

イギリスにおける放射線の取扱いを参考にした理科授業実践

ーリスクとベネフィットの理解に着目してー

本田 洸輔 ・ 龍岡 寛幸 ・ 嶋田 亘佑 ・ 磯崎 哲夫*

1. はじめに

わが国では、平成 20 年改訂の中学校学習指導要領において、放射線の内容が中学校においても約 30 年ぶりに取扱われることとなった。その後、2011 (平成 23) 年に東日本大震災による福島第一原子力発電所事故が起こり、放射線の学習の重要性が一層増した (清原 2014)。

清原 (2015) は、福島第一原子力発電所事故をうけて、放射線について基礎的なことを理解している人が少ないことが大きな問題となったことを指摘し、根拠に基づいた賢明な判断、意思決定ができる態度の育成が重要であることを指摘している。また、熊野 (2012) は、放射線についてリスクとベネフィットの理解を深め、「科学技術」とは何かを学び、より深く思考する力や判断する力、意思決定する力が理科教育に求められていると主張している。つまり、放射線の学習においては、放射線についての基礎的な理解と、放射線に関するリスクとベネフィットを理解することが重視されており、意思決定ができる態度や力の育成が重視されている。

放射線についての基礎的な理解と放射線に関するリスクとベネフィットの理解は、科学そのものの知識 (*knowledge of/in science*) と科学についての知識 (*knowledge about science*) という 2 つの知識の理解をそれぞれ指している。物理・化学・生物・地学の体系的・系統的な知識を科学そのものの知識といい、科学の歴史や科学と社会の関係、科学者の役割や科学研究の意味といった科学の本質 (*nature of science*) などを科学についての知識という (磯崎 2017, 2019)。この定義を踏まえると、放射線についての基礎的な理解は科学そのものの知識の理解であり、放射線に関するリスクとベネフィットの理解は科学についての理解と考えることができ、放射線について意思決定ができる態度の育成においては、放射線に関する科学そのものの知識と科学についての知識を理解することが重要になると考えられる。しかし、被災地として独自の取組みを行ってきた福島県でさえ、放射線、放射性物質、放射能の違いを説明できる中学校 3 年生の割合は 36% であり (福島県教育委員会 2016)、放射線に関する科学そのものの知識の理解に課題が見られる。また、鶴岡 (2012) によると、わが国では、従来「科学についての」知識を含まない理科教育が行われてきた。

一方、イギリス (主としてイングランドを指す) では、1986 年に旧ソ連のウクライナ共和国で起こったチェルノブイリ原発事故を受けて、放射線の取扱いに関する議論が行われた。現在もイギリスの科学教育において放射線が取り扱われており (Department for Education 2014)、例えば、イギリスの中等教育段階の 14 歳から 16 歳の段階にあたる Key Stage 4 (以下、KS 4 と略記) の Twenty First Century Science プロジェクト (以下、TFCS と略記) の教科書である TFCS 第 3 版 *GCSE Physics* (以下、TFCS 教科書と略記) においても、放射線の内容が取り扱われている。

* 広島大学大学院人間社会科学研究所

本田 洗輔・龍岡 寛幸・嶋田 亘佑・磯崎 哲夫(2024),「イギリスにおける放射線の取扱いを参考にした理科授業実践—リスクとベネフィットの理解に着目して—」, 広島大学附属東雲中学校研究紀要「中学教育第 53 集」, 86-106.

イギリスの中等教育段階では、将来の科学者を含めた科学的リテラシーを備えた市民の育成が求められている。イギリスにおける科学的リテラシーについて、磯崎（2005）は、科学的リテラシーの定義、あるいはその用語が内包する意味を俯瞰し統一した定義にまとめることは困難であるとしつつも、その共通点の1つとして、科学技術を基盤とする（背景とする）社会的諸問題（Socio- scientific Issues：以下、SSI と略記）に関する公的議論に参加し、意思決定が行えることを主張している。このようにイギリスにおける科学的リテラシーの特徴として、SSI に関する公的議論に参加し意思決定が行えることが挙げられる。また、TFCS における科学的リテラシーにおいても、その要素として、「健康や食事、エネルギー資源の利用といった科学に関連することについて学識ある個人の意思決定ができる」（21st Century Science project team 2003, p. 28）ことが示されており、意思決定に関する学習が重視されている。そして、ナショナル・カリキュラム科学（National Curriculum 科学：以下、NC 科学と略記）における学習内容としての科学的知識は、初版 NC 科学以降、NC 科学が改訂されても、科学そのものの知識と科学についての知識の両方から構成されている（磯崎 2019）。

以上を踏まえ、イギリスの中等教育段階における放射線の取扱いを踏まえて、わが国の中学校における放射線の取扱いについて授業デザインを作成し、その効果を質的、量的両方から検証した。なお、本研究では、放射線、放射性物質、放射能など、放射線に関する学習を踏まえて放射線の取扱いとする。

2. イギリスにおける放射線の取扱い

まず、主としてイギリスで議論されている放射線の取扱いに関する先行研究を分析する。生徒の調査や新聞記事の分析を通して、放射線に対する誤概念として、①「放射線」と「放射性物質」を明確に区別できていないこと、②科学的概念とは異なる「放射線は吸収される」という考え方を有していること、の2点が指摘されている（Millar & Milner 1991; Eijkelhof & Millar 1988; Millar 1994; Millar & Gill 1996）。Millar（1994）は、放射性物質や放射線に対して未分化な概念が広く使われていることや放射線の吸収過程について、一般的な科学的見解とは大きく異なる概念を持っていることについて、放射能や放射線の現象に関するメディア報道などの公的な情報の受け止め方や解釈に重要な影響を及ぼす可能性があるとしている。また、Eijkelhof and Millar（1988）は、曖昧な「放射線」概念は、その危険性の本質・拡散方法・危険の程度を評価する知識を本質的に不明確なままにしており、放射線の概念の理解が十分ではない人は、放射性物質を用いた科学・技術の利用に対して意思決定することができず、原子力発電の安全性や安全対策・安全基準の妥当性についての議論に参加できないことを指摘している。つまり、生徒が持つ、①未分化な放射線の概念や、②「放射線は吸収される」という考え方に着目することは、生徒が有する誤概念に対応するだけでなく、放射線に関するメディア報道について理解し、放射性物質を利用した科学・技術の利用について意思決定し、原子力発電の議論に参加できる生徒を育てるという観点からも意味があるといえる。

Millar et al.（1990）は、多くの生徒が科学的概念を間違っ理解していること、生徒が実生活で科学的概念を活用できていないこと、科学教育を受けた後も元々の日常生活の知識が残ったままになっていること、といった課題を踏まえて、放射線の学習のシーケンス（表1）を提案している。

表 1 放射線の学習のシーケンス

| 各段階 | 学習内容 |
|---|---|
| 現象学的オリエンテーション (Phenomenological orientation) | <ul style="list-style-type: none"> ○様々な種類の放射現象を体験。 ○放射モデルの要素である, 発生源 (source)・検出器 (detector)・放射 (radiation)。 ○放射の分類。 ○放射の影響と発生源からの距離の関係。 |
| 定性的で巨視的取扱い (Qualitative macroscopic treatment) | <ul style="list-style-type: none"> ○発生源 (source)・検出器 (detector)・放射 (radiation) の 3 つの要素。 ○密封線源 (closed source) と非密封線源 (open source)。 ○照射・被曝と汚染。 ○放射能に関連する重要な医療・産業の応用や社会問題。 例) <ul style="list-style-type: none"> ・医療品の滅菌, 食品への放射線照射。 ・放射性物質の放出を伴う事故 (チェルノブイリ)。 |
| 定量的で巨視的取扱い (Quantitative macroscopic treatment) | <ul style="list-style-type: none"> ○放射能の強さ。 ○半減期。 ○線量。 ○放射能に関連する重要な医療・産業の応用や社会問題。 例) <ul style="list-style-type: none"> ・放射性廃棄物の処分の問題。 ・医療・工業用の放射性物質の選択。 |
| 微視的取扱い/原子レベルの取扱い (Microscopic treatment/ Treatment at the atomic level) | <ul style="list-style-type: none"> ○原子モデル。 ○核変換。 ○核反応式。 ○放射能に関連する重要な医療・産業の応用や社会問題。 例) <ul style="list-style-type: none"> ・建物内のラドン |

(出典 : Millar et al., 1990, pp. 340-342; Millar & Milner, 1991, pp. 8-10 を訳出し表にまとめた。)

放射線の学習のシーケンスは, 定性的内容から定量的内容へと, マクロな内容からミクロな内容へと 4 つの段階で構成されている。現象学的オリエンテーションでは, 光・音・赤外線など様々な放射現象を観察し, その重要な要素である発生源 (source), 検出器 (detector), 放射 (radiation) から構成される放射モデルについて学ぶ。定性的で巨視的取扱いでは, 放射モデルのこれら 3 つの要素それぞれについて詳細に学習する。定量的で巨視的取扱いでは, 放射線や放射性物質に関連する量について, どのように定義し測定するかを探究し, 考えを発展させる。微視的取扱いでは, 放射線が放出されると放射線源は実際にどうなるのか, 放射線が吸収されるとどうなるのかなどを理解するために, 原子レベルでの学習を行う。

ところで, イギリスでは 1985 年に Bodmer が議長を務める特別小委員会より, 報告書“*The Public Understanding of science*”が公表された。この報告書によると, 個人的な意思決定の多くは, その根底にある科学についてある程度理解していることが助けになるとされ, その理解には, 科学の事実だけで

本田 洗輔・龍岡 寛幸・嶋田 亘佑・磯崎 哲夫(2024),「イギリスにおける放射線の取扱いを参考にした理科授業実践—リスクとベネフィットの理解に着目して—」, 広島大学附属東雲中学校研究紀要「中学教育第 53 集」, 86-106.

