

東日本大震災における 放射能と 学校管理への影響

東北大学

高等教育開発推進センター/大学院理学研究科物理学専攻

金田 雅司

kaneta@lambda.phys.tohoku.ac.jp

<http://lambda.phys.tohoku.ac.jp/~kaneta/>

今日のプレゼンテーションのファイルは以下の場所にあります。

http://lambda.phys.tohoku.ac.jp/~kaneta/presentation/2011_10_07_Masashi_Kaneta_Jimuchou_Kaigi.pdf

頂いている講演への要望

- 放射能の色々な言葉があり、
違いがさっぱりわからない。
わかりやすく説明して欲しい
 - 「短く・簡単に」とはいきませんが、基礎的なことから説明します
- 宮城県内高校は施設管理者の長として
何か注意，何か対策を取る必要はないのか
 - 具体的なことは難しいですが、出来ること・やった方が良く
と思われることを述べたいと思います

講演の概要

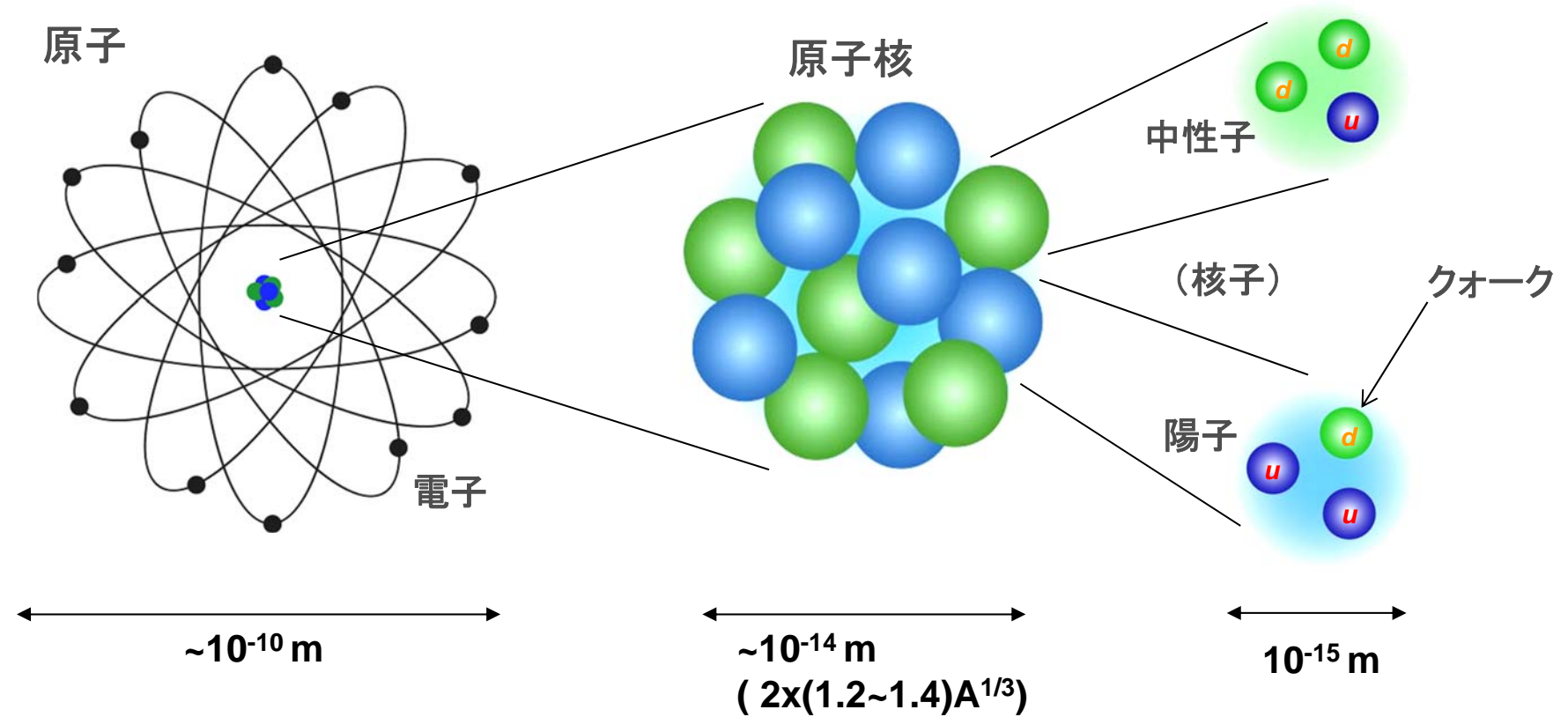
- 放射線・放射能とは？
 - 物質は何から出来ているのか
 - 放射性物質と放射線
- 放射線とどうつきあうか？
 - 宮城県・仙台市での放射線量
 - 学校管理への影響



素粒子・原子核を研究している物理屋が知りたいこと

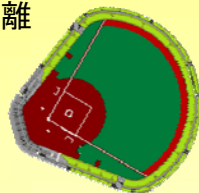
物質は何から できているのか

原子・原子核・素粒子



同じ比率のもの

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



素粒子・原子核物理

- 我々の世界は何から出来ているのだろうか？
 - 小さな世界
 - ものを小さくしていったらどうなるのだろうか？
 - そこではどのような規則が働いているのだろうか？
 - 大きな世界
 - 宇宙はどのようにして出来たのか？
 - 星のなかはどうなっているのだろうか？
- 素粒子・原子核物理の目指す物
 - 我々の起源を解き明かしたい

素粒子・原子核物理

・役に立たないか？

- 「たちません」
 - ・何かに役に立とうとして研究していない
- 「たちます」
 - ・後から役に立つことが見つかる：応用

・応用の例

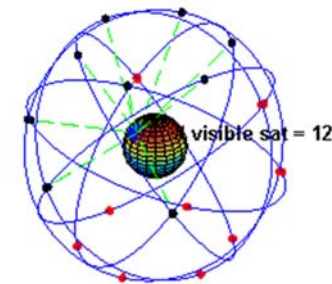
- X線写真
 - ・病気の発見、治療の手助け
- 量子力学
 - ・エレクトロニクスの世界
- 特殊・一般相対性理論
 - ・GPS（カーナビゲーション）
- 加速器・検出器技術
 - ・放射光を用いた、物質の構造の解明
 - ・PET, MRI での画像診断
 - ・陽子線・重粒子線による癌治療



ヴィルヘルム・レントゲン



彼の妻の手の
X線写真



地球の周りを回るGPS衛星

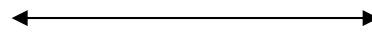
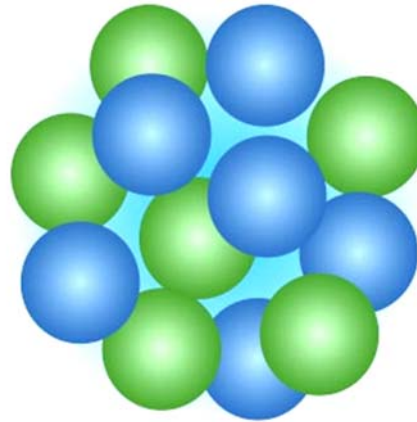
原子核

- 陽子と中性子からなる
 - 陽子と中性子をまとめて核子と呼ぶ
- 元素の種類
 - 電子の数＝原子核中の陽子の数
 - 物質の性質は、電子軌道がどのような状態であるかで決まる
- 同位体
 - 陽子の数が同じで中性子の数が異なる
 - 安定な原子核と不安定な原子核の存在
- 原子核の構造
 - 陽子や中性子は、原子中の電子のように、とることの出来るエネルギーや軌道が決まっている
 - 量子力学の世界なので、そのエネルギーは飛び飛びの値しか持てない

原子核

- 陽子と中性子からなる
 - 陽子と中性子をまとめて核子と呼ぶ

原子核



約 10^{-14} [m]

