



ユニット1 第1編 放射線

(授業時間:4 時間)

目標

A. 学習のねらい:

1. 放射線の生物学的作用に対する生徒たちの興味をかきたてること
2. 放射線の有効性と有害性に対する生徒たちの教養を深める支援をすること
3. 放射性物質の規制における米国原子力規制委員会(NRC:The U.S. Nuclear Regulatory Commission)の役割について若い世代に知らせること

B. 学習の到達目標:

1. 自然放射線と人工放射線の区別
2. ガイガー計数管を使用した放射線の検出と計測
3. 霧箱を使用した放射線の「飛跡」調査
4. 放射性物質の半減期の原理と計算方法の説明
5. いろいろなタイプの放射線の識別と検討

※ このLESSONプランは、米国原子力規制委員会の Teachers' Lesson Plans に基づき原文に沿って翻訳したものです。

※ このLESSONプランで紹介している内容は放射線の旧単位で説明しています。放射線の新旧単位表を参照してください。

調査ならびに背景

1. 生徒の知識レベル(用語等の紹介について):

生徒たちは、放射線(専門用語)についてほとんど知識がありません。また、これらの専門用語は辞書には載っていないため、専門用語のわかりやすい意味を知ることができません。

2. 参考となる資料:

- a. 放射線用語「原子炉の概念」ワークショップマニュアル、米国原子力規制委員会
- b. 線量基準と放射線および放射能汚染の防護方法「原子炉の概念」ワークショップマニュアル、米国原子力規制委員会
- c. 放射線の生物学的効果「原子炉の概念」ワークショップマニュアル、米国原子力規制委員会
- d. The Harnessed Atom(<http://www.osti.gov/special.html>)。61-98 ページが以下の議論に役立ちます。:放射線と放射性壊変;霧箱;放射線検出と計測、ガイガー計数管の使用、放射線量の計算とレントゲン写真等の放射線の用途。
- e. Energy from the Atom(アメリカ原子力学会から入手可能: <http://www.ans.org/store/vi-750044>)。ページ 1-1 から 1-24;2-1 から 2-37;3-1 から 3-17 が原子構造や核エネルギーについての背景提供に役立ちます。



ユニット1 第1編 放射線

- f. 米国環境保護局(EPA)のウェブサイトや同サイトの「環境キッズクラブ」

3. 実験について:

- a. 霧箱実験を行なう前に立てられた仮説:「放射線は目に見えないが、霧箱によって過飽和蒸気中の放射線の飛跡を見ることができる。」
- b. 放射線の検出や計測で一般に使用される用語を紹介する。
- c. クラスを4人以内のグループに分ける。

4. 一般的事項:

a. 霧箱に必要な材料

- ・ 透明なふた付きの小さな透明容器
- ・ 艶無しの黒いスプレー塗料
- ・ 吸取紙
- ・ 純エチルアルコール
- ・ 放射線源
- ・ マスキングテープ
- ・ ドライアイス
- ・ 四角い発泡スチロール
- ・ フラッシュライト
- ・ ドライアスを扱うための手袋、もしくはトング

b. 用語: 放射線検出と計測

adverse(有害な)	rad(ラド)
curie(キュリー)	radiation dose(放射線量)
discernible(識別可能な)	rem(レム)
film badge(フィルムバッジ)	roentgen(レントゲン)
Geiger counter(ガイガー計数管)	time, distance, shielding(時間、距離、遮へい)
millirem(ミリレム)	

c. ガイガー計数管を用いた放射線計測に必要な材料

- ・ ガイガー計数管
- ・ 放射線源
- ・ 紙、アルミホイル、レンガ、ビンに入った水、木片、ガラス板、鉛シート等の遮へい材料



ユニット1 第1編 放射線

学級討論のための質問

1. なぜ壊れてばらばらになる元素は不安定だといわれるのでしょうか？
2. 時間が経過するとどのようにして放射能が小さくなるのでしょうか？
3. 遮へいにはどのような材料が最適でしょう？
4. いくつかの放射性同位元素から放出される強力なタイプの放射線であるガンマ線は、質量がありません。他のタイプの放射性粒子で質量がないものは何でしょう？

霧箱実験の後の質問

5. 放射線は見る事ができないので、あなたたちはどのような観察を体験しましたか？
6. 放射線源に何が起こっていますか？
7. どんな放射線の「飛跡」を見ましたか？ 説明してください。

