

放射線授業事例

愛知教育大学附属名古屋中学校 教諭 奈良 大

1 基本的な考え方

私は中学3年間を見通した放射線教育が必要であると考えている。そこで、令和3年度に中学1年生の「光の性質」の単元で、波長の短い電磁波（光）の種類の一つとして、放射線（X線など）を取り上げ、放射線の基礎的な性質を学習させることにした。その後、放射線の身近な利用例を表す自作カードのなかまわけをさせることで、放射線の性質と利用を結び付けさせたいと考えた。自作カードは、安価で容易により多くの教員が活用できる放射線利用に関するものであり、東海学園大学准教授（当時）の山岡武邦氏より御提供をいただいた。その結果、書籍やインターネットなどで調べさせながら、放射線の身近な利用例を表す自作カードのなかまわけの観点を考えさせる活動を通して、放射線が日常生活や社会でどのように利用されているかを知らせることができたと考える。生徒たちは、書籍やインターネットなどの多くで紹介されている利用別（産業利用、医療利用、工業利用、農業利用など）をなかまわけの観点として、自作カードのなかまわけを行い、スライドにまとめる姿が見られた。

令和4年度に中学2年生では、放射線の基礎的な性質として、「透過性」「電離作用」を学習し、それらの性質がどのように身近で利用されているかを学習する。そのため、放射線の基礎的な性質が日常生活や社会でどのように利用されているかを知らせるには、どの性質がどのように身近で利用されているかという、利用別ではなく、性質別に理解させる必要があると考えた。しかし、書籍やインターネットの多くが利用別（産業利用、医療利用、工業利用、農業利用など）での整理がされている場合が多く、そのままでは生徒に理解させづらいと考えた。

そこで、日本原子力産業協会に依頼し、性質別に説明がしてある資料を作成していただき、授業実践で性質別に説明がしてある資料を提示することで、改めて中学1年生のときに行った自作カードのなかまわけの観点を考えさせる授業と同様のことを行わせた。その結果、生徒たちは、性質別をなかまわけの観点として性質別に自作カードのなかまわけを行い、スライドにまとめる姿が見られた。残念ながら、電離作用のもう一つの特徴である生物影響に関わる資料は現時点でも作成していただくことができていない。

これらの授業実践の結果、学年の発達段階や学習内容に応じて、放射線の性質と利用を結び付けて理解させることができ、一定の成果が得られたと考える。しかし一方で課題も見つかった。性質別に放射線の利用を考えさせる際に、多くが複数の性質を利用していると捉えることができる場合が多く、生徒の中には混乱が生じたのではないかという点である。また、放射線の基礎的な性質である「電離作用」という言葉は、中学3年生で「電離」を学習するまでは教科書に出てこず、「物質の性質を変質させる」と説明されていた。この「物質の性質を変質させる」の意味を理解するのが難しいと捉えている生徒も一定数いたと考える。テニスのラケットのガットに使われる高分子の繊維を強化するために、ガットを構成する分子同士の結びつきを強くするという意味では、「物質の性質を変質させる」という言葉は、イメージがしやすいと考えるが、真の意味での性質の理解に至ったのかは疑問である。やはり、「電離作用」で「電子を弾き飛ばす」というイメージをもたせられるようにしたほうが、利用例と結び付けやすいものもあり、中学3年生で改めて「電離」を学習した後に、放射線の性質の一つである「物質の性質を変質させる」ものの利用例について取り上げ、生徒の理解度を調べたい。

今回は、実際に令和3・4年度に実施した内容を中心に放射線授業事例の報告をすることとする。

2 令和3年度実践

(1) 対象生徒 愛知教育大学附属名古屋中学校 1年生 72名 (2クラス)

(2) 単元の指導

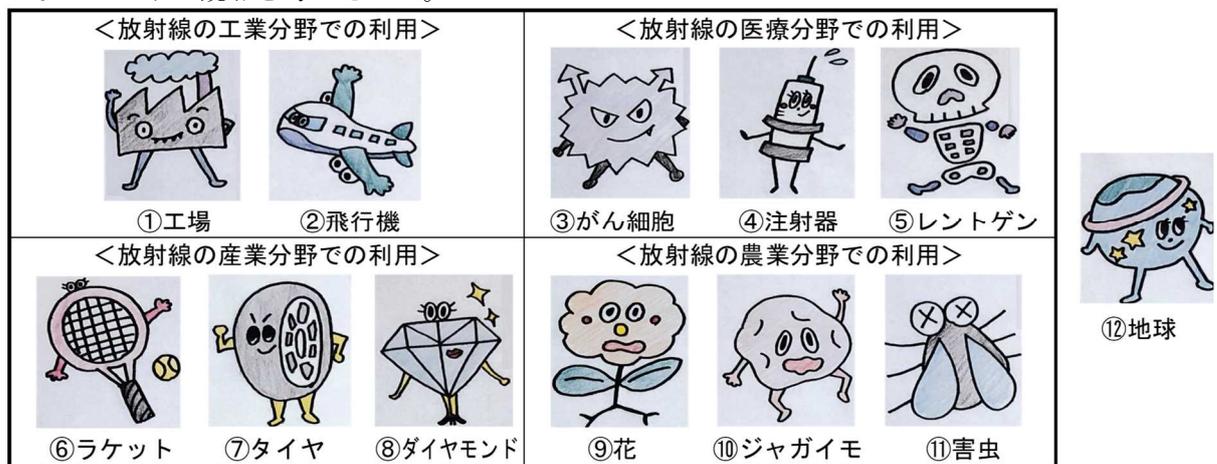
① ねらい

波長の短い電磁波(光)の種類の一つとして、放射線(X線など)を取り上げ、放射線の基礎的な性質を学習する。その後、放射線の身近な利用例を表す自作カードのなかまわけの観点を考えさせることで、放射線の性質と利用を、利用分野別に結び付けさせる。

