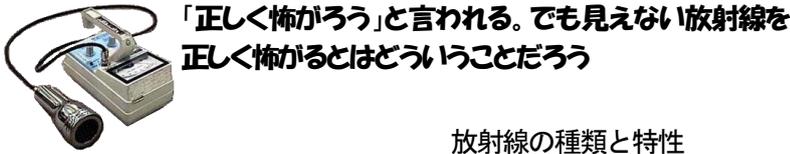


主題4 放射線

強いエネルギーをもつ 粒子の流れと電磁波（1）

4. 放射線

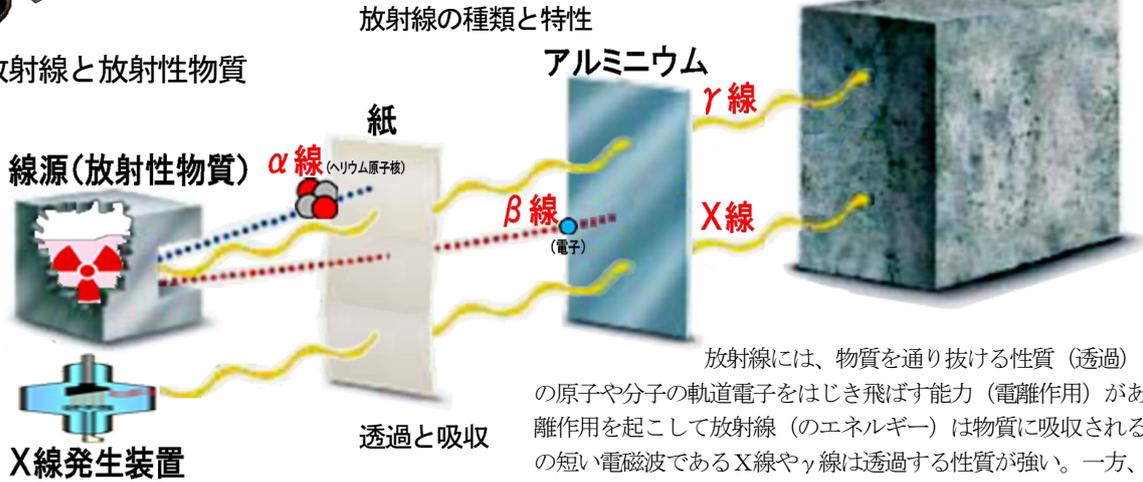
—強いエネルギーをもつ粒子の流れと電磁波（1）—
 どうして？



「正しく怖がろう」と言われる。でも見えない放射線を正しく怖がるとはどういうことだろう

コンクリート
 (または鉛や厚い鉄板)

1. 放射線と放射性物質

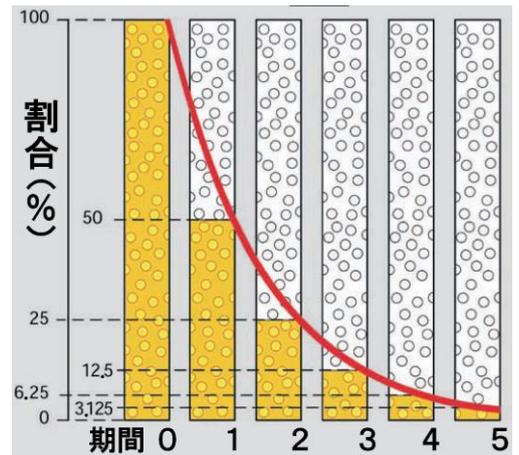
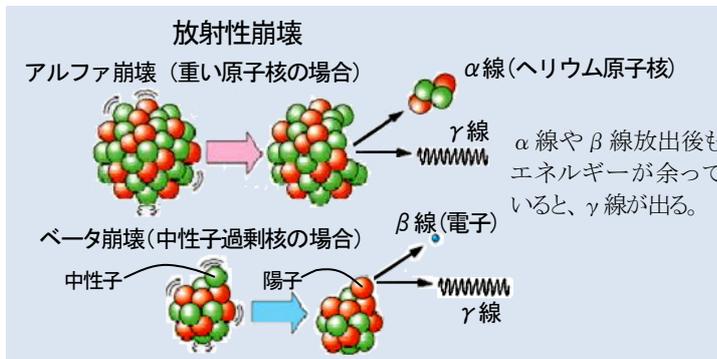


放射線には、物質を通り抜ける性質(透過)と物質の原子や分子の軌道電子をはじき飛ばす能力(電離作用)がある。電離作用を起こして放射線(のエネルギー)は物質に吸収される。波長の短い電磁波であるX線やγ線は透過する性質が強い。一方、粒子線であるα線やβ線には強い電離作用があり、容易に物質に吸収される。

放射性物質の特性

ウランなどの重い原子核や、陽子と中性子の数のバランスがよくない原子核は、放射性崩壊を起こして別の物質に変わる性質がある。崩壊に伴い放射線が発生するのでこれらは放射性物質と呼ばれる。

放射性崩壊は放射性物質に固有な半減期で起こる。



半減期：ある放射性物質が半分になる期間

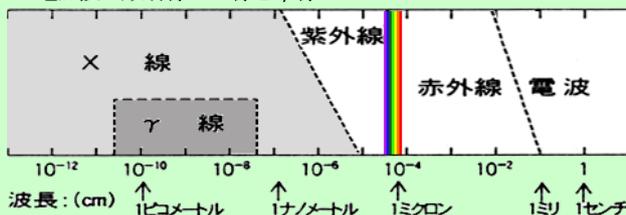
<放射線・放射性物質と放射能の関係>

「放射能」とは、「放射性物質」が「放射線を出す能力」のことである。

<放射線の分類>

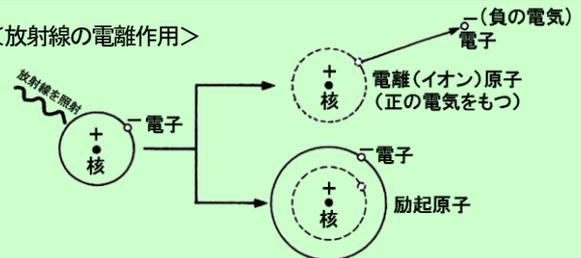
放射線には電磁波と粒子線がある。物質に電離作用を引き起こす強さ以上のエネルギーがあるもの(電離放射線)を、一般的に単に放射線と呼んでいる。

- 電磁波の放射線：X線とγ線



- 粒子線：α線、β線、中性子線など

<放射線の電離作用>



放射線によって原子の周りの電子が原子の外へはじき飛ばされ、電離(イオン)原子になる現象のこと(軌道が上側になるだけであれば励起)。人や動物に放射線が当たると、電離作用によって細胞の遺伝子(DNA分子)が切断され、修復がうまくいかなければ、DNAに異常をもたらす恐れがある。

2. 身の回りの放射線や放射線の利用

(注)放射線を体に受ける(浴びる)ことを「被曝」と言う。常用漢字ではないため「被ばく」と記される。爆弾を受けた「被爆」とは意味が異なる。

【体内に取り込んだ放射性物質から】

空気中から: 1.26mSv/年

吸引したラドン(Rn-222 や Rn-220)が崩壊



食べ物から: 0.29mSv/年

食品中のカリウム(K-40)や炭素(C-14)が崩壊



被ばく線量の値は世界平均



自然放射線と年間の被ばく線量

【体外の放射線から】

宇宙から: 0.39mSv/年

太陽や太陽系外からの宇宙線に由来



大地から: 0.48mSv/年

地中のウラン(U-238)、トリウム(Th-232)、カリウム(K-40)が崩壊



放射線と放射能の単位

<放射線>

受けた放射線(による影響の)量を表す単位には実効線量 Sv (シーベルト) が用いられる。

放射線の強さ(線量率)は実効線量を時間で割る。

実効線量率: Sv/h (シーベルト毎時)

<放射能>

放射能の強さは放射性物質の崩壊数で表わされ、Bq (ベクレル) が用いられる。

1Bq (ベクレル) = 1 崩壊/秒
の関係がある。



γ線測定器



β線測定器

簡易型放射線
モニターの例

放射線の利用

放射線の特性(透過と電離)を生かして様々な分野で利用されている。

(1) 医療分野

- ・レントゲン撮影や X 線 CT
- ・医療用器具の滅菌

(2) 農業分野

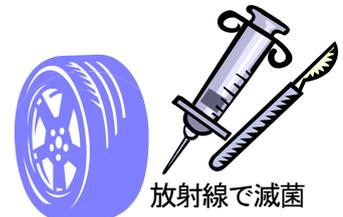
- ・食品照射
- ・放射線育種

(3) 工業分野

- ・ラジアルタイヤ
- ・非破壊検査



放射線で検査



放射線で滅菌

放射線で強化

・身の回りの放射線を測ってみよう

放射線モニターは様々なところから無料で借りることができる。

・他にも身の回りで放射線を利用したものがないか探してみよう



<グレイ (Gy)・シーベルト (Sv)・ベクレル (Bq) >

放射線に関連する単位としてグレイ (Gy) とシーベルト (Sv) がある。グレイは吸収線量と呼ばれ、放射線が物質に作用する程度を、物質に与えたエネルギーで表したものである。物質 1 kg に 1J のエネルギーを与えると 1Gy となる。

