

放射線と放射性物質

金田雅司

東北大学大学院理学研究科物理学専攻

kaneta@lambda.phys.tohoku.ac.jp

2015/4/27

基礎ゼミ 「科学的に見る放射線・放射性物質」

第二回

今日の話は

今日の話は

放射性物質と放射線

今日の話は

放射性物質と放射線

科学的とは？

放射性物質

と

放射線

性質

測定

リスク

性 質 質



人間の生活スケールと比べると

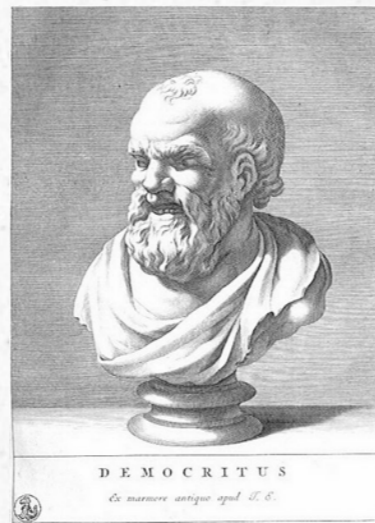
非常に小さな世界

物質の最小単位は？ 哲学者の考え

ギリシャ哲学

レウキッポス

デモクリトス



近代哲学

デカルト



これ以上
“分解できないもの”
ἄτομος (atomos)
がある

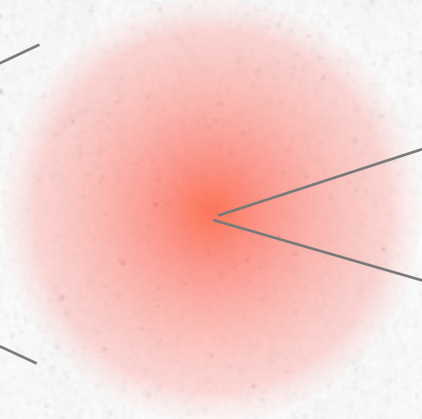
どんなに細かくしても
さらに分割出来る

~1.5 m

ヒト

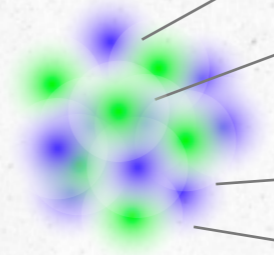


原子



~ 10^{-10} m

原子核



~ 10^{-14} m

陽子

u
d
u

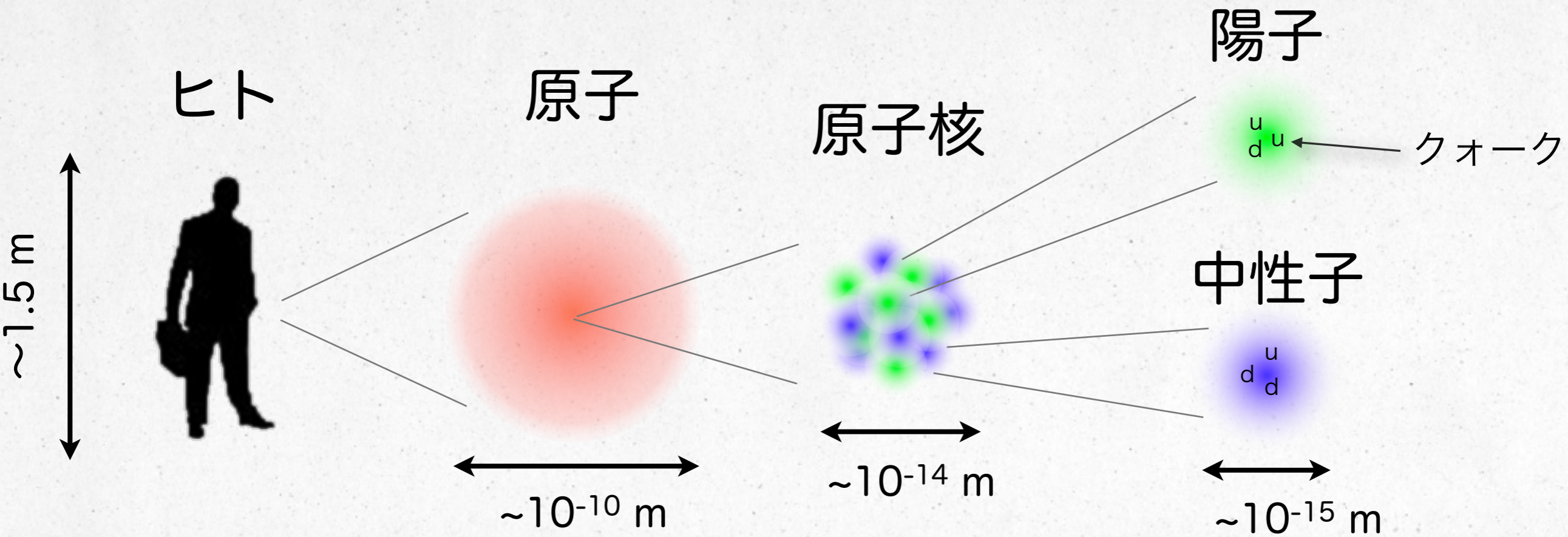
クォーク

中性子

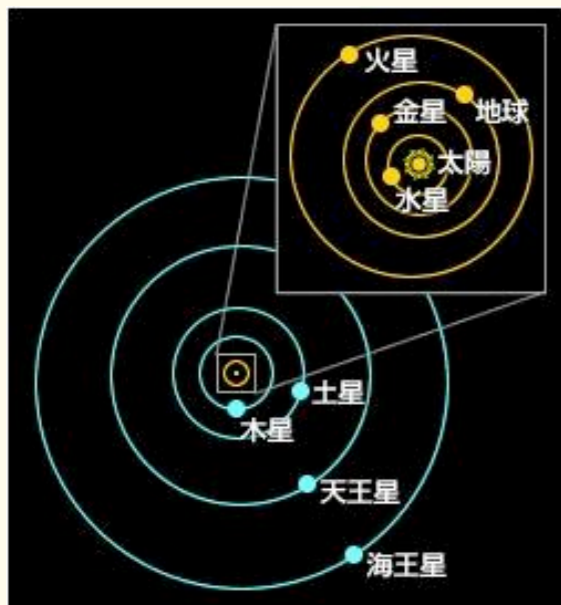
u
d
d

~ 10^{-15} m

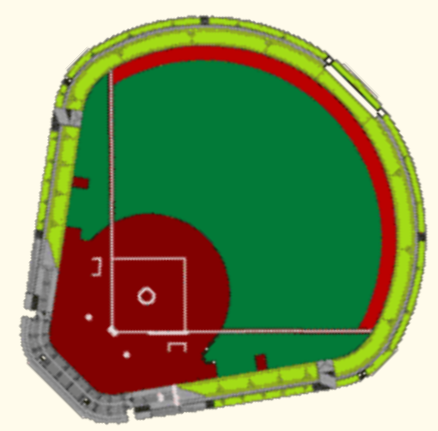




同じくらいの比率のもの



太陽から土星までの距離
1,400,000,000 [km]



野球場の外野まで距離
約 100 m



ビー玉
約 1 cm

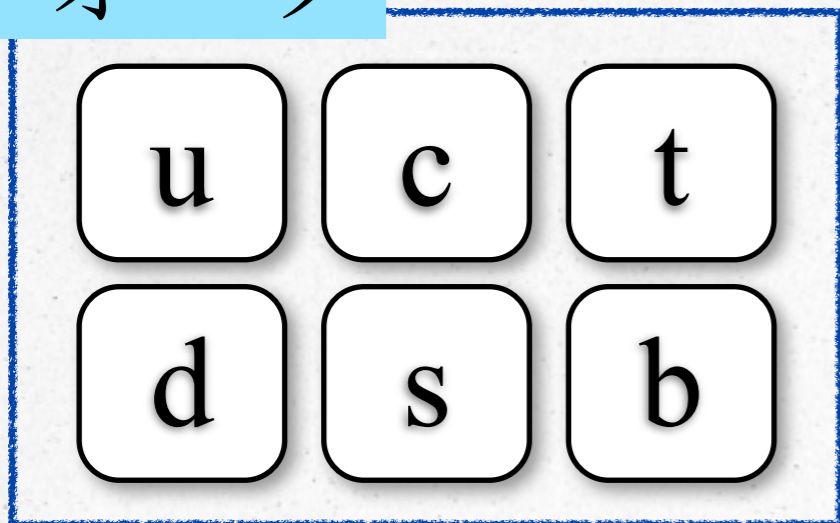


ボールペンのボール
約 1 mm

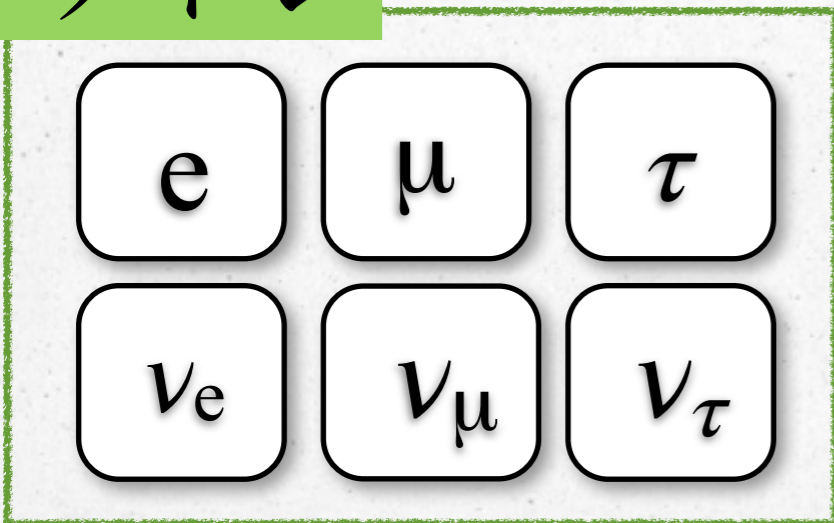


現在素粒子と考えられているもの

クォーク



レプトン



クォークとレプトンには
それぞれの反粒子が存在する

ゲージ粒子



光子(フォトン): 電磁気力



グルーオン: 強い力



W,Zボゾン:
弱い力

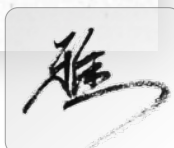


重力子(グラビトン): 重力
未発見



ヒッグス粒子: 素粒子の質量

自然界の四つの力を伝える仮想粒子



クォークから 出来ているもの

= ハドロオン

クォーク三つ バリオン

陽子

u
 d
 u

中性子

u
 d
 d

Λ (ラムダ)

d
 u
 s

クォークと反クォーク メソン (中間子)

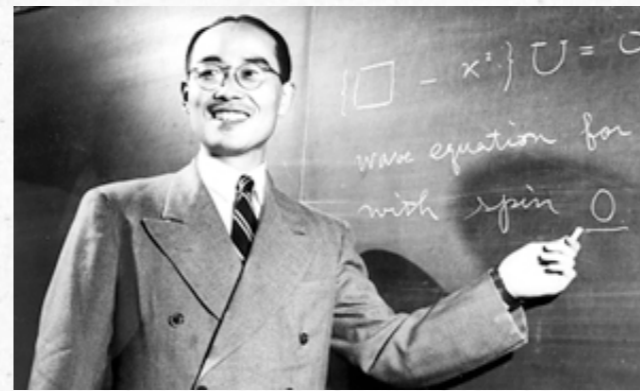


写真: http://www.yukawa.kyoto-u.ac.jp/contents/about_us/history.html より

湯川秀樹博士によって
予言。後に発見され、
1949年ノーベル
物理学賞を受賞

u \bar{d} π^+

s \bar{u} K^+

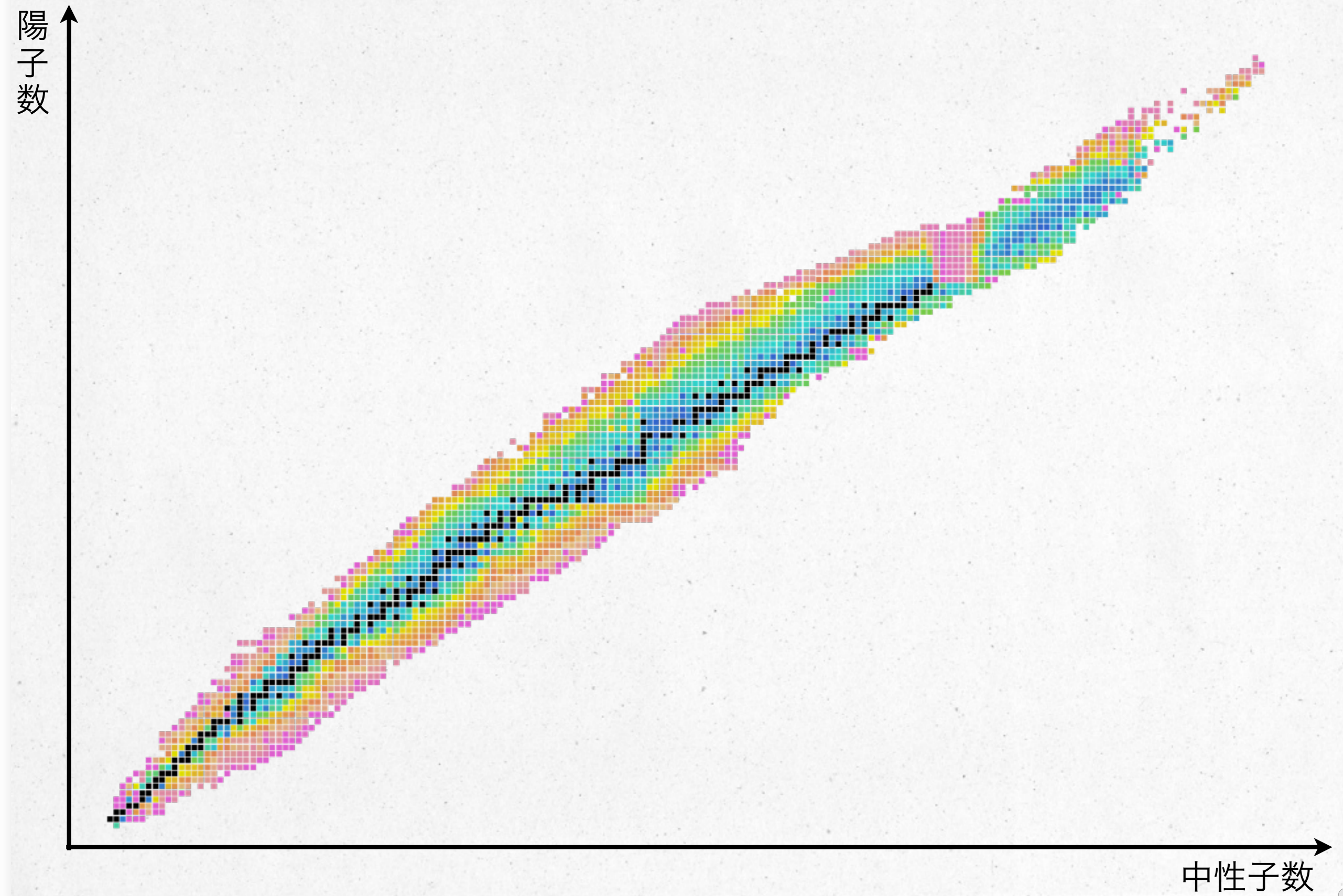
ここに挙げたよりもさらに数多くのバリオンとメソン

原子核の種類

陽子数



原子核の種類



原子核の種類

- 陽子と中性子の組み合わせ
 - 電磁気力と核力のバランス
 - 同位体の存在
 - 陽子数が同じで中性子数が異なる

- 電磁気力
 - 陽子と陽子：プラスの電荷同士なので斥力
- 核力
 - 陽子と陽子、陽子と中性子、中性子と中性子
 - 離れると引力
 - 近づき過ぎると斥力

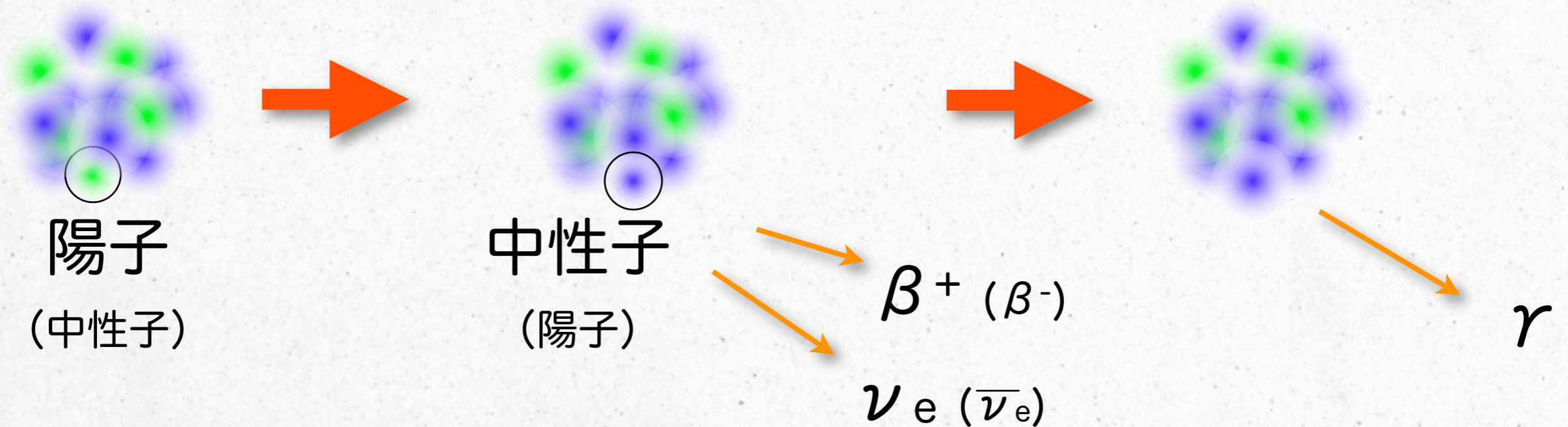
陽子数

中性子数

原子核の崩壊(壊変)

β (ベータ)崩壊

γ (ガンマ)崩壊



一つ一つの原子核がいつ崩壊するか：わからない（しかし、平均時間はわかる）
ガンマ線のエネルギーは原子核ごとに異なる

放射線の種類

原子の中から発生する物

電子軌道から

X線 = 光子

原子核から

α (アルファ)線 = ヘリウム4の原子核

β (ベータ)線 = 電子・陽電子

γ (ガンマ)線 = 光子

中性子

宇宙から降り注ぐもの

宇宙線

μ (ミュー)粒子 = 素粒子の一種、電子の仲間

人工放射線

加速器を使用

電子、陽子、イオン自身を加速し取り出す
シンクロトロン放射・制動放射を利用し電磁波
(紫外光、X線、 γ 線)を生成させる

核分裂

重たい原子核が、二つ（まれに三つ以上）の原子核に分裂

自然に起きる

中性子、陽子、ガンマ線、ベータ線の吸収によって起きる

原子炉のウラン燃料

^{235}U が3-5% その他は核分裂をしないウラン

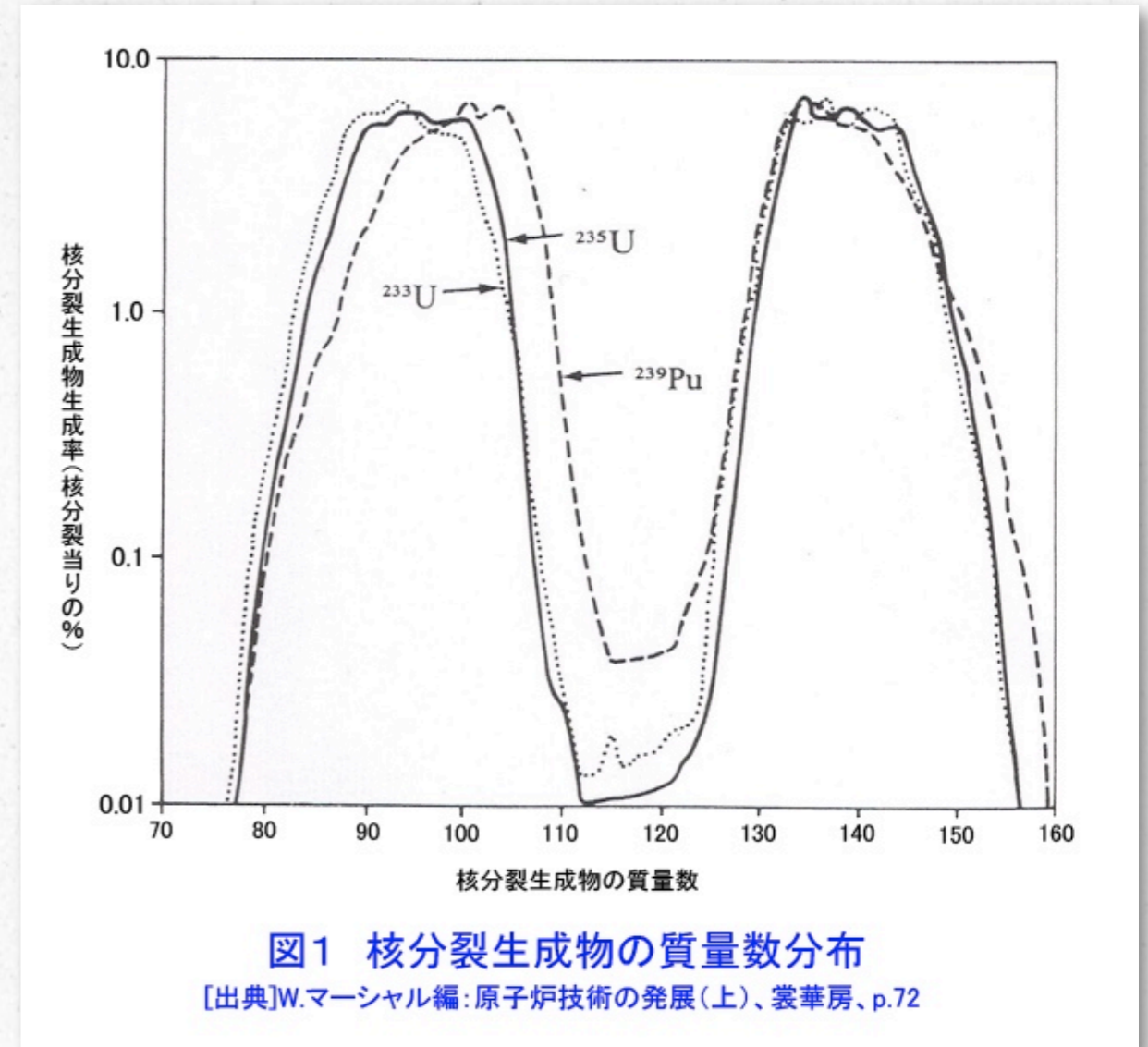
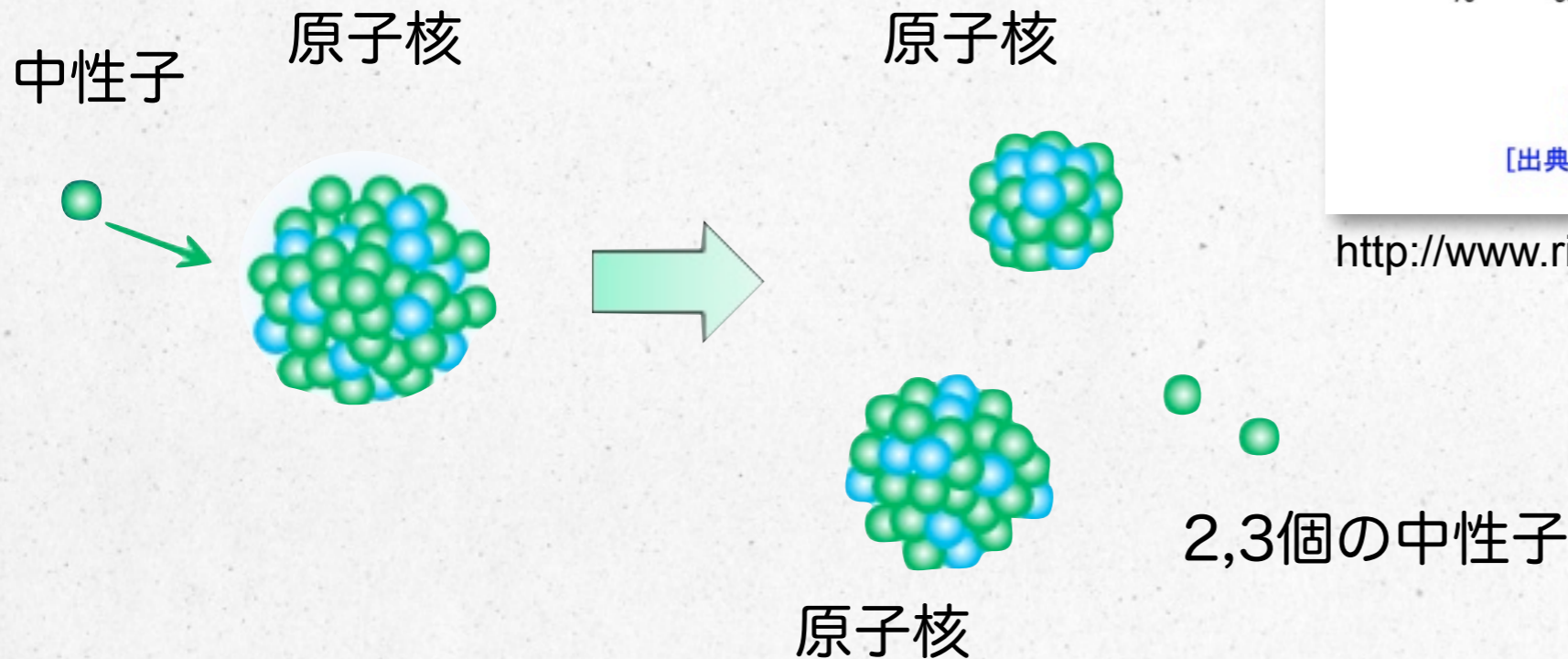


