

放射線教育を軸にしたエネルギー環境教育の試み

—地層処分事業に着目して—

高橋 信幸¹・坂口 武典²・森口 佳凜³

(^{1,2}岡山理科大学教育推進機構・³京都府立桃山高等学校)

放射線や原子力発電は、科学概念や技術の難易度が高いものの、エネルギー環境問題への考察を深めるには避けては通れない学習教材である。特に地層処分事業については、諸外国と比較して我が国の認知度は低く、学校教育における取り扱いが望まれる現状がある。

本研究では、放射線教育を軸としたエネルギー環境教育の試みとして、地層処分事業を諸外国との比較を取り入れて扱う体験型学習プログラムを開発し、高校生を対象に教育実践を行った。そして、この学習活動から高校生は何を学びどのように変容したか質的に分析した。

その結果、体験することで地層処分事業受け入れについての複雑な状況を理解し、地層処分事業に関する考察を深められたことが認められた。また、地層処分事業に取り組む諸外国との比較を取り入れたことで、我が国の特質に対する気づきが促進されたことが示され、海外事例との比較を行う国際教育の有効性が認められた。

キーワード：国際比較、放射線教育、地層処分事業、エネルギー環境教育、体験型学習

1. はじめに

2011年に発生した東日本大震災及び東京電力福島第一原子力発電所事故を経て、我が国のエネルギー政策はエネルギー安定供給の確保、環境への適合、経済効率性の3要素に加え、安全性を含めた3E+Sを基本計画としてきた。2021年10月22日に発表された第6次エネルギー基本計画では、安全性を大前提とするS+3E(安全性+エネルギーの安定供給、経済効率性の向上、環境への適合)の表現が用いられ、新たな指標として2050年カーボンニュートラル実現が掲げられた。また、2019年の化石燃料依存率は76%程度であったが、第6次エネルギー基本計画では2030年にはこれを41%程度とする目標を掲げ、再生可能エネルギーと原子力発電の割合を高める目標を設定した。我が国の一次エネルギー自給率は2020年度で11.3%(資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」2020年度確報値)で、OECD諸国の中では低い水準にあり、どのようにエネルギー政策を進めるかが重要である。我が国などの民主主義国家では、国民がエネルギー政策を判断できるようになる教育が必要で、初等中等教育においてエネルギー環境教育を適切に実施することが求められよう。

エネルギー環境教育においては「エネルギー問題、環境問題に関する情報を正しく理解し、適切な判断、行動ができるような次世代を育てていくこと」(八田2023)が大

切である。エネルギー問題、環境問題の議論においては、原子力発電をどうするか、放射線及び放射線物質の取り扱いは安全かについての判断が自ずと求められる。

原子力発電はCO₂を直接的には排出せず安定供給が得意な経済効率性もよいが、浅野(2018)が指摘するように「原子力政策を取り巻く不安や不信感が国民の中に根強く残る状況」があり、「福島第一原子力発電所の事故から12年以上経過したが風評被害は払拭しきれていない」(消費者庁2023)のが現実で、放射線に対する国民の理解や認識に課題が認められる。

また、学校現場において放射線教育の重要性が見直され、学習指導要領改訂や教材開発等が進められてきたが、放射線リスクが科学的に国民に認知されているかの検討は乏しい状況で、中学・高校の放射線教育における課題として科学的根拠に基づく放射線リスク認知教育の充実が求められる(岩本ら2019)との指摘がある。

文部科学省は2002年度から継続的に原子力・エネルギー教育支援事業交付金事業を行い、学校教育における放射線や原子力等の学習活動を支援してきた。この事業を利用した都道府県数は2022年度には25(全国の都道府県の53%)であり、原子力・エネルギー教育の実践状況を推定する指標となろう。

これらから、放射線に関する科学的な正しい理解が広

く一般に求められ、学校教育での放射線教育やエネルギー環境教育の充実が必要とされていると推察される。また、放射線や原子力発電を正しく理解する学習は科学概念や技術の難易度は高いものの、エネルギー問題への考察を深める上で避けては通れない項目である。ただし、原子力発電の利用は国民の意見にも多様性があるため、教育における取り扱いにおいては中立性の確保等に配慮する必要がある。

地層処分事業は、原子力発電所から出る使用済核燃料を再処理する過程で生み出される高レベル放射性廃棄物を地下深くの地層に処分する事業である。国際的に高レベル放射性廃棄物の処分方法は、自国内での地層処分（地下深くに長期保管する方法）が適切というのが、国際的に共通した考え方となっている。我が国においても2000年に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」が定められた。地層処分事業は高レベル放射性廃棄物を数千年規模で長期保管し、人々の生活環境や自然環境の安全確保のために選定された方法である。現在処分地選定を進めている段階であるが、地域住民による合意と、国民の理解が不可欠である。そのためには、放射線や原子力発電と併せて高レベル放射性廃棄物やその地層処分についての学校教育における取り扱いと一般市民への知識普及が望まれている。

小・中学校の現行学習指導要領において放射線は、中学2年理科「静電気と電流（電子、放射線を含む）」、中学3年理科「エネルギーとエネルギー資源（放射線を含む）」の単元で扱われる。原子力発電は、中学3年理科「エネルギーとエネルギー資源（放射線を含む）」の単元、中学2年技術・家庭科技術分野（以下、技術分野）「エネルギー変換の技術」の単元で扱われる。エネルギー問題は、中学校社会科地理的分野で扱われる。エネルギー環境教育は教科横断的であり、小・中学校の「総合的な学習の時間」での扱いが可能である。

本研究では、学校教育での扱いが望まれる地層処分事業を取り上げ、その中心的テーマとして放射線を扱う「放射線教育を軸としたエネルギー環境教育」に着目して考察を進めていきたい。