生体への影響は、同じ吸収線量であっても放射線の種類や組織・臓器によって異なる。このため、吸収線量にそれらの違いを考慮した補正を加えて求められる値が、実効線量シーベルト (Sv) である。

ベクレル (Bq) は単位時間当たりの放射性物質の崩壊数である。したがって、その崩壊に伴い発生する放射線のエネルギーや人体への影響を表すものではない。放射性物質を体内に取り

込んだことによる内部被ばくの実効線量は、放射性物質ごとに求められた換算係数 (mSv/Bq) を使って計算する。

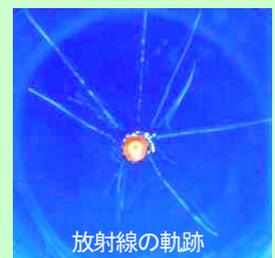
<霧箱>

霧箱とは、見えない放射線を、それが通ったあと(軌跡)を通して観測できる装置である。

ランタンの mantle (放射線源)



手作りの霧箱



放射線の軌跡

主題4「放射線（強いエネルギーをもつ粒子の流れと電磁波（1）」の学習展開

授業のねらい:放射線の性質や人体への影響などの基礎的事項を学ぶ。過度の放射線被曝は生命にかかわるが、一方で、健康診断やがん治療に用いられるなど人類の生活の質向上に貢献している。この放射線の相反する特性を踏まえて、「正しく怖がる」ということを自分なりの表現で説明できる。

所要時間：2時間（1と2あわせて）

学習の展開（1）

学習項目と内容	学習のポイント	教師用資料・WSとの関連等
<p><問いかけ> 放射能や放射線について、「正しく怖がろう」と言われる。でも見えない放射線を正しく怖がるとはどういうことだろう。</p> <p>1. 放射線と放射性物質</p> <p>放射線の種類と特性</p> <p>放射性物質の特性</p>	<p>放射能や放射線に対処するには、「正しく怖がる」（寺田寅彦の言葉）ことが大切と言われる。しかし、正しく怖がるということは大人にとっても難しい。メディアの報道などを通して、生徒は多くの情報に触れていると思われるが、断片的な理解に留まり、様々な誤解、思い込みも多いと考えられる。したがって、学習前または授業の冒頭に、放射線に対する知識を確認したり、何を怖いと思っているかを整理させたりしてから授業に入るのが望ましい。</p> <p>（導入のための手立て例）</p> <ul style="list-style-type: none"> 事前アンケートで、生徒の放射能・放射線に関する認識（知識、印象など）を調べておく。 授業の冒頭に、放射能・放射線に関する初歩的な認識に関する正誤クイズをする。 <p>放射線には高速で移動する粒子線と短波長の電磁波の2種類があること、また、放射線には透過と吸収の特性が、放射性物質には物質固有の半減期と呼ばれる特性があることを押さえる。</p> <ul style="list-style-type: none"> 形態別分類と由来別分類 <ul style="list-style-type: none"> 形態別：粒子線（α線、β線）と電磁波（γ線、X線） 由来別：放射性物質の原子核内（放射性崩壊）に由来するα線、β線、γ線とレントゲン装置などを使って原子核外で発生させるX線。 透過と吸収 <ul style="list-style-type: none"> 物質に当たった放射線は、物質の原子との電離作用によってエネルギーを失い、物質に吸収される。放射線の種類による透過と吸収の差は、電離作用と結びつけて考えさせると理解しやすい。 半減期 <ul style="list-style-type: none"> 誤解例として、「半減期の2倍の期間でなくなる、半減期が長いと危険」などが知られている。理解状況を確認して進めるのがよい。 放射線・放射性物質・放射能の関係 <ul style="list-style-type: none"> この用語の混同はその後の誤解につながるので、質問等で理解状況を確認に押さえておく。 	<ul style="list-style-type: none"> 事前アンケート「放射線に対するイメージ」 「放射能・放射線に関するクイズ（例）」 生徒用資料を配布する。 各所から映像教材が配布されているのでそれらを利用してよい。 教師用 Q1,Q2 WS1「放射線の発生模型を作ってみよう」 教師用 Q1,Q2 教師用 Q3-Q5 WS2「量の変化を描いてみよう」

学習項目と内容	学習のポイント	教師用資料・WS との 関連等
<p data-bbox="153 230 520 297">2. 身のまわりの放射線や放射線の利用</p> <p data-bbox="177 423 437 454">自然放射線とその内訳</p> <p data-bbox="177 887 437 918">放射線と放射能の単位</p> <p data-bbox="177 1464 331 1496">放射線の利用</p>	<p data-bbox="544 230 1123 416">身の回りに放射線が存在すること、放射線を利用した製品や医療などへの放射線の利用が、生活の質向上に貢献していることを押さえる。また、測定体験を通して放射線の存在を実感するとともに、単位の意味を確認する。</p> <ul data-bbox="544 427 1123 1032" style="list-style-type: none"> ・自然放射線の発生源を知り、年間被ばく線量の合計値を押さえる。また、外部の放射線による被ばく（外部被ばく）と、体内に取りこんだ放射性物質による被ばく（内部被ばく）があることを確認する。 一年間被ばく線量の合計値は、実習1において身の回りの測定値と比較させながら確認するとよい。 －日本の平均に福島事故の影響が反映されたものはまだない。なお、福島事故の関係からヨウ素とセシウムに関連する質問があればQ7-8を利用するとよい。 ・シーベルトとベクレルの意味、身の回りの自然放射線の程度、補助単位の使い方については、測定体験や生徒自身に計算させるなどの方法により、しっかりと理解させたい。 <p data-bbox="544 1043 671 1075"><実習1></p> <ul data-bbox="544 1086 1123 1265" style="list-style-type: none"> ・身の回りの放射線を測ってみよう －簡易型放射線モニターを用いて自然放射線を測らせ、数値を実感させる。 －測定場所の空間線量率から年間被ばく線量を計算させ、世界平均と比較させる。 <p data-bbox="544 1276 671 1308"><実習2></p> <ul data-bbox="544 1319 1123 1464" style="list-style-type: none"> ・放射線の飛跡を霧箱で見よう －余裕があれば、霧箱実験をしてみよう。なお、見えるものは放射線の飛跡であって、放射線そのものではないことを注意する。 <ul data-bbox="544 1476 1123 1543" style="list-style-type: none"> ・様々な製品、場面で、放射線や放射性物質が利用され、役立っていることを押さえる。 <p data-bbox="544 1554 671 1585"><実習3></p> <ul data-bbox="544 1597 1123 1968" style="list-style-type: none"> ・身の回りで放射線が利用されているものを探してみよう。 －生徒に思いつくものをあげさせる。日本が進んでいる分野と遅れている分野があることに気付かせる。 －余裕があれば、放射線の特性を利用して開発した製品を使った実験などをしてみよう。 例：ポリエチレンなどの高分子材料に全く新しい機能を放射線のエネルギーで接ぎ木した放射線グラフト重合で開発された消臭剤 	<ul data-bbox="1155 427 1445 1543" style="list-style-type: none"> ・教師用 Q5-Q6 ・教師用 Q7,Q8 ・教師用 Q4-Q9 ・「はかるくん」「ガンマくん」などの簡易型放射線モニター －様々なところから貸し出されている ・WS3「身の回りの放射線を測ってみよう」 ・霧箱 ・WS4「霧箱で見よう」 ・教師用 Q10

放射線に関するクイズ（例）

【クイズの例】

1. 私たちの日常生活と放射線は無縁である。 ×
- ・自然放射線の存在
 - ・医療被ばく
 - ・放射線の効果を利用した食品や製品
2. 自然放射線は無害だが人工の放射線は危険。／自然放射線と人工放射線では性質が異なる。／医療用の放射線には危険性がない。 ×
- ・自然放射線も人工放射線も同じである。どんな放射線であろうとも被ばく線量 (Sv) が同じなら人体への影響も同じである。
3. 体の外から放射線を受けると体に放射線が残る。／放射線を受けた人に近づくと放射線がうつる。 ×
- ・放射線は放射性物質から発生しており、体外から放射線を受けても受けた人に放射性物質ができたり残ったりするわけではないので、放射線が残ることはない。したがって、放射線を受けた人から放射線がうつることもない。
 - ・一方で放射性物質が身体や衣服に付着した場合は、洗い流したり着替えたりする（汚染された衣服は廃棄する）などの処置により、身体から取り除くことが必要である。
 - ・放射線と放射性物質（放射線を出す物、放射能と呼ばれることもある）の違いを認識して対処することが重要である。
4. 放射線は微量だが人間の身体からも出ている。 ○
- ・日常的に摂取している普通の食品中にも微量ながら放射性物質が含まれているため、身体に放射性物質が摂りこまれ、放射性物質から発生した放射線の一部が身体を通過して体外へ放出されている。
5. 放射線の強さは時間がたっても変わらない。／呼吸や食事で摂り込んだ放射性物質はいつまでも体内に残る。 ×
- ・放射線を出す放射性物質には物理的半減期と呼ばれる特性があるので、時間とともに減少し、放射線の強さも時間と共に減少する。
 - ・身体に摂りこまれた物質も、いつまでも体内に存在するのではなくその物質に応じて一定の割合で体外に排出される。したがって摂取を止めれば体内の量は徐々に減少する。摂取を続けていた場合も無制限に蓄積されるのではなく、摂取量と排出量がバランスした量が体内に存在することになる。
 - ・体内に摂り込んだ放射性物質による放射線の強さは、上述の2つの効果が組み合わされたものとなる。

