

初等教育教員志望者のための 科学的リテラシーを育成する放射線教育教材の開発

山岡武邦* 山田哲也**

1. はじめに

放射線副読本（文部科学省，2018a）は，小学生，中学生，高校生に向け，放射線の種類や性質，放射線による影響等について理解することができる内容構成である。同書第2章「原子力発電所の事故と復興のあゆみ」の中には，「風評被害や差別，いじめ」という節があり，2011年3月11日に起こった東日本大震災に伴う福島第一原発事故における被災者児童へのいじめ防止に関する記述がある。初等教育教員志望者における放射線教育の意義の一つに，学校現場で目の前にいる子どもが，いじめや風評被害等の現実に直面した際，教師として，どのような対応や行動が取れるのか，について考えることができるという点が挙げられる。ただ，放射線教育は，小学校教育ではなく中学校教育以降で扱われる内容である。その中学校教育においても，平成20年告示の中学校学習指導要領（文部科学省，2008）において，約30年ぶりに「放射線」等の内容が学習指導要領に位置付けられ，放射線教育は重要な局面に差し掛かることになったという経緯がある。その後，2011年（平成23年）3月11日に東日本大震災が起こり，福島第一原発事故をきっかけに原発を巡る国民的議論が巻き起こったのである。福島第一原発事故は，国際原子力事象評価尺度（所謂，INES評価）によれば，チェルノブイリ原発事故と同じレベル7（＝深刻な事故）として判断されている。事故直後，広域複合災害を受け，厚生労働省は急遽，食物，飲料の安全基準として暫定規定値を設けたが，規定値を超える放射線が検出されたことなどから風評被害が起きた。

清原（2012）は，国や社会の今後の在り方，教育の在り方についての根源的な問いを突き付けることになったと述べている。笠（2017）は，福島第一原発事故は，日本の理科教育に重い問題を投げかけたと指摘したうえで，理科教育が科学と社会の関係について考え，公共の議論を作り上げていく方法を学ぶ場を提供しなければならないと述べている。換言すれば，科学と社会の関係を踏まえた教育が重要であると考えられる。例えば，1950年代後半から1970年代に先進諸国でなされた科学教育カリキュラム改革運動，教育の現代化運動に対する反省と反動として，世界中で理論的実践的に深まりを持って，草の根的に広がりをみせてきたSTS“Science/Technology/Society”教育が挙げられる。福島（2021）は，クーン（1962）のパラダイム論はSTSに大きな影響を与えたと指摘している。具体的には，クーンのパラダイム論では，仮説を立て検証を行うといったようなパズル解きとしての通常科学では全く斬新なものを生み出すことができないことが問題提起されている。つまり，基本的枠組みとしてのパラダイムは，増大する反証により維持できなくなり，劇的に理論的变化を起こすことがあると考えられる。また，大洲（1991）はクーンのパラダイム論以降，STSが科学論の主流を占めるようになってきたと述べている。つまり，科学史や科学哲学のみならず，STSに大きな影響を与えたとともに，科学論の主流を占めたパラダイム論に基づき，科学的リテラシー論なども議論されており，理科教育にも大きな影響を与えたと考えられる。小川（1993）は，1982年のNSTA（全米科学教師協会）による基本声明は「科学と技術と社会がどのように影響し合っているのかを理解し，その知識を日常生活での意思決定に用いることができる」という古い科学観に基づくSTS教育であったことを指摘した。一方，新しい科学観に基づくSTS教育は，客観的で価値中立的な性

* 東海学園大学教育学部 ** 湊川短期大学人間生活学科

質を持った科学を否定するものであり、クーンのパラダイム論が、新しい科学教育を支える一つの理論としての基本的枠組の一つになったものであると考えられる。この新しい科学観を取り入れたSTS教育は、学習者が獲得した知識から構成される理論レンズで世界を眺めることを意味するとともに、そこで謳われている科学的根拠を基にした思慮深い判断をする科学的リテラシーは、平成29年告示の学習指導要領における各教科の見方・考え方の説明に通じるものがある。実際に、平成29年告示の中学校学習指導要領では、教科横断的視点で現代的な諸課題に対応して求められる資質・能力を育成していくことが述べられている(文部科学省, 2018b)。現代社会は、科学技術に関連する様々な事象が交錯し、成り立つ高度科学技術社会であり、生活を営む上で、多くの恩恵を受けている。その反面、現実世界には、東日本大震災、熊本地震、新型コロナウイルス感染症の流行拡大等の諸課題がある。次代を担う子ども達が、将来、同じような困難に直面した場合においても、力強く乗り越えていくための教科横断的視点で実施される科学的リテラシーを育成するための教育は、大変意義深いと考えられる。