ガイガー計数管による計測の後の質問

8. なぜ私たちは放射線被ばく量を計測するのですか？
9. 放射性物質調査でガイガー計数管を使用する際、なぜ放射線のバックグラウンドレベルを知ることが重要なのでしょうか？
10. あなたの知っている人で放射線に助けられたり害を受けたりした人がいますか？

参考図書

The Harnessed Atom の教員版、米国エネルギー省

授業プラン

注記：生徒が教室に入る際、5×7インチのカードをそれぞれの生徒に渡してください。

挨拶……

「放射線」(黒板に書く)

この言葉を見聞きして思い浮かべることは何ですか？ どんな意味があると思いますか？

私が黒板に「放射線」と書いた時にあなたが思ったことをカードに書いてもらい、あなたの考えを私と共有してもらいたいと思いま



ユニット1 第1編 放射線

す。名前はカードに書かないでください。

[カードを集めて混ぜます。いくつかをクラスの皆に大きな声で読み上げ、それぞれについてディスカッションします。特定のカードと子供たちを結びつけないでください。今後の参考のために、生徒の意見からキーワードを黒板に書いてください。]

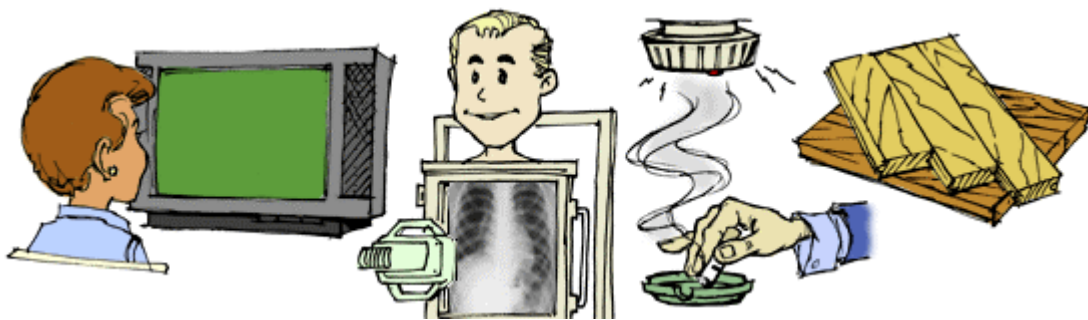
初めに

放射線は、私たちの周りのあらゆる所に存在します。地球から、そして大気圏外空間から放出されます。多くの放射線は目に見えませんが、私たちは、放射線を感じたり、見たり、味わったり、においを嗅いだりすることはできません。しかし、存在すれば検出し、計測することは可能です。私たちは、電離放射線をミリレムと呼ばれる単位で計測します。しかし、放射線とは何でしょうか？ 放射性物質は、不安定な原子で構成されています。不安定な原子は、安定するまで余剰エネルギーを放出します。放出されたエネルギーが放射線です。放射線は自然のものと人工のものどちらかに分類することができます。

前述した通り、地球は放射線に囲まれています。例えば、私たちは、毎日、土中のウランが空気中に拡散した放射性ガスであるラドン、食べ物や水に含まれる放射性カリウム、地球の地殻に含まれるウランやラジウムやトリウム、宇宙線と太陽光線にさらされています。

この種の放射線は、自然放射線、もしくはバックグラウンド放射線と呼ばれます。アメリカでは、私たちは、毎年平均で 300 ミリレム(ミリレムとは、放射線被ばく量の計測単位です。)の自然放射線に被ばくしています。この自然放射線量は、私たちの年間総被ばく量の約 85%となります。残り 15%はどこからくるのでしょうか？ 人工放射線源からです。

人が被ばくし得る人工放射線源は、タバコ、テレビ、医療用 X 線、煙探知機、ランタン用マントル、核医学、そして建材です。



これをすべて加えると、平均的アメリカ人は、年間に自然放射線と人工放射線から合計で約 360 ミリレム被ばくしています。放射線源は、後述する学級活動1で提示しています。

一般的に、放射線被ばくのことを考える時、原子炉で作られる不安定だといわれる放射性核種に注目する必要があります。放射性核種は、壊変といわれる崩壊プロセスにあるため不安定なのです。このプロセスの間に不安定な核種は安定し、光線や粒子