6. 放射線の進む方向は風によって変わる。 ×
- ・放射線には直進する性質があり、風などの影響でその方向が変わることはない（強力な電磁場などがあれば方向が影響されることもあるが、日常的な場面ではそのような状況はまずありえない）。
 - ・但し、放射性物質については、放射性を持つことを除けばその物理的・化学的挙動はその他の自然界の物質と同じであり、空気中に漂った放射性物質は風の流れや降雨降雪などの自然現象に影響されながら周囲に拡散し運ばれる。
 - ・放射性物質は当然風下に流されるので、放射性物質が周辺環境に放出され避難する場合は、風下を避けなければならない。
7. 放射性物質は地球ができたときから自然界に存在した。 ○
- ・地球の年齢は46億年程度と言われるが、地球誕生時には現代よりはるかに多くの放射性物質が地球内部に存在していた。これらの大部分は放射線を出しながら安定な元素に変わっていったが、半減期の長い元素は今なお多く残っており自然放射線を出し続けている。また、宇宙からは今も昔も宇宙線が絶えることなく降り注いでいる。
 - ・地球が冷えるに従ってできた原始の海では、宇宙線や太陽からの紫外線のエネルギーで無機物から有機物が生成され（宇宙飛来説などもある）、自己と同じものを複製することができる生命体へと進化したと考えられている。これらが進化し地上に進出したのは、大気中に酸素が出現しオゾン層によって生物にとって有害な紫外線が遮断されるようになった4億5千年ほど前と考えられている。
 - ・地上に進出した生物は、酸素を利用して効率的にエネルギーを生み出せるようになったが、その一方で、代謝過程で発生する活性酸素などの酸素毒性の影響を受けることとなった。生物はこの酸素毒性による障害に対して、抗酸化酵素を含む種々の酸化ストレス防御系の能力を獲得することによって対抗してきた。その結果、放射線環境の地球上でも今日まで途切れることなく子孫を残すことができ、我々人類の発展につながった。
8. 自然放射線の強さは場所によって異なり、関東より関西の方が強い。 ○
- ・自然放射線には、身体の外部からくるもの（宇宙線と大地からの放射線）と、身体の内部からくるもの（食物と空気中の放射性物質を摂りこむことによる放射線）がある。このうち国内での地域差が大きいものは大地からの放射線である。西日本一帯は東日本に比べて、ウランやトリウムなどの放射性物質を含む花崗岩地質のところが多いため、一般的に自然放射線は若干高くなることが多い。しかし、これまで日本人がこの国で地域を問わず普通に暮らしてきたことから、この差を気にする必要は全くない。
 - ・世界的に見れば、ラムサール（イラン）、ガラバリ（ブラジルの）、ケララ（インド）、陽江（中国）のように、自然放射線が日本の数倍以上に及ぶ地域が存在する。日本の値と比べると高放射線とみなされる地域にもかかわらず、その他の地域と同様に多くの人々が何世代にわたって普通に暮らしている。

9. 半減期が長いものは危険である。 ×

- 半減期とは、放射性物質の半分が崩壊するまでに要する期間を言う。この崩壊ごとに放射線が発生する。したがって半減期が長いことは単位時間当たりの放射線放出頻度が小さいことを、半減期が短いことは反対に単位時間当たりの放射線放出頻度が大きいことを意味する。したがって同じ重さ（質量）の放射性物質があつて半減期が何桁も違う場合（厳密に頻度を比較するにはモル数を合わせる必要がある）、半減期の長い物質の方が放射線量は少ないことになる。
- 一方で、短半減期で非放射性の物質に変わるものは短期間で消滅する。例えば、ヨウ素 131 は半減期が 8 日なので、2 か月程度で無視できる程度に減少する。しかし、セシウム 137 やカリウム 40 のような長半減期のもの（セシウム 137 は 30 年、カリウム 40 は 13 億年）は長い期間にわたって存在し続けることになる。同じベクレル数の物質があつたとすると、短半減期のものはあつと言う間にベクレル値が減少し検出されなくなるのに対して、長半減期のもののベクレル値の減少はゆっくりとしたものとなり、たとえ肉体的影響が無視できても長期にわたって精神的ストレスを与える可能性がある。

10. X線より γ 線の方が強力である。 ×

- X線と γ 線は発生方法の違いで定義されている呼び方である。 γ 線は原子核内部のエネルギー準位の遷移により発生（ α 崩壊や β 崩壊後に原子核が励起された状態 [エネルギーが余っている] になっている場合に γ 線を放出して基底状態になる）し、原子核内部起源でないものがX線である。
- すなわち、波長や周波数（波長が短い、又は周波数が高いほどエネルギーは大きい）による区別ではないので、どちらが強いと一方的に決められるものではない。また、エネルギーが同じであれば、X線も γ 線も同じものであり、区別がつかない。
- 同様に原子核由来のベータ線に対して、原子核に由来しないで高速で移動する電子は電子線と呼ばれる。 α 線の場合はヘリウム粒子線となる。

1 1. 放射線に関連する発見・発明・研究でのノーベル賞受賞者はこれまでに 20人以上に及ぶ。

- X線を発見したレントゲンが第1回ノーベル物理学賞を受賞したように、放射線に関連する発見・発明・研究でのノーベル賞受賞者は多い。なお、以下の例示は主観的に抽出したものであり、学問の境界は明確でないので、見方によってはこれ以上の受賞者が関係していると言える。

- 1901 W.C.レントゲン：物理学賞（X線の発見）
- 1903 A.H.ベクレル：物理学賞（放射能の発見）
- 1903 P.キュリー、M.キュリー：物理学賞（放射能の研究）
- 1908 E.ラザフォード：化学賞（元素の崩壊及び放射性物質の化学に関する研究）
- 1914 M.T.F.ラウエ：物理学賞（結晶によるX線の回折の発見）
- 1915 W.H.ブラッグ、W.L.ブラッグ：物理学賞（X線を用いた結晶構造の研究）
- 1921 F.ソディ：化学賞（放射性物質の研究、同位体の起源と性質の研究）
- 1922 N.H.D.ボーア：物理学賞（原子の構造と原子からの放射に関する研究）
- 1927 C.T.R.ウィルソン：物理学賞（ウィルソン霧箱の発明及び気体電離の研究）
- 1927 A.H.コンプトン：物理学賞（コンプトン効果の発見）
- 1935 J.チャドウィック：物理学賞（中性子の発見）
- 1935 I.ジョリオ・キュリー、J.F.ジョリオ・キュリー：化学賞（新種の放射性同位元素の作出）
- 1936 C.D.アンダーソン：物理学賞（陽電子の発見、宇宙線の研究）
- 1936 V.F.ヘス：物理学賞（宇宙線の発見と研究）
- 1936 P.J.W. デバイ：化学賞（X線回折による分子構造の研究）
- 1938 E.フェルミ：物理学賞（中性子照射による放射性元素の研究、熱中性子による原子核反応の発見）
- 1939 E.O.ローレンス：物理学賞（サイクロトロン発明と改良、それによる人工放射性元素の研究）
- 1943 G.ド・ヘヴェシ：化学賞（化学反応の研究における標識としての同位体の使用）
- 1944 O.ハーン：化学賞（原子核分裂の発見）
- 1946 H.J.マラー：生理学・医学賞（X線照射による人工突然変異の発見）
- 1948 P.M.S.ブラケット：物理学賞（ウィルソン霧箱の改良、それを用いて核物理学・宇宙線物理学における発見）
- 1951 E.M.マクミラン、G.T.シーボーグ（プルトニウムなどの超ウラン元素の発見）
- 1958 P.A.チェレンコフ、I.M.フランク、I.E.タム：物理学賞（チェレンコフ効果の発見と解釈）
- 1960 W.F.リビー：化学賞（放射性炭素による年代測定法）
- 1964 D.C.ホジキン：化学賞（X線回折による生体物質の分子構造の解明）
- 1967 H.A.ベーテ：物理学賞（太陽内の核融合反応の解明）
- 1977 R.S.ヤロー：生理学・医学賞（ラジオイムノアッセイ法の開発）
- 1979 A.M.コーマック、G.N.ハウンスフィールド：生理学・医学賞（コンピュータを用いたX線断層撮影法の開発）
- 1994 C.G.シャル、B.N.ブロックハウス：物理学賞（中性子回折法の開発）

出典：原子力百科事典 ATOMICA から主観的に抽出

放射線に対するイメージ

【事前アンケート】

1. 「放射線」と聞いて、真っ先に心に浮かぶこと、気になることなどを、自由に以下の余白に記述しよう。

【放射線に対する生徒のイメージ（抜粋）の例】（ワークシート配布時は消去のこと）

- 人体や環境に悪影響をおよぼすもの（浴びると白血病になったりする）。
- 人体などに悪い影響を与えるもの。皮膚に悪影響を及ぼす。
- 紫外線に類似の有害線。危険。肌が焼ける。
- 生物に影響を与える。原子爆弾から出ている
- 目に見えない線。イメージカラー赤。いいものと危ないものがある？
- ある点から放射状に出ているのではないか（広範囲に広がるように）。
- 太陽から出ている。
- 人工でつくられたもの。見えないもの。
- X線。レントゲン。便利なときもある。

