

自然科学総合実験

課題 1 環境放射線を測る

1. 目的
2. 放射線とは
3. 放射線の性質
4. 測定

担当：金田雅司

大学院理学研究科 物理学専攻 原子核物理研究室

kaneta@lambda.phys.tohoku.ac.jp

時間配分

- 説明 35分
- 実験1 45分
- 説明 (14:20-) 10分
- 実験2 20分
- 実験3 50分
- データ整理、グラフ作成 20分
- 最後に、ノートチェックを行い、教員またはTAのサインをもらう。
 - サインの無いレポートは受取処理されません

はじめに

- 実験データは他人が見てもわかるように書く
 - 片対数 (semi-log) の目盛りのとり方はメモを取っておく
- テキストは実験前に読んでくること。

実験ノートについて

- 実験で得られた**すべての結果を記録**する
 - 失敗と思えるデータでもレポートをまとめるときに必要となることがある
 - 書きおとしがないように
- 最低限、記入すべき項目は以下の通り
 - 課題名、日付、共同実験者名
 - 実験装置
 - 配置を簡単な図にする
 - 教科書からわかる部分は記入しなくてもよい
 - 実験条件
 - 測定ごとに記入
 - 実験データ
 - 測定前に表などを準備（教科書にデータを書き込んではいけない）
 - 失敗データであっても、**失敗と判断した理由をメモ**
 - データ解析
 - 解析に用いた式、計算途中も書く
 - その他気づいた点
 - 天気・湿度・・・・

実験の目的

- 自然界に存在する放射線（環境放射線）をどのように捕らえ測定するかを学ぶ
 - 放射線・放射性物質とは何か
 - 放射線の応用・利用
 - 実験
 - 環境放射線測定
 - 放射線の強度と、放射線源からの距離
 - 物質の厚みと、放射線の遮蔽

放射線・放射性物質

放射線とは

■ 高エネルギーの電磁波（光子）

高速の粒子線（素粒子、原子核）の総称

- 自然界には安定に存在できない元素（放射性同位元素：ウラン、トリウム、ラジウム、ラドン等）が壊れる時等に放出される
- 高速の粒子が他の粒子に衝突した時に放出される（宇宙線、加速器）

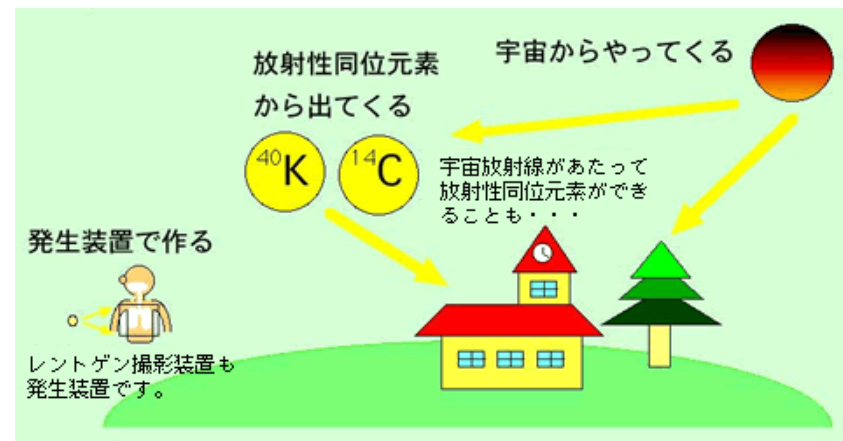
■ 種類

- α 線、 β 線、 γ 線、X線、中性子線、陽子線、重荷電粒子線、 μ 粒子線など

■ 自然界に常に存在する自然放射線

- 天然放射性元素の崩壊
- 宇宙放射線

■ 人によって作られた人工放射線



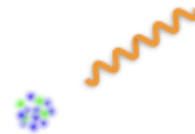
放射線、放射性物質と放射能

放射性物質

= 放射線を出す能力(放射能)
を持った物質

放射線

= 放射性物質から放射されるもの



例えば

懐中電灯

= 光 (光線) を出す
能力を持ったもの



光 = 懐中電灯から放射されるもの



放射線と物質の相互作用

- α 線
 - ヘリウム原子核（電荷 $+2e$ ）
 - 物質中の電子と相互作用
- β 線
 - 電子、陽電子（電荷 $\pm e$ ）
 - 物質中の電子と相互作用
- γ 線、X線
 - 光子（電荷0）
 - 光電効果（原子の電子をたたき出し、消滅）
 - 電子対生成（物質中で、電子と陽電子に変わる）
 - コンプトン散乱（電子と散乱しエネルギーを失う）
- 中性子線
 - 中性子（電荷0）
 - 原子核との直接衝突

相互作用を起こすと物質中の原子は電離や励起する
→ 電離により分子が壊れたりする

放射線と物質の相互作用

- α 線

- ヘリウム原子核（電荷 $+2e$ ）

- 物質中の電子と相互作用

- β 線

- 電子、陽電子（電荷 $\pm e$ ）

- 物質中の電子と相互作用

- γ 線、X線

- 光子（電荷0）

- 光電効果（原子の電子をたたき出し、消滅）

- 電子対生成（物質中で、電子と陽電子に変わる）

- コンプトン散乱（電子と散乱しエネルギーを失う）

- 中性子線

- 中性子（電荷0）

- 原子核との直接衝突

α 線、 β 線と物質との相互作用

- α 線や β 線は電荷を持つ

- 物質中の電子と散乱
- 徐々にエネルギーを失う
- ある距離を進むと、エネルギーが無くなり停止

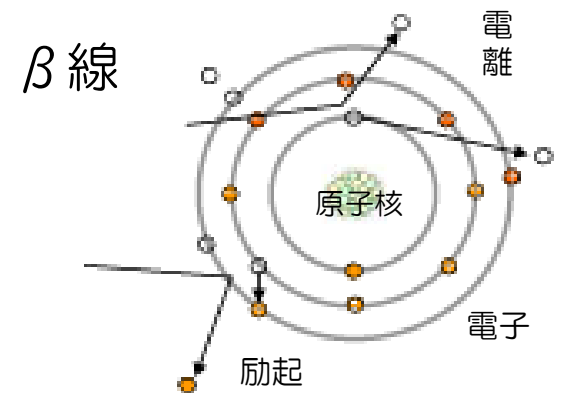
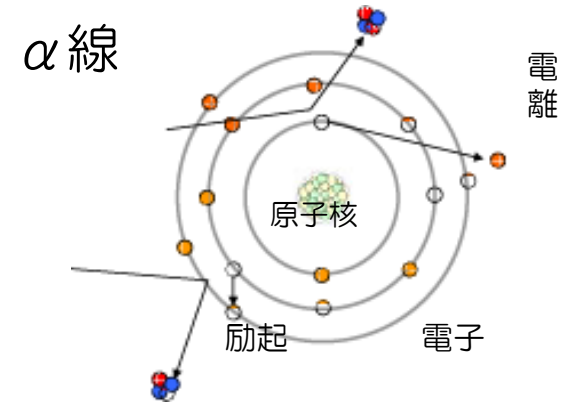
- α 線

- 空気中で数cm, 薄い紙（約0.3 mm）で停止
（例）煙感知器

- β 線

- 空気中で約3m, 水中で約4mmで停止
- （例） ^{14}C 年代測定

- 散乱された電子は電離したり励起したりする

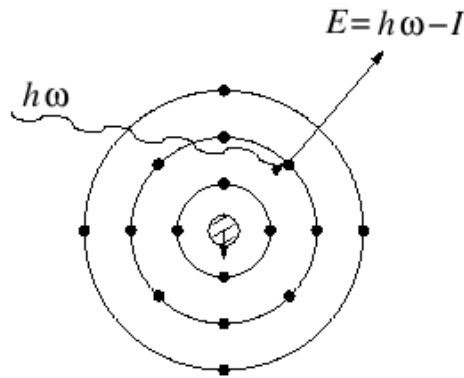


放射線と物質の相互作用

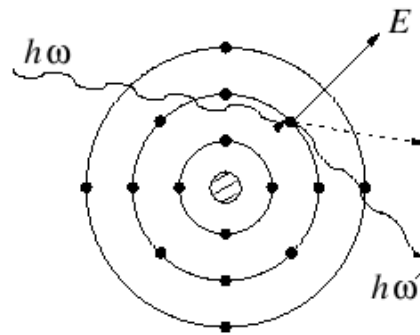
- α 線
 - ヘリウム原子核（電荷 $+2e$ ）
 - 物質中の電子と相互作用
- β 線
 - 電子、陽電子（電荷 $\pm e$ ）
 - 物質中の電子と相互作用
- γ 線、X線
 - 光子（電荷0）
 - 光電効果（原子の電子をたたき出し、消滅）
 - 電子対生成（物質中で、電子と陽電子に変わる）
 - コンプトン散乱（電子と散乱しエネルギーを失う）
- 中性子線
 - 中性子（電荷0）
 - 原子核との直接衝突

γ 線と物質の相互作用

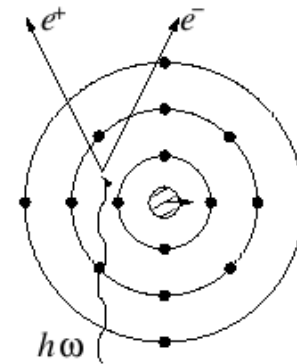
- X線や γ 線は高エネルギーの光子
 - 電荷を持っていないため、透過率が高い（荷電粒子より反応確率が低い）
- 光子は光電効果・電子対生成で吸収、コンプトン散乱で散乱



