

現在の理科教育における放射線の取扱いの研究

A study on the treatment of radiations
in the present science education

山 根 悠 希

松 崎 昌 之

Yuuki Yamane

Masayuki Matsuzaki

福岡教育大学大学院教育学研究科

福岡教育大学理科教育講座

物理学教室

(平成25年9月18日受理)

概要

放射線教育に関する中学校学習指導要領, 現行教科書, 副読本の内容を整理し, その中での問題点を指摘した後, 望ましいと考えられる学習事項を考察する。5社の教科書の記述内容の比較表を付録に示す。

I 序論

2011年3月11日, 東日本大震災の影響により福島第一原子力発電所事故が発生し, 多くの放射性物質が漏れ出る被害が出た。この事故を機に, 放射線や放射性物質に関する国民の関心が高まったことは事実である。だが, 放射線や放射性物質に対して正しい知識を十分に得られているとは考えにくいのが現状である。実際の報道でも, 間違って報道されている部分は少なくない。重要なことは, 多くの情報から正しい知識を選択して得ていくことである。その第一歩として, 中学校教育に着目する。

平成20年改訂の中学校学習指導要領[1]には, 放射線に関する教育が追記されており, 平成24年発行の中学校理科の教科書[2-6]には, 本格的に放射線に関する記載がある。このように義務教育として放射線教育が追加され, これから教育を受ける全員が正しい知識を身に付けることにより, 風評被害が少なくなると考えられる。だが, 現在の教科書や学校等で配布される文部科学省発行の副読本[7]では, 内容が不十分であるとともに, 発行会社により内容が大幅に異なっている。

そこで本論文では, 現在発行されている教科書, 副読本を分析し, どのように中学校の理科教育における放射線教育を行えばよいか, 実際に教科書に何を記載すればよいかを考察する。

II 本論

1. 教科書, 副読本の内容

1-(1) 中学校学習指導要領の内容と必修事項

放射線教育を考えるには, まず平成20年に改訂された中学校学習指導要領を見なければならない。その中で, 放射線に関する記述は, 1分野(7)「科学技術と人間」のA「エネルギー」の(イ)「エネルギー資源」に記載されている。そこには, 「人間は水力, 火力, 原子力などからエネルギーを得ていることを知るとと

もに、エネルギーの有効な利用が大切であることを認識すること。」とあり、内容の取扱いとして(8)のイに「アの(イ)については、放射線の性質と利用にも触れること。」とある。また、解説理科編には「原子力発電では、ウランなどの核燃料からエネルギーを取り出していること、核燃料は放射線を出していることや、放射線は自然界にも存在すること、放射線は透過性などをもち、医療や製造業などで利用されていることなどにも触れる。」とある。

上記を踏まえると、放射線教育において、必ず教えなければならない事項(必修事項)は以下の通りであると考えられる。

- ①放射能, 放射線, 放射性物質の違い
- ②放射線の発生(崩壊), 種類(α 線, β 線, γ 線, X線等)
- ③放射線の性質(透過性, 電離作用)
- ④放射線の有用性, 危険性
- ⑤放射線の単位
- ⑥自然界における放射線

1-(2) 現在発行されている教科書の内容

1-(1)を踏まえて、現在発行されている教科書の内容をしてみる。5社(東京書籍・啓林館・大日本図書・教育出版・学校図書)の教科書を参照し、その内容を表にまとめている(付録資料)。また、その概略は以下の通りである。

(i) 原子力発電の仕組みについて

- ・核燃料(ウラン)を核分裂させる際に出る熱(エネルギー)で、高温・高圧の水蒸気を発生させ発電。
- ・核燃料は、少ない量で石油の燃焼より大量のエネルギーを発生。また、発電過程での二酸化炭素排出量が少ない。
- ・問題点として、ウラン採掘量には限りがある(約100年)、放射線が内部で発生している、万全の管理体制をしなければならない、放射性廃棄物が生じる、など。
- ・原子力発電のエネルギー変換について、またはその内部構造の図解。
- ・日本での年間の発電量。原子力発電は約26～29%と記述。
- ・核エネルギーの発生について。(原子核の反応の図解)

(ii) 放射線について

- ・放射線と放射能, 放射性物質の違いについて
- ・放射線の種類について(α 線, β 線, γ 線, その他X線など)
- ・放射線の透過性について(α 線, β 線, γ 線)
- ・自然放射線を常日頃から浴びて生活していること。
- ・大量に浴びると、細胞・DNAが損傷し、死に至る可能性がある、または、影響があること。
- ・放射線の日常生活での利用。(医療, 工業, 農業など)
- ・放射線を浴びることで起こる人体への影響。(線量はSv(及び, mSv)で表現)
- ・放射線の発見の経緯。

1-(3) 文部科学省発行の副読本の内容

現在、教科書の他に、文部科学省から発行された副読本がある。この副読本は生徒への配布を目的として作成されたもので、実際に配布している学校もある。また、この副読本は、原子力発電所事故以前に作成されているが、内容があまりにも偏っているものであったため、事故後、再編集された。その編集された内容は以下の通りである。

- ・放射線の利用について(放射線の不思議な世界…「放射線は身近な分野で利用」)
- ・自然放射線について(「太古から自然界に存在する放射線」…宇宙, 大地, 空気, 食物)
- ・放射線とは(原子と放射線について, 粒子線と電磁波, 放射線の性質)
- ・放射線, 放射能, 放射性物質の違い
- ・放射線の透過性について