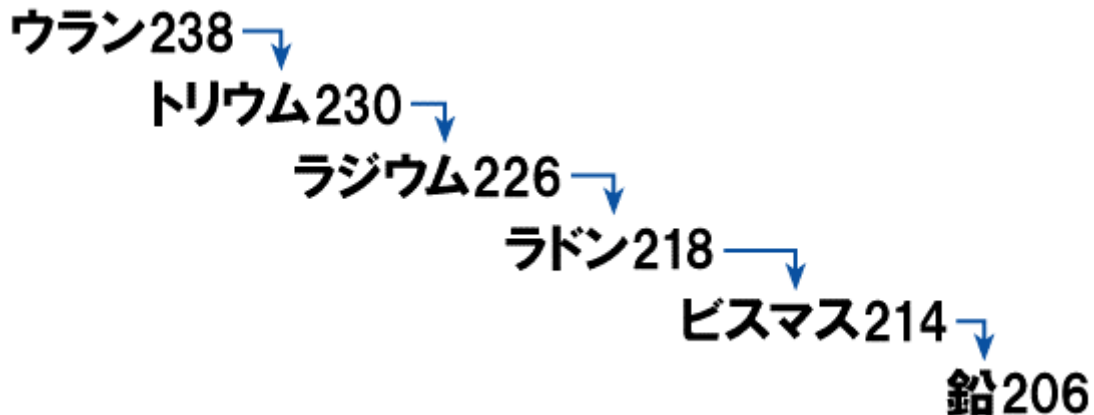


ユニット1 第1編 放射線

の形で放射線を放出します。

放射性核種がどれくらいの速さで壊変して安定原子となるかは原子自体によります。例えば、同位元素間での壊変速度の範囲は、1秒以下から数十億年(例えば、ウラン)にも及びます。

壊変系列を説明するために、ウラン 238 を見てみましょう。



ウラン 238 は、壊変するとトリウム 230 に変化し、それがラジウム 226 に変わり、それがラドン 218 に変わり、それがビスマス 214 に変わり、最終的に鉛 206(安定元素)になります。

放射性核種の特徴は、元素がいつ壊変して放射線を放出するのか、誰にもはっきりわからないことです。しかし、同位元素がその放射能の半分をなくすのにかかる時間に関してのパターンがあります。このパターンは、半減期と呼ばれています。例えば、ある放射性核種の半減期が 10 年だとすると、その放射性核種の半分は 10 年で壊変します。そして、次の 10 年でその半分の量が壊変するといった具合です。放射線にはいくつか異なる型がありますが、私たちは放射性同位元素の壊変に起因する 3 つ(アルファ、ベータ、ガンマ)に注目していきましょう。

ベータ粒子は、高エネルギーの電子です。アルファ粒子とベータ粒子は両方とも不安定な同位元素から放出されます。2つの陽子と2つの中性子でできているアルファ粒子は、ベータ粒子より大きい粒子です。ガンマ線は、質量をもちません。

アルファ粒子は、その大きさと正電荷(+2)が原因で比較的速度が遅く、透過距離(空気中で 1~2インチ)が短い粒子です。アルファ粒子は、薄い紙や身体の皮膚外層で簡単に止めることができます。この粒子は、皮膚外層に侵入しないので、身体の外側にある場合、ほとんど、もしくはまったく障害を及ぼしません。

しかし、アルファ粒子は、生体組織と接触すると狭い範囲内で大量の電離作用を起こし、その結果、組織や細胞へ損傷を与えるので、内部障害要因と考えられています。

ベータ線は、アルファ線より速くて軽いのですが、空気中を 10 フィートほど進み、アルミホイルなどの薄い層の材質に侵入します。



ユニット1 第1編 放射線

しかし、衣服がほとんどのベータ粒子を阻止する一方、皮膚組織の生きた層に侵入することが可能です。ですから、ベータ線は、内的障害と外的障害(皮膚のみですが)両方の要因と考えられております。ベータ線から個人を遮へいするためには、金属やプラスチックの薄い層が利用できます。

ガンマ線は、高エネルギーの光線で、他と少し異なっております。これは、電磁波の一種で、ラジオの電波、光波、そしてエックス線とおなじようなものです。ガンマ線は、非常に強いタイプの電磁波です。質量はなく、光の速さで移動します。これは、アルファ線やベータ線よりかなり速い速度です。