(a) photoelectric effect



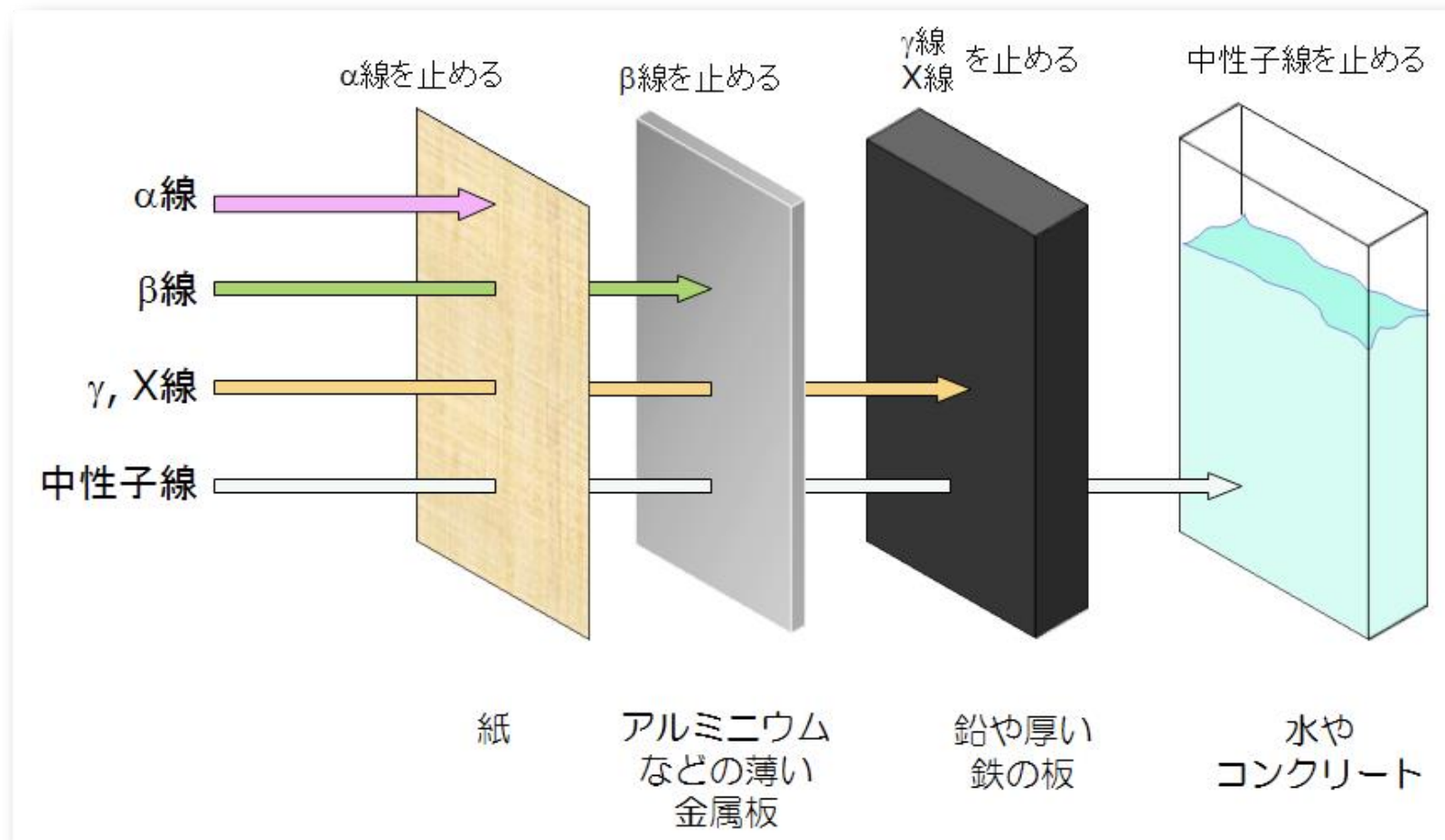
(b) Compton scattering



(c) pair production

- 飛び出した電子の（運動）エネルギーは大きい
 - この電子が物質中を走ることで、電子が励起
 - 励起電子数 $\propto$ ガンマ線が物質に与えたエネルギー
- 励起した電子が下のエネルギー状態に遷移
- エネルギー差が、光（可視光から紫外光）になる
 - 蛍光（シンチレーション光）
 - 蛍光を測定することで、放射線の数や与えたエネルギーを測定する。

放射線の遮蔽



放射線の遮蔽



自然界からの放射線による被曝

■ 外部被曝

- 放射性物質は体外にある
- 多くは γ 線による被曝

■ 内部被曝

- 飲食・吸引により放射性物質が体内に
- 多くは α 線、 β 線による被曝

単位

放射能の強度 **Bq(ベクレル)**

1秒あたりの原子核の崩壊数
放射線の種類によらない

放射線の強度

吸収線量 **Gy(グレイ)** = J/kg

1 kg あたり物質が吸収した放射線のエネルギー
放射線と物質の性質に依存する。

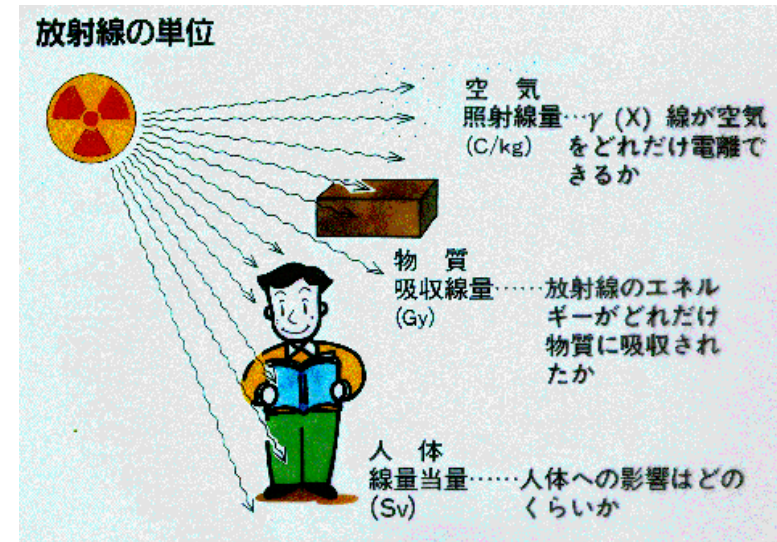
線量当量 **Sv(シーベルト)** = $Q \times \text{J/kg}$

放射線の生物に及ぼす影響の重さを表す量

吸収線量に放射線の生物学的な影響の強さに対応する線質係数(Q)をかけた値

γ 線に対する線質係数は1 (γ 線では、1 Sv = 1 Gy)

- 本課題では放射線強度の単位：マイクロシーベルト／時($\mu\text{Sv/h}$)を使用
 - $1 \mu\text{Sv/h} = 0.001 \text{ mSv/h} = 0.000001 \text{ Sv/h} = 10^{-6} \text{ Sv/h}$
- レポートで単位を忘れないように
 - 必要な単位が無い場合、レポート評価を **不可** にします



単位の重要性

■ 医療の現場で

- 薬剤の一部は、体積(mL)ではなく「単位」で扱われている
 - インスリン、抗凝固薬、血液製剤、濃厚血小板等
- 量を間違えた投薬による死亡事故
 - インスリンについて
「1単位 = 1mL」と誤解して、
100倍量を患者に投与
 - 複数名で確認していれば、防げた可能性あり

医療事故情報収集等事業 医療安全情報 No.131 2017年10月

公益財団法人 日本医療機能評価機構

医療安全情報

インスリン単位の誤解 (第2報)

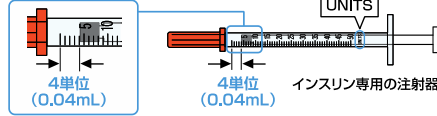
No.131 2017年10月

医療安全情報No.6「インスリン単位の誤解」(2007年5月)で、インスリン1単位を1mLと認識していたため100倍量を投与した事例を取り上げました。その後、類似の事例が3件報告されていますので再度情報提供します(集計期間:2012年1月1日～2017年8月31日)。

インスリンのバイアル製剤は、100単位/mLに濃度が統一されており、1単位は0.01mLです。

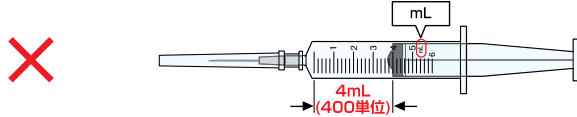
投与方法	投与すべき量	誤って投与した量
皮下注射	4単位(0.04mL)	4mL(400単位)
急速静注	2.6単位(0.026mL)	2.6mL(260単位)
持続静注	0.5単位(調製液0.5mL)/h	原液0.5mL(50単位)/h

実際の4単位



インスリン専用の注射器

事例1のイメージ



自然界からの放射線による被曝

宇宙線

常に地上に降り注いでる
手のひらの広さに
1秒間に約1個の割合

標高の高い場所では
宇宙線をあびる量が増える
NY-成田往復一回で約 $0.19\mu\text{Sv}$ の被曝

ラドン

おもに花崗岩に含まれ、
コンクリートにも
含まれている。
 α 線をだす。
気密性が高い住宅では
ラドンがたまり、ラドン
を吸うことで肺ガンの
リスクが高まる。

^{40}K

γ 線と β 線をだす。天然の放射性物質
土壌、岩石、コンクリートに含まれる。
土壌中に $100\sim 700\text{ Bq/kg}$ 程度。
体内にも常に存在 (体重 60kg の成人男子で約 4000Bq)

^{134}Cs , ^{137}Cs

γ 線と β 線をだす。福島第一原発由来のものは、地表数cmに局在。
 ^{137}Cs は過去の大気中核実験・チェルノブイリ原発事故由来もまだ残っている。

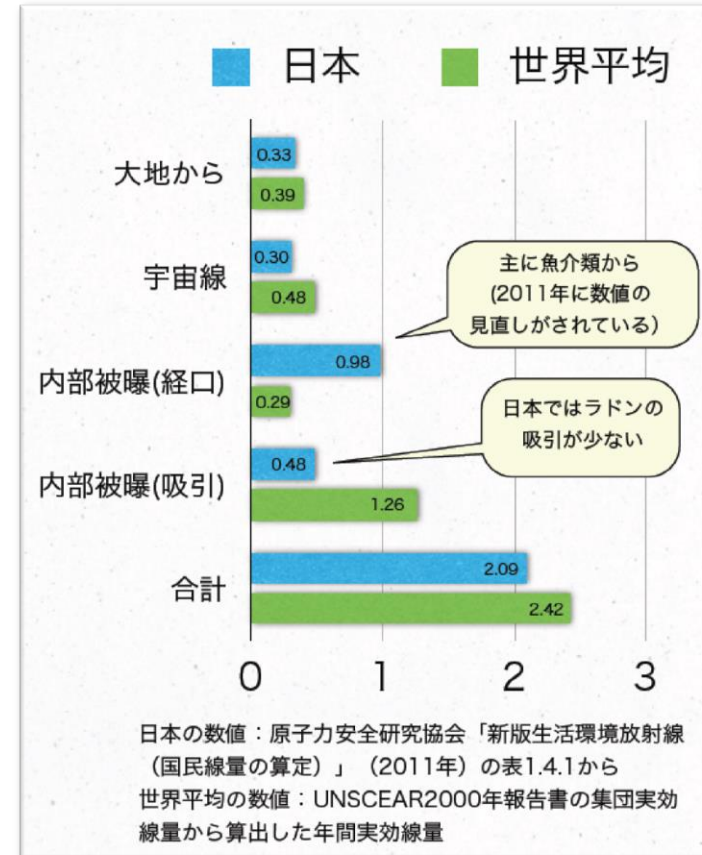
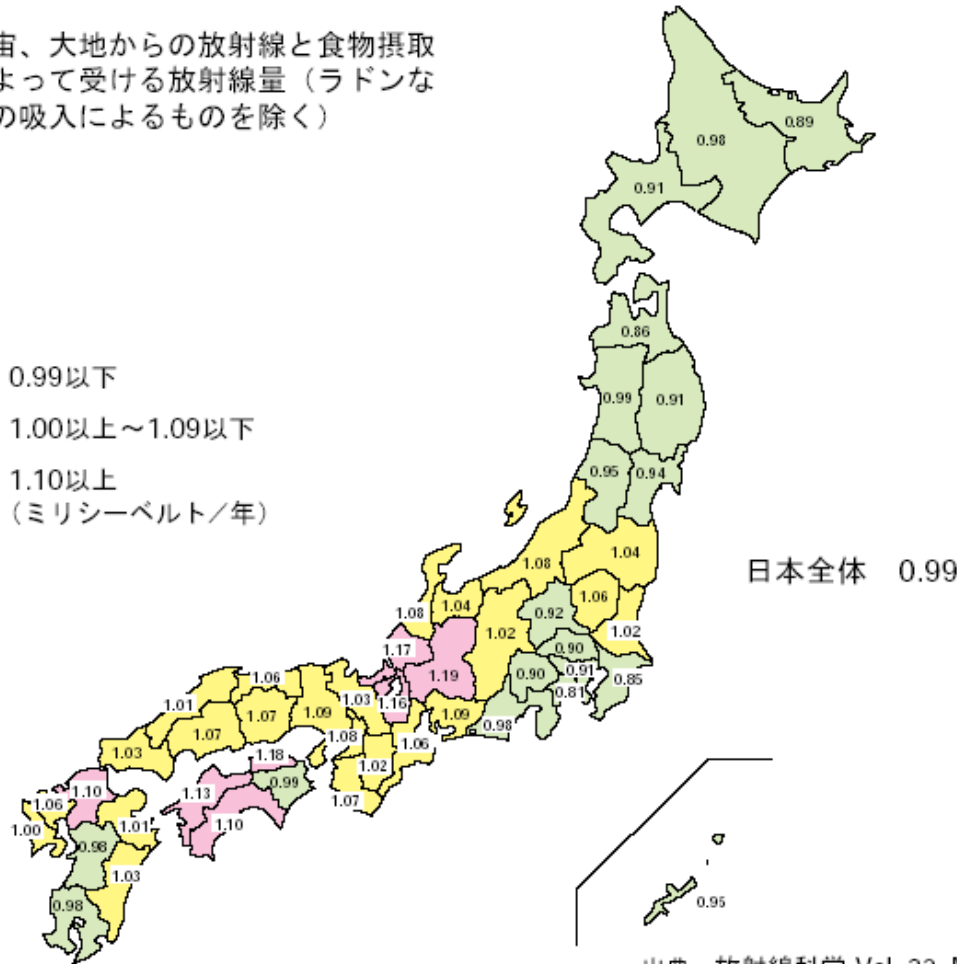
β 線は空気中では数 10cm から数 m で止まるので遠くからは飛んでこない