= 0.0000000000000001 [m] = 10兆分の1メートル

ギリシャ語由来の -on
に対応するのが「子」
proton: 陽子
neutron: 中性子
nucleon: 核子

原子核

- 元素の種類

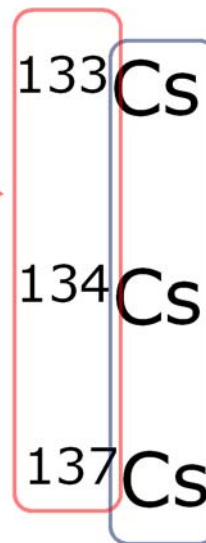
- 電子の数＝原子核中の陽子の数、で決まる

- 同位体

- 陽子の数が同じで中性子の数が異なる

質量数：
陽子と中性子の個数の合計

安定な物と不安定なものがある
不安定なものは放射線を出して安定な物に変わる



名前が同じ
原子番号が同じ
＝原子核中の陽子の個数が同じ
化学的性質が同じ

例：セシウムは原子番号55

セシウムの同位体
質量数が112から151まで
安定なのは セシウム133

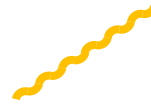
その性質

放射性物質と 放射線

放射能と放射線

放射性物質

放射線を出す能力を持った物
＝ 放射能



放射性物質から放射されるもの
＝ 放射線

光子・電子・陽電子・陽子
ヘリウム原子核・中性子

例えると



懐中電灯

光を出す能力を持った物

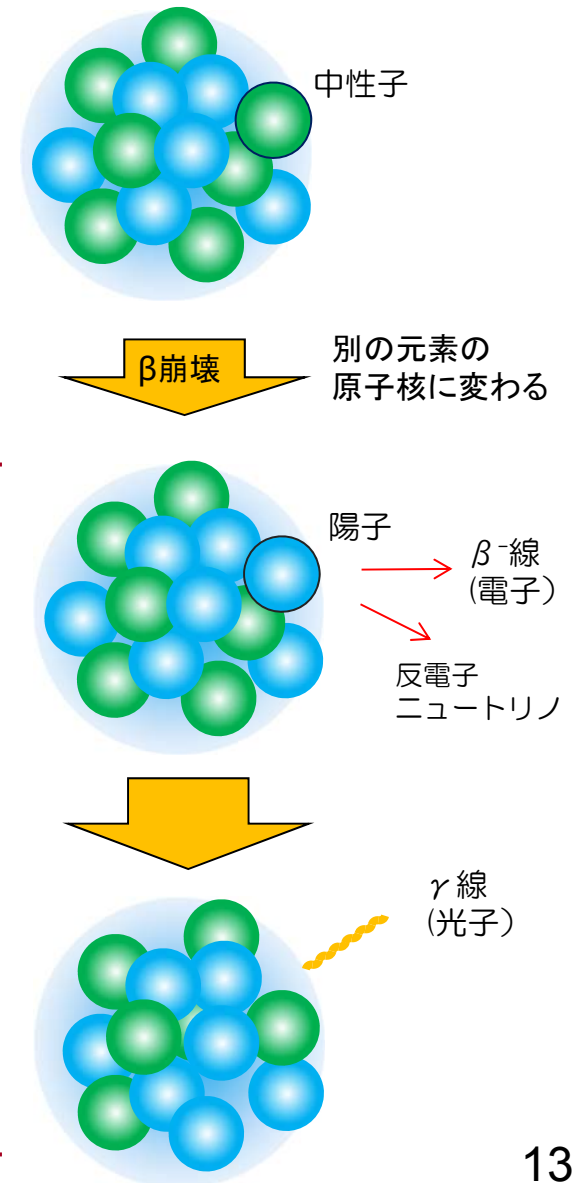
光

懐中電灯から放射されるもの

放射性物質

不安定原子核

- 余分なエネルギーを外に出して安定な原子核になる
 - 別種類の原子核になる
 - 崩壊または壊変と呼ばれる
 - 原子核内部の構造（陽子や中性子の軌道）の変化
 - 励起状態から基底状態へ
- 放射される物
 - = 放射線
- 不安定原子核を持つ物質
 - = 放射性物質
- 一つの原子核がいつ壊変するかは分からない
 - しかし、沢山集めれば、平均的にどのくらい時間が経つと壊変するかは分かる



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、 γ 線、 β 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

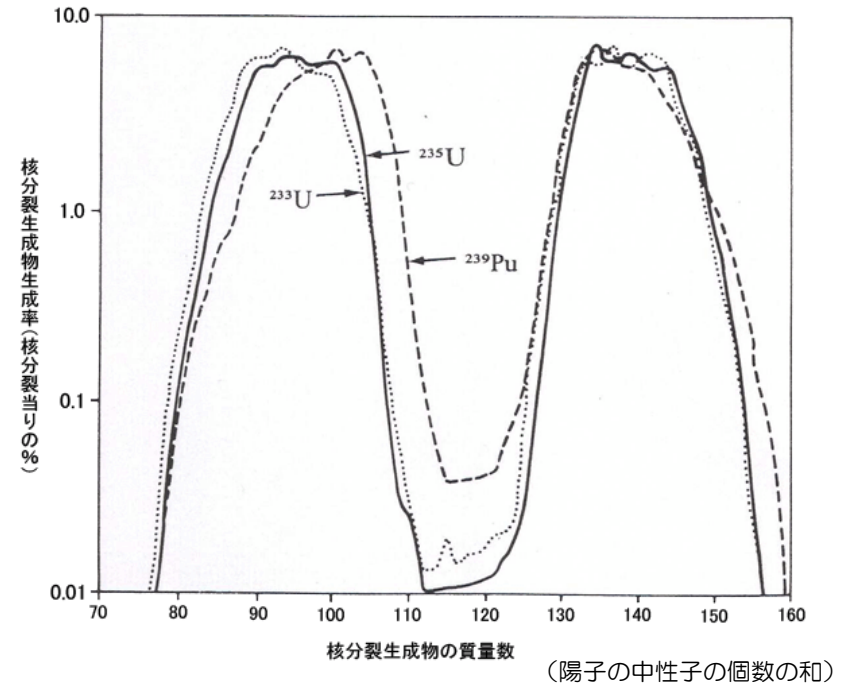
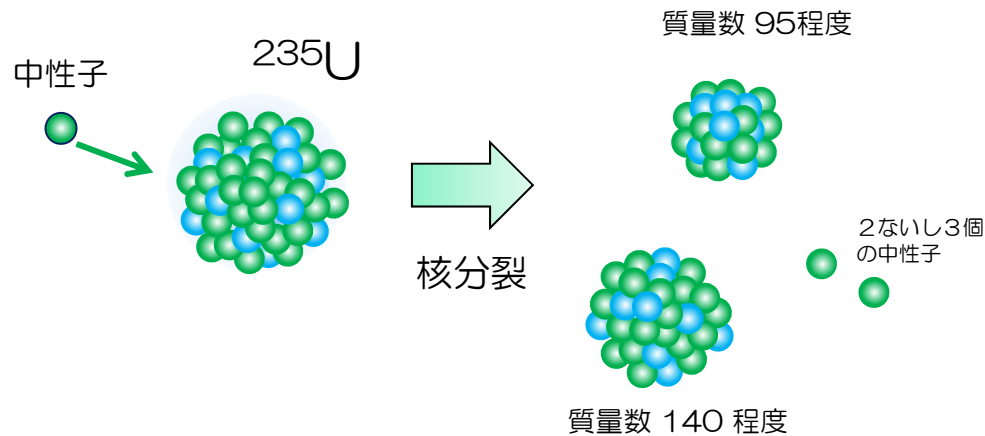


図1 核分裂生成物の質量数分布
[出典]W.マーシャル編:原子炉技術の発展(上)、裳華房、p.72

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

福島第一原発から大気中に放出したと考えられる放射性同位体で、量が多いと予想されているもの

キセノン133 (1.1×10^{19} Bq)
ヨウ素131 (1.6×10^{17} Bq)
セシウム134, 137 (1.8×10^{16} Bq, 1.5×10^{16} Bq)

保安院の発表より

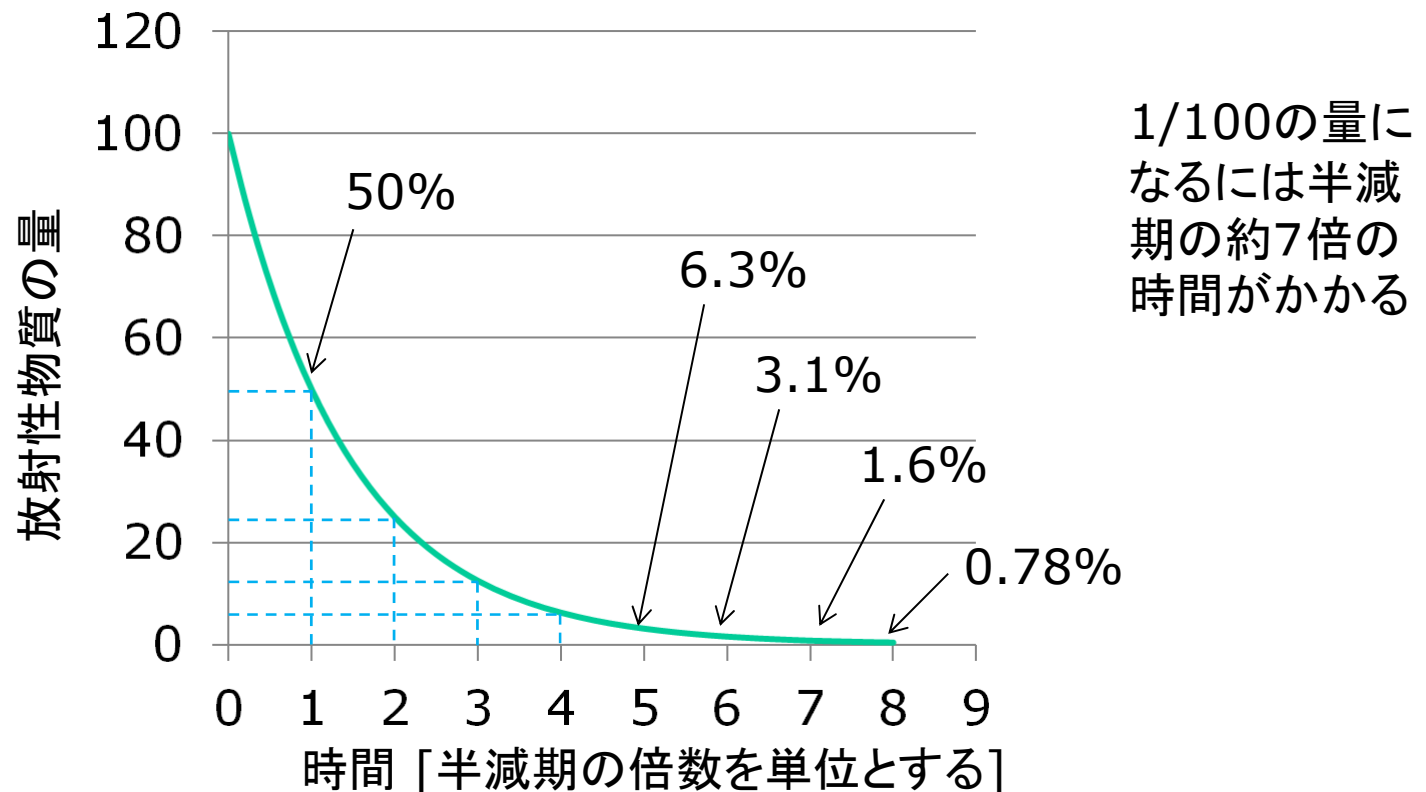
<http://www.meti.go.jp/press/2011/06/20110606008/20110606008-2.pdf>

ストロンチウム89と90の和と、セシウム134と137の和の比は、福島県の土壌では、1:2000~1:4000

文部科学省の測定結果を基にした原子力安全委員会の資料
http://www.nsc.go.jp/nsc_mnt/110610_3.pdf

半減期

- 放射性物質は崩壊（壊変）と共に減っていく
- 元々あった量が半分になる時間＝半減期
 - 原子核によって半減期は異なる
 - マイクロ秒のオーダーから ^{238}U の45億年までいろいろ



