

高レベル放射性廃棄物の処分問題に関する
教材の開発と効果の分析

教育科学専攻
理数・生活系教育領域
田中 大樹
2018年2月6日 提出

<目次>

1. はじめに	2
1.1. 問題の所在	
1.2. 研究方法	
2. 教材の開発	8
2.1. 教材の目的	
2.2. 自分ごととして考えるための方略	
2.3. 教材の構成	
3. 教材の試行	17
3.1. 試行①の概要	
3.2. 結果と考察	
3.3. 教員への聞き取り調査と教材の改訂	
3.4. 試行②の概要	
3.5. 結果と考察	
4. 生徒の変容	54
4.1. 試行①の結果をもとにした分析	
4.2. 試行②の結果をもとにした分析	
5. 本研究のまとめ	103
6. おわりに	104
7. 引用文献	104

添付資料 1：生徒用ワークシート（試作版）

添付資料 2：教師用ワークシート（試作版）

添付資料 3：生徒用ワークシート（完成版）

添付資料 4：教師用ワークシート（完成版）

1. はじめに

1.1 問題の所在

2011年3月に発生した福島第一原子力発電所での事故以降、エネルギーに関する教育を取り巻く環境は大きく変化している。文部科学省からは、放射線に関する副読本（文部科学省，2011）が、経済産業省資源エネルギー庁からは、エネルギーに関する副読本（経済産業省資源エネルギー庁，2015）が全国の小中学校に配布された。また、2014年度からは「エネルギー教育モデル校事業」が実施され、全国の教育機関においてエネルギー教育が活発に実施されている（公益財団法人日本科学技術振興財団，2014）。さらに、学術的な側面では、日本エネルギー環境教育学会から教員を対象とした書籍が発行されており（日本エネルギー環境教育学会，2016）、年度末には、全国の教員を対象とした研修会が実施されている。このように、エネルギーに関する教育はより一層重視されつつある。

しかし、非常に重大であるにも関わらず、現在のエネルギー教育でもほとんど触れられていない問題がある。それは、「高レベル放射性廃棄物の処分」である。原子力発電で使用した核燃料（以下、使用済み燃料）は、青森県六ヶ所村にある再処理工場でウランとプルトニウムを取り出して再利用することになっている。しかし、再処理の過程では核分裂生成物が残るため、処分が必要になる。日本では、核分裂生成物からなる廃液をガラスと溶かし合わせ、ステンレス容器の中で冷やし固めた状態（以下、ガラス固化体）にし、地下300mより深くの岩盤に埋設する方法（以下、地層処分）を採用することが「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」で制定されている（衆議院，2000）。2000年に、処分の実施主体となる原子力発電環境整備機構（以下、NUMO）が設立され、2002年から処分地選定のための調査を受け入れる自治体を公募している。しかし、現在までに調査には至っていない。国は2017年7月に、地層処分に関係する科学的情報をまとめた「科学的特性マップ」を公表し、国民の理解促進と議論の活性化を図っているところである（原子力発電環境整備機構，2017）。原子力発電の恩恵を受けたのは現世代であり、将来の世代にこの問題を丸投げすることは無責任であるといえる。再処分の可能性を担保しながら、現世代で処分の方針を固めることが必要である。

この問題について、日本学術会議は、「高レベル放射性廃棄物の処分問題は、その重要性和緊急性を多くの国民が認識する必要がある、長期的な取組みとして、学校教育の中で次世代を担う若者の間でも認識を高めていく努力が求められる。」と提言している（日本学術会議，2008）。これを踏まえて、NUMOは、移動式展示車両「ジオミライ号」を用いて、次世代層を主な対象としたイベントを開催している。また、高レベル放射性廃棄物の処分問題を学校教育で扱う取り組みを行う団体に対して支援を行い、年度末には東京で各団体の成果を共有する場を設けている。さらに、2017年4月には、小中学校を対象とした「基本教材」を公表した（原子力発電環境整備機構，2017）。

教育の側面では、学習指導要領に関連する記述がある。現行の中学校学習指導要領には、「(7)科学技術と人間」の内容の取り扱いとして、「放射線の性質と利用にも触れること」と書かれている（文部科学省，2008a）。これは昭和44年以来、約40年ぶりに放射線の学習が復活したものである。また、「ア エネルギー」の「(イ)エネルギー資源」において、「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。」と書かれている（文部科学省，2008b）。さらに、「ウ 自然環境の保全と科学技術の応用」の「(ア)自然環境の保全と科学技術の利用について」では、「第 1 分野及び第 2 分野の学習を踏まえ，例えば，エネルギーや物質の利用と自然環境の保全など，科学技術の利用と環境保全にかかわる事柄をテーマとして取り上げ，生徒に選択させるようにする。」と書かれており，テーマの例として，「原子力の利用とその課題」が挙げられている（文部科学省，2008c）。

また，2017 年に告示された中学校学習指導要領解説理科編では，「(7)科学技術と人間」の「(ア)エネルギーと物質」において，「エネルギー資源の利用については，日常生活や社会で利用している石油や天然ガス，太陽光など，エネルギー資源の種類や入手方法，水力，火力，原子力，太陽光などによる発電の仕組みやそれぞれの特徴について理解させる。その際，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に触れる。放射線については，核燃料から出ていたり，自然界にも存在し，地中や空気中の物質から出ていたり，宇宙から降り注いでいたりすることなどにも触れる。」（下線は筆者追加）と書かれている（文部科学省，2017a）。また，「東日本大震災以降，社会において，放射線に対する不安が生じたり，関心が高まったりする中，理科においては，放射線について科学的に理解することが重要であり，放射線に関する学習を通して，生徒たちが自ら思考し，判断する力を育成することにもつながると考えられる。」（下線は筆者追加）と書かれており，知識を理解するだけでなく，学習した知識を活用して思考，判断することが求められている（文部科学省，2017a）。

さらに，「(7)科学技術と人間」の「(イ)自然環境の保全と科学技術の利用」では，「第 1 分野と第 2 分野の学習を生かし，科学技術の発展と人間生活との関わり方，自然と人間の関わり方について多面的，総合的に捉えさせ，自然環境の保全と科学技術の利用の在り方について科学的に考察させ，持続可能な社会をつくっていくことが重要であることを認識させることがねらいである。」，「指導に当たっては，設定したテーマについて科学技術の利用と自然環境の保全に注目させ，科学的な根拠に基づいて意思決定させる場面を設けることが大切である。例えば，意思決定を行う場面では，資源の利用は私たちの生活を豊かにする一方で環境破壊を引き起こすなど，同時には成立しにくい事柄を幾つか提示し，多面的な視点に立って様々な解決策を考えさせたり，それを根拠とともに発表させたりすることなどが考えられる。」（下線は筆者追加）と書かれており，思考判断する活動の具体例として，多面的な視点に立った思考や，科学的根拠に基づいた意思決定が大切であると示されている（文部科学省，2017b）。

上記の学習指導要領を踏まえて，現行の理科や社会科の教科書では，高レベル放射性廃棄物の処分について扱われている。平成 28 年度版の理科と社会科の教科書における高レベル放射性廃棄物の処分に関連する記述を表 1 に示す。

表 1. 高レベル放射性廃棄物の処分に関連する教科書の記述

「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、原子炉の中で放射線が発生しており、慎重で万全の管理が必要である。さらに、長期に渡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。」

霧田・森本ほか 29 名 (2015)「中学校科学 3」, 学校図書株式会社, 260.

「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、原子炉から取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。」

有馬ほか 62 名 (2015)「理科の世界 3」大日本図書株式会社, 286.

「核燃料や使い終えた核燃料（放射性廃棄物）から有害な放射線が発生する。放射線の厳しい管理が必要である。事故が起きたときの影響が広範囲かつ長期間にわたる。使い終えた核燃料の処分や廃炉にすることが困難である。」

塚田ほか 58 名 (2015)「未来へ広がるサイエンス 3」啓林館株式会社, 192.

「このように、放射線は様々な場面で活用されている一方で、放射線を生物が浴びる（被曝する）と、細胞や DNA が傷ついてしまう可能性がある。浴びた放射線の量が少なければ、ほとんどの場合、細胞は回復するが、一度に大量の放射線を浴びると回復できなくなり、さまざまに病気を誘発したり、ときには死にいたりするなど、健康被害を生じることもある。そのため、放射線や放射性物質のあつかいには、細心の注意や配慮が必要である。例えば、原子力発電所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に、核燃料や廃棄物の管理、原子炉の安全対策は厳重に行わなければならない。」

塚田ほか 58 名 (2015)「未来へ広がるサイエンス 3」啓林館株式会社, 195.

「原子力発電では、少量の核燃料で大きな熱エネルギーを得ることができる。大気を汚染する排出ガスが生じないなどの利点がある。しかし、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。核燃料から得られるエネルギー（核分裂のエネルギー）の制御に高度な技術が必要とされるなどの問題がある。」

細矢ほか 28 名 (2015)「自然の探究中学校理科 3」教育出版株式会社, 111.

「こうしたなか、発電の際の二酸化炭素の発生が少なく、安定した電力供給ができるエネルギーの開発が進められています。その中心となっている原子力発電は、日本でも発電力の約 30%を占めています。一方で、いったん事故が起きると重大な被害が発生することや、放射性廃棄物（使用済み核燃料など）の処分に慎重な対応が必要なことなど、課題も残されています。」

中村ほか 36 名 (2015)「中学社会公民ともに生きる」教育出版株式会社, 184-185.

「原子力エネルギーによる原子力発電は、少ない燃料で多くのエネルギーをつくり出せ、発電時に二酸化炭素を排出しない発電方法です。しかし、発電後に生じる放射性廃棄物や廃止後の発電所を安全に処理する方法、その費用の確保、さらには事故を起こさないための安全対策や、事故が起きたときの対応の難しさなどの問題も残されています。」

江口ほか 9 名 (2015)「社会科中学校の公民」株式会社帝国書院, 190.

「国内に資源をもたないわが国は、エネルギー資源の 80%以上を輸入に頼っています。わが国では、海外から燃料が比較的安定して供給され、温暖化の原因となる二酸化炭素を発電時に排出しない原子力発電が、発電量の約 3 割を占めてきました。しかし、2011 年の東日本大震災にともなう福島第一原子力発電所の事故では、放射性物質が飛散し、多くの人々の生活に影響を与えています。このような甚大な被害をもたらされたことをきっかけに安全性が議論されています。また、使用後に長い期間にわたって管理する必要がある放射性廃棄物の処理の問題もあります。日本のエネルギー構成をどのようにするかについては議論が続いています。」

林ほか 50 名 (2015)「中学社会公民的分野」日本文教出版株式会社, 194-195.

「輸入資源の確保が難しく、温室効果ガスの排出削減が求められている中、日本ではエネルギー資源の確保が重要な課題になっています。原子力発電は、海外から安定的にエネルギーを供給でき、少ない燃料で多くのエネルギーを取り出せます。また、燃料をくり返し利用でき、発電時に二酸化炭素を排出しません。しかし、放射性物質を扱うため、事故が起こると甚大な被害が発生します。また、発電後に残される放射性廃棄物の最終処分場をどこにするかという課題もあります。」

坂上ほか 49 名 (2015)「新しい社会公民」東京書籍株式会社, 185.

「原子力発電では、使用済み燃料などの放射性廃棄物が発生する。特に高レベル放射性廃棄物は、強い放射能を持ち、放射能が低下するまでに時間がかかるため、人々の生活に影響をあたえることのないよう、地中深くにうめて処分する必要がある。日本政府はこの最終処分場を日本国内に造ることを検討しているが、どこに造るかまだ決まっていない。」

坂上ほか 49 名 (2015)「新しい社会公民」東京書籍株式会社, 245.

「原子力発電は放射性物質をあつかうことについて大きな不安がある一方、地球温暖化の原因となる二酸化炭素をほとんど出さず、原料となるウランをくり返し利用することで大きなエネルギーを安定的に得られる利点も指摘されています。そのため、大量の石油等を輸入に頼る日本では重要なエネルギー源となってきました。しかし、2011 年 3 月の東日本大震災の際に起きた福島第一原子力発電所の事故では、放射性物質による深刻な被害をもたらしました。この事故は日本だけでなく、世界各国の原子力発電のあり方

にも影響をあたえ、各国でエネルギー政策全体を見直す議論が活性化しています。私たちは今回の事故の教訓を生かし、原子力発電への依存をできる限り減らしつつ、放射性廃棄物の処理問題や火力発電所の効率化、安定して低コストにエネルギーを供給できるしくみ作り、地球温暖化対策などに取り組んでいかなければなりません。」

伊藤ほか 23 名 (2015)「新しいみんなの公民」株式会社育鵬社, 200-201.

「先進国を中心に利用されている原子力発電は、発電時にほとんど CO₂ を出さずに巨大なエネルギーを生み出すことができるといわれる。しかし、2011 年の東日本大震災でおきた福島第一原子力発電所の事故のように、一度事故がおこれば取り返しのつかない大きな被害が生じる。また、使用後の核燃料を無害に処理できる技術が開発されていないため、長期にわたって危険な放射性廃棄物が蓄積されるという問題もあり、対応が求められている。」

中村ほか 9 名 (2015)「中学公民日本の社会と世界」株式会社清水書院, 175.

高レベル放射性廃棄物の処分が完了するまでには、約 100 年以上の長い期間を要する。また、高レベル放射性廃棄物の放射能が核燃料の原料であるウラン鉱石と同等になるまでに、数万年という極めて長い期間を要する。それだけの期間、高レベル放射性廃棄物の存在と危険性を将来の世代に伝えていくことが必要である。現在、高レベル放射性廃棄物の存在と危険性を後世にどのように伝えていくかが検討されている。しかし、今後も言語が変化していくことが予想されるため、現時点で取り得る手段により数万年後の世代にまで確実に伝えることは不可能である。そのため、世代ごとに、この問題について語り継いでいく必要がある、この役割を教育が担うべきである。

また、今後高レベル放射性廃棄物の処分地を決定する際には、住民投票などの方法で国民の意思が問われることになる。早ければ、約 20 年後には処分地を決定することが計画されており、現在、義務教育課程で学んでいる子どもたちもその対象となる。このことから、高レベル放射性廃棄物の処分について子どもたちに教える必要がある。

これまで述べてきたように、高レベル放射性廃棄物の処分は我が国にとって喫緊の課題であり、解決までに非常に長い期間を要する。そのため、学校教育を通して次世代を担う子どもたちに伝えていくことが必要である。現状、この問題を教育現場で扱った取り組みがいくつか報告されている。森山らは、中学校 3 年生を対象として授業実践を行った。学習課題を「放射線源を地下に埋めると、地上での放射線量はどうなるだろうか」とし、モデル実験を通して岩石の距離と放射線量の規則性を探究した。この実践について、成果として、生徒自身が高レベル放射性廃棄物の地層処分について考えるきっかけをつくることのできたことを挙げ、一方で、高レベル放射性廃棄物の処分に関して授業展開する上で、様々な客観的かつ科学的な事実を生徒が獲得できるようにすることを課題として挙げている (森山, 斉藤, 高橋, 大石, 2015)。奥野・大矢は、2009 年にスイス ITC (International Training Center) で開発された放射性廃棄物処分地選定に関するゲームを日本向けにカスタマイズするとともに、電子デバイスを用いて実施できるゲームを開発した (奥野 大矢, 2010)。また、萱野らは、このゲームを簡略化し中学生向けにアレンジして、中学校 2 年生を対象として授業実践を行った。ゲームでは、初期設定として、「安全性 (地質構造への

影響・鉱物資源への影響)」と「環境影響（自然への影響・産業への影響）」の4項目についてどれだけ重要だと思えるかを5段階で評価する。その後、4ヶ所の仮定の候補地について、土地利用や地層についての情報を含んだマップや施設建設時のコスト評価、候補地の立地や経済状況、人口、国や自治体および市民の意向に関する文章記述から、候補地ごとに前述の4項目をそれぞれ10段階で評価する。初期設定での5段階評価と候補地ごとの10段階評価が自動的に集計され、候補地ごとに評価点数が算出される。この評価点数が最も高い候補地が、「あなたが最適と考える候補地」として画面に表示される。このゲームを用いた授業実践では、自らの考えとゲーム画面に表示された結果が異なった生徒が数名見られたという。また、ゲームであったことから、生徒は積極的な姿勢で取り組み全員が結論を出すことができた一方で、生徒が問題を現実として捉えているかどうかについては別問題であり、今後の課題としている（萱野，熊野，大矢，池谷，2012）。

また、大学生を対象とした取り組みも報告されている。藤川は、教員養成学部の学生が高レベル放射性廃棄物の処分を題材としてディベートを行う授業を開発、実施した。「日本は高レベル放射性廃棄物の地層処分計画を撤廃し、高級官吏を義務付けるべきである。是か非か。」という論題のもと活動を行わせ、実践から、高レベル放射性廃棄物の処分についてディベートを行うことを前提に学ぶことで、専門外の学生であってもかなりの程度学習ができること、高レベル放射性廃棄物の処分についてディベートを行うためには、同様の学習を重ねることが必要であること、肯定側が恒久管理を主張する論題設定は、高レベル放射性廃棄物の処分を扱う上で十分に適した論題であると結論付けている（藤川，2013）。

このように、高レベル放射性廃棄物の処分を教育現場で扱った取り組みはいくつか報告されている。しかし、特別な機器などを必要とするなど、どのような教育現場でも導入可能であるとは言い難い。全国の教育現場で高レベル放射性廃棄物の処分について扱われるようにするには、適切な教材を作成する必要がある。そこで本研究では、高レベル放射性廃棄物の処分を扱った教材を開発し、教材を用いた授業による効果を分析した。

1.2 研究方法

本研究は、以下の5つの手順を踏んで、教材の開発と試行、教材を用いた授業による効果の分析を行った。

- (1) 教材の開発
- (2) 教材の試行①
- (3) 教材の改善・完成
- (4) 教材の試行②
- (5) 教材を用いた授業による効果の分析

2. 教材の開発

2.1 教材の目的

本研究では、教材の目的を2つ設けた。第1の目的は、高レベル放射性廃棄物の処分に関する正しい知識を理解することである。世論調査から、原子力・放射線・エネルギー分野への国民の関心が低下しており、知識量が減少している可能性が指摘されている（日本原子力文化財団, 2017a）。また、本教材で扱う高レベル放射性廃棄物の処分については、多くの生徒が認識していないことが予想される。この問題について考えるために、まずは正しい知識を理解することを目的とした。

第2の目的は、高レベル放射性廃棄物の処分を“自分ごと（自分自身の問題）”として考えられるようにすることである。高レベル放射性廃棄物の処分に関する国民の認識は、2つの報告（日本原子力学会, 2014；日本原子力文化財団, 2017）によって明らかにされている。日本原子力学会は、首都圏30km圏内住民および原子力学会員を対象に調査を行った。「高レベル放射性廃棄物の最終処分地を早急に決定しなければならない」という意見に対して、首都圏住民の73%が肯定的な回答（納得できる：42.4%，どちらかといえば納得できる：30.6%）をし、学会員の83.9%が肯定的な回答（納得できる：52.5%，どちらかといえば納得できる：29.4%）をしている。しかし一方では、「高レベル放射性廃棄物の最終処分地は、当分の間決定できない」という意見に対して、首都圏住民の42.6%が肯定的な回答（納得できる：21.2%，どちらかといえば納得できる：21.4%）をし、学会員の55.7%が肯定的な回答（納得できる：19.7%，どちらかといえば納得できる：36.0%）をしている（日本原子力学会, 2014a）。

原子力文化財団は、全国（N=1200）を対象に調査を行った。「原子力発電所から発生する高レベル放射性廃棄物の最終処分地を早急に決定しなければならない」という事柄に対して、67.3%が肯定的な回答（そう思う：40.3%，どちらかといえばそう思う：27.0%）をしている（日本原子力文化財団, 2017b）。この結果は、前述の日本原子力学会の調査と同様の傾向である。しかし一方では、「自分の住む市町村または近隣市町村に最終処分場が計画されたら、反対すると思う」という意見に38.3%が肯定的な回答をしている（日本原子力文化財団, 2017c）。これらの結果から、高レベル放射性廃棄物を処分することの必要性は認識されているが、解決できるという認識や処分を受け入れるという認識はあまりされていないことが分かる。

また、高レベル放射性廃棄物に関するシンポジウムなどで、「原子力発電を稼働させた国や電力事業者が責任を持って解決すべきである」、「我々が原子力発電を望んだ訳ではないので、廃棄物に対する責任はない」といった、他人ごとともとらえられる意見を聞くことがある。確かに、問題解決のためには国や電力事業者が責任を持って主導することが大前提である。また、それと同時に、国民全体が他人ごとではなく、自分ごととして、国や事業者の主導の方向性の適切さを判断し、場合によっては反対する必要がある。そのためには、国民全体がこの問題を自分ごととして考えることが必要不可欠である。

2.2 自分ごととして考えるための方略

前述の通り、開発した教材の目的は、高レベル放射性廃棄物の処分に関する正しい知識を理解し、自分ごととして考えられるようにすることである。この目的を達成するために、

教材には様々な特徴を持たせた。

知識を理解するだけでは、必ずしも問題を自分ごととして考えられるとは限らない。自分ごととして考えられるようにするために、高レベル放射性廃棄物の処分に関する様々な課題に対して意思決定を行う場面を設けた。教材内の意思決定の流れを表 2 に示す。

表 2. 教材における意思決定の流れ

章	節	意思決定内容	
2	1	処分方針（隔離処分，地上管理）	
	2	隔離処分方法 （地層処分，宇宙処分，海洋底処分，氷床処分）	
3	3	要因の順位づけ （科学的な要因）	要因の順位づけ （社会的な要因）
		候補地の順位づけ （科学的な要因をもとに）	候補地の順位づけ （社会的な要因をもとに）
	4	処分地の決定	
		処分地決定への国民全体の理解	処分施設の建設受け入れ

このうち、処分方針に関する意思決定や隔離処方法に関する意思決定は、既に決定している事項について改めて考えるものである。地層処分を決定事項として理解するだけでなく、地層処分に決定するまでの段階を自らが考えながら辿ることで、地層処分に対する理解を深める。また、将来よりよい処分方法が確立された際に、将来の世代が再処理を選択できるように、今後もよりよい処分方法を追究し続ける心情を育むことをねらいとしている。また、この問題を自分ごととして考えられるようにするために、処分方法を一般論として考えるだけでなく、処分地決定を体験することが必要であると考え、教材には、各自に処分地を決定させる活動を位置づけた。3章3節では、処分地決定の際の要因を、科学的な要因（5つ）と社会的な要因（5つ）に分け、処分地決定の際に重視する順番に並べる。3章4節では、「国内全域を対象にした調査を行った結果、7つの候補地が挙げられた」という課題のもと、候補地に関する情報を提示し、科学的な要因と社会的な要因の両面からの考察を通して、処分地を決定する。決定後には、あなたが決定した処分地は全ての国民に受け入れられるか、あなたが決定した処分地が自分が住む地域だとしたら、処分施設の建設を受け入れるか、といった切実な問題について考える。

前述の意思決定を行う活動において、自分の意思を質の高いものにするには、多面的な視点から考えることが必要である。そこで、はじめに個人で意思を決定し、話し合いを行い、その後個人で意思を再決定するという3段階の活動とした。話し合いでは、それぞれの意思とその根拠を共有させる。他者から新たな視点を獲得することで、自分の意思をより多面的な根拠に基づくものにすることをねらいとしている。

また、課題に対して教材内で複数回意思決定を行い、意思の変化を振り返る活動を位置づけた。「地層処分の賛成・反対」と「処分地決定の際の責任」について意思決定する。

地層処分の賛成・反対については、教材内で3回（3章1節のはじめ、3章1節の終わ

り、4章1節のはじめ)意思決定する。この3回は、地層処分の知識を理解する前後と、処分地決定を体験する前後の比較である。賛成から反対までの5段階から選択し、その理由を記述する。処分地決定の際の責任については、教材内で2回(3章2節のはじめ、4章1節のはじめ)意思決定する。この2回は、処分地決定を体験する前後の比較である。4つの選択肢から自分の考えに近いものを選択し、その理由を記述する。4つの選択肢は、「決められないのは仕方がない」、「国がしっかりと決めなければならない」、「決められる大人になりたい」、「私たち自身が考えていかなければならない」、の順に、他人ごとから自分ごとになるよう設定した。

なお、中学校理科の学習における意思決定の重要性は、中学校学習指導要領解説に明記されている(文部科学省, 2017b)。

2.3 教材の構成

高レベル放射性廃棄物の処分は、全国民が知るべき重要な問題である。そこで、義務教育課程内に位置づけることを検討した。現行の教科書で中学校3年生の内容に関連事項が多く記載されていることから、中学校3年生を本教材の対象と設定した。高レベル放射性廃棄物の処分について中学生が分かりやすく理解できる説明資料が無いため、説明資料とワークシートを作成し、一元化したものを作成した。これを、「生徒用ワークシート(試作版)」と定義する(添付資料1)。図やイラストを多く掲載することで、生徒の興味関心を高めている。また、教育現場で印刷することを想定して、白黒印刷にも対応できる配色とした。さらに、知識が十分でない教員でも本教材を使用できるように、教員用の教材を併せて開発した。生徒用ワークシートに指導上の留意事項や予想される生徒の反応等を加筆している。これを、「教師用ワークシート(試作版)」と定義する(添付資料2)。

開発した教材の構成を表3に示す。教材は全4章構成とし、合計11時間扱いの授業となることを想定している。1章は理科の「科学技術と人間」に位置づけ、2章以降は、複数の教科で扱いがある内容であるため、総合的な学習の時間に位置づけている。

表3. 開発した教材の構成

章		節	内容
1	教科書準拠の内容(4)	1	エネルギーと発電について理解する。
		2	放射線について理解する。
2	高レベル放射性廃棄物について(2)	1	高レベル放射性廃棄物について理解し、高レベル放射性廃棄物の処分方針を考える。
		2	高レベル放射性廃棄物の隔離処分方法を考える。
3	地層処分について(4)	1	地層処分について理解する。
		2	処分地の選定要因について理解する。
		3	処分地を決める時に重視する要因を考える。
		4	仮想の7つの候補地の中で処分地を決定する。
4	私たちの未来(1)	1	学習を振り返り、今後の自分を考える。

※()内の数字は授業時間数を示す

2.3.1 1章

1節では、電気エネルギーについて学習する。電気エネルギーの利便性、発電方法、各発電方法のメリットとデメリット、エネルギーミックス、発電による諸問題（エネルギー資源の枯渇、廃棄物）について扱っている。節末では、高レベル放射性廃棄物の存在に触れている。

2節では、放射線について学習する。1節とは、高レベル放射性廃棄物について理解する上で、放射線の知識が必要であるというつながりを持たせている。放射線の定義、関連する用語、単位（Bq, Sv）、自然放射線と人工放射線、放射線の有効利用、放射線の性質（透過性、電離能、半減期）、被ばく、人体への影響、放射線防護について扱っている。

2.3.2 2章

本章では、高レベル放射性廃棄物について学習する。1節では、核燃料の原料、発電による核燃料の組成変化、高レベル廃液が生じる過程、ガラス固化体の製造過程と特性、使用済燃料とガラス固化体の貯蔵状況について扱っている。これらを学習した後、現在地上管理されているガラス固化体を、今後も地上管理し続けるか、隔離処分するかを意思決定する。

2節では、世界が隔離処分を行う方針であることと、検討された4つの隔離処分方法（地層処分・宇宙処分・海洋底処分・氷床処分）について扱っている。これらを学習した後、どの隔離処分方法を採用するかを意思決定する。この意思決定をしやすいするために、事前に4つの方法のメリットとデメリットを考える。また、本節の最後では、更に良い処分方法を考える。

2.3.3 3章

本章では、高レベル放射性廃棄物の地層処分について学習する。1節では、世界が地層処分を行う方針であることを冒頭で扱っている。その後、その他の隔離処分方法が採用されなかった理由、多重バリアシステム、処分施設、処分地選定のプロセス、研究施設、日本および諸外国の状況について扱っている。また、本節のはじめと終わりでは、地層処分の賛成・反対について考える。この活動は第4章1節でも行う。

2節では、まず初めに、処分地決定の際の責任について考える。その後、高レベル放射性廃棄物の処分地を決定する際の要因について学習する。本研究では、実際の処分地決定の際に考慮される要因をもとに検討した。実際の要因を表4に示す。実際にはこれだけの要因を考慮して処分地が決定される。しかし、これら全てを考えるのは難易度が高いため、中学生でも考えられるように要因を簡略化した（表5）。

表 4. 処分地決定時に考慮する事項（原子力発電環境整備機構，2004）

法定要件に関する事項 （概要調査地区選定に関する法定要件に対する的確性を評価する事項）
地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと。
将来にわたって，地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。
地層処分を行おうとする地層が，第四紀の未固結堆積物であるとの記録がないこと。
地層処分を行おうとする地層において，その掘採が経済的に価値が高い鉱物資源の存在に関する記録がないこと。
付加的に考慮する事項 （法定要件に対する的確性が確認された地区を対象に，概要調査地区としての適性を総合的に評価し，必要に応じて相対比較を行う事項）
地層の物性・性状に関する事項：岩盤の強度，変形・割れ目・風化・変質の状況，地温勾配，岩体の形状・規模，隆起・侵食の速度，異常間隙水圧・膨張性地山・ガス突出・山はね・大出水の可能性
地質環境の調査・評価に関する事項：調査の範囲・規模・期間，調査技術・評価手法等の適用性，火成活動・断層活動等の地質環境の評価・モデル化の容易性，調査に対する土地利用等の制約
建設・操業時における自然災害に関する事項：地震・地すべり・洪水等の重大な自然災害の発生可能性
土地の確保に関する事項：土地の確保の容易性
輸送に関する事項：利用可能な港湾または港湾候補地からの距離等の輸送の容易性

表 5. 本教材における処分地決定の際の要因

科学的な要因	社会的な要因
地震（活断層）	鉱物資源
火山	人口密度
隆起・侵食	土地利用
岩盤の固さ	港からの距離
地下水の流量	港からの輸送方法

表 5 の策定背景を以下に記す。表 4 の要因を分類すると，地震，噴火，隆起・侵食，第四紀の未固結堆積物，地層，地下水といった科学的な要因と，鉱物資源，土地利用，地質環境の調査・評価の容易性，土地の確保，輸送といった社会的な要因の 2 つに区分できる。そこで，「科学的な要因」と「社会的な要因」の 2 つの柱を設定した。

表 4 の法定要件に関する事項のうち，第 1 項目および第 2 項目を，「地震（活断層）」，「火山」，「隆起・侵食」として「科学的な要因」に位置づけた。第 3 項目の第四紀の未固

結堆積物については、この言葉では生徒が理解しづらいことが予想される。第四紀の未固結堆積物が分布する地層は力学的な強度が著しく小さいことが問題であるため、「岩盤の固さ」という言葉に置き換えて「科学的な要因」に位置づけた。第4項目の鉱物資源については、経済性に関する記述がされていることから、「社会的な要因」に位置づけた。表4の付加的に評価する事項のうち、「地質環境の調査・評価に関する事項」および「建設・作業時における自然災害に関する事項」は、土地確保や作業の容易性を評価するものとして位置づけられたものである。生徒が考えやすくするために、本教材の要因からは除外した。また、「地層の物性・性状に関する事項」と「地下水の特性に関する事項」は、複数の要素が含まれているため、要素を絞った。前者は、「岩盤の強度」に絞り、「岩盤の固さ」という言葉にした。後者は「地下水の流量」に絞り、これらを「科学的な要因」に位置づけた。さらに、「土地の確保に関する事項」は、「土地利用」という言葉で「社会的な要因」に位置づけた。「輸送に関する事項」について、「科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける中間整理」では、長距離輸送と短距離輸送についてそれぞれ検討されている。「日本の国土は南北で1,000 km を超えることから、原則として長距離輸送が必要との前提で検討を行うことが適当である。検討の結果、現行法制度における制約等を前提とした場合、陸上輸送（鉄道，車両）には海上輸送に比べて困難性が高く、海上輸送が最も好ましいと考えられる。」と述べられている（総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術WG, 2017）。そのため、本教材では、処分地の最寄りの港湾まで高レベル放射性廃棄物を海上輸送し、港湾から処分地までは陸上輸送を行うことを前提とした。これを踏まえて、「輸送に関する事項」を「港湾からの距離」と「港湾からの輸送方法」の2つの要因とし、「社会的な要因」に位置づけた。

3節では、前述の要因を、科学的な要因と社会的な要因に分け、重視する順に順位づける（図1）。この活動により、4節で処分地決定を体験する際に、意思決定の拠り所となる。全ての要因をひとまとめにして順位づけることも検討したが、科学的な要因と社会的な要因では比較基準が大きく異なるため、10個の要因を同時に比較して順位づけることは困難であると判断した。

考えよう：5つの科学的な要因を、重要だと考える順に並べよう。

1		2	
3		4	
5			

考えよう：5つの社会的な要因を、重要だと考える順に並べよう。

1		2	
3		4	
5			

図 1. 要因を順位づけるためのワークシート

4 節では、仮想の候補地の中で高レベル放射性廃棄物の処分地決定を体験する。ここで活動の課題設定について、実在しない候補地の中での処分地決定とすると、生徒たちは現実味を持って取り組むことができない。自分ごととして考えさせるためには、より実際に近い課題設定が望まれる。そこで、「日本国内全域を対象に調査を行い、7つの場所が候補地として挙げられた」という課題設定とした（図 2）。なお、候補地名については、国内の約 4 割の都道府県が最終処分地の受け入れを拒否している状況であり（土屋・小田・北林，2016），具体的な地名を提示すると、個々が持つその土地に関する情報やイメージが意思決定に反映されてしまうため、活「候補地 A～G」と表記することに留めた。

日本国内全域を対象として調査を行った結果、7つの場所（A～G）が候補地として挙げられました。あなたなら、どの候補地を処分地にしますか。

図 2. 処分地決定の課題

7つの候補地の情報は図 3 の形式で示している。情報の提示方法として、図，表，文章記述，の 3つを検討した。萱野らが開発した教材は，図や文章記述による情報から候補地を比較検討するものである（萱野・熊野・大矢・奥野・池谷，2012）。このような情報の提示方式を採用すれば，実際に近い情報を提示することができ，学習者の情報入手能力を高めることもできる。しかし，一定の情報入手能力を持った学習者でないと，情報を適切に入手し判断することは難しい。そこで本研究では，情報入手能力に乏しい学習者であっても意思決定ができるようにするために，表を用いて情報を提示した。また，情報を分かりやすくするために，○△×等の記号で表すことも検討した。しかし，このような記号を用いると，記号が表す意味が要因ごとに異なるため，その都度記号が表す意味を考える必要が生じる。また，×の記号が処分地として適性がないことを示している印象を与えてしまうため，望ましくない。以上の理由から，要因ごとに情報を短く簡潔にまとめて表形式で提示した。

	候補地						
	A	B	C	D	E	F	G
科学的な要因							
地震（活断層）	ある	ない	ない	ない	ない	ない	ない
火山	ない	ない	ない	ない	ある	ない	ない
隆起・侵食	少ない	少ない	少ない	多い	少ない	多い	少ない
岩盤の固さ	固い	軟らかい	軟らかい	軟らかい	固い	固い	固い
地下水の流量	少ない	少ない	多い	少ない	少ない	少ない	多い
社会的な要因							
鉱物資源	ある	ない	ない	ある	ない	ある	ある
人口密度	低い	高い	低い	低い	低い	高い	高い
土地利用	農村地域	住宅地	森林	漁村地域	国立公園	市街地	工業地帯
港からの距離	近い	遠い	遠い	近い	遠い	近い	近い
港からの輸送方法	車両	車両	車両	鉄道	鉄道	車両	鉄道

図 3. 処分地決定のために提示する情報

7つの候補地には、それぞれに欠点を持たせている。つまり、全ての条件を満たした候補地が存在しない状況下で処分地を選定する。実際には、科学的な要因から安全性を担保し、その上で社会的な要因をもとに処分地が選定される。しかし、安全に地層処分するためには、科学的な要因が重要であることを活動から理解させるために、科学的な要因と社会的な要因を対等な位置づけにした。

科学的な要因については、国が避けるべき要因と位置づけている「地震(活断層)」と「火山」を欠点に含む候補地を1つずつ(候補地 A, E) 設定した。残りの5箇所(候補地 B, C, D, F, G) は、欠点の数を変えることで差別化を図った。候補地 B, C, D, F, G の科学的な要因と社会的な要因の欠点の数は表 6 の通りである。なお、「土地利用」については、一定の基準で適不適の評価ができないため、その他の要因の状況に応じて設定した。

表 6. 各候補地の欠点の数

	欠点の数				
	候補地 B	候補地 C	候補地 D	候補地 F	候補地 G
科学的な要因	1	2	2	1	1
社会的な要因	2	1	1	2	2

まずは、科学的な要因と社会的な要因を分けて考える。それぞれの情報をもとに候補地を順位づけ、その順位づけをもとに処分地を決定する(図 4)。話し合いと再度の意思決定の後では、決定した処分地は全ての国民に受け入れられるか、決定した処分地が自分の住む地域だとしたら処分施設の建設を受け入れるか、といった切実な課題について考える(図 5)。処分地決定を体験する段階では、処分地と自分の居住区域との距離は明らかにされていないため、自分への影響はほとんど考えず、自分ごととしては考えられない。そこで、自分と処分地の関係について考えることで、処分地を決めることの難しさを実感させ、自分ごととして考えられるようにした。

考えよう：科学的要因から考えて、7つの候補地に順位をつけよう。

1	2	3	4	5	6	7

考えよう：社会的要因から考えて、7つの候補地に順位をつけよう。

1	2	3	4	5	6	7

考えよう：科学的要因と社会的要因の両方から、あなたが最も適していると考えられる処分地を決定しよう。

A · B · C · D · E · F · G
理由

図 4. 処分地決定のためのワークシート

考えよう：あなたが選んだ候補地は、全ての国民に受け入れられると考えますか。

受け入れられる ・ 受け入れられない
理由

考えよう：あなたが選んだ候補地がもし、あなたが住んでいる地域だったら、あなたは処分施設を建設することを受け入れますか。

(あなたの家は、処分地からは安全な距離だけ離れている場所にあるとします)

受け入れる ・ 受け入れない
理由

図 5. 処分地決定後に考えるワークシート

2.3.4 4 章

本章では、地層処分の賛成・反対と、処分地決定の際の責任について再度考え、前章までの考えとの変化を自己分析する(図 6)。また、学習全体を振り返り、今後この問題とどう向き合っていくべきか、また、そのために今何をすべきかを考える。

考えよう：上の質問と同じ質問を39ページと47ページでもしました。

それぞれの回答を読み比べてみて、自分の考えがどのように変わったのか

(変わらなかったのか)を整理して、その理由を書こう。

P.39	(賛成) 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 (反対)
P.47	(賛成) 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 (反対)
P.59	(賛成) 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 (反対)
理由	

考えよう：上の質問と同じ質問を47ページでもしました。それぞれの回答を読み比べてみて、自分の考えがどのように変わったのか(変わらなかったのか)を整理して、その理由を書こう。

P.47 ア・イ・ウ・エ	P.58 ア・イ・ウ・エ
理由	

図 6. 考えの変化を振り返るためのワークシート

3. 教材の試行

3.1 試行①の概要

本試行は、開発した教材が中学校 3 年生の学習に適していることを明らかにし、中学生がどのような意思決定を行うかを明らかにすることを目的とした。2016 年 10 月中旬～11 月中旬に梅村学園三重中学校で実施した。試行後には、生徒と教員を対象として質問紙調査を実施した。

3.2 結果と考察

全ての授業と質問紙調査に参加した生徒（N=72）を分析の対象とした。なお、意思決定の要因を分析するための基準として、生徒の記述から意思決定の要因を抽出して使用した（表 7）。また、話し合い後の人数は、話し合い前との合計値を示した。これは、意思が変化した生徒としなかった生徒がいるためである。

表 7. 本教材における意思決定の要因一覧

大項目	小項目	大項目	小項目
影響	人間への影響	感情	最終的には住民次第である
	生態系への影響		自分には無理
	環境への影響		将来を担うのは私たちである
	影響を及ぼす範囲		納得できる・納得できない
安全性	監視・管理が必要	処分地選定	廃棄物との距離
	監視・管理が可能		土地の量的制限
	異常を察知できるか		土地所有者の同意
	異常にすぐに対応できるか		地域住民の同意
	将来の安全性の保証		人口密度
	処分後の被ばくリスク		鉱物資源の有無
将来性	将来世代への負担		土地利用の状況
	将来世代が近づく可能性		保護区域かどうか
	再処理の可能性		文化財等の有無
	再利用の可能性		調査のしやすさ
人的要因による変化	何が起こるか分からない		条約・法律の制限を受けるか
	事故によるリスク		処分地選定が難しい
	テロなどによるリスク	処分地としての適性がある	
災害	地震（活断層）	無理矢理進めても無意味	
	火山	意見の対立が起こる	
	土砂崩れ	輸送方法による運びやすさ	
	台風	作業の容易さ	
	洪水・津波	作業を行う期間	
環境の変化	地層の特性	処分作業	処分の確実性（成功率）
	地下水の特性		作業中の被ばくリスク
感情	意識をするか	お金	距離による運びやすさ
	安心・不安		騒音等の被害があるか
	嫌		処分費用
	良い・悪い（責任がある）	補償金	
	差別や風評被害を受ける	土地の価格	
	思い入れがある	地域活性・雇用促進	
	国を信頼できるか	高レベル放射性廃棄物	過去の実績
	仕方がない		危険性
	無責任である（わがままだ）		安全になるまでの期間の長さ
	自分が決めた責任がある	放射線に関する知識	放射線を遮蔽できる
	考えたい・考えるべき		放射線が漏れる
関わりたくない	放射性物質が漏れる		

3.2.1 処分方針に関する意思決定

生徒の意思を表 8 に示す。「地上管理」を選択した生徒と、「隔離処分」を選択した生徒の比率が 1:3 となり、約 76% の生徒が「隔離処分」を選択した。話し合い後には、10 名の生徒の意思が変化した。「地上管理」から「隔離処分」に変化した生徒は 3 名であり、「隔離処分」から「地上管理」に変化した生徒は 7 名だった。

表 8. 処分方針に関する生徒の意思

	地上管理	隔離処分
話し合い前	14 名(19.4%)	58 名(80.6%)
話し合い後	17 名(23.6%)	55 名(76.4%)

次に、意思決定の要因を表 9 および図 7 に示す。「影響」や「処分地選定」について記述した生徒が多かった。「影響」は、主に「人間への影響」についての記述(約 63%)、「処分地選定」は、主に「土地の量的制限」についての記述(約 83%)だった。話し合い後には、「災害」や「感情」についての記述が大きく増加した。「災害」は、主に「地震(活断層)」についての記述(約 75%)、「感情」は、主に「安心・不安」についての記述(約 35%)だった。

表 9. 処分方針に関する意思決定の要因

項目	話し合い前	話し合い後
影響	16 名(18.6%)	20 名(15.4%)
安全性	3 名(3.5%)	6 名(4.6%)
将来性	3 名(3.5%)	4 名(3.1%)
人的要因による変化	12 名(14.0%)	14 名(10.8%)
災害	6 名(7.0%)	12 名(9.2%)
環境の変化	0 名(0.0%)	0 名(0.0%)
感情	8 名(9.3%)	17 名(13.1%)
処分地選定	18 名(20.9%)	26 名(20.0%)
処分作業	1 名(1.2%)	2 名(1.5%)
お金	6 名(7.0%)	11 名(8.5%)
高レベル放射性廃棄物	10 名(11.6%)	13 名(10.0%)
放射線に関する知識	3 名(3.5%)	5 名(3.8%)

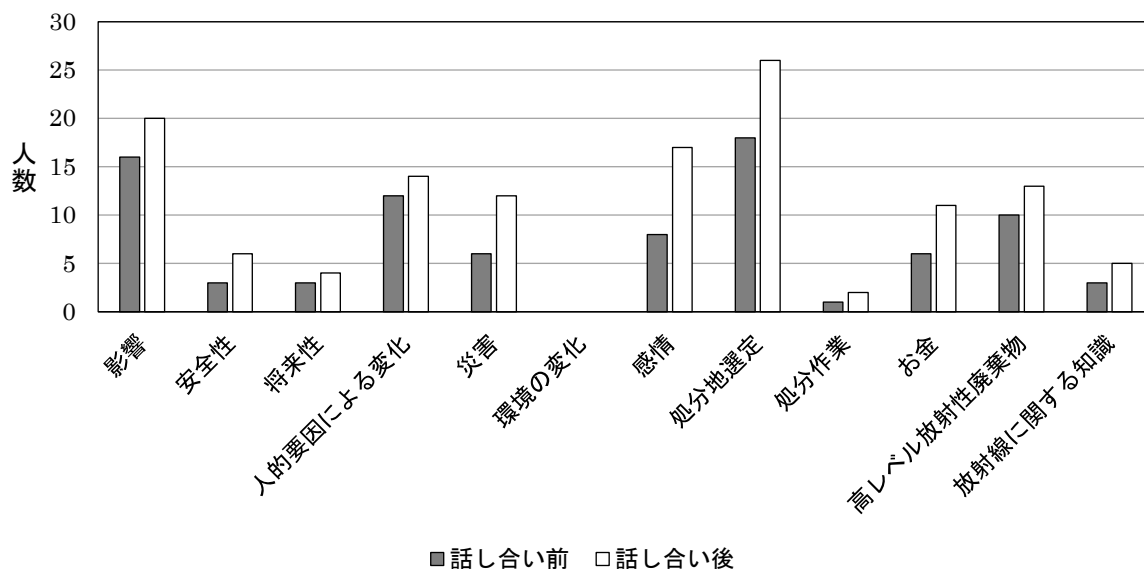


図 7. 処分方針に関する意思決定の要因

3.2.2 隔離処分方法に関する意思決定

生徒の意思を表 10 に示す。「宇宙処分」を最も多くの生徒が選択し、全体の約 43%だった。次いで「地層処分」を選択する生徒が多く、このいずれかを選択した生徒は、全体の約 76%だった。話し合い後には、14 名の生徒の意思が変化した。「地層処分」へ変化下生徒は 6 名、「宇宙処分」へ変化した生徒は 3 名、「海洋底処分」へ変化した生徒は 2 名、「氷床処分」へ変化した生徒は 0 名だった。

表 10. 隔離処分方法に関する生徒の意思

	地層処分	宇宙処分	海洋底処分	氷床処分
話し合い前	22 名 (30.6%)	30 名 (41.7%)	8 名 (11.1%)	12 名 (16.7%)
話し合い後	24 名 (33.3%)	31 名 (43.1%)	8 名 (11.1%)	9 名 (12.5%)

次に、意思決定の要因を表 11 および図 8 に示す。「影響」について記述した生徒が多かった。「影響」は、主に「人間への影響」についての記述（約 47%）だった。話し合い後には、「処分作業」についての記述が大きく増加した。「処分作業」は、主に「土地の量的制限」についての記述（約 46%）が多かった。前節の処分方針の意思決定と比較すると、「安全性」について記述した生徒が増加した一方で、「感情」について記述した生徒が大きく減少した。

表 11. 隔離処分方法に関する意思決定の要因

項目	話し合い前	話し合い後
影響	38名(25.7%)	46名(22.7%)
安全性	22名(14.9%)	30名(14.8%)
将来性	12名(8.1%)	17名(8.4%)
人的要因による変化	2名(1.4%)	8名(3.9%)
災害	8名(5.4%)	10名(4.9%)
環境の変化	1名(0.7%)	1名(0.5%)
感情	2名(1.4%)	5名(2.5%)
処分地選定	22名(14.9%)	28名(13.8%)
処分作業	10名(6.8%)	18名(8.9%)
お金	20名(13.5%)	24名(11.8%)
高レベル放射性廃棄物	3名(2.0%)	4名(2.0%)
放射線に関する知識	8名(5.4%)	12名(5.9%)

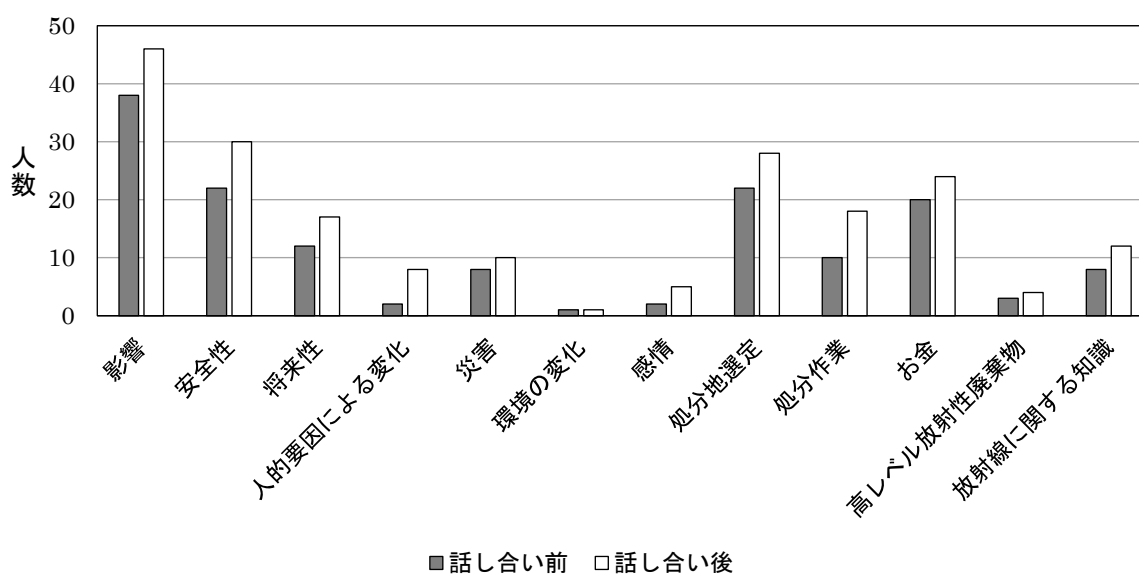


図 8. 隔離処分方法に関する意思決定の要因

3.2.3 処分地決定の際の要因の順位づけに関する意思決定

処分地決定の際の科学的要因の順位づけに関する生徒の意思を表 12 および表 13 に示す。話し合い前後ともに、最も重視する要因（1 番目）として、「地震（活断層）」を選択した生徒が最も多く、話し合い前は全体の約 63%、話し合い後は全体の約 58%の生徒が選択した。一方、最も重視しない要因（5 番目）として、話し合い前は「隆起・侵食」を選択した生徒が最も多く（全体の約 31%）、話し合い後は、「地下水の流量」を選択した生徒が最も多かった（全体の約 36%）。

表 12. 処分地決定の際の科学的な要因の順位づけ（話し合い前）

順位	地震（活断層）	火山	隆起・侵食	岩盤の固さ	地下水の流量
1	45 名(62.5%)	6 名(8.3%)	2 名(2.8%)	6 名(8.3%)	13 名(18.1%)
2	18 名(25.0%)	19 名(26.4%)	7 名(9.7%)	16 名(22.2%)	12 名(16.7%)
3	3 名(4.2%)	14 名(19.4%)	19 名(26.4%)	20 名(27.8%)	16 名(22.2%)
4	6 名(8.3%)	16 名(22.2%)	22 名(30.6%)	18 名(25.0%)	10 名(13.9%)
5	0 名(0.0%)	17 名(23.6%)	22 名(30.6%)	12 名(16.7%)	21 名(16.7%)

表 13. 処分地決定の際の科学的な要因の順位づけ（話し合い後）

順位	地震（活断層）	火山	隆起・侵食	岩盤の固さ	地下水の流量
1	42 名(58.3%)	6 名(8.3%)	4 名(5.6%)	6 名(8.3%)	14 名(19.4%)
2	19 名(26.4%)	20 名(27.8%)	8 名(11.1%)	17 名(23.6%)	8 名(11.1%)
3	7 名(9.7%)	21 名(29.2%)	16 名(22.2%)	14 名(19.4%)	14 名(19.4%)
4	4 名(5.6%)	14 名(19.4%)	24 名(33.3%)	20 名(27.8%)	10 名(13.9%)
5	0 名(0.0%)	11 名(15.3%)	20 名(27.8%)	15 名(20.8%)	26 名(36.1%)

ここで、「火山」について、他の要因と比較すると、話し合い後に最も重視しない要因として選択した生徒の数が大きく減少している。話し合い後には、2 番目や 3 番目に「火山」を位置づけた生徒の数が増加しており、多くの生徒が優先順位を上げたことが明らかとなった。これは、話し合いによって火山の重要性が共有されたためだと考える。

次に、処分地決定の際の社会的な要因の順位づけに関する生徒の意思を表 14 および表 15 に示す。話し合い前後ともに、最も重視する要因（1 番目）として、「人口密度」を選択した生徒が最も多く、話し合い前は全体の約 74%、話し合い後は全体の約 72%の生徒が選択した。一方、最も重視しない要因（5 番目）として、話し合い前後ともに、「鉱物資源」を選択した生徒が最も多く、話し合い前は全体の約 42%、話し合い後は全体の約 44%の生徒が選択した。授業では、鉱物資源があることで人間や生態系が何らかの被害を受けることはないため、重要度が低いという意見が多く挙げられていた。将来世代が掘削等により高レベル放射性廃棄物に近づくリスクに対しては、高レベル放射性廃棄物の存在を伝える方法の工夫や、建設時に鉱物資源を採取し切ってしまうことで対処できると判断をしていた。

表 14. 処分地決定の際の社会的な要因の順位づけ（話し合い前）

順位	鉱物資源	人口密度	土地利用	港からの距離	港からの輸送方法
1	2名(2.8%)	53名(73.6%)	12名(16.7%)	2名(2.8%)	1名(1.4%)
2	9名(12.5%)	12名(16.7%)	25名(34.7%)	14名(19.4%)	11名(15.3%)
3	15名(20.8%)	3名(4.2%)	10名(13.9%)	19名(26.4%)	25名(34.7%)
4	13名(18.1%)	2名(2.8%)	14名(19.4%)	22名(30.6%)	21名(29.2%)
5	30名(41.7%)	0名(0.0%)	12名(16.7%)	15名(20.8%)	14名(19.4%)

表 15. 処分地決定の際の社会的な要因の順位づけ（話し合い後）

順位	鉱物資源	人口密度	土地利用	港からの距離	港からの輸送方法
1	2名(2.8%)	52名(72.2%)	16名(22.2%)	1名(1.4%)	1名(1.4%)
2	9名(12.5%)	18名(25.0%)	16名(22.2%)	19名(26.4%)	10名(13.9%)
3	17名(23.6%)	1名(1.4%)	10名(13.9%)	19名(26.4%)	25名(34.7%)
4	11名(15.3%)	1名(1.4%)	18名(25.0%)	16名(22.2%)	26名(36.1%)
5	32名(44.4%)	0名(0.0%)	12名(16.7%)	17名(23.6%)	10名(13.9%)

3.2.4 仮定の候補地の中での処分地決定

生徒の意思を表 16 に示す。「候補地 D」を選択した生徒が最も多く、全体の約 44%だった。次いで「候補地 E」が多かった。この 2 つの候補地で、全体の約 74%を占めた。

ここで、「候補地 C」、「候補地 D」、「候補地 E」は、いずれも科学的な要因の欠点を他の候補地よりも多く持たせている。このことから、全体の傾向として、科学的な要因よりも社会的な要因を重視して処分地を決定したといえる。特に、「候補地 E」は、火山を欠点として持つ候補地にも関わらず多くの生徒が選択している。国は、火山と活断層を好ましくない要件としている（総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術 WG, 2017）ことから、地震（活断層）を欠点として持つ「候補地 A」と、火山を欠点として持つ「候補地 E」は、第一に検討から除外されると想定していた。「候補地 A」を選んだ生徒は少ないことから、地震（活断層）のリスクは十分認識しているが、火山のリスクはあまり認識していないことが考えられる。同様のことが、2 章 2 節での新たな処分方法を考える活動からもいえる。ある生徒が、「マグマにガラス固化体を放り込む」というアイデアを挙げたところ、多くの生徒が肯定的な反応をした。教員が、「マグマの中に放り込んでも、高レベル放射性廃棄物は無くなるよ。それに、火山が噴火したときに、放射性物質が広範囲に飛散するリスクがあるよ。」と指摘したところ、「活火山でないところを選べば、そんなには噴火しないから大丈夫だよ。」という生徒からの返答があった。火山が噴火する経験は、地震が起こる経験に比べて極めて少なく、実際に被害を受けていないため、リスクを認識することが難しいのではないかと考える。

表 16. 処分地決定に関する生徒の意思

	候補地 A	候補地 B	候補地 C	候補地 D	候補地 E	候補地 F	候補地 G
話し合い前	6名 (8.3%)	0名 (0.0%)	9名 (12.5%)	30名 (41.7%)	24名 (33.3%)	1名 (1.4%)	2名 (2.8%)
話し合い後	4名 (5.6%)	0名 (0.0%)	13名 (18.1%)	32名 (44.4%)	21名 (29.2%)	0名 (0.0%)	2名 (2.8%)

次に、この意思決定の要因を表 17 および図 9 に示す。「処分地選定」について記述した生徒が最も多く、「災害」、「環境の変化」、「処分作業」を合わせた 4 項目について多くの生徒が記述した。これら 4 項目には、各候補地に関する情報として示した内容が含まれている。

そこで、処分地決定のための情報として示した要因のみを抽出して集計した（表 18 および図 10）。科学的な要因では、「地下水の特性」について記述した生徒が最も少なく、3 章 3 節（要因の順位づけ）と同様の傾向が見られた。しかし、「地震（活断層）」と「火山」を比較すると、後者について記述した生徒が多く、要因の順位づけとは異なる結果となった。「火山」の存在は否定的なものではあるが、それに勝る他の要因があるため、「候補地 E」を選んだと考えられる。社会的な要因については、「人口密度」について記述した生徒が最も多く、全体の約 64% だった。

また、表 18 を科学的な要因と社会的な要因に分けて比較すると、話し合い前後ともに、科学的な要因に関する記述が全体の約 43%、社会的な要因に関する記述が約 57% だった。このことから、生徒が社会的な要因を重視して処分地を決定したことが記述からもいえる。

表 17. 処分地決定に関する意思決定の要因

項目	話し合い前	話し合い後
影響	15名(5.8%)	20名(6.5%)
安全性	2名(0.8%)	2名(0.7%)
将来性	0名(0.0%)	1名(0.3%)
人的要因による変化	2名(0.8%)	2名(0.7%)
災害	59名(23.0%)	64名(20.9%)
環境の変化	37名(14.4%)	48名(15.7%)
感情	2名(0.8%)	4名(1.3%)
処分地選定	72名(28.0%)	84名(27.5%)
処分作業	65名(25.3%)	78名(25.5%)
お金	2名(0.8%)	2名(0.7%)
高レベル放射性廃棄物	0名(0.0%)	0名(0.0%)
放射線に関する知識	1名(0.4%)	1名(0.3%)

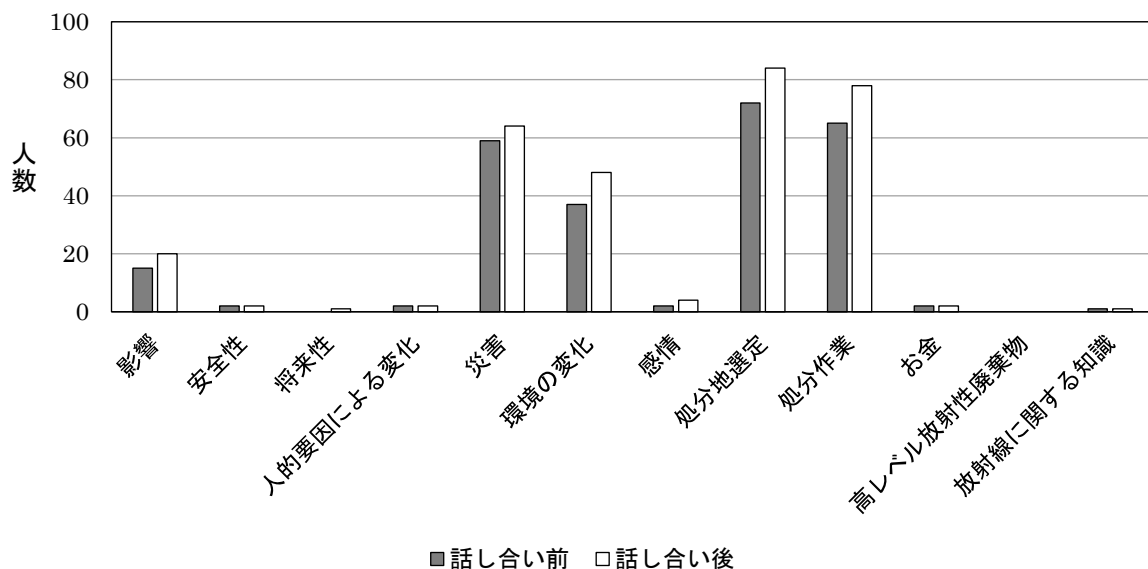


図 9. 処分地決定に関する意思決定の要因

表 18. 処分地決定に関する意思決定の要因（要因抽出版）

項目	話し合い前	話し合い後
地震（活断層）	26名(11.9%)	27名(10.8%)
火山	31名(14.2%)	34名(13.5%)
地層の特性	26名(11.9%)	34名(13.5%)
地下水の特性	11名(5.0%)	14名(5.6%)
鉱物資源	9名(4.1%)	11名(4.4%)
人口密度	43名(19.7%)	46名(18.3%)
土地利用	16名(7.3%)	20名(8.0%)
港からの距離	30名(13.8%)	34名(13.5%)
港からの輸送方法	26名(11.9%)	31名(12.4%)

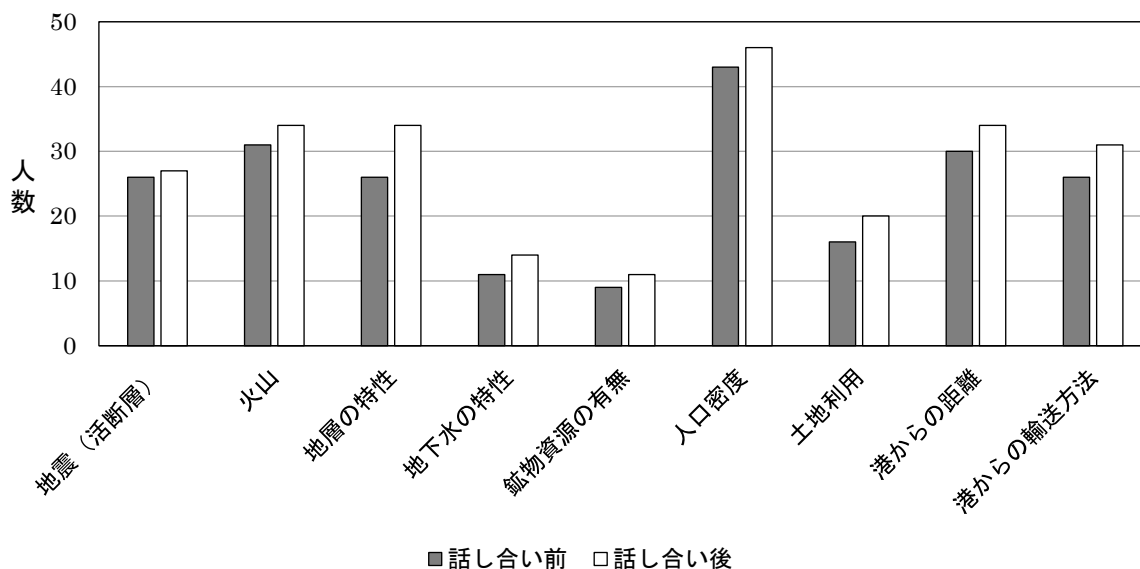


図 10. 処分地決定に関する意思決定の要因 (要因抽出版)

次に、処分地決定後に行った、「あなたが選んだ候補地は、全ての国民に受け入れられると思いますか」という課題に対する生徒の意思を表 19 に、意思決定の要因を表 20 および図 11 に示す。この課題に対しては、約 97% の生徒が「受け入れられない」を選択した。その理由には、自分自身が処分地を提示された立場になった時に、処分地の決定を受け入れるとは思わないことや、前段階の話し合いにおいて意見が対立したことを挙げていた。

表 19. 処分地決定に対する国民全体の理解に関する生徒の意思

受け入れられる	受け入れられない
2 名 (2.8%)	70 名 (97.2%)

表 20. 処分地決定に対する国民全体の理解に関する意思決定の要因

項目	人数 (割合)
影響	3 名 (3.1%)
安全性	21 名 (21.6%)
将来性	0 名 (0.0%)
人的要因による変化	1 名 (1.0%)
災害	5 名 (5.2%)
環境の変化	2 名 (2.1%)
感情	35 名 (36.1%)
処分地選定	26 名 (26.8%)
処分作業	1 名 (1.0%)
お金	2 名 (2.1%)
高レベル放射性廃棄物	0 名 (0.0%)
放射線に関する知識	1 名 (1.0%)

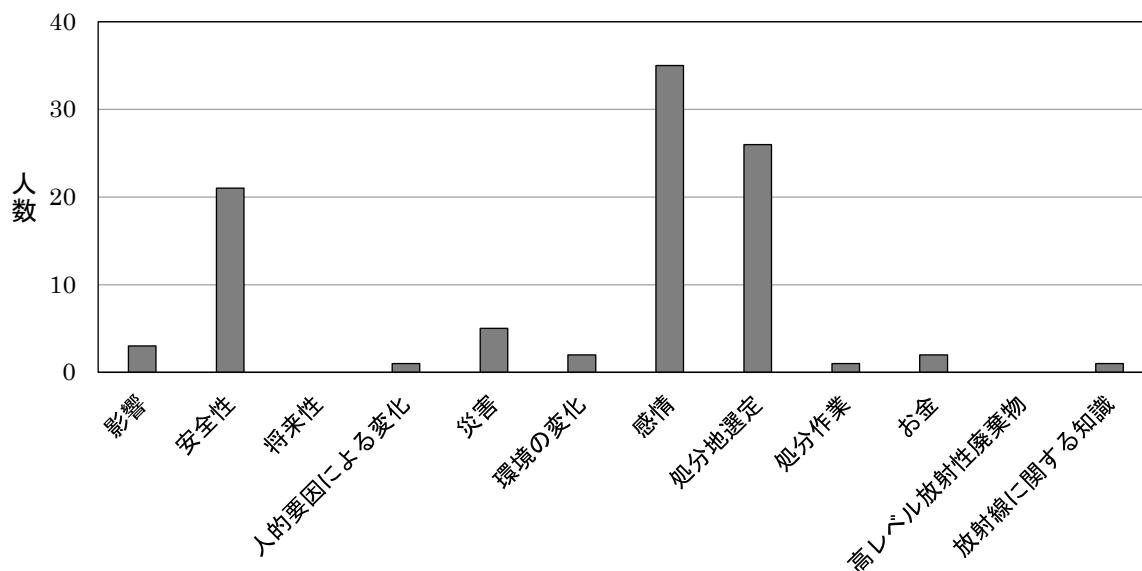


図 11. 処分地決定に対する国民全体の理解に関する意思決定の要因

次に、「あなたが選んだ候補地がもし、あなたが住んでいる地域だったら、あなたは処分施設を建設することを受け入れますか」という課題に対する生徒の意思を表 21 に、意思決定の要因を表 22 および図 12 に示す。この課題に対しては、約 49%の生徒が「受け入れる」を選択し、約 51%の生徒が「受け入れない」を選択した。「受け入れる」を選択した生徒の記述には、処分地としての適性が十分にあることや、自分が決めた処分地であるという責任感、どこかが受け入れないと解決しないという感情などが理由として挙げていた。一方、「受け入れない」を選択した生徒の記述には、他の候補地と比較して適性があるとは思いますが、今後、高レベル放射性廃棄物が自分の居住区域に存在し続けることに対して否定的な感情があることを理由に挙げていた。

表 21. 処分施設の建設受け入れに関する生徒の意思

受け入れる	受け入れない
35 名 (48.6%)	37 名 (51.4%)

表 22. 処分施設の建設受け入れに関する意思決定の要因

項目	人数(割合)
影響	7名(10.8%)
安全性	14名(21.5%)
将来性	0名(0.0%)
人的要因による変化	9名(13.8%)
災害	0名(0.0%)
環境の変化	0名(0.0%)
感情	25名(38.5%)
処分地選定	6名(9.2%)
処分作業	0名(0.0%)
お金	3名(4.6%)
高レベル放射性廃棄物	0名(0.0%)
放射線に関する知識	1名(1.5%)

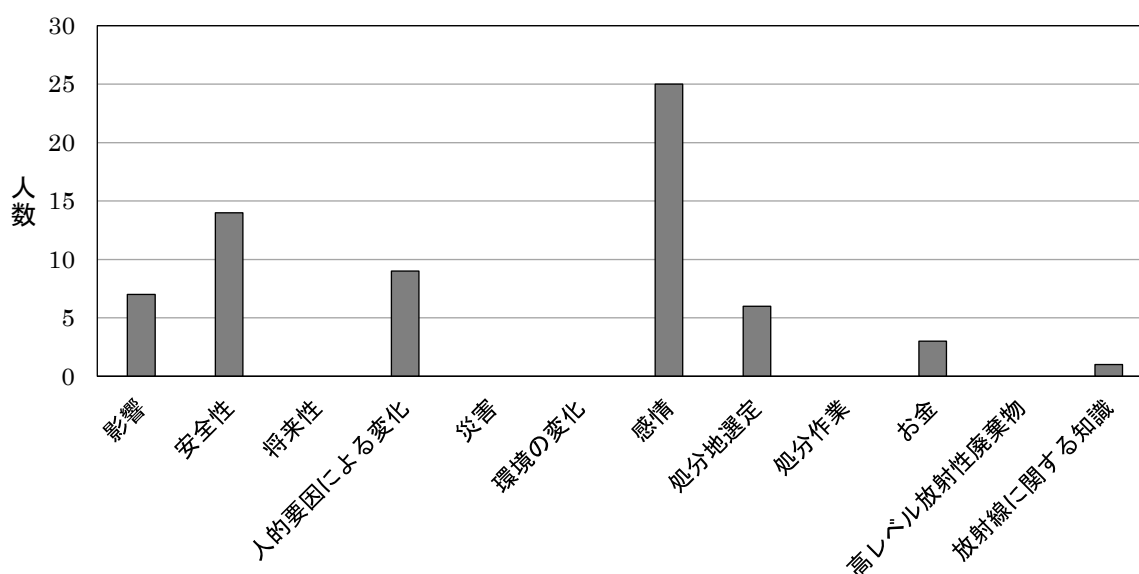


図 12. 処分施設の建設受け入れに関する意思決定の要因

3.2.5 地層処分の賛成・反対に関する意思決定

生徒の意思を表 23 に示す。最終的には、肯定が全体の約 49%，否定が全体の約 18%，中立が全体の約 33%という結果になった。1 回目と 3 回目の意思を比較しところ（表 24 および図 13），意思が変化した生徒は全体の約 57%であり，約 43%の生徒の意思は変化しなかった。また，賛成側反対側ともに生徒の人数に大きな偏りは見られなかった。このことから，教材は中立的な立場であるといえる。

表 23. 地層処分の賛成・反対に関する生徒の意思

	1 (賛成)	2	3 (中立)	4	5 (反対)
1 回目	8 名(11.1%)	34 名(47.2%)	17 名(23.6%)	11 名(15.3%)	2 名(2.8%)
2 回目	6 名(8.3%)	24 名(33.3%)	18 名(25.0%)	21 名(29.2%)	3 名(4.2%)
3 回目	10 名(13.4%)	25 名(34.7%)	24 名(33.3%)	7 名(9.7%)	6 名(8.3%)

表 24. 1 回目と 3 回目の意思の変化量

	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
人数	1 名 (1.4%)	1 名 (1.4%)	3 名 (4.2%)	13 名 (18.1%)	31 名 (43.1%)	13 名 (18.1%)	9 名 (12.5%)	0 名 (0.0%)	1 名 (1.4%)

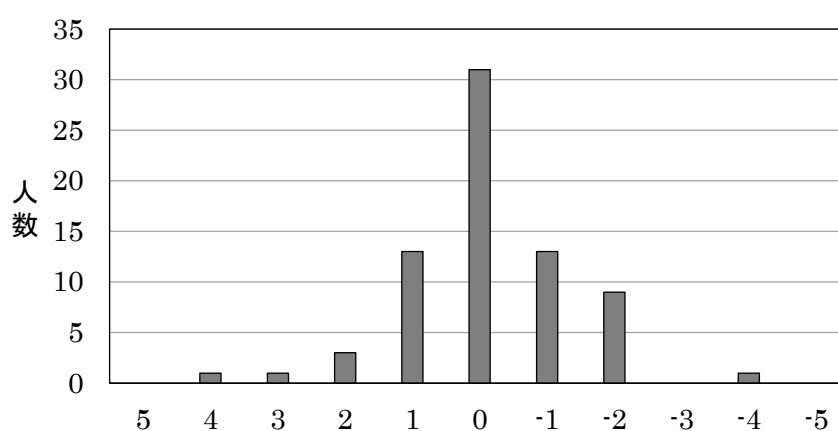


図 13. 1 回目と 3 回目の意思の変化量

ここで、2 回目（地層処分に関する知識を得た後）の意思決定では、「2（少し賛成）」が大きく減少し、「4（少し反対）」が大きく増加した。これは、1 回目の意思決定の段階では、地層処分を行うという知識しか持っていなかったが、2 回目の意思決定の段階では、処分地選定が進んでいないという知識を得ているため、方法論として地層処分に肯定的だった層が否定に変化したと考えられる。

また、3 回目（処分地決定を経験した後）の意思決定では、「4（少し反対）」が大きく減少し、「1（賛成）」と「3（中立）」が増加した。この詳細を明らかにするために、2 章 2 節（隔離処分方法の意思決定）において、地層処分を選択した生徒（表 25）と、それ以外を選択した生徒（表 26）に分けて集計した。その結果、3 回目の意思決定で「4（少し反対）」が大きく減少しているのは、地層処分以外を選択した生徒であることが明らかとなった。2 章 2 節で地層処分以外を選択した生徒のうち、2 回目の意思決定で「4（少し反対）」を選んだ生徒のみを取り上げて 3 回目の意思を見ると（表 27）、その多くが「3（中立）」または「5（反対）」に変化しており、肯定側にはほとんど変化していないことが分かった。

表 25. 2 章 2 節で地層処分を選んだ生徒の意思

	1 (賛成)	2	3 (中立)	4	5 (反対)
1 回目	4 名(16.7%)	14 名(58.3%)	2 名(8.3%)	4 名(16.7%)	0 名(0.0%)
2 回目	2 名(8.3%)	9 名(37.5%)	6 名(25.0%)	6 名(25.0%)	1 名(4.2%)
3 回目	4 名(16.7%)	12 名(50.0%)	5 名(20.8%)	2 名(8.3%)	1 名(4.2%)

表 26. 2 章 2 節で地層処分以外を選んだ生徒の意思

	1 (賛成)	2	3 (中立)	4	5 (反対)
1 回目	4 名(8.3%)	20 名(41.7%)	15 名(31.3%)	7 名(14.6%)	2 名(4.2%)
2 回目	4 名(8.3%)	15 名(31.3%)	12 名(25.0%)	15 名(31.3%)	2 名(4.2%)
3 回目	6 名(12.5%)	13 名(27.1%)	19 名(39.6%)	5 名(10.4%)	5 名(10.4%)

表 27. 2 回目に「4 (少し反対)」を選択した生徒の 3 回目の意思

1 (賛成)	2	3 (中立)	4	5 (反対)
1 名(4.8%)	3 名(14.3%)	6 名(28.6%)	6 名(28.6%)	5 名(23.8%)

次に、この意思決定の要因を表 28 および図 14 に示す。1 回目の意思決定では、前段階で隔離処分方法を考えたことから、地層処分が他の方法と比較して妥当である（安全かつ確実に処分できる）こと（要因：「処分の確実性（成功率）」、20 名）や、人間への影響が少ないことが予想されること（要因：「人間への影響」、14 名）、再処理をする際に取り出すことができること（要因：「再処理の可能性」、10 名）を理由として挙げた生徒が多かった。2 回目の意思決定では、安全性を担保すること（要因：「将来の安全性の保証」、22 名）と、処分地の選定が難しいこと（要因：「処分地選定が難しい」、15 名）を理由として挙げた生徒が多かった。3 回目の意思決定では、安全性を担保すること（要因：「将来の安全性の保証」、25 名）と、処分地の選定が難しいこと（要因：「処分地選定が難しい」、16 名）、再処理をする際に取り出すことができること（要因：「再処理の可能性」、14 名）を理由として挙げた生徒が多かった。

表 28. 地層処分の賛成・反対に関する意思決定の要因

項目	1回目	2回目	3回目
影響	31名(22.3%)	8名(7.8%)	5名(3.7%)
安全性	17名(12.2%)	22名(21.6%)	27名(20.0%)
将来性	11名(7.9%)	8名(7.8%)	14名(10.4%)
人的要因による変化	3名(2.2%)	1名(1.0%)	4名(3.0%)
災害	13名(9.4%)	0名(0.0%)	6名(4.4%)
環境の変化	4名(2.9%)	0名(0.0%)	3名(2.2%)
感情	11名(7.9%)	16名(15.7%)	19名(14.1%)
処分地選定	13名(9.4%)	27名(26.5%)	32名(23.7%)
処分作業	21名(15.1%)	17名(16.7%)	20名(14.8%)
お金	4名(2.9%)	2名(2.0%)	3名(2.2%)
高レベル放射性廃棄物	1名(0.7%)	1名(1.0%)	1名(0.7%)
放射線に関する知識	10名(7.2%)	0名(0.0%)	1名(0.7%)

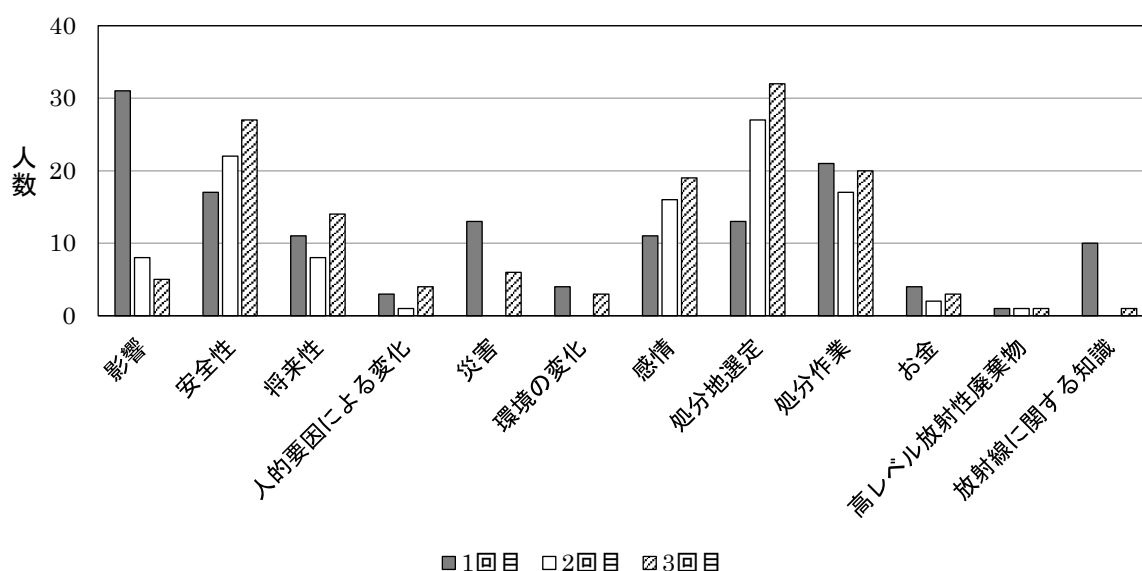


図 14. 地層処分の賛成・反対に関する意思決定の要因

3.2.6 処分地決定の際の責任に関する意思決定

生徒の意思を表 29 に示す。左の項目ほど自分ごとの度合いがより高まった意思である。1 回目の意思決定では、約 26% の生徒が、「私たち自身が考えていかなければならない」を選択した。処分地決定を経験した後の 2 回目の意思決定では、約 38% まで増加した。一方で、2 回目の意思決定でも、約 61% の生徒は、「決められないのは仕方がない」、「国がしっかりと決めなければならぬ」を選択している。そこで、2 章 2 節（隔離処分方法の意思決定）において、地層処分を選択した生徒と、それ以外の方法を選択した生徒に分けて集計した（表 30）。その結果、2 章 2 節で地層処分を選択した生徒の方が、最終的に自分ごととして考えられていることが分かった。一方で、地層処分以外を選択した生徒の約 44%

は、「国がしっかりと決めなければならない」「決められないのは仕方がない」を選んだことが明らかとなり、記述から、処分地の決定を経験したことで、処分地を決めることは困難だと感じたためであることが明らかとなった。

表 29. 処分地決定の際の責任に関する生徒の意思

	私たち自身が考えていかなければならない	決められる大人になりたい	国がしっかりと決めなければならない	決められないのは仕方がない
1 回目	19 名 (26.4%)	1 名 (1.4%)	27 名 (37.5%)	25 名 (34.7%)
2 回目	27 名 (37.5%)	1 名 (1.4%)	25 名 (34.8%)	19 名 (26.4%)

表 30. 2 章 2 節で地層処分を選択したかどうかによる 2 回目の意思の違い

	私たち自身が考えていかなければならない	決められる大人になりたい	国がしっかりと決めなければならない	決められないのは仕方がない
地層処分を選択 (N=24)	12 名 (50.0%)	0 名 (0.0%)	6 名 (25.0%)	6 名 (25.0%)
地層処分以外を選択 (N=48)	15 名 (31.3%)	1 名 (2.1%)	19 名 (34.5%)	13 名 (27.1%)

次に、この意思決定の要因を表 31 および図 15 に示す。1 回目、2 回目ともに「感情」と「処分地選定」について記述した生徒が多かった。1 回目の意思決定では、処分地選定のための調査に応募する自治体が 1 つもないことから、解決のために国が更に主導して進めていくべきであること（要因：「国が主導すべき」、17 名）や、早く解決したいということ（要因：「早く解決したい」、16 名）、国民がより関心を持って関与していくべきであること（要因：「考えたい・考えるべき」、13 名）や、事業が進まない現状から、今後も進展は難しいと予想されること（要因：「処分地選定が難しい」、13 名）を理由として挙げた生徒が多かった。2 回目の意思決定では、現実性や重要性を知り、自分自身が関わりたい（関わるべきだ）と思ったこと（要因：「考えたい・考えるべき」、24 名）や、処分地選定を体験したことで、処分地を決定することがより一層難しいと感じたこと（要因：「処分地選定が難しい」、19 名）、次世代に影響を及ぼさない様に自分達で解決したいということ（要因：「早く解決したい」、17 名）、早く解決するために、国が更に主導して進めていくべきであること（要因：「国が主導すべき」、17 名）を理由として挙げた生徒が多かった。

表 31. 処分地決定の際の責任に関する意思決定の要因

項目	1回目	2回目
影響	3名(2.3%)	2名(1.5%)
安全性	6名(4.6%)	6名(4.5%)
将来性	8名(6.1%)	1名(0.8%)
人的要因による変化	0名(0.0%)	0名(0.0%)
災害	1名(0.8%)	0名(0.0%)
環境の変化	0名(0.0%)	0名(0.0%)
感情	73名(55.7%)	87名(65.4%)
処分地選定	32名(24.4%)	34名(25.6%)
処分作業	0名(0.0%)	1名(0.8%)
お金	0名(0.0%)	0名(0.0%)
高レベル放射性廃棄物	7名(5.3%)	2名(1.5%)
放射線に関する知識	1名(0.8%)	0名(0.0%)

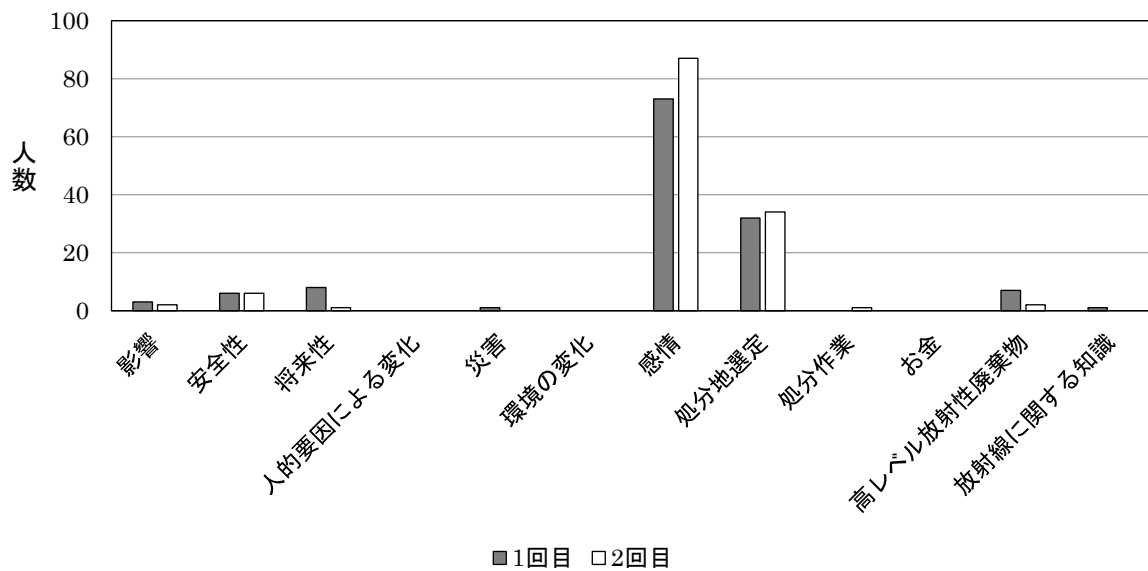


図 15. 処分地決定の際の責任に関する意思決定の要因

3.3 教員への聞き取り調査と教材の改訂

試行①の終了後、教員3名を対象に、教材の使いやすさや改善事項について聞き取り調査を行った。その結果、以下の回答が得られた（表32）。これらの回答をもとに教材を再検討し、6つの改訂を行い、教材を完成させた。これを、「生徒用ワークシート（完成版）」（添付資料3）と、「教師用ワークシート（完成版）」（添付資料4）と定義する。

表 32. 教員への聞き取り調査の結果

<ul style="list-style-type: none"> ・説明資料とワークシートが一緒になっているため、とても授業がしやすい。 ・しかし、先のページを見てしまう生徒がいるなど、授業進行上の難しさもあった。 ・科学的な要因と社会的な要因の説明資料は、文字が多く理解しづらい。 ・ガラス固化体の輸送方法が想像できない。 ・意思決定場面について、専門家などの模範的な解答が知りたい。 ・多重バリアシステムの説明が難しい。（模型などを使って説明したい）

改訂①：教材構成の変更

当初の想定より円滑に授業が進むことが明らかとなったため、3章2節と3章3節は1を1つにまとめた。これにより、3章は全3節構成に変更し、授業時間は合計10時間とした（表33）。



表 33. 教材の構成（完成版）

章	節	内容
1	教科書準拠の内容(4)	1 エネルギーと発電について理解する。
		2 放射線について理解する。
2	高レベル放射性廃棄物について(2)	1 高レベル放射性廃棄物について理解し、高レベル放射性廃棄物の処分方針を考える。
		2 高レベル放射性廃棄物の隔離処分方法を考える。
3	地層処分について(3)	1 地層処分について理解する。
		2 処分地決定の際の要因について理解し、決定時に自分が重視する要因を考える。
		3 仮想の7つの候補地の中で処分地を決定する。
4	私たちの未来(1)	1 学習を振り返り、今後の自分を考える。

※()内の数字は授業時間数を示す

改訂②：科学的な要因および社会的な要因の説明資料の変更

内容が難しいため、生徒の中には、十分に理解できてない様子を見せるものもあった。また、教員からも理解しづらいとの指摘を受けた。そこで、科学的な要因と社会的な要因を区別して表形式にし、一部にイラストを挿入することで分かりやすくした（図 16）。

社会的な要因			
鉱物資源 処分地の近くに鉱物資源があると、将来の世代が、鉱物資源の調査や採掘のために、地下施設の近くへ行ってしまいう可能性があります。		人口密度 処分地周辺の人口密度が高いほど、事故が起きたときの人的被害が大きくなります。	
土地利用 多くの人が土地の所有権を持っている場所を処分地とする場合には、その人達に許可をいただき、移動していただく必要があります。また、場所によっては、価値のあるもの（重要文化財など）がある場合もあります。		港からの距離 再処理施設から処分地の近くの港までは船で運びますが、その後は陸地を運びます。港からの距離が遠くなるほど、輸送中の被ばくリスクが高くなります。	
		 <p>図 49：ガラス固化体の輸送船 (資料提供：原子力発電環境整備機構)</p>	
港からの輸送方法 港から処分地までガラス固化体を運ぶ方法は、車両と鉄道の2つがあります。一度に運ぶ量が少ないほど、途中の道路に留まる時間が長くなり、被ばくリスクは高くなります。一方で、一度に運ぶ量が多いほど、事故が起きたときの被ばくリスクは高くなります。			
		 <p>図 50：ガラス固化体の輸送車両 (資料提供：原子力発電環境整備機構)</p>	
輸送方法	ガラス固化体を一度に運搬できる量	輸送中の被ばくリスク	その他
車両	4本	最も高い	道路の補強が必要。
鉄道	28本	中程度	勾配の制限があり、輸送できる範囲が限られる。
科学的な要因			
地震（活断層） 地下施設の近くに活断層があると、地下施設を破壊する可能性があります。また、岩盤に亀裂が入ることで、地下水の量が増えたり、地下水の流れが速くなる可能性があります。		地下水の流量 地下水がたくさん流れている場所では、万が一、放射性物質が漏れ出した時に、放射性物質を広範囲に拡散してしまう可能性があります。	
火山 地下施設の近くに火山があると、地下施設にマグマが流れこみ、ガラス固化体を溶かす可能性があります。また、マグマの熱によって、ガラス固化体の周りの地温や水温が、上昇する可能性があります。		岩盤の固さ 岩盤がやわらかいと、強度が小さく、地下施設の建設に影響する可能性があります。また、操業中に、地下施設の維持・管理が困難になる可能性があります。	
隆起・侵食			
隆起が生じている地域では、隆起した地表が、雨や風によって侵食されます。隆起が著しい地域では、侵食も著しくなる可能性があり、一度埋めた高レベル放射性廃棄物が、地表近くまで接近する可能性があります。			

(総合資源エネルギー調査会「科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける中間整理より作成）

図 16. 社会的な要因・科学的な要因に関する説明資料（完成版）

改訂③：要因の順位づけにおける理由記述枠の変更

自由に記述する形式では、思考過程を全て文章化する必要があり、生徒が考えづらいことが明らかとなった。そこで、順位ごとに理由を記述する方式（図 17）に変更することで、より考えやすくした。

科学的な要因		社会的な要因	
地震（活断層）、火山、隆起・侵食、岩盤の固さ、地下水の流量		鉱物資源、人口密度、土地利用、港からの距離、港からの輸送方法	

考えよう：5つの科学的な要因を、重要だと考える順に並べよう。

要因	理由
1	
2	
3	
4	
5	

考えよう：5つの社会的な要因を、重要だと考える順に並べよう。

要因	理由
1	
2	
3	
4	
5	

図 17. 要因を順位づけるためのワークシート（完成版）

改訂④：処分地決定における理由記述枠の変更

前節で要因の順位づけをしたことをより関連付けるために、処分地決定時に決め手となった要因を選択する項目を新設した(図 18)。決め手となった要因を明らかにすることは、要因の順位づけと一致した場合には自分の意思がより明確になり、一致しなかった場合には、再検討するきっかけとなる。抽象的な要因の順位づけと具体的な処分地決定を組み合わせることで、自分が何を重視して処分地決定を行うかをより深く考えることができる。

考えよう：科学的な要因と社会的な要因の両方から、処分地を決定しよう。

A ・ B ・ C ・ D ・ E ・ F ・ G
決め手となった要因（1 つに○をつけよう） 地震（活断層） 火山 隆起・侵食 岩盤の固さ 地下水の流量 鉱物資源 人口密度 土地利用 港からの距離 港からの輸送方法
理由

図 18. 処分地決定のためのワークシート（完成版）

改訂⑤：処分地決定後の意思決定の変更

「あなたが決めた候補地は、全ての国民に受け入れられると思うか」という課題は、ほぼ全ての生徒が「受け入れられると思わない」を選択することが明らかとなった。つまり、この課題は生徒にとって切実なものではなかった。そこで、「あなたが決めた候補地が、あなたが住んでいる地域だとしたら、処分施設の建設を受け入れるか」という課題は維持し、「あなたが決めた候補地の近くに、あなたは住みますか。」という課題を新設した(図 19)。

考えよう：あなたが決めた候補地の近くに、あなたは住みますか。
(あなたが住む家は、処分地から安全な距離離れた場所にあるとします)

住む ・ 住まない ・ 判断できない
理由

考えよう：あなたが決めた候補地が、あなたが住んでいる地域だとしたら、あなたは処分施設を建設することを受け入れますか。

(あなたの家は、処分地から安全な距離だけ離れた場所にあるとします)

受け入れる ・ 受け入れない ・ 判断できない
理由

図 19. 処分地決定後の意思決定のためのワークシート（完成版）

改訂⑥：国の動向を踏まえた最新情報の追加

2017年7月に「科学的特性マップ」が公表されたことを踏まえて、科学的特性マップを掲載するとともに、説明文章を追加した。また、学習事項に関連する機関のインターネットアドレスを記載することで、更に学習したい生徒に対応した（図20）。

4. おわりに

これまでに学習したように、高レベル放射性廃棄物の処分地を決めるための調査を受け入れる自治体は、今のところ1つ也没有。そこで国は、地層処分に関係する各地域の科学的な特性を整理した「科学的特性マップ」を2017年7月に公表しました。

高レベル放射性廃棄物の処分問題は、日本の全国民が関係します。次の世代の人たちに迷惑をかけないためにも、私たちの世代で解決できるように、これからもしっかりと考えていくことが大切です。

～もっと知りたい人は調べてみよう～

発電について

- 電気事業連合会：<http://www.fepc.or.jp/>
- 経済産業省資源エネルギー庁：<http://www.enecho.meti.go.jp/>

放射線について

- 文部科学省（中学生・高校生のための放射線副読本）
http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1344729.html

高レベル放射性廃棄物について

- 日本原燃株式会社：<http://www.jnfl.co.jp/ja/>

地層処分について

- 原子力発電環境整備機構（NUMO）：<http://www.numo.or.jp/>

地層処分のための研究施設について

- 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構：<http://www.jaea.go.jp/>
- 東濃地科学センター：<http://www.jaea.go.jp/04/tono/index.html>
- 幌延深地層研究センター：<http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/index.html>

(2017年2月現在)

