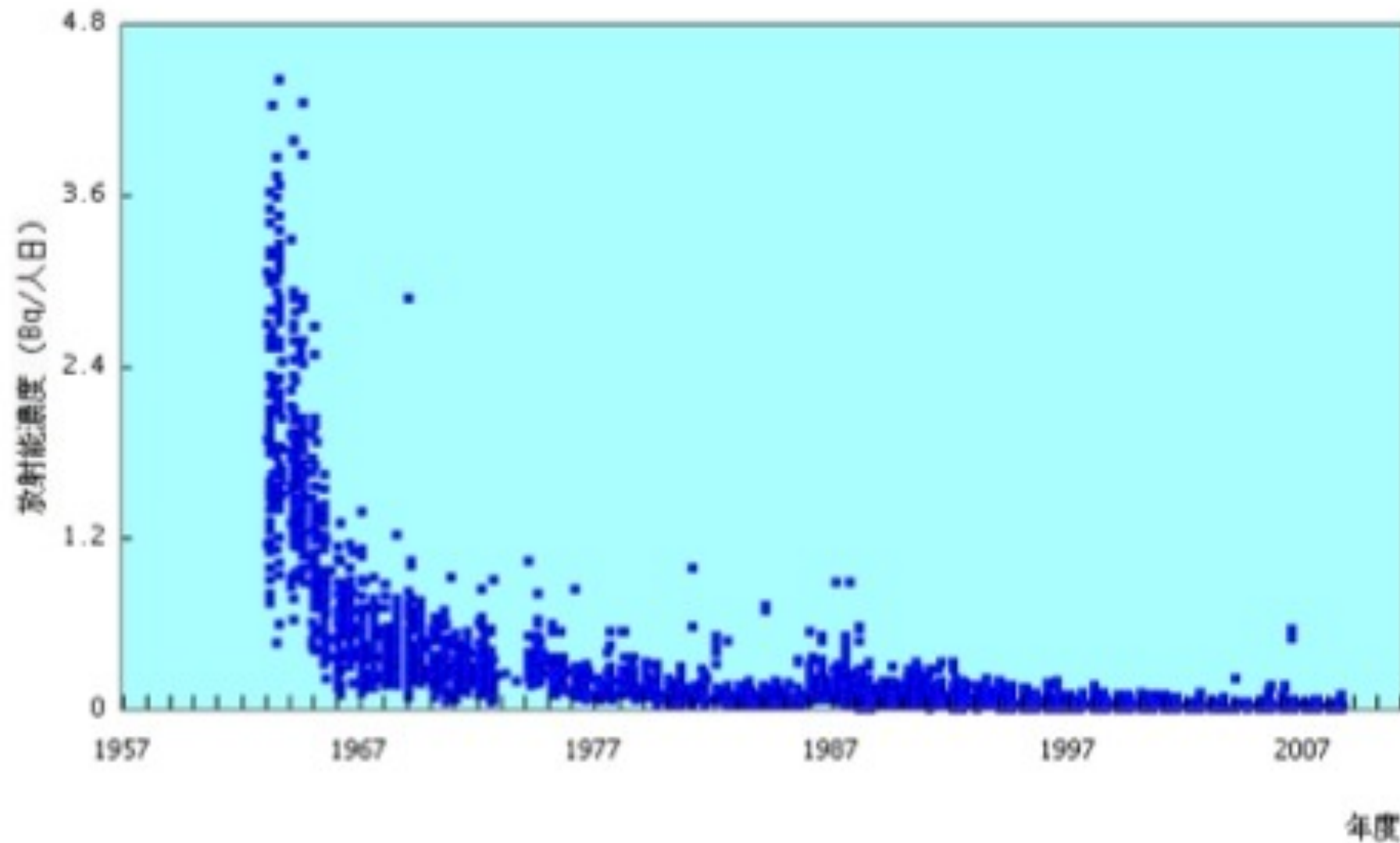
ミキサーにかけて
マリネリ容器に詰め



精密測定

給食ミキサー検査

子供
同



全国における日常食中のCs-137の経年変化



測定

ほんとに検査が必要なのは

毎日新聞調査

Ge 測定器で 100mL を 2 時間測定

■各地の食事で検出されたセシウム

地名	測定した放射性物質	米 (Bq/kg)	水 (Bq/kg)	おかず (Bq/kg)	1人1日当たりの米、水、おかずの合計最大推定摂取量 (Bq)	1人1日当たりのCs全体の推定摂取量 (Bq)	Cs全体の年間推定線量 (mSv)
宮城県 白石市	Cs-134	—(6.3)	—(6.2)	4.2	14.9	29~33	0.17~0.19
	Cs-137	—(4.3)	—(6.1)	10.0	17.9		
福島県 伊達市	Cs-134	113.5	—(4.8)	54.7	99.3	140~220	0.81~1.3
	Cs-137	135.7	—(5.6)	69.1	121		
群馬県 高崎市	Cs-134	—(4.5)	—(4.4)	12.4	32.4	30~81	0.18~0.46
	Cs-137	—(4.9)	—(4.7)	20.3	48.5		
札幌市	Cs-134	—(5.0)	—(4.8)	—(5.1)	—		
	Cs-137	—(4.5)	—(5.1)	—(4.9)	—		
福島市	Cs-134	—(3.9)	—(7.5)	—(5.1)	—		
	Cs-137	—(4.3)	—(7.3)	—(5.2)	—		
東京都 豊島区	Cs-134	—(4.5)	—(3.3)	—(5.7)	—		
	Cs-137	—(4.9)	—(3.9)	—(5.9)	—		
千葉市	Cs-134	—(5.6)	—(5.4)	—(6.8)	—		
	Cs-137	—(6.6)	—(5.0)	—(7.2)	—		
名古屋市	Cs-134	—(5.1)	—(5.4)	—(8.0)	—		
	Cs-137	—(4.3)	—(5.9)	—(7.9)	—		
神戸市	Cs-134	—(5.6)	—(3.9)	—(5.2)	—		
	Cs-137	—(4.7)	—(4.7)	—(4.9)	—		
高知市	Cs-134	—(5.7)	—(4.0)	—(5.6)	—		
	Cs-137	—(6.2)	—(4.4)	—(5.3)	—		
