

# 放射線計測と 素粒子・原子核の実験的研究

教員免許状更新講習

金田 雅司

東北大学大学院理学研究科物理学専攻

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


e-mail: [kaneta@lambda.phys.tohoku.ac.jp](mailto:kaneta@lambda.phys.tohoku.ac.jp)

twitter: @Kaneta

# 講習予定

- 8月8日
  - 16:20-17:35
    - 講義
      - 放射線とは？量子力学と原子
- 8月9日
  - 13:00-14:15
    - 講義
      - 放射線の測定原理
      - 素粒子・原子核の実験的研究、および  
放射線測定方法の医学・工学分野への応用
  - 14:15-14:25
    - 休憩
  - 14:25-15:25
    - 筆記試験
      - ノートのみ持ち込み可

希望があれば、講習会終了後  
研究室に案内して詳しい研究紹介も行います



What is Radiation?  
Quantum Dynamics and Nucleus

# 放射線とは？

## 量子力学と原子

# 放射線の種類

- 粒子

- $\alpha$ 線 ( ${}^4\text{He}$ の原子核)
- $\beta$ 線 (電子・陽電子)
- 陽子
- 中性子
- 水素より重い原子のイオン
- 宇宙線(大多数は $\mu$ 粒子)

- 電磁波

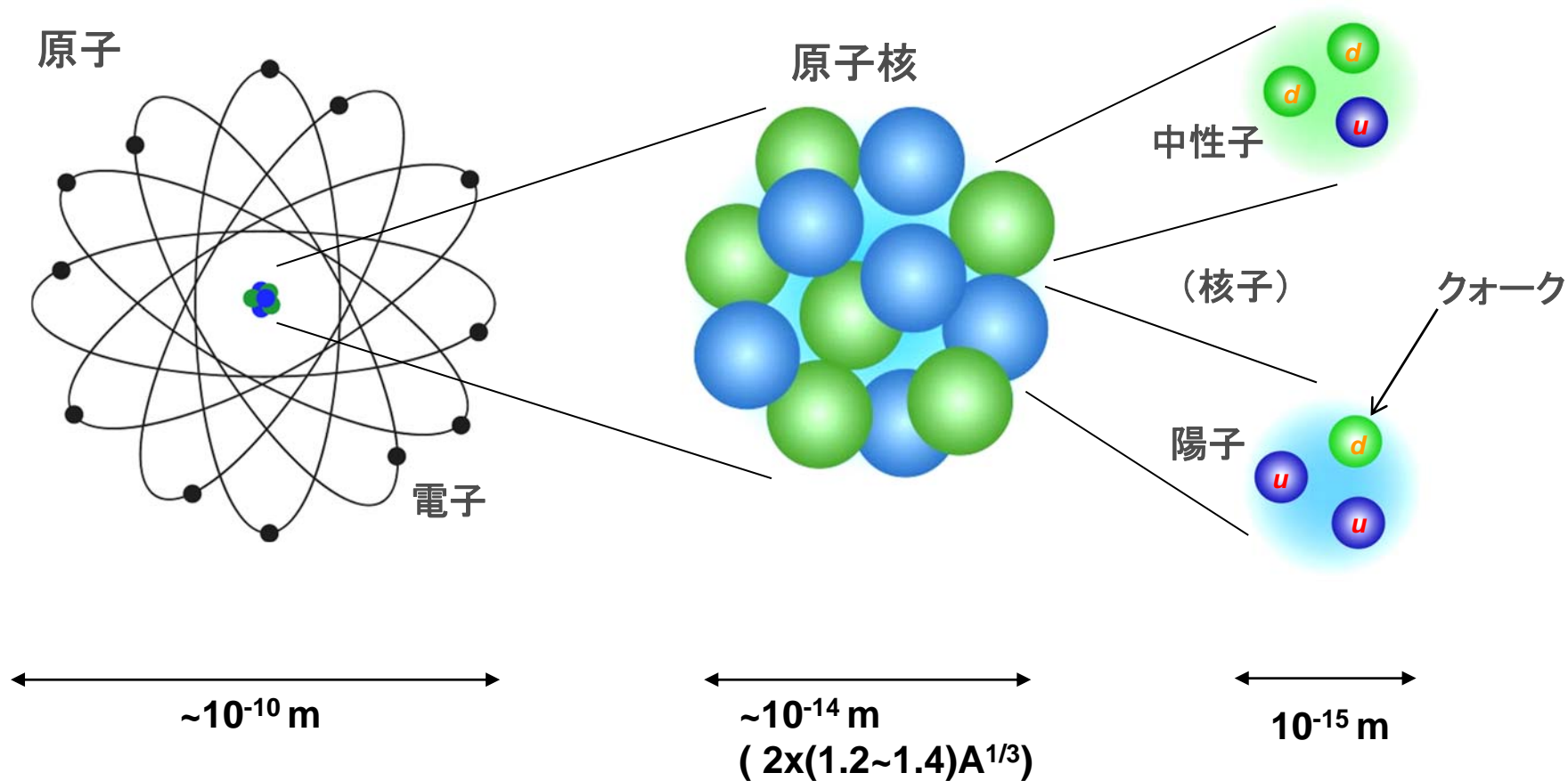
- $\gamma$ 線
- X線



Atom, Nuclear and Elementary Particles

# 原子・原子核・素粒子

# 原子・原子核・素粒子



- 自然界にある放射線の多くは原子から放出される

# 素粒子

- これ以上分解出来ない、最小の要素
  - － 物質を構成する粒子
    - クォーク
    - レプトン
  - － 力を伝える粒子
    - 光子： 電磁気力
    - $W^-$ ,  $W^+$ ,  $Z^0$ : 弱い相互作用
    - グルーオン (Gluon): 強い相互作用
    - 重力子 (Graviton): 重力、未発見

# Quark

## 6種類のクォーク

電荷			
$+\frac{2}{3}e$	 u アップ 0.0015~0.004	 c チャーム 1.15~1.35	 t トップ 170~180
$-\frac{1}{3}e$	 d ダウン 0.004~0.008	 s ストレンジ 0.080~0.130	 b ボトム 4~5

質量  
(GeV/c<sup>2</sup>)



# Lepton

## 6種類のレプトン

電荷			
$-e$	 電子 0.000511	 ミューオン 0.106	 タウ 1.777
0	 電子ニュートリノ $\sim 10^{-19}$	 ミューオンニュートリノ $\sim 10^{-19}$	 タウニュートリノ $\sim 10^{-19}$
			質量 (GeV/c <sup>2</sup> )

# Units

- 素粒子・原子核物理でよく用いられる単位

- エネルギー: MeV, GeV

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

- 長さ: fm

- $1 [\text{fm}] = 10^{-13} [\text{cm}]$

- 断面積: barn

- $1 [\text{barn}] = 10^{-24} [\text{cm}^2] = 100 [\text{fm}^2]$

室温(300 K) の気体の  
粒子の運動エネルギーは  
約0.026 eV

- 使用例

- 陽子

- 質量  $0.938 \text{ GeV}/c^2$ , 電荷半径 約0.9 fm

- 不確定性関係

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.055 \times 10^{-34} [\text{J} \cdot \text{sec}]$$

$$c = 2.998 \times 10^8 [\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}]$$

$$\hbar c = 197 [\text{MeV} \cdot \text{fm}]$$

$$\Delta p \cdot \Delta x \cong \hbar; \quad \Delta x = 1 [\text{fm}] \Rightarrow \Delta p \cong 200 [\text{MeV}/c]$$