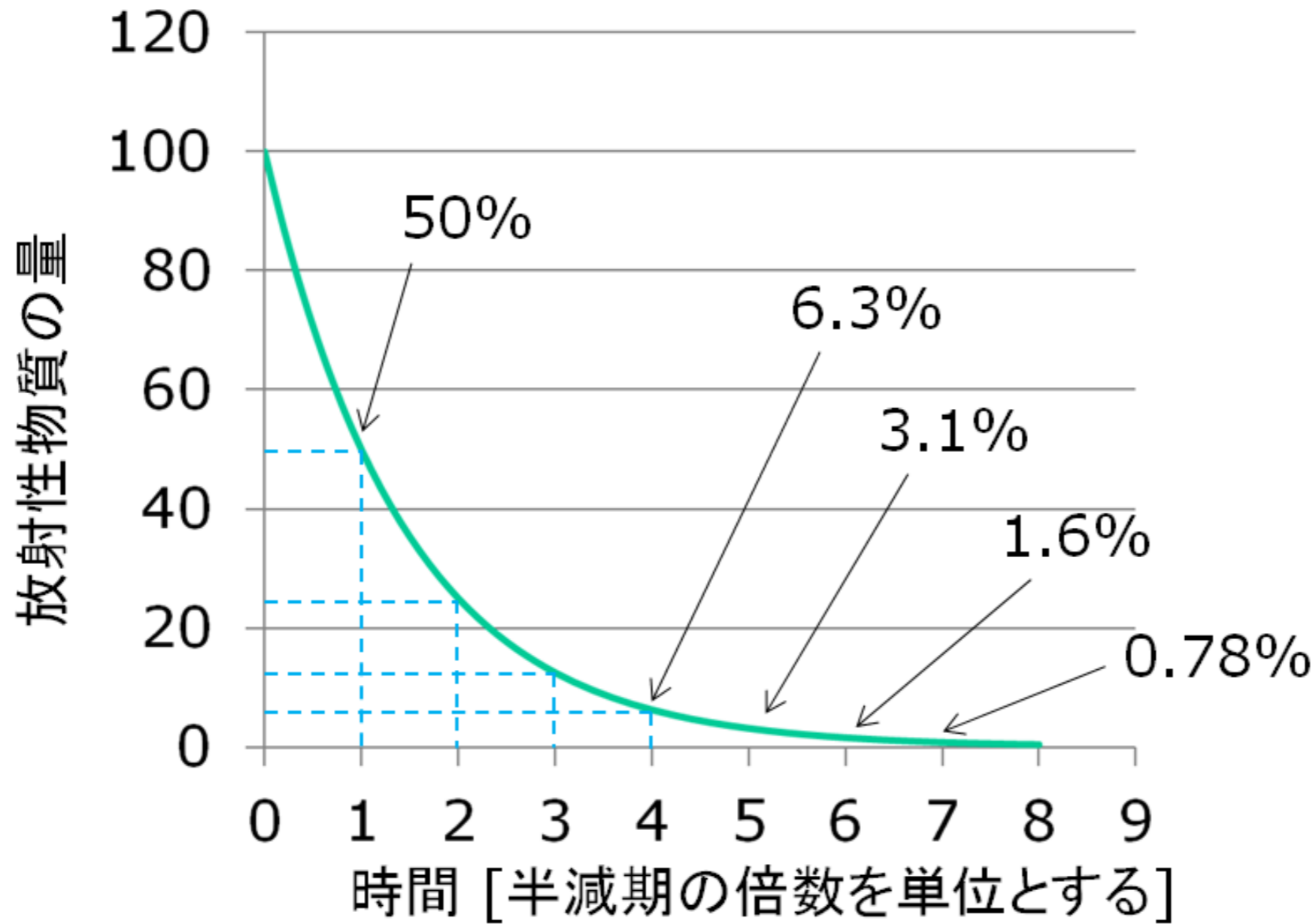
図1 核分裂生成物の質量数分布

[出典]W.マーシャル編:原子炉技術の発展(上)、裳華房、p.72

<http://www.rist.or.jp/atomica/data/pict/03/03060304/03.gif>

半減期

半減期分の時間が経過すると、
放射性物質の量が半分になる



放射性物質の性質

放射線を出すプロセス

極小の世界の現象： 100兆分の1 m (原子核の大きさ)

量子力学の世界 (=物事が確率現象として起きる)

反応のエネルギー

keV ~ MeV (千~百万 電子ボルト)のオーダー

比較：化学反応(=分子・原子間での電子のやりとり) は、約数eV

$$1 \text{ [eV]} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ [J]}$$

化学反応は、モル数 (6.02×10^{23} 個) の数のオーダーであることに注意

放射性物質の性質

化学反応では原子核は変わらない

錬金術が成り立たない理由

化学反応は、原子核の周りを回っている電子の状態が決める

電子がどこにいるか、何個いるか

当然、生物の力でも原子核は変わらない

「生物の力で放射性物質を別の物に変える」←あり得ない!!!

特定の元素を集める生物は存在する

期待ほどの効果無し：ヒマワリ、菜種による土壤中セシウム吸収（農水省の実験）

濃縮した放射性物質はどこに持って行く？

単位

Bq (ベクレル)

一秒間に一個の原子核が崩壊すること
放射能の単位

Sv (シーベルト)

放射線による生体への影響の強さを示す

外部被曝も内部被曝も同じシーベルト数なら同じ影響

^{134}Cs

2.07 年

$2.1 \times 10^{-14} \text{ g}$

^{137}Cs

30.1 年

$3.1 \times 10^{-13} \text{ g}$

^{40}K

12億8千万 年

$3.9 \times 10^{-6} \text{ g}$

^{134}Cs

2.07 年

2.1×10^{-14} g

^{137}Cs

30.1 年

3.1×10^{-13} g

^{40}K

12億8千万 年

3.9×10^{-6} g

半減期 と 1 Bq 相当の質量(g)

桁の記号

記号	読み方	漢数字	指数表示
P	ペタ	千兆	10^{15}
T	テラ	一兆	10^{12}
G	ギガ	十億	10^9
M	メガ	百万	10^6
k	キロ	千	10^3
		一	10
m	ミリ	千分の一	10^{-3}
μ	マイクロ	百万分の一	10^{-6}
n	ナノ	十億分の一	10^{-9}
p	ピコ	一兆分の一	10^{-12}

質問

放射性物質について

天然にあるもの

人工的に作られたもの

どちらが危険？

自然放射線

天然放射線

^{40}K 、ラドンなどから

宇宙線

地球上での典型的範囲

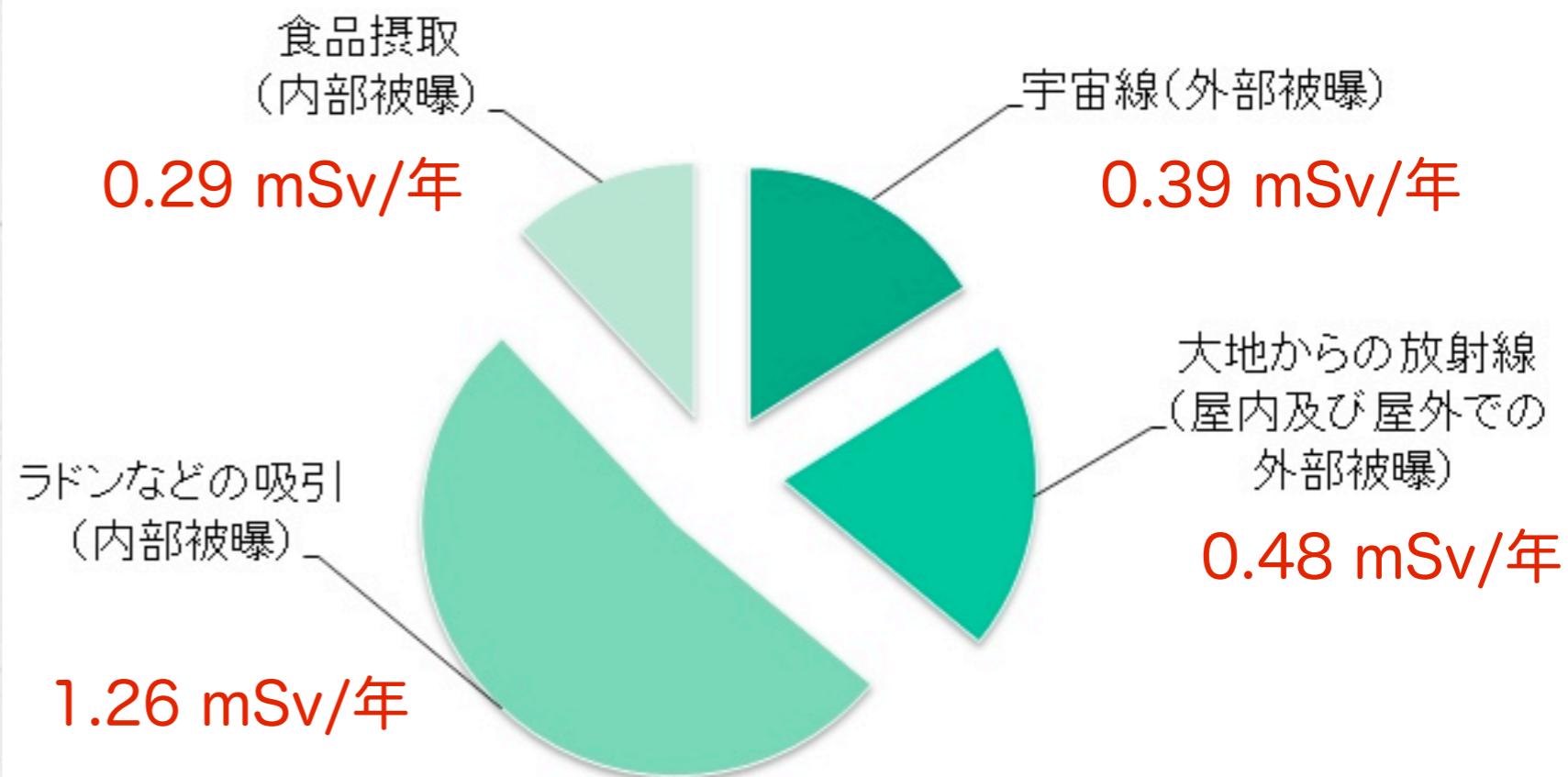
1~10 mSv/年

平均値 2.4 mSv/年

日本全国平均値

0.99 mSv/年

自然放射線による年間実効線量の世界的な値(国連科学委員会の推定)



数値の出典：http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=09-01-05-04

日本地域別の自然放射線

日本地質学会の
ウェブページより

西日本が高め



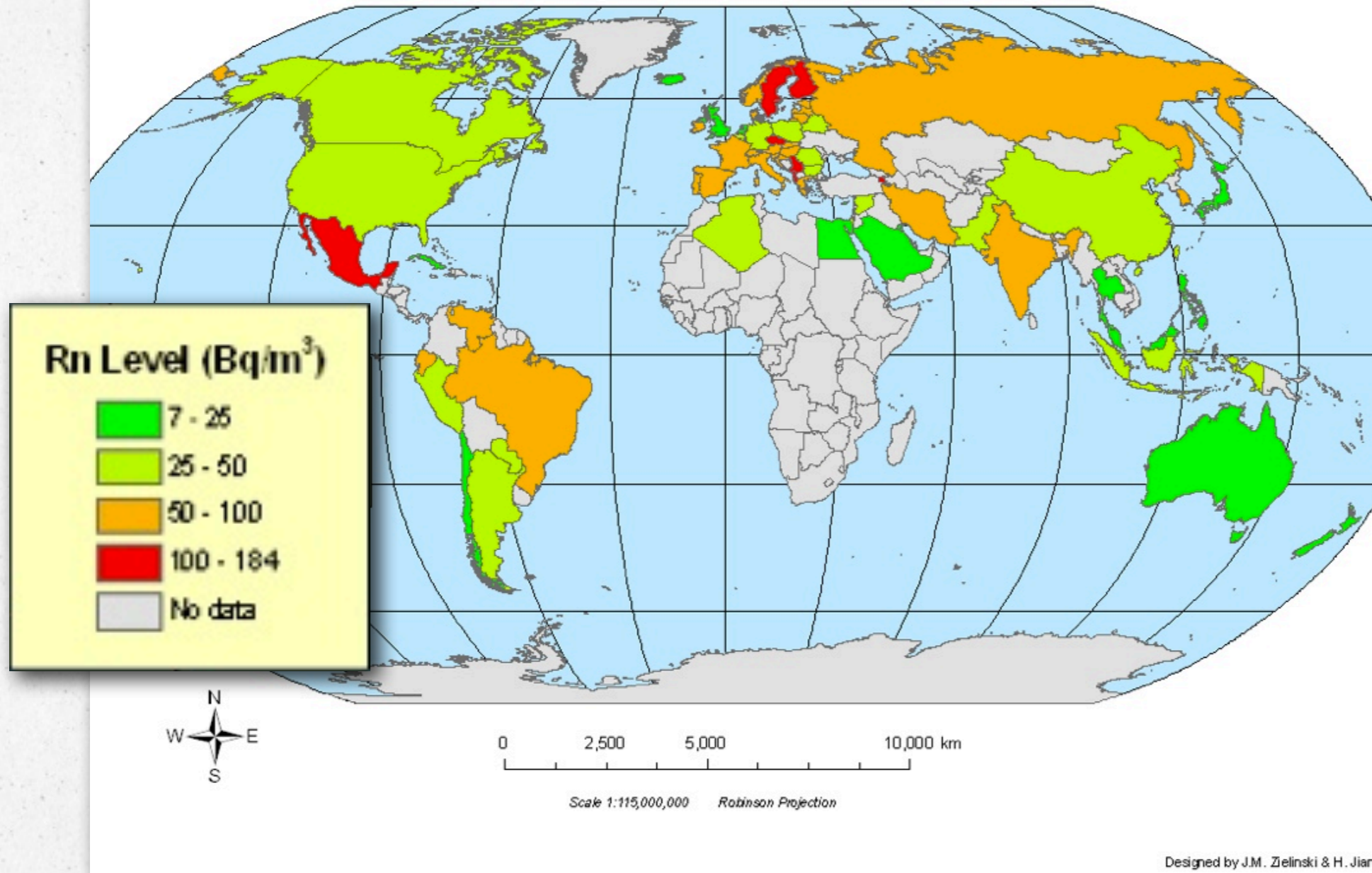
岩石の組成による



<http://www.geosociety.jp/hazard/content0058.html>

世界のラドン濃度マップ

Arithmetic Mean Radon Level by Country
(Based on Data up to 2007)