なく、その方法と限界、実際の・社会的な意味合いも含まれている (The Royal Society 1985)。また、科学を理解する上で不可欠な要素として、リスクと不確実性の本質の理解が示されており、リスクと不確実性の本質を理解することは、多くの公共政策問題においても、私たちの個人生活における日常的な意思決定においても、必要とされる科学的理解の重要な部分であるとされている (The Royal Society 1985)。そして、Lijnse et al. (1990) は、リスクの概念が生じるよく知られた重要な文脈のひとつに、電離放射線が関係する状況があることを指摘している。以上を踏まえると、イギリスの放射線の学習においては、放射線に関する科学そのものの知識の理解だけではなく、リスクの本質という科学についての知識の理解も重要であると考えられる。

それでは、イギリスの教科書や教師用書における放射線の取扱いはどのようになっているのだろうか。まず、Teaching and Learning about the Environment プロジェクトの教材の 1 つである *Radiation and Radioactivity* (以下、プロジェクト教材と略記) を分析したところ、Millar et al. (1990) のシークエンスに基づいた学習が意図されており、放射線を放射の一部として取扱い、放射モデルについて学習した後、それぞれの要素について詳細に学習することが意図されていた。また、プロジェクト教材において、放射性物質の工業的・医療的利用について、(i) 放射線が生きた細胞を殺すことを利用した例、(ii) 放射線は吸収されるという事実を利用した例、(iii) 放射性物質が容易に追跡できることを利用した例の 3 つの例について、リスクの側面とベネフィットの側面に関する学習が意図されていた。そして、11 歳から 14 歳の段階にあたる Key Stage 3 の教科書 *Activate* を分析したところ、リスクとハザードの学習や放射線を利用した科学・技術についてのリスクとベネフィットに関する学習が見られた。さらに、KS 4 の TFCS 教科書を分析したところ、Millar et al. (1990) のシークエンスに基づいた学習が見られ、電磁波の放射線が放射の一部として学習し、放射モデルを用いた学習が見られた。これらの放射が吸収された際にどのようなことが起こるのかという学習が見られ、放射線を吸収したことで化学変化を引き起こすことや電離の学習が意図されていた。そして、X 線は医療で利用されるものの妊婦や小さな子どもには、ベネフィットよりもリスクが大きいことや、リスクとハザードに関する学習など、放射線を利用するリスクとベネフィットについての学習が意図されていた。

3. 授業デザインについて

本実践では、中学校第 1 分野大単元「電流とその利用」の小単元の 1 つである「静電気と電流」における授業のデザインを行った。この小単元においては、「真空放電と関連付けながら放射線の性質と利用にも触れること」(文部科学省 2018, p. 41) とされ、放射線の学習が意図されている。本単元におけるわが国の教科書の記述やイギリスにおける放射線の取扱いを参考に、論文執筆者で授業デザインを作成した。作成した授業デザインでは、放射線の学習の視点である①放射線と放射性物質の違いの理解、②放射線が吸収された際に何が起こるのかという理解、③放射線についてリスクとベネフィットの側面から理解すること、という 3 点を重視している。筆者が作成した授業デザインの大きな流れを表 2 に示す。また、わが国における放射線の授業デザインを作成するにあたって、放射線の学習の視点と具体的な放射線の取扱いを表 3 に示す。

表 2 授業デザインの大まかな流れ

| 時間 | 学習内容 | 活動 |
|---------|---------------------------------|---|
| Pre テスト | | |
| 1 | ○放射モデル | 光や赤外線を用いて放射モデルを学習させる。 放射線について放射モデルを用いて学習させる。 |
| 2 | ○放射線の吸収 | 放射線の吸収について, 光の吸収を参考に学習させる。 |
| 3 | ○放射線の種類 ○放射線の利用 ○Post テスト | 放射線の種類について, 放射線の吸収に着目して学習させる。 放射線を利用した科学・技術 (レントゲン) について学習させる。 その際, リスクとベネフィットを評価させる。 |

表 3 放射線の学習の視点と具体的な放射線の取扱い

| 学習の視点 | 放射線の取扱い |
|----------------------------|---|
| ①放射線と放射性物質の違いの理解 | A Millar et al. (1990) の放射線の学習のシーケンスを用いる。 |
| ②放射線が吸収された際に何が起ころのかという理解 | B 放射線を放射の一部として取扱い, 光や赤外線を用いた学習を行い, 放射線に学習を広げる。 C 発生源, 放射, 検出器からなる放射モデルを用いた学習を行い, それぞれの要素に着目して学習を進める。 |
| ③放射線についてリスクとベネフィットの側面からの理解 | D (i) 放射線が生きた細胞を殺すことを利用した例, (ii) 放射線は吸収されるという事実を利用した例, (iii) 放射性物質が容易に追跡できることを利用した例を用いた学習を, ワークシートなどを用いて行う。このうち, レントゲンと関連のある, (ii) 放射線は吸収されるという事実を利用した例に関する学習を行う。 E リスクとハザードに関する学習を行う。 F X線は医療で利用されるものの妊婦や小さな子どもには, ベネフィットよりもリスクが大きいことを学習し, 放射線を利用するリスクとベネフィットについての学習を行う。 |

4. 授業実践の概要について

放射線の学習の視点である①放射線と放射性物質の違いの理解, ②放射線が吸収された際に何が起ころのかという理解, ③放射線についてリスクとベネフィットの側面からの理解, という3点を重視して作成した授業デザインを用いて, 放射線を学習するクラス (実験群) と, 教科書会社の指導書通りに従前的に学習するクラス (統制群) の2つに分けて実践した。統制群の学習の流れを, 表4に示す。2つの群に対して pre/post テストを行い, その質問紙を分析することで本実践の効果を調べた。

表 4 統制群の学習の流れ

| 時間 | 学習内容 | 活動 |
|---------|---------------------------------|---------------------------------|
| Pre テスト | | |
| 1 | ○放射線の種類 ○放射線の利用 ○Post テスト | 放射線の種類と, 放射線を利用した科学・技術について学習する。 |
| 2 | ○放射モデル | 光を用いて放射モデルを学習し, 放射線を放射モデルで学習する。 |
| 3 | ○放射線の吸収 | 放射線の吸収について, 光の吸収を参考に学習する。 |

授業実践の概要を表 5 に示す。なお, 実施に当たっては, 広島大学附属東雲中学校 (以下, 本校と略記) から調査研究の許可を得ている。

表 5 授業実践の概要

| | |
|-----|---|
| 時期 | 2023 年 3 月 16 日/17 日/20 日 (合計 3 時間) 実験群, 統制群ともに同日。 |
| 対象 | 本校第 2 学年 2 クラス (79 名) 実験群: 39 名 統制群: 40 名 |
| 授業者 | 著者 (同校における非常勤講師 1 年目) |

5. 質問紙について

Pre/post テストの作成にあたっては, 理科教育学の専門家 1 名と本校の正規の理科教師 1 名, 他校で正規の理科教師として勤務している理科教育学を専攻する博士課程後期の学生 A, 理科教育学を専攻する博士課程後期の学生 B (なお, 学生 B は本校で 2 年目の非常勤講師歴がある), 計 4 名でいずれも本論文の執筆者と相談し検討した。Pre/post テストは, 5 つの間で構成されている。Pre/post テストの作成にあたっては, 本実践で重視した, 放射線の学習の視点である①放射線と放射性物質の違いを理解すること, ②放射線が吸収された際に何が起こるのかについて理解すること, ③放射線についてリスクとベネフィットの側面からの理解, という 3 点を分析の視点として作成した。

6. 分析結果

今回の紀要では, ③放射線についてリスクとベネフィットの側面からの理解を重視して作成した, 設問についての分析結果を示す。この設問について量的分析と質的分析を行った。この設問は, 生徒に放射線に抱くイメージとその理由を自由に記述してもらう問である。Pre/post テストの結果を比較することで, 学習を通して放射線について 1 つの側面 (リスクかベネフィットのいずれか) だけでなく, 2 つの側面 (リスクとベネフィット) から考えられるようになったかを調べることを意図している。

A. 量的分析

量的分析を行うために, 表 6 に示すループリックを作成した。このループリックを用いて, 生徒の放射線に対するイメージとその理由に関する記述を点数化し, 分析する。

表 6 作成したループリック

| | |
|---|---|
| 3 | 放射線のリスクとベネフィットの2つの側面に目を向けている。 例) ・危険 ・怖い ・近づくな ・X線 ・医療で使用 →原爆や原発事故などの歴史から良くないイメージを持っているが, X線のようにレントゲンでの使用など医療に使われているともきくのでなくてはならない必要不可欠なイメージもある。 |
| 2 | 放射線のリスクの側面のみに目を向けている。放射線のベネフィットの側面のみに目を向けている。 例) ・怖い, あぶない →原爆がおちたときにたくさんの人が死んで, 生きている人も放射線に苦しんでいたと聞いたことがあるから。 |
| 1 | 放射線のリスクとベネフィットの側面に目を向けていないが, 何かしらの回答がある。 例) ・ある所からはなれた線。 →漢字的にそうだから。 |
| 0 | 無回答。 |

質問紙の分析においては, 客観性を担保するため, 著者と先述した学生 B, 計 2 名で行った。それぞれが独立して分析を行い, 点数づけに違いが生じた箇所については, 話し合いを行い, これを解消した。