- ・放射線の単位（説明：ベクレル，グレイ，シーベルト）
- ・放射能の半減期について
- ・放射線測定器について
- ・放射線の発見，歴史について
- ・放射線による影響（内部被ばくと外部被ばく，放射線から身を守る方法）
- ・放射線量と健康の関係（がんなどの発生について）
- ・放射線利用について（医療，工業，農業など）
- ・放射線の管理・防護（モニタリング，防護，避難等）

1-(4) 原子力発電の内容の取扱いについて

1-(1)で挙げた必修事項と(2)の教科書の内容では，放射線と原子力発電との関連性が，(3)の副読本の内容では，原子力発電の内容自体が，非常に欠落していると考えられる。(1)の学習指導要領にもあるように，放射線分野は，「エネルギー資源」分野の中に位置づけられており，原子力発電と放射線は切り離して考えることはできないと考えられる。原子力発電所事故が起こった今現在としては，なおさらである。上記で述べた学習指導要領は原子力発電所事故以前に改訂されたものであり，原子力発電所事故の内容は考慮しなくてもよいことになっている。だが，序論でも述べたように，追加される放射線教育にとって，原子力発電所の事故は関連性が非常に高いと考えられる。よって，1-(1)の必修事項には，「⑦原子力発電所の仕組み，種類，事故」も含まれるべきである。

2. 問題点

2-(1) 中学校学習指導要領の問題点

中学校学習指導要領の問題点として考えられるのは以下の通りである。

- ・放射線の持つ特徴・危険性などについて，何を指導すべきなのか具体的には示されていない（明確に義務付けていない）ため，各教科書会社，各現場の教師に任せきりな部分がある。
- ・原子力発電について，福島第一原子力発電所事故は，指導要領改訂後の出来事なので記述がないのは当然だが，チェルノブイリ原子力発電所や東海村 JCO 臨界事故等に触れる必要がある。

2-(2) 現在発行されている教科書の問題点

現在発行されている教科書の問題点として考えられるのは以下の通りである。

- ・放射線の危険性に対する記述が少ない。出版社によって記述はあるものの重要視されていない。
- ・原子力発電所の仕組みについて，沸騰水型と加圧水型があることを記述している教科書が少ない。
- ・原子力発電所事故の記述がない。1社だけあるが，注釈で紹介されている。チェルノブイリ原子力発電所事故などについての記述は必要である。この5社の教科書は，いずれも検定は平成24年2月なので，福島原子力発電所事故の記述は間に合わなくはないはずである。
- ・放射線の発生元，原子核の崩壊についての記述が少ない。放射性同位体，半減期など，特徴的な性質などに触れている教科書が少ない。
- ・放射線の持つ危険性，特に外部被ばく（X線， γ 線など，透過性が高い放射線での被ばく）と内部被ばく（ α 線， β 線など，食物に付着しやすい物質から出る放射線からの被ばく）などの被ばくの種類についての記載がない。
- ・放射線の利用例について，「ジャガイモに放射線を当てて長期保存する」というものが2社で紹介されていたが，ジャガイモの放射線照射は日本政府では認められているものの，照射が認められているのはジャガイモくらいである。（外国では他の食品も認められている。）また，この照射ジャガイモは，動物実験で遺伝毒性があるのではとの見解もあり，国民からは反対運動も出ている。加えてこの場合の γ 線照射と，内部被ばくを起こす放射性物質の付着が混同される虞もある。これらの理由から，この例を出すのは適切とはいえない。
- ・放射線の人体への影響を図式化している教科書会社も多いが，人体への影響といいながら，健康被害

についてくわしく記述していない。健康被害（がんの可能性など）も記述すべきである。

- ・放射線の透過性について、紙・木の板・鉛の板を例に挙げた図で説明している教科書があるが、人体ではどのくらい透過するのかが実際にはわからない。

上記のように、全体的に放射線を肯定的に捉える記述、「放射線＝安全」とも取れる内容が見られる。特徴や利用用途などは中立的、客観的に詳しく記述されているところも多い。だが、原子力発電については事故の記載がない。火力よりも原子力の方がよいと読み取れる内容の教科書もある。また、教科書会社によって、内容の濃さ、ページ数にかなりのばらつきがあり、発展で取り上げているところもあれば、本文中で記述しているものもある。特に、発展で取り上げられると、子どもたちの学習内容の理解及び、教員の授業での扱いに差が出る可能性があると考えられる。

