

放射線・原子力防災セミナー

令和7年2月1日

京都大学 複合原子力科学研究所

みさわ つよし
三澤 毅





自己紹介

- 京都大学 複合原子力科学研究所（大阪府熊取町）
- 専門：
 - 原子炉の基礎実験、実験手法開発、福島廃炉
 - 放射線計測技術を用いた違法物質検知
- 原子炉・放射線施設の管理業務
 - 安全管理本部長（副所長）

京都大学 複合原子力科学研究所 (大阪府 泉南郡 熊取町)

関西国際空港

2つの研究用原子炉

敷地面積: 10万坪



日本の研究用原子炉

日本原子力研究開発機構

NSRR 300 kW

JRR-3 20 MW

JRR-4 3.5 MW

JMTR 50 MW

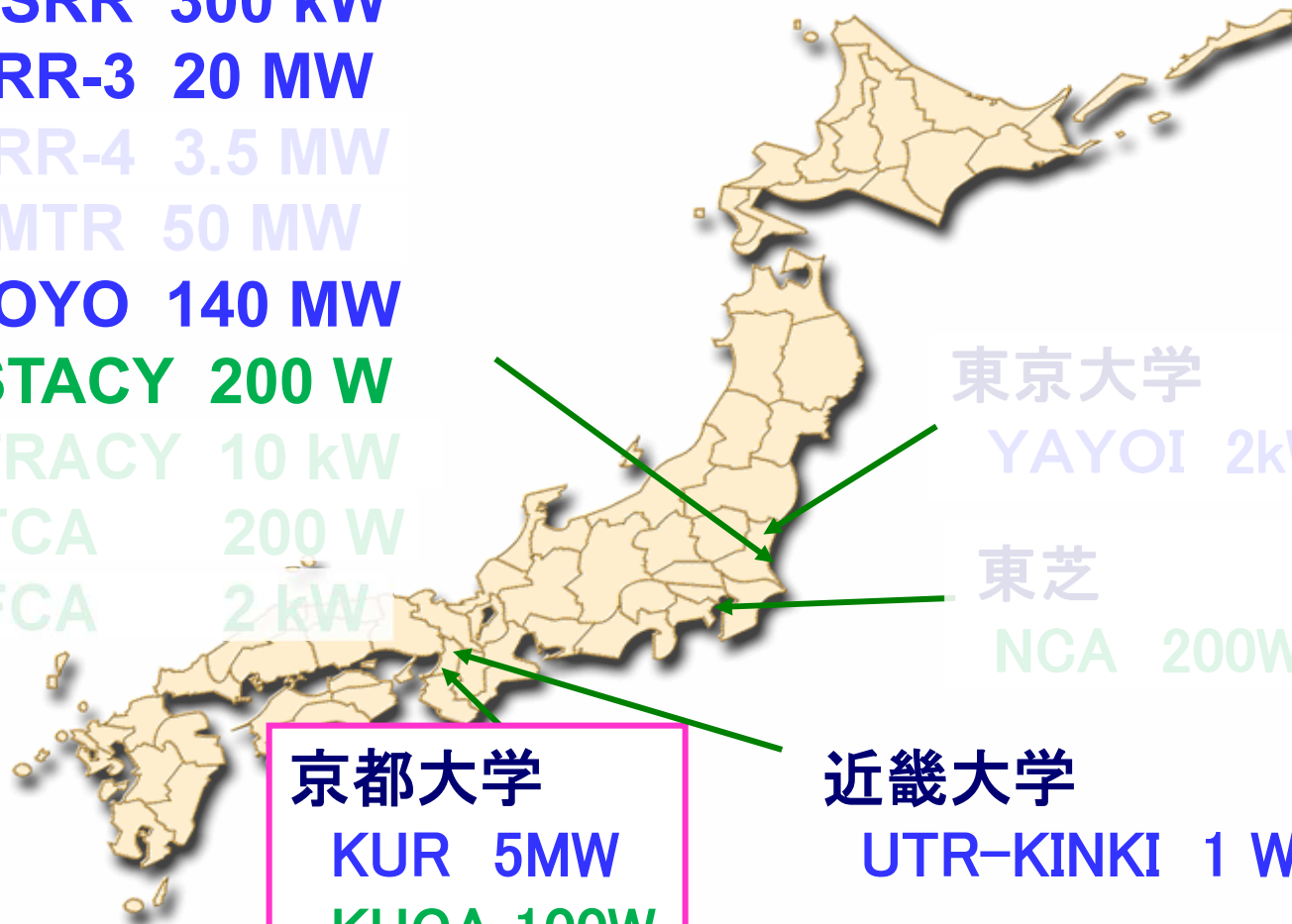
JOYO 140 MW

STACY 200 W

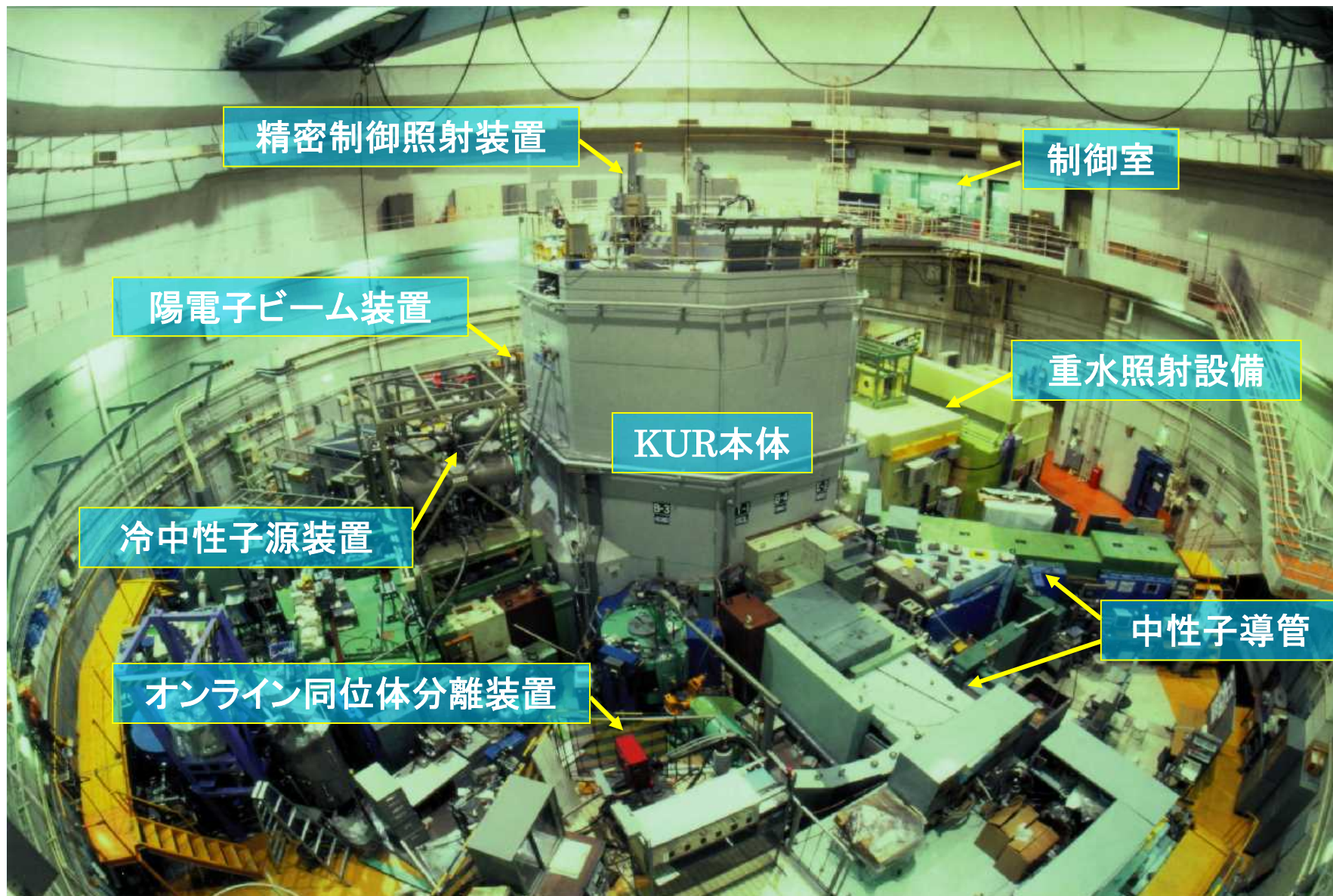
TRACY 10 kW

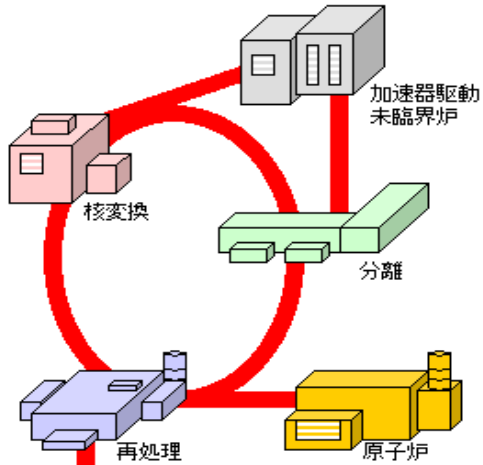
TCA 200 W

FCA 2 kW



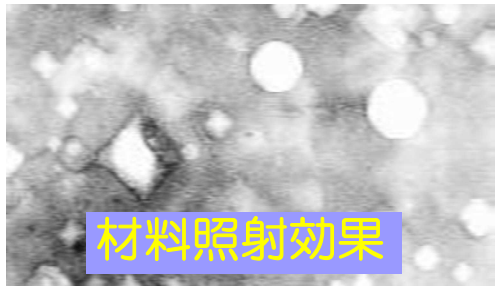
京都大学研究用原子炉 建屋内部