今回作成したループリックは 3 段階であったため, 得られた値は順序尺度とみなすことが出来る。また, 得られた値に正規性は仮定できないことから, ノンパラメトリック検定である Mann-Whitney の U 検定を行った。ただし, 今回は不等価 2 群事前事後テストデザイン (南風原, 2001) のため, 2 群間の平均値差について Mann-Whitney の U 検定を行った。加えて, 「サンプルサイズによって変化することのない, 標準化された指標である効果量」(水本・竹内, 2008, p. 59) として, Mann-Whitney の U 検定における効果量 r_{family} (水本・竹内, 2008; 城戸・池田, 2022) も求めた。なお r_{family} は, $r = \frac{Z}{\sqrt{N}}$ で求める (水本・竹内, 2008)。

Pre テストでは, 実験群の平均が約 2.1 点, 統制群の平均が 2 点であり, post テストでは, 実験群の平均が約 2.3 点, 統制群の平均が 2.2 点となった。結果をグラフで表すと, 図 1 の通りとなった。どちらの群も, pre テストと post テストでは, post テストの点数が高くなった。

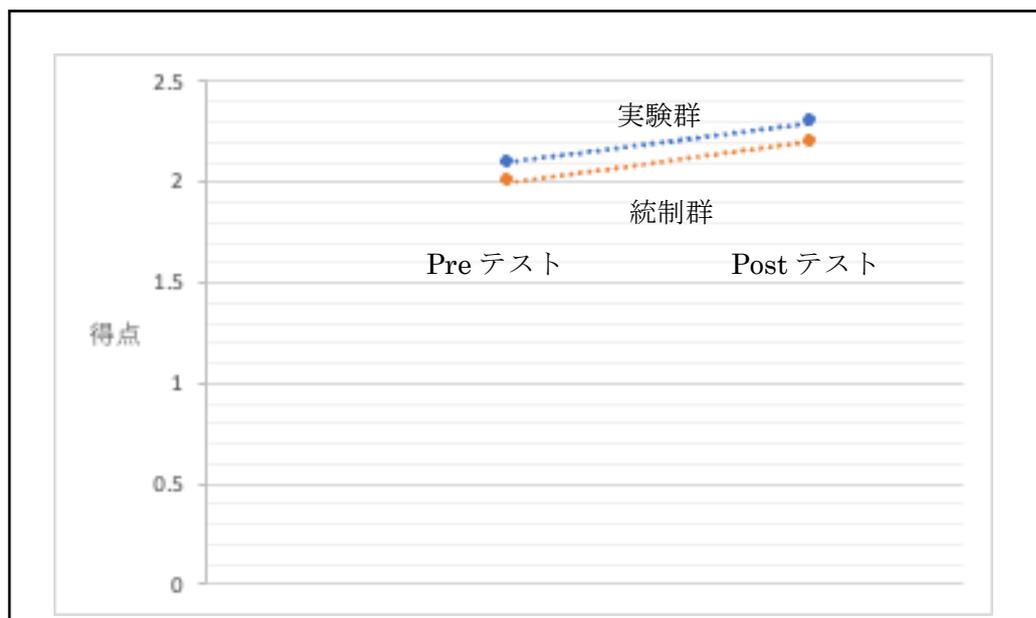


図 1 2 要因のプロット図

帰無仮説として、「2 群の母集団の pre/post テストの結果に差がない」、対立仮説を「2 群の母集団の pre/post テストの結果に差がある」と設定する。Mann-Whitney の U 検定より、両側検定で P 値は 0.8414 となり、 $0.05 < \alpha$ より帰無仮説は棄却されなかった。つまり、2 群には有意差が見られなかった。また、 r family も約 0.0261 となり、小さい効果の 0.1 より小さい値となった。

B. 質的分析

本実践では、樋口 (2020) のテキストマイニングのアプローチである KH Coder を用いて分析した。KH Coder を用いた分析は次の通りである。まず、調査実施日の欠席者、及びそれぞれの設問に対する無回答者を除く作業を行った。この設問では、統制群の 40 人と実験群の 39 人の回答を得ることができた。次に、回収した自由記述を Excel ファイルの各行に 1 件ずつ入力し、KH Coder に読み込ませた。この際、文章の確認を行い、明らかな誤字・脱字などは修正した。また、「X 線」、「東日本大震災」、「放射線」、「原子爆弾」、「原子力発電所」、「原子力発電」、「日常生活」はそれぞれ 1 語とみなし、強制出力している。なお、分析ソフトの仕様上、自由記述中の文章に句読点を追加した。「・」、「…」を用いている記述は句点へ変更、あるいは削除した。また、得られた自由記述を単語に分解し、全体的な傾向を確認した。その際、頻出語を集計し、共起ネットワークと階層的クラスタ分析を描画した。共起ネットワークは、出現パターンの似通った語同士を線で結んだネットワークであり、階層的クラスタ分析は、出現パターンの似通った語の組み合わせを探索することができる (樋口, 2020)。そして、先述した学生 B と分析を行なった。それぞれが独立して分析を行なった後に、話し合いを行い分析した。

最後に、得られた結果をもとに、「放射線」のイメージとその理由づけが、学習を通して、それぞれどのように変容したのかを分析した。その際の分析の視点として、(1) 学習前の生徒の「放射線」のイメージとその理由づけはどのようなものか、(2) 学習後の統制群の生徒の「放射線」のイメージとその理由づけはどのように変容しているのか、(3) 学習後の実験群の生徒の「放射線」のイメージとその理由づけはどのように変容しているのか、について分析した。

(1) 学習前の生徒の「放射線」のイメージとその理由づけ

まず、実験群・統制群を含めた、合計 79 人の放射線のイメージとその理由づけに関する回答データをそれぞれ KH Coder に読みこませた。それぞれの回答記述の中から、多く出現した語を表 7 と表 8 に示す。イメージに関する語の上位には「イメージ」, 「危険」, 「原爆」, 「良い」, 「線」といった語を、理由に関する語の上位には、「放射線」, 「原爆」, 「人」, 「聞く」, 「原発」といった語を確認することができた。

表 7 回答記述データから抽出したイメージに関する頻出語

| 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 |
|------|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| イメージ | 19 | 危ない | 6 | 使う | 5 | 放射線 | 5 |
| 危険 | 15 | 怖い | 6 | 人 | 5 | | |
| 良い | 10 | 悪い | 5 | 線 | 5 | | |
| 原爆 | 9 | 害 | 5 | 体 | 5 | | |

(註：出現回数が 5 回以上の語を示している。)

表 8 回答記述データから抽出した理由づけに関する頻出語

| 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 |
|-----|------|------|------|--------|------|--------|------|
| 放射線 | 42 | 原発 | 12 | 原子力発電所 | 7 | 使う | 5 |
| 原爆 | 27 | 事故 | 10 | 病気 | 7 | 東日本大震災 | 5 |
| 人 | 19 | 福島 | 10 | 治療 | 6 | 亡くなる | 5 |
| 聞く | 17 | イメージ | 7 | 影響 | 5 | | |

(註：出現回数が 5 回以上の語を示している。)

図 2 と図 3 に pre テストによる共起ネットワークの結果, 図 4 と図 5 は、階層的クラスター分析の結果を示す。これらは、学習前の全生徒の保持している「放射線」のイメージとその理由づけがどのような語と関連づけて回答しているのかを解釈することができるとみなせる。

以上の分析結果を踏まえ、次のことが指摘できる。まず、表 7 と表 8 で示しているように、頻出語として、「原爆」の語がいずれの回答においても多く登場している。図 2 と図 3 の共起ネットワークを見てみると、イメージについて、「原爆」の語は、「放射線」と共起しており、理由づけについて、「原爆」の語は、「人」や「放射線」と共起している。これらことは、図 4 と図 5 の階層的クラスター分析の結果においても同様である。つまり、「放射線」について考える際、「原爆」が想起しやすいことを示している。このことは、回答の際に、東日本大震災や戦時中に広島県に原子力爆弾が投下されたこと、平和学習での学びを想起していたためであると推察できる。

次に、「原爆」が含まれているまとまりを分析すると、イメージに関しては、「放射」, 「線」, 「X 線」, 「放射線」, 「たくさん」, 「医療」, 「怖い」, 「危ない」といった語を確認することができる。また、理由づけに関しては、「聞く」, 「放射線」, 「人」, 「亡くなる」といった語を確認することができる。以上の分析結果を踏まえると、「放射線」について思案する際、「原爆」が想起しやすい傾向を示しており、「怖い」, 「危ない」, 「亡くなる」といった比較的ネガティブな語との関連を見て取れる。

なお、イメージに関しては、「良い」という語が頻出語として登場しており、共起ネットワークでは

本田 洸輔・龍岡 寛幸・嶋田 亘佑・磯崎 哲夫(2024),「イギリスにおける放射線の取扱いを参考にした理科授業実践ーリスクとベネフィットの理解に着目してー」, 広島大学附属東雲中学校研究紀要「中学教育第 53 集」, 86-106.