# Natural Units

- 自然単位系

- $\hbar=c=k=1$  とすることで表記が煩雑でなくなる
- 運動量、質量、長さ、時間、温度：すべてエネルギーの単位で記述
  - エネルギーの単位を GeV で表すと

	実際の次元	自然単位系
運動量	GeV/c	GeV
質量	GeV/c <sup>2</sup>	GeV
長さ	$\hbar c/\text{GeV}$	GeV <sup>-1</sup>
時間	$\hbar/\text{GeV}$	GeV <sup>-1</sup>
断面積	$(\hbar c)^2/\text{GeV}^2$	GeV <sup>-2</sup>
温度	GeV/k	GeV

- 例：温度 300 [K] → 1/38.7 [eV]
- 値を求める時には、 $\hbar$ 、 $c$ 、 $k$  を補う必要がある

# 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



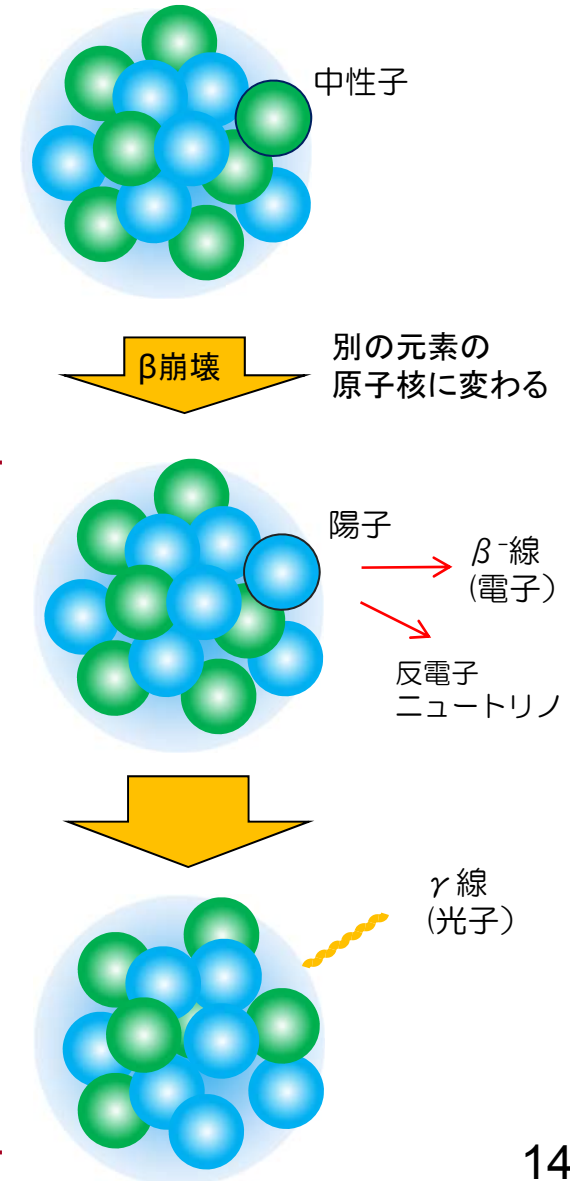
Radioactive Material and Radiation

# 放射性物質と放射線

# 放射性物質

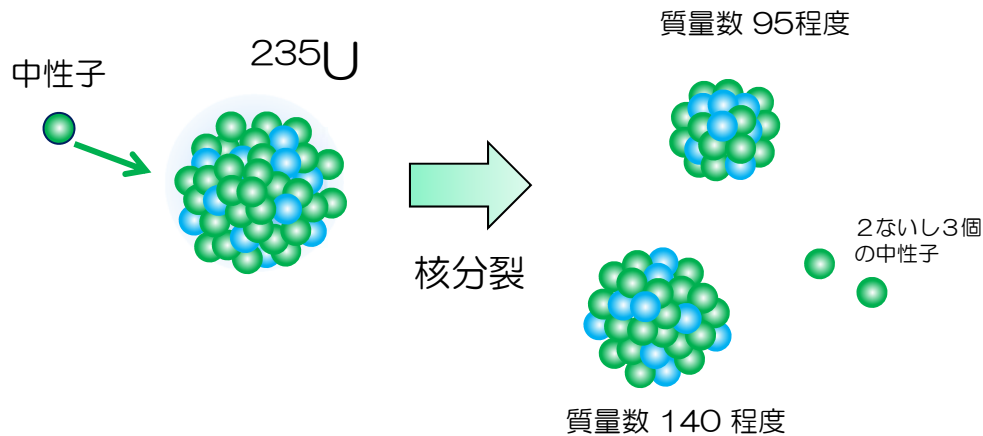
## ● 不安定原子核

- 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、 $\gamma$ 線、 $\beta$ 線の吸収によって起きる
- 原子炉のウラン燃料
  - $^{235}\text{U}$ が3-5% その他は核分裂をしないウラン



福島第一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 ( $1.1 \times 10^{19}$  Bq)

ヨウ素131 ( $1.6 \times 10^{17}$  Bq)

セシウム134, 137 ( $1.8 \times 10^{16}$  Bq,  $1.5 \times 10^{16}$  Bq)

保安院の発表より

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

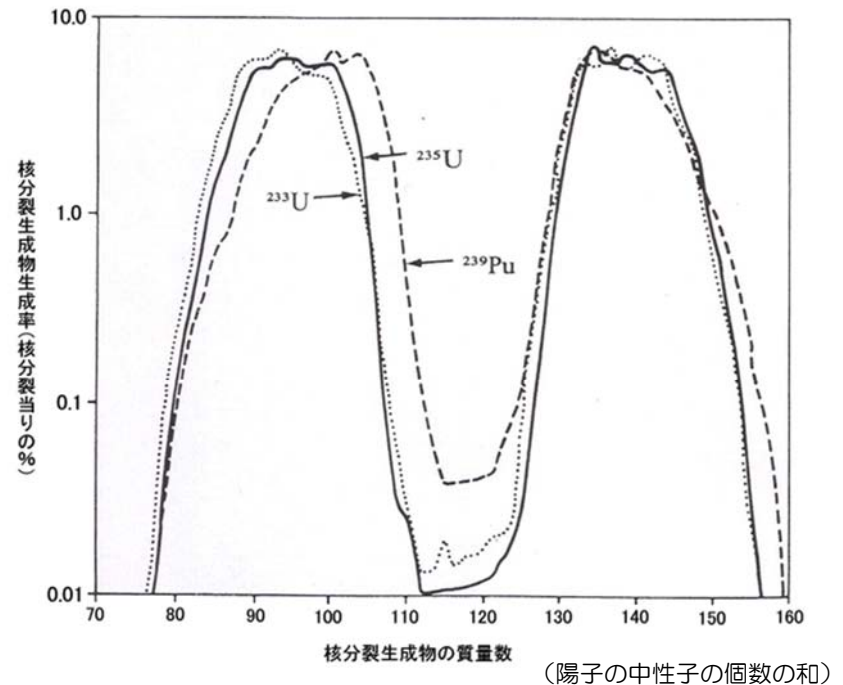


図1 核分裂生成物の質量数分布

[出典]W.マーシャル編:原子炉技術の発展(上)、菱華房、p.72

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

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](http://www.nsc.go.jp/nsc_mnt/110610_3.pdf)



