

第三部「放射線の性質と利用」学習指導事例案

学習指導事例案についての解説

放射線の専門家が、その知識や経験をもとに、授業実践に役立つ学習指導資料としてどのようなものをつくるのが効果的なのか、専門家にとっては適切に判断するのが難しい。

専門家の視点を散りばめた一般解説は、確かにきめ細かい内容を過不足なく記述できるという長所があるが、生徒に教える立場の先生方にとって、こなれの悪い内容を通し読みしなくてはいけない負担があり、すばやく関心のポイントに達することができない。かといってワークシートのような教材を作成して授業展開へ踏み込めるような経験の蓄積が専門家にはない。一般解説調から授業展開に一步でも近づけたいが、いずれにしてもわれわれにできるのは授業展開の手前の作業である。

以上の判断をもとに今回の学習指導事例作成に当たって、放射線の性質と利用を、放射線の発生、種類、性質、放射線量、放射線利用（概論、製造業・学術、医療、農業に区分）⁴⁾、放射線の影響と安全性⁵⁾の小テーマに細分化し、窮屈かもしれないが、項目毎に1ページ分の共通のフォーマットを定めた。小テーマや箇条書きの細目のなかから、必要と考えるもの、興味あるもの、あるいは実践し易いものを選択し易いように配慮したためである。授業実践には難しい内容も含まれているかもしれないが、先生方には学習内容の背景を理解するうえでご参考にしていただければと考える。

学習レベルについては、大部分を「中学校・高校」としたが、中学校の指導内容を明らかに超えたと考えられる小テーマについては、「主に高校」あるいは「高校」とした。フォーマットの形式は、「ねらい」、「概説」、「要点」、「留意点」、「発展学習」に区分し、「概説」以外は整理し易いように箇条書きとした。「概説」は必要最小限の基本内容のみとし、「要点」は学習すべき内容のポイントを記載した。「発展学習」は特に科学技術と人間生活とのかかわりを重視した課題研究や探求学習である。中学校理科及び高校理科の基礎的科目では、このかかわりについての認識を深めることに大きな学習目標をおいているので、ここでは授業展開の多くの可能性のなかからいくつか例示したつもりである。「留意点」では、授業展開の視点からのものでなく、学習指導内容に絡んで念頭に入れておくべき認識を示した。

特別の小テーマとして、「放射線とエネルギー」及び「放射線と加速器」を追加した。前者は、放射線学習をエネルギー学習のなかの単なるエピソードに終わらせるのではなく、放射線の発生や作用をエネルギーの移り変わりの視点から理解させるための内容であり、それによって放射線についての理解をいっそう深められると考える。後者は、加速器が扱われないことで放射線利用の学習が偏るのを避けるためである。新学習指導要領を含めて、現状の中学校及び高校の学習指導では、人工放射線源としての加速器が取り上げられにくいという問題が依然として残ると考える。

一つの小テーマを1ページに収めるという制約を課したため、学習指導や授業展開を助ける図表の数が足りなかった。実際の講義のなかでその不足を補充につとめたいと考える。個別的な放射線の基礎知識については、インターネット、デジタル教材、参考書等で容易に入手可能であり、学習指導事例の作成に当たっては、どれにも共通して書かれていような知識との重複をある程度は避けたいつもりである。

学習内容の課題としては、自然放射線、放射線の安全性、放射線に関わる歴史などの内容について、指導事例のなかに取り入れるように配慮したが、十分とは言えないので、指導事例の小テーマとして今後追加することを検討している。

参考文献

- 1) 田中隆一、「学習指導要領に基づいた放射線に対する取り扱いに関する考察」、エネルギー環境教育研究、Vol. 3、No. 2 (2009)
- 2) 飯利雄一、廣瀬正美、伊藤武、橋本健夫、「理科教育 理論と実践」、東京図書、36 (1991)
- 3) 田中隆一、「中学校・高等学校での放射線利用の教育を考える」、放射線と産業、No. 123、40 (2009)
- 4) 田中隆一、「リスクの関する学校教育を考える」、広領域教育、No. 68、20 (2008)

学習指導事例 1

放射線の発生と存在

(中学校、高校)

ねらい 自然放射線の存在を実験・観察を通して認識させる。人工放射線源として特に加速器（X線発生装置も含める）の重要性を認識させる。人工放射線源の登場が科学や技術を発展させ、人間の生活にも大きく関わることになったことを放射線・放射能に関わる歴史を通して認識させる。

概説 放射線は、その発生源の違いによって、自然放射線と人工放射線に分けられる。前者は自然界に存在するものであり、その主な発生源は自然界にある放射能をもつ元素、つまり放射性同位体である。後者は原子炉や加速器などの放射線発生装置、あるいはそれらによってつくられた放射性同位体である。

要点

- ① われわれは身の回りの環境に存在する微量の自然放射線を常に受けているが、どのような環境や物質から受けているかを自然放射線の測定実験によって実感させる。人体や身近な自然物も放射線の発生源であることを知ることによって、自然環境の一部として放射線が存在することを認識させる。また、発生源としてどのような種類の放射性同位体があるかを学ばせる。
- ② 放射性同位体は身の回りだけでなく、原子力発電の核燃料にも含まれている。また、放射性同位体は原子炉や加速器を用いて人工的につくられる。放射性同位体にはどのような種類があるかを学ばせる。
- ③ 放射性同位体から放出される放射線の強さが時間とともに減っていく。その減り方をあらわす半減期は、放射性同位体の種類によって決まっているが、その種類が違くと半減期が異なることを認識させる。
- ④ 放射性同位体以外にも宇宙から様々な放射線が降り注いでいることを認識させる。
- ⑤ 様々な目的に利用している人工の放射線源が存在することを認識させる。
- ⑥ 放射線と放射能を混同せず、正しい区別ができるようにする。