自然界からの放射線による被曝

全国の自然放射線量

宇宙、大地からの放射線と食物摂取によって受ける放射線量（ラドンなどの吸入によるものを除く）

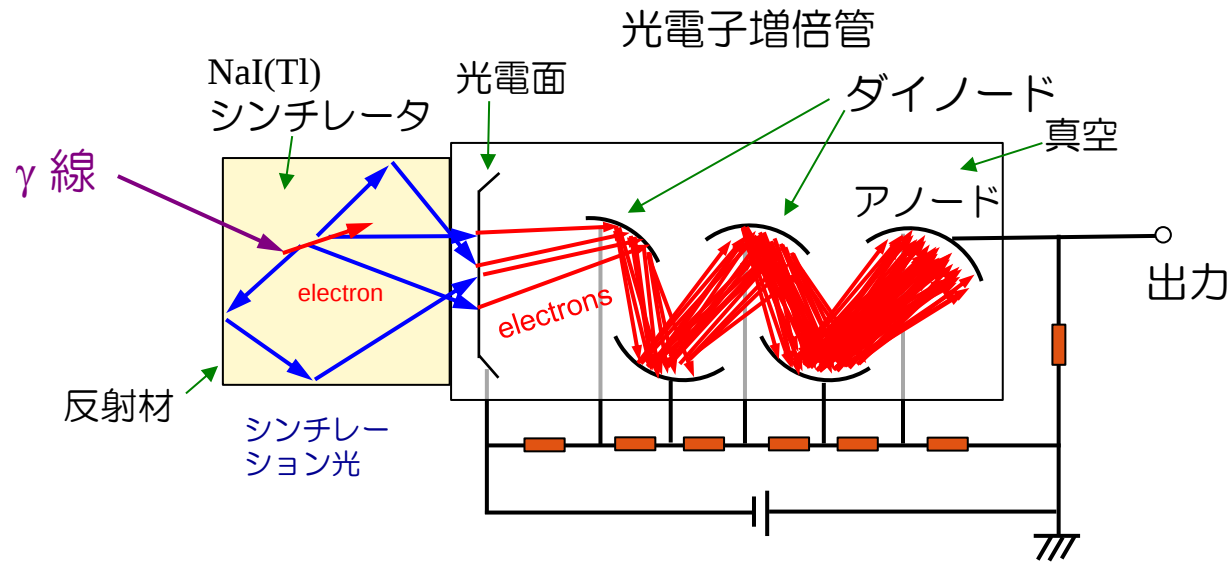
0.99以下
1.00以上～1.09以下
1.10以上
(ミリシーベルト/年)



出典：放射線科学 Vol. 32, No.4, 1989

シンチレーションサーベイメータ

- 先端にあるNaI(Tl)結晶で作られた蛍光を光電子増倍管（光センサーの一種）で電気信号に変換して測定する。



- NaI(Tl)結晶は壊れやすい
- 丁寧に扱い、ぶつけたり、落とさないこと

放射線の応用と利用

放射線の応用・利用

- 放射線はさまざまな分野で利用されている
 - 日常生活
 - グローランプ、煙感知器等
 - 医療
 - 検診、治療、除菌等
 - 工業
 - 材質加工、厚み測定、非破壊検査等
 - 農業
 - 発芽防止、品種改良、害虫駆除等
 - 科学
 - 分析、年代測定等



日常生活での利用

- 原子力発電

核分裂を利用

- 蛍光灯のグローランプ



点灯のきっかけ

^{147}Pm , ^{63}Ni , ^{85}Kr 等

最近は放射線を用いない製品もある

- イオン化式スポット型煙感知器

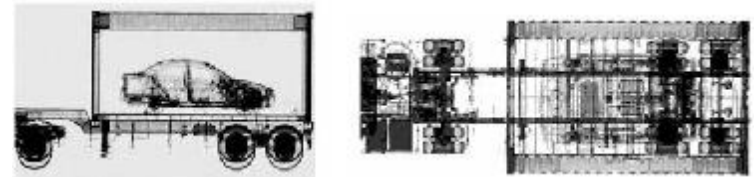


微弱な放射性
物質

(^{241}Am 等) からの
アルファ線を使用

- X線検査、中性子線検査

空港等の手荷物検査等



- アイソトープ電池

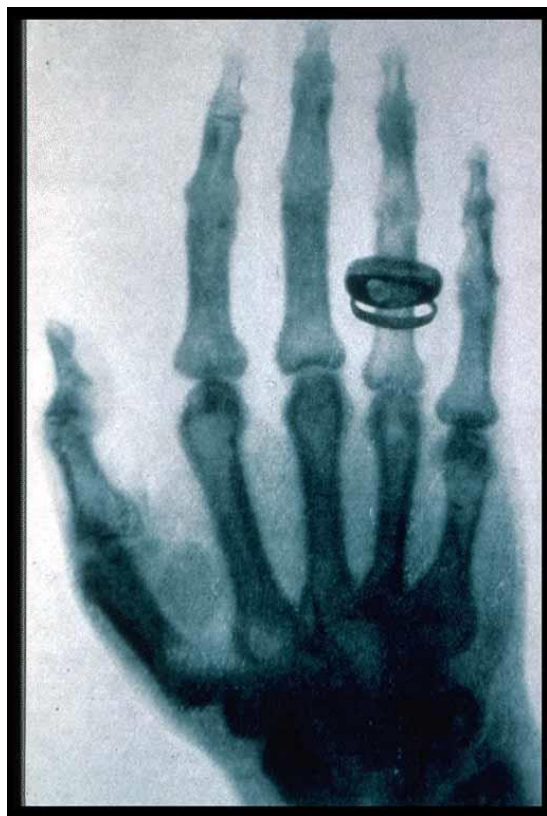
原子核崩壊の際に発生するエネルギーを熱源として電圧を発生

宇宙空間や極地など、人が簡単に行けない
ところでの電源として使用

医療への利用

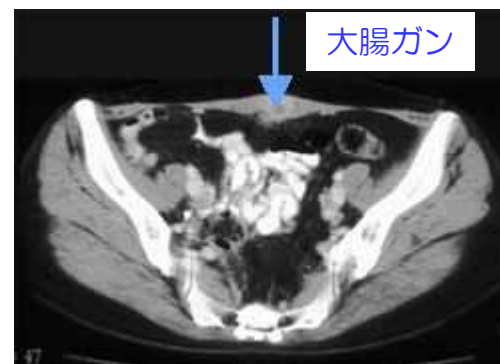
■ 検診

□ レントゲン(X線)



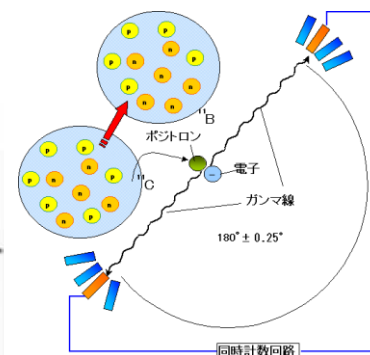
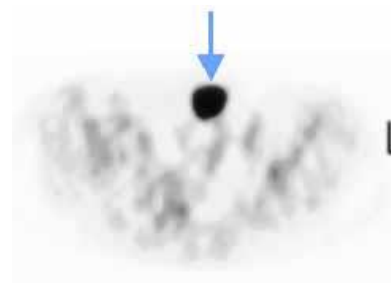
Mrs. レントゲンのX線写真

■ X線CT



X線で物体を走査し、内部を輪切りにした画像を作る

■ ポジトロンCT

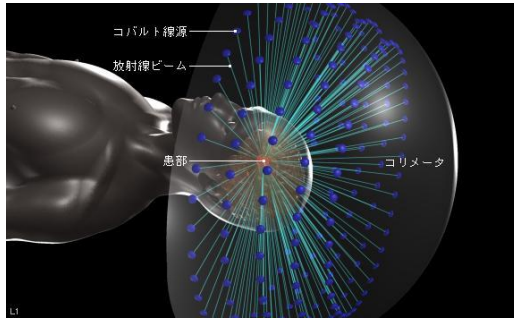


陽電子を放出する放射性同位体(^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F 等)で標識化した薬剤を投与、薬剤の分布を陽電子の対消滅時に発生するガンマ線の測定で調べる

医療への利用

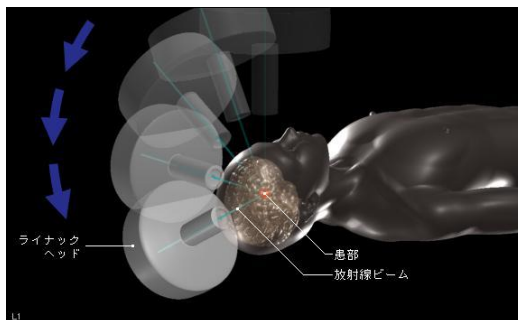
■ 治療

□ ガンマナイフ

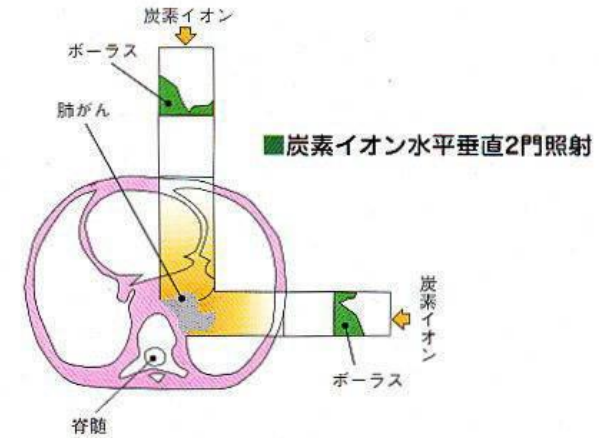


□ ライナック治療

- Linac：線形加速器
- 治療では、電子を加速
- 電子ビームや、二次的に発生させたX線を照射



□ 重粒子線治療



■ 医療器具の殺菌

- 放射線殺菌：殺菌剤等の残留のないクリーンな滅菌医療器具
- メス、手袋、注射器など



農業利用

品種改良



●ガンマ線照射によって育成された黒斑病耐病性ニホンナシ3品種の果実('ゴールド二十世紀'(左上)、『寿新水'(右)、『おさゴールド'(左下)

Fruits of 3 Japanese pear cultivars resistant to black spot disease developed by γ -irradiation 'Gold Nijisseiki' (upper left), 'Kotobuki Shinsui' (right) and 'Osa Gold' (lower left)

図3 ガンマ線照射によって育成された黒斑病耐病性ニホンナシ3品種

[出典]北川健一(ほか:ニホンナシ新品種「寿新水」、鳥取県園試報、3:1-13(1999)

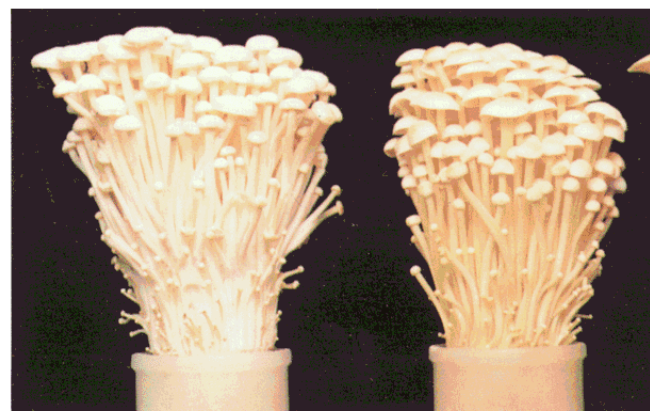


図4 放射線育種によって作られた純白系エノキダケ「臥竜1号」(左)