2. 放射線教育の現状と課題

学習指導要領解説では、中学校技術分野「C.エネルギー変換の技術」の内容は「自然界にあるエネルギー源から電気エネルギーや力学的エネルギーへの変換方法、電気エネルギーの供給と光、熱、動力、信号等への変換方法、力学的エネルギーの多様な運動の形態への変換と伝達方法等の基礎的なエネルギー変換の技術の仕組みと、それを

支える共通部品や製品規格等の役割について理解することができるようにする。」（文部科学省, 2018）と示されている。発電施設や発電方式として「原子力」が取り扱われるが、「放射線教育」とするには、放射線についての内容が不十分である。また、「技術科教員は、エネルギー変換の技術として各種発電方法の特徴や送電技術を教えており、原子力を含む電力システムの科学的な知識はある程度持っているが、法制度や社会情勢といった社会的な知識は乏しいのが現状」（藤本 2016）との指摘がある。この單元には従来から組み立てキットとして用意された製作教材が多く、これを用いて制作を伴う形での学習指導が普及している。さらに問題発見・課題設定に始まる探究的な学習の実施も求められており、教科書掲載の内容を深めて「放射線」を学習する時間の捻出は容易ではないと推察できる。

一方で中学校理科では、放射線教育の実施が可能な程度の科学的 content が取り扱われている。三宅・村松・三崎（2013）は、NPO 法人放射線教育セミナー（2008）の全国の中学校理科教員を対象としたアンケート調査の結果を引用し、「放射線教育を実践している中学校は全国の半数以下で、実験実習を伴う実践は8%程度である」ことを報告した。また、「放射線教育は社会科が中心であり、理科として科学的な見方・考え方はこれまでできてこなかった可能性」（三宅ら 2013）を指摘した。

保坂・石橋（2014）は、秋田県中部の中学校理科教員へのアンケート調査より、「60%を超える中学校理科教員が、放射線の指導に関して、『自分自身の教材研究の不足』、『知識の不足』を問題点と考えていることから、理科教員の放射線に関する指導力や知識・理解を公的な研修等によって高めていくことが必要」であることを指摘した。

3. 先行研究

高レベル放射性廃棄物及びその地層処분을教材とした教育実践の先行研究では、次の成果と課題が示された。なお、高等学校対象の高レベル放射性廃棄物及びその地層処분을教材とした教育実践は、管見の限り報告されていない。

3.1. 小学校における授業実践

田原・安藤（2023）は小学校社会科4年の「ごみ」と「電気」の単元において、高レベル放射性廃棄物を解決課題と位置づけた探究型の授業実践を行った。児童が科学的な根拠をもとに思考し、解決困難な社会的課題に社会の形成者として責任を持って考えていく姿勢を養うことができたことを指摘した。一方で、小学4年としては取り扱う

内容が難解であること、「地層処分推進派の資料のみで授業を行い反対派の資料を取り上げなかったために、原子力推進へ誘導している」（田原ら 2023）との意見があったことが示された^{注1}

3.2. 中学校における授業実践

栢野・宮下・野崎・大山・園山・高橋・森（2023）は中学校理科2年「静電気と電流」の単元で放射線・放射性物質・放射能について学習し、理科3年「エネルギーとエネルギー資源」の単元で高レベル放射性廃棄物の地層処分について学習する学年間を横断した授業を実践した。自然環境の保全と科学技術の在り方について考察することのできた生徒が120名中16名存在し、単元の目標に迫る授業実践となったが、地層処分地の選定等に関する意思決定の難しさの視点と、原子力発電以外に再生可能エネルギーも選択肢として存在するという視点の両面を意識できるような授業計画の構成が課題として残されたと述べた。

青木・内藤・瀧川（2023）は、自らの授業実践より中学校理科2年、3年のみでの放射線教育は難しいと分析し、中学校1年生から3年間で段階的に理解する授業計画を提案した。

教材借用型の授業やゲストティーチャー派遣型の授業実践により、地層処分事業についての内容も盛り込んで学習させることで、生徒の理解や興味関心を高めることができたことを示した。一方で、社会科や総合的な学習の時間との連携や探究的な学習とすることが今後の課題であると述べた。

三宅・村松・三崎（2013）は、地層処分を取り扱った放射線教育を実践し、ジグソー法により生徒が会話を多く交わして協同で課題解決を行う授業形態が放射線に対する理解を促進することを示した。

3.3. 大学における授業実践

芦沢・小池・大矢（2020）は、地層処分する予定の高レベル放射性廃棄物が保管されている原子燃料サイクル施設や、地層処分についての研究を進めている幌延深地層研究センター等の見学を行った参加者（大学生、大学院生）がブレインライティング法による意見交換を行った結果を分析したところ、実際に施設見学を行うことで地層処分についての理解が深まることを示した。

4. 研究の目的

先行研究の概要と課題は以下のように整理できる。

- ・学校段階に応じて放射線や地層処分事業に対する学習

内容の難易度を検討する必要があること。

- ・中学校段階では社会、理科、技術の各教科でエネルギー環境教育に関連する取り扱いがあるが、総合的に学習することで教科横断的な視点で物事を捉えることの重要性を認識させることができること。
- ・実験・観察・施設見学等の体験型学習が生徒の興味関心を高めるのに有効であること。
- ・十分に意見交換する時間を確保することで理解が促進され考えを深めることができること。
- ・地層処分事業を取り上げた学習活動は放射線やエネルギー環境教育にとって有効な教材であること。
- ・地層処分事業は教材としては理科学的な側面、技術的な側面、社会的な側面があり、総合的な学習として成果が期待できること。

さて、地層処分事業においては、我が国の進捗状況を客観的に判断し評価する上で、同じく地層処分事業に取り組んでいる諸外国との比較は有効であると考えられる。しかし、先行研究ではこの視点での教育実践やその成果は報告されていない。また、地層処分事業を取り扱った放射線やエネルギー環境教育を行うことで生徒の興味関心が高まったことは示されているが、具体的にどのような学びがなされ、どのように認識が変容したのかについては示されていない。