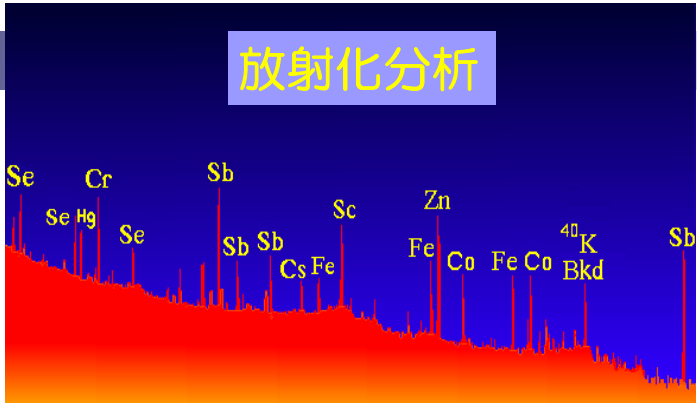


量子リサイクル工学

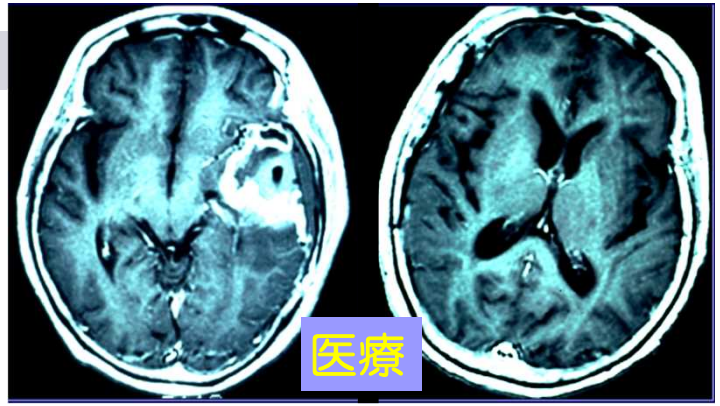
放射能環境動態



材料照射効果



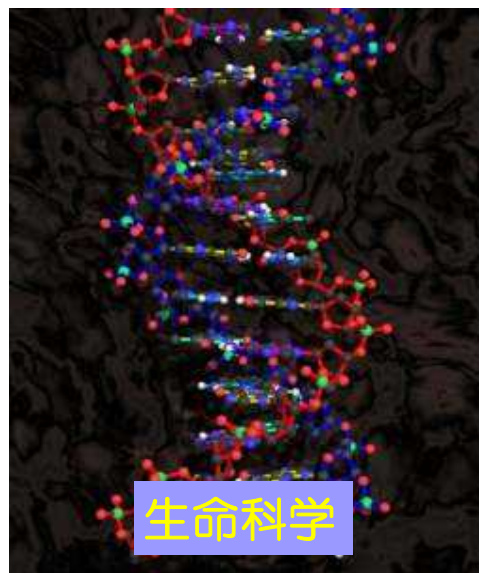
放射化分析



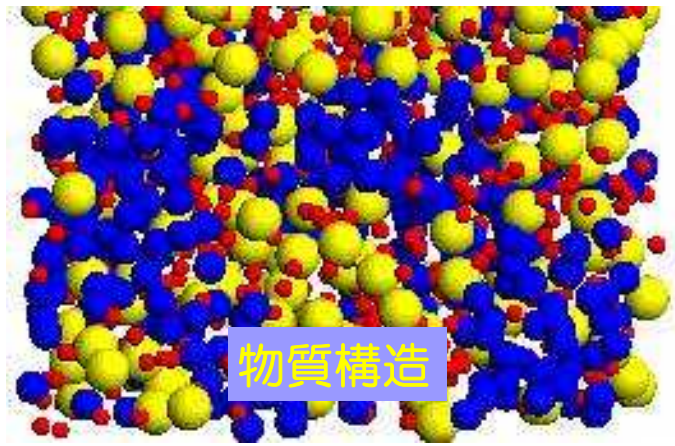
医療



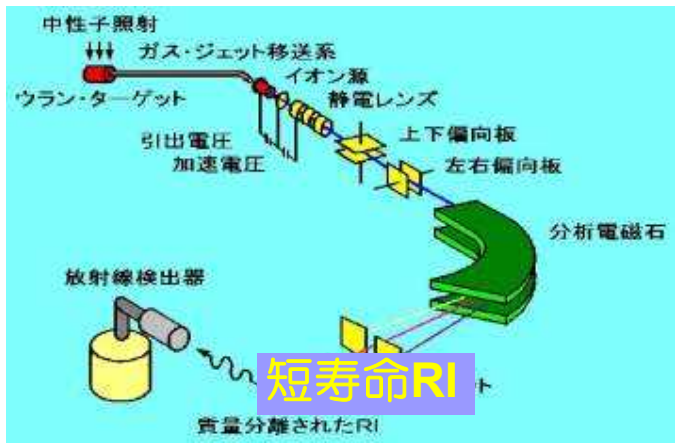
研究用原子炉(KUR)



生命科学



物質構造



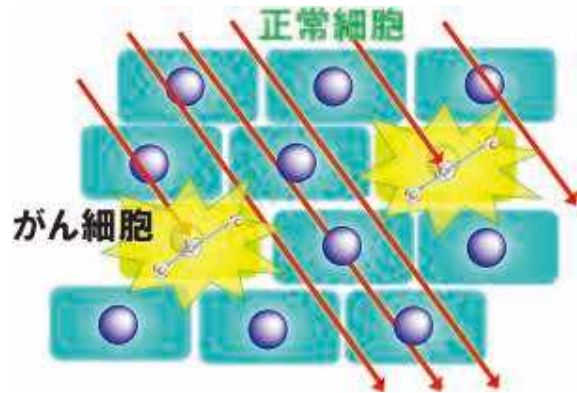
短寿命RI

質量分離されたRI

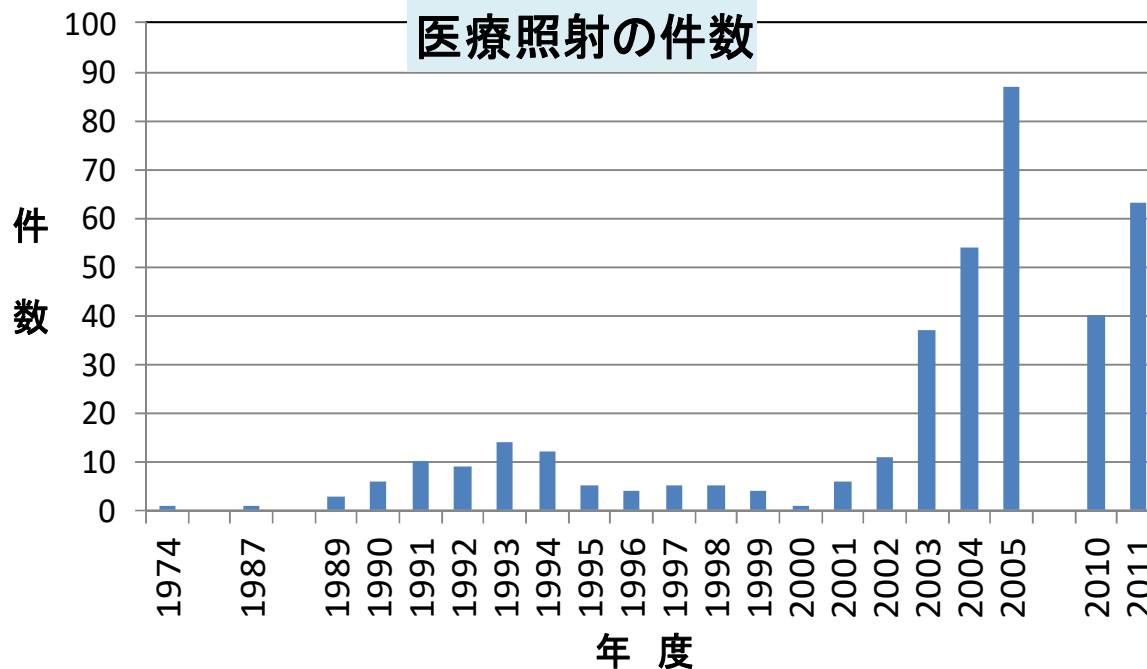


中性子ラジオグラフィ

ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)



1. ホウ素を含有した薬剤を標的細胞(癌細胞)に注入.
2. 熱中性子を照射.
3. ホウ素が熱中性子を捕獲し、 α 粒子とLi粒子に分裂.
4. これらの粒子が、標的細胞を破壊.