出典：「小鍛冶優 2012 30年ぶりに復活した「エネルギー（放射線）」の授業をどう進めるか 理科の教育04 日本理科教育学会 pp.29-32」から

2. 「放射線を正しく怖がろう」という言葉がある。でも、見えない放射線を正しく怖がるとはどういうことだろう。自分の考えを整理しておこう。

- (1) あなたが怖いと思っていることは何ですか（ない場合は、怖いと思っている人の気持ちを考えて想像してみよう）。

- (2) 上記について、あなた自身はどの程度正確な知識をもっていると思いますか。

- (3) 正しく怖がるためにはどうしたらよいだろう。

ワークシート1：放射線の発生模型を作ってみよう (放射線の発生メカニズムを調べる)

1. 炭素 14 の原子核の崩壊模型を作る

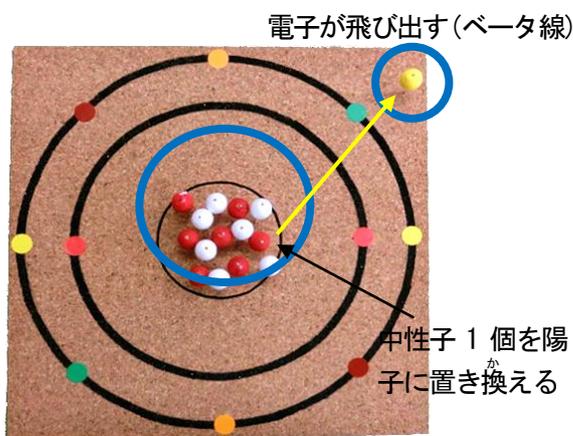


<炭素 14 の原子核>

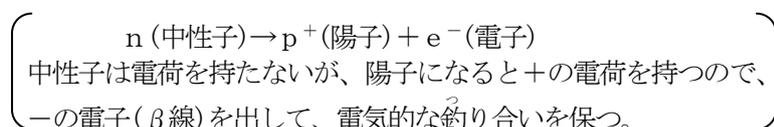
原子核に 6 つの陽子がある炭素原子には、3 種類の同位体 (炭素 12 (99%程度)、炭素 13 (1%程度)、炭素 14 (ごく微量)) が自然界に存在し、そのうち、炭素 14 が放射性同位体である。

炭素 14 の原子核模型を作るには、原子核の部分に 6 個の陽子と 8 個の中性子をおく。

炭素 14 の原子核は、陽子に対して中性子の数が多く不安定 (エネルギーが余っている) なので、中性子を陽子に換え、安定になろうとする。このときに電子 (ベータ線) を原子核外に放出する。その結果、原子核は陽子が 7 個、中性子が 7 個の窒素 14 の原子核となって安定 (エネルギーが減る) する。



<窒素 14 の原子核>



2. カリウム 40 の原子核の崩壊模型を作る

カリウムにも自然界に 3 種類の同位体がある。

カリウム 39 : 93%程度、陽子 19 個、中性子 20 個、安定

カリウム 40 : ごく微量、陽子 19 個、中性子 21 個、放射性

カリウム 41 : 7%程度、陽子 19 個、中性子 22 個、安定

このうち、陽子と中性子とも奇数のカリウム 40 が放射性同位体である。カリウム 40 は 90%程度がベータ崩壊しカルシウム 40 に変わる。10%程度は軌道電子捕獲*によってアルゴン 40 に変わり、ガンマ線を放出する。これらの崩壊を模型で表してみよう。

※ 電子軌道の電子が原子核に取り込まれ、原子核内の陽子と反応し中性子となる。
質量数は変化せず原子番号が一つ減る。

【補足】原子核は、陽子と中性子が同数ぐらいで、偶数である方が安定する傾向にある。ただし、原子番号の大きい元素 (重い原子核) では、相対的に中性子の割合が増える傾向にある。