② 準備

【自作カード】 東海学園大学准教授(当時)の山岡武邦氏の御提供による

教科書や放射線副読本等を参考し、放射線利用例として取り上げられることが多い日常生活や社会で見られる事物・現象をイラストにしたものである。授業では、どの利用例を意図して描いたかは生徒に示さずにイラストのみをカードで示し、その解釈も含めて生徒に考えさせ、なかまわけの観点を考えさせた。



○放射線の工業分野での利用：①工場	工場における放射線の利用を表すカード
②飛行機	飛行機搭乗時の手荷物透視検査における放射線の利用を表すカード
○放射線の医療分野での利用：③がん細胞	がん細胞の治療における放射線の利用を表すカード
④注射器	注射器の滅菌・消毒における放射線の利用を表すカード
⑤レントゲン	レントゲン撮影における放射線の利用を表すカード
○放射線の産業分野での利用：⑥ラケット	ラケットのガットの補強における放射線の利用を表すカード
⑦タイヤ	タイヤの強度強化における放射線の利用を表すカード
⑧ダイヤモンド	ダイヤモンドの着色における放射線の利用を表すカード
○放射線の農業分野での利用：⑨花	花の品種改良における放射線の利用を表すカード
⑩ジャガイモ	ジャガイモの発芽止めにおける放射線の利用を表すカード
⑪害虫	害虫駆除における放射線の利用を表すカード
※⑫地球 いずれにも分類できると考えられることを意図したワイルドカードの要素をもつカード	

(3) 指導計画 (全3時間)

【事前調査】【事後調査】概念地図法による放射線に関する概念の確認

【第1時限】Zoomを用いたオンラインによる出前授業で放射線の基礎的な性質の学習

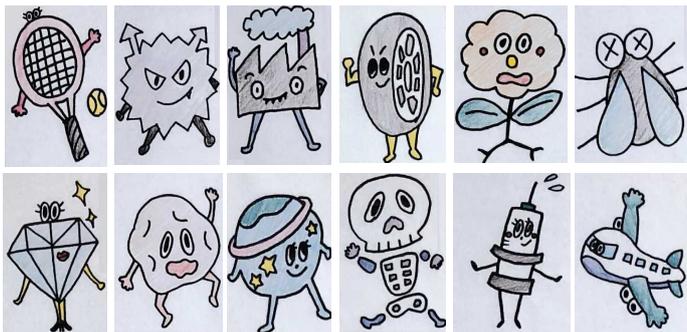
上記は、2021年度放射線授業事例コンテスト『中学校理科における放射線利用を学ぶための授業デザイン』で紹介済であるため、割愛させていただく。

【第2時限】放射線の身近な利用例を表す自作カードのなかまわけの観点を考える授業

○ねらい

放射線の身近な利用例を表す自作カードをなかまわけする観点を考え、実際になかまわけをすることを通して、放射線利用に関する関心を高める。【主体的に学習に取り組む態度】

○学習の流れ

学習指導	指導上の留意点
<p>1 放射線に関するカード12枚を配布し、班でなかまわけを行う。</p> <p>2 書籍やインターネットを使って調べ学習を行う。</p> <p>3 グループで調べたことを基に話し合い、スライドを使ってなかまわけをまとめる。</p>	<p>○放射線に関するカード12枚のイラストの解釈を考えさせるとともに、どのような観点でなかまわけをすればよいかを考えさせる。</p>  <p>○放射線に関する観点でなかまわけができるように調べ学習をさせる。</p> <p>○グループで話し合ったことを、スライドを活用し、次回の授業で発表できるようにまとめさせる。</p> <p>○他のグループのなかまわけの様子を自由に参考にしてよいことを伝える。</p>

【第3時限】放射線の身近な利用例を表す自作カードのなかまわけの観点を発表する授業

○ねらい

放射線の身近な利用例を表す自作カードをなかまわけする観点を考え、実際になかまわけをすることを通して、放射線利用に関する関心を高める。【主体的に学習に取り組む態度】

○学習の流れ

学習指導	指導上の留意点
<p>1 グループごとに発表を行う。</p> <p>2 他のグループのなかまわけについて聞きたいことなどを質問する。</p>	<p>○スライドにまとめたプレゼンテーション資料を用いて、どのような観点でなかまわけしたのかを発表させる。</p> <p>○他のグループの発表を聞いて、さらに聞きたいことなどを自由に発言させる。</p>

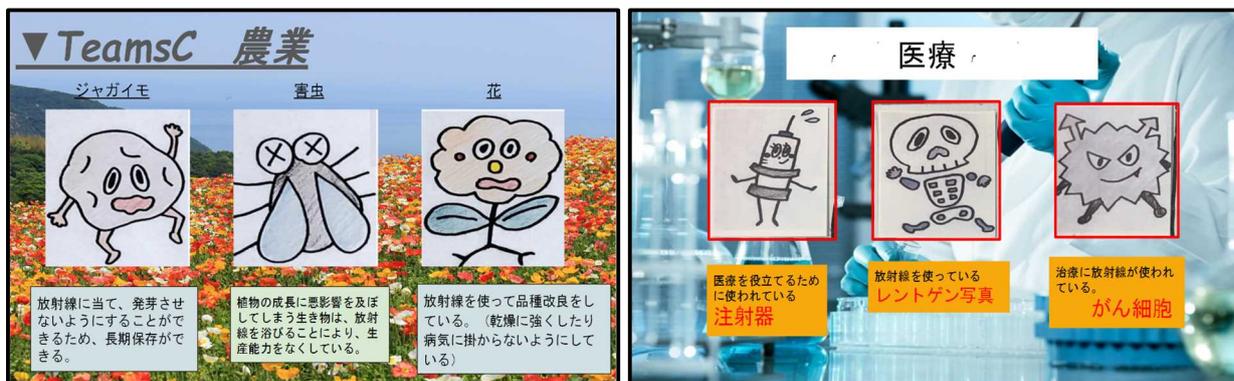
(4) 実際の授業の様子

【第2時限】放射線の身近な利用例を表す自作カードのなかまわけの観点を考える授業

グループで話し合い、自作カードをなかまわけすることができた。「地球」を表すカードにより、話し合い活動が活発に行われている様子が見られた。また、なかまわけの途中経過をクラス全体で発表した際も多くの生徒が熱心に発表を聞いていた。発表後、お互いの発表内容について他のグループとの意見交流の場として、質疑応答を行ったところ、議論の深まりが見られた。