加速器によるBNCT治療

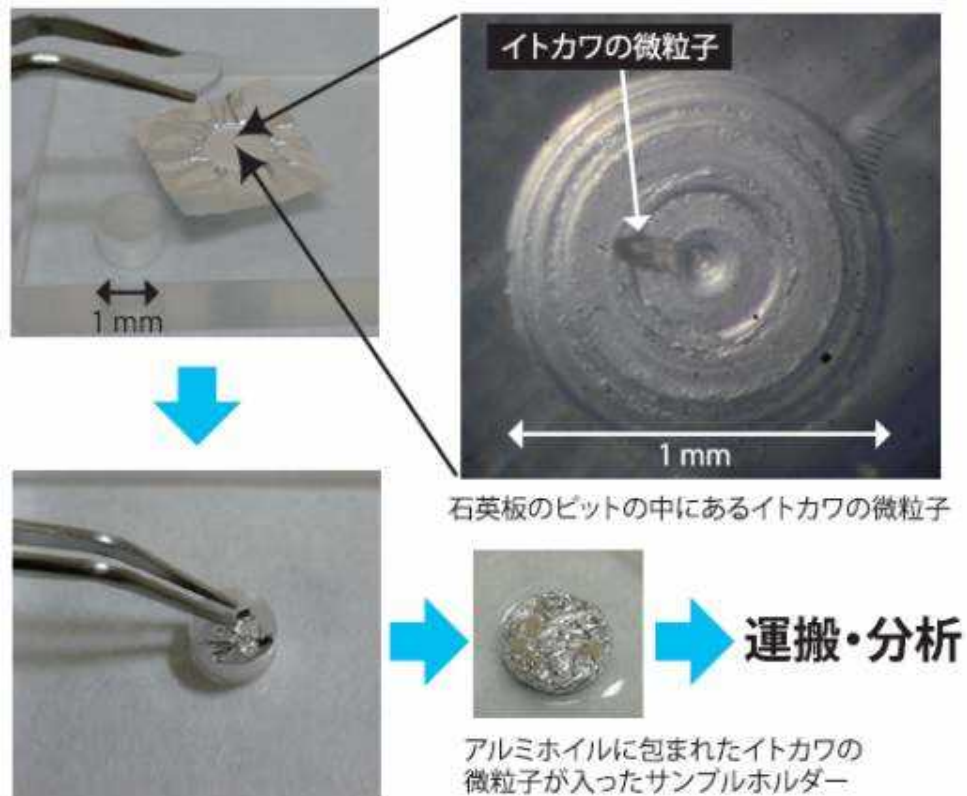


サイクロトロン加速器ベース熱外中性子発生装置。2012年に治験開始。(世界初の加速器を用いたBNCT照射装置)

BNCTによる脳腫瘍の治療



中性子を用いた分析（イトカワの砂）



小惑星探査機
「はやぶさ」
(JAXA)



Science (26 Aug.,2011)

小惑星イトカワの試料(約3マイクログラム)の放射化分析を実施。宇宙由来であることを実証。



内容

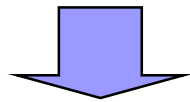
- 放射能、放射線
- 測定方法
- 人体への影響
- 自然放射線
- 放射線の利用
- 放射線防護



放射能、放射線とは

放射線、放射能と聞くと...

- 原子爆弾から出る
- 原子炉事故で外部に出る
- 人体に悪い影響を及ぼす



目に見えなくてとても怖いもの



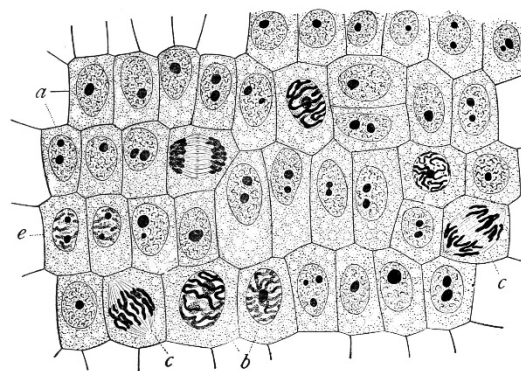
放射線って何？

- どんなものなの？
- どうやって見つけるの？
- どこにあるの？
- 人の役に立つことってあるの？
- 目で見ることにはできないの？

食べ物を小さく切ったら何になる？



にんじん

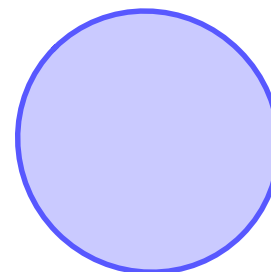


細胞

約100分の1cm



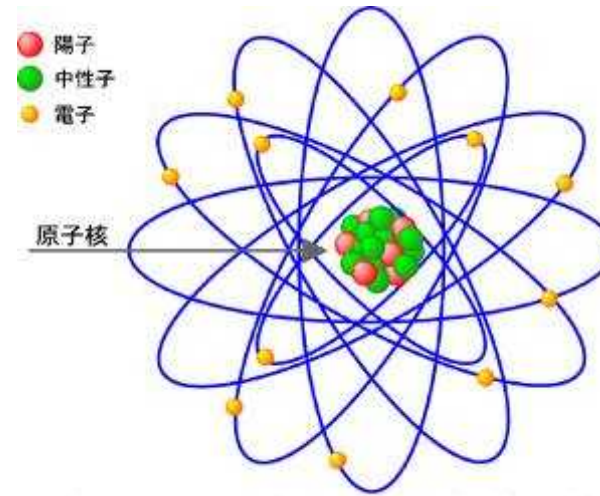
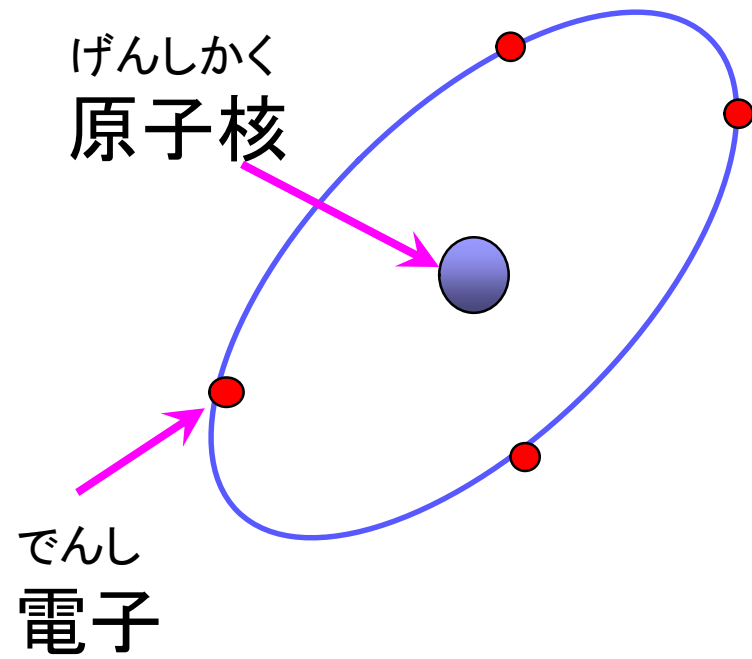
みじん切り