「イメージ」の語との共起関係が確認でき、階層的クラスター分析においても、「イメージ」の語が組み合わせの出現パターンとして登場している。また、理由づけに関しても、「良い」の語に「医療」、「レントゲン」、「使う」といった語との共起関係が確認でき、階層的クラスター分析においても、「医療」の語が組み合わせの出現パターンとして登場している。

しかしながら、「良い」の語を用いている生徒の記述を確認すると、イメージでは、「良いような悪いようなイメージ。」、「あまり良くないイメージ。」、「使いすぎたら良くない。」といった記述が確認できる。理由づけでは、「医療、農業などの様々な場面で使われているけど、良くないイメージを持つ。(悪いものを含んでいそうみたいな)」、「放射線は浴びすぎると体に良くないから。」といった記述が確認できる。いずれの分析結果においても、「良い」は『『良く』ない』といった意味で、回答記述中では主に用いられている。つまり、「放射線」に対するネガティブなイメージを持っており、放射線に関連する具体的な事例・事象として、原爆、原発、医療などの事例に限られている傾向が見られる。

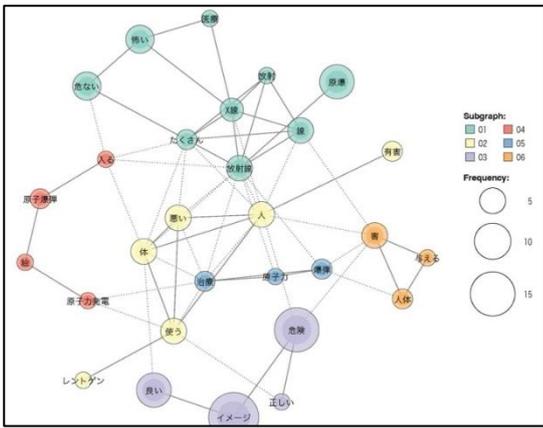


図 2 Pre テストにおける統制群と実験群の共起ネットワークの結果 (イメージ)

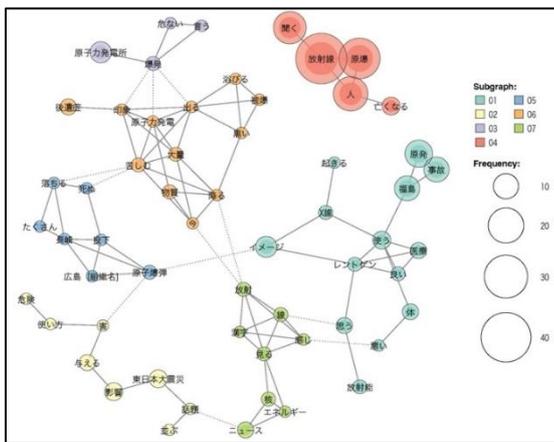


図 3 Pre テストにおける共起ネットワークの結果 (理由)

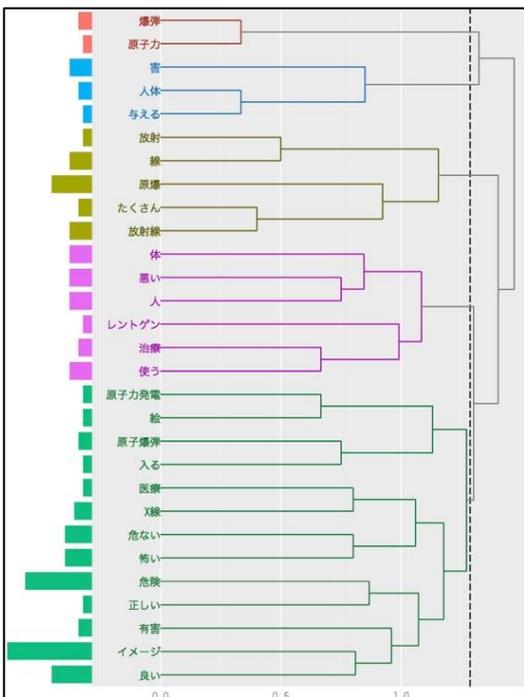


図 4 Pre テストにおける階層的クラスター分析の結果 (イメージ)

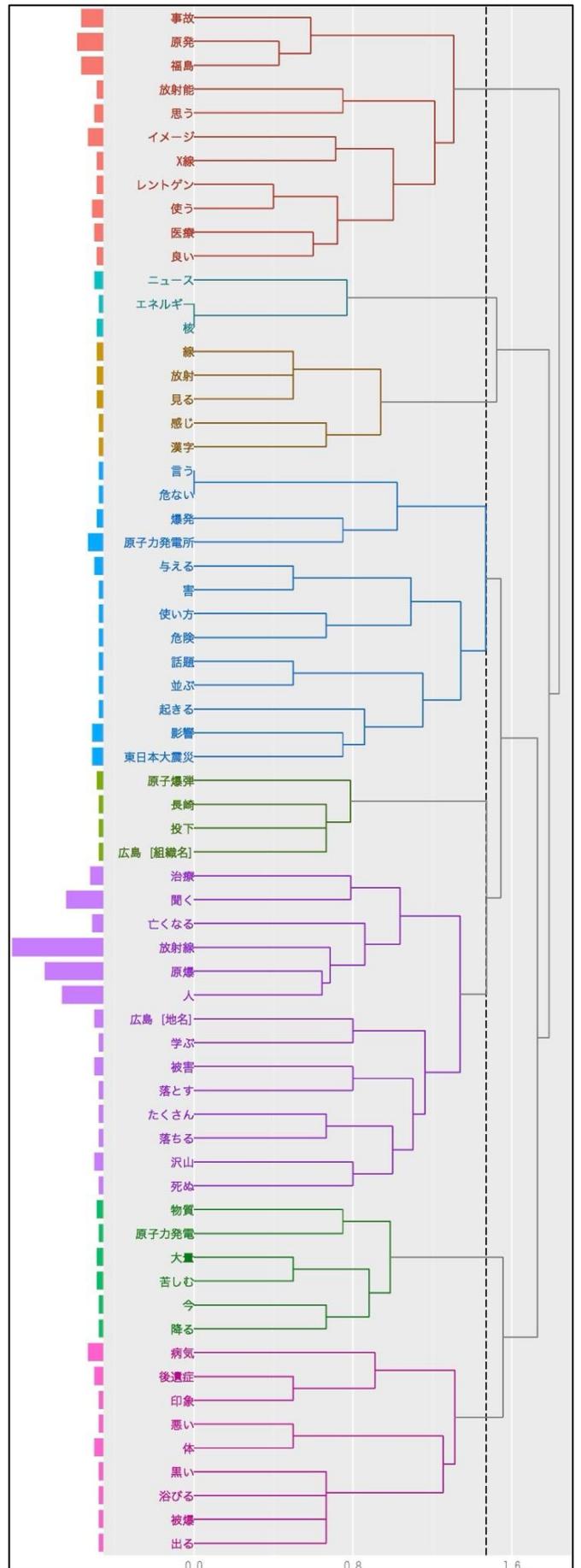


図 5 Pre テストにおける階層的クラスター分析の結果 (理由)

(2) 学習後の統制群の生徒の「放射線」のイメージとその理由

それでは、授業実践後の生徒の「放射線」のイメージとその理由づけはどのように変容したのか。まず、放射線のイメージとその理由づけに関する回答データを統制群の pre/post テストにおいて多く登場した語は、表 9 と表 10 の通りであった。

表 9 統制群の pre テスト・post テストの回答記述データから抽出した頻出語 (イメージ)

| | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 |
|----------|-------|------|------|------|-----|------|
| Pre テスト | イメージ | 10 | 人体 | 3 | 体 | 2 |
| | 危険 | 7 | 線 | 3 | 爆弾 | 2 |
| | 良い | 6 | 怖い | 3 | 放射線 | 2 |
| | 害 | 4 | 悪い | 2 | 有害 | 2 |
| | X 線 | 3 | 絵 | 2 | 与える | 2 |
| | 原子爆弾 | 3 | 危ない | 2 | | |
| | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 |
| Post テスト | イメージ | 11 | 危ない | 4 | 人体 | 2 |
| | レントゲン | 7 | 良い | 3 | 物質 | 2 |
| | 体 | 5 | 医療 | 2 | 便利 | 2 |
| | 悪い | 4 | 原子爆弾 | 2 | 有害 | 2 |
| | 害 | 4 | 使う | 2 | 与える | 2 |

(註：出現回数が 2 回以上の語を示している。)

表 10 統制群の pre テスト・post テストの回答記述データから抽出した頻出語 (理由)

| | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 |
|----------|-------|------|--------|------|--------|------|
| Pre テスト | 放射線 | 18 | イメージ | 6 | 核 | 3 |
| | 原爆 | 12 | 事故 | 6 | 東日本大震災 | 3 |
| | 人 | 8 | 原発 | 5 | 被害 | 3 |
| | 聞く | 7 | 原子力発電所 | 4 | 福島 | 3 |
| | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 |
| Post テスト | 放射線 | 13 | 浴びる | 4 | 事故 | 3 |
| | レントゲン | 12 | X 線 | 3 | 出る | 3 |
| | 原爆 | 8 | イメージ | 3 | 体 | 3 |
| | 使う | 7 | 悪い | 3 | 利用 | 3 |
| | 原子爆弾 | 4 | 医療 | 3 | 事故 | 3 |
| | 思う | 4 | 危険 | 3 | | |

(註：出現回数が 3 回以上の語を示している。)

次に、pre テストと post テストにおける、「放射線」のイメージについて、統制群の共起ネットワークの結果を示す。イメージについて、pre テストの結果を図 6、post テストの結果を図 7 に示す。また、