【第3時限】放射線の身近な利用例を表す自作カードのなかまわけの観点を発表する授業

作成したプレゼンテーション資料を用いた発表会を行った。発表会終了後、お互いの発表内容について、質疑応答を行わせたところ、「害虫の駆除に使われる不妊虫放飼法について、詳しく教えてください」や「地球のカードをそのグループに分類したのはなぜか」などの質問が出た。以下に、発表に使用されたプレゼンテーション資料の一部を示した。多くの班で、書籍やインターネットなどの多くで紹介されている利用別（産業利用、医療利用、工業利用、農業利用など）をなかまわけの観点として、自作カードのなかまわけを行い、スライドにまとめていた。



3 令和4年度実践

(1) 対象生徒 愛知教育大学附属名古屋中学校 2年生 85名（3クラス）

(2) 単元の指導

① ねらい

真空放電と関連付けながら、放射線の基礎的な性質を学習し、改めて放射線の身近な利用例を表す自作カードのなかまわけをさせる。その際、1年とは異なり、放射線の基礎的な性質でなかまわけをさせることで、放射線の性質と利用を、性質別に結び付けさせる。

(3) 指導計画（全3時間）

【第1時限】放射線の主な性質（透過性、電離作用）について、観察・実験を通して理解する授業

【第2時限】放射線の主な性質（生物の細胞に大量に当たると細胞が死滅する）について、映像資料を通して理解するとともに、その性質がどのように利用されているのか学習する授業

上記は、2022年度放射線授業事例コンテスト『中学2年生における放射線教育の授業事例』で紹介済であるため、割愛させていただく。

【第3時限】放射線の身近な利用例を表す自作カードのなかまわけの観点を改めて考える授業

○ ねらい

放射線の身近な利用例を表す自作カードをなかまわけする観点を改めて考え、実際になかまわけをすることを通して、放射線利用に関する関心を高める。【主体的に学習に取り組む態度】

○ 学習の流れ

学習指導	指導上の留意点
1 放射線に関係するカード12枚を配布し、班でなかまわけを行う。	○放射線に関係するカード12枚のイラストの解釈を改めて考えさせるとともに、性質別にどのようになかまわけをすればよいかを考えさせる。
2 前時限に配布した性質別に説明がしてある資料をもとに調べる。	○グループで話し合ったことを、スライドを活用し、発表できるようにまとめさせる。

3 グループで調べたことを基に話し合い、スライドを使ってなかまわけをまとめる。	○他のグループのなかまわけの様子を自由に参考に してよいことを伝える。
---	--

【第3時限】放射線の身近な利用例を表す自作カードのなかまわけの観点を発表する授業

○ねらい

放射線の身近な利用例を表す自作カードをなかまわけする観点を改めて考え、実際になかまわけをすることを通して、放射線利用に関する関心を高める。【主体的に学習に取り組む態度】

○学習の流れ

学習指導	指導上の留意点
1 グループごとに発表を行う。	○スライドにまとめたプレゼンテーション資料を用いて、どのような観点でなかまわけしたのかを発表させる。
2 他のグループのなかまわけについて聞きたいことなどを質問する。	○他のグループの発表を聞いて、さらに聞きたいことなどを自由に発言させる。

(4) 実際の授業の様子

【第2時限】放射線の身近な利用例を表す自作カードのなかまわけの観点を改めて考える授業

改めて自作カードを見た生徒は、なつかしさを覚える発言をするとともに、放射線の性質について改めて学習したことを用いてグループで話し合い、自作カードをなかまわけすることができた。また、なかまわけの途中経過をクラス全体で発表した際にも多くの生徒が熱心に発表を聞いていた。発表後、お互いの発表内容について、質疑応答を行ったところ、放射線のどの性質を用いたなかまわけであるかどうかについて聞き合うなど、議論の深まりが見られた。

【第3時限】放射線の身近な利用例を表す自作カードのなかまわけの観点を発表する授業

作成したプレゼンテーション資料を用いた発表会を行った。発表会終了後、お互いの発表内容について、質疑応答を行わせたところ、「注射器のイラストについて、私たちの班では、注射器をパッケージに入れてから放射線を照射すると調べたので、透過性を利用していると考えましたが、どうすか」などの質問が出た。以下に、発表に使用されたプレゼンテーション資料の一部を示した。多くの班で、性質別をなかまわけの観点として、性質別に自作カードのなかまわけを行い、スライドにまとめていた。



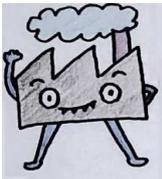
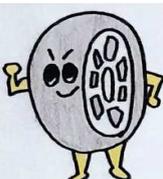
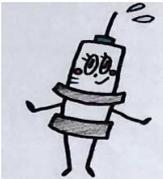
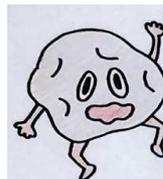
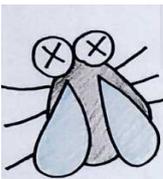
4 成果と課題

令和3年度の中学1年生の授業実践では、放射線を直接的に扱う単元がないため、「光の性質」の単元で取り扱うことで、学習したこととのつながりも意識させることができた。放射線の身近な利用例を表す自作カードのなかまわけの観点を考えさせる活動を通して、放射線が日常生活や社会でどのように利用されているかを知らせることができたと考える。生徒たちは、書籍やインターネットなどの多くで紹介されている利用別（産業利用、医療利用、工業利用、農業利用など）をなかまわけの観点として、自作カードのなかまわけを行い、スライドにまとめる姿が見られた。一方、多くのグループが「工業分野での利用」「産業分野での利用」「医療分野での利用」「農業分野での利用」という観点でなかまわけを行っていた。これは、インターネットで放射線利用について検索すると、上記のように紹介されていることが多いからであると考えられる。