その透過能力から、ガンマ線は、内部障害と外部障害の両方の要因と考えられております。ガンマ線を阻止するには、セメント、鉛、もしくはスチールの分厚い壁が必要です。

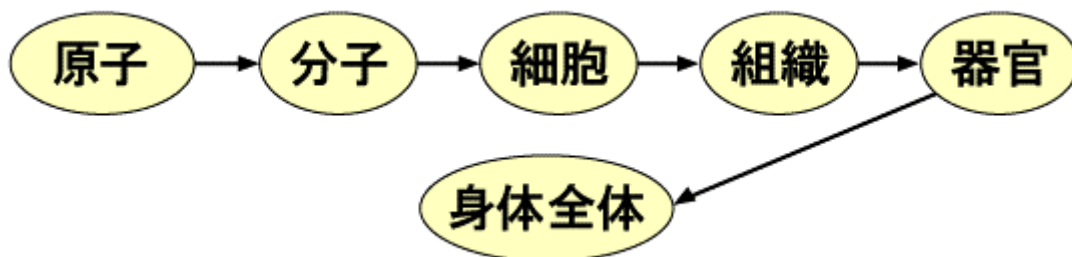
アルファ、ベータ、ガンマ線は、電離放射線としても知られます。電離放射線は、人体やその他の生体のデリケートな化学的作用を含む多くの物の化学的構成を変え得るので特に有害です。この理由から、すべての電離放射線への不必要な被ばくは避けるのが賢明です。

問題は単に以下の通りです:大量の放射線(日常生活で経験するレベルをはるかに超える高いレベルの)は、生体にがんや遺伝的欠損を生じます。放射線は、人体の正常の細胞や細胞機能を損傷したり変化させたりします。この正常の細胞機能の破壊が、細胞の制御不能な成長、つまり悪性・がん性腫瘍となるかもしれないのです。

放射線源が自然線源であれ人工線源であれ、それが小線量であれ大線量であれ、いくらかの生物学的作用は生ずるのです。図で電離放射線の生物学的作用を示すことができます。

放射線が原子の電離をひき起こすと、それが分子に影響し、細胞、組織、器官に影響し、それが身体全体に影響を起こす可能性があります。

[以下を黒板に書いてください。]



放射線の生きた細胞への影響という意味では、生物学的作用を考えがちですが、実は、定義上、電離放射線は、電離といわれるプロセスによって原子とのみ反応します。ですから、放射線が人体内の細胞を形成している原子と反応すると、すべての生物学的損傷効果が始まります。結果として、黒板に書かれているように、放射線の影響は、最も低レベルから最も高レベルへと及んで



ユニット1 第1編 放射線

いきます。

実験 A:霧箱

放射線は見えないので、霧箱を使うと、過飽和蒸気中で飛跡が見えるようになります。

[学級活動1を完了します。]

実験 B:ガイガー計数管の使用

いろいろな物質の放射能はどの程度ですか？

[学級活動2・3を完了します。]

学級討論のための質問への回答

- Q. なぜ壊れてばらばらになる元素は不安定だといわれるのでしょうか？**

A. ガンマ線を放出する過程で安定になったり、アルファ粒子とベータ粒子を放出して他の元素に変わったりするので不安定です。
- Q. 時間が経過すると、どのようにして放射能が小さくなるのでしょうか？**

A. アルファ粒子や、ベータ粒子、ガンマ線を放出しながら少しずつ不安定な元素が壊れます。それぞれの不安定元素は、その半減期で決まる異なる速度で放射能を失います。半減期は、1秒以下から数十億年の範囲にわたります。
- Q. どんな材質が遮へいに最適でしょう？**

A. 鉛やコンクリートのように密度の高い材質ほど放射線が衝突することが多いので、放射線を止めるのに効果的です。
- Q. 電離した電磁放射線の一種であるガンマ線は、いくつかの放射性同位体から放出され、質量がありません。他に質量をもたないどんな種類の放射線とあなたは接していますか？**