2. 研究目的

本研究では、児童・生徒の科学的リテラシーを育成するために多くの情報源からの確に情報を収集し、科学的根拠を基にした思慮深い判断が行えるような科学的な見方・考え方を踏まえた教育活動を行うための放射線教育に関する教材を開発することを目的とした。

3. 研究方法

(1) 時期及び調査対象

2021年7月から9月にかけて、愛知県の私立大学教育学部に在籍する初等教育教員志望者1から4年生のうち、教材開発を行う探究活動を希望した学生9名(内訳は1年生男子2名, 2年生男子1名, 3年生男子2名, 4年生男子2名, 女子2名)を対象に、放射線教育教材の開発を行う実践を試みた。

(2) 放射線の専門家による出張講義及び事前・事後学習

2021年8月1日、放射線の専門家を大学に招き、放射線に関する講義を行った。また、2021年8月27日、Web会議システムを利用し、放射線の専門家との意見交換を行った。一般に、出張講義を受け身の姿勢で受講した場合、一過性のイベントとして捉えてしまうことが多く、講義当日の充実感以外、何も残らないという結果に終わってしまうこともある。そこで、放射線の専門家とEメールやWeb会議システムを利用し、研究打合せを行ったうえで、当該学生に対し、以下のような事前・事後学習を提示した。

(2-1) 事前学習

放射線に関する基礎事項が記載されている放射線副読本(文部科学省, 2018a)や、昨年度、調査対象校の学生が作成した作品を用いた学習を行うことで、興味を持った点や疑問点をまとめさせた。

(2-2) 出張講義

放射線の専門家による出張講義は、2日間にわたり実施された。1日目(2021年8月1日)は、霧箱実験、簡易放射線測定器を用いた自然放射線測定、などを通じて放射線の基礎的内容を学習するものである。なお、1日目に実施された出張講義は、昨年度も同じ時期に実施した。したがって、大学4年生4名は、前年度(2020年)に既に受講済みであったため、今回は参加していない^{註1)}。また、2日目(2021年8月27日)は、作品作りのための意見交換を中心とした内容を学習するものであり、Web会議システムを活用し、希望者のみで実施した。

(2-3) 事後学習

事後学習は、放射線教育に関する教材を開発するという内容である。今年度、参加学生は、小人数とはいえ、対象学年が1年生から4年生というように全ての学年にわたっていた。そのため、授業で助言を述べる等の時間をとることができず、教材開発は、全て授業時間外であることが前提になっていた。ただ、学生とはEメール等を通じて、その教材にあるコア概念、教科横断的概念等を、参加学生全体で共有する方法で実施した。

(3) 事後学習で開発する放射線教育教材のコンセプトについて

おしなべて学校現場で施設見学等を通じた専門家との交流は、学習者にとって非常に学問発展性が高いものである。ただ、現実問題として、クラス全体が施設見学に行くのは、時間的にも予算的にも極めて困難であり、いつでも実施可能とは言い難いものである。この状況を踏まえ、山岡ら(2020)は「いつでも・どこでも・だれでも」というスローガンで、放射線教育用情報カード教材を用いた実践を行っている。このスローガンを参考にして、次の3つの条件を想定したうえで、実践可能な教材開発を試みた。

条件1) 季節に関係なく、いつでも実践可能なこと。

条件2) どの学校に赴任したとしても、どこでも実践可能なこと。

条件3) 例えば、興味を持った教師がいた場合、教材を紹介するだけで、だれでも実践可能なこと。

なお、完成した作品は、公益財団法人日本科学技術振興財団主催「2021年度放射線教材コンテスト」に応募することにした。

4. 結果と考察

(1) 事前学習の結果

放射線副読本(文部科学省, 2018a)や、昨年度、調査対象校の学生が作成した作品を学ぶことで、生じた興味や新たな疑問等があれば、ノートに記録させた。その結果、日常の中の放射線、放射線の産業利用等、ある一定の共通した分野がみられた。代表的な記述例を表1のようにまとめた。

表1 生じた興味や疑問について(一部)