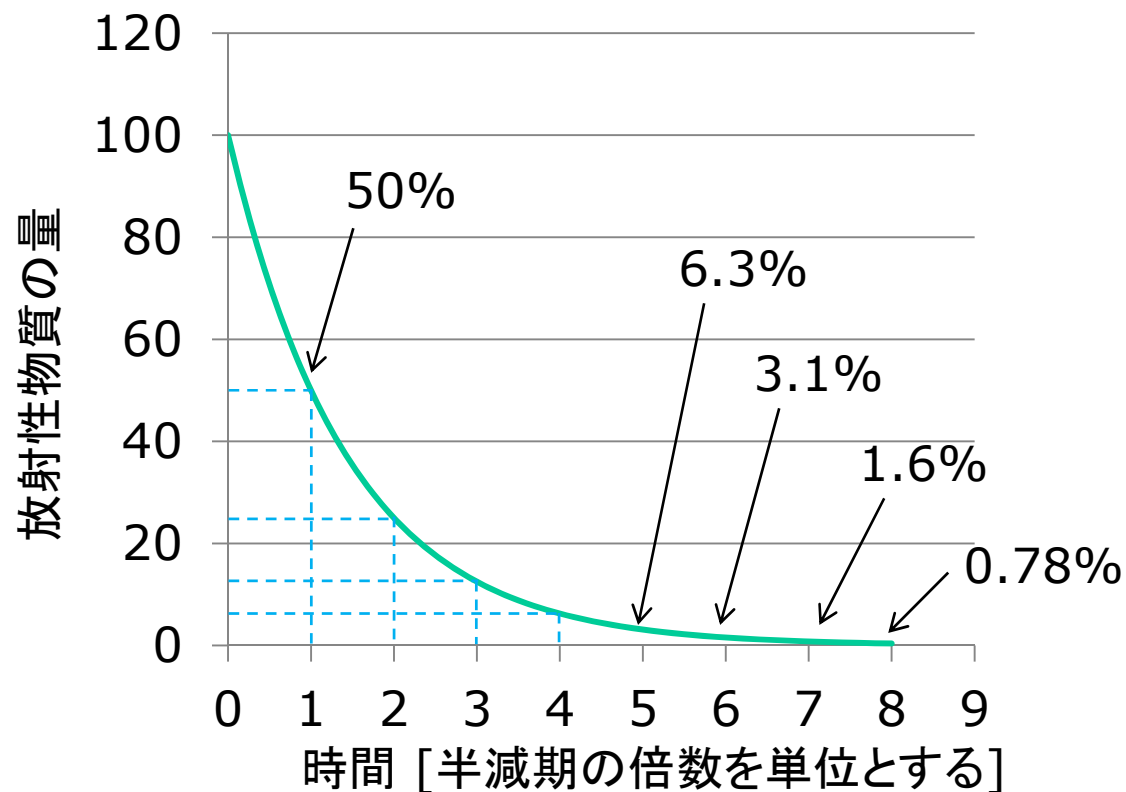
# 電離化

- 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



# 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 $^{238}\text{U}$ の45億年までいろいろ



1/100の量になるには半減期の約7倍の時間がかかる

# 半減期

- よく使われる\*  
放射線源

- $^{60}\text{Co}$  ( $\gamma$ 線源)
  - 5.3年
- $^{137}\text{Cs}$  ( $\gamma$ 線源)
  - 30.17年
- $^{90}\text{Sr}$  ( $\beta$ 線源)
  - 28.9年

\* 素粒子・原子核の実験で用いる  
検出器の性能試験を行うのに、  
放射線源を用いることがある

- 今回の事故で放出された  
主な放射性物質

- $^{132}\text{Te}$ 
  - 3.2日
- $^{131}\text{I}$ 
  - 8.04日
- $^{134}\text{Cs}$ 
  - 2.06年
- $^{137}\text{Cs}$ 
  - 30.17年

# 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
  - 原子核から
    - $\beta$ 線
    - $\alpha$ 線
    - 中性子
- 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
    - シンクロトン放射・制動放射を利用し電磁波(紫外光、X線、 $\gamma$ 線)を生成させる

# 放射線/放射性物質の発見

- ヴィルヘルム・C・レントゲン (Wilhelm C. Röntgen)
  - 1895年、クルックス管(真空放電管)からの実験で「目には見えないが光のような物」が出ていることを発見
    - 陰極線(電子)の用に磁場では曲がらない
    - X線と名付けた
  - 1901年、第一回ノーベル物理学賞(X線の発見)
- アントワーヌ・アンリ・ベクレル (Antoine Henri Becquerel)
  - 1896年、ウラン塩が写真乾板を露光させることを発見
    - ウラン塩から出ているものが空気を電離されることから、放射線が出ているを確認
- マリー・キュリー (Maria Skłodowska-Curie )  
ピエール・キュリー (Pierre Curie)
  - ラジウムとポロニウムの発見
  - ベクレルと共に、自然放射線の発見に対し、1903年ノーベル物理学賞



# 放射線と放射能

- 放射線

- これまでに述べているように、放射性物質から放出されるものの総称

- 放射能

- 放射線を出す能力

- ≠ 放射線

- マスコミ報道では

放射線・放射能・放射性物質

の区別が付いていない場合があるので要注意

- 例えば、放射能漏れ

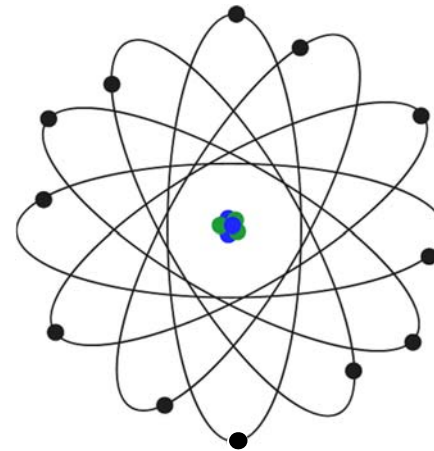
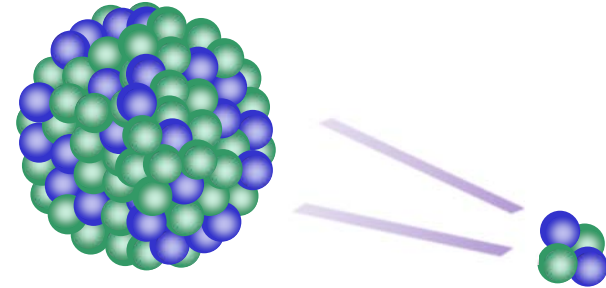
- 正確には放射性物質漏れ