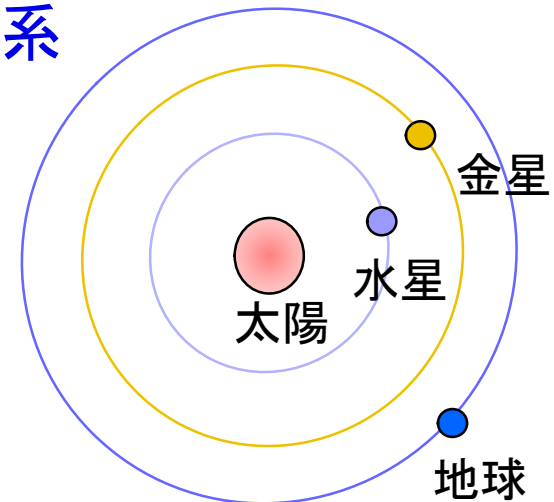
げんし
原子

約1億分の1cm

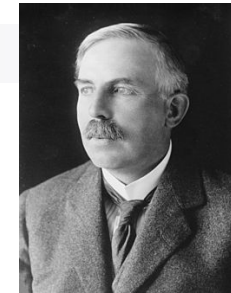
原子と原子核



太陽系

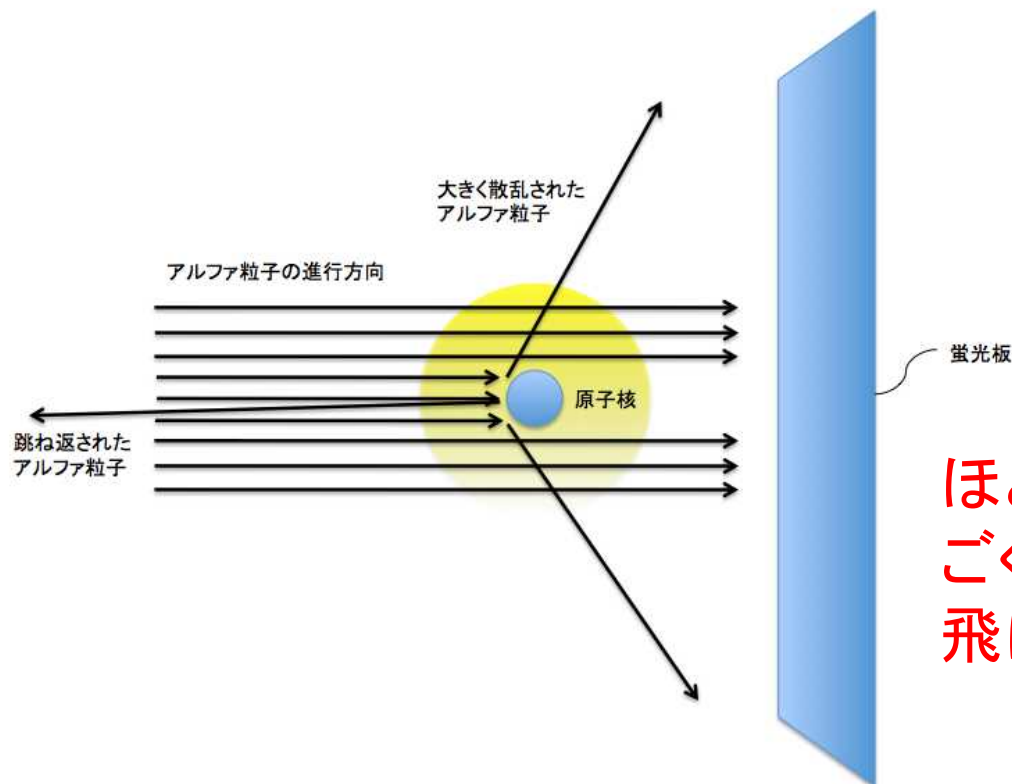


ラザフォードの^{さんらん}散乱実験



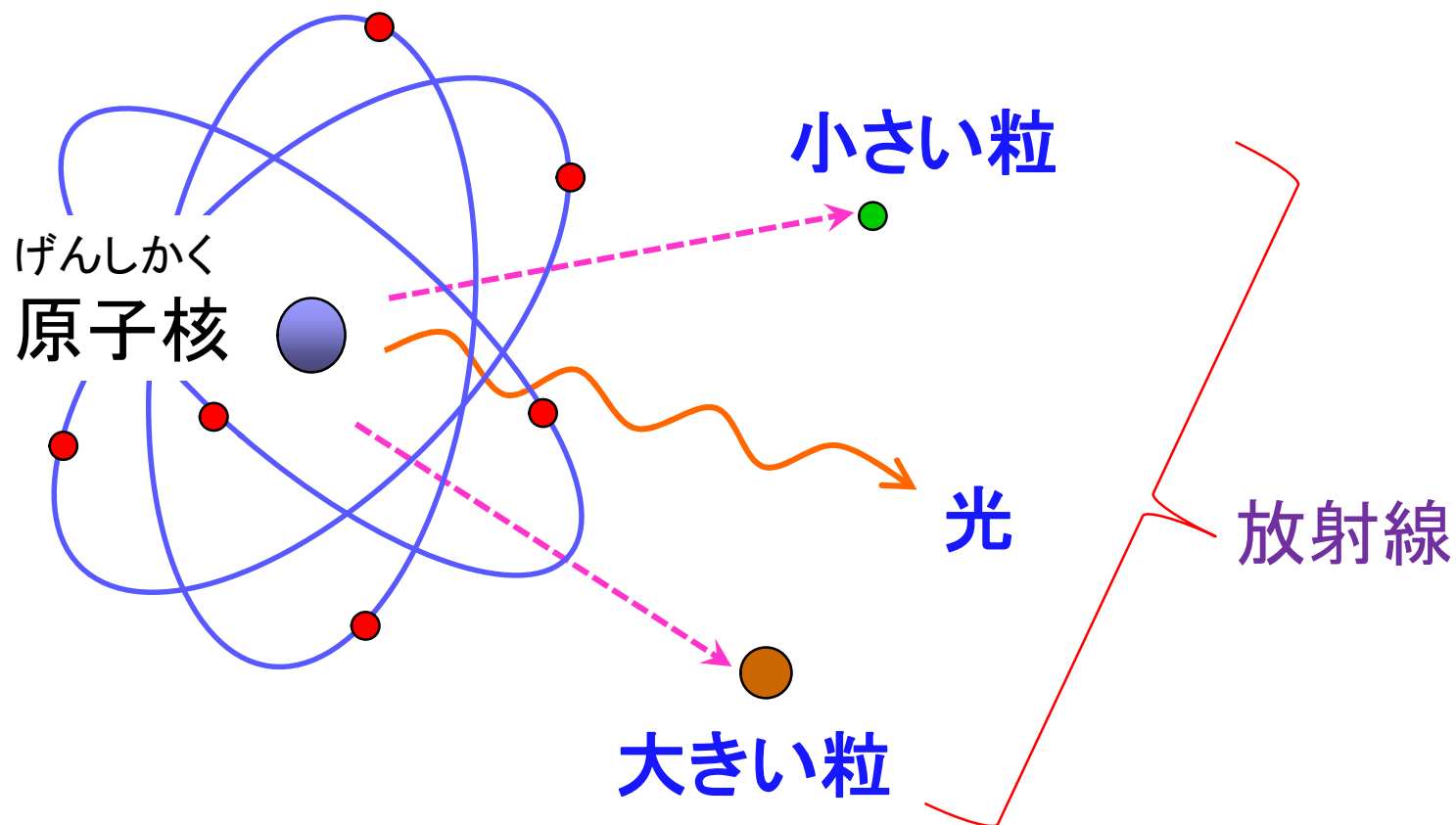
アーネスト・ラザフォード
1871～1937 イギリス

薄い金属に放射線の粒子を当てて、その透過または散乱される粒子を測定した



ほとんどの粒子は通り抜け、ごく一部は大きく散乱(跳ね飛ばされた)された

放射線とは



ある種類の原子の中心(原子核)から出てくる光、
または粒子

放射能(放射性物質)と放射線

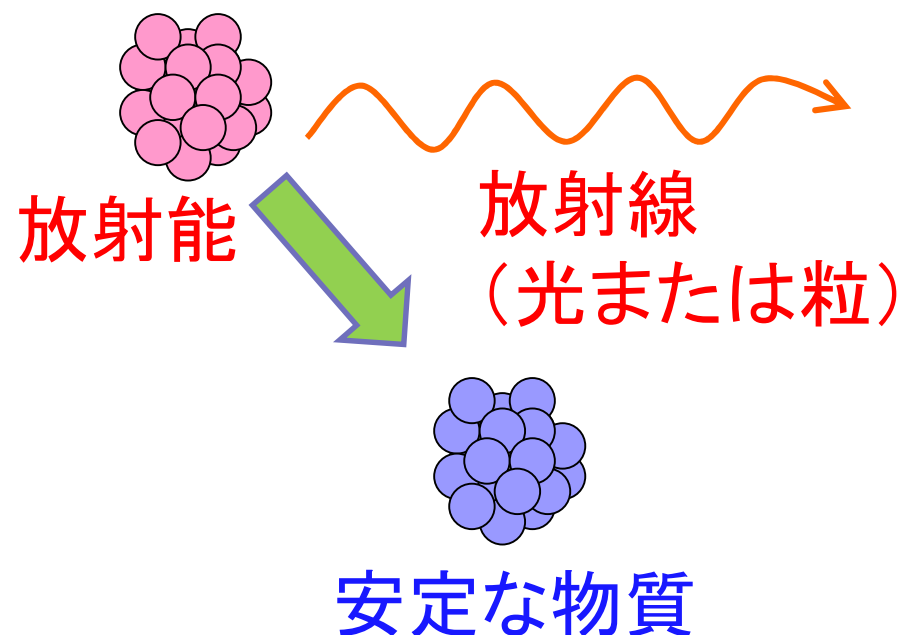
ほうしゃのう

■ 放射能とは

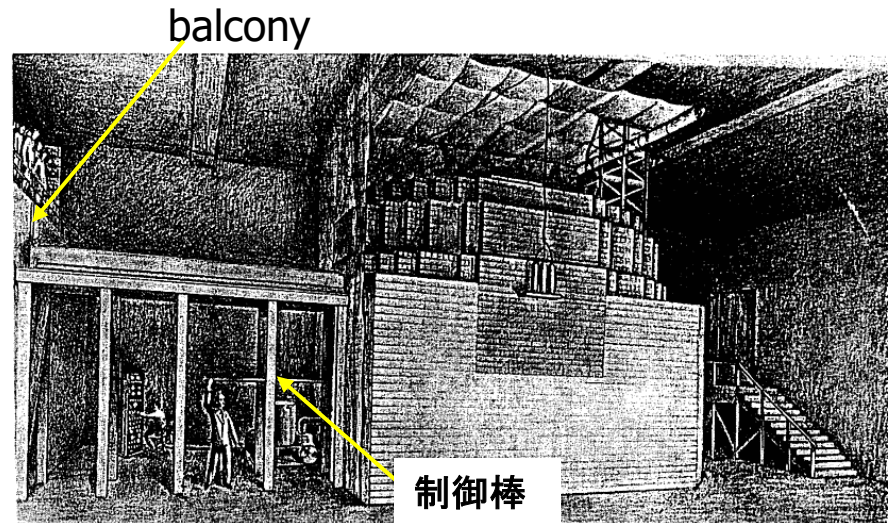
- 放射線を出す物質のこと
- 生ゴミ

■ 放射線とは

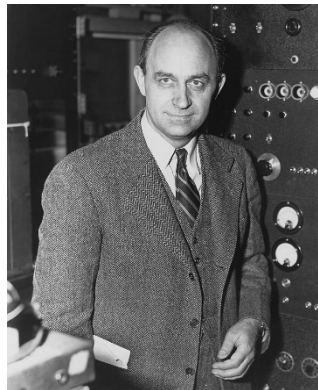
- 放射性物質から出てくるもの
- 生ゴミからの臭い



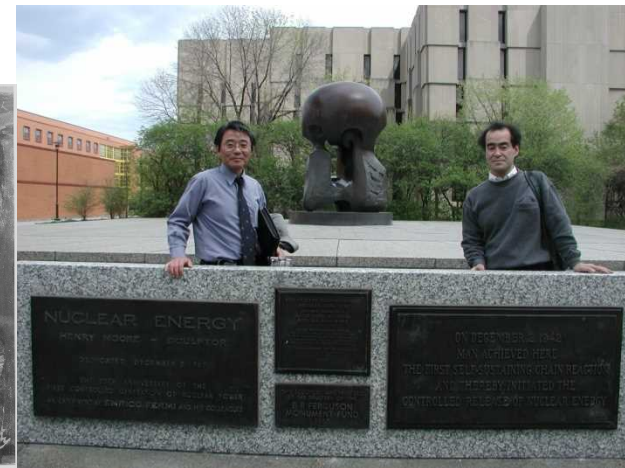
世界初の原子炉(米国シカゴ 1942年)