本研究では、高校生の部活動でのプロジェクト型学習（PBL）において諸外国との比較を行う活動を取り入れた地層処分事業を取り扱う教育実践を行い、学習活動によってどのような学びがなされ、どのように認識が変容したのかを質的に分析し明らかにしたい。即ち、本研究の目的は、諸外国との比較を行う活動を取り入れた地層処分事業を取り扱う教育実践により、どのような学びがなされ、どのように認識が変容したのかを質的に明らかにすることである。

5. 教育実践

本研究では、諸外国との比較を行う活動を取り入れた地層処分事業を取り扱い、施設見学や体験的活動を主軸とするプロジェクト型学習活動プログラム（PBL）を、高校生の部活動での実践を想定して開発・実践した。

本プログラムでは、施設見学や講師招聘、Webサイトによるアンケート・意見交流等を企画^{注2}した。開発した学習活動プログラムによる教育実践の概要を表1に示した。

表中の下線を引いた活動は、地層処分及びその前段階にあたる高レベル放射性廃棄物中間貯蔵施設について我が国と諸外国との比較を取り入れた内容で実施した学習

表1 学習活動プログラムの概要

実施時期	活動の内容（下線は諸外国との比較を取り入れた活動）	備考
令和5年 4月～8月	・ <u>地層処分についての文献による勉強会</u> 毎週木曜日放課後 16:30～17:30 に実施 (資料、Web 学習、書籍学習)	(参加人数) 科学部地層処分 班 8 名
5月26日	・関西電力原子力発電所オンライン見学会 オープニング「日本のエネルギー事情」20分（関西電力社員が学校にて説明） 原子力発電所オンライン見学 40分（発電所からオンライン中継） 質疑応答 30分（関西電力社員が学校にて対応）	科学部 26 名, 顧問 2 名, 研究協力者 1 名
7月6日	・ <u>専門家講義「高レベル放射性廃棄物の地層処分」</u> (NUMO 職員が学校にて説明) ・ <u>青森県六ヶ所村「高レベル放射性廃棄物中間貯蔵施設」</u> 見学、及び 専門家講義、地域住民との交流会	科学部 10 名 科学部 8 名, 顧 問 2 名, 研究協 力者 1 名
8月6日	(東京) 事前学習 (プレアンケート) 60 分 (東京) <u>専門家講義「地層処分事業の現状と課題」</u> 120 分	
8月7日	(青森) 六ヶ所村高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター見学 180 分 (青森) <u>施設受け入れに関わってきた地域団体「六ヶ所村読書愛好会」との交流 会</u> 150 分	
8月8日	(青森) 事後学習 (アンケート調査のためのブレインストーミング、ポストア ンケート) 150 分	
9月～12月	・Web コンテンツ制作による情報発信、地層処分や放射線、エネルギー利用等に 関するアンケート調査を Web サイトにて実施(アンケート主対象は高校生)	科学部 8 名
12月	・活動についての振り返りインタビュー	科学部 8 名
11月～1月	・学習の成果をパンフレットにまとめて情報発信	科学部 8 名
2月	・学習成果を高校生対象の発表会にて口頭発表	

活動である。活動に参加したのは科学部の中で地層処分についての学習活動を継続的に実施することを希望した生徒 8 名である。

エネルギー関連の書籍をはじめ、NUMO や電力会社、資源エネルギー庁のサイト等で公開されている地層処分に関連した情報を活用しての自主的な勉強会を定期開催し、疑問点等を顧問や日本原子力文化財団担当者に質問する形で学習が行われた。この時点で、生徒は日本の地層処分事業の進展が海外の諸外国と比較して芳しくないことを知り、その原因を探るため、我が国や諸外国の地層処分に関連する公共機関の Web サイト閲覧等による資料収集を行っていた。

関西電力原子力発電所オンライン見学会では、関西電力の職員の講義で原子力発電の仕組みや安全性、稼働状況、エネルギーミックスの歴史と現状、将来構想が取り上げられた。次に、通常見学できない原子力発電所の構内を現地職員が撮影し遠隔視聴するバーチャル見学が行われ、活発な質疑応答があった。

専門家講義「高レベル放射性廃棄物の地層処分」では、NUMO 職員を講師に地層処分事業に関する資料を用いての講義と活発な質疑応答が行われた。用意された資料は次のものである。

- ・対話型全国説明会『説明資料』(含諸外国との比較)
- ・本講座向け神恵内資料
- ・対話型全国説明会『説明参考資料』(含諸外国との比較)
- ・よくいただくご質問 Q&A

講義では、地層処分事業の取り扱われ方や組織、進捗について、諸外国との比較が資料を用いて行われた。特に、中間貯蔵施設受け入れのための文献調査が実施されている北海道の神恵内村及び寿都町において NUMO が行っている地域住民との対話活動については、どこでどんな対話をしていてどんな反応なのか等のリアルな情報が提供された。また、全国各地で実施されてきた対話型全国説明会についても、参加者の状況や質疑応答の内容等についてリアルな情報が提供された。

2泊3日で行われた『青森県六ヶ所村「高レベル放射

性廃棄物中間貯蔵施設」見学、専門家講義、地域住民との交流会』では、専門家講義にNUMO 技術部の方を講師に高レベル放射性廃棄物の中間貯蔵、地層処分についての技術的な講義と活発な質疑応答が行われた。特に、日本のような地震が多く地殻変動が活発な国で安全に中間貯蔵・地層処分できるのかについて科学的な検討結果が説明された。

中間貯蔵施設見学では、PR 館における展示モデルを使った説明と実際の施設の見学が行われた。展示モデルを使った説明では、地層処分の一連の作業工程の紹介と併せて、地層処分について諸外国と比較するパネルを用いて、我が国の地層処分の現状や特徴について説明が行われた。貯蔵場所の拡張工事や施設への入館退館手続き等の体験、地震や津波への対策状況、施設ではたらく人々のための施設や関連企業の施設についても見学が行われた。