理由づけについて, pre テストの結果を図 8, post テストの結果を図 9 に示す。

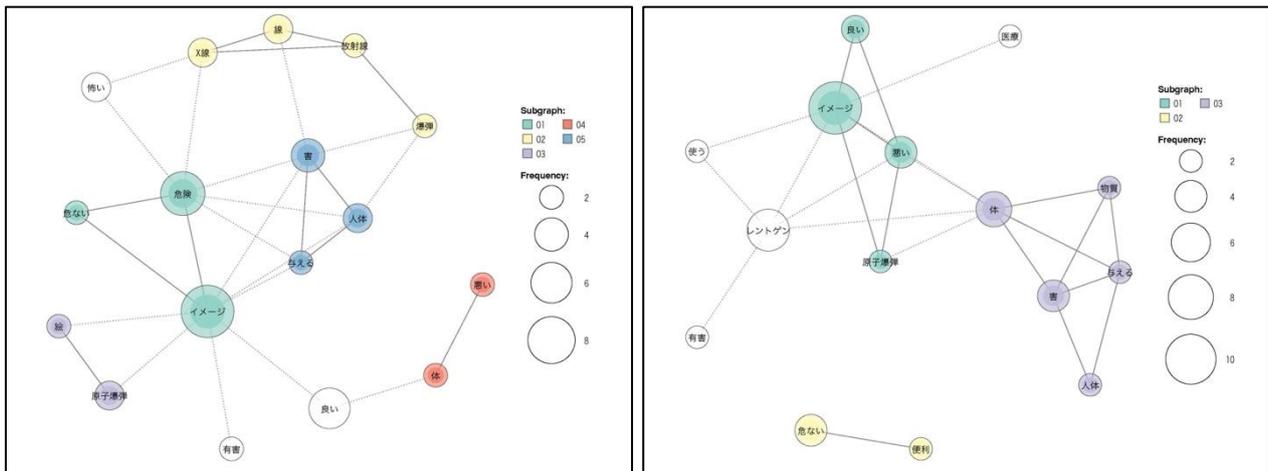


図 6 Pre テストにおける統制群の共起ネットワークの結果 (左) イメージ
 図 7 Post テストにおける統制群の共起ネットワークの結果 (右) イメージ

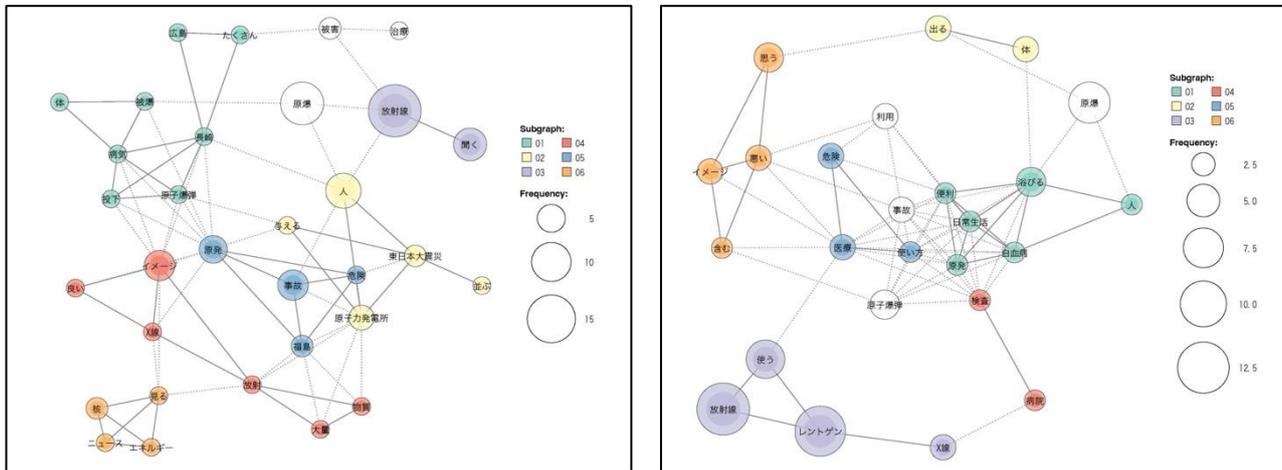


図 8 Pre テストにおける統制群の共起ネットワークの結果 (左) 理由
 図 9 Post テストにおける統制群の共起ネットワークの結果 (右) 理由

Pre テストと post テストにおける, 統制群の階層的クラスター分析の結果を示す。イメージについて, pre テストの結果を図 10, post テストの結果を図 11 に示す。また, 理由づけについて, pre テストの結果を図 12, post テストの結果を図 13 に示す。

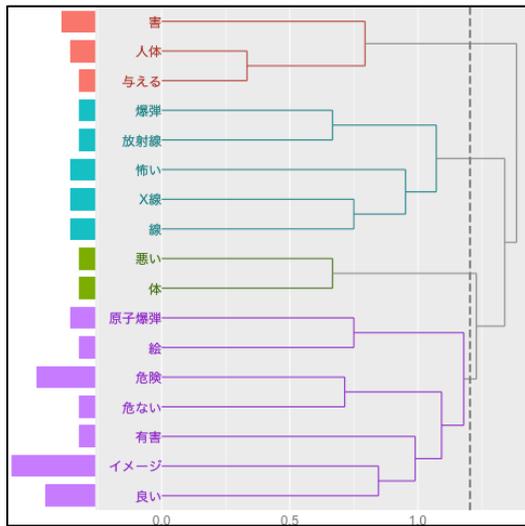


図 10 Pre テストにおける統制群の階層的クラスター分析の結果 (左) イメージ

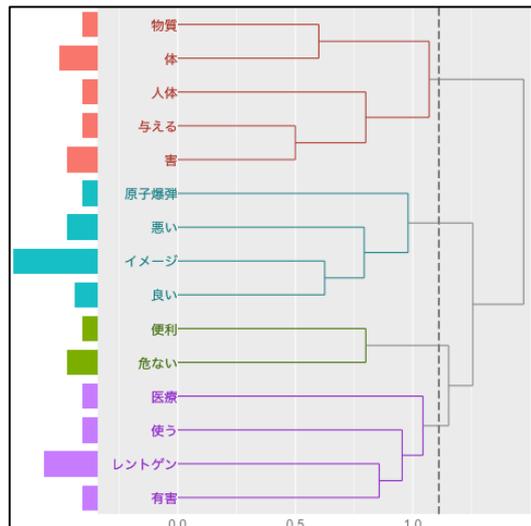


図 11 Post テストにおける統制群の階層的クラスター分析の結果 (右) イメージ

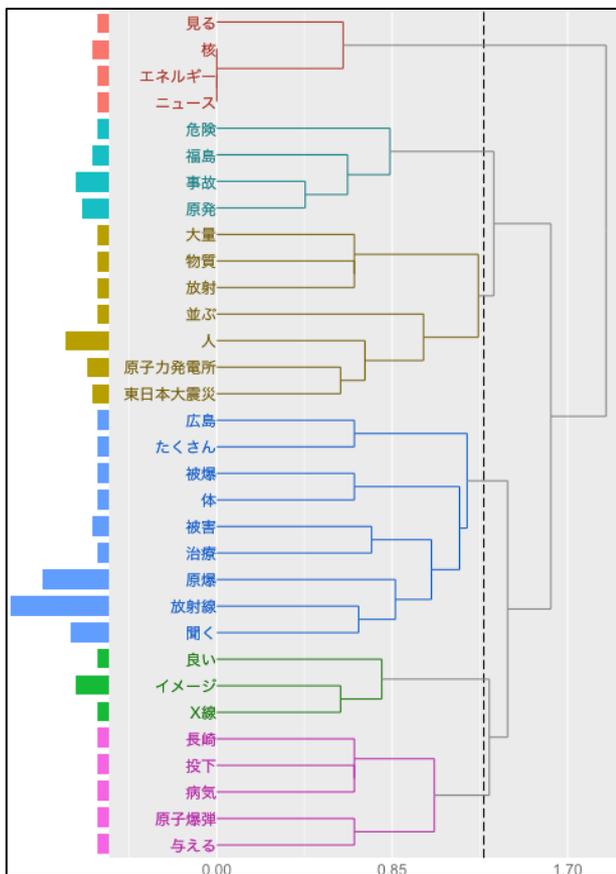


図 12 Pre テストにおける統制群の階層的クラスター分析の結果 (左) 理由

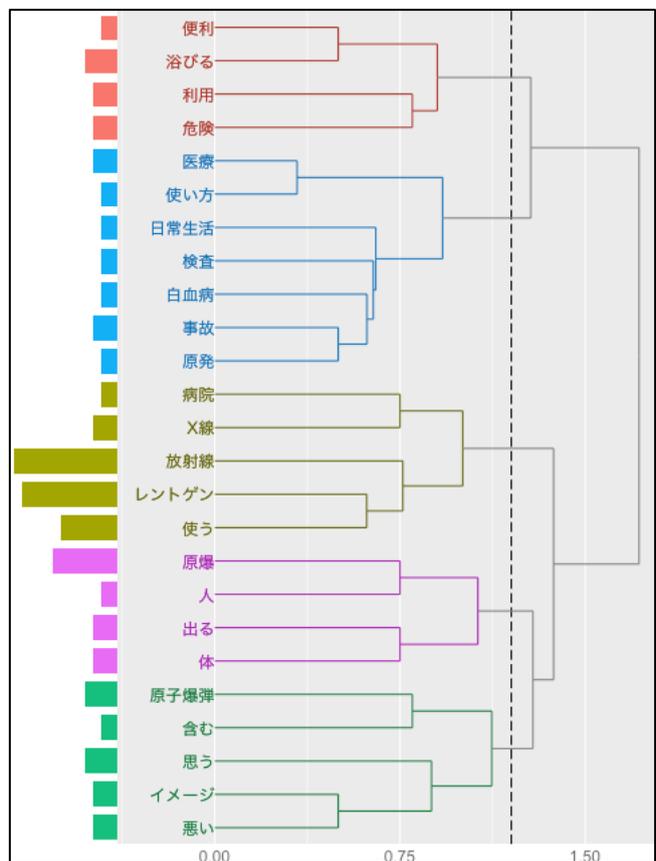


図 13 Post テストにおける統制群の階層的クラスター分析の結果 (右) 理由

まず、イメージについて pre/post テストの共起ネットワークの結果を比較すると、post テストにおける共起ネットワーク (図 7) には、新たに「レントゲン」の語が登場している。注目できるのは、post の結果において、「レントゲン」の語は「有害」、「悪い」、「イメージ」といった語との供給が確認されていることである。Post テストの統制群の階層的クラスター分析の結果では、「レントゲン」について、

本田 洸輔・龍岡 寛幸・嶋田 亘佑・磯崎 哲夫(2024),「イギリスにおける放射線の取扱いを参考にした理科授業実践ーリスクとベネフィットの理解に着目してー」, 広島大学附属東雲中学校研究紀要「中学教育第 53 集」, 86-106.