CP-1の絵



エンリコ・フェルミ



シカゴ大学 原子炉跡地

核燃料物質： ウラン



ウラン鉱石



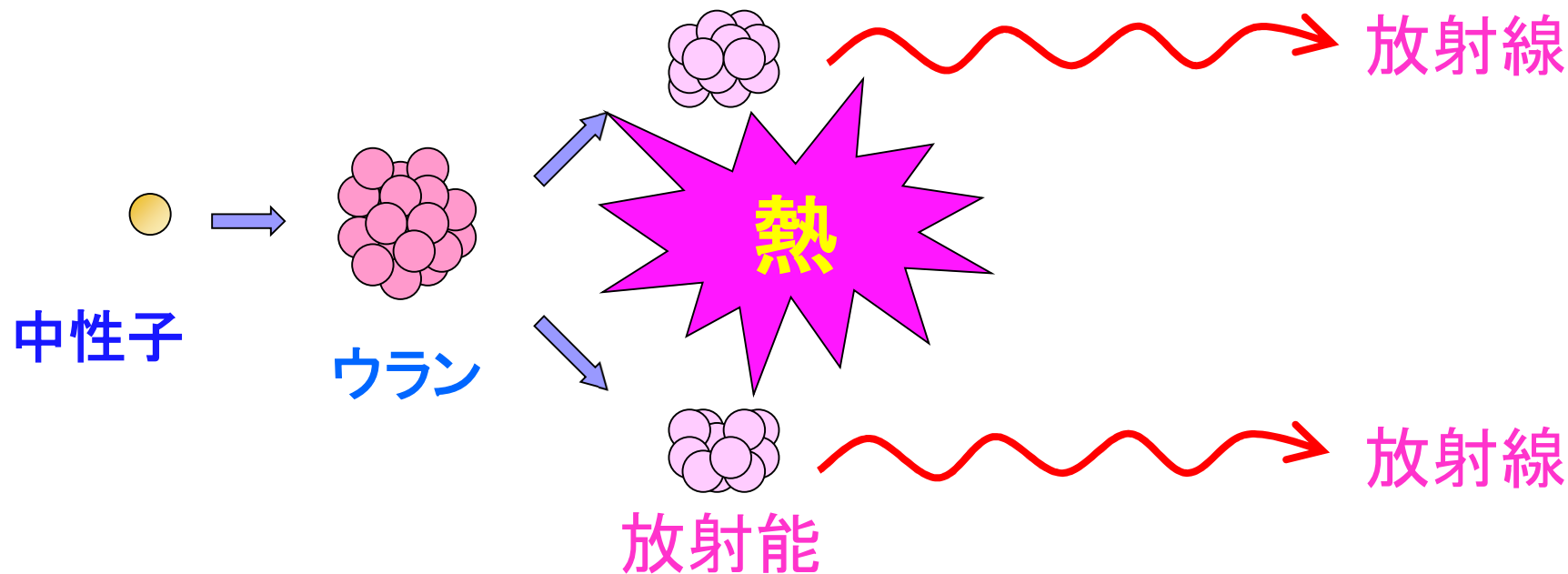
処理後



燃料ペレット

- ・オーストリア、カナダ等から輸入
- ・国内では岡山県人形峠、岐阜県東濃等で採掘
- ・地殻中や海水中にも微量ながら広く分布
海水1トンに約0.003グラム

ウランの核分裂 (燃える)

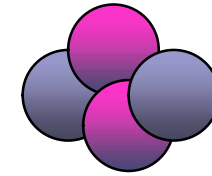


ウランが2つに壊れるときに熱が発生する



割れた破片(燃えかす)から放射線が出る

α (アルファ) 線




- α 線
 - He(ヘリウム)の原子核(陽子2個、中性子2個)
 - この原子核の組み合わせが安定
 - 質量が重い
 - 主として重い原子核から放出される
 - ラジウム、ウランなど
 - 空気中で数センチ飛行すれば止まってしまう

β (ベータ)線

■ β 線

- 高速で飛ぶ電子
- 原子核の周りを回っている電子ではなく、原子核の中から出てくる電子
- 軽い
- アルミ箔で止まってしまう



γ (ガンマ)線、X線

■ γ 線

- 電磁波 (光の仲間)
- 透過力が強い
- 鉄、鉛やコンクリートで止める

■ X線

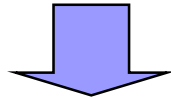
- ガンマ線と同じ電磁波
- ガンマ線よりエネルギーが低い場合が多い

ヴィルヘルム・レントゲン

(1845 – 1923)



- 放電の実験中に目に見えない「光」により写真乾板(フィルム)が感光することを発見
- 放射線「X線」で人間の体の中を見ることができるとを発見
- 1901年 第1回のノーベル物理学賞

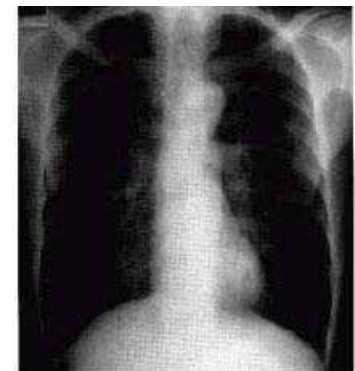


さつえい

レントゲン撮影として広く利用



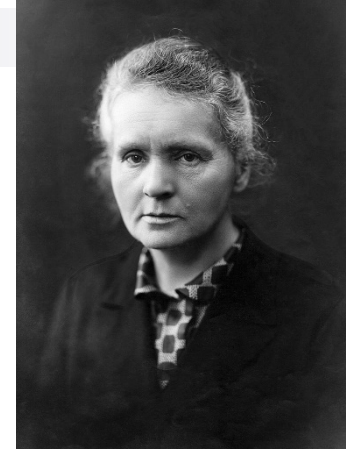
レントゲンの奥さんの手



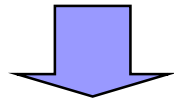
画像:Wikipedia

マリー・キュリー

(1867 – 1934)



- ウラン鉱石から放射能を持つ元素を分離して取り出した(1898年)
- ラジウム(Ra)とポロニウム(Po)という天然にある放射性物質



放射線、放射性物質に関する研究
(ノーベル物理学賞と化学賞を授賞)

再生不良性貧血のため死去



放射線の測定

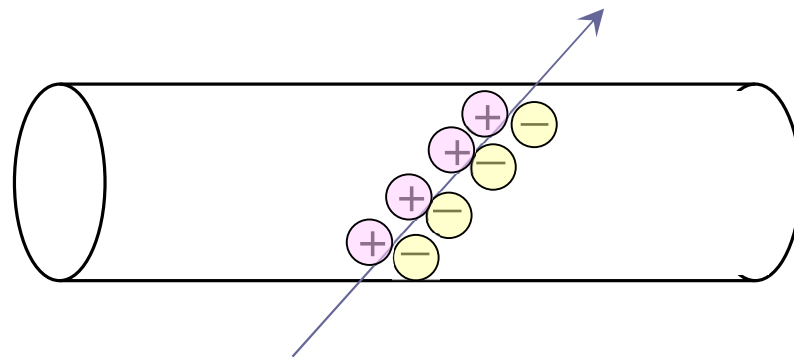
放射線の測定(1)



ハンス・ガイガー 1882~1945 ドイツ

■ ガイガーカウンター

- ガイガーミュラー (Geiger-Müller、GM) 計数管
- ガスが入った管の中で放射線が作ったイオン対(ガスのプラスイオンとマイナスイオン)を電圧をかけて集めて測定する(ベータ線とガンマ線)
- 放射線の個数のみ測定可能



画像:Wikipedia、アロカ(株)HP

放射線の測定(2)

■ シンチレーション検出器

- 放射線が入ると光を出す物質があり、その光の個数と強さを測定する
 - 蛍石に紫外線を当てると紫色に光るような原理
- ガンマ線のエネルギーも測定できる



ガンマ線用



アルファ線用

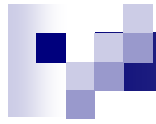
放射線の測定(3)

- ガラスバッジ、フィルムバッジ
 - 放射線が入ると反応する物質がケースの中に入った小さなバッジ
 - ある程度の期間中(例えば1ヶ月間)の積算放射線被ばく量を測定する

放射線は目に見えないけれど、測定装置を適切に使用すれば状態を把握することができる



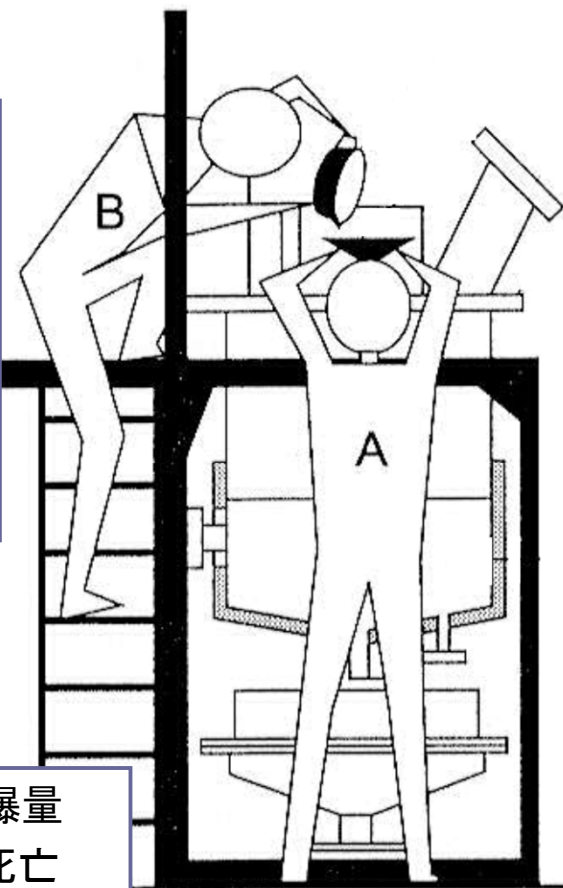
画像: (株)千代田テクノルHP



放射線の人体への影響

JCO臨界事故 (1999年 茨城県東海村)