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

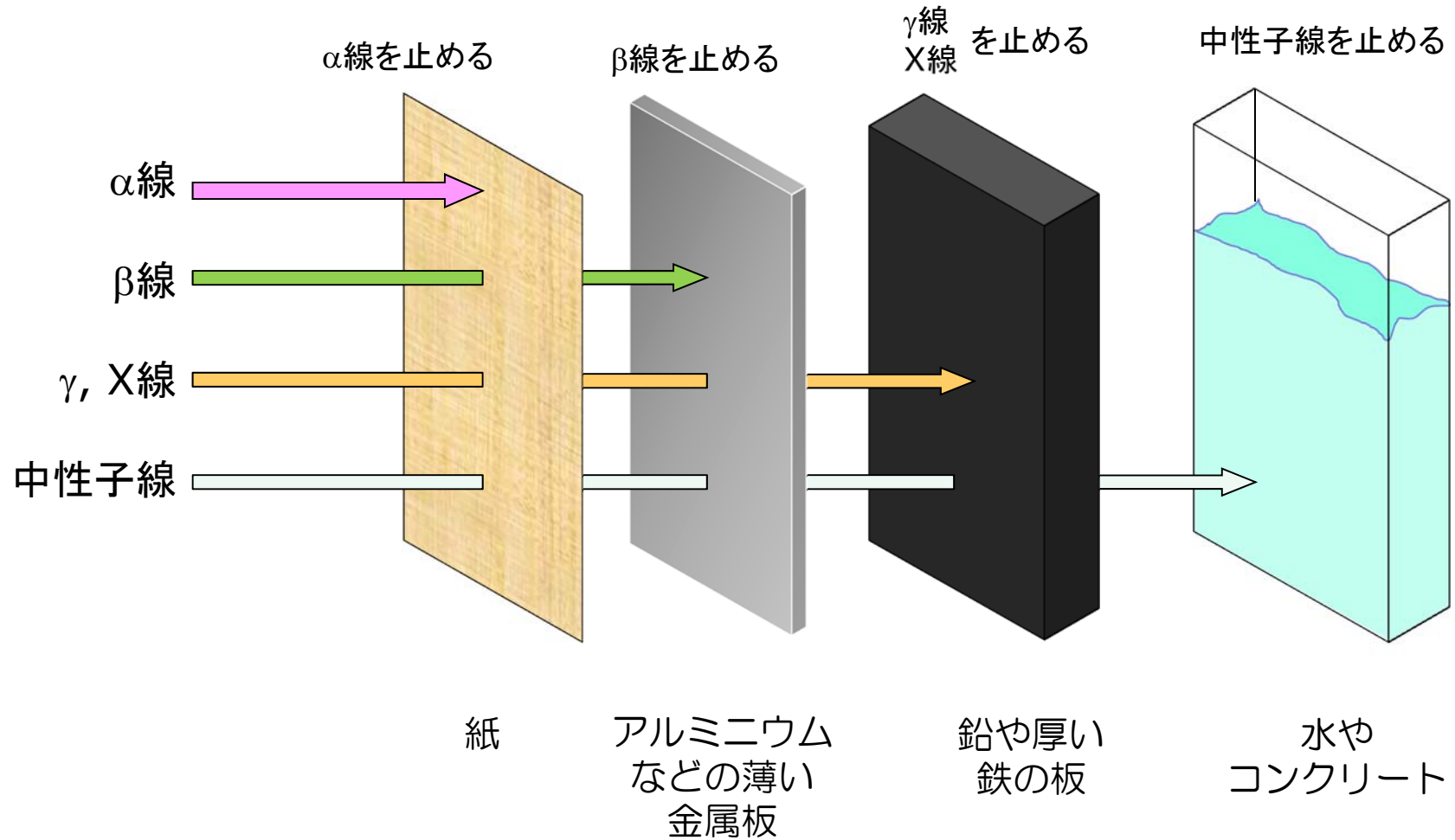
• シンクロトロン放射・制動放射を利用し電磁波
(紫外光、X線、 γ 線)を生成させる

個々の放射線について
詳しい説明は付録を
参照してください

電離化

- 電離化 (Ionization) とは
 - 原子中の電子がはがされてイオンになる
 - イオン化させるのに十分なエネルギーを持っている放射線
= 電離性放射線
 - 電離をさせない放射線もある
 - 一般に言う放射線は、電離放射線を指す
- 生体への影響
 - 分子中の原子をイオン化、分子を壊す
 - 電離化によって発生したラジカルが分子に影響を与える
 - たとえば
 - 酸素からオゾン
 - 水から、水素と過酸化水素
 - 同じ放射線量を被曝しても個体差がある
 - 統計的（確率的）にしか影響が述べられない

放射線の遮り方（遮蔽）



放射線の測定単位

• 吸収線量

- 1 [Gy(グレイ)]: 1 kg の物質に 1 J のエネルギーを与える
 - 同じ吸収線量でも、放射線の種類によって生物学的影響が異なる

• 等価線量

- 1 [Sv(シーベルト)] = 放射線荷重係数 × [Gy]
 - 放射線荷重係数
 - γ , X線: 1
 - β , μ 粒子: 1
 - 中性子: 5~20 (エネルギーによって異なる)
 - α 線: 20
- 等価線量に生体組織による影響の違いを考慮したものが、実効線量

• 線量率

- ある時間あたりにあびる線量
 - μ Sv/時 (マイクロ・シーベルト毎時)
- 線量率と線量の違い
 - 速度 (km/時) と距離 (km) の違いと同じ
 - 報道等でも、線量率と線量の混乱が見られるので注意が必要

放射能の測定単位

• 放射能の量

- ベクレル, [Bq]

- 1 [Bq] = 1秒あたり、一つの原子核が崩壊して放射線をだす
 - 例：ラドン温泉
 - » ラドン222が 74 [Bq/l] 以上、ラジウムが 100 ng/l 以上含まれる
(ng = ナノ・グラム = 10億分の1グラム)

- キュリー, [Ci]

- 1 g のラジウムの放射能に相当
- ベクレルとの関係
 - $1 \text{ [Bq]} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ [Ci]}$ (10^{-11} は1000億分の1)
 - $1 \text{ [Ci]} = 3.7 \times 10^{10} \text{ [Bq]}$ (10^{10} は100億)
- 現在では使われない
 - チェルノブイリ事故による土壤中の放射能の量を示すのには、Ci/km² が使われているので見かけることがある
 - $1 \text{ [Ci/km}^2\text{]} = 37000 \text{ [Bq/m}^2\text{]}$

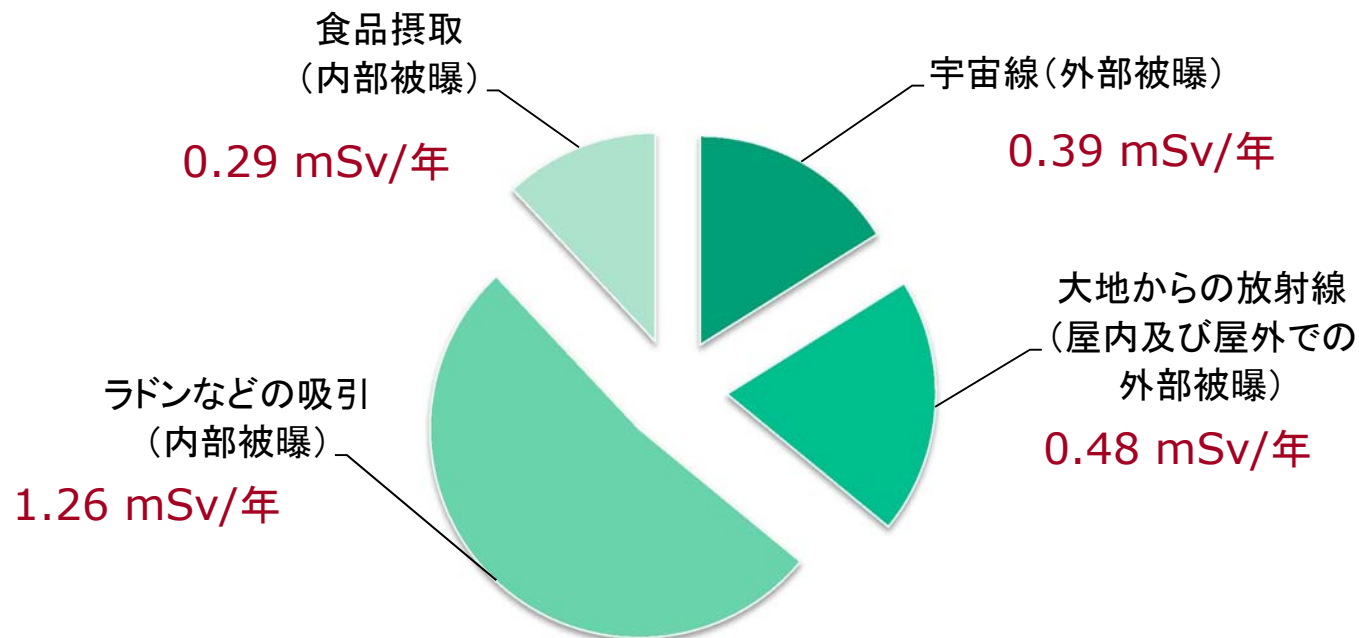
桁を表す単位

記号	読み方	漢数字表示	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	10^0
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}