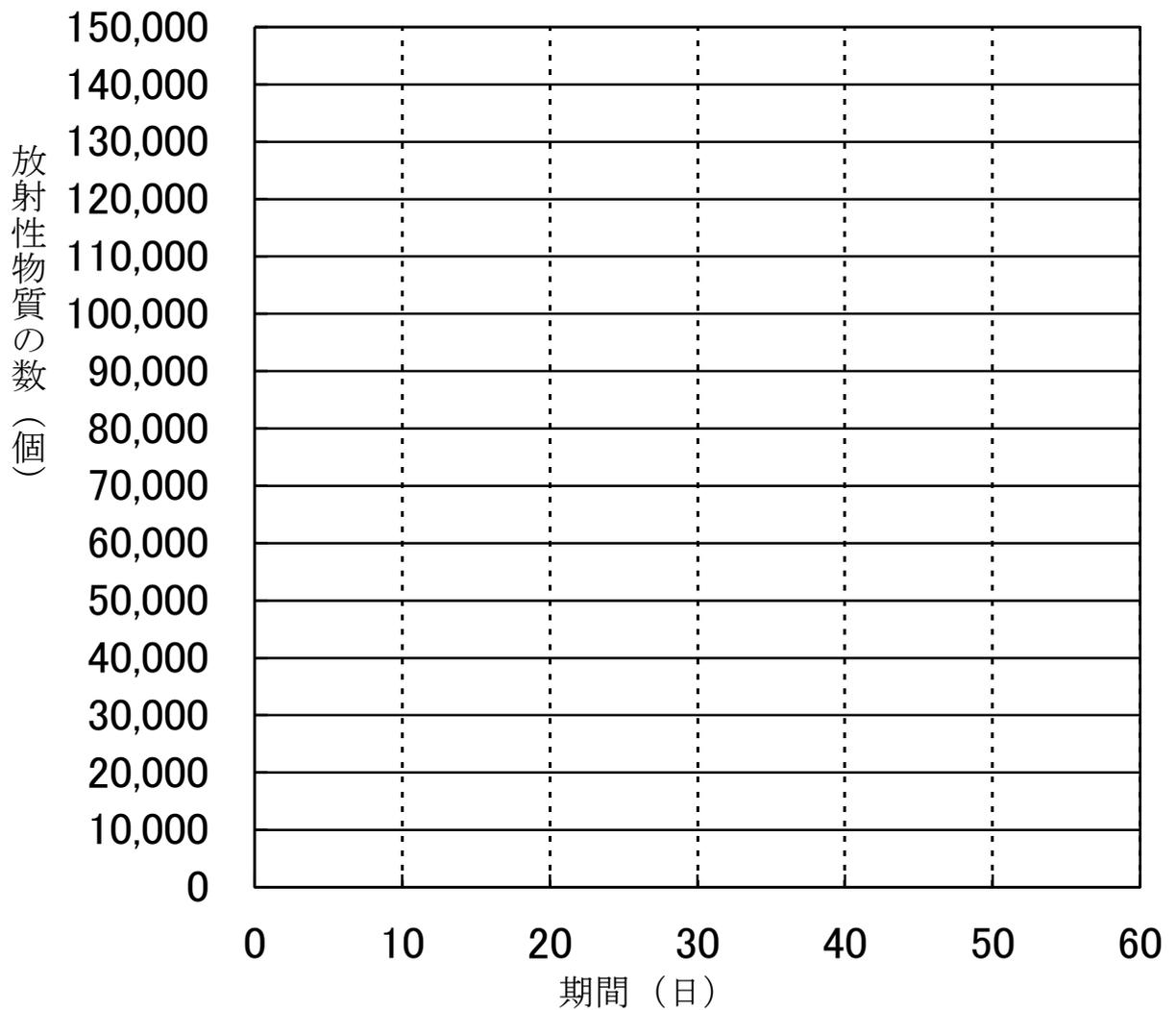
ワークシート2：量の^{えが}変化を描いてみよう

半減期が10日の放射性物質が100,000個ある。2か月後には何個になっているか、次のグラフに^{えが}描いてみよう。

■計算

期間	放射性物質の数	計算
0日目	100,000個	_____
10日目	個	
20日目	個	
30日目	個	
40日目	個	
50日目	個	
60日目	個	

■作図



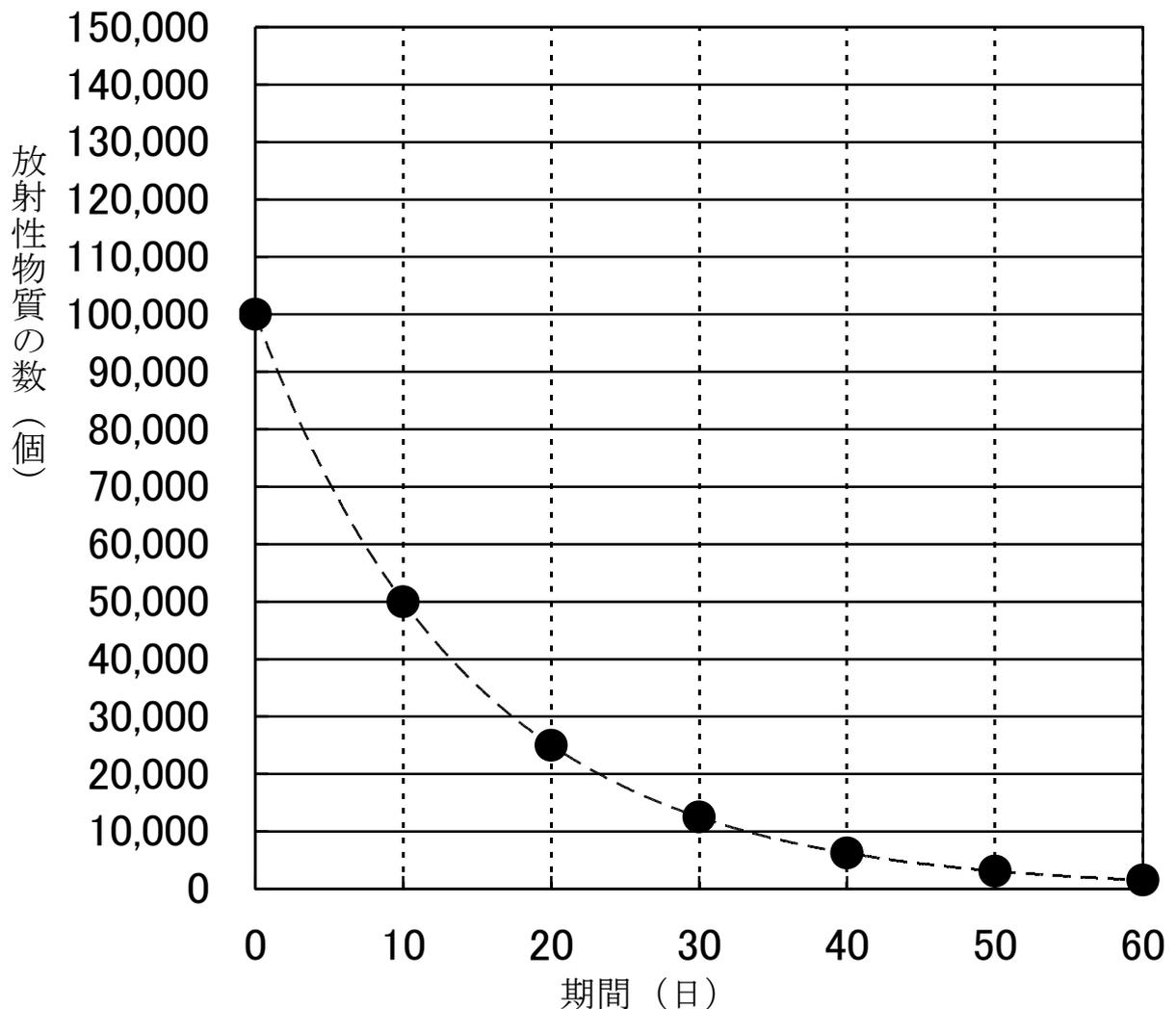
ワークシート2：量の^{えが}変化を描いてみよう

半減期が10日の放射性物質が100,000個ある。2か月後には何個になっているか、次のグラフに^{えが}描いてみよう。

■計算

期間	放射性物質の数	計算
0日目	100,000個	—————
10日目	50,000個	$100,000 \div 2 = 50,000$
20日目	25,000個	$50,000 \div 2 = 25,000$
30日目	12,500個	$25,000 \div 2 = 12,500$
40日目	6,250個	$12,500 \div 2 = 6,250$
50日目	3,125個	$6,250 \div 2 = 3,125$
60日目	1,562.5個	$3,125 \div 2 = 1,562.5$

■作図



ワークシート3：身の回りの放射線を測ってみよう

放射線は、宇宙や大地、岩石、鉄筋コンクリートの家屋、食べ物などの自然環境^{かん}や身の回りのどこにでも存在し、私たちは日々の生活の中で放射線を受けている。この放射線を測る装置が、簡易放射線測定器「はかるくん」などである。機種によって、ガンマ線を測れるものとベータ線を測れるものがある。



■ 測定器の扱い方

- 測定器に付属する説明書をよく読んでから使おう。
- 放射線測定器は精密機械である。ぶついたり落したりしないように丁寧^{ねい}に取扱^{あつか}おう。

■ 放射線を測ってみよう。

単位：μSv/h^{*1}

物質（場所）	1回目	2回目	3回目	平均	気づいたこと
空間線量率（A）					
しお ^{*2}					
カリ肥料 ^{*2}					
かこう岩（みかげ石） ^{*2}					
湯の花 ^{*2}					
マントル ^{*2}					

*1：使用する測定器の単位を確認のこと。“/h”は“一時間当たり”を意味する。

*2：「はかるくん」特性実験セットなどに付属しているものに応じて変更^{へんこう}する。

■ 計算してみよう。

(1) 世界の平均的な年間被ばく線量^ひ

配布資料に示された4つの値から計算しよう

$$\text{世界の平均的な年間被ばく線量} = \boxed{} \text{ m S v / 年}$$

(2) ある場所（A）の年間被ばく線量^ひ

ある場所（A）に1年間ずっといると、どれくらいの（年間）放射線を浴びることになるか。計算してみよう。なお、補助単位には“μ”ではなく“m”を使用する。

$$\text{Aの空間線量率} = \boxed{} \mu \text{ S v / h}$$

$$\text{Aの場所での年間被ばく線量} = \boxed{} \text{ m S v / 年}$$

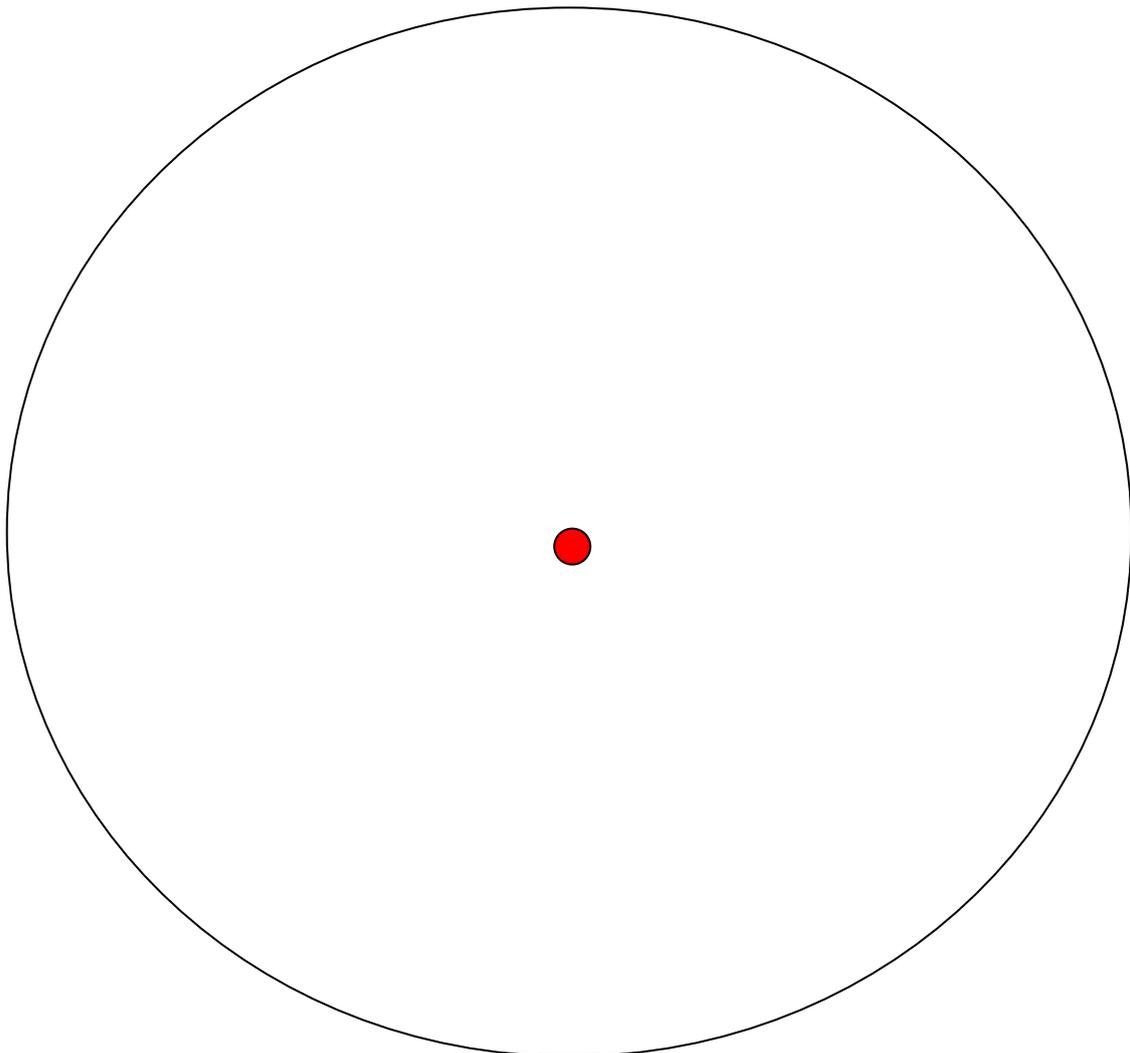
ワークシート4：霧箱^{きり}で見てみよう

霧箱^{きり}を使うと放射線^{せき}の飛跡^{せき}を観察することができる。様々な作り方が各所で提案されているが、このワークシートにも一つの作り方を示しておいた。調達が不便なドライアイスを使用しないでペルチェ素子を用いている。