- インターネットを利用してWebやe-mail を使うことを「インターネットする」と言っているのと同じ

# 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

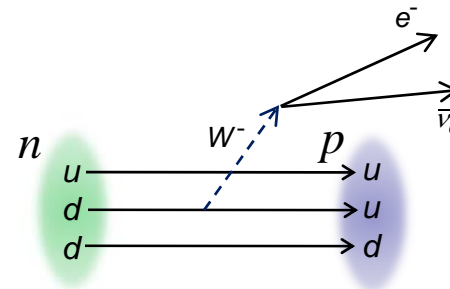
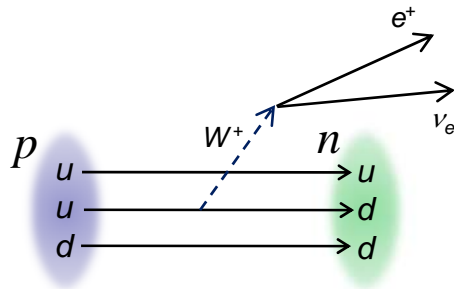
- 飛距離 (Range)
  - 短い距離でエネルギーを失う
    - 透過能力は高くない
    - 空気に対して数cm程度
- 防御物 (Shield)
  - 紙
  - 皮膚の表面
- 生物学的危害 (Biological hazard)
  - 体外被曝
    - 外からα線を人体に照射しても表皮で止まってしまうので影響はない
  - 体内被曝
    - もしα線源を体内に取り込んでしまうと、放射性物質が無くなるまで浴び続ける



# β線

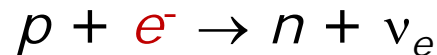
- 物理的性質

- 電荷 1
- $\beta^-$  (電子)と  $\beta^+$  (陽電子)
  - $\alpha$ 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
- $\beta$ 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

# $\gamma$ 線/X線

- 物理的性質

- 電磁波
- 電荷を持たない
- $\gamma$ 線とX線の違いは発生機構
  - $\gamma$ 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

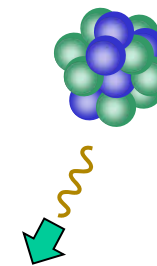
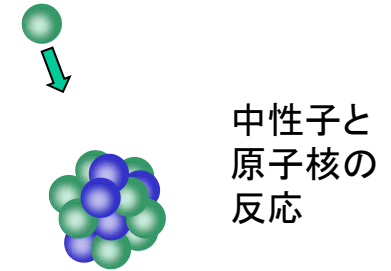
# $\gamma$ 線/X線

- 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/c<sup>2</sup>]
- 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  
 $\gamma$ 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

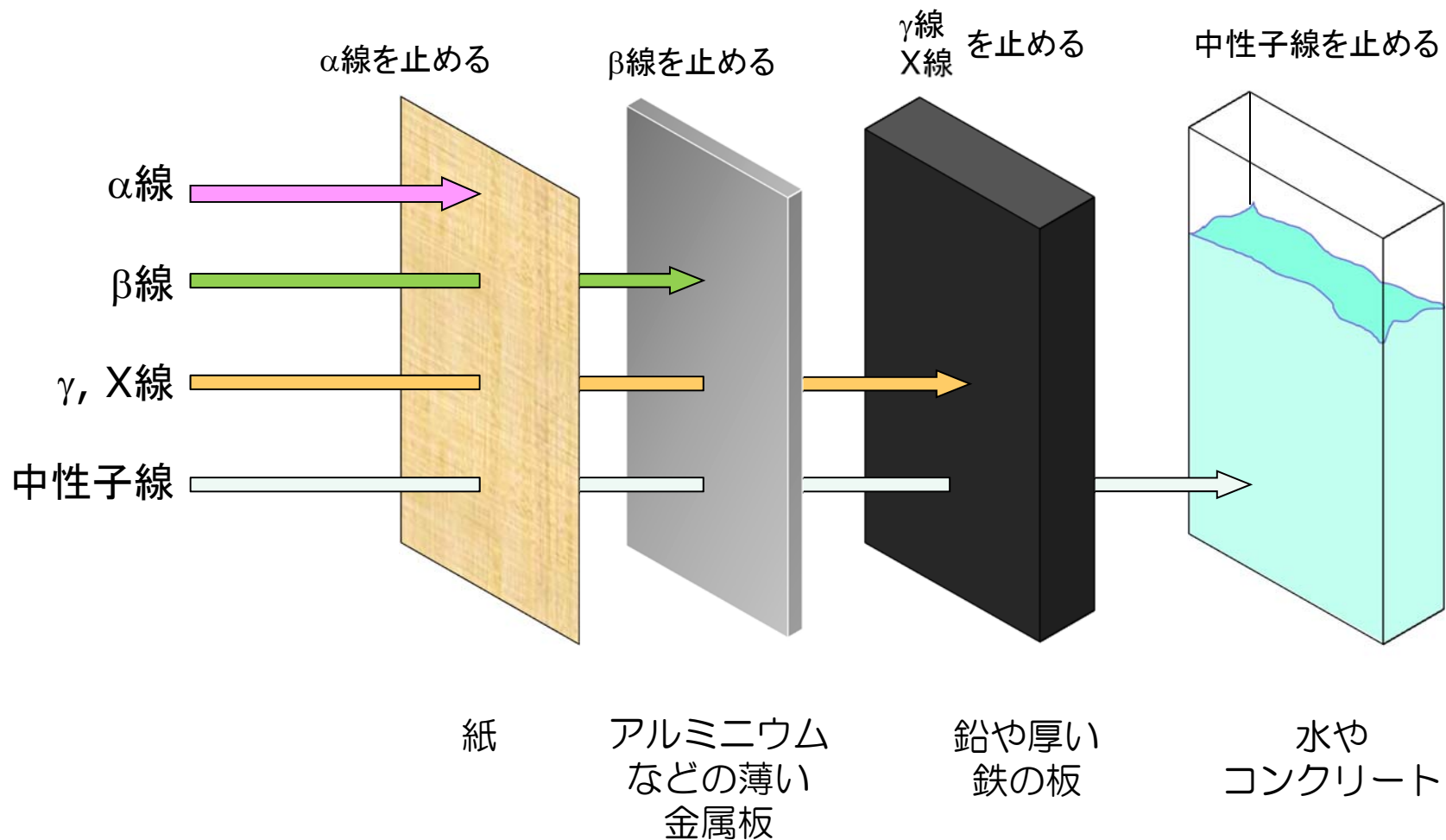
- 飛距離 (Range)
  - 他の放射線に比べて比較的遠くまで届く
  - 空気中での平均自由行程(一回相互作用するまでに進む距離の平均)
    - 220 m
- 遮蔽 (Shield)
  - 水、ポリエチレン、コンクリート
    - 同程度の質量の陽子との衝突では、陽子に運動量の殆どを渡して中性子は静止する。
      - ボールの集めたなかに、ボール一つを投げるとすぐ静止する
      - 質量数の大きな物質とでは、壁にボールをぶつけるようなもの
- 生物学的危害 (Biological hazard)
  - 体全体で被曝する
  - 強い透過力を持つ