令和4年度の中学2年生の授業実践では、日本原子力産業協会に依頼し、性質別に説明がしてある資料を作成していただき、授業実践で性質別に説明がしてある資料を提示することで、改めて中学1年生のときに行った自作カードのなかまわけの観点を考えさせる授業と同様のことを行わせたところ、生徒たちは、性質別をなかまわけの観点として性質別に自作カードのなかまわけを行い、スライドにまとめる姿が見られた。

これらの授業実践の結果、学年の発達段階や学習内容に応じて、放射線の性質と利用を結び付けて理解させることができ、一定の成果が得られたと考える。

一方で、課題も見つかった。当初、私が想定していたなかまわけは以下の通りである。

性質① 放射線には透過性がある。	性質② 放射線は物質の性質を変質させる。	性質③ 放射線は生物の細胞に大量に当たると細胞が死滅する。
 <p>①工場</p>  <p>②飛行機</p>	 <p>⑥ラケット</p>  <p>⑦タイヤ</p>	 <p>③がん細胞</p>  <p>④注射器</p>
 <p>⑤レントゲン</p>	 <p>⑧ダイヤモンド</p>  <p>⑨花</p>	 <p>⑩ジャガイモ</p>  <p>⑪害虫</p>

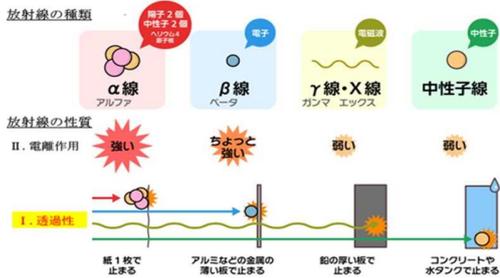
私が想定したなかまわけと異なるわけ方をしている場合が多かった。そのため、性質別に放射線の利用を考えさせる際に、多くが複数の性質を利用していると捉えることができる場合が多く、生徒の中には混乱が生じたのではないかとこの点である。また、放射線の基礎的な性質である「電離作用」という言葉は、中学3年生で「電離」を学習するまでは教科書に出てこず、「物質の性質を変質させる」と説明されていた。この「物質の性質を変質させる」の意味を理解するのが難しいと捉えている生徒も一定数いたと考える。テニスのラケットのガットに使われる高分子の繊維を強化するために、ガットを構成する分子同士の結びつきを強くするという意味では、「物質の性質を変質させる」という言葉は、イメージがしやすいと考えるが、真の意味での性質の理解に至ったのかは疑問である。やはり、「電離作用」で「電子を弾き飛ばす」というイメージをもたせられるようにしたほうが、利用例と結び付けやすいものもある。今後は、中学3年生で改めて「電離」を学習した後に、放射線の性質の一つである「物質の性質を変質させる」ものの利用例について取り上げ、生徒の理解度を調べたい。



「原子カワポイント」

あなたに伝えたい放射線の話 (10) 放射線の性質と利用例—その1：放射線の透過性—

- 放射線は、物質を透過する性質を持っています。
- この透過性を利用した放射線利用として、X線撮影、医療診断CT、医療診断PET、非破壊検査(空港にある手荷物検査装置)などを挙げることができます。



(参考：放射線いろいろ—Higgs Tan)

放射線博士: 前回までの話では、医療、農業、工業のように様々な分野における放射線の利用事例を紹介しました。今回は、視点を変えて、放射線が持つ特性 (①物質の中を通り抜ける能力「透過性」、②物質を電離する能力「電離作用」) を軸にし、放射線の利用事例を整理することにしました。本コラムではまず「①透過性」に的を絞って解説します。

リケジョさん: 私は、分野別に放射線の利用例をまとめれば十分と思うのですが、どうして、放射線の性質で利用例を見直す必要があるのですか？

放射線博士: 実は、令和3年度より、中学校では新学習指導要領が全面实施され、理科の授業において、「放射線の性質と利用にも触れること」が求められているのです。このため、放射線の性質に沿って利用例をまとめてみれば、参考になるのではないかと思います。

リケジョさん: 博士の考えはよくわかりました。それでは、「①透過性」について教えてください。

放電管は、厚い黒色の紙で覆われているにもかかわらず近くに置いてあった蛍光物質が、発光していたのです。博士は、「目には見えない物を突き抜ける不思議な光が出ているのでは？」と考えて、これをX線と名づけました。

博士は、しばらくしてから奥さんに、X線が流れていると思われる道の途中に手をかざしてもらいました。その後、手の下に置かれていた写真乾板を現像してみると、骨と指輪だけの写真が撮れました。まさに世界で最初のレントゲン写真が撮られた瞬間です。

このニュースは世界を驚かせました。人々の間では手のレントゲン写真を撮ること (以下「X線撮影」という) がはやったそうです。レントゲンは1901年、第1回のノーベル物理学賞を受賞しました。

X線には、大きな問題点もあります。大量に浴びると白血病やがんといった病気になる恐れがあります。X線が発見されたところは人体への影響がわかっておらず、学者や助手が病気になることが多くありました。ノーベル賞を2度も受賞したフランスの科学者マリー・キュリーも、放射線を浴び続けたことで白血病になって亡くなりました。

そのため、放射線利用にあたっては、①線源からの距離をとり、②放射線の遮蔽対策を施し、③照射時間は短くする、という外部被ばく防護の3原則をしっかり守って、放射線の悪い影響を防ぐ環境の整備が進められました。

現在は放射線の利用に際し、施設や設備の適切な管理や、放射線作業に従事する人々の被ばく線量を確実に測定することにより、安全を保つよう法律が定められています。わが国では、放射性物質や放射線発生装置などによる放射線の利用は、放射線障害防止法および原子炉等規制法のほか、労働安全衛生法、医療法などいろいろな法律によってきびしく規制されています。