2-(3) 文部科学省発行の副読本の問題点

文部科学省が発行した副読本についての問題点は以下の通りである。

- ・原子力発電についての記述、福島第一原子力発電所事故の記述が全くない。事故後に副読本を改訂した意味がないといえる。原子力発電と放射線は、いまや分けて考えることができないため、関連性を持たせながら記述すべきである。また、原子力発電所事故等の記述はない一方で、放射線から身を守る方法を記述していることに関して矛盾を感じる。
- ・放射線の透過力の説明があるが、人体ではどの程度透過するのか、またその際に起こる影響については記述がない。
- ・自然界から受ける放射線については、宇宙や、大地などからと記述されているが、原子力発電の建設・稼働によって漏れ出る放射線や放射性物質で、年間被ばく量がわずかに増加する。このようなことも考慮に入れるべきと考えられる。
- ・放射線は、主に自然放射線と人工放射線に分けられるが、自然放射線については避けることが非常に難しいため、なるべく人工放射線を避ける必要がある。（不要な放射線被ばくはないに越したことはない。）だが、日本は医療被ばくが世界トップである。日本人のがんの3.2%は医療被ばくによると言われている。このようなことも事実として記述すべきである。その際の、リスクとベネフィットに関して、説明を行うべきである。
- ・低線量被ばく（年間100mSv以下）について、健康被害は解明されていないだけで、影響がないかどうかはわからない。記述の仕方に語弊を生む可能性がある。また、100mSvの放射線被ばくによる発がん増加率0.5%となっており、軽度視する記述がなされているが、1000人中5人の増加率は軽度視できない。
- ・放射線の特性・性質については中立的に、良く記述されているが、危険性、生物への影響については記述が少ない。
- ・リスクとベネフィットについてよく考慮されていない。
- ・中学生用の副読本と高校生用の副読本は、さほど差異がない。原発事故後、放射線分野に対する関心が高まっており、特に福島県付近の住民の子どもたちの関心は高いだろう。高校物理では、崩壊等も学習するため、中学校の学習内容よりもさらに発展的な内容に触れるべきである。（放射線の発生と放射性同位体、放射線と細胞の回復作用等）
- ・成長期である子どもたち、および胎児などが、放射線の影響を多く受けることを重点的に記載されていない。放射線被ばくを受けやすいのは、細胞分裂が活発なところであり、したがって、子どもたちは影響を受けやすい、ということに記載すべきである。

まず、原子力発電所事故（福島・チェルノブイリ等）に関する記述が全くない。なお、事故後の人体への影響に関する資料等も皆無である。怖がらせるためではなく、事実として知っておくべきである事項である。事故の概要・経過・反省点、及び生物への影響、これからの各自の行動の仕方など、子どもたちが理解しやすい形で記述すべきである。また、放射線について、特徴・性質はよく記述されているが、要所で肯定的に捉えやすい表現を使用している。副読本作成の目的、「なぜ、今現在放射線についての知識が子どもたちに必要なのか」が明確でなく、中立的立場での記述、学習目的を軸に置いた資料作成が欠落していると思われる。

3. 必修事項、及び問題点を踏まえた学習事項の考察

必修事項、及び問題点を踏まえて、さらに教科書にどのような項目を記載していけばよいか考察する。

3- (1) 放射線の発生と人体への影響

1- (1)の必修事項及び、(4)を考える際、原子力発電とその事故との関連性を重要視すると、原子力発電の発電原理（核分裂）、放射線の物理学的な発生機構及び、化学反応、生物学的影響を考える必要がある。

まず、放射線を学習するにあたっては、その発生から学習するべきである。放射線とは一般に電離性放射線のことを指す。放射線の種類には、主に α 線、 β 線、 γ 線、X線、中性子線等があることは知られている。 α 線は α 崩壊（原子核から陽子2個中性子2個のヘリウム（He）原子核が放出される）により放出されるHe原子核、 β 線は β 崩壊（1個の中性子が陽子に変化し、原子核から電子と反ニュートリノが放出される）により放出される電子、 γ 線は γ 崩壊（ α 、 β 崩壊直後の励起状態の原子核から安定化のために波長の短い電磁波が放出される）によって放出される波長の短い（エネルギーの高い）電磁波である。X線も波長の短い電磁波であるが、 γ 線と異なり、原子核外の電子の運動によって発生する。 α 線、 β 線、 γ 線の発生は、原子核の構造と安定性に着目しなければならない。よって、学習を進めていくには、原子核の構造を学習しておく必要があると考えられる。

原子核は、陽子と中性子で構成される。陽子の数が原子番号であり、この番号で元素記号が決まる。核内の粒子の総数、つまり、陽子と中性子の総数が質量数となる。陽子と中性子の数により核種が決定する。だが、原子核には中性子の数が異なる同位体があり、この同位体のうち一部が放射線の発生元となる。例えばセシウム（Cs、陽子数55）の同位体は、 ^{133}Cs （中性子数78）、 ^{134}Cs （中性子数79）、 ^{135}Cs （中性子数80）、 ^{137}Cs （中性子数82）があるが、 ^{133}Cs は時間がたっても変化しないため安定同位体、 ^{134}Cs 、 ^{135}Cs 、 ^{137}Cs は崩壊を起こして放射線を出すので放射性同位体という。この放射性同位体の原子核はエネルギーの高い不安定な状態にあり、放射線を放出してより安定な原子核となるまで崩壊を繰り返す。原子力発電所事故後、セシウム137、ヨウ素131などの言葉をよく耳にしたと思うが、これらが放射性同位体であり、これらの物質が空气中に放出されたことで放射線を浴びることとなった。

よって、この学習を踏まえたうえで放射線の学習を進めていくことが重要と思われるが、中学校の化学分野では、原子の構造までは学習しないため、年間の授業時間数、全体の学習内容を考慮すると非常に困難である。

次に、放射線が発生して、人体に影響が出るまでの機構を考える。物理的特性として、放射線は紫外線や化学物質と異なってエネルギーを原子・分子に直接無差別に与えるが、時間が経過するにつれて系の応答は原子、分子、生物分子、細胞、個体の順に現れてくる。第1の物理的過程は 10^{-15} 秒未満、第2の物理化学過程は約 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ 秒、次に、生化学的過程、生物学的過程へと移るが、数秒～数時間を要する。その生物学的過程（生物体の代謝が介在する過程）において、生物分子の不活性化が、損傷に進展するか修復するかはその系の状態に左右される。目に見える損傷として、細胞分裂の遅れ、細胞死、異常細胞の増殖が数時間から数日にわたって現れる。また生殖細胞に誘発された突然変異は後の世代に遺伝的影響を与える可能性がある。