「放射線の性質と利用」学習のキーワード



発展学習

- ① 自然放射線と人工放射線の特徴の共通性と違いを調べる。
- ② 人工放射線源としての加速器（X線発生装置も含める）における放射線発生の仕組みを調べる。
- ③ 放射性同位体及び加速器からの放射線発生についてエネルギーおよびその変換の視点から考察する(学習指導事例 追加1 参照)。

留意点

- ① 人工放射線は自然放射線のように実体験を通して身近に認識する対象とはなりにくいですが、医療や製造業への利用を通して現代の人間生活のなかに深く浸透していることに留意する（指導事例5 参照）。
- ② 放射線による危険の可能性は基本的には放射線量（指導事例4 参照）の大きさに依存し、自然か人工かという発生の違いには依存しない。
- ③ 放射性同位体の場合は放射線の発生を人為的に止めることはできないが、加速器（X線発生装置も含める）のような人工放射線源では、電源スイッチを切ることで放射線の発生を止めることができる。
- ④ 放射線という言葉からは、四方八方へ放射するというイメージがある。放射性同位体からの放射線発生や低周波数の電磁波の発生についてはこのイメージが当てはまるが、加速器での放射線発生はX線発生の場合も含めて指向性が強い。放射という言葉の意味に囚われないほうがよい。

学習指導事例2

放射線の種類と実体

(主に高校)

ねらい 放射線には様々な種類があることを自然放射線等の測定・観察を通して理解するとともに、放射線とはどのようなものであるか、原子の構造（成り立ち）の理解をもとに認識させる。

概説 放射線は目には見えないが、ときには強いエネルギーの速い流れにもなる存在である。放射線の実体は電磁波と粒子線の2種類に大別される。粒子線の主なものは原子を構成する粒子（電子、イオン、中性子）が高い運動エネルギーをもつ状態である。電気的な特性については、放射線は α 線、 β 線、電子線のように帯電した放射線（荷電粒子線）と γ 線、X線のように帯電していない放射線に二分され、その違いが放射線の性質を左右する要因となっている。帯電していない放射線には、電磁波のほかに中性子線のような粒子線も含まれる。

主な放射線の種類と実体



要点

- ① 放射線測定器や霧箱を用いて自然放射線等の実験や観察を行うなかで、放射線のもつ透過性の違いによって、 α 、 β 、 γ 線などの異なる種類の放射線が存在することを理解させる。
- ② 紫外線、可視光線、赤外線、電波などのよく知られている電磁波からX線や γ 線を区別する電磁波の性質はなにかを電磁波の性質をもとに認識させる。
- ③ 中性子の発生と性質について原子力発電におけるエネルギー生成の原理と結びつけて理解させる。

発展学習

- ① 人工放射線源の一例としてブラウン管テレビにおける放射線の種類と発生の方法を調べる。
- ② X線と γ 線は実体が同じであるのに、なぜ区別されているかをそれらの発生に結びつけて学ぶ。このことは β 線と電子線についても同様な展開が可能である。
- ③ 同じ荷電粒子線でも、 α 線と β 線では透過能力がなぜ大きく異なるのかを調べる。
- ④ 宇宙から降り注ぐさまざまな種類の放射線の総称である宇宙線についてその実体や発生を調べる。

留意点

- ① 電磁波の概念が中学校の学習指導要領では扱われないので、標準的な学習では放射線の実体には触れないこととなる。放射線の種類については、透過性の差異を通して、 α 、 β 、 γ 線等の名称のみを学ぶに止めるという学習が可能である。この意味で本指導事例は高校が主な対象となる。
- ② 電解質が水に溶けると陽イオンと陰イオンに電離することは中学校理科の別の単元で学習するが、放射線の単元で学ぶイオンと電離（学習指導事例3参照）は水溶液の現象に限定されない普遍的な概念であることを認識させる。
- ③ 陽子線と重粒子線（ヘリウムより重いイオン線の総称）は α 線と同じイオン線であるが、加速器を用いた新しいがん治療に利用され始めたことで認知度が高まっている。

学習指導事例3

放射線の性質

(中学校、高校)

ねらい さまざまな放射線に共通する基本性質が透過と作用)であることを正しく理解させることによって、放射線の利用、線量の単位、及び放射線の人体への影響についての理解に結び付ける。

概説 放射線の性質とは放射線が物質に当たるときに顕れる性質であり、透過と作用に二分される。透過は放射線の本質であり、粒子線では慣性の法則に従う運動である。作用とは物質へのはたらきであり、物質の性質を変化させることもある。放射線は物質中を透過しながら繰り返し物質に作用し、そのエネルギーを物質に与えることによって、自らのエネルギーを失っていく。主な作用には電離、散乱、原子核反応などがある。

要点

- ① 最も身近な放射線利用事例であるX線写真を教材として放射線の性質を経験的に学ぶ。たとえば、X線発見時に撮られた手のX線透過像(指導事例4参照)では、X線が手のなかで作用した結果を示しており、画像の濃淡は手の形と厚さ及び内部構成物質の組成を反映したものであることを理解させる。(中学校)
- ② 霧箱実験におけるα線の飛跡の観察や物体を透過した放射線を測る実験を通して透過と作用という放射線の基本性質を学ばせる。霧箱中の飛跡はα線が空気を透過しながら作用を繰り返した結果であることを理解させる。物体を透過した放射線を測る実験からは、物体の厚さが増すとともに透過した放射線の検知数が減ることを観察することによって、物体中で放射線の作用が起きたことを間接的に理解できる。「はかるくん」は放射線の電離作用によって生成した電荷量を測ることで線量を読みとる手段であることも理解させる。(中学校)
- ③ 荷電粒子線の代表的な作用である電離を原子の構造(成り立ち)の理解をもとに系統的に学ばせる。電気的な引力と反発力を及ぼす作用によって、放射線が原子内の電子をはじき出すことを理解させる。(主に高校)