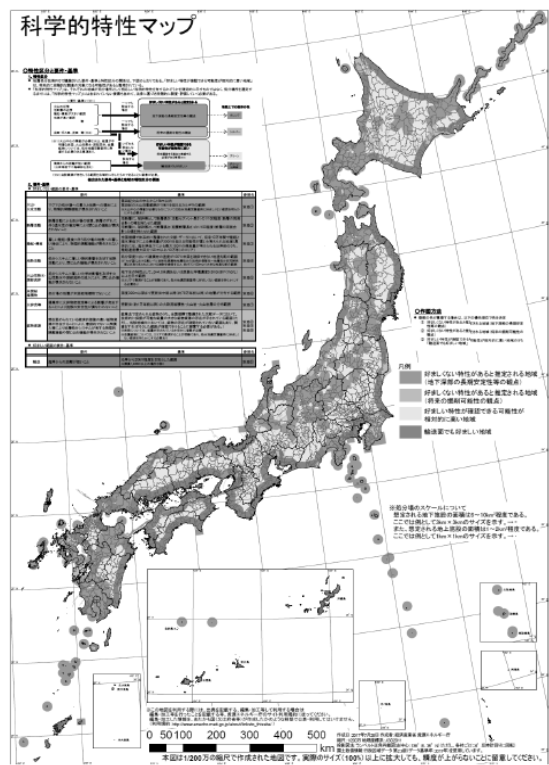


図51：科学的特性マップ
(原子力発電環境整備機構HP(2017)「科学的特性マップ」より)

図20. 科学的特性マップに関する説明資料（完成版）

3.4 試行②の概要

本試行は、開発した教材を用いた授業による効果を分析することを目的とした。2017年9月中旬～10月中旬の期間に梅村学園三重中学校にて実施した。試行前には、生徒を対象とした質問紙調査を実施し、試行後には、生徒と教員を対象とした質問紙調査を実施した。

3.5 結果と考察

全ての授業と質問紙調査に参加した生徒（N=55）を分析対象とした。なお、意思決定の要因を分析する基準として、試行①で明らかにした意思決定の要因（表7）を使用した。また、話し合い後の人数は、話し合い前との合計値を示した。これは、意思が変化した生徒としなかった生徒がいるためである。

3.5.1 処分方針に関する意思決定

生徒の意思を表34に示す。試行の結果、「地上管理」を選択した生徒と、「隔離処分」を選択した生徒の比率が1:3となり、約73%の生徒が「隔離処分」を選択した。また、話し合い後には、7名の生徒の意思が変化した。「地上管理」から「隔離処分」に変化した生徒が4名、「隔離処分」から「地上管理」に変化した生徒が3名だった。

表 34. 処分方針に関する生徒の意思

	地上管理	隔離処分
話し合い前	16名(29.1%)	39名(70.9%)
話し合い後	15名(27.3%)	40名(72.7%)

次に、この意思決定の要因を表35および図21に示す。「影響」、「安全性」、「処分地選定」について記述した生徒が多いことが分かる。「影響」は、主に「人間への影響」についての記述（約52%）、「安全性」は、主に「安全性の担保」についての記述（約36%）、「処分地選定」は、主に「土地の量的制限」についての記述（約77%）だった。また、話し合い後には、「影響」や「安全性」についての記述が大きく増加した。「影響」は、主に「生態系への影響」についての記述（約31%）、「安全性」は、主に「将来の安全性の保障」についての記述（約36%）だった。

表 35. 処分方針に関する意思決定の要因

項目	話し合い前	話し合い後
影響	17名(14.4%)	29名(16.1%)
影響	25名(21.2%)	42名(23.3%)
将来性	2名(1.7%)	3名(1.7%)
人的要因による変化	14名(11.9%)	19名(10.6%)
災害	9名(7.6%)	11名(6.1%)
環境の変化	0名(0.0%)	1名(0.6%)
感情	9名(7.6%)	13名(7.2%)
処分地選定	25名(21.2%)	30名(16.7%)
処分作業	4名(3.4%)	8名(4.4%)
お金	7名(5.9%)	17名(9.4%)
高レベル放射性廃棄物	2名(1.7%)	2名(1.1%)
放射線に関する知識	4名(3.4%)	5名(2.8%)

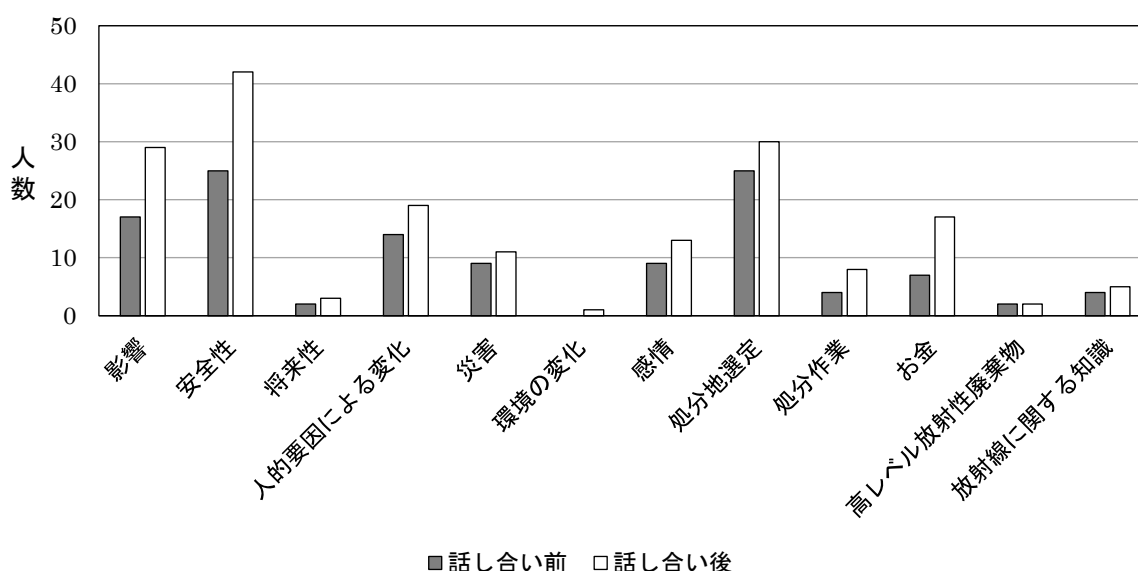


図 21. 処分方針に関する意思決定の要因

3.5.2 隔離処分方法に関する意思決定

生徒の意思を表 36 に示す。「宇宙処分」を最も多くの生徒が選択し、全体の約 33%だった。次いで「地層処分」を選択する生徒が多く、このいずれかを選択した生徒は、全体の約 64%だった。話し合い後には、15名の生徒の意思が変化した。「地層処分」へ変化した生徒が 3名、「宇宙処分」へ変化した生徒が 4名、「海洋底処分」へ変化した生徒が 5名、「氷床処分」へ変化した生徒が 3名だった。

表 36. 隔離処分方法に関する生徒の意思

	地層処分	宇宙処分	海洋底処分	氷床処分
話し合い前	17名(30.9%)	18名(32.7%)	8名(14.5%)	12名(21.8%)
話し合い後	17名(30.9%)	16名(29.1%)	10名(18.2%)	12名(21.8%)

次に、この意思決定の要因を表 37 および図 22 に示す。「影響」、「処分地選定」、「処分作業」、「お金」について記述した生徒が多かった。「影響」は、主に「人間への影響」についての記述(約 45%)、「処分地選定」は、主に「土地の量的制限」についての記述(約 55%)、「処分作業」は、主に「作業の確実性(成功率)」についての記述(約 41%)、「お金」は、主に「処分費用」(約 100%)についての記述が多かった。また、話し合い後には、「影響」についての記述が大きく増加した。「影響」は、主に「生態系への影響」についての記述が多かった。

表 37. 隔離処分方法に関する意思決定の要因

項目	話し合い前	話し合い後
影響	32名(17.4%)	42名(17.9%)
安全性	6名(3.3%)	8名(3.4%)
将来性	19名(10.3%)	24名(10.3%)
人的要因による変化	2名(1.1%)	4名(1.7%)
災害	8名(4.3%)	12名(5.1%)
環境の変化	1名(0.5%)	1名(0.4%)
感情	6名(3.3%)	8名(3.4%)
処分地選定	36名(19.6%)	42名(17.9%)
処分作業	25名(13.6%)	34名(14.5%)
お金	32名(17.4%)	38名(16.2%)
高レベル放射性廃棄物	1名(0.5%)	1名(0.4%)
放射線に関する知識	16名(8.7%)	20名(8.5%)

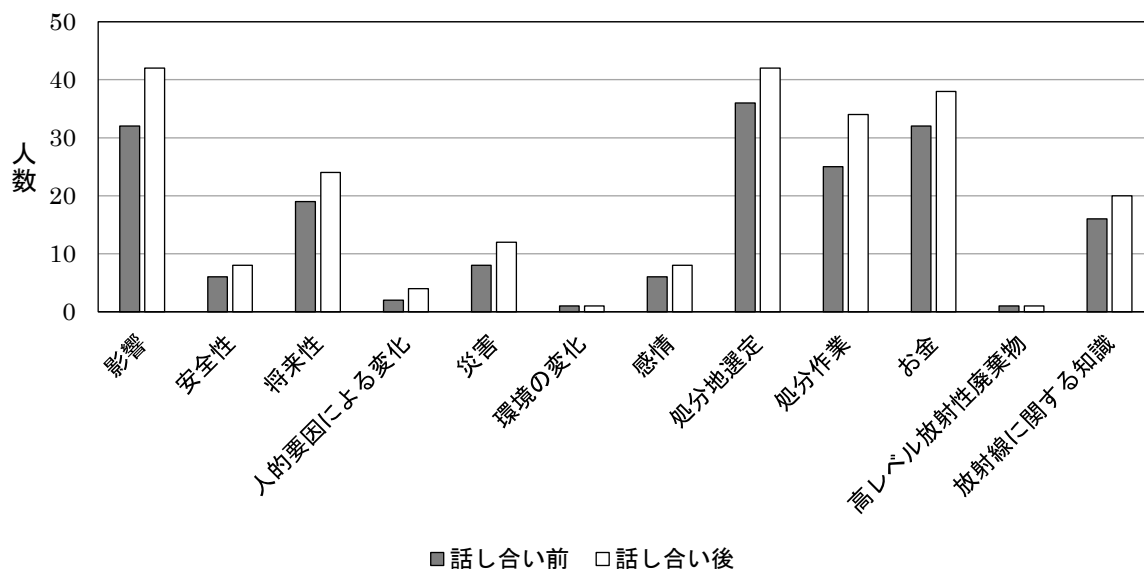


図 22. 隔離処分方法に関する意思決定の要因

3.5.3 処分地決定の際の要因の順位づけに関する意思決定

処分地決定の際の科学的な要因の順位づけに関する生徒の意思を表 38 および表 39 に示す。話し合い前後ともに、最も重視する要因（1 番目）として、「地震（活断層）」を選択した生徒が最も多く、話し合い前は全体の約 40%，話し合い後は全体の約 49%の生徒が選択した。一方、最も重視しない要因（5 番目）として、話し合い前後ともに、「隆起・侵食」を選択した生徒が最も多く、話し合い前は全体の約 33%，話し合い後は全体の約 33%の生徒が選択した。

表 38. 科学的な要因の順位づけ（話し合い前）

順位	地震（活断層）	火山	隆起・侵食	岩盤の固さ	地下水の流量
1	29 名(40.3%)	8 名(11.1%)	5 名(6.9%)	9 名(12.5%)	4 名(5.6%)
2	15 名(20.8%)	19 名(26.4%)	5 名(6.9%)	10 名(13.9%)	6 名(8.3%)
3	7 名(9.7%)	8 名(11.1%)	7 名(9.7%)	16 名(22.2%)	17 名(23.6%)
4	3 名(4.2%)	12 名(16.7%)	14 名(19.4%)	9 名(12.5%)	17 名(23.6%)
5	1 名(1.4%)	8 名(11.1%)	24 名(33.3%)	11 名(15.3%)	11 名(15.3%)

表 39. 科学的な要因の順位づけ（話し合い後）

順位	地震（活断層）	火山	隆起・侵食	岩盤の固さ	地下水の流量
1	33 名(45.8%)	8 名(11.1%)	2 名(2.8%)	11 名(15.3%)	1 名(1.4%)
2	13 名(18.1%)	23 名(31.9%)	8 名(11.1%)	7 名(9.7%)	4 名(5.6%)
3	8 名(11.1%)	10 名(13.9%)	6 名(8.3%)	19 名(26.4%)	12 名(16.7%)
4	1 名(1.4%)	6 名(8.3%)	15 名(20.8%)	11 名(15.3%)	22 名(30.6%)
5	0 名(0.0%)	8 名(11.1%)	24 名(33.3%)	7 名(9.7%)	16 名(22.2%)

次に、処分地決定の際の科学的な要因の順位づけに関する生徒の意思を表 40 および表 41 に示す。話し合い前後ともに、最も重視する要因（1 番目）として、「人口密度」を選択した生徒が最も多く、話し合い前は全体の約 42%、話し合い後は全体の約 43%の生徒が選択した。一方、最も重視しない要因（5 番目）として、話し合い前後ともに「鉱物資源」を選択した生徒が最も多く、話し合い前は全体の約 33%、話し合い後は全体の約 44%の生徒が選択した。生徒の記述からは、人間の安全性と生活への影響を考慮している様子が見られ、直接的な影響を与えない鉱物資源の存在は重要度が低く評価されている様子が見られた。

表 40. 社会的な要因の順位づけ（話し合い前）

順位	鉱物資源	人口密度	土地利用	港からの距離	港からの輸送方法
1	0 名(0.0%)	30 名(41.7%)	12 名(16.7%)	10 名(13.9%)	3 名(4.2%)
2	7 名(9.7%)	14 名(19.4%)	16 名(22.2%)	8 名(11.1%)	10 名(13.9%)
3	14 名(19.4%)	4 名(5.6%)	10 名(13.9%)	16 名(22.2%)	11 名(15.3%)
4	10 名(13.9%)	5 名(6.9%)	10 名(13.9%)	7 名(9.7%)	23 名(31.9%)
5	24 名(33.3%)	2 名(2.8%)	7 名(9.7%)	14 名(19.4%)	8 名(11.1%)

表 41. 社会的な要因の順位づけ（話し合い後）

順位	鉱物資源	人口密度	土地利用	港からの距離	港からの輸送方法
1	0 名(0.0%)	31 名(43.1%)	14 名(19.4%)	10 名(13.9%)	0 名(0.0%)
2	3 名(4.2%)	15 名(20.8%)	19 名(26.4%)	9 名(12.5%)	8 名(11.1%)
3	15 名(20.8%)	5 名(6.9%)	4 名(5.6%)	18 名(25.0%)	13 名(18.1%)
4	5 名(6.9%)	4 名(5.6%)	12 名(16.7%)	8 名(11.1%)	26 名(36.1%)
5	32 名(44.4%)	0 名(0.0%)	6 名(8.3%)	10 名(13.9%)	7 名(9.7%)

3.5.4 仮想の候補地の中での処分地決定

生徒の意思を表 42 に示す。「候補地 D」を選択した生徒が最も多く、全体の約 31%だった。次いで「候補地 C」が多かった。この 2 つの候補地で全体の約 57%を占めた。試行①と比較すると、「候補地 E」を選択した生徒の数が非常に少なくなった（試行①：約 29%、試行②：約 11%）。これは、教材の改訂②（科学的な要因および社会的な要因の説明資料の変更）により、生徒の理解が深まったためだと考える。

表 42. 処分地決定に関する生徒の意思

	候補地 A	候補地 B	候補地 C	候補地 D	候補地 E	候補地 F	候補地 G
話し合い前	9名 (16.4%)	1名 (1.8%)	14名 (25.5%)	17名 (30.9%)	5名 (9.1%)	2名 (3.6%)	7名 (12.7%)
話し合い後	7名 (12.7%)	1名 (1.8%)	16名 (29.1%)	16名 (29.1%)	6名 (10.9%)	4名 (7.3%)	2名 (3.6%)

ここで、「候補地 C」「候補地 D」「候補地 E」は、いずれも科学的な要因の欠点を他の候補地よりも多く持たせている。このことから、全体の傾向として、科学的な要因よりも社会的な要因を重視して処分地を決定したことが明らかとなった。

次に、処分地決定時に決め手となった要因に関する生徒の意思を表 43 および図 23 に示す。話し合い前後ともに、「人口密度」を選択した生徒が最も多く、話し合い前は全体の約 36%、話し合い後は全体の約 35%だった。次いで、「地震（活断層）」を選択した生徒が多かった。また、科学的な要因と社会的な要因に分けると、話し合い前後ともに、社会的な要因を決め手とした生徒が全体の約 60%だった。このことから、最終的に処分地を決定する際には、社会的な要因をより重視することが明らかとなった。

表 43. 処分地決定時に決め手となった要因

項目	話し合い前	話し合い後
地震（活断層）	9名(16.4%)	10名(18.2%)
火山	2名(3.6%)	0名(0.0%)
隆起・侵食	0名(0.0%)	0名(0.0%)
岩盤の固さ	7名(12.7%)	9名(16.4%)
地下水の流量	2名(3.6%)	0名(0.0%)
鉱物資源	3名(5.5%)	5名(9.1%)
人口密度	20名(36.4%)	19名(34.5%)
土地利用	6名(10.9%)	6名(10.9%)
港からの距離	4名(7.3%)	4名(7.3%)
港からの輸送方法	2名(3.6%)	2名(3.6%)

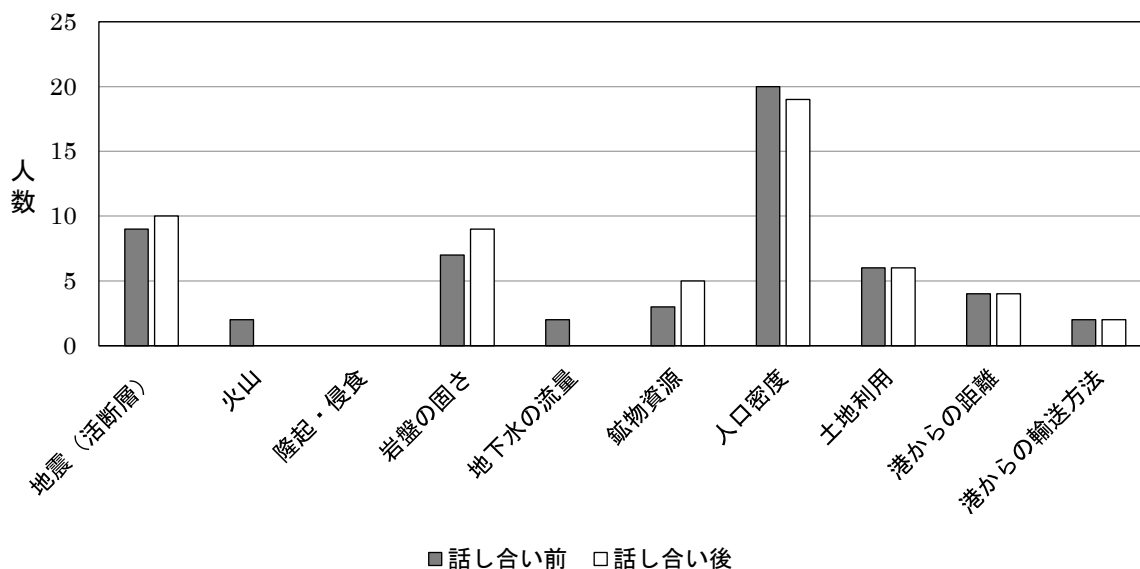


図 23. 処分地決定時に決め手となった要因

次に、この意思決定の要因を表 44 および図 24 に示す。「処分地選定」について記述した生徒が最も多く、「処分地選定」、「災害」、「環境の変化」、「処分作業」の 4 項目について多くの生徒が記述した。そこで、試行①と同様に、各候補地に関する情報として示した内容のみを抽出した（表 44 および図 25）。科学的な要因では、「地震（活断層）」と「地層の特性」について記述した生徒が多く、それぞれ全体の約 18% だった。一方で、「地下水の特性」について記述した生徒が少なかった。社会的な要因については、「人口密度」について記述した生徒が最も多く、全体の約 20% だった。さらに、科学的な要因と社会的な要因に分けて比較すると、話し合い前は、科学的な要因が全体の約 47%、社会的な要因が全体の約 53% だった。話し合い後は、科学的な要因が全体の約 45%、社会的な要因が全体の約 55% だった。このことから、若干、社会的な要因についての記述が多いことが明らかとなった。

表 44. 処分地決定に関する意思決定の要因

項目	話し合い前	話し合い後
影響	7名(4.7%)	10名(4.4%)
安全性	1名(0.7%)	1名(0.4%)
将来性	0名(0.0%)	0名(0.0%)
人的要因による変化	4名(2.7%)	6名(2.6%)
災害	36名(24.0%)	49名(21.4%)
環境の変化	24名(16.0%)	37名(16.2%)
感情	2名(1.3%)	3名(1.3%)
処分地選定	44名(29.3%)	70名(30.6%)
処分作業	30名(20.0%)	46名(20.1%)
お金	2名(1.3%)	4名(1.7%)
高レベル放射性廃棄物	0名(0.0%)	0名(0.0%)
放射線に関する知識	0名(0.0%)	3名(1.3%)

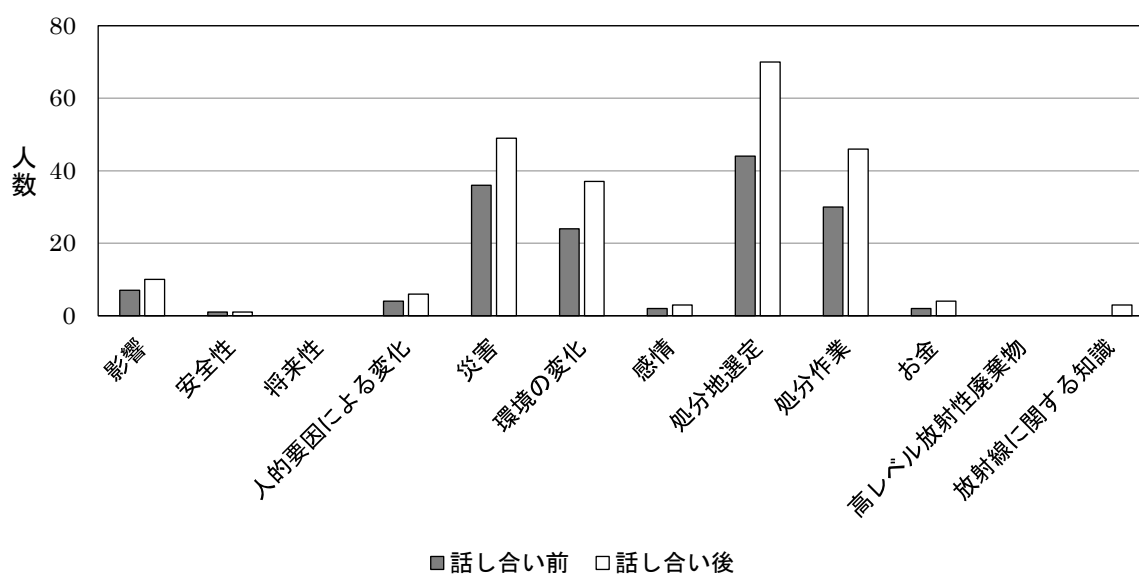


図 24. 処分地決定に関する意思決定の要因

表 45. 処分地決定に関する意思決定の要因（抽出版）

項目	話し合い前	話し合い後
地震（活断層）	23名(18.0%)	31名(16.1%)
火山	13名(10.2%)	18名(9.3%)
地層の特性	23名(18.0%)	30名(15.5%)
地下水の特性	1名(0.8%)	7名(3.6%)
鉱物資源	1名(0.8%)	7名(3.6%)
人口密度	25名(19.5%)	38名(19.7%)
土地利用	17名(13.3%)	24名(12.4%)
港からの距離	17名(13.3%)	27名(14.0%)
港からの輸送方法	8名(6.3%)	11名(5.7%)

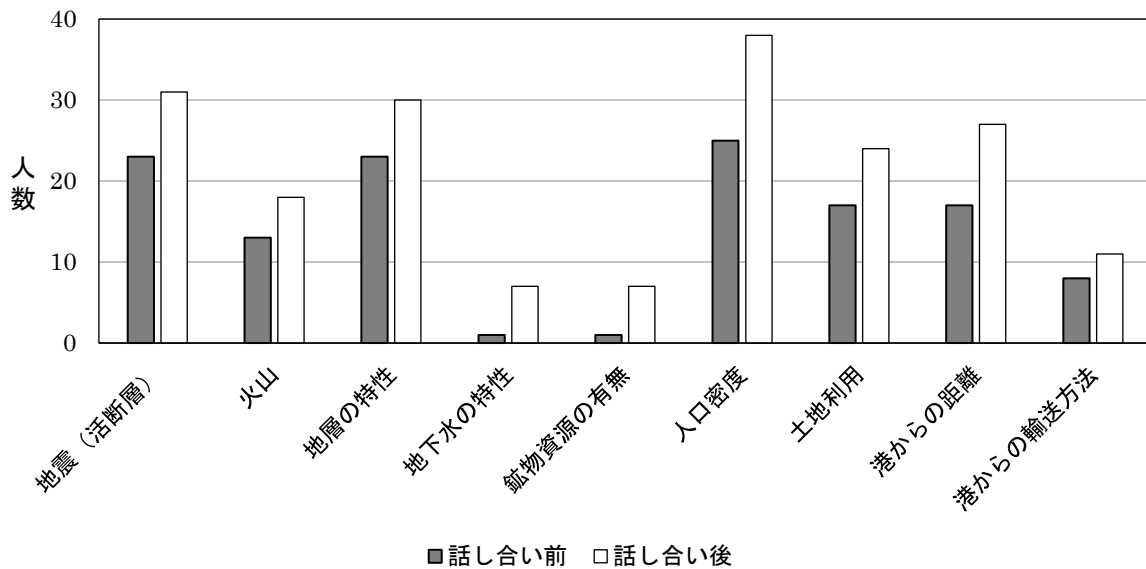


図 25. 処分地決定に関する意思決定の要因（抽出版）

次に、処分地決定後に行った「あなたが決めた候補地の近くに、あなたは住みますか」という課題に対する生徒の意思を表 46 に、意思決定の要因を表 47 および図 26 に示す。この課題に対しては、約 11%の生徒が「住む」と回答し、約 53%の生徒が「住まない」と回答した。その理由には、確実な安全性の保証を求めていること（要因：将来の安全性の保証，18名）や、そのことが引き起こす否定的な感情の存在（要因：「安心・不安」，10名）（要因：「嫌」，18名）を多くの生徒が挙げていた。また、約 36%の生徒は、「判断できない」と回答している。これらの生徒の記述からは、居住地域の社会的特性（人口密度や土地利用の状況）が判断基準となるという意見や、補償として支払われる金銭等の対価によって初めて判断できるという意見が見られた。

表 46. 処分地近隣への居住に関する生徒の意思

住む	住まない	判断できない
6名(10.9%)	29名(52.7%)	20名(36.4%)

表 47. 処分地近隣への居住に関する意思決定の要因

項目	人数 (割合)
影響	2名(1.9%)
安全性	19名(18.4%)
将来性	0名(0.0%)
人的要因による変化	13名(12.6%)
災害	7名(6.8%)
環境の変化	3名(2.9%)
感情	27名(26.2%)
処分地選定	20名(19.4%)
処分作業	3名(2.9%)
お金	3名(2.9%)
高レベル放射性廃棄物	0名(0.0%)
放射線に関する知識	6名(5.8%)

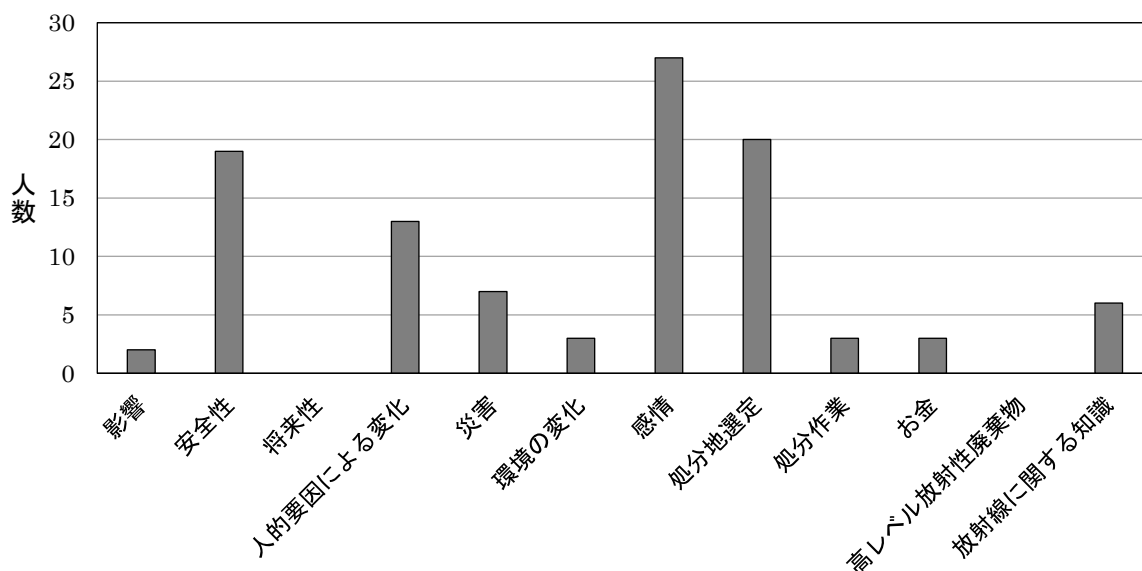


図 26. 処分地近隣への居住に関する意思決定の要因

次に、「あなたが決めた候補地が、あなたが住んでいる地域だとしたら、あなたは処分施設の建設を受け入れますか」という課題に対する生徒の意思を表 48 に、意思決定の要因を表 49 および図 27 に示す。この課題に対しては、約 44%の生徒が「受け入れる」と回答し、約 36%の生徒が「受け入れない」と回答した。「受け入れる」と回答した生徒らは、自分が決めた候補地だから受け入れる責任があることや、処分地としての適性があり、どこ

かの地域が受け入れないと解決しないことを理由に挙げていた。一方、「受け入れない」と回答した生徒らは、処分地としての適性はあるものの、安全性が本当に保障されるとは思わない（福島第一原子力発電所での事故のように“想定外”の事態が起こり得る）ことや、危険なものが近くに来ることが心情的に嫌であることを理由に挙げていた。

表 48. 処分施設の建設受け入れに関する生徒の意思

受け入れる	受け入れない	判断できない
24名(43.6%)	20名(36.4%)	11名(20%)

表 49. 処分施設の建設受け入れに関する意思決定の要因

項目	人数(割合)
影響	9名(9.8%)
安全性	17名(18.5%)
将来性	1名(1.1%)
人的要因による変化	8名(8.7%)
災害	3名(3.3%)
環境の変化	0名(0.0%)
感情	24名(26.1%)
処分地選定	19名(20.7%)
処分作業	6名(6.5%)
お金	3名(3.3%)
高レベル放射性廃棄物	0名(0.0%)
放射線に関する知識	2名(2.2%)

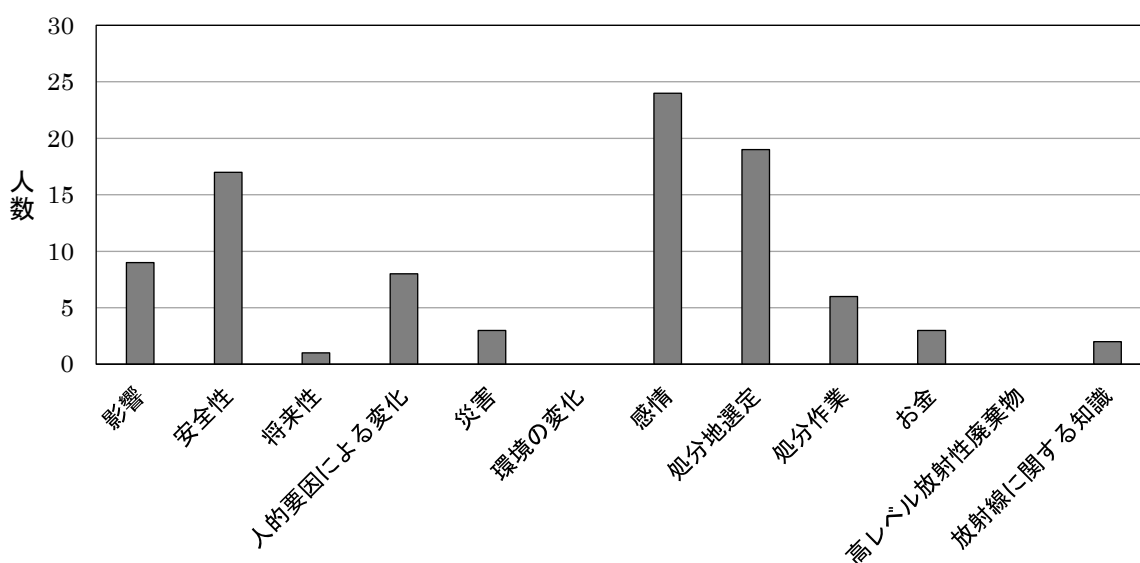


図 27. 処分施設の建設受け入れに関する意思決定の要因

3.5.5 地層処分の賛成・反対に関する意思決定

生徒の意思を表 50 に示す。最終的には、肯定が約 69%、否定が約 5%、中立が約 26%という結果になった。また、1 回目と 3 回目の意思を比較したところ（表 51 および図 28）、意思が変化した生徒は全体の約 58%であり、試行①とほぼ同じ水準だった。試行②においても、本教材を用いた授業により、賛成もしくは反対に大きく偏るといった様子は見られなかった。

表 50. 地層処分の賛成・反対に関する生徒の意思

	1 (賛成)	2	3 (中立)	4	5 (反対)
1 回目	13 名 (23.6%)	26 名 (47.3%)	13 名 (23.6%)	3 名 (5.5%)	0 名 (0.0%)
2 回目	15 名 (27.3%)	17 名 (30.9%)	17 名 (30.9%)	6 名 (10.9%)	0 名 (0.0%)
3 回目	14 名 (25.5%)	25 名 (45.5%)	14 名 (25.5%)	1 名 (1.8%)	1 名 (1.8%)

表 51. 1 回目と 3 回目の意思の変化量

	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
人数	0 名 (0.0%)	1 名 (1.8%)	2 名 (3.6%)	14 名 (25.5%)	23 名 (41.8%)	11 名 (20.0%)	3 名 (5.5%)	1 名 (1.8%)	0 名 (0.0%)

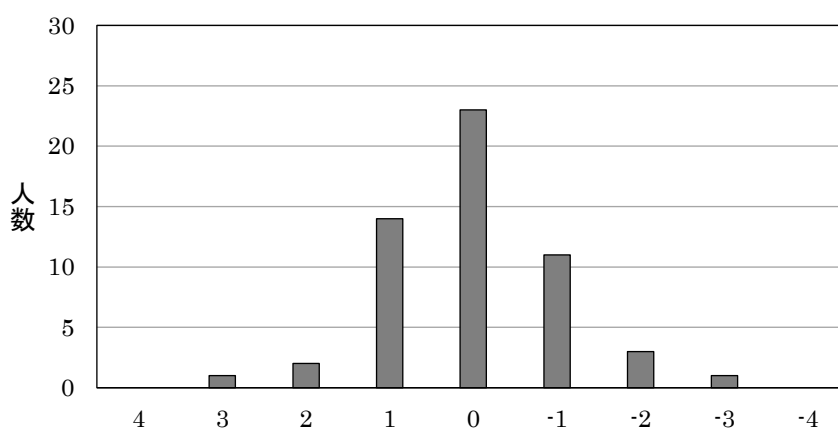


図 28. 1 回目と 3 回目の意思の変化量

ここで、2 回目（地層処分に関する知識を得た後）の意思決定では、「2（少し賛成）」が大きく減少し、「3（中立）」、「4（少し反対）」が増加した。これは、試行①と同様の傾向である。やはりこの段階では、処分地選定が進んでいないという知識を得ているため、方法論として地層処分に肯定的だった層が中立や否定に変化したと考える。また、3 回目（処分地決定を体験した後）の意思決定では、試行①と同様に、「4（少し反対）」が大きく減少した。しかし、「2（少し賛成）」が増加したという点では異なる結果となった。この詳細を明らかにするために、2 章 2 節（隔離処分方法の意思決定）において、地層処分を選択した生徒と、それ以外を選択した生徒に分けて集計した。（表 52, 表 53）。その結果、3 回目の意思決定で「4（少し反対）」が大きく減少したのは、2 章 2 節で地層処分以外を選択し

た生徒であることが分かった。一方、3回目の意思決定で「2（少し賛成）」が増加したのは、2章2節で地層処分を選択した生徒であることが分かった。

表 52. 2章2節で地層処分を選んだ生徒の意思

	1（賛成）	2	3（中立）	4	5（反対）
1回目	5名(29.4%)	10名(58.8%)	2名(11.8%)	0名(0.0%)	0名(0.0%)
2回目	7名(41.2%)	4名(23.5%)	5名(29.4%)	1名(5.9%)	0名(0.0%)
3回目	4名(23.5%)	10名(58.8%)	2名(11.8%)	0名(0.0%)	1名(5.9%)

表 53. 2章2節で地層処分以外を選んだ生徒の意思

	1（賛成）	2	3（中立）	4	5（反対）
1回目	8名(21.1%)	16名(42.1%)	11名(28.9%)	3名(7.9%)	0名(0.0%)
2回目	8名(21.1%)	13名(34.2%)	12名(31.6%)	5名(13.2%)	0名(0.0%)
3回目	10名(26.3%)	15名(39.5%)	12名(31.6%)	1名(2.6%)	0名(0.0%)

次に、この意思決定の要因を表54および図29に示す。1回目の意思決定では、前段階（2章2節）で隔離処分方法を考えたことから、安全性の担保（要因：「将来の安全性の保証」、22名）や、人間への影響が少ないことが予想されること（要因：「人間への影響」、12名）、地震（活断層）がもたらす危険性（要因：「地震（活断層）」、13名）、廃棄物と生活環境との距離（要因：廃棄物との距離、11名）を理由として挙げた生徒が多かった。2回目の意思決定では、地層処分事業の現状を認識したことから、安全性を担保すること（要因：「将来の安全性の保証」、24名）や、処分地の選定が難しいこと（要因：「処分地選定が難しい」、14名）、確実な処分が必要であること（要因：処分の確実性（成功率）、6名）、処分への不安（要因：安心・不安、5名）を理由として挙げた生徒が多かった。3回目の意思決定では、安全性を担保すること（要因：「将来の安全性の保証」、37名）や、地層処分を行った後も再処理の可能性を模索し続ける必要があること（要因：「再処理の可能性」、11名）、処分がもたらす人間への影響（要因：「人間への影響」、10名）、処分にかかるコスト（要因：処分費用、9名）を理由として挙げた生徒が多かった。

全体を見ると、学習が進むにつれて、将来の安全性について記述した生徒が増加した。特に、処分地決定を体験した後に顕著な変化が見られる。処分地決定を体験したことで、高レベル放射性廃棄物の地層処分を行うためには、安全性をしっかりと担保することが重要であるという認識が深まったと考える。

表 54. 地層処分の賛成・反対に関する意思決定の要因

項目	1回目	2回目	3回目
影響	15名(11.9%)	3名(3.3%)	11名(8.8%)
安全性	26名(20.6%)	24名(26.7%)	40名(32.0%)
将来性	1名(0.8%)	2名(2.2%)	11名(8.8%)
人的要因による変化	4名(3.2%)	4名(4.4%)	3名(2.4%)
災害	15名(11.9%)	5名(5.6%)	6名(4.8%)
環境の変化	11名(8.7%)	2名(2.2%)	2名(1.6%)
感情	8名(6.3%)	9名(10.0%)	8名(6.4%)
処分地選定	21名(16.7%)	25名(27.8%)	22名(17.6%)
処分作業	15名(11.9%)	11名(12.2%)	10名(8.0%)
お金	3名(2.4%)	2名(2.2%)	9名(7.2%)
高レベル放射性廃棄物	0名(0.0%)	0名(0.0%)	1名(0.8%)
放射線に関する知識	7名(5.6%)	3名(3.3%)	2名(1.6%)

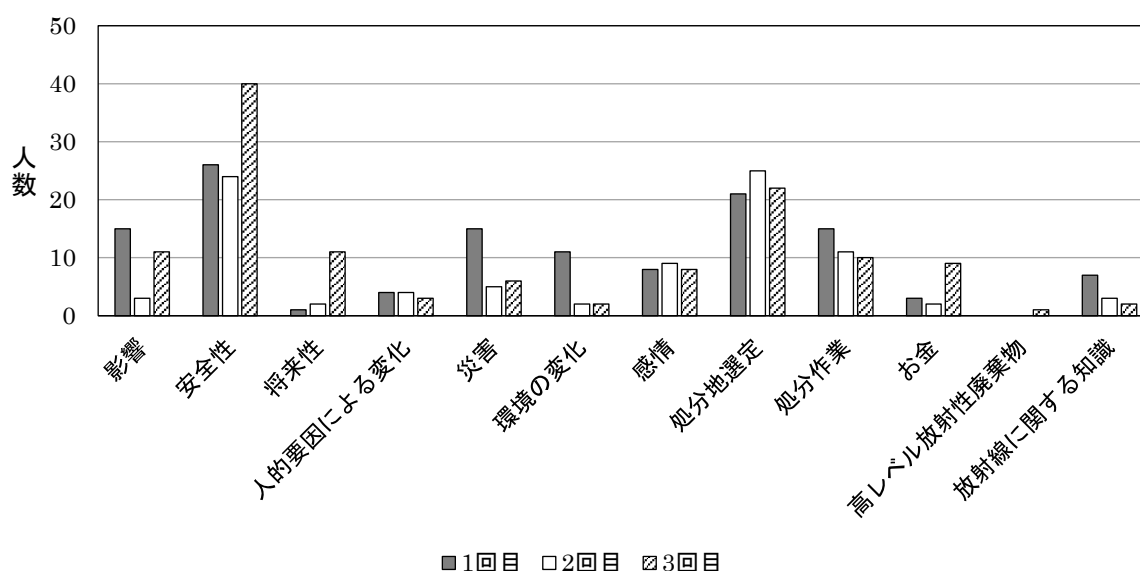


図 29. 地層処分の賛成・反対に関する意思決定の要因

3.5.6 処分地決定の際の責任

生徒の意思を表 55 に示す。左の項目ほど自分ごとの度合いがより高まった意思である。1 回目の意思決定では、約 40%の生徒が、「私たち自身が考えていかなければならない」を選択した。処分地決定を経験した後の 2 回目の意思決定では、約 51%まで増加した。一方で、2 回目の意思決定でも、約 31%の生徒は、「決められないのは仕方がない」、「国がしっかりと決めなければならぬ」を選択している。また、試行①と比較すると、1 回目 2 回目ともに、「決められる大人になりたい」を選択した生徒が増加した。2 回目に「私たち自身が考えていかなければならない」、「決められる大人になりたい」を選択した生徒の割合は、試行①では約 39%だったのに対して、試行②では約 69%まで上昇している。

表 55. 処分地決定の際の責任に関する生徒の意思

	私たち自身が考えていかなければならない	決められる大人になりたい	国がしっかりと決めなければならぬ	決められないのは仕方がない
1 回目	22 名(40.0%)	10 名(18.1%)	16 名(29.1%)	7 名(12.7%)
2 回目	28 名(50.9%)	10 名(18.1%)	16 名(29.1%)	1 名(1.8%)

ここで、2 章 2 節において、地層処分を選択した生徒とそれ以外を選択した生徒に分けて集計した（表 56）。その結果、2 章 2 節で地層処分を選択した生徒の方が、「最終的に私たち自身が考えていかなければならない」を選択した割合が高かった。しかし、地層処分以外を選択した生徒も、約 70%の生徒が肯定的な選択（「私たち自身が考えていかなければならない」、「決められる大人になりたい」）をしており、いずれの生徒も自分ごととして考えられていることが明らかとなった。

表 56. 2 章 2 節で地層処分を選択したかどうかによる 2 回目の意思の違い

	私たち自身が考えていかなければならない	決められる大人になりたい	国がしっかりと決めなければならぬ	決められないのは仕方がない
地層処分を選択 (N=17)	10 名(58.8%)	1 名(5.9%)	6 名(35.3%)	0 名(0.0%)
地層処分以外を選択 (N=38)	18 名(47.4%)	9 名(23.7%)	10 名(26.3%)	1 名(2.6%)

次に、この意思決定の要因を表 57 および図 30 に示す。1 回目、2 回目ともに「感情」と「処分地選定」についての記述が多かった。1 回目の意思決定では、自分自身が関わりたい（関わるべきだ）と思ったこと（要因：「考えたい・考えるべき」15 名）や、解決のために国が更に主導して進めていくべきであること（要因：「国が主導すべき」13 名）、早く解決したいということ（要因：「早く解決したい」16 名）、次世代に影響を及ぼさない様に自分達で解決したいということ（要因：「早く解決したい」17 名）を理由として挙げた生徒が多かった。

2 回目の意思決定では、切実性や重要性を知り、次世代に影響を及ぼさない様に自分達で解決したいということ（要因：「早く解決したい」17 名）や、処分地選定の難しさから、国が更に主導して進めていくべきであること（要因：「国が主導すべき」14 名）を理由として挙げた生徒が多かった。

表 57. 処分地決定の際の責任に関する意思決定の要因

項目	1回目	2回目
影響	3名(3.9%)	3名(3.6%)
安全性	2名(2.6%)	1名(1.2%)
将来性	0名(0.0%)	0名(0.0%)
人的要因による変化	1名(1.3%)	1名(1.2%)
災害	0名(0.0%)	0名(0.0%)
環境の変化	0名(0.0%)	0名(0.0%)
感情	52名(67.5%)	69名(82.1%)
処分地選定	18名(23.4%)	10名(11.9%)
処分作業	0名(0.0%)	0名(0.0%)
お金	1名(1.3%)	0名(0.0%)
高レベル放射性廃棄物	0名(0.0%)	0名(0.0%)
放射線に関する知識	0名(0.0%)	0名(0.0%)

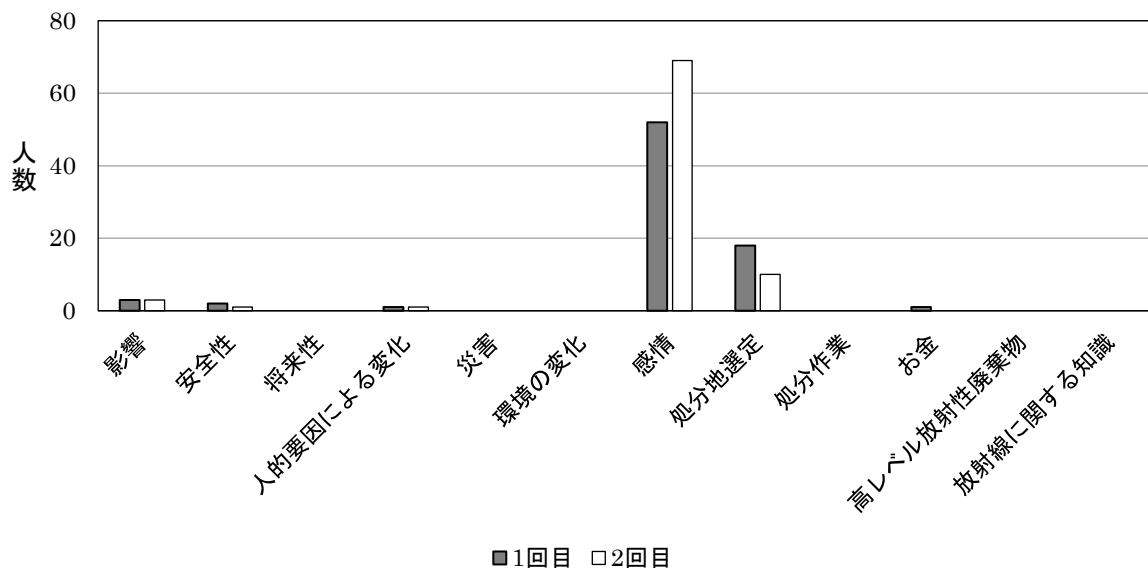


図 30. 処分地決定の際の責任に関する意思決定の要因

4. 生徒の変容

4.1 試行①の結果をもとにした分析

4.1.1 生徒への質問紙調査

教材の試行後、生徒を対象に質問紙調査を実施した。質問紙は、質問(1), (3)～(12), (14)～(15), (19)を選択式, (2), (13), (16)～(18)を記述式とした。質問紙の内容を表 58 に、質問事項を表 59 に示す。なお、本研究の基準を満たした 72 名を分析の対象とした。

表 58. 生徒への質問紙調査（試行後）の内容

問題番号	内容
(1)～(3)	既有知識について
(4)～(7), (16)～(19)	教材の評価について
(8), (10), (14), (15)	自分ごとの評価について
(9), (12), (13)	多面的な意思決定の評価について

表 59. 生徒への質問紙調査（試行後）の質問事項

- (1) この授業を受ける前に、高レベル放射性廃棄物の処分問題について知っていましたか。
1. 知っていた 2. 知らなかった
- (2) (1)の質問で「1. 知っていた」と答えた方に質問です。この問題をどこで知りましたか。
- (3) (1)の質問で「1. 知っていた」と答えた方に質問です。この授業を受ける前に、高レベル放射性廃棄物の処分問題について、家族や友達と話したことはありましたか。
1. 話したことがある 2. 話したことがない
- (4) 教材の難易度はどうでしたか。
1. とても簡単だった 2. 少し簡単だった 3. どちらともいえない
4. 少し難しかった 5. とても難しかった
- (5) 教材の内容は理解できましたか。
1. とても理解できた 2. 少し理解できた 3. どちらともいえない
4. あまり理解できなかった 5. ほとんど理解できなかった
- (6) 教材は使いやすかったですか。
1. とても使いやすかった 2. 少し使いやすかった 3. どちらともいえない
4. 少し使いにくかった 5. とても使いにくかった
- (7) 教材の量はどうでしたか。
1. とても多かった 2. 少し多かった 3. どちらともいえない
4. 少し少なかった 5. とても少なかった
- (8) 教材では、知識を学ぶだけでなく、様々なことを考えたり自分の意思を決定しました。このような活動により、高レベル放射性廃棄物の処分問題を自分ごととして考えられるようになったと思いますか。
1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない

4. あまり思わない 5. 全く思わない

(9) 教材では、問題に対する自分の意思を決定した上で、話し合いをし、自分の意思を再び決定しました。このような活動により、あなたの意思は多面的になったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(10) 2章2節では、高レベル放射性廃棄物の処分方法を考え、4つの処分方法を比較して望ましい方法を考えました。このような活動により、高レベル放射性廃棄物の処分問題を自分ごととして考えられるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(11) 3章では、高レベル放射性廃棄物の処分地を決めるために、科学的要因と社会的要因を分けて考えました。このような活動により、高レベル放射性廃棄物の処分問題について、自分ごととして考えられるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(12) (11)に示した活動を通して、あなたの意思は多面的になったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(13) これら10個の要因以外に、処分地を決める時に考えなければならないと考える要因は何ですか。[科学的要因：地震、火山、隆起・浸食、岩盤の固さ、地下水の流量][社会的要因：鉱物資源の有無、人口密度、土地利用、港湾からの距離、港湾からの輸送方法]

(14) 4章1節では、地層処分の是非や、処分地を選ぶことに対する自分の考えの変化を分析しました。このような活動により、高レベル放射性廃棄物の処分問題について、自分ごととして考えられるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(15) 4章1節では、高レベル放射性廃棄物の処分問題と私たちのこれからについて考えました。このような活動により、高レベル放射性廃棄物の処分問題について、自分ごととして考えられるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(16) この教材で勉強して良かった点は何ですか。

(17) 分からなかったこと、難しかったことがあれば書いてください。

(18) 高レベル放射性廃棄物の処分問題についての授業を受けた感想を書いてください。

(19) 高レベル放射性廃棄物の処分問題について、更に学びたいと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

まず、高レベル放射性廃棄物の処分に関する既有知識について、質問(1)、(2)、(3)の結果を示す(表 60、図 31、表 61)。質問(1)では、約 85%の生徒が高レベル放射性廃棄物の処分について知らなかったと回答した。質問(2)では、情報源としてテレビを挙げた生徒が多かった。質問(3)では、約 82%の生徒が話したことがないと回答した。これらの結果から、本試行で得られたデータは、高レベル放射性廃棄物の処分に関する知識をほとんど持っていなかった生徒が考えた結果であるといえる。

表 60. 質問(1)の回答内訳 (高レベル放射性廃棄物の処分に関する認識状況)

回答	人数(割合)
知っていた	11名(15.3%)
知らなかった	61名(84.7%)
無回答	0名(0%)

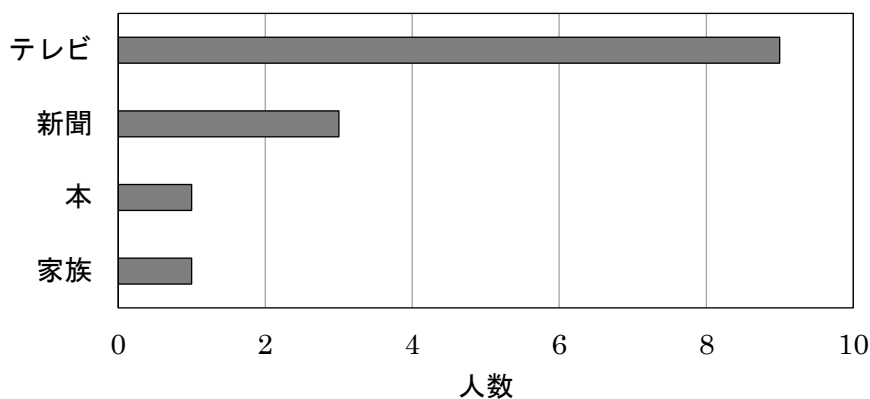


図 31. 質問(2)の回答内訳 (高レベル放射性廃棄物の処分に関する情報の入手元)

表 61. 質問(3)の回答内訳 (高レベル放射性廃棄物の処分に関する議論の経験の有無)

回答	人数(割合)
話したことがある	2名(18.2%)
話したことがない	9名(81.8%)
無回答	0名(0%)

次に、教材の評価について、問(4)、(5)、(6)、(7)、(19)の結果を示す(表 62、表 63、表 64、表 65、表 66)。質問(4)では、約 56%の生徒が難しかったと回答し、簡単だったと回答したのは、約 20%の生徒のみであった。質問(5)では、約 88%の生徒が理解できたと回答した。質問(6)では、約 88%の生徒が教材は使いやすかったと回答した。質問(7)では、約 42%の生徒が教材の量は多かったと回答した。質問(19)では、約 75%の生徒が更なる学習に対して肯定的な回答をした。

ここで、質問(4)と質問(5)の結果から、本教材は、専門性の高い題材を扱っているため、難易度はどうしても上がってしまうが、さまざまな配慮により、中学生でも十分理解でき

るものであるといえる。また、質問(7)の結果から、教材の量に対しては否定的な回答が多いことが分かる。しかし、意思決定を行うためにはこれだけの知識が必要だと考えており、質問(19)で聞いている更なる学習意欲に対しては、多くの生徒が肯定的な回答をしているため、本教材の量は必要な多さであるといえる。

表 62. 質問(4)の回答内訳（教材難易度の評価）

回答	人数(割合)
とても簡単だった	1名(1.4%)
少し簡単だった	13名(18.1%)
どちらともいえない	18名(25.0%)
少し難しかった	35名(48.6%)
とても難しかった	5名(6.9%)
無回答	0名(0%)

表 63. 質問(5)の回答内訳（学習内容の理解度の評価）

回答	人数(割合)
とても理解できた	26名(36.1%)
少し理解できた	37名(51.4%)
どちらともいえない	8名(11.1%)
少し理解できなかった	1名(1.4%)
ほとんど理解できなかった	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 64. 質問(6)の回答内訳（教材の利便性の評価）

回答	人数(割合)
とても使いやすかった	39名(54.2%)
少し使いやすかった	24名(33.3%)
どちらともいえない	9名(12.5%)
少し使いにくかった	0名(0%)
とても使いにくかった	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 65. 質問(7)の回答内訳（教材量の評価）

回答	人数(割合)
とても多かった	9名(12.5%)
少し多かった	21名(29.2%)
どちらともいえない	38名(52.8%)
少し少なかった	4名(5.6%)
とても少なかった	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 66. 質問(19)の回答内訳（更なる学習意欲の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	9名(12.5%)
少し思う	45名(62.5%)
どちらともいえない	11名(15.3%)
あまり思わない	5名(6.9%)
全く思わない	2名(2.8%)
無回答	0名(0%)

質問(16)の回答を表 67 に示す。明らかな誤字、脱字は筆者が修正した。よかったこととして、「自分たちの問題だと気付くことができた.」、「他人ごとだと思わずに自分で考えないといけないことが分かった。」など、問題を自分ごととして考えたことや、「自分の考えが整理され、より深いものになっていくこと。」など、多面的に考えたことが挙げられた。

表 67. 質問(16)の回答内訳（本教材を用いた学習の良かった点）

- ・ 処分問題が自分と関係がないと思っていたのが、深く知ることができ、自分達の問題として考えられたこと。処分問題の今の日本の現状を知ることができて、自分たちが今何するべきか考えることができたこと。
- ・ 一度決めた意見をその後もう一度問われることで、自分の考えが整理され、より深いものになっていくこと。
- ・ 処分地の決定方法や処分方法についてまわりの人と意見を交換したことにより、様々な考え方があると知って、自分のこの問題について考えられることも多くなった。
- ・ 他人ごとだと考えていたけど、自分たちの問題だと気付くことができた。
- ・ 私たちが知らない間に、私たちはとても危険なものを出るにもかかわらず原子力発電で発電した電気を使い、今もそんなこととは知らずたくさんの電気を使っていることに気付かされた。
- ・ これまでは自分ごとでなかったが、身近なこととして考えられるようになった。
- ・ 原子力発電のニュースなどを関心を持って見られるようになったし、理解できるようになった。・この問題がなかなか解決できるものではなくて、解決するには、他人ごとだと思わずに自分で考えないといけないことが分かった。

次に、質問(17)の回答を表 68 に示す。明らかな誤字、脱字は筆者が修正した。「放射性物質の半減期や放出される放射線がたくさんあり難しかった。」など教材の内容に関することや、「なんで地層処分なのか.」、「どうして宇宙処分がだめなのか.」などの地層処分の妥当性に関すること、「自分で処分地を決めるのが難しかった.」、「自分が未来のために何ができるかを考えるのが難しかった.」などの意思決定活動に関する回答が見られた。

表 68. 質問(17)の回答内訳（本教材を用いた学習で難しかった点・分からなかった点）

<ul style="list-style-type: none"> ・放射性物質の半減期や放出される放射線がたくさんあり難しかった. ・エネルギー輸入依存度 ・ガラス固化体の原理 ・このまま処分地が決まらなるとどうなるのか ・自分で処分地を決めるのが難しかった ・なんで地層処分なのか ・装置のしくみ, 放射能のしくみ ・どうして宇宙処分がだめなのか ・10年間処分地を探し見つからないのならなぜ他の処分方法を考えたり取り組んだりしないのか ・自分が未来のために何ができるかを考えるのが難しかった ・土地利用においていい場所, 悪い場所の違い ・この問題について政府はどのように考えているのか, どのような政策を考えているのか. ・どうやって運ぶのか ・多重バリアシステムについて ・処分地への輸送方法で「車両」とあるけれど, どの時間帯にどのようにして安全に運ぶのか ・高レベル放射性廃棄物を入れる包のようなものの作りが少し分かりにくかった. ・科学的な要因, 社会的な要因のところ難しかった.
--

質問(18)の回答を表 69 に示す。明らかな誤字、脱字は筆者が修正した。「どれだけ私たちがこの問題に対して無知, 無関心であるかが身に染みて分かった.」、「興味がないから知らないというより, 知らなかったから興味もわかかなかったんだなと気付きました.」など, この問題を認識していなかった点や, 「自分たちが処分地や方法を考え, 人任せでなくしていかなければならないと思いました.」、「この授業を受けて, 国に任せてばかりではいけない, 自分達も協力しなければならぬと思った.」など, 自分ごととして考えられた点, 「自分の意見を友達に伝えるという授業は少ないので, 新鮮で一人で学習するよりも楽しかったです.」など, 意思決定を行う活動を評価する点が挙げられた。また, 「初めはとても難しい問題だと思いましたが, ちゃんと考えれば, 私たちにも考えることができるんだなあと.」、「宇宙や南極などスケールがとても大きかったけど, それだけのテーマについて考えているのかと思うと, 大人と同じ立場にいるような感じがして, 嬉しくなった.」など, 自己効力感の表れを示す回答も見られた。

表 69. 質問(18)の回答内訳（本試行の感想）

- ・今まで気軽に使っていた電気はよく考えて工夫されながら作られていたことが分かった。そのときに出てしまう高レベル放射性廃棄物という存在も今回初めて知ることができた。廃棄物の処分はリスクが高く、メリットやデメリットをよく考えないといけないということも分かった。そんな中、どれだけ私たちがこの問題に対して無知、無関心であるかが身に染みて分かった。これからは「自分には関係がない」と思わず、ニュースなどにも少しは耳を傾けてみようと思う。
- ・興味がないから知らないというより、知らなかったから興味もわかかなかったんだなと気付きました。
- ・処分の問題はなかなか解決しないだろうけど、そのまま放っておけるものではないし、自分で考えなければと思いました。
- ・最初は難しいし、分からないと思っていたけれど、いざ学習してみるとそうでもなくて、学習しているうちに興味がわいてきました。自分の意見を友達に伝えるという授業は少ないので、新鮮で一人で学習するよりも楽しかったです。
- ・はじめのうちはあまり関心を持てなかったけど、授業が進んでいくうちに「もっと知りたい」という気持ちになった。
- ・自分たちが処分地や方法を考え、人任せでなくしていかなければならないと思いました。
- ・この授業を受けて、この問題のように社会には私の知らないことがたくさんあるということを感じました。ガラス固化体について、国や政府にしっかり考えていって欲しいという意見もありますが私は国民一人一人が、自分達のためにも向き合っていくべきだと思います。また、私のように社会問題をあまり知らない人もたくさんいると思います。少しでも良いので、そういった人たちがもっとそのことについて知れるような環境を作っていくのも大切だと思います。
- ・私たちもあと 10 年もすれば社会人でこういう問題に向き合っていかなければならないかもしれません。そのときにはこの授業が役立つと思いました。社会を知ることができたので良かったです。
- ・この授業を受けて、国に任せてばかりではいけない、自分達も協力しなければならないと思った。
- ・初めはとても難しい問題だと思いましたが、ちゃんと考えれば、私たちにも考えることができるんだなあとと思いました。
- ・宇宙や南極などスケールがとても大きかったけど、それだけのテーマについて考えているのかと思うと、大人と同じ立場にいるような感じがして、嬉しくなった。
- ・処分地を決めるには時間がかかり、衝突もあると思います。それでもこれは現在生きている人間や環境、そして未来にも影響を与えることなので、一人ひとりがこの問題について個々の意見を持ち、間違った結果に進まないよう話す必要があると思います。
- ・自分にとってそんなに遠い問題ではないと思いました。もしかしたら自分達の地域が処分地になるかもしれない、と思うとひとつとではないなと思いました。人口密度で場所を選ばれたりしてしまうと、田舎に住んでいる私としては大変なことなので、そ

のあたりも考えてほしいと思いました。

- ・この問題は簡単に決められるような単純なことではないなと思った。考慮しなければならないことがたくさんあるけど、早めに処分方法や処分地を決定しないともっと深刻なことになると思うので、自分も身近な問題として考えていきたい。

次に、自分ごとの評価について、質問(8)、(10)、(11)、(14)、(15)の結果を示す(表 70, 表 71, 表 72, 表 73, 表 74)。質問(8)では、約 85%の生徒が教材全体による自分ごと化に対して肯定的な回答をした。質問(10)では、約 82%の生徒が、2章による効果に対して肯定的な回答をした。質問(11)では、約 81%の生徒が、3章による効果に対して肯定的な回答をした。質問(14)では、約 82%の生徒が、質問(15)では、約 79%の生徒が、4章による効果に対して肯定的な回答をした。

表 70. 質問(8)の回答内訳 (教材を用いた学習による自分ごと化の評価)

回答	人数(割合)
とても思う	20名(27.8%)
少し思う	41名(56.9%)
どちらともいえない	8名(11.1%)
あまり思わない	2名(2.8%)
全く思わない	1名(1.4%)
無回答	0名(0%)

表 71. 問(10)の回答内訳 (2章の学習による自分ごと化の評価)

回答	人数(割合)
とても思う	20名(27.8%)
少し思う	39名(54.2%)
どちらともいえない	9名(12.5%)
あまり思わない	3名(4.2%)
全く思わない	1名(1.4%)
無回答	0名(0%)

表 72. 質問(11)の回答内訳 (3章の学習による自分ごと化の評価)

回答	人数(割合)
とても思う	27名(37.5%)
少し思う	31名(43.1%)
どちらともいえない	11名(15.3%)
あまり思わない	2名(2.8%)
全く思わない	1名(1.4%)
無回答	0名(0%)

表 73. 質問(14) の回答内訳 (4章の学習[考えの振り返り]による自分ごと化の評価)

回答	人数(割合)
とても思う	19名(26.4%)
少し思う	40名(55.6%)
どちらともいえない	10名(13.9%)
あまり思わない	3名(4.2%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 74. 質問(15) の回答内訳 (4章の学習[今後の検討]による自分ごと化の評価)

回答	人数(割合)
とても思う	21名(29.2%)
少し思う	36名(50.0%)
どちらともいえない	13名(18.1%)
あまり思わない	2名(2.8%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

ここで、教材全体の学習により、高レベル放射性廃棄物の処分を自分ごととして考えられるようになったかを調べるために、質問(8)の回答において、「とても思う」と「少し思う」を「肯定群」、「どちらともいえない」を「中立群」、「あまり思わない」と「全く思わない」を「否定群」として、1×3のクロス表に示した(表75)。 χ^2 検定の結果、肯定群、中立群、否定群の生徒の人数の偏りに有意な差が見られた($\chi^2(2)=86.083$, $p<.05$)。このことから、教材を用いた学習により、高レベル放射性廃棄物の処分を自分ごととして考えることができたといえる。

表 75. 教材を用いた学習による自分ごと化に関する検定結果

	肯定群	中立群	否定群
質問(8)	61	8	3

($\chi^2(2)=86.083$, $p<.05$)

また、各章の学習により、高レベル放射性廃棄物の処分を自分ごととして考えられるようになったかを調べるために、質問(10)、(11)、(14)、(15)の回答において、「とても思う」と「少し思う」を「肯定群」、「どちらともいえない」を「中立群」、「あまり思わない」と「全く思わない」を「否定群」として、それぞれ1×3のクロス表に示した(表76, 表77, 表78, 表79)。 χ^2 検定の結果、いずれの章においても、肯定群、中立群、否定群の生徒の人数の偏りに有意な差が見られた。このことから、いずれの章においても、高レベル放射性廃棄物の処分を自分ごととして考えることができたといえる。

表 76. 2章の学習による自分ごと化に関する検定結果

	肯定群	中立群	否定群
質問(10)	59	9	4

($\chi^2(2) = 77.083, p < .05$)

表 77. 3章の学習による自分ごと化に関する検定結果

	肯定群	中立群	否定群
質問(11)	58	11	3

($\chi^2(2) = 73.583, p < .05$)

表 78. 4章の学習（考えの振り返り）による自分ごと化に関する検定結果

	肯定群	中立群	否定群
質問(14)	59	10	3

($\chi^2(2) = 77.583, p < .05$)

表 79. 4章の学習（今後の検討）による自分ごと化に関する検定結果

	肯定群	中立群	否定群
質問(15)	57	13	2

($\chi^2(2) = 70.583, p < .05$)

次に、多面的な意思決定の評価について、質問(9)、(12)の結果を示す（表 80、表 81）。質問(9)では、約 70%の生徒が肯定的な回答をした。質問(12)では、約 69%の生徒が肯定的な回答をした。

表 80. 質問(9)の回答内訳（話し合いによる意思決定の要因の多面性向上の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	20名(27.8%)
少し思う	30名(41.7%)
どちらともいえない	17名(23.6%)
あまり思わない	4名(5.6%)
全く思わない	1名(1.4%)
無回答	0名(0%)

表 81. 質問(12)の回答内訳（要因区分による意思決定の要因の多面性向上の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	16名(22.2%)
少し思う	34名(47.2%)
どちらともいえない	14名(19.4%)
あまり思わない	6名(8.3%)
全く思わない	2名(2.8%)
無回答	0名(0%)

ここで、話し合いにより意思決定の要因が多面的になったかを調べるために、話し合い前の記述に含まれる要因数の平均値と、話し合い後の記述に含まれる要因数の平均値を比較した。なお、話し合い後の記述に含まれる要因数は、話し合い前の記述に含まれる要因数と、結果を表 82 に示す。話し合い後に追加された要因数の合計とした。また、計数の基準として、表 7 を使用した。

表 82. 意思決定の要因数の平均値および分散分析の結果

	N	話し合い前		話し合い後		F 値 (df=1/143)
		Mean	(SD)	Mean	(SD)	
処分方針（2章1節）	72	1.49	(0.91)	2.49	(1.57)	52.16 **
隔離処分方法（2章2節）	72	2.08	(1.08)	2.89	(1.51)	44.07 **
処分地の決定（3章4節）	72	3.57	(2.58)	4.25	(2.63)	27.64 **

**：p<.01

分散分析の結果、全ての意思決定場面において、話し合い前の平均値より話し合い後の平均値が、1%水準で有意に高かった。このことから、話し合いによって、意思決定の要因数が増加し、より多面的な根拠に基づいた意思決定ができたといえる。しかし、要因数の平均値の増加量は1未満である。意思決定の要因数に関する詳細な分析は、試行②で行うこととする。

4.1.2 教員への質問紙調査

教材の試行後、教員を対象に質問紙調査を実施した。質問紙は、質問(1), (3)～(12), (14)～(15), (19)を選択式, (2), (13), (16)～(18)を記述式とした。質問紙の内容を表 83 に、質問事項を表 84 に示す。なお、回答者が 3 名のため、選択肢の回答は結果を示すこととし、記述回答から考察することとした。

表 83. 教員への質問紙調査の内容

問題番号	内容
(1)～(4)	これまでの教育活動について
(5)～(8), (19)～(20)	教材の評価について
(9), (11), (12), (15)～(17)	自分ごとの評価について
(10), (13)～(14)	多面的な意思決定の評価について

表 84. 教員への質問紙調査（試行後）の質問事項

- (1) これまで、ご自身の教育活動の中で、高レベル放射性廃棄物の処分問題を授業で取り上げたことはありますか。
1. 取り上げたことがある 2. 取り上げたことがない
- (2) (1)の質問で「1. 取り上げたことがある」と答えた方にお尋ねします。どの教科・学年を対象として、どのような授業をされましたか。分かる範囲でお書きください。
- (3) (2)の質問で「2. 取り上げたことがない」と答えた方にお尋ねします。高レベル放射性廃棄物の処分問題を授業で取り上げようと思ったことはありますか。
1. 取り上げようと思ったことがない 2. 取り上げようと思ったことはある
- (4) (2)の質問で「2. 取り上げたことがない」と答えた方にお尋ねします。取り上げたことがない理由がございましたらお書きください。
- (5) 教材の難易度はどうでしたか。
1. とても簡単だった 2. 少し簡単だった 3. どちらともいえない
4. 少し難しかった 5. とても難しかった
- (6) 教材は使いやすかったですか。
1. とても使いやすかった 2. 少し使いやすかった 3. どちらともいえない
4. 少し使いにくかった 5. とても使いにくかった
- (7) 教材の量はどうでしたか。
1. とても多かった 2. 少し多かった 3. どちらともいえない
4. 少し少なかった 5. とても少なかった
- (8) 教材を活用した授業の難易度はどうでしたか。
1. とても簡単だった 2. 少し簡単だった 3. どちらともいえない
4. 少し難しかった 5. とても難しかった
- (9) 本教材では、知識を理解するだけでなく、意思決定を行うことで、問題をより自分ごととして考えられるようにしました。このような活動により、生徒は自分ごととして考えるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(10) 本教材では問題に対する自分の意思を決定した上で、話し合いをし、自分の意思を再び決定しました。このような活動により、生徒の意思は多面的になったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(11) 2章2節では、高レベル放射性廃棄物の処分方法を考え、4つの処分方法を比較して望ましい方法を考えました。このような活動により、生徒は自分ごととして考えるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(12) 3章では、高レベル放射性廃棄物の処分地を決めるために、科学的要因と社会的要因を分けて考えました。このような活動により、生徒は自分ごととして考えるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(13) (12)に示した活動を通して、生徒の意思は多面的になったと思いますか

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(14) これら10個の要因以外に、処分地を決める時に考えなければならないと考える要因をお書きください。[科学的要因：地震、火山、隆起・浸食、岩盤の固さ、地下水の流量][社会的要因：鉱物資源の有無、人口密度、土地利用、港湾からの距離、港湾からの輸送方法]

(15) 4章1節では、地層処分の是非や、処分地を選ぶことに対する自分の考えの変化を分析しました。このような活動により、生徒は自分ごととして考えるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(16) 4章1節では、高レベル放射性廃棄物の処分問題と私たちのこれからについて考えました。このような活動により、生徒は自分ごととして考えるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(17) 教材を通して、生徒は問題を自分ごととして考えられるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(18) 自分ごととして考えられるようにするための教材の改善点がございましたらお書きください

- (19) 本教材について、良かった点、悪かった点、感想等をお書きください。
- (20) 今回高レベル放射性廃棄物の処分を扱った授業を行って、どのような感想を持たれましたか。

まず、これまでの教育活動について、質問(1)、(2)、(3)の結果を示す(表 85, 表 86, 表 87)。質問(1)では、1名の教員が高レベル放射性廃棄物の処分を授業で取り上げたことがあると回答した。質問(2)では、授業内容が放射性廃棄物に関するものであるという回答があった。質問(3)では、1名の教員が高レベル放射性廃棄物の処分を授業で取り上げようと思ったことがあると回答した。

表 85. 質問(1)の回答内訳 (授業で取り上げた経験の有無)

回答	人数(割合)
取り上げたことがある	1名(33.3%)
取り上げたことがない	2名(66.7%)
無回答	0名(0%)

表 86. 質問(2)の回答内訳 (授業で取り上げた内容)

中3・高3を対象。どのような放射性廃棄物が存在するか。処分方法について。

表 87. 質問(3)の回答内訳 (授業で取り上げる意思の有無)

回答	人数(割合)
取り上げようと思ったことがない	1名(50%)
取り上げようと思ったことがある	1名(50%)
無回答	0名(0%)

質問(4)の回答を示す(表 88)。高レベル放射性廃棄物の処分の方向性が定まっていない点や、教員自身の知識が十分ではない点が挙げられた。このような意識が他の教員においても存在するため、高レベル放射性廃棄物の処分について授業で扱われていないと考える。

表 88. 質問(4)の回答内訳 (授業で取り上げたことがない理由)

授業では、結論が出なくとも、何らかの方向性を持っていないといけないと考えております。高レベル放射性廃棄物の処分問題については、方向性は出ていますが、授業でもありましたように遅々として進んでおりません。ですので、取り上げていません。

詳しいことを知らなかった。どこまで踏み込んでいい題材なのか分からない。

次に、教材の評価について、質問(5)、(6)、(7)、(8)の結果を示す(表 89, 表 90, 表 91, 表 92)。質問(5)では、3名全員が教材は難しかったと回答した。質問(6)では、3名全員が教材は使いやすかったと回答した。質問(7)では、1名が教材の量は多かったと回答した。

質問(8)では、3名全員が、教材を活用した授業が難しかったと回答した。

表 89. 質問(5)の回答内訳（教材難易度の評価）

回答	人数(割合)
とても簡単だった	0名(0%)
少し簡単だった	0名(0%)
どちらともいえない	0名(0%)
少し難しかった	2名(66.7%)
とても難しかった	1名(33.3%)
無回答	0名(0%)

表 90. 質問(6)の回答内訳（教材の利便性の評価）

回答	人数(割合)
とても使いやすかった	1名(33.3%)
少し使いやすかった	2名(66.7%)
どちらともいえない	0名(0%)
少し使いにくかった	0名(0%)
とても使いにくかった	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 91. 質問(7)の回答内訳（教材量の評価）

回答	人数(割合)
とても多かった	0名(0%)
少し多かった	1名(33.3%)
どちらともいえない	2名(66.7%)
少し少なかった	0名(0%)
とても少なかった	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 92. 質問(8)の回答内訳（教材を用いた授業の難易度の評価）

回答	人数(割合)
とても簡単だった	0名(0%)
少し簡単だった	0名(0%)
どちらともいえない	0名(0%)
少し難しかった	2名(66.7%)
とても難しかった	1名(33.3%)
無回答	0名(0%)

質問(18)の回答を示す(表 93)。3章3節の処分地決定における情報提示の方法や、意思決定の根拠の示し方についての意見が挙げられた。なお、候補地名の方法については、個々がその地域に対して持つ知識やイメージが異なるため、考えやすくするために、具体的な地域名での提示は避けている。

表 93. 質問(18)の回答内訳（自分ごととして考えるための教材の改善事項）

例えば処分地の候補地が A~G とアルファベットでした。なかなか下調べは難しいと思いますが、具体的な地名等を使っていただくと更に自分ごととして考えられるのではないかと思います。
情報がたくさんある中で、その情報を理解しなければならない。その上で意思決定をしていくわけだが、どの情報を使って意思決定したのか、複数の情報を根拠に自分の意思を発表する場があるといいなと思いました。

質問(19)の回答を示す(表 94)。良かった点として、「一人ずつ冊子があり書き込み式で、知りたい情報があれば前に戻れる点」、「教員側はほとんど教材に沿って行えば、授業が展開できました。」など、授業のしやすさに関する点が挙げられた。また、悪かった点として、「知識を消化しきれず、途中から消化不良を起こす生徒が多かった。」、「図・グラフを一目見て分かる様なものに、後半についても文を少なくしていただくとより分かりやすくなるか」と思います。」など、説明資料についての改善事項が挙げられた。

表 94. 質問(19)回答内訳（教材の良かった点、悪かった点）

最近の学校用の教材（教科書等）はカラフルなものが多く、生徒は視覚的に捉える機会が多いです。また、デジタル教科書やデジタル黒板も使用しつつあるので特にその兆候が見られます。図・グラフを一目見て分かる様なものに、後半についても文を少なくしていただくとより分かりやすくなるかと思えます。
一人ずつ冊子があり書き込み式で、知りたい情報があれば前に戻れる点など、良かったと思えます。第一章からの説明の部分に、もう少し活動を入れたいと思いました。4章の「これからの私たちの生活」の問が、答えるのに苦労していたように感じました。
よかった点：教員側はほとんど教材に沿って行えば、授業が展開できました。 悪かった点：生徒たちは1回1回の内容を得て、考えをまとめるという活動を行おうとしている姿は見られたが、知識を消化しきれず、途中から消化不良を起こす生徒が多かった。オープンエンドな問に対する自分なりの着地点を見つけられない生徒が見受けられた。（放射性廃棄物を燃やせばいい。処分地について、全部の要因が大事だから分からない。処分方法について、どの方法もデメリットが大きいからよくない、分からない。）

質問(20)の回答を示す(表 95)。「自分で選んでみることにより、より自分ごとになったのではと思います。」など、自分ごととしてこの問題を考える上での意思決定の有効性についての記述が見られた。このことから、教員は授業を通して、自分ごと化における意思決定の重要性に気づくことができたといえる。また、「ある程度知識として持っているべきだと思いました」、「放射線の知識を正しく会得させてから、授業に入っていくことができなかつた」など、知識の必要性や重要性についての記述が見られた。このことから、教員は授業を通じて、高レベル放射性廃棄物の処分の重要性に気づくことができ、また、意思決定をする上での知識の重要性に気づくことができたといえる。

表 95. 質問(20)の回答内訳(本試行の感想)

これから先必ず直面する問題なので、ある程度知識として持っているべきだと思いました。しかし、やはり難しい内容だなあと感じることもあり、“安全”という言葉もどう安全なのかよく分からないという印象を持ちました。生徒は、処分地A~Gを決定する際、多くの要因を整理しながら取り組んでいて、楽しそうな表情がありました。自分で選んでみることにより、より自分ごとになったのではと思います。
放射線の知識を正しく会得させてから、授業に入っていくことができなかつたと反省します。生徒たちは、この教材を行う前に2度ほど放射線に関する授業、特別講義を行っていたため、ペーパーテストなどで放射線の知識を確認したりしなかつた。しかし、抜本的に「放射線とは？」という問に対して、個々人が自分の中に概念を落としきれていないと授業中に何度も感じた。それは、本校の本学年の生徒特有の傾向かもしれないので、どう対応すべきかは、私たちが考えるべきかもしれない。知識をもとに次々と考えるという活動を普段の授業の中で定着できていないことが、一番難しかったことであつたと反省します。

次に、自分ごとの評価について、質問(9)、(11)、(12)、(15)、(16)、(17)の結果を示す(表 96、表 97、表 98、表 99、表 100、表 101)。質問(9)、(17)ともに、3名全員が肯定的な回答をした。質問(11)では、3名全員が肯定的な回答をした。質問(12)では、1名が肯定的な回答をした。質問(15)では、2名全員が肯定的な回答をした。質問(16)では、1名が肯定的な回答をした。

表 96. 質問(9)の回答内訳(意思決定による自分ごと化の評価)

回答	人数(割合)
とても思う	0名(0%)
少し思う	3名(100%)
どちらともいえない	0名(0%)
あまり思わない	0名(0%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 97. 問(17)の回答内訳（教材を用いた学習による自分ごと化の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	1名(33.3%)
少し思う	2名(66.7%)
どちらともいえない	0名(0%)
あまり思わない	0名(0%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 98. 質問(11)の回答内訳（2章の学習による自分ごと化の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	1名(33.3%)
少し思う	2名(66.7%)
どちらともいえない	0名(0%)
あまり思わない	0名(0%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 99. 質問(12)の回答内訳（3章の学習による自分ごと化の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	0名(0%)
少し思う	1名(33.3%)
どちらともいえない	1名(33.3%)
あまり思わない	1名(33.3%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 100. 問(15)の回答内訳（4章の学習[考えの振り返り]による自分ごと化の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	0名(0%)
少し思う	3名(100%)
どちらともいえない	0名(0%)
あまり思わない	0名(0%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 101. 問(16)の回答内訳（4章の学習[今後の検討]による自分ごと化の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	1名(33.3%)
少し思う	1名(33.3%)
どちらともいえない	1名(33.3%)
あまり思わない	0名(0%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

次に、多面的な意思決定の評価について、質問(10), (13)の結果を示す(表 102, 表 103).
質問(10), (13)ともに、3名全員が肯定的な回答をした。

表 102. 質問(10)の回答内訳（話し合いによる意思決定の要因の多面性向上の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	1名(33.3%)
少し思う	2名(66.7%)
どちらともいえない	0名(0%)
あまり思わない	0名(0%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 103. 問(13)の回答内訳（要因区分による意思決定の要因の多面性向上の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	0名(0%)
少し思う	3名(100%)
どちらともいえない	0名(0%)
あまり思わない	0名(0%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

4.2 試行②の結果をもとにした分析

4.2.1 生徒への質問紙調査

教材の試行前後に、生徒を対象に質問紙調査を実施した。試行前の質問紙は、質問(1), (2), (4), (5), (7), (8), (10)を選択式とし、質問(3), (6), (9)を選択式と記述式の併用とした。試行後の質問紙は、(1), (2), (4)~(11), (15)~(17)を選択式とし、質問(19), (20)を記述式とした。質問(3), (12)~(14), (18), (21)を選択式と記述式の併用とした。質問紙の内容を表 104 および表 105 に、質問事項を表 106 および表 107 に示す。なお、本研究の基準を満たした 55 名を分析の対象とした。

表 104. 生徒への質問紙調査（試行前）の内容

問題番号	内容
(1)~(3)	放射線の既有知識について
(4)~(6)	高レベル放射性廃棄物の既有知識について
(7)~(9)	地層処分の既有知識について
(10)	社会問題の自分ごと化について

表 105. 生徒への質問紙調査（試行後）の内容

問題番号	内容
(1)	社会問題の自分ごと化について
(2)~(8), (19)~(21)	教材の評価について
(9)~(11)	知識の理解について
(12), (15)~(18)	自分ごとの評価について
(13), (14)	多面的な意思決定の評価について

表 106. 生徒への質問紙調査（試行前）の質問事項

(1) あなたは、「放射線」という言葉を聞いたことがありますか。 1. 聞いたことがある 2. 聞いたことがない
(2) あなたは、「放射線」について説明することができますか。 1. 十分説明することができる 2. 少し説明することができる 3. あまり説明することができない 4. 全く説明することができない
(3) あなたは、「放射線」について家族や友達と話したことがありますか。 1. 話したことがある 2. 話したことがない
(4) あなたは、「高レベル放射性廃棄物」という言葉を聞いたことがありますか。 1. 聞いたことがある 2. 聞いたことがない
(5) あなたは、「高レベル放射性廃棄物」について説明することができますか。 1. 十分説明することができる 2. 少し説明することができる 3. あまり説明することができない 4. 全く説明することができない
(6) あなたは、「高レベル放射性廃棄物」について家族や友達と話したことがありますか。 1. 話したことがある 2. 話したことがない

- (7) あなたは、「高レベル放射性廃棄物の地層処分」という言葉を聞いたことがありますか。
1. 聞いたことがある 2. 聞いたことがない
- (8) あなたは、「高レベル放射性廃棄物の地層処分」について説明することができますか。
1. 十分説明することができる 2. 少し説明することができる
3. あまり説明することができない 4. 全く説明することができない
- (9) あなたは、「高レベル放射性廃棄物の地層処分」について家族や友達と話したことがありますか。
1. 話したことがある 2. 話したことがない
- (10) あなたは、新聞などに書かれている様々な社会問題について、“自分ごと（自分自身の問題）”として考えることができますか。
1. とてもできる 2. 少しできる 3. どちらともいえない
4. あまりできない 5. 全くできない

表 107. 生徒への質問紙調査（試行後）の質問事項

- (1) あなたは、新聞などに書かれている様々な社会問題について、“自分ごと（自分自身の問題）”として考えることができますか。
1. とてもできる 2. 少しできる 3. どちらともいえない
4. あまりできない 5. 全くできない
- (2) あなたは、この教材を使った授業に満足していますか
1. とても満足している 2. 少し満足している 3. どちらともいえない
4. あまり満足していない 5. 全く満足していない
- (3) この教材を使った授業はどうでしたか。
1. とても楽しかった 2. 少し楽しかった 3. どちらともいえない
4. あまり楽しくなかった 5. 全く楽しくなかった
- (4) 教材の難易度はどうでしたか。
1. とても簡単だった 2. 少し簡単だった 3. どちらともいえない
4. 少し難しかった 5. とても難しかった
- (5) 教材の内容は理解できましたか。
1. とても理解できた 2. 少し理解できた 3. どちらともいえない
4. あまり理解できなかった 5. ほとんど理解できなかった
- (6) 教材は使いやすかったですか。
1. とても使いやすかった 2. 少し使いやすかった 3. どちらともいえない
4. 少し使いにくかった 5. とても使いにくかった
- (7) 教材の量はどうでしたか。
1. とても多かった 2. 少し多かった 3. どちらともいえない
4. 少し少なかった 5. とても少なかった
- (8) 授業の時間数はどうでしたか。
1. とても多かった 2. 少し多かった 3. どちらともいえない

4. 少し少なかった 5. とても少なかった

(9) あなたは、「放射線」について説明することができますか。

1. 十分説明することができる 2. 少し説明することができる
3. あまり説明することができない 4. 全く説明することができない

(10) あなたは、「高レベル放射性廃棄物」について説明することができますか。

1. 十分説明することができる 2. 少し説明することができる
3. あまり説明することができない 4. 全く説明することができない

(11) あなたは、「高レベル放射性廃棄物の地層処分」について説明することができますか。

1. 十分説明することができる 2. 少し説明することができる
3. あまり説明することができない 4. 全く説明することができない

(12) 教材では、様々な問題について自分の意思を決定しました。このような活動により、あなたは高レベル放射性廃棄物の処分問題を“自分ごと（自分自身の問題）”として考えられるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(13) 教材では、問題に対する自分の意思を決定した上で、話し合いをし、自分の意思を再び決定しました。このような活動により、あなたの意思はより多面的になったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(14) 教材では、処分地を決める要因を「科学的な要因」と「社会的な要因」に分けて考えました。このような配慮により、考えやすかったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(15) 2章では、高レベル放射性廃棄物について学び、地上管理するか隔離処分するかを考えた後に、4つの隔離処分方法のうちどの方法を採用するかを考えました。このような活動により、高レベル放射性廃棄物の処分問題を“自分ごと（自分自身の問題）”として考えられるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(16) 3章では、地層処分について学び、処分地を決めるときにどの要因を重視するかを考えた後に、仮想の候補地の中で処分地を決めました。このような活動により、高レベル放射性廃棄物の処分問題を“自分ごと（自分自身の問題）”として考えられるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(17) 4章では、これまでの学習を振り返り、この問題との今後の関わり方について考えました。このような活動により、高レベル放射性廃棄物の処分問題を“自分ごと

(自分自身の問題)”として考えられるようになったと思いますか。

1. とても思う
2. 少し思う
3. どちらともいえない
4. あまり思わない
5. 全く思わない

(18) この教材は、高レベル放射性廃棄物の処分問題を“自分ごと（自分自身の問題）”として考えられるようにすることを目的としています。あなたは、どの段階で自分ごととして考えられるようになりましたか。

1. 2章1節（地上管理か隔離処分かを考える）
2. 2章2節（隔離処分方法を考える）
3. 3章1節（地層処分について知る）
4. 3章2節（重視する要因を考える）
5. 3章3節（仮想の候補地で処分地を決める）
6. 4章1節（学習を振り返る）
7. その他（ ）
8. 自分ごとにはならなかった

(19) 分からなかったこと、もっと知りたいことがあれば書いてください。

(20) 高レベル放射性廃棄物の処分問題に関する授業を受けた感想を書いてください。

(21) 高レベル放射性廃棄物の処分問題について、さらに学びたいと思いますか。

1. とても思う
2. 少し思う
3. どちらともいえない
4. あまり思わない
5. 全く思わない

まず、既有知識について、質問(1)~(9)の結果を示す（表 108、表 109、表 110、表 111、表 112、表 113、表 114、表 115、表 116）。放射線については、全員が言葉を聞いたことがあると回答し、全体の約 22%の生徒が説明できると回答した。話したことがある生徒は全体の約 35%だった。本試行の対象となった生徒は、外部講師による放射線に関する特別授業を以前受講しており、その際に放射線の基礎知識を学んでいる。そのため、試行①と比較して放射線に対する知識の理解が深かった。高レベル放射性廃棄物については、全体の約 47%の生徒が言葉を聞いたことがあると回答し、全体の約 6%の生徒が説明できると回答した。話したことがある生徒は全体の約 9%だった。高レベル放射性廃棄物の地層処分については、全体の約 20%の生徒が言葉を聞いたことがあると回答し、全体の約 4%の生徒が説明できると回答した。話したことがある生徒は全体の約 4%だった。

表 108. 質問(1)の回答内訳（放射線の認識状況）

回答	人数(割合)
聞いたことがある	55名(100%)
聞いたことがない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 109. 質問(2)の回答内訳（放射線の理解度の評価）

回答	人数(割合)
十分説明することができる	1名(1.8%)
少し説明することができる	11名(20%)
あまり説明することができない	33名(60%)
全く説明することができない	10名(18.2%)
無回答	0名(0%)

表 110. 質問(3)の回答内訳（放射線に関する議論経験）

回答	人数(割合)
話したことがある	19名(34.5%)
話したことがない	36名(65.5%)
無回答	0名(0%)

表 111. 質問(4)の回答内訳（高レベル放射性廃棄物の認識状況）

回答	人数(割合)
聞いたことがある	26名(47.3%)
聞いたことがない	29名(52.7%)
無回答	0名(0%)

表 112. 質問(5)の回答内訳（高レベル放射性廃棄物の理解度の評価）

回答	人数(割合)
十分説明することができる	0名(0%)
少し説明することができる	3名(5.5%)
あまり説明することができない	15名(27.3%)
全く説明することができない	37名(67.3%)
無回答	0名(0%)

表 113. 質問(6)の回答内訳（高レベル放射性廃棄物に関する議論経験）

回答	人数(割合)
話したことがある	5名(9.1%)
話したことがない	50名(90.9%)
無回答	0名(0%)

表 114. 質問(7)の回答内訳（高レベル放射性廃棄物の地層処分の認識状況）

回答	人数(割合)
聞いたことがある	11名(20%)
聞いたことがない	44名(80%)
無回答	0名(0%)

表 115. 質問(8)の回答内訳（高レベル放射性廃棄物の地層処分の理解度の評価）

回答	人数(割合)
十分説明することができる	1名(1.8%)
少し説明することができる	1名(1.8%)
あまり説明することができない	7名(12.7%)
全く説明することができない	46名(83.6%)
無回答	0名(0%)

表 116. 質問(9)の回答内訳（高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する議論経験）

回答	人数(割合)
話したことがある	2名(3.6%)
話したことがない	53名(96.4%)
無回答	0名(0%)

次に、試行後の知識の理解について、質問(9)~(11)の結果を示す(表 117, 表 118, 表 119)。どの質問についても、否定群（「全く説明することができない」、「あまり説明することができない」）が減少し、肯定群（「少し説明することができる」「十分説明することができる」）が増加していることが明らかとなった。

表 117. 質問(9)の回答内訳（放射線の理解度の評価）

回答	人数(割合)
十分説明することができる	15名(27.3%)
少し説明することができる	37名(67.3%)
あまり説明することができない	3名(5.5%)
全く説明することができない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 118. 質問(10)の回答内訳（高レベル放射性廃棄物の理解度の評価）

回答	人数(割合)
十分説明することができる	18名(32.7%)
少し説明することができる	33名(60%)
あまり説明することができない	4名(7.3%)
全く説明することができない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 119. 質問(11)の回答内訳（高レベル放射性廃棄物の地層処分の理解度の評価）

回答	人数(割合)
十分説明することができる	20名(36.4%)
少し説明することができる	34名(61.8%)
あまり説明することができない	1名(1.8%)
全く説明することができない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

ここで、学習内容の中心である、「放射線」、「高レベル放射性廃棄物」、「高レベル放射性廃棄物の地層処分」の3つの言葉について説明できるようになったかを調べるために、試行前の質問(3)、(5)、(8)および、試行後の質問(9)、(10)、(11)の回答において、「十分説明することができる」を「4」、「少し説明することができる」を「3」、「あまり説明することができない」を「2」、「全く説明することができない」を「1」として、試行前の回答の平均値と試行後の回答の平均値を比較した。結果を表120に示す。

分散分析の結果、全ての意思決定場面において、試行前の平均値より試行後の平均値が、1%水準で有意に高かった。このことから、教材を用いた学習によって、生徒は、「放射線」、「高レベル放射性廃棄物」、「高レベル放射性廃棄物の地層処分」の3つの言葉を説明することに対する自己評価が高まり、知識の理解が十分なされたといえる。

表 120. 知識理解に関する検定結果

	試行前		試行後		F 値 (df=1/109)
	N	Mean (SD)	Mean (SD)		
放射線	55	2.05 (0.67)	3.21 (0.53)	127.56 **	
高レベル放射性廃棄物	55	1.38 (0.59)	3.25 (0.58)	398.95 **	
高レベル放射性廃棄物の地層処分	55	1.22 (0.56)	3.35 (0.51)	478.14 **	

** : p < .01

次に、教材の評価について、質問(2)、(3)、(4)、(5)、(6)、(7)、(8)、(21)の結果を示す(表121、表122、表123、表124、表125、表126、表127、表128、表129、表130)。

質問(2)では、全体の約78%の生徒が肯定的な回答をした。質問(3)では、全体の約84%の生徒が楽しかったと回答した。質問(4)では、全体の約51%の生徒が難しかったと回答し、約20%のみが簡単だったと回答した。質問(5)では、全体の約95%の生徒が理解できたと回答した。質問(6)では、全体の約87%の生徒が使いやすかったと回答した。質問(7)では、全体の約46%の生徒が教材の量は多かったと回答した。質問(8)では、全体の約26%の生徒が授業の時間数が多かったと回答したが、全体の約71%の生徒はどちらともいえないと回答した。質問(21)では、全体の約82%の生徒が更に学びたいと思うと回答した。

表 121. 質問(2)の回答内訳（教材を用いた授業の満足度の評価）

回答	人数(割合)
とても満足している	21名(38.2%)
少し満足している	22名(40%)
どちらともいえない	12名(21.8%)
あまり満足していない	0名(0%)
全く満足していない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 122. 質問(3)の回答内訳（教材を用いた授業の評価）

回答	人数(割合)
とても楽しかった	12名(21.8%)
少し楽しかった	34名(61.8%)
どちらともいえない	6名(10.9%)
あまり楽しくなかった	3名(5.5%)
全く楽しくなかった	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 123. 質問(3)の回答の理由

- ・ 図が分かりやすかった。
- ・ スケールがあまり分からなかったり，動画があつたらもっと理解が深められると思う所があつたから。
- ・ いつもの授業とは違って自分の意見中心の授業でより考えることができたから。
- ・ 自分自身の意見，他人の意見に触れることができた。
- ・ 今まで知らなかったことをとても詳しく知ることができた。
- ・ 今の社会の深刻さが分かつたから。
- ・ 皆と意見を交換できたから。
- ・ 気になったことがどんどん解決できたから。
- ・ みんなで話し合う所で，他の人の意見が聞けて興味深かつた。
- ・ 今の日本の原発等に関する状況を詳しく知ることができた。
- ・ 私たちがこれから直面していく問題なので，興味深かつた。
- ・ 他の人の意見を聞くことができたから。
- ・ 特に授業の前半のほうで，放射線に対することなど受け身で受けていたのはマーカを引くだけでつまらなかつた。また，班で意見を言うだけで終わりにせず，反対，賛成の立場に立ってクラスで議論したかつた..
- ・ 科学的なことが苦手だったので，説明が分かりやすく現代の問題をよく理解することができたから。
- ・ これからのことを考えるきっかけになつた。
- ・ 自分の意見を書くのはよいと思つた。

- ・グループの話し合いでいろいろな意見を聞いたから。
- ・ほとんど何も知らないところから、自分達が大きく関わっているということを体感した。
- ・自分の意見を周りと共有することが楽しかったし、自分自身からこんな意見が出てくるのかと驚いたりもしたから。
- ・自分が考えたことのないことについて学びながら考えられたので楽しかった。
- ・先生に教えられるばかりの授業ではなく、自分の意見を考え書き発表する授業になっていた所がよかった。

表 124. 質問(4)の回答内訳（教材難易度の評価）

回答	人数(割合)
とても簡単だった	3名(5.5%)
少し簡単だった	8名(14.5%)
どちらともいえない	16名(29.1%)
少し難しかった	27名(49.1%)
とても難しかった	1名(1.8%)
無回答	0名(0%)

表 125. 質問(5)の回答内訳（学習内容の理解度の評価）

回答	人数(割合)
とても理解できた	21名(38.2%)
少し理解できた	31名(56.4%)
どちらともいえない	3名(5.5%)
あまり理解できなかった	0名(0%)
全く理解できなかった	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 126. 質問(6)の回答内訳（教材の利便性の評価）

回答	人数(割合)
とても使いやすかった	26名(47.3%)
少し使いやすかった	22名(40%)
どちらともいえない	4名(7.3%)
少し使いにくかった	3名(5.5%)
とても使いにくかった	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 127. 質問(7)の回答内訳（教材量の評価）

回答	人数(割合)
とても多かった	5名(9.1%)
少し多かった	20名(36.4%)
どちらともいえない	29名(52.7%)
少し少なかった	1名(1.8%)
とても少なかった	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 128. 質問(8)の回答内訳（授業時間数の評価）

回答	人数(割合)
とても多かった	3名(5.5%)
少し多かった	11名(20%)
どちらともいえない	39名(70.9%)
少し少なかった	2名(3.6%)
とても少なかった	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 129. 問(21)の回答内訳（更なる学習意欲の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	15名(27.3%)
少し思う	30名(54.5%)
どちらともいえない	7名(12.7%)
あまり思わない	2名(3.6%)
全く思わない	1名(1.8%)
無回答	0名(0%)

表 130. 質問(21)の回答の理由

- ・ 処分地がどこになるのか興味があるから。
- ・ 今後どのような時期に処分地の候補地が決まっていくかなど知りたいと思ったから。
- ・ 自分が満足できるまで知れたと思うから。
- ・ 難しすぎて理解が追いつかないから。
- ・ もっと、今できる事があるのではないかと思うから。
- ・ 僕たちが今何かやるといっても、国を動かすことも出来ないし、ほとんどできない。せめて、もっと問題について学ばなければならない。
- ・ 処分問題は僕たちの世代で解決していく問題だから。
- ・ 学びたい学びたくないというよりも、学ばなくてはならないと責任を感じた。

ここで、質問(4)と質問(5)の結果から、難易度は高くなってしまふものの、中学生でも十分理解できる内容であるといえる。また、質問(7)および質問(8)の結果から、本教材および教材を用いた授業の量に対して否定的な回答が多数見られた。しかし、質問(2)および質問(3)の結果から、本教材を用いた授業には概ね満足しており、質問(21)の結果から、更なる学習意欲に対して肯定的な回答が多いことが分かるため、本教材の量は適切であると考えている。

次に、質問(19)の回答を表 131 に示す。明らかな誤字、脱字は筆者が修正した。教材の内容に関することや、より発展的な内容に関する疑問が挙げられた。

表 131. 問(19)の回答内訳（本教材を用いた学習で分からなかった点）

<ul style="list-style-type: none"> ・もし原子力発電を廃止したら、どのような影響があるのか。 ・どのくらいの確率で今後も原発を再開するのか。 ・ロンドン条約、南極条約の詳細。 ・原子力発電の仕組み。 ・国はこの問題を本当に解決したいと思っているのか。 ・万が一、地下水に漏れ出したときの対応。 ・地層処分に予算はどれくらいかかるのか。 ・外国の放射性廃棄物の量と処分方法。 ・世界でこの問題はどれくらい重要視されているか。 ・海洋底処分が地層処分よりまわりにあたえる影響が大きいのはなぜか。 ・国が考えている処分地はどこなのだろう。 ・条約がなかったら、他の処分方法はどうなるのか。 ・水は放射線を遮断すると書かれていましたが、なぜ水は汚染されるのかがよく分かりません。少し気になりました。 ・地上管理を選んでいたらどうなるのか。 ・日本はいつまでに処分地を決めていつまでに終わらせるかなどの今後の予定、計画が知りたい。
--

次に、質問(20)の回答を表 132 に示す。明らかな誤字、脱字は筆者が修正した。高レベル放射性廃棄物の処分問題を認識していなかった点や、自分ごととして考えられた点、自身の意思決定活動を反省する内容が挙げられた。

表 132. 問(20)の回答内訳（本試行の感想）

<ul style="list-style-type: none"> ・ニュース等で放射線について市民にアンケートをしているときに、少し言葉の意味の違いを感じれて、少し賢くなれたのかなとうれしくなった。 ・初めは難しそうな問題だなと思っていたが、放射線とは何なのか、高レベル放射性廃棄物はどのように発生してどのように処分すべきかなど、今まで知らなかったことばかり学ぶことができた。自分達の世代にはこのような問題を解決しなければならない時があるのだと初めて知り、ひとごとではなく自分の意見をしっかり持たないといけ

ないなと思った。

- 原子力発電により沢山の未処分の高レベル放射性廃棄物が出ていたことが分かった。また、これからもどんどん廃棄物が増えていくことを知った。そして、処分方法が地層処分になり、僕たちの住んでいる地域も処分地になるかもしれないということが分かり、「誰かがどうにかしてくれる」では済まないと思った。これからはどのように処分されて、どのように解決されていくか、そういうことに興味を持っていきたい。
- この問題について一般市民として意見を出せるような人間になりたいと思いました。
- 今回は机上で全て学習したが、今度は原発や地上管理センターなどにも訪れて実際に自分の目で見て学習したい。授業に関しては、班に分かれて話し合う時間がよかった。互いに意見を持ち寄り、交換し、より自分ごととして考えられた。
- 今の段階では様々な問題点があり、解決していくために私たちが考えていかなければならないと思った。
- 最初、高レベル放射性廃棄物という言葉をあまり知らず、ニュースでも原子力発電所の問題を興味を持たず、聞き流していたけど、今回学んで、とても焦り、他人ごとの話ではないのだと気がついた。日本にとって、とても難しい課題だと思った。
- 今までは、地層処分をしようとしている政府に、危なくないのかなど反感ばかり感じていた。しかし、これらの授業を受けて、思っていたよりもずっと安全だということ、また他に方法がないことなどを知った。処分地が僕の住んでいる地域のなる可能性も十分あり、他人ごとではないなと感じた。
- 日本の放射性廃棄物の処分方法は地層処分だということを知れてよかった。それに向けて日本が着実に準備を進めていて安心した。私たちは処分地決定に理解を示し、協力していかなければならないと思った。この問題に直面しているのは日本だけではないと思うので、この問題は世界で取り上げるべきだと思う。
- 結局この授業は今の大人たちがこれから自分たちは100年も200年も生きていけないから、その代わりに子どもたちにその役目を押しつけて、「私たちが考えなければならぬ」とか考えさせようとしている。原子力とか高レベル放射性廃棄物や、それがなければ生きていけない世の中を作ったのは今の大人たちなのに、子どもたちに考えさせるのは無責任さがあると思う。その点をしっかりと自覚してほしいと思う。
- 今までは日本でこういう問題に直面していることさえ知らなかったが、この授業を受けて、「高レベル放射性廃棄物の処分問題」について考えられるようになった。少し難しいところもあったが、より分かりやすく一つずつやったおかげで理解しやすかった。また、自分が大人になって意思を決めなくてはいけないときには、しっかり自分の考えを持っておくようにする。
- このような将来に関わる大きな問題について、自分達で沢山の意見を出し合い解決策を考えていくことはいい経験だったと思う。グループの話し合いもあり、友達の意見を聞いて自分の意見を何度も見直して勉強になった。
- 他人ごとと考える人に押し付けるのではなく、自分で考えを深めて意見を持つことが大切だと思いました。
- 100年後生きているかは分からないが、自分達の次の世代の為にも、真剣に向き合う

べきだと感じた。

- ・ニュースや新聞で放射線に関することがしていたり、書いてあっても、他人ごとだと思えることがなくなったと思う。
- ・今現在、大人がこの問題についてどう考えているのかが書いてあったら自分達若者と大人の考えが比較できるから、そういうのがあったらいいなと思った。
- ・高レベル放射性廃棄物のことについて考えることで、自分自身の一人ひとりの問題であると思った。現に僕たちは、それによって作られたエネルギーを使って生活しているのだから。
- ・この問題が早く解決できたらいいと思う。私たちが将来担っていく問題だから、少しでも役に立てばいい。興味がなかったのに、だんだん興味がわいてきた。
- ・この学習は、僕たちの未来を知るための大切な授業だったと感じます。
- ・話し合いの時間では、自分とは違う意見を持つ人の考えを聞き、確かになと思えることがたくさんあった。そのたくさん意見を聞き入れながら、でもなるべく公平に決めていけるような人材が、将来この問題を解決するために必要になってくると強く思った。私たちが他人ごとではなく、自分ごととしてとらえ、常に考えなくてはならないと思った。

次に、自分ごとの評価について、質問(12)、(15)、(16)、(17)、(18)の結果を示す(表 133, 表 134, 表 135, 表 136, 表 137)。質問(12)では、全体の約 89%の生徒が高レベル放射性廃棄物の処分問題を自分ごととして考えられるようになったと回答した。質問(15)では、全体の約 75%の生徒が、2章の活動により自分ごととして考えられるようになったと回答した。(16)では、全体の約 89%の生徒が、3章の活動により自分ごととして考えられるようになったと回答した。質問(17)では、全体の約 80%の生徒が、4章の活動により自分ごととして考えられるようになったと回答した。質問(18)では、全体の約 44%の生徒が、3章3節で自分ごととして考えられるようになったと回答した。

表 133. 質問(12)の回答内訳 (教材を用いた学習による自分ごと化の評価)

回答	人数(割合)
とても思う	21名(38.2%)
少し思う	28名(50.9%)
どちらともいえない	4名(7.3%)
あまり思わない	2名(3.6%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 134. 質問(12)の回答の理由

- ・自分の家の近くに処理場ができることを考えたりしたから。
- ・もしかしたら、処分施設が近くに建てられるかもしれないと分かったから。
- ・処分地の候補地に三重県も入っており、自分の家の近くに施設ができるかもしれない

から.