3- (2) 食品と放射線

実際に、食物などを摂取した場合の実効線量、及び基準を考える。

厚生労働省は2011年3月17日、食品の販売や加工などを禁止する放射線量の暫定的な基準値を初めて策定した。そこでは原子力安全委員会が原子力災害用に定めた「飲食物摂取制限に関する指標」を採用している。これにより生産者などは基準値を上回る食品の販売や加工などが食品衛生法に基づき禁止される。基準値は半減期が約8日の放射性ヨウ素の場合、飲料水や牛乳、乳製品は1kg当たり300Bq、乳児用調製粉乳は同100Bq。根菜や芋類を除く野菜類は同2000Bq。半減期が約30年の放射性セシウムは牛乳などが同200Bq、野菜類や穀類、肉、卵、魚などが同500Bqとされている。その後、改めて基準値として示されたのが下の表である。

食品区分	放射性セシウムの基準値 (Bq/kg)
飲料水	10
乳児用食品	50
牛乳	50
一般食品	100

放射性セシウム以外の放射性物質の量はかなり少なく、最も測定しやすい放射性セシウムの量を基に他の放射性物質の量も推定し、すべての放射性物質からの内部被ばくの寄与を考慮する工夫をして基準を作成している。副読本等では、この基準値を基に、食品の放射エネルギーの目安を、単位を Bq/kg として示している。

だが、この基準値は、あくまで摂取前の食品に含まれる放射エネルギーに対するものであって、実際に人体に食物を摂取した際の被ばく量の直接の指標とはなり得ないと考えられる。食品業者はこの基準値を使用するが、各個人が知りえる範囲ではこの基準値を紹介されても、実際にどのくらいの食品を摂取するとどのくらい被ばくするのかが明確になっていない。そこで、食品等を摂取した際に浴びる実効線量を知る必要がある。

実際に変換する方法は以下の通りである。Bq/kg を Sv に変換する際には、主に 5 つの項目が必要である。その 5 つとは、・核種・年齢・摂取方法（経口、吸入）・摂取量（Bq 量）・種々の機関（原子力安全（規制）委員会、ICRP Publication72, ECRR Recommendation）によって定められた実効線量係数である。各機関の実効線量係数は、前の 4 項目を考慮している場合が多いので、基本的に実効線量係数を基に変換される。例えば、実効線量係数（換算係数） 0.000016mSv/Bq のとき、 300Bq/ 単位量の放射性物質を含む食品を 1 つ摂取すると実効線量は 0.0048mSv となる。

Ⅲ 結論

本論 1, 2, 3 を踏まえて、実際にどのような順序で教科書を記載していけばよいのかを検討すると、おおよそ以下の通りになると効率のよい学習が可能であると考えられる。

①原子力発電について

原子力発電については、はじめに仕組みを火力発電、水力発電とともに紹介し、その中で、メリット・デメリットを述べる。このとき、仕組みには 2 通りあることも記載する。この延長線として、ウランの可採年数、現在の発電量の割合などを記載する。また、福島第一原子力発電所の事故の原因、安全面への配慮、現在の情勢（廃炉等）、また経済面にも多少触れる必要があると考えられる。

②原子力発電と放射線について

原子力発電所の記載の後に、原子炉内で起こっている核分裂反応の紹介を行い、その過程で放射性物質が発生すること、放射性物質は放射線を出すことを記載する。これを踏まえた上で、放射線の学習を行うことを考慮すべきである。

③放射線について

原子力発電と放射線のつながりを②で記述した後、実際に放射線の学習に入るべきである。放射能・放射性物質・放射線の違い、放射線の発生、放射線の種類、性質（透過性、電離作用）を、図を用いて説明する。放射線の発生は、原子核の説明から始めることは非常に困難なため、簡易的な説明を、図などを用いて行う。また、生体細胞の回復作用等も紹介する。

④放射線の単位

放射線には単位がいくつも存在するが、ベクレル (Bq)、グレイ (Gy)、シーベルト (Sv) の説明を行い、違いをはっきりさせるようにしておく。単位の変換も紹介しておく。

⑤放射線の利用

放射線は危険なものであるが、様々な箇所で利用されていることを紹介する。このとき、放射線が当

たった物が、必ずしも放射性物質になるわけではないことを説明する必要がある。

⑥放射線の危険性

ここで、福島第一原子力発電所の事故による放射性物質、放射線の被害等を紹介し、放射線は便利な反面、危険なものであること、使用には細心の注意を払う必要があることも記述しておく必要がある。

⑦自然界の放射線

ここでは、自然界にも放射線は存在していることを説明する。このとき、宇宙・大地・大気中から放射線を浴びているだけでなく、原子力産業による影響もあること、自然放射線ではないが医療でも少なからず被ばくしていることなども挙げる。また、放射線の測定方法、実際に不可視の放射線を可視化する実験の紹介を行う。例えば、霧箱を用いて放射線を可視化する実験など。実験方法、仕組みや原理を学習することで理解が深まるであろうと考えられる。