発展学習 ① γ線やX線のような電荷をもたない電磁放射線はどのように物質と作用するかを調べる。

② 透過や作用という放射線の性質を光、電波、音波などの性質と比較してみる(特に電磁放射線)。

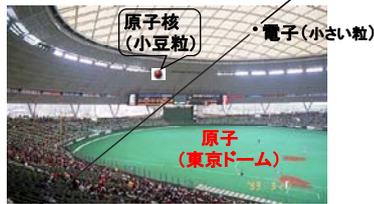
留意点

- ① 放射線は物体中を透過しながら作用を繰り返すが、透過そのものは作用とは独立した性質である。したがって、放射線の性質についての本質的な誤解を生む「透過作用」という用語は使用すべきではない。
- ② 原子、原子核などの大きさの違いを実感するために、われわれの生活圏にある具体的なものに置き換えてみよう。原子内の電子や原子核のすぐそばを放射線がたまたま通過するときのみ作用が起きるので、放射線の側から見ると、原子の中はスカスカであり、放射線は弾丸のように物体を突き抜けるわけではないことがわかる(下図参照)。むしろ、放射線が原子の構成粒子の間を悠々と通り抜ける様子を思い浮かべるべきである。「透過力」という言い方も、あたかも力づくで通り抜けるという誤解を生みやすい。α線がβ線より透過度が著しく小さい主な理由は、α線粒子が大きいからではなく、その速度がβ線よりもずっと遅いからである。
- ③ 放射線の基本性質のうち、透過は経験的に理解できるが、作用は概念的に理解するしかない。正確に理解するには、放射線の種類の知識だけでなく放射線がいろいろなエネルギーの一つであることの認識が重要である。
- ④ 透過能力は放射線や物質の種類に依存するだけではなく、そのエネルギーにも依存することに留意する。
- ⑤ X線写真を撮る健康診断では、放射線による写真作用や蛍光作用が利用されていると言われるが、その源泉は放射線の電離作用である。写真作用や蛍光作用を電離作用と同列視することは誤解を生みやすい。

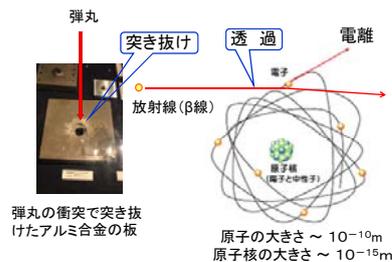
原子内を高速電子が通過する様子を1兆倍したら、

原子の中はがらんどろ!!

だから、放射線は物質を透過できる



放射線の透過は“突き抜け”か?



学習指導事例4

放射線量について

(主に高校)

ねらい 高校の基礎物理の新しい学習指導要領では「線量の単位にも触れること」とあるので、線量単位の基本である吸収線量について理解させる。中学校では線量単位の物理的な意味まで理解しなくとも、放射線が人体へ及ぼす影響を表している実効線量(シーベルト)を理解する程度でよい。

概説 放射線を適切に管理あるいは利用するためには、放射線による作用や影響の大きさを評価、比較、予測するための尺度が必要である。それが放射線量である。基本となる単位は吸収線量(グレイ(Gy))であり、放射線の作用によって物体中の着目要素に放射線が与えたエネルギー量(J(ジュール)/kg)として表わされる(着目要素の理解がポイント)。これから誘導される線量単位が人が放射線を受けたときの身体的な影響の程度を表す実効線量(シーベルト(Sv))である。放射線の利用では多くの場合吸収線量が使用され放射線の安全管理では実効線量が使用されている。

要点

① X線発見当時に発表されたフォン・ケリカー教授の手のX線写真(右図)において、画像の濃い部分である骨や指輪はX線の透過度が小さいため写真乾板が受ける吸収線量が低く、薄い部分に相当する人体組織では透過度が大きいために線量が高いからであることを理解させる。



フォン・ケリカー教授の手のX線写真

② 物質に吸収された放射線エネルギーの大部分は熱エネルギーに移り変わるが、その一部は化学変化に費やされる。それによる生体への影響が大ききときは健康に影響を与える場合もあることを認識させる。このように、放射線の作用をエネルギー変換の視点から学習することも重要である(学習指導事例 追加1参照)。

③ 水の温度を1℃上昇させるのに何グレイの吸収線量が必要かを計算させる。ただし、熱の放散は無視できるとする。温度上昇の程度は非常に小さいことを確認できる。

④ 人体組織が放射線を1グレイ受けた場合と同じ人体影響を与えるような線量単位がシーベルトで表わされる実効線量であることを理解させる。

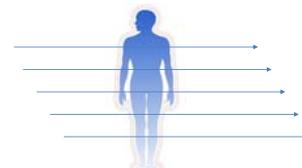
⑤ 単位時間当たりの線量を表す線量率という単位についても認識させる。「はかるくん」の表示は1時間当たりに受けた実効線量(毎時何シーベルト)、すなわち線量率を表している。

発展学習

① 「はかるくん」、GM計数管などの放射線測定の方法がどのような放射線の作用に基づくかを調べる。

**放射線の数量は膨大。しかし線量は殆どゼロ
透過するだけの幽霊放射線と言われるニュートリノ**

② 小柴昌俊氏のノーベル賞受賞で一躍知られるようになった変わり者の放射線であるニュートリノについて調べる。ニュートリノは物質にはほとんど作用しないので、ニュートリノという放射線が身体を通過する数量は膨大であるが、それによる線量は限りなくゼロに近い。ニュートリノの事例は極端な例であるが、線量概念についての正しい理解を促す(右図参照)。



β線とともに放出されるニュートリノは、水中では平均として1兆キロメートル走って、やっと水に作用する。

家の風呂くらいなら、ニュートリノを1000兆個ほど照射すると、平均として1個が作用する。

商店街どころか、地球もほとんどが素通りする。

留意点

① 吸収線量は物質の着目要素が放射線から吸収したエネルギー量であって、着目要素に当たる放射線それ自体の数量やエネルギー量ではない。吸収線量を単に線量と言う場合もあるが、線量は放射線の量ではなく、放射線の作用量であることに留意しておく(紛らわしい和訳名ではあるが、改めて名称を変えるのもたいへんである)。シーベルトで表わされる実効線量もこの考え方がベースにある。