# その他の放射線

- 宇宙線

- 常に地球に降り注いでいる
  - $10 \text{ cm}^2$  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 $\mu$ 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 $\mu$ 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
        - ≫  $\mu$ 粒子の質量は  $105.7 \text{ [MeV]}$ ,
        - ≫  $1 \text{ GeV}/c$  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

# 放射線の遮り方(遮蔽)



# 放射線の測定単位

- 吸収線量 (dose)
  - 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影響が異なる
  - CGS単位系では rad ( 100 [rad] = 1 [Gy])
- 等価線量 (equivalent dose)
  - 1 [Sv(シーベルト)] = 放射線荷重係数 × [Gy]
    - 放射線荷重係数
      - $\gamma$ , X線: 1
      - $\beta$ ,  $\mu$ 粒子: 1
      - 中性子: 5~20 (エネルギーによって異なる)
      - $\alpha$ 線: 20
  - CGS単位系では rem ( 100 [rem] = 1 [Sv])

なお、アメリカ合衆国では未だに [rad] や[rem] が使われている



# 放射線の測定単位

- 照射線量

- レントゲン, [R]

- 空気1 cm<sup>3</sup> 辺りに  $2.08 \times 10^{-9}$  の正負イオン対を生成させる放射線
    - $\gamma$ , X線に対して、1 [R]  $\cong$  1 [rad]  $\cong$  1 [rem]

- 現在は殆ど使われない

- 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
      - ラドン温泉:  $\sim 10000$  [Bq/l]

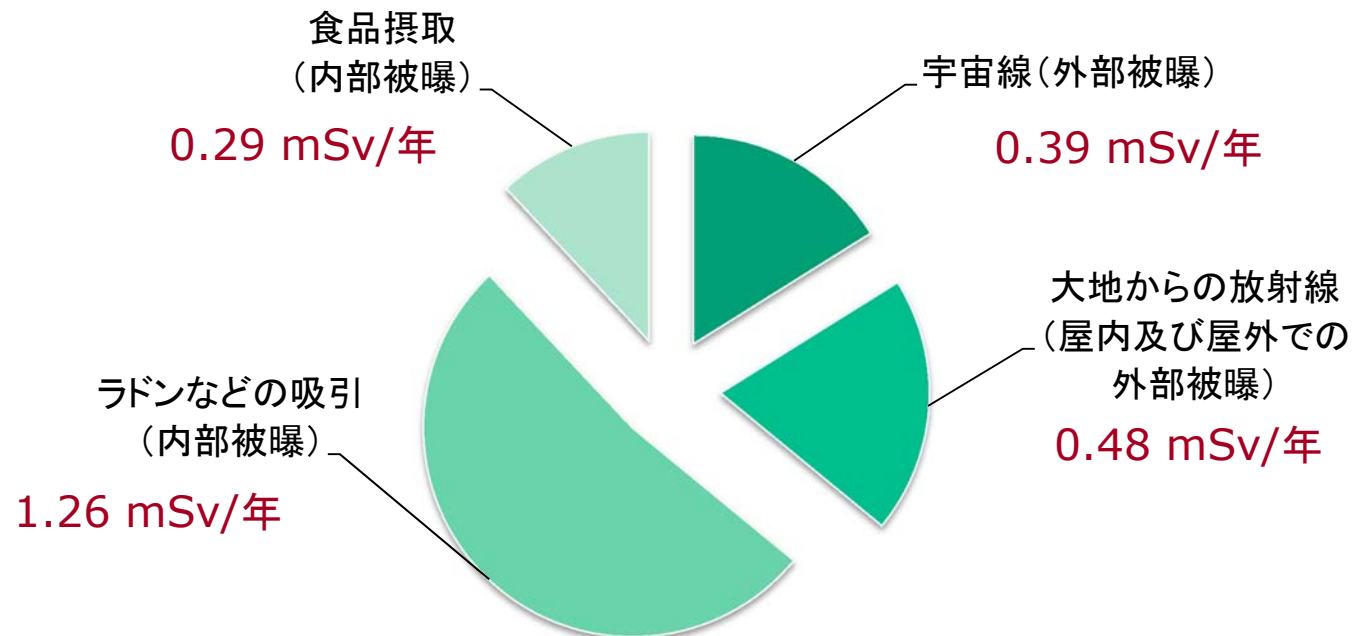
- キュリー, [Ci]

- 1 g のラジウムの放射能に相当
    - $1 \text{ [Bq]} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ [Ci]}$  /  $1 \text{ [Ci]} = 3.7 \times 10^{10} \text{ [Bq]}$
    - 現在では使われない

# 自然放射線

- 自然界に存在する放射線
  - 天然放射線
    - $^{40}\text{K}$ 、ラドンなど
  - 宇宙線
- 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

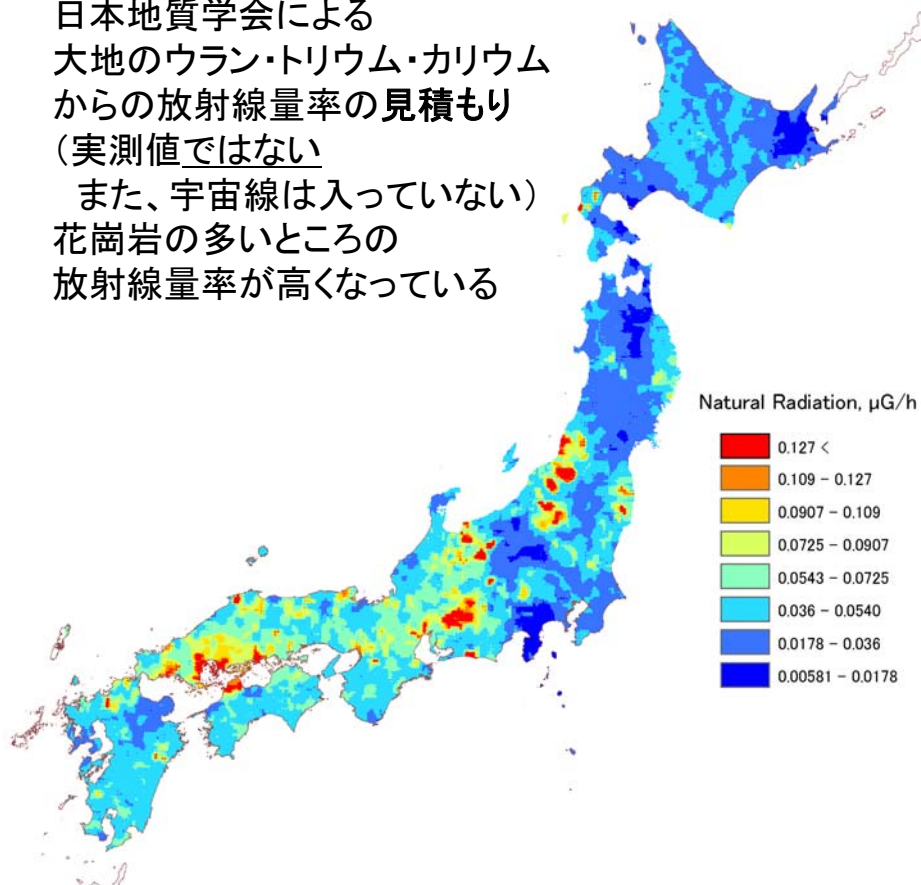
自然放射線による年間実効線量の世界平均的な値(国連科学委員会の推定)