[出典]農林水産省 放射線育種場(パンフレット)、p.5



放射線育種によって作られたいろいろな花色の菊(真中の菊から生まれた兄弟)

農業利用

発芽防止

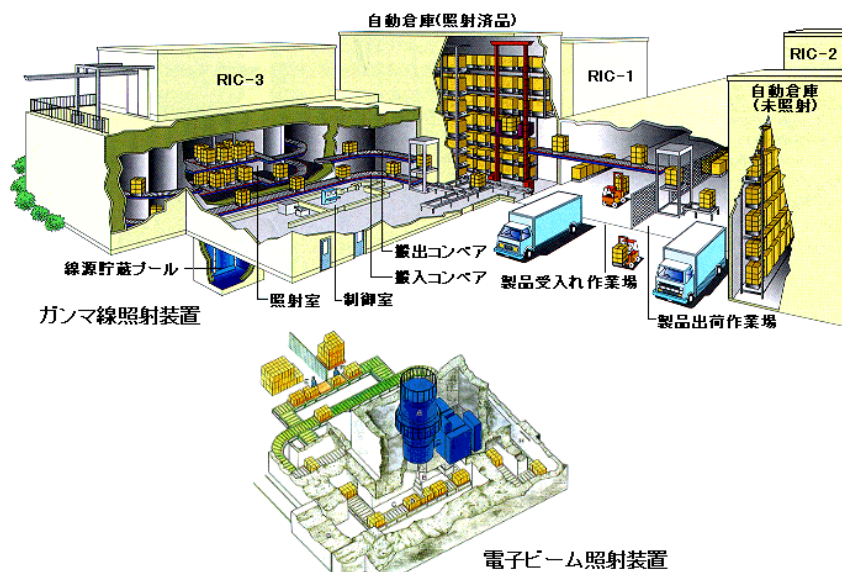


図3 ガンマ線照射装置と電子線照射装置

【出典】ラジェ工業株式会社：ラジェ工業の放射線照射サービスのご案内、パンフレット（1998年10月）

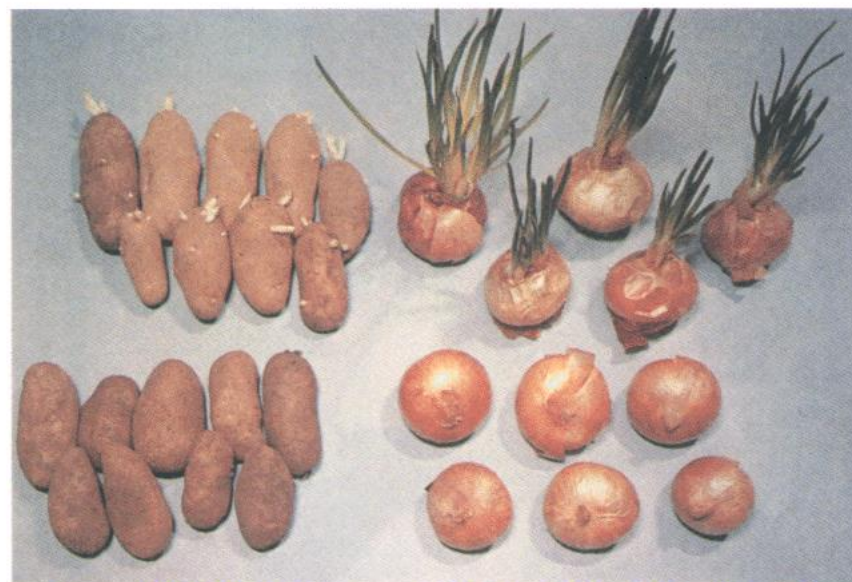


図1 放射線照射によって発芽防止されたジャガイモと玉ネギと、未照射により発芽したもの

【出典】日本原燃株式会社（編）：放射線と原子燃料サイクルのはなし、パンフレット、p7



図4 北海道札幌農協のジャガイモ照射施設の内部

【出典】ホクレン農業協同組合連合会、北海道札幌農協同組合：ガンマ線照射による芽止めじゃがについて、北海道札幌農協同組合

■ 害虫駆除

放射線で害虫の不妊化→散布:根絶、予防的防除
ex. ウリミバエ、ラセンウジバエ、ツエツエバエ

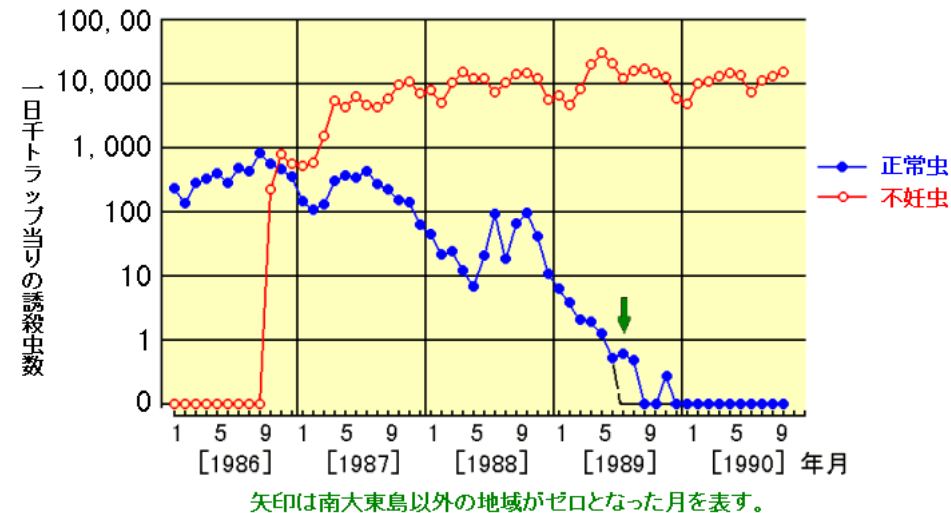
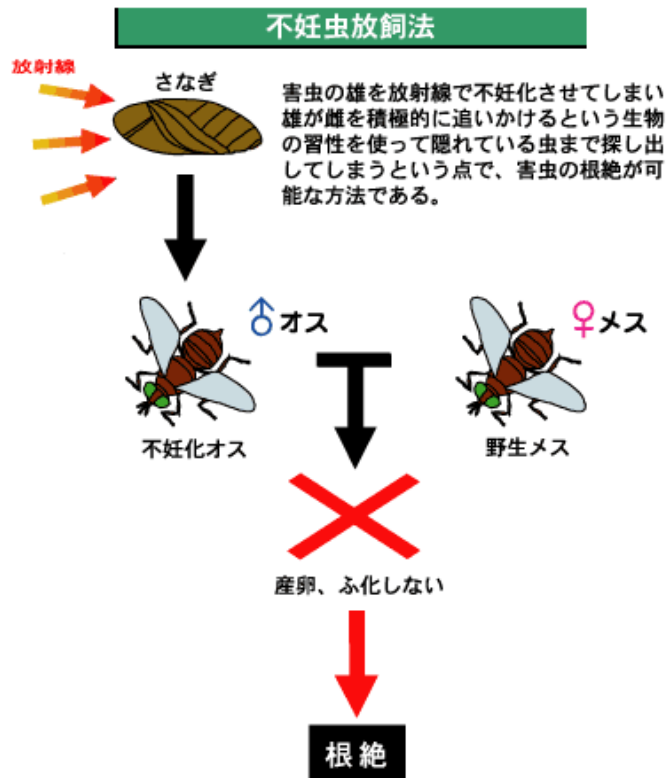


図2 沖縄群島におけるウリミバエ根絶の経過

[出典] 垣花廣幸:不妊虫放飼法によるウリミバエの根絶、放射線と産業、No.51, 33(1991)

工業利用

■ タイヤの加工



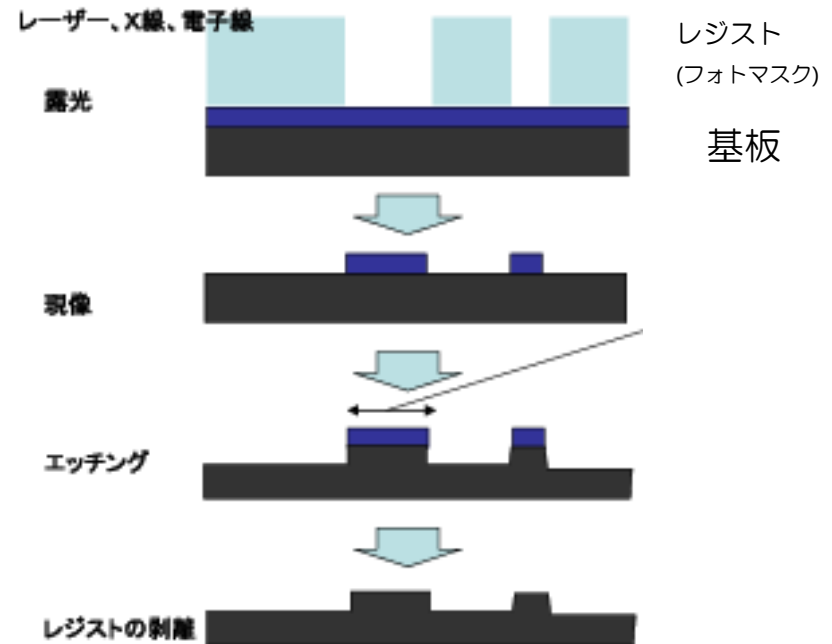
生ゴムは弱い。
放射線を当てて
網目上の構造を
作る。粘着性を
下げる

■ ビニール・プラスチック加工



耐熱性を高める。
三味線や琴などの
弦用ナイロンの音
質改善

■ 集積回路(半導体の加工)

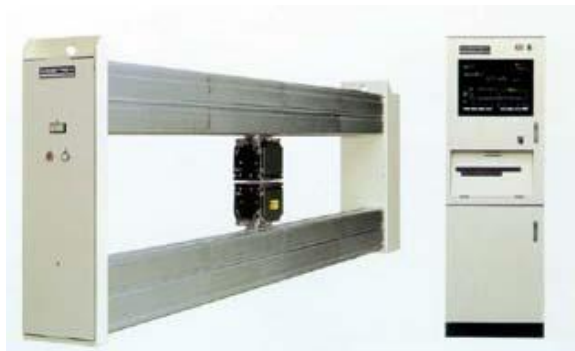


集積化

細い線を作るため、短波長の光(X線)や
電子線を用いる

工業利用

- 厚さ計測
製品の厚さ検査



- 着色
ガラスや宝石類の着色



ガラスの花瓶

- リサイクル（排ガス処理）

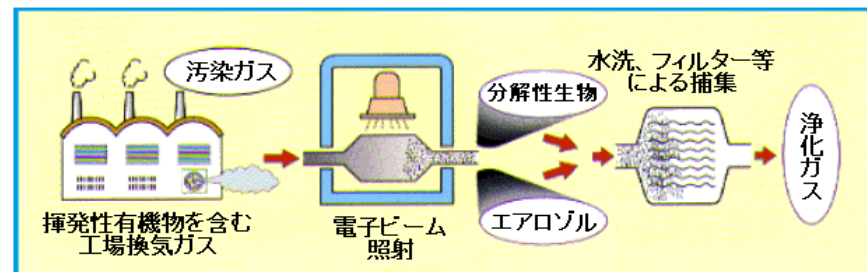


図5 換気ガス中の揮発性有機物の電子ビーム処理

【出典】電子ビームで換気ガスを浄化する FF No.36 p.3-4(1998年2月)