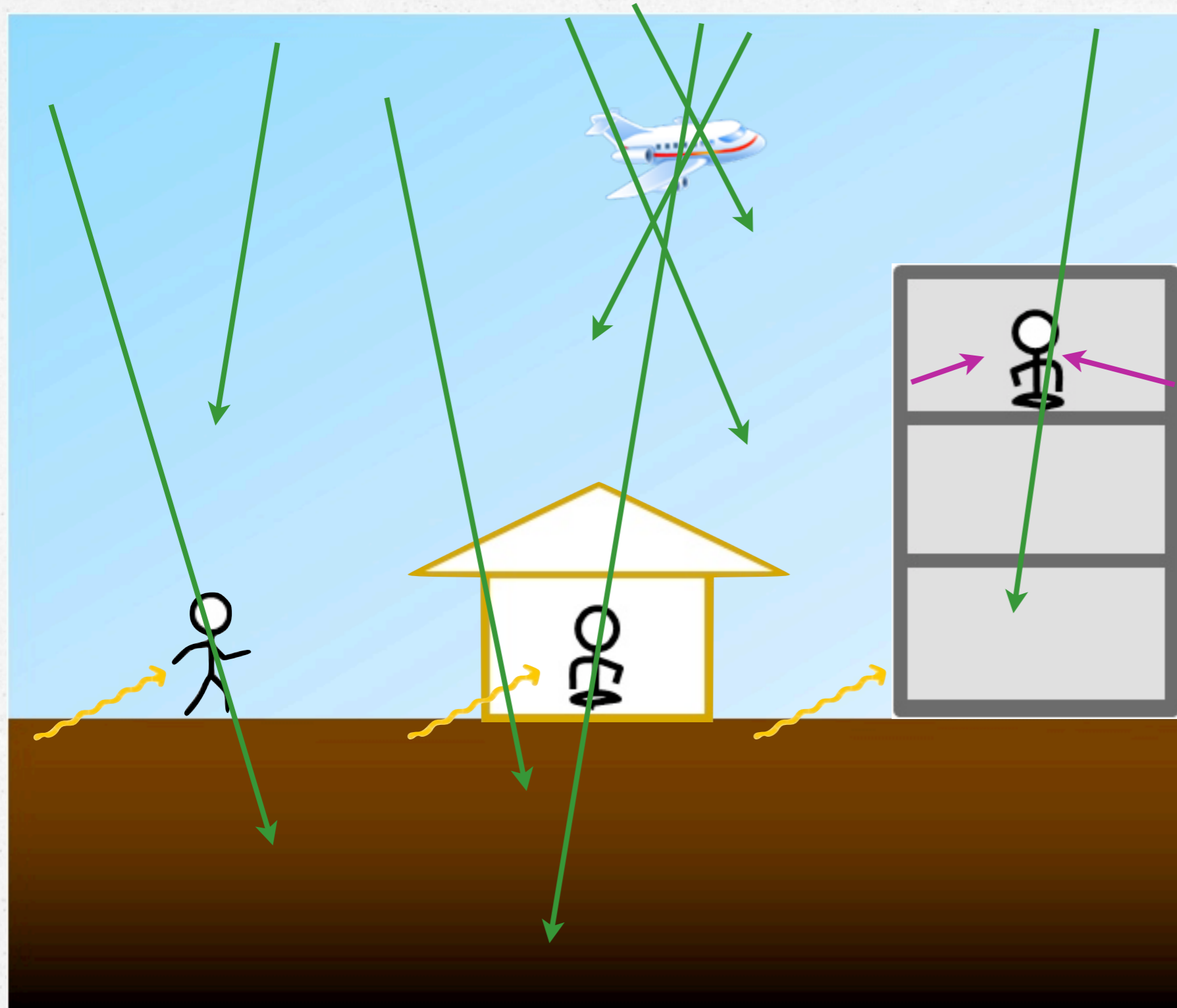


国毎の代表値。実際は地域によってばらつきがあること
既設や環境（閉じた床下や地下室）によっても変動に注意

http://www.mclaughlincentre.ca/research/map_radon/Index.htm より



通常さらされている放射線



宇宙線

^{40}K 等からの
ガンマ線

ラドンの吸引
 α 線内部被曝

体内には常に
 ^{40}K が約4000 Bq
 \Rightarrow 約0.17mSv/年

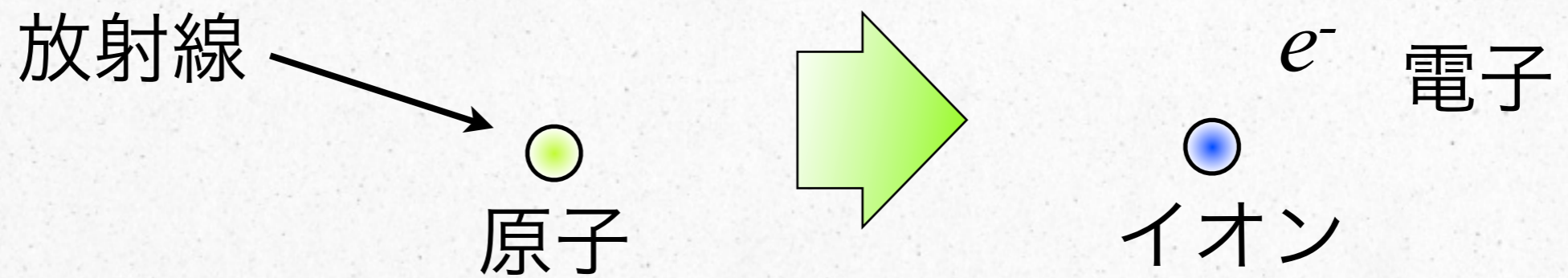
放射線と生体の反応

イオン化（電離）



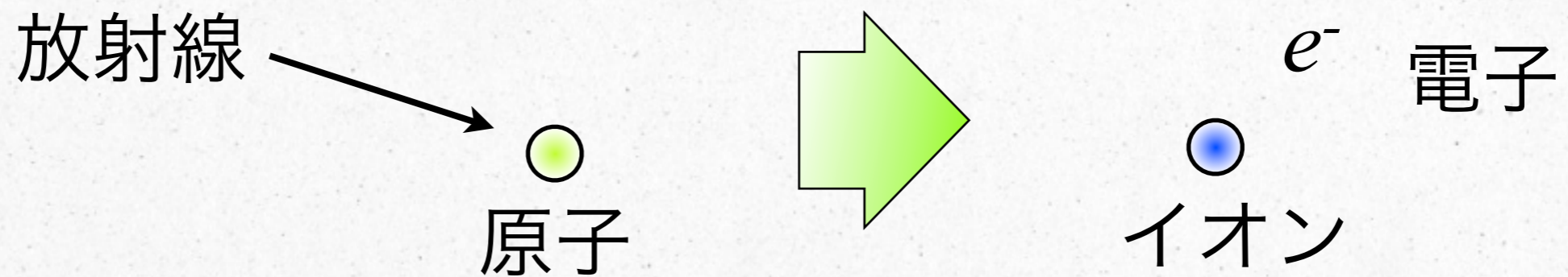
放射線と生体の反応

イオン化（電離）



放射線と生体の反応

イオン化（電離）



壊れる分子構造

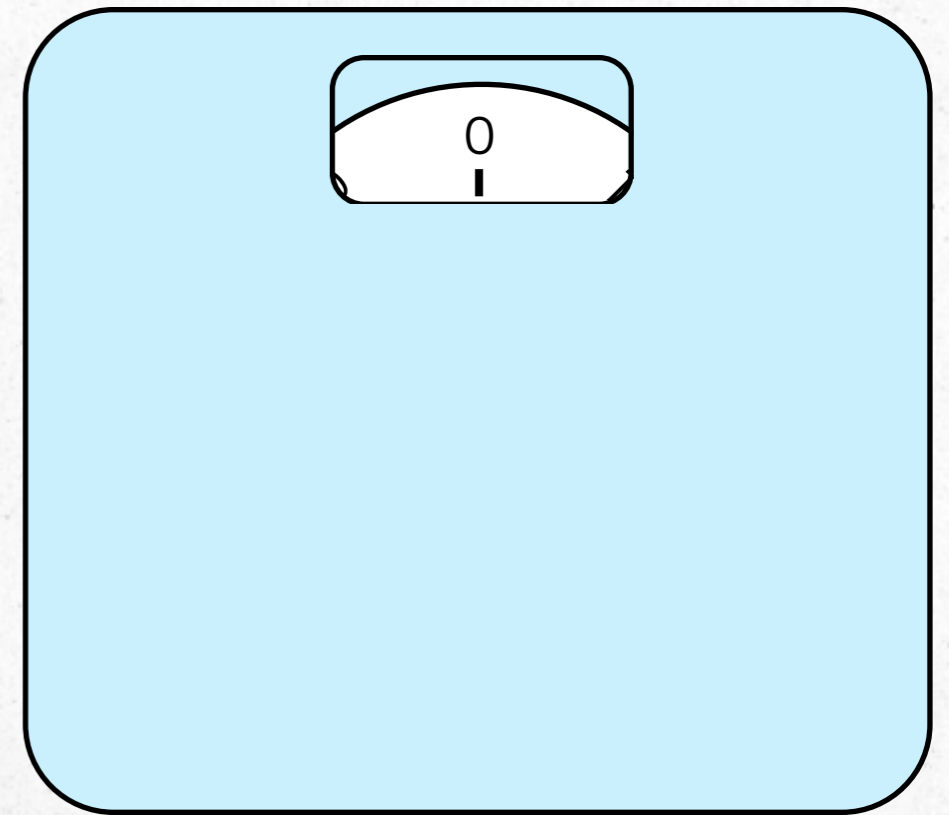
ラジカル(オゾンや過酸化酸素)の発生

測定



通常、我々が考える測定

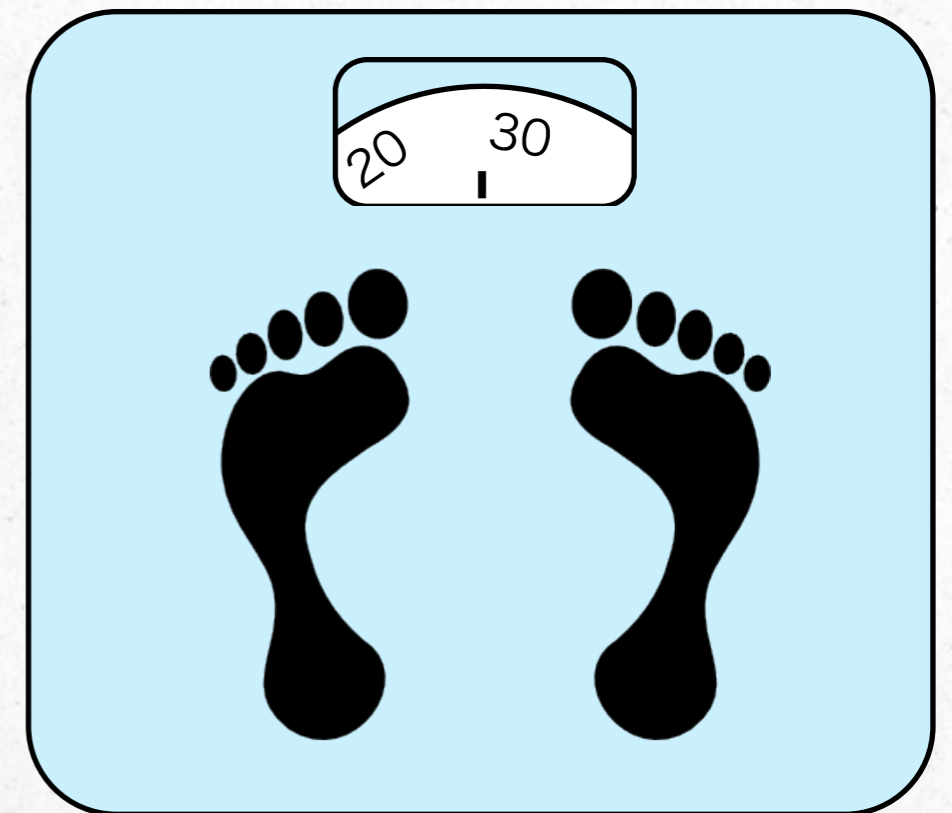
例えば体重測定



通常、我々が考える測定

例えば体重測定

体重計に乗るたびに数値が変わると、、、



通常、我々が考える測定

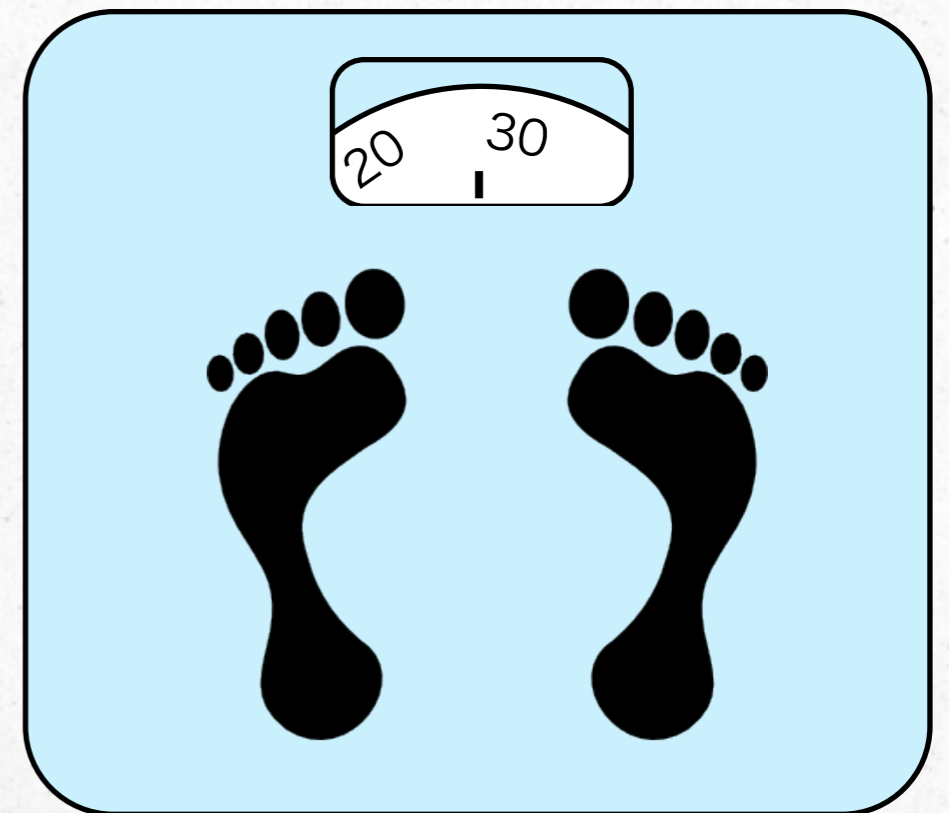
例えば体重測定

体重計に乗るたびに数値が変わると、、、

そんな
ばかな！

壊れてるに
違いない

役に立たないよ！



ゆれる

ゆれる

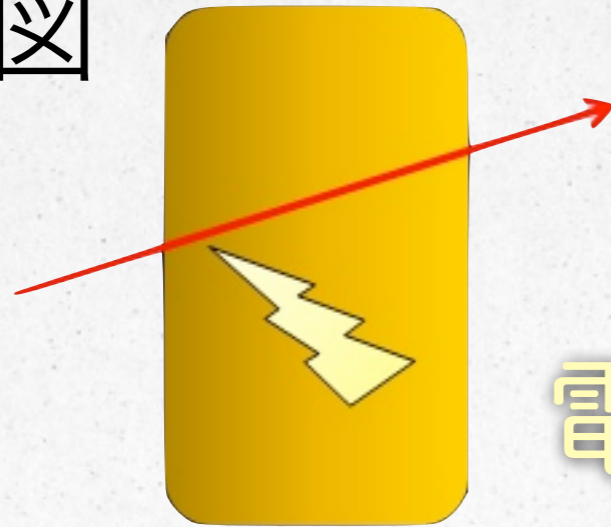
1 秒あたりの放射線の個数

ゆれる

1 秒あたりの放射線の個数

エネルギー—測定値

概念図



放射線が通過

電気パルス（信号）が発生

人間の考える理想

電気パルス = 元の放射線のエネルギーに一対一対応

現実（=自然界の法則）

放射線と物質の反応：確率的に起きる（量子力学の世界）

同じエネルギーの放射線が一つ通過したときにいつも同じ信号にならない
反応したり、しなかったりもする

ゆれる

ゆれる

放射線の放出
放射線と物質の反応

ゆれる

放射線の放出

放射線と物質の反応

確率で現象が起きる

量子力学の世界

カスレ



その前に
質問

微量の放射性物質を含む食品を とることについて

1. 絶対いやだ
2. 規制値以下なら気にしない
3. 一回位なら規制値の倍でも気にしない

どの意見に一番近いですか？

正しい答えは

正しい答えは
ありません

個人の価値観は
自然科学では答えられない

しかし

判断の基準となる
数値を示すことは出来る

数値を知る

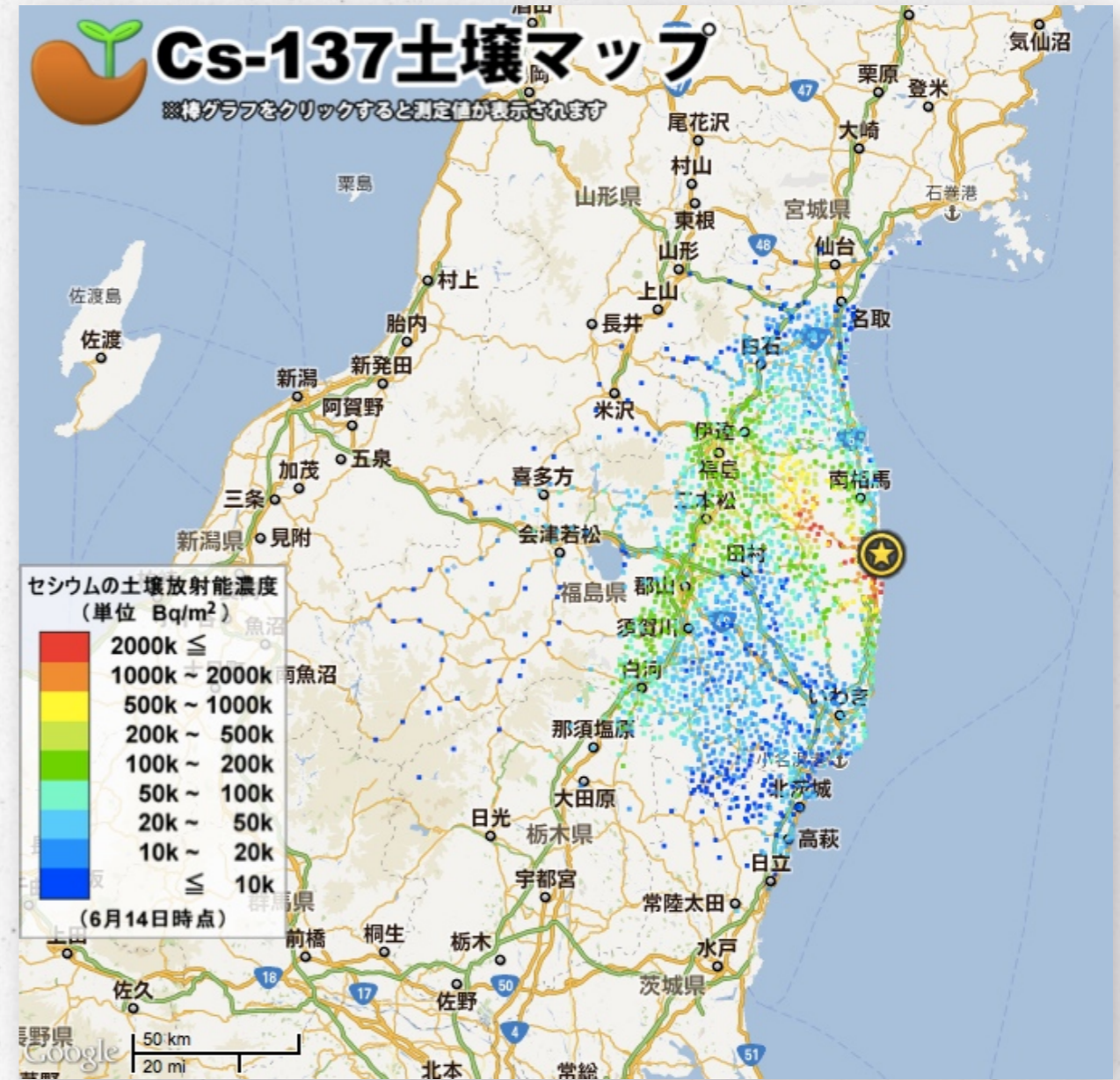
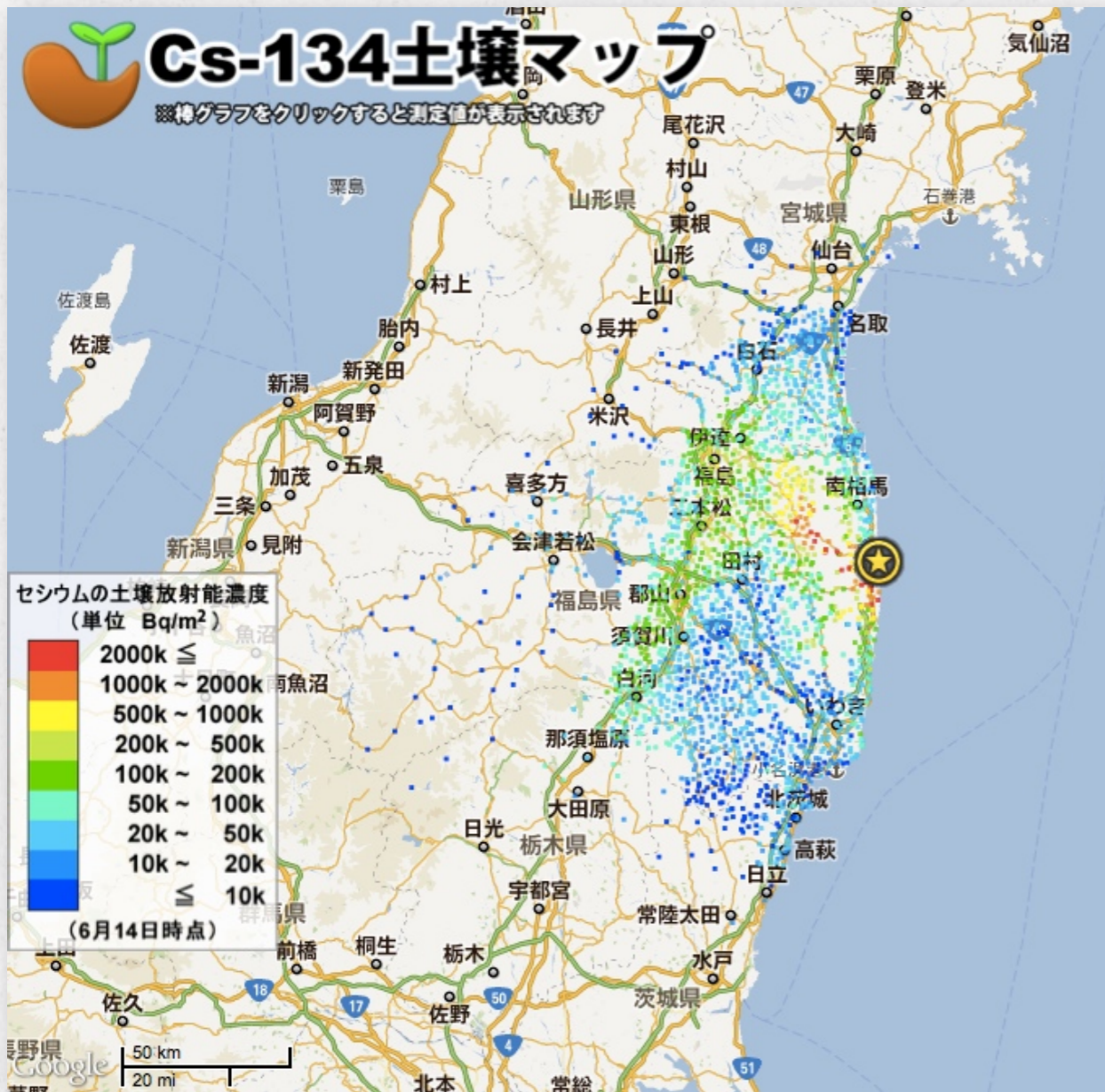


知彼知己
百戰不殆
不知彼而知己
一勝一負
不知彼不知己
每戰必殆

知彼知己
百戰不殆
不知彼而知己
一勝一負
不知彼不知己
每戰必殆

孫子より

土壌測定



福島第一原子力発電所周辺の「放射線量等分布マップ作成」プロジェクト

国内の多くの研究者の協力を得て、6-7月に土壌採取、7-8月にガンマ線の測定。

土壌の採取には大阪大学とJAEAが中心となり、東北大を含む94の大学等研究協力機関と民間企業3社から409人の科学者等が参加。

<http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/dojo/>

放射線の生体への影響

確定的影響

確率的影響

放射線の生体への影響

確定的影響

ある放射線量を超えると現れると考えられている
がん・遺伝的影響以外

皮膚障害、白内障、組織障害、個体死等

確率的影響

DNAが少しずつ傷つくことで、後から出てくる
と考えられている影響

ある値を超えたら危険

ある値以下なら安全

確率的影響

~~ある値を超えたら危険~~

~~ある値以下なら安全~~

確率的影響

~~ある値を超えたら危険~~

~~ある値以下なら安全~~

閾値なし・線形モデルを採用

国際放射線防護委員会の勧告

確率的影響

~~ある値を超えたら危険~~

~~ある値以下なら安全~~

閾値なし・線形モデルを採用

国際放射線防護委員会の勧告

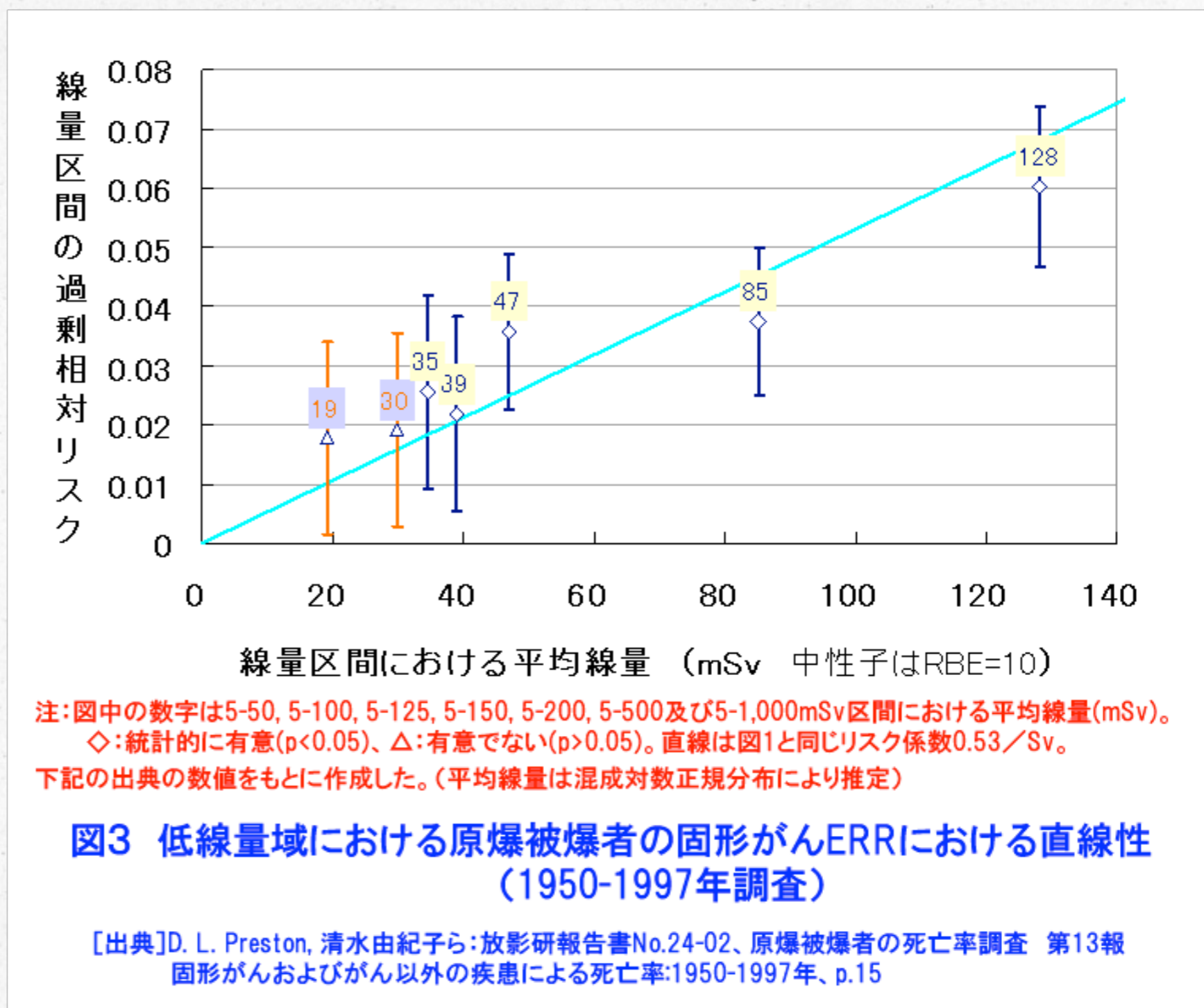
放射線被曝

社会的・経済的要因を考慮に入れながら
合理的に達成できる限り低くする

リスクの見積もり

確率的影響

原爆被害者 への調査から



図の出展: 「放射線のリスク評価」

http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=09-02-03-06

ERR: Excess Relative Risk, 過剰相対リスク



放射線のリスク評価

ICRP(国際放射線防護委員会)の考え方

放射性への生体への確率的影響

線量の増加に応じて増えている

しかし、1 Sv 以下では、その形が正確にどうなっているかは統計誤差も大きく不明

リスクの増加は、放射線量に比例すると“仮定”

閾値なし・線形モデル (Linear, Non Threshold (LNT) model)

LNTモデルによる評価 (ICRP1990勧告)

致死性の発癌率の増加を、1000 mSv あたり、5% と評価

自然・医療被曝以外の「追加」被曝は年 1mSvが望ましいと勧告

このリスクは他のリスクに比べて大きいのか

タバコによるがんのリスク： 男性(女性)の非喫煙者の2(1.6)倍

出展： 国立がん研究センター http://ganjoho.jp/public/pre_scr/cause/smoking.html

ただし、平均的個人は存在しない

内部被曝の評価

核種ごとに評価

元素によって体内に蓄積される場所が違う

ヨウ素：甲状腺

セシウム：全身（主に筋肉）、カリウムと同じ場所に蓄積される

ストロンチウム：骨

代謝によって体外に排出される影響も考慮

摂取後50年後（乳児・幼児は70歳まで）までの全被曝量を評価
＝ 預託線量

福島第一原発から放出された放射性物質

ヨウ素：半減期8日なので現在は土壌中には殆どない

セシウム： ^{134}Cs （半減期約2年）と ^{137}Cs （半減期約30年）

2011年4月時点での土壌中のベクレル比は、おおよそ1:1

ストロンチウム：地表には殆ど降っていない（セシウムの1/2000～1/4000）

文部科学省の調査 2011/9/30, http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/6000/5048/24/5600_0930_n.pdf

幼児が外で遊んでいる場合のリスクの見積もり

東北大青葉山キャンパス 2012年6月の土壌

Cs134: 250 Bq/kg

Cs137: 250 Bq/kg

毎日1 g の土が口に入り飲み込んだと仮定。

それぞれのセシウムは、

年間 $250 \times 0.001 \times 365 = 91.25$ Bq。

実効線量は、

$91.25 \times 0.013 + 91.25 \times 0.010 =$

$1.18625 + 0.9125 = 2.1$ [μ Sv]

食物による内部被曝の世界平均

一年あたり 0.29 mSv = 290 μ Sv

100分の1弱だけリスクが増えたことに相当

私（金田）はこの100分の1弱のリスク増は気にしない

自分の子供が外で遊ぶことを止めさせていないし、マスクもさせていない

出典: <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001558e-img/2r98520000015cfn.pdf>

注: 元のデータの換算係数は、mSv/Bqですが、ここでは μ Sv/Bqになおしています。

別表4 経口摂取による実効線量及び甲状腺等価線量への換算係数

核種	線量係数 [μ Sv/Bq]				
	乳児	幼児	少年	青年	成人
Sr-89	0.036	0.0089	0.0058	0.0040	0.0026
Sr-90	0.23	0.047	0.060	0.080	0.028
I-131	0.14	0.075	(0.038)	(0.025)	0.016
I-133	0.038	0.017	(0.0072)	(0.0049)	0.0031
Cs-134	0.026	0.013	0.014	0.019	0.019
Cs-137	0.021	0.010	0.010	0.013	0.013
U-234	0.37	0.088	0.074	0.074	0.049
U-235	0.35	0.085	0.071	0.070	0.047
U-238	0.34	0.080	0.068	0.067	0.045
Pu-238	4.0	0.31	0.24	0.22	0.23
Pu-239	4.2	0.33	0.27	0.24	0.25
Pu-240	4.2	0.33	0.27	0.24	0.25
Pu-241	0.056	0.0060	0.0050	0.0050	0.0050
Pu-242	4.0	0.32	0.26	0.23	0.24

半減期: 28.90年
半減期: 8.02日

半減期: 2.06年
半減期: 30.07年

核種	等価線量(甲状腺)				
	乳児	幼児	少年	青年	成人
I-131	2.8	1.5	(0.76)	(0.50)	0.32
I-133	0.73	0.33	(0.14)	(0.093)	0.059

ICRP-56(1989),- 67(1993),-69(1995),- 72(1996)より引用。()内の数値はICRP-72(1996)及び「環境放射線モニタリングに関する指針」(平成12年8月一部改訂2000)を基に年齢補正を行った試算値。

(出典:平成12年度厚生科学特別研究「原子力施設の事故等緊急時における食品中の放射能の測定と安全性評価に関する研究」)

<http://lambda.phys.tohoku.ac.jp/~kaneta/> 左側のメニューから「備忘録」のページへ行き

「経口摂取による実効線量および甲状腺透過線量への換算係数の抜粋」の下行の「[グーグル・ドキュメントのスプレッドシート](#)」のリンク



放射性物質について

性質 測定 リスク

科学的

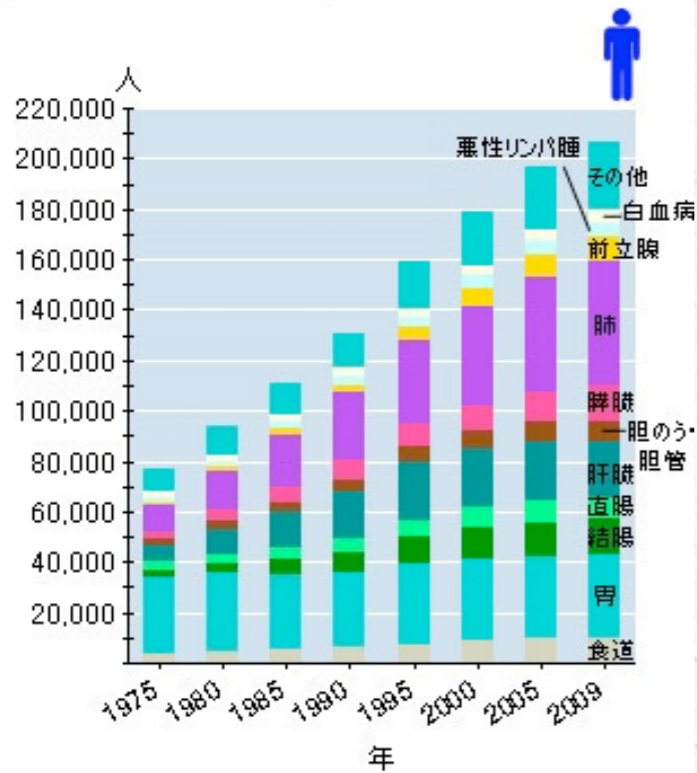
とは？

自然科学に限定して考える

- データに基づく
 - 定量的
 - 再現性が必要
 - 条件を変えても起きるか？
 - 因果関係の立証
 - 統計学的に有意か？
- 実験・観測と理論
 - データから仮定・モデルを立てる
 - モデルが他の現象を再現するか（予言能力）

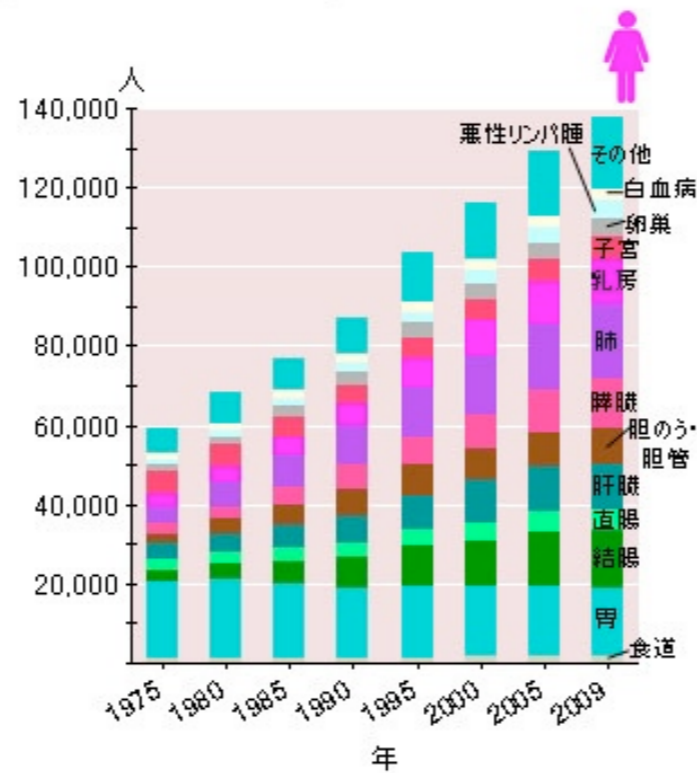
因果関係：統計に御用心

部位別がん死亡数の推移
(男性)
[全年齢 複数年]