数値の出典: [http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat\\_detail.php?Title\\_No=09-01-05-04](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)

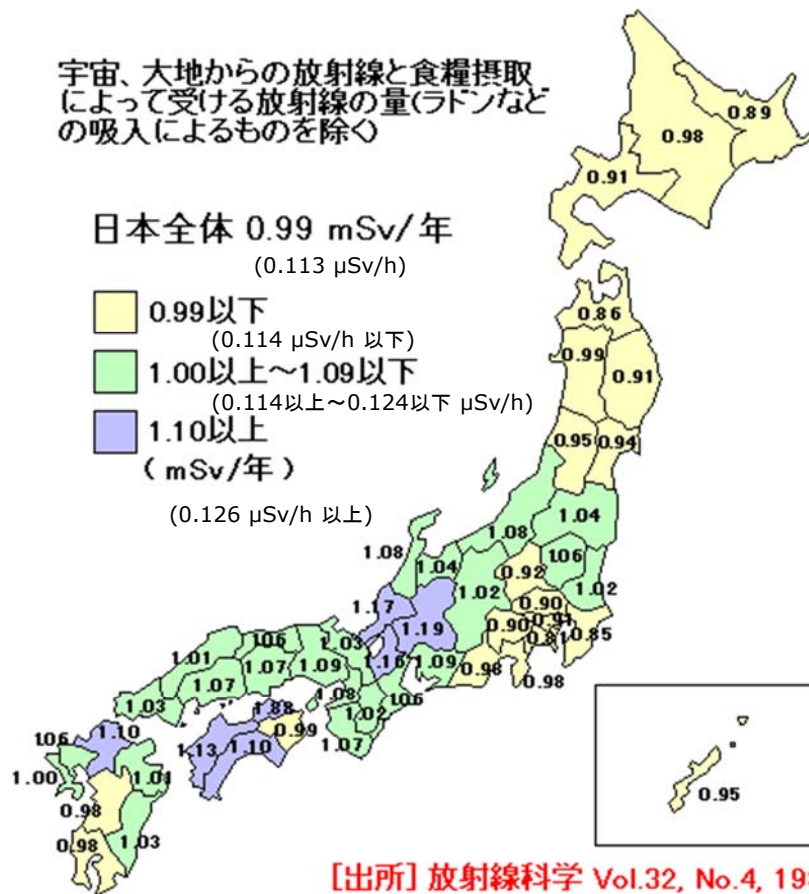
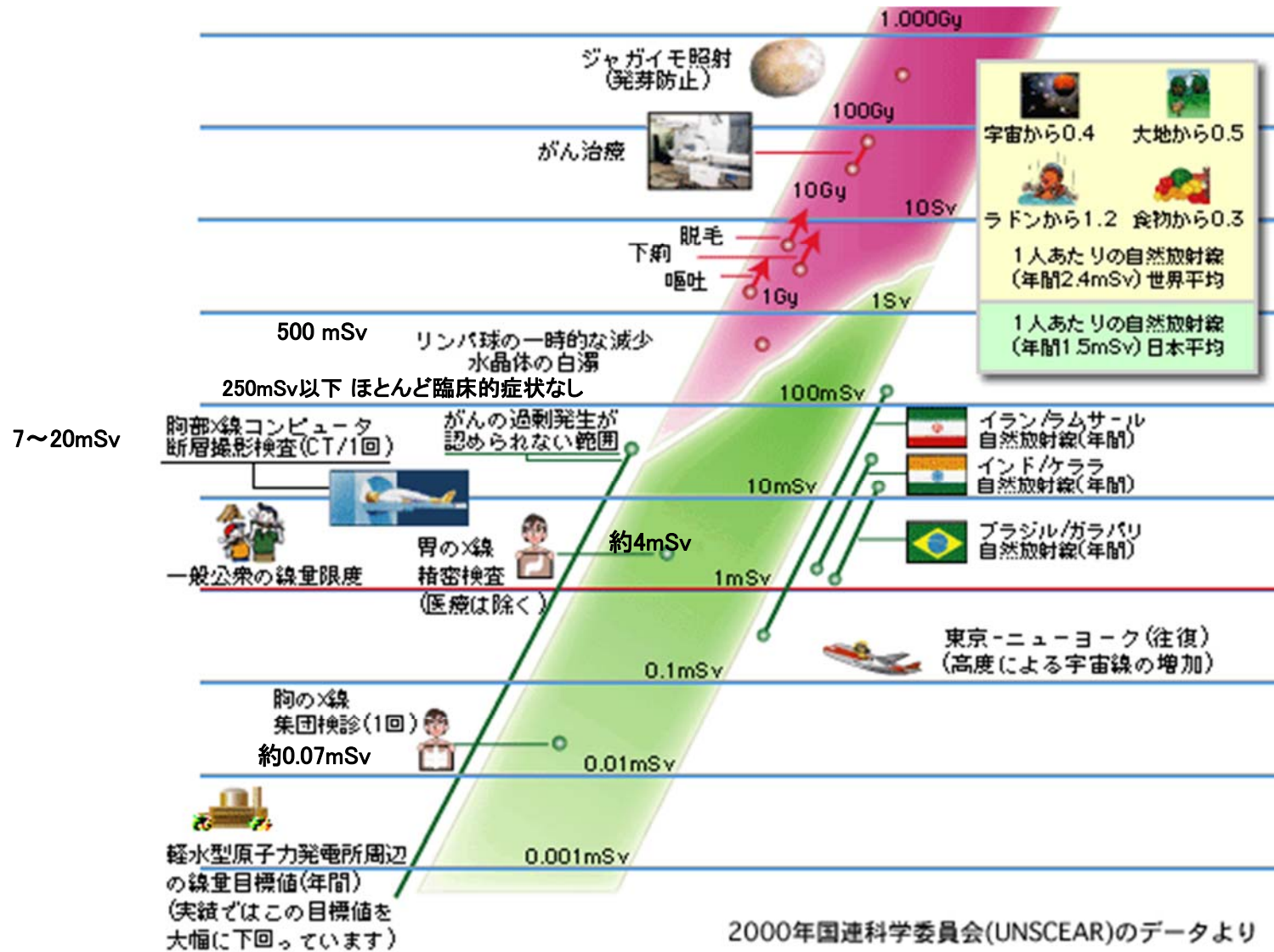