液体ウランを取り扱っていた2名の作業員が大量の放射線を浴び死亡



JCO臨界事故での推定被曝量
作業員A 約20000 mSv 死亡
作業員B 約10000 mSv 死亡
作業員C 約 4500 mSv 回復

人体への影響

- 放射線は強いエネルギーを持っているので、体に受けると細胞を傷つける
- 細胞に傷がつくとガンになる可能性がある
 - 広島、長崎の原子爆弾では多くの人が大量の放射線を受けて亡くなったり病気になった



生物には修復を行う能力があるが、その能力を超えた放射線を受けると、または間違えた修復をすることで人体への影響が出る可能性がある

放射線に対する感受性の違い

1. 造血細胞、リンパ組織、腸など
 - 細胞分裂が盛ん
2. 皮膚、多くの内臓など
 - 細胞分裂がそれほど著しくない
3. 筋肉、骨、神経
 - おもに身体の構造を支持しているもの

大

感受性

同じ量の放射線であれば、少しずつ受けるより一度に受ける方が影響が大きい

被ばく量を表す単位 シーベルト (Sv)



ロルフ・マキシミアン・シーベルト
1896～1966 スウェーデン

シーベルト (Sv)

被ばく量を表す単位

放射線量に人体への影響を加味した値

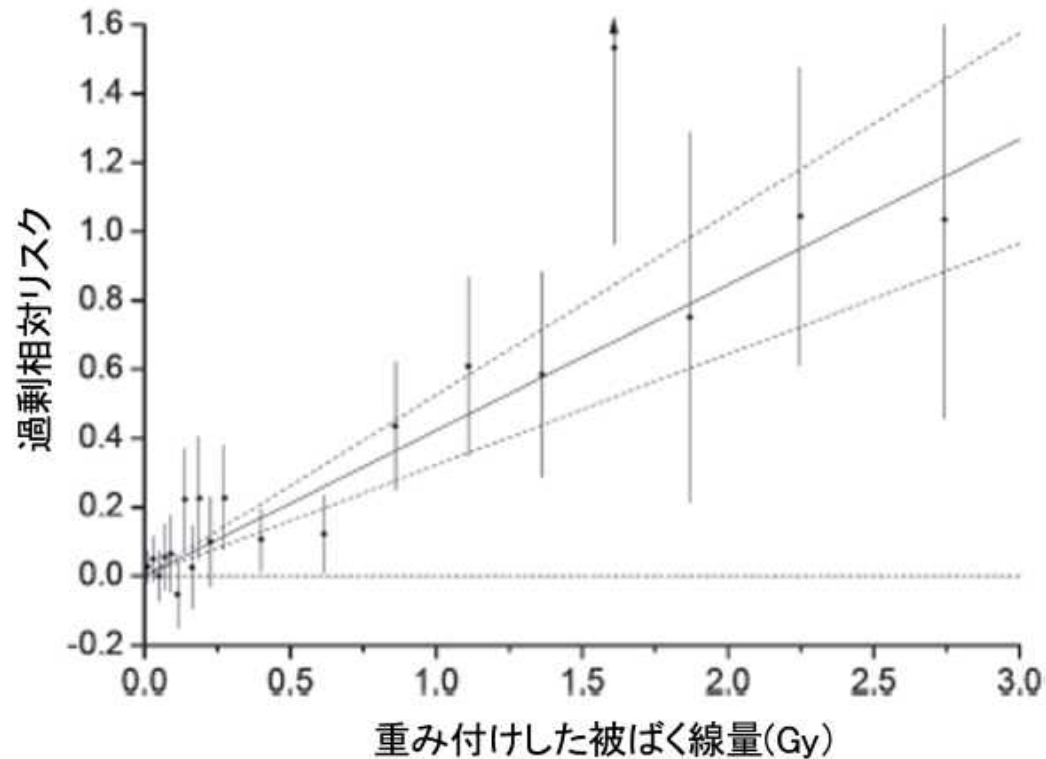
シーベルト毎時 (Sv/h)

1時間あたりの被ばく量

$1\text{Sv} = 1000\text{mSv}$ (ミリシーベルト)

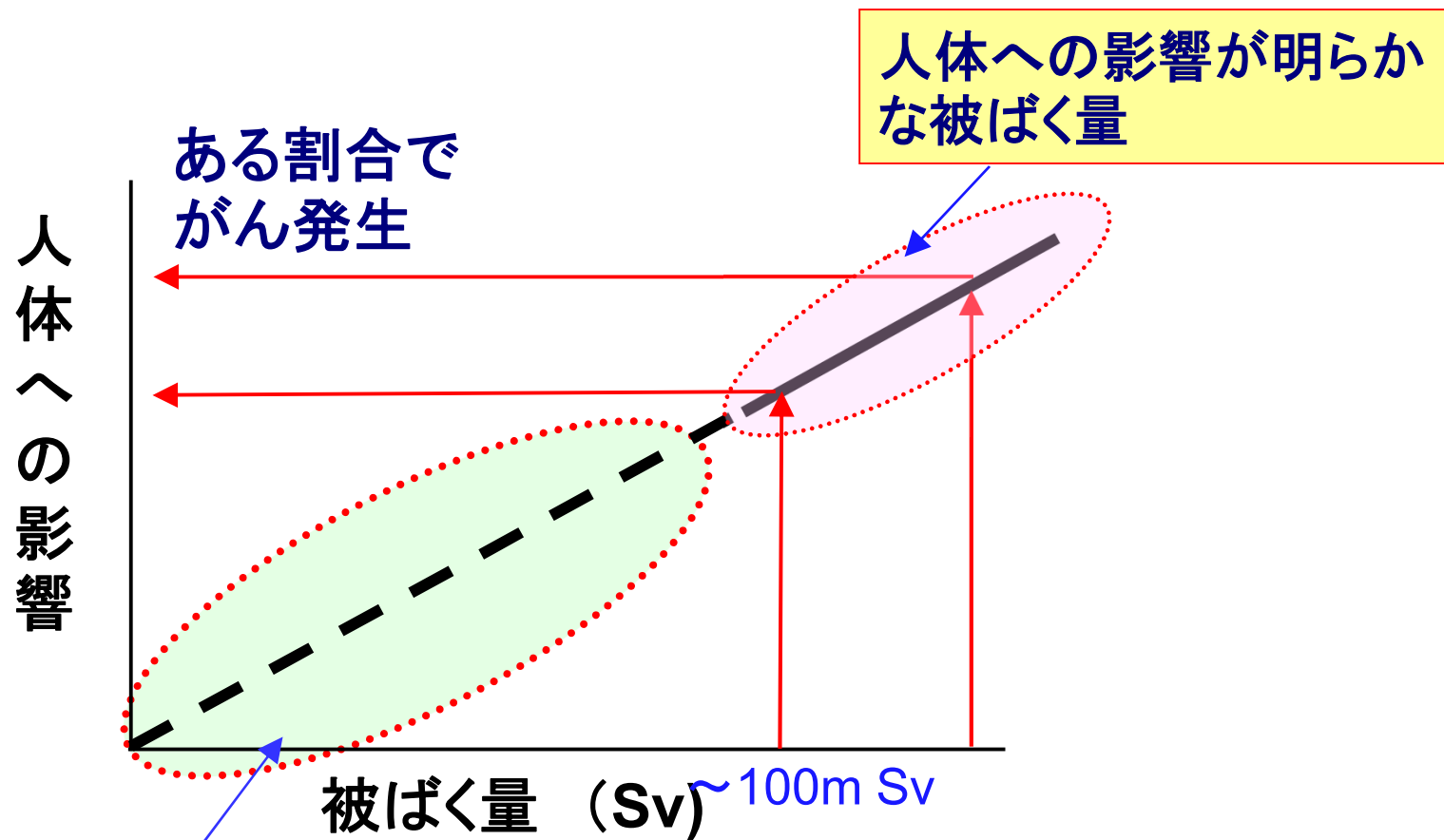
$1\text{mSv} = 1000\ \mu\text{Sv}$ (マイクロシーベルト)

人体への影響



原爆被爆者における被ばく線量と発がん
150mGy未満では統計的に有意な増加は確認できない

人体への影響

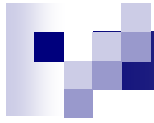


被ばく量

1 mSv	一般公衆に対する1年間の限度(医療を除く)
50 mSv	放射線業務従事者の1年間の限度
100 mSv	これ以上だと健康被害の可能性有り
250 mSv	緊急作業時の上限
3000 mSv	半数が死亡(?)