⑧放射線と上手に付き合うためには

正しい情報を正しく判断していく力が必要であることを記載することで、放射線の間違った認識、及び風評被害の改善を図ることも考慮すべきである。

以上のように、放射線の学習の必要性、今現在、事故を踏まえて子どもたちが学習しなければならない事項を記載し、いわゆる「人災」を少しでも是正し、正しい判断ができる人を1人でも多く育てることが、放射線教育を通した理科教育にとって重要である。また、これから、人々と原子力発電、放射線がうまく付き合えるような社会を目指し、築き上げていくことが、今後の課題であると考えられる。

本論文の執筆にあたり、文献[8-16]を参考にした。

参考文献

- [1] 文部科学省「中学校学習指導要領」,「中学校学習指導要領解説理科編」
- [2] 細矢治夫他「自然の探究 中学校理科3」教育出版
- [3] 有馬朗人他「理科の世界3年」大日本図書
- [4] 塚田捷他「未来へひろがるサイエンス3」啓林館
- [5] 岡村定矩他「新しい科学3年」東京書籍
- [6] 霜田光一他「中学校科学3」学校図書
- [7] 文部科学省「知ることから始めよう放射線のいろいろ 中学生のための放射線副読本」,「知ることから始めよう放射線のいろいろ 高校生のための放射線副読本」
- [8] 福島大学放射線副読本研究会「放射線と被ばくの問題を考えるための副読本[改訂版]」
- [9] 吉井義一「放射線生物学概論[第3版]」北海道大学図書刊行会
- [10] 安斎育郎(監修), 市川章人, 小野英喜「「ふしぎ」を科学しよう 普及版 フクシマから学ぶ原発・放射能」かもがわ出版
- [11] 多田順一郎「わかりやすい放射線物理学[改訂2版]」オーム社
- [12] 田崎晴明「やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識」朝日出版社
- [13] 「理科教室」2012年12月号 科学教育研究協議会/日本標準
- [14] 「科学」2012年10月号 岩波書店
- [15] 森内和之「放射線ものがたり」裳華房
- [16] イーヴァン G. ドウラガーニック他「放射線と放射能 宇宙・地球環境におけるその存在と働き」学会出版センター

各社教科書の内容比較（教科書本文より抜粋）

出版社名	啓林館	東京書籍	学校図書	教育出版	大日本図書
教科書名	未来へひろがるサイエンス 3	新しい科学 3 年	中学校科学 3	自然の探究 中学校理科 3	理科の世界 3 年
核 エ ネ ル ギ ー	原子核の反応（核分裂など）で得られるエネルギーを核エネルギーという。原子力発電は、核エネルギーを利用して水を加熱して水蒸気を発生させ、発電機のタービンを回す仕事をしている。				一つの原子核が二つに分かれることを核分裂という。核分裂で生じるエネルギーは核エネルギーといい、燃焼などの化学反応とはまったく異なるしくみで発生する。たとえば、炭素を燃やすと、 $C + O_2 \rightarrow CO_2$ という反応により、固体だった燃料（C）が気体（CO ₂ ）に変化するとともに熱エネルギーが生じる。このとき、炭素（原子番号 6）や酸素（原子番号 8）などの原子は変化しない。一方、原子番号 92 のウラン原子の核分裂では、原子がほぼ半分に「割れ」て、ストロンチウム、ヨウ素、キセノン、セシウム（それぞれ原子番号 38, 53, 54, 55）など、まったく別の種類の原子に変化し、このときに化学反応よりもはるかに大きなエネルギーが生じる。
仕 組 み	原子力発電ではウランなどの核燃料の原子核が分裂するときに出るエネルギー（核エネルギー）を熱エネルギーとして利用している。	しくみ・核分裂反応で発生する熱で水蒸気をつくり、タービンを回して発電する。	原子力発電は、原子炉の中でウラン原子を核分裂（① 原子は、原子核と電子からできている。ウラン原子など一部の原子は、原子核が分裂して大量の熱を放出する。これを核分裂という。）させたときに、出る熱で高温・高圧の水蒸気を発生させ、その力で発電機を回す方法である。	核分裂という反応によって得られる熱エネルギーを利用して発電する方法を原子力発電という。原子炉のなかで、ウランなどの核燃料に核分裂を起こさせて（※ 1：核燃料として使われるのは天然に約 0.7% ふくまれるウラン 235 とよばれるもので、このウラン 235 に中性子を衝突させると、より小さな原子 2 個に分裂する（核分裂）。このとき、エネルギーとともに中性子が放出され、その中性子がほかのウランに衝突することで、反応が連鎖的に起こる。）高温・高圧の水蒸気をつくり、その水蒸気の力で発電機のタービンを回して発電する。	原子力発電では、ウラン原子が核分裂して出すエネルギーで水を加熱して高温の水蒸気をつくり、発電機のタービンを回す。
原 子 力 発 電	原子力発電では、少量の核燃料から大量の電気エネルギーが得られ、二酸化炭素は発生しない。	長所・少量の燃料でばく大なエネルギーを得ることができる。・温室効果ガスを出さない。	ウランの核分裂は、石油などの燃焼よりもずっと少ない量で大量のエネルギーを出す。また、発電の過程で二酸化炭素や大気を汚染する排出ガスが出ない。	原子力発電では、少量の核燃料で大きなエネルギーが得られる（※ 2：石油（重油）1g の燃焼で生じる熱エネルギーは、約 4 万 J である。一方、ウラン 1g の核分裂で生じる熱エネルギーは約 800 億 J で、石油の約 200 万倍のエネルギーが得られる）、大気を汚染する排出ガスを発生しないなどの利点がある。	原子力発電は少ない燃料で大量のエネルギーが得られるという利点がある。しかし、利用するうえで、さまざまな問題点もある。 原子力発電は、少量の核燃料から大きなエネルギーを得られること、発電時には二酸化炭素をほとんど排出しないことなどから、日本でも発電されるエネルギーの約 3 分の 1 を原子力発電が占めるようになった。
デ メ リ ット	事故を防ぐ万全の対策が必要であり、放射線を出す核廃棄物の処理についても安全な場所と方法を確保しなければならない。	短所・放射線が人体や作物などに大量に当たると危険なので、常に厳しく監視する必要がある。・使用済み核燃料、廃炉の安全な処理が難しい。	しかし、ウランが地下資源として得られる量にも限りがある。また、生物の細胞や遺伝子に害をあたえる放射線が原子炉の中で発生しており、慎重で万全の管理が必要である。さらに、長期にわたって放射線を出す廃棄物が生じるなど、解決しなければならない問題は多い。	しかし、ウランなどの核燃料や発電によって生じる核廃棄物がきわめて有害である。核燃料から生じるエネルギーの制御に高度な技術が必要とするなどの問題がある。	一方、原子炉内には核分裂によって大量の放射性物質がたまり、それが原子炉の外にもれると、土壌、水、農作物、水産物などを汚染し、人体に健康被害が出るおそれもある。また、原子炉からとり出した使用済み核燃料の中には、1000 年以上も強い放射線を出し続ける放射性物質が含まれるため、安全な形で管理しなければならない。このように、原子力を利用するときには、安全に十分注意して行う必要がある。 （★ 3 急増するエネルギー需要をまかなうには、今後も原子力の利用が欠かせないと考えている国がある一方、原子力を廃止して再生可能エネルギーの利用率を高めようとしている国もある。）