リケジョさん: 放射線の安全管理に気をつけてうまく利用すれば、他の方法では得られない有効利用の道が開けるということですね。ところで、透過性を利用した事例はX線撮影以外にもあるのですか？

放射線博士: もちろんです。下記の表を見てください。

放射線の性質と利用例

放射線の性質：透過性
物質を透過するため、生体そのものへの影響を小さく抑えながら、その細部や内部の状態を調べることができます。
放射線の利用事例
⇒X線撮影、X線CT (コンピュータ断層撮影)、PET (陽電子放出断層撮影)、 空港にある手荷物の非破壊検査、工場で金属板の厚さを測ることなど。 (詳しくは後述の解説を参照ください。)

リケジョさん: 放射線の性質を軸にしてみるのも面白いですね。博士、ありがとうございます！
(原産協会：人材育成部)



放射線博士: 上記の図をもう一度みてください。

放射線には、原子よりも小さな粒子線と波長の短い電磁波の2種類があります。粒子線には、アルファ (α) 線、ベータ (β) 線、中性子線などがあり、電磁波には、「エックス (X) 線やガンマ (γ) 線」があります。いずれも物質を通り抜ける能力があります。これを「透過性」といいます。

α線はほかの放射線、例えばβ線に比べると透過力は弱く、薄い紙一枚で止まります。β線は紙では通り抜け、アルミニウムなどの薄い金属板で止まります。電磁波であるγ線やX線は、アルミニウムなどの密度の小さな金属板では通り抜け、密度の大きな鉛や厚い鉄の板で止まります。

一方、電気を帯びていない中性子線は、他の放射線とは異なり、アルミニウムや鉛のような金属は簡単に透過してしまうという特殊な能力を持っていますが、水やコンクリートにぶつかると止まってしまいます。



リケジョさん: なるほど、不思議ですね。例えばボールを投げた時、他の物にぶつかればボールは止まりますが、放射線は物をすり抜けることができるのですね。



放射線博士: その通りです。ところで、放射線は目に見えないのに誰が、どうやって見つけたのでしょうか？実は、その答えが、放射線の有効利用に新たな道を切り開くことになったのです。

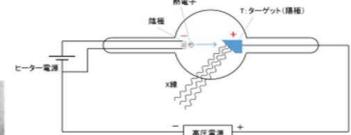


リケジョさん: 確かに、それも不思議ですね。誰がどうやって見つけたのか、教えてください。



放射線博士: 今から約120年前の1895年、ドイツのレントゲン博士 (当時ヴェルツブルグ大学教授) は、真空状態にしたガラス管に数千ボルトの電圧をかけて放電させるという実験を行っている時、不思議な光の存在に気づきました。下記の図を見てください。

X線の発生原理



レントゲンが初めて撮影した妻の手のX線写真
出品：北島 隆「放射線発見の足跡」
複製出版1971年

X線は真空の電極間に高電圧を加えて、その間を電子が飛んで電極にぶつかった時に発生します。

(引用：初めてのX線発生装置「Lab B&K8-アズワン」)

¹ エックス (X) 線とガンマ (γ) 線はいずれも波長の短い電磁波 (光と同じ性質) である。両者は兄弟のようなもので、特徴がとも似ており、発生の仕組みによって区別されている。すなわち、X線は、原子核の外側で発生するので「原子核外起源の電磁波」、γ線は、原子核の中から放出される電磁波なので「原子核内起源の電磁波」と呼ばれている。

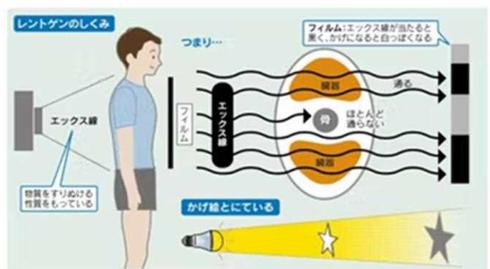
「解説：透過性を利用した放射線の具体的な利用例」

1. X線撮影の原理とその応用

(1) X線撮影の原理

X線は光の一種です。人の体は、とても小さな粒子である「原子」というものから構成されています。原子と原子の間には非常に小さなすき間があって、波長の短いX線はそこを通り抜けることができます。しかし、骨のように密度が高い物質は原子がぎゅうぎゅうに詰まっていて、通り抜けようとするX線をじゃまします。

X線で撮影した写真 (以下「X線写真」という) は影絵のようなものです。光を物に当てると、後ろの壁に影ができます。X線写真では、専用のフィルム (写真乾板) が用意されており、X線が当たると黒く、当たらない部分は白くなります¹⁾。それでX線写真は、歯や骨は白っぽく、筋肉などは黒く写ります (下記図参照)。



(参考：レントゲンでなぜ体の中が見えるの？Style.Nikkei.com)

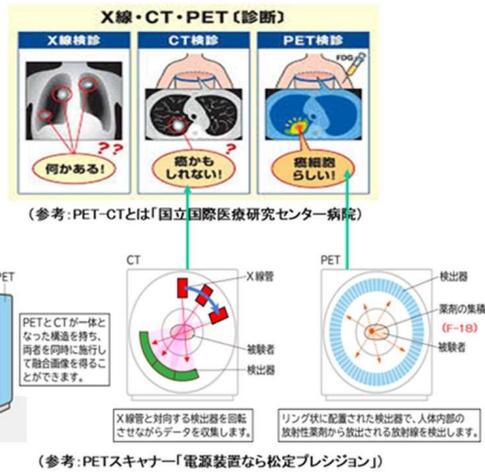
(2) X線撮影の応用：「コンピュータ断層撮影 (CT)」と「陽電子放出断層撮影 (PET)」