- 全くとは言わないが、正直中学生にしては突拍子もない話なので分からないこともあったから.
- やはり知ることが主体的になることの第一歩なのだと再確認した.
- 廃棄物が自分達のところに処分されるとは思えないし、自分達がどうこうできる問題ではないと思うから. それに、今後この問題に僕が関与することはないように感じる.
- 自分達が生活している上で、必ず発生してしまうものだから.
- 処分する場所がないと聞いて、もしかすると自分が住んでいる土地が処分場になるかもしれないと思ったから.
- 自分の意思を決める中で、自分の考えが分かってきて、自分ごとととらえることができた.
- 科学的な要因、社会的な要因の両方の視点から自分で候補地を決定したり、自分の住むところだったらと身近に感じることができたから.
- 自分達の住んでいる地域も処分候補地に入っていたので、いつ処分地になってもおかしくない.
- 今はそれどころではないから.
- まだ分かっていないことが多いから.
- 今まで廃棄物のことを気にしていなかったが、この授業で存在を知って、こんな問題があると理解したから.
- 処分地が自分が住んでいる地域になったらという質問に対して、しっかり考えることができたから.
- 自分の意見を出したりして、問題を具体的に考えることができた.
- 現在の状況を知って焦ったから.
- 今までは、日本の政府は何を考えているんだ、ふざけるなよぐらいだったが、具体的な状況を知り、どうするべきなのかと自分なりに考えられた.
- 日本のどこかに処分することは既に決まっているので、その決定に対して理解しなければならぬと思うから.
- 自分が決める立場になった場合や、自分の町に来る場合など、それぞれの立場に立って考えることができたから.
- 授業でたくさん高レベル放射性廃棄物の処分について教えてもらったので、自分ごととして考えられるようになった.
- 親ともその話をした.
- 処分地を決めることは、自分達の安全も考えなければならないので、一人一人が頭に入れておくべき問題だと思ったから.
- 調査の応募が始まって 15 年経っているのに何もすることができていないのは、国民が協力していないからだし、まず、このことを知らない人が多すぎるから. もっと真剣に考えたほうがよいと思う.
- 自身にとって、自分ごとにするにはスケールが大きすぎたから.
- 三重が施設を作る条件に合っていたから. 自分達の世代が解決しなければならないと

分かったから。

- 自分の将来のことを考えると、他人ごとではない、大変な問題だから。
- 処分場所を勝手に決められると困るから。
- 身近にある問題でみんなが迷う問題でもあったから。
- 最後のマップで、自分の地域が「好ましい」となっていたから。
- 100年後という遠い未来のような感じがする。でも、今決めなければならぬと思えるようになった。
- 自分自身の考えでいい案が浮かんで何らかの変化があるなら自分で考えてみようと思ったから。
- 処分地が自分の住んでいる地域になるかもしれないから。
- 近未来ではなく 100年後とかの私たちが死んだ後のことなのであまり現実味がない。
- 自分達の生活に関わることだと分かったから。
- やっぱりあまり実感がわからない。
- 自分自身の問題として考えても、それを自分自身で解決はできないと思うから。僕たちより地位の高い人が解決策を考えて、どうすればより安全に処分できるということ考えたほうがよいと思う。
- これからの問題であるから、自分たちに関わってくることだから。
- 自分達の地域でも処分をする可能性があることを実感したから。
- 最後のページにあった日本地図でどこに処理できるかが表しているのかすごく身近に感じたから。
- これから決めていくことで、自分自身に関わるかもしれない。
- 自分達の住む場所や生活に大きく関わり、次の世代やもっと先まで関わってくる大切な時だから。
- この学習を通して、高レベル放射性廃棄物の問題が他人ごとでないということがよく分かったから。
- 自分のこととして思うことはできるが実感が無い。
- 予定地が近所にできてしまうと家を離れるか離れないか家族で考えなくてはならない。
- 今まで全然知らなかったことを知って、深く考えられた。
- 自分達が決めなければならないことだとは分かっていたが、具体的な方法や場所などを知ることができて、自分達がもっとよく考え知り、決定していかなければならないことだと分かったから。
- 少しだけ高レベル放射性廃棄物を知ったので、自分自身で考えていく必要があると思った。
- まだ大人でないと考えてしまうこともあるけど、考えていかないと何も進まないの自分だったらという目線で考えていくべきだと思った。
- 自分の意見を述べる授業が多かったから。
- いつか自分の住んでいる土地や、将来住む場所に処分地が決まったら…と身近に考えることもできたと思う。

表 135. 質問(15)の回答内訳（2章の学習による自分ごと化の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	14名(25.5%)
少し思う	27名(49.1%)
どちらともいえない	11名(20%)
あまり思わない	3名(5.5%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 136. 問(16)の回答内訳（3章の学習による自分ごと化の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	19名(34.5%)
少し思う	30名(54.5%)
どちらともいえない	5名(9.1%)
あまり思わない	1名(1.8%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 137. 問(17)の回答内訳（4章の学習による自分ごと化の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	18名(32.7%)
少し思う	26名(47.3%)
どちらともいえない	10名(18.2%)
あまり思わない	1名(1.8%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

ここで、教材全体の学習により、高レベル放射性廃棄物の処分を自分ごととして考えられるようになったかを調べるために、質問(12)の回答において、「とても思う」と「少し思う」を「肯定群」、「どちらともいえない」を「中立群」、「あまり思わない」と「全く思わない」を「否定群」として、1×3のクロス表に示した。表 138 に示す。χ²検定の結果、肯定群、中立群、否定群の生徒の人数の偏りに有意な差が見られた(χ²(2)=77.062, p<.05)。このことから、教材を用いた学習により、高レベル放射性廃棄物の処分を自分ごととして考えることができたといえる。

表 138. 教材を用いた学習による自分ごと化に関する検定結果

	肯定群	中立群	否定群
質問(12)	49	4	2

($\chi^2(2) = 77.062, p < .05$)

また、各章の学習により、高レベル放射性廃棄物の処分を自分ごととして考えられるようになったかを調べるために、質問(15)、(16)、(17)の回答において、「とても思う」と「少し思う」を「肯定群」、「どちらともいえない」を「中立群」、「あまり思わない」と「全く思わない」を「否定群」として、それぞれ1×3のクロス表に示した(表139、表140、表141)。 χ^2 検定の結果、いずれの章においても、肯定群、中立群、否定群の生徒の人数の偏りに有意な差が見られた。このことから、いずれの章においても、高レベル放射性廃棄物の処分を自分ごととして考えることができたといえる。

表 139. 2章の学習による自分ごと化に関する検定結果

	肯定群	中立群	否定群
質問(15)	41	11	3

($\chi^2(2) = 43.786, p < .05$)

表 140. 3章の学習による自分ごと化に関する検定結果

	肯定群	中立群	否定群
質問(16)	49	5	1

($\chi^2(2) = 77.390, p < .05$)

表 141. 4章の学習による自分ごと化に関する検定結果

	肯定群	中立群	否定群
質問(17)	44	10	1

($\chi^2(2) = 56.115, p < .05$)

質問(18)の結果を表142に示す。全体の約15%の生徒が、第2章の2節の段階で自分ごととして考えられるようになったと回答し、約44%の生徒が3章3節の段階で自分ごととして考えられるようになったと回答した。第3章終了時の段階で、全体の約91%の生徒が自分ごととして考えられるようになっていたことが分かる。この回答の理由(表143)からも、自分ごととして考えるために、意思決定の活動が有効であったといえる。

表 142. 質問(18)の回答内訳（自分ごとになった学習段階の評価）

回答	人数(割合)
2章1節（地上管理か隔離処分かを考える）	4名(7.3%)
2章2節（隔離処分方法を考える）	4名(7.3%)
3章1節（地層処分について知る）	9名(16.4%)
3章2節（重視する要因を考える）	9名(16.4%)
3章3節（仮想の候補地で処分地を決める）	24名(43.6%)
4章1節（学習を振り返る）	2名(3.6%)
その他	0名(0%)
自分ごとにはならなかった	3名(5.5%)
無回答	0名(0%)

表 143. 質問(18)の回答の理由

- ・宇宙処分のほうが絶対いいと思ったから、その後の学習がちゃんとできなかった。
- ・もしかしたら、自分が住んでいるところの近くが候補地になるかもしれないと分かったから。
- ・重視する要因を決めるときに、自分が住んでいる所はどうなのか気になったから。
- ・十分な情報が与えられた上でそれについて話し合うのは面白く、「実際に決めていかなければいけない」ということを実感できた。隔離処分は情報が少なすぎる上、条約や何やらでせつかく考えたことが無駄になった気がした。
- ・結局、自分達の地に処分地が決定されない限り、僕は自分ごとと考えられないと思う。やはり自分と直接関係がないことに対して、自分ごとになるのは難しい。
- ・仮想の候補地を決めることで、より自分の土地のことを実感したから。
- ・いくつかの仮想の候補地の中から自分自身で選ぶということにとっても責任を感じたから。
- ・まだまだ先のことだと心のどこかで考えてしまっているから。
- ・自分で実際に決めるとなった時に、難しい問題だと改めて思えたから。
- ・地上管理では場所もなく、ずっと管理しなければならないと聞いて、焦りを感じたから。
- ・自分には到底無理がある課題だと思ったから。
- ・要因を自分が住むところと照らし合わせて考えたから。
- ・地層処分するのはいいけど、自分の住んでいる地域だったらと考えたから。
- ・トータルして考えると国中が対象であり、自分達も例外ではないことを実感したから。
- ・最後の特性マップに、自分の地域が好ましいとされていたから。
- ・僕らにはまだ早いと思った。なぜなら、どう処分すればよいかということを決めたところで、実行ができないから。
- ・処分地を決めて、もし自分が決めなければならない立場だったら？と考えることができた。
- ・今は青森県で保管しているけど、そろそろ保管する場所がなくなると聞いたとき、「じ

やあどうすればいいの…」と少し怖かったから。

- ・自分が大切であると思う要因を考えることによって、自分がこの問題に関わると思った。
- ・宇宙や南極はあまり身近ではないと思うが、海底や特に地層は自分達からとても近いところにあるため、自分達に直接関わってくるから。
- ・より具体的な話になってきたときに、「これは他人ごとではないな」と感じた。
- ・地層処分といっても地震が起りやすいところや火山がある所など様々な場所があるので簡単に考えてはいけないと思った。
- ・様々なリスクを知った上で、処分地を決めることを真剣に考えた。
- ・実際に自分で候補地を決めることで、現実でもこのようにして行われるのかと思ったから。

次に、多面的な意思決定の評価について、質問(13)、(14)の結果を示す(表 144, 表 145, 表 146, 表 147)。質問(13)では、約 84%の生徒が、話し合いにより意思がより多面的になったと回答した。質問(14)では、約 87%の生徒が、科学的な要因と社会的な要因に分けて考えることで、考えやすかったと回答した。

表 144. 質問(13)の回答内訳 (話し合いによる意思決定の要因の多面性向上の評価)

回答	人数(割合)
とても思う	17名(30.9%)
少し思う	29名(52.7%)
どちらともいえない	6名(10.9%)
あまり思わない	3名(5.5%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 145. 質問(13)の回答の理由

- ・結局変わらなかったから。
- ・自分が一番いいと思っていた方法でも、他の人からするとそうは考えられないなどの新しい意見が聞けたから。
- ・自分では思わなかったようなこと、気づかなかったことなどを班のメンバーが発表していて「そんなこともあるのか」と何度も思ったから。
- ・自分の意見は人と全く合わなかったのので、人にはいろんな考え方があることを改めて実感したから。
- ・自分ひとりでは考え付かない意見を知ることができ、その上で自分の意見を深めることができたから。
- ・自分では考え付かなかった意見も考えられ、より多くの可能性や考えを考えられるようになった。
- ・色々な人の話を聞く中で考え方が変わったことがあったから。

- ・自分と反対の意見も取り入れることができたから。
- ・自分の意見であやふやなところを指摘されたりすることで、もっと考えることができたから。

表 146. 質問(14)の回答内訳（要因区分による考えやすさの評価）

回答	人数(割合)
とても思う	35名(63.6%)
少し思う	13名(23.6%)
どちらともいえない	7名(12.7%)
あまり思わない	0名(0%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 147. 質問(14)の回答の理由

- ・順位づけが簡単にできたから。
- ・二つの面から考えることによってより具体的に考えやすかったから。
- ・分けられることで頭の中で整理がしやすくなった。
- ・処分地を決める要因がとても多かったので、分類されていたのとてもよかった。
- ・人の意思が関与しない「科学的な要因」によって、処分地とする所の大前提を決めることができた。
- ・分けやすくなり、考えやすくなったけれども、一緒に考えなければ意味がないと思う。
- ・要因を分けて考えるとあまり難しくなかったが、やはり合わせて考えると難しかった。
- ・人の気持ちも考えなければならぬと分かった時に、どこに埋めるのかという問題は実は難しい問題だと分かったから。
- ・科学的な要因は社会的な要因に比べて分かりやすかった。社会的な要因は地域によって様々であるから、一旦切り離して考えるほうが取り組みやすいと思う。
- ・どちらもまったく別の問題だが、2つとも十分考えなければならぬから。
- ・科学的な要因と社会的な要因では、必要とするものが全く違うため、比較しないと大変なことが起こるから、一緒に考えられてよかった。

ここで、話し合いにより意思決定の要因が多面的になったかを調べるために、話し合い前の記述に含まれる要因数の平均値と、話し合い後の記述に含まれる要因数の平均値を比較した。結果を表 148 に示す。なお、話し合い後の記述に含まれる要因数は、話し合い前の記述に含まれる要因数と、話し合い後に追加された要因数の合計とした。また、計数の基準として、表 7 の要因を使用した。

表 148. 意思決定の要因数の平均値および分散分析の結果

	N	話し合い前		話し合い後		F 値 (df=1/109)
		Mean	(SD)	Mean	(SD)	
処分方針 (2章1節)	55	2.20	(1.04)	3.42	(1.68)	58.47 **
隔離処分方法 (2章2節)	55	3.38	(1.41)	4.35	(1.85)	44.53 **
処分地の決定 (3章3節)	55	2.75	(1.72)	4.22	(1.65)	65.93 **

** : p < .01

分散分析の結果、全ての意思決定場面において、話し合い前の平均値より話し合い後の平均値が、1%水準で有意に高かった。このことから、生徒は、話し合いによって、意思決定の要因の数が増加し、より多面的な根拠に基づいた意思決定ができたといえる。

話し合い前と話し合い後の要因数の平均値の差が約1であることから、話し合いにより、平均して1つの要因が増えることが明らかとなった。これはどの生徒も、話し合いにより1つの新たな要因を獲得して意思を再決定できたといえる。

最後に、社会問題の自分ごと化について、試行前の質問(10)、試行後の質問(1)の結果を示す(表149, 表150)。試行前の質問(10)では、約44%の生徒が、社会問題を自分ごととして考えられると回答した。試行後の質問(1)では、約55%の生徒が、社会問題を自分ごととして考えられると回答した。

表 149. 質問(10)の回答内訳 (社会問題の自分ごと化の評価)

回答	人数(割合)
とてもできる	2名(3.6%)
少しできる	22名(40%)
どちらともいえない	21名(38.2%)
あまりできない	8名(14.5%)
全くできない	2名(3.6%)
無回答	0名(0%)

表 150. 質問(1)の回答内訳 (社会問題の自分ごと化の評価)

回答	人数(割合)
とてもできる	3名(5.5%)
少しできる	27名(49.1%)
どちらともいえない	13名(23.6%)
あまりできない	12名(21.8%)
全くできない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

ここで、社会問題全体を自分ごととして考えられるようになったかを調べるために、試行前の質問(10)および、試行後の質問(1)の回答において、「とてもできる」を「5」、「少しできる」を「4」、「どちらともいえない」を「3」、「あまりできない」を「2」、「全くできない」を「1」として、試行前の回答の平均値と試行後の回答の平均値を比較した(表 151)。分散分析の結果、試行前の平均値と試行後の平均値に有意な差は見られなかった。このことから、高レベル放射性廃棄物の処分を自分ごととして考えられるようになっても、社会問題全体を自分ごととして考えられるようになる訳ではないといえる。

この結果は、自分ごととして考える上で知識が重要であると生徒が認識したことが考えられる。社会問題全体を自分ごととして考えられるようにするためには、今後、題材を変えながら、自分ごととして考える取り組みを展開することが必要であると考えられる。

表 151. 社会問題の自分ごと化に関する検定結果

N	試行前		試行後		F 値 (df=1/109)
	Mean	(SD)	Mean	(SD)	
55	3.25	(0.88)	3.38	(0.88)	1.20 ns

ns:No Significance

4.2.2 教員への質問紙調査

教材の試行後、教員を対象に質問紙調査を実施した。質問紙は、質問(1), (3)～(12), (14)～(15), (19)を選択式, (2), (13), (16)～(18)を記述式とした。質問紙の内容を表 152 に、質問事項を表 153 に示す。回答者が 2 名のため、選択肢の回答は結果を示すこととし、記述回答から考察することとした。

表 152. 教員への質問紙調査（試行後）の内容

問題番号	内容
(1)～(4)	これまでの教育活動について
(5)～(8), (16)～(19)	教材の評価について
(9), (12)～(15)	自分ごとの評価について
(10), (11)	多面的な意思決定の評価について

表 153. 教員への質問紙調査（試行後）の質問事項

- (1) これまでの教育活動の中で、高レベル放射性廃棄物の処分問題を授業で取り上げたことはありますか。
1. 取り上げたことがある 2. 取り上げたことがない
- (2) (1)の質問で「1. 取り上げたことがある」と答えた方にお尋ねします。どの教科・学年を対象として、どのような授業をされましたか。分かる範囲でお書きください。
- (3) (1)の質問で「2. 取り上げたことがない」と答えた方にお尋ねします。高レベル放射性廃棄物の処分問題を授業で取り上げようと思ったことはありますか。
1. 取り上げようと思ったことがない 2. 取り上げようと思ったことはある
- (4) (1)の質問で「2. 取り上げたことがない」と答えた方にお尋ねします。取り上げたことがない理由がございましたらお書きください。
- (5) 生徒にとって、本教材の難易度はどうでしたか。
1. とても簡単だった 2. 少し簡単だった 3. どちらともいえない
4. 少し難しかった 5. とても難しかった
- (6) 生徒にとって、本教材の量はどうでしたか。
1. とても多かった 2. 少し多かった 3. どちらともいえない
4. 少し少なかった 5. とても少なかった
- (7) 授業者の視点で、本教材は使いやすかったですか。
1. とても使いやすかった 2. 少し使いやすかった 3. どちらともいえない
4. 少し使いにくかった 5. とても使いにくかった
- (8) 授業者の視点で、本教材を使った授業の難易度はどうでしたか。
1. とても簡単だった 2. 少し簡単だった 3. どちらともいえない
4. 少し難しかった 5. とても難しかった
- (9) 本教材では、知識を理解するだけでなく、様々な問題について自分の意思を決定させます。このような活動により、生徒は、高レベル放射性廃棄物の処分問題を“自分ごと（自分自身の問題）”として考えられるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(10) 本教材では、問題に対する自分の意思を決定した上で、話し合いをし、自分の意思を再び決定しました。このような活動により、生徒の意思はより多面的になったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(11) 本教材では、処分地を決める要因を「科学的な要因」と「社会的な要因」に分けて考えさせます。このような配慮は、生徒にとって考えやすいものであると思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(12) 2章では、高レベル放射性廃棄物について学び、地上管理するか隔離処分するかを考えた後に、4つの隔離処分方法のうちどの方法を採用するかを考えました。このような活動により、生徒は、高レベル放射性廃棄物の処分問題を“自分ごと”として考えられるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(13) 3章では、地層処分について学び、処分地を決めるときにどの要因を重視するかを考えた後に、仮定の候補地の中で処分地を決めました。このような活動により、生徒は、高レベル放射性廃棄物の処分問題を“自分ごと”として考えられるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(14) 4章では、これまでの学習を振り返り、この問題との今後の関わり方について考えました。このような活動により、生徒は、高レベル放射性廃棄物の処分問題を“自分ごと(自分自身の問題)”として考えられるようになったと思いますか。

1. とても思う 2. 少し思う 3. どちらともいえない
4. あまり思わない 5. 全く思わない

(15) 本教材は、高レベル放射性廃棄物の処分問題を“自分ごと”として考えられるようにすることを目的としています。多くの生徒は、どの段階で“自分ごと”として考えられるようになったと思いますか。

1. 2章1節(地上管理か隔離処分かを考える)
2. 2章2節(隔離処分方法を考える)
3. 3章1節(地層処分について知る)
4. 3章2節(重視する要因を考える)
5. 3章3節(仮定の候補地で処分地を決める)
6. 4章1節(学習を振り返る)
7. その他()
8. 自分ごとにはならなかった

(16) 授業者の視点で、生徒が活動しづらい（理解しづらい）とお感じになった箇所をお書きください。

(17) 授業者の視点で、本教材の使いづらかった箇所をお書きください。

(18) 本教材を用いた授業をご実施いただき、どのような感想を持たれましたか。

(19) 今回の実践全体について、ご意見等ございましたらお書きください。

まず、これまでの教育活動について、質問(1)、(3)、(4)の結果を示す（表 154、表 155、表 156）。質問(1)では、2名とも高レベル放射性廃棄物の処分を授業で取り上げたことがないと回答した。質問(3)では、1名が授業で取り上げようと思ったことがあると回答した。質問(4)では、教員自身の知識が乏しいことや、授業で用いることに適した教材がないことが挙げられた。

表 154. 質問(1)の回答内訳（授業で取り上げた経験の有無）

回答	人数(割合)
取り上げたことがある	0名(0%)
取り上げたことがない	2名(100%)
無回答	0名(0%)

表 155. 質問(3)の回答内訳（授業で取り上げる意思の有無）

回答	人数(割合)
取り上げようと思ったことがない	1名(50%)
取り上げようと思ったことがある	1名(50%)
無回答	0名(0%)

表 156. 質問(4)の回答内訳（授業で取り上げたことがない理由）

教材（参考資料）がなく、自身に知識、見識が乏しい。

中学生の授業担当で、放射線学習がこれまでなかったため。

次に、教材の評価について、質問(5)、(6)、(7)、(8)の結果を示す（表 157、表 158、表 159、表 160）。質問(5)では、1名が教材はとても簡単だったと回答した。質問(6)では、2名とも教材の量は多かったと回答した。質問(7)では、2名とも教材は使いやすかったと回答した。質問(8)では、1名が本教材を使った授業は難しかったと回答し、1名がどちらともいえないと回答した。

表 157. 質問(5)の回答内訳（教材難易度の評価）

回答	人数(割合)
とても簡単だった	1名(50%)
少し簡単だった	0名(0%)
どちらともいえない	1名(50%)
少し難しかった	0名(0%)
とても難しかった	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 158. 質問(6)の回答内訳（教材量の評価）

回答	人数(割合)
とても多かった	1名(50%)
少し多かった	1名(50%)
どちらともいえない	0名(0%)
少し少なかった	0名(0%)
とても少なかった	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 159. 質問(7)の回答内訳（教材の利便性の評価）

回答	人数(割合)
とても使いやすかった	1名(50%)
少し使いやすかった	1名(50%)
どちらともいえない	0名(0%)
少し使いにくかった	0名(0%)
とても使いにくかった	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 160. 質問(8)の回答内訳（教材を用いた授業の難易度の評価）

回答	人数(割合)
とても簡単だった	0名(0%)
少し簡単だった	0名(0%)
どちらともいえない	1名(50%)
少し難しかった	0名(0%)
とても難しかった	1名(50%)
無回答	0名(0%)

質問(16), (17), (18), (19)の結果を示す(表 161, 表 162, 表 163, 表 164)。「生徒と様々な議論ができた(授業後)」,「生徒間の議論は活発で, 答えがないものを考えることは非常に楽しそうでした。条件を冷静に見つめながら考えていくことが必要で, 現在の中学理科でなかなかできていない部分であり, 良い機会ともなりました。」という回答が得られた。このことから, 教員は, 高レベル放射性廃棄物の処分を扱う上で意思決定や議論を行うことが重要であることに気づくことができたといえる。また, 生徒によって自分ごとの度合いに差があり, 更に自分ごととして考えて欲しかったという回答が得られた。生徒の意思決定の様子や質問紙調査の結果からも, 自分ごとの度合いに差があることは明らかとなっている。より自分ごとの度合いを高めるための改善が今後も求められる。

また, 処分方針(地上管理か隔離処分)の意思決定について, 情報量が少ないことによって意思決定がしづらかったという回答が得られた。処分方針の意思決定は本教材の最初の意思決定場面であり, この段階でたくさんの情報をもとに意思決定を行うことは難しい。そこで教材では, まずは生徒自身が考え得る範囲の要因で意思決定をさせている。教員の指摘の通り, これ以降の意思決定場面と比較すると, 生徒によっては要因の多面性が劣ってしまう。しかし, 初めから要因を提示してしまうのではなく, 生徒自身が考え, 要因の存在に気づいていく過程が重要である。実際には, 指摘にあるような要因について記述した生徒もいることから, 生徒同士が情報共有をする際に, 要因を広げる工夫が必要だと考えられる。要因の共有については, 全ての意思決定場面でいえることである。グループでの話し合いだけでなく, より多くの生徒の情報が共有され, 個々の生徒に定着する環境が必要である。

さらに, 時間の確保や配分が難しかったとの回答が得られた。本試行は全て理科の授業で実施したため, 本来の位置づけとは若干異なる。しかし, 6時間を確保することは容易ではない。年次計画の段階で組み込んでいくことが必要である。この点では, 管理職の同意が得られることも本教材を使用する上で重要な点である。教員への聞き取りからは, 意思決定場面では多くの生徒が白熱した議論をしており, 更に多くの時間を費やして議論をさせたかったということが分かった。また, 本教材では扱っていない内容についても教えさせたかったという回答も得られた。原子力に関する内容は多岐に渡り, 全てを網羅すると膨大な情報量になる。教材では, 意思決定に必要な情報を厳選して掲載しており, 個々の生徒の授業外での学習に期待するところである。

表 161. 質問(16)の回答内訳(生徒が理解しづらい箇所)

<ul style="list-style-type: none"> ・ 処分方法の選択 ・ 処分地決定の要因を社会的と科学的に分けてあること
<ul style="list-style-type: none"> ・ 地上管理か隔離処分かを考えるうえで, すべての処分にはリスクが生じる条件がある。事故が発生した場合なのか, 運搬中なのか, 自然災害が発生した場合かなどがあるが, それがない場合には安全であるという設定がなかなか浸透しにくい。印象的な議論が多発し, 科学的な面や確率的な可能性で議論が難しく, 条件を考慮して選べていないように感じる。

表 162. 質問(17)の回答内訳（教材の使いづらさ箇所）

<ul style="list-style-type: none"> ・ 時間配分 ・ 原発の仕組み（補足）...ウラン，プルトニウム ・ 処分方法の選択が「宇宙」に行きがちだった。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 地上管理か隔離処分を考えるとときに，先が見えてしまう点。

表 163. 質問(18)の回答内訳（本試行の感想）

<ul style="list-style-type: none"> ・ 私個人としてはとても勉強になりました。 ・ 生徒と様々な議論ができた（授業後） ・ 「自分ごと」が個人差があるかな（残念）...もっと食いついてほしかった
<ul style="list-style-type: none"> ・ 私自身が専門外であるため，細かな条件など私が勉強する機会となりました。ありがとうございました。 ・ 生徒間の議論は活発で，答えがないものを考えることは非常に楽しそうでした。条件を冷静に見つめながら考えていくことが必要で，現在の中学理科でなかなかできていない部分であり，良い機会ともなりました。 ・ 「自分ごと」として考えることを主題としていますが，「自分ごと」として考えることはどういうことなのかという部分がさらに明確に，また段階を考える必要があるようにも感じました。

表 164. 質問(19)の回答内訳（本試行に対する意見）

<ul style="list-style-type: none"> ・ 授業時間の確保が困難 ・ 時間配分（4時間連続とか）続けたいときに別日になってしまう

次に，自分ごとの評価について，質問(9)，(12)，(13)，(14)，(15)の結果を示す（表 165，表 166，表 167，表 168，表 169）。質問(9)，(12)，(13)，(14)はいずれも，2名ともに自分ごととして考えられるようになったと思うと回答した。質問(15)では，1名が3章4節の段階で，もう1名が3章3節の段階で多くの生徒が自分ごととして考えられるようになったと回答した。

表 165. 質問(9)の回答内訳（教材を用いた授業による自分ごと化の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	1名(50%)
少し思う	1名(50%)
どちらともいえない	0名(0%)
あまり思わない	0名(0%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 166. 質問(12)の回答内訳（2章の学習による自分ごと化の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	1名(50%)
少し思う	1名(50%)
どちらともいえない	0名(0%)
あまり思わない	0名(0%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 167. 問(13)の回答内訳（3章の学習による自分ごと化の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	0名(0%)
少し思う	2名(100%)
どちらともいえない	0名(0%)
あまり思わない	0名(0%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 168. 問(14)の回答内訳（4章の学習による自分ごと化の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	1名(50%)
少し思う	1名(50%)
どちらともいえない	0名(0%)
あまり思わない	0名(0%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 169. 質問(15)の回答内訳（自分ごとになった学習段階の評価）

回答	人数(割合)
2章1節（地上管理か隔離処分かを考える）	0名(0%)
2章2節（隔離処分方法を考える）	0名(0%)
3章1節（地層処分について知る）	0名(0%)
3章2節（重視する要因を考える）	1名(50%)
3章3節（仮想の候補地で処分地を決める）	1名(50%)
4章1節（学習を振り返る）	0名(0%)
その他	0名(0%)
自分ごとにはならなかった	0名(0%)
無回答	0名(0%)

最後に、多面的な意思決定の評価について、質問(10)、(11)の結果を示す（表 170、表 171）。質問(10)では、2名ともに、話し合いにより生徒の意思はより多面的になったと思うと回答した。質問(11)では、2名ともに、科学的な要因と社会的な要因を分けることで生徒が考えやすくなるかは、どちらともいえないと回答した。生徒への質問紙調査の結果からは、肯定的な回答が多数見られたが、科学的な要因と社会的な要因を分けることで、10個の要因を、それぞれの括りの中で考えてしまう恐れがあり、今後、適切な指導方法の検討が必要である。

表 170. 質問(10)の回答内訳（話し合いによる意思決定の要因の多面性向上の評価）

回答	人数(割合)
とても思う	2名(100%)
少し思う	0名(0%)
どちらともいえない	0名(0%)
あまり思わない	0名(0%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

表 171. 質問(11)の回答内訳（要因区分による考えやすさの評価）

回答	人数(割合)
とても思う	0名(0%)
少し思う	0名(0%)
どちらともいえない	2名(100%)
あまり思わない	0名(0%)
全く思わない	0名(0%)
無回答	0名(0%)

5. 本研究のまとめ

本研究は、高レベル放射性廃棄物の処分問題に関する知識を理解し、意思決定により、この問題を自分ごととして考えられるようにする教材を開発した。また、2度の試行により開発した教材の効果を分析した。教材の難易度を確認し、生徒の意思決定の傾向を明らかにすることを目的とした試行①では、以下の知見を得た。

- ・高レベル放射性廃棄物の処分問題は、専門性が高い内容であるため、中学校3年生にとって難易度が高かった。しかし、本教材を用いることで知識を理解できたことから、教材の対象として適しているといえる。
- ・処分方針については、全体の約8割の生徒が隔離処分を選択した。しかし、隔離処分方法については、生徒によって様々であった。これらの意思決定では、人間への影響や処分地の量的制限、土地確保の容易性などを根拠としたことが明らかとなった。
- ・処分地決定の際には、科学的な要因よりも社会的な要因を重視することが明らかとなった。社会的な要因については、特に人口密度を重視しており、科学的な要因については、火山よりも地震（活断層）を重視した。火山については、リスクを十分に認識していない様子がみられた。また、仮想の候補地内での処分地決定でも、同様のことがいえた。
- ・自らが決めた処分地について、全ての国民に受け入れられるとは思わないことは共通認識であったが、自分の地域が処分施設の建設を受け入れることについては、意見が対立した。この意思決定の背景では、自分が処分地として決定した責任や、科学的な観点での処分地としての適性、危険なものが居住区域に残り続けることに対する否定的な感情などを総合的に評価していることが明らかとなった。
- ・地層処分の賛成・反対については、全体のおよそ半数の生徒が肯定的な回答をした。3回の意思決定の間に、約6割の生徒が意思を変えたが、賛成側反対側ともに生徒の人数に大きな偏りは見られず、教材は中立的な立場であるといえる。
- ・処分地決定の際の責任については、肯定的な回答をした生徒が少なかった。また、地層処分に肯定的な生徒ほど、自分ごととして考えられていることが明らかとなった。教材の効果の分析を目的とした試行②では、以下の知見を得た。
- ・教材を用いた学習により、学習の中心である、「放射線」、「高レベル放射性廃棄物」、「高レベル放射性廃棄物の地層処分」について説明する能力が高まった。これは、生徒が知識を理解したことの裏づけであり、本教材は知識を理解する上で有効であったといえる。
- ・意思決定により、高レベル放射性廃棄物の処分問題を自分ごととして考えられるようになることが明らかとなった。また、教材の各章に位置づけた意思決定場面が、自分ごととして考える上で有効であった。特に、処分地の決定や、自らの生活に結びついた課題に対する意思決定が自分ごととして考える上で重要であることが明らかとなった。
- ・意思決定場面では、一度意思決定をした後に話し合いを行うことで、より多面的な根拠に基づいた意思決定ができた。要因数の平均値の増加量は約1であり、話し合いにより平均して1つの要因を新たに獲得して意思を再決定したことが明らかとなった。
- ・高レベル放射性廃棄物の処分については自分ごととして考えられるようになった。しかし、社会問題全体を自分ごととして考えられることには繋がらなかった。これは、生徒が学習により知識の重要性を認識したことが考えられる。今後、題材を変えながらさまざまな社会問題について自分ごととして考える教育活動の展開が必要である。

6. おわりに

本研究の成果物である教材は、製本化したものを全国の先生方に無償配布している。2016年度は約600冊作成し、日本科学教育学会第40回年会（2016年8月）、日本理科教育学会第66回全国大会（2016年8月）、日本理科教育学会第62回東海支部大会（2016年12月）、第3回社会科・理科エネルギー教育実践セミナーinMie（2017年2月）、平成28年度エネルギー環境教育フォーラム（2017年3月）で配布した。2017年度は、日本科学教育学会第41回年会（2017年8月）、日本理科教育学会第67回全国大会（2017年8月）、日本理科教育学会第63回東海支部大会（2017年12月）、平成29年度エネルギー環境教育フォーラム（2018年3月）で配布した。2018年3月中旬には、三重大学出版より出版を出版する（平賀伸夫編著、タイトル「自分ごととして考えるこれからのエネルギー教育－高レベル放射性廃棄物の処分を題材として－」）。今後、全国の教育現場で本教材を用いた授業実践が積極的に実施され、高レベル放射性廃棄物の処分に対する次世代層の認識向上に寄与することを期待する。

7. 引用文献

- 奥野健二・大矢恭久（2010）「HLW地層処分地選定に関する日本型合意形成モデルの構築（4）－一般公衆への社会的受容に関するゲームの開発－」、『日本科学教育学会年会論文集』, 34, 185-188.
- 萱野貴広・熊野善介・大矢恭久・池谷渉（2012）「デジタルツールとして iPod を活用したエネルギー環境学習－高レベル放射性廃棄物処分地選定を題材に－」『エネルギー環境教育研究』, Vol.6, No.2, 3-10.
- 経済産業省資源エネルギー庁（2015）「副教材の作成」Retrieved from <http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/tyousakouhou/kyouikuhukyu/fukukyouzai/>
- 経済産業省資源エネルギー庁・原子力発電環境整備機構（2017）「科学的特性マップ」Retrieved from http://www.numo.or.jp/kagakutekitokusei_map/pdf/kagakutekitokuseimap.pdf
- 原子力発電環境整備機構（2004）「概要調査地区選定上の考慮事項の背景と技術的根拠」Retrieved from https://www.numo.or.jp/technology/technical_report/4alldl/tr0402al1.pdf
- 原子力発電環境整備機構（2017）「エネルギー教育支援サイト 指導案・基本教材」Retrieved from <http://numo-eess.jp/model/>
- 公益財団法人日本科学技術振興財団（2014）「エネルギー教育モデル校 エネルギー教育モデル校とは」Retrieved from <http://www.energy-modelschool.jp/>
- 衆議院（2000）「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」
- 総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会地層処分技術WG（2017）「地層処分に関する地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果（地層処分技術WGとりまとめ）」Retrieved from <http://www.meti.go.jp/press/2017/04/20170417001/20170417001-2.pdf>
- 森山正樹・斉藤一幸・高橋美砂子・大石広大（2015）「高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する授業実践（中学校理科3年）－エネルギー教育モデル校（平成26年度）におけ

- る実践報告」『日本エネルギー環境教育学会第10回全国大会論文集』, 160-161.
- 土屋亮・小田健司・北林晃治 (2016) 「『核のゴミ』19道府県が受け入れ拒否 朝日新聞調査」朝日新聞.
- 藤川大祐 (2013) 「教員養成学部におけるディベート授業において現代的課題を扱う試みー高レベル放射性廃棄物の処分問題を取り上げてー」『千葉大学人文社会科学研究所研究プロジェクト報告書』, 262, 1-10.
- 日本エネルギー環境教育学会 (2016) 「はじめてのエネルギー環境教育」日本エネルギー環境教育学会編著, 株式会社エネルギーフォーラム.
- 日本学術会議 (2012) 「回答高レベル放射性廃棄物の処分について」 Retrieved from <http://www.sci.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-k159-1.pdf#search=%27%E5%9B%9E%E7%AD%94+%E9%AB%98%E3%83%AC%E3%83%99%E3%83%AB%E6%94%BE%E5%B0%84%E6%80%A7%E5%BB%83%E6%A3%84%E7%89%A9%E3%81%AE%E5%87%A6%E5%88%86%E3%81%AB%E3%81%A4%E3%81%84%E3%81%A6%27>
- 日本原子力学会 (2014) 「平成25年度エネルギー・原子力に関する意識調査の実施と分析」 Retrieved from <http://www.ponpo.jp/forum/pdf/2013results.pdf>
- 日本原子力学会 (2014a) 「平成25年度エネルギー・原子力に関する意識調査の実施と分析」, 38-39. Retrieved from <http://www.ponpo.jp/forum/pdf/2013results.pdf>
- 日本原子力文化財団 (2017) 「2016年度原子力利用に関する世論調査第4章調査結果の分析」 Retrieved from <http://www.jaero.or.jp/data/01jigyuu/pdf/tyousak-enkyu28/section4.pdf>
- 日本原子力文化財団 (2017a) 「2016年度原子力利用に関する世論調査第4章調査結果の分析」, 65-67. Retrieved from <http://www.jaero.or.jp/data/01jigyuu/pdf/tyousakenkyu28/section4.pdf>
- 日本原子力文化財団 (2017b) 「2016年度原子力利用に関する世論調査第4章調査結果の分析」, 103. Retrieved from <http://www.jaero.or.jp/data/01jigyuu/pdf/tyousakenkyu28/section4.pdf>
- 日本原子力文化財団 (2017b) 「2016年度原子力利用に関する世論調査第4章調査結果の分析」, 107. Retrieved from <http://www.jaero.or.jp/data/01jigyuu/pdf/tyousakenkyu28/section4.pdf>
- 文部科学省 (2008a) 「中学校学習指導要領解説理科編」大日本図書株式会社, 53.
- 文部科学省 (2008b) 「中学校学習指導要領解説理科編」大日本図書株式会社, 54.
- 文部科学省 (2008c) 「中学校学習指導要領解説理科編」大日本図書株式会社, 56.
- 文部科学省 (2011) 「放射線等に関する副読本」 Retrieved from http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/detail/1311072.html
- 文部科学省 (2017a) 「中学校学習指導要領解説理科編」, 63. Retrieved from http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2017/10/13/1387018_5.pdf
- 文部科学省 (2017b) 「中学校学習指導要領解説理科編」, 65-66. Retrieved from http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2017/10/13/1387018_5.pdf

謝辞

本研究を進めるにあたり，様々なご指導，ご助言を戴きました指導教官の平賀伸夫教授に厚く御礼申し上げます．また，教材の開発にあたりご協力を戴きました三重県理科・エネルギー教育研究会の皆様，中部電力株式会社三重支店の皆様，原子力発電環境整備機構の皆様に感謝致します．そして，教材の試行にご協力戴いた梅村学園三重中学校・高等学校の先生方，生徒の皆様に感謝致します．最後に，理科教育講座の先生方，同期や後輩の学生等お世話になった皆様に感謝致します．ありがとうございました．

添付資料 1

生徒用ワークシート（試作版）

あなたならどうする？

高レベル放射性廃棄物の処分
について考えよう

3年 組 席 班

名前

はじめに

みなさんの生活は電気エネルギーなしでは成立しません。その電気エネルギーは日本全国の発電所で発電され、みなさんの家庭に送り届けられています。電気を作る発電所は、私たちの生活とはとても深い関係のある場所なのです。

現在日本では、原子力発電所で使用した燃料の処分が大きな問題となっています。この問題について学び、今後私たちがどのように向き合っていけばよいかみんなで考えましょう。

第Ⅰ章 電気とエネルギー資源

1. 電気エネルギーについて考えよう・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
2. 放射線について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15

第Ⅱ章 原子力発電所から出る“危険なごみ”

1. 高レベル放射性廃棄物について・・・・・・・・・・・・・・・・・・27
2. 高レベル放射性廃棄物の処分方法を考えよう・・・・・・・・・・33

第Ⅲ章 高レベル放射性廃棄物の処分

1. 地層処分について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・37
2. 処分地を決めるときに考えなくてはならないこと・・・・・・・・45
3. 処分地を決めるときにあなたはどの要因を重視しますか・・・・・・・・51
4. 処分地を決定しよう・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・53

第Ⅳ章 私たちの未来

1. 私たちのこれからを考えよう・・・・・・・・・・・・・・・・・・57

第I章 - 1 電気エネルギーについて考えよう

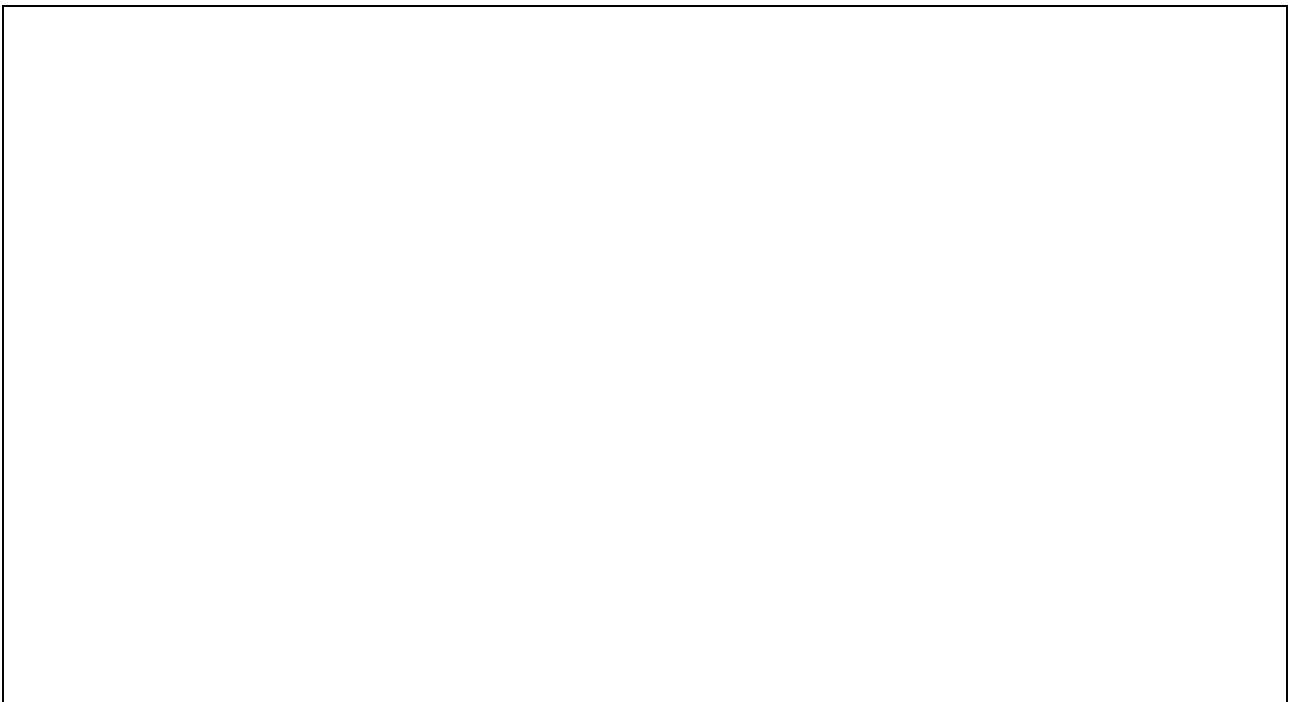
1. 電気エネルギーは私たちの生活でたくさん使われている

物体を動かしたり変形させるなど、物体に対して仕事をする能力をエネルギーといいます。エネルギーには様々な形があります。

考えよう：知っているエネルギーの種類をできるだけ多く挙げよう。



考えよう：あなたの身のまわりでエネルギーが使われているものは、どのようなものがありますか。上で挙げたエネルギーごとに分けて、できる限り多く挙げよう。



私たちの生活の中では、様々なエネルギーが使われています。これらのエネルギーは互いに変換することができます。

電気エネルギー：電気がもつエネルギー

化学エネルギー：化学変化する物質がもつエネルギー

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

光エネルギー：光がもつエネルギー

音エネルギー：音もつエネルギー

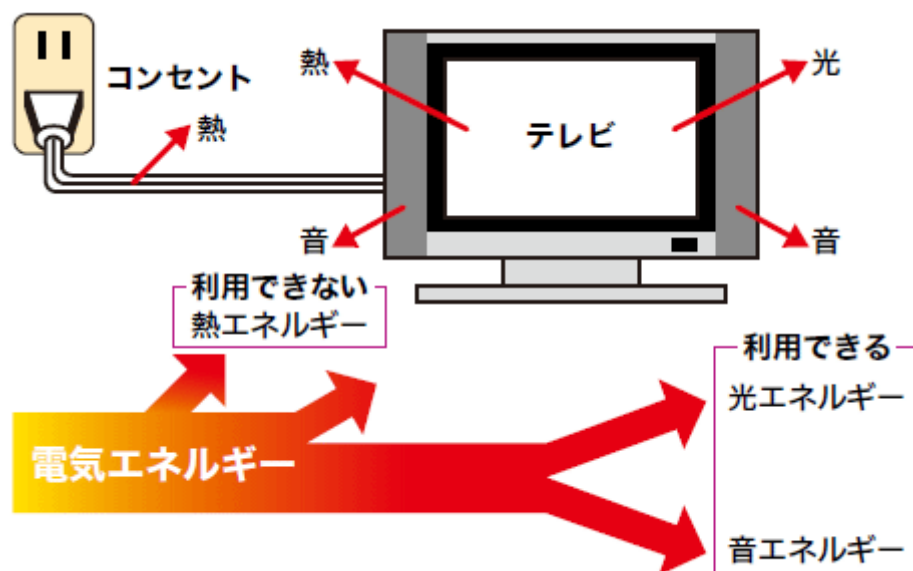
熱エネルギー：熱がもつエネルギー

運動エネルギー：運動している物体がもつエネルギー

位置エネルギー：高いところにある物体がもっているエネルギー

弾性エネルギー：変形したゴムやバネがもつエネルギー

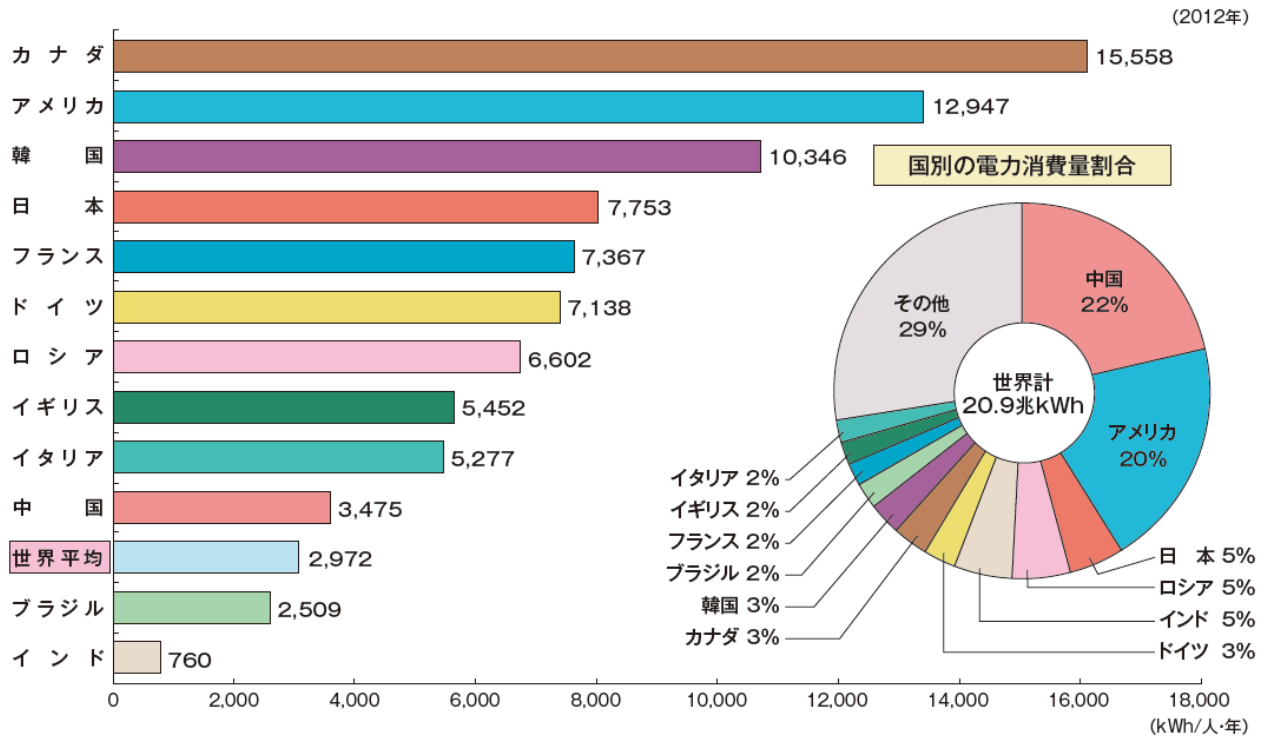
これらのエネルギーは互いに変換することができます。しかし、エネルギーを変換するときには完全に保存されるのではなく、いくらかのロスを伴います。



図：電気エネルギーの変換例
(引用：経済産業省「かがやけ！みんなのエネルギー」)

2. 日本は電気エネルギーをどのように作り出しているの？

私たちはとても多くの電気エネルギーを使用しています。日本は、カナダ、アメリカ、韓国に次いで、世界で4番目に一人当たりの電力消費量が多い国です。また、日本の電力消費量は世界平均の約2.6倍です。



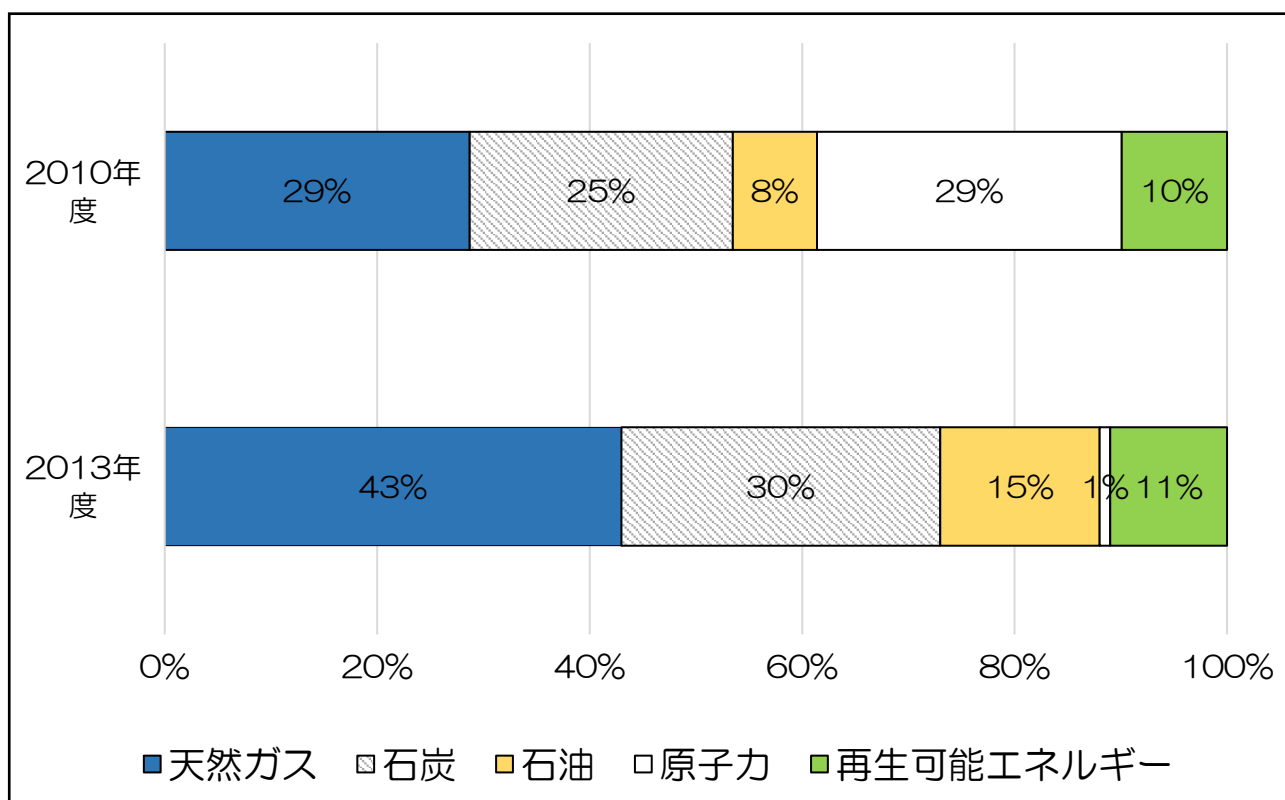
図：主要国の一人当たりの電力消費量

(引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

考えよう：日本はどのような方法で、またどのようなエネルギー資源を利用して発電しているのでしょうか。知っている方法をできるだけ多く挙げてみよう。

発電方法	利用するエネルギー資源

日本では化石燃料（石油、石炭、天然ガス）やウラン、再生可能エネルギー（水、風、太陽光、バイオマス、地熱など）のエネルギー資源を利用して発電をしています。しかし、これらのエネルギー資源はどれを取っても万能なものではありません。それぞれにメリットとデメリットがあります。たくさんの電気エネルギーを安定して作り出すために、実は、日本は様々なエネルギー資源と発電方法を組み合わせて発電を行っているのです。



図：日本の発電方法の組み合わせの割合

（参考：経済産業省「長期エネルギー需給見通し」、電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」）

それぞれの発電方法のメリットとデメリットを理解するためには、どのように電気エネルギーを作り出しているのかをまずは深く知らなくてはなりません。次のページから、どのようにして電気エネルギーを作り出しているのか学びましょう。

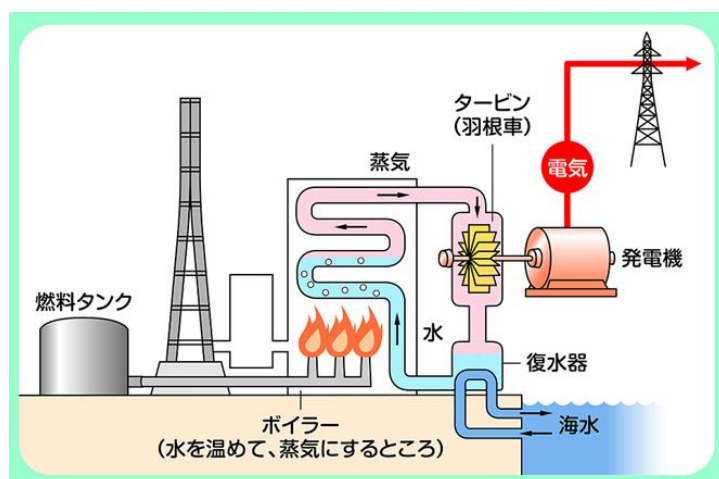
3. 様々なエネルギーを変換して発電している

5ページで学習したように、たくさんの電気エネルギーを安定して作り出すために日本は様々なエネルギー資源と発電方法を組み合わせて発電を行っています。火力発電、原子力発電、水力発電、太陽光発電、風力発電の5つの発電方法について、発電の仕組みを学びましょう。

問題 5つの発電方法のそれぞれの説明の下にある（ ）の中に、発電の流れに沿って電気エネルギーがどのようにして作られるのか、エネルギーの変換の流れを書いてみよう。

① 火力発電

石油・石炭や天然ガスを燃やして、水を水蒸気にします。この水蒸気のでタービンを回転させて、つながっている発電機で電気エネルギーを作ります。

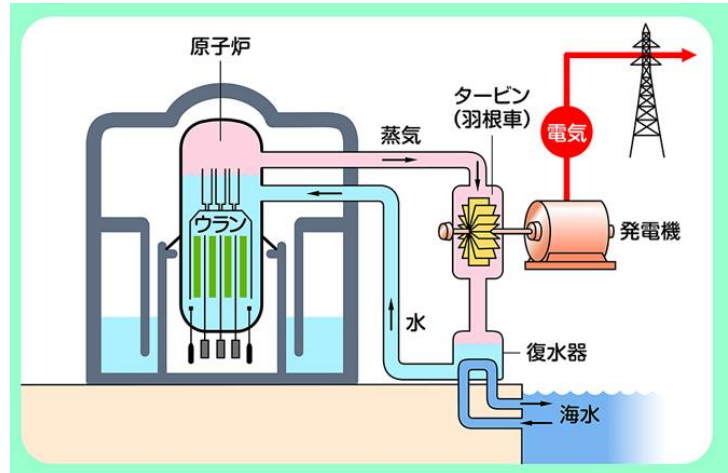


図：火力発電（資料提供：中部電力）

()	エネルギー	→	()	エネルギー	→	()	エネルギー	→	電気エネルギー
-----	-------	---	-----	-------	---	-----	-------	---	---------

② 原子力発電

ウランなどの核燃料を使い、核分裂という反応で得られる熱を利用して、水を水蒸気にします。この水蒸気のカでタービンを回転させて、つながっている発電機で電気エネルギーを作ります。

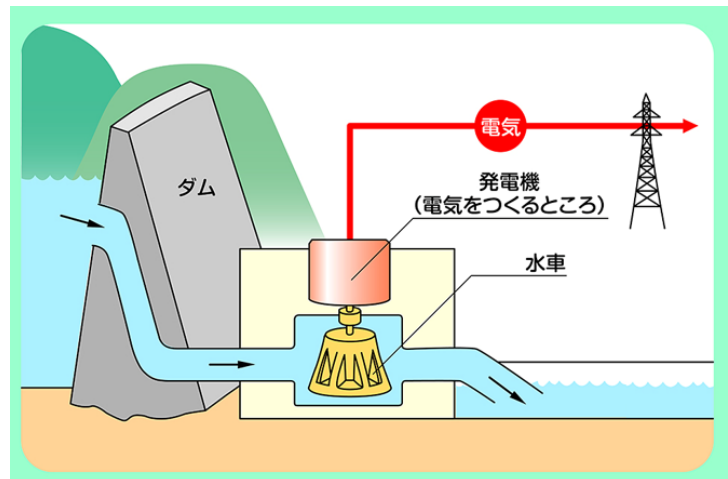


図：原子力発電（資料提供：中部電力）

() エネルギー → () エネルギー →
→ () エネルギー → 電気エネルギー

③ 水力発電

高い位置から低い位置へと水を勢いよく流して水車を回し、つながっている発電機で電気エネルギーを作ります。

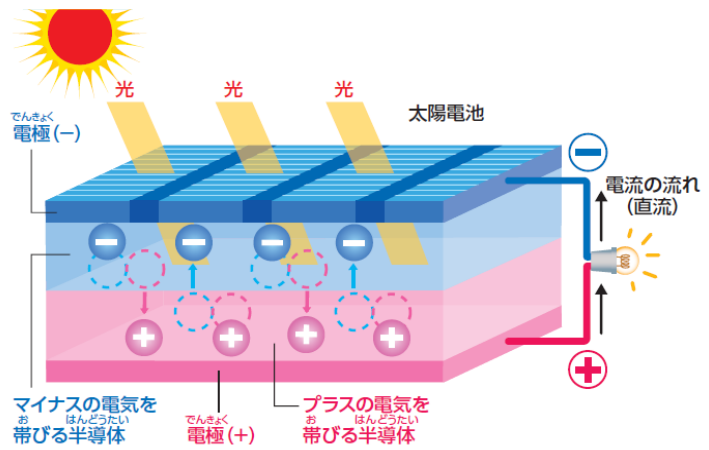


図：水力発電（資料提供：中部電力）

() エネルギー → () エネルギー →
→ 電気エネルギー

④ 太陽光発電

太陽電池に太陽の光が照射されると、太陽電池の中のマイナスの電気を帯びる半導体が移動します。これにより電気エネルギーが生じます。

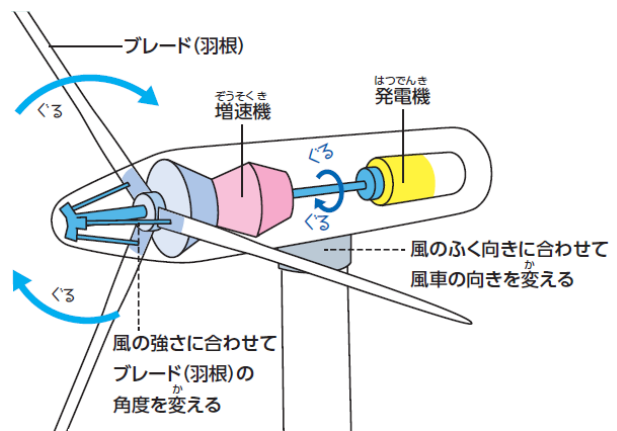


図：太陽光発電（資料提供：中部電力）

（ ）エネルギー → 電気エネルギー

⑤ 風力発電

ブレード（羽根）に風が当たると、ブレードが回転し、その回転が増速機に伝わります。増速機でギアを使って回転数を増やし、回転速度を速めます。そして、つながっている発電機で電気エネルギーを作ります。



図：風力発電（資料提供：中部電力）

（ ）エネルギー → 電気エネルギー

Memo

4. 各発電方法のメリットとデメリット

日本では、様々なエネルギー資源と発電方法を組み合わせて発電をしています。それぞれの発電方法にはメリットとデメリットがあり、どの発電方法も完璧なものではありません。

考えよう：各発電方法のメリットとデメリットを書き出してみよう。

発電方法	資源	メリット	デメリット
火力発電	石油 石炭 天然ガス		
原子力発電	ウラン		
水力発電	水		
風力発電	風		
太陽光発電	太陽光		

これらの発電方法にはそれぞれメリットもデメリットもたくさんあります。それぞれの発電方法のメリットとデメリットをしっかりと理解することが大切です。次のページからは、発電によるさまざまな問題について学びましょう。

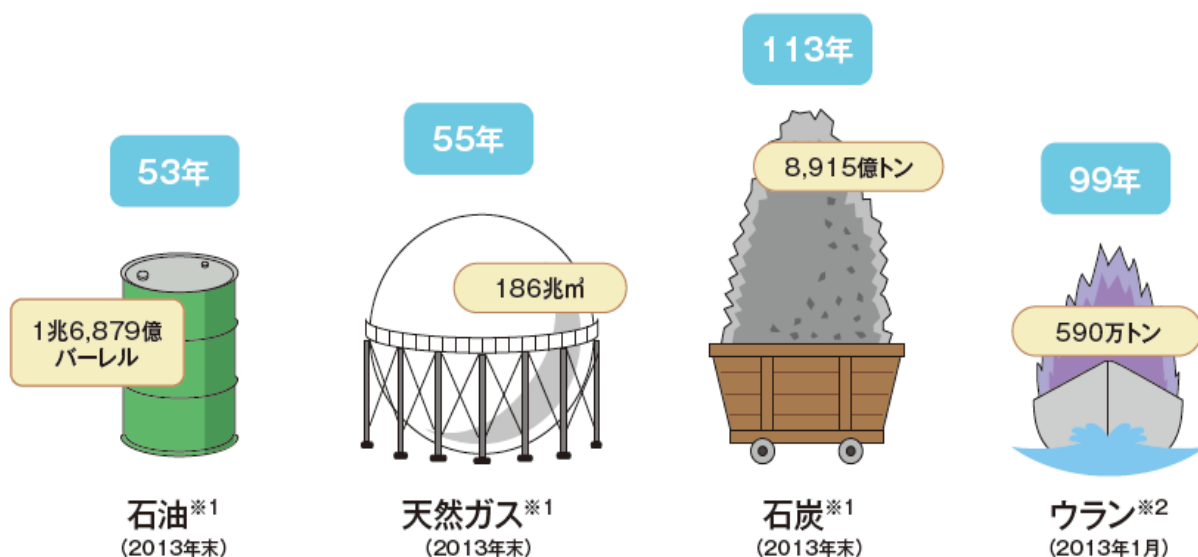
表：各発電方法のメリットとデメリット

発電方法	資源	メリット	デメリット
火力発電	石油 石炭 天然ガス	<ul style="list-style-type: none"> • たくさんの電気を安定して発電することができる。 • 発電量を調整しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> • 燃料のほとんどを輸入に頼っている。 • 化石燃料には限りがある。 • 発電時に二酸化炭素などが出る。
原子力発電	ウラン	<ul style="list-style-type: none"> • 少ない燃料でたくさんの電気を安定して発電できる。 • 発電時に二酸化炭素を出さない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 事故発生時の影響が大きい。 • 放射性廃棄物の適切な処理、処分が必要。
水力発電	水	<ul style="list-style-type: none"> • 水の落下によるエネルギーを利用するため、なくなる心配が無く、繰り返し使うことができる。 • 発電時に二酸化炭素を出さない。 • 発電量を調整しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> • 雨の量などの自然条件によって、発電できる電気の量が左右される。 • 日本には大きな河川も少なく、今後、大きなダムを作ることが難しい。また、ダムを作ることによって生態系のバランスが崩れる恐れがある。
風力発電	風	<ul style="list-style-type: none"> • 自然のエネルギーを利用するため、なくなる心配が無く、繰り返し使うことができる。 • 風さえあれば、夜間でも発電できる。 • 発電時に二酸化炭素を出さない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 風の向きや強さに発電量が左右されるので、安定した発電ができない。 • 常に安定した風が必要なので、設置場所が限られる。 • ブレード（羽根）が回転するときに、騒音や振動が発生する。
太陽光発電	太陽光	<ul style="list-style-type: none"> • 自然のエネルギーを利用するため、なくなる心配が無く、繰り返し使うことができる。 • 発電時に二酸化炭素を出さない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 天候に左右されるので、作る電気が安定しない。 • たくさん発電するためには、広い土地が必要。

(参考：経産省資源エネルギー庁HP「なっとく！再生可能エネルギー」、中部電力提供資料)

5. エネルギー資源には限りがある

石油・石炭・天然ガスといった化石燃料や、ウランなどのエネルギー資源は決して無限にあるわけではありません。火力発電に使う化石燃料も、原子力発電に使うウランも、近い将来使い切ってしまうと予測されています。今後も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工夫し、エネルギーの節減につとめなければなりません。



(注) 可採年数=確認可採埋蔵量/年間生産量
ウランの確認可採埋蔵量は費用130ドル/kgU未満

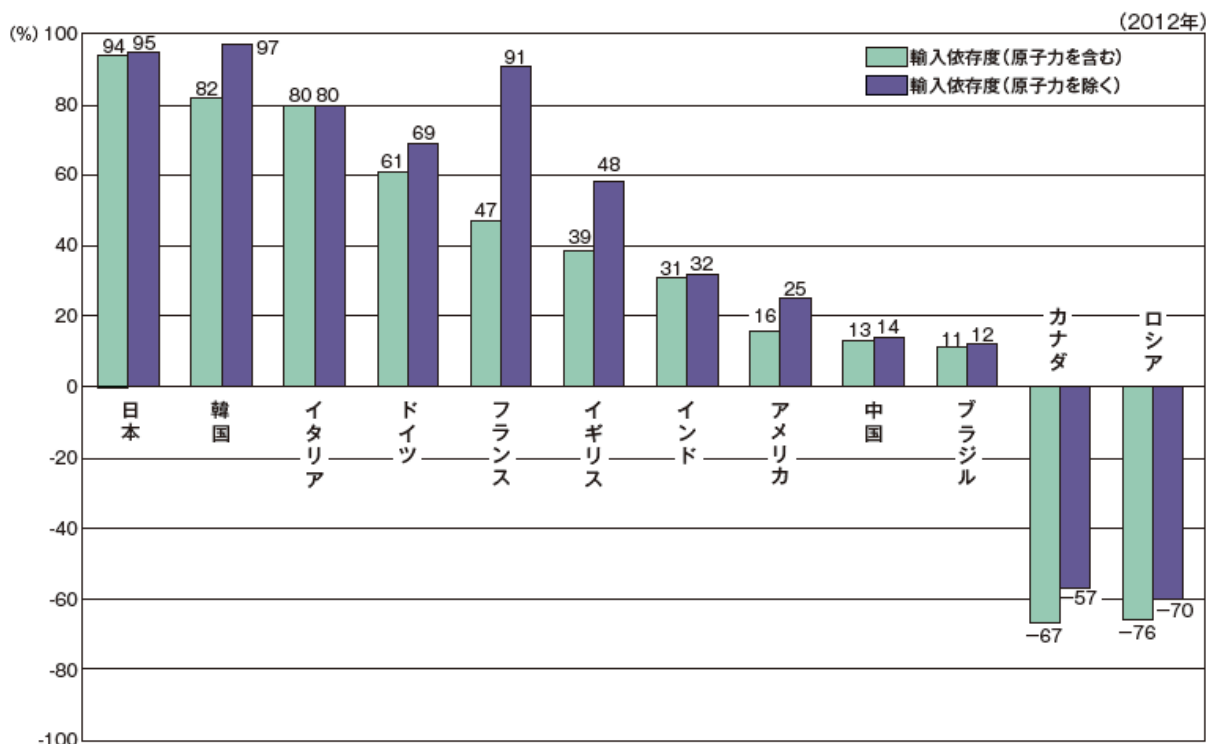
図：エネルギー資源の確認埋蔵量と可採年数（2013年の予測）

（引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」）

考えよう：1つのエネルギー資源に頼った発電（例：石油を用いた火力発電のみを大量に行う）を行うと、どのようなリスクがあるでしょうか。

6. 一つのエネルギー資源に頼った発電はリスクが大きい

2014年現在、日本では総発電量の約90%を火力発電が占めています。火力発電で使用する化石燃料には限りがあり、発電時に二酸化炭素などを出すため環境にも良くありません。また、日本はエネルギー資源のほとんどを海外から輸入しているため、一つのエネルギー資源のみに頼ってしまうと、輸入が止まった時に発電ができず、私たちの生活に大きな影響をあたえます。そのような事態を避けるために、様々なエネルギー資源と発電方法を組み合わせて電気を作っています。今後どのような割合で発電していくか、現在国が考えているところです。



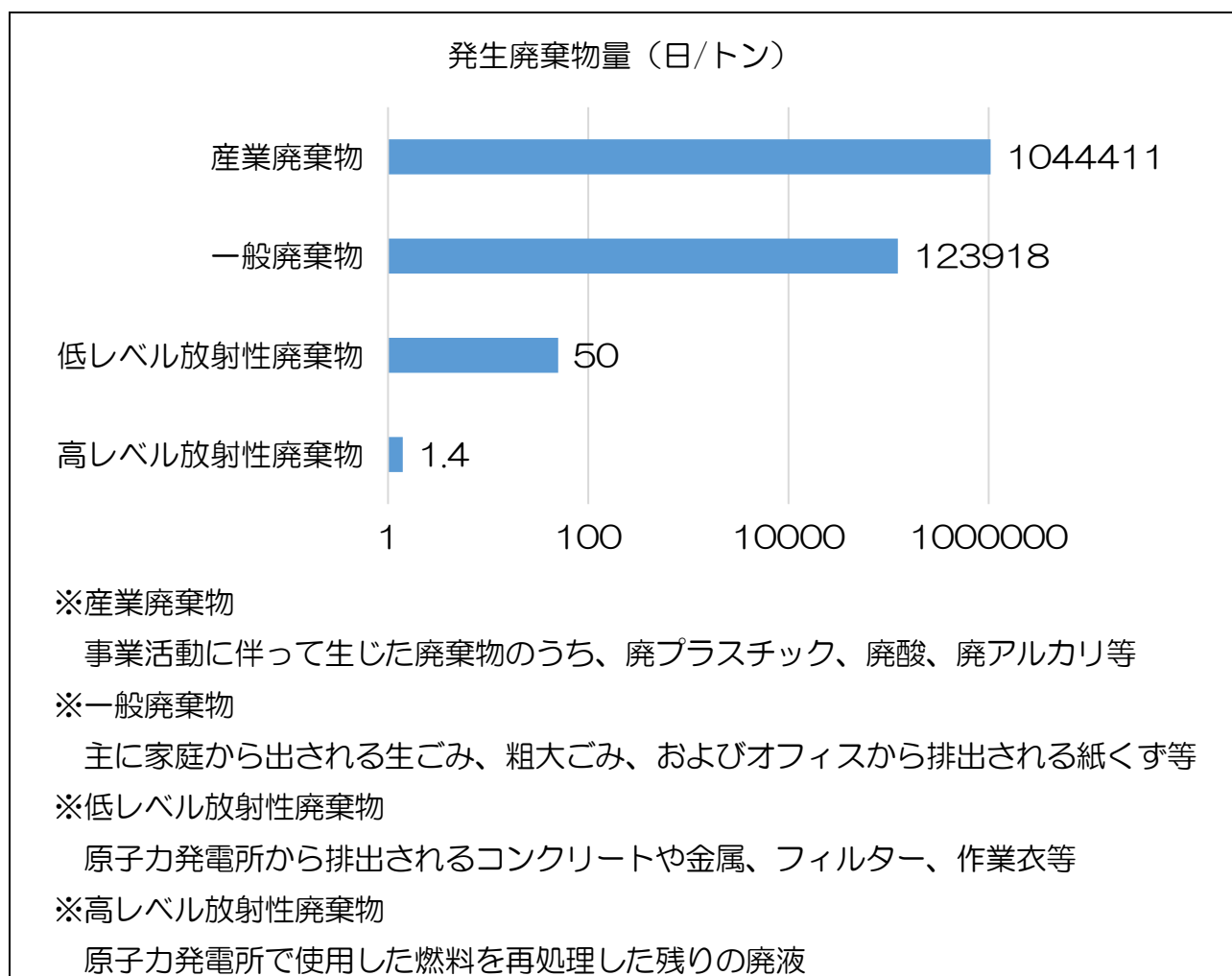
(注) 下向きのグラフは輸出していることを表す

図：主要国のエネルギー輸入依存度

(引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

7. 電気を作ることでごみが出る

火力発電所や原子力発電所では、電気を作ることでごみが出ます。火力発電では、二酸化炭素・石炭灰・硫黄酸化物や窒素酸化物、原子力発電では、作業衣などの消耗品や使い終わった燃料を再処理した残りがごみとして出ます。



図：1日あたりの発生廃棄物量

（参考：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」）

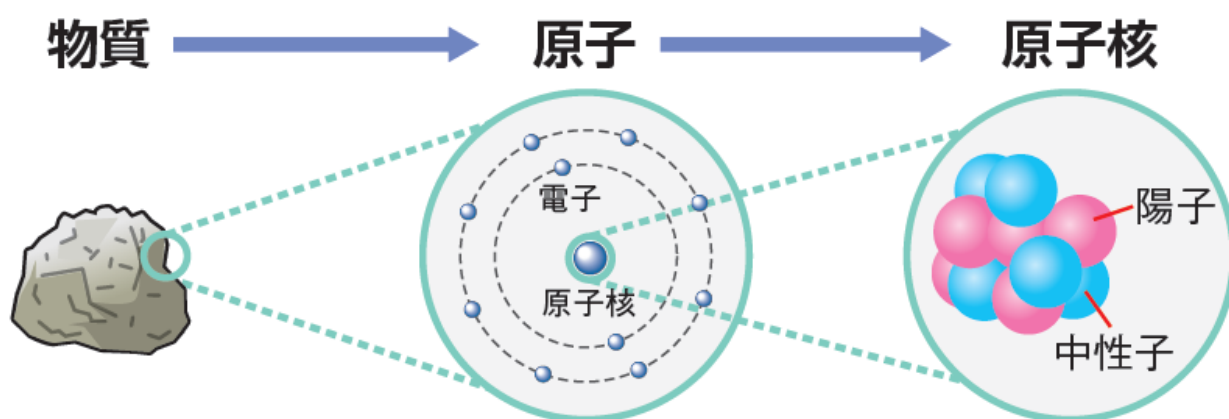
原子力発電所から出るごみの量は他のごみと比べると少ないですが、とても危険なため、簡単に処分することはできません。それは、原子力発電所から出るごみは“放射線”を出すからです。このごみの処分が現在大きな問題になっています。このごみについて学ぶ前に、まずは“放射線”について次のページから学びましょう。

第I章 - 2 放射線について

前回は、日本がどのようにして電気エネルギーを作っているのか、また発電による様々な問題について学びました。今回は、原子力発電所から出る危険なごみについて学ぶために、まずは“放射線”について学びましょう。

1. おさらい（物質について）

私たちの身の回りにある全てのものは、その材料に注目するとき、それを物質といいます。物質は小さな粒子がたくさん集まってできており、この粒子をさらに分けると、それ以上分けられない、さらに小さな粒（原子）が結びついてできていることが分かっています。原子は、原子核とそのまわりを動く電子に分けることができ、原子核はさらに陽子と中性子に分けられます。この陽子の数によって原子の性質が決まります。

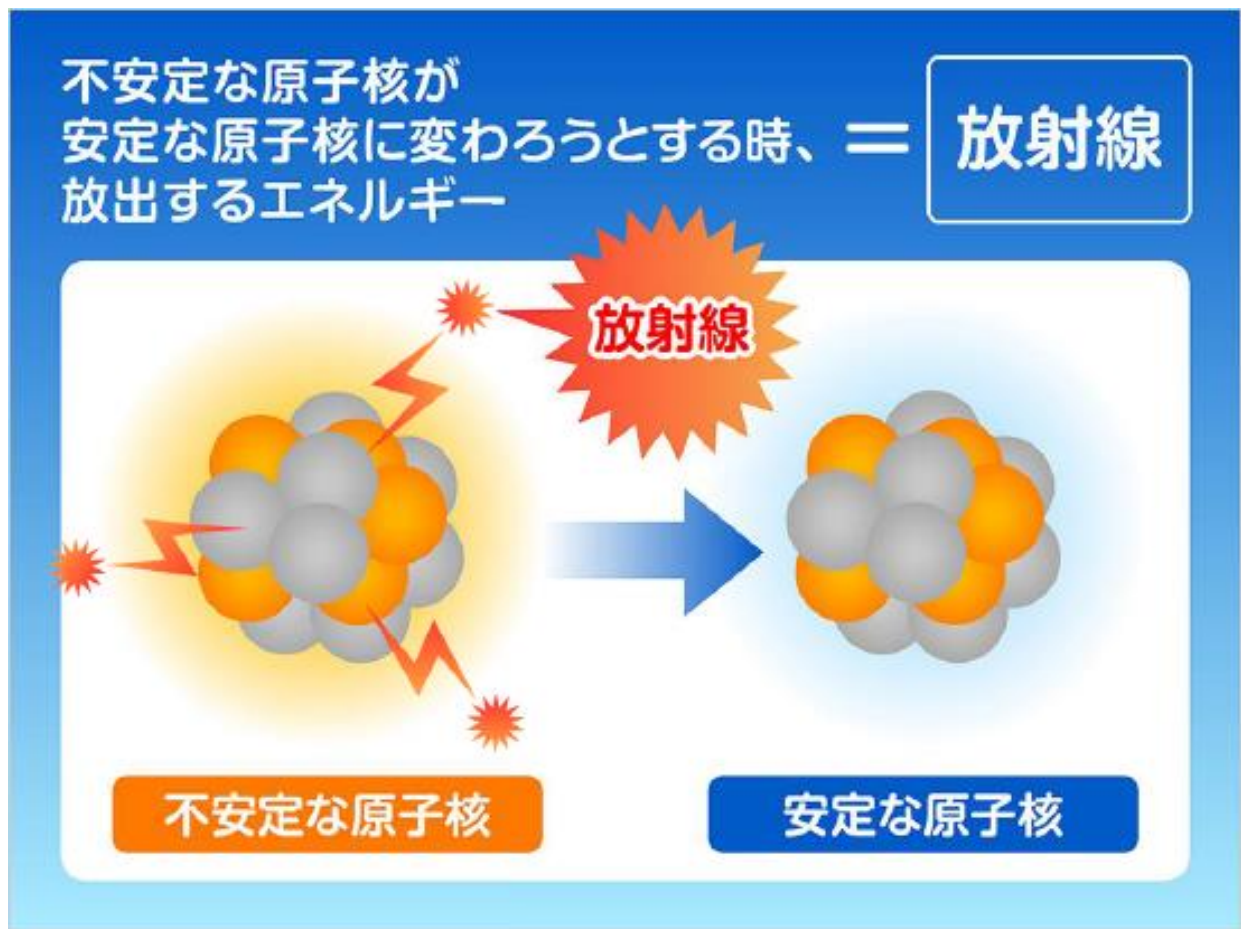


(引用：文部科学省「中学生・高校生のための放射線副読本」)

原子はとても小さく、一番小さな原子である水素原子は、直径が1cmの1億分の1程度しかありません。また、同じ種類の原子でも原子核中の中性子の数が異なるものがあります。これらを同位体といいます。安定な原子核と不安定な原子核があり、不安定な原子核は時間が経過すると安定な原子核に変わろうとします。