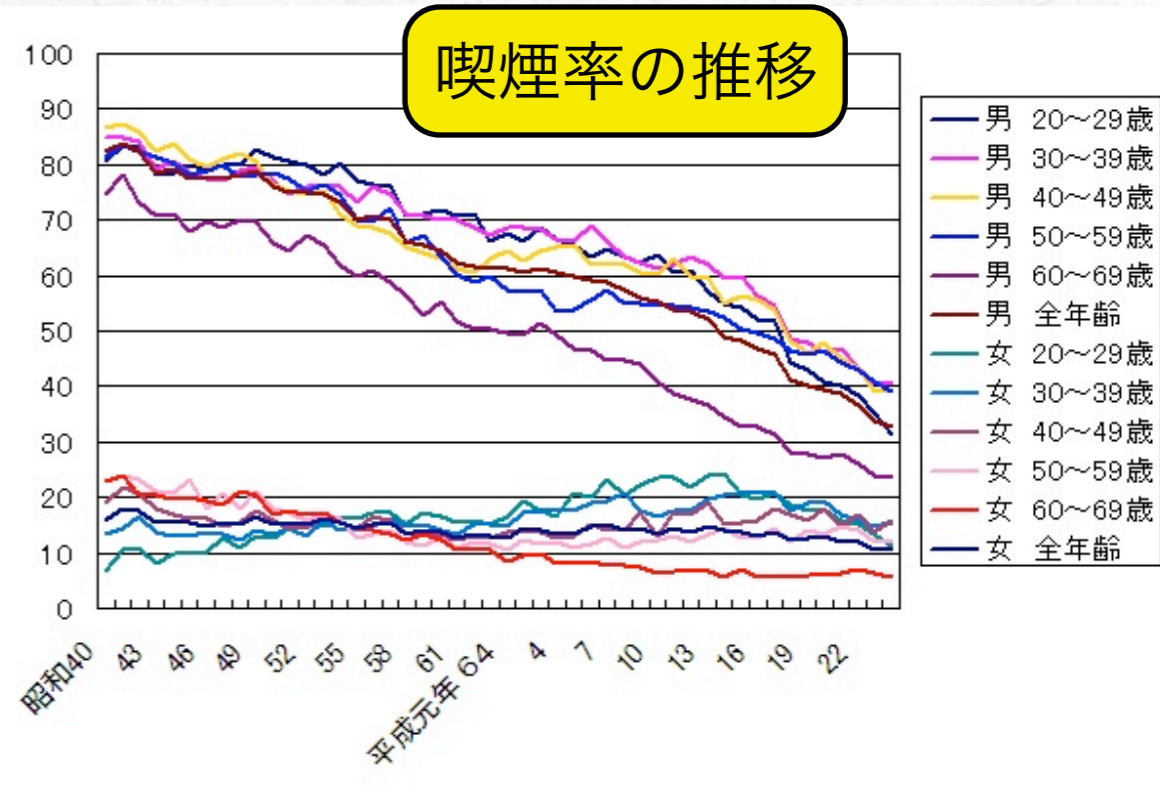
資料: 独立行政法人国立がん研究センターがん対策情報センター
Source: Center for Cancer Control and Information Services,
National Cancer Center, Japan

部位別がん死亡数の推移
(女性)
[全年齢 複数年]



※子宮は、子宮頸部および子宮体部の他に「子宮部位不明」を含む。
資料: 独立行政法人国立がん研究センターがん対策情報センター
Source: Center for Cancer Control and Information Services,
National Cancer Center, Japan

<http://www.health-net.or.jp/tobacco/product/pd090000.html>
公益財団法人 健康・体力作り事業財団のページより

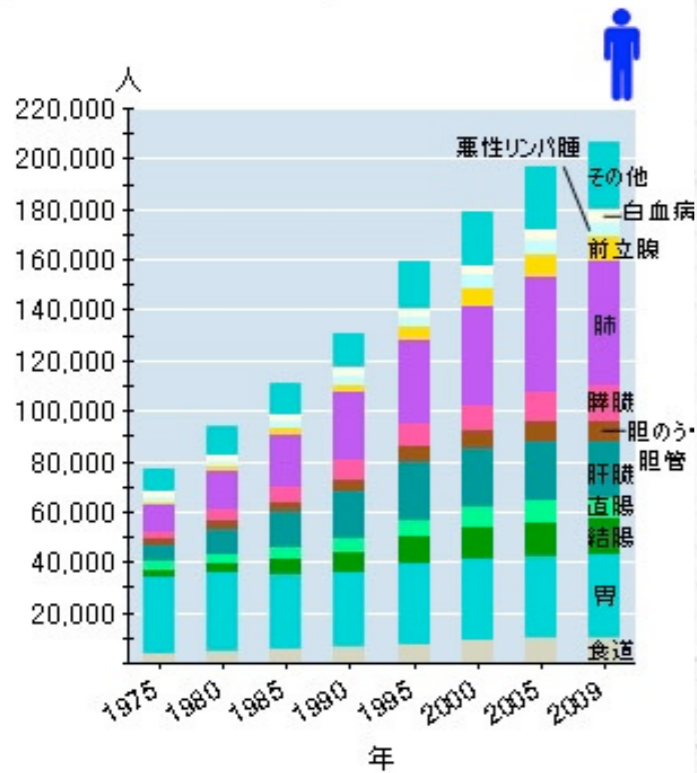


<http://ganjoho.jp/public/statistics/pub/statistics02.html> より

- 喫煙率が減少すると、ガン死亡率が増加？

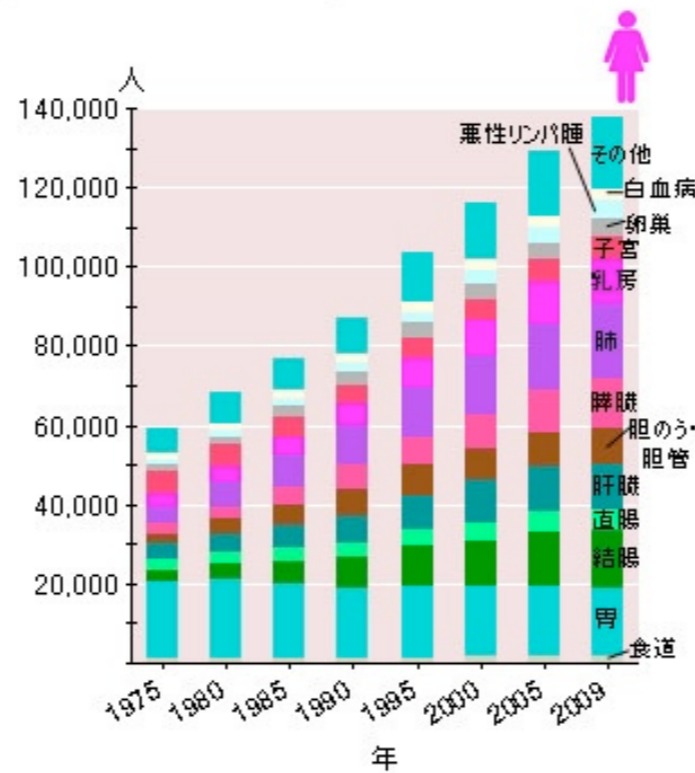
因果関係：統計に御用心

部位別がん死亡数の推移
(男性)
[全年齢 複数年]



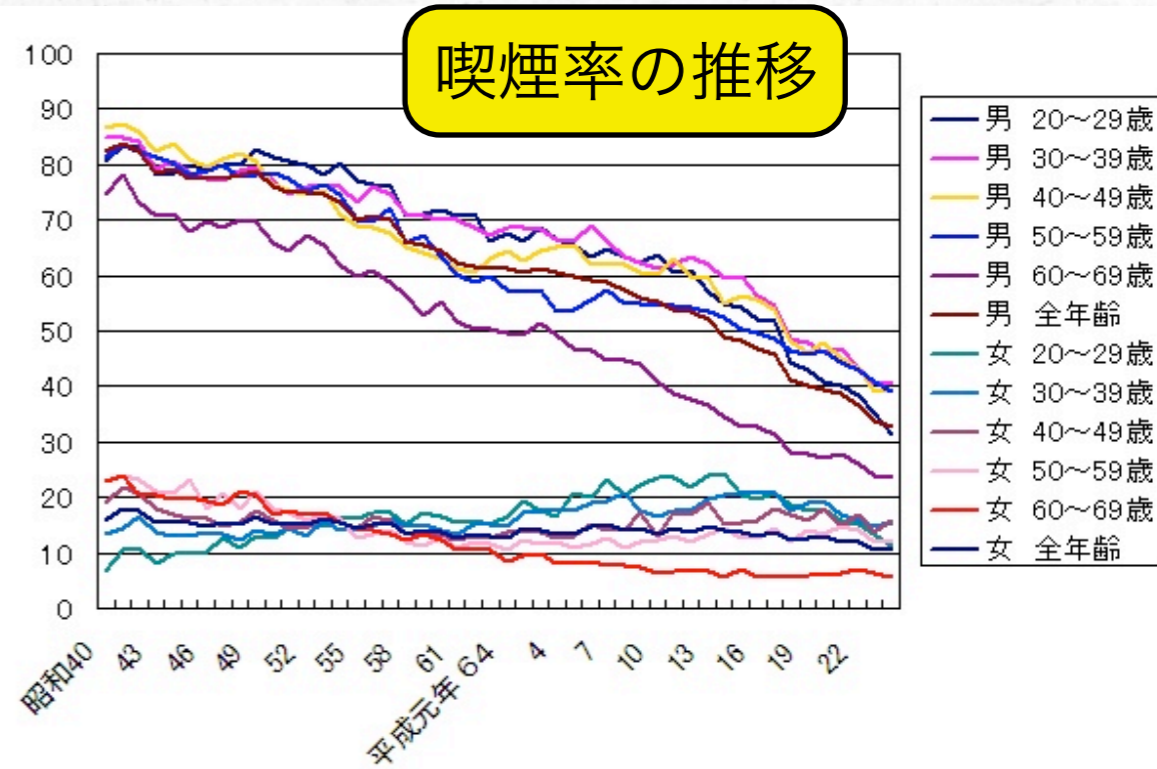
資料: 独立行政法人国立がん研究センターがん対策情報センター
Source: Center for Cancer Control and Information Services,
National Cancer Center, Japan

部位別がん死亡数の推移
(女性)
[全年齢 複数年]



※子宮は、子宮頸部および子宮体部の他に「子宮部位不明」を含む。
資料: 独立行政法人国立がん研究センターがん対策情報センター
Source: Center for Cancer Control and Information Services,
National Cancer Center, Japan

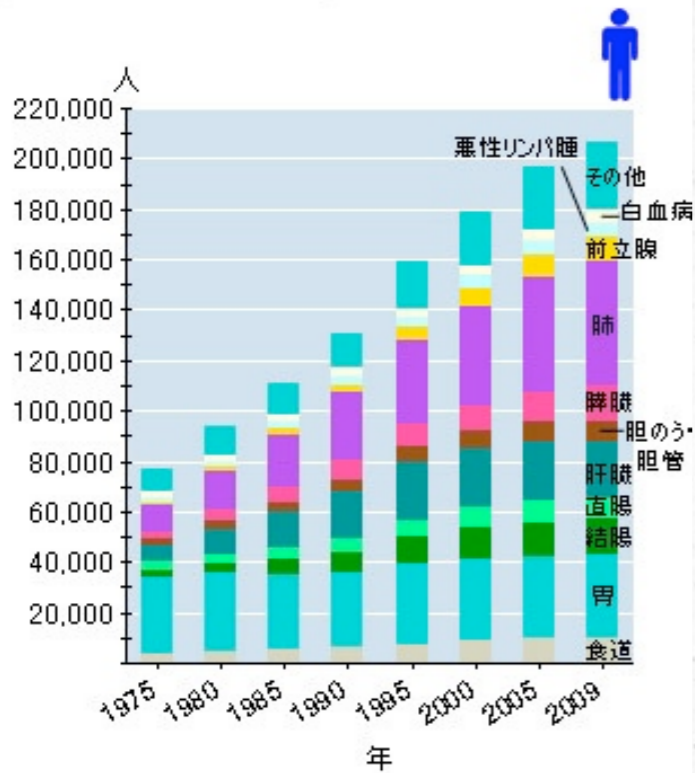
<http://www.health-net.or.jp/tobacco/product/pd090000.html>
公益財団法人 健康・体力作り事業財団のページより



<http://ganjoho.jp/public/statistics/pub/statistics02.html> より

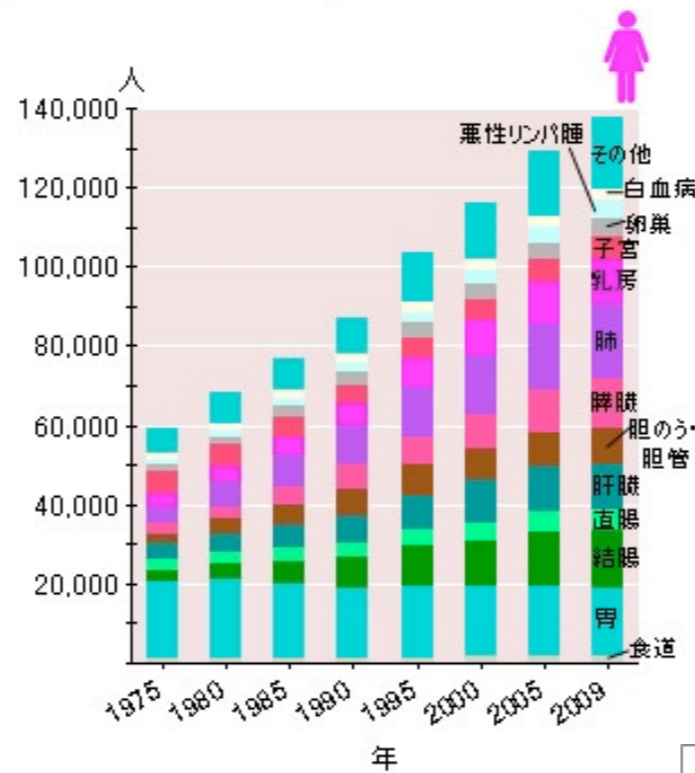
- 喫煙率が減少すると、ガン死亡率が増加？
- この二つは恣意的な組み合わせ

部位別がん死亡数の推移
(男性)
[全年齢 複数年]



資料: 独立行政法人国立がん研究センターがん対策情報センター
Source: Center for Cancer Control and Information Services,
National Cancer Center, Japan

部位別がん死亡数の推移
(女性)
[全年齢 複数年]

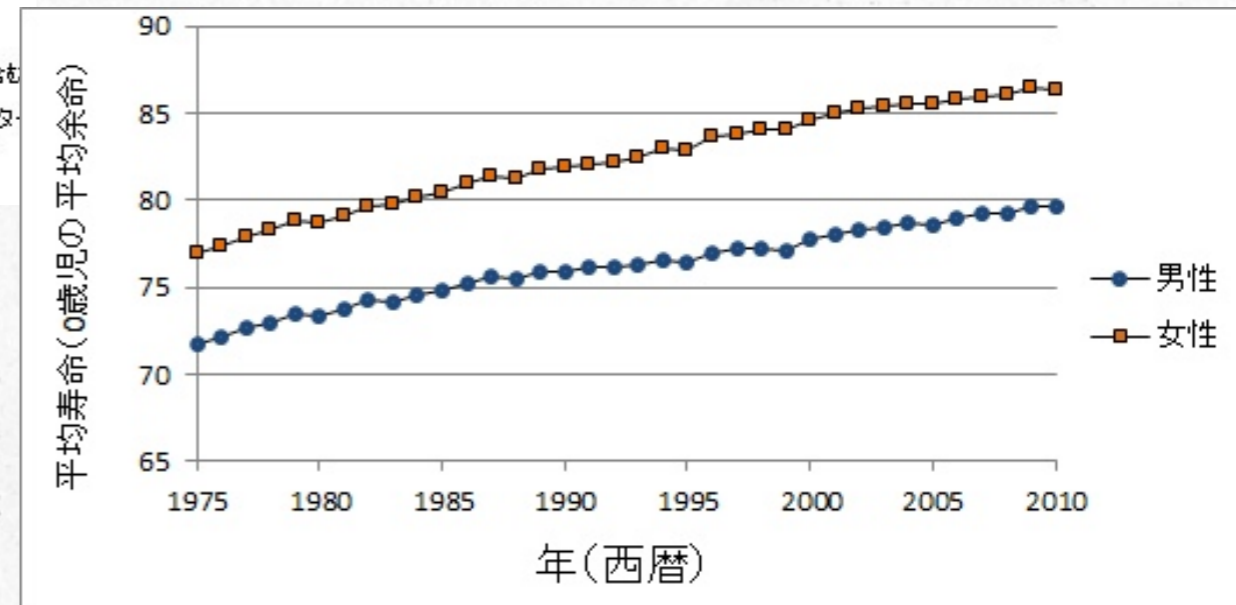


※子宮は、子宮頸部および子宮体部の他に「子宮部位不明」を含む
資料: 独立行政法人国立がん研究センターがん対策情報センター
Source: Center for Cancer Control and Information Services,
National Cancer Center, Japan

● ガン死亡率増加

- 平均余命が延びたからと
考えられている
- ガン以外の病気で死亡し
なくなった

<http://ganjoho.jp/public/statistics/pub/statistics02.html> より



<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/life10/sankou02.html>
のデータを元に金田が作図



科学のようなもの

占星術

永久機関

ゲーム脳

錬金術

血液型性格診断

水からの伝言

マイナスイオン

ホメオパシー

ゲルマニウム健康法

EM菌（有用微生物群）

特徴

- ・データに基づいている様だが再現性がない、あるいは恣意的に利用
- ・科学用語を使って説明しているが、内容が荒唐無稽

新聞の見出しから

- 甲状腺がん 確定12人に 福島県民18歳以下 (産経新聞 2013/6/4)
- 甲状腺がんの子、12人に 福島県調査被曝影響は否定 (朝日新聞 2013/6/5)
- 甲状腺がん新たに9人 福島県調査、計12人に (共同通信 2013/6/5)
- 18歳以下 甲状腺がん12人...福島県内、17万5000人を検査 (読売新聞 2013/6/6)
- 福島第1原発事故 福島の子供、12人が甲状腺がん 疑い15人--事故時に18歳以下 (毎日新聞 2013/6/7)

新聞の見出しから

- 甲状腺がん 確定12人に 福島県民18歳以下 (産経新聞 2013/6/4)
- 甲状腺がんの子、12人に 福島県調査被曝影響は否定 (朝日新聞 2013/6/5)
- 甲状腺がん新たに9人 福島県調査、計12人に (共同通信 2013/6/5)
- 18歳以下 甲状腺がん12人...福島県内、17万5000人を検査 (読売新聞 2013/6/6)
- 福島第1原発事故 福島の子供、12人が甲状腺がん 疑い15人--事故時に18歳以下 (毎日新聞 2013/6/7)

これら見出しの
印象は？

レトリックに注意

- 一見公平に見える（数字が示してある）
 - 朝日新聞以外の見出しは「あった」という情報しかない
- 問題点
 - 比較対象がない
 - 18歳以下に対して大規模かつ精度の高い調査は世界初の試み（環境省）
 - そもそも甲状腺がんの発生率は？
 - 被曝した可能性の無い母集団との比較は？

レトリックに注意

- 一見公平に見える（数字が示してある）
 - 朝日新聞以外の見出しは「あった」という情報しかない
- 問題点
 - 比較対象がない
 - 18歳以下に対して大規模かつ精度の高い調査は世界初の試み（環境省）
 - そもそも甲状腺がんの発生率は？
 - 被曝した可能性の無い母集団との比較は？

「ふくしま国際医療科学センター」の甲状腺検査の結果, 2013/01

http://fukushima-mimamori.jp/thyroid-examination/result/media/thyroid_status_201301.pdf

5.1mm 以上のしこりが94975人中549人に見つかった。

環境省 福島県外3県における甲状腺有所見率調査結果について（お知らせ）, 2013/3/29

<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=16520>

長崎市、甲府市、弘前市、4365人に対する調査で、甲状腺検査の結果5.1mm以上のしこりが44人の子供に見つかった。

よくある言動

「科学は絶対じゃない」

確かに。だけどその対象は科学で扱うべきもの？

だからといって、長い間確かめられてきたものを否定出来るほどの証拠は？

科学に関わっている人は、科学が絶対だなんて言っていませんが。。。

「専門家（科学者は）は

安心か危険かはっきり言って欲しい」

絶対安全、絶対危険というものは存在しない

通常色々な条件に依存

交通事故にあったり、病気になる確率はゼロ？

過剰に安全を求めるとかえって不利益が生じる

理解と納得の違い

科学コミュニケーションの問題としては、理屈を理解してもらうところまでは目指せても、「納得」は個人の気持ちなので、目指しようがないということ。もうひとつは。自分がその当事者である場合です。

自分自身が「理解しているが、納得はできていない」という状態にあるのではないかと疑ってみるのは、よい練習問題になるでしょう。納得はできないが、理屈ではそうなのだから仕方ない、と理屈と気持ちのあいだに折り合いがつけられればよいのだと、僕は考えています。いや、もちろん、それも難しいことなのですが、少なくともその二つは違うのだと頭に入れておくのは重要でしょう。

『もうダマされないための「科学」講義』

1章 科学と科学でないもの 菊池誠

光文社新書 63p より引用

科学的とは？

自分でも
考えてみて下さい。

付録



放射性物質と 放射線

1 Bq の放射性物質が何グラムになるか

$$2.40 \times 10^{-24} \times \text{質量数} \times \text{半減期[秒]}$$

セシウム 1 3 7 (^{137}Cs) の半減期は 30.1 年
($=30.1 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 = 949233600 \approx 9.49 \times 10^8$ [秒])

この計算式は <http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/housha/details/BqGySv.html> から引用



指数表示

掛け算が簡単になる

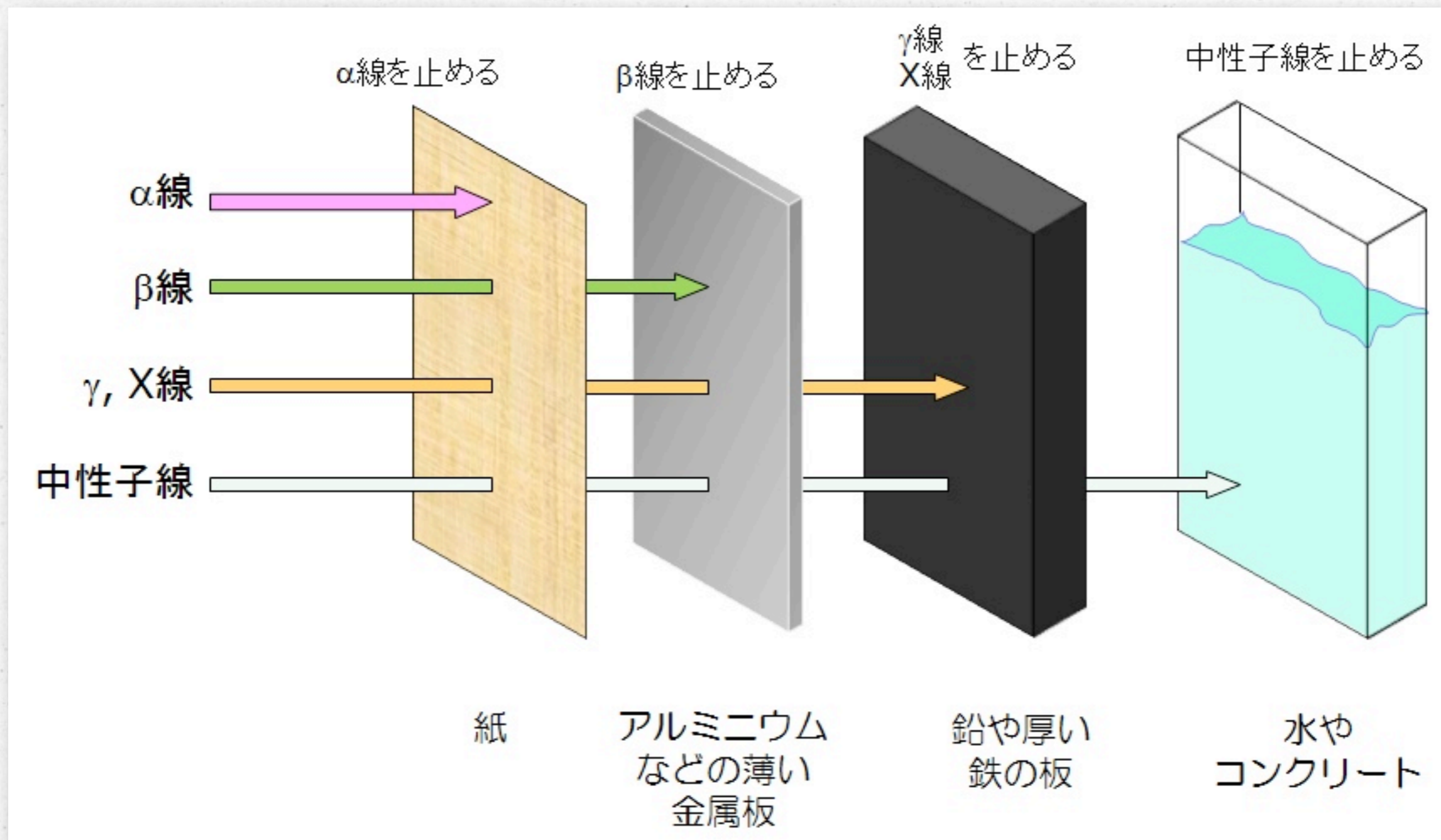
$$50200000000 \times 230000$$



$$\begin{aligned} & 5.02 \times 10^{10} \times 2.3 \times 10^5 \\ &= 5.02 \times 2.3 \times 10^{10} \times 10^5 \\ &= 5.02 \times 2.3 \times 10^{10+5} \\ &= 11.546 \times 10^{16} = 1.1546 \times 10 \times 10^{16} \\ &= 1.1546 \times 10^1 \times 10^{16} = 1.1546 \times 10^{1+16} \\ &= 1.1546 \times 10^{17} \end{aligned}$$