原子力発電	事故について					・図：原子力発電所の事故 1986年、旧ソビエト連邦のチェルノブイリ原子力発電所の原子炉が爆発し、放射性物質がウクライナ・ベラルーシ・ロシアなど広い地域を汚染して、史上最悪の原子力事故となった。写真はそのようなものである。また、2011年3月に起きた東北地方太平洋沖地震では、福島第一原子力発電所の原子炉が破損する事故が起きた。
	構造図	・写真：原子力発電所（福井県美浜町） ・図：いろいろな発電方法・原子力発電	図：内部のしくみ、エネルギー変換の過程	・図：原子力発電（発電のしくみとエネルギー変換の図） ・写真：大飯原子力発電所	・図：さまざまな発電のしくみとエネルギーの変換・原子力発電	・図：発電所のタービンの組み立て（火力発電だけでなく、水力発電や原子力発電も）
	ウランの採掘年数	・比較図：エネルギー資源の採掘可能な年数（2008年の予測） 化石燃料以外にも、ウランなどの核エネルギーが多く利用されているが、石炭で百数十年、他のエネルギー資源はわずか数十年で使い切ってしまうという予測もある。	図2：エネルギー資源別可採予測年数（2008年、ウランは2007年） ウラン残り99.7年分 しかし、火力発電に使われる石油、石炭のような化石燃料や原子力発電に使われるウランは、有限な地下資源であり、いつまでも使い続けられるわけではない。	図：エネルギー資源の採掘可能な年数（ウランは100年） 現在の社会で、私たちが発電のために大量に消費している資源は、石油や石炭、天然ガス、ウランなど、使い続けられ自然界からなくなってしまうものである。	・表：エネルギー資源の可採年数（ウラン 100年）	・図：エネルギー資源の確認可採年数（BP統計2007年など） ・ウランは100年 原子力発電に使うウランにも限りがある。そのため、人類が活動を続けていくには、エネルギー資源を効率よく使うように工夫し、省エネルギーにつとめなければいけない。
	原発発電量	・円グラフ：日本で電気エネルギーに変換されるエネルギー資源の種類と割合（2008年）	図1：発電方法割合の国際比較（日本2007年 原子力23.5%） 発電方法としては、図1のように、火力、原子力、水力の割合が大きい。	図：日本のエネルギー資源別発電量の移り変わり（2009年で29%）	・図：日本で年間に発電される電力量の推移（原子力発電26%（2007年））	図：電気は何かから作っているか（総発電量と年のグラフ）
	年間のエネルギー使用の割合	・円グラフ：日本で1年間に使用されているエネルギー資源の割合（2008）				
	エネルギー需要の推移	・棒グラフ：世界のエネルギー需要の推移（2009年）				
放射線	違い			放射線と放射能はよく似ているが意味が違う。放射能は放射線を出す能力のことをいう。また、放射線を出す物質を放射性物質という。	※1 自然に放射線を放出する性質を放射能といい、放射能をもつ物質を放射性物質という。	★1 放射線を出す物質のことを放射性物質という。
	図	・図：おもな原子核（原子核と放射線の種類の図）		・放射線と放射能・放射線を光にたとえると（懐中電灯の例）		
	種類	放射線には多くの種類があるが、代表的なものとしてアルファ線、ベータ線、ガンマ線とよばれるものがある。アルファ線はヘリウム原子核の流れ、ベータ線は電子の流れ、ガンマ線は電磁波（※1：電磁波は電気と磁気の波で、ラジオで使う電波や光なども、電磁波のなかまである。）である。電磁波の一種であるX線も、放射線である。	★1 放射線には、 α 線、 β 線、 γ 線、X線などの種類がある。	放射線は、大きなエネルギーをもった粒子の流れや光の一種で、エックス線、アルファ線、ベータ線、ガンマ線などがあります。	このようにして放出される放射線には、アルファ線（ α 線）、ベータ線（ β 線）、ガンマ線（ γ 線）の3種類あることが知られている。 ※2 テレビ、ラジオの放送や携帯電話の通信などで使われている電波の他、光やX線なども電磁波の一種である。	放射線にはプラスの電気をもったアルファ（ α ）線、マイナスの電気をもったベータ（ β ）線、電気を持たないガンマ（ γ ）線があること、ウラン以外にも放射線を出す物質がある 現在では、X線と γ 線は光の一種、 α 線は高速のヘリウム原子核の流れ、 β 線は高速の電子の流れであることがわかっている。
	図	・図：おもな原子核（原子核と放射線の種類の図）			・図：放射線の透過性（ α 線（ヘリウム原子核）は紙、 β 線（電子）は木の板、 γ 線（電磁波）は鉛の板）	
	性質	放射線の物質を透過する性質は、…	わたしたちは日常的にある程度の放射線の透過性を利用して	人体を通りぬける性質をもつ放射線で…	いっぽうに、どのような化学変化が起こっても、原子そのものは変化しない。しかし、原子力発電で利用されている核燃料のウランのように、原子核が不安定な原子には、自然に放射線を放出して、ほかの原子に変わっていくものがある。	①目に見えない。②物体を通り抜ける能力（透過力）がある。③原子をイオンにする能力（電離能）がある。