学習指導事例5	放射線利用① 概論	(中学校、高校)																	
<p>ねらい① すでに学んだ放射線の性質が放射線の利用にどのように活かされているかを理解させる。</p> <p>② さまざまな利用事例を知ることによって放射線にはデメリットだけでなくメリットがあることを認識させる。</p> <p>③ 放射線の利用について科学的に理解することによって科学技術の発展と人間生活とのかわりの認識を深める。</p>																			
<p>概説(学習の必要性) 原子力エネルギー利用において放射線はリスクとしてのみ認知されている。放射線リスクが被ばく線量とどのような関係にあり、どの線量レベルまでならば実質安全かを正しく認識することが、エネルギー学習のなかで放射線について学ぶ主要目的である。しかし、線量はどんなにわずかでも危険というリスク認知が国民のなかに広くあるので、放射線にはリスクだけでなく、様々な目的に利用されているという便益があることも認識させることで、エネルギー資源としての原子力に対するバランスのとれた判断力の育成を図ることが必要となる。</p>																			
<p>要点 ① 透過と作用という放射線の両性質の利用における役割を知ることによって放射線利用とは何かを適切に理解させる。X線検査は確かに透過性の利用に違いないが、その透過画像はX線の作用を利用している。一方、放射線治療は確かに放射線の作用を利用しているが、身体の内部までX線が透過するから内部の病変部を治せる。あらゆる放射線利用は片方の性質だけを活用しているのではなく両方の性質を活用していることを認識させる。</p> <p>② 放射線の基本性質から分かることは、放射線は空間を隔てた物体の深くまで瞬時に作用することである。これは力学的、電気的、化学的、光的な手段ではできない放射線の特長であることを認識させる。</p> <p>③ 荷電粒子などの人工放射線の場合、電磁界を用いた加速や精密なビーム制御が可能である。このことが電子顕微鏡、半導体加工、加速器技術、材料分析に限らずナノテクノロジーの発展を可能にしていることを認識させる。</p> <p>④ 放射線の作用量を精度よく測れるので、品質管理が容易であり、品質の保証も確かであることを認識させる。</p> <p>⑤ 放射線の仲間である電波や光の利用と比較して、放射線利用のメリットとデメリットを理解させる。</p> <p>⑥ 放射線利用の安全性を確保するため、放射線のリスクに対していかに厳しい安全管理がなされているかを理解させる。百聞は一見に如かずということもあるのでできれば放射線を扱っている施設を見学することを勧める。</p> <p>⑦ 放射線は物質中でエネルギーを失ってその存在を瞬時に失うので、物質中に残存し続けることはない。ただし、放射線のエネルギーが非常に高い場合、その作用によって食品中の含有元素の一部を放射性同位体に変える反応が起きる可能性があるが、ガンマ線、X線、電子線のエネルギーあるいは加速電圧に関する使用規制によって、その危険性が排除されていることを認識させる。</p>																			
<p>発展学習① 放射線利用の学習では、放射線実習と違って観察や実験を取り入れにくい、豊富な利用事例から科学技術と人間生活がかかわる多くのキーワード(右図)が見出される。これらをもとに課題を設定し、インターネットやデジタル教材などを活用する探求的な学習が期待できる。</p>																			
<p>② 身の回りにどんな放射線利用製品があるか調べる。</p> <p>③ 利用に供されている人工放射線源としてはどんなものがあるかを調べる。</p> <p>④ 放射線利用に使用されているのはほとんど人工放射線であるが、自然放射線が活用されている事例を調べる。⇒ラジウム・ラドン温泉、考古学における年代測定など。</p> <p>⑤ わが国における放射線利用の経済的な規模が現在の程度であるかを調べる。</p> <p>⑥ 原子力エネルギー利用よりも半世紀長い歴史がある放射線利用の歴史について調べる。</p> <p>⑦ 放射線の利用は人間生活にどのように変えたかを調べる。</p>	<p style="text-align: center;">放射線利用事例学習の多様な選択肢 科学技術と人間生活がかかわるキーワード例</p> <table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top; padding-right: 5px;">医療</td> <td>X線診断 性質の理解と導入学習に最適、身近な実体験、歴史</td> </tr> <tr> <td></td> <td>医療被曝(診断) CT検査、リスクと便益、人体影響の理解</td> </tr> <tr> <td></td> <td>がん治療 切らずに治す先端技術、加速器、なぜ放射線か？</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top; padding-right: 5px;">製造業</td> <td>クルマ タイヤ、電線、内装材、高品質鋼板、なぜ放射線か？</td> </tr> <tr> <td></td> <td>パソコン 半導体、LSI、ナノテック、経済規模大、ブラックボックス化</td> </tr> <tr> <td></td> <td>非破壊検査 公共安全、大量輸送のテロ防止、オンライン生産</td> </tr> <tr> <td></td> <td>品種改良 DNA、遺伝子変異、環境・病虫害耐性、地球温暖化</td> </tr> <tr> <td></td> <td>食品照射 食品安全、リットとデメリット、価値判断、意思決定</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top; padding-right: 5px;">学術</td> <td>年代測定 炭素14、宇宙放射線、地球・環境科学、加速器</td> </tr> </table>	医療	X線診断 性質の理解と導入学習に最適、身近な実体験、歴史		医療被曝(診断) CT検査、リスクと便益、人体影響の理解		がん治療 切らずに治す先端技術、加速器、なぜ放射線か？	製造業	クルマ タイヤ、電線、内装材、高品質鋼板、なぜ放射線か？		パソコン 半導体、LSI、ナノテック、経済規模大、ブラックボックス化		非破壊検査 公共安全、大量輸送のテロ防止、オンライン生産		品種改良 DNA、遺伝子変異、環境・病虫害耐性、地球温暖化		食品照射 食品安全、リットとデメリット、価値判断、意思決定	学術	年代測定 炭素14、宇宙放射線、地球・環境科学、加速器
医療	X線診断 性質の理解と導入学習に最適、身近な実体験、歴史																		
	医療被曝(診断) CT検査、リスクと便益、人体影響の理解																		
	がん治療 切らずに治す先端技術、加速器、なぜ放射線か？																		
製造業	クルマ タイヤ、電線、内装材、高品質鋼板、なぜ放射線か？																		
	パソコン 半導体、LSI、ナノテック、経済規模大、ブラックボックス化																		
	非破壊検査 公共安全、大量輸送のテロ防止、オンライン生産																		
	品種改良 DNA、遺伝子変異、環境・病虫害耐性、地球温暖化																		
	食品照射 食品安全、リットとデメリット、価値判断、意思決定																		
学術	年代測定 炭素14、宇宙放射線、地球・環境科学、加速器																		
<p>留意点 放射線の利用法には二つあることに留意する。その一つは観察、計測、診断など、ある対象物に関わる情報を放射線という手段を使って引き出すための「観る」利用法である。もう一つは、加工、治療など、放射線を対象物に当てて、その作用で物質の性質を変化させ、意図した効果を生む「つくる、あるいは、治す」利用法である。</p>																			