自然放射線

- 自然界に存在する放射線
 - 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

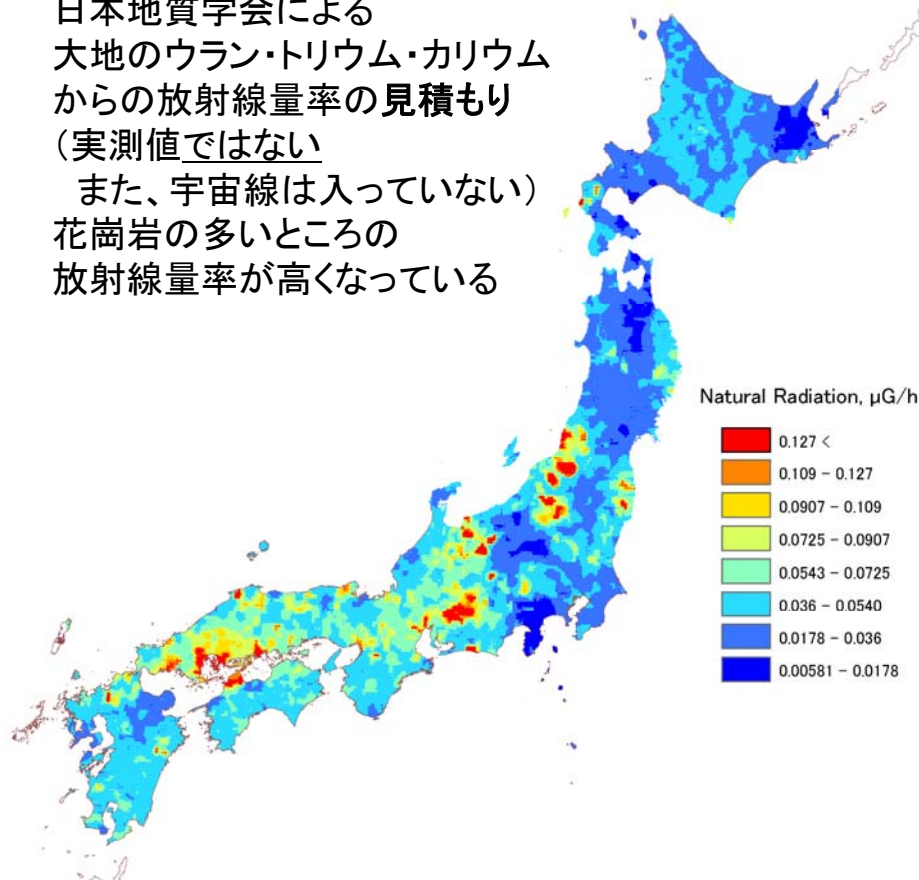
自然放射線による年間実効線量の世界平均的な値(国連科学委員会の推定)



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

日本地質学会による
大地のウラン・トリウム・カリウム
からの放射線量率の見積もり
(実測値ではない)
また、宇宙線は入っていない)
花崗岩の多いところの
放射線量率が高くなっている



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

宇宙、大地からの放射線と食糧摂取
によって受ける放射線の量(ラドンなど
の吸入によるものを除く)

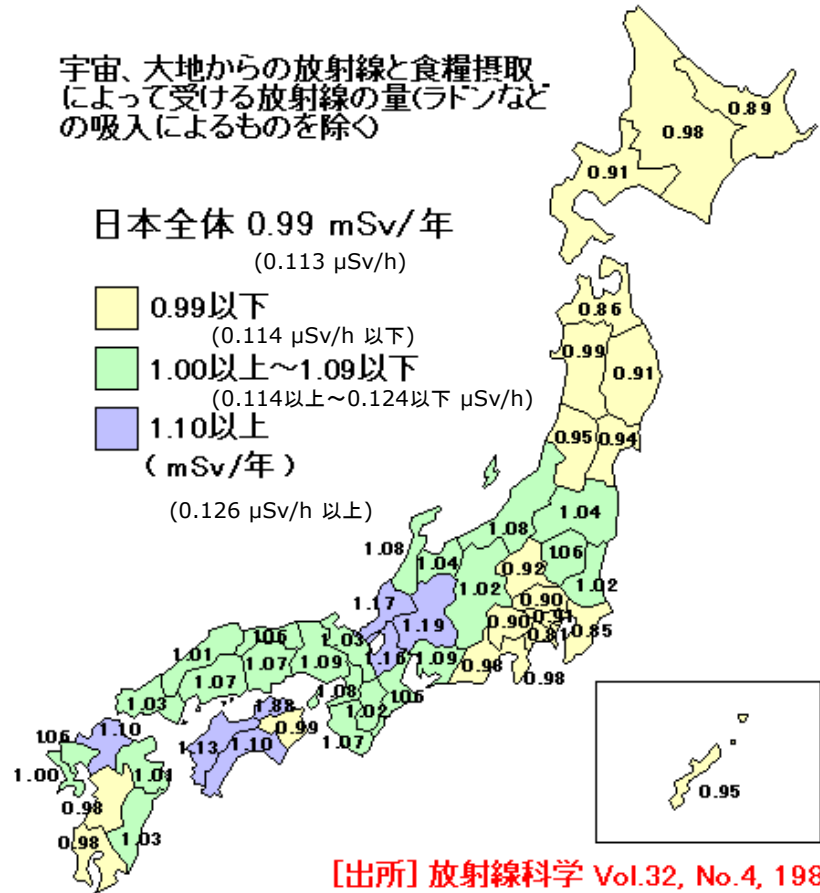
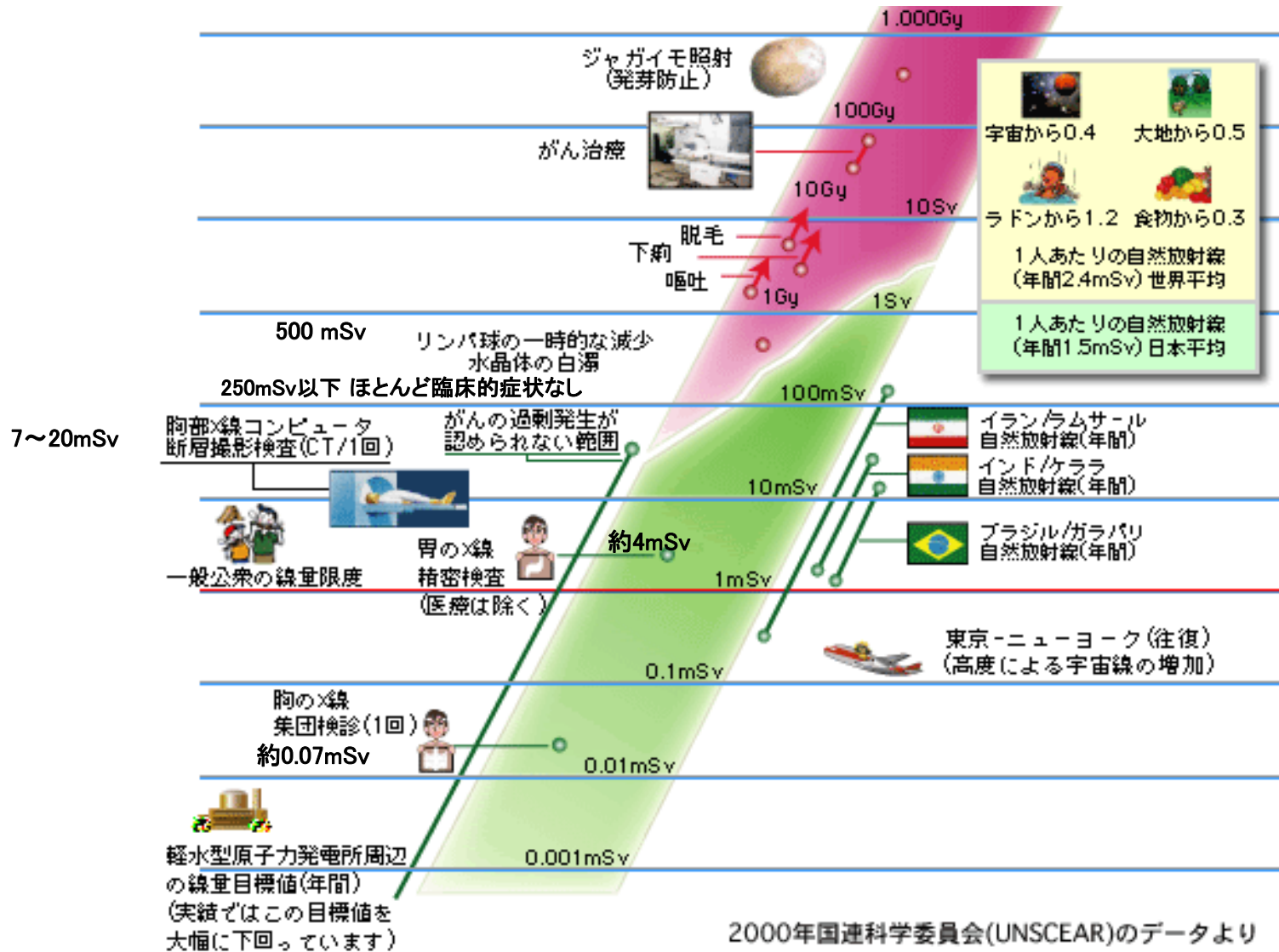