レントゲンによるX線の発見によって医療における診断技術が大きく進歩しました。特にがんの診断では、X線撮影を応用したコンピュータ断層撮影 (CT) と、ガンマ線の透過性を利用した陽電子放出断層撮影 (PET) を組み合わせた「PET-CT」システムを使った検査が基本となりつつあります。

¹⁾ レントゲン博士の時代は「写真乾板」という放射線に反応する特殊な液体が塗られたガラス版を使用していた。そのため、骨や金属の指輪などはX線の進行を阻害して透過させないようにするため写真の上では黒く見えており、現在見慣れているレントゲン画像と比べると白黒が逆転した「反転画像」になっていることに注意する必要がある。

まず、コンピュータ断層撮影(CT)装置について説明します。
CT装置では、X線を、患者の体外から広範囲に照射します。そして、X線を照射したときの「透過率」から、コンピュータを使って身体の輪切りの画像を作り、その画像を分析することでがん細胞の位置や大きさを調べることができます。

次に、陽電子放出断層撮影(PET)装置を使った診断の方法について説明します。
がんなどの悪性腫瘍は多くのブドウ糖を吸収します。そのため、ブドウ糖にフッ素-18という「放射性同位元素¹¹⁾」をくっつけた特殊な薬剤を患者の体内に注射すると、がん細胞にたくさん集められます。がん細胞に取り込まれたフッ素-18から、体外に透過してくるガンマ線を、コンピュータで画像処理することにより、がん細胞の位置や大きさ、進行度合いを調べることができます(下記図参照)。



2. 非破壊検査(空港にある手荷物検査装置など)

手荷物のすべてを動くベルトに乗せて運び入れる箱型の検査機は、X線を照射して検査官がスクリーンに写し込まれた内容を監視するものです。金属製の刃物、ピストルなど危険なものを発見することが目的です。

上で述べたように、X線は、物質を透過することができ、透過する間にエネルギーを失っていく性質があります。失うエネルギーの量は物質ごとに異なります。このことをうまく利用すると、写し

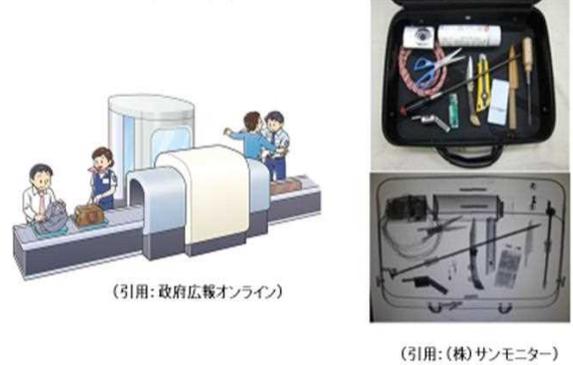
¹¹⁾ 原子番号が同じで質量数(原子核を構成する陽子と中性子の個数の合計)の異なる元素を同位元素という。この同位元素のうち、放射線を放出する能力を持つものを放射性同位元素と呼ぶ。

出された画像から金属製の危険物の存在を調べることができます。

ちなみに、空港にある手荷物検査機からは、少量ですがX線が出ていますから、手荷物検査を受けながら傍らを通る人たちも、わずかにこれから出ているX線を受けます。測定結果によると、1回の検査で、せいぜい100分の1マイクロシーベルトくらいの被ばくにすぎません。

日本人が日常生活で受けている自然放射線量は、1日当たり約6マイクロシーベルトであり、両者を比較すれば心配する必要のないことがわかります(下記図参照)。

手荷物のX線検査例



「原子カウンポイント」

あなたに伝えたい放射線の話(11) 放射線の性質と利用例—その2: 放射線の電離作用— 特性①「物質の性質を変質させる」

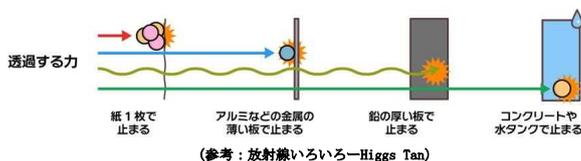
- 放射線は物質を透過する際、その物質を構成している原子にエネルギーを与えて、電子をはじき飛ばします。これを「電離作用」といいます。
- この電離作用が起こると、二つの現象が表れます。
 - ① 物質の性質を変質させる
 - ② 大量に当たると細胞を死滅させる
- 「物質の性質を変質させる」性質の利用例
 - ① 丈夫な素材の開発
 - ② ダイヤモンドに人工的に色を付ける
 - ③ 花や食品の品種改良

放射線の種類



放射線の性質

- II. 電離作用
- ① 物質の性質を変質させる
 - ② 生物の細胞に大量に当たると細胞を死滅させる



放射線博士: 前回のコラムでは、放射線が持つ特性として「物質の中を通り抜ける能力(透過

性)に注目し、放射線利用の事例を整理しました。ここで質問ですが、放射線が私たちの体やいろいろな物質を透過すると、どんなことが起こるのでしょうか?

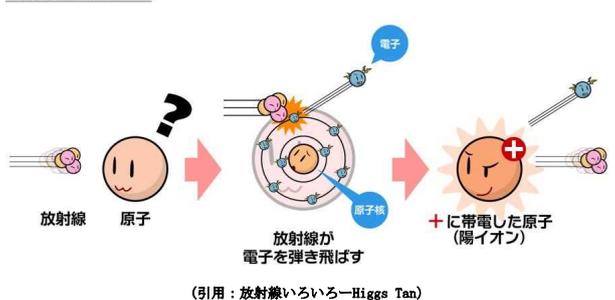
リケジョさん: 高校の理科の授業で、「放射線と物質を構成する原子や分子は、互いに影響を与え合う。これを放射線と物質の相互作用という。」と習った記憶があります。