施設受け入れに関わってきた地域団体「六ヶ所村読書愛好会」との交流会は、六ヶ所村「泊地区ふれあいセンター」を会場に実施された。これには、六ヶ所村に「高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター」を受け入れるかどうかの

議論が始まり、住民投票が行われた当時の村の様子、受け入れが決定して工事が始まり、町が発展してきた経過に継続的に関わり見つめてきた団体「六ヶ所村読書愛好会」の方々に加えて、日本原燃(株)の職員、環境科学技術研究所の所員が参加され、高校生との交流が行われた。

高校生からは事前に質問事項が提示されており、これに回答する形での進行が計画されていた。

当日は、これに加えて読書愛好会が制作されたプレゼンテーションの視聴をした。これには「高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター」の受け入れ前後の貴重な写真や映像が含まれ、賛成派・反対派で二分した当時の村の方々の考えや行動がリアリティーをもって説明された。事前に提示した質問に関連した追加の質疑応答も行われ、六ヶ所村市民との深い交流が行われた。海外の諸外国と比較する内容の質問として、「スウェーデン等の諸外国には高レベル放射性廃棄物の受け容れに対する反対意見はさほど見られないのに対して、我が国では反対意見が多いように思われます。中間貯蔵施設受け容れに対する反対意見には具体的にどんなものがあつたのでしょうか？また、我が国で反対意見が多いのは何故だと思われますか？」

表2 施設見学会事前・事後アンケートの内容

<p>[事前・事後共通のアンケート項目]</p> <ol style="list-style-type: none"> このプログラムに期待することは何ですか？ 日本で地層処分を進めていくために、改善する必要があると思うのはどんなことですか？記述してください。 次の用語の中で、「友人に説明できる」と思うものを全て選んでチェックしてください。 高レベル放射性廃棄物、低レベル放射性廃棄物、核燃料再処理、原子力発電、中間貯蔵施設、ベントナイト、ガラス固化体、再処理、ボーリング試験、活断層、地層処分場を決めるまでの流れ、地層処分、オーバーパック、福島原子力発電所事故 原子力発電に対してどのようなイメージをもっていますか？記述してください。 青森県六ヶ所村の高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターに対してどのようなイメージをもっていますか？記述してください。 これまで日本が原子力発電を行った結果、高レベル放射性廃棄物が生み出されています。この最終的な処分の目処が立っていないことをいつ知りましたか？ 青森県六ヶ所村に高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターができたことに対して、地元の人々にはどんなメリット(よい点)があつたと思いますか？記述してください。 青森県六ヶ所村に高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターができたことに対して、地元の人々はどんなデメリット(悪い点)があつたと思いますか？記述してください。 高レベル放射性廃棄物の最終的な処分の方法として「地層処分」を行うことが決まっています。これは妥当だと思いますか。また、それは何故ですか。記述してください。
<p>[事後のみのアンケート項目]</p> <ol style="list-style-type: none"> このプログラムに参加してよかったと思いますか？ このプログラムに参加してどのような点がよかったですか？記述してください。 この学習プログラムに参加して、地層処分についての理解が深まりましたか？

等が行われ、参加者から丁寧な回答が寄せられた。

事前学習、事後学習として、施設見学会の始めと終わりにアンケート調査を実施し事前事後の比較を行った。アンケート項目は事前事後で共通のものに加え、事後のみの項目も用意した(表2)。なお、アンケートは記名式とし、被験者ごとに事前・事後比較ができるようにした。

施設見学会には研究者も参加し、活動状況の観察・記録を行った。記録にはビデオカメラ、ボイスレコーダー、カメラを用いたが撮影不可の場所もあり筆記等を併用した。

活動終盤にあたる12月1日に対面により、活動についての振り返りインタビューを実施した。インタビュー対象者は活動に継続的に参加した8名であるが、6名を集団インタビュー(一堂に会して質問項目ごとに順に回答していく方式)、残りの2名を個別インタビュー(個別に質問項目ごとに回答していく方式)として実施した。また、インタビューガイド(質問する内容と質問順を記載した用紙)を予め回答者に提示して、質問項目ごとに回答者が順に回答していくが深掘りしたいポイントがあれば質問者が柔軟に質問を追加する形式(半構造化インタビュー)にて実施した。インタビュー項目は表3のとおりである。

表3 活動についての振り返りインタビューの質問項目

1. 地層処分の活動に取り組んでの感想を聞かせてください。
2. 見学に行くことは地層処分の理解を深めるのに役立ちましたか?
3. 現地の方との交流会はどうでしたか?
4. 日本で地層処分事業がうまく進展していないことについてどう思いますか。
5. スウェーデンなどの諸外国の地層処分事業と日本を比較して何を考えましたか。
6. 放射線についての見方・考え方はどう変わりましたか?
7. 高校で社会的に未解決であったり意見が分かれたりする問題を取り上げて学ぶことについて、どう思いますか。

6. 活動参加者の学びと変容の分析

被験者の数が8名であるため、分析は質的データ分析の手法を選択した。質的データ分析にはソフトウェアMAXQDA^{注釈3}を用い、複数の研究者による分析結果を照合して客観性を担保した。研究者の主観を排除するため主として分析には、施設見学会事前事後アンケート、及び活動についての振り返りインタビューの内容を用い、妥

当性の検討材料として、活動での状況記録等を補助的に利用した。

6.1. 施設見学会事前事後アンケートの回答分析

施設見学会の事前アンケートと事後アンケートの結果を比較分析して活動参加者の学びと変容を分析した。

アンケート項目3.『次の用語の中で、「友人に説明できる」と思うものを全て選んでチェックしてください。』に対する回答数を比較した(表4)。

事後での用語数は事前の倍以上に増加しており、施設

表4 「友人に説明できる」と思う用語数 (n=8)