桁の数を最初から数えて計算している

放射線の遮蔽



天然に存在する放射性物質

・カリウム40

半減期：12.77億年、地球が出来る以前から存在している
天然カリウムの中に0.0117%の割合で存在

天然カリウム1gあたり30.4 Bqの放射能を持つ
成人で体内に数千Bqある

カリウムは、生物にとって必須元素

カリウム不足は、高血圧、低カリウム血症等を起こす

1年あたり165 μSv の内部被曝と評価されている

・炭素14

宇宙線による生じた中性子が窒素に吸収されて生成される
1年あたり10 μSv の内部被曝と評価されている

・ラドン及びその娘核種

よく知られているのは温泉

花崗岩に多く含まれている

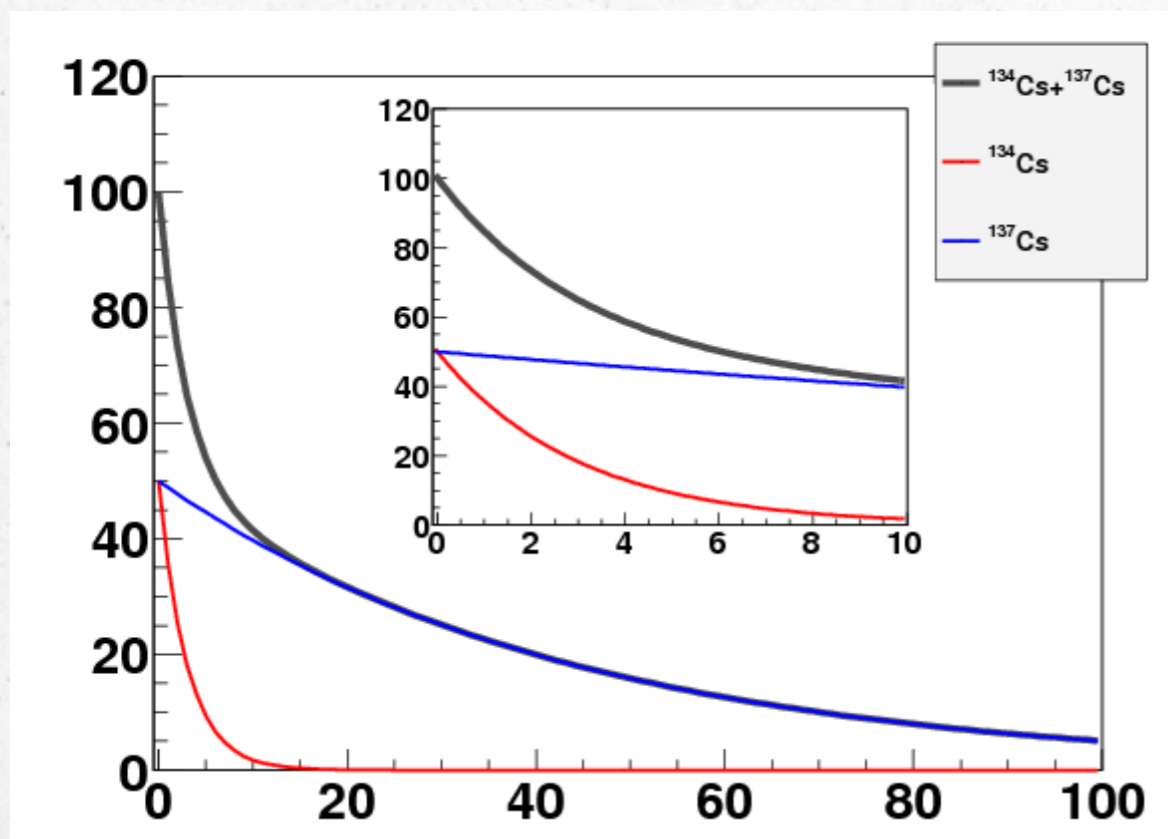
呼吸による内部被曝の主な原因（肺がんのリスク要因の一つ）

日本は世界平均よりも少ないレベル

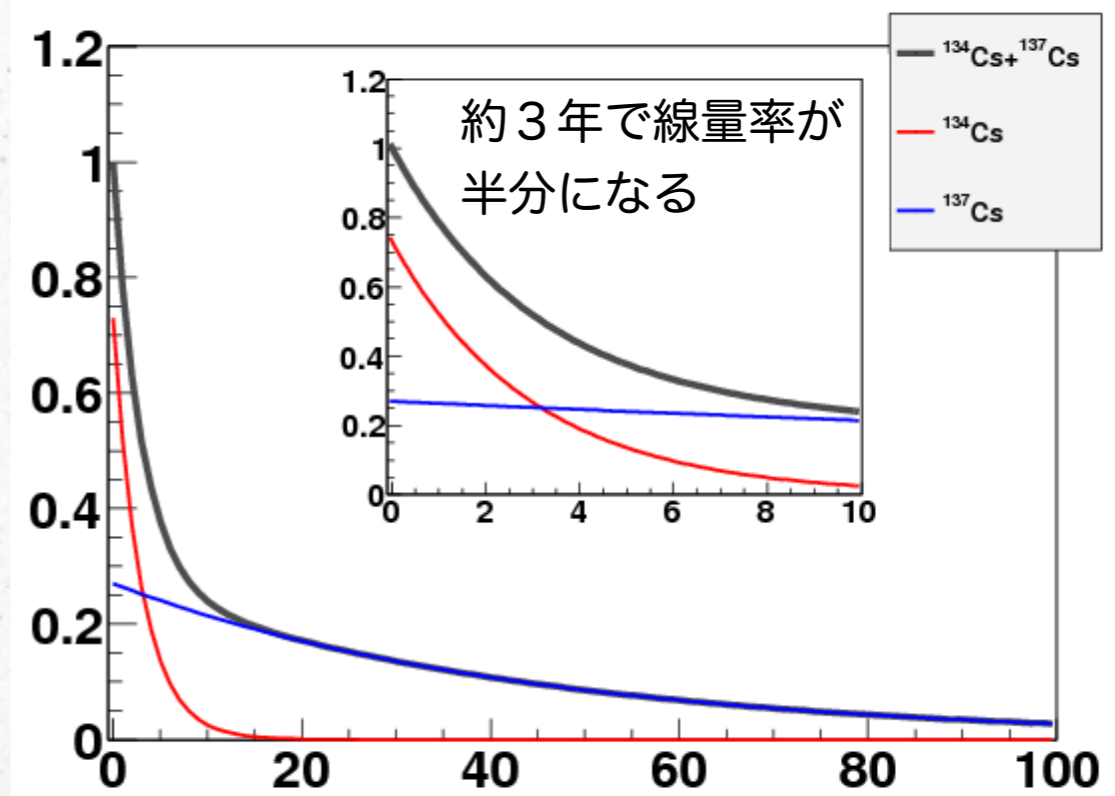
放射能・放射線量の変化

- 2011年4月の時点で ^{134}Cs : ^{137}Cs のベクレル数での比は約1:1
 - ^{134}Cs : 半減期 約2.06年
 - ^{137}Cs : 半減期 約30.17年
- 同じベクレル数でも、放射線の強さ（等価線量率, Sv/h の単位で測る）は、核子の種類によって異なる
 - ^{134}Cs は、 ^{137}Cs の約2.7倍

放射能 [Bq]



空間線量率 [$\mu\text{Sv}/\text{h}$]

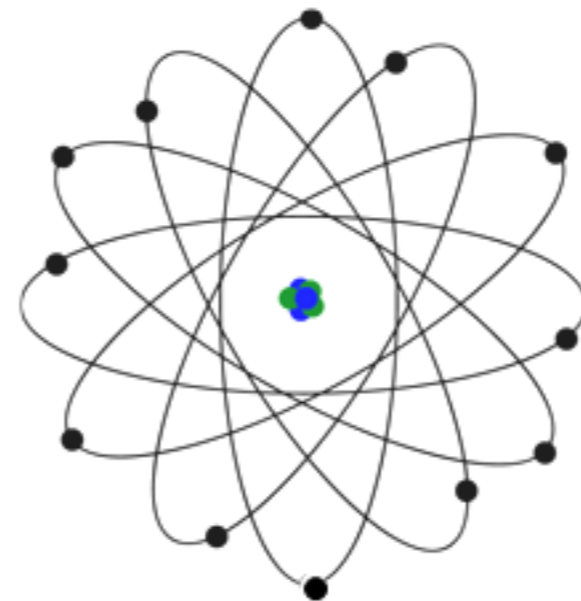
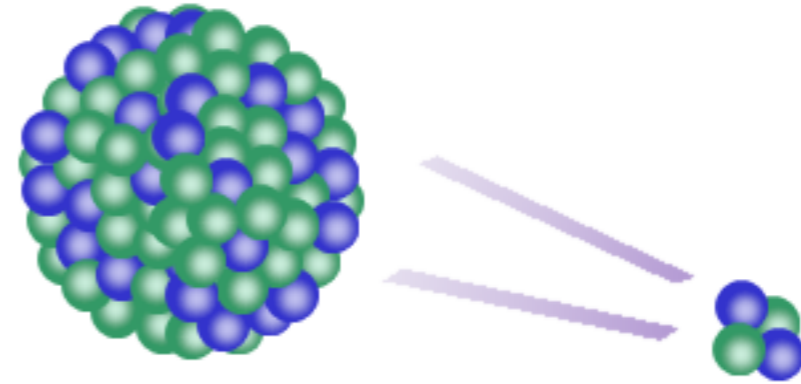


2011年4月からの経過年

α線

・ 物理的性質

- 主に質量数の大きい不安定原子核から放出される
 - ・ トンネル効果
- 電荷 +2
- 陽子2個と中性子2個から成る (4Heの原子核)
- 電子の側を通過するとき電子をはがす
 - ・ 電離

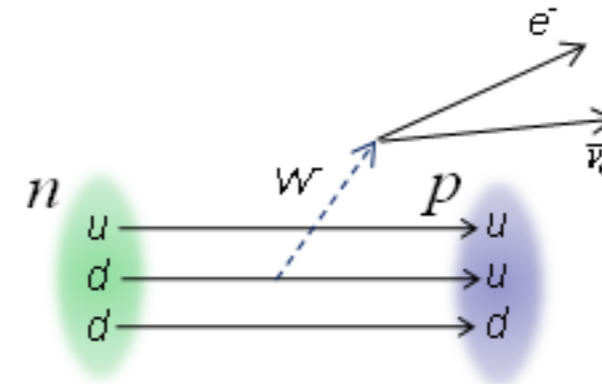
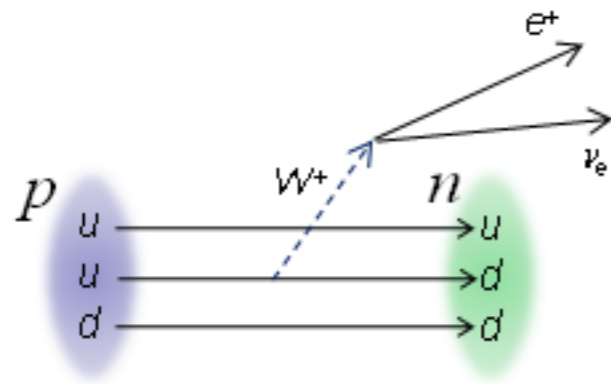
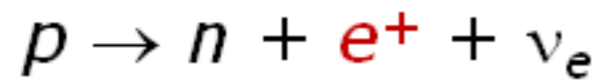


- ・ 飛距離 (Range)
 - 短い距離でエネルギーを失う
 - ・ 透過能力は高くない
 - ・ 空気に対して数cm程度
- ・ 防御物 (Shield)
 - 紙
 - 皮膚の表面
- ・ 生物学的危害 (Biological hazard)
 - 体外被曝
 - ・ 外から α 線を人体に照射しても表皮で止まってしまいうので影響はない
 - 体内被曝
 - ・ もし α 線源を体内に取り込んでしまうと、放射性物質が無くなるまで浴び続ける

β線

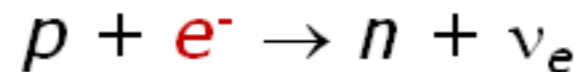
物理的性質

- 電荷 1
- β^- (電子) と β^+ (陽電子)
 - ・ α 線に比べると質量は7000分の1程度
- 原子核中で陽子 (中性子) が中性子 (陽子) に崩壊するときに出される



このプロセスは三体崩壊

- ・ 電子の持つエネルギーは0からある最大値までいろいろな値を持つ
- β 線を出さずに陽子が中性子に変わるプロセスもある (電子捕獲, Electron Capture)
 - ・ 軌道上の電子を陽子が捕獲



- ・ 空いた軌道に上の軌道が電子が移動する際にX線(電磁波)が放出される

β線

- ・ 飛距離 (Range)
 - α線よりは遠くまで届く
 - ・ 空気に対して数m程度
 - ・ 皮膚の表面に線源をおいた場合でも2,3mm程度しか進まない
- ・ 防御物 (Shield)
 - 数ミリ厚のプラスチック、アルミ、ガラス、木
 - 密度の高い物質（鉛など）は電子が当たることによってX線を出すので逆に危険
- ・ 生物学的危害 (Biological hazard)
 - 体外被曝
 - ・ 皮膚や眼球に対して危険
 - ・ 内蔵や骨までには届かない
 - 体内被曝
 - ・ α線源よりはダメージが少ない

γ 線/X線

・ 物理的性質

- 電磁波
- 電荷を持たない
- γ 線とX線の違いは発生機構
 - ・ γ 線
 - 原子核内の核子が励起状態からエネルギーの低い状態へ遷移する時に余分なエネルギーが電磁波として放出される
 - ・ X線
 - 軌道電子が励起状態からエネルギーの低い状態に遷移する際に放出される
 - » 電子捕獲によるもの
 - » 陽子が軌道電子を捕獲、空いた軌道に上の軌道から電子が落ちて来るときにX線が放出される
 - » 内部転換によるもの
 - » 原子核のエネルギーが直接電子の軌道に与えられることがあり、主にK殻の電子が放出され、L殻等の電子がK殻に落ちて来るときにX線が放出される
 - X線が出る代わりに別の電子が放出されることもある：オージェ電子

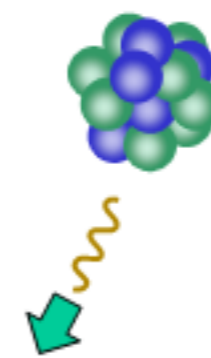
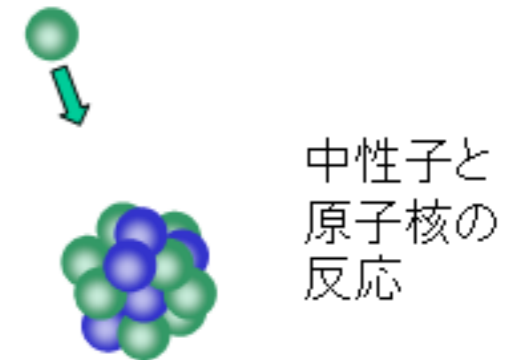
γ 線/X線

- ・ 飛距離 (Range)
 - 長く透過力が強い
 - ・ 電離作用は強くない
- ・ 防御物 (Shield)
 - 密度の高い物質を用いる
 - 鉛、鉄、コンクリートなど
- ・ 生物学的危害 (Biological hazard)
 - 体外被曝
 - ・ 透過力が高いことから体全体が被曝する
 - 体内被曝
 - ・ 放射性物質の近くだけではなく体の広い範囲で被曝する

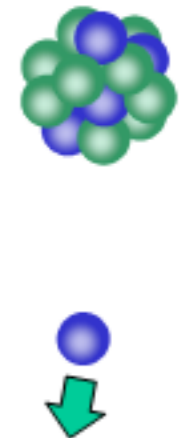
中性子

・ 物理的性質

- 不安定原子核から放出
- 中性子は電荷を持たない
- 質量は陽子とほぼ同じ
 - ・ $m_n = 939.6$ ($m_p = 938.3$) [MeV/c²]
- 電子とは相互作用しない
- 中性子と反応した原子核から放出される放射線により、間接的に電離が行われる



中性子が吸収され
 γ 線が原子核から
放出される



核子を原子核から
はじき飛ばす

中性子

・ 飛距離 (Range)

- 他の放射線に比べて比較的遠くまで届く
- 空気中での平均自由行程（一回相互作用するまでに進む距離の平均）
 - ・ 220 m

・ 遮蔽 (Shield)

- 水、ポリエチレン、コンクリート
 - ・ 同程度の質量の陽子との衝突では、陽子に運動量の殆どを渡して中性子は静止する。
 - ボールの集めたなかに、ボール一つを投げるとすぐ静止する
 - 質量数の大きな物質とでは、壁にボールをぶつけるようなもの

・ 生物学的危害 (Biological hazard)

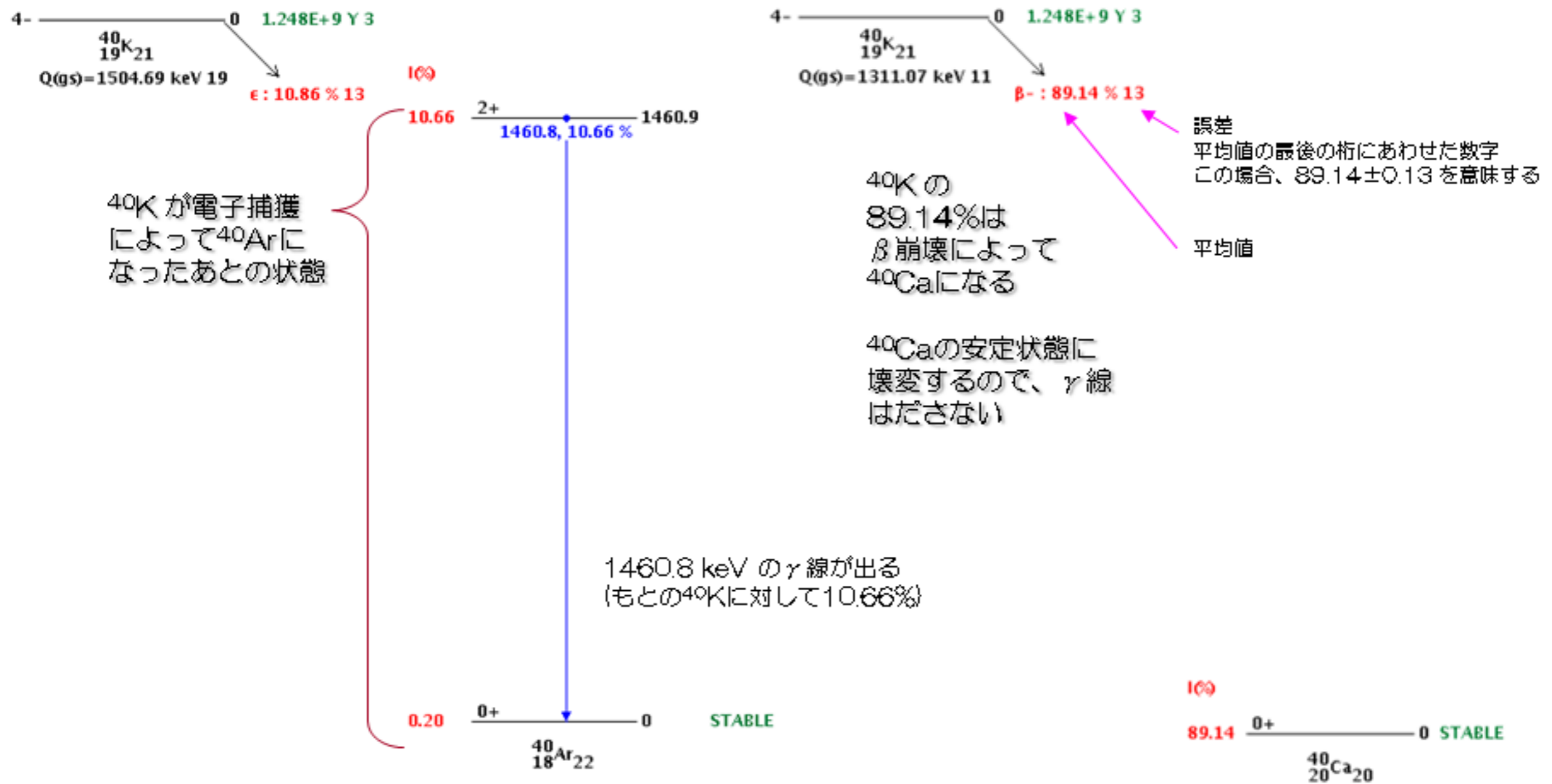
- 体全体で被曝する
- 強い透過力を持つ

その他の放射線

・ 宇宙線

- 常に地球に降り注いでいる
 - ・ 10 cm² 辺り 1秒間に一個程度
- 最初に地球の大気に突入するのは陽子や原子核等
- 地表から5km程度では殆どμ粒子
 - ・ 大気との相互作用でパイ中間子を生成、パイ中間子がμ粒子に崩壊し地上に届く
 - ・ 平均寿命は 2.2×10^{-6} [s]
 - 光速 (3×10^8 [m/s]) 近くまで加速された場合
 - » 相対論効果を考えないと、進む距離は 6×10^2 [m]
 - » 相対論効果を考慮
 - » μ粒子の質量は 105.7 [MeV],
 - » 1 GeV/c の運動量を持つ場合、静止系で観測した寿命は約10倍に伸び、 6×10^3 [m] 程度まで届く

40Kの崩壊図

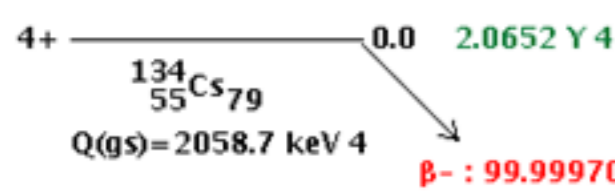


^{40}K の出す γ 線を数えて個数/秒が分かったとする、
実際に崩壊している ^{40}K は γ 線の個数の約10倍存在している。
たとえば、 γ 線が100 [個/秒] 出ているとすると、 ^{40}K は 938 [Bq]あることを意味する。

崩壊図の出典: <http://www.nndc.bnl.gov>



134Csの崩壊図

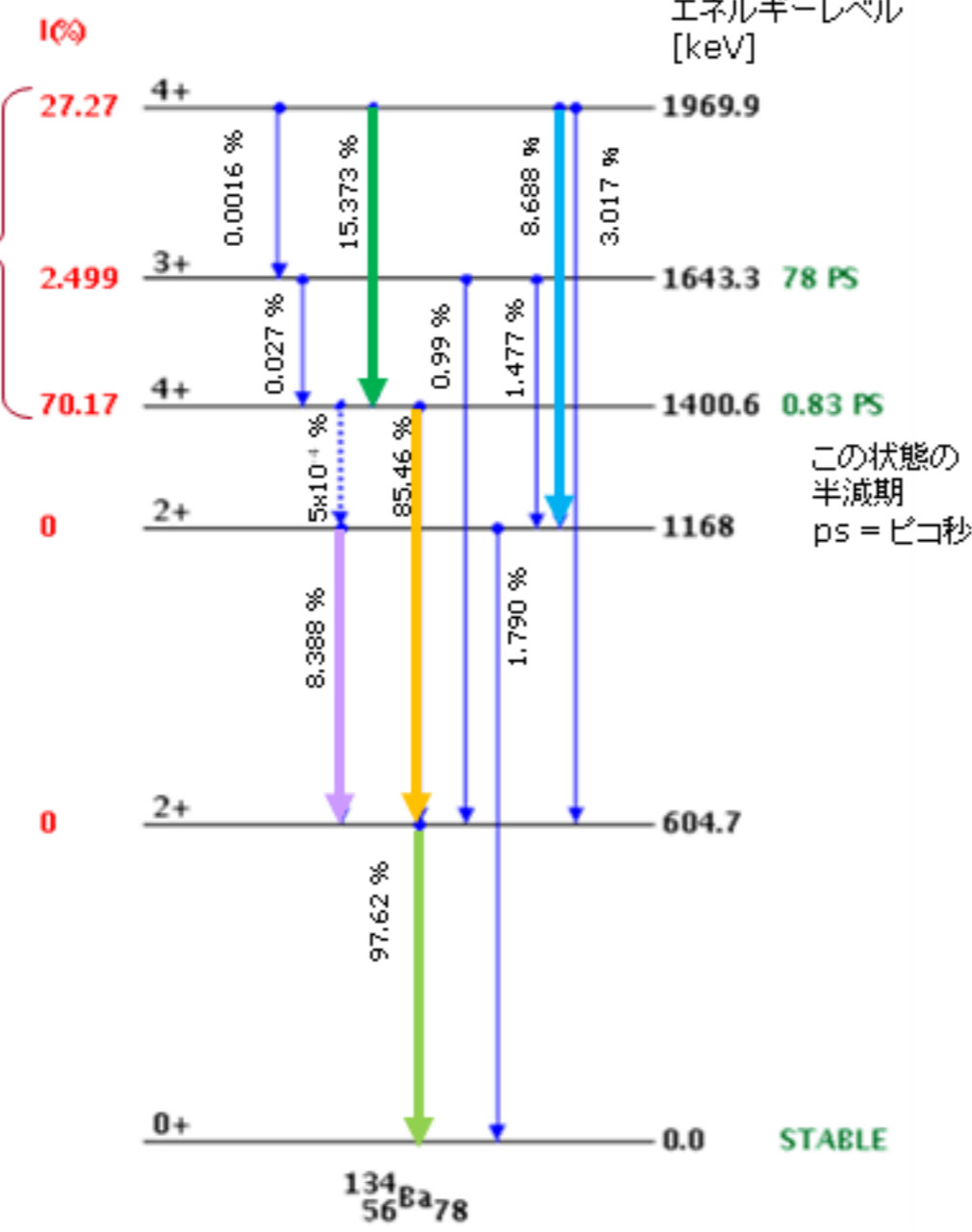


134Csがβ崩壊した後に出来る134Baの状態

γ線の出る確率が高い順

- 1 番目 604.7 keV (97.62 %)
- 2 番目 795.9 keV (85.46 %)
- 3 番目 569.3 keV (15.373 %)
- 4 番目 802 keV (8.688 %)
- 5 番目 563.2 keV (8.338 %)