放射線	性質	例えば、原子力発電で使う核燃料や発電後の廃棄物からは放射線が出ているので、外部にもれないよう、核燃料や廃棄物の管理は厳重に行わなければならない。		放射線には、物質中を通りぬける透過性、原子から電子を飛ばしてイオンにする電離作用などがある	放射性同位体と半減期 原子には、原子番号が同じでも、放射線を出すものと出さないものがある。放射線を出すものを放射性同位体とよぶ。放射性同位体には、それぞれ特有の半減期がある。半減期とは、放射線を出す原子の数が半分になるまでの時間のことである。たとえばウラン 235 (★1 陽子と中性子の数をたすと 235 個であるウラン原子。原子力発電に用いられている。) という放射性同位体の半減期は約 7 億年である。また、セシウム 137 の半減期は約 30 年、ヨウ素 131 の半減期は約 8 日である。★2 放射線物質は、放射線を出すほかの物質に変わり、時間とともに減少していく。
	図		図 4：霧箱の実験 放射線が入射すると、その進路に沿って飛行機雲のような白い霧ができる。	・図：放射線の透過性 (α線 (ヘリウム原子核) は紙、β線 (電子) は木の板、γ線 (電磁波) は鉛の板)	★1 透過力は、α線が最も弱く、次に弱いのがβ線である。γ線やX線は透過力が強く、防ぐときには厚い鉛の板が必要になる。紙：α線を止める。アルミニウムなどの薄い金属板：β線を止める。鉛などの厚い板：γ線・X線を止める。
	人体への影響	放射線はひじょうに大きなエネルギーをもっていて、大量に浴びると生物や人体に異常を引き起こすので危険である。そのため、とりあつかいには細心の注意が必要となる。	一方、人体や作物の内部に入ると悪影響をあたえる場合があるので、原子力発電では災害などに対し万全の備えをして、放射線や放射性物質がもれないよう、安全に配慮しなければならない。	私たち人間もつねに浴びながら生活していますが、量が少ないので問題はありません。しかし、一度に大量の放射線を浴びると、細胞やその中の遺伝子が傷つけられ、死に至ることもあります。	生物の細胞に影響をあたえるなどの問題があるため、放射線を放出する物質のあつかいには十分な注意が必要である。
	図		図 3：放射線の影響の例 (数直線, Sv)	・図：放射線の人体への影響 (数直線) ・シーベルトは放射線の人体への影響の目安となる単位	一方で、大量の放射線を浴びると、やけどのような症状が出たり、細胞中の遺伝子が傷ついて (★1 放射線には原子をイオンにする能力があるため、遺伝子の本体である DNA を変化させることがある。) がんが発生しやすくなったりする (国際放射線防護委員会 (ICRP) では、浴びる放射線量が大きくなるほどがんの発生する危険性が高くなり、放射線量が小さくても影響があると考えて対策を立てるべきであると指摘している) ので、放射線の利用には十分な注意が必要である。
	利用	放射線の物質を透過する性質は、がんの診断や治療などに適しており、最新の医療に活用されている。また、産業でも広く活用されている。	わたしたちは日常的にある程度の放射線を浴びている。放射線はその透過性を利用して医療に利用されたり、物体内部の検査に利用されたりしている。★2 CT は、コンピュータ断層撮影 (Computed Tomography) の略	一方、放射線を安全な量で利用すると有用です。医療検査では欠かせないエックス線写真や CT スキャンは、人体を通りぬける性質をもつ放射線で体内の画像を得ています。また、がんの治療には、体内のがん細胞をねらって放射線を当て、破壊する方法がよく使われています。	医療や工業、農業などのさまざまな分野で利用されている。
	図	・図：放射線の利用 (ジャガイモの照射による保存、透過性を利用した X 線断層撮影)		①物質を通り抜ける働きの利用・医療検査・空港の荷物検査・建物の壁や柱の内部検査 (図：CT スキャンのようす) ②物質や生物の性質を変えるはたらきの利用・物質の性質の改良・農作物などの品種改良・食品の保存・殺菌・がんの治療 (図：放射線により殺菌された医療用の器具) 放射線の利用 A 空港の荷物検査 空港では飛行機の安全のため、積みこむ荷物の内部を、エックス線を使って検査している。 B 建物の壁や柱の内部検査 壁や柱の強度検査のため、エックス線でコンクリートの内部を調べることもある。	・図：放射線の利用 ・工業：非破壊検査、タイヤなどの耐熱性の強化、暑さの測定 など ・医療：ガンの治療、医療器具の滅菌、X 線撮影 など ・農業：品種改良、ジャガイモの発芽防止、害虫駆除 など ・その他：年代の測定、化学分析、美術品の研究 など
					・写真：放射線を用いた脳の診断