<http://www.jaeri.go.jp/genken/index.html>

ガラス＋ナトリウム＋放射線
→ 茶色

ガラス＋コバルト＋放射線
→ 紫

工業利用

■ 非破壊検査

溶接がうまくいったかどうか、使用している機材に故障や破損がないかどうかを確認する方法の1つ

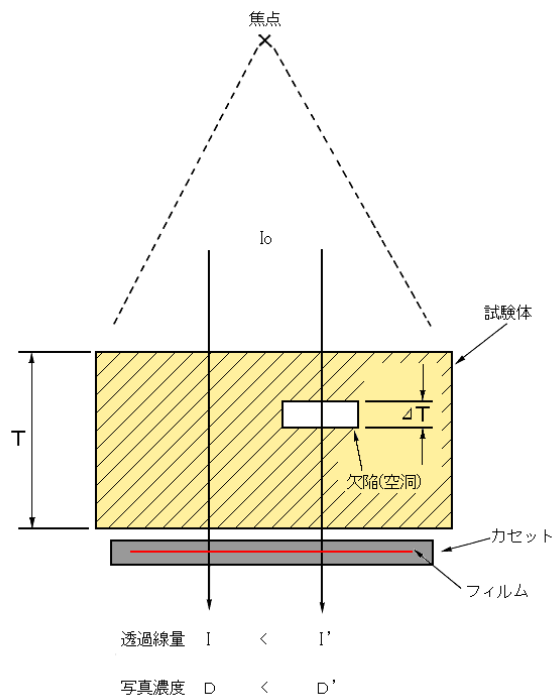
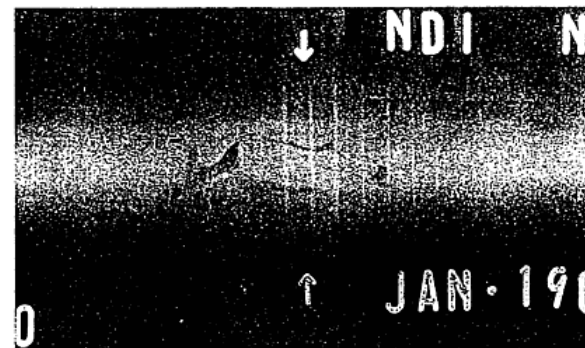
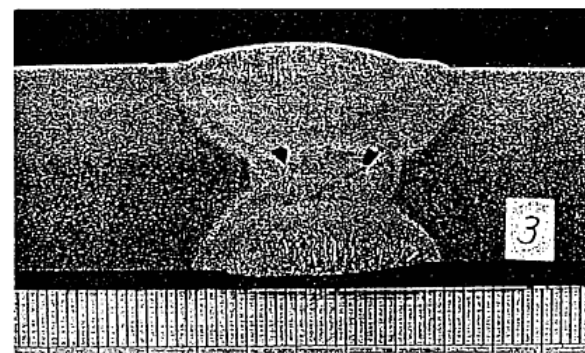


図2 欠陥検出の原理図

[出典] 富士 岳：放射線による検査技術の基礎、非破壊検査、39(9)、p.715(1990)



融合不足の透過写真



透過写真の矢印の部分の断面写真

×2.1

下段の断面写真では、中央部に黒点が2個見につき、融合不足で欠陥になっていることがわかる。

図5 ラジオグラフィ透過写真の例
(融合不足)

[出典] 日本非破壊検査協会(発行):「溶接部の放射線透過試料写真集(1988)」

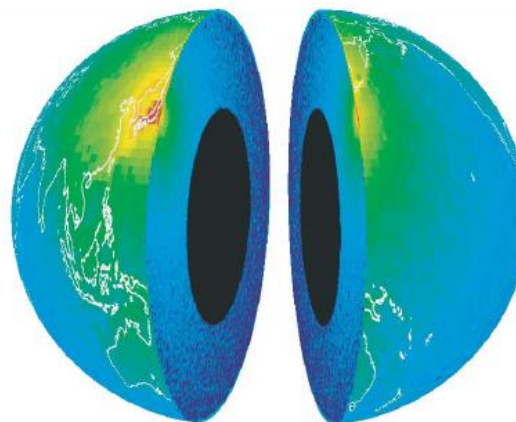
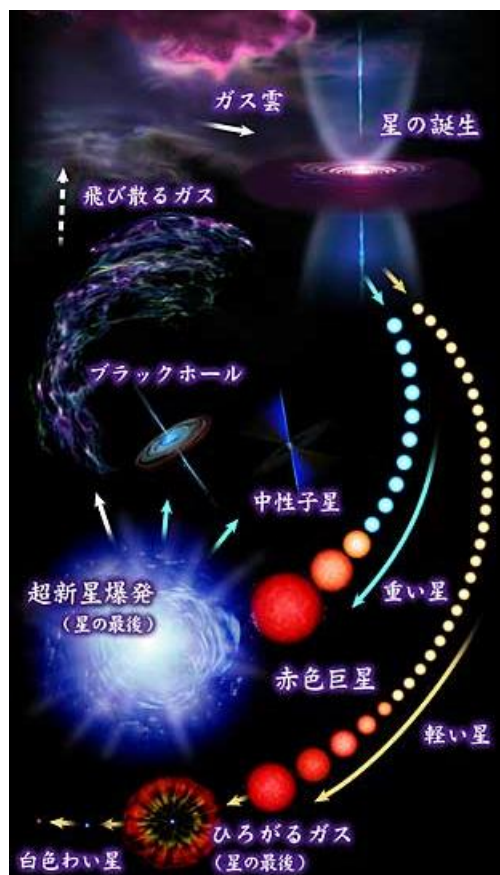
自然科学(例)

■ 星の進化と元素合成

宇宙放射線(宇宙線)の測定

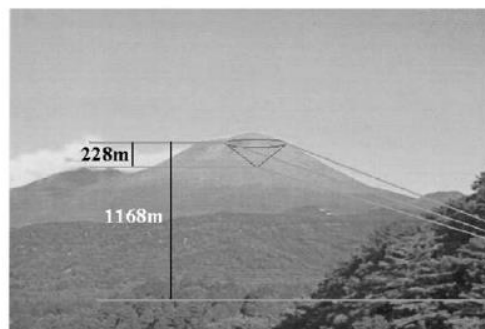
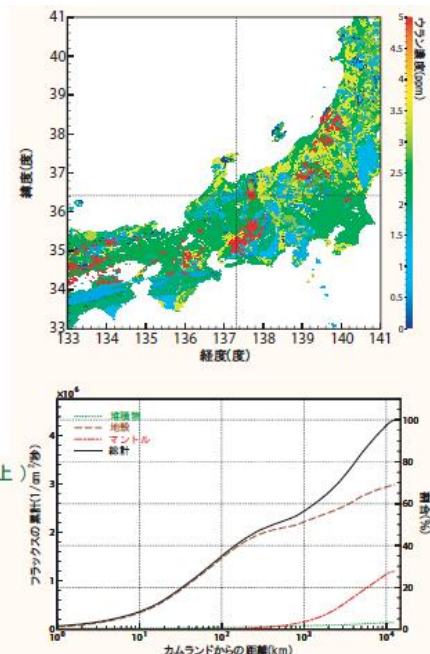
原子核反応の反応率の測定

→ 星の進化、元素の起源の研究



カムランドで観測されると考えられる地球ニュートリノの生成点分布(上)
カムランド近くのウランの分布図(右上)
カムランドで観測される地球ニュートリノの距離分布(右)

地球表面の地殻部分にもっとも高い濃度でウランやトリウムが分布していて、核の部分にはウランやトリウムは存在していないと考えられています。
カムランド検出器近くで発生する地球ニュートリノは地質図をもとに予測することができます。全体の50%の地球ニュートリノは500km以上の距離から飛来すると考えられています。

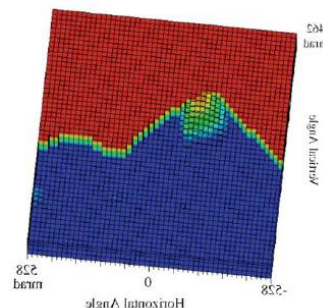


Asama-en

浅間山を突き抜けた宇宙線
(μ 粒子子測定)

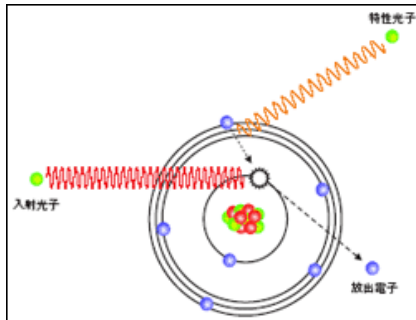
→ 山頂火口の深さ

溶鉱炉壁の厚さ測定等に応用



自然科学(例)

- 放射線による微量物質の分析
放射化分析 (中性子照射など)
X線照射による分析
(spring8で行われたヒ素分析)



■ 年代測定

- ^{40}K - ^{40}Ar 法
- ウラン-鉛法
 - $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$, $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$
- ^{14}C 法
 - $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N}$

- 蛋白質の分析
- 突然変異
- トレーサー

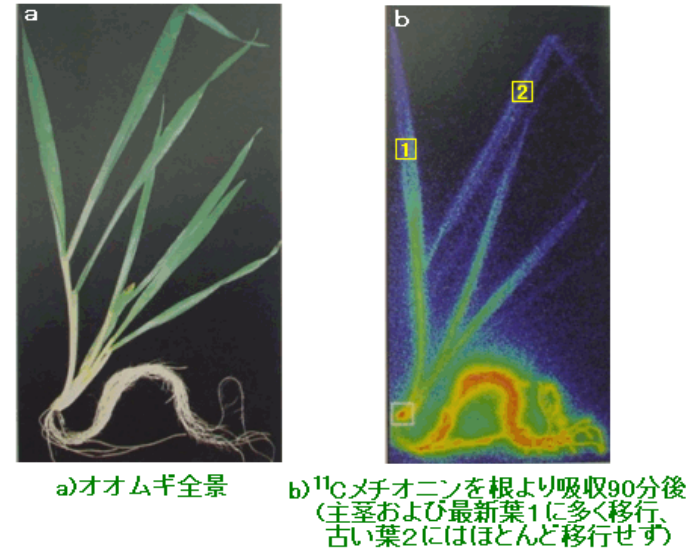
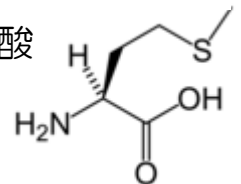