図中の%の値は元の134Csに対する割合



原子核がとれるエネルギー状態は飛び飛び

高いエネルギー状態から低い方に変わっていく

この時、二つの状態のエネルギー差がγ線として放出される

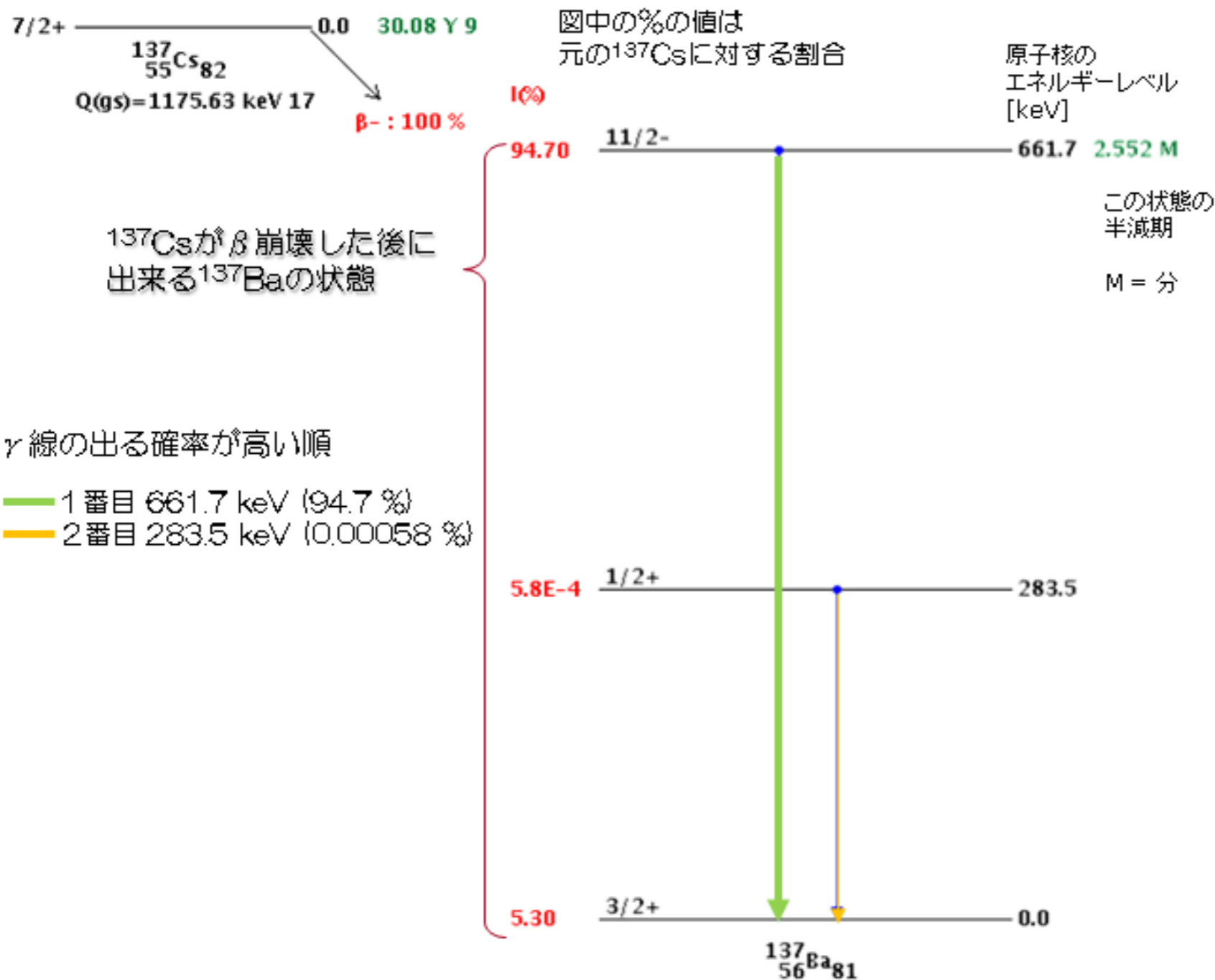
とれる状態が複数あると経路も増える
→ 複数個のγ線を出す

1個の134Csがβ崩壊
→ 約2.2個のγ線ができる。

崩壊図の出典: <http://www.nndc.bnl.gov>



137Csの崩壊図



^{137}Cs が β 崩壊した後に出来る ^{137}Ba の状態

γ 線の出る確率が高い順

- 1 番目 661.7 keV (94.7%)
- 2 番目 283.5 keV (0.00058%)

原子核がとれるエネルギー状態は飛び飛び

高いエネルギー状態から低い方に変わっていく

この時、二つの状態のエネルギー差が γ 線として放出される

とれる状態が複数あると経路も増える
→ 複数個の γ 線を出す

^{137}Cs の場合、一個の原子核が β 崩壊すると、661.7 keVの γ 線が0.947個でると考えて差し支えない

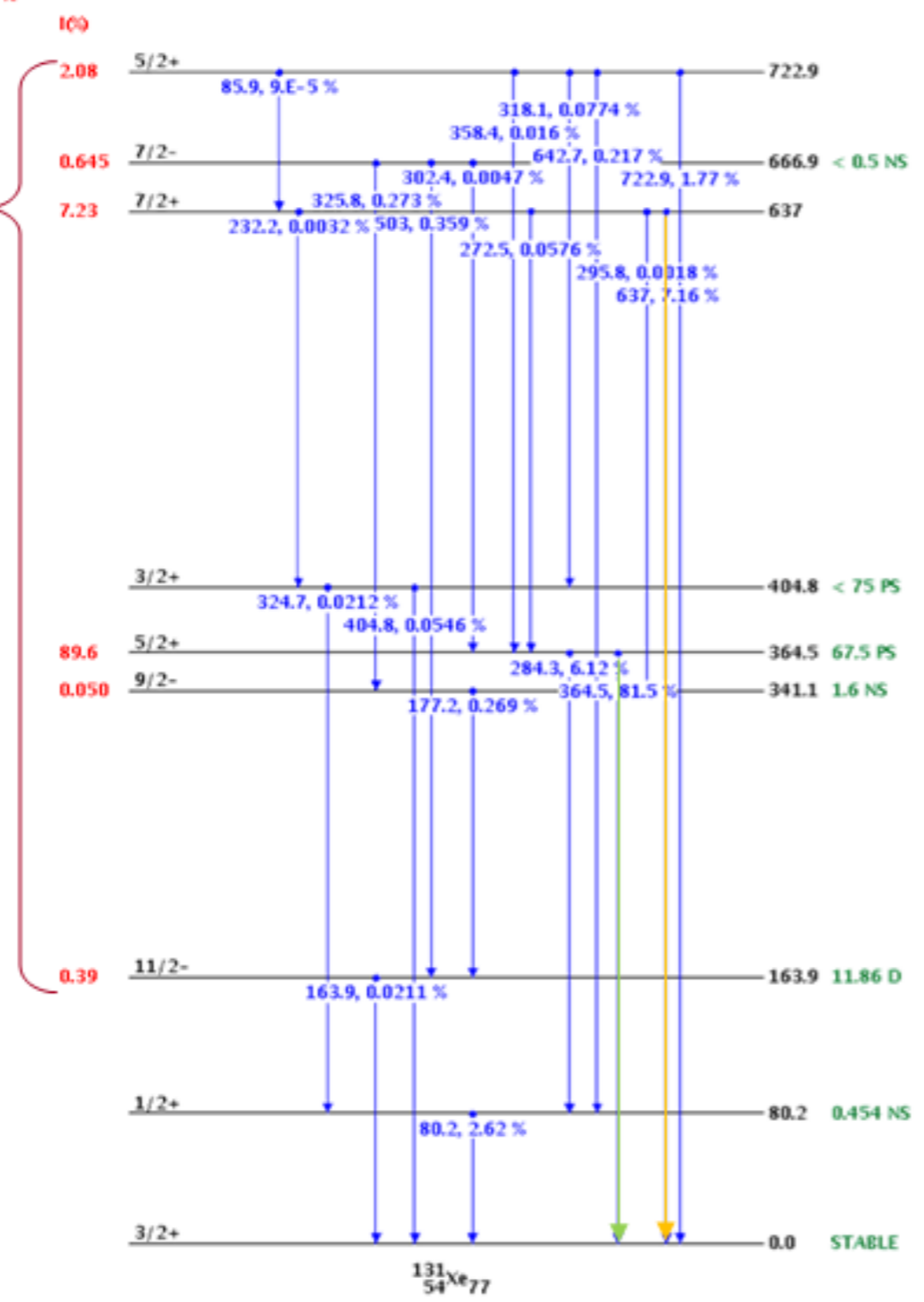


131Iの崩壊図

$7/2+$ ——— 0.0 8.0252 D 6
 $^{131}_{53}\text{I}$
 $Q(\beta^-) = 970.8 \text{ keV}$
 $\beta^- : 100\%$

^{131}I が β 崩壊
 した後に出来る
 ^{131}Xe の状態

 (%) の数値が
 表示されている
 ところにしか
 いかない



γ 線の出る確率が高い順
 1 番目 364.5 keV (81.5%)
 2 番目 637 keV (7.16%)

崩壊図の出典: <http://www.nndc.bnl.gov>



降雨と放射線量率の関係

雨が降ると大気中に浮かんでいる天然放射性物質
Bi-214（半減期20分）が落ちてきて線量率が上がる

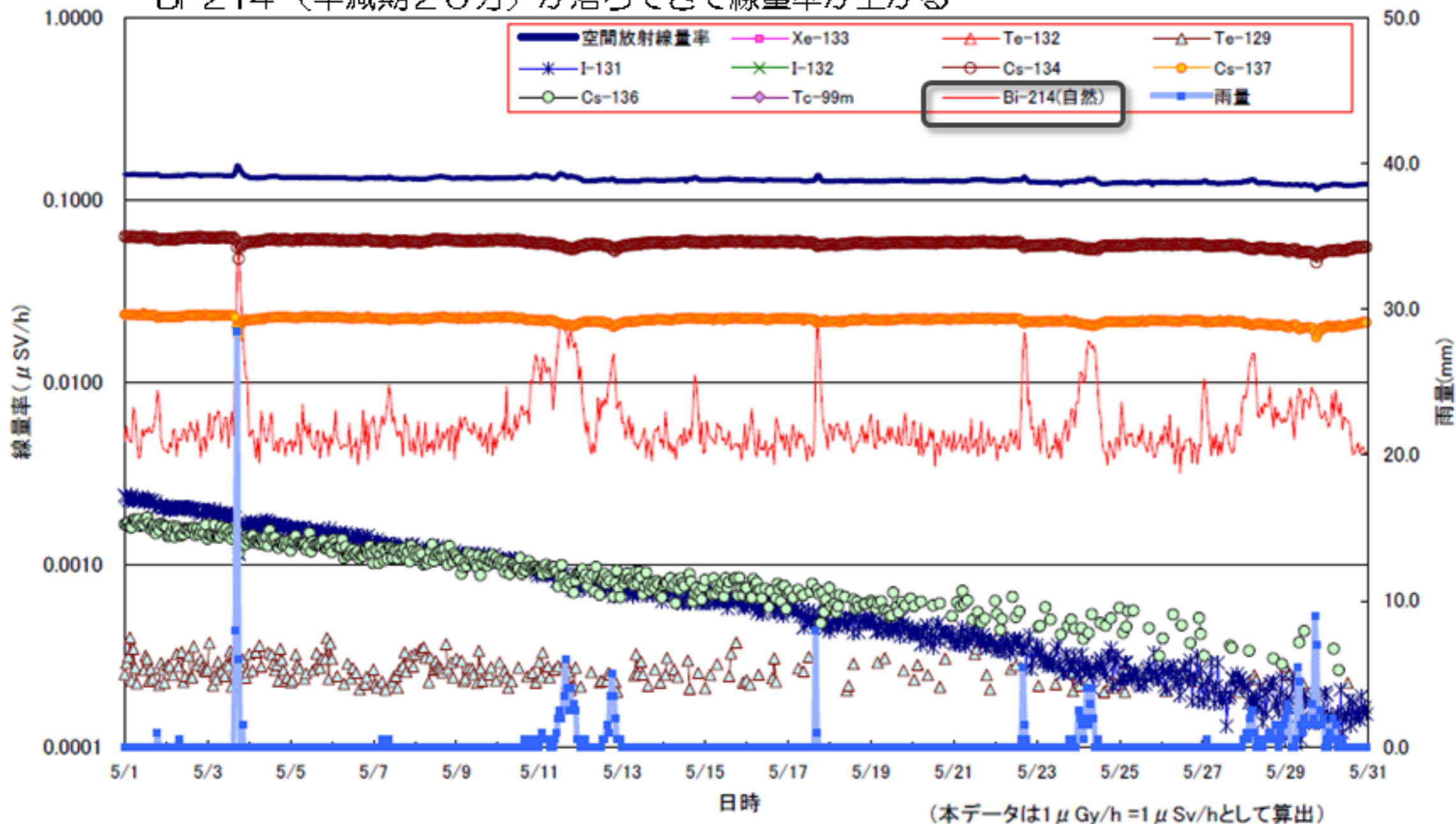


図 日本分析センターにおける空間放射線量率の測定結果

2011/5/31
日本分析センター調べ

出典: http://www.jcac.or.jp/lib/senryo_lib/nodo.pdf 4ページ

38Cl誤検出にまつわる話

早野龍五 (@hayano) 氏のツイートより

2011年4月10日
 (ちょっとテクニカルだけど、質問が多かったので) **Cl-38**検出のみに基づいて再臨界を論じてはいけないわけ(及び、塩素38m検出誤りについて再掲 <http://bit.ly/h5xRwZ>).
<http://plixi.com/p/91019372>

2011年4月1日
 【April Foolにしても、ありえない！】ガンマ線による東電の核種の同定に、明らかな間違いあり。プロなら全員同意するはず。もとのガンマ線スペクトル、一度見せてください→ @OfficialTEPCO
<http://plixi.com/p/88437524>

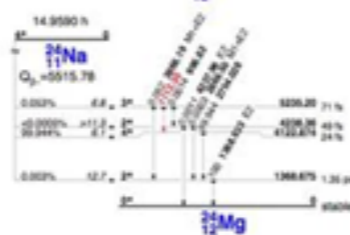
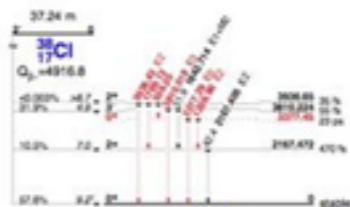
<https://twitter.com/#!/hayano/status/53594238520270848>

Cl-38検出のみに基づいて再臨界を論じてはいけないわけ

- ▶ 3/25夜、塩素-38検出と報道。
- ▶ 再臨界→大量な中性子→海水中の塩素-37が中性子捕獲→塩素-38。
塩素-38が見えた→再臨界というのがロジック
(塩素-37の中性子捕獲断面積は 0.43b、同位体存在比 24%、塩素-38の半減期37分、1642.7 keVと2167.4 keVのガンマ線を出す。)
- ▶ しかし待て
- ▶ 塩=NaCl、海水中にはナトリウム-23もある。ナトリウム-23が中性子捕獲→ナトリウム-24も検出されるはず。
(ナトリウム-23の中性子捕獲断面積は 0.40b、同位体存在比 100%、ナトリウム-24の半減期14.9時間、1368.6 keVと2754.0 keVのガンマ線を出す。塩素-38が 1.6×10^6 Bq/cm²あったなら、ナトリウム-24も 2.6×10^6 Bq/cm² - 溜まり水で検出されたヨウ素-131と同じくらいの量 - は検出されるはずだ。)
- ▶ しかし、ナトリウム-24は検出されていない！
- ▶ 東電が4/1に塩素-38m検出という、明らかな間違いをやったことも考えると (<http://bit.ly/h5xRwZ>)、塩素-38が見えた→「すわ再臨界」は早計。

23 : 10 1号機に隣し、タービン建屋1階にある水溜りから300万ベクレルの放射線量を検出
 3月25日タービン建屋地下溜まり水の測定結果
 Cl-38(検)-38 濃度: 1.6×10^6 Bq/cm²
 Ar(検)-74 濃度: 3.9×10^6 Bq/cm²
 Y(検)-91 濃度: 5.2×10^6 Bq/cm²
 I(検)-131 濃度: 2.1×10^6 Bq/cm²
 Cs(検)-134 濃度: 1.6×10^6 Bq/cm²
 Cs(検)-136 濃度: 1.7×10^6 Bq/cm²
 Cs(検)-137 濃度: 1.8×10^6 Bq/cm²
 La(検)-140 濃度: 3.4×10^6 Bq/cm²

<http://www.kantei.go.jp/saigai/pdf/201104091700genpatsu.pdf> より



April Foolにしても、これはありえない。

<http://www.nisa.meti.go.jp/earthquake/monitor.pdf>

にて公開された福島【第二】原発敷地内空気から塩素-38m検出。

これは東電の測定が間違っていると断言できます。プロなら誰でもすぐに変だと分かる。
 ガンマ線スペクトルを見せてください→TEPCO



核種	検出濃度 (Bq/m ³)	3月17日		3月18日		3月19日		検出濃度 (Bq/m ³)		
		測定値	検出濃度 (Bq/m ³)	測定値	検出濃度 (Bq/m ³)	測定値	検出濃度 (Bq/m ³)			
放射性	I-131	8.432E-05	3.251E-06	0.08	8.832E-04	3.145E-05	0.88	4.298E-03	4.893E-05	4.30
	I-132	ND	-	-	1.720E-03	3.821E-05	0.02	2.825E-03	8.200E-05	0.04
	I-133	3.304E-06	4.478E-06	0.00	ND	-	-	5.248E-05	4.213E-05	0.01
電子線	Cs-98	2.494E-05	2.981E-05	0.00	3.890E-05	2.948E-05	0.00	1.578E-04	1.435E-05	0.02
	Cs-134	3.214E-04	1.880E-05	0.17	3.240E-04	1.888E-05	0.17	4.883E-04	1.538E-05	0.24
	Cs-136	6.107E-05	1.298E-05	0.01	5.882E-05	1.012E-05	0.01	8.418E-05	1.438E-05	0.01
	Cs-137	3.232E-04	1.702E-05	0.11	3.147E-04	1.882E-05	0.10	4.208E-04	1.718E-05	0.14
	Cl-38m	ND	-	-	ND	-	-	3.180E-03	3.292E-02	

又はWiley-Interscience Table of Isotopes
 CD-ROM Eighth Edition: 1993より転載

<http://lockerz.com/s/88437524>

<http://lockerz.com/s/91019372>
 (plixi.com は、現在lockerz.com に変わっている)



38Cl誤検出にまつわる話(続き)

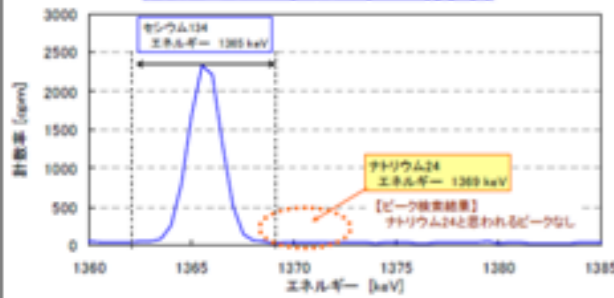
http://www.meti.go.jp/press/2011/04/20110420006/20110420006-7.pdf
6ページ目

(参考) 福島第一 1号機タービン建屋地下1階のたまり水 Cl-38核種分析の評価について

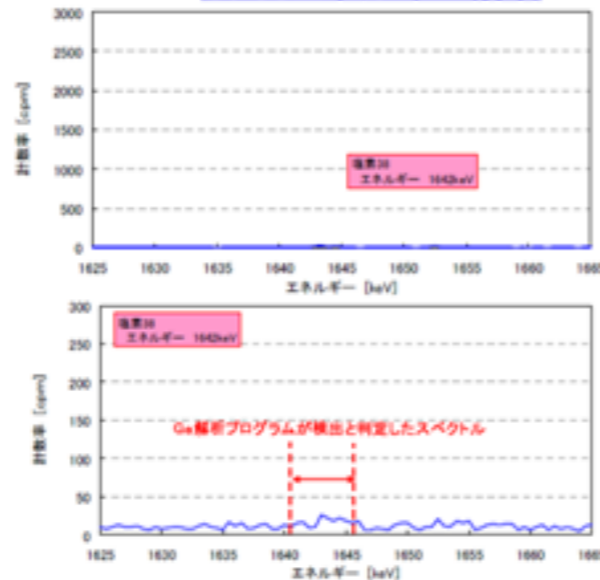
○再評価結果

福島第一1号機では、3月23日～25日の間、原子炉に海水注入しているため、Cl-37(n, γ)Cl-38反応により、塩素38が生成されているとの可能性はあった。
しかし、この場合、塩素と同様に炉内に持ち込まれたナトリウムも放射化され、塩素38より半減期が長いナトリウム24も検出されることが推測されるものの、ナトリウム24は検出されていない。このため、Cl-38が生成されたとは考えにくく、他の核種の散乱線などの影響でわずかに検出限界を超えたものと推測している。

Na-24エネルギー領域



Cl-38エネルギー領域



縮尺: 1/10

注: Cl-37(n, γ)Cl-38 反応というのは、中性子がCl-37にあたり、Cl-38とγ線が出るという反応です。Cl-38が出来るのは、海水中に含まれる塩化ナトリウム (NaCl) が中性子と反応したということを示します。中性子があるということは、原子炉内で再臨界が起こって核分裂反応が起きている証拠だと騒がれたのですが、データを見なかったこととデータを総合的に判断しなかった (Na-24が検出されていないことを無視していた) ことが間違いの原因です。

生データを見ることなしに、機械 (解析プログラム) の表示
することを鵜呑みにすると間違っても気がつかない!

2011年4月20日
東京電力が同じデータを再解析した結果についての発表
Cl-38は検出限界以下
http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu11_j/images/110420j.pdf
1ページ目

福島第一 1号機タービン建屋地下階の溜まり水の核種分析結果

	(再評価)	(3月25日参考配布)	(変更理由) ※
採取場所	福島第一1号機 タービン地下溜まり水 (1回目)	福島第一1号機 タービン地下溜まり水 (1回目)	-
試料採取日	平成23年3月24日	平成23年3月24日	-
検出核種 (半減期)	試料濃度 (Bq/cm ³)	試料濃度 (Bq/cm ³)	-
Cl-38 (約37分)	検出限界未満	1.6 × 10 ⁵	①
As-74 (約18日)	検出限界未満	3.9 × 10 ²	①
Y-91 (約59日)	5.2 × 10 ⁴	5.2 × 10 ⁴	-
I-131 (約8日)	2.1 × 10 ⁵	2.1 × 10 ⁵	-
Cs-134 (約2年)	1.6 × 10 ⁵	1.6 × 10 ⁵	-
Cs-136 (約13日)	1.7 × 10 ⁴	1.7 × 10 ⁴	-
Cs-137 (約30年)	1.8 × 10 ⁵	1.8 × 10 ⁵	③
La-140 (約2日)	3.0 × 10 ²	3.4 × 10 ²	②

※再発防止対策に基づき、①主要ピークによる核種の同定及び放射能濃度の決定、②放射平衡を踏まえた放射能濃度の評価により再評価を実施。その他、③データの転記誤りの修正を実施。



ホール・ボディ・カウンター(WBC)