図1 わが国における自然放射線量

[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>

# 放射線量





# 放射性同位元素 ( RI ) の安全取扱のための考え方

## 国際放射線防護委員会 ( ICRP ) の放射線防護基本方針

### ● 行為の正当化

－ 放射線被曝を伴ういかなる行為も、それによって生じる放射線の障害を相殺する十分な利益を被曝する個人又は社会に対して、もたらさない限り行うべきでない

- 医療でのX線撮影： 病気の発見、治療
- 学生実験での使用： 教育効果

### ● 防護の最適化 ( As Low As Reasonably Achieved, ALARA )

－ 個人線量の程度、被曝人数、被曝の可能性については、経済的、社会的要因を考慮して、合理的に達成できる限り低く保たなければならない

- 原子炉など： 多重インターロック、シールド、空間線量モニタ
- 学生実験室： 入退室管理、個人線量モニタ

### ● 個人線量及びリスク限度

－ 個人の被曝は、線量限度を超えないようにすべきであり、また、受容不可能と判断されないように潜在被曝のリスクを管理するべきである

# 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
    - 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(~2 mSv/year)はこの中に含めない



# 仙台市青葉区の放射線量

そして

# 放射線とどうつきあうか

# 仙台市青葉区の放射線量率の推移

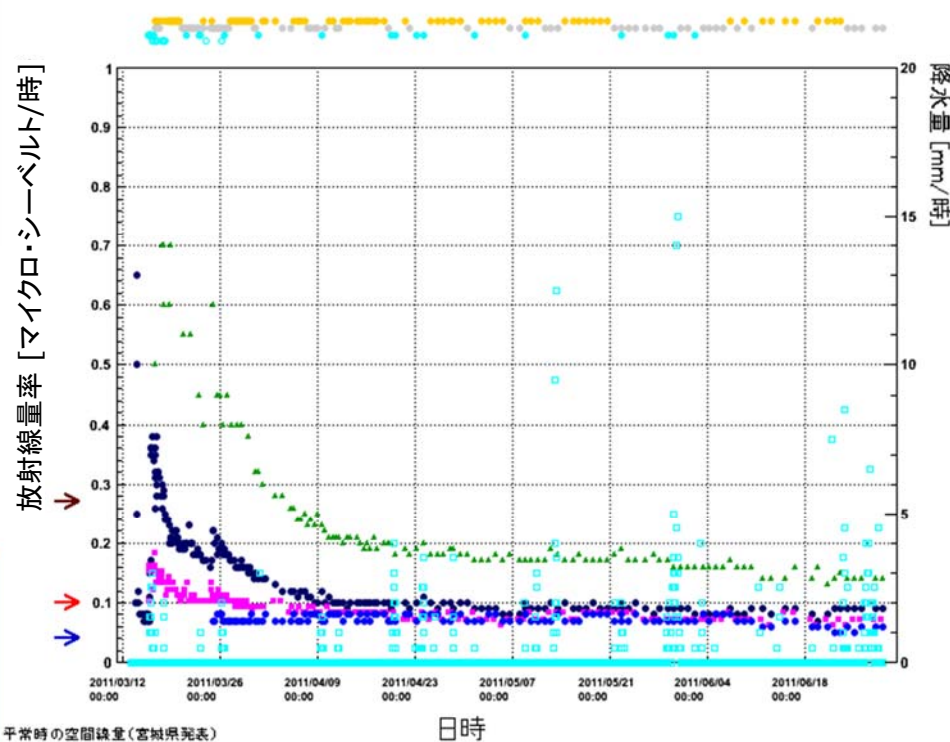
[https://sites.google.com/site/radmonitor311/sendai\\_aobaku](https://sites.google.com/site/radmonitor311/sendai_aobaku)

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。

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を見ている。
    - [http://www.jcac.or.jp/lib/senryo\\_lib/nodo.pdf](http://www.jcac.or.jp/lib/senryo_lib/nodo.pdf)

## ● 6月末現在

- ヨウ素131(半減期8日)は殆ど無い
- 主にセシウム134と137

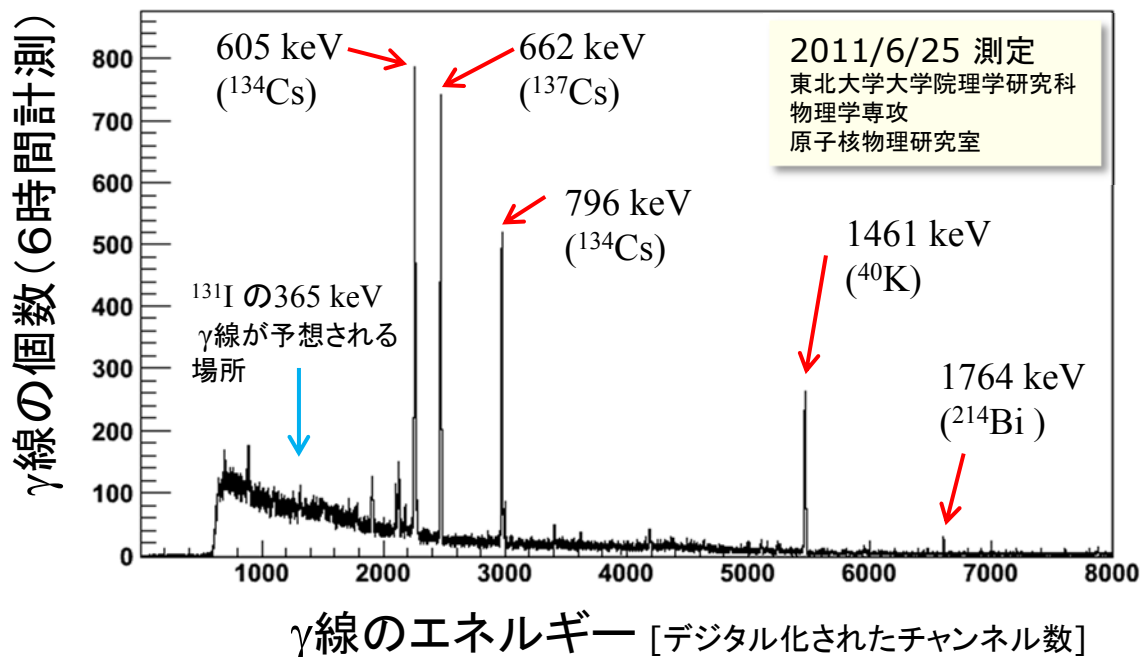




# 青葉山キャンパスの土中の放射性物質

- **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 $\gamma$ 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 $\gamma$ 線の個数はバックグラウンドの上に乗っている
- **現在見えている $\gamma$ 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、 $\gamma$ 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)