本格的なものでは自然界の放射線だけで十分観察できるが、簡易型ではマントルピースを放射線源として使うことが多い。キャンプなどで使うランタン用マントルにはトリウム原子（原子番号90）が含まれている。天然に存在する同位体は放射性のトリウム^{ふく}232だけで安定同位体はない。トリウム^{むすめかく}232とその娘核種は α 線や β 線を出して崩壊^{ほうかい}し、放射線が飛んだところでアルコール蒸気が飛行機雲のように凝縮^{ぎよう}して飛跡^{せき}として観察できる。飛跡^{せき}の形状は放射線によって異なる。

- ・ 短く、やや太い数cm程度の飛跡^{せき}… α 線（ヘリウム原子核の流れ）
- ・ 縮れた髪^{かみ}の毛のような飛跡^{せき}… β 線（電子の流れ）
- ・ 細く長い飛跡^{せき}…ミューオン（宇宙線の一種）

■放射線^{せき}の飛跡^{せき}をスケッチしよう



<飛跡^{せき}のスケッチ>

ドライアイスを使わない「ペルチェ素子を使った霧箱」の作り方

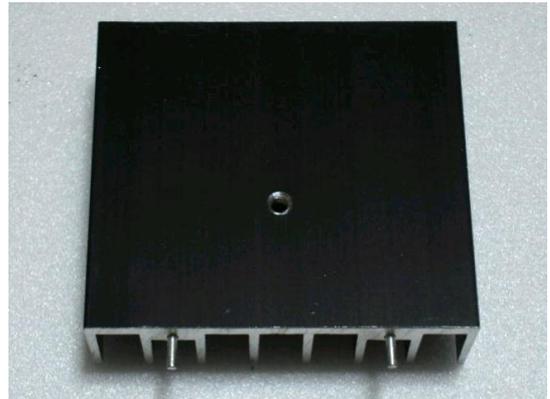
1. 準備物

- ペルチェ素子 (TEC1-12708) 外形: 4×4cm 厚さ3.82mm
12V用 (4~16.8V)、最大電流9A 最大吸熱量80W 最大温度差70℃
秋月電子通商で購入 (税込み750円/枚)
他にもいろいろなサイズ、規格のペルチェ素子があり、よく似たものにペルチェ素子 (TEC1-12706) 外形: 4×4cm 厚さ3.8mm 12V用 (4~16.8V)、最大電流6A
最大吸熱量57W 最大温度差70℃ 秋月電子通商で購入 (税込み700円/枚) などがあるが、なるべく吸熱量の大きいものを使用したい。
- 放熱器 (ヒートシンク) 54×50×15mm (15PB054-01050) 100円/個
これは、大きいものほど放熱効果も高いので、なるべく大きいものにした。
- 熱伝導両面テープ (シール) 40×40mm 100円/枚
なお、熱伝導シート以外にも、超微粒子の純銀を含んだシルバーグリースやボンドのように固まる放熱用シリコングリースなどがある。
- 線源 (CAPTAIN STAGのマントル)
- 皿ねじ (4×10mm) ステンレス製
- ラッカースプレー黒
- 透明丸カップ (120ml)
- フェルト (シールタイプ)
- エタノール

2. 作り方



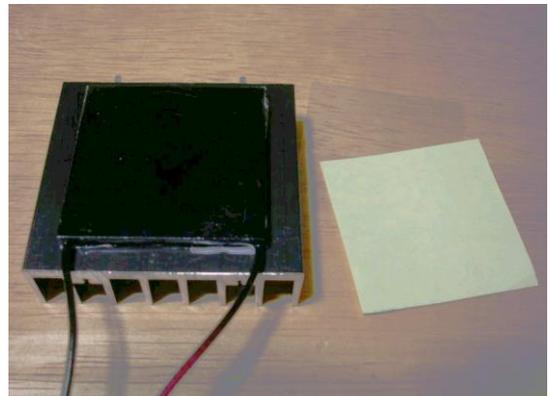
① 電圧をかけたときに、ペルチェ素子の冷える面に黒色のスプレーを吹き付けて乾かす。



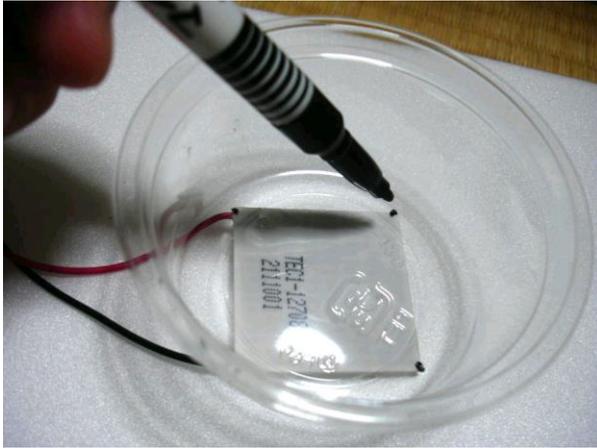
② なるべく大きな放熱器を用意し、ペルチェ素子を貼り付ける面を黒く塗る。



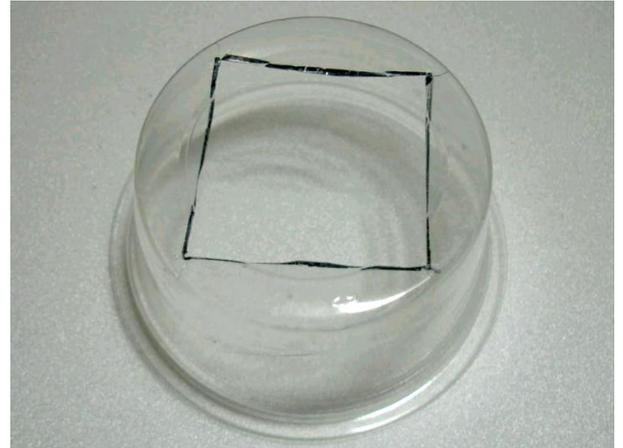
③ 熱伝導シートを、ペルチェ素子のサイズに切り、ペルチェ素子に貼る。



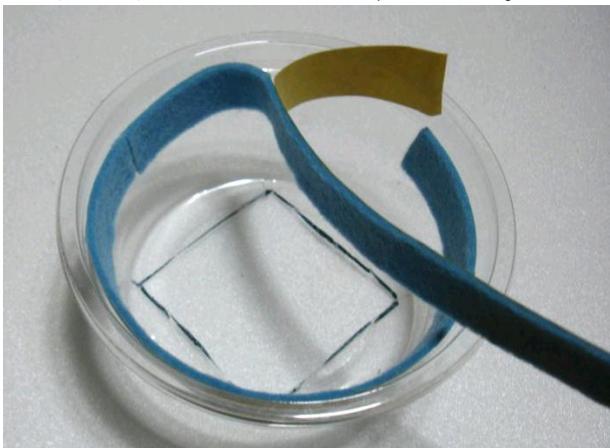
④ ペルチェ素子と放熱器を、熱伝導シートを使って貼り付ける。



⑤ 容量270mlの透明カップの下に、
4×4cmのペルチェ素子を置いて、
カップの底に4×4cmの印をつける。



⑥ カッターナイフを使って、カップの底に
4×4cmの穴を開ける。



⑦ ノリのついたフェルトを1cm幅で切る。その
フェルトを、カップの上部の内側に貼る。



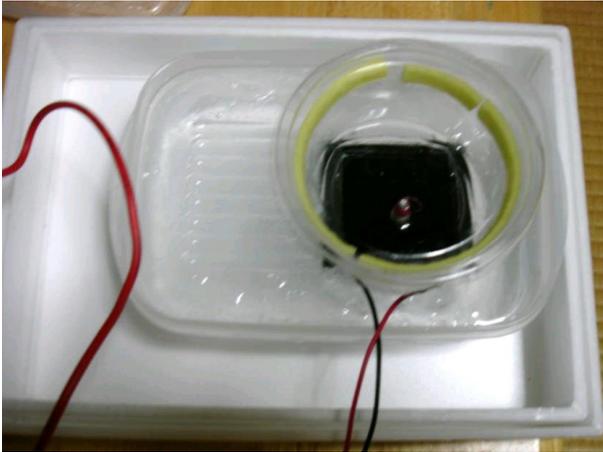
⑧ ペルチェ素子の上に、カップを乗せる。



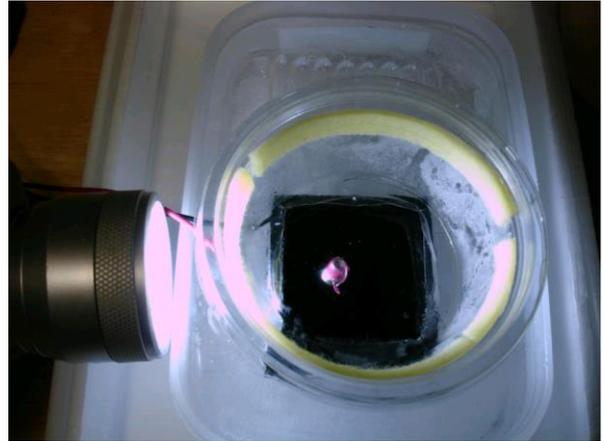
⑨ 放射線源としてトリウムを含むランタンのマ
ントルの糸をほどいて、皿ねじに巻き付ける。