福岡市	Cs-134	—(5.8)	—(5.1)	—(4.9)	—		
	Cs-137	—(5.4)	—(5.1)	—(5.5)	—		

ND
毎日では検出限界ぎり
ぎりの値(22.4~14.7)を
掲載。これはX

(Cs=セシウム、Bq=ベクレル、mSv=ミリシーベルトの略。網掛けは検出限界超の値。—は検出限界値以下。かっこ内は検出限界値。白石市、伊達市、高崎市は3日間それぞれ試算し最低値と最高値を出した)

ND でなかった人たちの

食べていたものは自家製品

▽伊達市の男性(77):サトイモ、大根、キウイ

▽白石市の女性(62):サツマイモ、干し柿、タマネギ、大根、長ネギ、白菜、ジャガイモ

▽高崎市の男性(70)がユズ、柿、大根葉

予想：一番内部被曝をして

そうなのは自己消費の多い農家

測定誤差の大きい数字を積み上げていっても有意に出た人との

差がはっきりしない。

学校給食食材等の放射線量測定結果

(単位:ベクレル/kg)

検査日	食 材	ヨウ素 131	セシウム 137	セシウム 134
11.28(月)	ねぎ	2	9	0
1.29(火)	キャベツ			
	米			
1.30(水)	米			
	ほうれん草			
2.1(木)	牛乳			
2(金)	牛乳			
	つぼみ			
5(月)	米			
	白菜	2	9	0
(火)	にんじん	3	11	0
	にんじん	0	3	0
水)	給食全部	0	5	1
	米粉きな粉パン、牛乳、白花豆コロッケ、ツナサラダ、スパゲティナポリタン			
木)	給食全部	0	4	2
	ごはん+牛乳			
	ハンバーグおろしソースがけ・コールスローサラダ・ミネストローネ・いちごゼリー	3	1	2
金)	給食全部	0	5	3
	ごはん+牛乳			
	ぎょうざ・ナムル・マーボー豆腐	3	4	0
土)	給食全部	2	3	2
	ごはん+牛乳			
	豚丼の具・もやしとハムの和え物・いものこ汁	1	0	6
日)	給食全部	3	0	3
	ごはん+牛乳			
	さんまの甘露煮・じゃが芋のそぼろ煮・具だくさんのみそ汁・パイナップル	0	5	0
月)	給食全部	4	10	0
	パン+牛乳			
	さけ香草焼き・カラフルサラダ・コンソメスープ・クリスマスケーキ	0	0	7
火)	給食全部	0	3	3
	ごはん+牛乳			
	カレーライス・オムレツ・大根とツナのサラダ・ケチャップ	0	7	0