図6 オオムギにおけるC-11メチオニンの動態解析

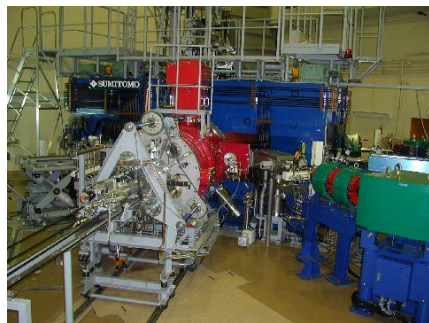
メチオニン：必須アミノ酸



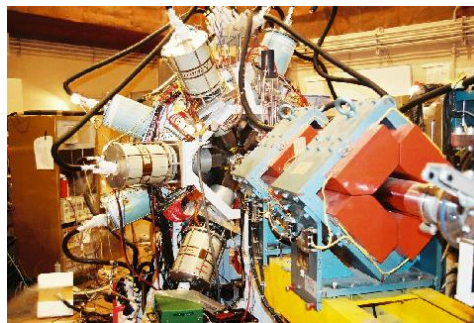
研究と応用

■ 原子核物理

東北大学サイクロトロンRIセンターでの例



930型サイクロトロン



ガンマ線検出器群「Hyperball-2」

■ 核医学



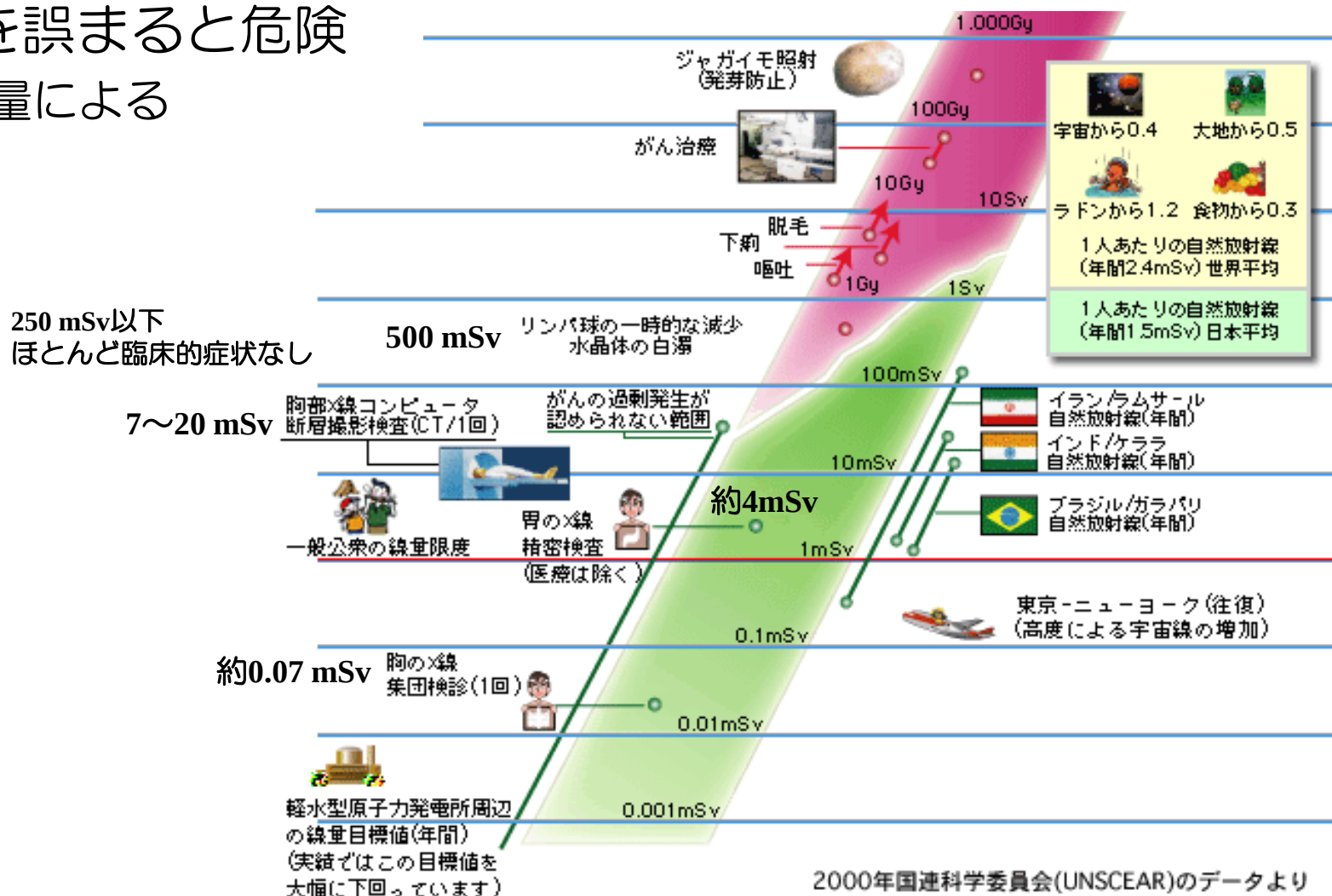
小型サイクロトロンHM12



PET

放射線

- 便利な道具
- 扱い方を誤ると危険
 - だだし量による



実験の目的

■ 放射線について正しい知識を学ぶ。

□ 自然界には放射線がある

□ 放射線の一種である

γ線（高エネルギーの電磁波）と

放射線測定機器（シンチレーションサーベイメータ）

を使って放射線の性質を学ぶ

■ 放射線発生・測定は確率的現象

■ 距離と放射線強度の関係

■ 物質による放射線の遮蔽

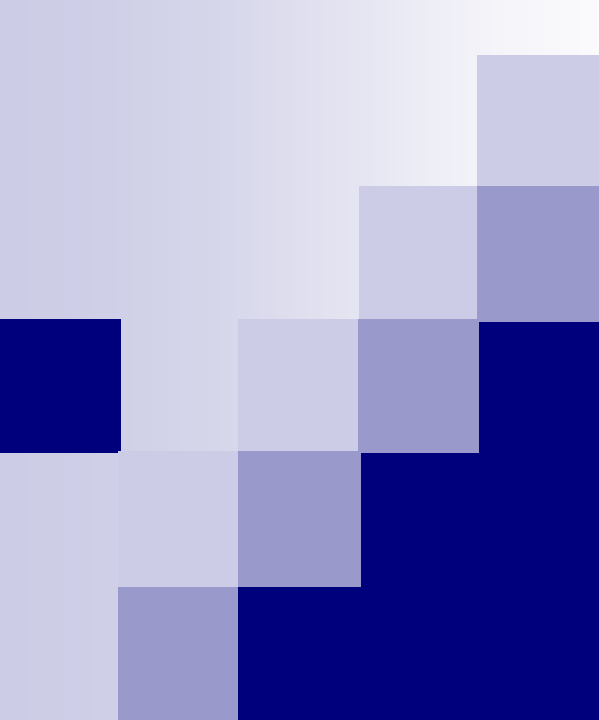
10キロメートル	超長波	電気血洗器
1キロメートル	長波	船舶用通信
100メートル	中波	ラジオ
10メートル	中短波 ===== 短波	遠距離通信
1メートル	超短波	テレビ
10センチメートル		電話の中継
1センチメートル	マイクロ波	電波探知器
0.1センチメートル		マイクロ通信
1センチ×1/100		
1センチ×1/1000	赤外線 (目では見えない)	赤外線写真
1センチ×1/10000	目に見える光線	いわゆる光や色
1センチ×(1/100000)		
1センチ×(1/10……0)	紫外線 (目では見えない)	殺菌炉
0の数が7個		
0の数が8個	X線	病気の診断
0の数が9個		
0の数が10個	ガンマ線	病気の治療
0の数が11個		品種の改良
0の数が12個		
波長	電磁波の名称	主な使い道



波長が短い

= 周波数が高い

= エネルギーが高い



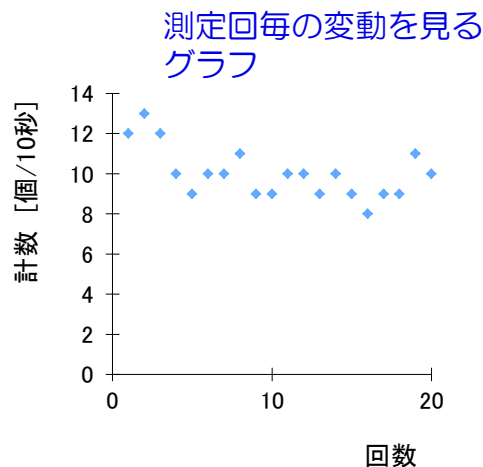
実験 1

実験 1 : 環境放射線測定、確率的現象

- 実験室周辺で15箇所測定点を選び、シンチレーションサーバイメータで環境放射線（単位は、 $\mu\text{Sv/h}$ ）を測定
 - 配布した地図に、場所と条件を記録
 - 環境から1年間にうける放射線量を推定
- 測定点1箇所を決め、10秒間に何回ブザーが鳴るか測定する
 - 20回以上測定し、2つのグラフを作成

測定データ

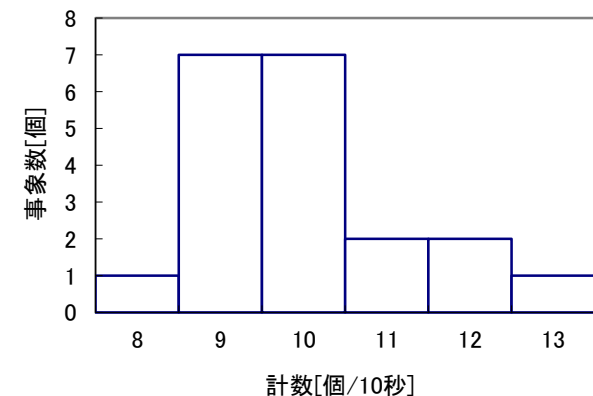
回数	計数
1	12
2	13
3	12
4	10
5	9
6	10
7	10
8	11
9	9
10	9
11	10
12	10
13	9
14	10
15	9
16	8
17	9
18	9
19	11
20	10



頻度の表

計数	事象数
8	1
9	7
10	7
11	2
12	2
13	1
平均	10

頻度分布
(ヒストグラム)

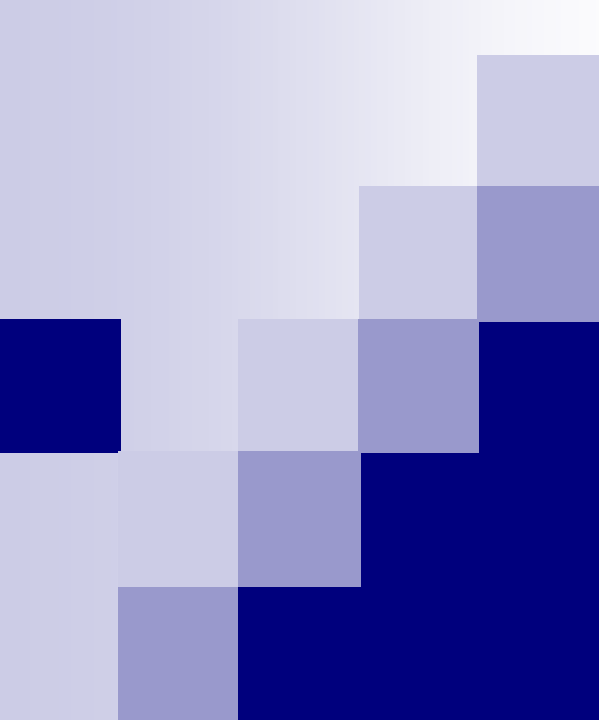


表とグラフをレポートにつける

縦軸名、横軸名、単位を忘れないように

実験 2 の開始時間

- 14:15には実験 1 の測定を終了
 - 実験室に戻る
- 14:20から実験 2 の説明を開始

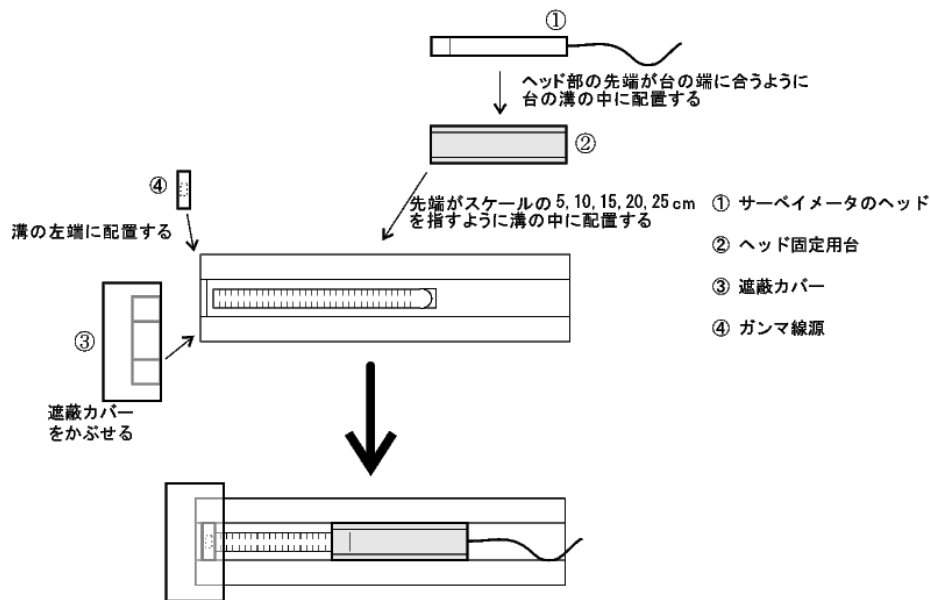


実験 2

実験2： γ 線強度と距離の関係

線源は保管庫にある

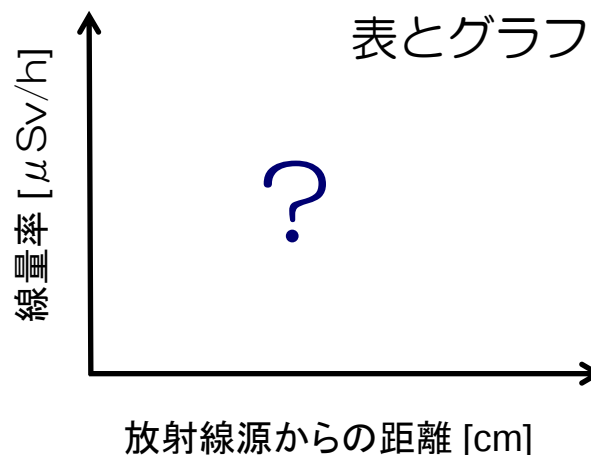
線源は記帳して借り出す



- 線源を置かないで測定 (BG)
- 5回測定して平均をとる
- 線源を置いて 5, 10, 15, 20, 25 cm で測定
- それぞれ5回測定して平均をとる