図1 わが国における自然放射線量

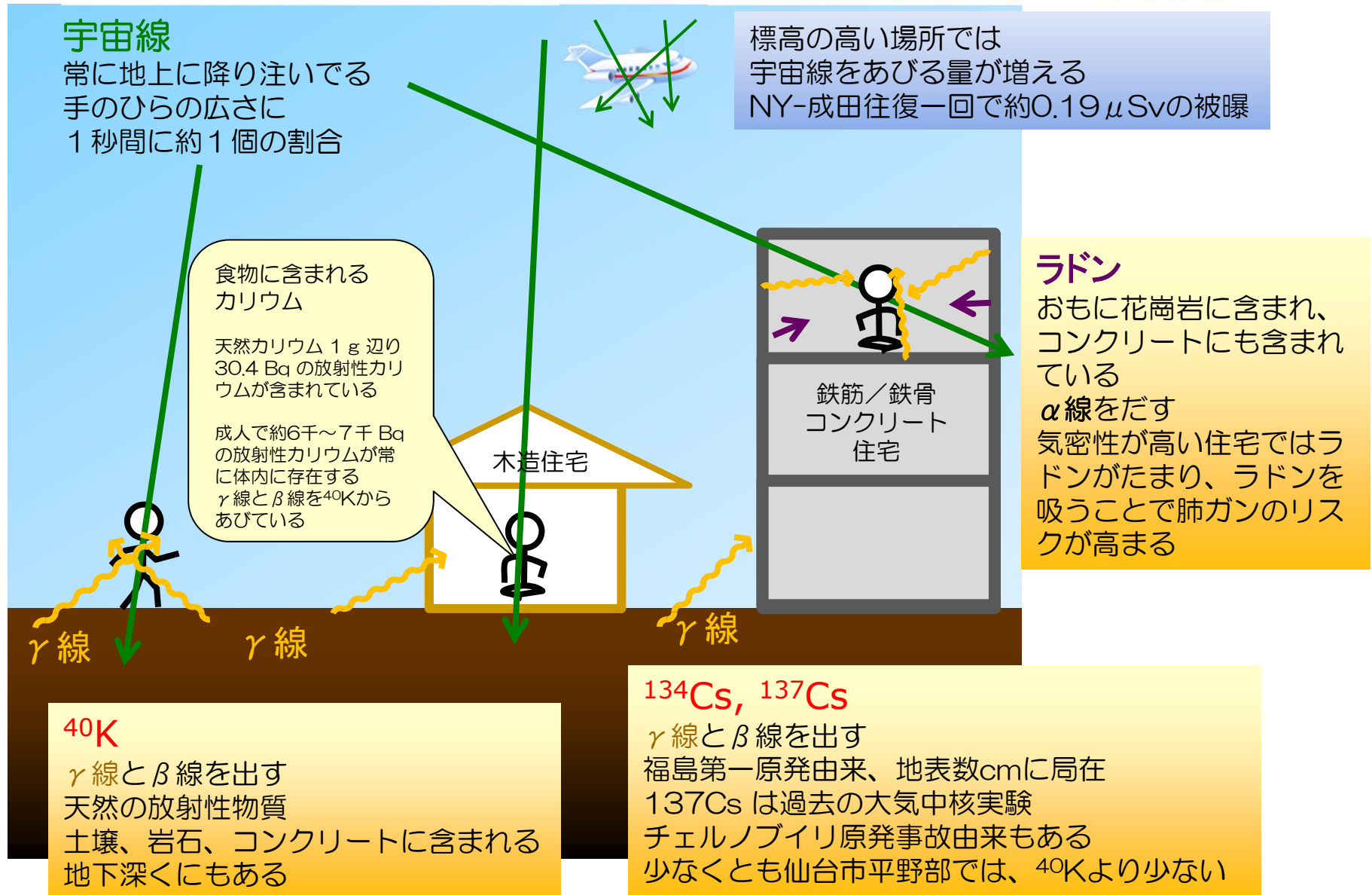
[出典] 電気事業連合会:「原子力」図面集(2000)、p.120

<http://www.rist.or.jp/atomica/data/pict/09/09010504/03.gif>

いろいろな放射線量



私たちがあびている放射線



β 線は空気中では数m飛んで止まってしまうので、遠くからは飛んでこない

ここまでのまとめ

• 放射線

- 原子の内部から放射される、粒子・電磁波
- 他の物質を電離させる能力を持ったものを「電離性放射線」と呼ぶ
 - 一般的には、電離性放射線を「放射線」と呼んでいる
- 種類により特徴的な振る舞いをする
 - 素粒子・原子核の研究で得られている知見で説明できる

• 放射線の生物学的影響

- 相互作用自体が確率的な振る舞いをする
 - ある量以上被曝したらすぐ危険というわけではないし、ある値以下だから絶対に大丈夫とはいえない
 - が、これ以上浴びないようにしなければならないという目安が法律で設定されている（放射線作業従事者について）
 - 5年間で100 mSvを越えない、かつ1年間につき 50 mSvを越えない
 - 自然放射線（約 2 mSv/year）はこの中に含めない



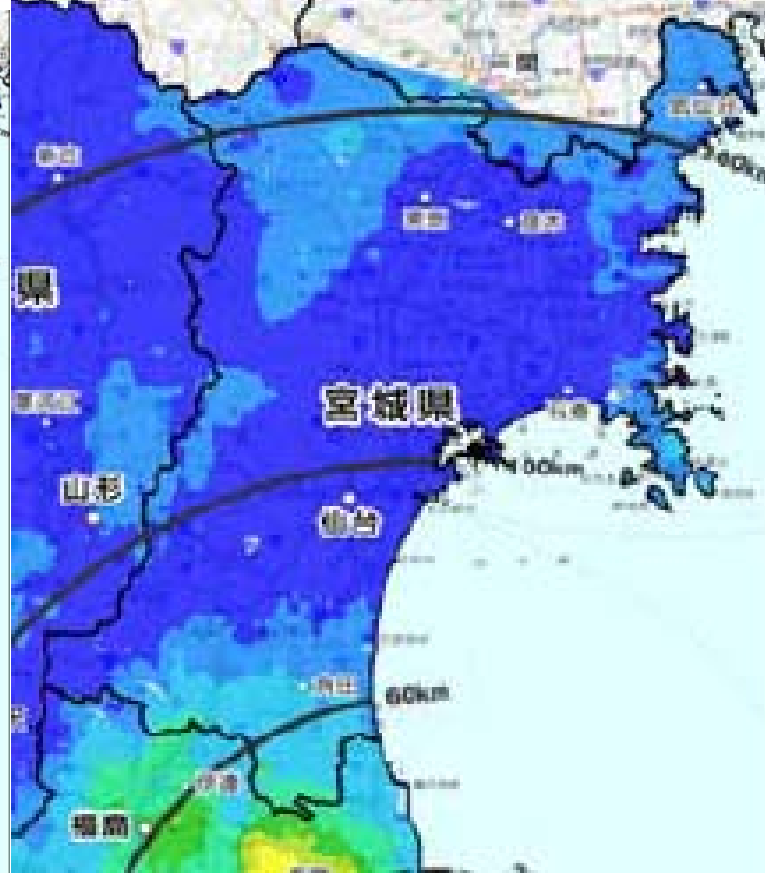
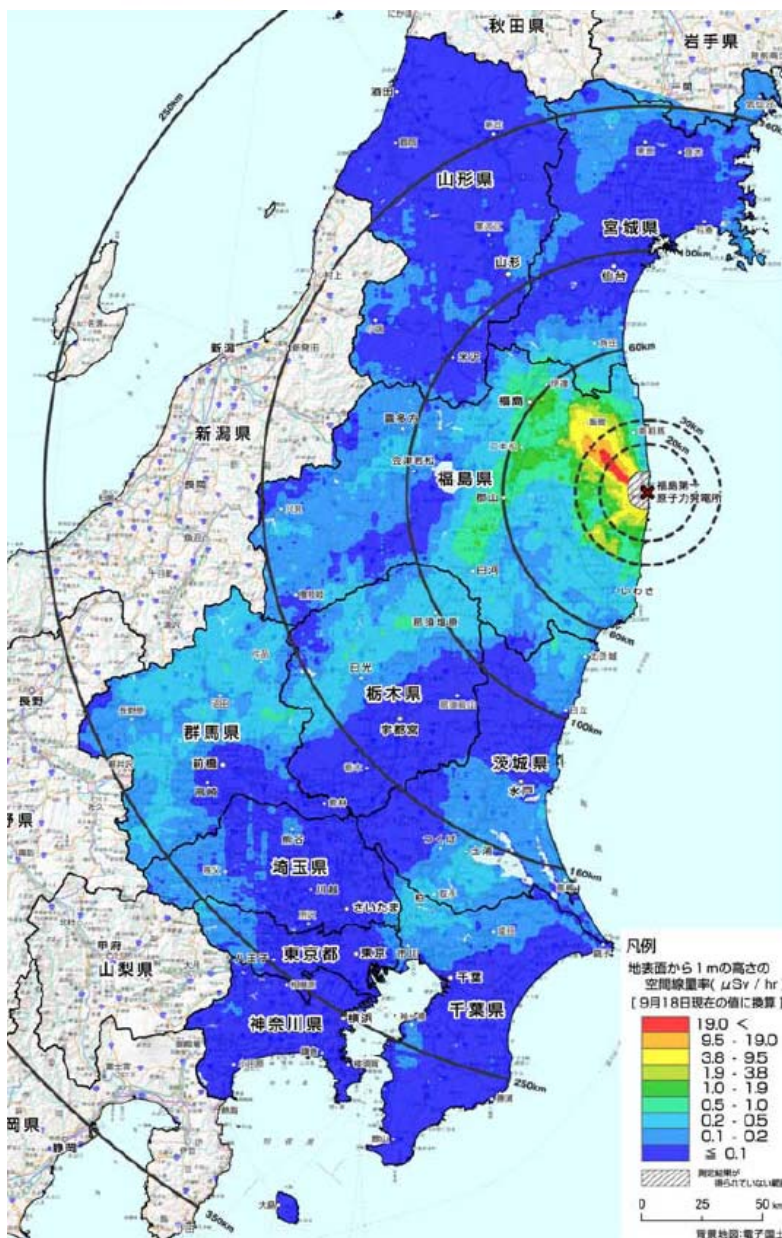
関東から東北、宮城県、仙台市の測定値を例に