「医療」, 「使う」, 「有害」といった語との組み合わせを確認できる。実際の記述回答では, 「レントゲン」, 「レントゲンで使われるイメージ」, 「レントゲン。体に悪い。」といった内容であり, 質問に答える際, 授業で取り上げたレントゲンを想起したと考えられる。

また, 理由づけの分析について, post テストの「レントゲン」の語に着目すると, 「放射線」, 「使う」, 「X線」といった語との共起関係を確認できる。Post テストの統制群の階層的クラスター分析の結果では, 「レントゲン」について, 「病院」, 「X線」, 「放射線」, 「使う」といった語との組み合わせを確認することができる実際の記述回答では, 「理由はレントゲンをとったりするときに, 体の臓器をきずつけてしまうから。(後略)」, 「レントゲンとか, 戦争とか発電とかいろいろ使うかなと思ったから。」といった記述であった。

(3) 学習後の実験群の生徒の「放射線」のイメージとその理由づけ

実験群の結果を, 頻出語, 共起ネットワーク, 階層的クラスター分析として以下に示す。まず, イメージと理由づけについて, 頻出語の結果を以下の表 11 と表 12 に示す。

表 11 実験群の pre テスト・post テストの回答記述データから抽出した頻出語 (イメージ)

| | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 |
|----------|-------|------|------|------|------|------|
| Pre テスト | イメージ | 9 | 人 | 4 | 悪い | 3 |
| | 危険 | 8 | 良い | 4 | たくさん | 2 |
| | 原爆 | 8 | 体 | 3 | 治療 | 2 |
| | 危ない | 4 | 怖い | 3 | 正しい | 2 |
| | 使う | 4 | 放射線 | 3 | 線 | 2 |
| | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 |
| Post テスト | 危ない | 10 | 悪い | 4 | 良い | 3 |
| | レントゲン | 7 | 害 | 3 | メリット | 2 |
| | 体 | 7 | 原爆 | 3 | 感じ | 2 |
| | イメージ | 6 | 怖い | 3 | 受ける | 2 |
| | 危険 | 5 | 役に立つ | 3 | 便利 | 2 |

(註: 出現回数が 2 回以上の語を示している。)

表 12 実験群の pre テスト・post テストの回答記述データから抽出した頻出語 (理由)

| | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 | 抽出語 | 出現回数 |
|----------|-------|------|-----|------|--------|------|
| Pre テスト | 放射線 | 24 | 病気 | 5 | 沢山 | 4 |
| | 原爆 | 15 | 影響 | 4 | 亡くなる | 4 |
| | 人 | 11 | 使う | 4 | 医療 | 3 |
| | 聞く | 10 | 思う | 4 | 原子力発電所 | 3 |
| | 原発 | 7 | 事故 | 4 | 後遺症 | 3 |
| | 福島 | 7 | 治療 | 4 | 放射能 | 3 |
| | | | | | | |
| Post テスト | 放射線 | 17 | 人 | 5 | イメージ | 3 |
| | レントゲン | 12 | 体 | 5 | 危ない | 3 |
| | 原爆 | 11 | 聞く | 5 | 受ける | 3 |
| | 使う | 6 | 事故 | 4 | 発見 | 3 |
| | 害 | 5 | 病気 | 4 | 被害 | 3 |
| | 原発 | 5 | 浴びる | 4 | 亡くなる | 3 |
| | | | | | | |

(註：出現回数が 3 回以上の語を示している。)

次に、pre テストと post テストにおける、「放射線」のイメージについて、実験群の共起ネットワークの結果を示す。イメージについて、pre テストの結果を図 14, post テストの結果を図 15 に示す。また、理由づけについて、pre テストの結果を図 16, post テストの結果を図 17 に示す。

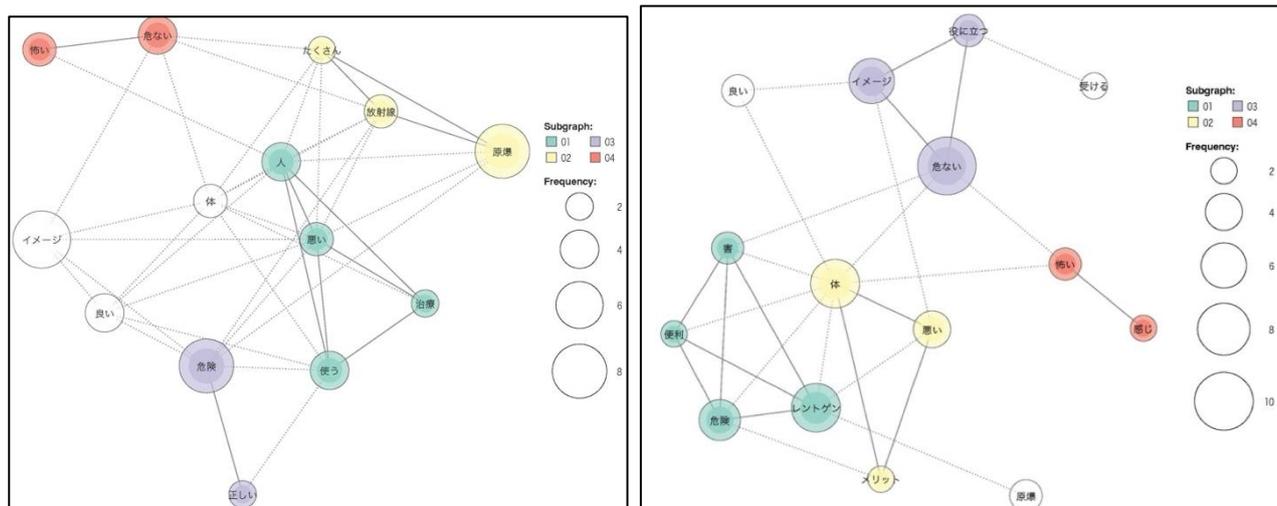


図 14 Pre テストにおける実験群の共起ネットワークの結果 (左) イメージ

図 15 Post テストにおける実験群の共起ネットワークの結果 (右) イメージ

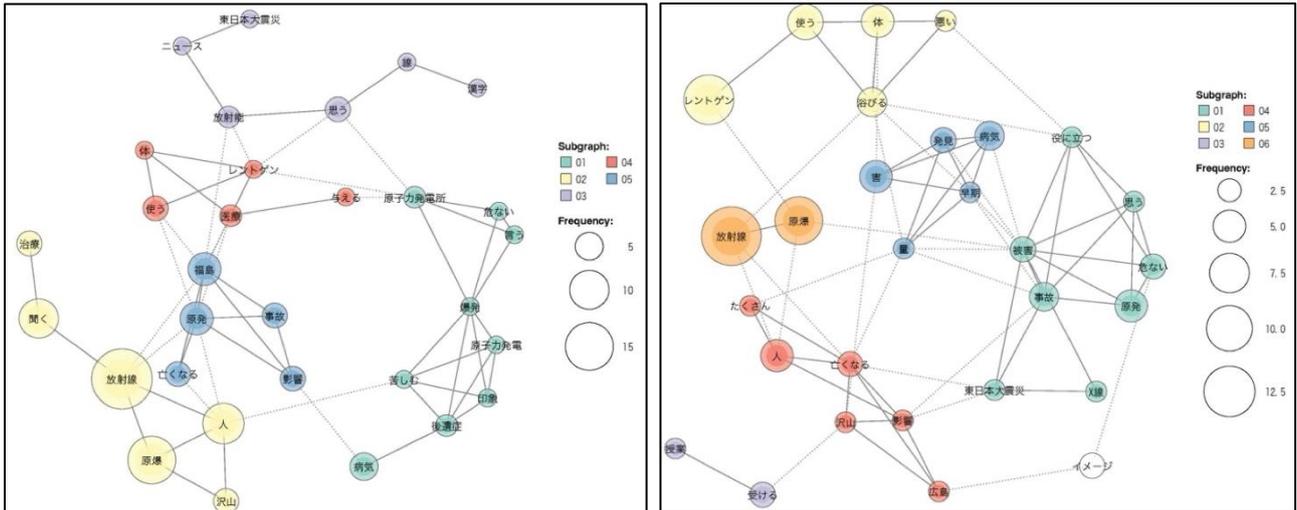


図 16 Pre テストにおける実験群の共起ネットワークの結果 (左) 理由づけ
 図 17 Post テストにおける実験群の共起ネットワークの結果 (右) 理由づけ

Pre テストと post テストにおける, 統制群の階層的クラスター分析の結果を示す。イメージについて, pre テストの結果を図 18, post テストの結果を図 19 に示す。また, 理由づけについて, pre テストの結果を図 20, post テストの結果を図 21 に示す。