2. 放射線ってなに？

放射線は、不安定な原子核が安定な原子核に変わろうとするとときに放出する、非常に高いエネルギーを持った高速の粒子や電磁波のことを指します。放射線には、 α （アルファ）線、 β （ベータ）線、 γ （ガンマ）線、X線、中性子線など多くの種類があります。

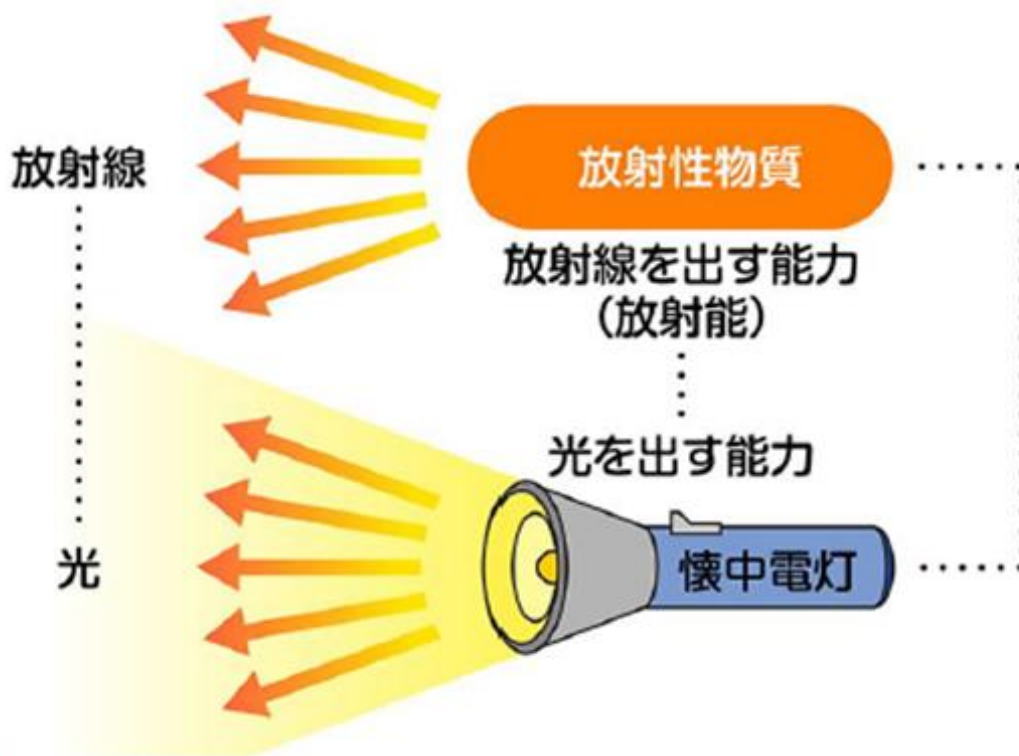


(資料提供：中部電力)

種類	特性
α 線	原子核から放出される粒子（ヘリウム原子核）
β 線	原子核から放出される電子
γ 線	原子核から放出される電磁波
中性子線	原子核から放出される中性子

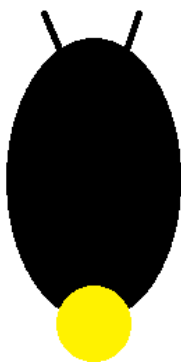
3. 放射線に関連することば

放射線を出す物質のことを**放射性物質**といいます。この放射性物質から放出される、非常に高いエネルギーを持った高速の粒子や電磁波のことを**放射線**といいます。さらに、放射性物質が放射線を出す能力を**放射能**といいます。これらの言葉は懐中電灯に置き換えて考えると分かりやすいです。



(資料提供：中部電力)

問題 次の図は、放射線に関連することばについて、ホタルやホタルの光に例えて表したものです。空欄に当てはまる語句を書こう。



ホタル = ()

ホタルの光 = ()

ホタルが光を出す能力 = ()

4. 放射線に関連する単位

放射線の単位には、放射線を出す側に注目した単位（Bq）と、放射線を受ける側に注目した単位（Sv、Gy）があります。

Bq（ベクレル）…放射性物質が1秒間に放射線を出す能力
 Sv（シーベルト）…放射線が人体に与える影響
 Gy（グレイ）…吸収した放射線のエネルギーの総量



（資料提供：中部電力）

問題 次の図は、放射線に関連する単位について、雨に例えて表したものです。空欄に当てはまる語句を書こう。



①雨の強さ

②カサや人を濡らした雨の量

③人が雨に濡れたことによる健康影響

（引用：ETT「ETTが考えた放射線のテキスト」）

5. 身のまわりにも放射線は存在する

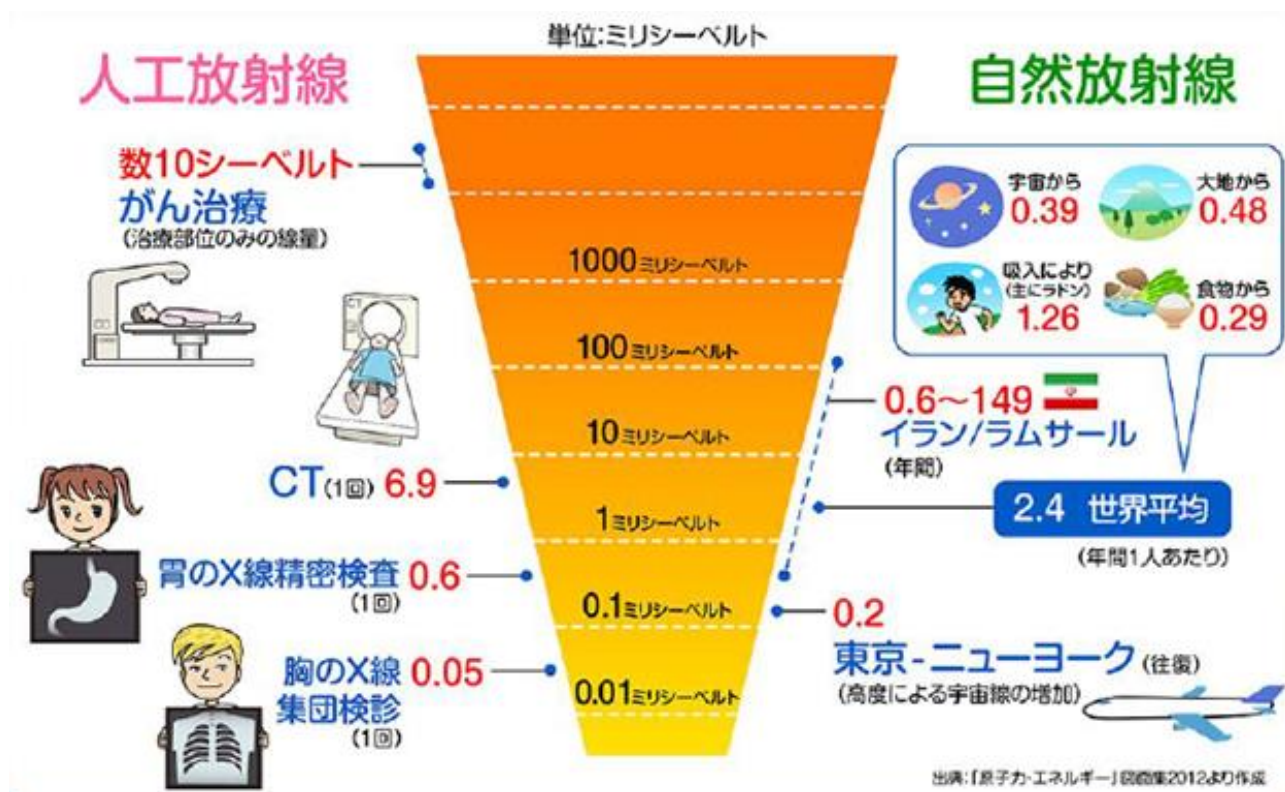
放射線は特別なもののようと思われるかもしれませんが、私たちの身のまわりに常にあります。私たちは、毎日わずかな放射線を浴びながら生活しているのです。私たちが受けている放射線は、自然放射線と人工放射線に分けることができます。



(引用：ETT「ETTが考えた放射線のテキスト」)

自然放射線…自然界（宇宙、大地、食べ物、空気）から受ける放射線

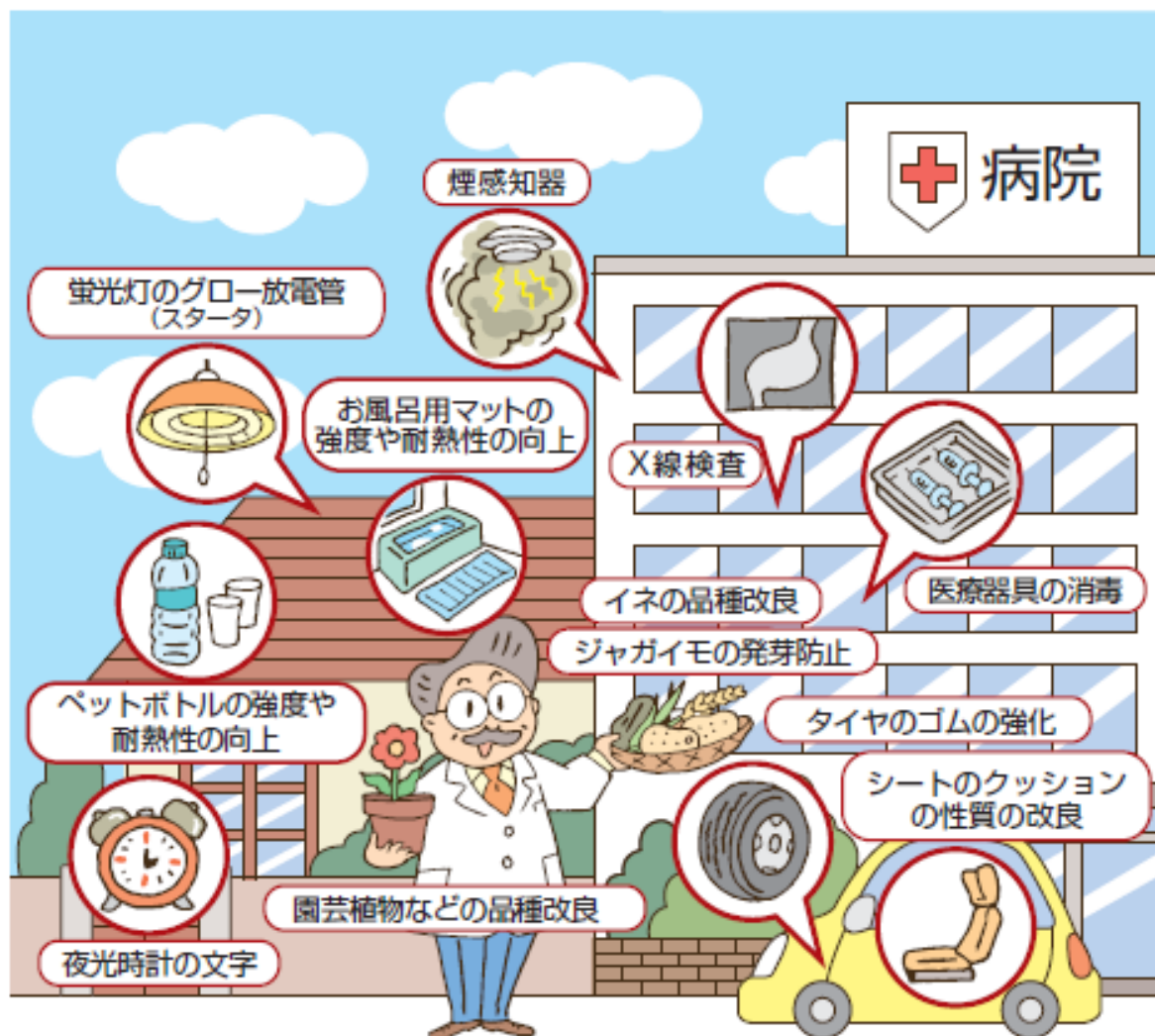
人工放射線…医療（レントゲン撮影、がん治療）などで受ける放射線



(資料提供：中部電力)

6. 放射線は様々な場面で利用されている

放射線は様々な性質を持っており、有益であることから、工業分野、医療分野、農業分野など、様々な分野で利用されています。



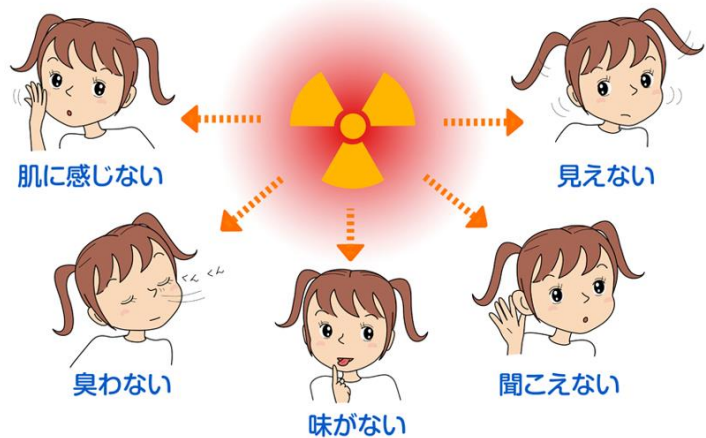
(引用：原子力発電環境整備機構「地層処分 その安全性」)

しかし一方では、放射線を人体が浴びることで、人体に影響を及ぼす恐れもあります。このような有用性と危険性をどちらも持った放射線を利用するためには、放射線についてしっかりと理解しなくてははいけません。放射線の性質や危険性について、次のページから学びましょう。

7. 放射線の性質

①放射線は五感で感じることができない

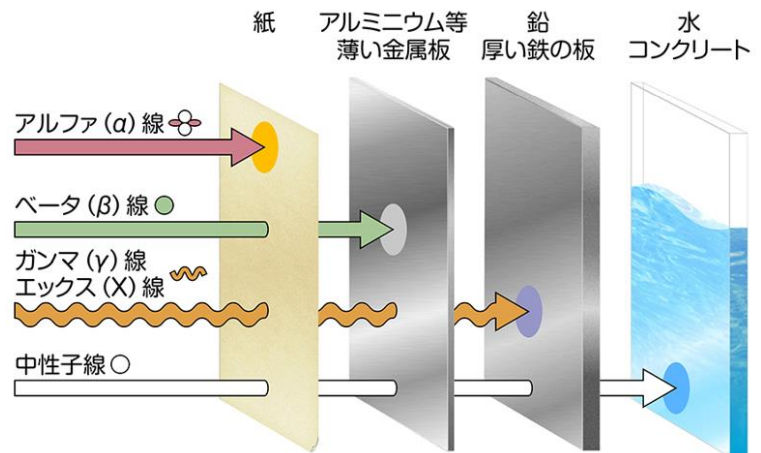
放射線は五感で感じることができないため、飛んでいても気づくことはありません。



(資料提供：中部電力)

②放射線は物質を通り抜ける

放射線が物質を通り抜ける力は、放射線の種類によって異なります。しかし、水やコンクリートを使えば、放射線を完全に止めることができます。



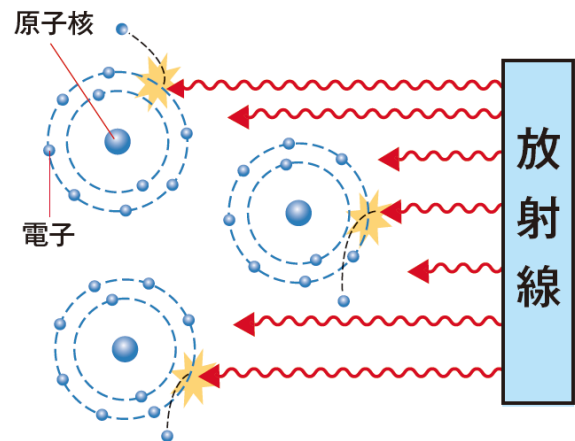
(資料提供：中部電力)

問題 α線、β線、γ線・X線、中性子線について、放射線を止めるものには○を、そうでないものには×をつけよう。

	紙	薄い金属板	厚い金属板	水・コンクリート
α線				
β線				
γ線・X線				
中性子線				

③物質の分子の形や性質を変える

放射線が物質を通過するとき、放射線のエネルギーが電子をはじき出す働きがあります。電子がはじき出されると、物質の分子の形や性質は変わってしまいます。

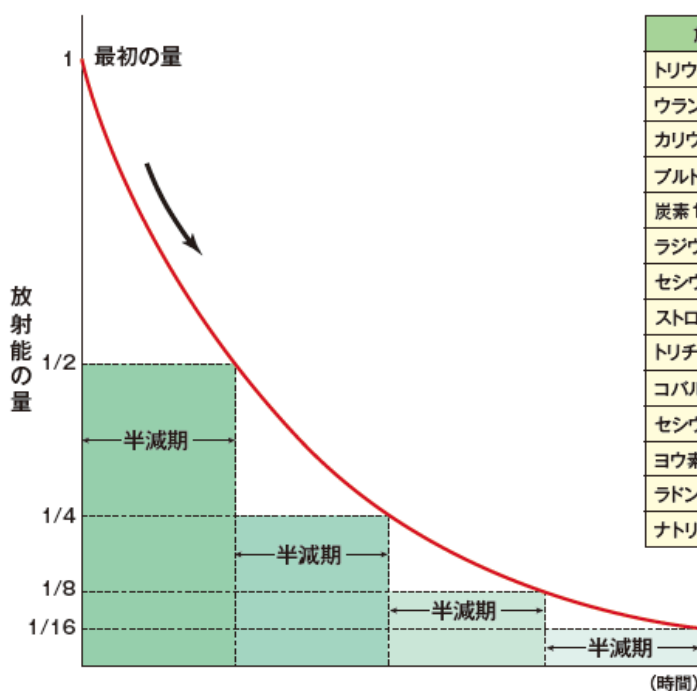


(資料提供：中部電力)

④放射能は時間が経つと小さくなる

放射性物質は放射線を出しながら、時間の経過とともに放射線を出さない安定した物質に変わっていきます。放射能の量の減り方には規則性があり、一定の時間が経過すると放射能の量が半減します。この時間を半減期といいます。

半減期が短い物質 = 短時間に大量の放射線を出す物質
 半減期が長い物質 = 長時間少しずつ放射線を出す物質



放射性物質	放出される放射線*	半減期
トリウム232	α ・ β ・ γ	141億年
ウラン238	α ・ β ・ γ	45億年
カリウム40	β ・ γ	13億年
プルトニウム239	α ・ γ	2.4万年
炭素14	β	5,700年
ラジウム226	α ・ γ	1,600年
セシウム137	β ・ γ	30年
ストロンチウム90	β	28.8年
トリチウム	β	12.3年
コバルト60	β ・ γ	5.3年
セシウム134	β ・ γ	2.1年
ヨウ素131	β ・ γ	8日
ラドン222	α ・ γ	3.8日
ナトリウム24	β ・ γ	15時間

*壊変生成物(原子核が放射線を出して別の原子核になったもの)からの放射線も含む

(引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

問題 以下の半減期の異なる 2 種類の放射性物質について、初めの放射能の量を 1 としたとき、放射能の量が $1/2$ 、 $1/4$ 、 $1/8$ 、 $1/16$ に減衰するのに要する時間を計算しよう。

	$1/2$	$1/4$	$1/8$	$1/16$
セシウム 137 (半減期 30 年)				
計算				
ヨウ素 131 (半減期 8 日)				
計算				

これらの性質を活かして、放射線は様々な場面で利用されています。しかし一方では、事故などにより、放射性物質や放射線が漏れることで人体に影響を及ぼすことがあります。

問題 人間の体は、約 60% が水で構成されています。人間が吸収する放射線を選んで丸をつけよう。

α 線

β 線

γ 線

X線

中性子線

8. 人間の体は放射線を受け止めやすい

人間の体は約 60%が水で構成されています。また、水は α 線、 β 線、 γ 線、 X 線、中性子線を全て吸収します。そのため、人間の体は放射線を吸収しやすいといえます。人体が放射線を受けることを被ばくといいます。体の外にある放射性物質から人体が放射線を受けることを、外部被ばくといいます。また呼吸や飲食により、体内に取り込んだ放射性物質から人体が放射線を受けることを、内部被ばくといいます。

同じ放射線の量であれば

自然放射線が人体に与える影響 = 人工放射線が人体に与える影響

内部被ばくによる影響 = 外部被ばくによる影響

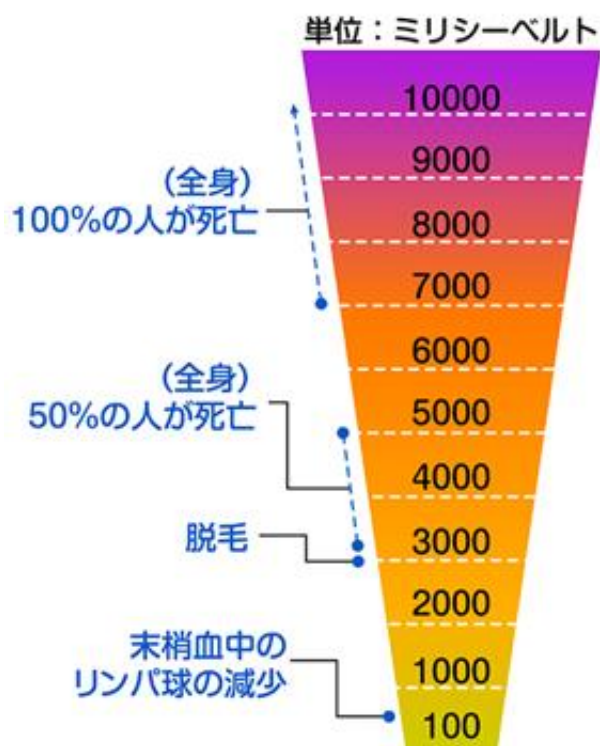


(資料提供：中部電力)

9. 放射線の人体への影響

これまでの研究や調査から、たくさんの放射線を一度に被ばくすると、人体に様々な影響が出ることが確認されています。

やけどなどの障害…皮膚が一度にたくさんの放射線を受けると、毛が抜けたり、皮膚にやけどをおうような障害が生じる。
がん…放射線によって傷つけられたDNAが、まちがって修復されて、その細胞が増えたものががんになる。



一度に多量に被ばくすると、
人体への影響がでます

100ミリシーベルト未満では
人体への影響があるかどうか
確認されていません

出典：「原子力・エネルギー」図面集2012より作成

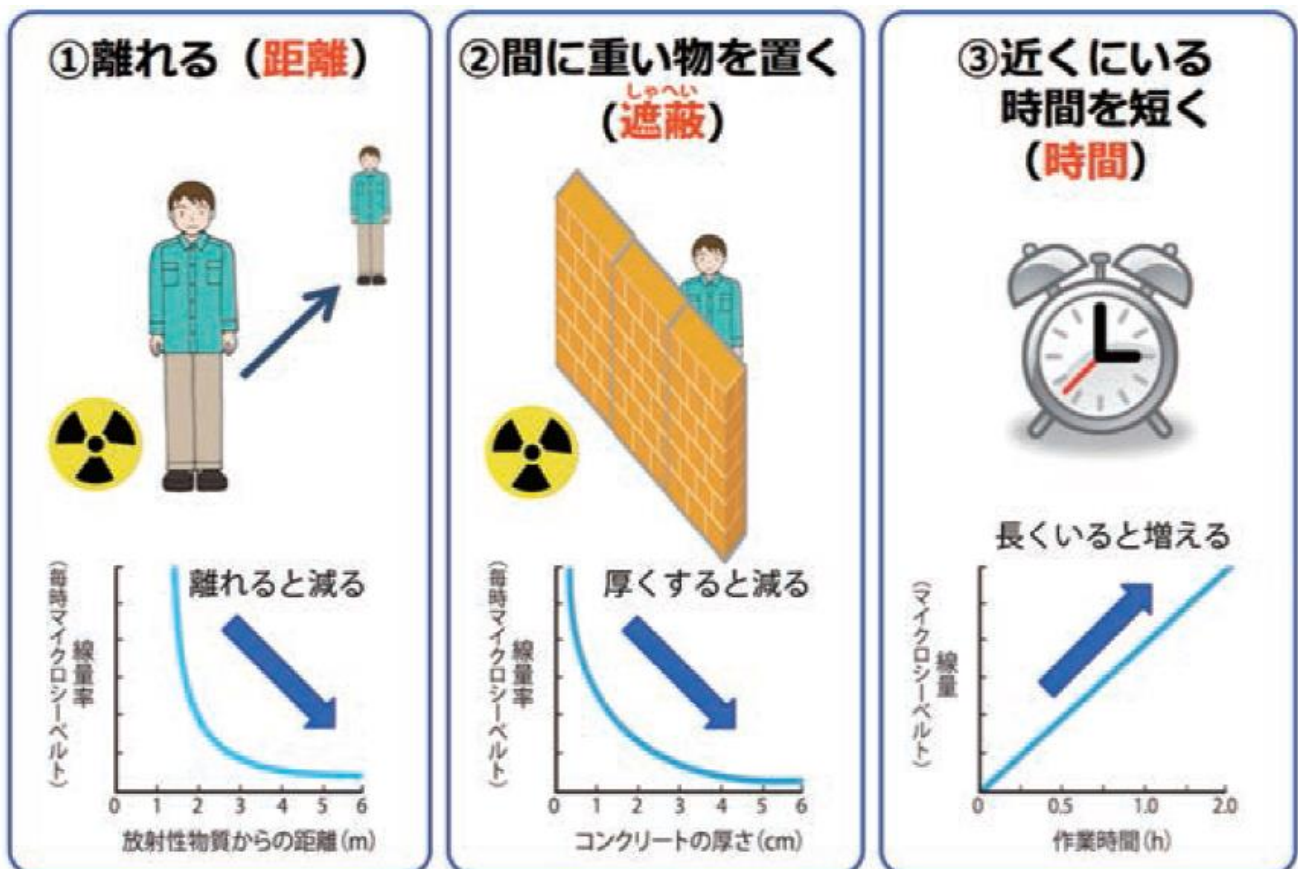
(資料提供：中部電力)

10. 放射線から身を守る

人間の体は放射線を吸収しやすいため、放射線に対しては無防備であるといえます。しかし放射線を使うことは、被ばくによるリスクを伴います。そのため、被ばくによるリスクを少なくするために、放射線から身を守る必要があります。また原子力発電所で事故が発生すると、放射性物質や放射線が漏れ出す恐れがあり、正しい対応をする必要があります。

外部からの放射線から身を守るには、以下の3つの方法があります。

- ① 放射性物質から離れる
- ② 放射線をさえぎる（コンクリートなどの建物の中に入る）
- ③ 放射線を受ける時間を短くする



(引用：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料」)

第Ⅱ章 - 1 高レベル放射性廃棄物について

前回は、放射線について学びました。今回は、現在その処分が問題になっている、原子力発電所が出る危険な“放射線を出す”ごみについて学びましょう。

1. 原子力発電の燃料

原子力発電では、ウラン（元素記号U）という鉱物を加工したものを燃料として使います。ウランを加工して燃料ペレットを作ります。この燃料ペレットを、金属の筒の中に詰め込み、燃料棒を作ります。原子力発電では燃料棒をまとめたもの（燃料集合体）を使って発電しています。



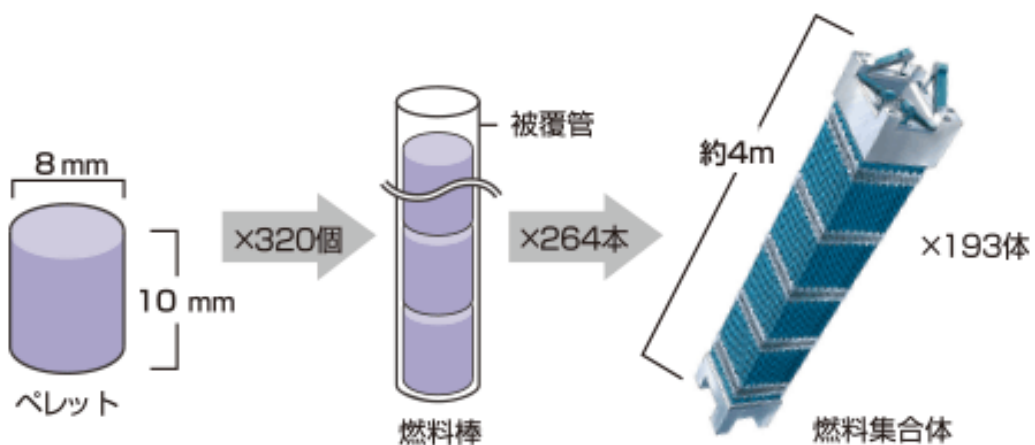
写真：ウラン鉱石

（画像提供：日本原燃㈱）



写真：燃料ペレット（原寸大）

（画像提供：日本原燃㈱）



図：燃料棒と燃料集合体

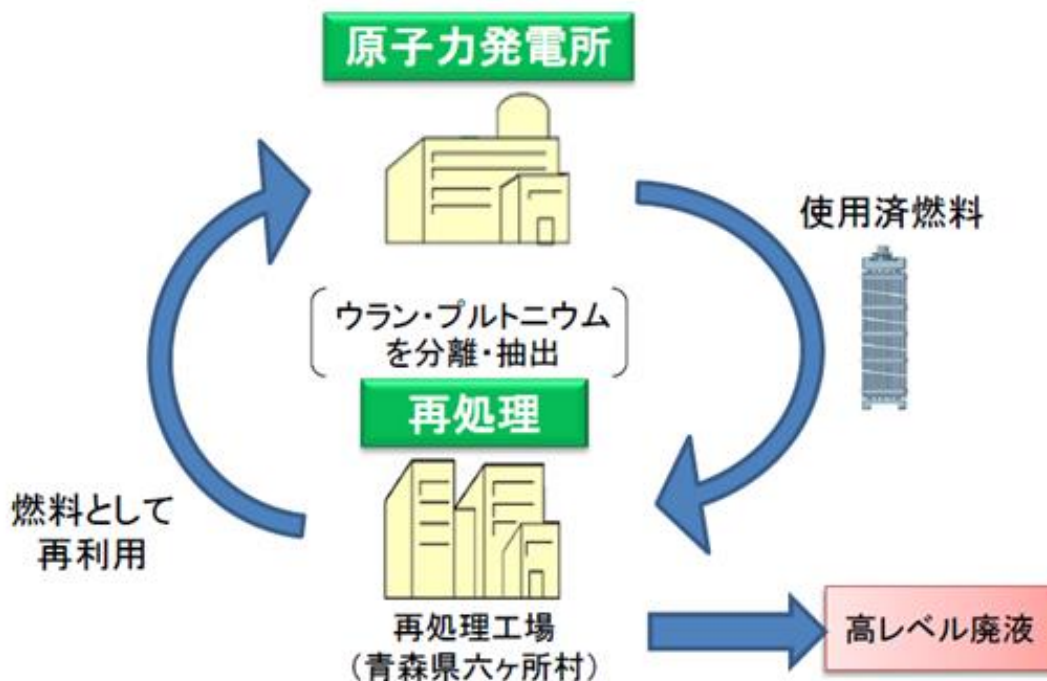
（引用：関西電力 HP「原子力発電の概要」）

http://www.kepco.co.jp/energy_supply/energy/nuclear_power/shikumi/kakubunretsu.html

2. 使用済み燃料の5%は再利用できません

原子力発電で使われた核燃料（使用済み燃料）は再処理工場へ運ばれ、溶かした後、再利用できるものと再利用できないものに分けられます。

使用済み燃料の約 95%は再び原子力発電で燃料として使うことができますが、残りの約 5%は再利用できません。この再利用できないものは液体で、強い放射線を出すためとても危険です。この廃液を高レベル廃液といいます。とても強い放射線を出すため、普通のごみと同じように処分することはできません。特別な処分が必要です。



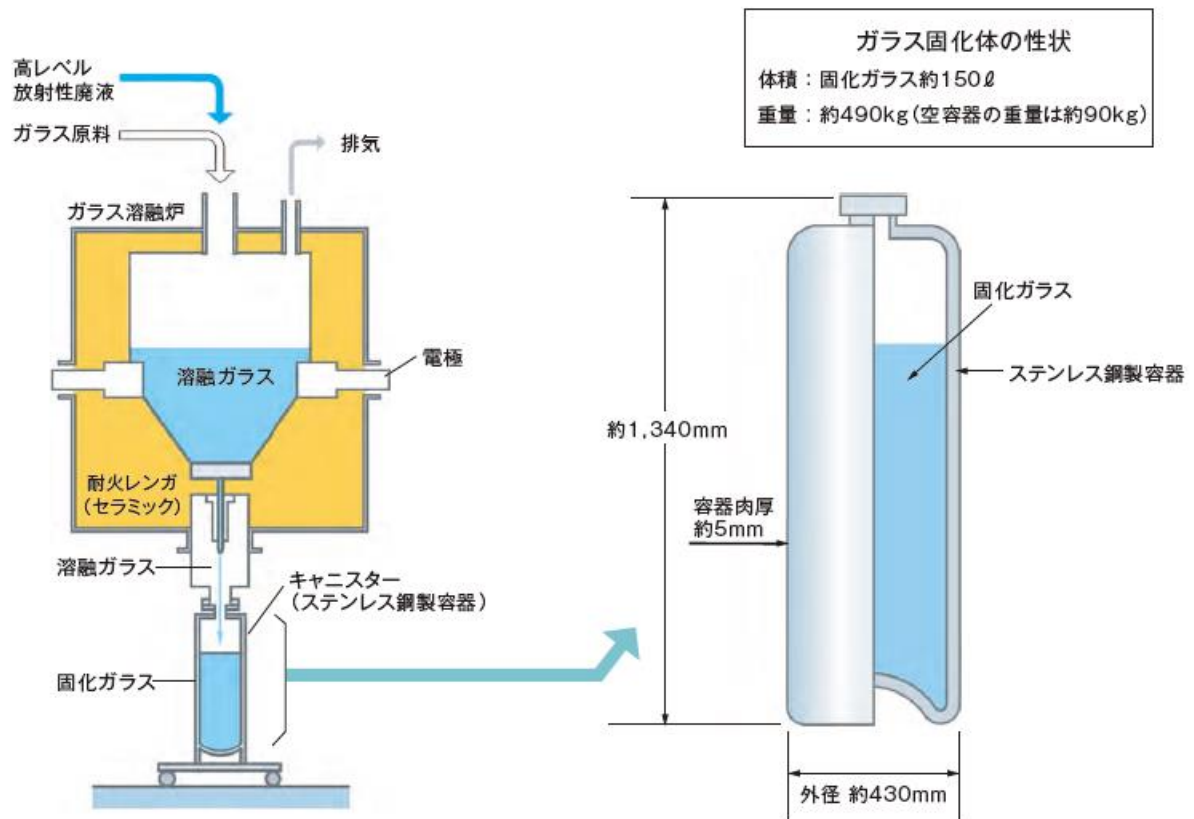
図：使用済み燃料の再処理

(引用：経済産業省「高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた新たな取り組み」)

考えよう：使用済み燃料を再処理した時に残る非常に危険な廃液(高レベル廃液)を、あなたならどのように処分しますか。

3. 危険な廃液は“ガラス”と混ぜ合わせて処分します

日本では、高レベル廃液を溶かしたガラスと混ぜ合わせ、ステンレス製の容器の中で冷やし固めた状態で処分します。これをガラス固化体といいます。ガラスには、高レベル廃液をきちんと取り込んでくれる性質があり、長い期間水に溶けにくく、安定した状態を保つことができます。そのためガラスが選ばれました。

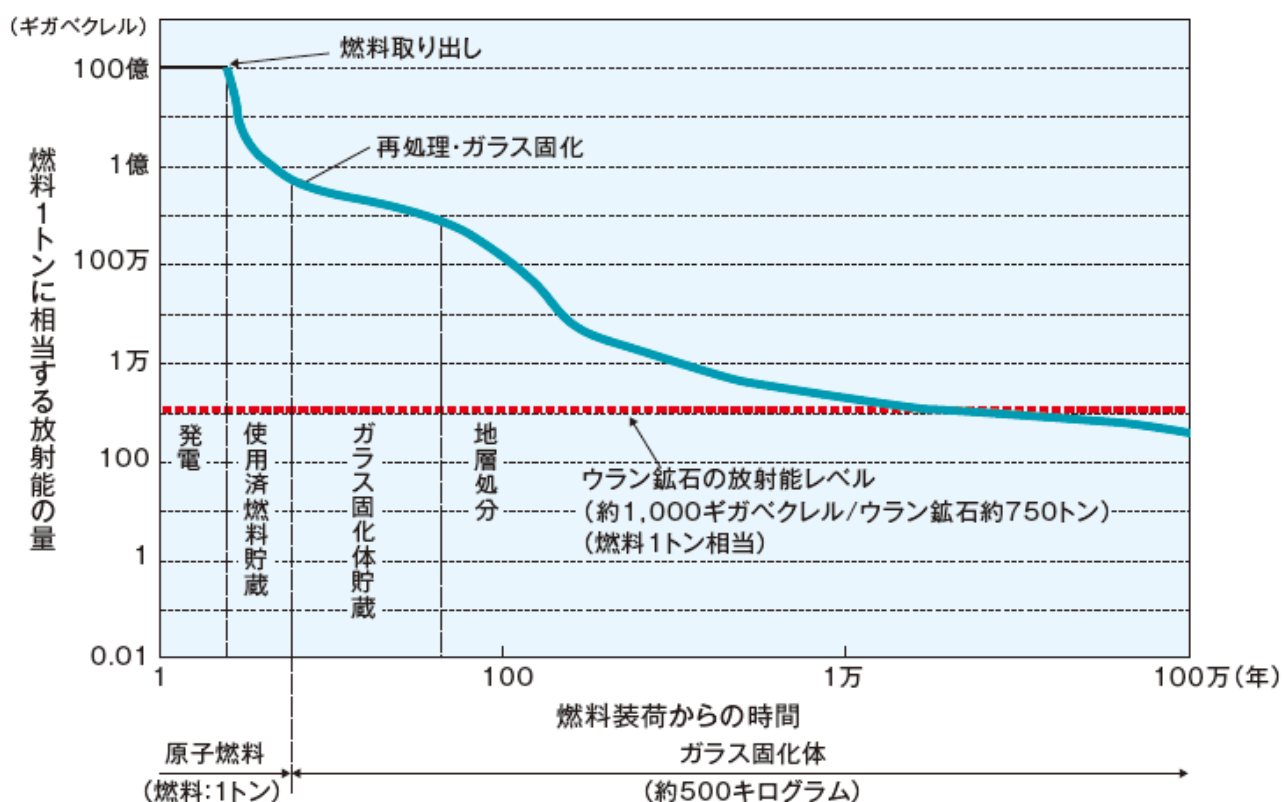


図：ガラス固化体の製造過程

(引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

4. ガラス固化体は安全になるために非常に長い期間が必要です

ガラス固化体は、完成時の表面温度が非常に高温（200℃以上）で、強い放射線を出すため非常に危険です。しかし、時間が経つにつれてゆっくりと温度が下がり、放射能も弱くなっていきます。しかし安全なレベルになるまでには、数万年という非常に長い時間を要します。



図：ガラス固化体の放射能の変化

(引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

5. このごみを“高レベル放射性廃棄物”といいます

高レベル廃液とガラス固化体を、高レベル放射性廃棄物といいます。海外では、使用済燃料を再処理せずに処分する国もあり、そのような国では、使用済燃料も高レベル放射性廃棄物と呼んでいます。

6. 高レベル放射性廃棄物はどれくらいあるの？

2016年3月末現在、日本には2,300本のガラス固化体があり、青森県六ヶ所村に2,044本、茨城県東海村に256本貯蔵されています。また約17,000トンの使用済燃料が再処理工場や全国の原子力発電所に貯蔵されており、これらを再処理し廃液をガラス固化体にする、今ある分と合わせて約25,000本になります。これは現在までに発電した分のガラス固化体であり、今後も原子力発電を行えば更にガラス固化体の量は増えます。将来的には、平成30年の段階で約40,000本のガラス固化体を処分しなくてはならなくなると予測されています。



写真：使用済燃料の貯蔵施設

(画像提供：日本原燃株)



写真：ガラス固化体の貯蔵施設

(画像提供：日本原燃株)

青森県六ヶ所村にあるガラス固化体の貯蔵施設では、2,044本のガラス固化体が貯蔵されています。しかしこの施設の貯蔵容量は2,880本しかありません。今後全てのガラス固化体を保管するためには、さらに多くの貯蔵施設を建設する必要があります。またガラス固化体が安全なレベルになるまで、人間が数万年という非常に長い期間管理し続けなければなりません。

考えよう：現在、ガラス固化体は人間の生活環境の中で管理（地上管理）されています。あなたなら、今後も地上管理を続けますか。それとも、人間の生活環境の外に処分（隔離処分）しますか。

自分の考えを書こう

地上管理	・	隔離処分
理由		

話し合おう

参考になった意見

改めて自分の考えを書こう

地上管理	・	隔離処分
理由		

第Ⅱ章 - 2 高レベル放射性廃棄物の処分方法を考えよう

前回は、高レベル放射性廃棄物について学び、ガラス固化体を人間の生活環境の中で管理（地上管理）し続けるか、人間の生活環境の外に処分（隔離処分）するかを考えました。

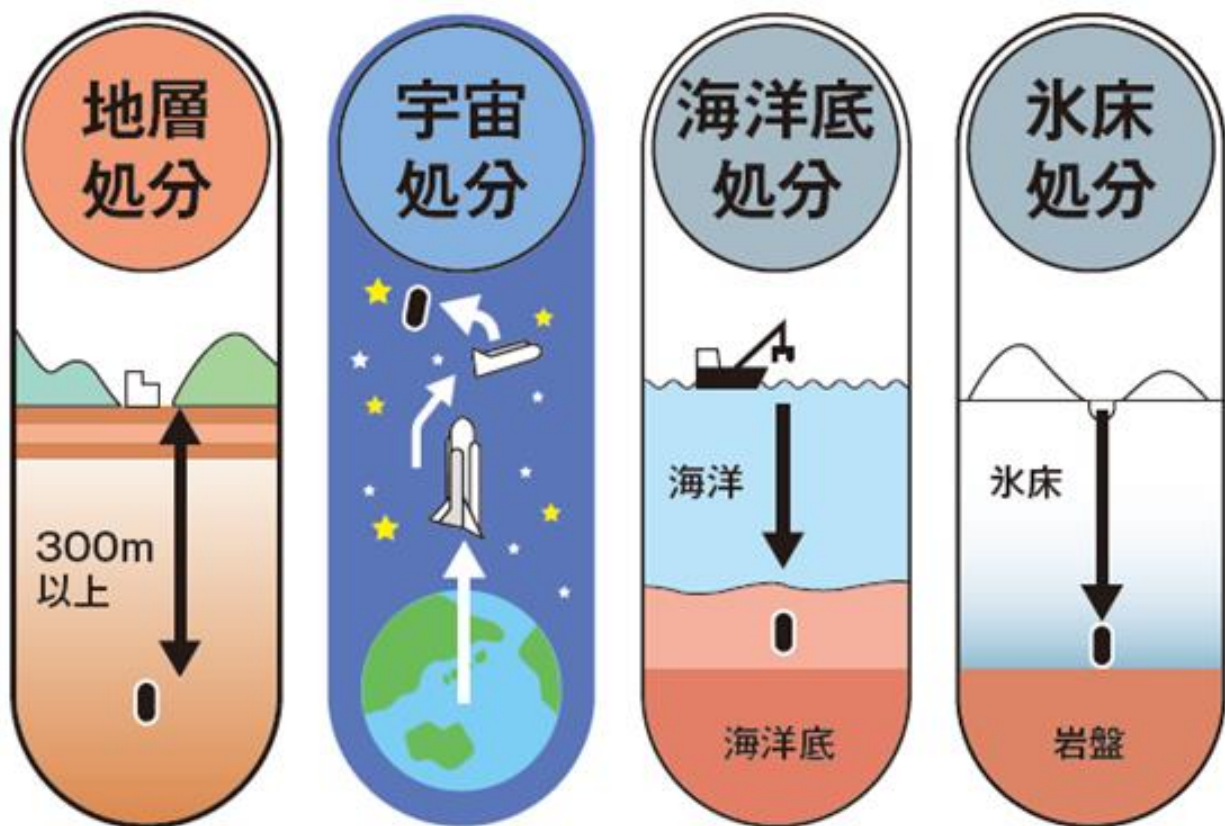
実は世界は、ガラス固化体を人間の生活環境の外に処分（隔離処分）する方針で進んでいます。世界中で隔離処分方法が話し合われた結果、これら4つの方法が考えられました。

地層処分：地面の深いところに埋める。

宇宙処分：ロケットなどを使って地球の外に飛ばす。

海洋底処分：海底の下に埋める。

氷床処分：南極の氷の下に埋める。



図：考えられた隔離処分方法

(出典：電気事業連合会 (2015)「原子力・エネルギー図面集 2015」, 8-3-6 より作成)

考えよう：それぞれの処分方法のメリットとデメリットを挙げよう。

処分方法	メリット	デメリット
地層処分		
宇宙処分		
海洋底処分		
氷床処分		

考えよう：あなたならどの処分方法を選びますか。

地層処分 ・ 宇宙処分 ・ 海洋底処分 ・ 氷床処分

理由

話し合おう

参考になった意見

考えよう：改めて処分方法を決定しよう。

地層処分 ・ 宇宙処分 ・ 海洋底処分 ・ 氷床処分
理由

考えよう：世界で考えられた 4 つの隔離処分方法以外に、もっといい方法はないでしょうか。よりよい処分方法を考えよう。

--

第Ⅲ章 - 1 地層処分について

1. 日本の方針

前は、高レベル放射性廃棄物の隔離処分方法を考えました。実は、人間が管理をしなくてもよく、人間や地球環境に最も影響を与えない処分方法であるという理由から、日本は、地下 300m より深くの岩盤に埋める“地層処分”という方法で処分することを 2000 年に決定しました。世界には地層処分を高レベル放射性廃棄物を処分する方針の国がたくさんあります。

地層処分以外の処分方法が採用されなかった理由

宇宙処分…打ち上げ技術の安全性に問題がある。(成功率 90%)

海洋底処分…放射性物質が漏れ出したときの影響が大きい。

また、ロンドン条約によって禁止されている。

氷床処分…氷床の特性解明が不十分。また南極条約によって禁止されている。

考えよう：あなたは、地層処分を高レベル放射性廃棄物を処分することに賛成ですか。反対ですか。今の考えを 5 段階で評価して、理由を書こう。

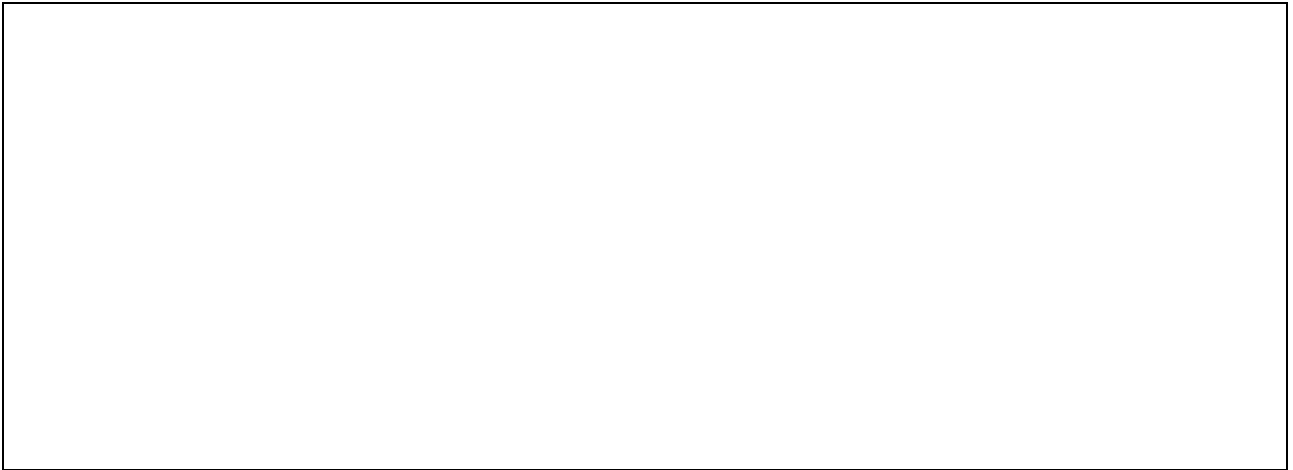
(後で同じ質問をします)

(賛成)	1	2	3	4	5	(反対)
理由						

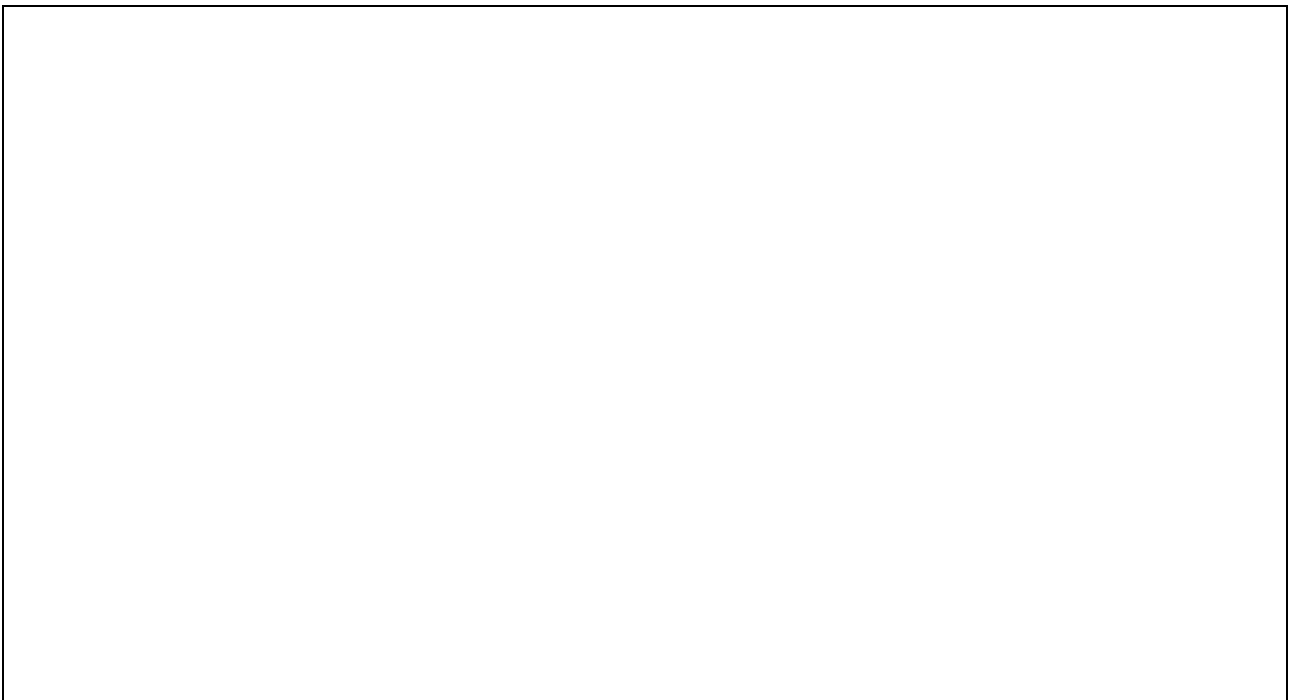
2. ガラス固化体をそのまま地中に埋めるの？

ガラス固化体は、完成時の温度が 200℃以上ととても高く、非常に強い放射線を出すため、すぐに地下深くに埋めることはできません。

考えよう：ガラス固化体をそのまま埋めると、どのような危険性（リスク）があると思いますか。

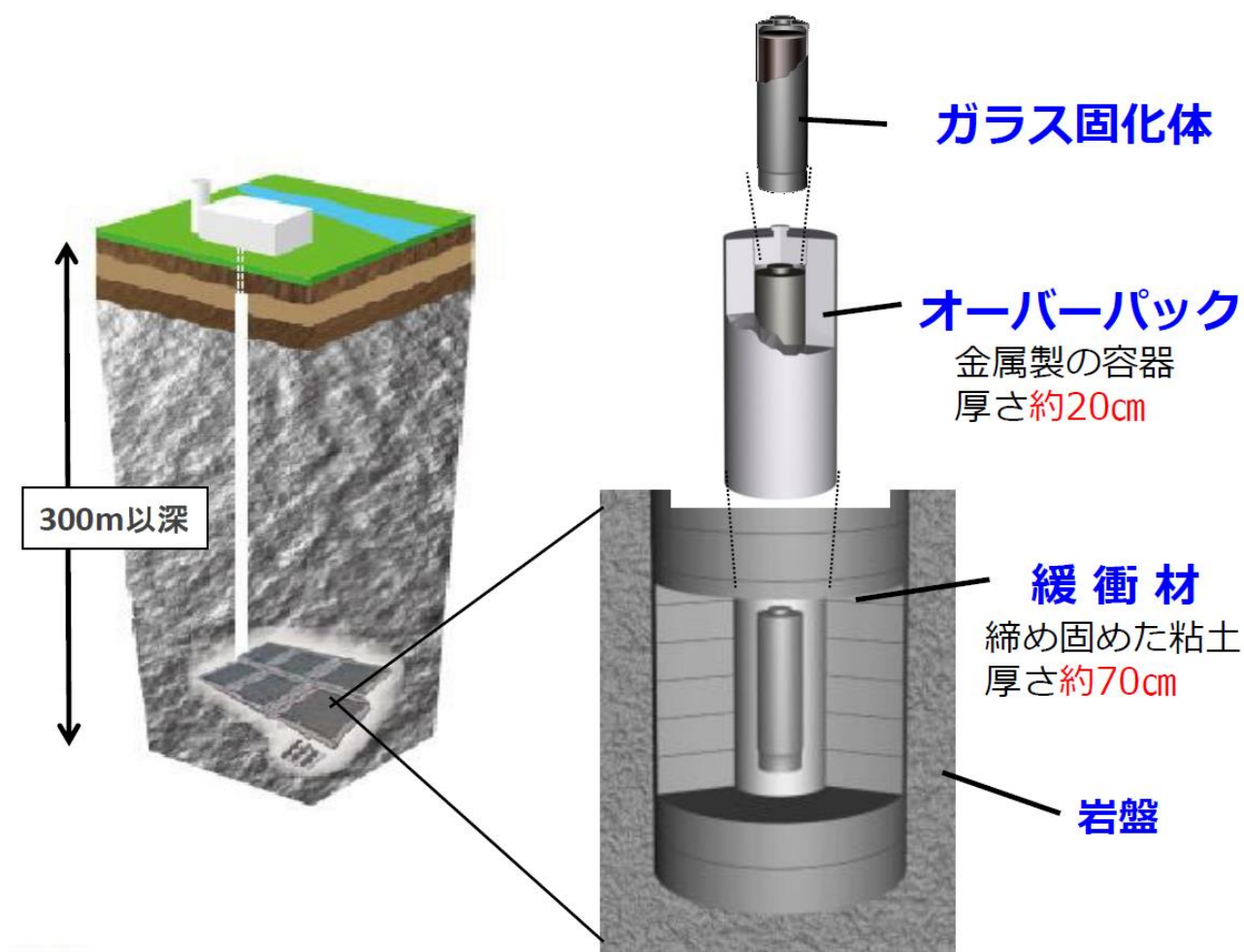


考えよう：ガラス固化体を安全に地層処分するために、どんな良い方法があるでしょうか。



ガラス固化体をそのまま埋めると、放射線が周囲に漏れたり、侵食によって放射性物質が漏れ出し、地下水によって広範囲に拡散される恐れがあります。

そのため、ガラス固化体を完成してすぐに地層処分するのではなく、地上の施設で 30～50 年貯蔵管理し、ガラス固化体の温度と放射能の量がある程度下がってから埋めることにしています。しかし、30～50 年経過してもガラス固化体はまだ危険です。そこでガラス固化体を、金属製の容器（オーバーパック）、緩衝材（粘土）、地下深くの岩盤でしっかりと守り、安全に処分します。これを**多重バリアシステム**といいます。



図：多重バリアシステム

(引用：原子力発電環境整備機構「いま改めて考えよう地層処分」)

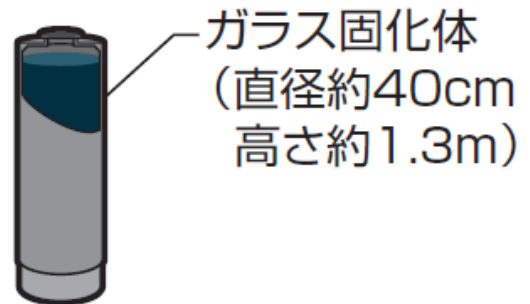
多重バリアシステム

人工バリア… ①ガラス ②金属製の容器 ③緩衝材（粘土）

天然バリア… ④地下深くの岩盤

① ガラス

高レベル廃液を溶かしたガラスと混ぜ合わせ、ステンレス容器の中で冷やし固めます。ガラスは放射性物質を包み込む性質があるので、ガラスと放射性物質は一体化し、ガラスが割れても放射性物質はすぐには溶け出しません。

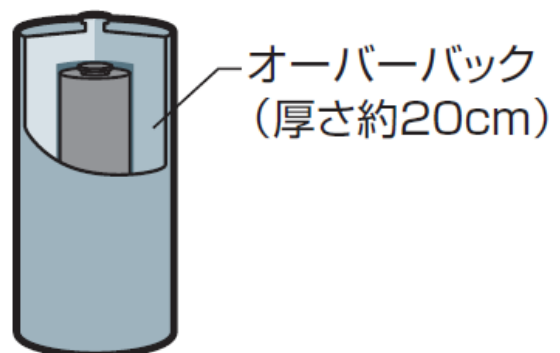


図：ガラス固化体

(引用：原子力発電環境整備機構「地層処分 その安全性」)

② 金属製の容器（オーバーパック）

次に、ガラス固化体をオーバーパックと呼ばれる金属の容器の中に入れます。オーバーパックは、ガラス固化体の放射能が急激に下がる約 1000 年間、ガラス固化体に地下水が接触するのをしゅ断する役割があります。

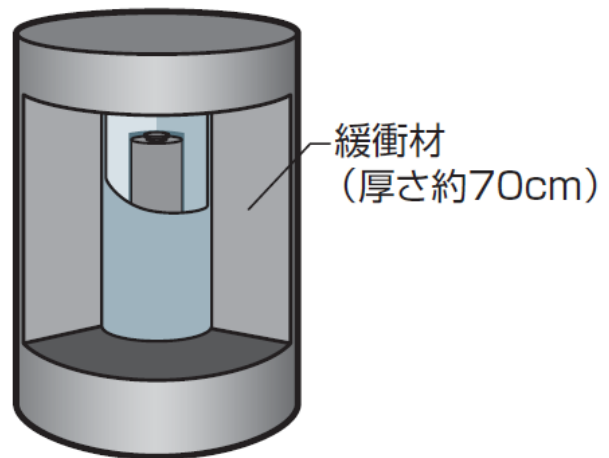


図：オーバーバック

(引用：原子力発電環境整備機構「地層処分 その安全性」)

③ 緩衝材（粘土）

オーバーパックの周りをベントナイトという粘土で囲みます。ベントナイトには水を非常に通しにくい性質があるため、オーバーパックが腐食することを防ぎ、万が一ガラス固化体から放射性物質が漏れ出しても、放射性物質が地下水によって外部に運ばれることを防ぐことができます。

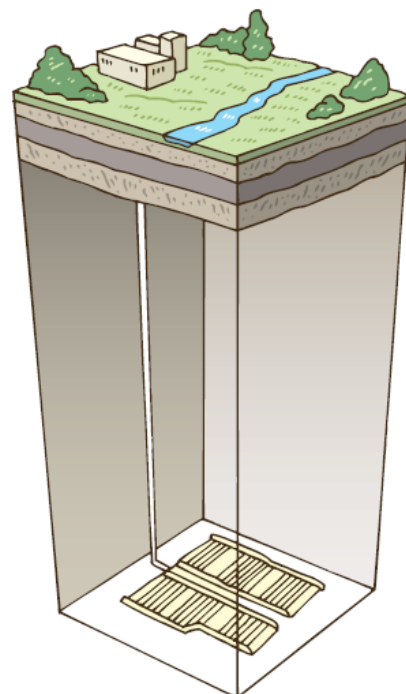


図：緩衝材

(引用：原子力発電環境整備機構「地層処分 その安全性」)

④ 地下深くの岩盤

高レベル廃液に3つの人工バリアを施したものを、地下300mより深くの安定した岩盤に埋めます。地下水の動きは非常に遅く、岩盤には放射性物質を吸着する能力があるので、放射性物質が漏れ出したとしても、放射性物質の移動を抑えることができます。また地下深くは酸素がとても少ないため、金属が腐食しにくく、長期間元の状態を保つことができます。

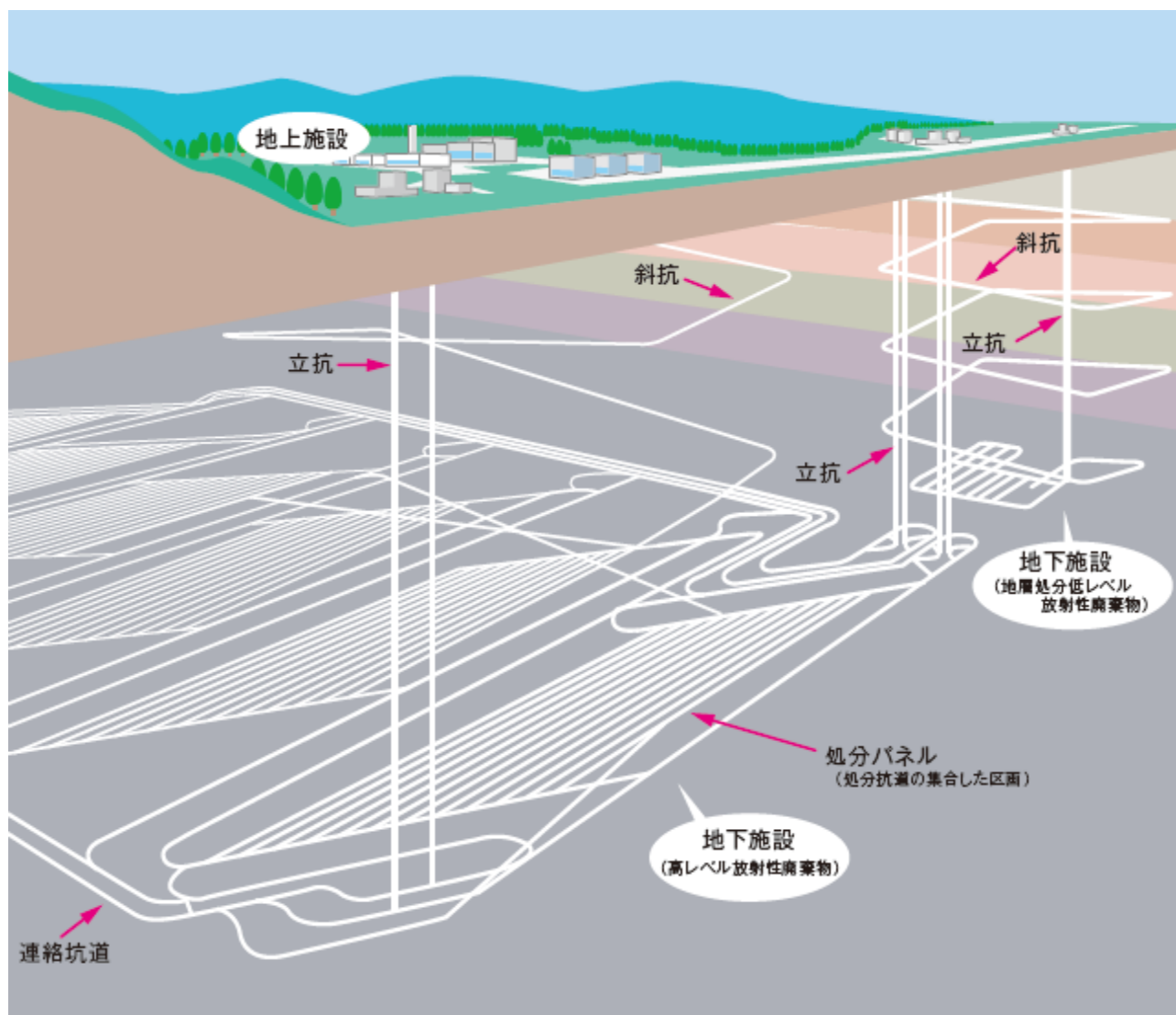


図：岩盤に埋めた状態

(引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

3. 処分施設はどんなところ？

現在考えられている高レベル放射性廃棄物の処分施設は、約 40,000 本のガラス固化体を処分する規模が考えられており、ガラス固化体を受け入れ、ガラス固化体に人工バリアを施す地上施設（1～2 km²）と、ガラス固化体を定置するために必要な、坑道からなる地下施設（6～10 km²）で構成されます。最終的に地下施設は埋め戻され、地上施設は解体される計画です。

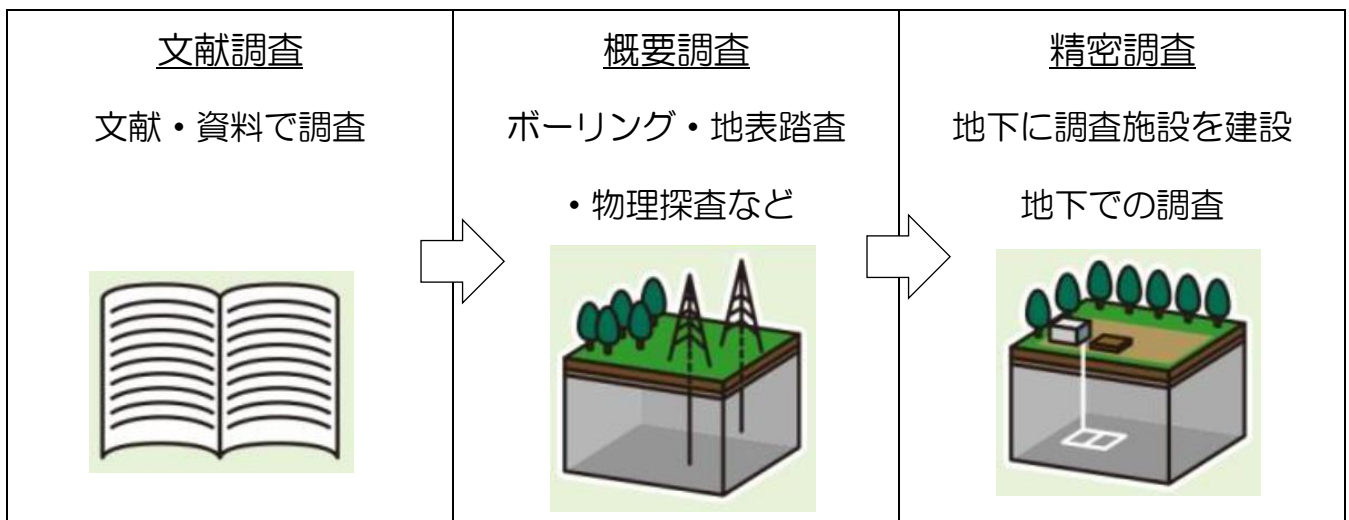


図：処分施設の概要

(引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

4. 処分地はどうやって決めるの？

日本では、処分地を決定するまでに約 20 年間しっかりと調査を行い、3 段階の調査（文献調査、概要調査、精密調査）を踏まえて処分地を決定します。調査開始から処分完了（施設閉鎖）までには、約 100 年以上かかると予想されています。



図：3 段階の調査

（引用：経済産業省「地層処分事業の概要～今改めて考えよう地層処分～」より作成）

日本では現在、岐阜県の瑞浪市と北海道の幌延町に研究施設を作り、高レベル放射性廃棄物を地層処分するための様々な研究をしています。



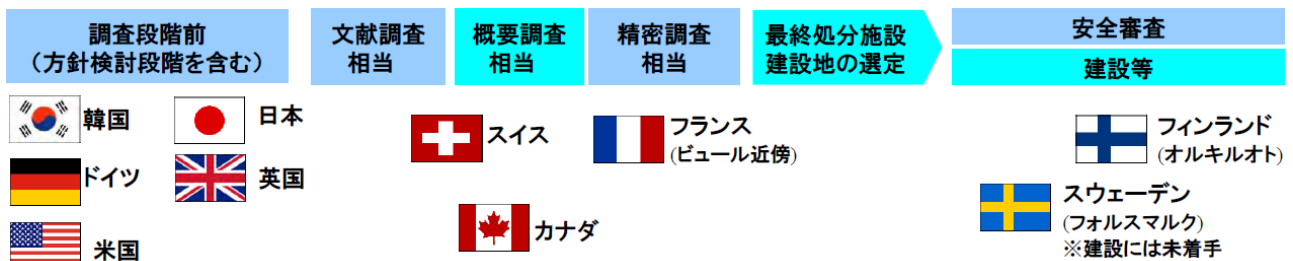
図：岐阜県瑞浪市東濃地科学センター
（提供：独立行政法人日本原子力研究開発機構）



図：地下 500m の様子
（提供：独立行政法人日本原子力研究開発機構）

5. 処分地はもう決まっているの？

日本では 2002 年から、処分地を決めるための調査を受け入れてくれる自治体を公募しています。2007 年に高知県東洋町から 1 度応募がありましたが、その後応募は取り下げとなり、その他の自治体からの応募は 1 件もありません。公募開始から約 15 年経った現在でも、処分地を決めるための調査は 1 度も行われていないのが現状です。また世界でも、今のところ高レベル放射性廃棄物を処分した国はどこにもありません。フィンランドとスウェーデンでは処分地が決定していますが、その他の国は日本と同じような状況です。



図：諸外国の進捗状況

(引用：経済産業省・NUMO「いま改めて考えよう地層処分」)

考えよう：地層処分の方法や今後の計画を知って、あなたは、地層処分を高レベル放射性廃棄物を処分することに賛成ですか。反対ですか。もう一度今の考えを 5 段階で評価して、理由を書こう。(後で同じ質問をします)

(賛成)	1	2	3	4	5	(反対)
理由						

第Ⅲ章 - 2 処分地を決めるときに考えなくてはならないこと

前回は高レベル放射性廃棄物を地層処分で処分することを知り、地層処分の方法について学びました。今回は、高レベル放射性廃棄物の処分地を決めるときに考えなくてはならないことについて学びましょう。

1. はじめに

日本は約 40,000 本のガラス固化体を、地層処分という方法で処分することを法律で決定しています。この法律は 2000 年に制定され、2002 年から国の機関である、原子力発電環境整備機構（NUMO）が、処分地を決定するための調査を受け入れてくれる自治体を探しています。しかし約 15 年経った現在でも、調査を受け入れる自治体は 1 つもなく、調査は全く進んでいません。

考えよう：処分地が全く決まっていない現状を知って、高レベル放射性廃棄物の処分地を決めることについて、あなたはどのように考えますか。今の自分の考えに近いものを選んで、理由を書こう。（後で同じ質問をします）

- ア 決められる大人になりたい
- イ 国がしっかりと決めなければならない
- ウ 決められないのは仕方がない
- エ 私たち自身が考えていかなければならない

理由

考えよう：高レベル放射性廃棄物の処分地を決めるときに、あなたはどのようなことに気をつけなくてはならないと考えますか。

2. 処分地を選ぶときに考えなくてはならないこと

高レベル放射性廃棄物を地層処分する場所を決めるときに、どのような要因を考えなければならないか、現在国が考えているところです。考えなくてはならない要因はたくさん挙げられていますが、その中で、代表的なものを説明します。

(1) 科学的要因

- (a) 地震（活断層）
- (b) 火山
- (c) 隆起・侵食
- (d) 岩盤の固さ
- (e) 地下水の流量

(2) 社会的要因

- (f) 鉱物資源
- (g) 人口密度
- (h) 土地利用
- (i) 港湾からの距離
- (j) 港湾からの輸送方法

(1) 科学的要因

(a) 地震（活断層）

地震は、活断層やプレートの運動によって引き起こされます。地震のゆれに対しては、耐震設計によって地下施設を守ることができます。しかし、地下施設の近くに活断層があると、地下施設を破壊したり、岩盤に亀裂が入ることで地下水の量が増えたり、地下水の流れが速くなる可能性があります。

(b) 火山

地下施設の近くに火山があると、マグマが流入し、放射性物質を含んだマグマが地上に噴出する可能性があります。またマグマの熱によって、ガラス固化体の周りの地温や水温が上昇する可能性があります。

(c) 隆起・侵食

隆起が生じている地域では、隆起した地表面が雨や風、流水によって浸食されます。隆起が著しい地域では、それだけ侵食も著しくなる可能性があり、一度埋めた高レベル放射性廃棄物が地表の近くまで接近する可能性があります。

(d) 岩盤の固さ

岩盤がやわらかいと、強度が小さく、地下施設の建設に影響を及ぼす可能性があります。また、操業中に地下施設の維持・管理が困難になる可能性もあります。

(e) 地下水の流量

地下水がたくさん流れている場所では、万が一人工バリアから放射性物質が漏れ出したときに、放射性物質を広範囲に拡散してしまう可能性があります。

(2) 社会的要因

(f) 鉱物資源

処分地の近くに鉱物資源があると、将来生活する人達が、鉱物資源の調査や採掘で人間が高レベル放射性廃棄物の近くへ行ってしまう可能性があります。

(g) 人口密度

処分地周辺の人口密度が高いほど、事故が起きたときの人的被害が大きくなります。

(h) 土地利用

多くの人が土地の所有権を持っている場所を処分地とする場合には、その人に許可をいただき、移動していただかなければなりません。

(i) 港湾からの距離

使用済燃料は、一度青森県六ヶ所村と茨城県東海村にある再処理工場に運び、再処理しガラス固化体に加工します。その後処分地へと運ばれる計画です。処分地の近くの港湾までは船で運びますが、その後は陸地を運ばなくてはなりません。港湾からの距離が遠くなるほど、輸送中の被ばくリスクが高くなります。

(j) 港湾からの輸送方法

港湾から処分地まで高レベル放射性廃棄物を運ぶ方法は、車両と鉄道の2つがあります。ガラス固化体を一度に輸送する量が少ないほど、ガラス固化体が途中の道路に留まる時間が長くなり、被ばくのリスクは高くなります。一方で一度に輸送する量が多いほど、事故が起きたときの被ばくリスクは高くなります。

輸送方法	ガラス固化体を一度に運搬できる量	輸送中の被ばくリスク	その他
車両	4本	最も高い	道路の補強が必要。
鉄道	28本	中程度	勾配の制限があり、輸送できる範囲が限られる。

(参考：総合資源エネルギー調査会「科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術 WG における中間整理」)

処分地を決めるためには、これだけのことを考える必要があります。次のページから、実際に処分地を決める活動をしてみましょう。

Memo

第Ⅲ章 - 3 処分地を選ぶときにあなたはどの要因を重視しますか

前回は、処分地を決めるときに考えなくてはならないことについて学びました。今回は実際に処分地を決める前に、処分地を選ぶときにあなたがどの要因を重視するか考えてみましょう。

処分地を選ぶときに考える要因はこれら10個の要因がありました。

(1) 科学的要因

- (a)地震(活断層) (b)火山 (c)隆起・侵食 (d)岩盤の固さ
(e)地下水の流量

(2) 社会的要因

- (f)鉱物資源 (g)人口密度 (h)土地利用 (i)港湾からの距離
(j)港湾からの輸送方法

考えよう：5つの科学的要因を、重要だと考える順に並べよう。

1		2	
3		4	
5			

話し合おう

参考になった意見

考えよう：5つの社会的要因を、重要だと考える順に並べよう。

1		2	
3		4	
5			

話し合おう

参考になった意見

考えよう：話し合いを踏まえて、5つの要因をそれぞれ重要だと考える順に並べ、その理由を書こう。

科学的要因

1		2	
3		4	
5			
理由			

社会的要因

1		2	
3		4	
5			
理由			

第Ⅲ章 - 4 処分地を決定しよう

前回は、処分地を決めるときにどの要因を重視するか考えました。今回は、仮定の候補地の中で、あなたならどの候補地を高レベル放射性廃棄物の処分地にするか考えましょう。

日本国内全域を対象として調査を行った結果、7つの場所（A～G）が候補地として挙げられました。あなたなら、どの候補地を処分地にしますか。

表：要因ごとの調査結果

要因	候補地						
	A	B	C	D	E	F	G
(1) 科学的要因							
地震（活断層）	ある	ない	ない	ない	ない	ない	ない
火山	ない	ない	ない	ない	ある	ない	ない
隆起・侵食	少ない	少ない	少ない	多い	少ない	多い	少ない
岩盤の固さ	固い	軟らかい	軟らかい	軟らかい	固い	固い	固い
地下水の流量	少ない	少ない	多い	少ない	少ない	少ない	多い
(2) 社会的要因							
鉱物資源	ある	ない	ない	ある	ない	ある	ある
人口密度	低い	高い	低い	低い	低い	高い	高い
土地利用	農村地域	住宅地	森林	漁村地域	国立公園	市街地	工業地帯
港湾からの距離	近い	遠い	遠い	近い	遠い	近い	近い
港湾からの輸送方法	車両	車両	車両	鉄道	鉄道	車両	鉄道

考えよう：科学的要因から考えて、7つの候補地に順位をつけよう。

1	2	3	4	5	6	7

考えよう：社会的要因から考えて、7つの候補地に順位をつけよう。

1	2	3	4	5	6	7

考えよう：科学的要因と社会的要因の両方から、あなたが最も適していると考え
る処分地を決定しよう。

A ・ B ・ C ・ D ・ E ・ F ・ G
理由

話し合おう

参考になった意見

考えよう：話し合いを踏まえて、改めて、科学的要因と社会的要因の両方から、あなたが一番適していると考える処分地を決定しよう。

A ・ B ・ C ・ D ・ E ・ F ・ G

理由

考えよう：あなたが選んだ候補地は、全ての国民に受け入れられると考えますか。

受け入れられる	・	受け入れられない
理由		

考えよう：あなたが選んだ候補地がもし、あなたが住んでいる地域だったら、あなたは処分施設を建設することを受け入れますか。

(あなたの家は、処分地からは安全な距離だけ離れている場所にあるとします)

受け入れる	・	受け入れない
理由		

第IV章 – 1 私たちのこれからを考えよう

前は、仮想の7つの候補地の中で処分地を選びました。今回は私たちがこの問題とこれからどう向き合っていけばよいのか考えましょう。

1. 処分地を選ぶことについて

考えよう：仮想の候補地の中で処分地を選ぶ活動をして、高レベル放射性廃棄物の処分地を決めることについて、あなたはどのように考えますか。もう一度、今の自分の考えに近いものを選んで、理由を書こう。

- ア 決められる大人になりたい
- イ 国がしっかりと決めなければならない
- ウ 決められないのは仕方がない
- エ 私たち自身が考えていかなければならない

理由

考えよう：上の質問と同じ質問を45ページでもしました。自分の回答を読み比べてみて、自分の考えがどのように変わったのか（変わらなかったのか）整理しよう。また、その理由を書こう。

2. 地層処分について

考えよう：これまでの活動を踏まえて、あなたは、地層処分で高レベル放射性廃棄物を処分することに賛成ですか。反対ですか。もう一度今の考えを5段階で評価して、理由を書こう。

(賛成)	1	2	3	4	5	(反対)
理由						

考えよう：上の質問と同じ質問を37ページと44ページでもしました。自分の回答を比べてみて、自分の考えがどのように変わったのか（変わらなかったのか）整理しよう。また、その理由を書こう。

(賛成)	1	2	3	4	5	(反対)
P.37	•	•	•	•	•	
P.44	•	•	•	•	•	
P.58	•	•	•	•	•	
理由						

3. これからの私たちの生活

高レベル放射性廃棄物の処分地は約 20 年かけてしっかりと調査を行い決定する計画です。また高レベル放射性廃棄物の処分が完了するのは、約 100 年以上先と想定されています。これからの日本を担うあなたたちが大人になった時、きっと様々な場面でこの問題について考え、みんなで話し合い、実際に決定しなくてはならない機会があります。

考えよう：高レベル放射性廃棄物の処分問題を学んで、今後あなたはこの問題とどのように向き合っていきたいですか。

考えよう：そのために、あなたが今できることはどんなことがありますか。

Memo

Memo

Memo

添付資料 2

教師用ワークシート（試作版）

あなたならどうする？

高レベル放射性廃棄物の処分
について考えよう

3年 組 席 班

名前

はじめに

みなさんの生活は電気エネルギーなしでは成立しません。その電気エネルギーは日本全国の発電所で発電され、みなさんの家庭に送り届けられています。電気を作る発電所は、私たちの生活とはとても深い関係のある場所なのです。

現在日本では、原子力発電所で使用した燃料の処分が大きな問題となっています。この問題について学び、今後私たちがどのように向き合っていけばよいかみんなで考えましょう。

第Ⅰ章 電気とエネルギー資源

1. 電気エネルギーについて考えよう・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
2. 放射線について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15

第Ⅱ章 原子力発電所から出る“危険なごみ”

1. 高レベル放射性廃棄物について・・・・・・・・・・・・・・・・・・27
2. 高レベル放射性廃棄物の処分方法を考えよう・・・・・・・・・・33

第Ⅲ章 高レベル放射性廃棄物の処分

1. 地層処分について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・37
2. 処分地を決めるときに考えなくてはならないこと・・・・・・・・45
3. 処分地を決めるときにあなたはどの要因を重視しますか・・・・・・・・51
4. 処分地を決定しよう・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・53

第Ⅳ章 私たちの未来

1. 私たちのこれからを考えよう・・・・・・・・・・・・・・・・・・57

第Ⅰ章 - 1 電気エネルギーについて考えよう

1. 電気エネルギーは私たちの生活でたくさん使われている

物体を動かしたり変形させるなど、物体に対して仕事をする能力をエネルギーといいます。エネルギーには様々な形があります。

考えよう：知っているエネルギーの種類をできるだけ多く挙げよう。

<回答例>

電気エネルギー、化学エネルギー、核エネルギー、光エネルギー
音エネルギー、熱エネルギー、運動エネルギー、位置エネルギー
弾性エネルギー

考えよう：あなたの身のまわりでエネルギーが使われているものは、どのようなものがありますか。上で挙げたエネルギーごとに分けて、できる限り多く挙げよう。

<回答例>

電気エネルギー：テレビ、冷蔵庫、エアコン、洗濯機
化学エネルギー：バッテリー（蓄電池）
光エネルギー：蛍光灯、懐中電灯
音エネルギー：ヘッドフォン、スピーカー
熱エネルギー：電気ポット、IHヒーター

私たちの生活の中では、様々なエネルギーが使われています。これらのエネルギーは互いに変換することができます。

電気エネルギー：電気がもつエネルギー

化学エネルギー：化学変化する物質がもつエネルギー

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

光エネルギー：光がもつエネルギー

音エネルギー：音もつエネルギー

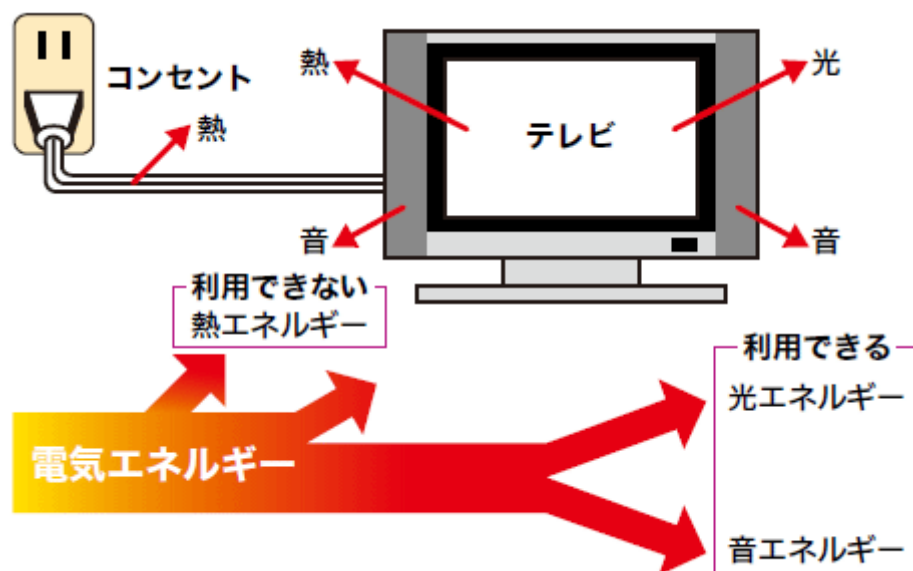
熱エネルギー：熱がもつエネルギー

運動エネルギー：運動している物体がもつエネルギー

位置エネルギー：高いところにある物体がもっているエネルギー

弾性エネルギー：変形したゴムやバネがもつエネルギー

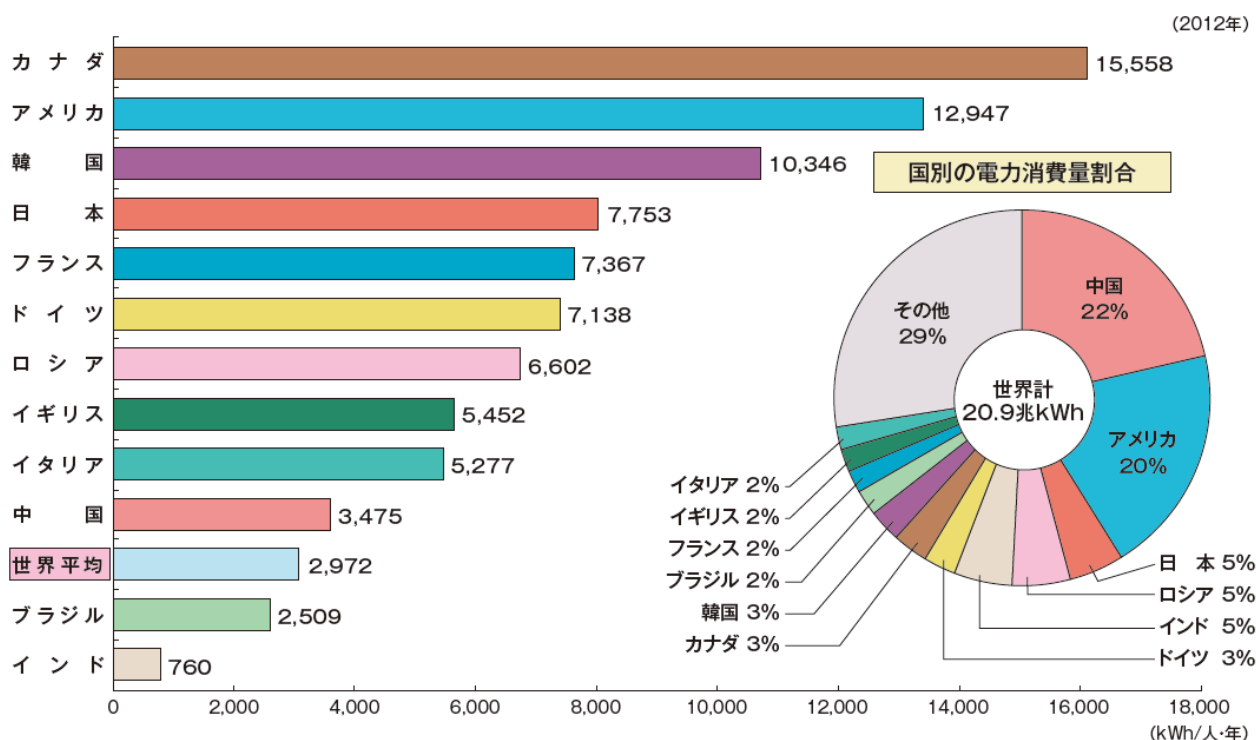
これらのエネルギーは互いに変換することができます。しかし、エネルギーを変換するときには完全に保存されるのではなく、いくらかのロスを伴います。



図：電気エネルギーの変換例
(引用：経済産業省「かがやけ！みんなのエネルギー」)

2. 日本は電気エネルギーをどのように作り出しているの？

私たちはとても多くの電気エネルギーを使用しています。日本は、カナダ、アメリカ、韓国に次いで、世界で4番目に一人当たりの電力消費量が多い国です。また、日本の電力消費量は世界平均の約2.6倍です。



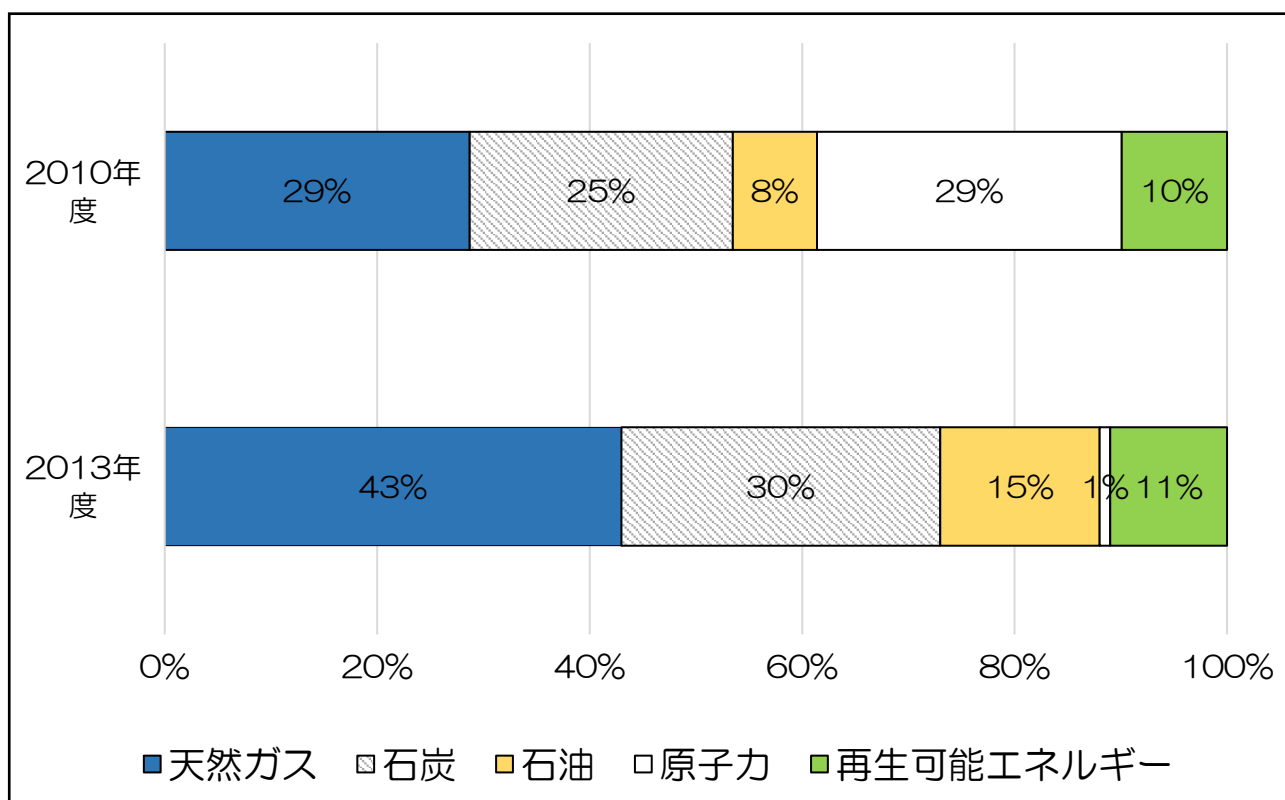
図：主要国の一人当たりの電力消費量

(引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

考えよう：日本はどのような方法で、またどのようなエネルギー資源を利用して発電しているのでしょうか。知っている方法をできるだけ多く挙げてみよう。

発電方法	利用するエネルギー資源
<回答例>	
火力発電	石炭、石油、天然ガス
原子力発電	核燃料（ウラン）
水力発電	水（水がもつ位置エネルギー）
太陽光発電	太陽光

日本では化石燃料（石油、石炭、天然ガス）やウラン、再生可能エネルギー（水、風、太陽光、バイオマス、地熱など）のエネルギー資源を利用して発電をしています。しかし、これらのエネルギー資源はどれを取っても万能なものではありません。それぞれにメリットとデメリットがあります。たくさんの電気エネルギーを安定して作り出すために、実は、日本は様々なエネルギー資源と発電方法を組み合わせて発電を行っているのです。



図：日本の発電方法の組み合わせの割合

（参考：経済産業省「長期エネルギー需給見通し」、電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」）

それぞれの発電方法のメリットとデメリットを理解するためには、どのように電気エネルギーを作り出しているのかをまずは深く知らなくてはなりません。次のページから、どのようにして電気エネルギーを作り出しているのか学びましょう。

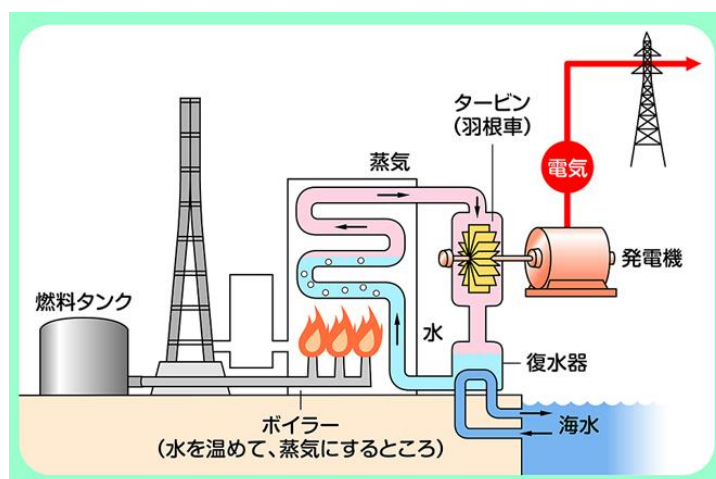
3. 様々なエネルギーを変換して発電している

5ページで学習したように、たくさんの電気エネルギーを安定して作り出すために日本は様々なエネルギー資源と発電方法を組み合わせて発電を行っています。火力発電、原子力発電、水力発電、太陽光発電、風力発電の5つの発電方法について、発電の仕組みを学びましょう。

問題 5つの発電方法のそれぞれの説明の下にある（ ）の中に、発電の流れに沿って電気エネルギーがどのようにして作られるのか、エネルギーの変換の流れを書いてみよう。

① 火力発電

石油・石炭や天然ガスを燃やして、水を水蒸気にします。この水蒸気のでタービンを回転させて、つながっている発電機で電気エネルギーを作ります。

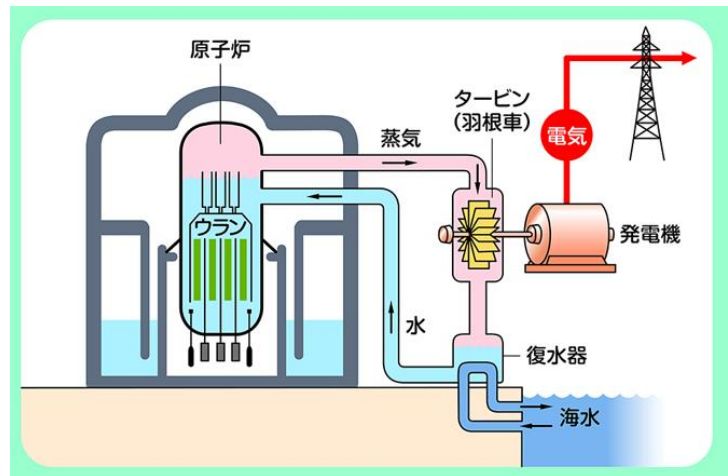


図：火力発電（資料提供：中部電力）

（ 化学 ）エネルギー → （ 熱 ）エネルギー →
→ （ 運動 ）エネルギー → 電気エネルギー

② 原子力発電

ウランなどの核燃料を使い、核分裂という反応で得られる熱を利用して、水を水蒸気にします。この水蒸気のカでタービンを回転させて、つながっている発電機で電気エネルギーを作ります。