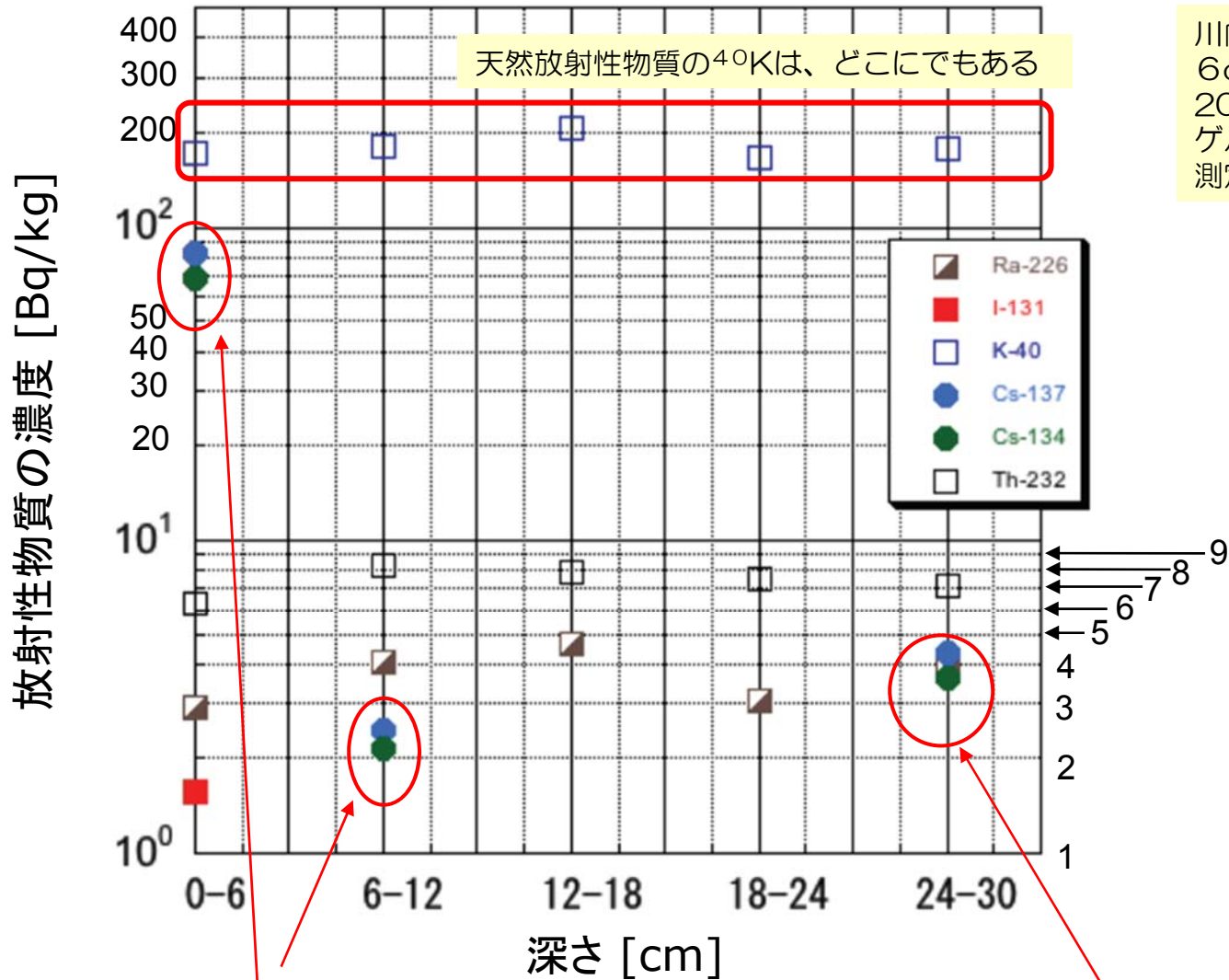


バックグラウンドがギザギザしているは、統計的揺らぎの為

ヨウ素-131 (<sup>131</sup>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 $\gamma$ 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、地球が出来るとき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  $\mu$ Sv の内部被曝と評価されている

- 炭素14

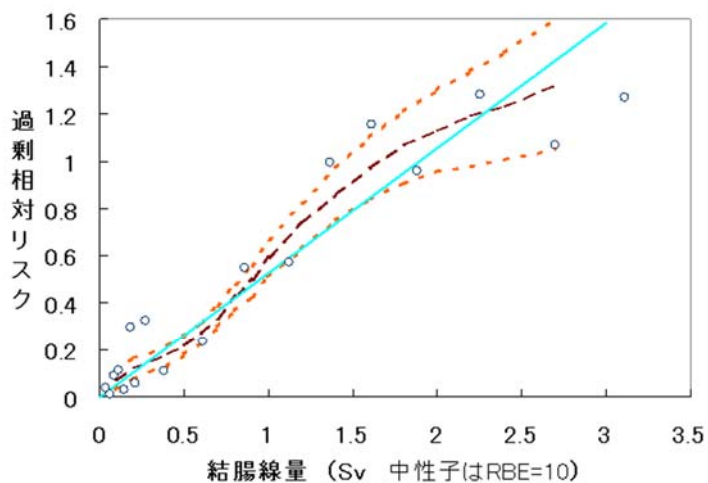
- 宇宙線による生じた中性子が窒素に吸収されて生成される
- 1年あたり 10  $\mu$ Sv の内部被曝と評価されている

- 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

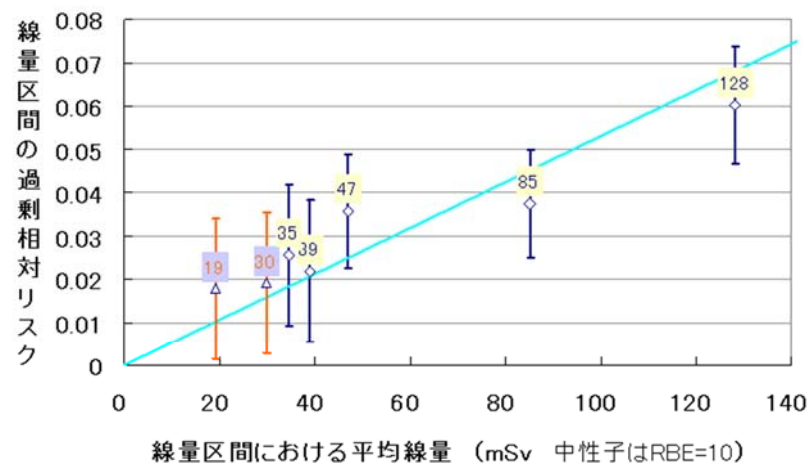
- 放射線による影響の研究
  - 原爆被爆者への調査から



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

# 放射線のリスク評価

- ICRP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](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:  $^{134}\text{Cs}$  (半減期約2年)と $^{137}\text{Cs}$ (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

- 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、 $91.25 \times 0.013 + 91.25 \times 0.010 = 1.18625 + 0.9125 = 2.1$  [ $\mu$ Sv] 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 =  $290$   $\mu$ Sv 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

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 $\mu$ 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 [ $\mu$ 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

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」)

半減期: 28.90年  
半減期: 8.02日

半減期: 2.06年  
半減期: 30.07年

# 差別を広げない為に

- 無知は罪です

- 教諭の方に言うまでもないことだと思いますが
  - 分からないことが不安をあおる(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

- 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 $^{40}\text{K}$ 、福島第一原発から飛んできた $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 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)