⑩ ヒートシンクが入る以上の大きさのタッパに、
水を入れて低温で凍らせておく。



⑪ フェルトに十分エタノールを浸み込ませて蓋をする。その霧箱をタッパの水の上に乗せる。



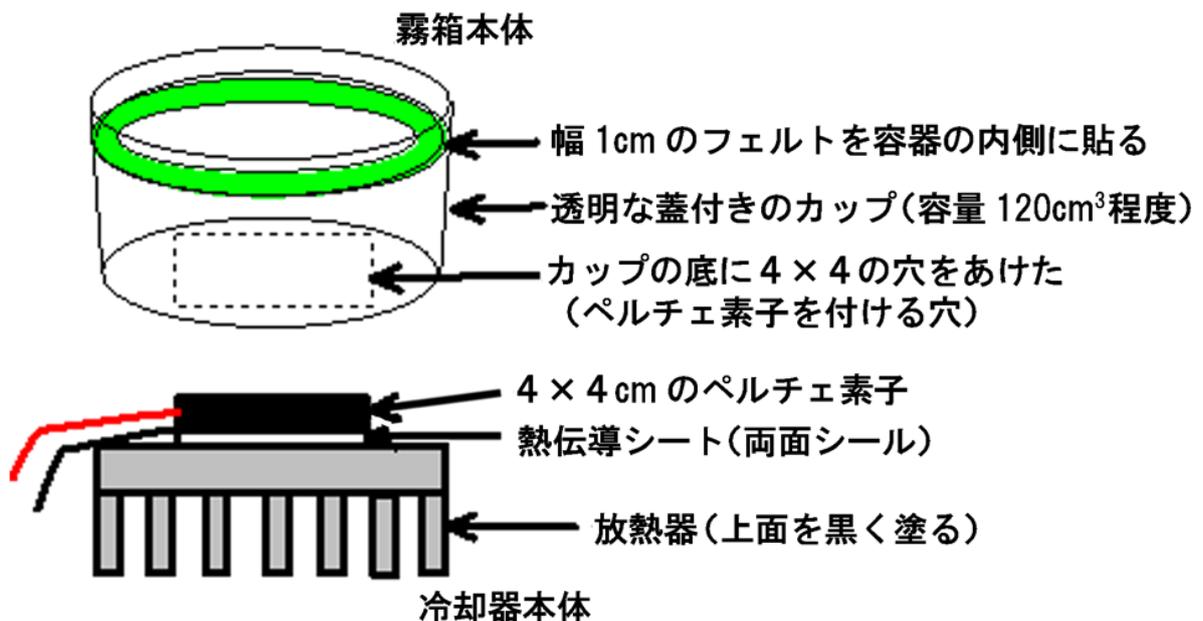
⑫ ペルチェ素子に電圧をかけ、電流を4 A程度流す。霧箱の側面から光を当てて観察する。数十秒すると、放射線の飛跡が、白い糸状の筋となって観察される。

作り方のポイントは、放熱部の熱をいかにうまく逃がすかということである。そうすることで、冷却面の温度を低く保つことができる（両面の温度差 最大70℃）。そのため、4×4 cmのペルチェ素子に、なるべく大きな放熱器を熱伝導シートで貼り付け、それをタッパに水を入れて冷凍庫で凍らせた（なるべく低温になるよう凍らせる）氷の上に置いて冷やすようにした。そうすると、ペルチェ素子の冷却面はかなり冷える（-30℃程度が望ましいようである）のでエタノールの冷却機として使える。

ペルチェ素子は、透明カップの底に穴（4×4 cm）を開けて取り付けした。カップの上面には、フェルトを貼り付けて、たっぷりエタノールを浸み込ませた。線源には、ランタンのマンテルを使った。マンテルからは放射性物質トリウムによるα（アルファ）線、β（ベータ）線と、ごく微量のγ（ガンマ）線が発生する。ランタンのマンテルは糸で編まれているので、その糸をほどくと、10 cm程度の長さの糸がたくさん得られるので、皿ねじに1～2本巻き付けて、ボンドでほどけないように接着して使用した。

ペルチェ素子にかかる電圧と電流は、10 Vと4 A程度にした。氷の上に霧箱をセットし電源を入れると、数十秒で飛跡が観察できるようになる。2～3分程度じっくり観察すると、十数個以上は観察できる（慣れるとよくわかるようになる）。

タッパの氷は、10分程度しか持たないので、氷が融けたら、霧箱を乗せる位置を変えながら行う。終了したら、少し氷の表面に水を足して、そのまま冷蔵庫に入れて置けば再び使える。



(小鍛冶 優)

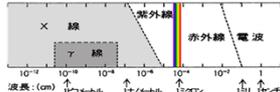
Q1 放射線とは？

強いエネルギーをもつ「粒子の流れ」と「電磁波」

- ▶ 粒子線: 原子核を構成する粒子や電子などが、**高速(すなわち高エネルギー)**で移動すると放射線。
空気(窒素と酸素の分子)よりもはるかに小さいので、見えないし、風(空気の流れ)で向きが変わることもない。当然、においもないし触ることもできない。

- ▶ 電磁波: 光や電波などの総称。紫外線よりも**波長が短いもの(すなわち高エネルギー)**が放射線。

人間の目で感知できない。感じるどころか、エネルギーが強過ぎて目が損傷する。光の仲間なので、速度は光速、においもないし触ることもできない。

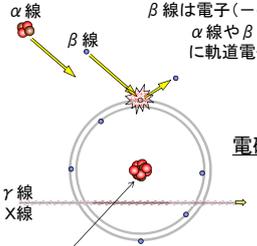


実際にはどんなものがある……

粒子線では、**アルファ(α)線**や**ベータ(β)線**など

α線はヘリウム原子核(2+の電荷)、
β線は電子(-の電荷)が高速で移動。

α線やβ線は荷電粒子なので、原子と衝突すると容易に軌道電子をはじき飛ばす ⇒ 電離作用大
⇒ エネルギーを軌道電子に与えて止まる。
言い換えると物質に吸収されやすい。



電磁波では、**ガンマ(γ)線**と**エックス(X)線**

発生方法の違いで区分されるが、同じ電磁波だ。電荷を伴わないので、軌道電子をはじき飛ばす確率は低い ⇒ 電離作用小

⇒ 高エネルギーで長い距離を移動する。
言い換えると物質を透過する性質がある。

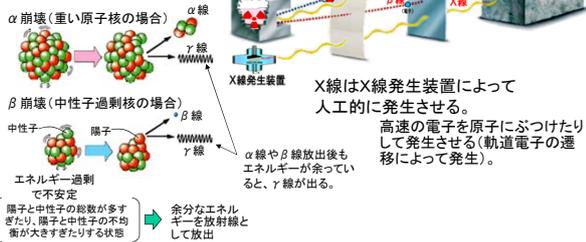
原子核の直径は原子の直径の数万分の1、
原子の直径は原子の直径の数万分の1、
原子の直径は原子の直径の数万分の1、
⇒ γ線やX線から見れば、原子の中はスカスカの空間だ。

※生使用資料コラム参照

Q2 放射線はどのように発生する？

α線、β線、γ線は放射性物質の原子核の崩壊によって発生する。

(放射性物質の物理的な性質で発生する)

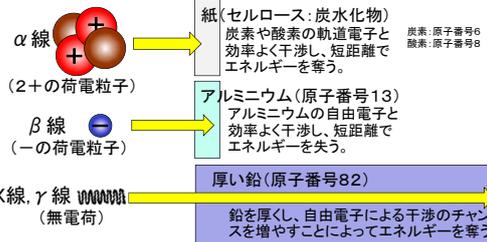


通り抜けたり抜けなかったりするの……

物質の電子(-の電荷)との相互の干渉で、放射線は止められる(エネルギーを失う)

(干渉大)

・放射線側: 電荷が多い
・止める側: 電子が多い(原子番号が大きく高密度)



Q3 放射線はいつまでも出る？

放射性物質には物質固有の半減期がある。

半減期ごとに

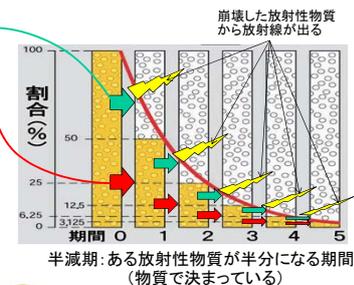
半分は別の物質に崩壊元の放射性物質は半分に

1半減期で1/2

2半減期で1/4

5半減期で1/32

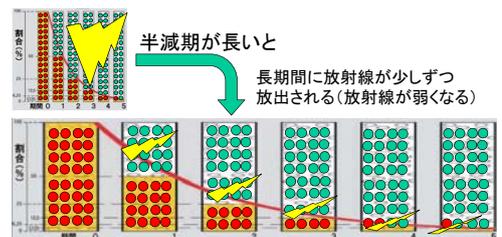
主な放射性物質の半減期	
ヨウ素131	8日
セシウム137	30年
プルトニウム239	2.4万年
カリウム40	13億年
ウラン238	45億年



半減期が長いことは、いつまでも危険ということなの……

放射線は放射性崩壊に伴って放出される

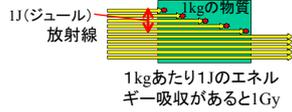
⇒ 半減期が長い(崩壊がゆっくり)ということは、放射線もゆっくり(少しずつ)放出されるということ



Q4 放射線の強さや出す能力はどのように表す？



放射線: 「放射性物質」から周囲に放射
放射線の強さは、放射線から物質に吸収されるエネルギー(吸収線量)で表す
単位はGy(グレイ)