結果は
表とグラフにまとめる

考察：どういう関数か？
原点を通らないのはなぜか？



有効数字に注意（付録A.2）

■測定には必ず精度がある

□有効数字の桁 = 四捨五入してその数字になる範囲

- 例: 1.00 は、0.9950…… から 1.00499……のどこか
- 1.0 は、0.950…… から 1.0499……のどこか
- 有効数字が1桁変われば、精度も1桁（10倍）違う

□加減の例

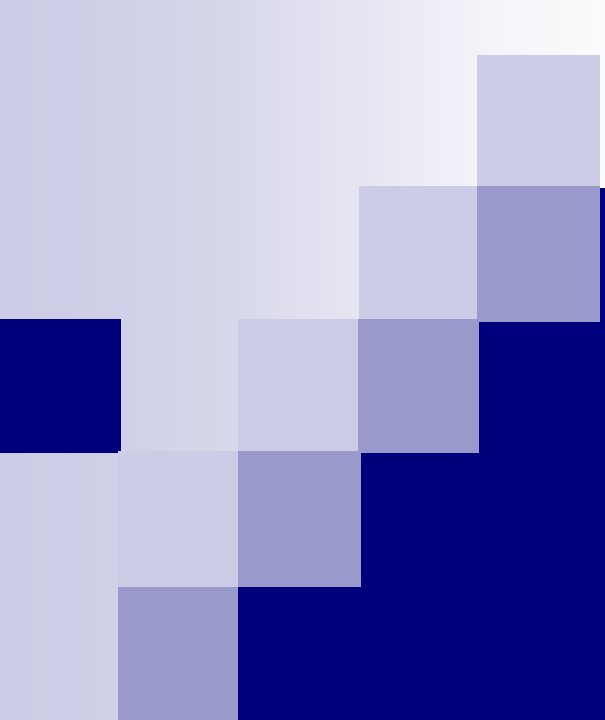
- $10.5 - 0.05 = 10.45 \rightarrow 10.5$
- 加減の場合は、どこまでの桁が精度を持つか

□平均の例

- $(0.05 + 0.04 + 0.06 + 0.07 + 0.05)/5 = 0.054 \rightarrow 0.05$
- 乗除の場合は最小の有効数字の桁に支配

□関数電卓の表示する桁をそのまま書かない

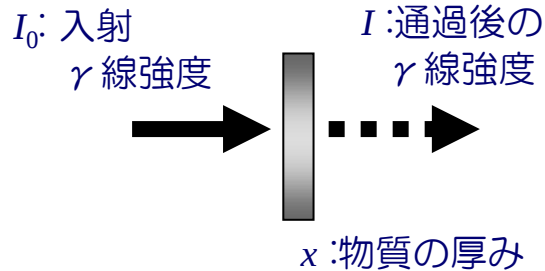
- どこまでの桁が意味があるかを、自分で考える



実験 3

実験3： γ 線の吸収

物質中での γ 線吸収量は入射強度に比例する



$$\frac{dI}{dx} = -\mu(E) I$$

微分方程式
を解く

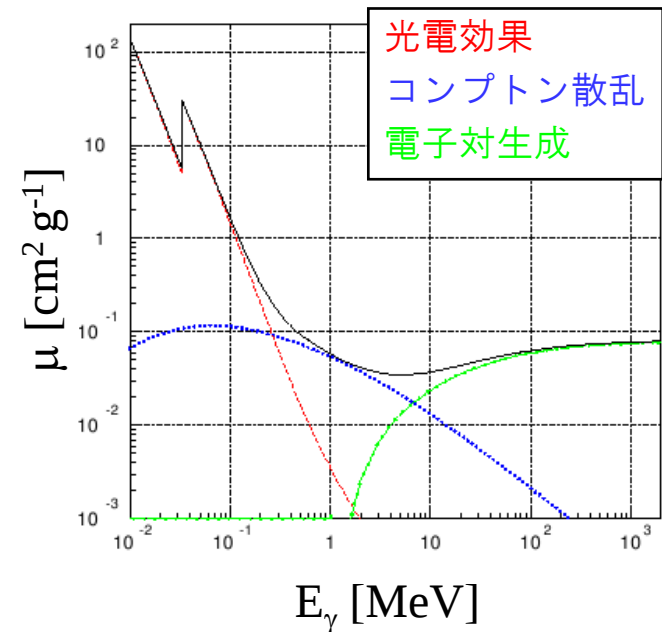
$$\frac{dI}{dx} = -\mu I$$

$$\frac{1}{I} dI = -\mu dx$$

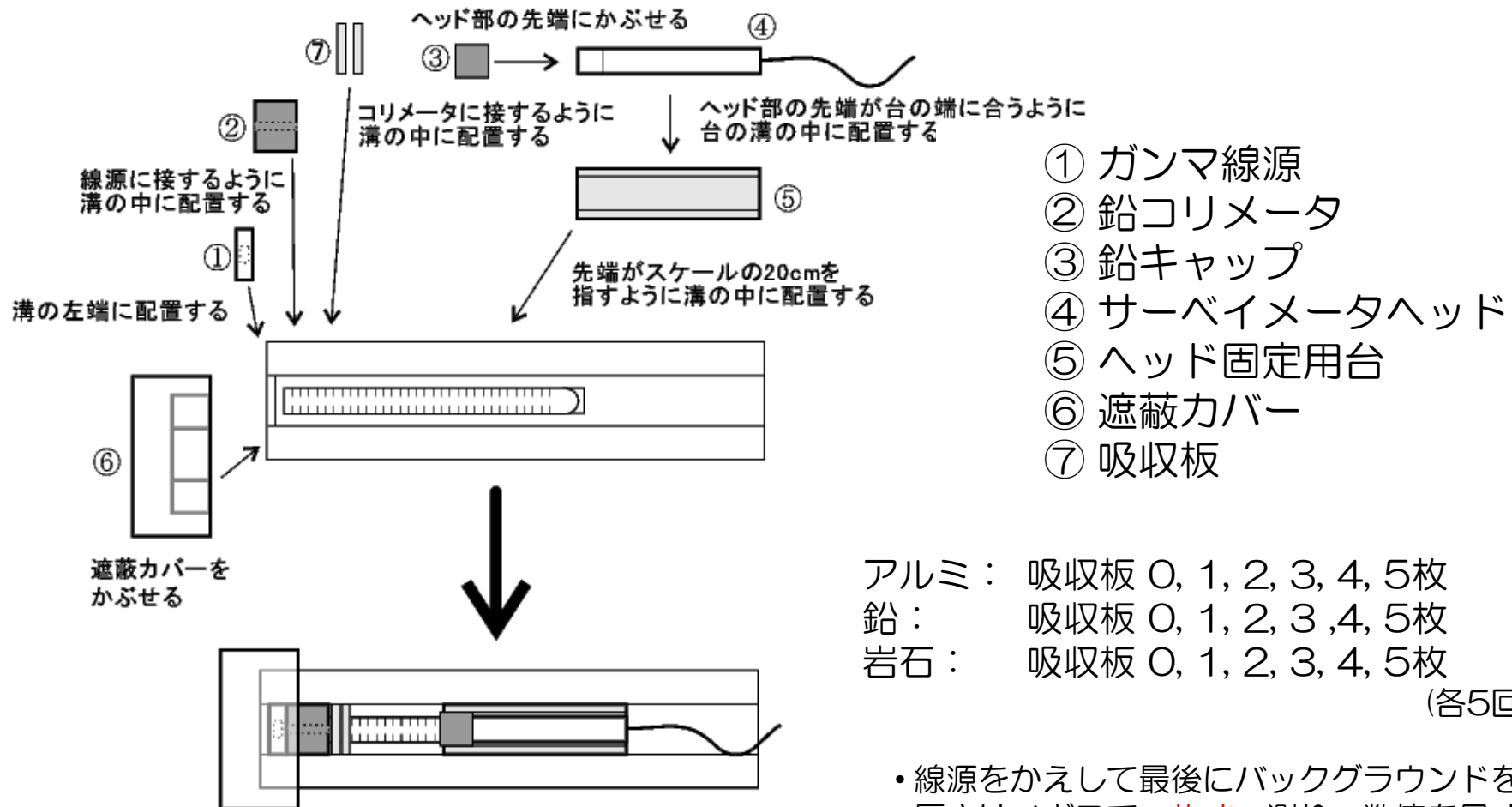
$$\log_e I = -\mu x + c$$

$$I = I_0 e^{-\mu(E) x} = I_0 \exp(-\mu(E) x)$$

- $\mu(E)$: 吸収係数
 - 物質により異なる
 - 入射線のエネルギーの関数
- 厚みを g/cm^2 の単位（密度×厚さ）で測定した時の吸収係数
 - 質量吸収係数
 - 密度変化があっても値が変化しないため便利
- ただし、本課題では厚さを cm の単位で測定した吸収係数を求める