放射線			C タイヤの強度の改良 日本の車に使われているタイヤのほとんどは、製造途中でゴムに放射線を当てて強度を増している。 D スポーツ用品の強度の改良 テニスラケット用のガットには、放射線を当てることでより弾力性が増すように改良された商品がある。 E 食品の保存 ジャガイモに放射線を当てると、芽が出にくくなるため、長い間保存できるようになる。			
	自然界での存在	放射線は原子力発電所や病院、研究所のような特殊施設だけにあるのではなく、わずかなではあるが、身のまわりや自然界のあらゆる所に存在している（※2：放射線が人体に与える影響を表すときの単位として、ミリシーベルト（mSv）が用いられる。通常、わたしたちは1年間に、世界平均では約2.4ミリシーベルト、日本平均では約1.4ミリシーベルトの自然放射線を受けている。）。	原子力発電では、ウランなどの核燃料から放射線が発生する。放射線には、宇宙空間から降り注ぐものや、自然界に存在する放射性物質から出るものなどもあり、	自然界にはもともと放射線があり、私たち人間もつねに浴びながら生活していますが、量が少ないので問題はありません。	（※3 放射性物質は天然に存在し、宇宙や大地、空気などから放射線が放出されているため、わたしたちは日常的に放射線を浴びている。しかし、その量はわずかであり、人体に害はないと考えられている。）	放射線には、クルックス管で発生させるX線のように人工的につくられるもの（人工放射線）と、自然界に存在するもの（自然放射線）とがある。（図）は、わたしたちが1年間に受ける自然放射線のうちわけを表している。自然放射線のおもな原因は、岩石などに微量にふくまれるウランや、大気に微量にふくまれるラドンなどである。わたしたちは年間2.4ミリシーベルト程度の自然放射線を浴びている（★2 2.4ミリシーベルトは、世界平均の値。地域によって異なる。）。
	図	・図：身の回りの放射線（身の回りの放射線の説明の絵、放射線検出器）				・図：自然放射線のうちわけ（円グラフ）
	単位	※2：放射線が人体に与える影響を表すときの単位として、ミリシーベルト（mSv）が用いられる。	★3 シーベルト（Sv）は、放射線が人体にあたえる影響を表す単位。1000mSv＝1Sv。		シーベルトは放射線の人体への影響の目安となる単位	シーベルト（Sv）とは、放射線が人体にあたえる影響を表すときの単位である。1ミリシーベルト（mSv）は1000分の1シーベルトである。胸のX線（レントゲン）撮影1回の放射線量は、約0.1ミリシーベルトである。
	放射線測定器			チャレンジ 放射線を測定してみよう 放射線測定器を使って、自然界にある放射線を測定してみよう。建物の中と外では、測定される値にちがいがあろうか。また、花こう岩や、カリウムをふくむ肥料などを測定してみよう。		やってみよう 放射線測定器を使って、鉱物標本や身のまわりの物体、教室の中、校庭などの放射線量ははかってみる。
	図	・図：身の回りの放射線（身の回りの放射線の説明の絵、放射線検出器）		（図：簡易放射線測定器 ※簡易放射線測定器「はかるくん」は文部科学省の委託事業として、財団法人科学技術振興財団が貸し出しを行っています。ホームページ http://hakarukun.go.jp/ ）		放射線測定器、放射能鉱物標本
	歴史					・写真：レントゲン（左）とレントゲンが撮影したX線写真（右） ヴィルヘルム・レントゲン（ドイツ、1845～1923） ・写真：ベクレル アンリ・ベクレル（フランス、1852～1908）。放射性物質が放射線を出す能力の強さを表す単位ベクレル（記号 Bq）は彼の名からつけられた。 ・写真：キュリー夫妻 マリー・キュリー（フランス、1867～1934）、ピエール・キュリー（フランス、1859～1906） 1895年にレントゲンは黒い紙で覆われたクルックス管から出た「未知のもの」が写真フィルムを感光させることに気づき、これをX線と名づけた。

放 射 線	歴 史					続いて1896年にはベクレルが、ウランから、目に見えず、かつ、物質を透過して写真フィルムを感光させる「何か」が出ていることを発見した。この何かは放射線と名づけられた。 その後、キュリー夫妻など多くの科学者の研究により、放射線にはプラスの電気をもったアルファ（ α ）線、マイナスの電気をもったベータ（ β ）線、電気を持たないガンマ（ γ ）線があること、ウラン以外にも放射線を出す物質があることなどがわかった。
-------------	--------	--	--	--	--	---

[注] 教科書本文より抜粋のため、文体の違い有