項目	事前	事後
回答数平均(回答数/総数)	4.4/14	8.9/14
割合(%) (回答数/全項目)	31%	64%

見学会での学習で友人に説明できる程度にまで各項目の知識が定着し、理解が深まったことが確認できた。どの知識の理解が深まったのかを探るため、事前事後それぞれに、アンケート3で各用語にチェックした割合を調査した(表5)。出現割合は、各用語に何人が回答したかを全員数で割った割合とした。例えば4人が回答した場合は $4/8 = 50\%$ となる。表5では、事後に増加した項目に下線(増加は 、倍増は)を引いた。とくに地層処分や中間貯蔵施設に関連の深い項目で出現数が増加しており、ガラス固化体、地層処分、高レベル放射性廃棄物、低レベル放射性廃棄物の4項目については参加者全員が友人に

表5 事前事後アンケート3.での用語出現割合 (n=8)

項目	事前	事後
<u>ガラス固化体</u>	88%	100%
活断層	88%	75%
<u>地層処分</u>	75%	100%
<u>原子力発電</u>	75%	88%
ボーリング試験	50%	50%
<u>地層処分場を決めるまでの流れ</u>	38%	75%
福島原子力発電所事故	38%	50%
<u>高レベル放射性廃棄物</u>	25%	100%
<u>中間貯蔵施設</u>	25%	88%
<u>核燃料再処理</u>	25%	75%
<u>低レベル放射性廃棄物</u>	13%	100%
<u>オーバーパック</u>	13%	88%
<u>再処理</u>	0%	88%
<u>ベントナイト</u>	0%	50%

説明できる程度まで理解できたことが示された。これらの項目は自主的な勉強会でも取り上げてきた項目であり、施設見学や対面での質疑応答などを含む体験型の学習活動によって深い理解が促されたことが示唆されたと考えられる。

アンケート項目 5. 「青森県六ヶ所村の高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターに対してどのようなイメージをもっていますか？ 記述してください。」に対する回答を事前事後で比較した(表 6)。一人あたりの出現用語数は、事前 1.5 に対して事後は 2.8 であり、高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターに対する複数の視点からの豊かなイメージを獲得したことが認められた。また、事後には事前には出現しなかった、セキュリティ、大規模、技術・最先端などの用語が用いられており、文献調査等では得られなかった情報を施設見学等によって獲得し、イメージを豊かにしたことが認められた。

表 6 事前事後アンケート 5.での用語回数 (n=8)

事前		事後	
項目	回数	項目	回数
安全に保管	2	セキュリティ	3
一時的に保管	2	広大・大規模	3
必要	1	安全	3
重要	1	技術・最先端	3
風評被害	1	共存・協力	2
嫌	1	必要	2
広い	1	重要	1

表 7 事前事後アンケート 7.での出現コード (n=8)

事前 () は出現数	事後 () は出現数
補助金が貰えた (6)	村で安定した収入のある勤め先ができた (5)
働いている人が移住 (1)	補助金で村に高校ができた (6)
知名度の向上 (1)	職が増えて村が発展 (5)
	資金援助 (1)
	村が発展し豊かになった (6)
	高校に通わせられるようになった (2)

アンケート項目 7. 「青森県六ヶ所村に高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターができたことに対して、地元の人々にはどんなメリット (よい点) があつたと思いますか？ 記述してください。」の記述内容を事前事後で比較した (表 7)。

また、アンケート項目 8. 「青森県六ヶ所村に高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターができたことに対して、地元の人々はどんなデメリット (悪い点) があつたと思いますか？ 記述してください。」の記述内容を事前事後で比較した (表 8)。

一人あたりの出現コード数は、よい点については事前 1.0、事後 3.1、わるい点については事前 1.1、事後 1.4 であった。データ数が少ないので確定的ではないものの、事後での出現コード数の増加から、文献調査等では得られなかった情報を施設見学等によって獲得し、複数の視点から捉えられるようになった可能性が考察できた。

表 8 事前事後アンケート 8.での出現コード (n=8)

事前 (コード, 出現数)	事後 (コード, 出現数)
風評被害 (5)	風評被害 (6)
イメージの悪化 (1)	イメージの悪化 (1)
住民どうしの対立 (2)	住民どうしの対立 (2)
差別 (1)	差別 (2)

アンケート項目 10. 「このプログラムに参加してよかつたと思いますか？」では、5 段階の選択肢で回答を求めたところ、全員が「5 (とてもよかつた)」を選択していた。アンケート項目 12. 「この学習プログラムに参加して、地層処分についての理解が深まりましたか？」では、5 段階の選択肢で回答を求めたところ、全員が「5 (とてもよかつた)」を選択していた。両回答から参加者の意識としては、開発したプロジェクト型学習活動プログラム (PBL) に満足し、教育効果があると認められたと考察できた。

アンケート項目 11. 「このプログラムに参加してどのような点がよかつたですか？ 記述してください。」の記述内容分析では、コードの出現は表 9 のようになった。

表 9 事前事後アンケート 11.での出現コード (n=8)

コード	出現数
実際に誘致を行った世代の人たちとの交流	6
施設を見学して仕組み等をより深く学べた	5
地層処分場の設計手法をフローチャートから何を考えて設計したかがわかつた	1
PR センターの実物大模型での説明	1
学校で勉強するだけでは学べない現地の雰囲気を感じられた	1

参加者の75%が地域団体「六ヶ所村読書愛好会」との交流を、63%が施設見学を挙げた。参加者Aの記述内容「地層処分の実際の現場を見学することでより地層処分の理解が深まるとともに、地元の人のお話による当時の状況や思いを聞いたこと。」に代表されるように、直接お会いして意見交換したり、実物を見て体験したりすることで、書面を読んだり写真や動画を視聴したりすることだけでは伝わらない「思い」や「雰囲気」を感じ取ったことがよかったとの評価が読み取れた。中等教育段階にある高校生がもつ言語能力や二次元の映像から読み取れる情報は限られており、実際に対面で心を通わせながら語り合ったときに伝わるものや本物を目の前にしながら体験的に学ぶときに伝わるものは、言語にできないものも含めてそのこと背景や状況を含めてより深く、より正確に感じ学び取ることができたと考察できた。即ち、開発したプログラムの設計である「体験型」への評価が高かったことが認められた。