11/28~12/10までの
2週間
(1ヶ月)4回 →

合計 28 Bq/kg (ヨウ素131) 124 Bq/kg (セシウム137) 46 Bq/kg (セシウム134)

56 × 12 = 672 248 × 12 = 2976 92 × 12 = 1104

- 給食丸ごとだけどNaI 測定器による数字
- 誤差の表示がない。検出限界以下の数字を書いている。測定器は怪しいかもしれない。
- もらった人には「数字」しかない。当然足し算して心配する

『測定誤差』の意味を知らせる

測定値の精度に注意をはらう

まず行政が分かってないと、住民が理解するのは無理

民間と行政：今後の課題

- 民間の放射線測定：

- ニーズに答えて放射線と測定器を導入するところには「装置かいたて」「ボタン押すだけ」のところも多い。
- 誤測定しても責任を取らない会社も「またマ○○か」なんらかの格付けが必要（今はだれでも測定器をかって営業できる）。

- 行政に導入される測定器

- 精度は？ 予算は？ 可動時間は？ 職員の理解は？（職員異異動の問題）
- 農作物は測るが加工品は測らないなどおかしい話がいっぱい。

給食1キロ40ヘル以下

文科省 初の安全目安通知

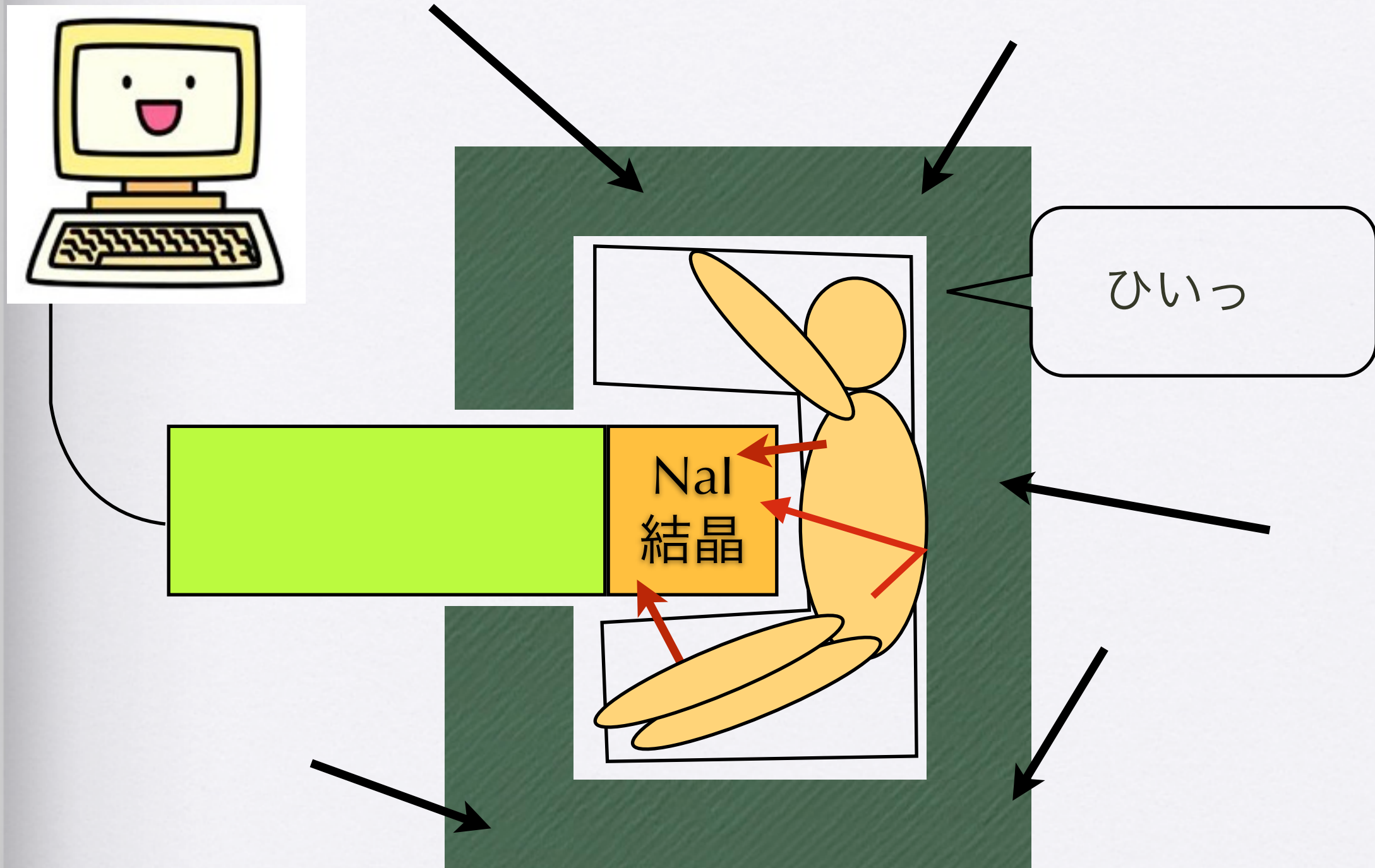
文部科学省は一日までに、小中学校の給食に含まれる放射性物質濃度について、食材一当たりに四〇ヘル以下を目安とするよう東日本の十七都県の教育委員会に通知した。四〇ヘルを超を検出した場合は子どもにも提供しないなどの対応を求めている。国が学校給食について安全の目安を示すのは初めて。