JCO臨界事故での推定被曝量
作業員A 約20000 mSv 死亡
作業員B 約10000 mSv 死亡
作業員C 約 4500 mSv 回復

(参考)
食品中の化学物質の1日摂取許容量
毒性試験で影響が出ない量×0.01



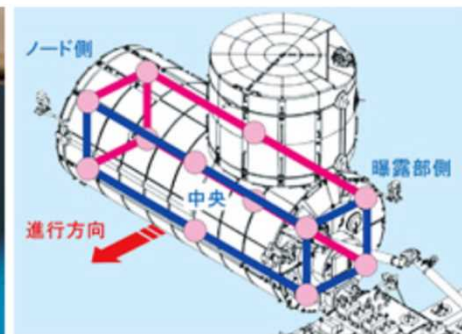
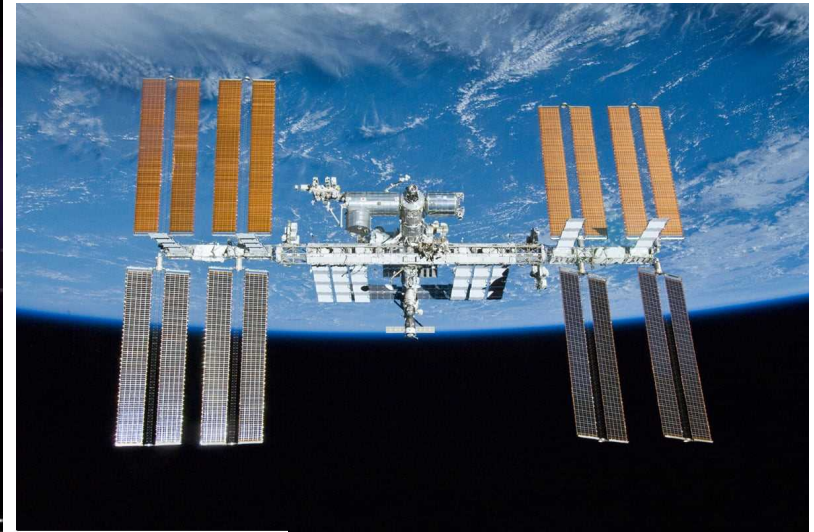
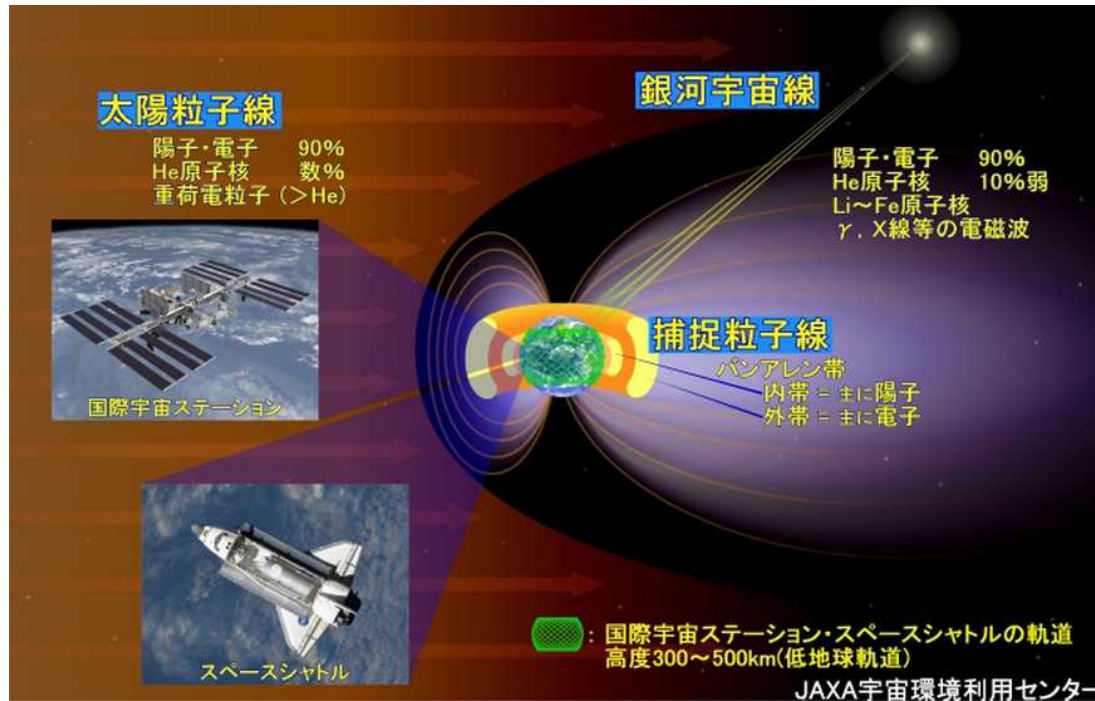
自然の放射線

放射線ってどこにあるか？



宇宙

宇宙ステーション



宇宙ステーションではいつでも放射線を測定している

オーロラ



北極圏でのオーロラ



今年5月の北海道でのオーロラ

- 太陽からの放射線(重い粒)が地球の空気に衝突して光る
- 今年は太陽の活動が活発で、いつもより多くの粒がやってくる
ことがある
- 5月、10月には能登半島でもオーロラを見ることができた

地球には空気と磁気があり、
宇宙の放射線から守られている



天然の放射線源

- 花崗岩（御影石）
 - ごく少量のウラン、トリウムが含まれている
 - 1kg中に約5mg
 - 東日本より西日本に多い岩石
- 海水中にはごく微量のウランが含まれている
 - 1m³中に約3mg
- 空気中のラドン
 - ウランやトリウムから放出される放射性物質
- カリウム
 - 天然のカリウムには放射能を持つK-40が含まれている



自然放射線

宇宙線

宇宙空間からの粒子が大気と反応して放射線を発生

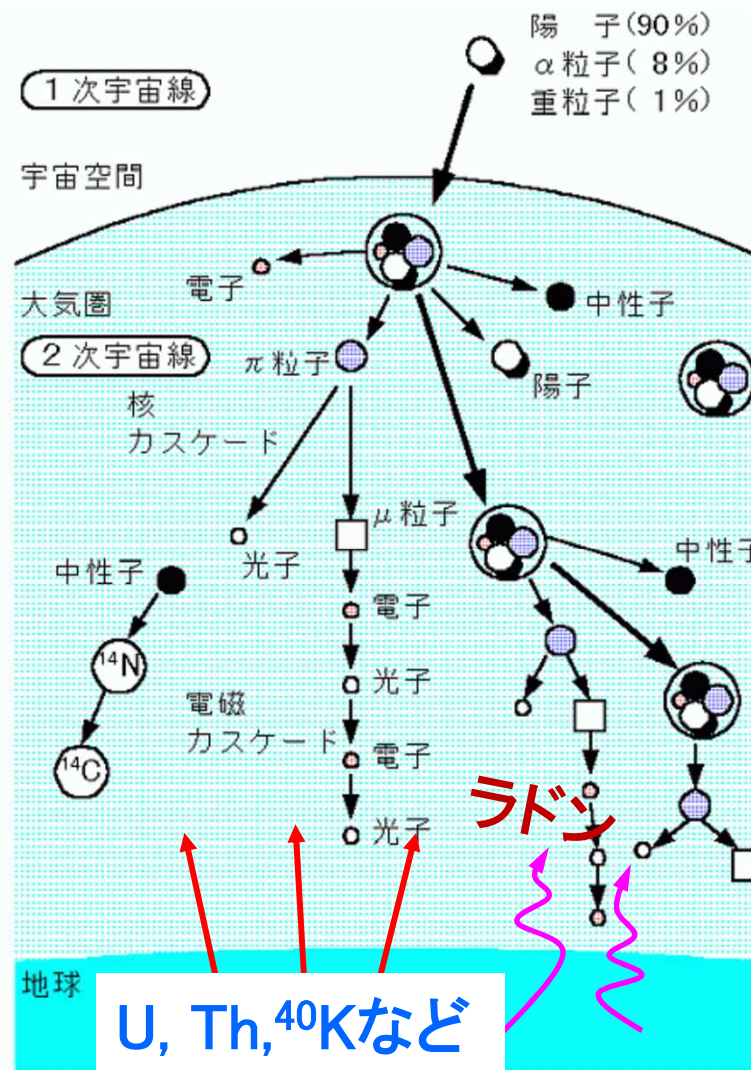
大地からの放射線

ウラン、トリウム、カリウム40などの大地に存在する天然の放射性物質から

大地からの放射能

「ラドン」ガス

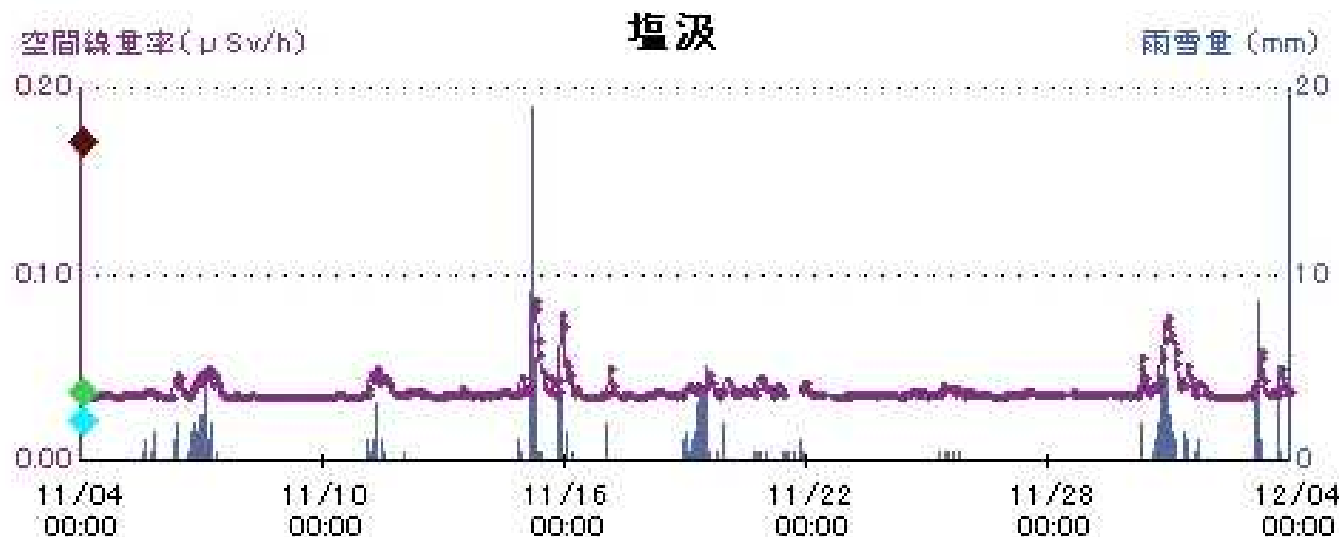
ラドンはウランから発生



モニタリングポスト (環境中放射線測定所)