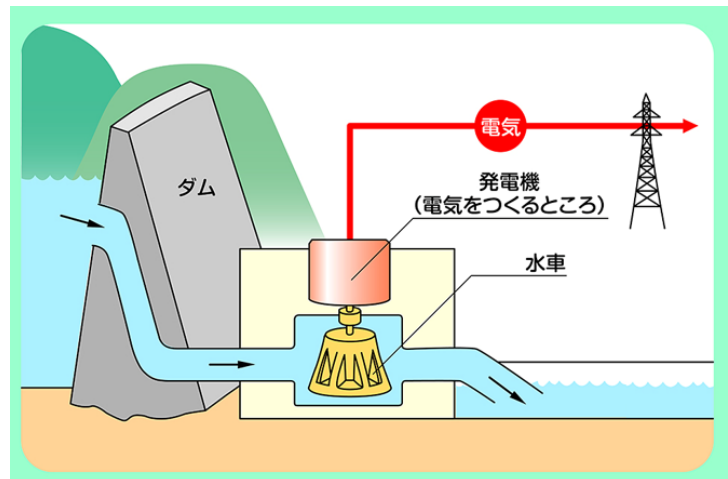


図：原子力発電（資料提供：中部電力）

（ 核 ）エネルギー → （ 熱 ）エネルギー →
→ （ 運動 ）エネルギー → 電気エネルギー

③ 水力発電

高い位置から低い位置へと水を勢いよく流して水車を回し、つながっている発電機で電気エネルギーを作ります。

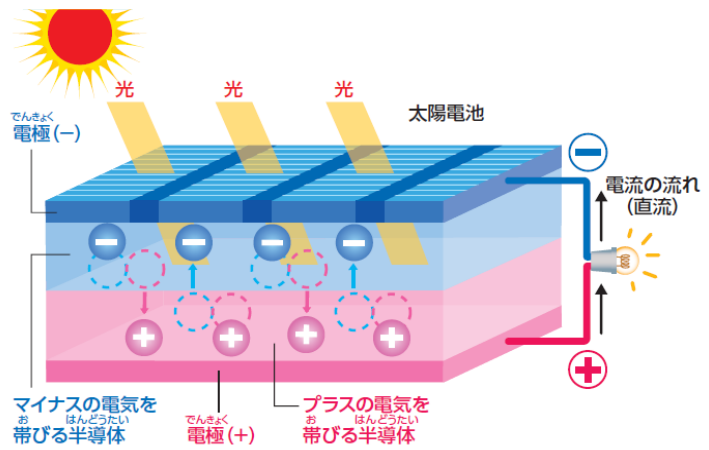


図：水力発電（資料提供：中部電力）

（ 位置 ）エネルギー → （ 運動 ）エネルギー →
→ 電気エネルギー

④ 太陽光発電

太陽電池に太陽の光が照射されると、太陽電池の中のマイナスの電気を帯びる半導体が移動します。これにより電気エネルギーが生じます。

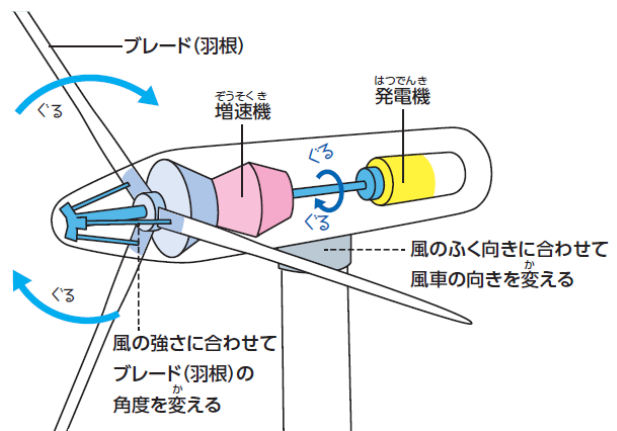


図：太陽光発電（資料提供：中部電力）

(光) エネルギー → 電気エネルギー

⑤ 風力発電

ブレード（羽根）に風が当たると、ブレードが回転し、その回転が増速機に伝わります。増速機でギアを使って回転数を増やし、回転速度を速めます。そして、つながっている発電機で電気エネルギーを作ります。



図：風力発電（資料提供：中部電力）

(運動) エネルギー → 電気エネルギー

Memo

4. 各発電方法のメリットとデメリット

日本では、様々なエネルギー資源と発電方法を組み合わせて発電をしています。それぞれの発電方法にはメリットとデメリットがあり、どの発電方法も完璧なものではありません。

考えよう：各発電方法のメリットとデメリットを書き出してみよう。

発電方法	資源	メリット	デメリット
火力発電	石油 石炭 天然ガス		
原子力発電	ウラン		
水力発電	水		
風力発電	風		
太陽光発電	太陽光		

これらの発電方法にはそれぞれメリットもデメリットもたくさんあります。それぞれの発電方法のメリットとデメリットをしっかりと理解することが大切です。次のページからは、発電によるさまざまな問題について学びましょう。

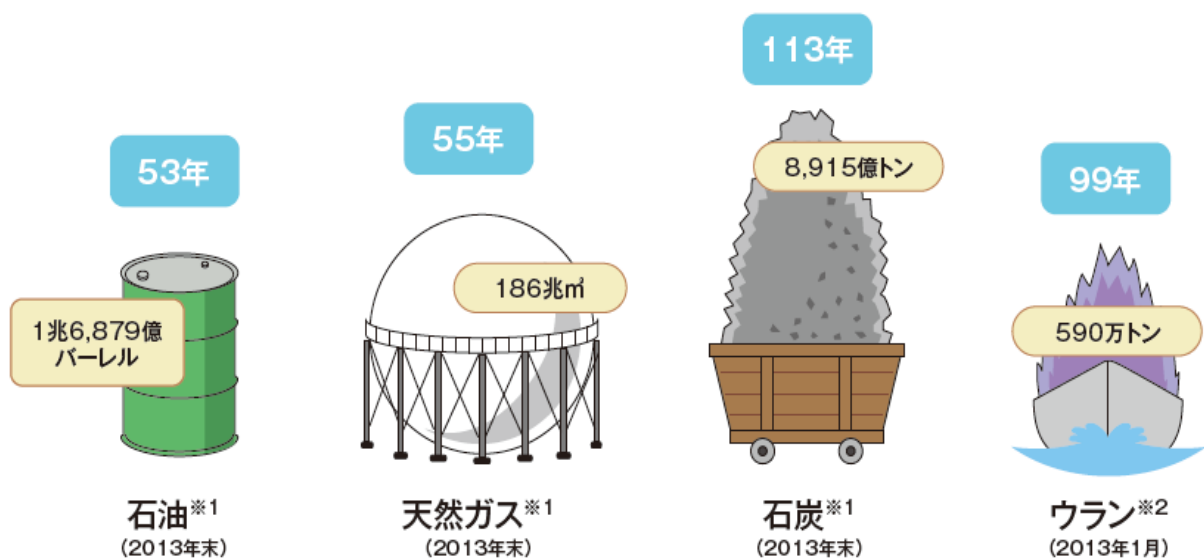
表：各発電方法のメリットとデメリット

発電方法	資源	メリット	デメリット
火力発電	石油 石炭 天然ガス	<ul style="list-style-type: none"> • たくさんの電気を安定して発電することができる。 • 発電量を調整しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> • 燃料のほとんどを輸入に頼っている。 • 化石燃料には限りがある。 • 発電時に二酸化炭素などが出る。
原子力発電	ウラン	<ul style="list-style-type: none"> • 少ない燃料でたくさんの電気を安定して発電できる。 • 発電時に二酸化炭素を出さない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 事故発生時の影響が大きい。 • 放射性廃棄物の適切な処理、処分が必要。
水力発電	水	<ul style="list-style-type: none"> • 水の落下によるエネルギーを利用するため、なくなる心配が無く、繰り返し使うことができる。 • 発電時に二酸化炭素を出さない。 • 発電量を調整しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> • 雨の量などの自然条件によって、発電できる電気の量が左右される。 • 日本には大きな河川も少なく、今後、大きなダムを作ることが難しい。また、ダムを作ることによって生態系のバランスが崩れる恐れがある。
風力発電	風	<ul style="list-style-type: none"> • 自然のエネルギーを利用するため、なくなる心配が無く、繰り返し使うことができる。 • 風さえあれば、夜間でも発電できる。 • 発電時に二酸化炭素を出さない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 風の向きや強さに発電量が左右されるので、安定した発電ができない。 • 常に安定した風が必要なので、設置場所が限られる。 • ブレード（羽根）が回転するときに、騒音や振動が発生する。
太陽光発電	太陽光	<ul style="list-style-type: none"> • 自然のエネルギーを利用するため、なくなる心配が無く、繰り返し使うことができる。 • 発電時に二酸化炭素を出さない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 天候に左右されるので、作る電気が安定しない。 • たくさん発電するためには、広い土地が必要。

(参考：経産省資源エネルギー庁HP「なっとく！再生可能エネルギー」、中部電力提供資料)

5. エネルギー資源には限りがある

石油・石炭・天然ガスといった化石燃料や、ウランなどのエネルギー資源は決して無限にあるわけではありません。火力発電に使う化石燃料も、原子力発電に使うウランも、近い将来使い切ってしまうと予測されています。今後も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工夫し、エネルギーの節減につとめなければなりません。



(注) 可採年数=確認可採埋蔵量/年間生産量
ウランの確認可採埋蔵量は費用130ドル/kgU未満

図：エネルギー資源の確認埋蔵量と可採年数（2013年の予測）

（引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」）

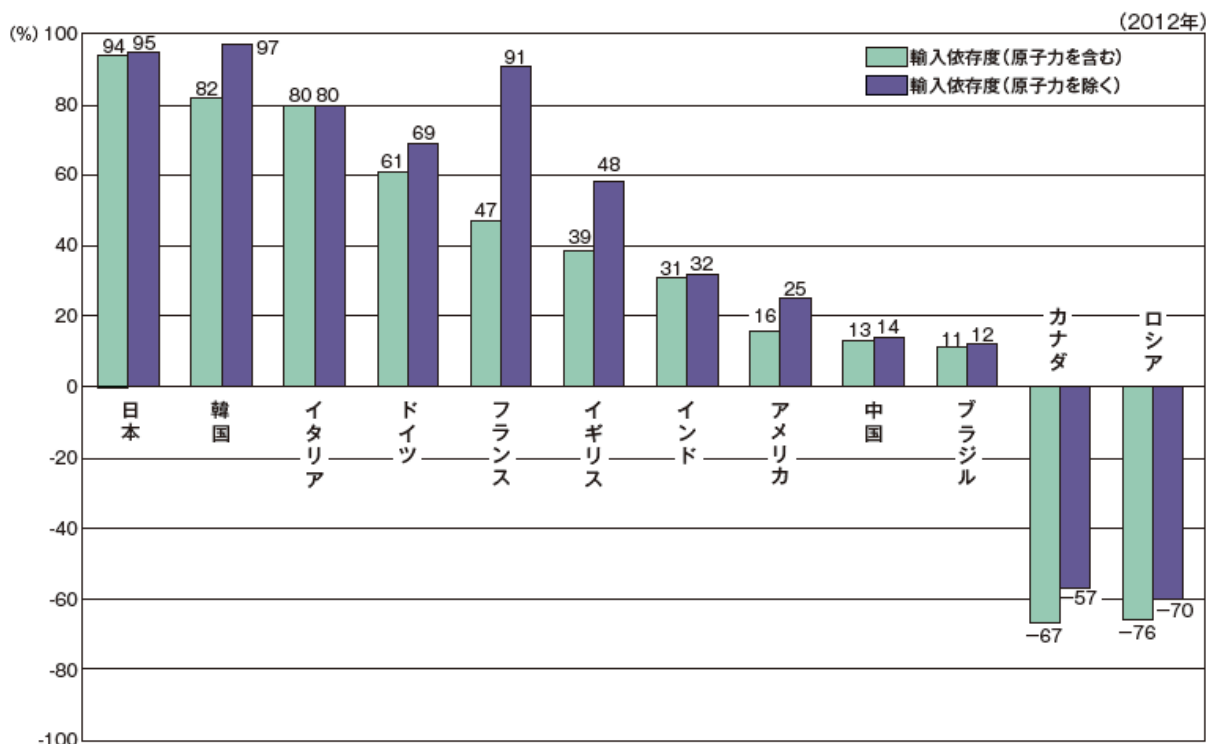
考えよう：1つのエネルギー資源に頼った発電（例：石油を用いた火力発電のみを大量に行う）を行うと、どのようなリスクがあるでしょうか。

<回答例>

- そのエネルギー資源が無くなったときに発電ができなくなる。
- 電気料金の変動が大きくなる。
- 火力発電の場合、多量の二酸化炭素を排出してしまう。
- 電力需要の変化に対応できなくなる。（時間によっては電気が不足する。）

6. 一つのエネルギー資源に頼った発電はリスクが大きい

2014年現在、日本では総発電量の約90%を火力発電が占めています。火力発電で使用する化石燃料には限りがあり、発電時に二酸化炭素などを出すため環境にも良くありません。また、日本はエネルギー資源のほとんどを海外から輸入しているため、一つのエネルギー資源のみに頼ってしまうと、輸入が止まった時に発電ができず、私たちの生活に大きな影響をあたえます。そのような事態を避けるために、様々なエネルギー資源と発電方法を組み合わせて電気を作っています。今後どのような割合で発電していくか、現在国が考えているところです。



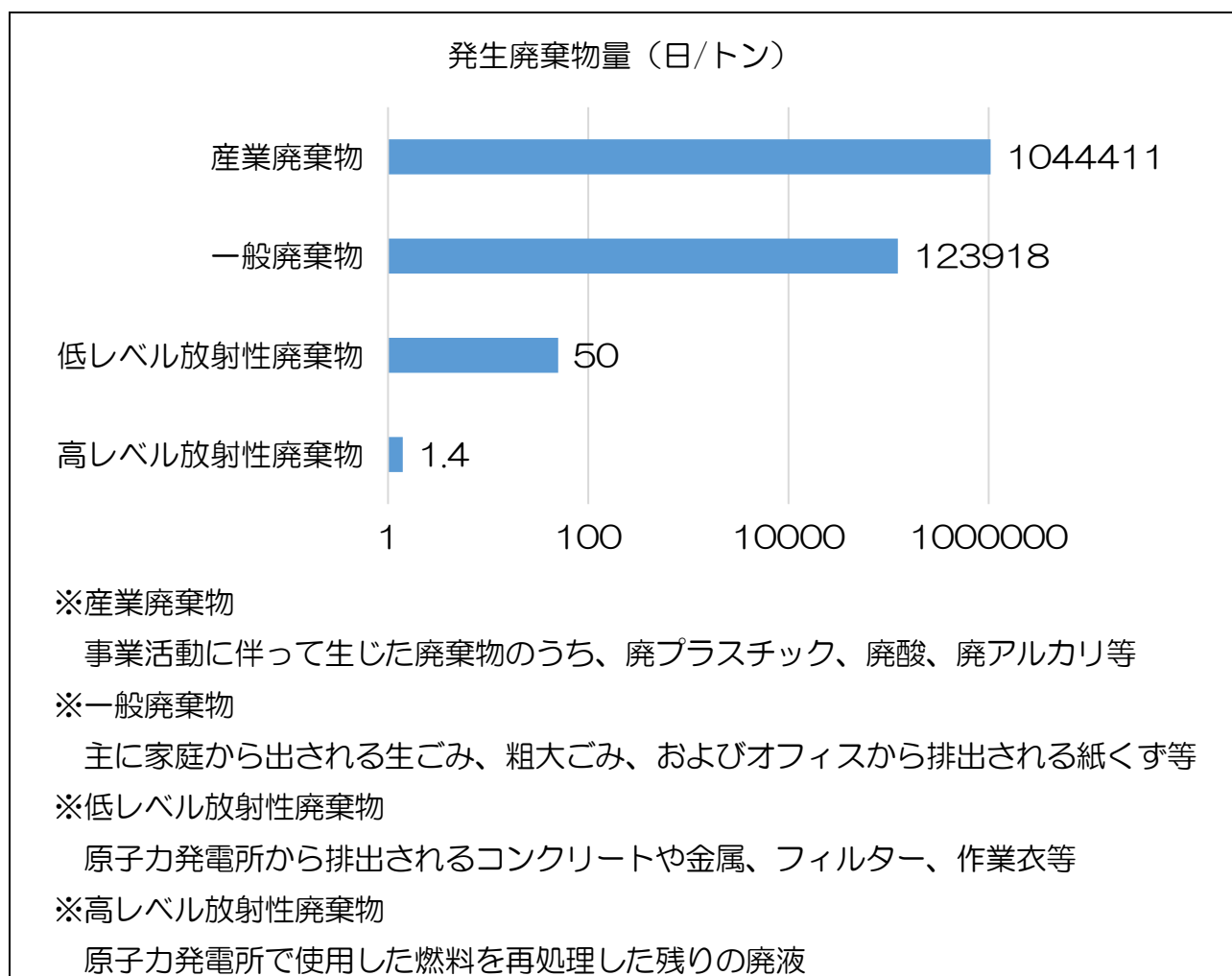
(注) 下向きのグラフは輸出していることを表す

図：主要国のエネルギー輸入依存度

(引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

7. 電気を作ることでごみが出る

火力発電所や原子力発電所では、電気を作ることでごみが出ます。火力発電では、二酸化炭素・石炭灰・硫黄酸化物や窒素酸化物、原子力発電では、作業衣などの消耗品や使い終わった燃料を再処理した残りがごみとして出ます。



図：1日あたりの発生廃棄物量

（参考：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」）

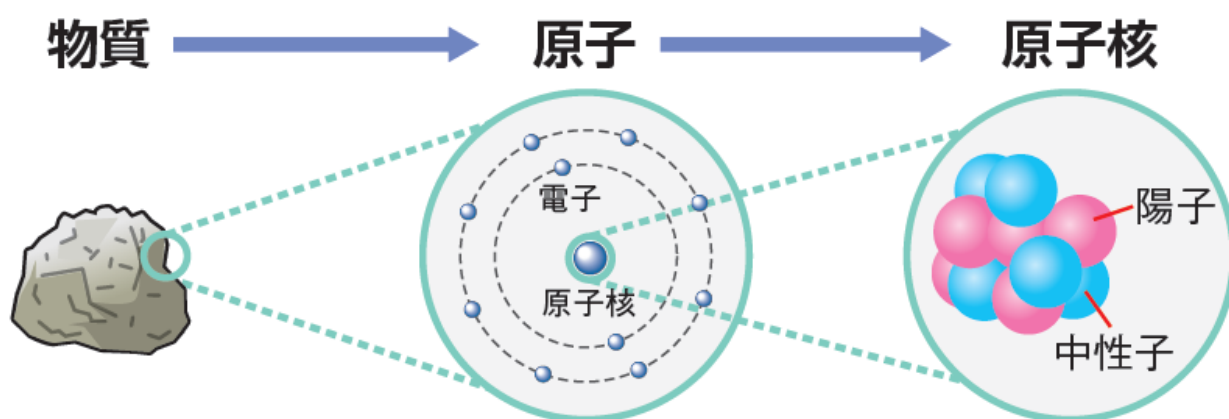
原子力発電所から出るごみの量は他のごみと比べると少ないですが、とても危険なため、簡単に処分することはできません。それは、原子力発電所から出るごみは“放射線”を出すからです。このごみの処分が現在大きな問題になっています。このごみについて学ぶ前に、まずは“放射線”について次のページから学びましょう。

第I章 - 2 放射線について

前回は、日本がどのようにして電気エネルギーを作っているのか、また発電による様々な問題について学びました。今回は、原子力発電所から出る危険なごみについて学ぶために、まずは“放射線”について学びましょう。

1. おさらい（物質について）

私たちの身の回りにある全てのものは、その材料に注目するとき、それを物質といいます。物質は小さな粒子がたくさん集まってできており、この粒子をさらに分けると、それ以上分けられない、さらに小さな粒（原子）が結びついてできていることが分かっています。原子は、原子核とそのまわりを動く電子に分けることができ、原子核はさらに陽子と中性子に分けられます。この陽子の数によって原子の性質が決まります。

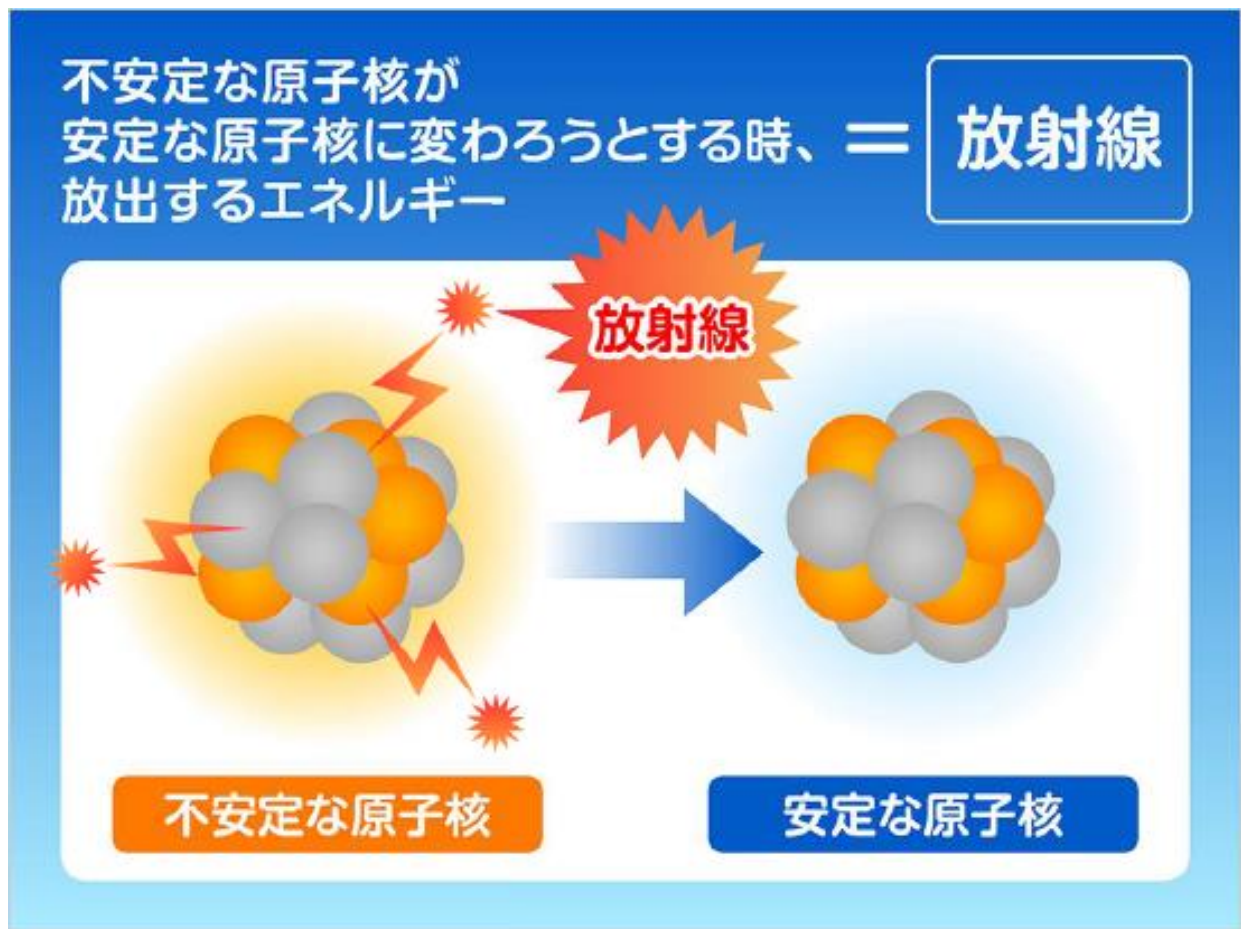


(引用：文部科学省「中学生・高校生のための放射線副読本」)

原子はとても小さく、一番小さな原子である水素原子は、直径が1cmの1億分の1程度しかありません。また、同じ種類の原子でも原子核中の中性子の数が異なるものがあります。これらを同位体といいます。安定な原子核と不安定な原子核があり、不安定な原子核は時間が経過すると安定な原子核に変わろうとします。

2. 放射線ってなに？

放射線は、不安定な原子核が安定な原子核に変わろうとするとときに放出する、非常に高いエネルギーを持った高速の粒子や電磁波のことを指します。放射線には、 α （アルファ）線、 β （ベータ）線、 γ （ガンマ）線、X線、中性子線など多くの種類があります。

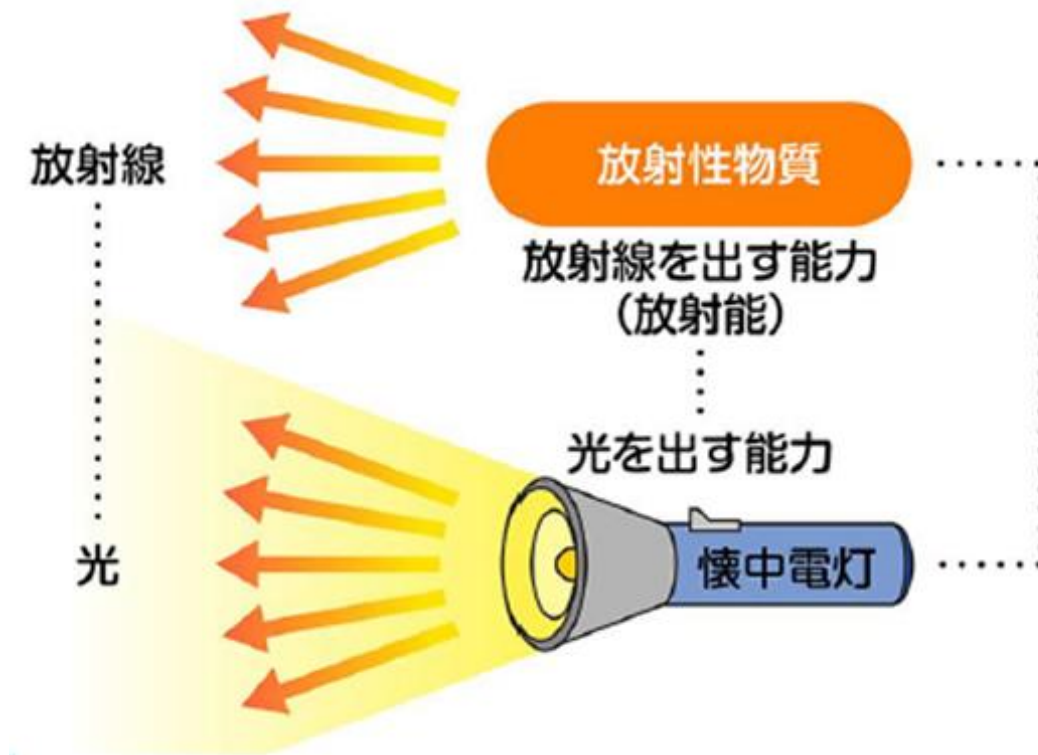


(資料提供：中部電力)

種類	特性
α 線	原子核から放出される粒子（ヘリウム原子核）
β 線	原子核から放出される電子
γ 線	原子核から放出される電磁波
中性子線	原子核から放出される中性子

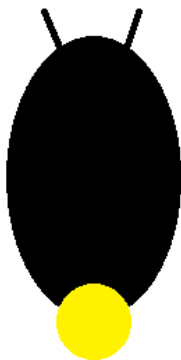
3. 放射線に関連することば

放射線を出す物質のことを**放射性物質**といいます。この放射性物質から放出される、非常に高いエネルギーを持った高速の粒子や電磁波のことを**放射線**といいます。さらに、放射性物質が放射線を出す能力を**放射能**といいます。これらの言葉は懐中電灯に置き換えて考えると分かりやすいです。



(資料提供：中部電力)

問題 次の図は、放射線に関連することばについて、ホタルやホタルの光に例えて表したものです。空欄に当てはまる語句を書こう。



ホタル = (**放射性物質**)

ホタルの光 = (**放射線**)

ホタルが光を出す能力 = (**放射能**)

4. 放射線に関連する単位

放射線の単位には、放射線を出す側に注目した単位（Bq）と、放射線を受ける側に注目した単位（Sv、Gy）があります。

Bq（ベクレル）…放射性物質が1秒間に放射線を出す能力
 Sv（シーベルト）…放射線が人体に与える影響
 Gy（グレイ）…吸収した放射線のエネルギーの総量



（資料提供：中部電力）

問題 次の図は、放射線に関連する単位について、雨に例えて表したものです。空欄に当てはまる語句を書こう。



①雨の強さ

_____ ベクレル

②カサや人を濡らした雨の量

_____ グレイ

③人が雨に濡れたことによる健康影響

_____ シーベルト

（引用：ETT「ETTが考えた放射線のテキスト」）

5. 身のまわりにも放射線は存在する

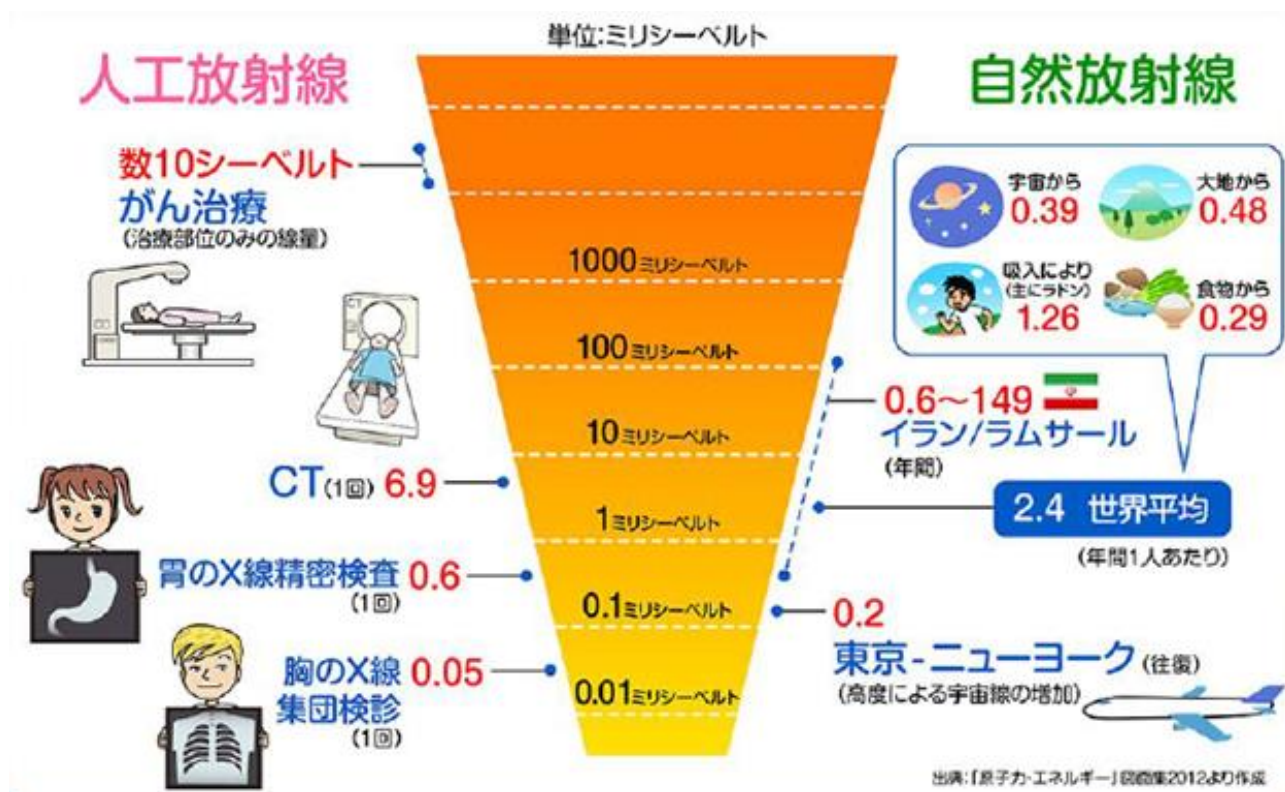
放射線は特別なもののように思われるかもしれませんが、私たちの身のまわりに常にあります。私たちは、毎日わずかな放射線を浴びながら生活しているのです。私たちが受けている放射線は、自然放射線と人工放射線に分けることができます。



(引用：ETT「ETTが考えた放射線のテキスト」)

自然放射線…自然界（宇宙、大地、食べ物、空気）から受ける放射線

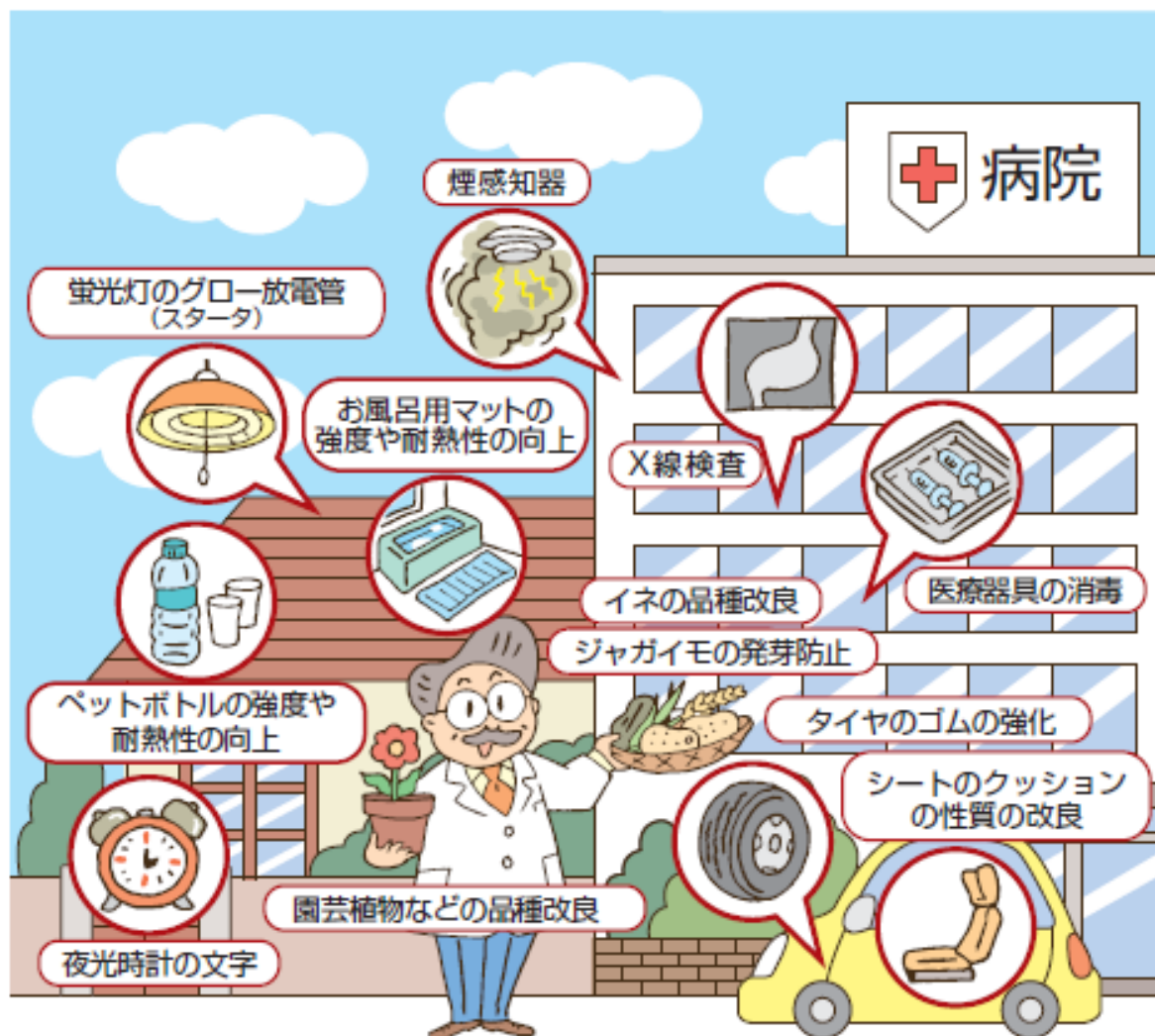
人工放射線…医療（レントゲン撮影、がん治療）などで受ける放射線



(資料提供：中部電力)

6. 放射線は様々な場面で利用されている

放射線は様々な性質を持っており、有益であることから、工業分野、医療分野、農業分野など、様々な分野で利用されています。



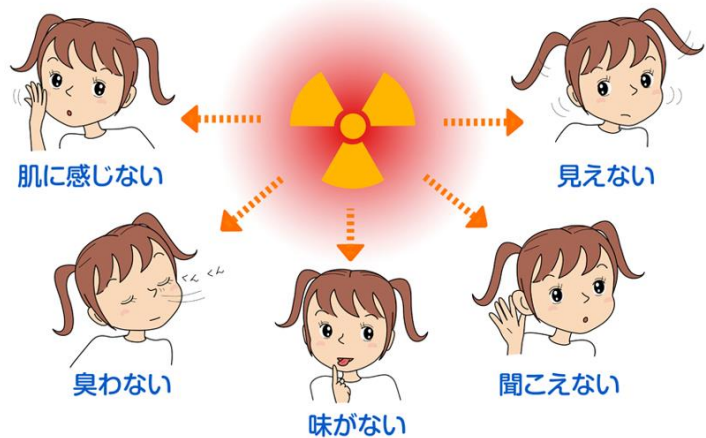
(引用：原子力発電環境整備機構「地層処分 その安全性」)

しかし一方では、放射線を人体が浴びることで、人体に影響を及ぼす恐れもあります。このような有用性と危険性をどちらも持った放射線を利用するためには、放射線についてしっかりと理解しなくてはなりません。放射線の性質や危険性について、次のページから学びましょう。

7. 放射線の性質

①放射線は五感で感じることができない

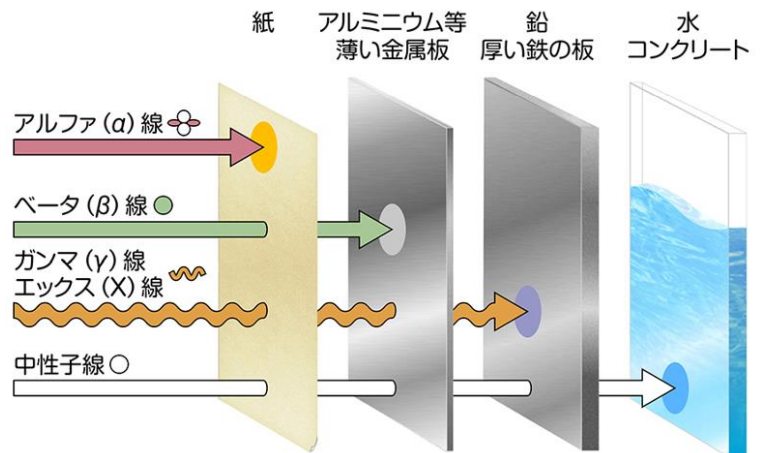
放射線は五感で感じることができないため、飛んでいても気づくことはありません。



(資料提供：中部電力)

②放射線は物質を通り抜ける

放射線が物質を通り抜ける力は、放射線の種類によって異なります。しかし、水やコンクリートを使えば、放射線を完全に止めることができます。



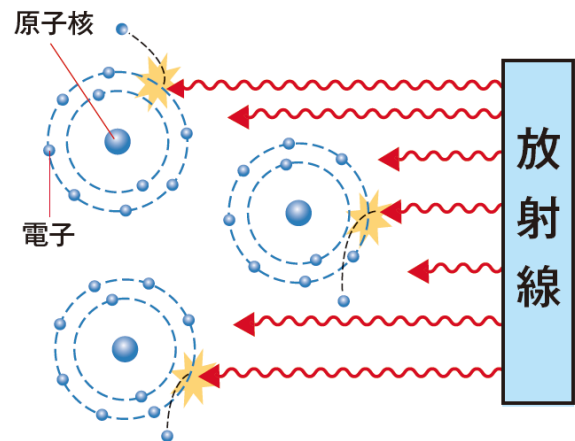
(資料提供：中部電力)

問題 α 線、 β 線、 γ 線・X線、中性子線について、放射線を止めるものには○を、そうでないものには×をつけよう。

	紙	薄い金属板	厚い金属板	水・コンクリート
α 線	○	○	○	○
β 線	×	○	○	○
γ 線・X線	×	×	○	○
中性子線	×	×	×	○

③物質の分子の形や性質を変える

放射線が物質を通過するとき、放射線のエネルギーが電子をはじき出す働きがあります。電子がはじき出されると、物質の分子の形や性質は変わってしまいます。

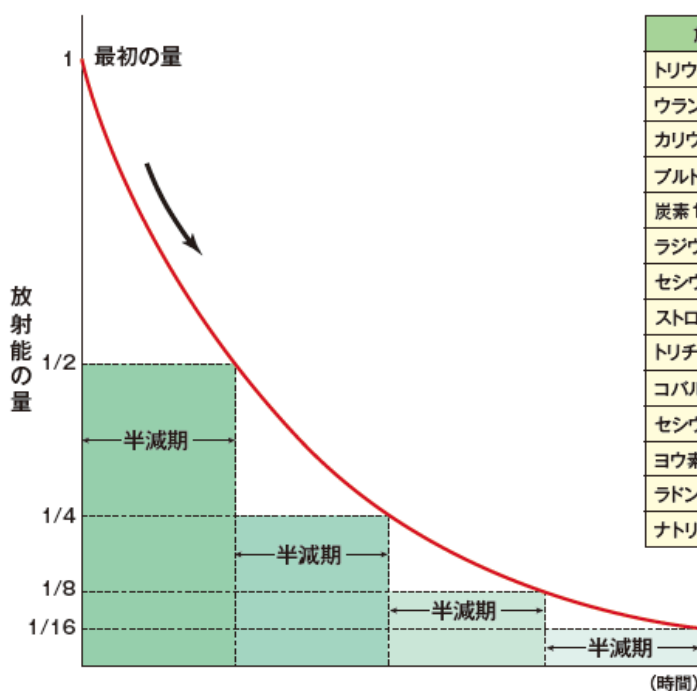


(資料提供：中部電力)

④放射能は時間が経つと小さくなる

放射性物質は放射線を出しながら、時間の経過とともに放射線を出さない安定した物質に変わっていきます。放射能の量の減り方には規則性があり、一定の時間が経過すると放射能の量が半減します。この時間を半減期といいます。

半減期が短い物質 = 短時間に大量の放射線を出す物質
 半減期が長い物質 = 長時間少しずつ放射線を出す物質



放射性物質	放出される放射線*	半減期
トリウム232	α ・ β ・ γ	141億年
ウラン238	α ・ β ・ γ	45億年
カリウム40	β ・ γ	13億年
プルトニウム239	α ・ γ	2.4万年
炭素14	β	5,700年
ラジウム226	α ・ γ	1,600年
セシウム137	β ・ γ	30年
ストロンチウム90	β	28.8年
トリチウム	β	12.3年
コバルト60	β ・ γ	5.3年
セシウム134	β ・ γ	2.1年
ヨウ素131	β ・ γ	8日
ラドン222	α ・ γ	3.8日
ナトリウム24	β ・ γ	15時間

*壊変生成物(原子核が放射線を出して別の原子核になったもの)からの放射線も含む

(引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

問題 以下の半減期の異なる2種類の放射性物質について、初めの放射能の量を1としたとき、放射能の量が1/2、1/4、1/8、1/16に減衰するのに要する時間を計算しよう。

	1/2	1/4	1/8	1/16
セシウム 137 (半減期 30 年)	30 年	60 年	90 年	120 年
計算				
ヨウ素 131 (半減期 8 日)	8 日	16 日	24 日	32 日
計算				

これらの性質を活かして、放射線は様々な場面で利用されています。しかし一方では、事故などにより、放射性物質や放射線が漏れることで人体に影響を及ぼすことがあります。

問題 人間の体は、約 60%が水で構成されています。人間が吸収する放射線を選んで丸をつけよう。

α 線

β 線

γ 線

X線

中性子線

8. 人間の体は放射線を受け止めやすい

人間の体は約60%が水で構成されています。また、水は α 線、 β 線、 γ 線、 X 線、中性子線を全て吸収します。そのため、人間の体は放射線を吸収しやすいといえます。人体が放射線を受けることを被ばくといいます。体の外にある放射性物質から人体が放射線を受けることを、外部被ばくといいます。また呼吸や飲食により、体内に取り込んだ放射性物質から人体が放射線を受けることを、内部被ばくといいます。

同じ放射線の量であれば

自然放射線が人体に与える影響 = 人工放射線が人体に与える影響

内部被ばくによる影響 = 外部被ばくによる影響

外部被ばく
体の外にある放射性物質から出る放射線を受けること

内部被ばく
呼吸や飲食により体内に取り込んだ放射性物質から放射線を受けること

放射性物質

放射性物質

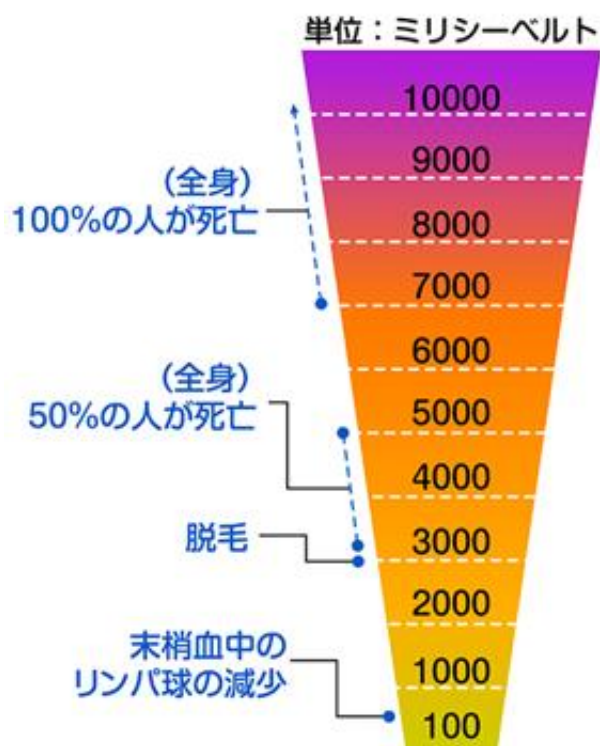
同じ放射線の量であれば、人体に与える影響も同じ

(資料提供：中部電力)

9. 放射線の人体への影響

これまでの研究や調査から、たくさんの放射線を一度に被ばくすると、人体に様々な影響が出ることが確認されています。

やけどなどの障害…皮膚が一度にたくさんの放射線を受けると、毛が抜けたり、皮膚にやけどをおうような障害が生じる。
がん…放射線によって傷つけられたDNAが、まちがって修復されて、その細胞が増えたものががんになる。



一度に多量に被ばくすると、
人体への影響がでます

100ミリシーベルト未満では
人体への影響があるかどうか
確認されていません

出典：「原子力・エネルギー」図面集2012より作成

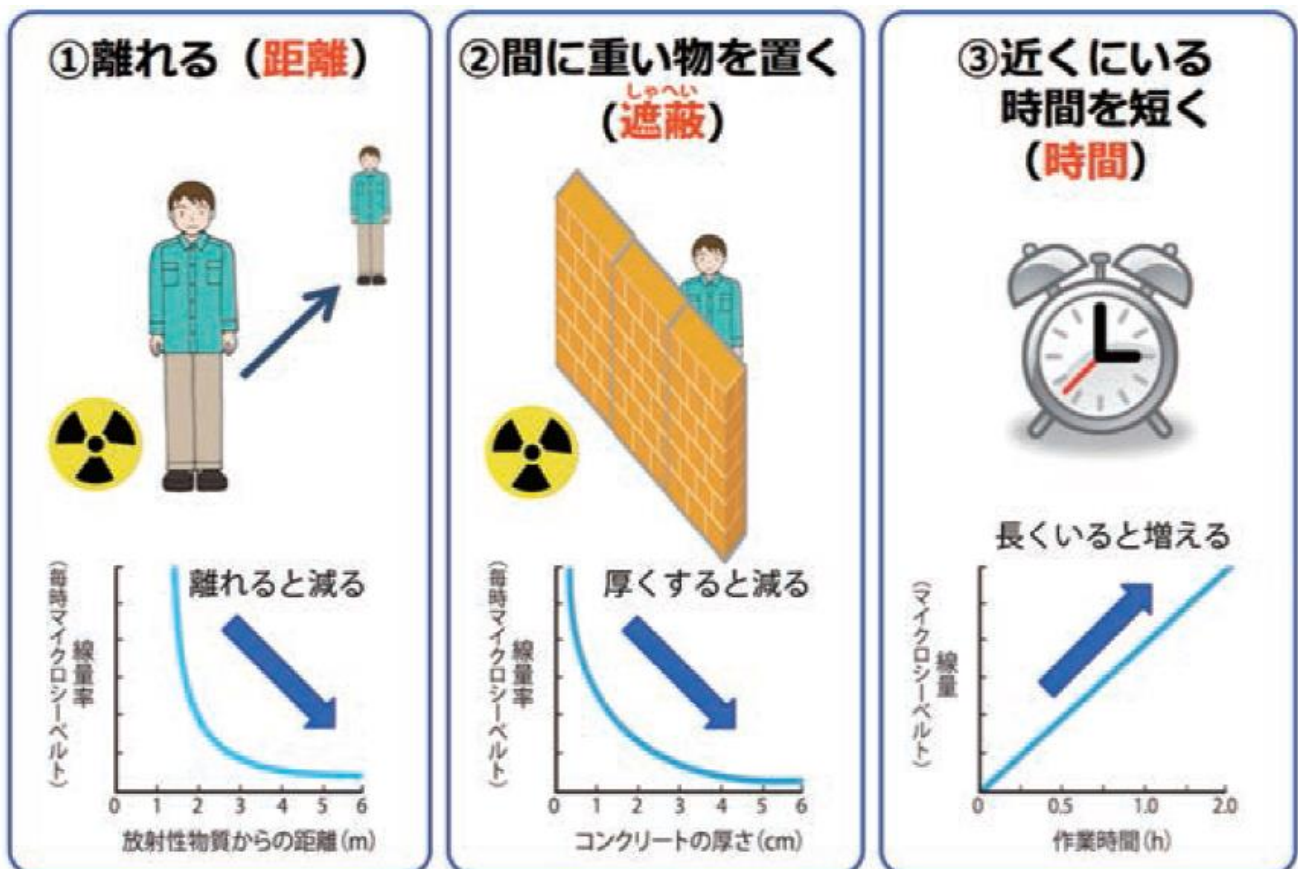
(資料提供：中部電力)

10. 放射線から身を守る

人間の体は放射線を吸収しやすいため、放射線に対しては無防備であるといえます。しかし放射線を使うことは、被ばくによるリスクを伴います。そのため、被ばくによるリスクを少なくするために、放射線から身を守る必要があります。また原子力発電所で事故が発生すると、放射性物質や放射線が漏れ出す恐れがあり、正しい対応をする必要があります。

外部からの放射線から身を守るには、以下の3つの方法があります。

- ① 放射性物質から離れる
- ② 放射線をさえぎる（コンクリートなどの建物の中に入る）
- ③ 放射線を受ける時間を短くする



(引用：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料」)

第Ⅱ章 - 1 高レベル放射性廃棄物について

前回は、放射線について学びました。今回は、現在その処分が問題になっている、原子力発電所が出る危険な“放射線を出す”ごみについて学びましょう。

1. 原子力発電の燃料

原子力発電では、ウラン（元素記号U）という鉱物を加工したものを燃料として使います。ウランを加工して燃料ペレットを作ります。この燃料ペレットを、金属の筒の中に詰め込み、燃料棒を作ります。原子力発電では燃料棒をまとめたもの（燃料集合体）を使って発電しています。



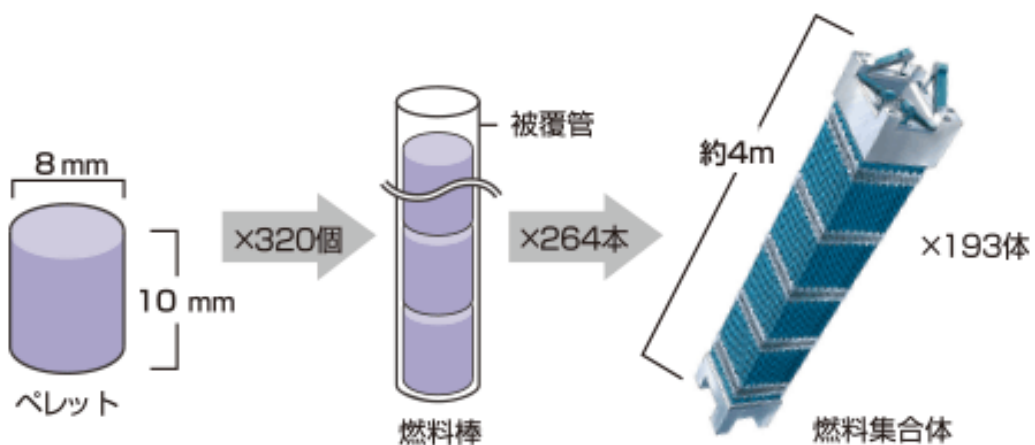
写真：ウラン鉱石

（画像提供：日本原燃㈱）



写真：燃料ペレット（原寸大）

（画像提供：日本原燃㈱）



図：燃料棒と燃料集合体

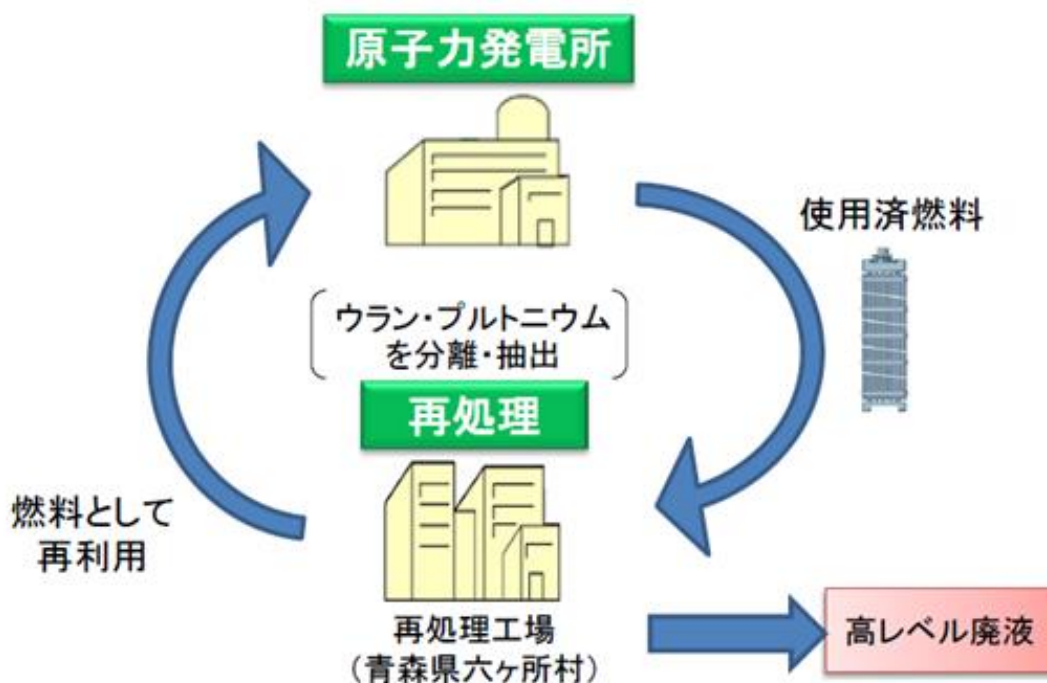
（引用：関西電力 HP「原子力発電の概要」）

http://www.kepco.co.jp/energy_supply/energy/nuclear_power/shikumi/kakubunretsu.html

2. 使用済み燃料の5%は再利用できません

原子力発電で使われた核燃料（使用済み燃料）は再処理工場へ運ばれ、溶かした後、再利用できるものと再利用できないものに分けられます。

使用済み燃料の約95%は再び原子力発電で燃料として使うことができますが、残りの約5%は再利用できません。この再利用できないものは液体で、強い放射線を出すためとても危険です。この廃液を高レベル廃液といいます。とても強い放射線を出すため、普通のごみと同じように処分することはできません。特別な処分が必要です。



図：使用済み燃料の再処理

(引用：経済産業省「高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた新たな取り組み」)

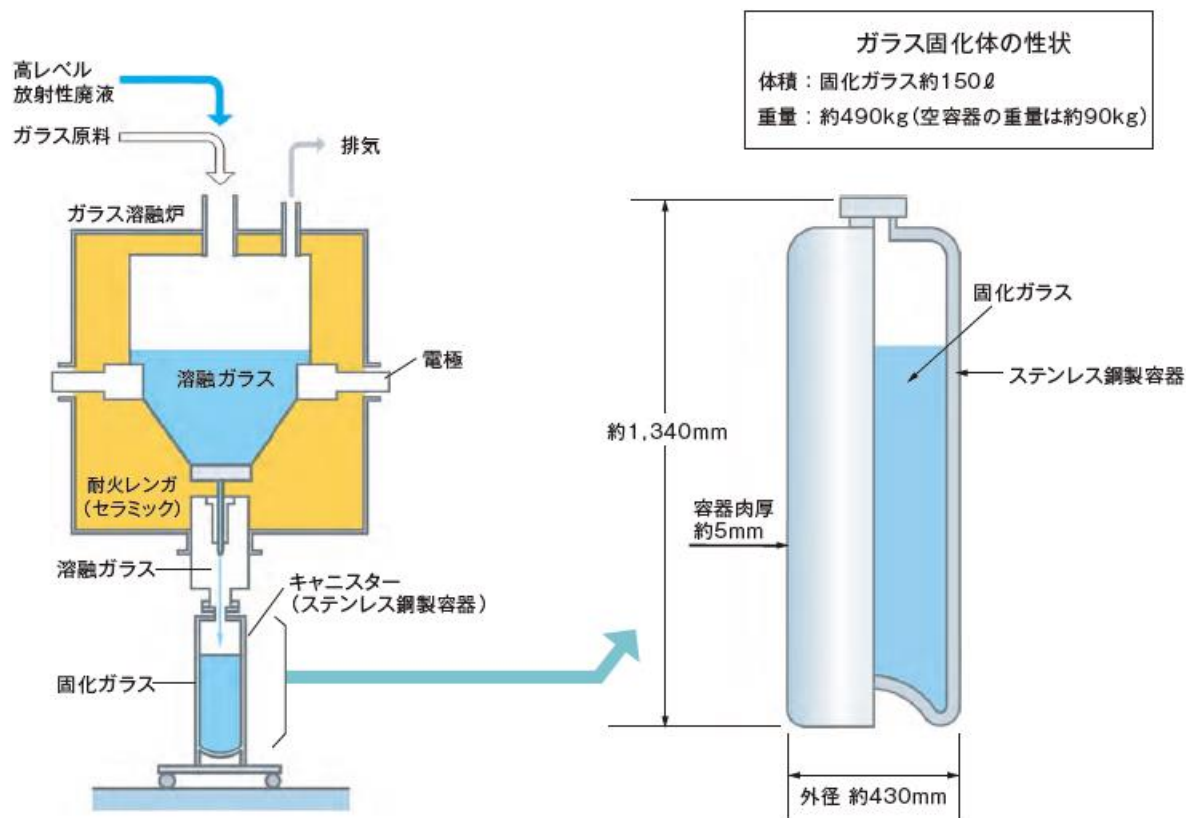
考えよう：使用済み燃料を再処理した時に残る非常に危険な廃液(高レベル廃液)を、あなたならどのように処分しますか。

<回答例>

海に流す、コンクリートで固める、容器に入れて管理する、水で薄める、土に埋める、宇宙に捨てる、薬を使って無害化する

3. 危険な廃液は“ガラス”と混ぜ合わせて処分します

日本では、高レベル廃液を溶かしたガラスと混ぜ合わせ、ステンレス製の容器の中で冷やし固めた状態で処分します。これをガラス固化体といいます。ガラスには、高レベル廃液をきちんと取り込んでくれる性質があり、長い期間水に溶けにくく、安定した状態を保つことができます。そのためガラスが選ばれました。

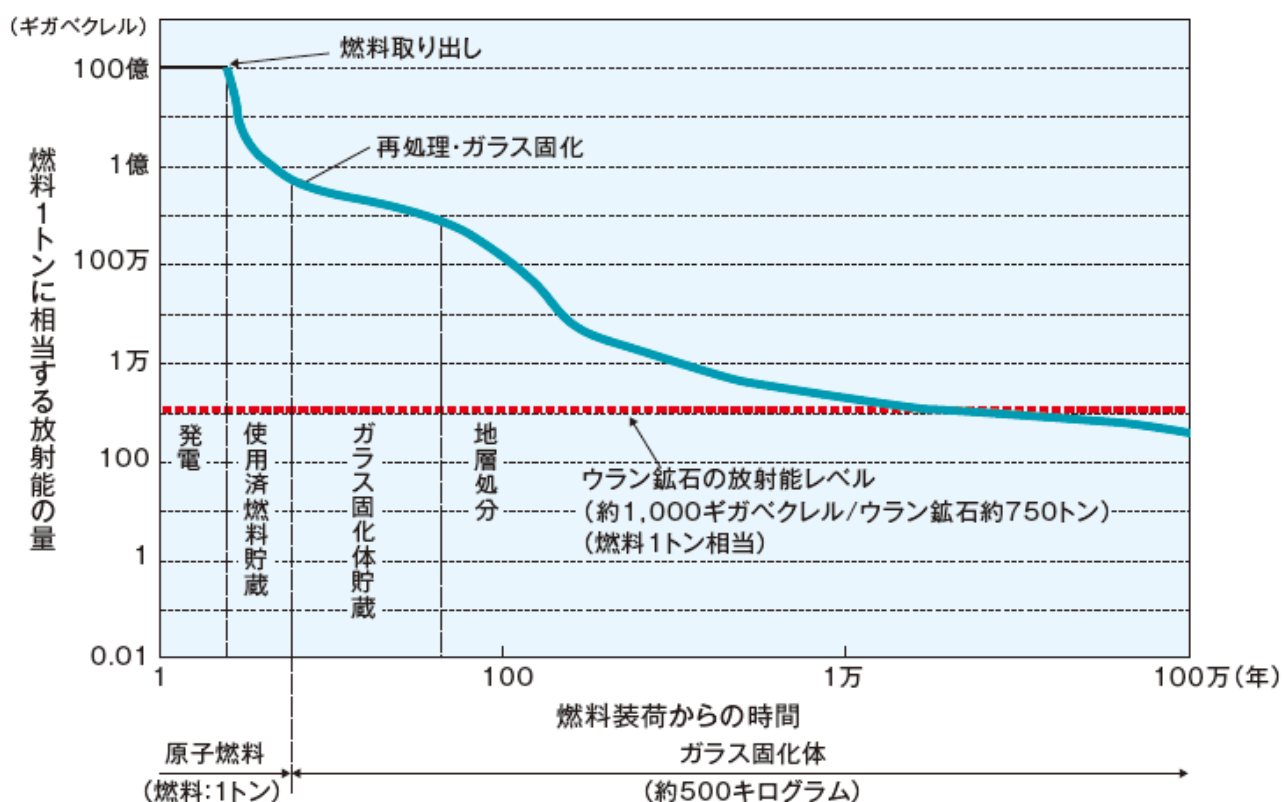


図：ガラス固化体の製造過程

(引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

4. ガラス固化体は安全になるために非常に長い期間が必要です

ガラス固化体は、完成時の表面温度が非常に高温（200℃以上）で、強い放射線を出すため非常に危険です。しかし、時間が経つにつれてゆっくりと温度が下がり、放射能も弱くなっていきます。しかし安全なレベルになるまでには、数万年という非常に長い時間を要します。



図：ガラス固化体の放射能の変化

(引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

5. このごみを“高レベル放射性廃棄物”といいます

高レベル廃液とガラス固化体を、高レベル放射性廃棄物といいます。海外では、使用済燃料を再処理せずに処分する国もあり、そのような国では、使用済燃料も高レベル放射性廃棄物と呼んでいます。

6. 高レベル放射性廃棄物はどれくらいあるの？

2016年3月末現在、日本には2,300本のガラス固化体があり、青森県六ヶ所村に2,044本、茨城県東海村に256本貯蔵されています。また約17,000トンの使用済燃料が再処理工場や全国の原子力発電所に貯蔵されており、これらを再処理し廃液をガラス固化体にする、今ある分と合わせて約25,000本になります。これは現在までに発電した分のガラス固化体であり、今後も原子力発電を行えば更にガラス固化体の量は増えます。将来的には、平成30年の段階で約40,000本のガラス固化体を処分しなくてはならなくなると予測されています。



写真：使用済燃料の貯蔵施設

(画像提供：日本原燃株)



写真：ガラス固化体の貯蔵施設

(画像提供：日本原燃株)

青森県六ヶ所村にあるガラス固化体の貯蔵施設では、2,044本のガラス固化体が貯蔵されています。しかしこの施設の貯蔵容量は2,880本しかありません。今後全てのガラス固化体を保管するためには、さらに多くの貯蔵施設を建設する必要があります。またガラス固化体が安全なレベルになるまで、人間が数万年という非常に長い期間管理し続けなければなりません。

考えよう：現在、ガラス固化体は人間の生活環境の中で管理（地上管理）されています。あなたなら、今後も地上管理を続けますか。それとも、人間の生活環境の外に処分（隔離処分）しますか。

自分の考えを書こう

地上管理	・	隔離処分
理由		

話し合おう

参考になった意見

改めて自分の考えを書こう

地上管理	・	隔離処分
理由		

第Ⅱ章 - 2 高レベル放射性廃棄物の処分方法を考えよう

前回は、高レベル放射性廃棄物について学び、ガラス固化体を人間の生活環境の中で管理（地上管理）し続けるか、人間の生活環境の外に処分（隔離処分）するかを考えました。

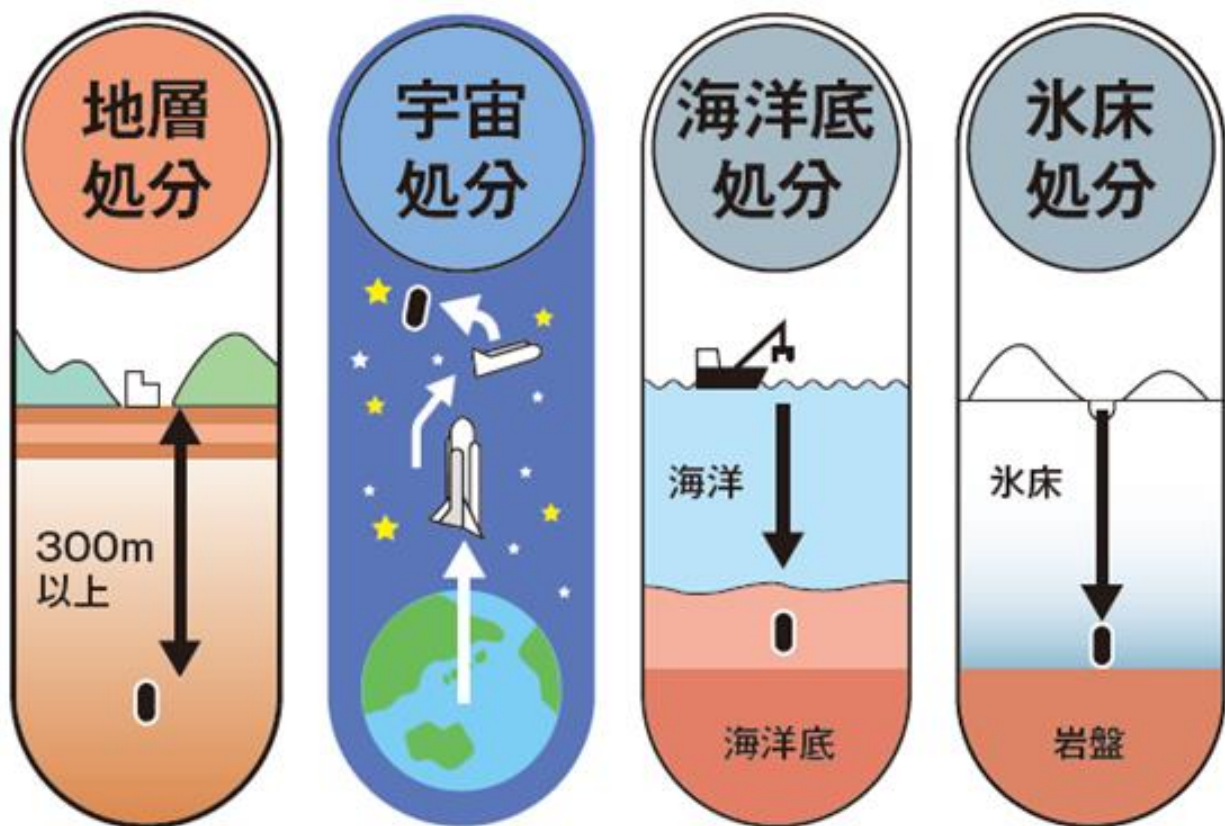
実は世界は、ガラス固化体を人間の生活環境の外に処分（隔離処分）する方針で進んでいます。世界中で隔離処分方法が話し合われた結果、これら4つの方法が考えられました。

地層処分：地面の深いところに埋める。

宇宙処分：ロケットなどを使って地球の外に飛ばす。

海洋底処分：海底の下に埋める。

氷床処分：南極の氷の下に埋める。



図：考えられた隔離処分方法

(出典：電気事業連合会 (2015)「原子力・エネルギー図面集 2015」, 8-3-6 より作成)

考えよう：それぞれの処分方法のメリットとデメリットを挙げよう。

処分方法	メリット	デメリット
地層処分	<ul style="list-style-type: none"> • 埋めることで、放射線の放出を抑えることができる。 • 地下深くは地上に比べて地震の影響が小さい • 長期間安定して保管することができる。 • 酸素が少ないので腐食の心配が小さい。 • 地上に放射線が出る心配がほとんどない。 • 将来掘り起こして、更に良い方法で処分することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> • 地面の中に生息する微生物などに悪影響を及ぼす。 • 地震や火山の被害を受ける。 • 隆起によって一度埋めたガラス固化体が、地表に表れる可能性がある。 • 放射性物質が漏れ出すと、地下水によって広範囲に拡散される。 • 将来の世代が、その土地を掘り起こしてしまうかもしれない。 • 地上の面積には限りがある。 • 土地の所有者の許可が必要である。
宇宙処分	<ul style="list-style-type: none"> • 4つの方法の中で、最も人間の生活環境から離れた位置に処分できる。 • 人間は2度と関わらなくて済む。 • 地球に放射線が届く可能性は低い。 • 空間がたくさんある。 • 他の方法と比べて、地震や津波などの自然災害の影響を受けるリスクがない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 莫大な費用がかかる。 • 一度にたくさんのガラス固化体を運ぶことができないので時間がかかる。 • ロケットの打ち上げが失敗したときの被害が大きい。 • 宇宙に危険なごみが増えることになり、今後宇宙に人間が行けなくなる可能性がある。 • 他の惑星や人口衛星に衝突する可能性がある。
海洋底処分	<ul style="list-style-type: none"> • 周囲が水なので、放射線を遮蔽することができる。 • 放射線は水に遮蔽されるため、地上に放射線が出る心配がほとんどない。 • 陸地と比べると、処分できる面積がとても広い。 	<ul style="list-style-type: none"> • 放射性物質が漏れ出すと、海水によって広範囲に拡散される。 • 海の生態系に悪影響を及ぼす可能性がある。 • 汚染された生物（魚など）を人間が食べることで、内部被ばくする恐れがある。 • 領海以外の場所に埋める場合には、国際的な承認が必要。 • 問題が起きたときに、すぐに対応できない。
氷床処分	<ul style="list-style-type: none"> • 近くに人がほとんどいないため、即座に人的被害が出ることはない。 • 住んでいる人がいないので、比較的合意は得やすい。 • 温度が低いので、ガラス固化体を冷却することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> • 南極に住む生物の生態系に悪影響を及ぼす。 • 南極まで運ばなければならない。 • 温暖化により南極の氷が溶けると、ガラス固化体が出てくる可能性がある。 • 放射性物質が漏れ出すと、海水によって広範囲に拡散される。 • 寒い地域での作業は困難。 • 問題が起きたときに、すぐに対応できない。

考えよう：あなたならどの処分方法を選びますか。

地層処分 ・ 宇宙処分 ・ 海洋底処分 ・ 氷床処分

理由

話し合おう

参考になった意見

考えよう：改めて処分方法を決定しよう。

地層処分 • 宇宙処分 • 海洋底処分 • 氷床処分
理由

考えよう：世界で考えられた 4 つの隔離処分方法以外に、もっといい方法はないでしょうか。よりよい処分方法を考えよう。

<回答例>

- 地球以外の惑星に埋める。
- 地球以外の惑星に施設を作り、そこで保管する。
- 一定期間経過してから処分する。
- 宇宙エレベーターを用いて宇宙に処分する。
- 高レベル放射性廃棄物を無害化する薬品を開発する。
- 高レベル放射性廃棄物を有効活用する方法を開発する。

第Ⅲ章 - 1 地層処分について

1. 日本の方針

前回は、高レベル放射性廃棄物の隔離処分方法を考えました。実は、人間が管理をしなくてもよく、人間や地球環境に最も影響を与えない処分方法であるという理由から、日本は、地下 300m より深くの岩盤に埋める“地層処分”という方法で処分することを 2000 年に決定しました。世界には地層処分を高レベル放射性廃棄物を処分する方針の国がたくさんあります。

地層処分以外の処分方法が採用されなかった理由

宇宙処分…打ち上げ技術の安全性に問題がある。(成功率 90%)

海洋底処分…放射性物質が漏れ出したときの影響が大きい。

また、ロンドン条約によって禁止されている。

氷床処分…氷床の特性解明が不十分。また南極条約によって禁止されている。

考えよう：あなたは、地層処分を高レベル放射性廃棄物を処分することに賛成ですか。反対ですか。今の考えを 5 段階で評価して、理由を書こう。

(後で同じ質問をします)

(賛成)	1	2	3	4	5	(反対)
理由						

2. ガラス固化体をそのまま地中に埋めるの？

ガラス固化体は、完成時の温度が 200℃以上ととても高く、非常に強い放射線を出すため、すぐに地下深くに埋めることはできません。

考えよう：ガラス固化体をそのまま埋めると、どのような危険性（リスク）があると思いますか。

<回答例>

- 放射線や放射性物質が外に漏れ出し、地下水が汚染される。
- 周囲の地温が高くなる。
- ガラス固化体のステンレス容器が錆びる。

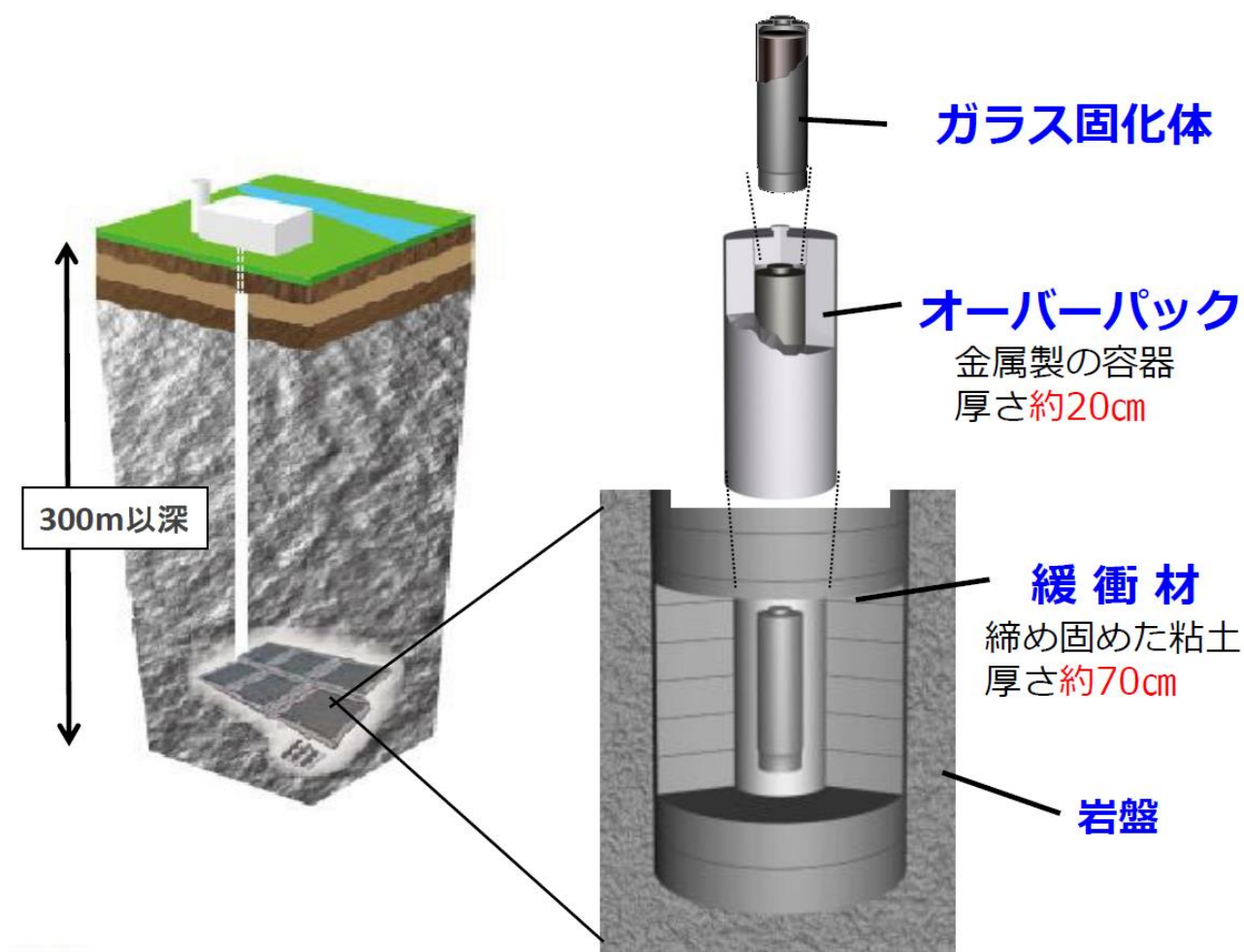
考えよう：ガラス固化体を安全に地層処分するために、どんな良い方法があるでしょうか。

<回答例>

- ガラス固化体をコンクリートで固める。
- 何重ものバリアをまわりに作る。
- なるべく深い位置に埋める。
- 間隔を十分にとって埋める。
- ガラス固化体の周りに水を流す。

ガラス固化体をそのまま埋めると、放射線が周囲に漏れたり、侵食によって放射性物質が漏れ出し、地下水によって広範囲に拡散される恐れがあります。

そのため、ガラス固化体を完成してすぐに地層処分するのではなく、地上の施設で 30～50 年貯蔵管理し、ガラス固化体の温度と放射能の量がある程度下がってから埋めることにしています。しかし、30～50 年経過してもガラス固化体はまだ危険です。そこでガラス固化体を、金属製の容器（オーバーパック）、緩衝材（粘土）、地下深くの岩盤でしっかりと守り、安全に処分します。これを**多重バリアシステム**といいます。



図：多重バリアシステム

(引用：原子力発電環境整備機構「いま改めて考えよう地層処分」)

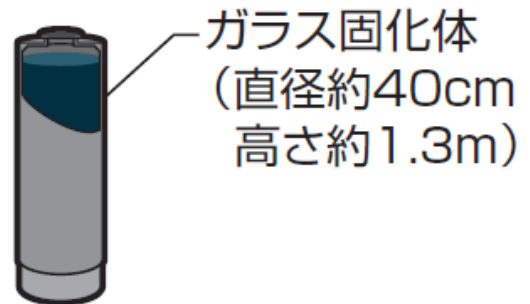
多重バリアシステム

人工バリア… ①ガラス ②金属製の容器 ③緩衝材（粘土）

天然バリア… ④地下深くの岩盤

① ガラス

高レベル廃液を溶かしたガラスと混ぜ合わせ、ステンレス容器の中で冷やし固めます。ガラスは放射性物質を包み込む性質があるので、ガラスと放射性物質は一体化し、ガラスが割れても放射性物質はすぐには溶け出しません。

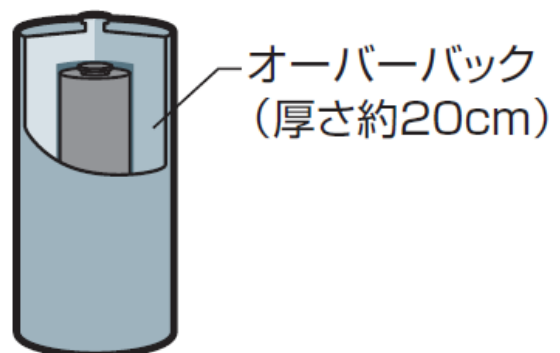


図：ガラス固化体

(引用：原子力発電環境整備機構「地層処分 その安全性」)

② 金属製の容器（オーバーパック）

次に、ガラス固化体をオーバーパックと呼ばれる金属の容器の中に入れます。オーバーパックは、ガラス固化体の放射能が急激に下がる約 1000 年間、ガラス固化体に地下水が接触するのをシャ断する役割があります。

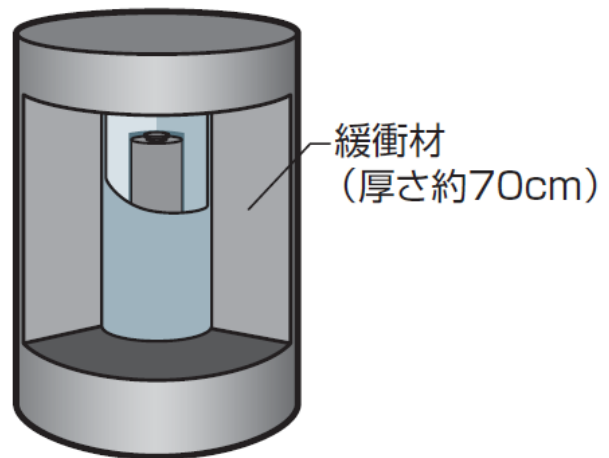


図：オーバーパック

(引用：原子力発電環境整備機構「地層処分 その安全性」)

③ 緩衝材（粘土）

オーバーパックの周りをベントナイトという粘土で囲みます。ベントナイトには水を非常に通しにくい性質があるため、オーバーパックが腐食することを防ぎ、万が一ガラス固化体から放射性物質が漏れ出しても、放射性物質が地下水によって外部に運ばれることを防ぐことができます。

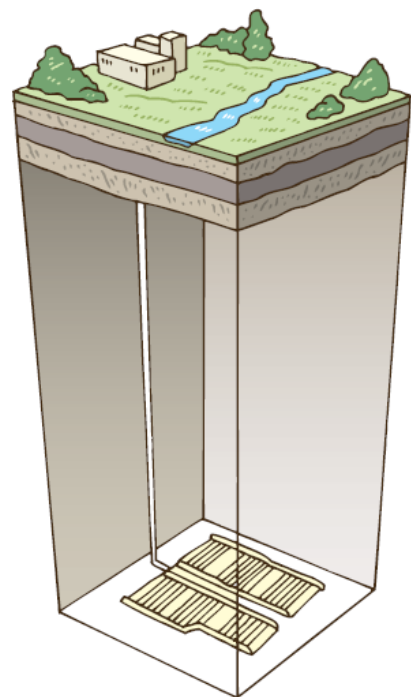


図：緩衝材

(引用：原子力発電環境整備機構「地層処分 その安全性」)

④ 地下深くの岩盤

高レベル廃液に3つの人工バリアを施したものを、地下300mより深くの安定した岩盤に埋めます。地下水の動きは非常に遅く、岩盤には放射性物質を吸着する能力があるので、放射性物質が漏れ出したとしても、放射性物質の移動を抑えることができます。また地下深くは酸素がとても少ないため、金属が腐食しにくく、長期間元の状態を保つことができます。

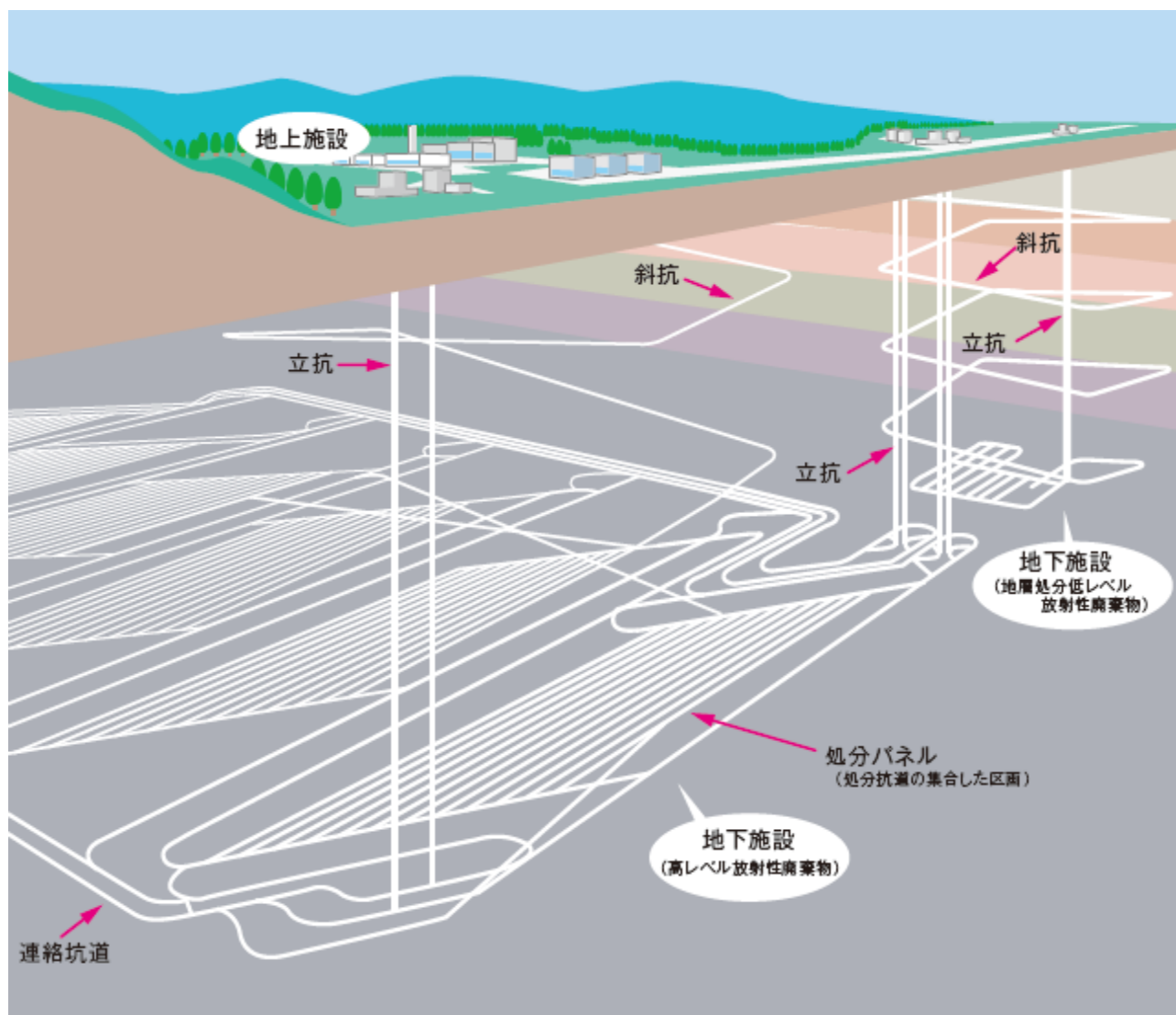


図：岩盤に埋めた状態

(引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

3. 処分施設はどんなところ？

現在考えられている高レベル放射性廃棄物の処分施設は、約 40,000 本のガラス固化体を処分する規模が考えられており、ガラス固化体を受け入れ、ガラス固化体に人工バリアを施す地上施設（1～2 km²）と、ガラス固化体を定置するために必要な、坑道からなる地下施設（6～10 km²）で構成されます。最終的に地下施設は埋め戻され、地上施設は解体される計画です。

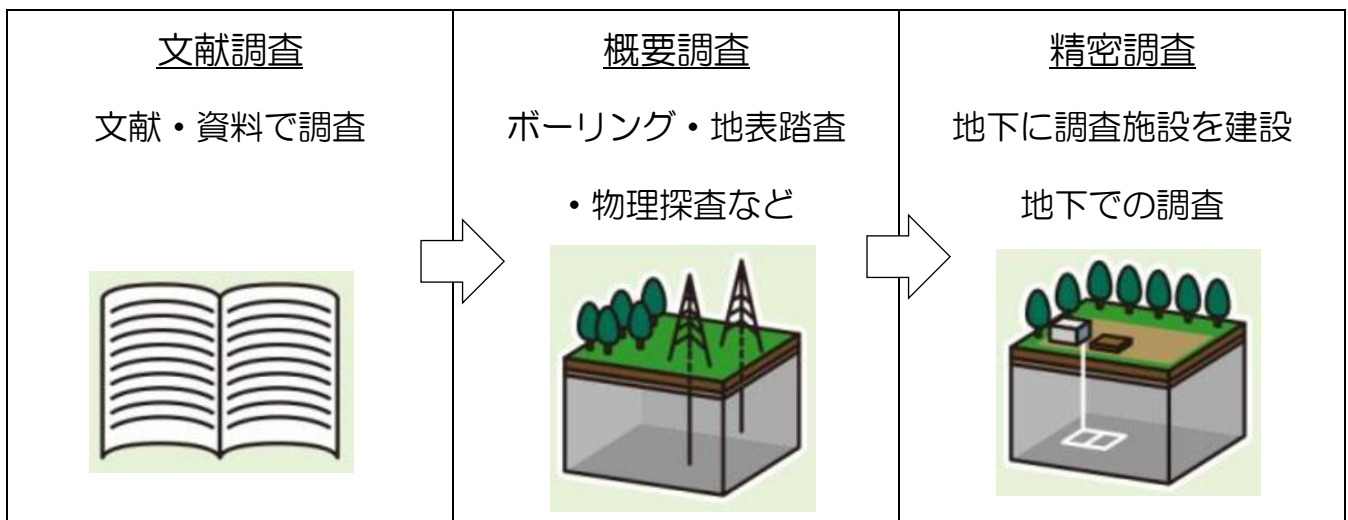


図：処分施設の概要

(引用：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

4. 処分地はどうやって決めるの？

日本では、処分地を決定するまでに約 20 年間しっかりと調査を行い、3 段階の調査（文献調査、概要調査、精密調査）を踏まえて処分地を決定します。調査開始から処分完了（施設閉鎖）までには、約 100 年以上かかると予想されています。



図：3 段階の調査

（引用：経済産業省「地層処分事業の概要～今改めて考えよう地層処分～」より作成）

日本では現在、岐阜県の瑞浪市と北海道の幌延町に研究施設を作り、高レベル放射性廃棄物を地層処分するための様々な研究をしています。



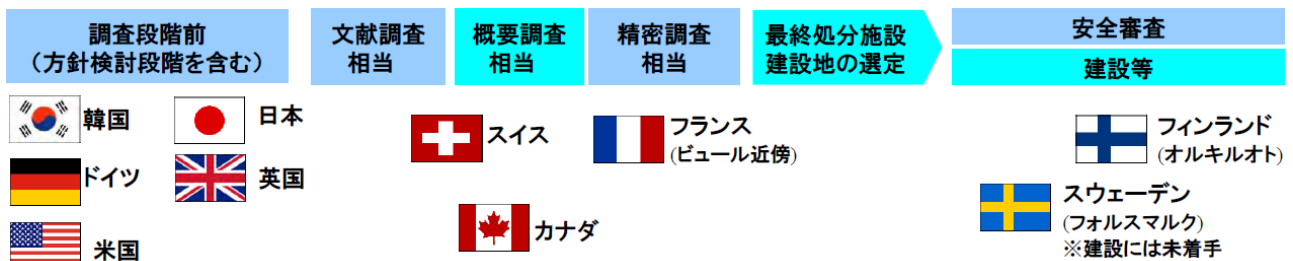
図：岐阜県瑞浪市東濃地科学センター
（提供：独立行政法人日本原子力研究開発機構）



図：地下 500m の様子
（提供：独立行政法人日本原子力研究開発機構）

5. 処分地はもう決まっているの？

日本では 2002 年から、処分地を決めるための調査を受け入れてくれる自治体を公募しています。2007 年に高知県東洋町から 1 度応募がありましたが、その後応募は取り下げとなり、その他の自治体からの応募は 1 件もありません。公募開始から約 15 年経った現在でも、処分地を決めるための調査は 1 度も行われていないのが現状です。また世界でも、今のところ高レベル放射性廃棄物を処分した国はどこにもありません。フィンランドとスウェーデンでは処分地が決定していますが、その他の国は日本と同じような状況です。



図：諸外国の進捗状況
(引用：経済産業省・NUMO「いま改めて考えよう地層処分」)

考えよう：地層処分の方法や今後の計画を知って、あなたは、地層処分を高レベル放射性廃棄物を処分することに賛成ですか。反対ですか。もう一度今の考えを 5 段階で評価して、理由を書こう。(後で同じ質問をします)

(賛成)	1	2	3	4	5	(反対)
理由						

第Ⅲ章 - 2 処分地を決めるときに考えなくてはならないこと

前回は高レベル放射性廃棄物を地層処分で処分することを知り、地層処分の方法について学びました。今回は、高レベル放射性廃棄物の処分地を決めるときに考えなくてはならないことについて学びましょう。

1. はじめに

日本は約 40,000 本のガラス固化体を、地層処分という方法で処分することを法律で決定しています。この法律は 2000 年に制定され、2002 年から国の機関である、原子力発電環境整備機構（NUMO）が、処分地を決定するための調査を受け入れてくれる自治体を探しています。しかし約 15 年経った現在でも、調査を受け入れる自治体は 1 つもなく、調査は全く進んでいません。

考えよう：処分地が全く決まっていない現状を知って、高レベル放射性廃棄物の処分地を決めることについて、あなたはどのように考えますか。今の自分の考えに近いものを選んで、理由を書こう。（後で同じ質問をします）

- ア 決められる大人になりたい
- イ 国がしっかりと決めなければならない
- ウ 決められないのは仕方がない
- エ 私たち自身が考えていかなければならない

理由

考えよう：高レベル放射性廃棄物の処分地を決めるときに、あなたはどのようなことに気をつけなくてはならないと考えますか。

<回答例>

- 岩盤の固さ、岩盤の種類、地温
- 地下水の流量、地下水の pH、地下水の温度
- 隆起量および侵食量
- 火山の有無
- 地震（活断層）の有無
- 災害（土砂崩れや洪水など）の発生履歴
- 鉱物資源の有無
- 人口
- 土地利用（保護区であるかどうか）
- 地価、所有権を持つ人数
- 自治体および地域住民の意向
- 関連施設（原子力発電所など）の立地状況
- 費用
- 土地面積