文科省は本年度第三県に対し給食検査の機一億円を計上した。では、飲料水、牛乳、次補正予算で、十七都器購入補助費として約四〇ヘルを目安につい乳製品で一当たりに二

〇〇ヘルとなっている現行の暫定規制値の五分の一に設定した。文科省は「政府が食品中の放射性セシウムの年間被ばく限度を五ミリシーから一ミリシーへ引き下げる

少 しを 検

体の中の放射性物質をはかるには



ホールボディカウンター



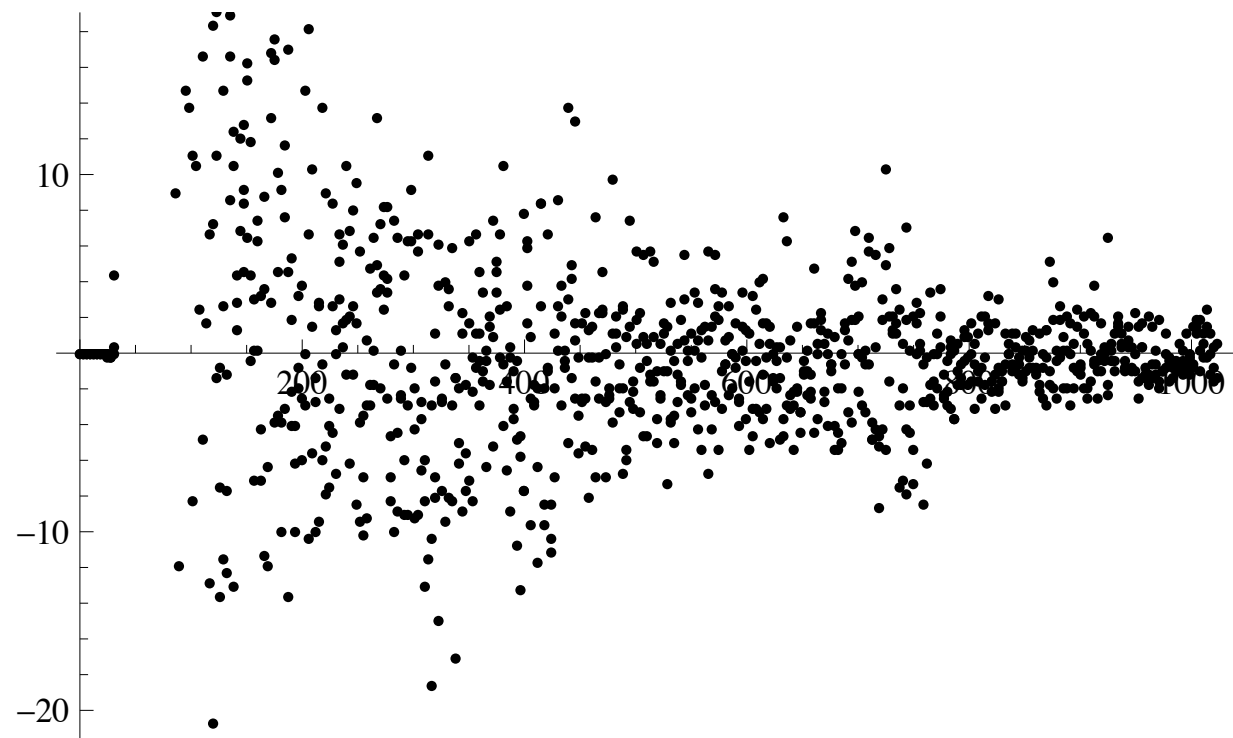
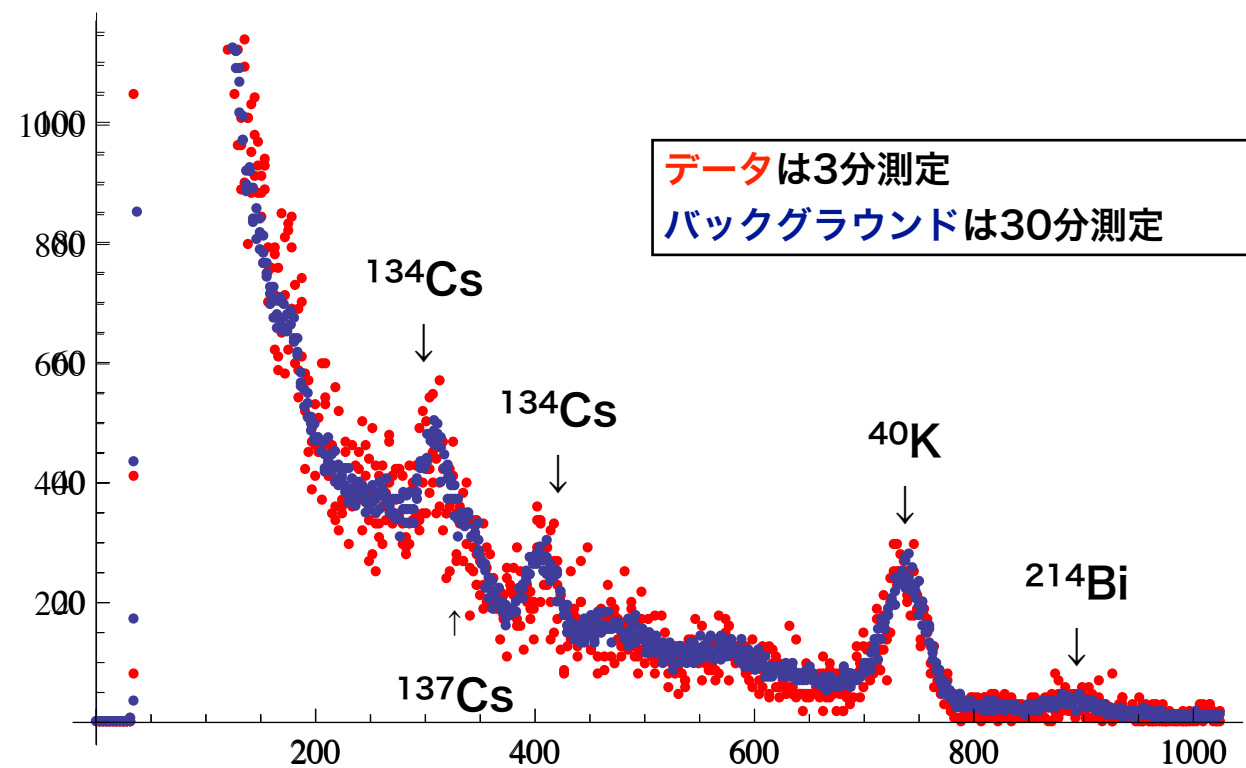
野ざらし
椅子型

高遮蔽
全身スキャン
タイプ



- 人間が体の内部の中に溜め込んでいる放射性物質を測る装置＝ホールボディカウンター（全身カウンター）
- 検出限界 300~400 Bq/body を標榜
- 多くの機械は空間からくる放射線がごくわずかと仮定して設計されている。
- 実際には椅子型全体にそれより相当よくない結果となっている

青い線:空間からくるバックグラウンド
赤い線 人がのって測った時



窓際のWBC / 車載椅子型野外測定など
空間線量に配慮ができてないところが多い
(装置が重いので置く場所に制限)