放射線博士: その通りです。さらに付け加えると、放射線と物質の相互作用といって、放射線が物質を通過する時に物質を構成する原子や分子にエネルギーを与えて電子を弾き飛ばすことを「電離作用」と呼んでいます。もう一度、放射線の種類と放射線の性質をとりまとめた上記の図を見てください。「透過性」以外のもう一つの特性が「電離作用」と呼ばれるものです。この電離する力の最も強い放射線はアルファ(α)線であり、ちょっと強いのがベータ(β)です。一方、電磁波のガンマ(γ)線とエックス(X)はかなり弱く、前回のコラムで紹介した放射線の「透過力」とは真逆の関係にあります。

リケジョさん: 話の途中ですみませんが、電離作用という言葉を知らない人もいると思いますので、もう少し具体的に説明してくれませんか。

放射線博士: わかりました。下記の図を見てください。

放射線の電離作用



すべての物質をつくる原子は、原子核が中心にあり、そのまわりをマイナスの電気をもつ電子がまわっています。放射線は、物質の中を通過するときに、もっているエネルギーをその物質に与えるという特徴があります。具体的にいえば、空気や水、ゴムやプラスチック(高分子材料)、および生物の体などに当たったときに、これらを構成している原子から、原子核の周りをまわっている一番外側の電子をはじき飛ばしてしまうのです。電子はマイナスの電気を帯びているので、原子から電子をはじき出されると、マイナ

スの電気が減って、原子全体としてはプラスの電気を帯びることになります。このように、プラスの電気をもつ原子とマイナスの電気をもつ電子に分かれることを「電離」といいます。こうして放出された電子は、周辺の原子にさらに電離を生じさせます。

ところで、電子は、原子と原子をつなぐ糊(のり)のような役割ももっています。その糊がなくなってしまうと、結びついていた原子がぼろぼろに分離してしまいます。水素と酸素の2種類の原子からできている水のような単純な物質では、分離してもすぐに再結合してもとに戻ります。しかし、高分子や生物の細胞のように、複雑な物質が大量の放射線を浴びて、いくつもの分離が同時に起こってしまうと大変です。再び結合しようとしても間違っただ原子とつながってしまい、突然変異が起きて、性質の違う物質に変化することがあるのです。



リケジョさん：「物質の性質を変化させる」というと凄いことのように感じますが、どのようになるかイメージが湧かないので、具体的にどのようなところに利用されているか教えてください。



放射線博士：私は以前に本コラムで、医療・農業・工業および文化財と環境保全の各分野で、放射線がどのように利用されているか紹介しました。今回は、「電離作用によってさまざまな物質の性質を変化させる」という「放射線の性質」に焦点を当てて整理し直してみよう。下記の表を見て下さい。丈夫な素材の開発やダイヤモンドの色付け、花や食品の品種改良など、私たちの暮らしのいろいろなところで利用されています。

放射線の性質と利用例

放射線の性質：電離作用 ①様々な物質の性質を変化させる

局部的に大きなエネルギーを付与してさまざまな物質の性質を変化させることにより、これまでの技術では製作が難しかった丈夫な素材の開発や品種改良などができます。

放射線の利用例

- ① 丈夫な素材の開発 (自動車のタイヤの強度を高めたり、ラケットのガットを切れにくくする)
- ② ダイヤモンドに色を付ける
- ③ 花や食品の品種改良

(詳細は後述の解説を参照ください)



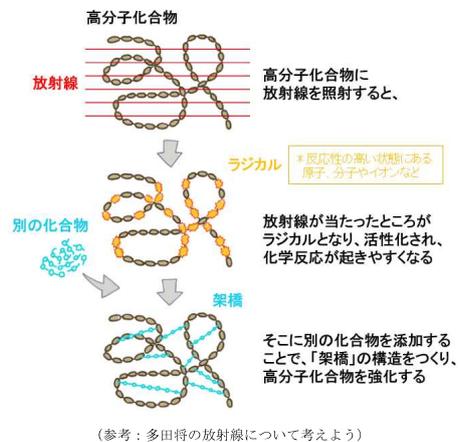
リケジョさん：今回は、「細胞を死滅させる」をテーマに説明していただけることを楽しみにしています。

「解説：物質の性質を変化させる性質を利用した放射線の具体的な利用例」

1. 丈夫な素材の開発

プラスチックやゴム、ナイロンなどの合成繊維は、小さい分子がたくさん並んでできており、「高分子化合物」と呼ばれています。

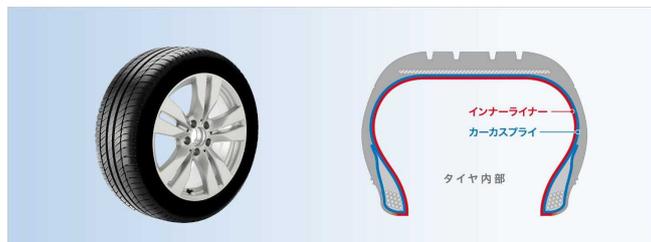
車のタイヤはゴムでできていますが、天然のゴムでは弱いままでは使用できません。そこで、ゴムに放射線を照射します。すると、ゴムの分子がくっつきあって橋を架けたような状態になり、網目のような構造になってゴムの流動性が抑えられ、位置ずれなどを防ぐことができます。これにより、ゴムシートの厚みを薄くすることができ、材料コストの低減と、タイヤの軽量化、高品質化が可能となりました(下記図参照)。



古いタイヤはドーナツ形をしていて、接地面が丸くなっていましたが、現代のタイヤは接地面が平らになっています。タイヤは風船のように空気を入れて膨らませますから、本来は丸くなるのが自然で、平らにするにはそれなりの技術が必要です。

少し細かな説明になりますが、このような形状を保ちつつ強度を確保するためにタイヤは、「カーカス」、「ベルト」、「トレッド」という3層構造になっています。トレッドは地面に接触する層、つまりわれわれが目に見える部分であり、カーカスとベルトはタイヤの強度を保つ補強層です。特に、このカーカスには、架橋と呼ばれる処理が施されています。まさに橋をかけるが如く別の分子を結合してやることで、材料の強度を上げているのです。現在ではほとんどのタイヤが、この放射線照射の工程を経て