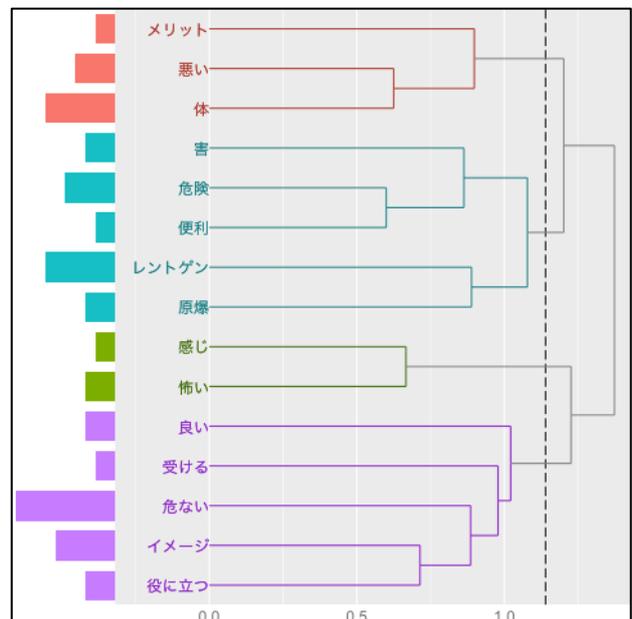
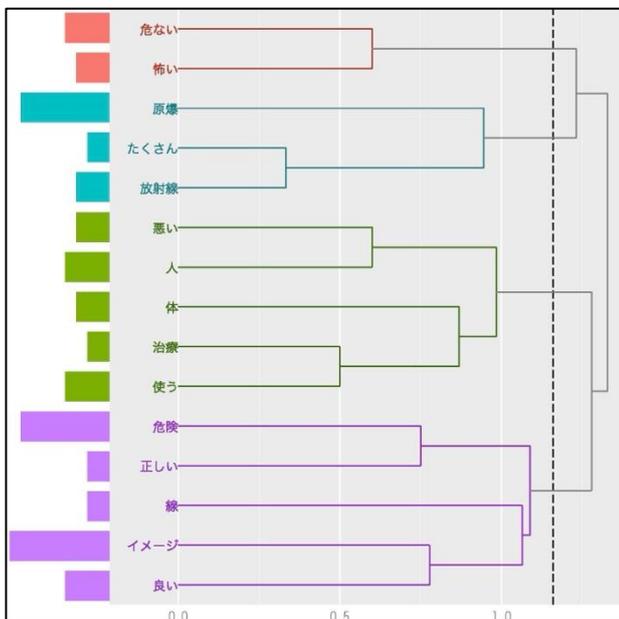


図 18 Pre テストにおける実験群の階層的クラスター分析の結果 (左) イメージ
 図 19 Post テストにおける実験群の階層的クラスター分析の結果 (右) イメージ

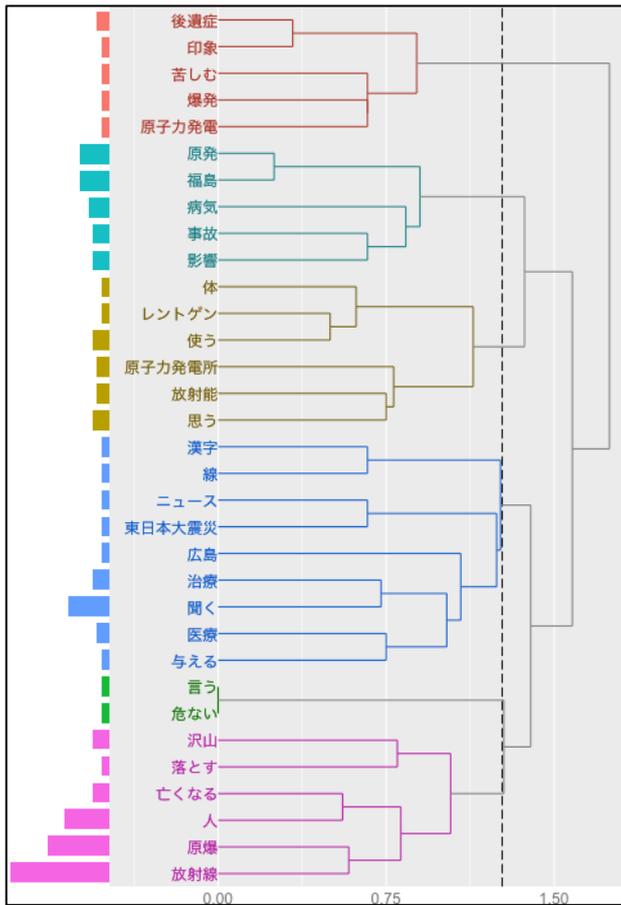


図 20 Pre テストにおける実験群の階層的クラスター分析の結果 (左) 理由づけ

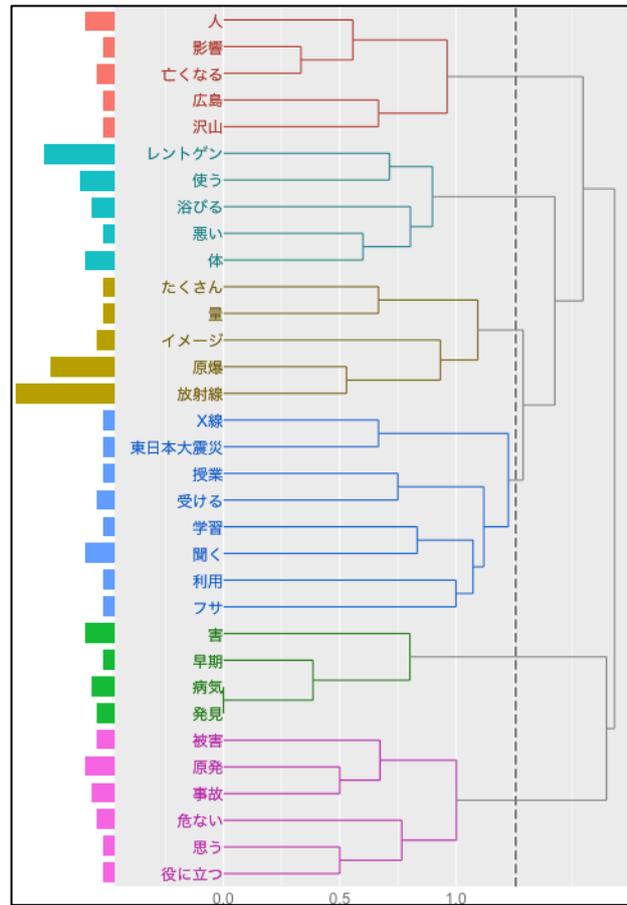


図 21 Post テストにおける実験群の階層的クラスター分析の結果 (右) 理由づけ

上記の共起ネットワークと階層的クラスター分析の結果から、次のことが指摘できる。まず、実験群の共起ネットワークの post テストの結果においても、新たに「レントゲン」の語が登場している。「レントゲン」の語は、イメージでは、「害」、「便利」、「危険」、「体」、「悪い」と、理由づけでは、「原爆」、「使う」と共起関係がある。イメージに関して、実際の生徒の回答では、「レントゲン」、「体に悪いけど、いろんなことに使えるものでもある（レントゲンなど）」、「体に害をおよぼす危険がある。レントゲンで使われていて便利。」などを確認することができる。また、理由づけに関して、実際の生徒の回答では、「原爆とかでたくさんの人が大量の放射線をあびて亡くなったときいたことがあるけど、レントゲンとかも大切だから。」、「人に害を及ぼす。レントゲンで病気の発見ができる。」などを確認することができる。

また、イメージにおいて「メリット」という語が新たに登場している (図 15)。「メリット」は、「悪い」、「体」、「危険」といった語との共起関係を見てとることができる。実際に生徒の回答を見てみると、「メリット・デメリット、滅菌、細胞を傷つけると、やりすぎたら危険、病気の早期発見。」、「体に悪い影響。でもメリットたくさん。」といった記述を確認できた。つまり、「メリット」の視点と「デメリット」の視点から記述されているため、「メリット」は、「悪い」、「体」、「危険」といった語との共起関係にあった。また、階層的クラスター分析においても、「メリット」という語は、「悪い」、「体」といった語との組み合わせで登場していた (図 19)。「メリット」という語は、実験群にのみ登場しており、授業で明示的にリスクとベネフィットに関する学習を取り上げたことで、「メリット」の視点を持つことができたと解釈できる。

本田 洗輔・龍岡 寛幸・嶋田 亘佑・磯崎 哲夫(2024),「イギリスにおける放射線の取扱いを参考にした理科授業実践—リスクとベネフィットの理解に着目して—」, 広島大学附属東雲中学校研究紀要「中学教育第 53 集」, 86-106.