放射能: 「放射性物質」が放射線を出す能力

単位はBq(ベクレル)
1秒間に1個が崩壊すると1Bq
放射線は放射性崩壊に伴い発生するので、単位時間当たりの崩壊数で表す。

実効線量: Sv(シーベルト)
人体が放射線のエネルギーを吸収したことによる影響度を表す
=>Gy(グレイ)に影響度合い※を乗じる

※放射線の種類による違い、人体の組織・臓器による差を補正する。γ線・X線の場合、1Gy=1Svとしてよい。

Bq、Sv、mSv/h・・・どんな関係・・・

> Svはずっと放射線を受けた時の積算値。瞬間的な値(放射線の強さ:線量率)はSv/hのように、時間当たりで表す。

Svは大きな単位なので、実用的には千分の1、百万分の1の補助単位を使って表す(1Sv=1,000mSv=1,000,000μSv)。

線量率: 1μSv/h
のところに24時間(h)いると、
被ばく線量 = 1μSv/h × 24h = 24μSv
(この被ばくの仕方は「外部被ばく」)

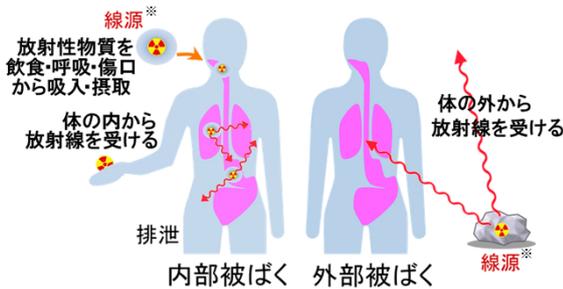
放射線を受ける(浴びる)ことを被ばくという。

> Bqは放射性物質を摂取した時の被ばくと関係が深い
(この被ばくの仕方は「内部被ばく」※¹⁾)

Bqは放射性物質のある時点での崩壊数。崩壊数の推移(半減期に従う)や発生する放射線の強さは放射性物質ごとに異なる。したがって、放射性物質を摂取したことによる被ばく線量※²⁾(mSv)は、放射性物質ごとに係数(線量換算係数: mSv/Bq)を用いて換算する。

※1:放射線(2)参照
※2:正確には摂取実効線量

Q5 外部被ばく・内部被ばくとは？



(注)被ばくの防止・低減方法については(2)のQ8参照

※放射性物質が線源となる

被爆、被曝、被ばく・・・

被爆: 爆撃によって被害を受けること。原子爆弾・水素爆弾で被害を受けること。「爆」は常用漢字。

被曝: 放射線や化学物質に曝(または晒)されること。「曝」「晒」とも常用漢字外。

被ばく: 常用漢字外をひらがな表記とする原則に従えば、「被曝」を意味すると考えられる。

Q6 身の回りにも放射線がある？

【体内に取り込んだ放射性物質から】

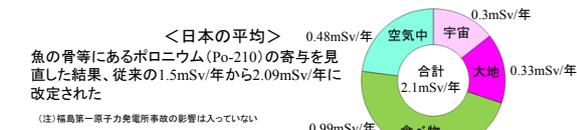
内部被ばく
空気中から: 1.26mSv/年
ラドン(Rn-220, 222)が崩壊
食べ物から: 0.29mSv/年
カリウム(K-40) 炭素(C-14)が崩壊
ポロニウム(Po-210)

【体外の放射線から】

外部被ばく
宇宙から: 0.39mSv/年
太陽や太陽系外からの宇宙線に由来
大地から: 0.48mSv/年
ウラン(U-238) トリウム(Th-232) が崩壊
カリウム(K-40)

自然放射線と年間の被ばく線量

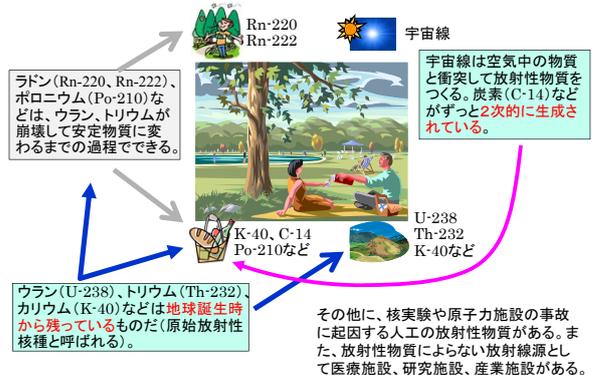
(被ばく線量の値は世界平均(合計: 2.4mSv/年)を示す)



(注)福島第一原子力発電所事故の影響は入っていない

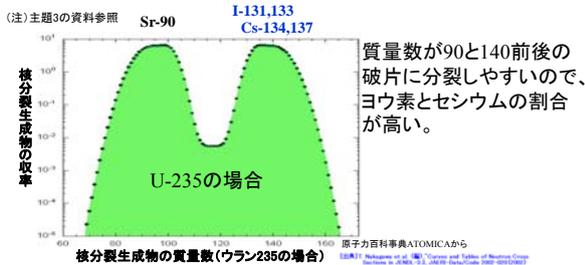
出典: (公財)原子力安全研究協会「新版生活環境放射線(国民線量の算定)」(2011年)

大地や空気中の放射性物質はどこから・・・



Q7 原子力発電所には、なぜヨウ素やセシウムがある？

ヨウ素やセシウムは核分裂生成物。
ウランの核分裂の結果できた様々な放射性物質の一部。



なぜ、ヨウ素とセシウムだけが話題になる……

ヨウ素とセシウムには次の物理的・生物化学的特徴があり、放射線防護の観点から、注意すべき元素だからだ。

- 気体状になりやすく、施設から漏れると周辺環境に拡散しやすい。
- 体内に取り込まれる元素である※。取り込むと、ヨウ素は甲状腺にたまりやすい。セシウムはカリウムの仲間として筋肉に集まり全身に分布しやすい。

※排出もされる。体内の濃度は取り込み量と排出量のバランスで決まる。

アルカリ金属
同じ族(縦列)に属する元素
は性質が似通っている

Q8 放射性のヨウ素やセシウムの身体への影響は？

- ▶ 放射性ヨウ素やセシウムを体内に取り込むと、
 - ヨウ素が甲状腺に集まり、甲状腺が被ばく
⇒ 甲状腺ガンの恐れが高まる
 - セシウムは全身に分布するので全身が被ばく
⇒ ガンや白血病の恐れが高まる

人体への影響は被ばく線量と関係している。
詳しくは次の(2)で学習しよう

- ▶ 影響の防止には、身体に取り込まないことが最も大切だ。
 - マスク・長袖シャツなどで、体への付着や吸引を防ぐ
 - ドアや窓を閉め、換気扇を止める
 - 制限された飲食物はとらない
- その他の対策も含めて、次の(2)で身の守り方を学ぼう。

放射線は体に残ったりうつったりしないの……

放射線: 「放射性物質」から周囲に放射



ない!
放射線が身体に残ったり、うつったり、たまったりすることはない!

- ✓ 放射線を受けても、それだけで体に放射性物質が移動することはない。
- ✓ 放射性物質がなくなれば放射線も消える

• 放射性物質を体内に摂取すると、それから出た放射線が体を通過して外部へ出ることもある。
• 食品にはカリウム40などの自然の放射性物質が既に含まれている。

Q9 放射線はどのように測る？

太陽電池を思い出してみよう
(主題2)



光で半導体の電子や正孔が移動し起電力が発生する。

光で電気が起こる現象を利用すれば、光の強さを測ることができる

放射線も同様の原理を利用して測ることができる。

簡易型放射線モニター



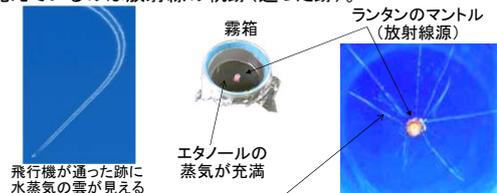
γ線測定器

β線測定器

🍌 測ってみよう(ワークシート2)

放射線を見る装置があるの……

放射線は見えない(Q1参照)。
見えているのは放射線の軌跡(通った跡)。



飛行機が通った跡に水蒸気の雲が見える
エタノールの蒸気雲(放射線の軌跡)軌跡が見える原理は飛行機雲と同じ

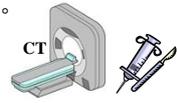
🍌 霧箱で見てみよう(ワークシート3)

Q10 放射線の利用は？

放射線の特性(透過と電離)を生かして様々な分野で利用されている。

(1) 医療分野

- レントゲン撮影やX線CT
- 医療器具の滅菌
- 放射線治療



陽子線治療施設

(財団法人 放射線効果科学研究センターにて撮影)



がん細胞を狙いうちできる割合が高まる

(2) 農業分野

- 食品照射
- 放射線育種



品種改良によって今までなかった色や形の花をつくる(放射線育種)

発芽を防止保存性を高める

(3) 工業分野

- ラジアルタイヤ
- 非破壊検査



ゴムの分子同士を橋かけて強度を増す



X線荷物検査

生活の中で放射線を利用しているもの、利用するとよいと思われるものを探してみよう。

その他、半減期が物質によって決まっていることを利用して年代を測定したり、放射線を目印(トレーサー)として利用したりするなどの用途にも使われている。

海外と比較してどうなんだろう……

医療分野での利用は日本が多い

国別CT数(人口百万人当たり)