学習指導事例 7 放射線利用③ 製造業・学術分野 (中学校、高校)

ねらい 製造業及び学術分野での放射線の利用事例を学ばせる。また、それを通して放射線利用が日常生活の中に深く浸透している事実や科学技術の発展と人間生活との多様なかかわりを認識させる。

概説 製造業での利用は医療、農業分野に比較して認知度が極端に低いが、クルマ、パソコン・ケイタイなど、放射線利用は日常生活のなかに深く浸透している。認知度が低い理由の1つは、完成品を構成する個々の部品の製造技術がブラックボックス化し、消費者が無関心であるからであり、もう1つは放射線を利用し製造していることを公にしたがらない製造者もいるからである。利用事例は、半導体製品、タイヤ、電線などの高分子材料、医療用具、食品包装材の滅菌、製造工程における品質管理、空港手荷物などの非破壊検査など、多岐にわたる。その経済規模は放射線利用の中で最も大きい。学術分野でも年代測定をはじめとするさまざまな高度な科学分析に広く利用されている。

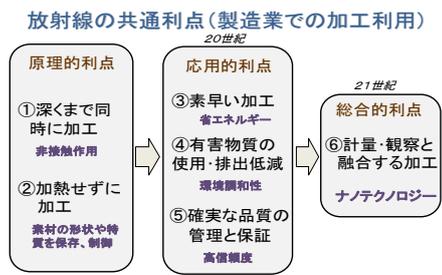
- 要点**
- ① クルマでは、薄い鋼板、タイヤ、電線、内装材などの製造に放射線が使われていることを認識させる。放射線がなぜ製造手段として適するのかについても関心をもたせる。高分子材料の加工における放射線利用の利点は、加熱しないので素材の形状や性質を変えないで済むことや化学物質を添加せずに意図する化学変化を起こせることも理解させることが望ましい。
 - ② パソコン・ケイタイを構成する半導体の高集積回路はその品質を決定づける鍵となる10万分の1ミリ程度の細い電子線を用いて加工されていることに関心をもたせる。こうした先端技術がナノテクノロジーの発展を支えている。(放射線による半導体加工は放射線利用の経済規模のなかで最大)
 - ③ 空港手荷物検査によるテロ防止に限らず、航空機、鉄道車両、自動車、パイプラインなどの目に見えない傷を調べる非破壊検査では、社会インフラの安全安心を保つための縁の下の役割を放射線利用が担っていることを認識させる。
 - ④ インフルエンザなどの感染防止のために注射器、ガーゼ、カテーテルなどの医療用具や食品包装材の滅菌がますます大切となっているが、放射線による滅菌はコストが高いが、その滅菌能力だけでなく、包装されたままで素早く処理できること、化学薬品を使う場合のように毒物が残留する可能性がないこと、品質保証が確かなことなど、最も信頼性の高い方法であることを認識させる。
 - ⑤ 放射線の利用は利便性と引き換えに、事業に伴う職業人と住民の放射線被ばくに関する安全管理や加工製品の品質管理が厳しく要求される。これらが実際にどのように管理され、安全性が確保されているかを認識するため、放射線利用施設を見学する。

発展学習

- ① 人間社会の営みの変遷は加工技術の進歩に大きく依存している。18世紀までの熱や自然光、19世紀の動力機械や化学処理による加工に加えて、20世紀の放射線加工がもたらした発展について調べる。
- ② 宇宙線の作用によって大気中でつくられる放射性同位体である炭素14を用いた遺跡や遺物の年代測定の原理を調べる。この超高精度の測定に加速器技術が重要な役割を担っていることを調べる。
- ③ 放射線実習と違って観察や実験を取り入れにくい放射線利用の学習については、放射線を利用している施設の見学が発展学習として効果的である。とくに、利用における安全性の確保が実際どのようなようになされているかを学ぶ貴重な機会である。

留意点

- ① 製造業における他の加工手段を比べたときの放射線加工の共通的な利点は、素早い加工、有害物質の使用・排出を抑制できること、及び容易な工程管理で確実な品質管理が出来ることである(右図)。
- ② 医療、農業、製造業分野で使用される放射線源には放射性同位体と加速器がある。現在の主役は加速器(X線発生装置を含む)である。加速器の場合は、放射性同位体を線源とする照射方式と違って、電源スイッチを切ることによって放射線の発生を直ちに停止できる。