6.2. 活動についての振り返りインタビューの回答分析

活動終盤にあたる12月1日に対面により、活動についての振り返りインタビューの結果を比較分析して活動参加者の学びと変容を分析した。

分析では、まず集団インタビューを行った6名についてコーディングを行い、その後に単独インタビューを行った2名の内容を追加し、新たなコードが抽出されるかどうかを確認した。その結果、インタビュー項目1～3、5～7については新たなコードは抽出されず理論的飽和が確認できた。一方で、インタビュー項目4については新たなコードが追加され理論的飽和に至っていなかった。

インタビュー項目1、「地層処分の活動に取り組んでの感想を聞かせてください。」では、つぎのようなコードが抽出された。代表的なコメントを併記して表10に示した。

感想では、参加者全員が「実際に見て交流することでよく理解できた」ことに触れており、体験型の学習活動が効果的であったことが認められた。その他の感想では参加者ごとに多様な視点からのコメントを述べており、参加者がそれぞれに多様な視点での気づきを得たことが認められた。これは、情報量の多い体験型の学習活動であったが故に、その中から何を考え感じとったかに多様性が表れたものと考察できた。コード[反対している人の意見も聞きたかった]の意見については、教育活動としての中立

性確保の観点から本プログラムの改善点であると認識できた。専門家講義「高レベル放射性廃棄物の地層処分」にてNUMO職員から地層処分の賛成派と反対派の意見紹介を行ったが、生徒は「賛成派の人の認識する反対派の意見」として捉えたと考えられる。改善策として「地層処分受け容れに反対している人の意見をインターネット等で調べることを勧める」ことや、「地層処分受け容れに反対する団体との交流会を活動内容に取り入れる」等の対応が考えられた。

表10 インタビュー項目1. の出現コード (n=8)

コード	コメント例
実際に見て交流することよく理解できた (8)	<ul style="list-style-type: none"> ・今まで動画とかホームページで見ただけだったけれど、実際に見てその大きさとか規模の大きさがわかったし、写真撮ってはいけないゾーンみたいな所に行ってみると見られたのも貴重な体験やと思います。 ・自分が思っていたのと違った意見っていうか、処分場ができて町が盛り上がるじゃないけど発展するみたいな話、知ろうと思わないと知れないし、ネットで偏見とか自分が思っているだけの意見とかではわからへんから、そういうのが知れてよかった… ・現地の方と交流して生の声を聞いて、その当時の状況が結構リアルに想像できたっていうのはありました。
反対している人の意見も聞きたかった (1)	地層処分に反対していたりする人の意見っていうのは、今回の見学では聞けなかったのも、もしそこを聞いたらその両方の意見を知ることができるので、さらに理解も深まるのかなというふうに思いました。
地域との共存が実感できた (1)	すごく広いし、人がいっぱいいてなんか地域と密着しているなっていうのがわかったのでよかったと思います。
現地の人が明るかった (1)	・思っていたよりその明るいというか受け入れることに対してそのポジティブなことを教えていただいて…
規模の大きさと関わる人の多さ (1)	・土地の規模っていうか広さもそうだし従業員の人もめちゃくちゃ多かったし。将来そこで働く人とかが身近にも出てきそうだな…
知名度の低さ (1)	・それなのにこんなに広まってないのはやばいなって思いました。

表 11 インタビュー項目 4. の出現コード (n=8)

コード	出現数
地層処分はうまく進展していない	4
自分ごととして考える	4
地層処分の知名度をあげることが大切	3
否定的な人は知らないのが原因	3
他の国では地層処分の知名度が高い	3
その地域の人が風評被害を受けるのはだめ	3
国民の理解を丁寧に得ていくのがよい	2
地層処分は日本なりにうまく進んでいる	1
電気の大切さから地層処分の知識を得てもらう流れ	1

インタビュー項目 4. 「日本で地層処分事業がうまく進展していないことについてどう思いますか。」の回答を分析したところ、表 11 のようなコードが抽出された。

地層処分実現に向けたフェーズとしては、最初の文献調査段階であることは事実であるが、それを「うまく進展していない」と捉えた活動参加者と、海外との比較に基づき、日本の国の進め方として捉えたときには「日本なりにうまく進展している」と捉えた活動参加者が見られた。

また、他の国と比較して日本では「知名度が低い」ことや、「自分ごととして捉える国民が少ない」ことを指摘し、日本では「国民の理解を丁寧に得ていくのがよい」との考えを持つに至っていた。

これらの意見は、海外の国々との比較検討によって気付くことのできるものであると推察できる。即ち、海外の国々と比較する学習活動は地層処分に関する学びを広げるのに効果的であったと考察できた。

インタビュー項目 5. 「スウェーデンなどの諸外国の地層処分事業と日本を比較して何を考えましたか。」での回答を分析したところ、表 12 のようなコードが抽出された。

表 12 インタビュー項目 5. の出現コード (n=8)