2. 処分地を選ぶときに考えなくてはならないこと

高レベル放射性廃棄物を地層処分する場所を決めるときに、どのような要因を考えなければならないか、現在国が考えているところです。考えなくてはならない要因はたくさん挙げられていますが、その中で、代表的なものを説明します。

(1) 科学的要因

(a)地震（活断層） (b)火山 (c)隆起・侵食 (d)岩盤の固さ

(e)地下水の流量

(2) 社会的要因

(f)鉱物資源 (g)人口密度 (h)土地利用 (i)港湾からの距離

(j)港湾からの輸送方法

(1) 科学的要因

(a) 地震（活断層）

地震は、活断層やプレートの運動によって引き起こされます。地震のゆれに対しては、耐震設計によって地下施設を守ることができます。しかし、地下施設の近くに活断層があると、地下施設を破壊したり、岩盤に亀裂が入ることで地下水の量が増えたり、地下水の流れが速くなる可能性があります。

(b) 火山

地下施設の近くに火山があると、マグマが流入し、放射性物質を含んだマグマが地上に噴出する可能性があります。またマグマの熱によって、ガラス固化体の周りの地温や水温が上昇する可能性があります。

(c) 隆起・侵食

隆起が生じている地域では、隆起した地表面が雨や風、流水によって浸食されます。隆起が著しい地域では、それだけ侵食も著しくなる可能性があり、一度埋めた高レベル放射性廃棄物が地表の近くまで接近する可能性があります。

(d) 岩盤の固さ

岩盤がやわらかいと、強度が小さく、地下施設の建設に影響を及ぼす可能性があります。また、操業中に地下施設の維持・管理が困難になる可能性もあります。

(e) 地下水の流量

地下水がたくさん流れている場所では、万が一人工バリアから放射性物質が漏れ出したときに、放射性物質を広範囲に拡散してしまう可能性があります。

(2) 社会的要因

(f) 鉱物資源

処分地の近くに鉱物資源があると、将来生活する人達が、鉱物資源の調査や採掘で人間が高レベル放射性廃棄物の近くへ行ってしまう可能性があります。

(g) 人口密度

処分地周辺の人口密度が高いほど、事故が起きたときの人的被害が大きくなります。

(h) 土地利用

多くの人が土地の所有権を持っている場所を処分地とする場合には、その人に許可をいただき、移動していただかなければなりません。

(i) 港湾からの距離

使用済燃料は、一度青森県六ヶ所村と茨城県東海村にある再処理工場に運び、再処理しガラス固化体に加工します。その後処分地へと運ばれる計画です。処分地の近くの港湾までは船で運びますが、その後は陸地を運ばなくてはなりません。港湾からの距離が遠くなるほど、輸送中の被ばくリスクが高くなります。

(j) 港湾からの輸送方法

港湾から処分地まで高レベル放射性廃棄物を運ぶ方法は、車両と鉄道の2つがあります。ガラス固化体を一度に輸送する量が少ないほど、ガラス固化体が途中の道路に留まる時間が長くなり、被ばくのリスクは高くなります。一方で一度に輸送する量が多いほど、事故が起きたときの被ばくリスクは高くなります。

輸送方法	ガラス固化体を一度に運搬できる量	輸送中の被ばくリスク	その他
車両	4本	最も高い	道路の補強が必要。
鉄道	28本	中程度	勾配の制限があり、輸送できる範囲が限られる。

(参考：総合資源エネルギー調査会「科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術 WG における中間整理」)

処分地を決めるためには、これだけのことを考える必要があります。次のページから、実際に処分地を決める活動をしてみましょう。

Memo

第Ⅲ章 - 3 処分地を選ぶときにあなたはどの要因を重視しますか

前回は、処分地を決めるときに考えなくてはならないことについて学びました。今回は実際に処分地を決める前に、処分地を選ぶときにあなたがどの要因を重視するか考えてみましょう。

処分地を選ぶときに考える要因はこれら10個の要因がありました。

(1) 科学的要因

- (a)地震(活断層) (b)火山 (c)隆起・侵食 (d)岩盤の固さ
(e)地下水の流量

(2) 社会的要因

- (f)鉱物資源 (g)人口密度 (h)土地利用 (i)港湾からの距離
(j)港湾からの輸送方法

考えよう：5つの科学的要因を、重要だと考える順に並べよう。

1		2	
3		4	
5			

話し合おう

参考になった意見

考えよう：5つの社会的要因を、重要だと考える順に並べよう。

1		2	
3		4	
5			

話し合おう

参考になった意見

考えよう：話し合いを踏まえて、5つの要因をそれぞれ重要だと考える順に並べ、その理由を書こう。

科学的要因

1		2	
3		4	
5			
理由			

社会的要因

1		2	
3		4	
5			
理由			

第Ⅲ章 - 4 処分地を決定しよう

前回は、処分地を決めるときにどの要因を重視するか考えました。今回は、仮定の候補地の中で、あなたならどの候補地を高レベル放射性廃棄物の処分地にするか考えましょう。

日本国内全域を対象として調査を行った結果、7つの場所（A～G）が候補地として挙げられました。あなたなら、どの候補地を処分地にしますか。

表：要因ごとの調査結果

要因	候補地						
	A	B	C	D	E	F	G
(1) 科学的要因							
地震（活断層）	ある	ない	ない	ない	ない	ない	ない
火山	ない	ない	ない	ない	ある	ない	ない
隆起・侵食	少ない	少ない	少ない	多い	少ない	多い	少ない
岩盤の固さ	固い	軟らかい	軟らかい	軟らかい	固い	固い	固い
地下水の流量	少ない	少ない	多い	少ない	少ない	少ない	多い
(2) 社会的要因							
鉱物資源	ある	ない	ない	ある	ない	ある	ある
人口密度	低い	高い	低い	低い	低い	高い	高い
土地利用	農村地域	住宅地	森林	漁村地域	国立公園	市街地	工業地帯
港湾からの距離	近い	遠い	遠い	近い	遠い	近い	近い
港湾からの輸送方法	車両	車両	車両	鉄道	鉄道	車両	鉄道

考えよう：科学的要因から考えて、7つの候補地に順位をつけよう。

1	2	3	4	5	6	7

考えよう：社会的要因から考えて、7つの候補地に順位をつけよう。

1	2	3	4	5	6	7

考えよう：科学的要因と社会的要因の両方から、あなたが最も適していると考え
る処分地を決定しよう。

A ・ B ・ C ・ D ・ E ・ F ・ G
理由

話し合おう

参考になった意見

考えよう：話し合いを踏まえて、改めて、科学的要因と社会的要因の両方から、あなたが一番適していると考える処分地を決定しよう。

A ・ B ・ C ・ D ・ E ・ F ・ G

理由

考えよう：あなたが選んだ候補地は、全ての国民に受け入れられると考えますか。

受け入れられる	・	受け入れられない
理由		

考えよう：あなたが選んだ候補地がもし、あなたが住んでいる地域だったら、あなたは処分施設を建設することを受け入れますか。

(あなたの家は、処分地からは安全な距離だけ離れている場所にあるとします)

受け入れる	・	受け入れない
理由		

第IV章 – 1 私たちのこれからを考えよう

前は、仮想の7つの候補地の中で処分地を選びました。今回は私たちがこの問題とこれからどう向き合っていけばよいのか考えましょう。

1. 処分地を選ぶことについて

考えよう：仮想の候補地の中で処分地を選ぶ活動をして、高レベル放射性廃棄物の処分地を決めることについて、あなたはどのように考えますか。もう一度、今の自分の考えに近いものを選んで、理由を書こう。

- ア 決められる大人になりたい
- イ 国がしっかりと決めなければならない
- ウ 決められないのは仕方がない
- エ 私たち自身が考えていかなければならない

理由

考えよう：上の質問と同じ質問を45ページでもしました。自分の回答を読み比べてみて、自分の考えがどのように変わったのか（変わらなかったのか）整理しよう。また、その理由を書こう。

2. 地層処分について

考えよう：これまでの活動を踏まえて、あなたは、地層処分で高レベル放射性廃棄物を処分することに賛成ですか。反対ですか。もう一度今の考えを5段階で評価して、理由を書こう。

(賛成)	1	2	3	4	5	(反対)
理由						

考えよう：上の質問と同じ質問を37ページと44ページでもしました。自分の回答を比べてみて、自分の考えがどのように変わったのか（変わらなかったのか）整理しよう。また、その理由を書こう。

(賛成)	1	2	3	4	5	(反対)
P.37	•	•	•	•	•	
P.44	•	•	•	•	•	
P.58	•	•	•	•	•	
理由						

3. これからの私たちの生活

高レベル放射性廃棄物の処分地は約 20 年かけてしっかりと調査を行い決定する計画です。また高レベル放射性廃棄物の処分が完了するのは、約 100 年以上先と想定されています。これからの日本を担うあなたたちが大人になった時、きっと様々な場面でこの問題について考え、みんなで話し合い、実際に決定しなくてはならない機会があります。

考えよう：高レベル放射性廃棄物の処分問題を学んで、今後あなたはこの問題とどのように向き合っていきたいですか。

考えよう：そのために、あなたが今できることはどんなことがありますか。

Memo

Memo

Memo

添付資料 3

生徒用ワークシート（完成版）

あなたならどうする？

高レベル放射性廃棄物の処分



これって
なんだろう？

3年 組 席 名前 _____

あなたならどうする？ 高レベル放射性廃棄物の処分

この教材で学習するみなさんへ

みなさんの生活は、電気エネルギーに支えられています。電気エネルギーをいつでも安定して使えるように、日本全国の発電所では、24 時間 365 日休むことなく発電がおこなわれています。そのような日本では、原子力発電で使用した燃料から出るゴミの処分が大きな問題になっています。この問題について学び、この問題を解決するために、今後私たちがどのようにこの問題と関わっていくべきか、ぜひみなさんで考えてみてください。

第Ⅰ章 電気エネルギーと放射線

1. 電気エネルギーについて・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
2. 放射線について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14

第Ⅱ章 原子力発電所から出る“危険なゴミ”

1. 高レベル放射性廃棄物について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・28
2. 高レベル放射性廃棄物の処分方法を考えよう・・・・・・・・・・・・34

第Ⅲ章 高レベル放射性廃棄物を処分するために

1. 地層処分について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・38
2. 処分地を決めるときに重視する要因を考えよう・・・・・・・・・・・・48
3. 処分地を決定しよう・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・54

第Ⅳ章 私たちの未来

1. 私たちのこれからを考えよう・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・58

第 I 章 - 1 電気エネルギーについて

私たちの生活の中では、様々なものに電気エネルギーが使われています。まずは、電気エネルギーについて学びましょう。

1. 電気エネルギーは私たちの生活でたくさん使われている

物体を動かしたり、物体を変形させるなど、物体に対して仕事をする能力をエネルギーといいます。エネルギーには、様々な形があります。

考えよう：家の中で電気エネルギーを使っているものは何があるだろうか。

--

考えよう：上で書いたものは、電気エネルギーをどのようなエネルギーに変えて使っているのだろうか。

もの	エネルギー

私たちが生活の中で使っているものの多くは、電気エネルギーを変換して使っています。これは、電気エネルギーは電線を用いて簡単に運ぶことができ、エネルギーを変換するときのロスが他と比べて少ないためです。

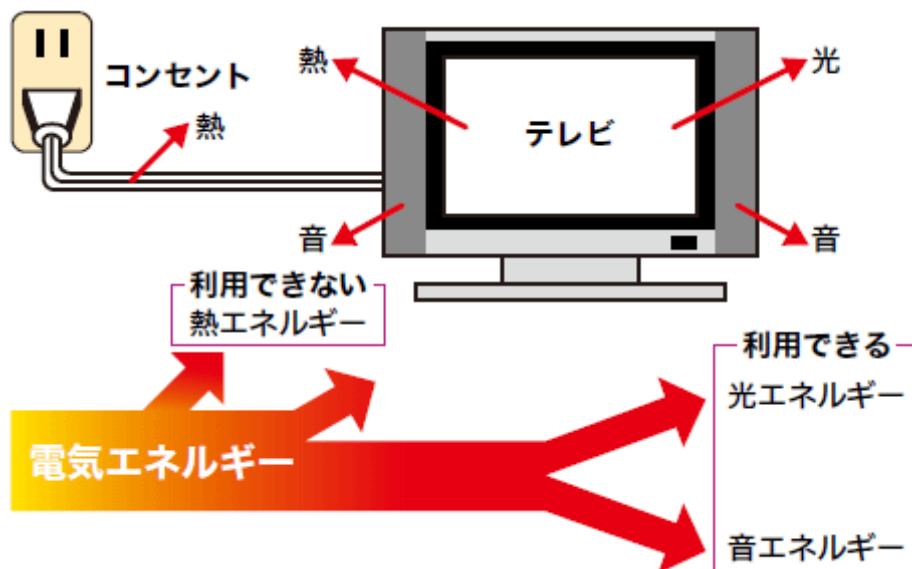
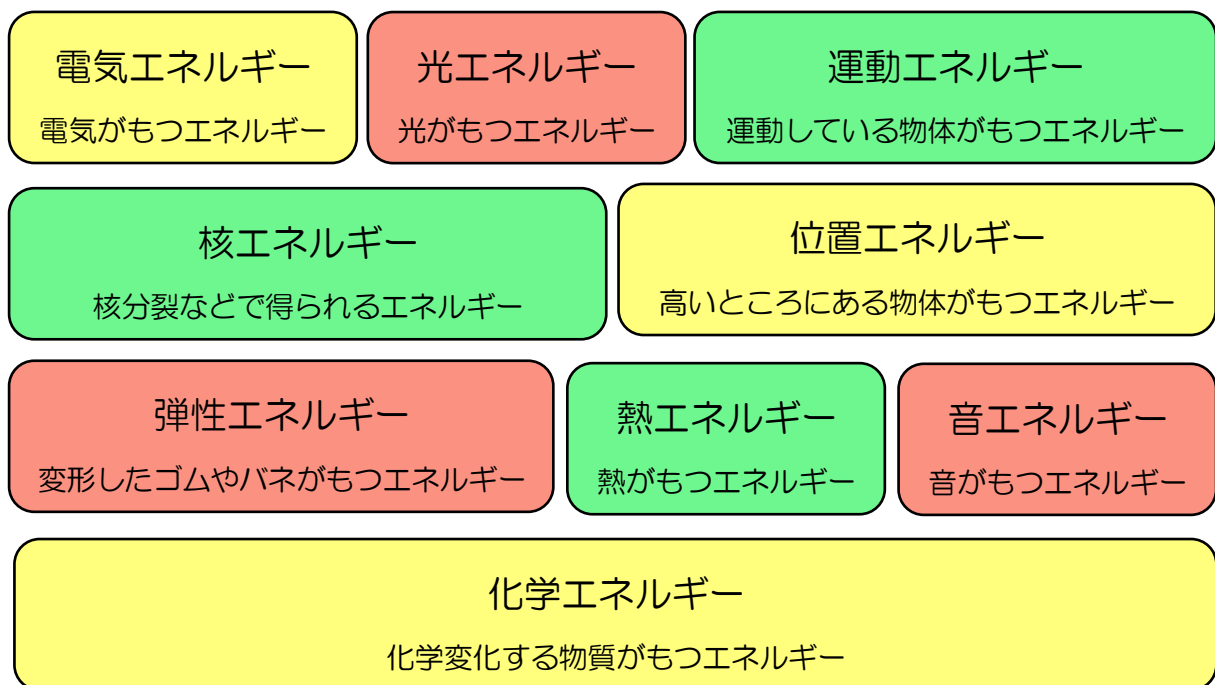


図 1：電気エネルギーの変換例
 (経済産業省 (2014) 「かがやけ！みんなのエネルギー」より)

2. 日本はどのくらい電気エネルギーを使っているの？

日本は、一人当たりの電力消費量が世界で4番目に多く、世界平均の約2.6倍もの電気エネルギーを消費しています。

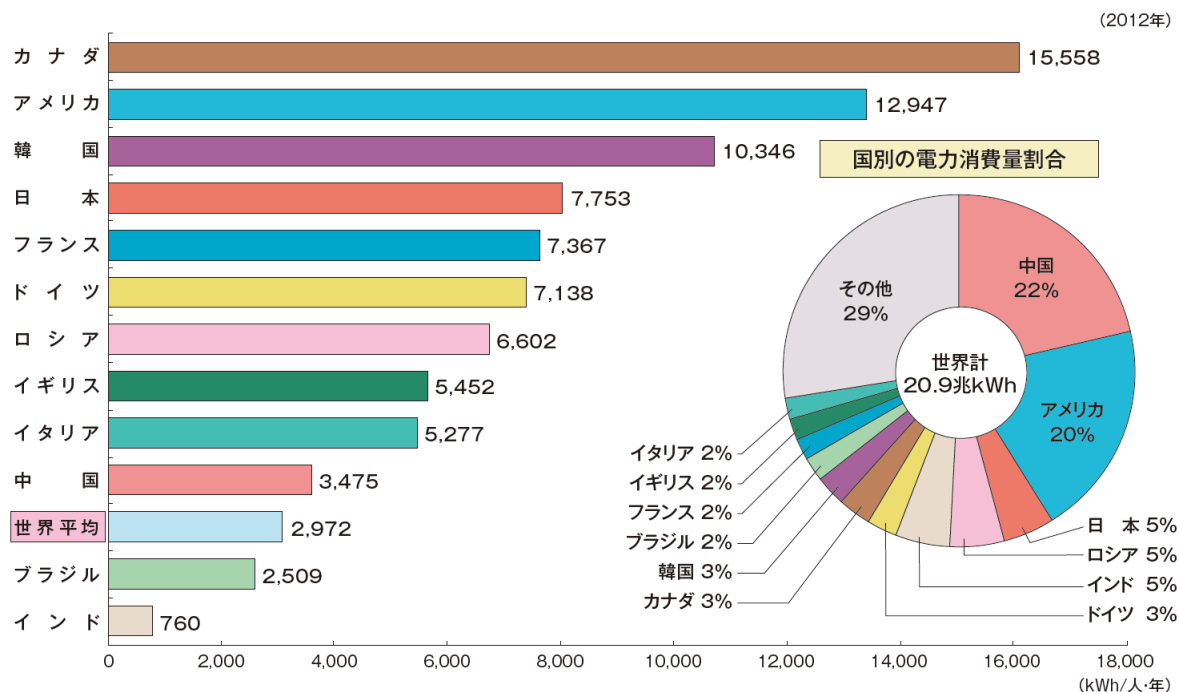


図2：主要国の一人当たりの電力消費量
(電気事業連合会(2015)「原子力・エネルギー図面集2015」より)

考えよう：日本はこれだけの電気エネルギーをどのような方法で、どのようなエネルギー資源を使って、発電しているのだろうか。

発電方法	利用するエネルギー資源

日本では、化石燃料（石油、石炭、天然ガス）やウラン、再生可能エネルギー（水、風、太陽光、地熱等）などのエネルギー資源を使って発電しています。それぞれにメリットとデメリットがあり、どれも万能なものではありません。そこで日本は、様々なエネルギー資源と発電方法を組み合わせることで、たくさんの電気エネルギーを安定して発電しています。

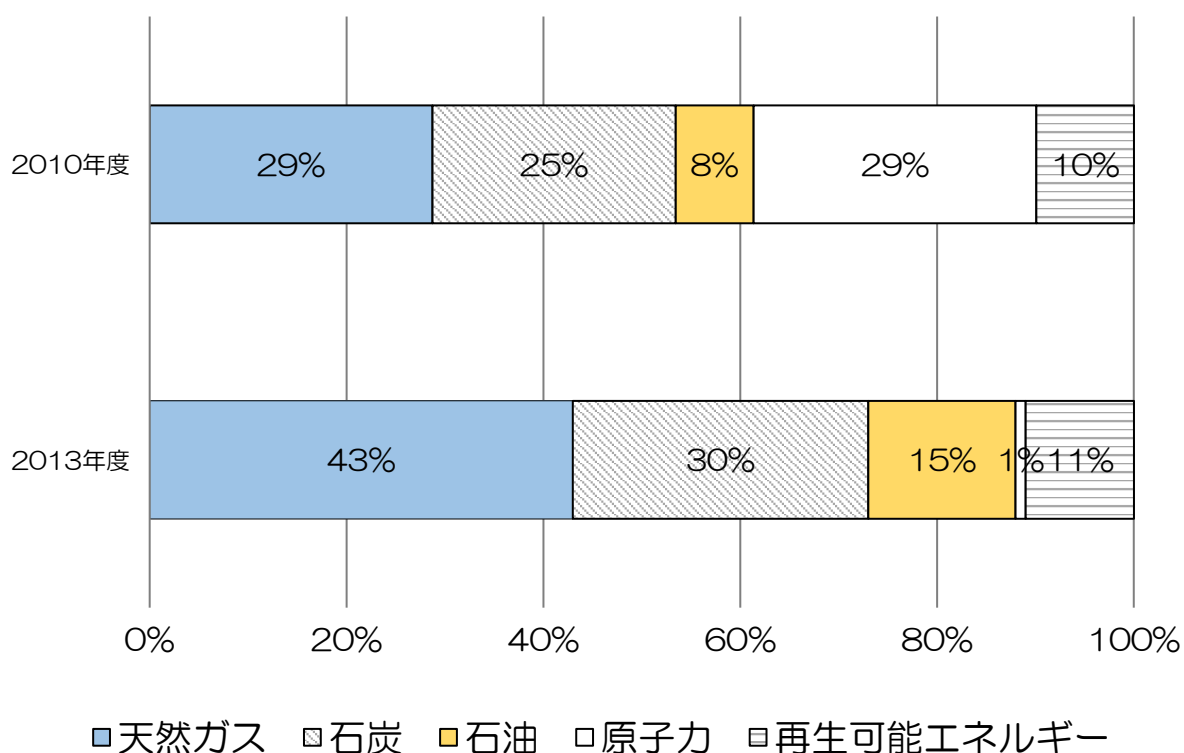


図3：日本の発電方法の組み合わせ
（電気事業連合会（2015）「原子力・エネルギー図面集 2015」より作成）

それぞれの発電方法のメリットとデメリットを理解するためには、発電方法をよく知る必要があります。日本で行われている発電の方法について次のページで学びましょう。

3. 日本で行われている様々な発電の方法

日本は、様々なエネルギー資源と発電方法を組み合わせることで、たくさんの電気エネルギーを安定して発電しています。ここでは、火力発電、原子力発電、水力発電、太陽光発電、風力発電について学びましょう。

問題 電気エネルギーがどのようにして作られるのか、5つの発電方法の説明の下にある（ ）の中に、エネルギー変化の流れを書こう。

① 火力発電

燃料（石油、石炭、天然ガス）を燃やして、水を水蒸気にします。この水蒸気のでタービンを回転させて、つながっている発電機で発電します。

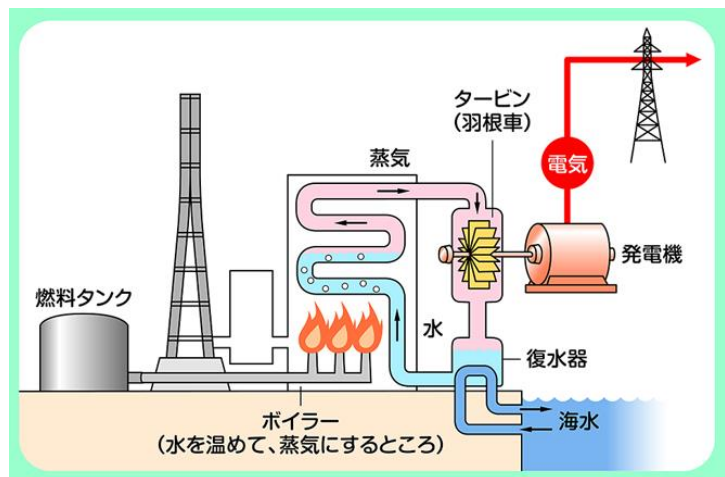


図4：火力発電

(中部電力株式会社(2015)「出前授業資料」より)

() エネルギー → () エネルギー
→ () エネルギー → 電気エネルギー

② 原子力発電

ウランを使い、核分裂という反応で得られる熱を利用して水を水蒸気にします。この水蒸気のでタービンを回転させて、つながっている発電機で発電します。

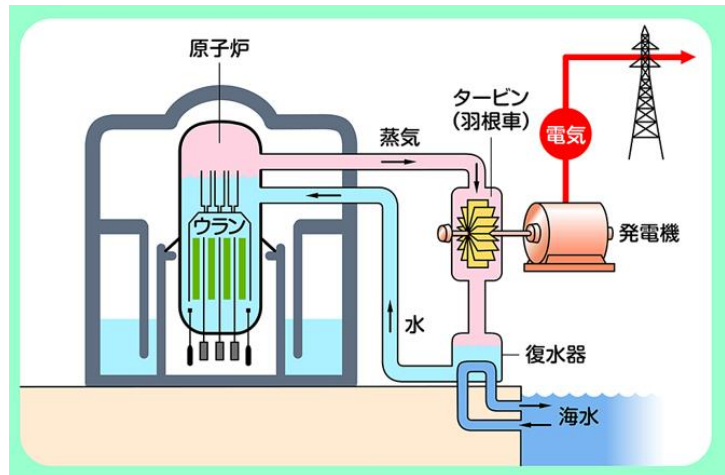


図5：原子力発電

(中部電力株式会社(2015)「出前授業資料」より)

() エネルギー → () エネルギー
 → () エネルギー → 電気エネルギー

③ 水力発電

高い位置から低い位置へと水を勢いよく流して水車を回し、つながっている発電機で発電します。

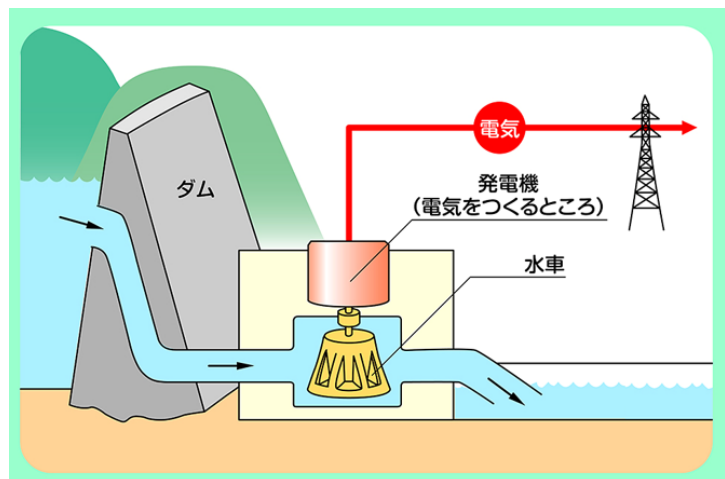


図6：水力発電

(中部電力株式会社(2015)「出前授業資料」より)

() エネルギー → () エネルギー
 → 電気エネルギー

④ 太陽光発電

太陽電池に太陽の光が照射されると、太陽電池の中の電子（マイナスの電気を帯びた粒子）が移動します。これにより、電気エネルギーが生じます。

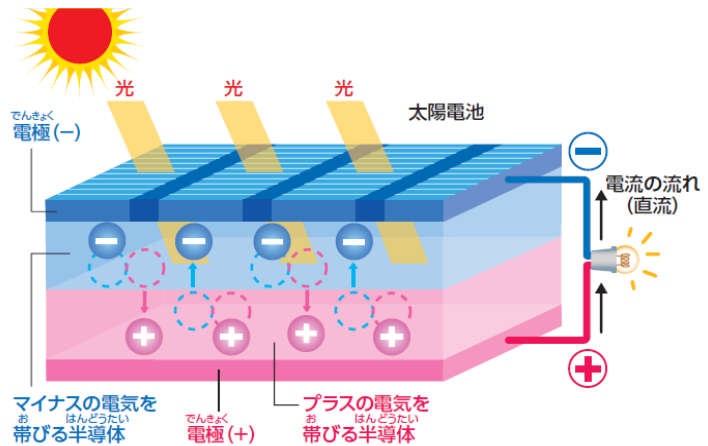


図 7：太陽光発電

(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

() エネルギー → 電気エネルギー

⑤ 風力発電

ブレードに風が当たると、ブレードが回転し、その回転が増速機に伝わります。増速機でギアを使って回転数を増やし、つながっている発電機で発電します。

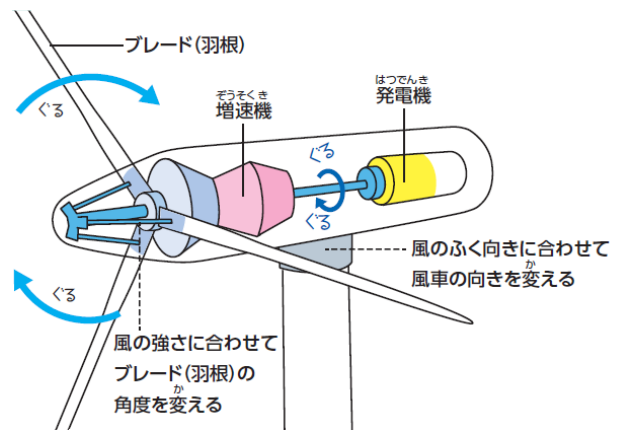


図 8：風力発電

(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

() エネルギー → 電気エネルギー

MEMO

4. 各発電方法のメリットとデメリットを考えよう

前項では、5つの発電方法を学びました。それでは、それぞれの発電方法のメリットとデメリットを考えましょう。

考えよう：下の5つの発電方法には、それぞれどのようなメリットとデメリットがあるだろうか。

発電方法	資源	メリット	デメリット
火力発電	石油 石炭 天然ガス		
原子力発電	ウラン		
水力発電	水		
風力発電	風		
太陽光発電	太陽光		

5つの発電方法には、それぞれにメリットとデメリットがあります。それぞれのメリットとデメリットをよく理解した上で、発電方法の組み合わせを考えることが重要です。

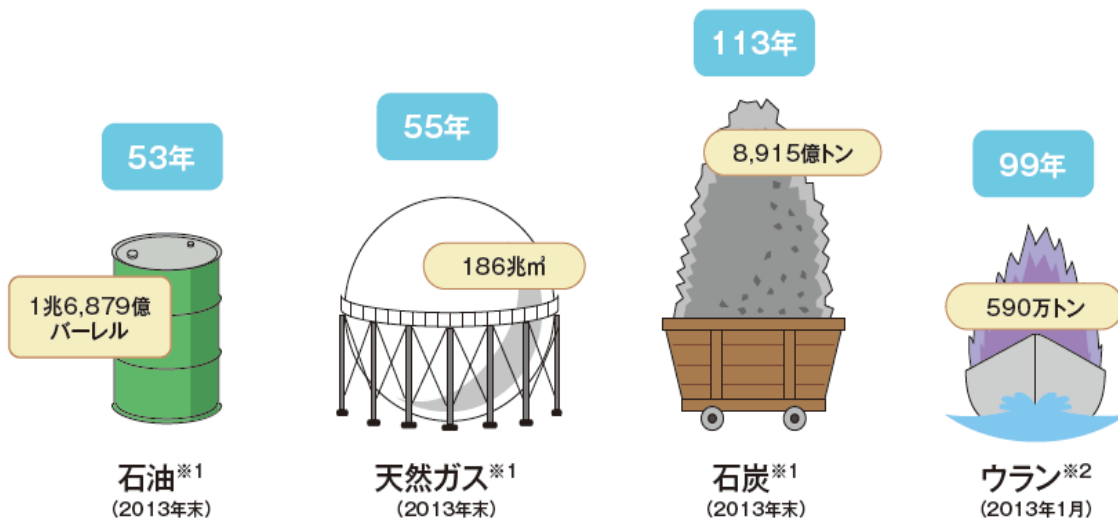
次のページからは、発電による様々な問題について学びましょう。

発電方法	資源	メリット	デメリット
火力発電	石油 石炭 天然ガス	<ul style="list-style-type: none"> • たくさんの電気を、安定して発電することができる。 • 発電量を調整しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> • 燃料のほとんどを、輸入に頼っている。 • 化石燃料には限りがある。 • 発電時に、二酸化炭素などが出る。
原子力発電	ウラン	<ul style="list-style-type: none"> • 少ない燃料で、たくさんの電気を安定して発電できる。 • 発電時に、二酸化炭素を出さない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 事故発生時の影響が大きい。 • 放射性廃棄物の適切な処理や、処分が必要。
水力発電	水	<ul style="list-style-type: none"> • 水の落下によるエネルギー（位置エネルギー→運動エネルギー）を利用するため、無くなる心配が無く、繰り返し使うことができる。 • 発電時に、二酸化炭素を出さない。 • 発電量を調整しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> • 雨の量などの自然条件によって、発電量が左右される。 • 日本には、大きな河川も少なく、今後、大きなダムを作ることが難しい。 • ダムを作ることによって生態系のバランスが崩れる恐れがある。
風力発電	風	<ul style="list-style-type: none"> • 自然のエネルギーを利用するため、無くなる心配が無く、繰り返し使うことができる。 • 風さえあれば、夜間でも発電できる。 • 発電時に、二酸化炭素を出さない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 風向きや、風の強さに発電量が左右されるので、安定した発電ができない。 • 常に安定した風が必要なので、設置場所が限られる。 • ブレードが回転するときに、騒音や振動が発生する。
太陽光発電	太陽光	<ul style="list-style-type: none"> • 自然のエネルギーを利用するため、無くなる心配が無く、繰り返し使うことができる。 • 発電時に、二酸化炭素を出さない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 天候に左右されるので、発電量が安定しない。 • 夜は発電できない。 • たくさん発電するためには、広い土地が必要。

（経済産業省（2014）「なっとく！再生可能エネルギー」、中部電力株式会社（2015）「出前授業資料」より作成）

5. エネルギー資源には限りがある

化石燃料（石油・石炭・天然ガス）や、ウランは、決して無限に存在するわけではありません。近い将来、全て使い切ってしまうと予測されています。今後も人間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工夫し、エネルギーの節減に努めなければなりません。



(注) 可採年数=確認可採埋蔵量/年間生産量
ウランの確認可採埋蔵量は費用130ドル/kgU未満

図9：エネルギー資源の確認埋蔵量と可採年数（2013年の予測）
（電気事業連合会（2015）「原子力・エネルギー図面集2015」より）

考えよう：1つのエネルギー資源に頼った発電（例：石油を用いた火力発電のみを大量に行う）を行うと、どのようなリスクがあるだろうか。

6. 一つのエネルギー資源に頼った発電はリスクが大きい

2014年現在、日本では、総発電量の約90%を火力発電が占めています。火力発電で使用する化石燃料には限りがあり、二酸化炭素などを排出するため、環境にも良くありません。

また、日本のエネルギー自給率は5%程度であり、ほとんどを海外から輸入しています。そのため、1つのエネルギー資源のみに頼ってしまうと、輸入が止まった時に発電ができなくなり、私たちの生活に大きな影響をあたえます。さらに、エネルギー資源の価格が変動した時に電気料金が大きく変化する可能性があります。様々なエネルギー資源を組み合わせることで、安定して発電することができます。

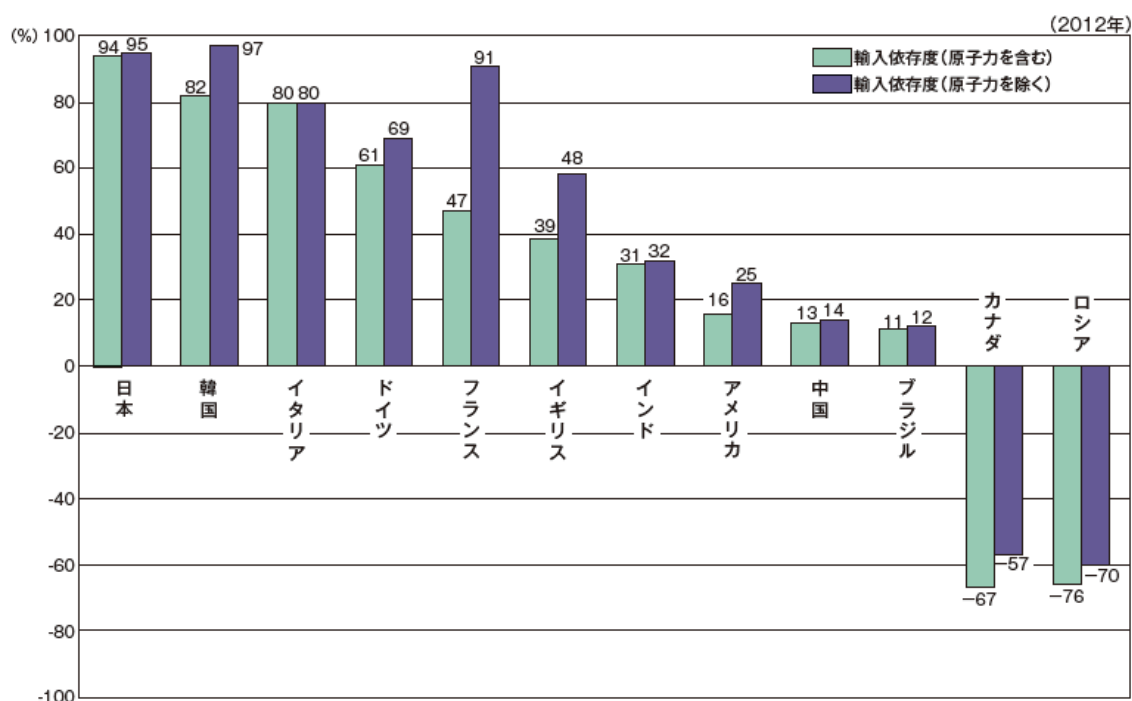


図 10：主要国のエネルギー輸入依存度
(電気事業連合会 (2015)「原子力・エネルギー図面集 2015」より)

7. 発電をすることでゴミが出る

普段の生活でゴミが出るように、発電をすることでもゴミが出ます。火力発電では、二酸化炭素や石炭灰などがゴミとして出ます。原子力発電では、「低レベル放射性廃棄物」や「高レベル放射性廃棄物」がゴミとして出ます。

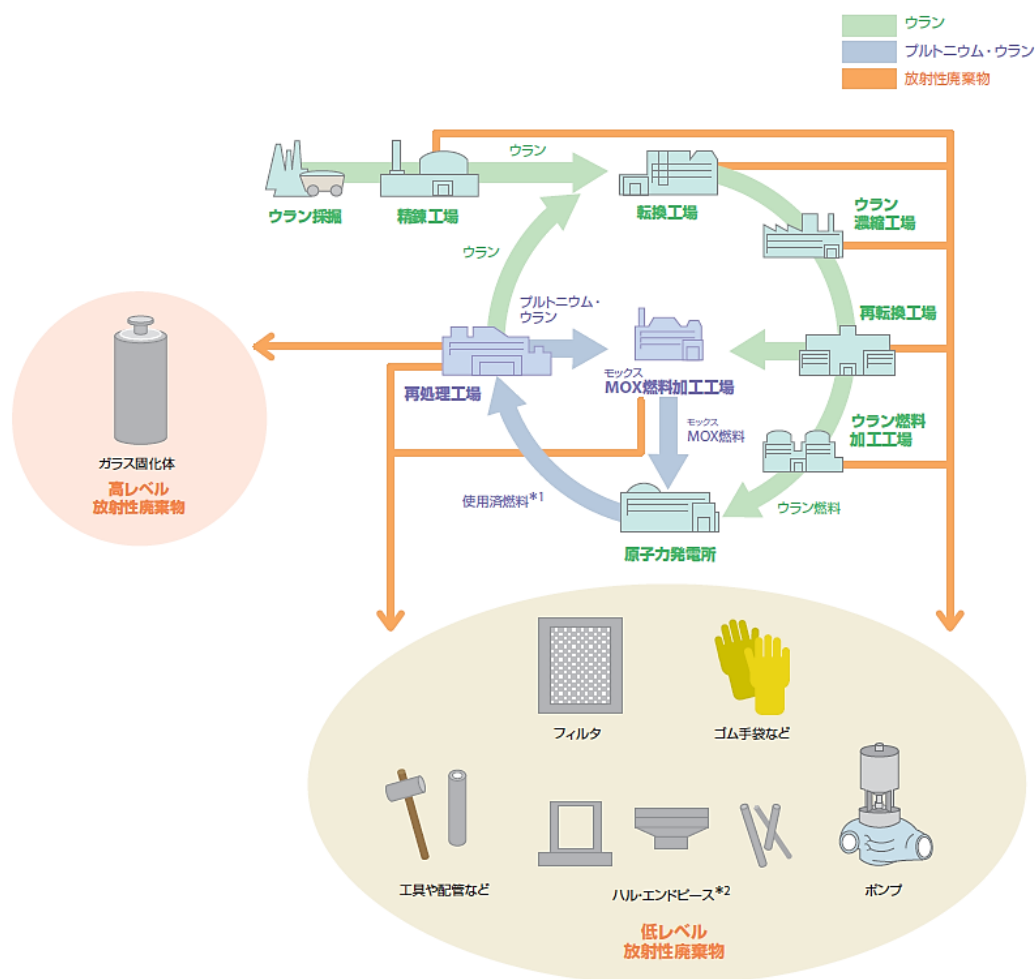


図 11：低レベル放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物
(電気事業連合会 (2015)「放射性廃棄物 Q&A」より)

「高レベル放射性廃棄物」の量は、他と比べると少ないですが、非常に強い「放射線」を出すため、簡単には処分できません。現在、子レベル放射性廃棄物をどのように処分するかが世界中で問題になっています。次の節では、「放射線」について学びましょう。

第 I 章 - 2 放射線について

前は、電気エネルギーについて学びました。今回は、原子力発電所から出る「高レベル放射性廃棄物」についてよく知るために、まずは、「放射線」について学びましょう。

1. 物質について

私たちの身の回りにある全てのものは、その材料に注目するとき、それを物質といいます。物質は、小さな粒子がたくさん集まってできており、この粒子をさらに分けると、それ以上分けることができない小さな粒（原子）が結びついてできていることが分かっています。原子は、原子核と電子に分けられ、原子核は、陽子と中性子に分けられます。この陽子の数によって、原子の性質が決まります。

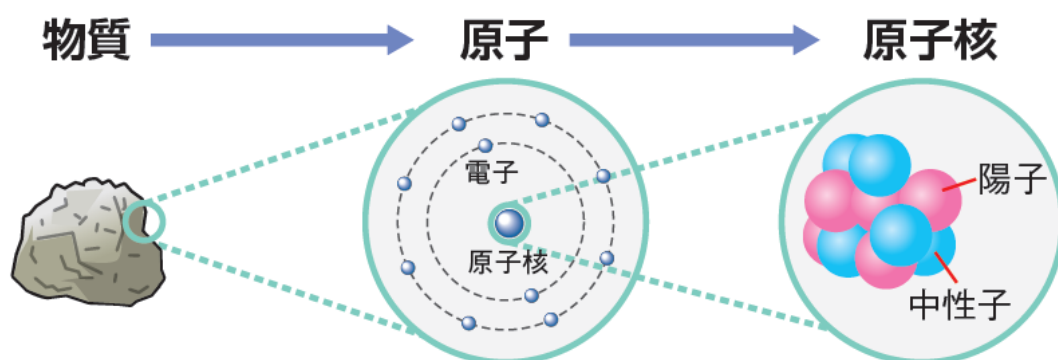


図 12：物質の構造

(文部科学省 (2013)「中学生・高校生のための放射線副読本」より)

原子はとても小さく、最も小さな原子である水素原子は、直径が 1 cm の 1 億分の 1 程度しかありません。また、同じ種類の原子でも、原子核の中にある中性子の数が異なるものがあります。これらを、同位体といいます。同位体には、安定な原子核と不安定な原子核があり、不安定な原子核は、時間が経過すると、安定な原子核に変わろうとします。

2. 放射線ってなに？

不安定な原子核が、安定な原子核に変わろうとするとときに、非常に高いエネルギーを持った高速の粒子や電磁波を放出します。これが放射線です。放射線には、多くの種類があります。

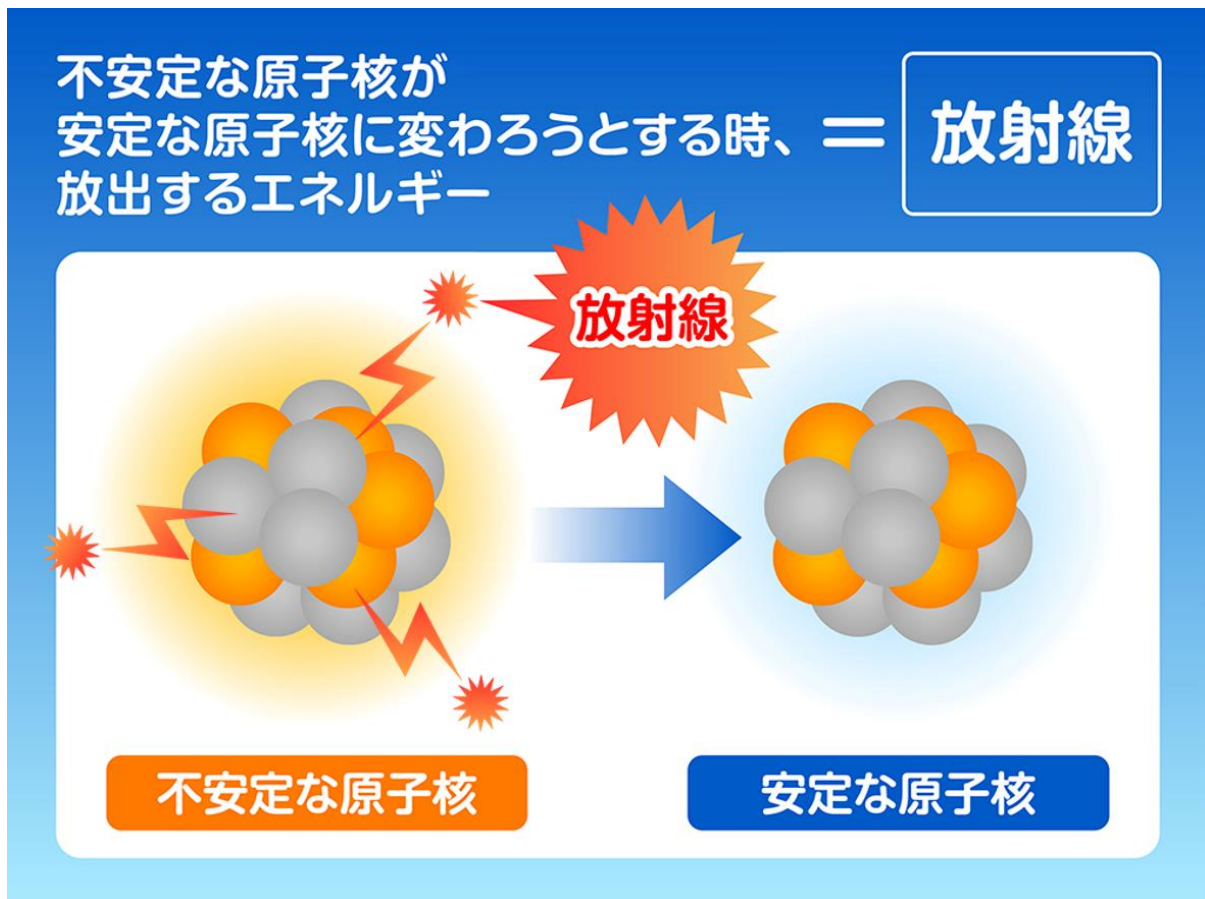


図 13：放射線とは
(中部電力株式会社(2015)「出前授業資料」より)

種類	特性
α 線	原子核から放出される粒子(ヘリウム原子核)
β 線	原子核から放出される電子
γ 線	原子核から放出される電磁波
X線	原子核から放出される電磁波
中性子線	原子核から放出される中性子

3. 放射線に関連することば

放射線を出す物質のことを、**放射性物質**といいます。放射性物質から放出される、非常に高いエネルギーを持った高速の粒子や電磁波のことを、**放射線**といいます。放射性物質が放射線を出す能力を、**放射能**といいます。

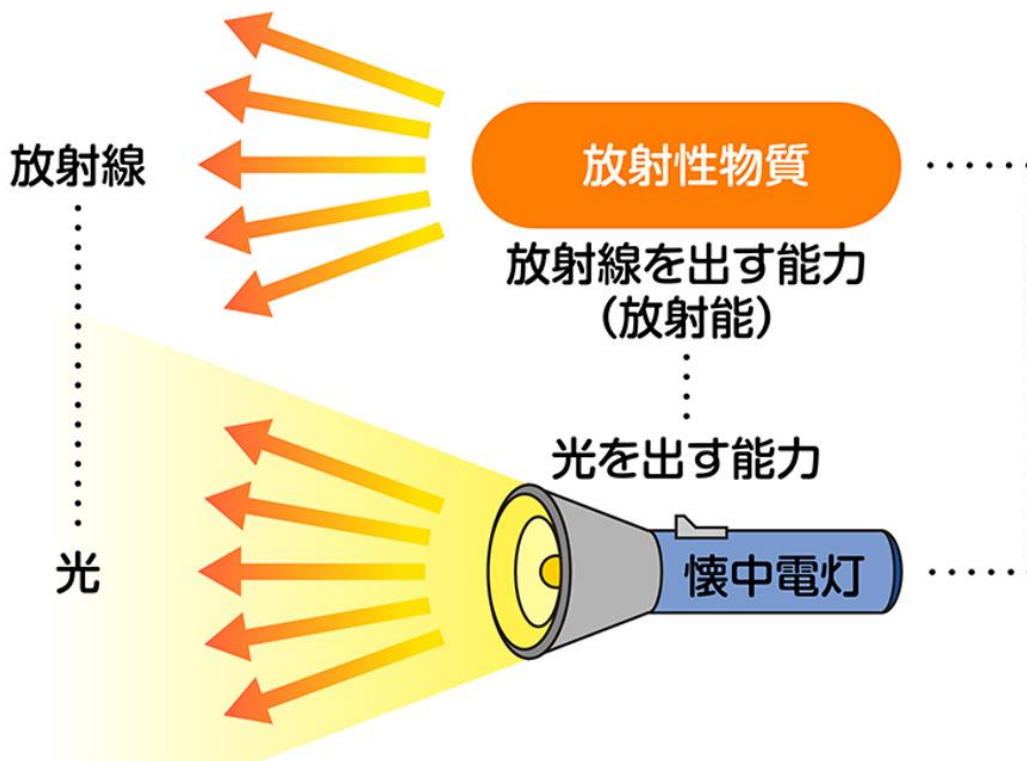
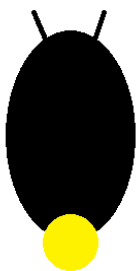


図 14：放射線・放射性物質・放射能
(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

問題

次の図は、放射線に関連することばについて、ホタルやホタルの光に例えて表したものです。空欄に当てはまる語句を書こう。



- ホタル = ()
ホタルの光 = ()
ホタルが光を出す能力 = ()

4. 放射線に関連する単位

放射線に関連する単位には、放射線を出す側に注目した単位である Bq (ベクレル) と、放射線を受ける側に注目した単位である Sv (シーベルト) があります。

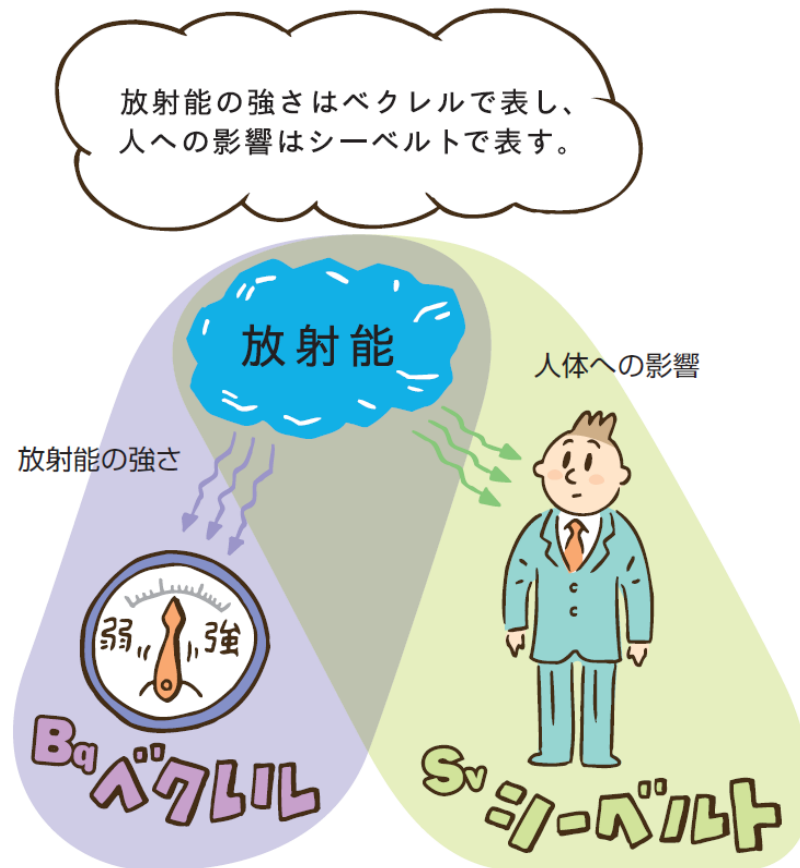


図 15：放射線に関連する単位
(原子力発電環境整備機構 (2009)「地層処分 その安全性」より)

問題 次の図は、放射線に関連する単位について、雨に例えて表したものです。空欄に当てはまる語句を書こう。



(RICOH「Print out Factory」より)

①雨の強さ

()

②人が雨に濡れたことによる健康への影響

()

5. 身のまわりにも放射線は存在する

放射線は、私たちの身のまわりに常にあります。毎日、わずかな放射線を浴びながら生活しているのです。私たちが浴びている放射線は、**自然放射線**（自然界から受ける放射線）と、**人工放射線**（医療などで受ける放射線）に分けることができます。

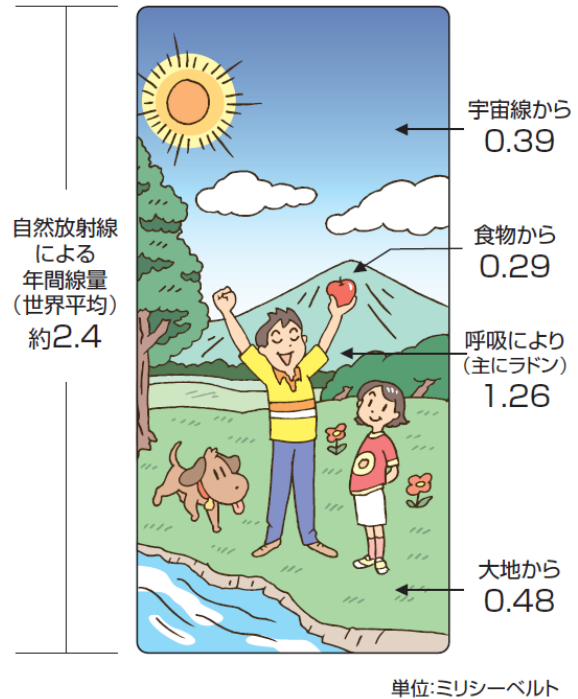


図 16：日常生活と放射線
(原子力発電環境整備機構 (2009)「地層処分 その安全性」より)

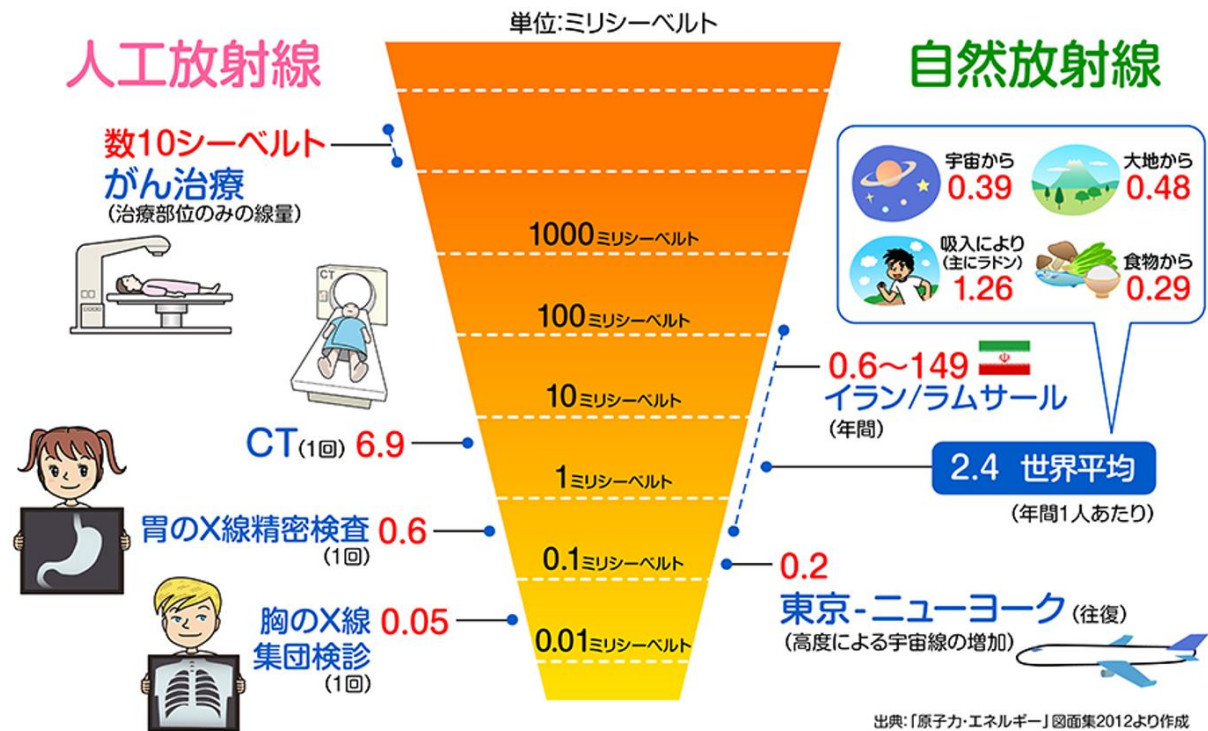


図 17：自然放射線と人工放射線
(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

6. 放射線は幅広い分野で利用されている

放射線は、様々な性質を持っていることから、工業分野、医療分野、農業分野など、幅広い分野で有効利用されています。

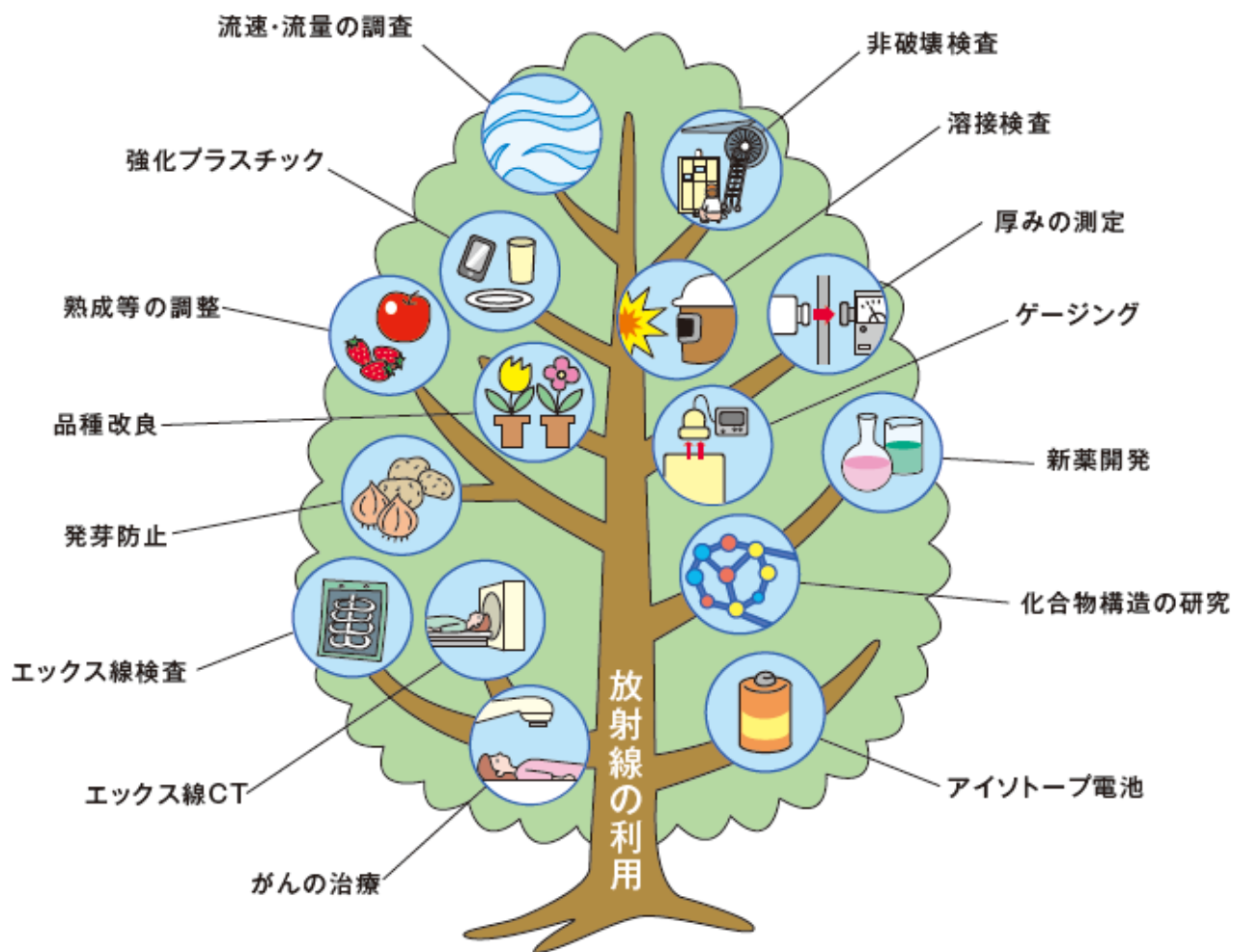


図 18：放射線の利用場面
(電気事業連合会 (2015)「原子力・エネルギー図面集 2015」より)

放射線は、幅広い分野で有効利用されていますが、放射線を人体が浴びることで、人体に影響をおよぼす恐れもあります。このような有用性と危険性をどちらも持った放射線を利用するためには、放射線について、しっかりと理解する必要があります。

7. 放射線には色々な性質がある

① 放射線は感じられない

放射線が飛んでいても、人間が気づくことはありません。

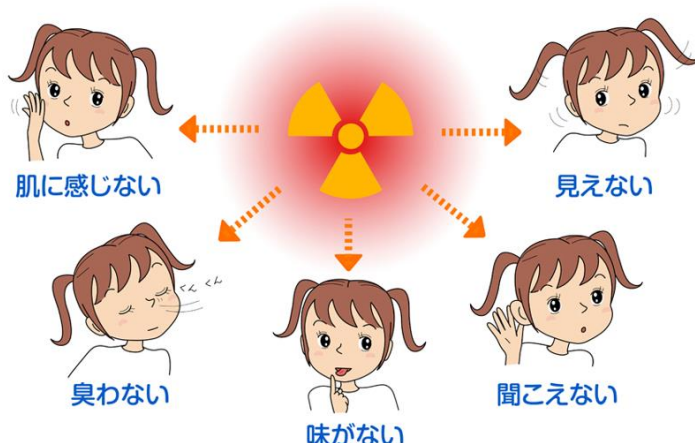


図 19：放射線は感じられない
(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

② 放射線は物質を通り抜ける

放射線が物質を通り抜ける力は、放射線の種類によって異なります。しかし、水やコンクリートを使えば、放射線を完全に止めることができます。

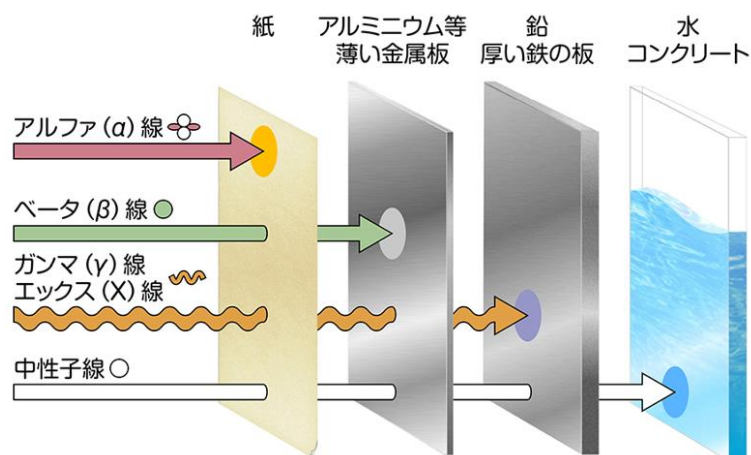


図 20：放射線の透過性
(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

問題 α 線、 β 線、 γ 線・X線、中性子線について、放射線を止めるものには○を、そうでないものには×をつけよう。

	紙	薄い金属板	厚い金属板	水・コンクリート
α 線				
β 線				
γ 線・X線				
中性子線				

③ 物質の分子の形や性質を変える

放射線が物質を通り抜けるとき、放射線のエネルギーが電子をはじき出します。電子がはじき出されると、物質の分子の形や性質は変わります。

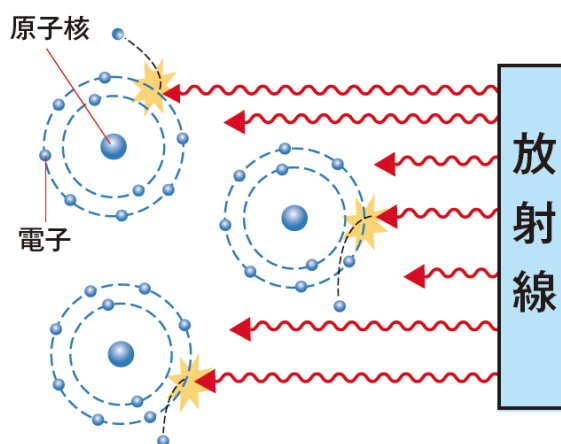
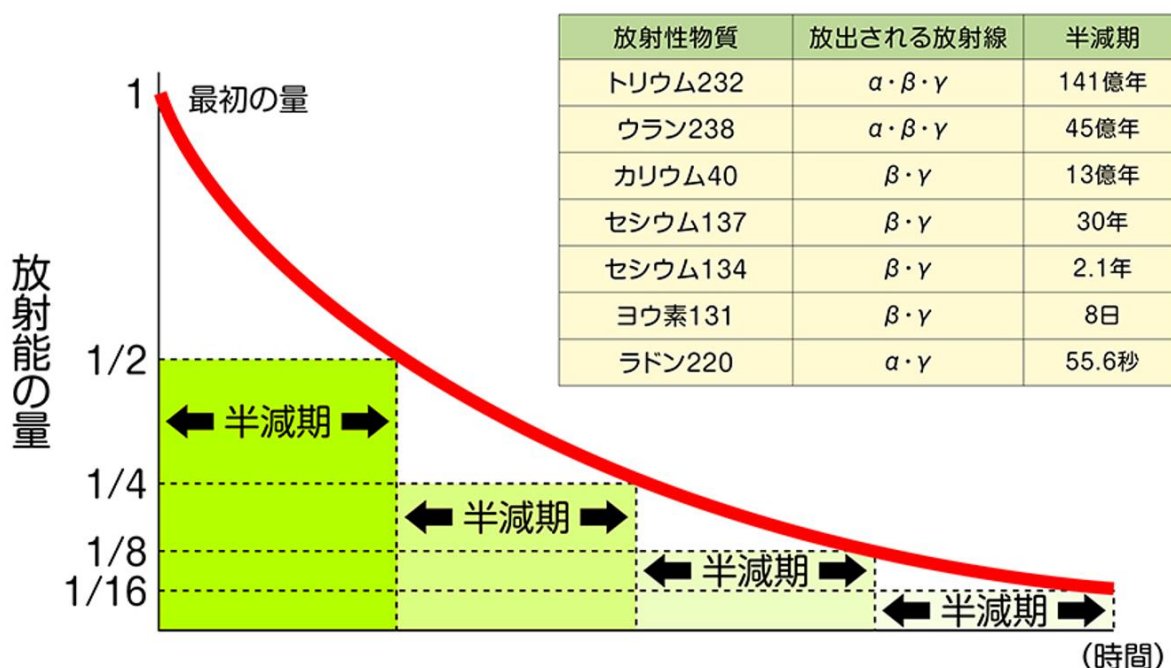


図 21：放射線の電離作用

(電気事業連合会 (2015)「原子力・エネルギー図面集 2015」より)

④ 放射能の量は時間が経つと少なくなる

放射性物質は、放射線を出しながら、時間が経つにつれて放射線を出さない安定な物質に変わっていきます。放射能の量の減り方には規則性があり、一定の時間が経つと、放射能の量は半分になります。この時間を半減期といいます。



出典：「原子力・エネルギー」図面集2012他より作成

図 22：放射能の量の減衰
(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

問題 半減期の異なる2つの放射性物質について、初めの放射能の量を1としたとき、放射能の量が1/2、1/4、1/8、1/16に減衰するのに必要な時間を求めよう。

	1/2	1/4	1/8	1/16
セシウム 137 (半減期 30 年)				
計算				
ヨウ素 131 (半減期 8 日)				
計算				

放射線は、様々な性質を活かして幅広い分野で有効利用されています。しかし一方では、事故などにより、放射性物質や放射線が漏れることで、人体に影響を及ぼすことがあります。

問題 人間の体は、約60%が水で構成されています。
人間が吸収する放射線を選んで、丸をつけよう。

α線

β線

γ線

X線

中性子線

8. 人間の体は放射線を受け止めやすい

人間の体は、約 60%が水で構成されています。水は放射線を止めるため、人間の体は放射線を受け止めやすいといえます。

人体が放射線を受けることを、**被ばく**といいます。体の外にある放射性物質から人体が放射線を受けることを、**外部被ばく**といいます。また、呼吸や飲食により体内に取り込んだ放射性物質から、人体が放射線を受けることを、**内部被ばく**といいます。

同じ放射線の量であれば、

自然放射線が人体に与える影響 = 人工放射線が人体に与える影響

内部被ばくによる影響 = 外部被ばくによる影響



図 23：内部被ばくと外部被ばく
(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

9. 放射線の人体への影響

これまでの研究や調査から、人体が短い時間にたくさんの放射線を浴びると、様々な影響が出る事が確認されています。

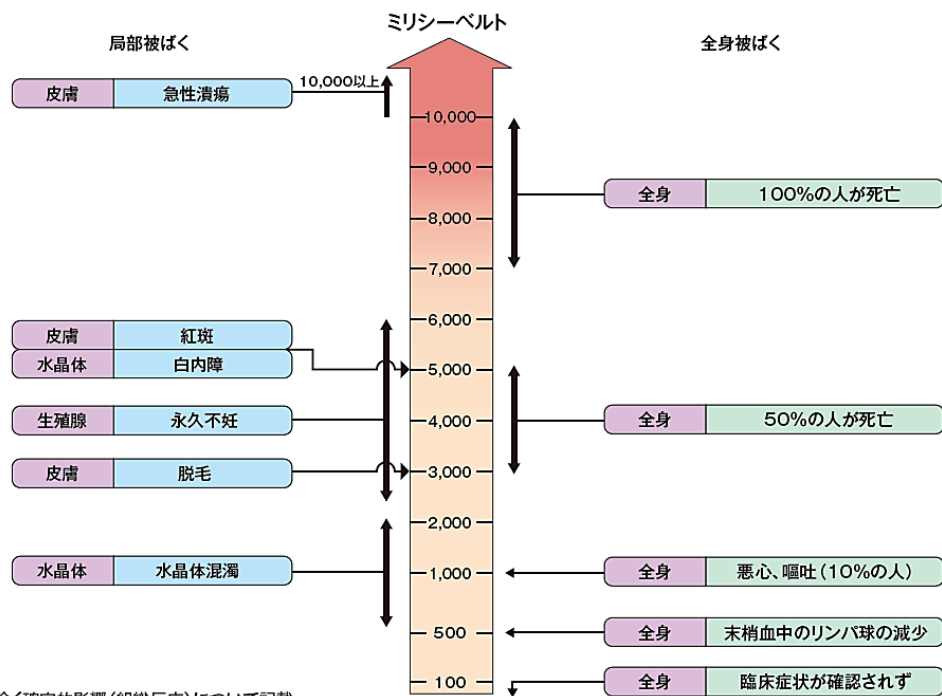
やけどなどの障害

皮膚が一度にたくさんの放射線を受けると、毛が抜けたり、皮膚にやけどをおうような障害が生じる。

ガン

放射線によって傷つけられたDNAが、まちがって修復されて、その細胞が増えたものがガンになる。

凡例 部位 症状



(注1) がんや遺伝性影響を除く確定的影響(組織反応)について記載

(注2) 一般の人の線量限度1.0 mSv/年、原子力発電所周辺の線量目標0.05 mSv/年

図 24：放射線が人間の身体に与える影響
(電気事業連合会 (2015) 「原子力・エネルギー図面集 2015」より)

10. 放射線から身を守る

放射線を使う際には、人間が被ばくする可能性を伴います。また、原子力発電所などで事故が起きると、放射性物質や放射線が漏れ出す恐れがあります。そのため、万が一の時に被ばくによる人体への影響を少なくするために、放射線から身を守る必要があります。外部被ばくから身を守るためには、以下の3つの方法をとる必要があります。

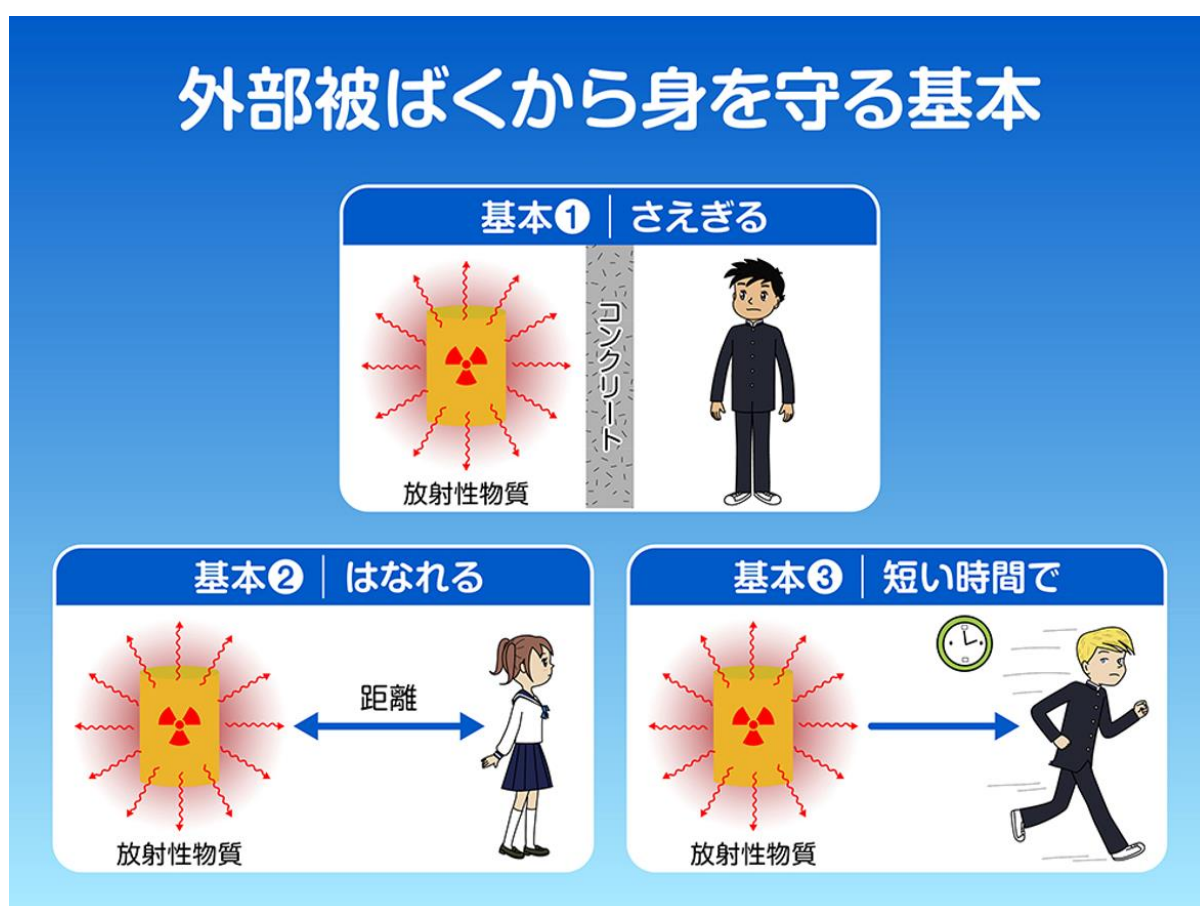


図 25：外部被ばくから身を守る方法
(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

確認問題

(1) _____に当てはまる言葉や数字を書き入れなさい。

■ 放射線とは、_____が_____に
変わろうとするときに放出する、非常に高いエネルギーを持った
_____のことである。

■ 私たちは、常にわずかな放射線を浴びながら生活しており、
_____と_____の2つに分類される。

■ 放射能の強さは_____で表し、人への影響は_____
で表す。

(2) 放射線が持つ性質を4つ説明しなさい。

① _____

② _____

③ _____

④ _____

(3) 外部被ばくから身を守る方法を3つ説明しなさい。

① _____

② _____

③ _____

MEMO

第Ⅱ章 - 1 高レベル放射性廃棄物について

前は、「放射線」について学びました。今回は、原子力発電によって生じる「高レベル放射性廃棄物」について学びましょう。

1. 原子力発電の燃料

原子力発電では、ウラン鉱石（元素記号U）を加工したもの（燃料ペレット）を燃料に使います。燃料ペレットを金属の筒に詰め込み、燃料棒を作ります。この燃料棒をまとめた状態（燃料集合体）で発電をしています。



図 26：ウラン鉱石
（画像提供：日本原燃株式会社）



図 27：燃料ペレット
（画像提供：日本原燃株式会社）

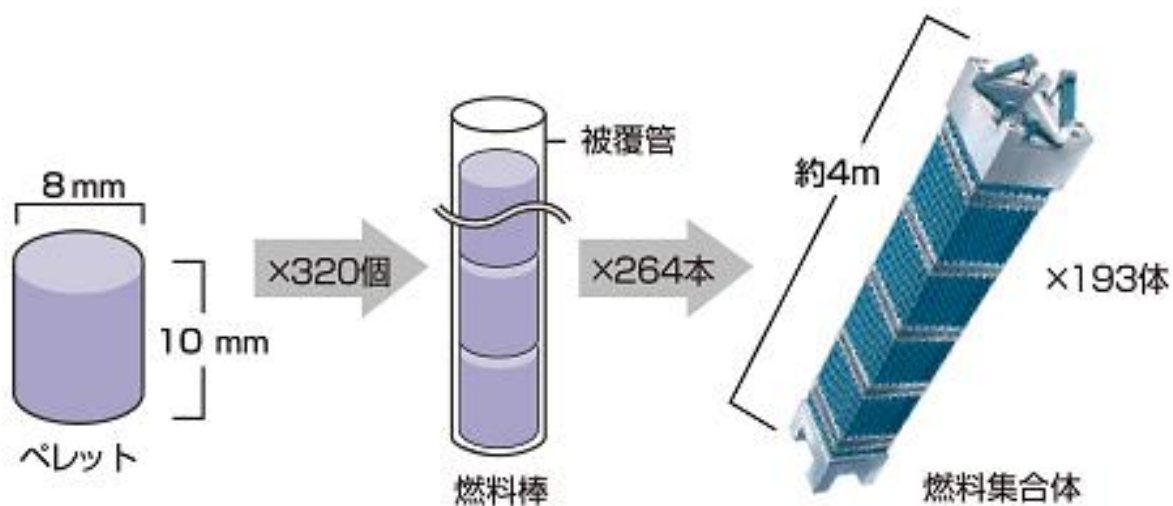


図 28：燃料棒と燃料集合体（一例）
（関西電力株式会社（2016）「原子力発電について 原子力発電の概要」より）

2. 使用済み燃料のうち3~5%は再利用できない

原子力発電で使用した燃料（使用済み燃料）は、各発電所で保管された後、再処理工場へ運ばれ、溶かして分別されます。使用済み燃料のうち、核分裂生成物（約3~5%）は、再利用できません。この液体（高レベル廃液）は強い放射線を出すため、とても危険です。

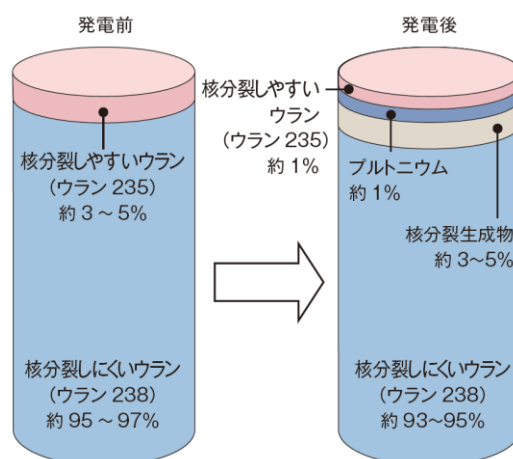


図 29：発電による核燃料の変化
（電気事業連合会（2015）「原子力・エネルギー図面集 2015」より）

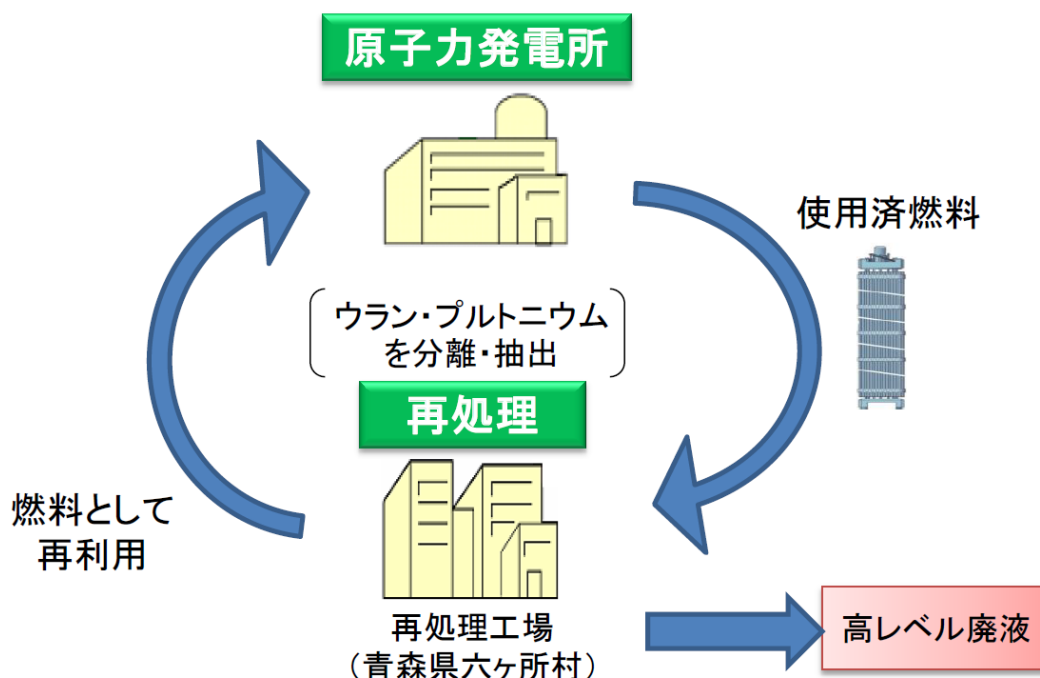


図 30：使用済み燃料の再処理
（経済産業省資源エネルギー庁（2015）「高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた新たな取り組み」より）

考えよう：強い放射線を出すとても危険な液体（高レベル廃液）を、あなたなら、どのように処分しますか。

3. 高レベル廃液は“ガラス固化体”にして処分します

日本では、高レベル廃液をガラスと溶かし合わせ、ステンレス製の容器の中で冷やし固めて処分します。これを、**ガラス固化体**といいます。ガラスには、放射性物質をきちんと取り込む性質があり、水に溶けにくいいため、長い期間安定した状態を保つことができます。

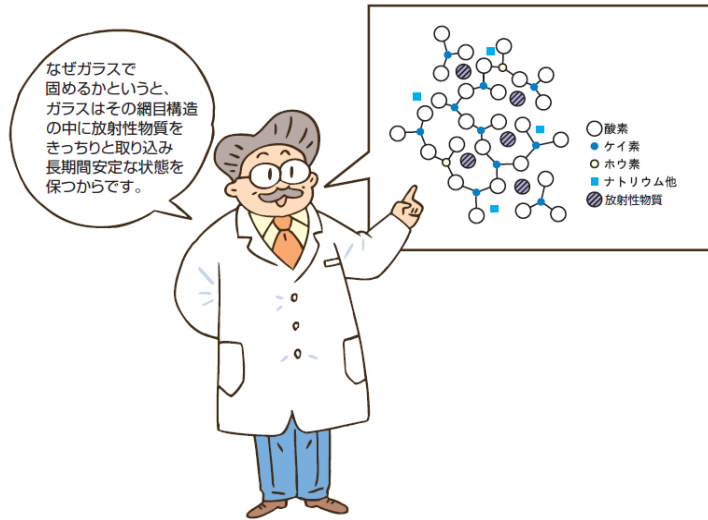


図 31：ガラスの特性

(原子力発電環境整備機構 (2009)「地層処分 その安全性」より)

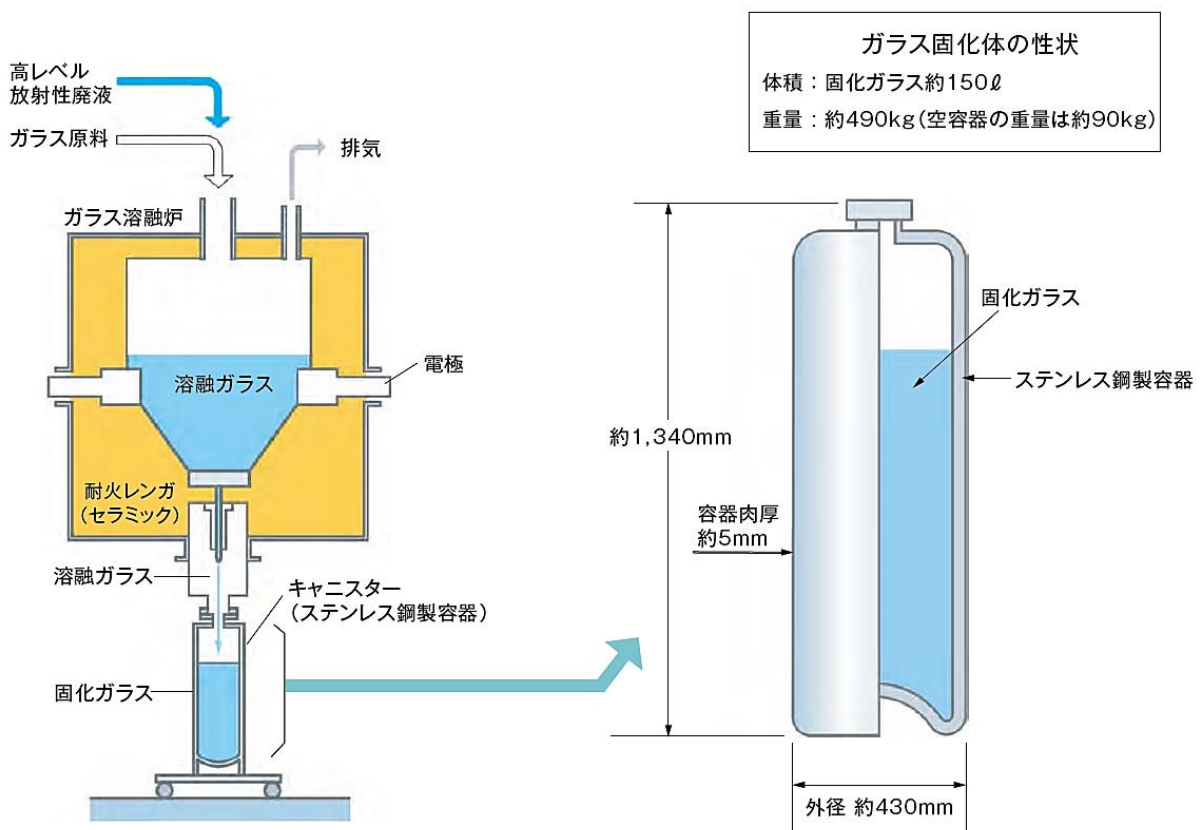


図 32：ガラス固化体の作り方

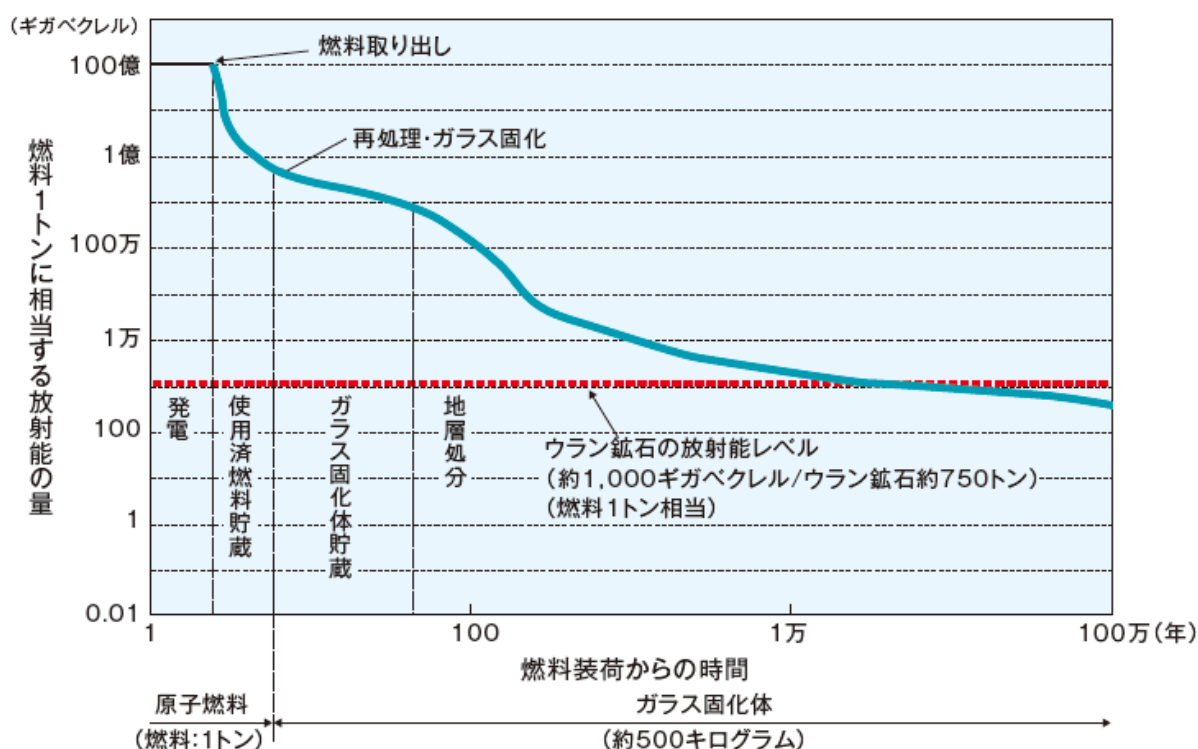
(電気事業連合会 (2015)「原子力・エネルギー図面集 2015」より)

4. ガラス固化体が安全になるためには長い時間が必要

ガラス固化体は、時間が経つにつれて温度が下がり、放射能も弱くなります。しかし、ガラス固化体の放射能が原料のウラン鉱石と同程度になるまでには、**数万年**という非常に長い時間がかかります。

ガラス固化体の特性（完成時）	
温度	放射線量
200 °C以上	約 1,500 Sv/h

（経済産業省資源エネルギー庁（2012）「高レベル放射性廃棄物の地層処分について考えてみませんか」より）



5. このゴミを“高レベル放射性廃棄物”といいます

高レベル廃液とガラス固化体を合わせて、**高レベル放射性廃棄物**といいます。海外では、再処理をせずに燃料集合体のまま処分する国もあり、そのような国では、使用済み燃料を高レベル放射性廃棄物と呼んでいます。

6. 高レベル放射性廃棄物はどれくらいあるの？

2016年3月末の時点で、日本国内には、約2,300本のガラス固化体が地上で貯蔵管理されています。2mのコンクリートによって放射線は遮へいされているため、上に人が立っても人体に影響はありません。

また、日本各地の原子力発電所には、約18,000トンの使用済み燃料が貯蔵されています。これらの使用済み燃料を再処理すると、既存のガラス固化体と合わせて約25,000本分になります。これは現在までに発電した分であり、今後も原子力発電を行えば、高レベル放射性廃棄物の量はさらに増えます。



図 34：使用済み燃料の貯蔵施設
(画像提供：日本原燃株式会社)



図 35：ガラス固化体の貯蔵施設
(画像提供：日本原燃株式会社)

青森県六ヶ所村にある貯蔵施設では、2,880本のガラス固化体しか貯蔵できません。今後、全てのガラス固化体を地上で保管するためには、さらに多くの貯蔵施設が必要です。また、ガラス固化体が安全になるまで、人間が管理し続けなければなりません。

考えよう：現在、高レベル放射性廃棄物は人間の生活環境の中で管理（地上管理）されています。あなたなら、今後も地上管理を続けますか。それとも、地中深くや海底、宇宙など、人間の生活環境の外に処分（隔離処分）しますか。

自分の考えを書こう

地上管理	・	隔離処分
理由		

話し合おう（参考になった考えをメモしよう）

--

話し合いをもとに、改めて自分の考えを書こう

地上管理	・	隔離処分
理由		

第Ⅱ章 - 2 高レベル放射性廃棄物の処分方法を考えよう

今回は、「高レベル放射性廃棄物」について学び、地上管理し続けるか、隔離処分するかを考えました。

世界は、高レベル放射性廃棄物を“隔離処分”する方針で進んでいます。世界中で隔離処分の方法が話し合われた結果、4つの方法が考えられました。

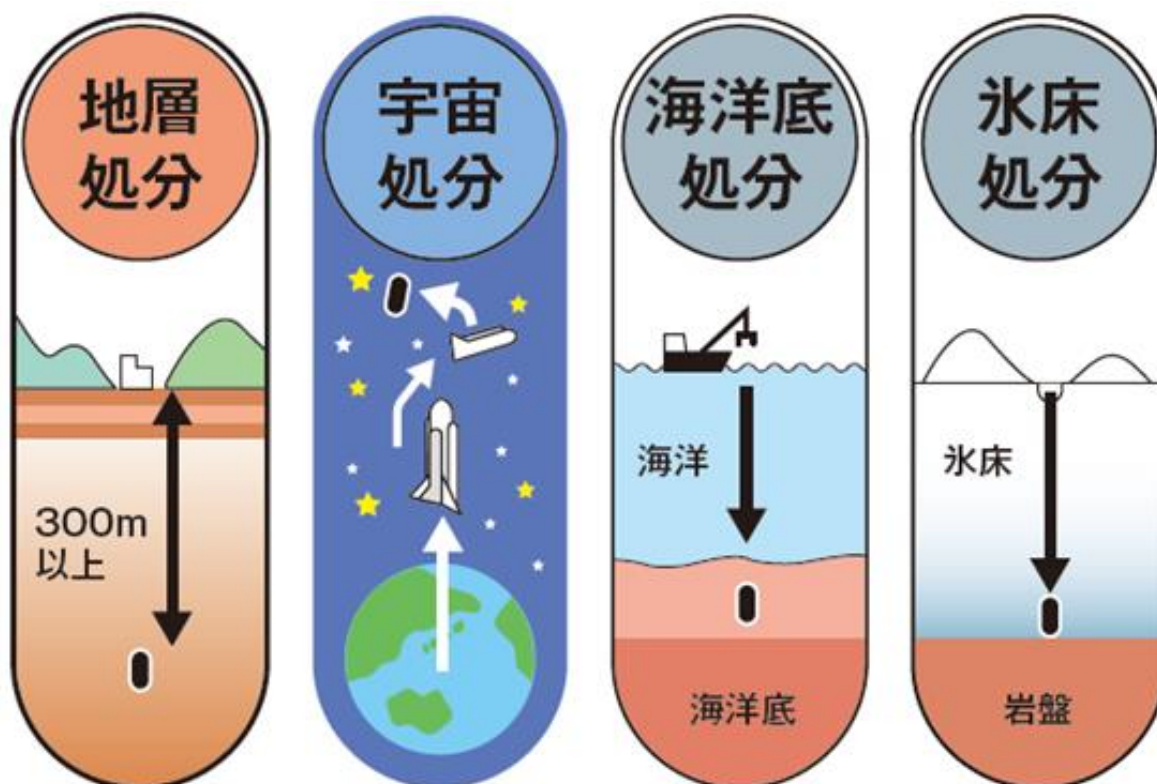


図 36：考えられた隔離処分方法
(電気事業連合会(2015)「原子力・エネルギー図面集 2015」より作成)