A. あらゆる種類の電磁波：日光、エックス線、マイクロ波、テレビ、ラジオ電波。



ユニット1 第1編 放射線

霧箱実験の後の質問への回答

5. **Q. 放射線は見る事ができないので、あなたたちはどのような観察を体験しましたか？**
 - A. 過飽和蒸気中の放射線の飛跡を見ます。
6. **Q. 放射線源に何が起っていますか？**
 - A. 放射線源は、壊変しています(放射能を失いながら)。
7. **Q. どんな放射線の飛跡を見ましたか？ 説明してください。**
 - A. これらは「噴出したようなもの」や「跡」です。アルファ線は、くっきりとした約1センチの飛跡を発生させます。ベータ線は、3～10センチの細い飛跡を発生させます。そして、ガンマ線は、ねじれたらせん状の飛跡を発生させます。

ガイガー計数管による測定後の質問への回答

8. **Q. なぜ私たちは放射線量を計測するのですか？**
 - A. 過度に被ばくすると、人に害を与える可能性があるからです。さらに、米国の連邦政府は、放射線業務従事者や一般公衆の個人に対して人工放射線源から受ける被ばく量に許容値を設けています。例えば、米国原子力規制委員会は、その認可者に対して、公衆の最大被ばく線量を年間100ミリレムに制限し、放射性物質を用いた仕事をしている成人に対しては、それを越えた被ばく量を年間5,000ミリレムに制限するように義務づけております。その基準は、国や国際機関の推奨や他の先進国の実施している内容と整合性がとれております。
9. **Q. 物質の放射能がどれくらいかをガイガー計数管で決定する際に、なぜ放射線のバックグラウンドレベルがどれくらいを知ることが重要なのでしょうか？**
 - A. あなたたちが測定している物質の読み値にバックグラウンドのカウント数を加えないために、そのレベルを知る必要があります。
10. **Q. あなたの知っている人で放射線に助けられたり、害を受けたりした人がいますか？**
 - A. 答えは生徒の経験によって異なるでしょう。多くの場合、医療や歯科治療での엑스線撮影やがん治療といったものを役立つものとして挙げるでしょう。人類に恩恵をもたらすために、放射線は、科学、医療、宇宙探査、地質学、生態学、建築、工学で使われています。有害なものとしては、日焼けや皮膚がん、そして第二次世界大戦末期の日本の広島と長崎の住民への影響を挙げるでしょう。

放射線とその影響についての情報は、米国原子力規制委員会または米国環境保護局あるいはあなたの地域または連邦政府の担当官にお問い合わせ下さい。



学級活動

学級活動1

霧箱

放射線の飛跡はどのようにしたら見ることができますか？



放射線は見えないので、霧箱は過飽和蒸気中の放射線の飛跡を見えるようにしてくれます。

材料：

- ・ 透明なふた付きの小さな透明容器
- ・ 艶無しの黒いスプレー塗料
- ・ 吸取紙
- ・ 純エチルアルコール
- ・ 放射線源
- ・ マスキングテープ
- ・ ドライアイス
- ・ 四角い発泡スチロール
- ・ フラッシュライト
- ・ ドライアスを扱うための手袋、もしくはトング



ユニット1 第1編 放射線



紙の帯に2つの「窓」を切り開け容器の内側に紙を巻きつけます。

まず、容器の底を黒い塗料で塗り、乾かします。そして吸取紙を容器の高さとだいたい同じ幅の帯に切ります。図のように、帯に2つの窓を開け容器の内側に接するようにして置きます。

使用法:

容器の底を覆うのに十分なエチルアルコールを霧箱に注ぎます。吸取紙がそのほとんどを吸い込みます。

霧箱内に放射線源を入れ、蓋をテープで密封します。

霧箱をドライアイスの上に置いて過冷却します。5分程待ちます。部屋を暗くします。蓋を通して見ながら霧箱の窓からフラッシュライトを照らします。「噴出したようなもの」や「跡」が放射線源から出てくのが見えるはずですが、これらが、アルコール蒸気を通過した放射線の「飛跡」です。蒸気は放射線が通過するにつれ凝縮します。これは、高高度を飛ぶジェット機が残す飛行機雲と非常に似ています。

霧箱内の放射線が見えますか？ _____

その他の調査アイデア

これらの飛跡を確認してみてください:

- ・ **アルファ**: 1センチ程の長さのくっきりとした飛跡
- ・ **ベータ**: 3~10センチの長さの細い飛跡
- ・ **ガンマ**: うっすらとした、ねじれたらせん状の飛跡