コード () は出現数	コメント例
自分ごととして考えるか (4)	<ul style="list-style-type: none"> ・地層処分が進んでいる国は、社会と自分との関係が強いからこそ、地層処分のことも自分ごととしてちゃんと考えるし、どうすべきだみたいな意見をたぶん一人一人が持っている… ・日本では、地層処分とか原子力発電とか自分ごととして考えてない… ・その処分について自分事として理解している人が日本よりは多分多い。
日本の状況に応じたやり方 (3)	<ul style="list-style-type: none"> ・地層処分が進んでいる北欧とか高福祉って税金高いけど、その分返ってくるみたいな信頼があると思うんですけど。そこが違いやと思うんです。国の情勢とか違うから、その進んでいるところを参考についていうか、真似とかじゃなくて、参考にして進めていったらいいんじゃないかって思うんです。 ・大事にするところは大事にして、情報広めるのは他の国を見習ってみたいな感じで…
なんとなく怖いから反対 (3)	<ul style="list-style-type: none"> ・なんとなく放射線出すし怖いし、やめとこ。なんかあんまりやらん方がいいかなみたいに思ったりしている人が多い。
社会への無関心 (2)	<ul style="list-style-type: none"> ・やっぱり社会と自分との関係が弱いと、多分一番引き起こされる弊害が無関心で、地層処分に関しても知らない人が多いっていうのは、そういう社会に対する無関心から生まれているんじゃないかな。
社会と個人の関係 (2)	<ul style="list-style-type: none"> ・スウェーデンとかの方が日本よりも地層処分事業が進展しているということなんですけど、ここに僕は社会と自分の関係みたいなものの差が関係しているんじゃないかなというふうに思いました。
地域の人とのコミュニケーションを大事に (2)	<ul style="list-style-type: none"> ・他の国と違って日本ではつながりを大事にしているというか、地域の人とのコミュニケーションを大事にしていたり、重きを置いていたりすることがあるので。
国民の国への信頼 (1)	<ul style="list-style-type: none"> ・もしかしたら政府とかが結構情報とか積極的に開示して、政府への信頼度が高かったりもするんじゃないですかね。
福島原発事故の国民バイアス (1)	<ul style="list-style-type: none"> ・地層処分事業がうまく進展してないことについて、あの、やっぱり地震の福島、福島原発のことがやっぱり国民バイアスとして働いちゃっているから危ないっていうイメージの方が先行しすぎて、なんかなって言うのはずっと思っています。

抽出された8つのコードのうち、「自分ごととして考えるか」「日本の状況に応じたやり方」「社会への無関心」「社会と個人の関係」「地域の人とのコミュニケーションを大事に」「国民の国への信頼」「福島原発事故の国民バイアス」の7つについては、諸外国との比較によって生み出される我が国の地層処分事業に関わる特質であると考えられた。

また、活動参加者Bの述べた「地層処分が進んでいる国は、社会と自分との関係が強いからこそ、地層処分のことも自分ごととしてちゃんと考えるし、どうすべきだみたいな意見をたぶん一人一人が持っている」とのコメントが示すように、各コードを相互に関連付けて考察している様子を見て取ることができた。

このことから、諸外国と比較する学習活動によって我が国の地層処分事業が抱えている状況を客観的に捉え、多様な視点から捉えることができたことと考察できた。なお、このインタビュー項目については理論的に飽和しておらず、さらに多様な気づきがなされる可能性がある。

インタビュー項目6.「放射線についての見方・考え方はどう変わりましたか?」での回答を分析したところ、表13のようなコードが抽出された。

表13 インタビュー項目6.の出現コード (n=8)

コード () は出現数
日常にも存在していてそんなに危なくないものと思っていたが、適切に処理すれば大丈夫と思えるようになった (4)
危ないよくないものから、ちゃんと処理して取り扱ったら大丈夫なものへ (3)
理解は深まったけど放射線そのものへの見方や考え方は変わっていない (1)

活動参加者が今回の学習プログラムを学ぶ前にもっていた見方・考え方には、「危険でよくないもの」「日常に存在していてそんなに危なくないもの」「量に応じて危険性が増し、正しく役立てれば便利なもの」の3通りがあった。しかし学んだ後では、全員が「危険性はあるものの適切に処理すれば大丈夫なもの」であるという見方・考え方もつに至ったことが伺えた。活動参加者Cが「原子力発電は日本でできる発電として多分やっていかないとあかんことやなっていう風に思うようになったし、放射線についても危ないけど頑張って頑張って、ちゃんと処理して、危なくないようにして取り扱うなら大丈夫かなっていう風に思うように。」と発現したように、放射線に対す

る深い理解が、それを前提にして原子力発電の利用の可否について科学的な思考を可能にした様子が伺えた。これは、「放射線を軸にしたエネルギー環境教育」という体験型学習プログラムがねらった放射線への理解を活動参加者が獲得したことを示している可能性があることと考察できた。

7. おわりに

本研究では、放射線教育を軸としたエネルギー環境教育の試みとして、地層処分事業を諸外国との比較を取り入れて扱う体験型学習プログラムを開発し、高校生を対象に教育実践を行った。そして、この学習活動から高校生は何を学びどのように変容したか質的に分析した。その結果、本事例においては、次の2点が認められた。

- (1) 体験することで地層処分事業受け入れについての複雑な状況を理解し、地層処分事業を進めるには何を考えるべきか考察を深められたこと。
- (2) 地層処分事業に取り組む諸外国との比較を取り入れたことで、我が国の特質に対する気づきが促進されたことが示され、海外事例との比較を行う国際教育が有効であること。

ただし、本研究の対象としたのは一実践事例のみで、被験者の数も限定的であったため、分析には被験者の集団としての特徴が影響している可能性がある。本研究結果を一般化するには、さらなる実践事例研究が待たれる。

また、開発した体験型学習プログラムは高校生を対象としたものであった。中学生を対象とした実践のためには、学習段階に併せて放射線や原子力発電、地層処分等のエネルギー・環境に対する扱いを工夫する必要があり、このような教材の開発を進めていきたい。

注釈

1 地層処分は日本の法律で定められたものである。既に高レベル放射性廃棄物は地上で保管されているが、数千年の貯蔵には適さない状態である。立法機関での法改正をしない限りは地層処分しないという選択肢はない。コンプライアンスが求められる公教育の場で法改正を前提とした議論を授業で取り扱うことは妥当でないと考えられる。原子力発電の稼働反対と同様に法の範囲内で選択の余地のある議論と混同していると考えられる意見である。また、原子力発電を今後一切稼働させなかったとしても、これまでの原子力発電所の稼働によって生み出された高レベル放射性廃棄物は蓄積されて中間貯蔵されている状態であり、原子力発電の推進と地層処分とは無関係であるといえる。しかし、実際に学校で授業実践