地層処分：地面の深いところに埋める。

宇宙処分：ロケットなどを使って地球の外に飛ばす。

海洋底処分：海底の下に埋める。

氷床処分：南極の氷の下に埋める。

考えよう：それぞれの処分方法のメリットとデメリットは何だろうか。

処分方法	メリット	デメリット
地層処分		
宇宙処分		
海洋底処分		
氷床処分		

考えよう：あなたならどの処分方法を採用しますか。

地層処分 ・ 宇宙処分 ・ 海洋底処分 ・ 氷床処分
理由

話し合おう（参考になった考えをメモしよう）

--

考えよう：話し合いをもとに、改めて処分方法を考えよう。

地層処分 ・ 宇宙処分 ・ 海洋底処分 ・ 氷床処分
理由

考えよう：他にもっといい方法はないだろうか。自由に考えよう。

--

第三章 - 1 地層処分について

前は、高レベル放射性廃棄物をどこに隔離処分するかを考えました。実は日本は、“地層処分”を採用することを2000年に決定しています。世界の多くの国も、日本と同様に地層処分を行う方針です。

1. どうして地層処分なの？

地層処分が選ばれたのは、長期間人間が管理し続ける必要がなく、将来まで安全性を確保することができるからです。人間の生活環境や地上の自然環境と“隔離”でき、長期間安定して“閉じ込める”ことができます。

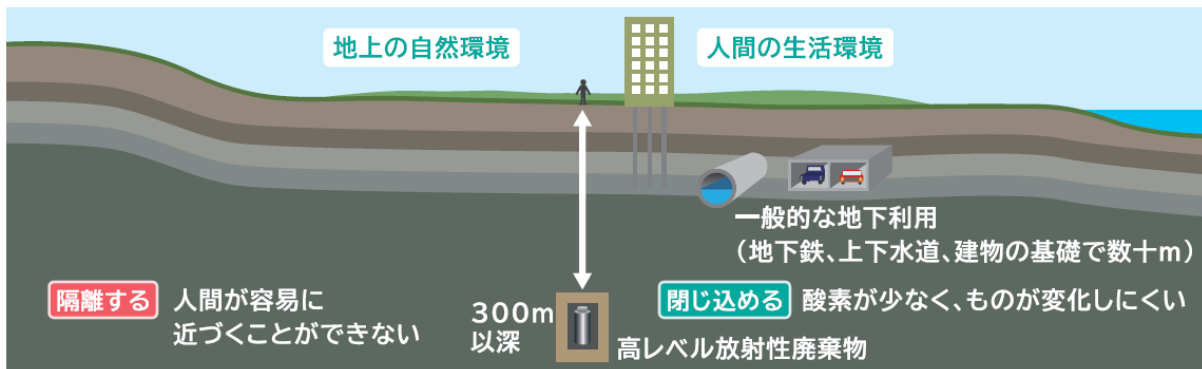


図 37：地層処分の特徴

(原子力発電環境整備機構 (2017) 「知ってほしい、地層処分」より)

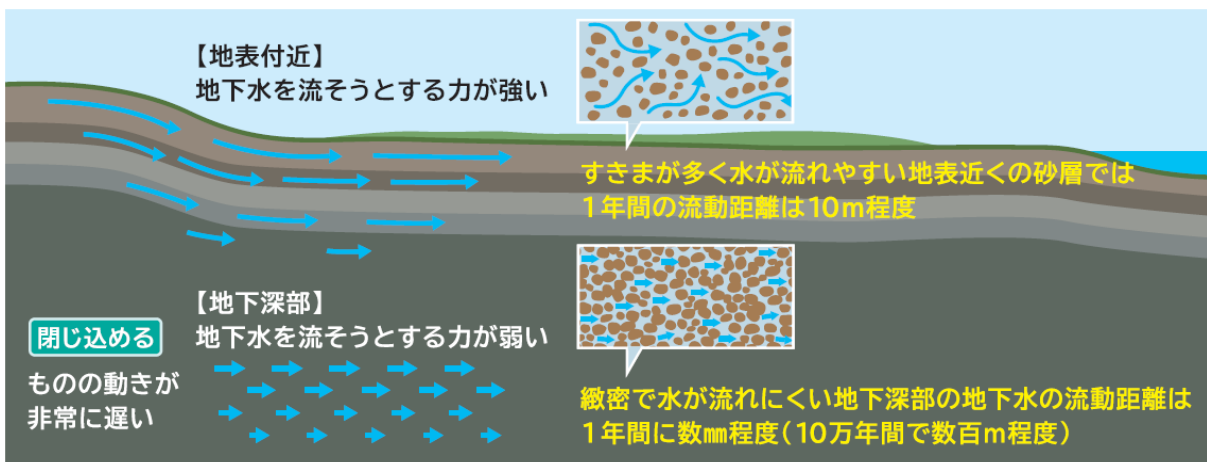


図 38：地表と地下の水の流れの違い

(原子力発電環境整備機構 (2017) 「知ってほしい、地層処分」より)

地層処分以外の方法が採用されていない理由

宇宙処分…打ち上げ技術の安全性に問題がある。(成功率約 90%)
海洋底処分…放射性物質が海水に漏れ出したときの影響が大きい。
ロンドン条約によって禁止されている。
氷床処分…氷床の特性解明が不十分である。
南極条約によって禁止されている。

考えよう：あなたは、高レベル放射性廃棄物を地層処分することに賛成ですか。反対ですか。今の考えを 5 段階で評価して、その理由を書こう。

(後で同じ質問をします)

(賛成) 1 • 2 • 3 • 4 • 5 (反対)

理由

MEMO

2. ガラス固化体をそのまま地中に埋めるの？

ガラス固化体は、完成時の温度が 200℃以上あり、表面の放射線量が約 1,500Sv/h であるため、すぐに地層処分することはできません。そのため、地上の施設で 30～50 年貯蔵管理し、ガラス固化体の表面温度と放射線量がある程度下がってから地層処分することにしています。

しかし、30～50 年経過しても、ガラス固化体はまだまだ危険です。

考えよう：ガラス固化体をそのまま埋めると、どのような危険性（リスク）が考えられるだろうか。また、安全に処分するためにはどのような工夫が必要だろうか。

考えられる危険性（リスク）	安全に処分するために必要な工夫

ガラス固化体をそのまま埋めると、放射線が周囲に漏れたり、放射性物質が漏れ出して地下水によって広範囲に拡散する恐れがあります。

そこで、ガラス固化体を、金属製の容器（オーバーパック）、緩衝材（粘土）、地下深くの岩盤でしっかりと守り、安全に処分します。これを**多重バリアシステム**といいます。

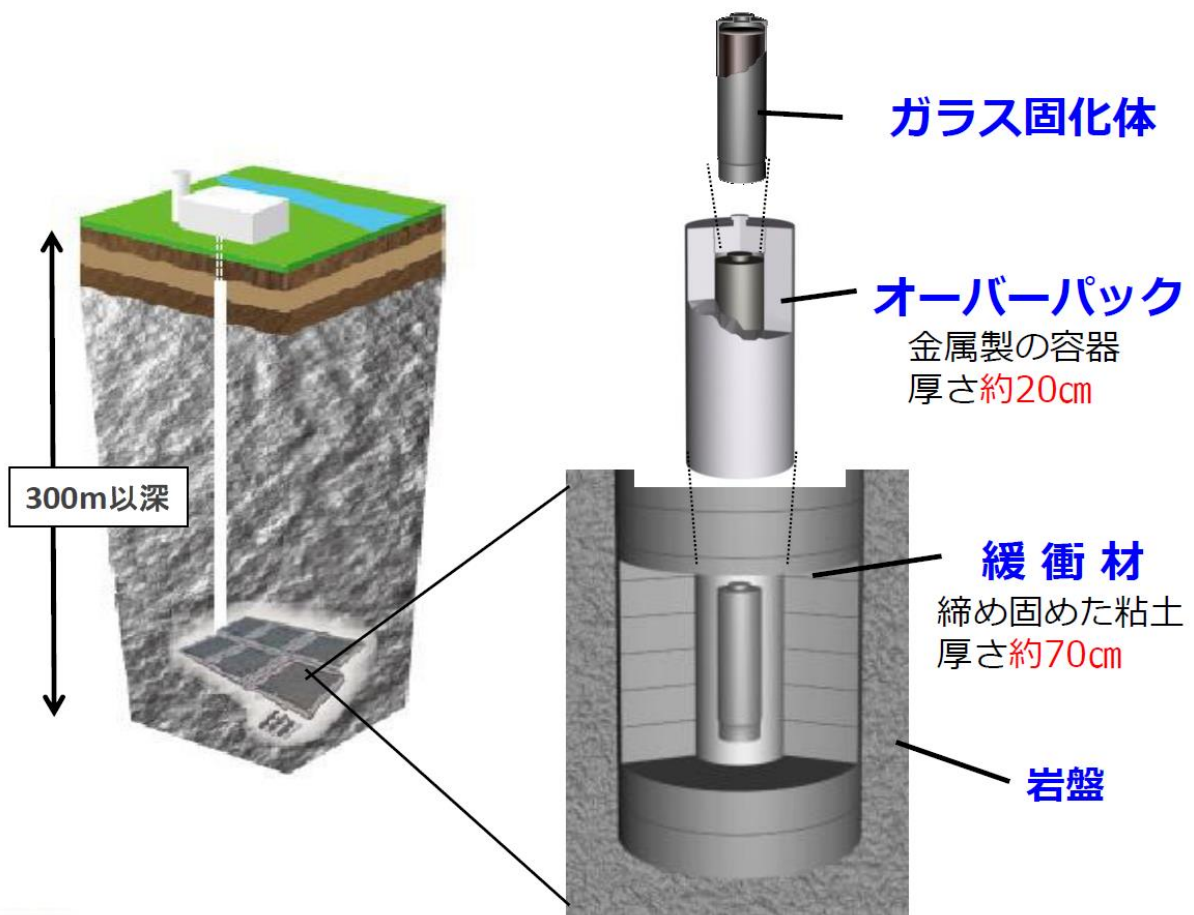


図 39：多重バリアシステム

(原子力発電環境整備機構 (2015) 『今改めて考えよう地層処分』地層処分事業の概要) より)

金属製の容器（オーバーパック）

ガラス固化体を、金属の容器の中に入れます。これにより、ガラス固化体の放射能が急激に下がる少なくとも 1000 年間、ガラス固化体に地下水が接触するのをし断することができます。

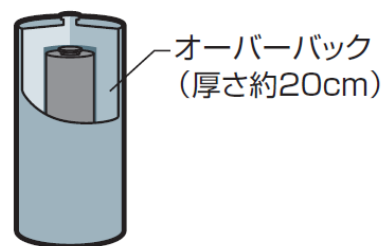


図 40：金属製の容器（オーバーパック）
（原子力発電環境整備機構（2009）「地層処分 その安全性」より）

緩衝材（粘土）

容器の周りを、ベントナイトという粘土で囲みます。ベントナイトには水を非常に通しにくい性質があるため、オーバーパックが腐食することを防ぎ、万が一ガラス固化体から放射性物質が漏れ出しても、地下水によって拡散されることを防ぐことができます。

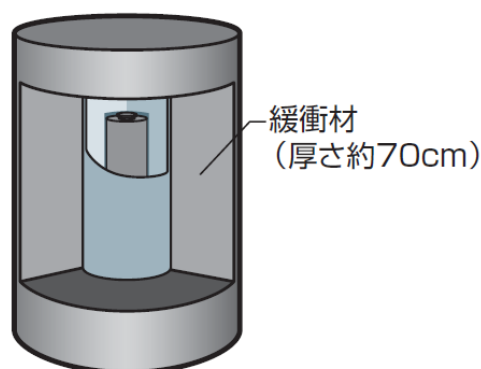


図 41：緩衝材（粘土）
（原子力発電環境整備機構（2009）「地層処分 その安全性」より）

地下深くの岩盤

2 つの人工バリアを施したガラス固化体を、地下 300m より深くの安定した岩盤に埋めます。地下水の動きは非常に遅く、岩盤には、放射性物質を吸着する能力があるので、放射性物質が漏れ出したとしても、拡散を防ぐことができます。また、地下深くは酸素がとて少ないため、金属が腐食しにくく、長期間元の状態を保つことができます。

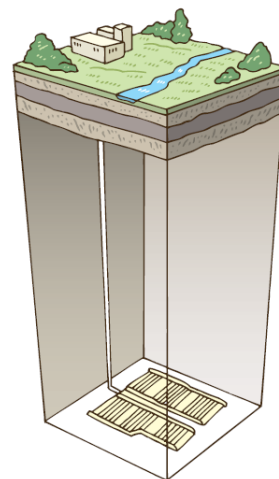


図 42：岩盤に埋めた状態
（原子力発電環境整備機構（2009）「地層処分 その安全性」より）

3. 地層処分をする施設はどんなところ？

現在、40,000 本以上のガラス固化体を処分できる施設を建設することが考えられています。ガラス固化体を受け入れ、ガラス固化体に人工バリアを施す地上施設（1～2 km²）と、ガラス固化体を定置するために必要な地下施設（6～10 km²）で構成されます。最終的に地下施設は埋め戻し、地上施設は解体する計画です。

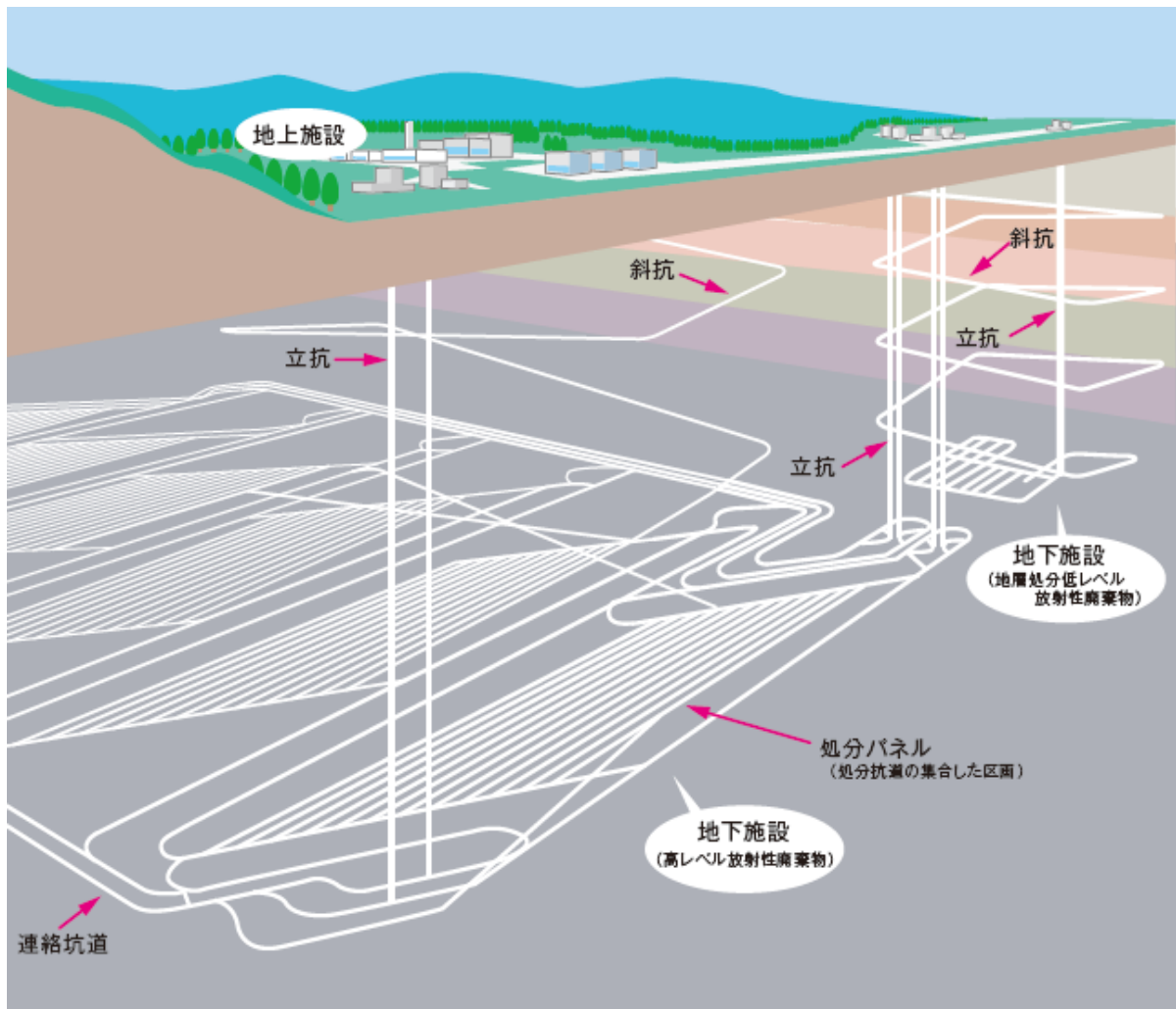


図 43：処分施設の概要
(電気事業連合会 (2015)「原子力・エネルギー図面集 2015」より)

地上施設における工程 (イメージ)

1. 地上施設への輸送



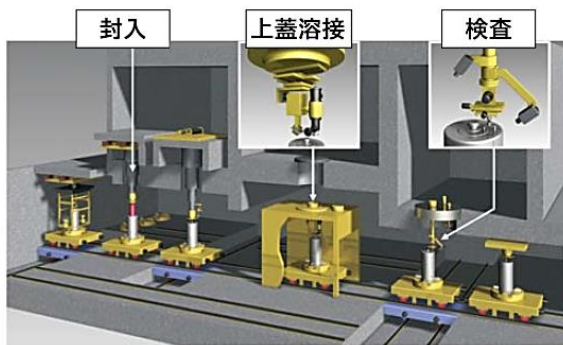
専用の輸送容器(キャスク)、
専用道路での輸送。

2. ガラス固化体の受入れ・ 検査・一時仮置き



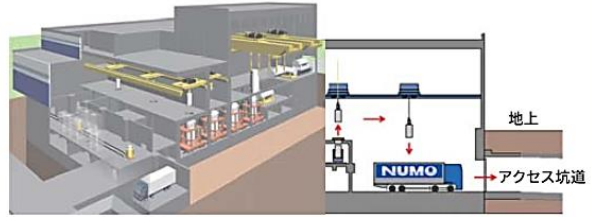
放射線量やガラス固化体の
状態を確認した後、受入れます。

3. ガラス固化体のオーバーパックへの 封入・溶接 (遠隔操作技術を使用)



遠隔操作技術を用いてガラス固化体をオーバ
パックへ封入し、上蓋を溶接します。

4. 搬送車両への積み込み



廃棄物を搬送車両に積み込みます。

地下施設における工程 (イメージ)

5. アクセス坑道での搬送



6. 処分坑道での定置



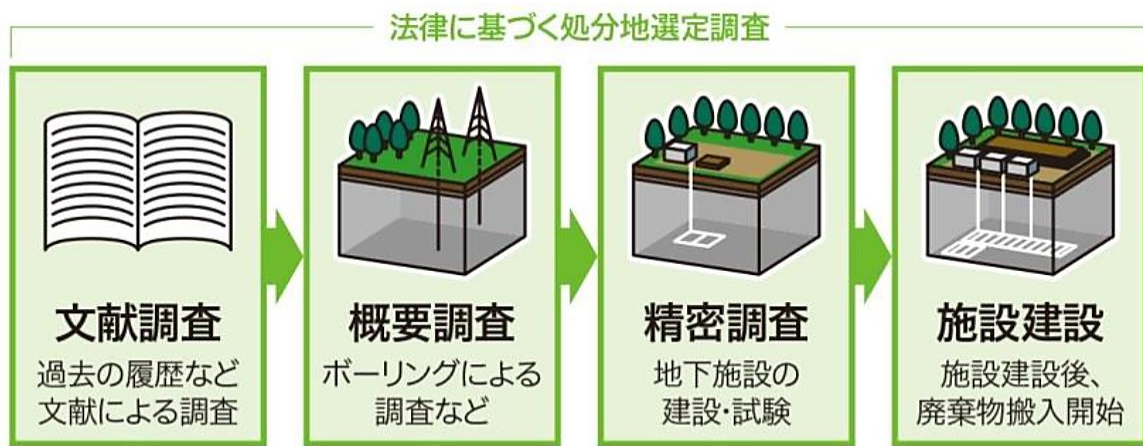
7. 処分坑道の埋め戻し



図 44：ガラス固化体を地層処分するまでの工程
(原子力発電環境整備機構 (2017) 「知ってほしい、地層処分」より)

4. 処分地はどうやって決めるの？

日本では、約 20 年間かけて 3 段階の調査（文献調査、概要調査、精密調査）を行い、その結果を踏まえて処分地を決定します。調査開始から処分完了（施設閉鎖）までには、約 100 年以上かかると予想されています。



※都道府県知事、市町村長の意見を聴き、反対の場合には次の段階に進まない

図 45：3 段階の調査

（原子力発電環境整備機構（2015）『今改めて考えよう地層処分』地層処分事業の概要』より）

現在、岐阜県の瑞浪市と北海道の幌延町に研究施設を作り、高レベル放射性廃棄物を地層処分するための様々な研究をしています。



図 46：東濃地科学センター瑞浪超深地層研究所
（資料提供：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構）



図 47：地下 500m にある研究坑道
（資料提供：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構）

5. 処分地はもう決まっているの？

日本では、2002 年から処分地を決めるための調査を受け入れる自治体を公募しています。2007 年に高知県東洋町から応募がありましたが、その後応募は取り下げられました。その他の自治体からの応募は 1 件もありません。公募開始から約 15 年経った現在でも、処分地を決めるための調査は 1 度も行われていないのが現状です。

海外では、フィンランドとスウェーデンですでに処分地が決定しています。その他の国は、日本と同様に処分地が決定していない状況です。

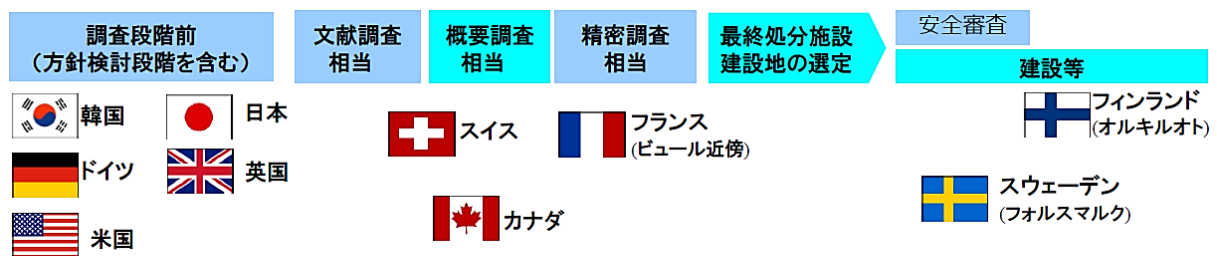


図 48：諸外国の進捗状況
(資料提供：原子力発電環境整備機構)

考えよう：地層処分について知り、あなたは、高レベル放射性廃棄物を地層処分することに賛成ですか。反対ですか。もう一度、今の考えを 5 段階で評価して、その理由を書こう。(後で同じ質問をします)

(賛成)	1	•	2	•	3	•	4	•	5	(反対)
理由										

第Ⅲ章 - 2 処分地を決めるときに重視する要因を考えよう

今回は「地層処分」について学びました。今回は、高レベル放射性廃棄物を地層処分する場所（処分地）を決めるときに、考えなくてはならない要因について考えましょう。

1. はじめに

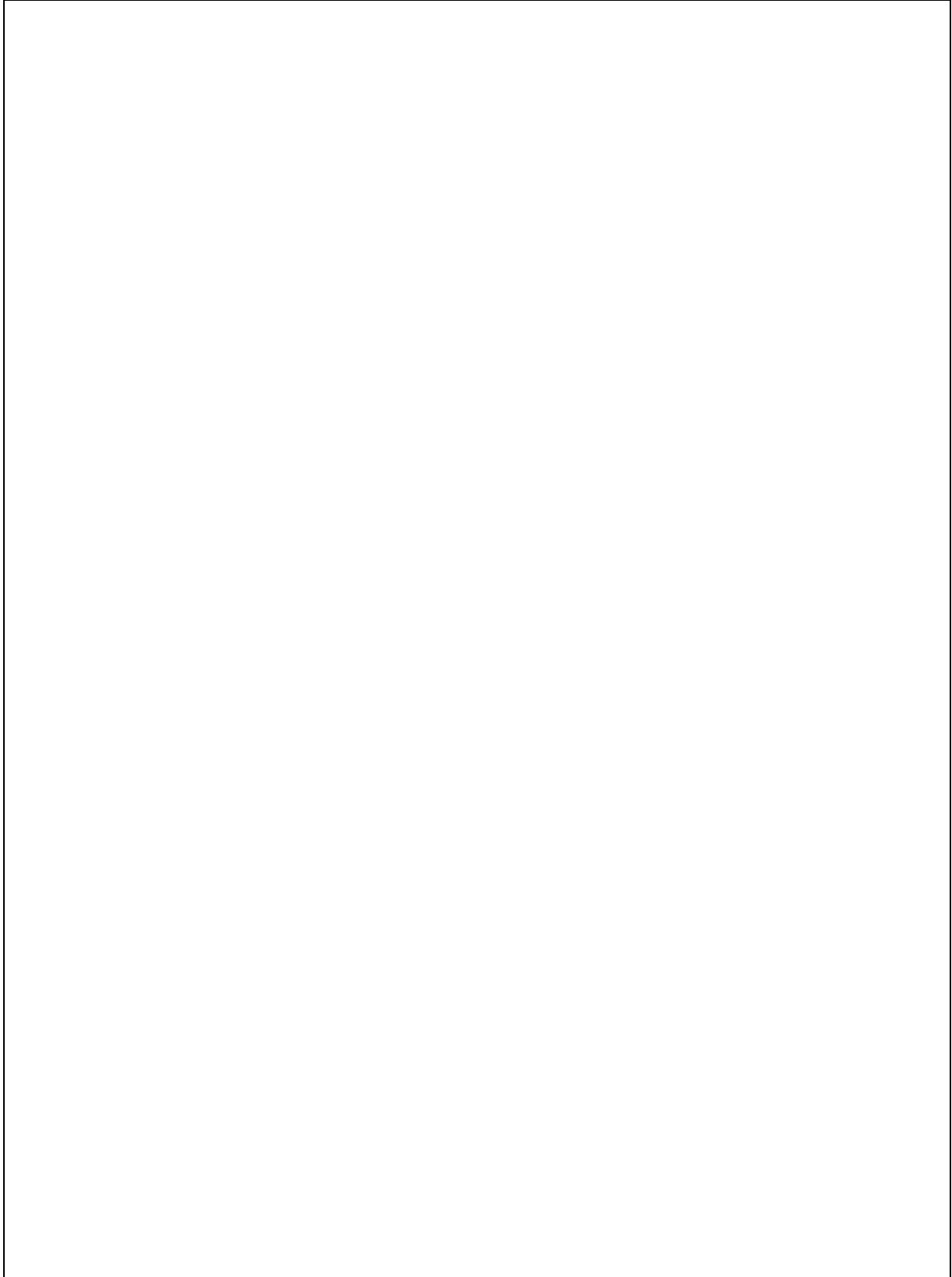
日本は、40,000 本以上のガラス固化体を、地下 300mより深くの岩盤に地層処分する方針です。2002 年から、国の機関である「原子力発電環境整備機構（NUMO）」が処分地を決めるための調査を受け入れる自治体を公募しています。しかし、約 15 年経った現在でも調査を受け入れる自治体は 1 つもなく、調査は全く進んでいません。

考えよう：高レベル放射性廃棄物の処分地を決めることについて、あなたはどのように考えますか。今の自分の考えに近いものを選んで、その理由を書こう。（後で同じ質問をします）

- ア 決められる大人になりたい
- イ 国がしっかりと決めなければならない
- ウ 決められないのは仕方がない
- エ 私たち自身が考えていかなければならない

理由

考えよう：高レベル放射性廃棄物の処分地を決めるときに、あなたなら、
どのようなことを考えますか。



2. 処分地を決めるときに考えなくてはならないこと

社会的な要因			
<p>鉱物資源</p> <p>処分地の近くに鉱物資源があると、将来の世代が、鉱物資源の調査や採掘のために、地下施設の近くへ行ってしまふ可能性があります。</p>		<p>人口密度</p> <p>処分地周辺の人口密度が高いほど、事故が起きたときの人的被害が大きくなります。</p>	
<p>土地利用</p> <p>多くの人が土地の所有権を持っている場所を処分地とする場合には、その人達に許可をいただき、移動していただく必要があります。また、場所によっては、価値のあるもの（重要文化財など）がある場合もあります。</p>		<p>港からの距離</p> <p>再処理施設から処分地の近くの港までは船で運びますが、その後は陸地を運びます。港からの距離が遠くなるほど、輸送中の被ばくリスクが高くなります。</p>	
		 <p>図 49：ガラス固化体の輸送船 (資料提供：原子力発電環境整備機構)</p>	
<p>港からの輸送方法</p> <p>港から処分地までガラス固化体を運ぶ方法は、車両と鉄道の2つがあります。一度に運ぶ量が少ないほど、途中の道路に留まる時間が長くなり、被ばくリスクは高くなります。一方で、一度に運ぶ量が多いほど、事故が起きたときの被ばくリスクは高くなります。</p>			
		 <p>図 50：ガラス固化体の輸送車両 (資料提供：原子力発電環境整備機構)</p>	
輸送方法	ガラス固化体を一度に運搬できる量	輸送中の被ばくリスク	その他
車両	4本	最も高い	道路の補強が必要。
鉄道	28本	中程度	勾配の制限があり、輸送できる範囲が限られる。

(総合資源エネルギー調査会「科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術 WG における中間整理より作成)

科学的な要因	
<p>地震（活断層）</p> <p>地下施設の近くに活断層があると、地下施設を破壊する可能性があります。また、岩盤に亀裂が入ることで、地下水の量が増えたり、地下水の流れが速くなる可能性があります。</p>	<p>地下水の流量</p> <p>地下水がたくさん流れている場所では、万が一、放射性物質が漏れ出した時に、放射性物質を広範囲に拡散してしまう可能性があります。</p>
<p>火山</p> <p>地下施設の近くに火山があると、地下施設にマグマが流れこみ、ガラス固化体を溶かす可能性があります。また、マグマの熱によって、ガラス固化体の周りの地温や水温が、上昇する可能性があります。</p>	<p>岩盤の固さ</p> <p>岩盤がやわらかいと、強度が小さく、地下施設の建設に影響する可能性があります。また、操業中に、地下施設の維持・管理が困難になる可能性があります。</p>
<p>隆起・侵食</p> <p>隆起が生じている地域では、隆起した地表面が、雨や風によって侵食されます。隆起が著しい地域では、侵食も著しくなる可能性があり、一度埋めた高レベル放射性廃棄物が、地表近くまで接近する可能性があります。</p>	

高レベル放射性廃棄物の処分地を決めるためには、これだけのことを考えなくてはなりません。次のページでは、処分地を決めるときにどの要因を重視するか考えましょう。

科学的な要因	
地震（活断層）、火山、隆起・侵食、岩盤の固さ、地下水の流量	

考えよう：5つの科学的な要因を、重要だと考える順に並べよう。

	要因	理由
1		
2		
3		
4		
5		

話し合おう（参考になった考えをメモしよう）

--

考えよう：話し合いをもとに、もう一度、5つの科学的な要因を重要だと考える順に並べよう。

	要因	理由
1		
2		
3		
4		
5		

社会的な要因	
鉱物資源、人口密度、土地利用、港からの距離、港からの輸送方法	

考えよう：5つの社会的な要因を、重要だと考える順に並べよう。

	要因	理由
1		
2		
3		
4		
5		

話し合おう（参考になった考えをメモしよう）

--

考えよう：話し合いをもとに、もう一度、5つの科学的な要因を重要だと考える順に並べよう。

	要因	理由
1		
2		
3		
4		
5		

第Ⅲ章 - 3 処分地を決定しよう

前回は、処分地を決めるときに考えなくてはならない要因を考えました。今回は、仮定の候補地の中で、どこを高レベル放射性廃棄物の処分地にするかを考えましょう。

日本国内全域を対象として調査を行った結果、7つの場所が候補地に選ばれました。あなたなら、どの候補地を処分地にしますか。

	候補地						
	A	B	C	D	E	F	G
科学的な要因							
地震（活断層）	ある	ない	ない	ない	ない	ない	ない
火山	ない	ない	ない	ない	ある	ない	ない
隆起・侵食	少ない	少ない	少ない	多い	少ない	多い	少ない
岩盤の固さ	固い	軟らかい	軟らかい	軟らかい	固い	固い	固い
地下水の流量	少ない	少ない	多い	少ない	少ない	少ない	多い
社会的な要因							
鉱物資源	ある	ない	ない	ある	ない	ある	ある
人口密度	低い	高い	低い	低い	低い	高い	高い
土地利用	農村地域	住宅地	森林	漁村地域	国立公園	市街地	工業地帯
港からの距離	近い	遠い	遠い	近い	遠い	近い	近い
港からの輸送方法	車両	車両	車両	鉄道	鉄道	車両	鉄道

考えよう：科学的な要因をもとに、7つの候補地を順位づけよう。

1	2	3	4	5	6	7

考えよう：社会的な要因をもとに、7つの候補地を順位づけよう。

1	2	3	4	5	6	7

考えよう：科学的な要因と社会的な要因の両方から、処分地を決定しよう。

A ・ B ・ C ・ D ・ E ・ F ・ G
<p>決め手となった要因（1つに○をつけよう）</p> <p>地震（活断層） 火山 隆起・侵食 岩盤の固さ 地下水の流量</p> <p>鉱物資源 人口密度 土地利用 港からの距離 港からの輸送方法</p>
理由

話し合おう（参考になった考えをメモしよう）

--

考えよう：話し合いをもとに、改めて処分地を決定しよう。

A ・ B ・ C ・ D ・ E ・ F ・ G
決め手となった要因（1つに○をつけよう） 地震（活断層） 火山 隆起・侵食 岩盤の固さ 地下水の流量 鉱物資源 人口密度 土地利用 港からの距離 港からの輸送方法
理由

考えよう：あなたが決めた候補地の近くに、あなたは住みますか。

(あなたが住む家は、処分地から安全な距離離れた場所にあるとします)

住む • 住まない • 判断できない
理由

考えよう：あなたが決めた候補地が、あなたが住んでいる地域だとしたら、あなたは処分施設を建設することを受け入れますか。

(あなたの家は、処分地から安全な距離だけ離れた場所にあるとします)

受け入れる • 受け入れない • 判断できない
理由

第IV章 – 1 私たちのこれからを考えよう

今回は、仮想の候補地の中で、どこを高レベル放射性廃棄物の処分地にするかを考えました。今回は、これまでの活動を振り返り、私たちがこれからこの問題とどのように関わっていくかを考えましょう。

1. 処分地を決めることについて

考えよう：これまでの活動を踏まえて、高レベル放射性廃棄物の処分地を決めることについて、あなたはどのように考えますか。もう一度、今の自分の考えに近いものを選んで、理由を書こう。

- ア 決められる大人になりたい
- イ 国がしっかりと決めなければならない
- ウ 決められないのは仕方がない
- エ 私たち自身が考えていかなければならない

理由

考えよう：上の質問と同じ質問を47ページでもしました。それぞれの回答を読み比べてみて、自分の考えがどのように変わったのか（変わらなかったのか）を整理して、その理由を書こう。

P.47

ア・イ・ウ・エ

P.58

ア・イ・ウ・エ

理由

2. 地層処分について

考えよう：これまでの活動を踏まえて、あなたは、高レベル放射性廃棄物を地層処分することに賛成ですか。反対ですか。もう一度、今の考えを5段階で評価して、その理由を書こう。

(賛成) 1 · 2 · 3 · 4 · 5 (反対)
理由

考えよう：上の質問と同じ質問を39ページと47ページでもしました。それぞれの回答を読み比べてみて、自分の考えがどのように変わったのか（変わらなかったのか）を整理して、その理由を書こう。

P.39	(賛成) 1 · 2 · 3 · 4 · 5 (反対)
P.47	(賛成) 1 · 2 · 3 · 4 · 5 (反対)
P.59	(賛成) 1 · 2 · 3 · 4 · 5 (反対)
理由	

3. これからの私たちの生活

高レベル放射性廃棄物の処分が完了するのは、約 100 年以上先と予想されています。これからの日本を担うあなたたちが大人になった時、きっと様々な場面でこの問題について考え、みんなで話し合い、実際に決めなくてはならない機会があります。

考えよう：高レベル放射性廃棄物の処分問題を学んで、今後あなたは、この問題とどのように向き合っていきますか。

考えよう：そのために、あなたが今できることはどんなことがありますか。

MEMO

4. おわりに

これまでに学習したように、高レベル放射性廃棄物の処分地を決めるための調査を受け入れる自治体は、今のところ1つありません。そこで国は、地層処分に関係する各地域の科学的な特性を整理した「科学的特性マップ」を2017年7月に公表しました。

高レベル放射性廃棄物の処分問題は、日本の全国民が関係します。次の世代の人たちに迷惑をかけないためにも、私たちの世代で解決できるように、これからもしっかりと考えていくことが大切です。

～もっと知りたい人は調べてみよう～

発電について

- 電気事業連合会：<http://www.fepc.or.jp/>
- 経済産業省資源エネルギー庁：<http://www.enecho.meti.go.jp/>

放射線について

- 文部科学省（中学生・高校生のための放射線副読本）
http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1344729.html

高レベル放射性廃棄物について

- 日本原燃株式会社：<http://www.jnfl.co.jp/ja/>

地層処分について

- 原子力発電環境整備機構（NUMO）：<http://www.numo.or.jp/>

地層処分のための研究施設について

- 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構：<http://www.jaea.go.jp/>
- 東濃地科学センター：<http://www.jaea.go.jp/04/tono/index.html>
- 幌延深地層研究センター：<http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/index.html>

(2017年2月現在)

科学的特性マップ

科学的特性区分と条件・基準

1. 科学的特性区分

- 地層区分技術WGで議論された条件・基準と科学的特性区分の関係は、下のとおりである。「好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域」は、将来的に掘削の可能性の対象となる可能性があると思われる。
- 「科学的特性マップ」は、それぞれの地域がどの程度好ましくない科学的特性を有するかどうかを確定的に示すものではなく、掘削可能性を測定するまでは、「科学的特性マップ」には含まれていない要素もあって、法律に基づき政策的に調査・評価している必要がある。



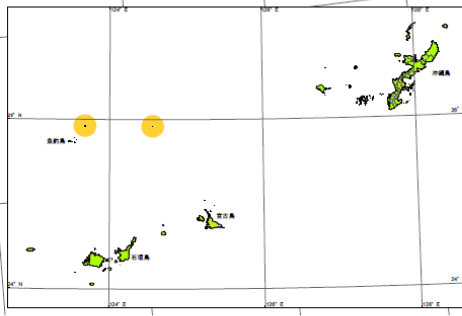
科学的特性区分	条件	基準	参照先
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	活火山	活火山の中心から15km以内 新記録の火山活動(100mを超えるカルデラの噴出) 活火山の噴出が可能なものについては、活火山噴出時に好ましくない特性を併発する可能性がある	別添①
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地震活動	地震帯、活断層帯と断層長さ(活動セグメント長さ)の100%程度(断層の両側)を同時に満たした断層帯 活断層帯、活断層帯と断層長さ(断層帯長さ)の100%程度(断層の両側)を同時に満たした断層帯	別添②
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質・地質	国土環境で体系的に調査された文獻・データにおいて、将来10万年間で地質と地質環境による影響が200mを超える可能性が高いと推定される地域(真横断は、最大深度まで100mの厚さを有する)の面積の割合、断層帯長さ(50m以上10万mの長さ)	別添③
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	断層帯において、断層帯の速度が100℃未満を確保できない地帯と地質環境による影響が200mを超える可能性が高いと推定される地域(真横断は、最大深度まで100mの厚さを有する)の面積の割合、断層帯長さ(50m以上10万mの長さ)	別添④
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	火山性熱水・地質環境	地下水の特性として、pHが8未満あるいは酸度化学濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を有する地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域	別添⑤
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	断層帯(約17万年前以降)の大規模地質環境・火山前・火山噴出の分布範囲	別添⑥
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地質環境で体系的に調査された文獻・データにおいて、将来10万年間で地質と地質環境による影響が200mを超える可能性が高いと推定される地域(真横断は、最大深度まで100mの厚さを有する)の面積の割合、断層帯長さ(50m以上10万mの長さ)	別添⑦
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地下水の特性として、pHが8未満あるいは酸度化学濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を有する地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域	別添⑧
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	断層帯(約17万年前以降)の大規模地質環境・火山前・火山噴出の分布範囲	別添⑨
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地質環境で体系的に調査された文獻・データにおいて、将来10万年間で地質と地質環境による影響が200mを超える可能性が高いと推定される地域(真横断は、最大深度まで100mの厚さを有する)の面積の割合、断層帯長さ(50m以上10万mの長さ)	別添⑩
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地下水の特性として、pHが8未満あるいは酸度化学濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を有する地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域	別添⑪
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	断層帯(約17万年前以降)の大規模地質環境・火山前・火山噴出の分布範囲	別添⑫
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地質環境で体系的に調査された文獻・データにおいて、将来10万年間で地質と地質環境による影響が200mを超える可能性が高いと推定される地域(真横断は、最大深度まで100mの厚さを有する)の面積の割合、断層帯長さ(50m以上10万mの長さ)	別添⑬
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地下水の特性として、pHが8未満あるいは酸度化学濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を有する地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域	別添⑭
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	断層帯(約17万年前以降)の大規模地質環境・火山前・火山噴出の分布範囲	別添⑮
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地質環境で体系的に調査された文獻・データにおいて、将来10万年間で地質と地質環境による影響が200mを超える可能性が高いと推定される地域(真横断は、最大深度まで100mの厚さを有する)の面積の割合、断層帯長さ(50m以上10万mの長さ)	別添⑯
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地下水の特性として、pHが8未満あるいは酸度化学濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を有する地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域	別添⑰
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	断層帯(約17万年前以降)の大規模地質環境・火山前・火山噴出の分布範囲	別添⑱
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地質環境で体系的に調査された文獻・データにおいて、将来10万年間で地質と地質環境による影響が200mを超える可能性が高いと推定される地域(真横断は、最大深度まで100mの厚さを有する)の面積の割合、断層帯長さ(50m以上10万mの長さ)	別添⑲
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地下水の特性として、pHが8未満あるいは酸度化学濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を有する地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域	別添⑳
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	断層帯(約17万年前以降)の大規模地質環境・火山前・火山噴出の分布範囲	別添㉑
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地質環境で体系的に調査された文獻・データにおいて、将来10万年間で地質と地質環境による影響が200mを超える可能性が高いと推定される地域(真横断は、最大深度まで100mの厚さを有する)の面積の割合、断層帯長さ(50m以上10万mの長さ)	別添㉒
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地下水の特性として、pHが8未満あるいは酸度化学濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を有する地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域	別添㉓
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	断層帯(約17万年前以降)の大規模地質環境・火山前・火山噴出の分布範囲	別添㉔
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地質環境で体系的に調査された文獻・データにおいて、将来10万年間で地質と地質環境による影響が200mを超える可能性が高いと推定される地域(真横断は、最大深度まで100mの厚さを有する)の面積の割合、断層帯長さ(50m以上10万mの長さ)	別添㉕
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地下水の特性として、pHが8未満あるいは酸度化学濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を有する地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域	別添㉖
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	断層帯(約17万年前以降)の大規模地質環境・火山前・火山噴出の分布範囲	別添㉗
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地質環境で体系的に調査された文獻・データにおいて、将来10万年間で地質と地質環境による影響が200mを超える可能性が高いと推定される地域(真横断は、最大深度まで100mの厚さを有する)の面積の割合、断層帯長さ(50m以上10万mの長さ)	別添㉘
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地下水の特性として、pHが8未満あるいは酸度化学濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を有する地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域	別添㉙
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	断層帯(約17万年前以降)の大規模地質環境・火山前・火山噴出の分布範囲	別添㉚
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地質環境で体系的に調査された文獻・データにおいて、将来10万年間で地質と地質環境による影響が200mを超える可能性が高いと推定される地域(真横断は、最大深度まで100mの厚さを有する)の面積の割合、断層帯長さ(50m以上10万mの長さ)	別添㉛
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地下水の特性として、pHが8未満あるいは酸度化学濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を有する地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域	別添㉜
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	断層帯(約17万年前以降)の大規模地質環境・火山前・火山噴出の分布範囲	別添㉝
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地質環境で体系的に調査された文獻・データにおいて、将来10万年間で地質と地質環境による影響が200mを超える可能性が高いと推定される地域(真横断は、最大深度まで100mの厚さを有する)の面積の割合、断層帯長さ(50m以上10万mの長さ)	別添㉞
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地下水の特性として、pHが8未満あるいは酸度化学濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を有する地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域	別添㉟
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	断層帯(約17万年前以降)の大規模地質環境・火山前・火山噴出の分布範囲	別添㊱
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地質環境で体系的に調査された文獻・データにおいて、将来10万年間で地質と地質環境による影響が200mを超える可能性が高いと推定される地域(真横断は、最大深度まで100mの厚さを有する)の面積の割合、断層帯長さ(50m以上10万mの長さ)	別添㊲
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地下水の特性として、pHが8未満あるいは酸度化学濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を有する地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域	別添㊳
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	断層帯(約17万年前以降)の大規模地質環境・火山前・火山噴出の分布範囲	別添㊴
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地質環境で体系的に調査された文獻・データにおいて、将来10万年間で地質と地質環境による影響が200mを超える可能性が高いと推定される地域(真横断は、最大深度まで100mの厚さを有する)の面積の割合、断層帯長さ(50m以上10万mの長さ)	別添㊵
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地下水の特性として、pHが8未満あるいは酸度化学濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を有する地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域	別添㊶
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	断層帯(約17万年前以降)の大規模地質環境・火山前・火山噴出の分布範囲	別添㊷
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地質環境で体系的に調査された文獻・データにおいて、将来10万年間で地質と地質環境による影響が200mを超える可能性が高いと推定される地域(真横断は、最大深度まで100mの厚さを有する)の面積の割合、断層帯長さ(50m以上10万mの長さ)	別添㊸
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	地下水の特性として、pHが8未満あるいは酸度化学濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を有する地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域 地下水中に硫酸根イオンが検出される地域	別添㊹
好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域	地質環境	断層帯(約17万年前以降)の大規模地質環境・火山前・火山噴出の分布範囲	別添㊺

作成方法

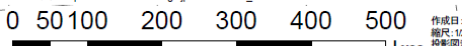
- 掘削の可能性がある場合は、以下の優先順位で色を決定
- ① 好ましくない特性があると推定される地域(地下深部の長期安定性等の観点)
- ② 好ましくない特性があると推定される地域(将来の掘削可能性の観点)
- ③ 好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い地域のうち「輸送面でも好ましい地域」

- 凡例
- 好ましくない特性があると推定される地域(地下深部の長期安定性等の観点)
 - 好ましくない特性があると推定される地域(将来の掘削可能性の観点)
 - 好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い地域
 - 輸送面でも好ましい地域

※処分場のスケールについて
想定される地下施設の面積は6~10km²程度である。
ここでは例として3km×3kmのサイズを示す。→
また、想定される地上施設の面積は1~2km²程度である。
ここでは例として1km×1kmのサイズを示す。→



※この地図を利用するには、出典を記載する、編集・加工等して利用する場合は、編集・加工を行ったことを記載する等、資源エネルギー庁のサイト利用規約に従ってください。
編集・加工した情報を、あたかも国(又は府等)が作成したかのような様態で公表・利用してはなりません。
(利用規約: http://www.enecho.meti.go.jp/about/inkisho_thissite/)



作成日: 2017年7月28日 作成者: 経済産業省 資源エネルギー庁
縮尺: 1/200万 地理座標系: JGD2011
投影法: ランペルト正角円錐投影法(中心: 135° E 35° N) (ただし、各都道府県、各都道府県に固有の)
国土地理院 行政区域データ 第2版(データ基準年: 2017年)を使用しています。

本図は1/200万の縮尺で作成された地図です。実際のサイズ(100%)以上に拡大しても、精度が下がらないことに留意してください。

図 51: 科学的特性マップ
(原子力発電環境整備機構 HP (2017)「科学的特性マップ」より)

「あなたならどうする？ 高レベル放射性廃棄物の処分」
生徒用教材 vol.3.01
印刷日 2017年9月10日

添付資料 4

教師用ワークシート（完成版）

あなたならどうする？

高レベル放射性廃棄物の処分



これって
なんだろう？

3年 組 席 名前 _____

あなたならどうする？ 高レベル放射性廃棄物の処分

この教材で学習するみなさんへ

みなさんの生活は、電気エネルギーに支えられています。電気エネルギーをいつでも安定して使えるように、日本全国の発電所では、24時間365日休むことなく発電がおこなわれています。そのような日本では、原子力発電で使用した燃料から出るゴミの処分が大きな問題になっています。この問題について学び、この問題を解決するために、今後私たちがどのようにこの問題と関わっていくべきか、ぜひみなさんで考えてみてください。

第Ⅰ章 電気エネルギーと放射線

1. 電気エネルギーについて・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
2. 放射線について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14

第Ⅱ章 原子力発電所から出る“危険なゴミ”

1. 高レベル放射性廃棄物について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・28
2. 高レベル放射性廃棄物の処分方法を考えよう・・・・・・・・・・・・・・34

第Ⅲ章 高レベル放射性廃棄物を処分するために

1. 地層処分について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・38
2. 処分地を決めるときに重視する要因を考えよう・・・・・・・・・・・・・・48
3. 処分地を決定しよう・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・54

第Ⅳ章 私たちの未来

1. 私たちのこれからを考えよう・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・58

第 I 章 - 1 電気エネルギーについて

私たちの生活の中では、様々なものに電気エネルギーが使われています。まずは、電気エネルギーについて学びましょう。

1. 電気エネルギーは私たちの生活でたくさん使われている

物体を動かしたり、物体を変形させるなど、物体に対して仕事をする能力をエネルギーといいます。エネルギーには、様々な形があります。

考えよう：家の中で電気エネルギーを使っているものは何があるだろうか。

<回答例>

テレビ、冷蔵庫、エアコン、扇風機、洗濯機、電子レンジ、ライト、パソコン、時計、携帯（スマートフォン）、掃除機、乾燥機、ドライヤー、ホットプレート、トースター、ヒーター

考えよう：上で書いたものは、電気エネルギーをどのようなエネルギーに変えて使っているのだろうか。

もの	エネルギー
テレビ	光エネルギー・音エネルギー
エアコン・ヒーター	熱エネルギー
扇風機	運動エネルギー
ドライヤー	熱エネルギー・運動エネルギー
ホットプレート	熱エネルギー
ライト	光エネルギー
ヒーター	熱エネルギー・運動エネルギー
洗濯機	運動エネルギー

私たちが生活の中で使っているものの多くは、電気エネルギーを変換して使っています。これは、電気エネルギーは電線を用いて簡単に運ぶことができ、エネルギーを変換するときのロスが他と比べて少ないためです。

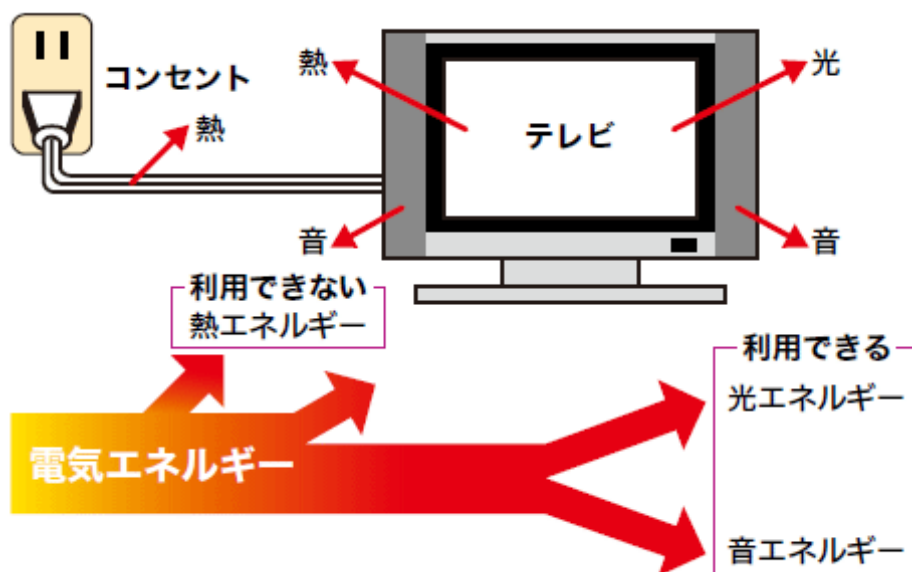
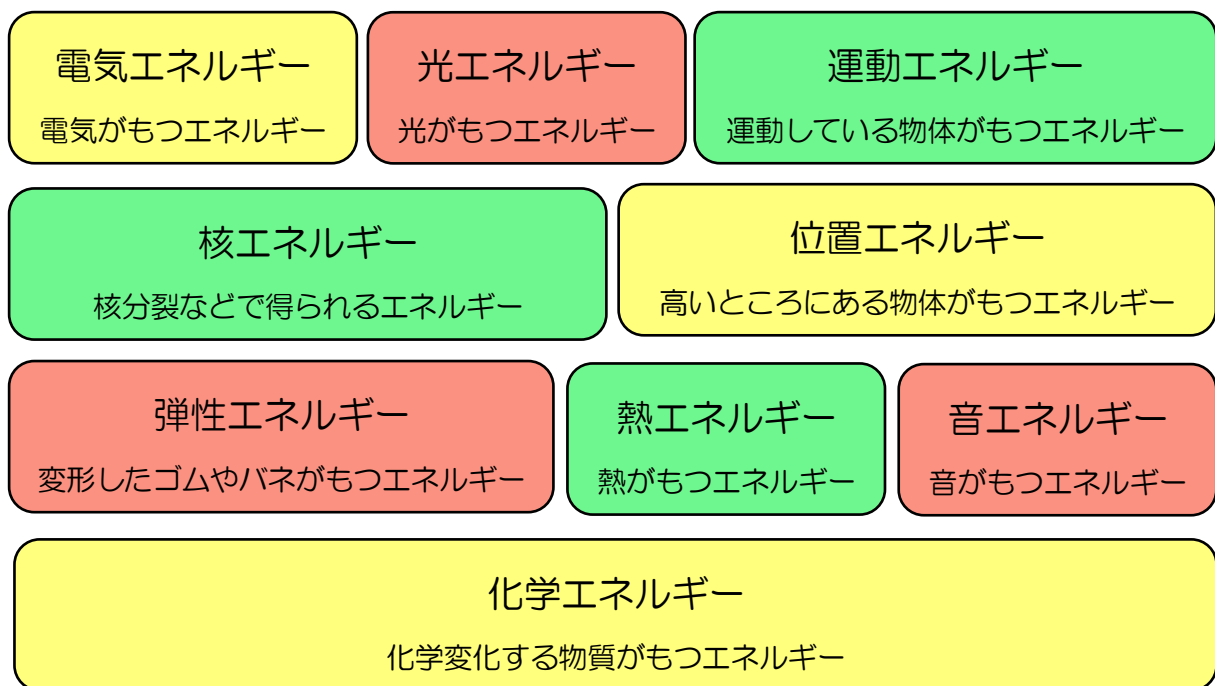


図 1：電気エネルギーの変換例
 (経済産業省 (2014)「かがやけ！みんなのエネルギー」より)

2. 日本はどのくらい電気エネルギーを使っているの？

日本は、一人当たりの電力消費量が世界で4番目に多く、世界平均の約2.6倍もの電気エネルギーを消費しています。

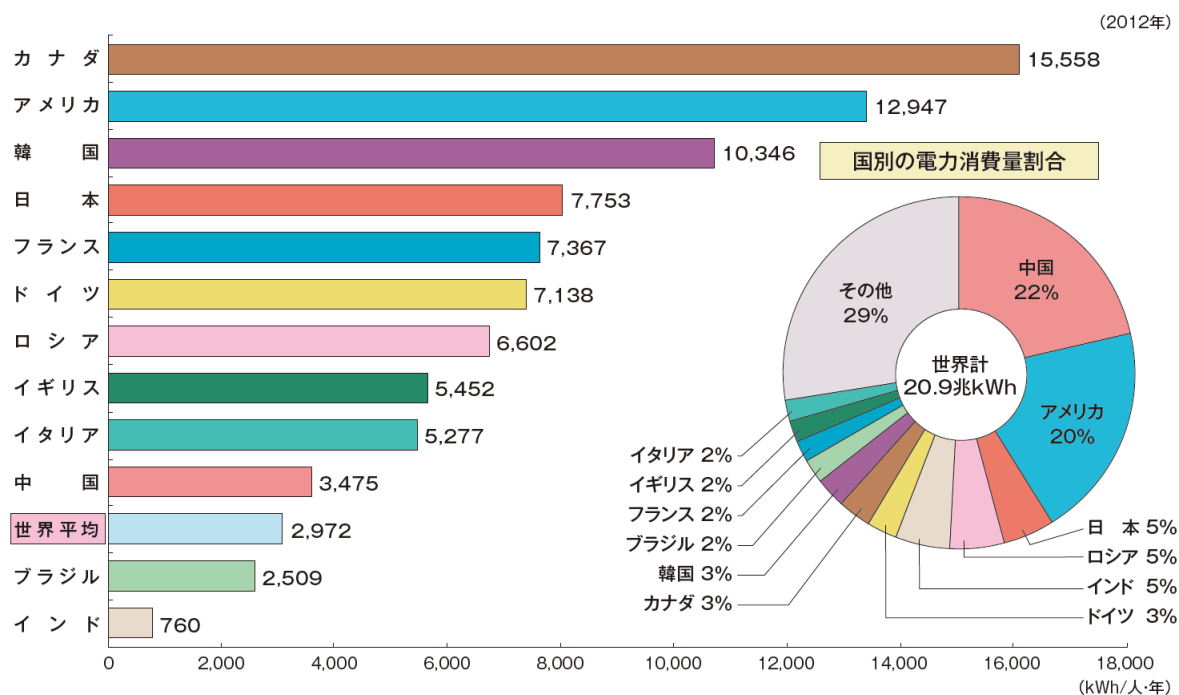


図2：主要国の一人当たりの電力消費量
(電気事業連合会 (2015) 「原子力・エネルギー図面集 2015」より)

考えよう：日本はこれだけの電気エネルギーをどのような方法で、どのようなエネルギー資源を使って、発電しているのだろうか。

発電方法	利用するエネルギー資源
火力発電	石油・石炭・天然ガス
水力発電	水 (が持つ位置エネルギー)
原子力発電	ウラン
太陽光発電	太陽光
風力発電	風
地熱発電	地熱
バイオマス発電	生物資源 (木くず、可燃性ごみなど)

日本では、化石燃料（石油、石炭、天然ガス）やウラン、再生可能エネルギー（水、風、太陽光、地熱等）などのエネルギー資源を使って発電しています。それぞれにメリットとデメリットがあり、どれも万能なものではありません。そこで日本は、様々なエネルギー資源と発電方法を組み合わせることで、たくさんの電気エネルギーを安定して発電しています。

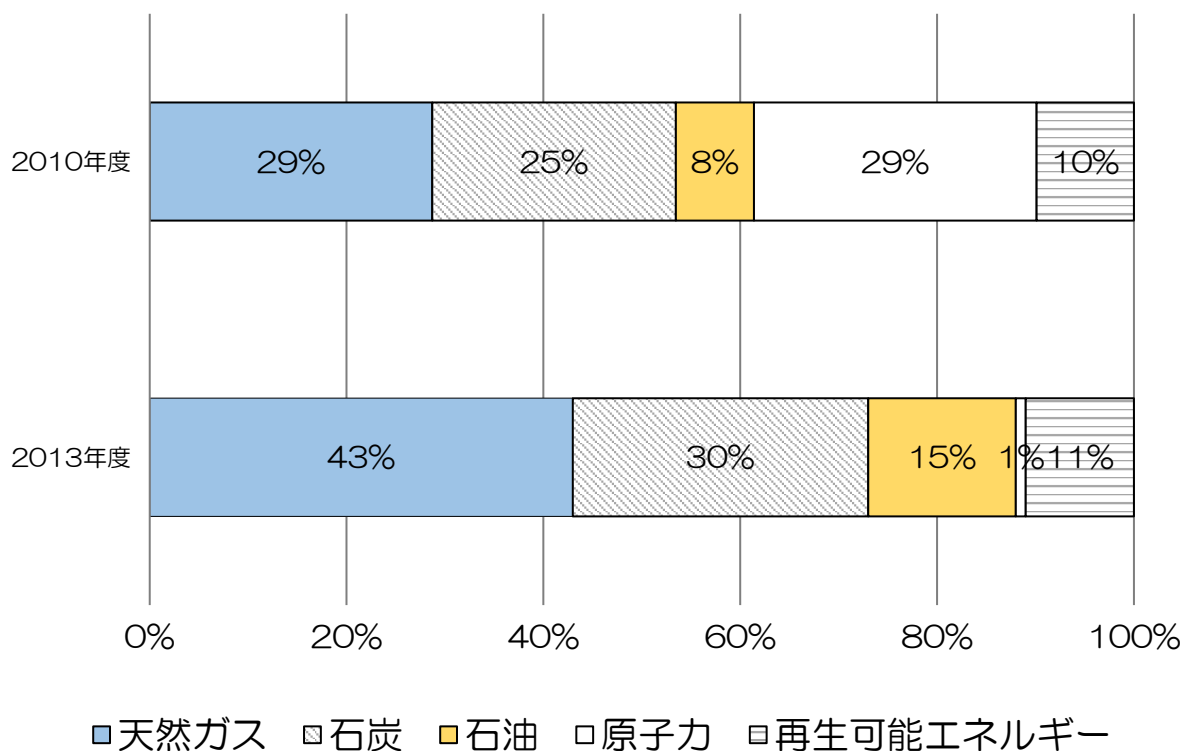


図3：日本の発電方法の組み合わせ
（電気事業連合会（2015）「原子力・エネルギー図面集 2015」より作成）

それぞれの発電方法のメリットとデメリットを理解するためには、発電方法をよく知る必要があります。日本で行われている発電の方法について次のページで学びましょう。

3. 日本で行われている様々な発電の方法

日本は、様々なエネルギー資源と発電方法を組み合わせることで、たくさんの電気エネルギーを安定して発電しています。ここでは、火力発電、原子力発電、水力発電、太陽光発電、風力発電について学びましょう。

問題 電気エネルギーがどのようにして作られるのか、5つの発電方法の説明の下にある（ ）の中に、エネルギー変化の流れを書こう。

① 火力発電

燃料（石油、石炭、天然ガス）を燃やして、水を水蒸気にします。この水蒸気のでタービンを回転させて、つながっている発電機で発電します。

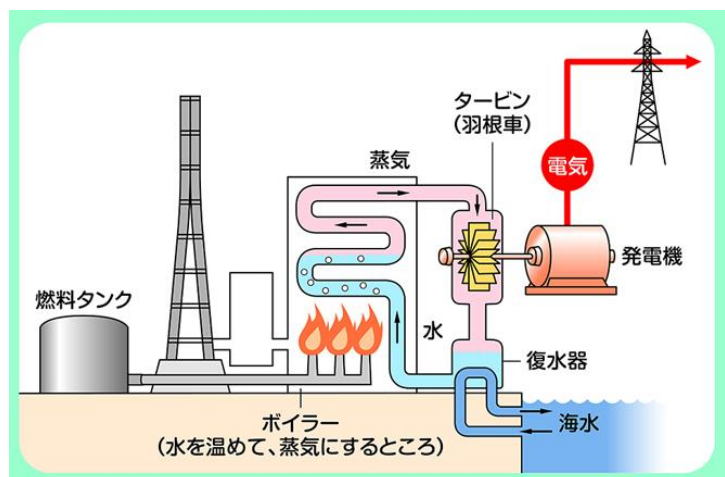


図4：火力発電

(中部電力株式会社(2015)「出前授業資料」より)

(化学) エネルギー → (熱) エネルギー
→ (運動) エネルギー → 電気エネルギー

② 原子力発電

ウランを使い、核分裂という反応で得られる熱を利用して水を水蒸気にします。この水蒸気のでタービンを回転させて、つながっている発電機で発電します。

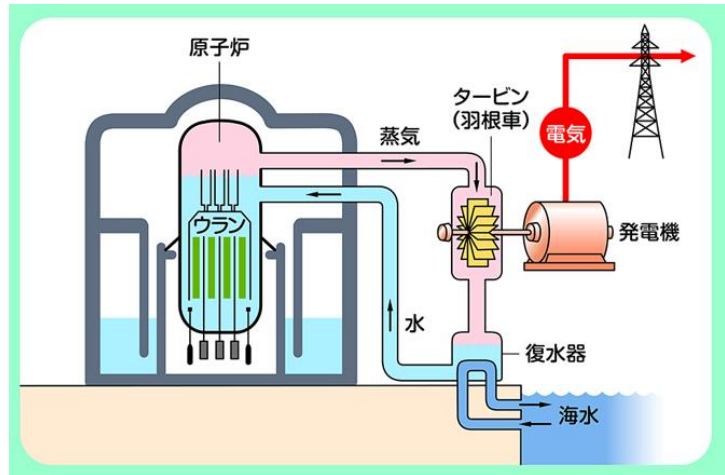


図5：原子力発電

(中部電力株式会社(2015)「出前授業資料」より)

(**核**) エネルギー → (**熱**) エネルギー
→ (**運動**) エネルギー → 電気エネルギー

③ 水力発電

高い位置から低い位置へと水を勢いよく流して水車を回し、つながっている発電機で発電します。

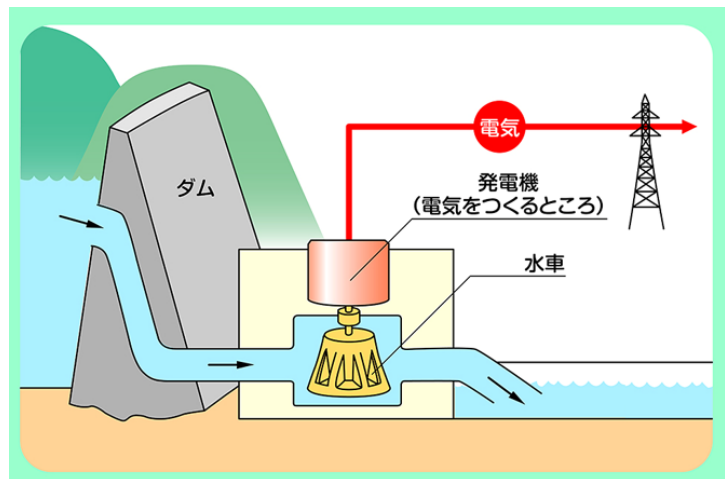


図6：水力発電

(中部電力株式会社(2015)「出前授業資料」より)

(**位置**) エネルギー → (**運動**) エネルギー
→ 電気エネルギー

④ 太陽光発電

太陽電池に太陽の光が照射されると、太陽電池の中の電子（マイナスの電気を帯びた粒子）が移動します。これにより、電気エネルギーが生じます。

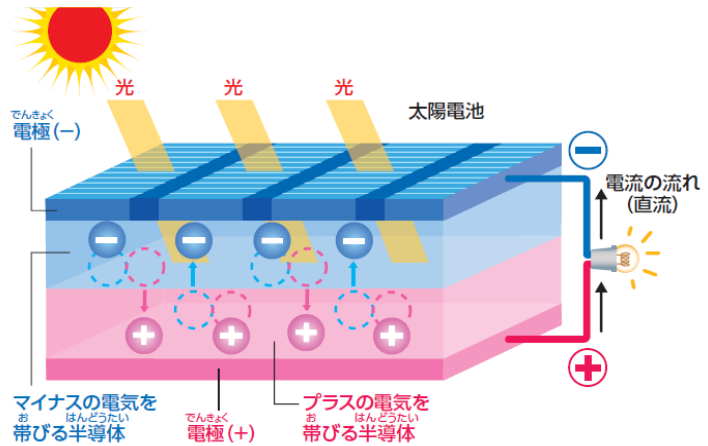


図 7：太陽光発電

(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

(光) エネルギー → 電気エネルギー

⑤ 風力発電

ブレードに風が当たると、ブレードが回転し、その回転が増速機に伝わります。増速機でギアを使って回転数を増やし、つながっている発電機で発電します。

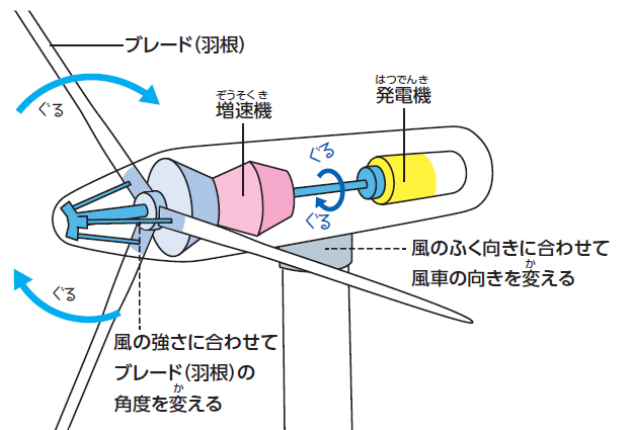


図 8：風力発電

(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

(運動) エネルギー → 電気エネルギー

MEMO

4. 各発電方法のメリットとデメリットを考えよう

前項では、5つの発電方法を学びました。それでは、それぞれの発電方法のメリットとデメリットを考えましょう。

考えよう：下の5つの発電方法には、それぞれどのようなメリットとデメリットがあるだろうか。

発電方法	資源	メリット	デメリット
火力発電	石油 石炭 天然ガス		
原子力発電	ウラン		
水力発電	水		
風力発電	風		
太陽光発電	太陽光		

5つの発電方法には、それぞれにメリットとデメリットがあります。それぞれのメリットとデメリットをよく理解した上で、発電方法の組み合わせを考えることが重要です。

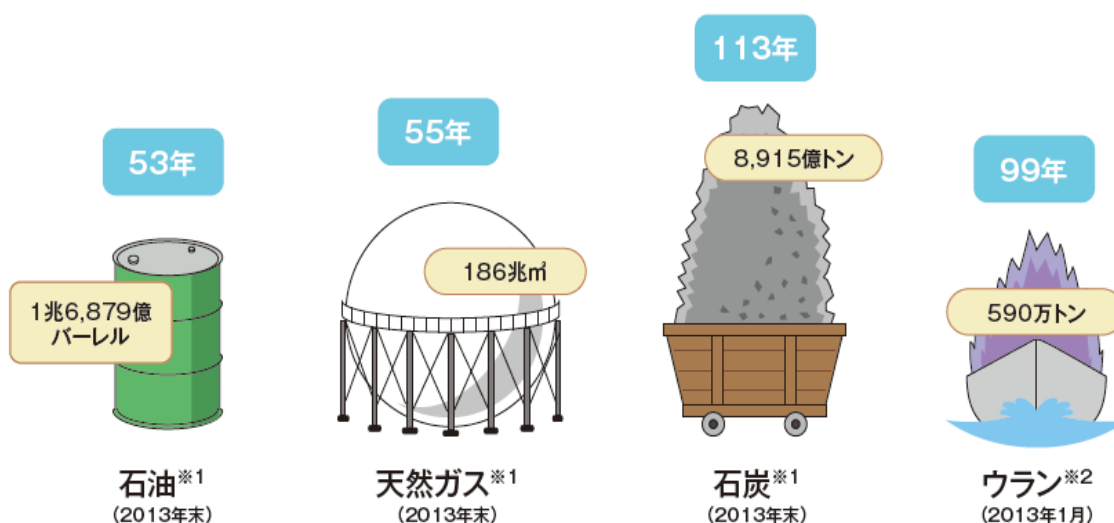
次のページからは、発電による様々な問題について学びましょう。

発電方法	資源	メリット	デメリット
火力発電	石油 石炭 天然ガス	<ul style="list-style-type: none"> • たくさんの電気を、安定して発電することができる。 • 発電量を調整しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> • 燃料のほとんどを、輸入に頼っている。 • 化石燃料には限りがある。 • 発電時に、二酸化炭素などが出る。
原子力発電	ウラン	<ul style="list-style-type: none"> • 少ない燃料で、たくさんの電気を安定して発電できる。 • 発電時に、二酸化炭素を出さない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 事故発生時の影響が大きい。 • 放射性廃棄物の適切な処理や、処分が必要。
水力発電	水	<ul style="list-style-type: none"> • 水の落下によるエネルギー（位置エネルギー→運動エネルギー）を利用するため、無くなる心配が無く、繰り返し使うことができる。 • 発電時に、二酸化炭素を出さない。 • 発電量を調整しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> • 雨の量などの自然条件によって、発電量が左右される。 • 日本には、大きな河川も少なく、今後、大きなダムを作ることが難しい。 • ダムを作ることによって生態系のバランスが崩れる恐れがある。
風力発電	風	<ul style="list-style-type: none"> • 自然のエネルギーを利用するため、無くなる心配が無く、繰り返し使うことができる。 • 風さえあれば、夜間でも発電できる。 • 発電時に、二酸化炭素を出さない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 風向きや、風の強さに発電量が左右されるので、安定した発電ができない。 • 常に安定した風が必要なので、設置場所が限られる。 • ブレードが回転するときに、騒音や振動が発生する。
太陽光発電	太陽光	<ul style="list-style-type: none"> • 自然のエネルギーを利用するため、無くなる心配が無く、繰り返し使うことができる。 • 発電時に、二酸化炭素を出さない。 	<ul style="list-style-type: none"> • 天候に左右されるので、発電量が安定しない。 • 夜は発電できない。 • たくさん発電するためには、広い土地が必要。

（経済産業省（2014）「なっとく！再生可能エネルギー」、中部電力株式会社（2015）「出前授業資料」より作成）

5. エネルギー資源には限りがある

化石燃料（石油・石炭・天然ガス）や、ウランは、決して無限に存在するわけではありません。近い将来、全て使い切ってしまうと予測されています。今後も人間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工夫し、エネルギーの節減に努めなければなりません。



(注) 可採年数=確認可採埋蔵量/年間生産量
ウランの確認可採埋蔵量は費用130ドル/kgU未満

図9：エネルギー資源の確認埋蔵量と可採年数（2013年の予測）
（電気事業連合会（2015）「原子力・エネルギー図面集2015」より）

考えよう：1つのエネルギー資源に頼った発電（例：石油を用いた火力発電のみを大量に行う）を行うと、どのようなリスクがあるだろうか。

<回答例>

- そのエネルギー資源が無くなったときに発電ができなくなる。
- 電気料金の変動が大きくなる。
- 火力発電の場合、多量の二酸化炭素を排出してしまう。
- 電力需要の変化に対応できなくなる。（時間により電気が不足する。）

6. 一つのエネルギー資源に頼った発電はリスクが大きい

2014年現在、日本では、総発電量の約90%を火力発電が占めています。火力発電で使用する化石燃料には限りがあり、二酸化炭素などを排出するため、環境にも良くありません。

また、日本のエネルギー自給率は5%程度であり、ほとんどを海外から輸入しています。そのため、1つのエネルギー資源のみに頼ってしまうと、輸入が止まった時に発電ができなくなり、私たちの生活に大きな影響をあたえます。さらに、エネルギー資源の価格が変動した時に電気料金が大きく変化する可能性があります。様々なエネルギー資源を組み合わせることで、安定して発電することができます。

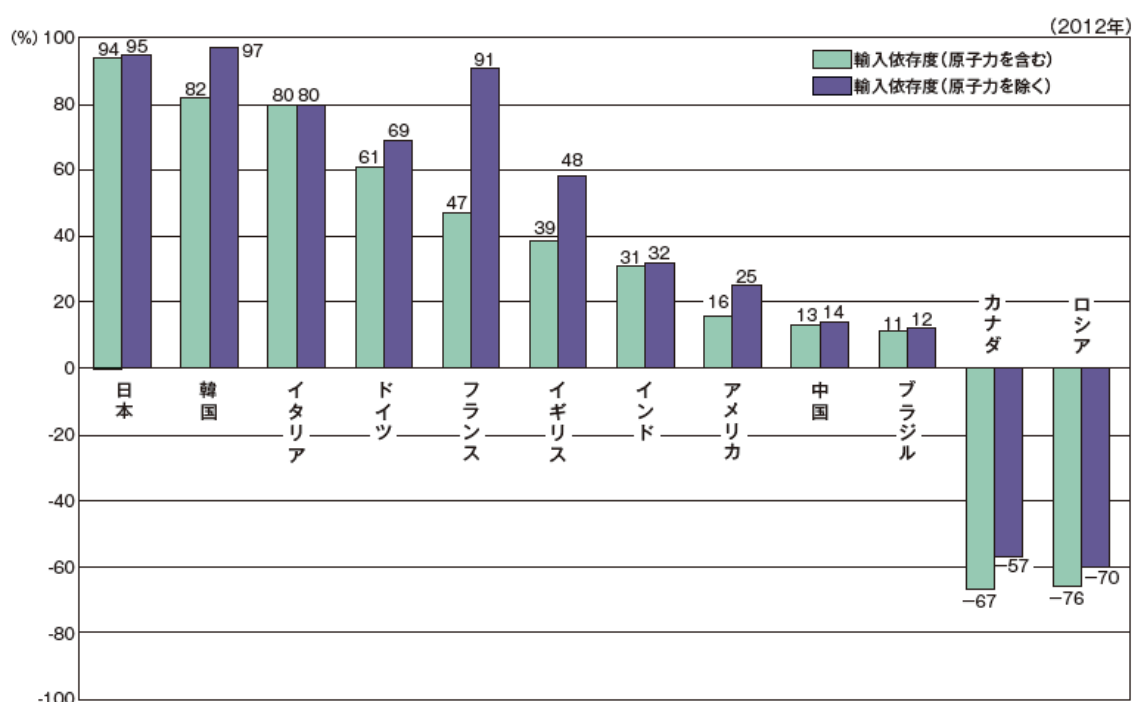


図 10：主要国のエネルギー輸入依存度
(電気事業連合会 (2015)「原子力・エネルギー図面集 2015」より)

7. 発電をすることでゴミが出る

普段の生活でゴミが出るように、発電をすることでもゴミが出ます。火力発電では、二酸化炭素や石炭灰などがゴミとして出ます。原子力発電では、「低レベル放射性廃棄物」や「高レベル放射性廃棄物」がゴミとして出ます。

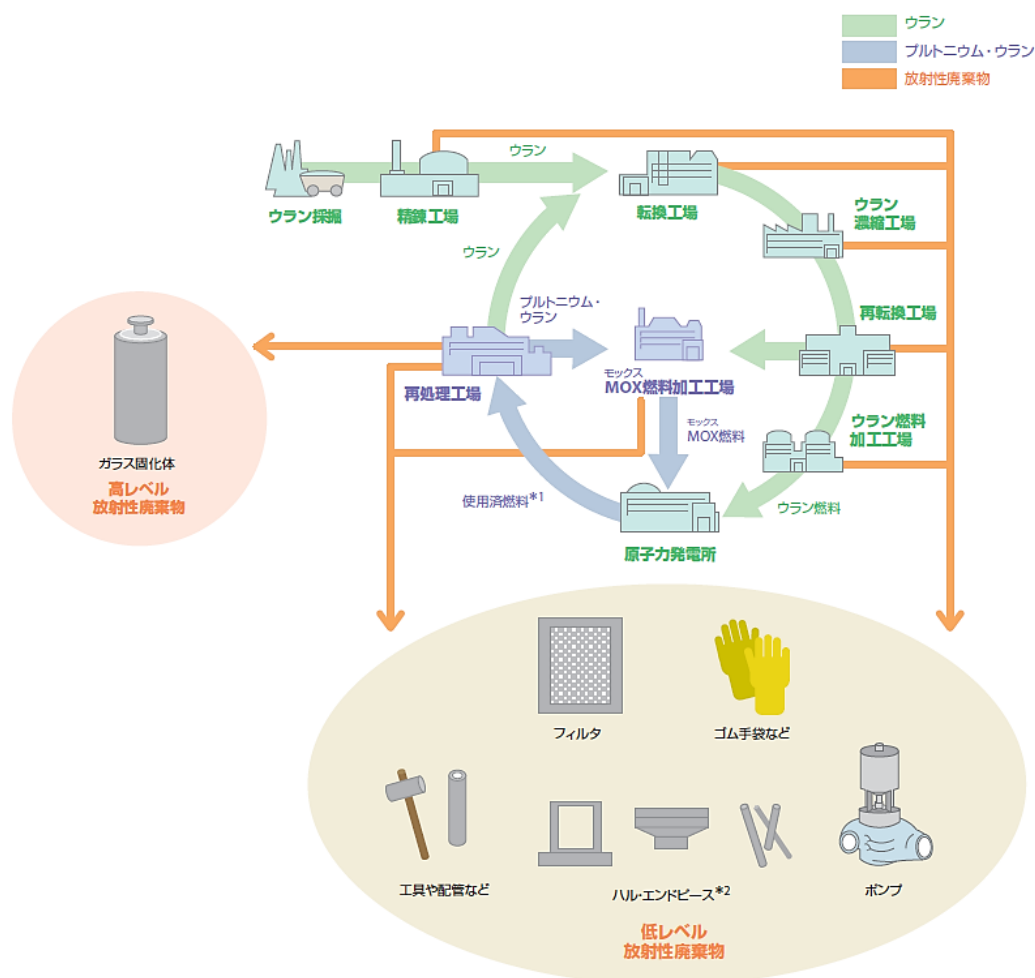


図 11：低レベル放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物
 (電気事業連合会 (2015)「放射性廃棄物 Q&A」より)

「高レベル放射性廃棄物」の量は、他と比べると少ないですが、非常に強い「放射線」を出すため、簡単には処分できません。現在、子レベル放射性廃棄物をどのように処分するかが世界中で問題になっています。次の節では、「放射線」について学びましょう。

第 I 章 - 2 放射線について

前は、電気エネルギーについて学びました。今回は、原子力発電所から出る「高レベル放射性廃棄物」についてよく知るために、まずは、「放射線」について学びましょう。

1. 物質について

私たちの身の回りにある全てのものは、その材料に注目するとき、それを物質といいます。物質は、小さな粒子がたくさん集まってできており、この粒子をさらに分けると、それ以上分けることができない小さな粒（原子）が結びついてできていることが分かっています。原子は、原子核と電子に分けられ、原子核は、陽子と中性子に分けられます。この陽子の数によって、原子の性質が決まります。

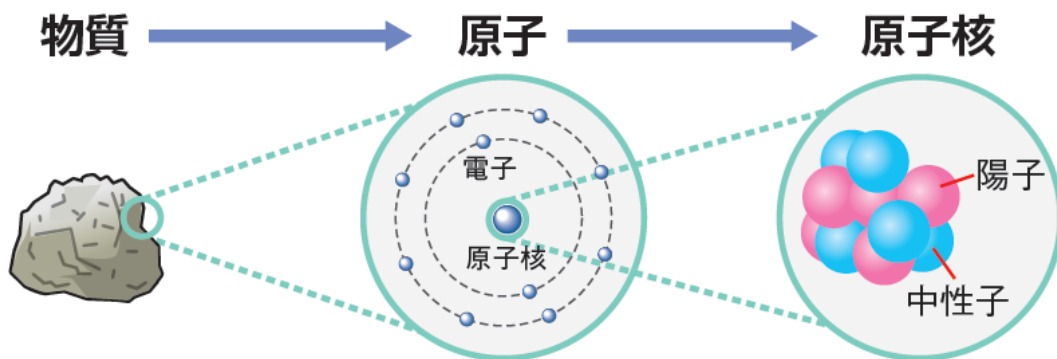


図 12：物質の構造

(文部科学省 (2013)「中学生・高校生のための放射線副読本」より)

原子はとても小さく、最も小さな原子である水素原子は、直径が 1 cm の 1 億分の 1 程度しかありません。また、同じ種類の原子でも、原子核の中にある中性子の数が異なるものがあります。これらを、同位体といいます。同位体には、安定な原子核と不安定な原子核があり、不安定な原子核は、時間が経過すると、安定な原子核に変わろうとします。

2. 放射線ってなに？

不安定な原子核が、安定な原子核に変わろうとするとときに、非常に高いエネルギーを持った高速の粒子や電磁波を放出します。これが放射線です。放射線には、多くの種類があります。

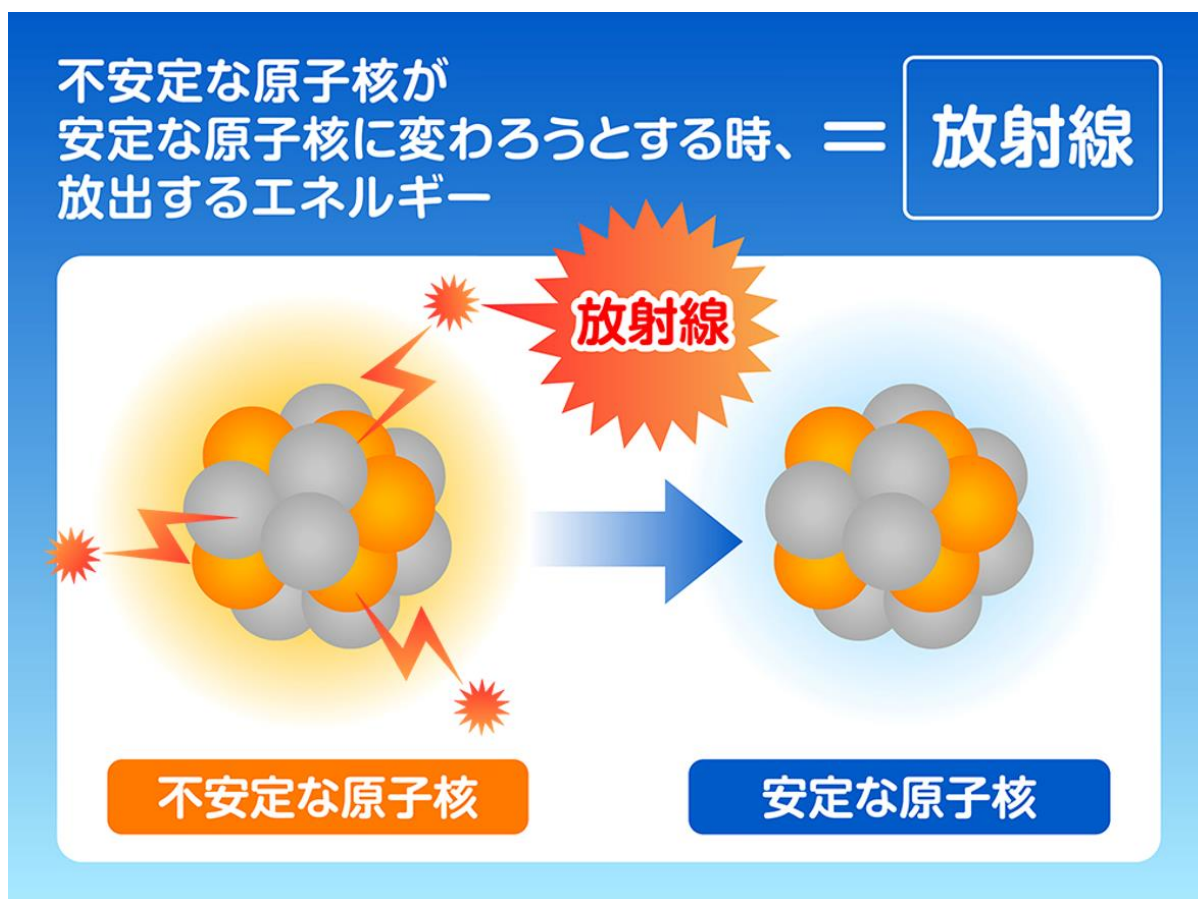


図 13：放射線とは
(中部電力株式会社(2015)「出前授業資料」より)

種類	特性
α 線	原子核から放出される粒子(ヘリウム原子核)
β 線	原子核から放出される電子
γ 線	原子核から放出される電磁波
X線	原子核から放出される電磁波
中性子線	原子核から放出される中性子

3. 放射線に関連することば

放射線を出す物質のことを、**放射性物質**といいます。放射性物質から放出される、非常に高いエネルギーを持った高速の粒子や電磁波のことを、**放射線**といいます。放射性物質が放射線を出す能力を、**放射能**といいます。

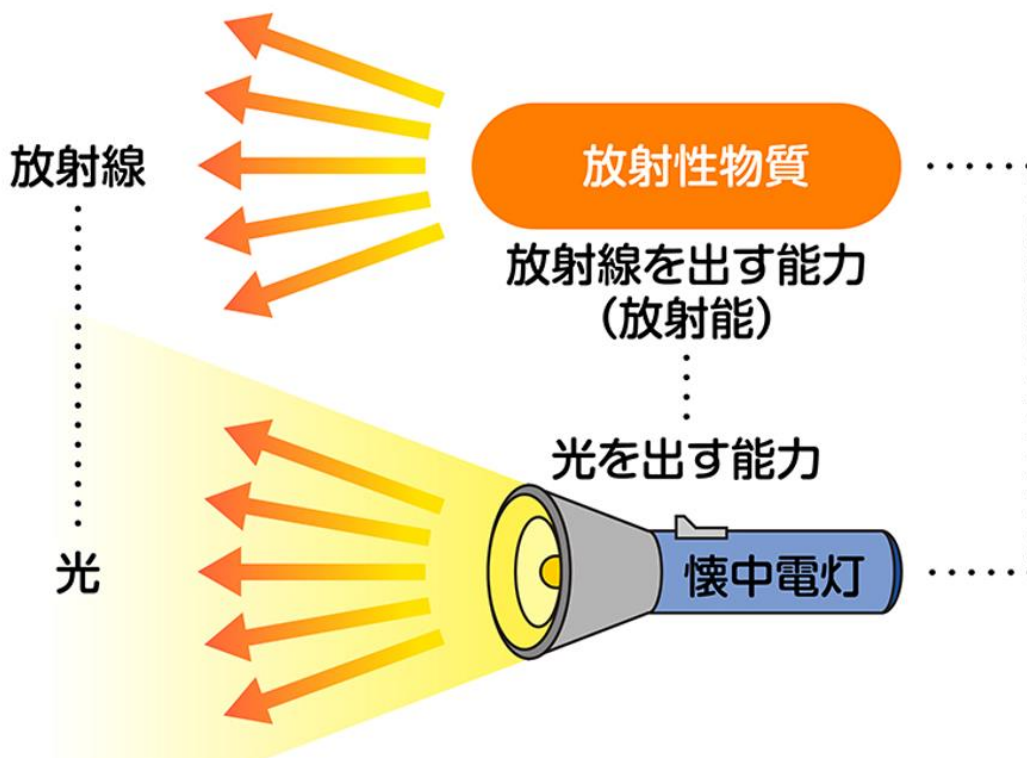


図 14：放射線・放射性物質・放射能
(中部電力株式会社(2015)「出前授業資料」より)

問題

次の図は、放射線に関連することばについて、ホタルやホタルの光に例えて表したものです。空欄に当てはまる語句を書こう。



ホタル = (放射性物質)
ホタルの光 = (放射線)
ホタルが光を出す能力 = (放射能)

4. 放射線に関連する単位

放射線に関連する単位には、放射線を出す側に注目した単位である Bq (ベクレル) と、放射線を受ける側に注目した単位である Sv (シーベルト) があります。

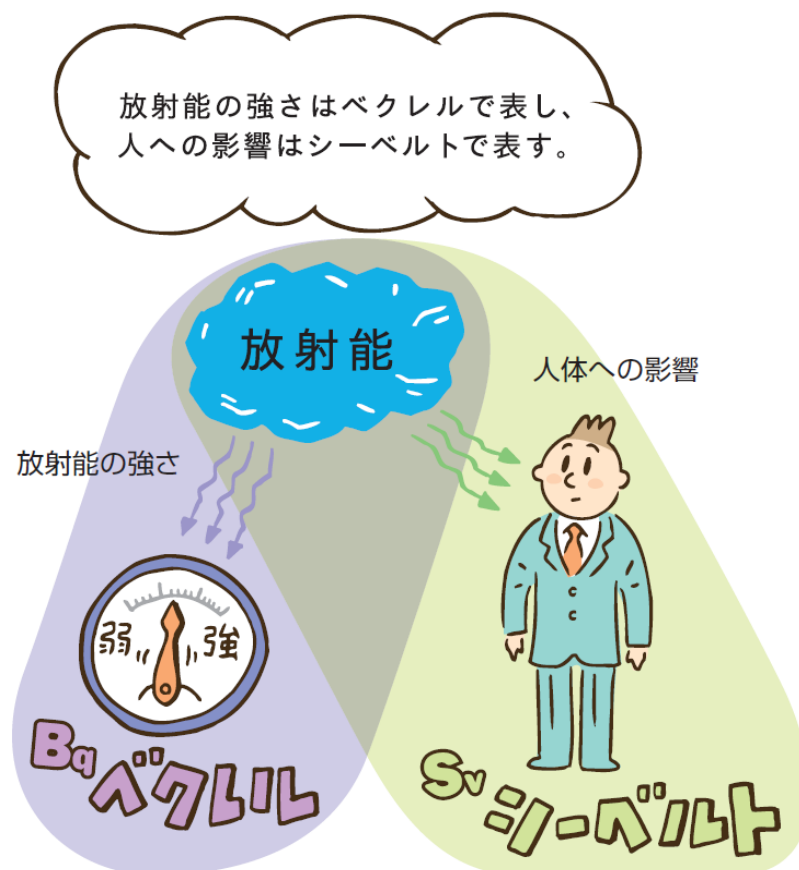


図 15：放射線に関連する単位
(原子力発電環境整備機構 (2009)「地層処分 その安全性」より)