学習指導事例 8**放射線利用④ 農業分野****(中学校、高校)**

ねらい 農業分野における放射線の利用事例を学ばせるとともに、国民の間で意見が分かれる食品照射のメリット及びデメリットを判断できる科学技術的な思考力を育成する。

概説 世界の食糧需給は人口増や気象変動によって厳しくなりつつあり、衛生的な食料を安定に供給することは世界共通の課題である。国際連合食糧農業機関(FAO)、世界保健機構(WHO)、及び国際原子力機関(IAEA)では食品の衛生、損耗防止等の対策の一つとして食品の放射線照射を推進している。現在、先進国をはじめ、世界の57カ国でさまざまな品目の食品の照射が許可されている。わが国では約30年前に発芽抑制と新鮮さ保持を目的としたジャガイモの食品照射が実用化され、現在でも照射ジャガイモの販売事業は継続している。しかし、消費者の一部から照射食品の安全性が疑問視され、それ以後は食品照射の許可について国は慎重な対応をとって現在に至っている。

もう一つの重要な利用事例として放射線育種がある。これは放射線照射を用いた植物の突然変異によって農作物を改良することが目的であり、作物もとの良さをそのままにして、耐病性などの形質をもたせることができる。台風強いイネや病気に強いナシをはじめ、わが国だけでも100品種以上の成功例がある。

要点

- ① 世界あるいは日本の食糧需給の厳しい現状と食品照射の目的を理解させ、食品照射に関して現状におけるメリットとデメリットを認識させる。
- ② 芽止めされた照射ジャガイモの店頭販売では、現在は放射線照射の表示が義務づけられている。消費者に対して流通段階での透明性が確保され、購入の選択は消費者に委ねられている。一方では照射ジャガイモを新鮮さゆえに好む消費者も表れ始めている。この状況について生徒に考えさせ、判断力を養う。
- ③ 放射線照射で改良された作物にどのようなものがあるか、また、どんな点が改良されたかを調べる。

発展学習

- ① 食品照射については、学術データをもとに安全性に問題がないと国際機関が宣言しても、それを信頼するかどうかについては、国民の間で価値判断が分かれている。そこには、科学技術に関わる不確実性や社会的なリスクをすべて回避できないという問題がはらんでいる。そういう状況下で意思決定できるのは、行政や専門家ではなく国民・市民による社会的合意でしかない。食品照射の問題を例にとり、科学技術の社会の関係、科学技術のリスク問題について科学的な思考力、判断力、表現力を育成するため、インターネット等を活用し探求させるとともに、発表させたり、社会参加できるようにする。
- ② 突然変異は自然の中でも誘発される遺伝子の変異であるが、遺伝子組み換えとの違いについて調べる。
- ③ 農作物の害虫退治によく使用される農薬の代わりに放射線を使った実例がある。大量に増殖した害虫ウリミバエの幼虫を放射線照射によって不妊化し、野山にその成虫を大量に放って沖縄地域のウリミバエの退治に成功した話である。この害虫退治になぜ放射線を選択せざるを得なかったかを調べる。



北海道士幌町のジャガイモ照射施設の内部



タイにおける照射ソーセージの販売風景

留意点

- ① 食品照射は「放射線」と「食」という国民的な関心の高い2つの安全問題が共存することに留意する。
- ② 日本を除くアジア諸国では食品照射及び照射食品の流通がかなり普及していることに留意する。

学習指導事例9

放射線の影響と安全性

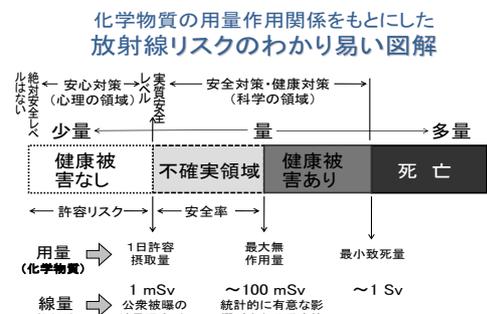
(中学校、高校)

ねらい そこに放射線があるかないかではなく、どれだけあるかということを知って、放射線のリスクを正しく認識し、適切に対応できる能力を身につける。

概説 大量の放射線量を被ばくした人の健康への影響は、身体的影響とその人の子供や孫に影響が現れる遺伝的影響とに分けられる。身体的影響には、放射線を受けて2、3か月以内に症状が出る急性障害及び数カ月から数年後に症状が出てくるガンなどの晩発性障害がある。急性障害では、一度に0.5シーベルト程度を全身に受けると白血球の現象がおこり、一度に4シーベルトを受けた人の半数は死亡する。原爆被災者を含めて、約0.1シーベルト以下の少量の放射線被ばくでは、晩発性障害を含めて放射線障害は統計学的に確認されていない。遺伝的障害は人間の場合これまでの調査で見出されていない。

要点① 放射線の危険性が無知であった時代には、キュリー夫妻をはじめ、多くの人々が放射線障害を受けたが、原爆被災者や職業的被ばくに関する疫学的調査、膨大な動物実験などにより、今では科学的解明が進んでおり、線量に応じて身体的なリスクをかなり正しく評価できるようになったことを認識させる。

② 放射線のリスクの大きさは線量に依存する。線量という物差しに沿ってリスクを正しく理解させるため、白(=健康被害なし)でも黒(=健康被害あり)でもない不確実な灰色ゾーンの存在を認識させる。食品添加物や農薬のような化学物質の暴露あるいは摂取では、用量と人体への作用の関係を通してリスクの大きさを右図のように説明できる(*)。放射線の場合、この関係は線量(シーベルト)と健康への影響の関係に相当する。右図の化学物質の用量と作用の関係をもとにして、放射線の場合にも適用してみると、右図の下ようになる。それ以上では健康への影響が表れる最大無作用量である線量値(統計的に有意な影響が顕れる限度値)を科学的に示すことがリスク評価であり、それをもとに、



それ以下では健康被害がない線量の実質安全レベルを定めて、実行するのがリスク管理である。公衆被ばくの年間の線量限度である1ミリシーベルトをたとえ超えても、すぐに健康被害が表れるわけではないことも理解させる。

*唐木英明：「食の安全と安心の違い」平成16年度食の安全都民フォーラム(2006)