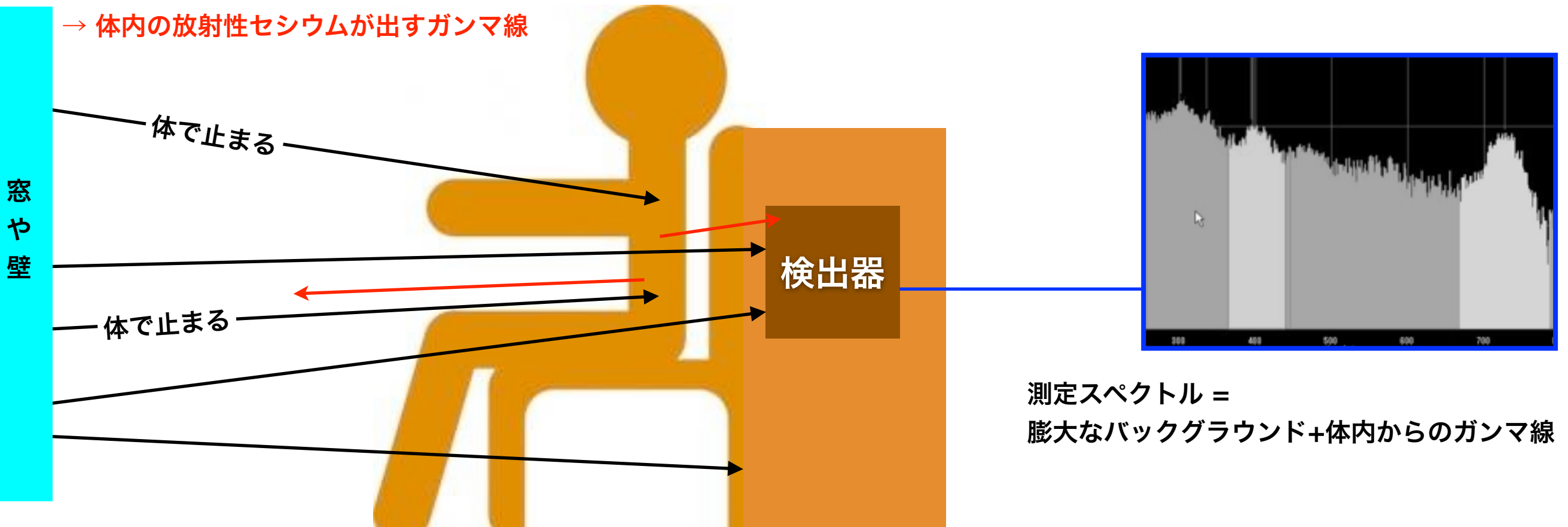
バックを引き算すると上と下に均等に分布
バックグラウンドさえなければもっとちゃん
と計れるのに.....

(参考) 椅子の背中に検出器があり、 遮蔽不十分なホールボディカウンターの憂鬱

1. 遮蔽不十分 → 体内からのガンマ線は膨大なバックグラウンド ガンマ線に埋もれる.
2. 椅子に座った人の体格により, 検出器に入るバックグラウンドが変化. 大柄な人が座ると遮蔽効果が大きい. (窓際のデブ問題)
3. 身長・体重から遮蔽効果を見積もって補正. 多くの場合, 体格補正はうまくいっていない.
4. 体格補正のソフトを直す必要あり. その前に遮蔽不十分なホールボディカウンターを買わないこと. 買ってしまったら遮蔽を強化すること.

→ 外から飛んでくるバックグラウンド ガンマ線

→ 体内の放射性セシウムが出すガンマ線



- 南相馬 子供の測定 (2500人ほど) 全体で 9000人ほど。椅子型WBC →全身型へ。
- 福島 of 市民測定所の場合 1500 人くらいの方が椅子型WBC で測定
 - たいていの方は少ない (10Bq/Kg程度。測定ソフトの誤検出で実はさらに低い可能性が高い) が、時々 30Bq/Kg 以上の方が表れる
 - 長期的な測定と指導が必要、外国の例では 2 年目の方が内部被曝は増える傾向
 - 自主的にうけにくる人は 10Bq/Kg でも検出されると大変ショックを受ける。
値の正確さ・意味づけが受診している人に対して明確であることが必要
 - 一方気にしない人は、放射性物質を摂取しているハズだが、気にしていないから計りにこない)
- WBC 検査を受けられる方が少ない合間をぬって「尿検査」「インチキ測定器」などが台頭している。

2011年4月 朝日カルチャー&2011年5月14日 nakedloft 講演

FAQ 「環境中の放射線量が0でないのはけしからん」

Answer

- いろいろあるリスクのなかからもっとも高いリスクを減らしていくのが、全体としての安全を高める。
- **100% 安全な社会というのは存在しない。あるいは震災とともに終了した。**
- 科学技術基本政策「安全安心社会の実現」←以前委員をやっていた。
 - 「ほとんど安全」な社会を「もっと安全」にするための投資から「妥当な安全性」を確保するために効率よく資源を配分する方法を考えることが必要な社会がくる
 - より精密なリスク判断が要求される。 **(科学的アプローチの重要性)**