以上を踏まえ、一部の生徒の記述を表 13 に示す。これらの記述から、放射線をメリット・デメリットと関連づけて回答していること、また放射線の具体的な事例として、滅菌や病気の早期発見などを新たに示すことができていると言える。

表 13 生徒の記述

| 生徒 | 項目 | Pre テスト | Post テスト |
|----|------|--|---|
| A | イメージ | 使いすぎたら良くない。 | メリット・デメリット, 滅菌, 細胞を傷つけると, やりすぎたら危険, 病気の早期発見 |
| | 理由づけ | 放射線か放射能かどちらか忘れたけど福島第一原発事故でそれら放出され立ち入り禁止になったこと。 原爆の放射線の影響で病気が増えたという文を読んだことがある気がする。 | 原発事故や原爆被害で過剰な量の放射線を浴びると病気になったり, 立ち入り禁止になったりしてた。 ただ, 滅菌や病気の早期発見など良いことも多くある。 |
| B | イメージ | 体にあまり良くないイメージ。 | 体に良くないこと良いことがある。 |
| | 理由づけ | 原爆で大量の放射線を浴びて亡くなった人が沢山いるときいたことがある気がするから。けど放射線治療みたいなのも聞いた気がする。 | 原爆とかでたくさんの方が大量の放射線をあびて亡くなったときいたことがあるけど, レントゲンとかも大切だから。 |
| C | イメージ | 危ないもの, 体にたくさんの放射線が入ると良くない。 | 危ない。でもルール(?)を守れば役立つ。 |
| | 理由づけ | 福島原発の時に危ないって言われてたから。 原爆の放射線で沢山の人が亡くなっているから。 | 人に害を及ぼす。レントゲンで病気の発見ができる。 |

ただし、統制群でも、メリット・デメリット的な視点を提示して回答している生徒がいた。例えば、「正しく使えば、レントゲン検査やがんへの照射など、医療で活躍するものとなったり、日常生活でも殺菌や品質持続を図ることができ、とても便利なものとなります。一方、その反面使い方を誤ると、有害なものになります。(後略)」, である。

7. おわりに

本研究では、まず、イギリスにおける放射線の学習に関する理論的な分析を行った。放射線に対する誤概念として、①「放射線」と「放射性物質」を明確に区別できていないこと、②科学的概念とは異なる「放射線は吸収される」という考え方をイギリスの生徒は有していること、の2点が指摘されていた。また、彼らが持つ①や②という考え方に着目することは、生徒が有する誤概念に対応するだけでなく、放射線に関するメディア報道について理解し、放射性物質を利用した科学・技術の利用について意思決定し、原子力発電の議論に参加できる生徒を育てるという観点からも重要であった。加えて、放射線に関する意思決定では、リスクと不確実性の本質を理解することが重視されており、教科書等の分析から、③放射線についてリスクとベネフィットの側面からの理解が意図されていた。

以上のイギリスの放射線教育に関する実態を踏まえて、わが国の放射線を取扱った学習の在り方につ

本田 洸輔・龍岡 寛幸・嶋田 亘佑・磯崎 哲夫(2024),「イギリスにおける放射線の取扱いを参考にした理科授業実践—リスクとベネフィットの理解に着目して—」, 広島大学附属東雲中学校研究紀要「中学教育第 53 集」, 86-106.

いて検討する。先述した通り, 清原 (2015) や熊野 (2012) は, 放射線の学習においては, 放射線についての基礎的な理解と放射線に関するリスクとベネフィットの両方について理解することを重視しており, 意思決定ができる態度や能力の育成が重視されることを指摘している。また, 学習指導要領においても, 放射線の取扱いに関して, 東日本大震災を踏まえて, 放射線についての科学的理解が重視されており, 自然環境の保全や科学技術の利用に関する問題に関して意思決定できるような態度が重視されている (文部科学省, 2018)。つまり, わが国においても放射線の学習においては, 意思決定ができる態度や能力の育成が重要であり, イギリスにおける放射線の取扱いの特徴であり, 放射線の学習の視点である①放射線と放射性物質の違いの理解, ②放射線が吸収された際に何が起こるのかという理解, ③放射線についてリスクとベネフィットの側面からの理解, という 3 点は, わが国においても参考になる。

イギリスにおける放射線の取扱いを踏まえて, 授業デザインを作成し, その効果を検証した。その結果, 量的分析に関しては, Mann-Whitney の U 検定より, 2 群間で有意差が見られなかった。また, r family も小さい効果を示した。なお, その他の問についても Mann-Whitney の U 検定を行い, r family を求めたが, すべての問で有意差は見られず学習の効果に違いは認められなかった。そして, すべての問において, 2 群とも共通して pre テストよりも post テストの点数が高くなっていた。質的分析に関しては, 放射線を学習する前では, 放射線について比較的ネガティブな記述が見られた。実践後, 実験群と統制群に共通して, 「レントゲン」という語が登場するようになった。また, 実験群では, 「レントゲン」に加え, 「メリット」という語が新たに登場していた。

量的分析の結果について, 別の視点から考察すると, これら表 3 の具体的な放射線の取扱いである A ~ F を参考にしながら, 放射線の学習の視点である①から③の 3 点をわが国における放射線を取扱った実践において重視することが可能であることを提案した。このことは, わが国の中学校の理科教育における放射線の取扱いの新しいアプローチになりうると考えられる。

また, 質的分析の結果より, 実験群の学習においてリスクとベネフィットに関する学習を明示的に取り上げたことで, 「メリット」の視点を持つことができたと解釈できる。つまり, わが国の放射線の取扱いにおいて, ③放射線についてリスクとベネフィットの側面からの理解を重視した学習を行う際に, 表 3 の具体的な放射線の取扱いである D ~ F は効果的で, わが国の中学校の理科教育における実践にとって参考になる。

【 附記 】

本稿は, 広島大学大学院人間社会科学研究所修士論文 (2023 年度) の研究成果の一部である。

【 引用・参考文献 】

清原洋一 (2015), 「放射線副読本の改訂と学校における放射線教育」, 『Isotope News』第 731 号, 38-39.

清原洋一 (2014), 「初等中等教育における放射線教育の現状と課題」, 『日本原子力学会誌』第 56 巻, 第 12 号, 754-755.

熊野善介 (2012), 「理科教育に求められる五つの「力」—東日本大震災と巨大津波災害, 原子力発電事故災害を受けて—」, 『理科の教育』第 61 巻, 第 716 号, 22-25.

磯崎哲夫 (2017), 「地学を学ぶ意義についての論考」, 『科学教育研究』第 41 巻, 第 2 号, 246-257.

磯崎哲夫 (2019), 「理科カリキュラム内容構成論—誰が決定し, 何を基準とするのか—」, 『理科教育学研究』第 60 巻, 第 2 号, 267-278.

福島県教育委員会 (2016), 『平成 27 年度 放射線教育推進支援事業 放射線等に関する指導資料〔第 5 版〕』福島県教育委員会.

- 本田 洗輔・龍岡 寛幸・嶋田 亘佑・磯崎 哲夫(2024), 「イギリスにおける放射線の取扱いを参考にした理科授業実践－リスクとベネフィットの理解に着目して－」, 広島大学附属東雲中学校研究紀要「中学教育第 53 集」, 86–106.
- 鶴岡義彦 (2012), 「高等学校の教育課程が目指す学力」, 日本理科教育学会編, 『今こそ理科の学力を問う－新しい学力を育成する視点－』東洋館出版会, 106–111.
- Department for Education (2014), *The National Curriculum in England – Framework Document*. Retrieved from https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/381344/Master_final_national_curriculum_28_Nov.pdf (accessed 2024. 02. 19.).
- 磯崎哲夫 (2010), 「イギリス－科学的リテラシーを育成する新しい科学カリキュラムの構成 原理－」, 橋本建夫・鶴岡義彦・川上昭吾編, 『現代理科教育改革の特色とその具現化』東洋館出版社, 141–149.
- 磯崎哲夫 (2019), 「理科カリキュラム内容構成論－誰が決定し, 何を基準とするのか－」, 『理科教育学研究』第 60 巻, 第 2 号, 267–278.
- 磯崎哲夫 (2005), 「イギリスにおける科学的リテラシーに関する歴史と現状」, 『科学技術リテラシー構築のための調査研究 サブテーマ 1 科学技術リテラシーに関する基礎文献・先行研究に関する調査』, 国立教育政策研究所.
Retrieved from <http://science4all.scri.co.jp/wp-content/uploads/2018/12/sub1-012.pdf> (accessed 2024. 02. 20.).
- 21st Century Science project team (2003), *21st Century Science – A new flexible model for GCSE science*. *School Science Review*, 85(310), 27–34.
- Millar, R., & Milner, B. (1991), *Radiation and Radioactivity*. University of Science Education Group.
- Eijkelhof, H., & Millar, R. (1988), Reading about Chernobyl: The public understanding of radiation and radioactivity. *School Science Review*, 70(251), 35–41.
- Millar, R. (1994), School students' understanding of key ideas about radioactivity and ionizing radiation. *Public Understand*, 3(1), 53–70.
- Millar, R., & Gill, S, J. (1996), School students' understanding of processes involving radioactive substances and ionizing radiation. *Physics Education*, 31(1), 27–33.
- Millar, R., Klaassen, K., & Eijkelhof, H. (1990), Teaching about radioactivity and ionizing radiation: An alternative approach. *Physics Education*, 25(6), 338–342.
- The Royal Society (1985), *The Public Understanding of Science*. The Royal Society.
- Lijnse, P. L., Eijkelhof, H. M. C., Klaassen, C. W. J. M., & Scholte, R. L. J. (1990), Pupils' and mass-media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*, 12(1), 67–78.
- Reynolds, H. (2014), *Activate Physics*. Oxford University Press.
- Millar, R., Miller, J., Reynolds, H., Swinbank, E., Tear, C., & Whitehouse, M. (2016), *Twenty First Century Science GCSE Physics*. Oxford University Press.
- 文部科学省 (2018), 「中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説理科編」学校図書.
- 南風原朝和 (2001), 「準実験と単一事例実験」, 南風原朝和・市川伸一・下川晴彦編, 『心理学研究法入門－調査・実験から実践まで』東京大学出版会, 123–152.
- 水本篤・竹内理 (2008), 「研究論文における効果量の報告のために－基礎的概念と注意点－」, 『英語教育研究』第 31 号, 57–66.
- 城戸楓・池田めぐみ (2022), 「教育工学研究における帰無仮説優位性検定と効果量」, 『日本教育工学会論文誌』第 46 巻, 第 3 号, 579–587.
- 樋口耕一 (2020), 『社会調査のための計量テキスト分析内容分析の継承と発展を目指して 第 2 版』ナカニシヤ出版.