注意: ドライアイスの取扱いには十分ご注意ください。皮膚を保護していないと、やけどをする恐れがあります。



ユニット1 第1編 放射線

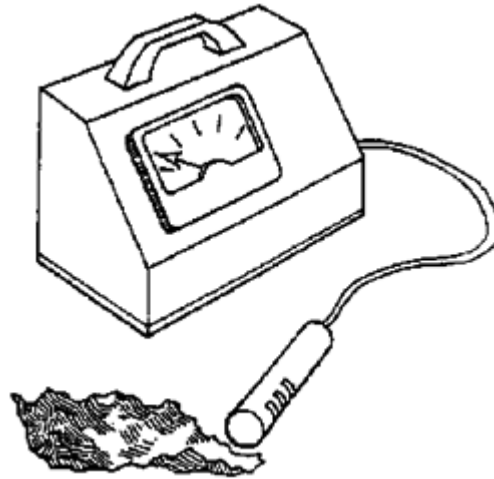
学級活動2

ガイガー計数管の使用

いろいろな物質の放射能はどれくらいありますか？

材料：

- ・ ガイガー計数管
- ・ 次のような放射線源：
 - ・ 七宝焼き
 - ・ 科学用品供給店から購入可能な放射線源
 - ・ 発光性時計の文字盤
- ・ 次のような遮へい材料：
 - ・ 紙
 - ・ アルミホイル
 - ・ レンガ
 - ・ ビンに入った水
 - ・ 木片
 - ・ ガラス板
 - ・ 鉛シート



使用法：

1. ガイガー計数管から2インチ離れた所に置いて、放射線源を一度にひとつずつ測定する。

どれが最高の読み値を示しましたか？ _____

最低値を示したのは？ _____

2. 最高値を示した放射線源をガイガー計数管から2インチ離れた所に置きます。一度にひとつずつ遮へい材料を放射線源とガイガー計数管の間に置いて測定します。遮へい材の密度は重要だと思いますか？

なぜですか？ _____



公衆の電離放射線被ばく

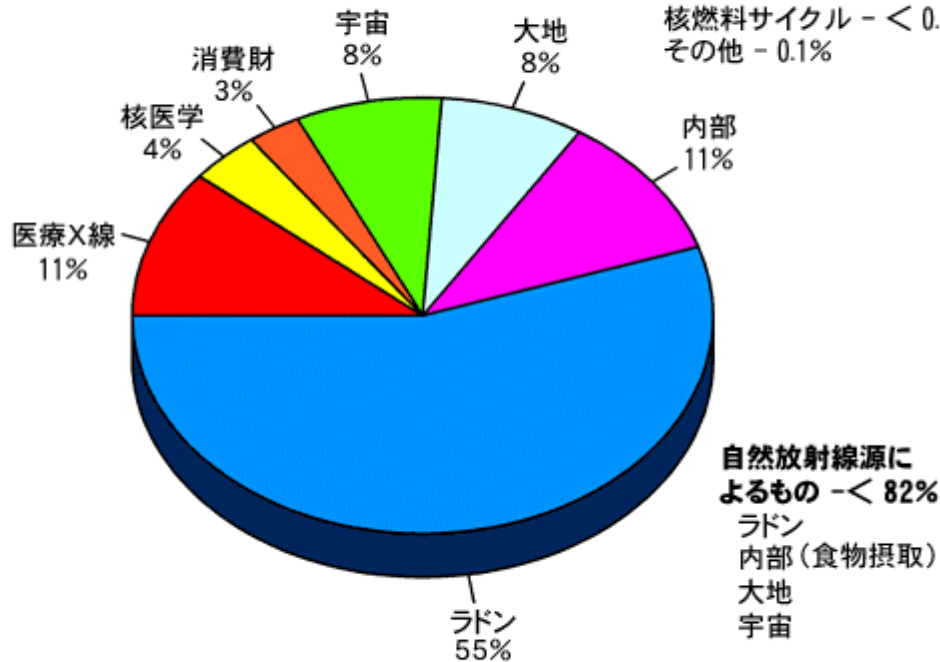
人工放射線源によるもの - 18%

医療X線
核医学
消費財

その他 - < 1%

これは以下を含みます

業務上 - < 0.3%
核実験降下物 - < 0.3%
核燃料サイクル - < 0.1%
その他 - 0.1%



上の図は、米国放射線防護委員会(NCRP)報告No.93「米国民の電離放射線被ばく」、1987から引用したものです。これによれば、公衆の全被ばくの82%以上が自然放射線源によるものであり、人工放射線源による被ばくは残りの18%になっております。