放射線と どうつきあうか

知彼知己
百戰不殆
不知彼而知己
一勝一負
不知彼知己
每戰必殆

孫子兵法

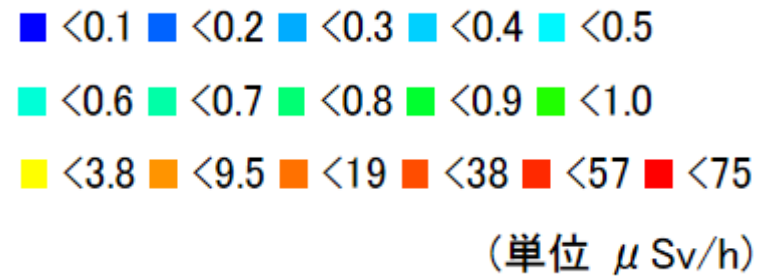
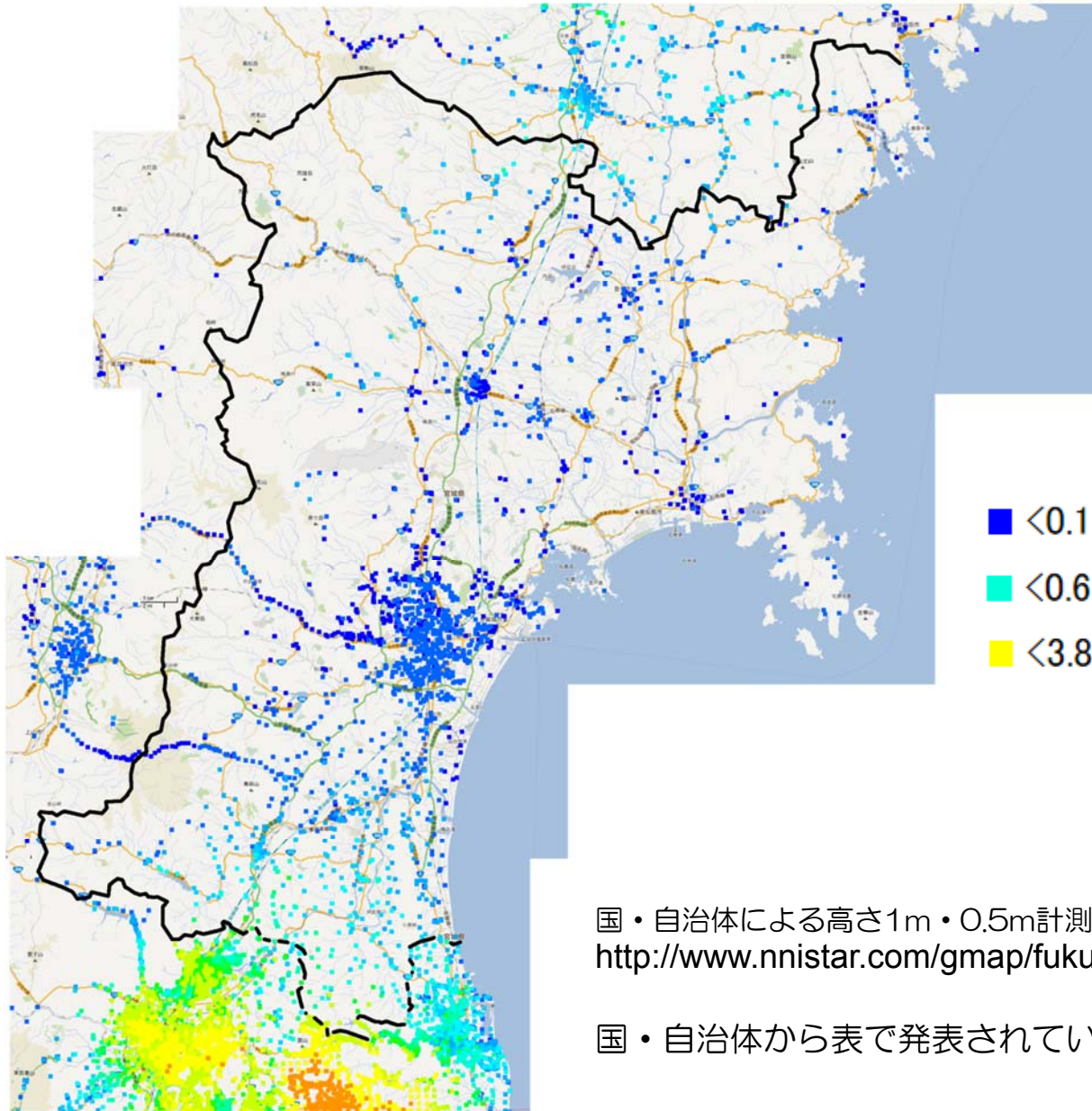
放射線量分布（地表1mに換算）



文部科学省による航空機モニタリングの測定結果
http://radioactivity.mext.go.jp/ja/1910/2011/10/1910_100601.pdf
 (2011/10/6発表の資料)より
 ヘリコプターにより、地表150~300mの高度で測定

注意
 実際に地表で測定した値と比べると、20~30%の誤差がある。
 この地図はあくまでも傾向を知る為のもの。
 10月現在はこれよりも低い値になっている。

放射線量分布 (地表1m,50cmの測定値より)



国・自治体による高さ1m・0.5m計測、を中心とした放射線量マップ
<http://www.nnistar.com/gmap/fukushima.html>

国・自治体から表で発表されているものを有志の方が地図に載せた物

仙台市青葉区の放射線量率の推移

https://sites.google.com/site/radmonitor311/sendai_aobaku

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

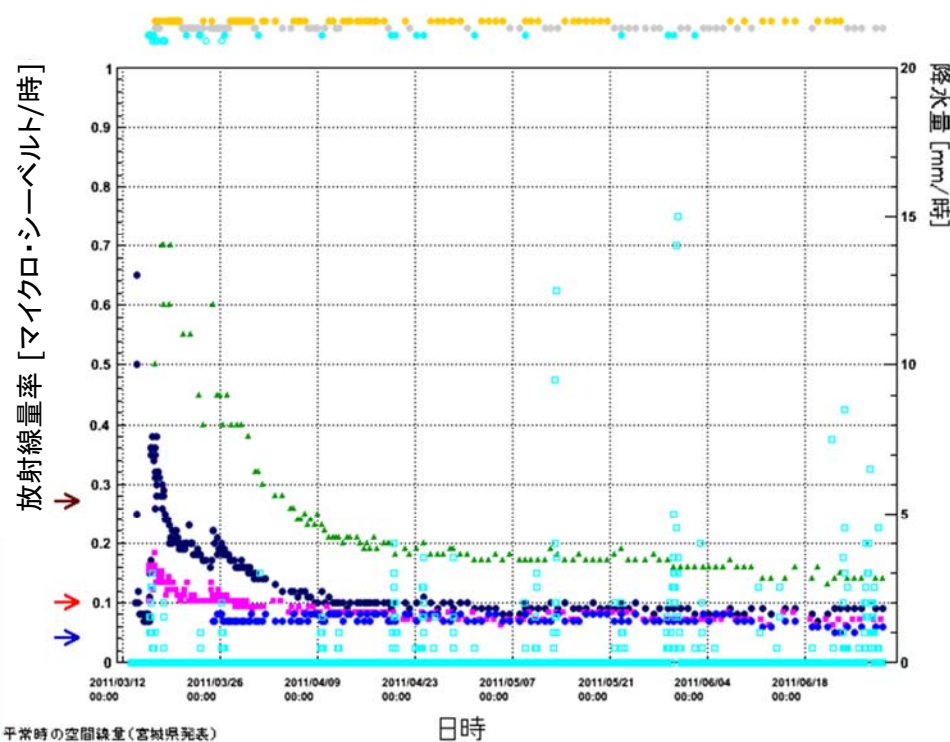
- 放射線量
- 屋外
 - 雨の当たらない軒下
 - ▲ 屋外の土に接触させて測定
 - 室内(鉄筋コンクリート)
- 天気
- 晴れ
 - 曇り
 - 雨
 - 雪
 - 降水量

国連科学委員会(UNSCEAR)の2000年版の報告書による
 内部放射線と外部放射線の和の世界平均は
 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)
 外部放射線(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。



金田雅司

仙台市青葉区の放射線量モニター (2011/3/13 - 2011/6/28)



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>

• 3月13~16日のベント、水素爆発以降放射性物質の大量放出は観測されていない

- 仙台での測定と、原子力発電所敷地内での測定値比較から

• 3月24日の仙台での増加は上空にあったものが雨で降下したと考えられる

- この日以降では、降雨後0.01~0.02[μSv/h]の増加し、また線量が落ちているがこれは、大気中にある天然放射性物質ビスマス(Bi)214と考えられる

- 日本分析センターの測定では、降雨後にBi-214が増加してすぐ減少しているのが見えている。

• http://www.jcac.or.jp/lib/senryo_lib/nodo.pdf

• 6月末以降

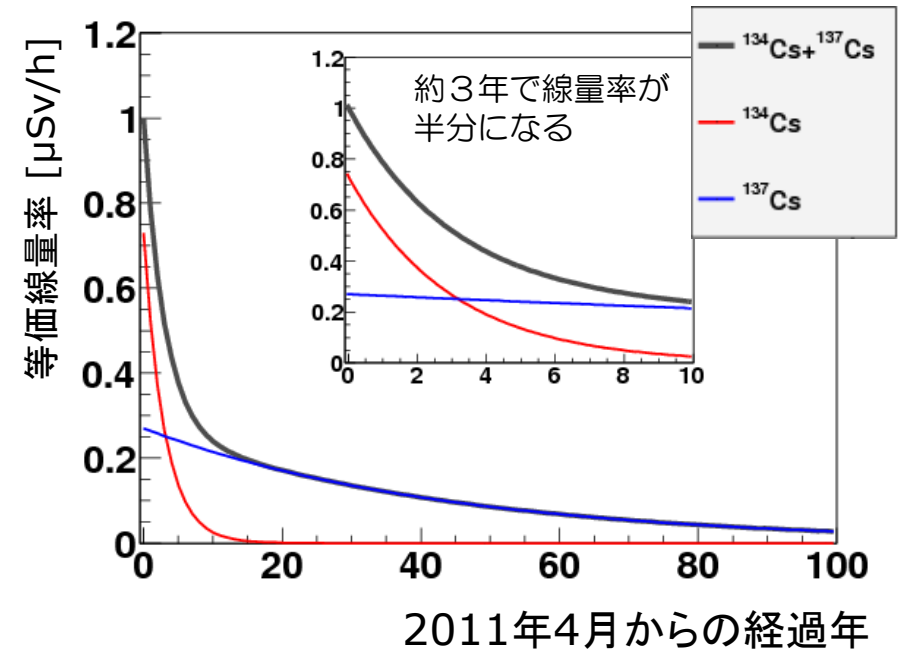
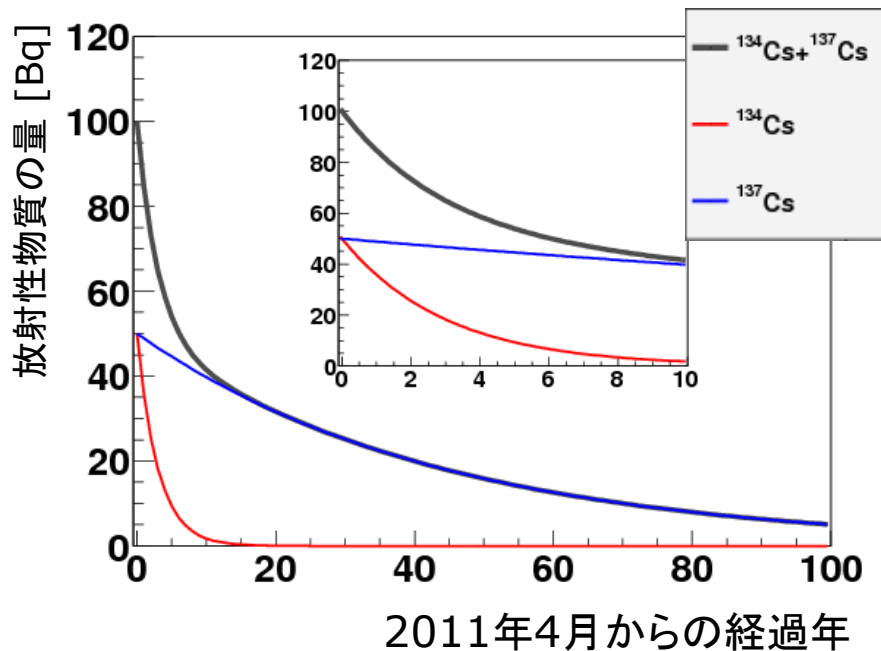
- ヨウ素131(半減期8日)は殆ど無い