③ 放射線が存在するとき、放射線から身体を防護する方法について調べ、防護についての理解を深める。

発展学習

① アルコール、食塩、くすりなどの日常的に摂取する物質では、一日摂取量の数倍～20倍程度を一度に取ると、人は死ぬこともある。しかし、放射線は公衆被ばくの年間の線量限度の1000倍以上を一度に受けないと死ぬことはない。しかし、放射線はアルコールや食塩よりも怖がられているように、主観的なリスクは客観的なリスクと異なる。なぜそうなるのか、日常生活の身近な例を探してみる。

② 多量ならば有害なのに、少ない放射線量では有益であるというホルミシス効果について調べる。

留意点

① 同じ放射線量を受けても、それを短時間に受けたときよりも、長い時間にわたって受けたときのほうが回復が十分におこるので影響が少なくなる。つまり、線量率(単位時間当たりの線量)が低いほど、人体への影響は小さい傾向がある。逆に、大量の放射線を一度に受けたときは回復せず、障害が現れる。

② 放射線は電離作用等によって生命現象のすべての情報をもつDNA分子が切断するなどの損傷が起きる。DNAの殆どの傷は防御機構によって修復されて細胞の働きが正常化し、組織や臓器の機能は回復するが、一部の修復しきれないDNAによって細胞に異常が発生し、組織や臓器に放射線障害が起きる。

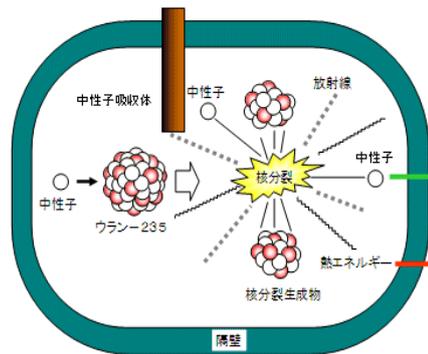
③ 35億年前に生命が誕生した頃の地球表面における放射線レベルは、今よりずっと高かった。生物進化の過程で放射線などの様々な悪影響に対して生物は有効な防御機構を発達させてきた。そうした防御機構によってわれわれが現在こうして存在していることを認識させる。

学習指導事例 追加1 放射線とエネルギー (主に高校)

ねらい 放射線がいろいろなエネルギーの一つであるという認識をもとに、放射線学習のエネルギー及びその変換とのかかわりを学ぶことによって、放射線の学習をエネルギー学習のなかに位置づける。

概説 放射線は多くのエネルギーのうちの1つである。したがって、放射線利用も広義のエネルギー利用と言える。原子力発電では、核分裂で生成した放射線のエネルギーを物質原子との摩擦を利用して熱エネルギーへ変換し、さらにそれを電気エネルギーに変換している。原子力発電を含めて、放射線の作用はエネルギー変換(⇒熱、化学エネルギー等)の1つの形態であると理解できる。放射線エネルギーが物質中の着目要素に移動した量を表す放射線の単位が吸収線量である。移動したエネルギーの大部分は熱エネルギーになるが、一部が化学反応などに費やされ、放射線による化学、生物効果あるいは生命体への影響となって表れる。吸収線量は物体の着目要素におけるエネルギーの変換量を表している。加速器は電気エネルギーから放射線エネルギーへの変換装置であると言える。

- 要点**
- ① 原子力発電の原理に関する教科書等での説明において、ウランの核分裂による大きな熱エネルギーの放出が中性子と核分裂生成物の発生とは独立に起きているのではないかと誤解を生むような説明がよくされている(下図参照)。核分裂で発生する中性子と核分裂生成物は高いエネルギーをもつ粒子放射線であって、その放射線エネルギーが熱エネルギーに変換されることを正しく理解させる。
 - ② 放射線一つ一つのエネルギーを表すのに、電子ボルト(eV, エレクトロン・ボルト)という単位が使われている。この単位の理解のもとに、1MeVの放射線の全エネルギーが1ジュールであるとする、放射線が何本になるかを計算させる(1eV=1.6 x 10⁻¹⁹ ジュール)。
 - ③ ジャガイモの発芽を防止することで収穫後の保存期間を延長するため、吸収線量の最大許容値150 Gyのガンマ線照射がわが国で実施されている。照射中の放熱を無視できると仮定すると、照射によるジャガイモの温度上昇はどの程度かを計算させる。簡単のためにジャガイモを水と等価な物質として扱うものとする。



誤解を招く実例としての原子核分裂によるエネルギー発生原理

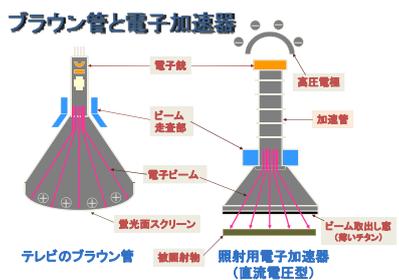
発展学習

- ① 電気エネルギー、力学的エネルギー、原子核分裂によるエネルギー発生原理、放射線エネルギーを位置づけ、これらの間でのエネルギー変換模式図をつくる。放射線エネルギー、電磁波エネルギー、熱エネルギーに加えて、電磁波・光・放射線エネルギーとした場合、どのようなエネルギー変換が新たに追加されるかを調べる。自然放射線だけでなく人工放射線も含めて考える。
- ② X線発生装置や加速器などの人工放射線源を対象に、加速粒子、加速エネルギー及び加速電流を調べ、それらをもとに、電気エネルギーから放射線エネルギーへの変換効率を調べる。