舞鶴市塩汲測定所





雨が降ると放射線量が高くなる

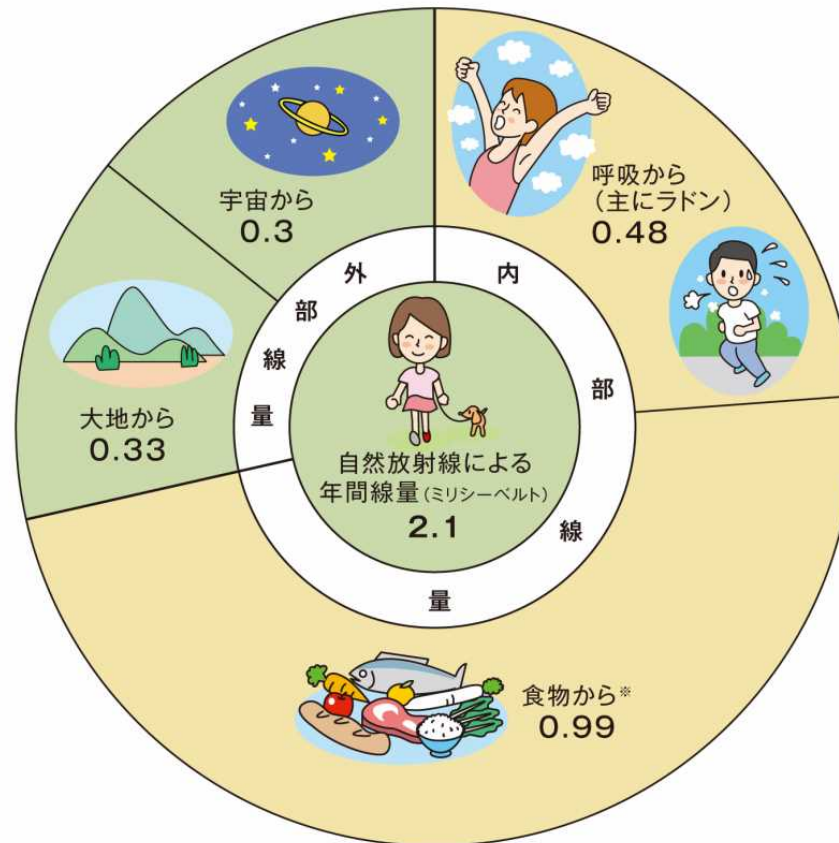
- 土壌中のごく微量のウランが放射線を出しながら変化
 - 1kg中に数mg
- ウランの”娘”のラドン (^{222}Rn) というガス状の放射性物質が空気中に出てくる
- ラドンはアルファ線を出して別のものになる
- 空気中のホコリなどに付く
- ホコリが雨粒の中心になったりして雨と一緒に地面に落ちてくる

天然ラドン温泉



温泉の中に天然のウランなど含まれていて
そこから放射線が出ている

自然放射線による線量の内訳

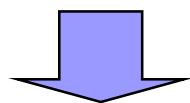


一人当たりの年間線量
(日本平均)

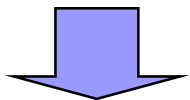
$$0.1 \mu\text{Sv}/\text{毎時} \times 24 \times 365 = 876 \mu\text{Sv} \\ = 0.876 \text{ ミリシーベルト}$$

放射能、放射線と聞くと...

- 体に当たるとすぐにガンになる（悪影響）



目に見えなくてとても怖いもの



定められた被ばく限度以下の放射線であれば人体への影響は気にする必要は無い

身の回りの放射線(工業)

- 厚さを計る、装置の内部状態を調べる
 - 製鉄、製紙工場で使用
 - 製品のレントゲン撮影
- 化学反応
 - ゴムが強くなる(タイヤに利用)
 - ポリエチレンの耐熱性(電線の被覆)
- 空港の手荷物検査



ベータ線での厚さ測定器



手荷物検査装置

身の回りの放射線(医療)

■ 体の内部を調べる

- X線撮影 (レントゲン、CT)
- PET

■ ガンの治療

- ガンマ線を当てる (コバルト-60)
- 陽子を当てる (陽子線治療)
- 中性子を当てる (京大で開発)

■ 機器の消毒

- 注射器、手術用糸・メス・手袋



重粒子線がん治療装置

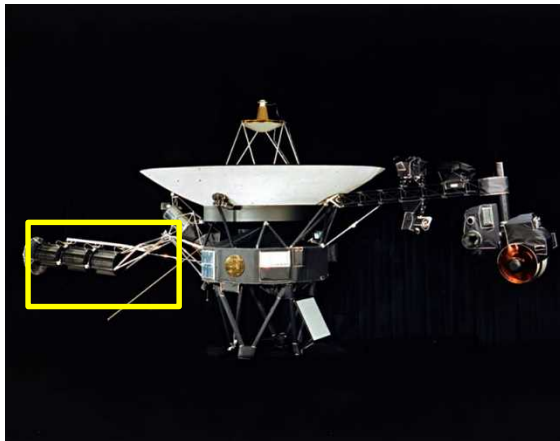


医療品の滅菌

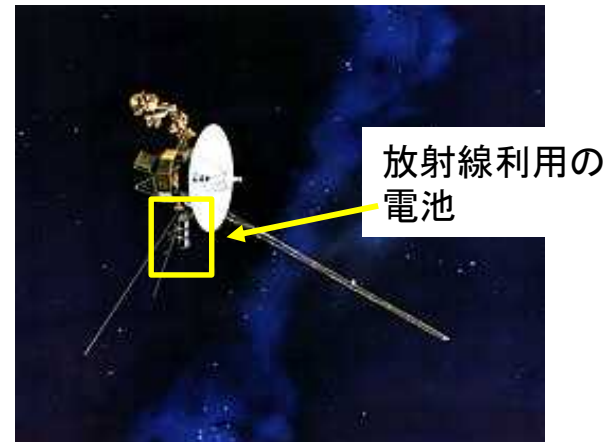
宇宙船での電源

宇宙ステーションでの電源は太陽電池

太陽の光が届かないところでは放射線を利用した電池を使用する（アルファ線のエネルギーを利用）



ボイジャー1号



ボイジャー2号

47年前に打ち上げられて、今は地球から約200億キロ以上離れたところを飛行中



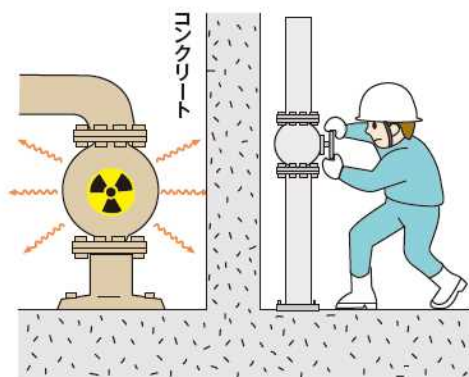
放射線防護



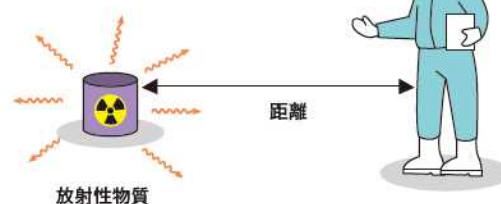
放射線の防護

- 自然に受けている放射線程度で人体に影響が出るとは考えられない
- でも、放射線防護の基本は「**できる限り被曝量を低く**」すること
 - **外部被曝**の低減
 - **内部被曝**の低減

放射線の外部被曝防護の3原則



「遮蔽」を利用する



「距離」とる



「時間」を短くする

放射線検出器を用いて周囲の状況を常に確認する

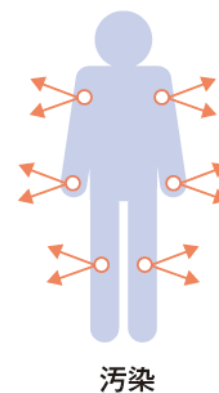
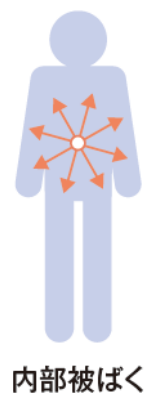
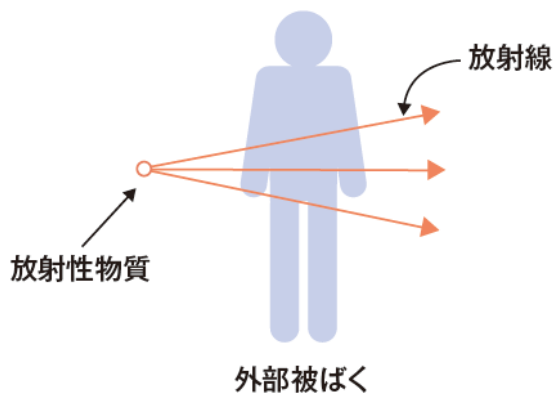
放射線の被ばくと汚染

被ばく

放射線を受けること

汚染

放射性物質が皮膚や衣服に付着した状態



遮へい(建物内)
距離(建物内)

マスク
ヨウ素剤

防護服
雨カッパ、ヤッケ



おわりに（放射線って何なの？）

■ どんなものなの？

- 原子の中の原子核から出てくる粒子や光のようなもの

■ どこにあるの？

- 自然界（地面、宇宙から）
- 医療、工業利用、身近な生活用品

■ どのくらい危険なの？

- 十分に注意して使う
- 自然界にも普通にあることを考えると、少しの量だけで危険になることはなさそう

■ 人の役に立つことってあるの？

- 放射線や放射能がなければ困ることが山ほどある

寺田寅彦 (1878-1935)



- 天災は忘れたころにやって来る
- ものをこわがらな過ぎたり、こわがり過ぎたりするのはやさしいが、正当にこわがることはなかなかむづかしい。
 - 放射線に対して引き合いにされることが多い言葉