- 主にセシウム134と137



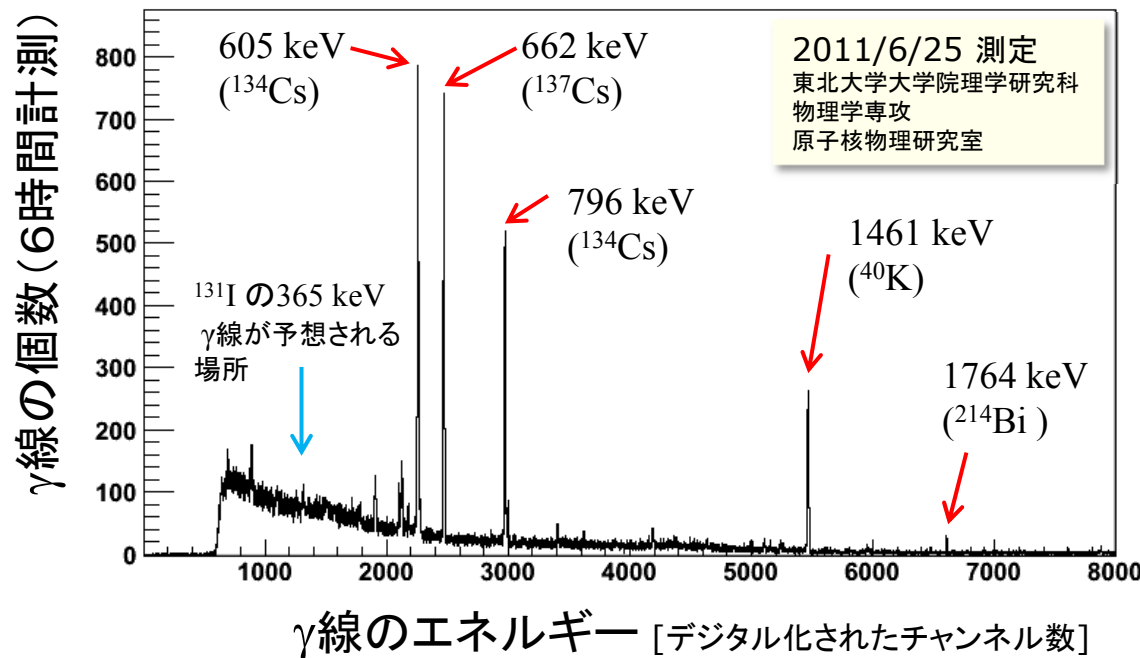
今後の放射線量の変化

- 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



青葉山キャンパスの土中の放射性物質

- ゲルマニウム検出器で測定
 - 高エネルギー分解能の検出器
- ピークが放射性物質から出た γ 線に対応
 - ピークの下にある連続して分布している物はバックグラウンド
 - 知りたい γ 線の個数はバックグラウンドの上に乗っている
- 6月末に見えている γ 線の由来は
 - セシウム(Cs)-134, -137
 - カリウム(K)-40: 天然放射線
 - ビスマス(Bi) -214: 天然放射線 (ラドンから)



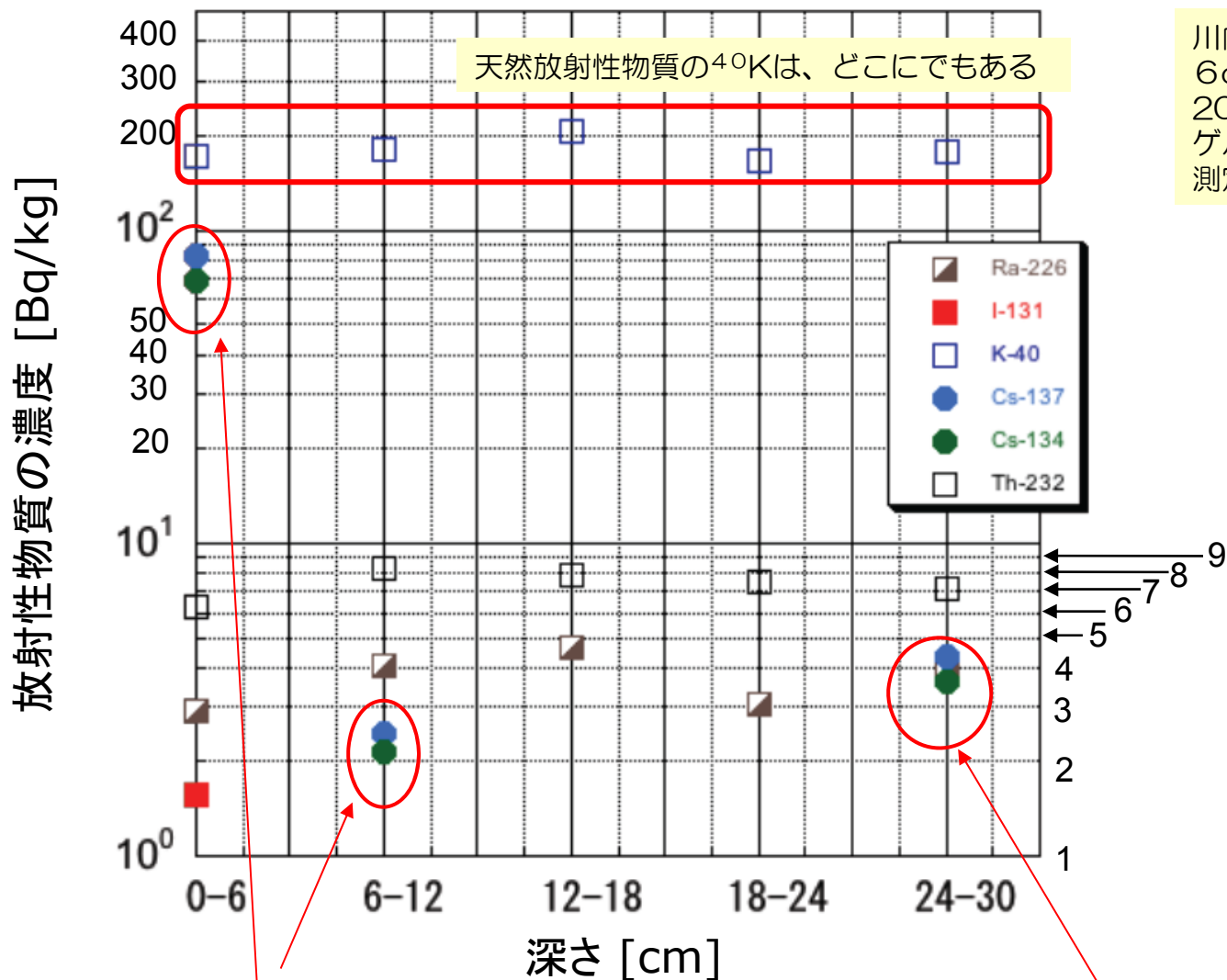
測定装置は、 γ 線のエネルギーをデジタル化したチャンネル数として記録
 チャンネルからエネルギーに換算するのが較正
 (keV はエネルギーの単位)

バックグラウンドがギザギザしているは、統計的揺らぎの為

ヨウ素-131 (^{131}I) は、バックグラウンドの揺らぎに埋もれて見えない
 = 検出限界以下

カリウム-40 が γ 線を出すのは、その量の10%程度。

深さの違いによる放射性物質濃度の変化



川内グランド土壌を
6cm毎の深さで採取
2011/6/6 に測定
ゲルマニウム検出器を使用
測定者：関根勉（東北大高教センター）

縦軸は対数表示

指数表示の数字の意味

$10^0 = 1$

$10^1 = 10$

$10^2 = 100$

天然の放射性物質

Ra (ラジウム)-226

K(カリウム)-40

Th(トリウム)-232

放射性セシウムは地表近くに集中。
地表6cmまでと、6cmから12cmでは
約 1 : 30 の比率

上層の土壌には無かった放射性セシウムが
出ている。近くの暗渠からのしみだし？

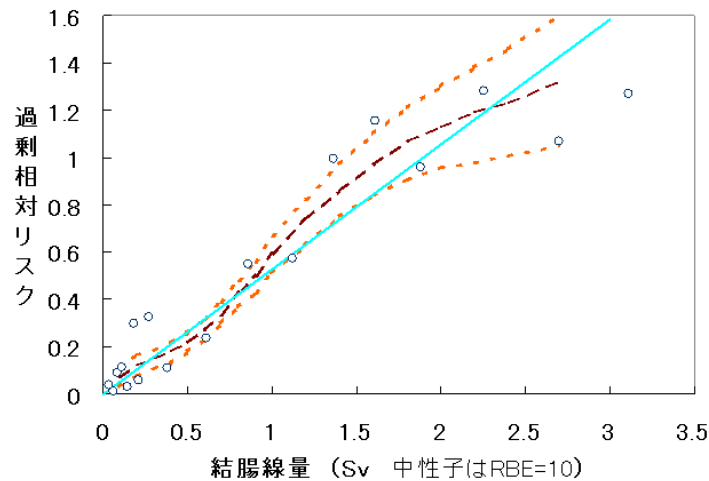
天然にある放射性物質

- 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
 - 日本は世界平均よりも少ないレベル

放射線のリスク評価

放射線による影響の研究

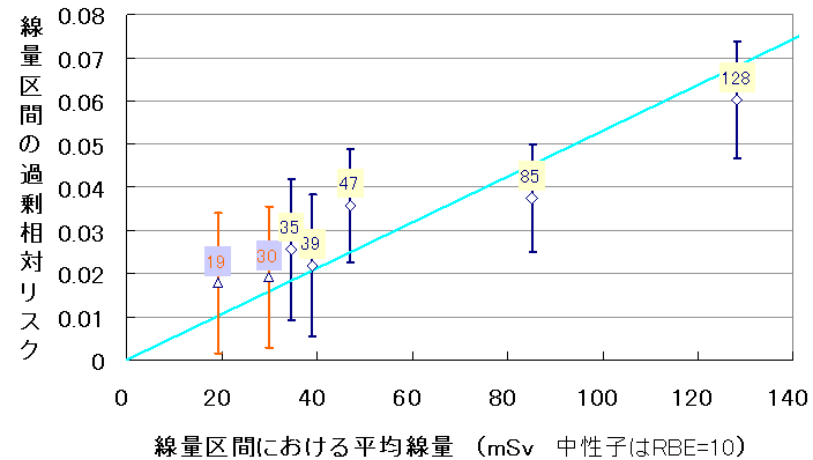
原爆被爆者への調査から



注:○は線量区分別のERR推定値、破線は○から得られた平滑化推定値(点線はその±σ値)