A社



椅子型

遮蔽がない
自分で遮蔽を用意するか、
バックグラウンドの放射線
レベルの低い場所に設置
しなければならない。

F社



ベッド型



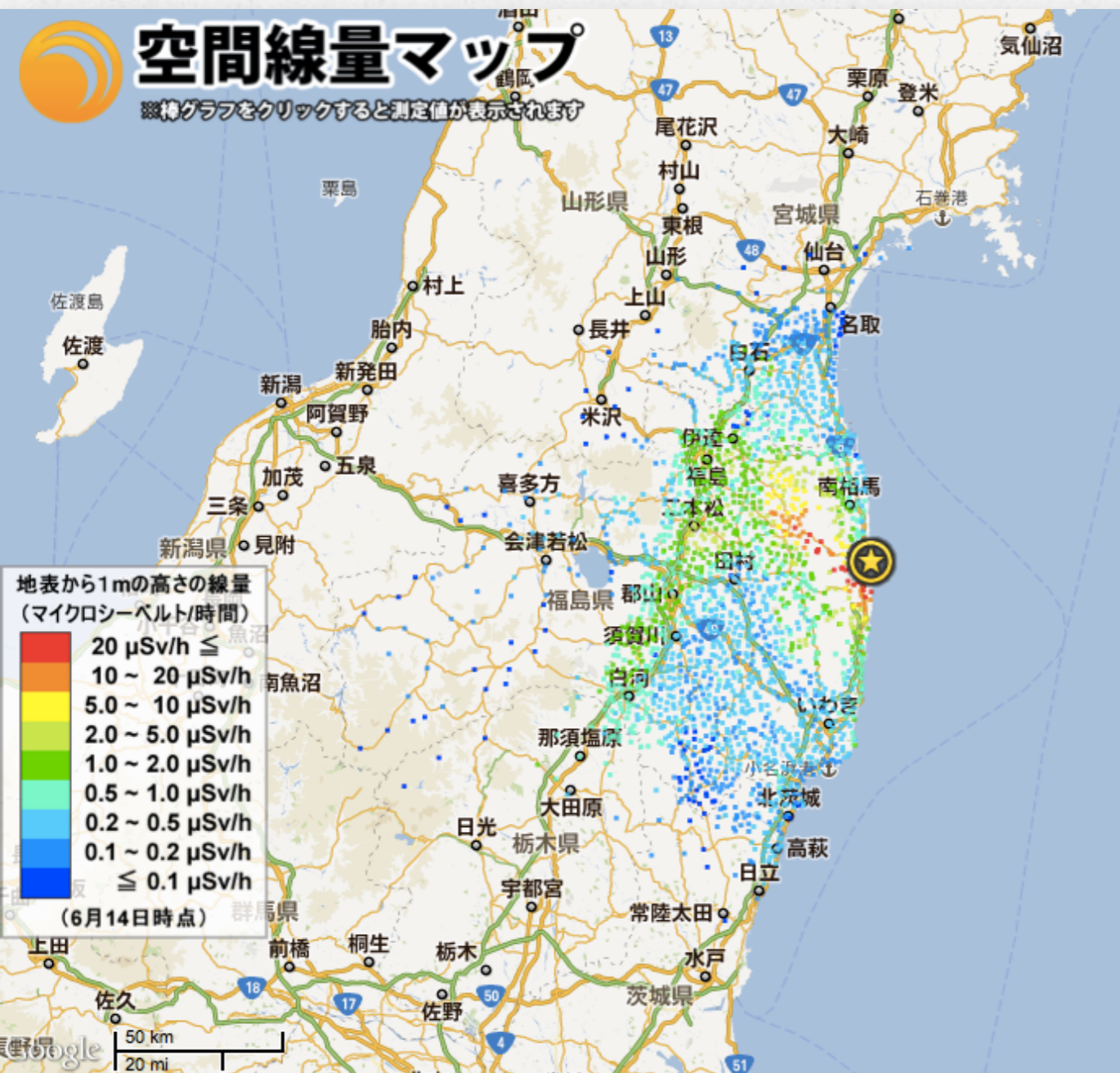
チェア型
周りに遮蔽がある

C社

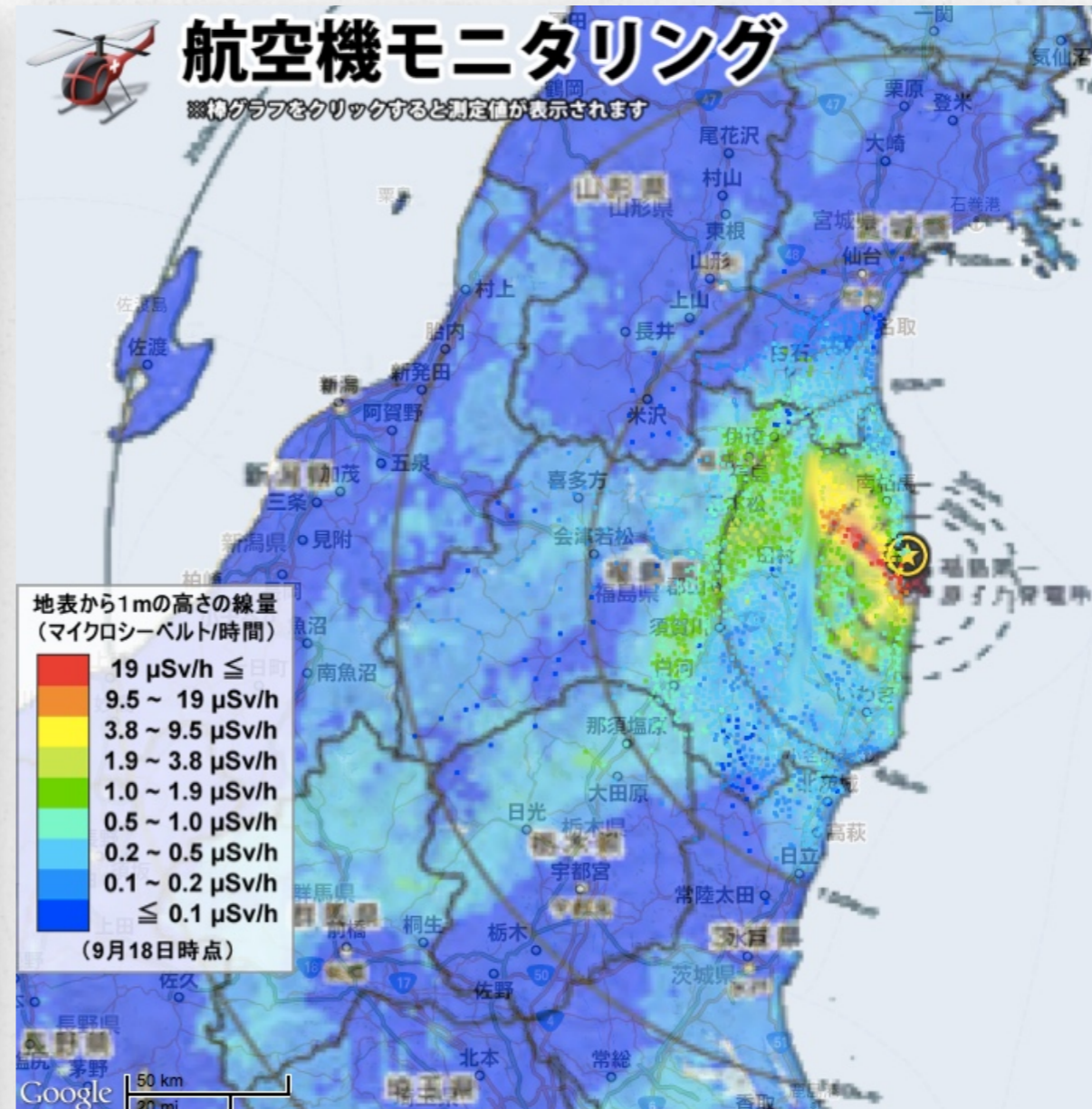


宮城県周辺 の 測定

空間線量率



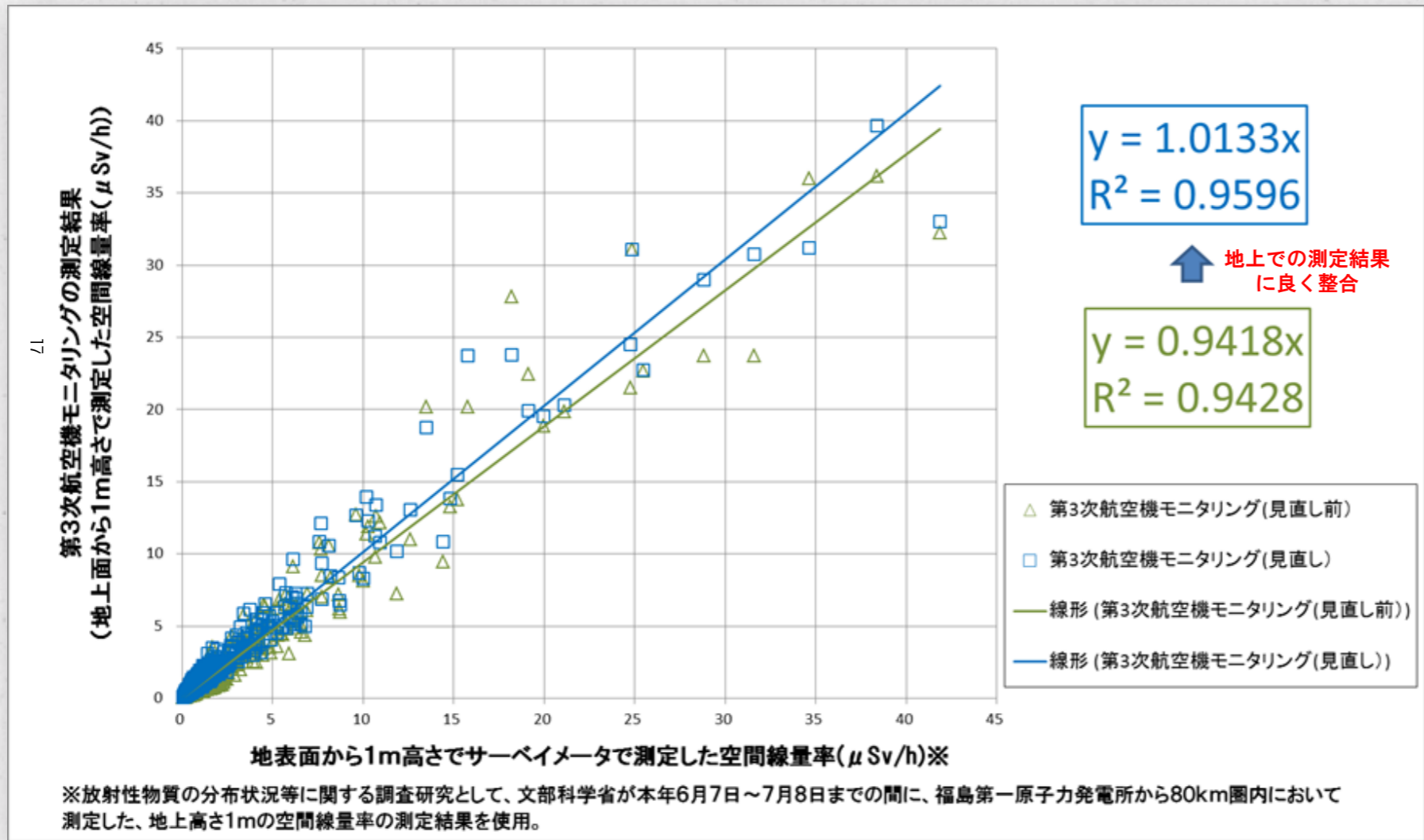
「放射線量等分布マップ作成」プロジェクト
 地表1mの高さで実際に測定



航空機モニタリング
 上空(150-900 m)で測定を
 地表1mの高さに外挿



第3次航空機モニタリングの測定結果（空間線量率）の見直し結果と
文部科学省が6月に実施した約2,200箇所の空間線量率の測定結果の比較



文部科学省による 第4次航空機モニタリングの測定結果について（平成23年12月16日）、より

http://radioactivity.mext.go.jp/ja/1910/2011/12/1910_1216.pdf

点がばらついていることに注意
(50%位違う点がある)



仙台市青葉区での測定

測定地点: 仙台市青葉区
 測定器具: γサーベイメーター ALOKA TCS171
 (NaI カウンター)
 測定者: 田村裕和
 (東北大学理学研究科物理学専攻)
 各測定点には±10%程度の誤差があります。また、これは簡易測定であり、測定方法による誤差もあります。
 図の作成: 金田雅司
 (東北大学理学研究科物理学専攻)
 放射線量のデータ: <http://bit.ly/i3j1B7>
 降水量: 日本気象協会, <http://tenki.jp>
 天気: 測定者の観測

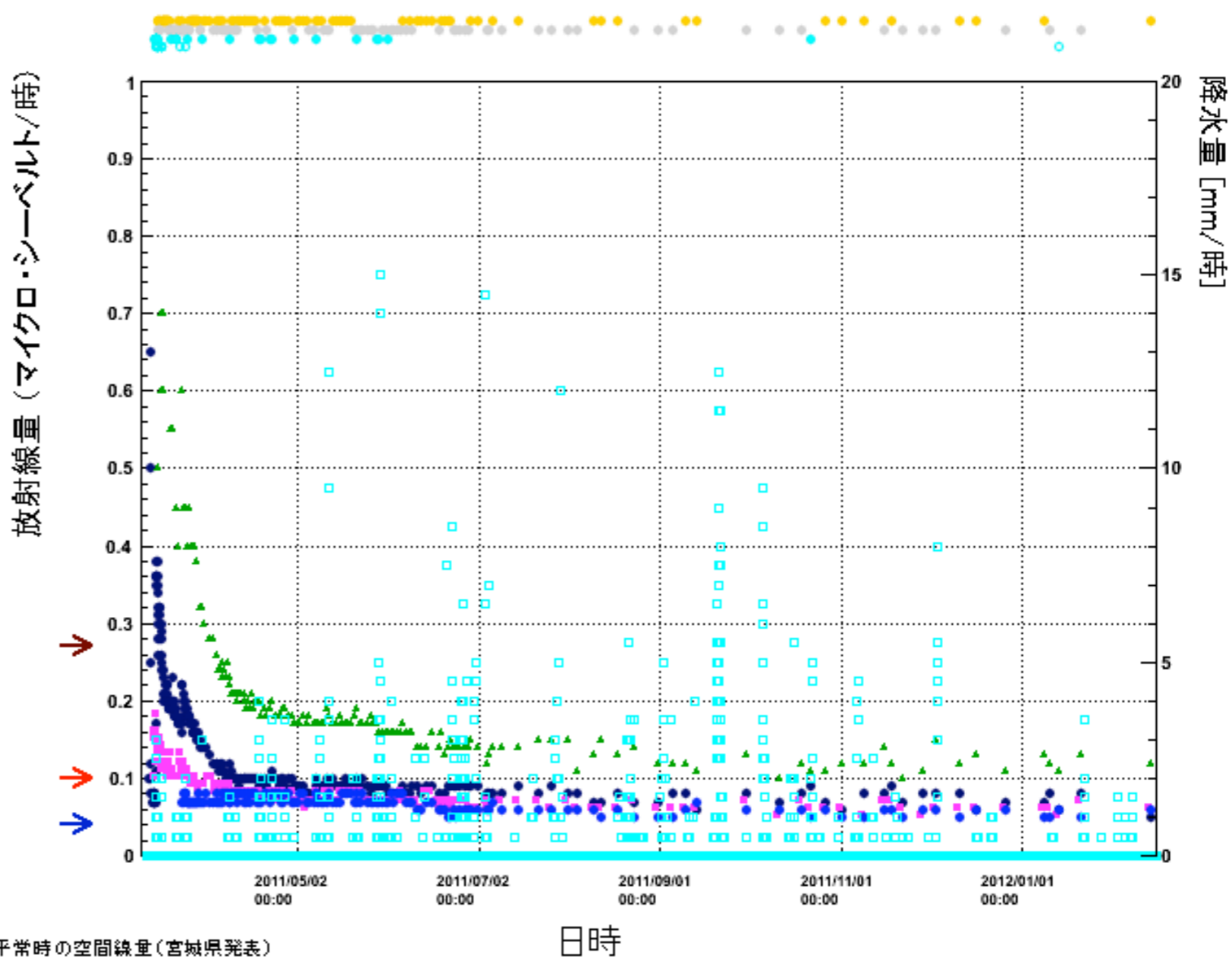
- 放射線量
- 屋外
 - 雨の当たらない軒下
 - ▲ 屋外の土に接触させて測定
 - 室内(鉄筋コンクリート)
- 天気
- 晴れ
 - 曇り
 - 雨
 - 雪
- 降水量

国連科学委員会(UNSCEAR)の2000年版の報告書による
 内部被曝と外部被曝の和の世界平均は
 年間 2.4 mSv (ミリシーベルト)
 = 年間 2400 μSv (マイクロシーベルト)
 = 1時間あたり 0.27 μSv (マイクロシーベルト)

外部被曝(宇宙線+大地)のみでは、
 年間 0.87 mSv = 1時間あたり 0.10 μSv

m(ミリ)は、1/1000を意味し、μ(マイクロ)はミリの1/1000。つまり、マイクロは、100万分の1。

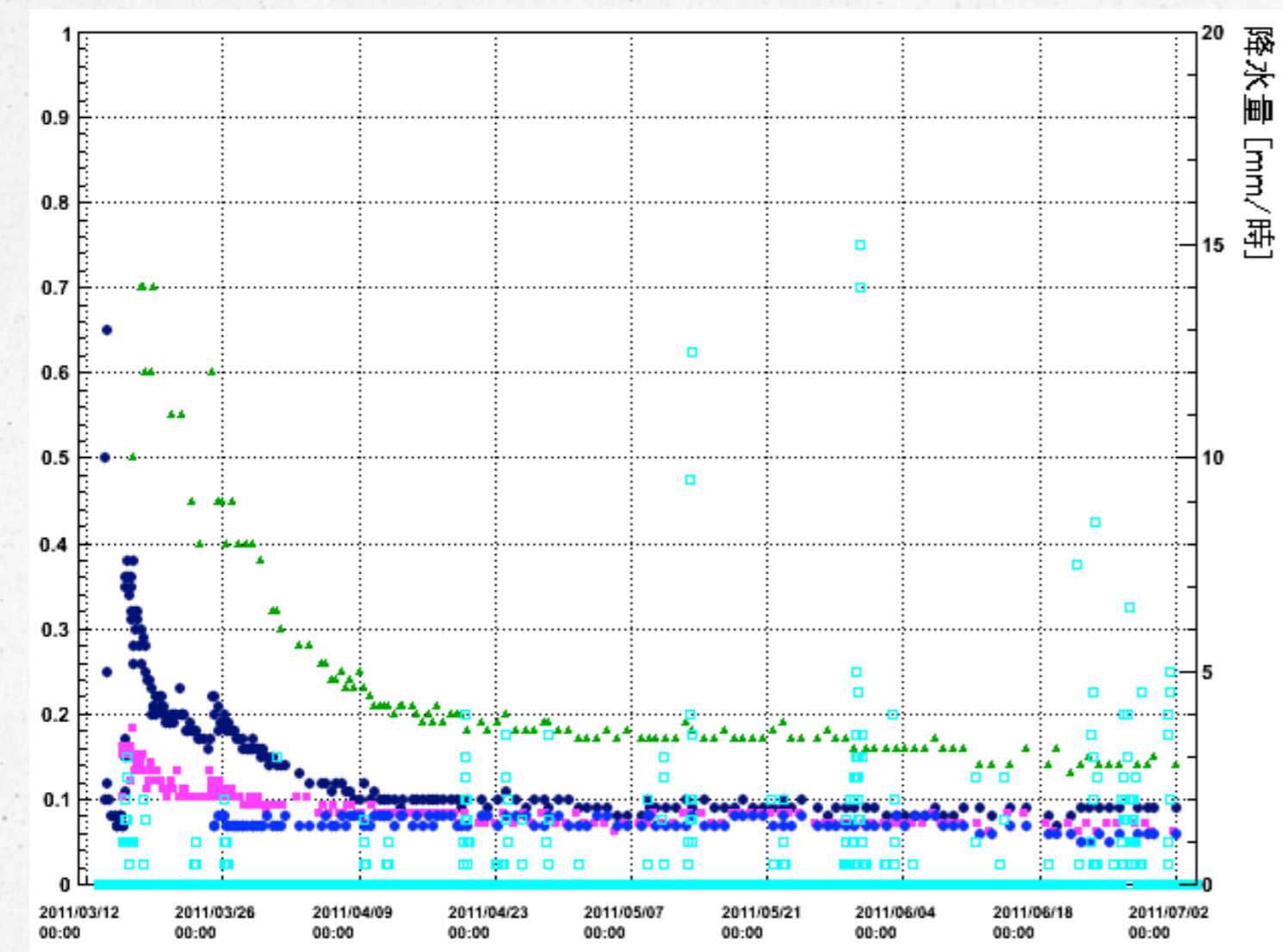
仙台市青葉区の放射線量モニター (2011/3/13 - 2012/2/13)



平常時の空間線量(宮城県発表)
 1時間あたり 0.03 ~ 0.05 μSv
<http://www.pref.miyagi.jp/gentai/Press/soudan/soudan00.htm>

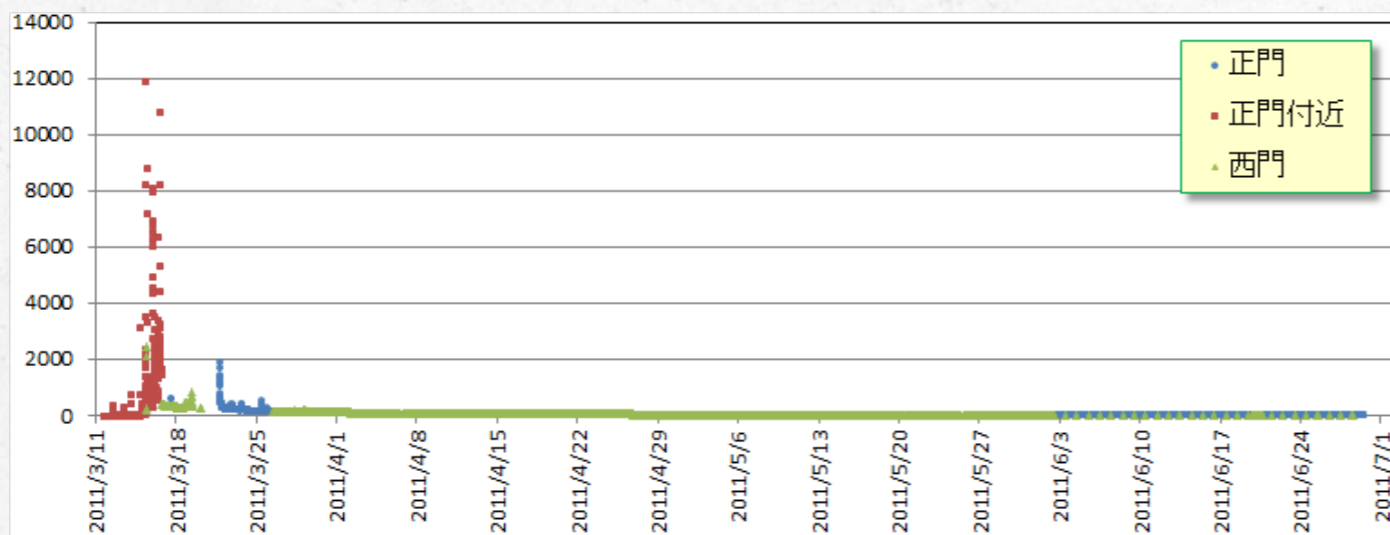
福島第一原発敷地での測定と比較

放射線量率 [$\mu\text{Sv/h}$]



3月から7月の
測定値を表示

3月のベント、水素爆発
以降は放射性物質の大気への
大量放出は起きていない



福島第一原子力発電所構内での計測データ
<http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1/index-j.html>
 より金田が作図

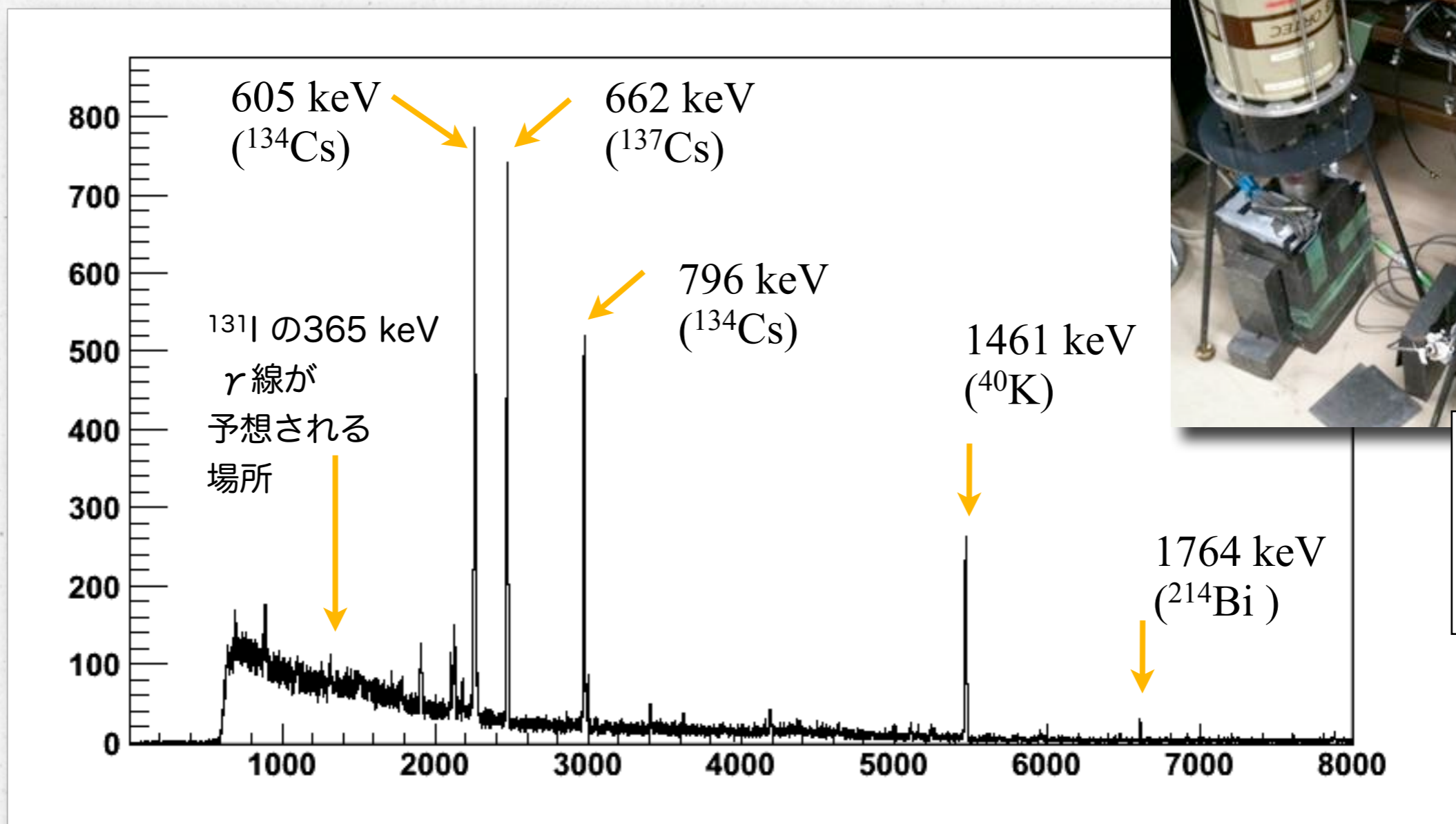


青葉山キャンパスの土壌測定

2011/6/25 測定

東北大学大学院理学研究科物理学専攻 原子核物理研究室

ガンマ線の個数 (6時間測定)



液体窒素タンク
ゲルマニウム
半導体検出器
鉛ブロック

ガンマ線のエネルギー [デジタル化されたチャンネル数]