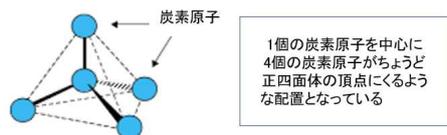
作られています(下記図参照)。



※タイヤのゴムの流動性を制御するため、タイヤの骨格の役割を持つ「カーカスブライ」や、タイヤの内部にはりつけて空気の透過を抑制する「インナーライナー」への放射線照射が行われている(参考：タイヤゴムシートへの電子線架橋の利用について (NHV コーポレーション))

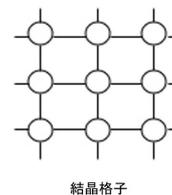
2. ダイヤモンドに人工的に色を付ける

ダイヤモンドは、炭素からできていて、1個の炭素原子を中心に4個の炭素原子がちょうど正四面体の頂点にくるような配置の繰り返しによって結晶が作られています(下記図参照)。



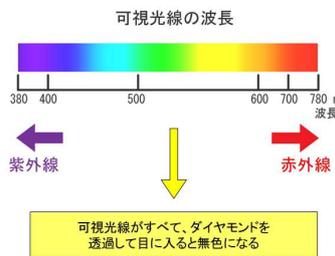
(参考：私立・国公立大学医学部に入ろう！ドットコム)

となり合う炭素原子同士は、結びつくために必要な手(電子)を双方の原子が共有することでつづられています。これを二次元で示すと、各炭素原子がそれぞれ4本の手(電子)を使って、となりの炭素原子と結合しているように表されます(下記図参照)。



(参考：中央宝石研究所 HP)

このように炭素原子が正確に配列した結晶では、可視光線(目に見える電磁波)が全部透過するので、ダイヤモンドは無色になります(下記図参照)。



(参考：「らでい」レポート～中央宝石研究所編～)

しかし、ダイヤモンドの構造に以下のことが起こると、色がついて見えるのです。

- ① 炭素(C)以外の、窒素(N)、水素(H)、ホウ素(B)などの元素が結晶格子に入り込んだ時
- ② 結晶格子中に炭素原子の抜けた穴があったり、外からの力で一部分が壊れたり歪んだりしている時

この二つの内、放射線照射は②を起こすのです。すなわち、放射線という強いエネルギーを、ダイヤモンドにあてると、電離作用が起こります。すると、結晶格子の並びに変化が生じ、その変化が生じた場所(カラー・センター「着色中心」という)で、可視光線の一部が吸収されます。それによってヒトの目には色がついているように見えるのです。例えば赤色・橙色・黄色の「赤色部」が吸収されると、青色の光線だけがはね返ってきてダイヤモンドは青く見えるのです。

天然のダイヤモンドと人工的にカラー処理を施したダイヤモンドは、外観上は同じ色であっても市場での価値には非常に大きな差があります(下記図参照)。外見では区別がつかなくても、両者を誤りなく鑑別することは、宝石の価値を定めるうえで重要な課題とされています。



(参考:「らでい」レポート〜中央宝石研究所編〜)

3. 花や食品の品種改良

(1) ゴールド二十世紀梨の作成

最初に紹介するのは「ゴールド二十世紀梨」の作出です(下記図参照)。



放射線育種によって作られた耐黒斑病の性質をもつ「ゴールド二十世紀梨」

(参考:放射線育種場 テクニカルニュース No. 29 (1986))

茨城県常陸大宮市にある農業環境技術研究所のガンマ線照射場(ガンマフィールド)では、半径100mのガンマフィールドの中央に設置された塔に⁶⁰Co(コバルト60)線源¹⁾を装備し、ここからガンマ線が「二十世紀梨」へ照射されました(下記図参照)。

¹⁾ ⁶⁰Co(コバルト60)はコバルトの同位体の一つで、ガンマ線を放出する。このコバルト60を放射線源として使用するものをコバルト60線源という。なおガンマ線は放射線の一種で、波長の短い電磁波である。



ガンマフィールドの全体図

(参考:農水省農業生物資源研究所ホームページ)

「二十世紀梨」は、非常に良い品質を持ち、青梨(皮が青色系の梨)の主要品種として栽培されてきましたが、梨黒斑病という病気にかかりやすく、それを防ぐために、ガンマ線の照射により突然変異を得る実験が行われたのです。ガンマフィールドは1962年から照射試験を開始し、1981年に黒斑病に全くかかっていない一本の枝が発見され、1990年に耐黒斑病の性質を持つ「ゴールド二十世紀梨」が誕生しました。

(2) イオンビームを使った花卉(観賞用の草花)の作成

放射線として従来のガンマ線ではなく、イオンビーム²⁾を使って品種改良する技術(以降「イオンビーム育種」という)の開発が、純国産技術として1987年から始まりました。

その一環として、日本原子力研究所高崎研究所(現・量研機構高崎量子応用研究所)は、世界最初の材料・バイオ研究のための専用施設として設置されたイオン照射研究施設“TIARA”を活用し、世界に先駆けてイオンビーム育種技術を確立すると同時に数多くの花卉(かき)を作出してきました(下記図参照)。

²⁾ イオンビームは電離放射線の一種である。炭素やヘリウムなどのイオンを、サイクロトロンなどの加速器を使って加速した流れである。



「かがり弁」を持った菊の新品種

左上:「かがり弁黄」 右上:「かがり弁白」
下:「かがり弁赤紫」

(参考:愛知県農業総合試験場資料)

愛知県農業総合試験場と共同して創作した華麗な花びらを持つ「かがり弁ギク」です。この品種は、改良前の親ギクに炭素イオンビームを照射して突然変異を誘導して作られ、花卉の先端に複数の突起を生じさせ、花の色も白、赤紫、黄色の3色を発現させた珍しいタイプの花卉となることで注目されました。特に花卉が白の「かがり弁白」は、2018-2019年のジャパンフラワーセレクションで「ベストフラワー(優秀賞)」を受賞しました。