を行う際に、このような意見が実在することが示された。地層処分を取り扱う場合には、原子力推進に偏った教育であると認識されないようにする工夫が望まれる。

2 日本原子力文化財団が取り扱う NUMO の「地層処分事業推進のための学習の機会提供事業」の支援による。この事業は全国の国民に理解を得るため、地層処分に係る学習を希望する団体等を対象に地層処分に関する勉強会や講演会、関連施設見学会等の自主的な学習活動を支援するものである。

3 (株) VERBI Software が開発した定性データ分析用ソフトウェア (<https://www.maxqda.com/jp>)

謝辞

本研究は、日本原子力文化財団が取り扱う NUMO の「地層処分事業推進のための学習の機会提供事業」の支援を受けて実施されたものである。また、本研究の遂行にあたり御協力を賜った日本原子力文化財団の篠原由堯氏、川俣陽平氏をはじめ事務局の方々、英文校正をいただいた Editage (www.editage.jp) に厚く御礼申し上げます。

引用文献

青木久美子, 内藤理恵, 瀧淵岳(2023). 「中学校理科における放射線教育：放射線について生涯にわたり考える基礎作りとして」『エネルギー環境教育研究』17(2), 87-94.

浅野智恵美(2018). 「高レベル放射性廃棄物の「地層処分事業に関する学習」から考える」『日本原子力学会誌 ATOMOS』60(7), 419-423.

芦沢京祐, 小池彩華, 大矢恭久(2020). 「施設見学の実体験を通じた地層処分事業の学習」『日本科学教育学会研究会研究報告』35(2), 15-18.

藤本登(2016). 「教員養成と教員研修の現状と課題—中学校技術分野を中心として—」『日本原子力学会 初等中等教育教員の原子力関連教育活動への支援』2016年秋の大会 PL 資料.

八田章光(2023). 「ポストコロナの教育と学会活動」『エネルギー環境教育学研究』17(2), 1-2.

保坂学, 石橋研一(2014). 「中学校理科における放射線についての異なる授業実践の学習効果を比較して：秋田

県央部の中学校 3 年生に対する学習前後のアンケート調査から」『秋田大学教育文化学部教育実践研究紀要』(36) 51-67.

岩本里美, 杉田克生, 金育美, 加藤徹也, 杉田記代子, 吉本一紀(2019). 「中学・高校の放射線教育における現状調査—大学生を対象とした放射線リスク認知調査より—」『千葉大学教育学部研究紀要』67 369-377.

栢野彰秀, 宮下健太, 野崎朝之, 大山朋江, 園山裕之, 高橋里美, 森健一郎(2023). 「学年間を横断した中学校理科における高レベル放射性廃棄物を取り扱う授業」『エネルギー環境教育研究』17(2), 19-29.

三宅峻也, 村松久和, 三崎隆(2013). 「中学校理科における放射線教育と生徒の認識の変容に関する研究」『信州大学教育学部附属教育実践総合センター紀要 教育実践研究』14, 41-50.

文部科学省(2018). 『中学校学習指導要領(平成29年告示)解説 技術・家庭編』開隆堂, 41.

文部科学省(2023). 『原子力・エネルギー教育支援事業交付金事業評価報告書について』(https://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/gensi/1397548.htm) (2023年12月20日)

森山正樹, 齊藤一幸, 高橋美砂子, 大石広大(2016). 「中学校理科「エネルギー資源とその利用」の学習におけるエネルギー環境教育の工夫：放射線の利用から、高レベル放射性廃棄物の地層処分为題材にした学習を通して」『エネルギー環境教育研究』10(2), 55-62.

奥村仁一(2018). 「高等学校での PBL によるエネルギー環境学習の実践的研究：バイオ燃料を教材とした STEM 教育実践のアクションリサーチによる分析から」『エネルギー環境教育研究』13(1), 13-19.

消費者庁(2023). 『風評に関する消費者意識の実態調査』(https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_safety/food_safety/food_safety_portal/radioactive_substance/assets/consumer_safety cms203_230306_01.pdf) (2023年12月20日)

田原弘之, 安藤雅之(2023). 「高レベル放射性廃棄物を解決課題と位置づけた小学校社会科の授業：第4学年を対象とした授業実践の検討」『エネルギー環境教育研究』17(2), 31-38.

An Attempt at Energy and Environmental Education Centered on Radiation: Focusing on Geological Disposal of High-Level Radioactive Waste

Nobuyuki Takahashi ¹, Takenori Sakaguchi ², and Karin Moriguchi³
(¹Okayama University of Science, ²Kyoto Prefectural MOMOYAMA Senior High School)

Although the concepts and science and technology regarding radiation and nuclear power generation are highly difficult, they are indispensable learning materials for deepening the consideration of energy and environmental issues. Geological disposal of high-level radioactive waste is lesser known in Japan than in other countries, and it is desirable that they be taught as part of school education.

In this study, as an attempt at energy and environmental education centered on radiation, we developed an experience-based learning program that dealt with geological disposal of high-level radioactive waste by incorporating comparisons with other countries, and conducted educational practices for high school students. Then, we qualitatively analyzed what the students learned and how they changed from this learning activity.

Consequently, we noted that the experience enabled them to understand the complex situation surrounding the acceptance of geological disposal of high-level radioactive waste and deepen their consideration of what needs to be changed to proceed with such disposal. The inclusion of comparisons with other countries engaged in such disposal promoted awareness of Japan's unique characteristics, and the effectiveness of international education that makes comparisons with overseas cases was recognized.

Keywords: international comparison, radiation education, geological disposal of high-level radioactive, energy and environmental education, experiential learning