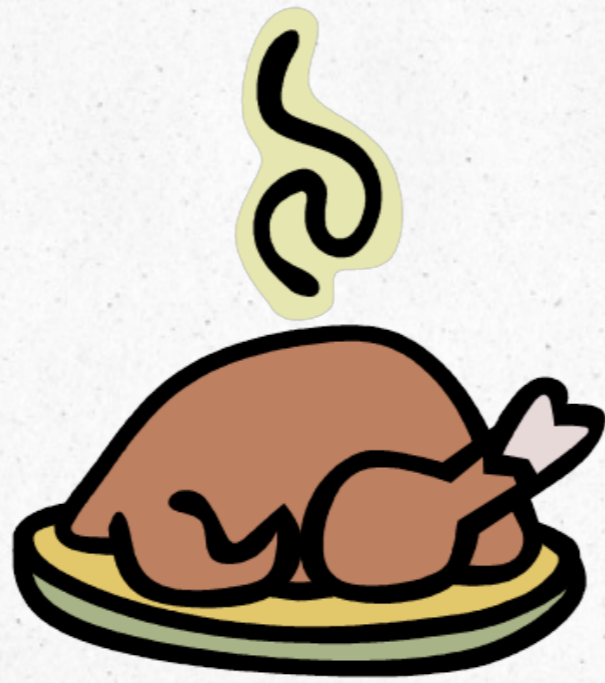
高いところで、Cs134, Cs137 あわせて 500Bq/kg 程度

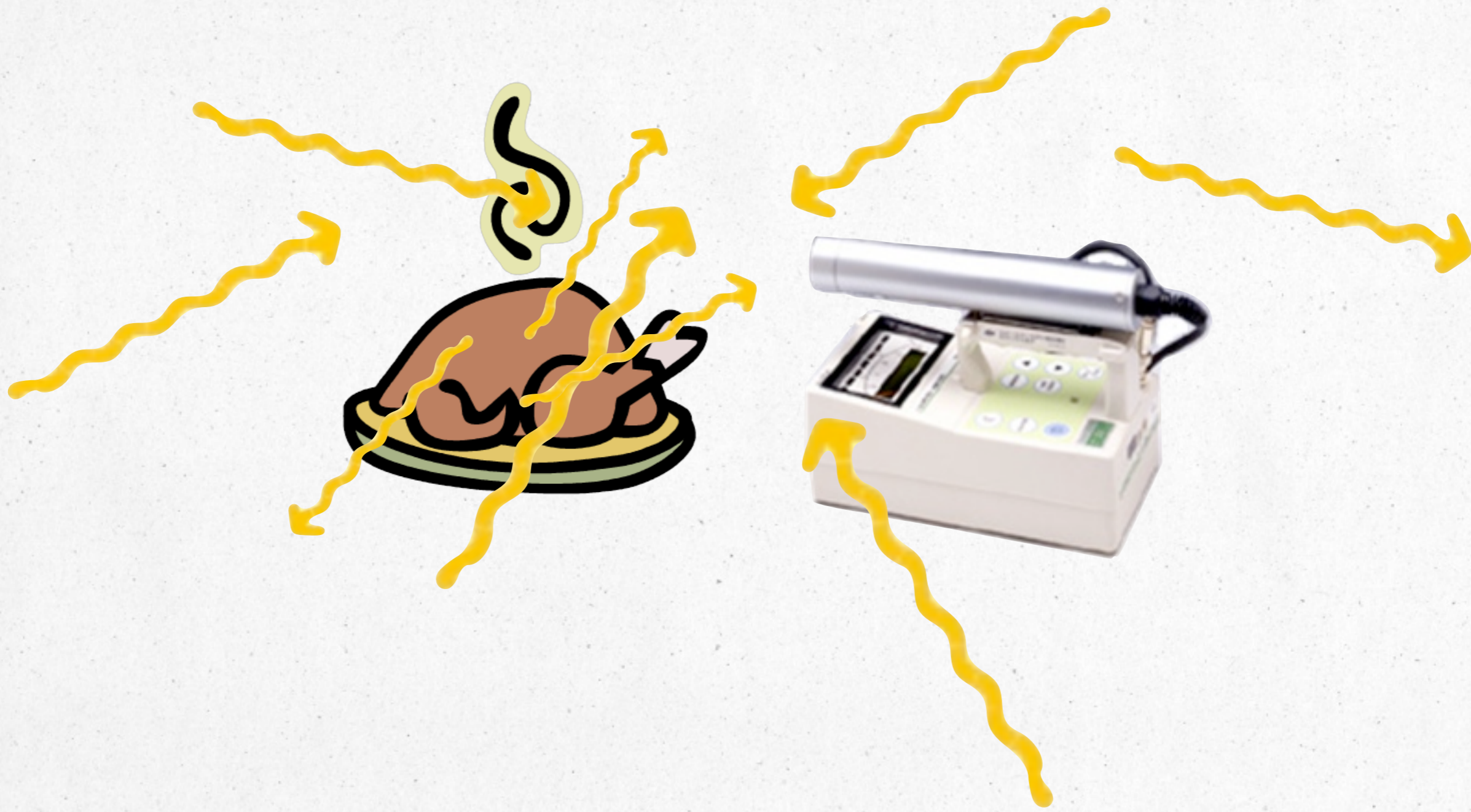


土壌・食品中に含まれる
放射性物質の
測定を行う時の注意

空間線量率の測定







測定したガンマ線
どこから来た？

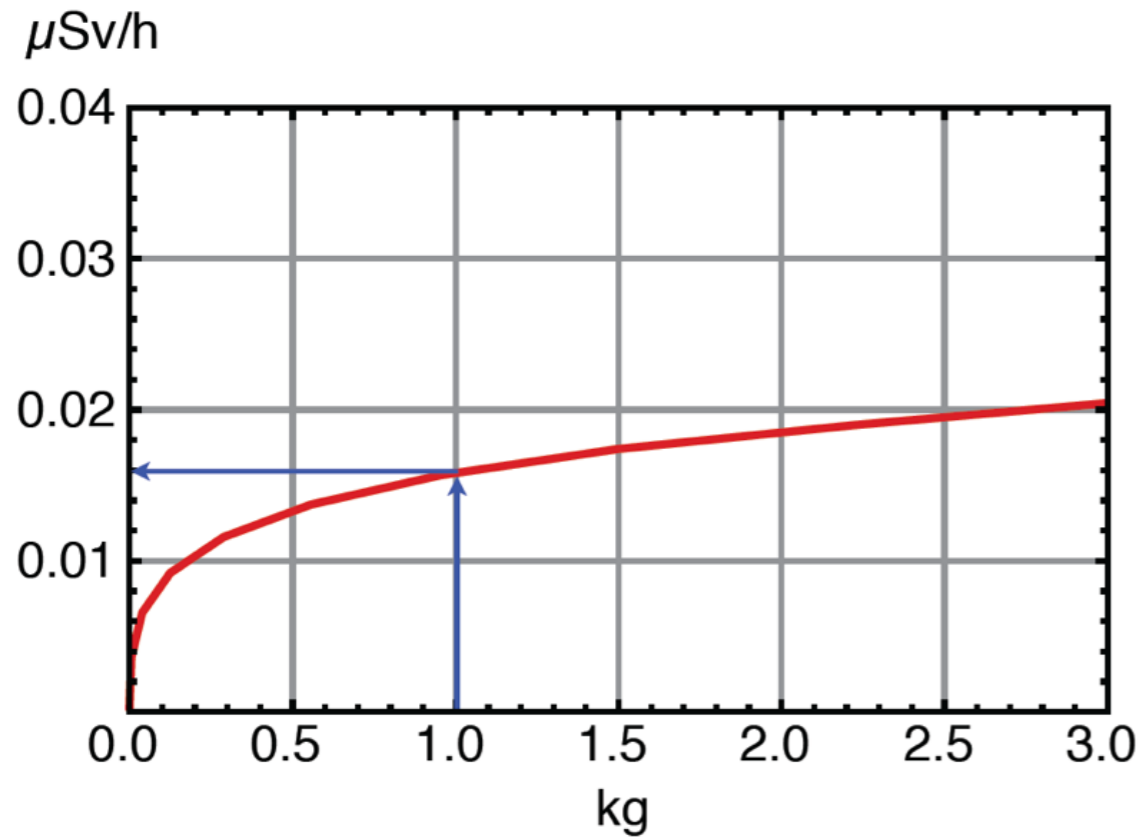
測定器が「見ている」

ガンマ線

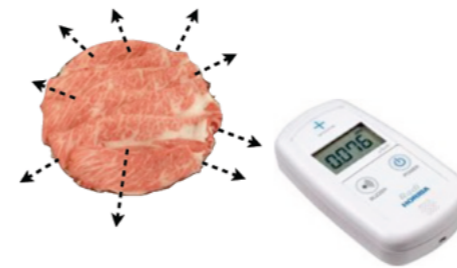
殆どは、別の場所から

遮蔽が不可欠

セシウム 500Bq/kg の食品表面の空間線量



500Bq/kg のセシウム汚染食品 1kg
表面線量は 0.01μSv/h 程度



これなら楽勝？

注意) 1kg, 5kg, 10kgと増やしても, 0.03μSv/hぐらいで頭打ち

このページ内のスライドは、東京大学大学院理学系研究科早野龍五氏提供

2011年10月21日のニコニコ生放送

「緊急報告！アナタの食べ物は大丈夫？～放射線による食品汚染の実態に迫る～」

で使われた説明のスライドから。

全てのスライドは

<http://www.slideshare.net/RyuHayano/nicohou> で見れます。

食品検査に使われる測定器の例

写真

あるメーカーの
カタログから

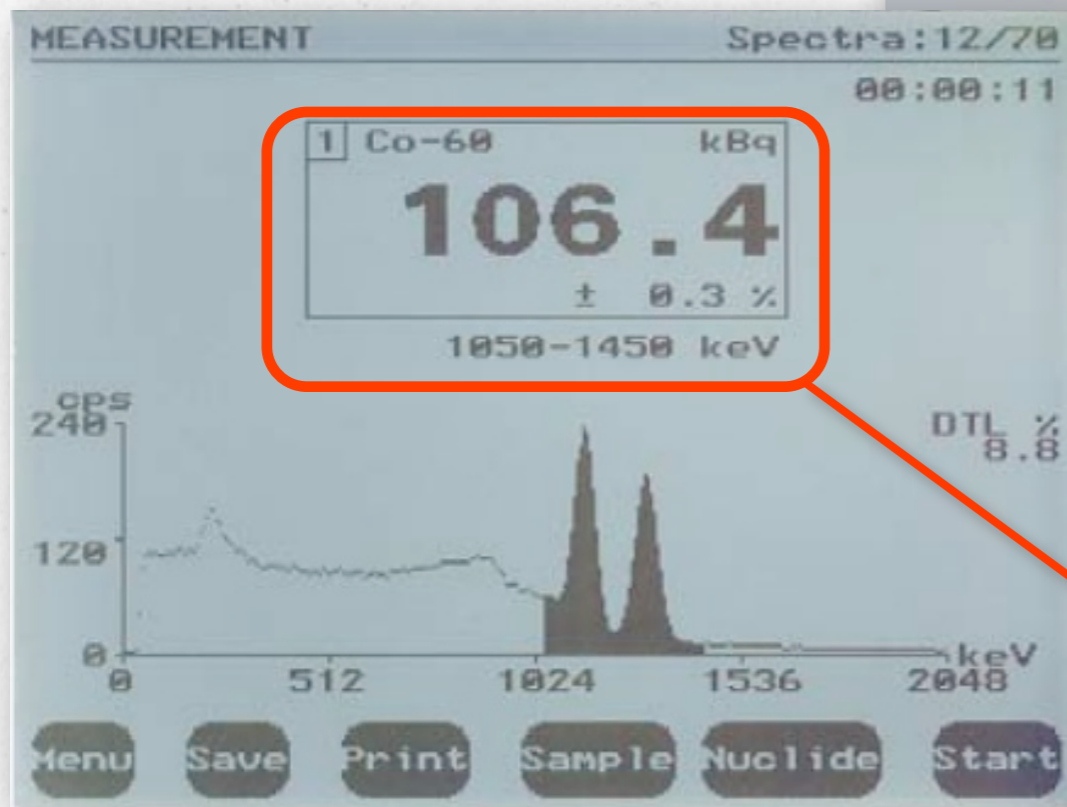


サンプルを専用容器
に入れて設置する場所

鉛で囲み
バックグラウンドを
遮蔽している

下の筒状の部分：
NaI (ヨウ化ナトリウム)
結晶とセンサーの入っ
ている場所

縦軸：一秒あたりのガンマ線の個数



横軸：ガンマ線のエネルギー

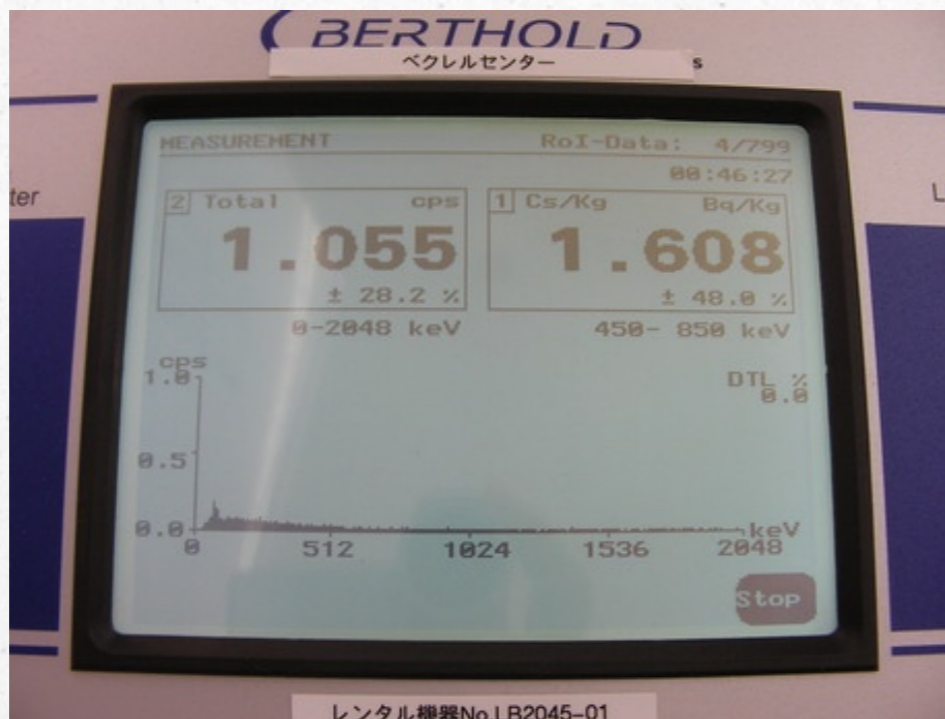
あるエネルギーのガンマ線が1秒辺り
何個来たかという数字からベクレルに換算
(この換算方法に注意が必要)

放射能の測定

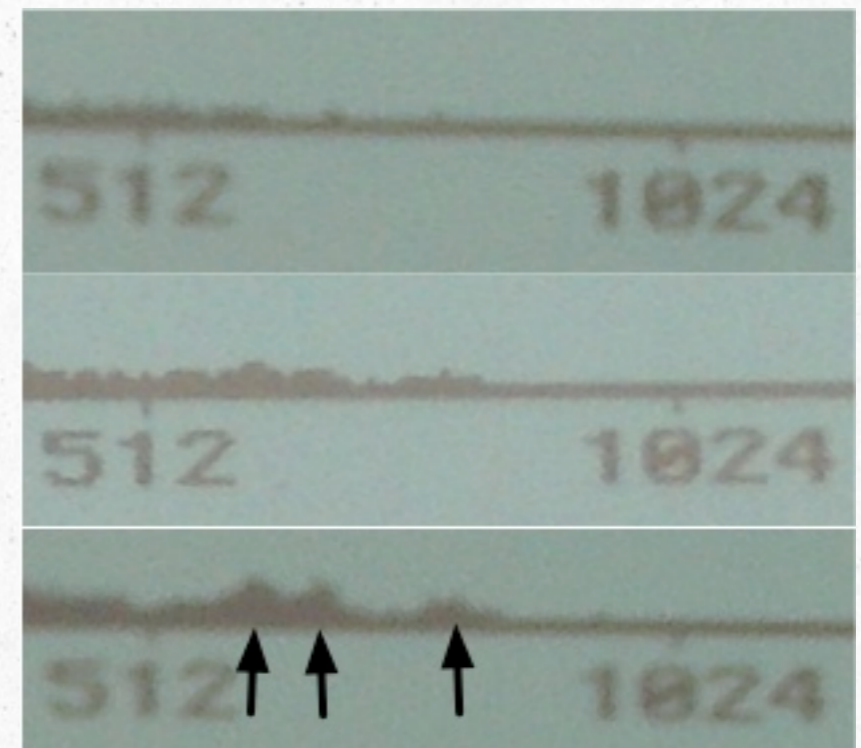
ガンマ線

エネルギー
個数

核種ごとにBq数を見積もる



ピークが見える？

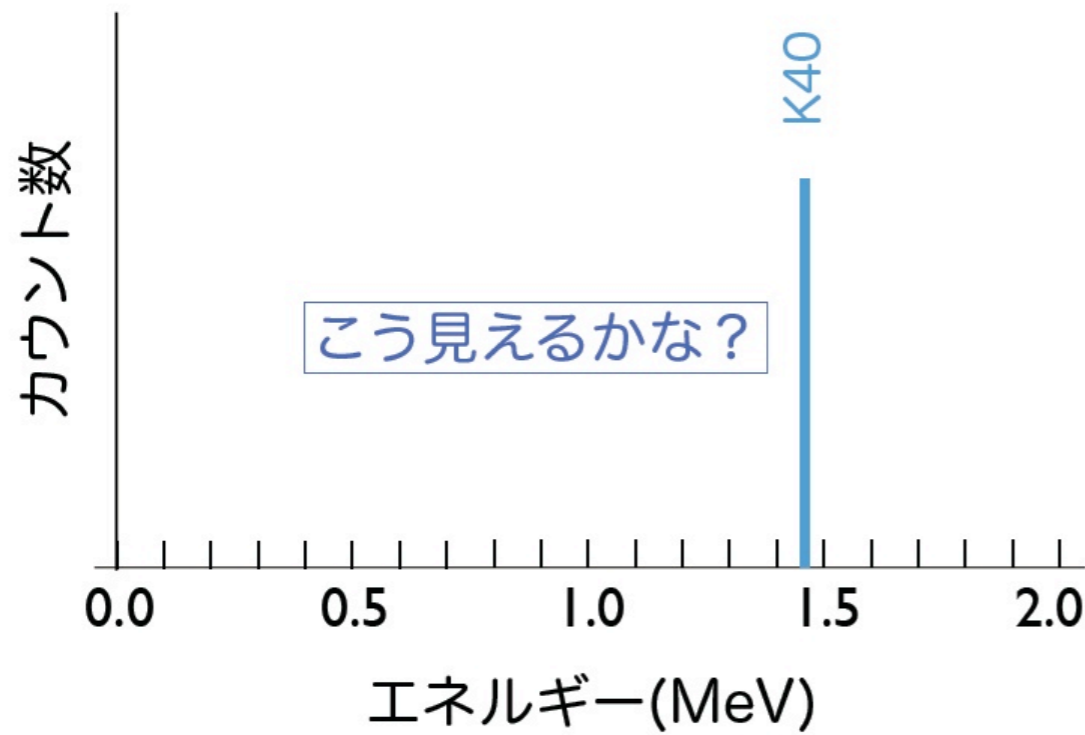


^{134}Cs , ^{137}Cs のガンマ線の
エネルギーの場所

写真：KEK野尻美保子氏のブログ <http://nojirimiho.exblog.jp/14639366/> より

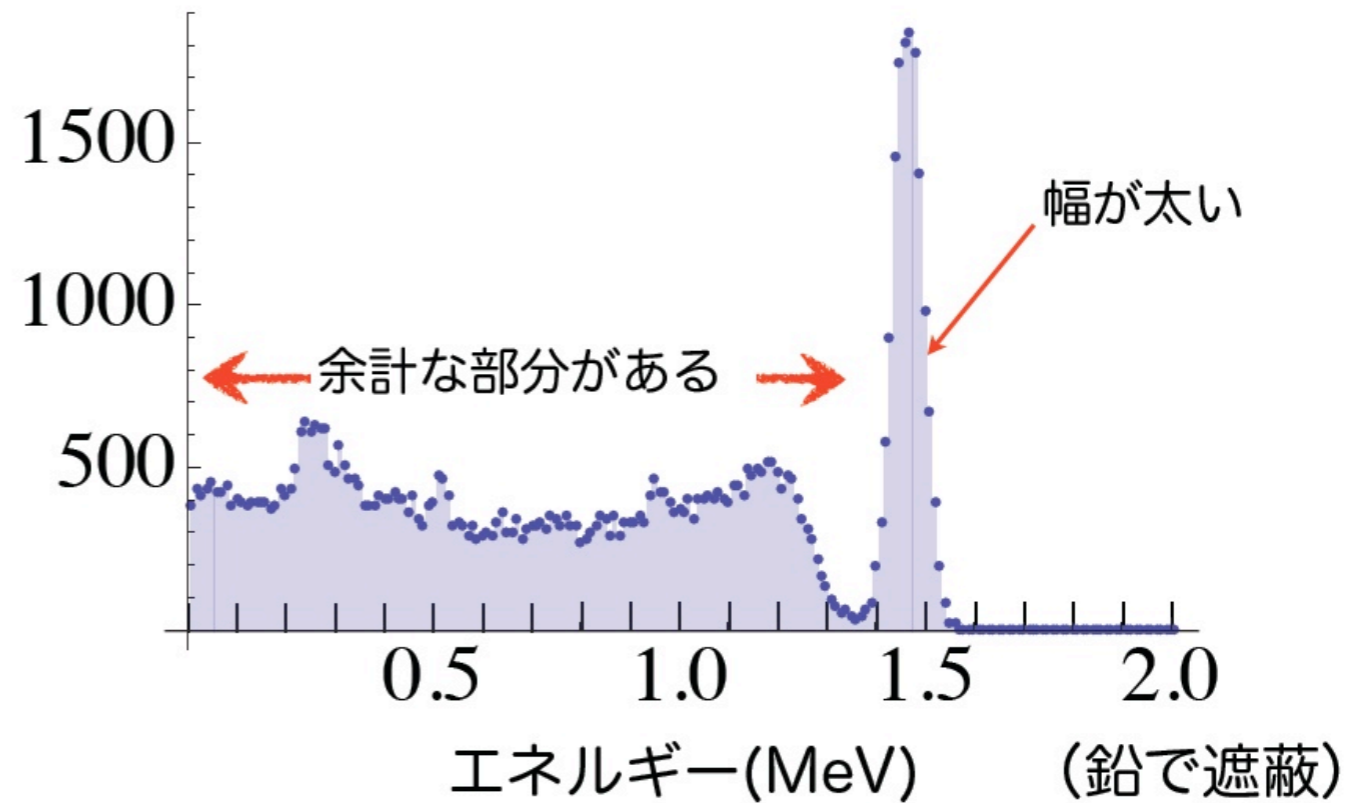
Nal 検出器で「やさしお®」を測定してみる

(天然放射性物質であるK40を多く含む)



Thursday, October 20, 11

おや, どうしてこうなっちゃうの?

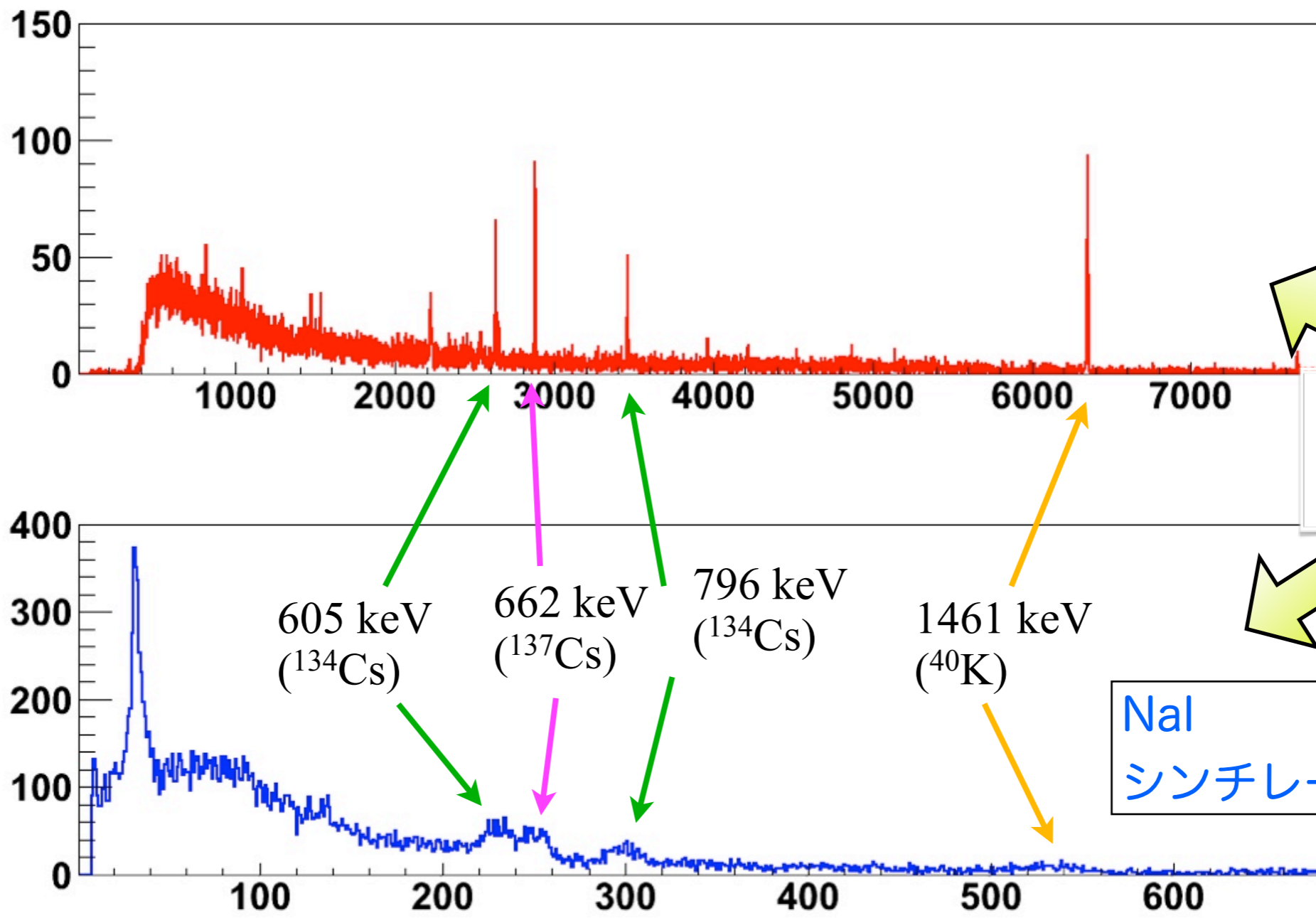


Thursday, October 20, 11

このページ内のスライドは、東京大学大学院理学系研究科早野龍五氏提供

<http://www.slideshare.net/RyuHayano/nicohou> より





ガンマ線のエネルギー (デジタル化されたチャンネル番号)

縦方向の「ギザギザ」：測定個数のゆらぎ
 ピークの横方向の広がり：分解能



放射能の測定

十分な遮蔽

測りたいガンマ線個数

ピークの下にあるゴミの正しい見積もり

検出効率の見積もり

通り抜けたガンマ線すべてを数えていない

放射能の測定

十分な遮蔽

測りたいガンマ線個数

ピークの下にあるゴミの正しい見積もり

検出効率の見積もり

通り抜けたガンマ線すべてを数えていない

そんなに簡単ではない