問題 次の図は、放射線に関連する単位について、雨に例えて表したものです。空欄に当てはまる語句を書こう。



(RICOH「Print out Factory」より)

①雨の強さ

(**ベクレル Bq**)

②人が雨に濡れたことによる健康への影響

(**シーベルト Sv**)

5. 身のまわりにも放射線は存在する

放射線は、私たちの身のまわりに常にあります。毎日、わずかな放射線を浴びながら生活しているのです。私たちが浴びている放射線は、**自然放射線**（自然界から受ける放射線）と、**人工放射線**（医療などで受ける放射線）に分けることができます。

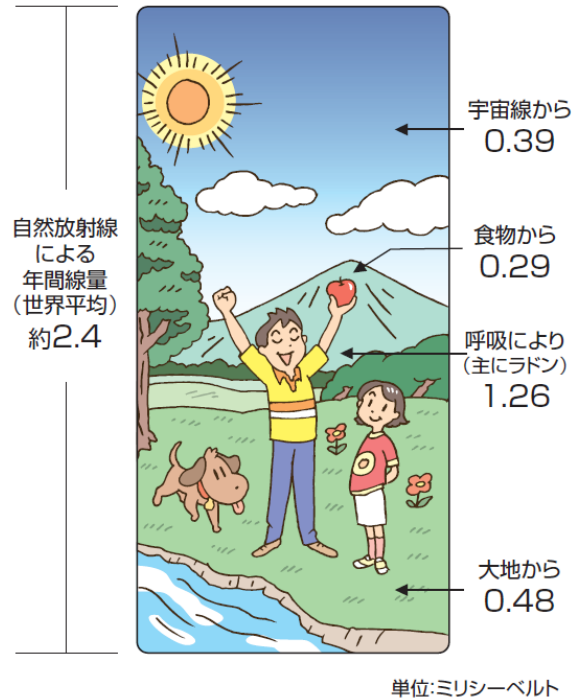


図 16：日常生活と放射線

(原子力発電環境整備機構 (2009)「地層処分 その安全性」より)

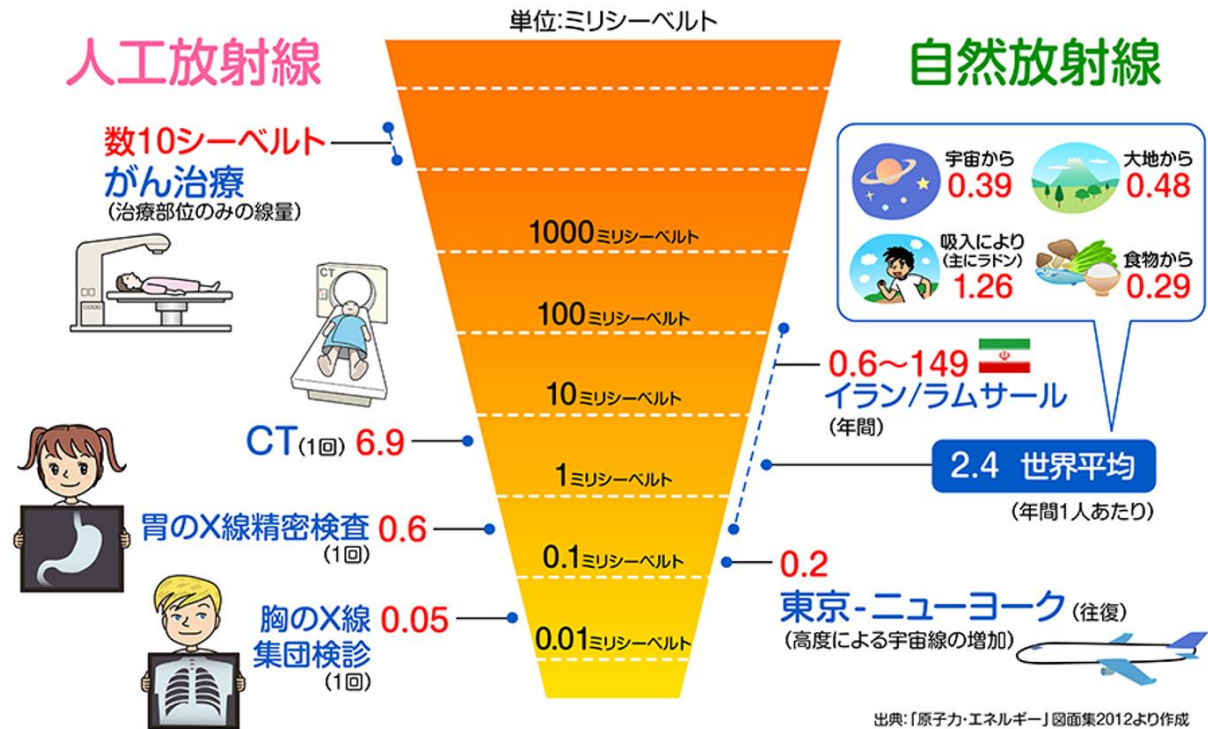


図 17：自然放射線と人工放射線

(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

6. 放射線は幅広い分野で利用されている

放射線は、様々な性質を持っていることから、工業分野、医療分野、農業分野など、幅広い分野で有効利用されています。

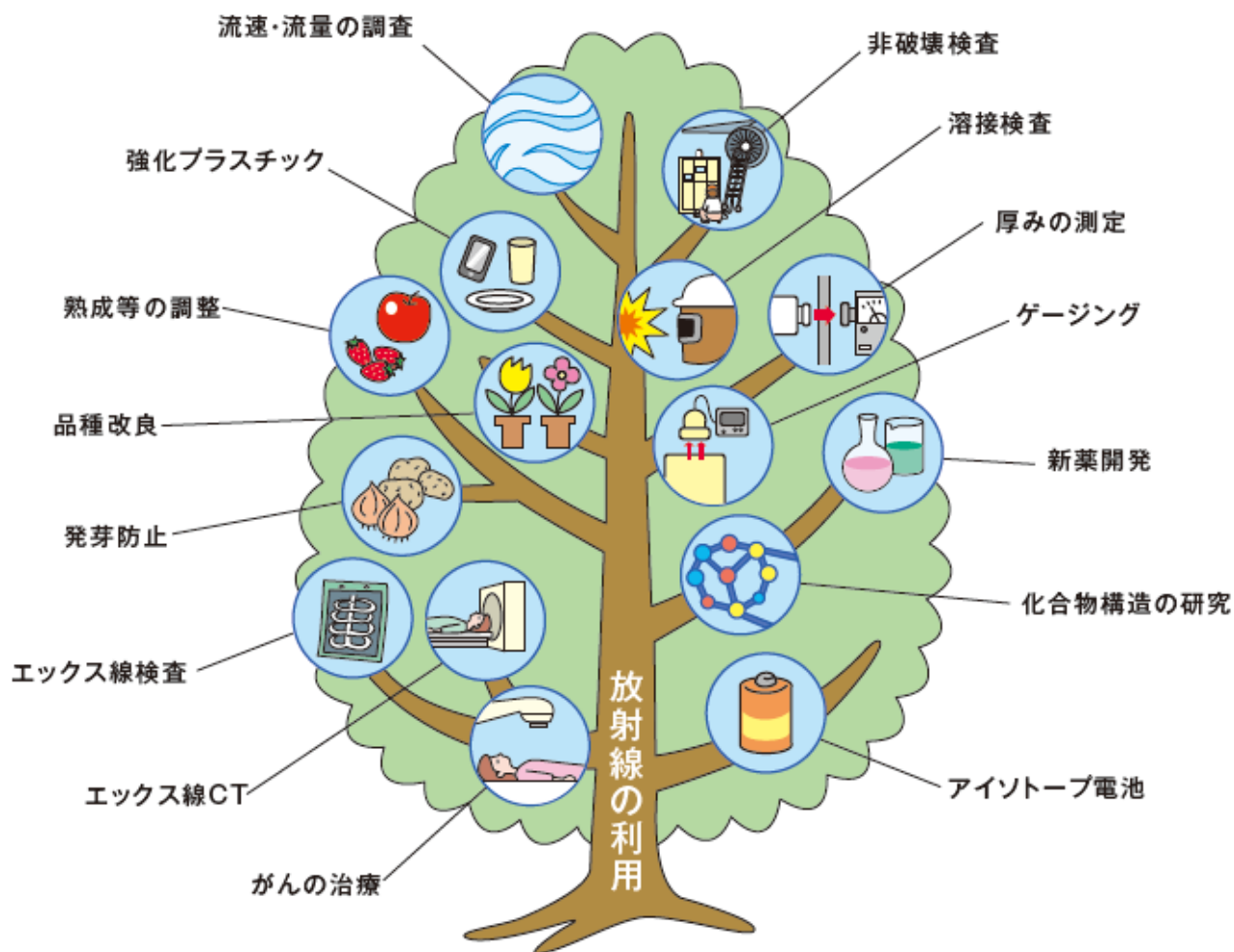


図 18：放射線の利用場面

(電気事業連合会 (2015)「原子力・エネルギー図面集 2015」より)

放射線は、幅広い分野で有効利用されていますが、放射線を人体が浴びることで、人体に影響をおよぼす恐れもあります。このような有用性と危険性をどちらも持った放射線を利用するためには、放射線について、しっかりと理解する必要があります。

7. 放射線には色々な性質がある

① 放射線は感じられない

放射線が飛んでいても、人間が気づくことはありません。

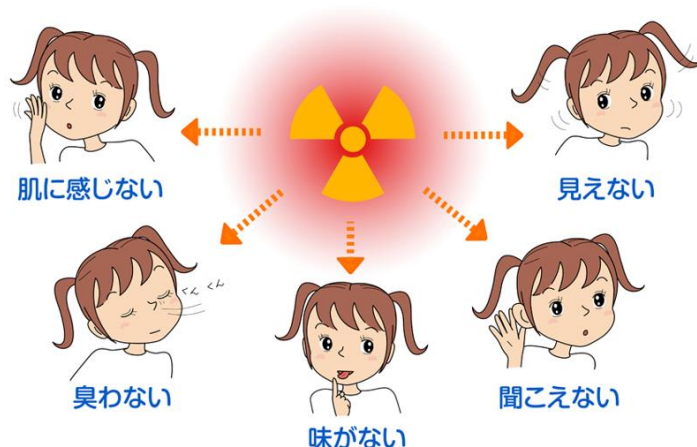


図 19：放射線は感じられない
(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

② 放射線は物質を通り抜ける

放射線が物質を通り抜ける力は、放射線の種類によって異なります。しかし、水やコンクリートを使えば、放射線を完全に止めることができます。

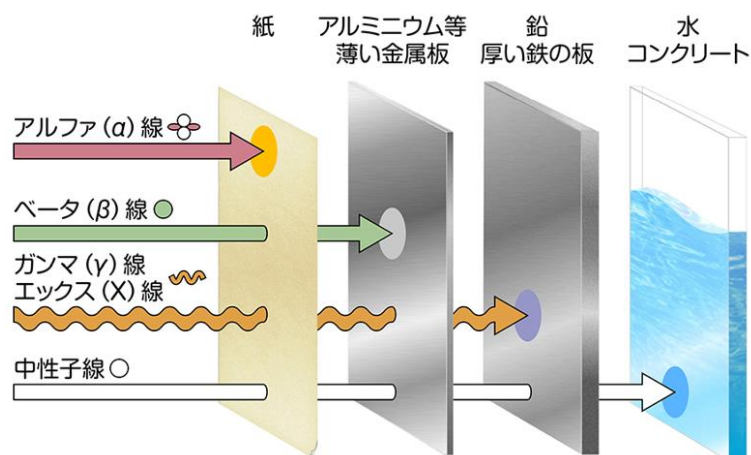


図 20：放射線の透過性
(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

問題 α 線、 β 線、 γ 線・X線、中性子線について、放射線を止めるものには○を、そうでないものには×をつけよう。

	紙	薄い金属板	厚い金属板	水・コンクリート
α 線	○	○	○	○
β 線	×	○	○	○
γ 線・X線	×	×	○	○
中性子線	×	×	×	○

③ 物質の分子の形や性質を変える

放射線が物質を通り抜けるとき、放射線のエネルギーが電子をはじき出します。電子がはじき出されると、物質の分子の形や性質は変わります。

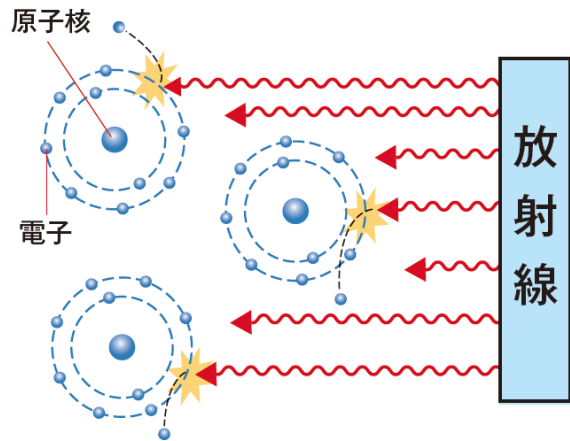
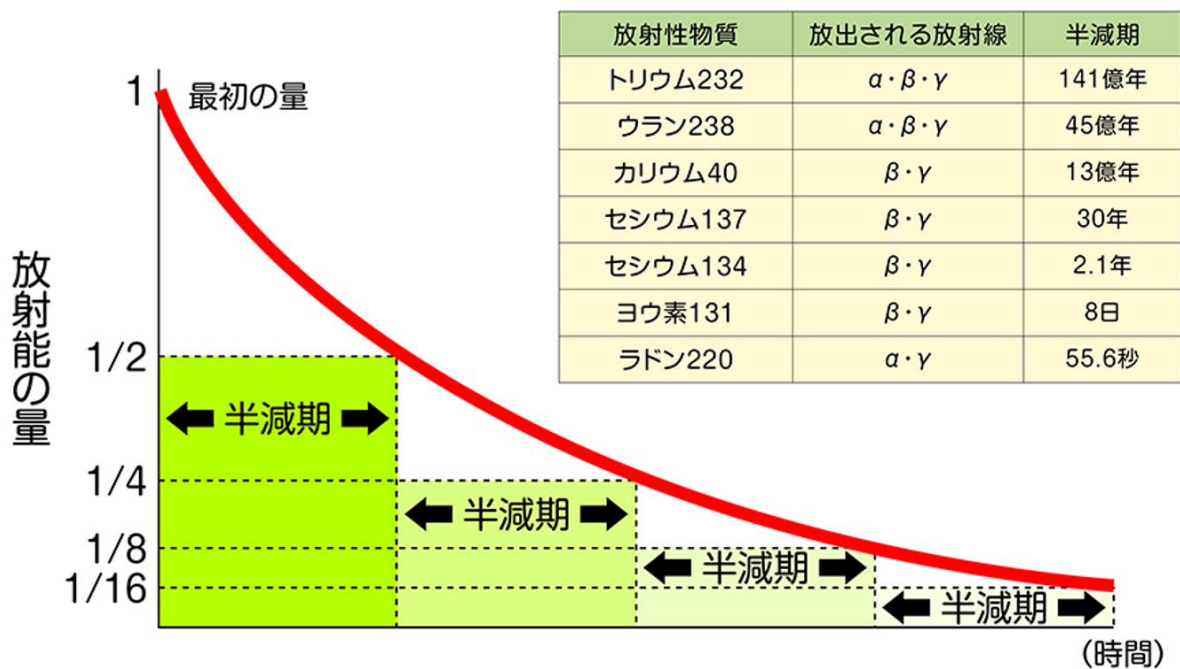


図 21：放射線の電離作用

(電気事業連合会 (2015)「原子力・エネルギー図面集 2015」より)

④ 放射能の量は時間が経つと少なくなる

放射性物質は、放射線を出しながら、時間が経つにつれて放射線を出さない安定な物質に変わっていきます。放射能の量の減り方には規則性があり、一定の時間が経つと、放射能の量は半分になります。この時間を半減期といいます。



出典：「原子力・エネルギー」図面集2012他より作成

図 22：放射能の量の減衰
(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

問題 半減期の異なる2つの放射性物質について、初めの放射能の量を1としたとき、放射能の量が1/2、1/4、1/8、1/16に減衰するのに必要な時間を求めよう。

	1/2	1/4	1/8	1/16
セシウム 137 (半減期 30 年)	30 年	60 年	90 年	120 年
計算				
ヨウ素 131 (半減期 8 日)	8 日	16 日	24 日	32 日
計算				

放射線は、様々な性質を活かして幅広い分野で有効利用されています。しかし一方では、事故などにより、放射性物質や放射線が漏れることで、人体に影響を及ぼすことがあります。

問題 人間の体は、約60%が水で構成されています。
人間が吸収する放射線を選んで、丸をつけよう。

α線

β線

γ線

X線

中性子線

8. 人間の体は放射線を受け止めやすい

人間の体は、約 60%が水で構成されています。水は放射線を止めるため、人間の体は放射線を受け止めやすいといえます。

人体が放射線を受けることを、**被ばく**といいます。体の外にある放射性物質から人体が放射線を受けることを、**外部被ばく**といいます。また、呼吸や飲食により体内に取り込んだ放射性物質から、人体が放射線を受けることを、**内部被ばく**といいます。

同じ放射線の量であれば、

自然放射線が人体に与える影響 = 人工放射線が人体に与える影響

内部被ばくによる影響 = 外部被ばくによる影響



図 23：内部被ばくと外部被ばく
(中部電力株式会社 (2015)「出前授業資料」より)

9. 放射線の人体への影響

これまでの研究や調査から、人体が短い時間にたくさんの放射線を浴びると、様々な影響が出る事が確認されています。

やけどなどの障害
 皮膚が一度にたくさんの放射線を受けると、毛が抜けたり、皮膚にやけどをおうような障害が生じる。

ガン
 放射線によって傷つけられたDNAが、まちがって修復されて、その細胞が増えたものがガンになる。

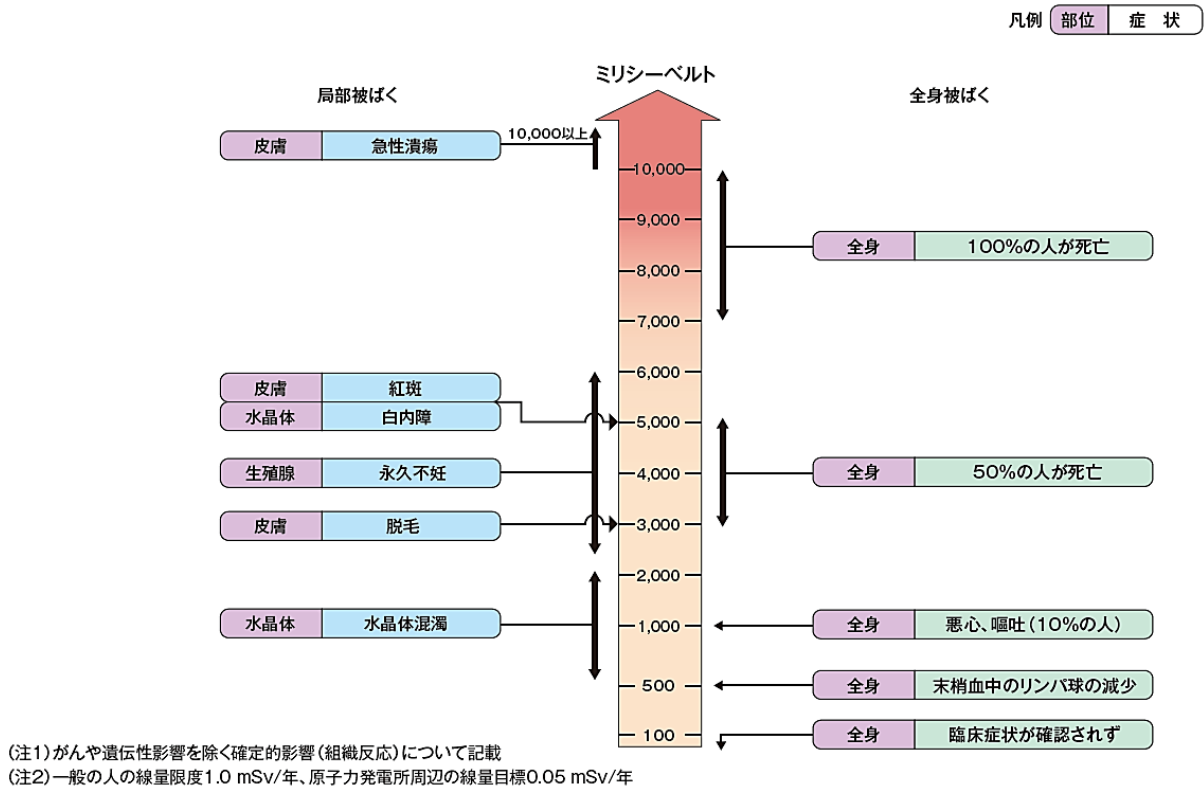


図 24：放射線が人間の身体に与える影響
 (電気事業連合会 (2015)「原子力・エネルギー図面集 2015」より)

10. 放射線から身を守る

放射線を使う際には、人間が被ばくする可能性を伴います。また、原子力発電所などで事故が起きると、放射性物質や放射線が漏れ出す恐れがあります。そのため、万が一の時に被ばくによる人体への影響を少なくするために、放射線から身を守る必要があります。外部被ばくから身を守るためには、以下の3つの方法をとる必要があります。

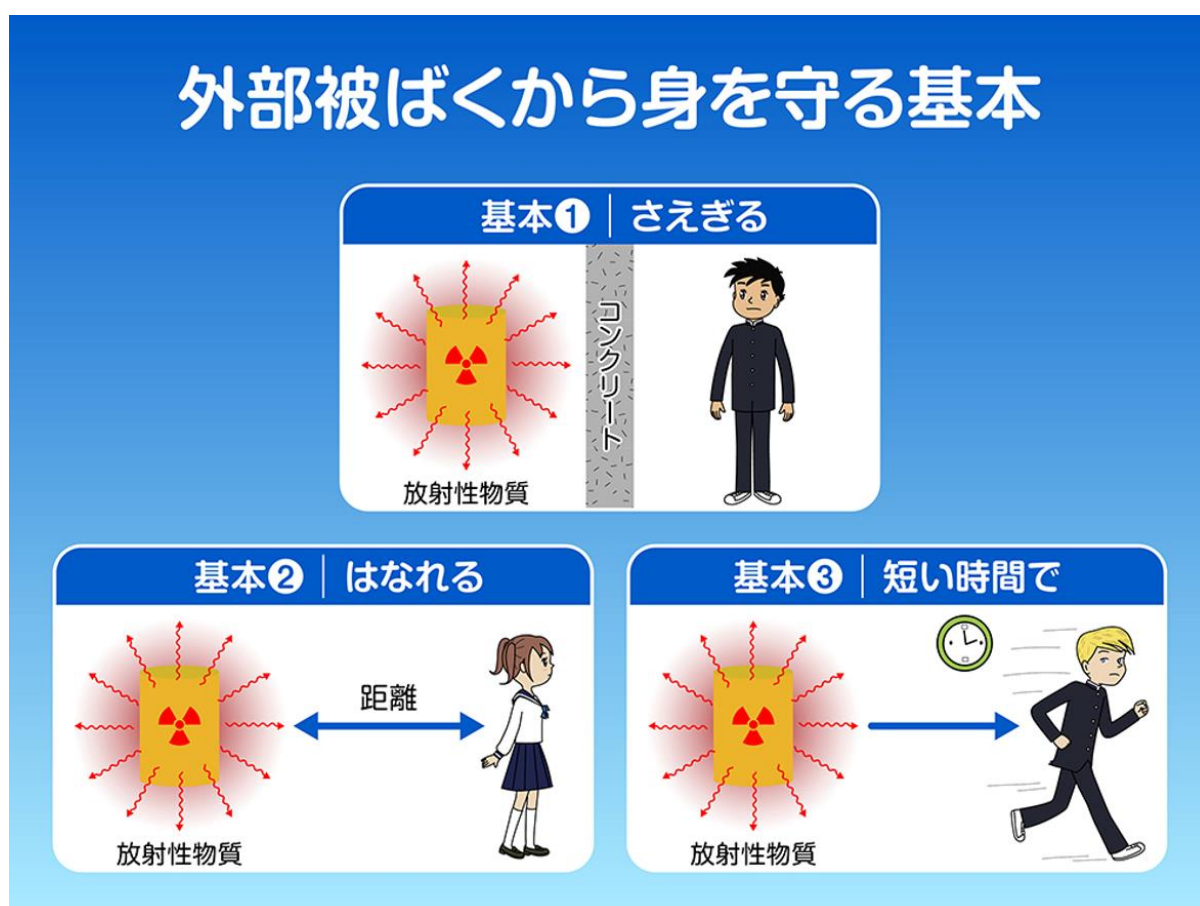


図 25：外部被ばくから身を守る方法
(中部電力株式会社 (2015) 「出前授業資料」より)

確認問題

(1) _____ に当てはまる言葉や数字を書き入れなさい。

■ 放射線とは、 不安定な原子核 が 安定な原子核 に

変わろうとするときに放出する、非常に高いエネルギーを持った

高速の粒子や電磁波 のことである。

■ 私たちは、常にわずかな放射線を浴びながら生活しており、

自然放射線 と 人工放射線 の2つに分類される。

■ 放射能の強さは ベクレル で表し、人への影響は シーベルト

で表す。

(2) 放射線が持つ性質を4つ説明しなさい。

① 感じられない

② 物質を通り抜ける

③ 物質の分子の形や性質を変える

④ 放射能の量は時間が経つと少なくなる

(3) 外部被ばくから身を守る方法を3つ説明しなさい。

① 放射線をさえぎる

② 放射性物質から離れる

③ 放射性物質に近づく時間を短くする

MEMO

第Ⅱ章 - 1 高レベル放射性廃棄物について

今回は、「放射線」について学びました。今回は、原子力発電によって生じる「高レベル放射性廃棄物」について学びましょう。

1. 原子力発電の燃料

原子力発電では、ウラン鉱石（元素記号U）を加工したもの（燃料ペレット）を燃料に使用します。燃料ペレットを金属の筒に詰め込み、燃料棒を作ります。この燃料棒をまとめた状態（燃料集合体）で発電をしています。



図 26：ウラン鉱石
（画像提供：日本原燃株式会社）



図 27：燃料ペレット
（画像提供：日本原燃株式会社）

国内の原子炉は 2 種類（PWR・BWR）あり、原子炉によって、燃料集合体の構造も異なる。

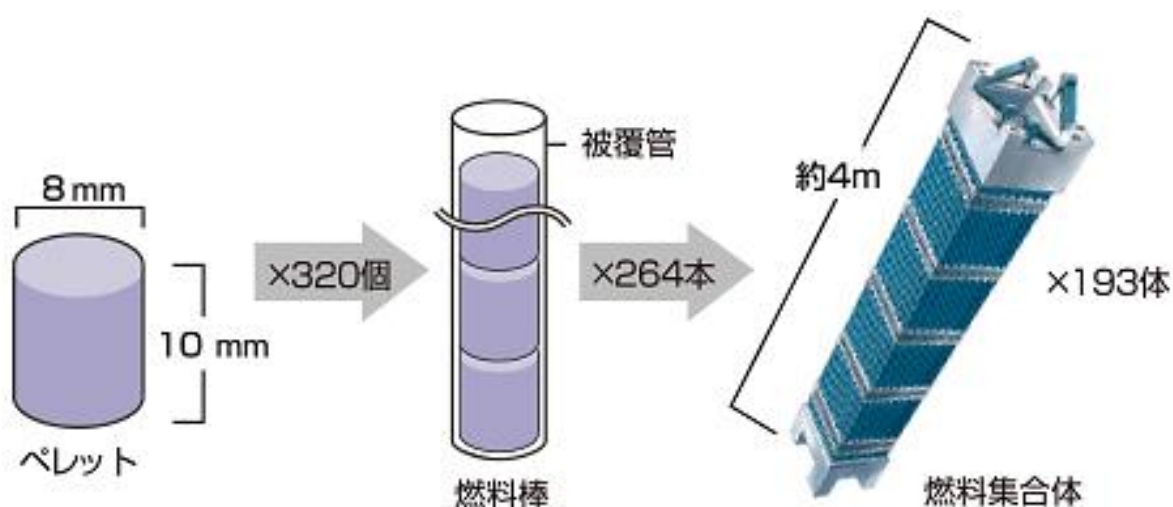


図 28：燃料棒と燃料集合体（一例）
（関西電力株式会社（2016）「原子力発電について 原子力発電の概要」より）

2. 使用済み燃料のうち3~5%は再利用できない

原子力発電で使用した燃料（使用済み燃料）は、各発電所で保管された後、再処理工場へ運ばれ、溶かして分別されます。使用済み燃料のうち、核分裂生成物（約3~5%）は、再利用できません。この液体（高レベル廃液）は強い放射線を出すため、とても危険です。

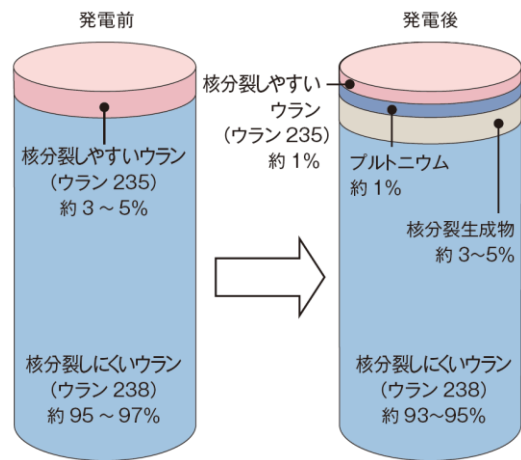


図 29：発電による核燃料の変化

（電気事業連合会（2015）「原子力・エネルギー図面集 2015」より）

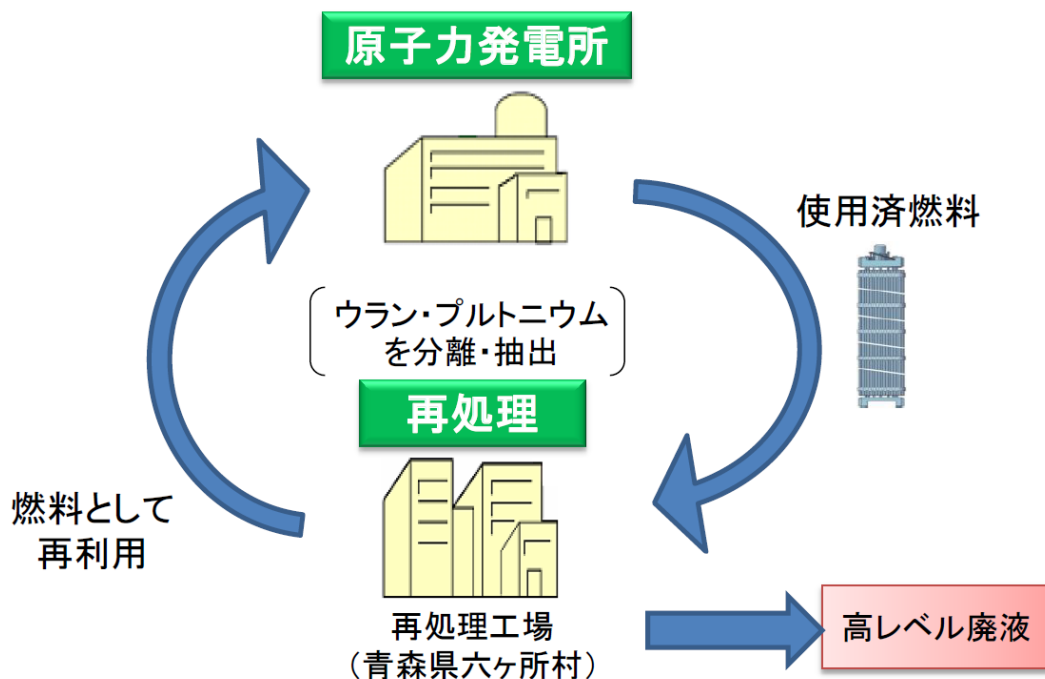


図 30：使用済み燃料の再処理

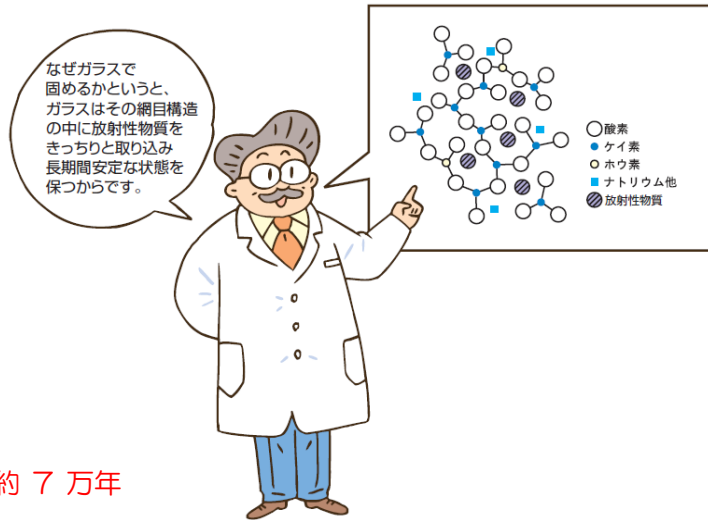
（経済産業省資源エネルギー庁（2015）「高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた新たな取り組み」より）

考えよう：強い放射線を出すとても危険な液体（高レベル廃液）を、あなたなら、どのように処分しますか。

<回答例> 海に流す、コンクリートで固める、容器に入れて管理する、水で薄める、土に埋める、宇宙に捨てる、薬を使って無害化する

3. 高レベル廃液は“ガラス固化体”にして処分します

日本では、高レベル廃液をガラスと溶かし合わせ、ステンレス製の容器の中で冷やし固めて処分します。これを、**ガラス固化体**といいます。ガラスには、放射性物質をきちんと取り込む性質があり、水に溶けにくいいため、長い期間安定した状態を保つことができます。



ガラス固化体が全て溶けきるまでに、約 7 万年以上かかると考えられている。

図 31：ガラスの特性

(原子力発電環境整備機構 (2009)「地層処分 その安全性」より)

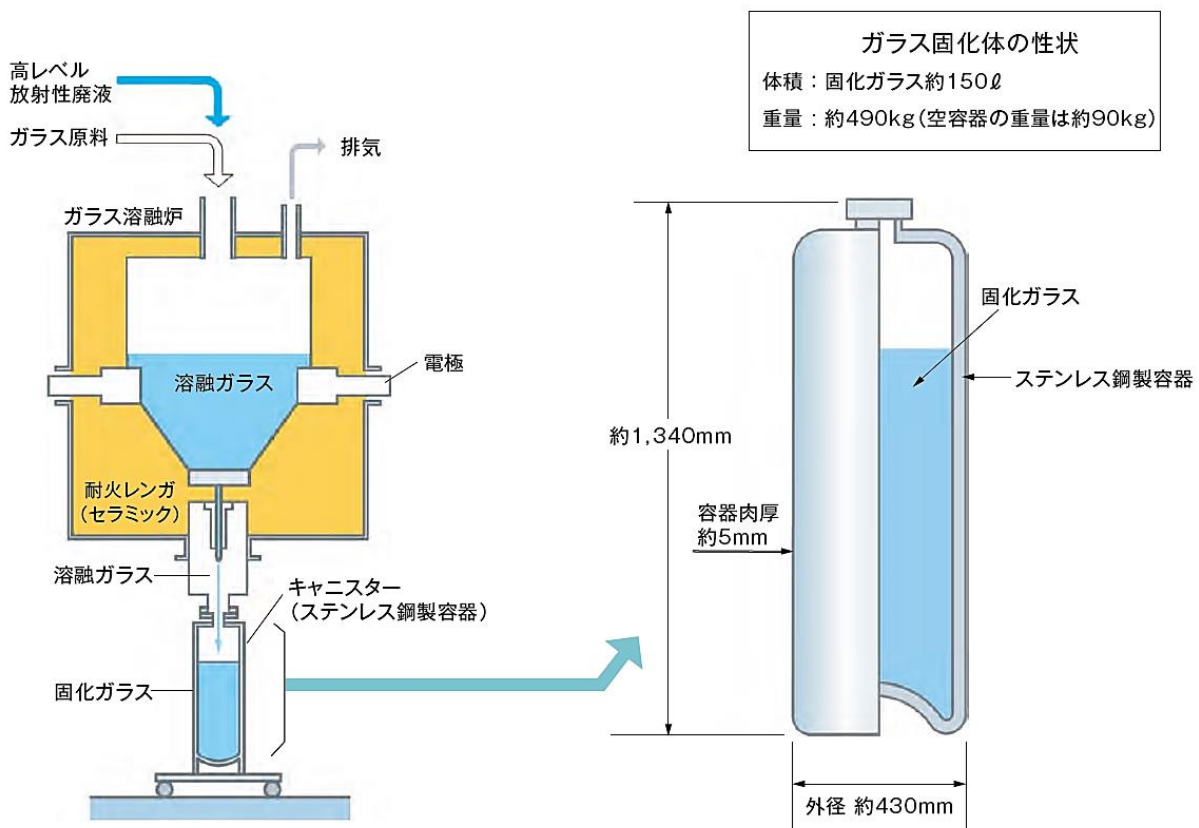


図 32：ガラス固化体の作り方

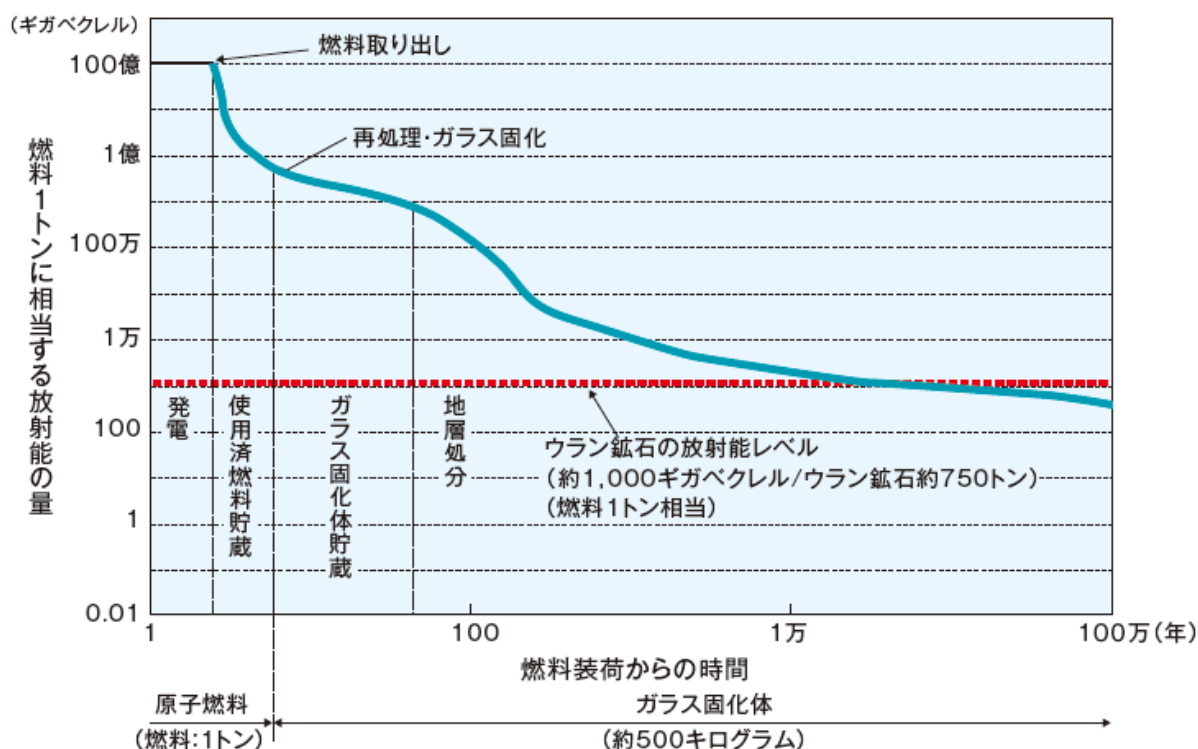
(電気事業連合会 (2015)「原子力・エネルギー図面集 2015」より)

4. ガラス固化体が安全になるためには長い時間が必要

ガラス固化体は、時間が経つにつれて温度が下がり、放射能も弱くなります。しかし、ガラス固化体の放射能が原料のウラン鉱石と同程度になるまでには、**数万年**という非常に長い時間がかかります。

ガラス固化体の特性（完成時）	
温度	放射線量
200 °C以上	約 1,500 Sv/h

（経済産業省資源エネルギー庁（2012）「高レベル放射性廃棄物の地層処分について考えてみませんか」より）



5. このゴミを“高レベル放射性廃棄物”といいます

高レベル廃液とガラス固化体を合わせて、**高レベル放射性廃棄物**といいます。海外では、再処理をせずに燃料集合体のまま処分する国もあり、そのような国では、使用済み燃料を高レベル放射性廃棄物と呼んでいます。

自国でウランが採掘できる可能性や、コストなどを踏まえて、各国が方針を決定している。

6. 高レベル放射性廃棄物はどれくらいあるの？

2016年3月末の時点で、日本国内には、約2,300本のガラス固化体が地上で貯蔵管理されています。2mのコンクリートによって放射線は遮へいされているため、上に人が立っても人体に影響はありません。

また、日本各地の原子力発電所には、約18,000トンの使用済み燃料が貯蔵されています。これらの使用済み燃料を再処理すると、既存のガラス固化体と合わせて約25,000本分になります。これは現在までに発電した分であり、今後も原子力発電を行えば、高レベル放射性廃棄物の量はさらに増えます。

現在、40,000本以上のガラス固化体を処分する処分施設を建設することが考えられている。



図 34：使用済み燃料の貯蔵施設
(画像提供：日本原燃株式会社)



図 35：ガラス固化体の貯蔵施設
(画像提供：日本原燃株式会社)

使用済み燃料は水で冷却、ガラス固化体は空気で冷却されている。

青森県六ヶ所村にある貯蔵施設では、2,880本のガラス固化体しか貯蔵できません。今後、全てのガラス固化体を地上で保管するためには、さらに多くの貯蔵施設が必要です。また、ガラス固化体が安全になるまで、人間が管理し続けなければなりません。

考えよう：現在、高レベル放射性廃棄物は人間の生活環境の中で管理（地上管理）されています。あなたなら、今後も地上管理を続けますか。それとも、地中深くや海底、宇宙など、人間の生活環境の外に処分（隔離処分）しますか。

自分の考えを書こう

地上管理	•	隔離処分
理由		
<p>■補足説明</p> <p>地上管理を続けるためには、人間による管理・監視が必要。また、テロや災害が発生した時に、管理が継続できなくなるリスクがある。隔離処分をすると、監視・管理の必要がなくなるが、対策を施さないと、環境などへ悪影響を及ぼすリスクがある。</p> <p>◎指導上の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・話し合う時間と書き込む時間を分け、生徒によって活動がバラバラにならないようにする。 ・理由は一文で簡潔に書くのではなく、たくさん書かせる。 		

話し合おう（参考になった考えをメモしよう）

<p>◎指導上の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・話し合いの前に、まずは、それぞれの生徒に自分の意思を表明させる。その際、理由を伝えることが重要であることを押さえる。 ・話し合いでは、合意形成を図るのではなく、理由の質を競わせる。

話し合いをもとに、改めて自分の考えを書こう

地上管理	•	隔離処分
理由		
<p>◎指導上の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・意思が変わった場合には、なぜ意思が変わったのかを記述させる。意思が変わらなかった場合には、理由がどのように充実したかを記述させる。 		

第Ⅱ章 - 2 高レベル放射性廃棄物の処分方法を考えよう

今回は、「高レベル放射性廃棄物」について学び、地上管理し続けるか、隔離処分するかを考えました。

世界は、高レベル放射性廃棄物を“隔離処分”する方針で進んでいます。世界中で隔離処分の方法が話し合われた結果、4つの方法が考えられました。

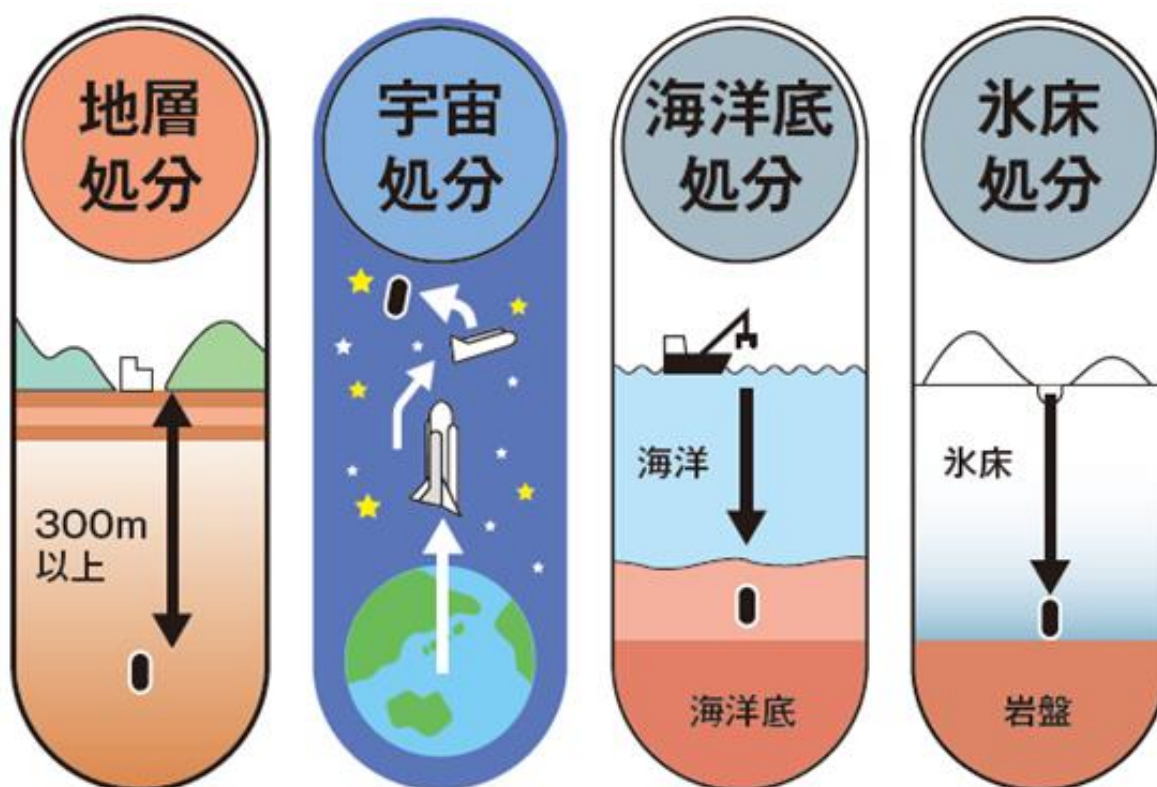


図 36：考えられた隔離処分方法
(電気事業連合会(2015)「原子力・エネルギー図面集 2015」より作成)

地層処分：地面の深いところに埋める。

宇宙処分：ロケットなどを使って地球の外に飛ばす。

海洋底処分：海底の下に埋める。

氷床処分：南極の氷の下に埋める。

考えよう：それぞれの処分方法のメリットとデメリットは何だろうか。

処分方法	メリット	デメリット
地層処分	<ul style="list-style-type: none"> 埋めることで、放射線の放出を抑えることができる。 地下深くは、地上に比べて地震の影響が小さい。 長期間、安定して保管することができる。 酸素が少ないので、腐食の心配が小さい。 地上に放射線が出る心配が、ほとんどない。 将来掘り起こして、更に良い方法で処分することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 地面の中に生息する微生物などに、悪影響を及ぼす。 地震や火山の被害を受ける。 隆起によって、一度埋めたガラス固化体が、地表に表れる可能性がある。 放射性物質が漏れ出すと、地下水によって広範囲に拡散される。 将来の世代が、その土地を掘り起こしてしまうかもしれない。 地上の面積には限りがある。 土地の所有者の許可が必要である。
宇宙処分	<ul style="list-style-type: none"> 4つの方法の中で、最も人間の生活環境から離れた位置に処分できる。 人間は、2度と関わらなくて済む。 地球に放射線が届く可能性は低い。 空間がたくさんある。 他の方法と比べて、地震や津波などの自然災害の影響を受けるリスクがない。 	<ul style="list-style-type: none"> 莫大な費用がかかる。 一度にたくさんのガラス固化体を運ぶことができないので、時間がかかる。 ロケットの打ち上げが失敗したときの被害が大きい。 宇宙に危険なごみが増えることになり、今後、宇宙に人間が行けなくなる可能性がある。 他の惑星や人工衛星に衝突する可能性がある。
海洋底処分	<ul style="list-style-type: none"> 周囲が水なので、放射線を遮蔽することができる。 放射線は水に遮蔽されるため、地上に放射線が出る心配がほとんどない。 陸地と比べると、処分できる面積がとても広い。 	<ul style="list-style-type: none"> 放射性物質が漏れ出すと、海水によって広範囲に拡散される。 海の生態系に悪影響を及ぼす可能性がある。 汚染された生物（魚など）を人間が食べることで、内部被ばくする恐れがある。 領海以外の場所に埋める場合には、国際的な承認が必要。 問題が起きたときに、すぐに対応できない。
氷床処分	<ul style="list-style-type: none"> 近くに人がほとんどいないため、即座に人的被害が出ることはない。 住んでいる人がいないので、比較的合意は得やすい。 温度が低いので、ガラス固化体を冷却することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 南極に住む生物の生態系に悪影響を及ぼす。 南極まで運ばなければならない。 温暖化により南極の氷が溶けると、ガラス固化体が出てくる可能性がある。 放射性物質が漏れ出すと、海水によって広範囲に拡散される。 寒い地域での作業は困難。 問題が起きたときに、すぐに対応できない。

考えよう：あなたならどの処分方法を採用しますか。

地層処分 • 宇宙処分 • 海洋底処分 • 氷床処分
<p>理由</p> <p>■補足説明</p> <p>海洋底処分：海上から海底に向けてガラス固化体を投棄する方法が検討されている。</p> <p>氷床処分：ガラス固化体を地表に置くと、ガラス固化体の熱で氷が溶け、ガラス固化体が氷の中に沈んでいく。溶けた水は再び凍って元の氷の状態になる。</p> <p>• 影響（人間・生態系、環境）、将来の安全性、処分地選定（生活環境との距離、処分可能な面積、制約、特性）処分作業（容易さ、確実性、コスト）などをもとに意思を決定させる。</p>

話し合おう（参考になった考えをメモしよう）

--

考えよう：話し合いをもとに、改めて処分方法を考えよう。

地層処分 ・ 宇宙処分 ・ 海洋底処分 ・ 氷床処分
理由

考えよう：他にもっといい方法はないだろうか。自由に考えよう。

<回答例>

- 地球以外の惑星に埋める。
- 地球以外の惑星に施設を作り、そこで保管する。
- 一定期間経過してから処分する。
- 宇宙エレベーターを用いて宇宙に処分する。
- 高レベル放射性廃棄物を無害化する薬品を開発する。
- 高レベル放射性廃棄物を有効活用する方法を開発する。

第三章 - 1 地層処分について

前回は、高レベル放射性廃棄物をどこに隔離処分するかを考えました。実は日本は、“地層処分”を採用することを2000年に決定しています。世界の多くの国も、日本と同様に地層処分を行う方針です。

1. どうして地層処分なの？

地層処分が選ばれたのは、長期間人間が管理し続ける必要がなく、将来まで安全性を確保することができるからです。人間の生活環境や地上の自然環境と“隔離”でき、長期間安定して“閉じ込める”ことができます。

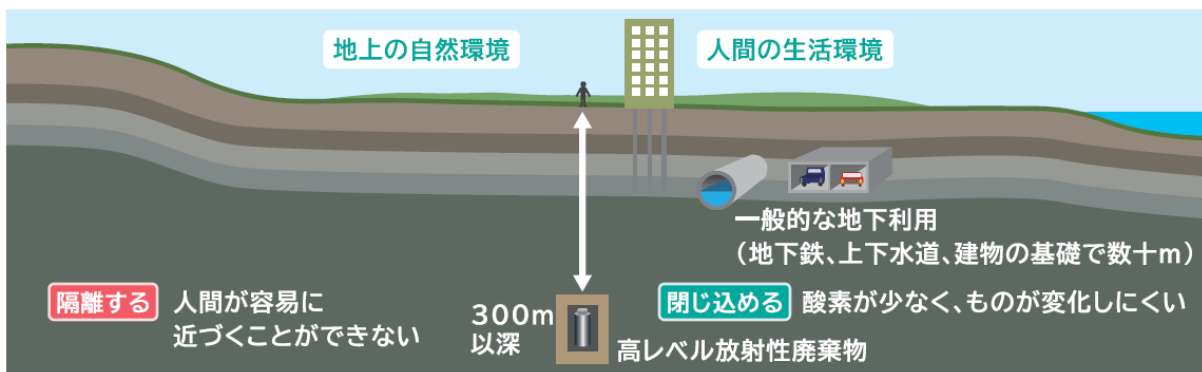


図 37：地層処分の特徴

(原子力発電環境整備機構 (2017) 「知ってほしい、地層処分」より)

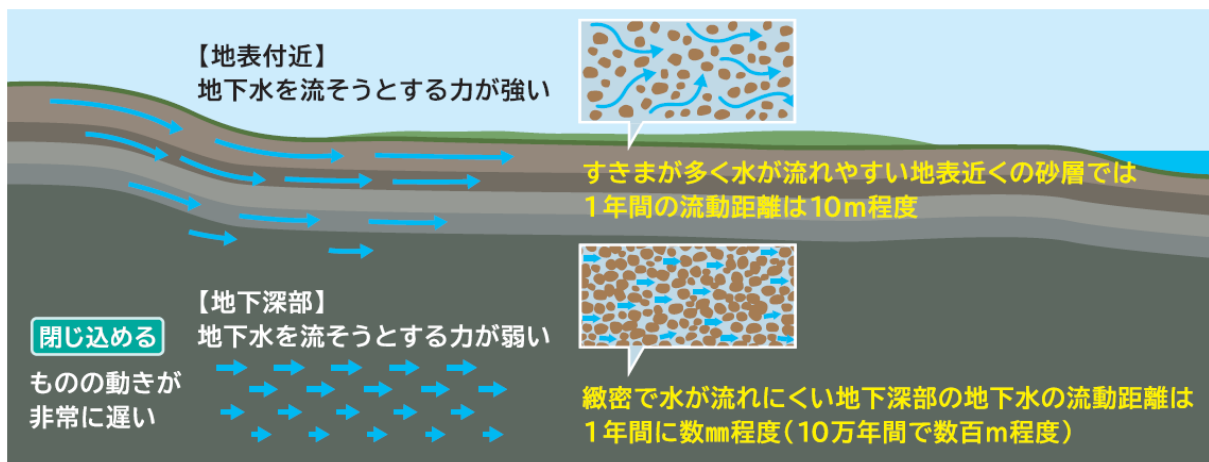


図 38：地表と地下の水の流れの違い

(原子力発電環境整備機構 (2017) 「知ってほしい、地層処分」より)

地層処分以外の方法が採用されていない理由

宇宙処分…打ち上げ技術の安全性に問題がある。(成功率約 90%)
海洋底処分…放射性物質が海水に漏れ出したときの影響が大きい。
ロンドン条約によって禁止されている。
氷床処分…氷床の特性解明が不十分である。
南極条約によって禁止されている。

ロンドン条約：海洋汚染を防止する条約 南極条約：南極の環境と生態系を保護する条約

考えよう：あなたは、高レベル放射性廃棄物を地層処分することに賛成ですか。反対ですか。今の考えを 5 段階で評価して、その理由を書こう。

(後で同じ質問をします)

(賛成) 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 (反対)

理由

MEMO

2. ガラス固化体をそのまま地中に埋めるの？

ガラス固化体は、完成時の温度が 200℃以上あり、表面の放射線量が約 1,500Sv/h であるため、すぐに地層処分することはできません。そのため、地上の施設で 30～50 年貯蔵管理し、ガラス固化体の表面温度と放射線量がある程度下がってから地層処分することにしています。

しかし、30～50 年経過しても、ガラス固化体はまだまだ危険です。

考えよう：ガラス固化体をそのまま埋めると、どのような危険性（リスク）が考えられるだろうか。また、安全に処分するためにはどのような工夫が必要だろうか。

考えられる危険性（リスク）	安全に処分するために必要な工夫
放射性物質が外に漏れ出し、地下水が汚染される。	吸水性の物質でガラス固化体の周りを囲む。
周囲の地温が高くなる。	ガラス固化体の温度が下がってから地層処分を行う。
ガラス固化体のステンレス容器が錆びる。	酸素が少ない場所を選ぶ。
活断層によって、地下の処分施設が破壊される。	活断層から離れた位置に処分する。
マグマが流れこむことで、ガラス固化体が溶ける。	火山から離れた位置に処分する。

ガラス固化体をそのまま埋めると、放射線が周囲に漏れたり、放射性物質が漏れ出して地下水によって広範囲に拡散する恐れがあります。

そこで、ガラス固化体を、金属製の容器（オーバーパック）、緩衝材（粘土）、地下深くの岩盤でしっかりと守り、安全に処分します。これを**多重バリアシステム**といいます。

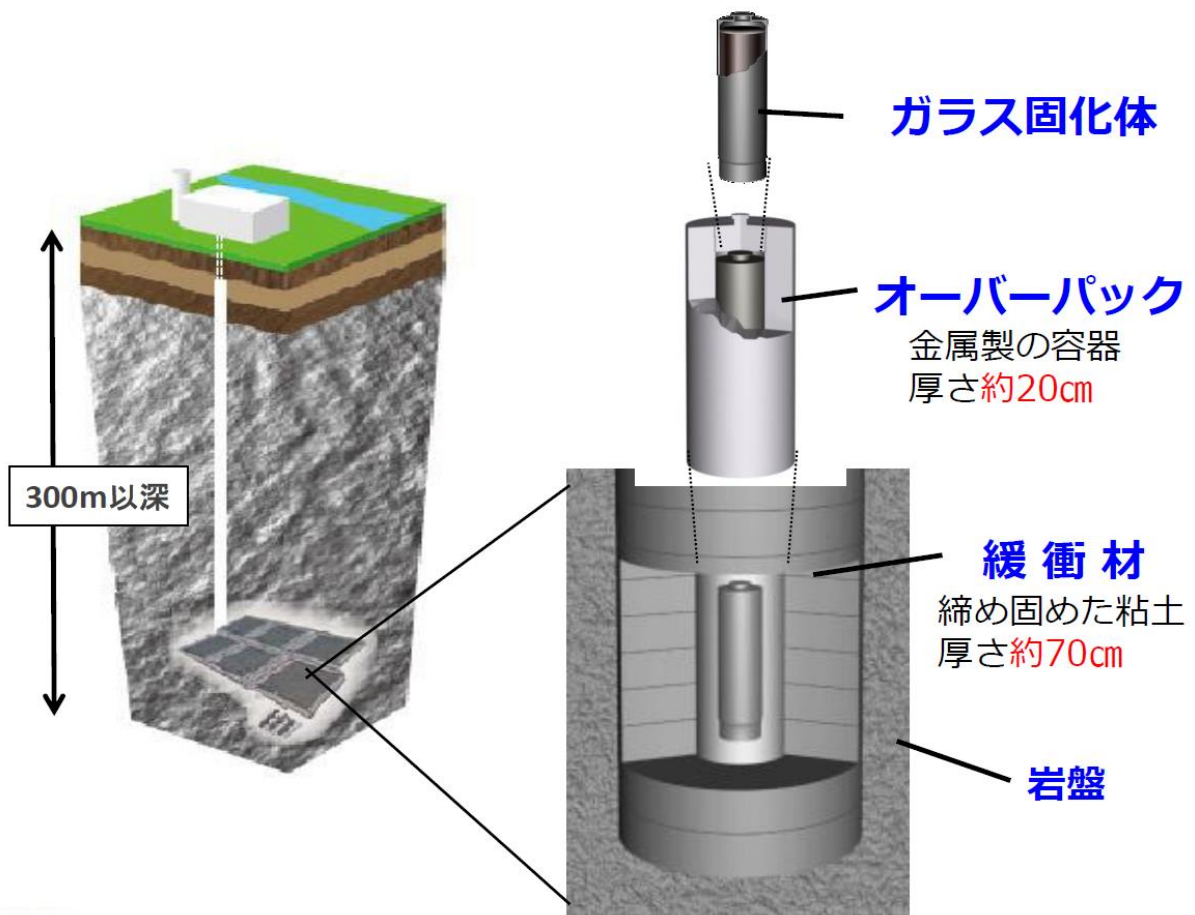


図 39：多重バリアシステム

(原子力発電環境整備機構 (2015) 『今改めて考えよう地層処分』地層処分事業の概要) より)

金属製の容器（オーバーパック）

ガラス固化体を、金属の容器の中に入れます。これにより、ガラス固化体の放射能が急激に下がる少なくとも 1000 年間、ガラス固化体に地下水が接触するのをし断することができます。

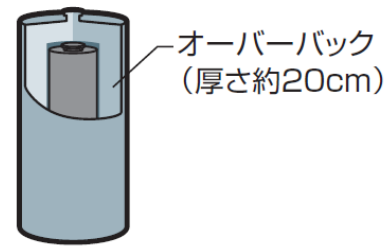


図 40：金属製の容器（オーバーパック）
（原子力発電環境整備機構（2009）「地層処分 その安全性」より）

緩衝材（粘土）

容器の周りを、ベントナイトという粘土で囲みます。ベントナイトには水を非常に通しにくい性質があるため、オーバーパックが腐食することを防ぎ、万が一ガラス固化体から放射性物質が漏れ出しても、地下水によって拡散されることを防ぐことができます。

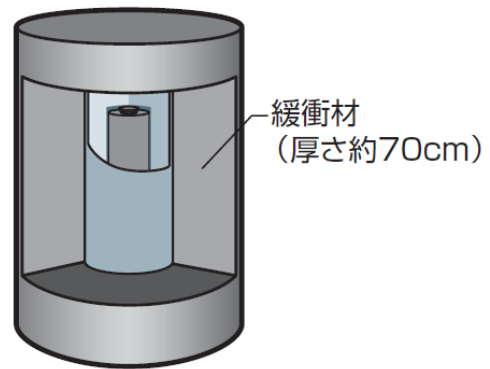


図 41：緩衝材（粘土）
（原子力発電環境整備機構（2009）「地層処分 その安全性」より）

地下深くの岩盤

2 つの人工バリアを施したガラス固化体を、地下 300mより深くの安定した岩盤に埋めます。地下水の動きは非常に遅く、岩盤には、放射性物質を吸着する能力があるので、放射性物質が漏れ出したとしても、拡散を防ぐことができます。また、地下深くは酸素がとて少ないため、金属が腐食しにくく、長期間元の状態を保つことができます。

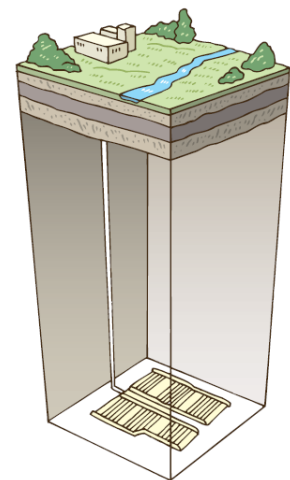


図 42：岩盤に埋めた状態
（原子力発電環境整備機構（2009）「地層処分 その安全性」より）

3. 地層処分をする施設はどんなところ？

現在、40,000 本以上のガラス固化体を処分できる施設を建設することが考えられています。ガラス固化体を受け入れ、ガラス固化体に人工バリアを施す地上施設（1～2 km²）と、ガラス固化体を定置するために必要な地下施設（6～10 km²）で構成されます。最終的に地下施設は埋め戻し、地上施設は解体する計画です。

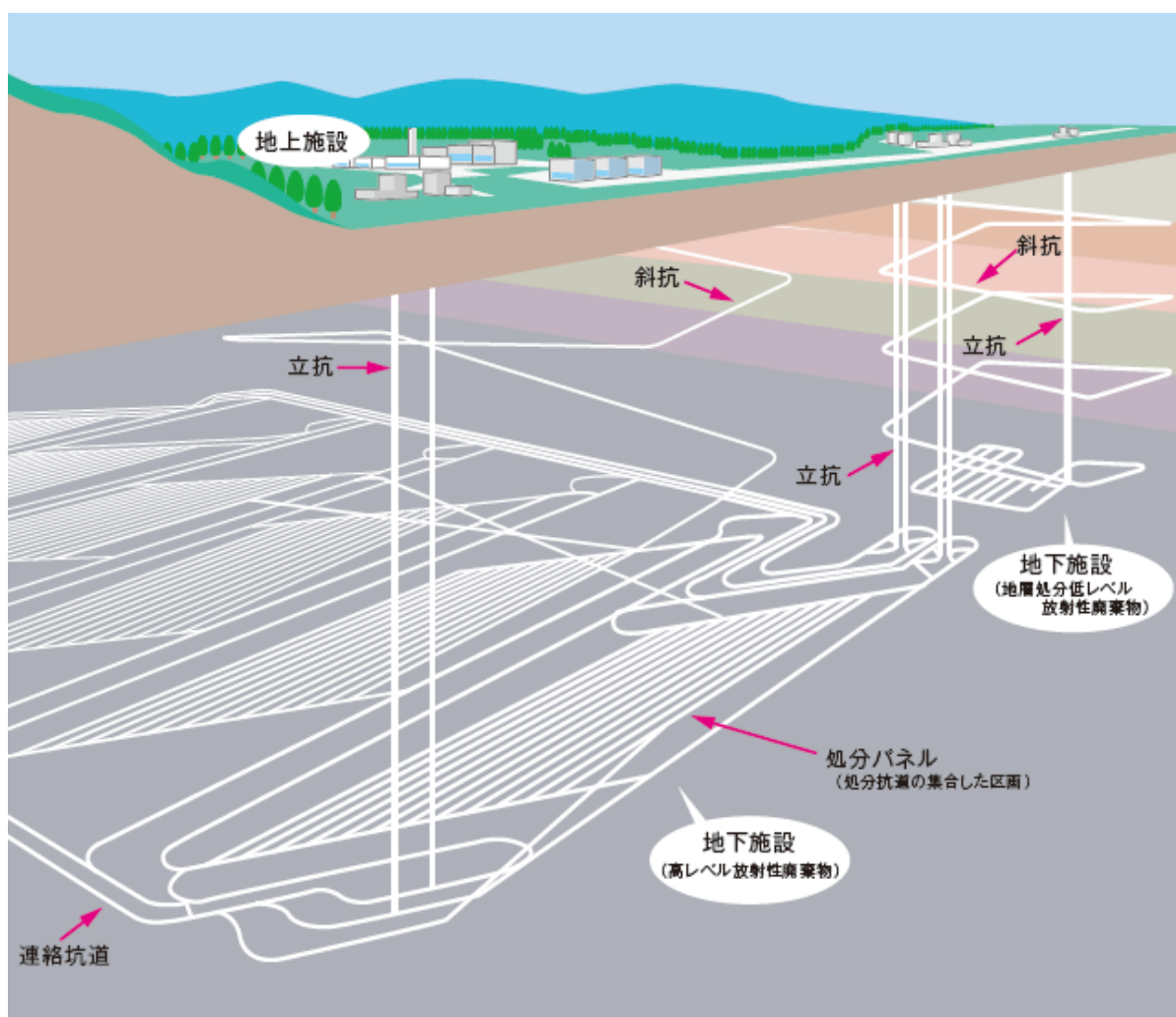


図 43：処分施設の概要
(電気事業連合会 (2015)「原子力・エネルギー図面集 2015」より)

地上施設における工程 (イメージ)

1. 地上施設への輸送



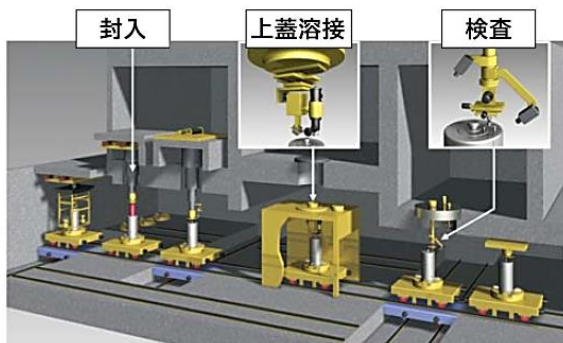
専用の輸送容器(キャスク)、
専用道路での輸送。

2. ガラス固化体の受入れ・ 検査・一時仮置き



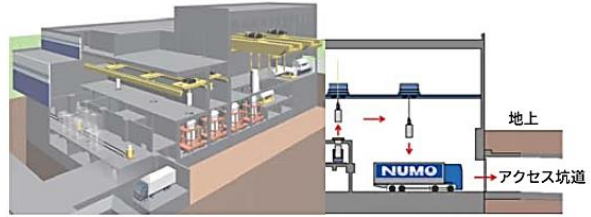
放射線量やガラス固化体の
状態を確認した後、受入れます。

3. ガラス固化体のオーバーパックへの 封入・溶接 (遠隔操作技術を使用)



遠隔操作技術を用いてガラス固化体をオーバ
パックへ封入し、上蓋を溶接します。

4. 搬送車両への積み込み



廃棄物を搬送車両に積み込みます。

地下施設における工程 (イメージ)

5. アクセス坑道での搬送



6. 処分坑道での定置



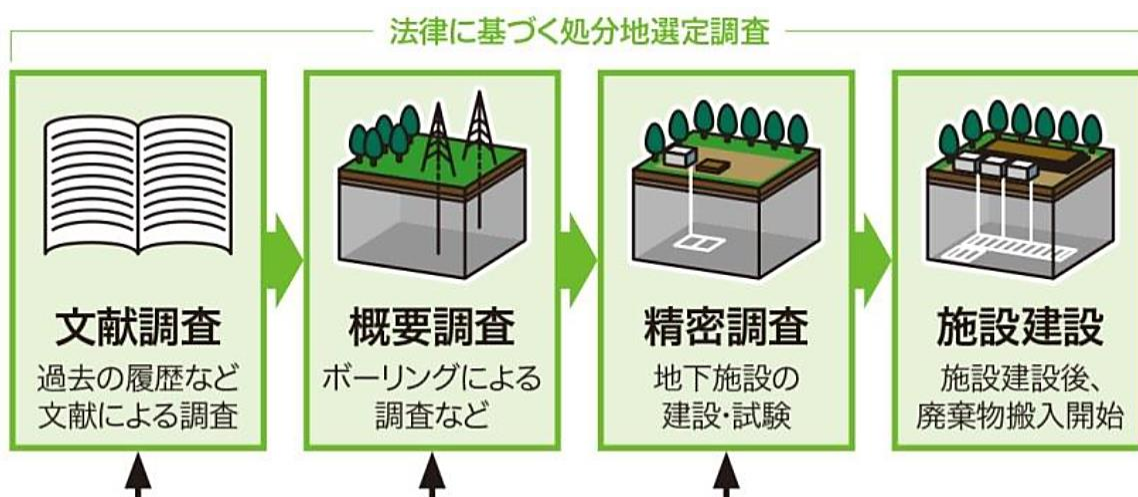
7. 処分坑道の埋め戻し



図 44：ガラス固化体を地層処分するまでの工程
(原子力発電環境整備機構 (2017)「知ってほしい、地層処分」より)

4. 処分地はどうやって決めるの？

日本では、約 20 年間かけて 3 段階の調査（文献調査、概要調査、精密調査）を行い、その結果を踏まえて処分地を決定します。調査開始から処分完了（施設閉鎖）までには、約 100 年以上かかると予想されています。



※都道府県知事、市町村長の意見を聴き、反対の場合には次の段階に進まない

図 45：3 段階の調査

（原子力発電環境整備機構（2015）『今改めて考えよう地層処分』地層処分事業の概要』より）

現在、岐阜県の瑞浪市と北海道の幌延町に研究施設を作り、高レベル放射性廃棄物を地層処分するための様々な研究をしています。

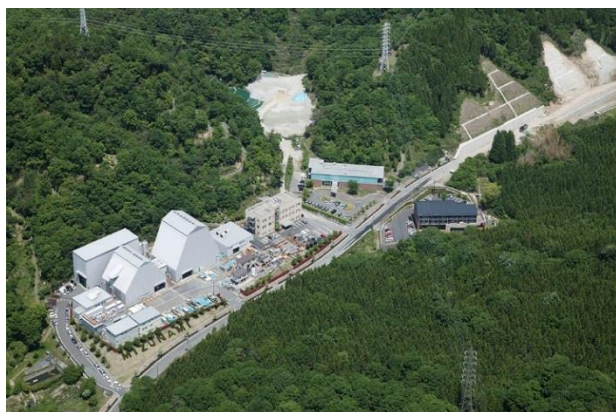


図 46：東濃地科学センター瑞浪超深地層研究所
（資料提供：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構）



図 47：地下 500m にある研究坑道

（資料提供：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構）

岐阜県瑞浪市と北海道幌延町の 2 つの研究施設は、処分地にしないことが決められている。

5. 処分地はもう決まっているの？

日本では、2002年から処分地を決めるための調査を受け入れる自治体を公募しています。2007年に高知県東洋町から応募がありましたが、その後応募は取り下げられました。その他の自治体からの応募は1件もありません。公募開始から約15年経った現在でも、処分地を決めるための調査は1度も行われていないのが現状です。

海外では、フィンランドとスウェーデンですでに処分地が決定しています。その他の国は、日本と同様に処分地が決定していない状況です。

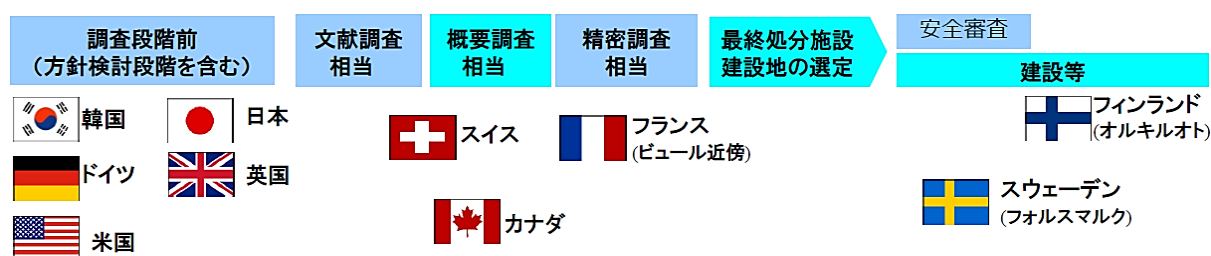


図 48：諸外国の進捗状況
(資料提供：原子力発電環境整備機構)

考えよう：地層処分について知り、あなたは、高レベル放射性廃棄物を地層処分することに賛成ですか。反対ですか。もう一度、今の考えを5段階で評価して、その理由を書こう。(後で同じ質問をします)

(賛成)	1	•	2	•	3	•	4	•	5	(反対)
理由										

第Ⅲ章 - 2 処分地を決めるときに重視する要因を考えよう

今回は「地層処分」について学びました。今回は、高レベル放射性廃棄物を地層処分する場所（処分地）を決めるときに、考えなくてはならない要因について考えましょう。

1. はじめに

日本は、40,000 本以上のガラス固化体を、地下 300mより深くの岩盤に地層処分する方針です。2002 年から、国の機関である「原子力発電環境整備機構（NUMO）」が処分地を決めるための調査を受け入れる自治体を公募しています。しかし、約 15 年経った現在でも調査を受け入れる自治体は 1 つもなく、調査は全く進んでいません。

考えよう：高レベル放射性廃棄物の処分地を決めることについて、あなたはどのように考えますか。今の自分の考えに近いものを選んで、その理由を書こう。（後で同じ質問をします）

- ア 決められる大人になりたい
- イ 国がしっかりと決めなければならない
- ウ 決められないのは仕方がない
- エ 私たち自身が考えていかなければならない

理由

■補足説明

ウ→イ→ア→エの順に、より自分ごとになるよう選択肢を設定している。

考えよう：高レベル放射性廃棄物の処分地を決めるときに、あなたなら、どのようなことを考えますか。

<回答例>

- 岩盤の固さ、岩盤の種類、地温
- 地下水の流量、地下水のpH、地下水の温度
- 隆起量および侵食量
- 火山の有無
- 地震（活断層）の有無
- 災害（土砂崩れや洪水など）の発生履歴
- 鉱物資源の有無
- 人口
- 土地利用（保護区であるかどうか）
- 地価、所有権を持つ人数
- 自治体および地域住民の意向
- 関連施設（原子力発電所など）の立地状況
- 費用
- 土地面積

■補足説明：下記の要因は、国が示している要因もとに、中学生が考えやすいように改善を図ったものである。実際には、さらに詳細な要因が考えられている。

2. 処分地を決めるときに考えなくてはならないこと

社会的な要因			
<p>鉱物資源</p> <p>処分地の近くに鉱物資源があると、将来の世代が、鉱物資源の調査や採掘のために、地下施設の近くへ行ってしまふ可能性があります。</p>		<p>人口密度</p> <p>処分地周辺の人口密度が高いほど、事故が起きたときの人的被害が大きくなります。</p>	
<p>土地利用</p> <p>多くの方が土地の所有権を持っている場所を処分地とする場合には、その人達に許可をいただき、移動していただかなければなりません。また、場所によっては、価値のあるもの（重要文化財など）がある場合もあります。</p>		<p>港からの距離</p> <p>再処理施設から処分地の近くの港までは船で運びますが、その後は陸地を運びます。港からの距離が遠くなるほど、輸送中の被ばくリスクが高くなります。</p>	
			
		<p>図 49：ガラス固化体の輸送船 (資料提供：原子力発電環境整備機構)</p>	
<p>港からの輸送方法</p> <p>港から処分地までガラス固化体を運ぶ方法は、車両と鉄道の2つがあります。一度に運ぶ量が少ないほど、途中の道路に留まる時間が長くなり、被ばくリスクは高くなります。一方で、一度に運ぶ量が多いほど、事故が起きたときの被ばくリスクは高くなります。</p>			
			
		<p>図 50：ガラス固化体の輸送車両 (資料提供：原子力発電環境整備機構)</p>	
輸送方法	ガラス固化体を一度に運搬できる量	輸送中の被ばくリスク	その他
車両	4本	最も高い	道路の補強が必要。
鉄道	28本	中程度	勾配の制限があり、輸送できる範囲が限られる。

(総合資源エネルギー調査会「科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける中間整理より作成)

科学的な要因	
<p>地震（活断層）</p> <p>地下施設の近くに活断層があると、地下施設を破壊する可能性があります。また、岩盤に亀裂が入ることで、地下水の量が増えたり、地下水の流れが速くなる可能性があります。</p>	<p>地下水の流量</p> <p>地下水がたくさん流れている場所では、万が一、放射性物質が漏れ出した時に、放射性物質を広範囲に拡散してしまう可能性があります。</p>
<p>火山</p> <p>地下施設の近くに火山があると、地下施設にマグマが流れこみ、ガラス固化体を溶かす可能性があります。また、マグマの熱によって、ガラス固化体の周りの地温や水温が、上昇する可能性があります。</p>	<p>岩盤の固さ</p> <p>岩盤がやわらかいと、強度が小さく、地下施設の建設に影響する可能性があります。また、操業中に、地下施設の維持・管理が困難になる可能性があります。</p>
<p>隆起・侵食</p> <p>隆起が生じている地域では、隆起した地表面が、雨や風によって侵食されます。隆起が著しい地域では、侵食も著しくなる可能性があり、一度埋めた高レベル放射性廃棄物が、地表近くまで接近する可能性があります。</p>	

高レベル放射性廃棄物の処分地を決めるためには、これだけのことを考えなくてはなりません。次のページでは、処分地を決めるときにどの要因を重視するか考えましょう。

■補足説明

- 活断層については、断層の長さの 1/100 程度の範囲を避けることになっている。
- 火山については、火山の中心から半径 15km 程度の範囲を避けることになっている。

◎指導上の留意事項：科学的な要因と社会的な要因を順位づけした上で、どこまでは譲れないか線引きをさせるのもよい。

科学的な要因	
地震（活断層）、火山、隆起・侵食、岩盤の固さ、地下水の流量	

考えよう：5つの科学的な要因を、重要だと考える順に並べよう。

	要因	理由
1		
2		
3		
4		
5		

話し合おう（参考になった考えをメモしよう）

--

考えよう：話し合いをもとに、もう一度、5つの科学的な要因を重要だと考える順に並べよう。

	要因	理由
1		
2		
3		
4		
5		

社会的な要因	
鉱物資源、人口密度、土地利用、港からの距離、港からの輸送方法	

考えよう：5つの社会的な要因を、重要だと考える順に並べよう。

	要因	理由
1		
2		
3		
4		
5		

話し合おう（参考になった考えをメモしよう）

--

考えよう：話し合いをもとに、もう一度、5つの科学的な要因を重要だと考える順に並べよう。

	要因	理由
1		
2		
3		
4		
5		

第Ⅲ章 - 3 処分地を決定しよう

前回は、処分地を決めるときに考えなくてはならない要因を考えました。今回は、仮定の候補地の中で、どこを高レベル放射性廃棄物の処分地にするかを考えましょう。

日本国内全域を対象として調査を行った結果、7つの場所が候補地に選ばれました。あなたなら、どの候補地を処分地にしますか。

■補足説明：各候補地の難点を、 で示している。

	候補地						
	A	B	C	D	E	F	G
科学的な要因							
地震（活断層）	<u>ある</u>	ない	ない	ない	ない	ない	ない
火山	ない	ない	ない	ない	<u>ある</u>	ない	ない
隆起・侵食	少ない	少ない	少ない	<u>多い</u>	少ない	<u>多い</u>	少ない
岩盤の固さ	固い	<u>軟らかい</u>	<u>軟らかい</u>	<u>軟らかい</u>	固い	固い	固い
地下水の流量	少ない	少ない	<u>多い</u>	少ない	少ない	少ない	<u>多い</u>
社会的な要因							
鉱物資源	<u>ある</u>	ない	ない	<u>ある</u>	ない	<u>ある</u>	<u>ある</u>
人口密度	低い	<u>高い</u>	低い	低い	低い	<u>高い</u>	<u>高い</u>
土地利用	農村地域	住宅地	森林	漁村地域	国立公園	市街地	工業地帯
港からの距離	近い	<u>遠い</u>	<u>遠い</u>	近い	<u>遠い</u>	近い	近い
港からの輸送方法	車両	車両	車両	鉄道	鉄道	車両	鉄道

考えよう：科学的な要因をもとに、7つの候補地を順位づけよう。

1	2	3	4	5	6	7

考えよう：社会的な要因をもとに、7つの候補地を順位づけよう。

1	2	3	4	5	6	7

考えよう：科学的な要因と社会的な要因の両方から、処分地を決定しよう。

A ・ B ・ C ・ D ・ E ・ F ・ G
<p>決め手となった要因（1つに○をつけよう）</p> <p>地震（活断層） 火山 隆起・侵食 岩盤の固さ 地下水の流量</p> <p>鉱物資源 人口密度 土地利用 港からの距離 港からの輸送方法</p>
<p>理由</p> <p>■補足説明</p> <ul style="list-style-type: none"> • A～Gの7つの候補地は、具体的な地域を想定していない。これは、地名を示すことで個々がその地域について持っている知識や印象が意思決定に影響し、生徒によって意思決定の要因がずれるためである。 • 科学的な要因をもとに順位づけをした場合と、社会的な要因をもとに順位づけをした場合では、同じ順位でも重要度が異なる場合がある。単純に、両方の順位を合計して意思決定するのではなく、あくまでも、両方の順位づけを参考にしながら、処分地を意思決定させたい。

話し合おう（参考になった考えをメモしよう）

--

考えよう：話し合いをもとに、改めて処分地を決定しよう。

A ・ B ・ C ・ D ・ E ・ F ・ G
決め手となった要因（1つに○をつけよう） 地震（活断層） 火山 隆起・侵食 岩盤の固さ 地下水の流量 鉱物資源 人口密度 土地利用 港からの距離 港からの輸送方法
理由

考えよう：あなたが決めた候補地の近くに、あなたは住みますか。

(あなたが住む家は、処分地から安全な距離離れた場所にあるとします)

住む • 住まない • 判断できない
<p>理由</p> <p>■補足説明</p> <ul style="list-style-type: none">• 客観的に判断させる段階。ここではまだ、完全に自分ごとにはならない。 <p>◎指導上の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none">• 意思決定後に、全体共有が必要。なぜその意思決定をしたのかを共有することが重要。• 「最適だとあなたが選んだにもかかわらず、住むのは嫌」という意思について考えさせたい。

考えよう：あなたが決めた候補地が、あなたが住んでいる地域だとしたら、あなたは処分施設を建設することを受け入れますか。

(あなたの家は、処分地から安全な距離だけ離れた場所にあるとします)

受け入れる • 受け入れない • 判断できない
<p>理由</p> <p>■補足説明</p> <ul style="list-style-type: none">• 上の質問と比較して、より自分ごと近づけている。 <p>◎指導上の留意事項</p> <ul style="list-style-type: none">• 意思決定後に、全体共有が必要。なぜその意思決定をしたのかを共有することが重要。• 「最適だとあなたが選んだにもかかわらず、受け入れたくはないない」という意思について、生徒に考えさせたい。

第IV章 – 1 私たちのこれからを考えよう

今回は、仮想の候補地の中で、どこを高レベル放射性廃棄物の処分地にするかを考えました。今回は、これまでの活動を振り返り、私たちがこれからこの問題とどのように関わっていくかを考えましょう。

1. 処分地を決めることについて

考えよう：これまでの活動を踏まえて、高レベル放射性廃棄物の処分地を決めることについて、あなたはどのように考えますか。もう一度、今の自分の考えに近いものを選んで、理由を書こう。

- ア 決められる大人になりたい
- イ 国がしっかりと決めなければならない
- ウ 決められないのは仕方がない
- エ 私たち自身が考えていかなければならない

理由

考えよう：上の質問と同じ質問を47ページでもしました。それぞれの回答を読み比べてみて、自分の考えがどのように変わったのか（変わらなかったのか）を整理して、その理由を書こう。

P.47

ア・イ・ウ・エ

P.58

ア・イ・ウ・エ

理由

2. 地層処分について

考えよう：これまでの活動を踏まえて、あなたは、高レベル放射性廃棄物を地層処分することに賛成ですか。反対ですか。もう一度、今の考えを5段階で評価して、その理由を書こう。

(賛成) 1 · 2 · 3 · 4 · 5 (反対)
理由

考えよう：上の質問と同じ質問を39ページと47ページでもしました。それぞれの回答を読み比べてみて、自分の考えがどのように変わったのか（変わらなかったのか）を整理して、その理由を書こう。

P.39	(賛成) 1 · 2 · 3 · 4 · 5 (反対)
P.47	(賛成) 1 · 2 · 3 · 4 · 5 (反対)
P.59	(賛成) 1 · 2 · 3 · 4 · 5 (反対)
理由	

3. これからの私たちの生活

高レベル放射性廃棄物の処分が完了するのは、約 100 年以上先と予想されています。これからの日本を担うあなたたちが大人になった時、きっと様々な場面でこの問題について考え、みんなで話し合い、実際に決めなくてはならない機会があります。

考えよう：高レベル放射性廃棄物の処分問題を学んで、今後あなたは、この問題とどのように向き合っていきますか。

考えよう：そのために、あなたが今できることはどんなことがありますか。

MEMO

4. おわりに

これまでに学習したように、高レベル放射性廃棄物の処分地を決めるための調査を受け入れる自治体は、今のところ1つありません。そこで国は、地層処分に関係する各地域の科学的な特性を整理した「科学的特性マップ」を2017年7月に公表しました。

高レベル放射性廃棄物の処分問題は、日本の全国民が関係します。次の世代の人たちに迷惑をかけないためにも、私たちの世代で解決できるように、これからもしっかりと考えていくことが大切です。

～もっと知りたい人は調べてみよう～

発電について

- 電気事業連合会：<http://www.fepc.or.jp/>
- 経済産業省資源エネルギー庁：<http://www.enecho.meti.go.jp/>

放射線について

- 文部科学省（中学生・高校生のための放射線副読本）
http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1344729.html

高レベル放射性廃棄物について

- 日本原燃株式会社：<http://www.jnfl.co.jp/ja/>

地層処分について

- 原子力発電環境整備機構（NUMO）：<http://www.numo.or.jp/>

地層処分のための研究施設について

- 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構：<http://www.jaea.go.jp/>
- 東濃地科学センター：<http://www.jaea.go.jp/04/tono/index.html>
- 幌延深地層研究センター：<http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/index.html>

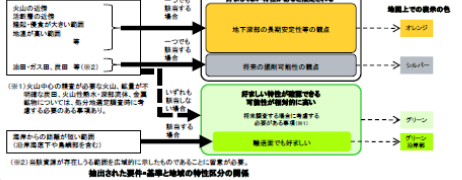
(2017年2月現在)

科学的特性マップ

科学的特性区分と要件・基準

1. 科学的特性区分

● 地層区分技術WGで議論された要件・基準と科学的特性区分の関係は、下のとおりである。「好ましくない特性が確認できる可能性が相対的に高い地域」は、将来的に掘削可能な対象となる可能性があると考えられている。
 ● 「科学的特性マップ」は、それぞれの地域がどの程度科学的特性を有しているかを定量的に示すものではなく、掘削可能性を判定するまでは、「科学的特性マップ」には含まれていない要素もあって、法律に基づき政策的に審査・判断している必要がある。



2. 要件・基準

● 好ましくない特性の要件・基準
 ● 好ましい特性の要件・基準

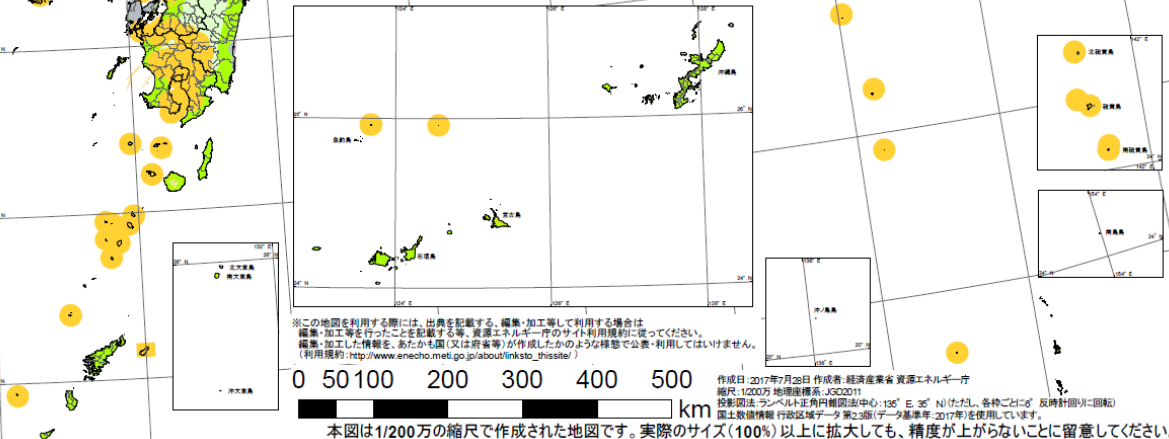
科学的特性区分	要件	基準	参照先
火山・火砕流	活断層の破断への侵入と地盤への侵襲により、物理的崩壊機能が喪失されないこと	活断層の破断の中心から15km以内 活断層の破断の中心から15km以内 活断層の破断の中心から15km以内	別添①
新断層	新断層による地盤の破壊、断層のずれによる地盤の崩壊等により、掘削可能な状態を維持すること	新断層のずれの最大変位が、掘削可能な状態を維持すること	別添②
地盤・地質	掘削・掘削に伴う地盤の崩壊への脆弱性により、物理的崩壊機能が喪失されないこと	掘削・掘削に伴う地盤の崩壊への脆弱性により、物理的崩壊機能が喪失されないこと	別添③
地盤沈下	掘削に伴う地盤沈下の影響を及ぼす地盤沈下による、掘削可能な状態を維持すること	掘削に伴う地盤沈下の影響を及ぼす地盤沈下による、掘削可能な状態を維持すること	別添④
火山性熱水・放射能	掘削に伴う放射能の影響を及ぼす放射能による、掘削可能な状態を維持すること	掘削に伴う放射能の影響を及ぼす放射能による、掘削可能な状態を維持すること	別添⑤
地盤変動	掘削に伴う地盤変動の影響を及ぼす地盤変動による、掘削可能な状態を維持すること	掘削に伴う地盤変動の影響を及ぼす地盤変動による、掘削可能な状態を維持すること	別添⑥
地盤沈下	掘削に伴う地盤沈下の影響を及ぼす地盤沈下による、掘削可能な状態を維持すること	掘削に伴う地盤沈下の影響を及ぼす地盤沈下による、掘削可能な状態を維持すること	別添⑦
地盤沈下	掘削に伴う地盤沈下の影響を及ぼす地盤沈下による、掘削可能な状態を維持すること	掘削に伴う地盤沈下の影響を及ぼす地盤沈下による、掘削可能な状態を維持すること	別添⑧
地盤沈下	掘削に伴う地盤沈下の影響を及ぼす地盤沈下による、掘削可能な状態を維持すること	掘削に伴う地盤沈下の影響を及ぼす地盤沈下による、掘削可能な状態を維持すること	別添⑨
地盤沈下	掘削に伴う地盤沈下の影響を及ぼす地盤沈下による、掘削可能な状態を維持すること	掘削に伴う地盤沈下の影響を及ぼす地盤沈下による、掘削可能な状態を維持すること	別添⑩

○ 作業方法
 ● 掘削の色が異なる場合は、以下の優先順位で色を決定
 ① 好ましくない特性があると推定される地域(地下深部の長期安定性等の観点)
 ② 好ましくない特性があると推定される地域(将来の掘削可能性の観点)
 ③ 好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い地域のうち「掘削面でも好ましい地域」

凡例

- 好ましくない特性があると推定される地域 (地下深部の長期安定性等の観点)
- 好ましくない特性があると推定される地域 (将来の掘削可能性の観点)
- 好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い地域
- 掘削面でも好ましい地域

※掘削場のスケールについて
 想定される地下施設の面積は6~10km²程度である。
 ここでは例として3km x 3kmのサイズを示す。→
 また、想定される地上施設の面積は1~2km²程度である。
 ここでは例として1km x 1kmのサイズを示す。→



※この地図を利用するには、出典を記載する、編集・加工等して利用する場合は、編集・加工を行ったことを記載する等、資源エネルギー庁のサイト利用規約に従ってください。
 編集・加工した情報を、あたかも国(又は府等)が作成したかのような様態で公表・利用はいたしません。(利用規約: http://www.enecho.meti.go.jp/about/links_to_thissite/)

作成日: 2017年7月28日 作成者: 経済産業省 資源エネルギー庁
 縮尺: 1/2,000,000 地理座標系: JGD2011
 投影変換: ランゲル正角円筒法(中心: 135° E 35° N) (ただし、各種ごとの「反時計回りに回転」)
 国土地理院 行政区域データ 第2版(データ基準年: 2017年)を使用しています。

本図は1/200万の縮尺で作成された地図です。実際のサイズ(100%)以上に拡大しても、精度が下がらないことに留意してください。

図 51: 科学的特性マップ
 (原子力発電環境整備機構 HP (2017)「科学的特性マップ」より)

「あなたならどうする？ 高レベル放射性廃棄物の処分」
生徒用教材 vol.3.01
印刷日 2017年9月10日