γ 線の吸収



- 線源をかえして最後にバックグラウンドを測定
- 厚さはノギスで一枚ずつ測り、数値を足す
- グラフから吸収係数を読み取る
- 0枚を忘れないこと

ノギスの使い方

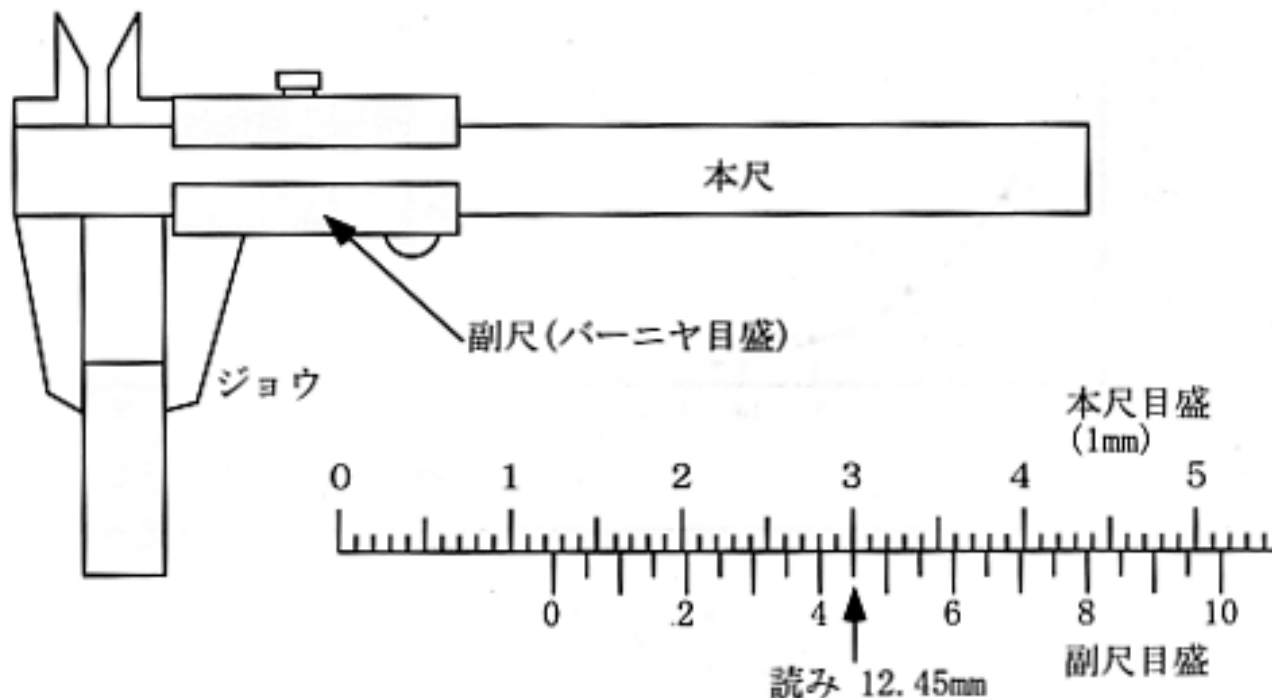
P.269 - 270

ノギスは0.05mmの精度で長さを読み取る測定装置である。ノギスには1mm目盛の本尺と、バーニヤ目盛の副尺がある。

物の厚さを測るには、下図のように物をジョウにはさみ、まず、副尺が0の所の本尺の目盛を読む。下図では副尺の0が12mmと13mmの間にあるので12mmと読む。

次に副尺の目盛と本尺の目盛の合う所の副尺の目盛を読む。副尺の1目盛は0.05mmである。下図では副尺の4.5の目盛が本尺の3の目盛と一致するので0.45mmと読む。

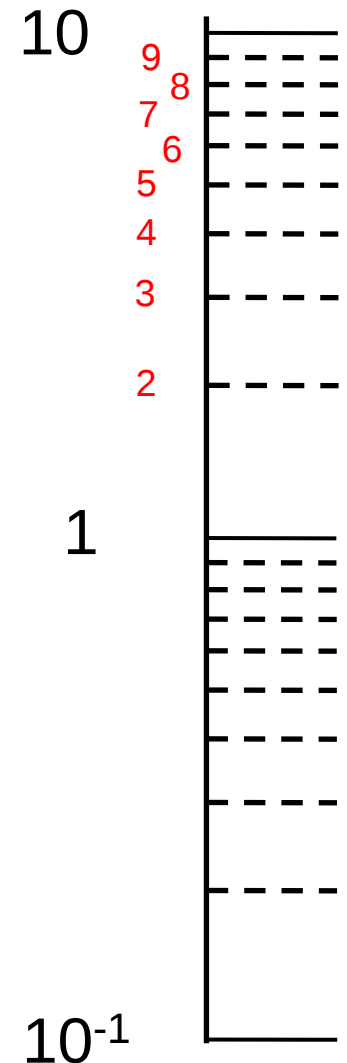
最後に本尺目盛の数字と副尺の数字を足す。下図では $12\text{mm} + 0.45\text{mm} = 12.45\text{mm}$ となる。



片対数グラフ

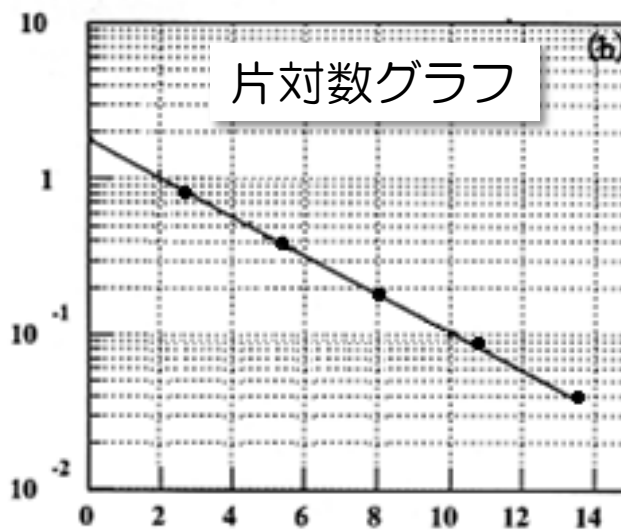
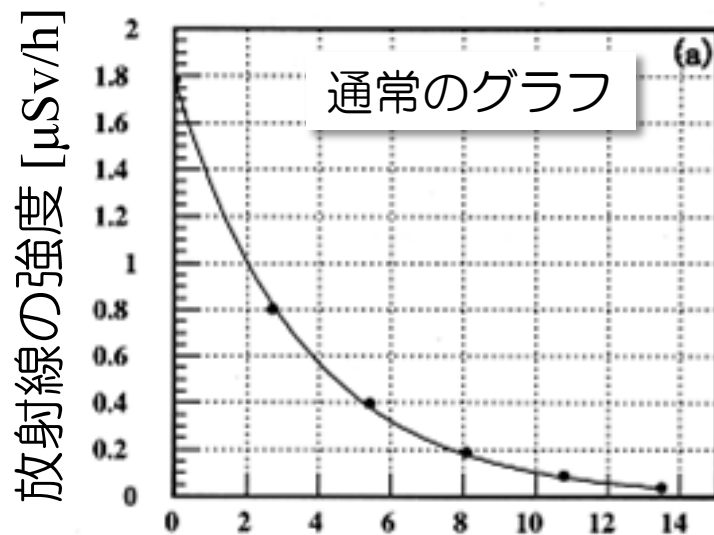
P.280 - 281

- 自然現象は指数関数やべき乗に比例する変化を示すことがある
- そのような変化を示すのに便利なグラフ
- 対数グラフの特徴
 - グラフ上での同じ長さ = 同じ比
 - 間隔が徐々に狭くなって行き、10倍になるところが一周期
 - 値が0の位置、マイナスの値はない



吸収係数

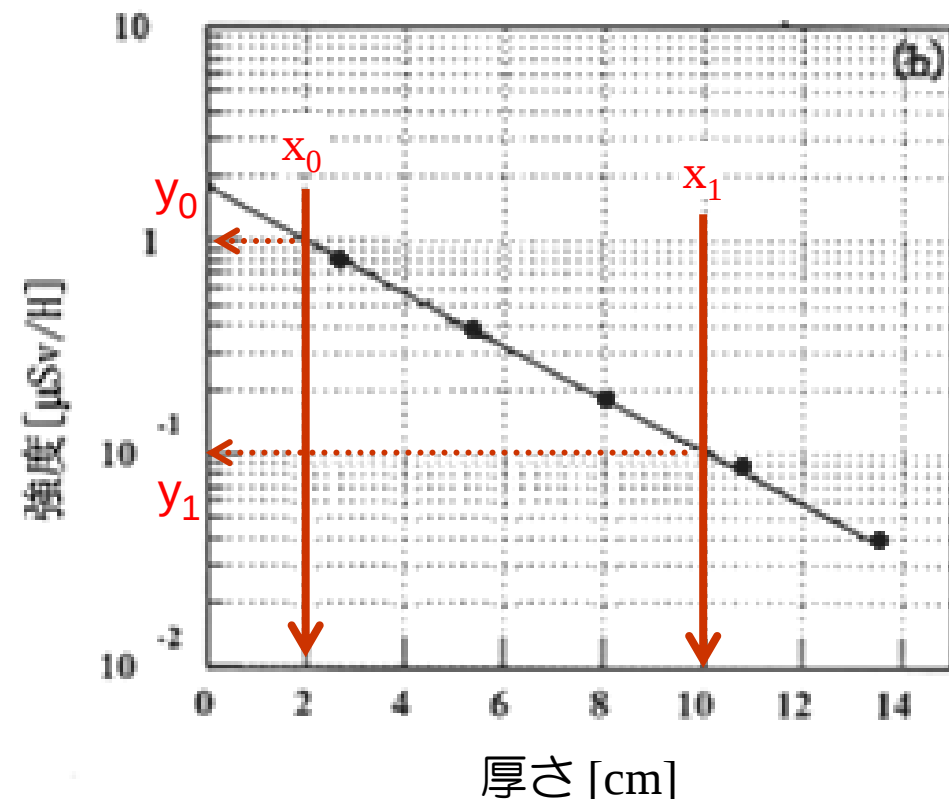
- 透過 γ 線の数 $I = I_0 e^{-\mu x}$
 - 距離の指数関数のグラフになる
 - μ を吸収係数と呼ぶ



厚さ [cm]

吸収係数の求め方

1/2 でも、1/3でも何でも良い



関数電卓の表記には、log と ln があり、

$$\log = \log_{10}$$

$$\ln = \log_e$$

■ 1/10 に減衰する点を用いる方法

□ 1 点 (x_0, y_0) を決める

■ この場合 $(2, 1)$

□ y_0 の 1/10 の点 y_1 を決め、 x_1 を読む

■ $y_1 = 10^{-1} = 0.1$

■ $x_1 = 10$

この方法は
アルミと岩石の吸収計数
には適用できない
(傾きが緩やかで、1/10
の点が取れない)

計算が正しいかどうか：
 $1/e = 1/2.7 = 0.37$
になる厚さを求めれば、
 μ はその逆数

$$y_1 = y_0 e^{-\mu(x_1 - x_0)}$$

$$\frac{y_0}{10} = y_0 e^{-\mu(x_1 - x_0)}$$

$$\frac{1}{10} = e^{-\mu(x_1 - x_0)}$$

$$\log_e \left(\frac{1}{10} \right) = -\mu(x_1 - x_0)$$

$$\mu = \frac{\log_e 10}{x_1 - x_0} = \frac{2.30}{10.1 - 2} = 0.28 [\text{cm}^{-1}]$$

ノートチェック（15:40から）

■ 下記の事項を自分で確認

□ 地図に測定箇所が明記されているか

□ 実験ノートにデータが書かれているか

■ 実験2と3のバックグラウンドは同じとは限らない

■ 自分のノートに記録してあるか

□ 共同実験者のノートに書いてあるというのは不可

■ 実験3の片対数グラフの目盛りが正しく書いてあるか

□ 縦軸の範囲は、データを見て決める

□ 片対数グラフは、この実験中には練習として一つ書ければ十分

□ レポートの表紙に名前等と記入

■ 全て確認してから教員・TAを呼ぶ

□ レポートの表紙にサインが無いと受取処理してもらえない

レポート

どのような実験を行い、どのような結果がえられ、実験から何が分かったのかを、**第3者がわかるように書く**。テキストを写す必要はないが、レポートを読めば、テキストをみなくても、同じ実験ができるよう、詳しく書くこと。

■ 目的

■ 測定原理

- 放射線とは
- 物質との相互作用
- 測定原理

■ 実験方法

- 実験装置、方法などを具体的に

■ 実験結果

- 表、グラフを使って簡潔に
(**表のみを書くのは不可**)
- 結果から簡単な計算で得られた値
(**計算過程も書く**)

■ 考察

- 結果からどのようなことがわかるか
- 感想は不要
- 設問の解答

• 表、グラフ(図)

- 表1、表2... 図1、図2... のように番号をつける
- 本文中で「実験結果を表1に示す。」などと参照する
- 参照している本文の近くに置くと読みやすい
 - 図や表の場所は、分野や学術雑誌により異なる
- 図だけを見ても内容がわかる説明をつける

(P278－279参照)