学級活動3

一人(米国民)あたりの年間放射線量

私たちは、放射線のある世界に生きており、これまでもそうでした。放射線は、私たちの自然環境の一部として私たちの周りにどこにでも存在します。これは、ミリレム(mrem)という単位で測定されます。すべての放射線源から一人当たりが年間に被ばくする平均線量は約 350 ミリレムですが、私たちの誰もが、ある年には(医療行為が大きな原因で)これ以上の量を浴びることが稀ではありません。国際基準は、仕事で放射性物質を使用する人やその周辺で仕事をする人たちの年間被ばく量を 2,000 ミリレムまで認めています。

あなた方の、年間放射線量(平均値、ミリレム)を、次のワークシートを用いて計算しなさい(ワークシートは印刷用がダウンロード可能です)。



ユニット1 第1編 放射線

住んでいる場所

- | | |
|---|----|
| 1. 海水面での(大気圏外からの)宇宙放射線..... | 26 |
| 2. 自分のいる標高(フィート)のミリレム数を選びましょう。 | |
| 1000 ftまで = 2 1000-2000 ft = 5 | |
| 2000-3000 ft = 9 3000-4000 ft = 9 | |
| 4000-5000 ft = 21 5000-6000 ft = 29 | |
| 6000-7000 ft = 40 7000-8000 ft = 53 | |
| 8000-9000 ft = 70 | |

【米国のいくつかの標高(フィート)】
 アトランタ:1050、シカゴ:595、ダラス:435、デンバー:5280、ラスベガス:2000、ミネアポリス:815、ピッツバーグ:1200、ソルトレークシティ:4400、スポケーン:1890、ワシントンDC:25

この数値を加えます:.....

3. 地球上の場所(地面からの):
- 住んでいる州が湾や大西洋岸に接している場合は、**23**を加えます。.....
 - コロラド高原地帯(デンバー周辺)に住んでいる場合は、**90**を加えます。.....
 - 中央アメリカ(上記以外のアメリカ)に住んでいる場合は、**46**を加えます。.....
4. 家の構造:
- 石、レンガ、もしくはコンクリートの建物に住んでいる場合は、**7**を加えます。.....

食べたり飲んだりしているもの

5. 内部放射線(体内):*
- | | |
|----------------|-----|
| 食べ物と水から..... | 40 |
| 空気から(ラドン)..... | 200 |

その他の線源

6. 核実験による放射性降下物(1以下):*..... 1
7. ジェット機での旅行:
- 飛行1,000マイル毎に**1**を加えます。.....
8. 陶器の歯冠や義歯がある場合は、**0.07**を加えます。.....
9. キャンプ時にガスランタン用マントルを使う場合は、**0.003**を加えます。.....
10. ルミナス仕様(液晶ディスプレイ)の腕時計を着用している場合は、**0.006**を加えます。.....
11. 空港で手荷物検査を受ける場合(一般的なX線装置を用いた場合)は、**0.002**を加えます。.....
12. テレビ**を見る場合は、**1**を加えます。.....
13. ビデオ表示端末**を使用する場合は、**1**を加えます。.....
14. 煙探知機がある場合は、**0.008**を加えます。.....
15. プルトニウム駆動心臓ペースメーカーを装着している場合は、**100**を加えます。.....
16. 医療被ばくの経験がある場合は:*
- X線検査(例えば、上下胃腸、胸部)は、**40**を加えます。.....
 - 核医学検査(例えば、甲状腺スキャン)を行ったことがある場合は、**14**を加えます。.....
17. 原子力発電所(加圧水型原子炉)の50マイル圏内に住んでいる場合は、**0.0009**を加えます。.....
18. 石炭燃焼型発電プラントの50マイル圏内に住んでいる場合は、**0.03**を加えます。.....

私の合計年間ミリレム線量は:.....

このチャートに記載されているいくつかの放射線源は、身体の一部のみに被ばくします。例えば、義歯は口への放射線量となります。ここでの年間線量は、身体全体への「実効線量」を表しています。

* これらは年間平均量です。
 ** 数値は、実際には1以下です。