図2 原爆被爆者における固形がんERRの線量-反応関係 (1950-1997年の死亡率調査)

[出典]D. L. Preston, 清水由紀子ら:放射線報告書No.24-02、原爆被爆者の死亡率調査 第13報 固形がんおよびがん以外の疾患による死亡率:1950-1997年、p.11



注:図中の数字は5-50, 5-100, 5-125, 5-150, 5-200, 5-500及び5-1,000mSv区間における平均線量(mSv)。◇:統計的に有意(p<0.05)、△:有意でない(p>0.05)。直線は図1と同じリスク係数0.53/Sv。下記の出典の数値をもとに作成した。(平均線量は混成対数正規分布により推定)

図3 低線量域における原爆被爆者の固形がんERRにおける直線性 (1950-1997年調査)

[出典]D. L. Preston, 清水由紀子ら:放射線報告書No.24-02、原爆被爆者の死亡率調査 第13報 固形がんおよびがん以外の疾患による死亡率:1950-1997年、p.15

RBE:線質係数、GyからSvに換算するときに使われる係数

左図の横軸の単位は右図の1000倍であることに注意

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

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影響
 - 線量の増加に応じて増えている
 - しかし、その関数がどうなっているかはよく分からない
 - 特に 1 Sv 以下については、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、1 mSv あたり、0.005% と評価
- このリスクは他のリスクに比べて大きいか
 - 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
- 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）
 - 土壌中の比は、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）

内部被曝の評価：仙台の例

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μSv/Bq になおしています。

- 仙台青葉区での土壌中の放射性セシウム(Cs-134とCs-137を足したもの)の値は、高いところで500 Bq/kgで、Cs-134とCs-137の比はおよそ1:1 (どちらの数値も、当研究室調べ)
- 幼児が外遊びをしていて、毎日1gの土が口に入って飲み込んだと仮定。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、 $91.25 \times 0.013 + 91.25 \times 0.010 = 1.18625 + 0.9125 = 2.1$ [μSv] になる
- 食物による内部被曝の世界平均が、一年あたり0.29 mSv = 290 μSv であることを考えると、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

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 [μSv/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」)

差別を広げない為に

- 無知は罪

- 分からないことが不安をあおる

- ただし、分かっても怖がる人もいます

- 正しい知識を持ってリスクの評価をしてください

差別を広げない為に

- 今回の福島第一原発由来の放射性物質から放射線をあびても、その人・物が放射線を出すようにはならない
 - 自然界にある ^{40}K 及び福島第一原発から飛んできた ^{134}Cs , ^{137}Cs が出す放射線は β 線と γ 線
 - 通常（安定な）原子核が放射線を出す原子核（不安定原子核）に変わる為には、大量の中性子あるいは、加速器で生成する高エネルギーの陽子・電子ビームを照射する必要がある
- 広島・長崎の原爆被害者子孫の方々への調査では放射線被曝による遺伝的影響は観測されていない
 - 被曝2世、3世の世代で遺伝病は増えていない
 - 国連科学委員会（UNSCEAR）による遺伝的影響のリスク推定値
 - 自然突然変異の発生率に対して倍の割合になるのは 1 Gy の被曝（動物実験より）

学校で行って頂きたいこと

• 正しい情報を得る

- テレビ・本・インターネットでの情報は玉石混交
- ある一方に偏った情報ではなく、いろいろな情報をつきあわせて考える

- 情報源の一つとして：出前授業

- 東北大学 大学院理学研究科・理学部の連絡先
 - 大学院理学研究科 教育研究支援部 アウトリーチ支援室
 - <http://www.sci.tohoku.ac.jp/shien/outreach/>
- ただし、出来ないことがあります。
 - 例：原子炉について、放射線の医学的影響の詳細、農作物への放射性物質の集約など、工学、医学、農学に関連することは専門の学部におたずね下さい

学校で行って頂きたいこと

・ 児童・生徒、保護者からの疑問に真摯に答える

－ 数値を出してきちんと説明する

・ 某県知事のように

「詳細な数値を出したところで消費者の皆さんは理解ができないわけでありますから、安全か安全でないかということだけはっきりと証明すれば十分」

という様な対応は**最低・最悪**

－ 保護者・地域との連携が不可欠

・ 放射線・放射能への対策

- － 宮城県での放射線量は県南・県北で高めだが、福島中通りより低い
- － 場所によって違うので、一様な対応はできない

・ 予防原則の考え方に従えば、少しでもリスクを下げた方がよい

- － 経費や手間がかかるので、学校だけでは負担が大きい
- － リスクは放射線だけではない、予防原則に従ってあらゆるリスクに対応するのは不可能（無限の要求を引き受けなければならなくなる）

科学の適応範囲

- 科学が答えられること・答えが出ないことがある
 - 科学が答えられること
 - 客観的な事実、観測・実験による測定値
 - 放射性物質とはなにか
 - 現在の放射線量率
 - 疫学調査に基づいた放射線・放射性物質によるリスクの確率
 - 科学で答えが出ないこと
 - 個人の価値観に基づくもの
 - どこまでの空間線量率であれば安心できるか
 - 絶対安全か・絶対危険か
 - 科学では絶対に〇〇という答えは出ない

最後に

・放射能・放射線の学校管理への影響

- これまで以上に、保護者・地域との連携が必要

- ・学校だけで抱え込まない、県・教育委員会任せにしない

- ・例えば

- 放射線量の測定を一緒に行う

- 単に数値を述べるだけでなく、きちんと測定をしたという信頼が重要
- 可能であれば複数の測定器を使用する
 - 測定器には誤差がある
 - 較正・校正されていない測定器は、不正確な数値を表示する
 - 簡易校正であれば理学部で協力できます

- 対策を一緒に考える・行う

- どのくらいの放射線量率であれば許容できるかの議論
- 放射性物質の濃度が高い土や落ち葉などを除染するとしてどこに持って行き、どう保管するか

等の、共に考え実行していくことが重要

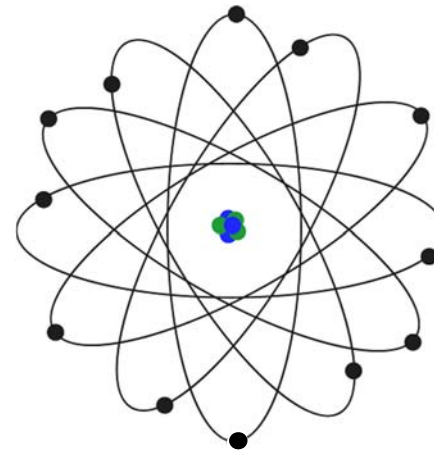
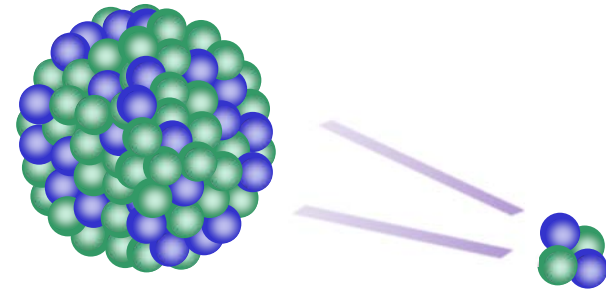


付録

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
(${}^4\text{He}$ の原子核)
- 電子の側を通過するとき電子をはがす
 - 電離



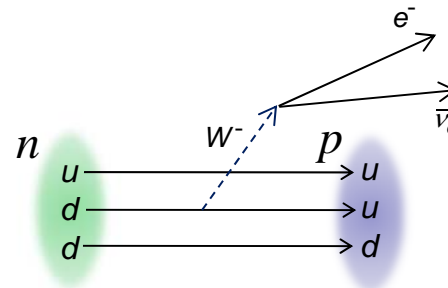
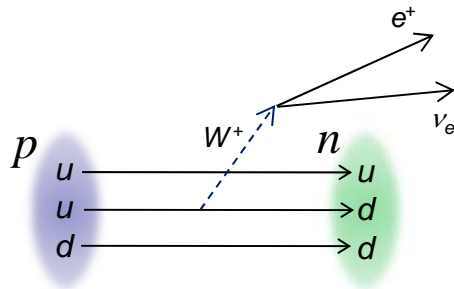
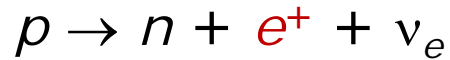
α線

- 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

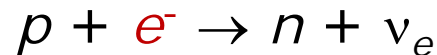
- 物理的性質

- 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) に崩壊するとき放出される



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)
 - 数ミリ圧のプラスチック、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

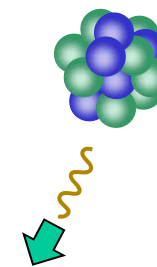
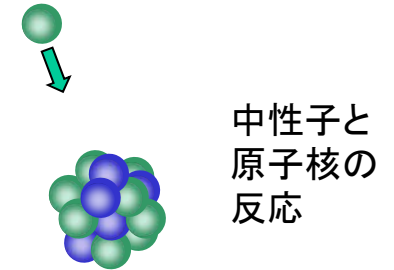
γ線/X線

- 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 cm^2 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 $2.2 \times 10^{-6} \text{ [s]}$
 - 光速($3 \times 10^8 \text{ [m/s]}$)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 $6 \times 10^2 \text{ [m]}$
 - » 相対論効果を考慮
 - » μ 粒子の質量は 105.7 [MeV] ,
 - » $1 \text{ GeV}/c$ 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、 $6 \times 10^3 \text{ [m]}$ 程度まで届く