留意点

eV(エレクトロンボルト)単位で表わされるエネルギーの微視的な概念とエネルギー資源で代表される巨視的な概念を正しく使い分けられるように指導する。

学習指導事例 追加2	放射線と加速器	(高校)
<p>ねらい 荷電粒子と真空についての基礎知識をもとに、加速器の簡単な原理を理解させる。人工放射線源としての加速器が果たした役割を科学技術の発展と人間生活のかかわりの広い視野から認識させる。</p>		
<p>概説 加速器は原子力エネルギーの学習のなかでは扱いが明示されていないので、学校教育ではほとんど触れられてこなかった。高校理科の新学習指導要領でも、人工放射線の主要な発生源としての、あるいは科学や技術の発展の道具としての加速器が明示されていない。しかし、中学校で放射線が復活するこの機会に、放射線利用に関連して加速器についても触れておくのが今後の新しい流れであると考えている。加速器は電気を帯びた粒子を高い運動エネルギーをもつ高速粒子まで加速して何らかの目的に利用するシステムである。ノーベル賞を目指すような物質の究極を解明する研究に使用する巨大な装置を加速器についてイメージされる場合も多いが、実際の加速器は多種多様であり、半導体微細加工も含めて普及度の高いものは医療・産業用として使われている小型の加速器である。</p>		
<p>要点</p> <ol style="list-style-type: none"> ① レントゲンがX線の発見する道具立てとなった高電圧装置付きの陰極線管(クルックス管)は加速器のルーツとみなせる。19世紀における電気・磁気技術や真空技術の発展が加速器を登場させる土台となった。 ② 電気を帯びた粒子を真空中で加速するには高い電界が必要である。加速電界には静電界と高周波があり、前者を用いる加速器にはコッククロフト・ウォルトン型やバンデグラーフ型の加速器、後者を用いる加速器には、直線状のリニアック、ビーム軌道が円状のサイクロトロンやシンクロトロンなどがある。 ③ 加速器はその種類、大きさがさまざまである。物質や宇宙の謎を解明する研究に使用する巨大な装置から19世紀の陰極線管に先祖帰りしたような卓上の超小型のものまである。 ④ 製造業、農業、及び医療分野での放射線利用には、加速器、放射性同位体、原子炉などが使われているが、利用の経済規模では加速器の利用が放射線利用の大部分を占める。 		
<p>発展学習</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 加速器を用いて放射線利用の研究や事業を行っている施設を見学する。それによって放射線の管理が実際にどのように厳しくなされて、安全が確保されているかを実感させる。 ② 運動、位置、電気、化学等の様々なエネルギーに放射線エネルギーを加えて、様々なエネルギー利用を対象にエネルギー変換の模式図を作成してみる。放射線を光や電磁波のエネルギーに含めて、光・電磁波・放射線エネルギーとして扱うこともできる。 ③ 20世紀の科学や技術の発展に加速器の利用がどのように関わってきたかを調べる。 ④ わが国の科学者を含めて、ノーベル賞に加速器や放射線がどのように関わってきたかを調べる。 ⑤ 加速器を用いた放射線利用は、放射光、レーザー、中性子線等の利用開発へと発展しており、21世紀の先端科学技術の一分野として進められているが、それらの研究が人間生活にどのように関わっているか調べる。 		
<p>留意点</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 加速器の名称の起源については、加速した原子核(イオン)を原子核に衝突させ、初めて人工原子核反応を起こした装置に与えられた歴史がある。しかし、原理的には原子核反応にこだわる理由はない。 ② X線発生装置は高電圧で加速した電子線を重金属板に当てることによってX線を発生する装置であるので、広くは加速器の範疇に含めるべきである。その意味では、ブラウン管、電子顕微鏡、半導体製品の製造に使用する電子線マスク描画装置も原理的には加速器である(右図参照)。 ③ 加速器は多種多様、大小様々で、十把ひとからげに扱えないところに扱いの難しさがあることを留意する。 ③ エネルギー変換の視点から見ると、加速器は電気エネルギーを放射線エネルギーに変換する装置である。 		



本冊子の制作は、平成20～22年度文部科学省公募プロジェクト「原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ」の公募テーマ「原子力に対する信頼醸成のための社会的アプローチ」に応募し採択された研究課題「学校教育現場との対話に基づく原子力・放射線学習プログラム開発」（研究代表者：北海道大学大学院工学研究科杉山憲一郎教授）からの再委託により、NPO法人放射線教育フォーラムが「放射線のリスクと利用の学習プログラム開発」のサブテーマ「小、中、高等学校用学習プログラム開発」の中で実施されたものである。

冊子の原稿の執筆と編集作業は、NPO法人放射線教育フォーラムの理事長松浦辰男を主責任者とする、放射線教育指導資料作成グループが作業にあたった。第1部は平成20年度に主に中学校の教員のために作成した「放射線・放射能の基礎」（2009年3月発行）を基礎として、笹川澄子、朝野武美、工藤博司、大野新一、河村正一、田中隆一、金子正人、長谷川罔彦、黒杭清治、播磨良子ら（いずれもフォーラムの幹部会員）による原稿の分担執筆や既存原稿への修正意見の提案という協力を得て松浦が編集を担当し、第2部と第3部は森千鶴夫と田中隆一が執筆をそれぞれ担当した。（なお本冊子の内容は、放射線教育フォーラムのホームページで公開しているが、今後も内容を追加・修正する可能性があり、変更のつどホームページにおいて公開する予定である。

編集責任者は、制作を進める過程で高いご関心とご協力を賜った指導書執筆グループメンバー、外部の専門委員会メンバー、及び多くのフォーラム会員各位に深く感謝する。また、アンケートの回答を通じてこの冊子の内容について有益なご意見を賜った多くの学校教員各位に対しても心から感謝する。

(松浦辰男)

放射線学習指導資料

— 中学校・高等学校における放射線に関する学習指導の手引き —

(改訂版)

発行 NPO 法人放射線教育フォーラム
編者 放射線学習指導資料作成グループ
代表 松浦辰男
発行日 2010年7月

NPO 法人放射線教育フォーラムの連絡先
〒105-0003 東京都港区西新橋 3-23-6 第一白川ビル 5階
電話：03-3433-0308 FAX：03-3433-4308
E-mail：mt01-ref@kt.rim.or.jp