共通する分野	具体的な記述例
日常の中の放射線	放射線をできるだけ日常生活で受けずにいるためにはどうしたら良いか。
	日常の中には放射線に関連したものがたくさんあることが分かった。
放射線の産業利用	放射線でゴムやプラスチックを固くしたり、体の異常を調べたりしているが、何も害がないのか気になった。
放射線の人体影響	放射線によって受ける体への影響は何か。
	放射線が、人にとって有害か、無害かを判断する基準はあるのか。
	被ばくによって体に影響があるだけでなく、遺伝的に影響があるのだろうか。
放射線の科学的理解	放射線の科学的なことを説明できないので、今後、調査していきたいです。
	どうして放射線は物の性質を変えることができるのか。
放射線のイメージ	放射線は悪いイメージしかなかったですが、産業利用以外にも良い影響を知りたいです。

(2) 出張講義の内容

放射線の専門家による出張講義は、2日間にわたり実施された。図1は、1日目の様子である。放射線副読本(文部科学省, 2018a)の内容を中心とした講義がなされた。学生達は、既に事前学習として調べ

学習をしてきたので、活発な意見交換をすることができた。例えば、霧箱実験は、放射線の飛跡を観察できる実験であるが、そもそも雲ができるのは何故か、等の疑問がでてきた。それに対し、図2のように、ドライアイス小さく割ったものを空気中にばらまき、仮想の雲を作るという実験を行った。



図1 出張講義の様子



図2 雲を作る実験

理論的な講義に加え、霧箱実験や簡易放射線測定器を用いた自然放射線測定等、具体的な実験を通じて放射線の基礎的内容を学習した。図3は、実際に使用した霧箱実験の道具である。演示実験ではなく、個別で学生実験を行った。図4は、この実験道具を用いて観察した放射線の飛跡である。



図3 霧箱の実験道具



図4 放射線の飛跡

図5は、簡易放射線測定器で様々な試料（船底塗料、湯の花、カリ肥料、食塩など）を測定している様子である。表2に結果の一部を示す。この表に示すとおり、1回目の測定値と2回目の測定値にばらつきがあることがほとんどであり、このようなばらつきのあるデータをどのように処理し、どのように理解していくのか、という点も放射線教育の重要な点となると考えられる。



図5 自然放射線測定

表2 簡易放射線測定器を用いた実験結果（一部）

試料	湯の花 ($\mu\text{Sv/h}$)	カリ肥料 ($\mu\text{Sv/h}$)	花こう岩 ($\mu\text{Sv/h}$)
1回目	0.044	0.027	0.035
2回目	0.039	0.051	0.038
3回目	0.048	0.047	0.041

さらに、試料の前に壁（ステンレス、アルミニウム、鉛など）を置いた場合どうなるか、また測定する場所を遠くすればどうなるか、といったような図6に示す実験も行いながら、距離、遮蔽等に関する放射線の基礎的事項を学んでいった。

出張講義1日目を受講した後、学生は自分自身が興味を持った点をレポートにまとめるという作業を行った。この作業は、学生にとって、非常に困難な点もあり、途中でリタイヤしたいと申し出る学生が若干名いた。そこで、困難な点の共有や、不安な点を解消していくために、出張講義2日目を開催した。出張講義2日目は、作品作りのための意見交換を中心とした内容を学習するものであり、Web会議システムを活用し、希望者のみで実施した。どの文献を見ればよいのか、何をキーワードにして調べていけば良いのか、といったような基本的な探究活動の内容や、本当にこの内容で良いのか、もっと深めるためには何をすれば良いのか、といったような作品のレベルを高めていくことに関する内容の情報共有や意見交換を行った。その結果、一端リタイヤを希望した学生も、とりあえずコンテストに参加するまでは頑張ってみよう、という前向きな姿勢がみられた。



図6 放射線の特徴を調べる実験

(3) 事後学習の結果

出張講義の内容を踏まえ、学生自身の興味を深めるための教材開発を試みた。完成した作品は、表3に示す①から⑦の7作品である。共著で仕上げた作品も考慮すると、9名全員が作品を完成させ、公益財団法人日本科学技術振興財団主催「2021年度放射線教材コンテスト」に応募することができた^{注2)}。

表3 完成した作品

	完成した作品のテーマ	製作者	内容	主たる教材
①	トランプカード教材を用いたランダム現象のサイエンス	1年生男子1名	半減期	カードゲーム教材
②	プログラミング教材を用いたランダムな現象	4年生男子1名, 4年生女子1名	半減期	プログラミング教材
③	この土器は何千年前のものでしょうか	1年生男子1名	半減期	カードゲーム教材
④	放射線利用に関する未来予想図	2年生男子1名	産業利用	カードゲーム教材
⑤	“Think-Pair-Share” に基づいたグループ分けゲーム	3年生男子1名, 4年生女子1名	産業利用	カードゲーム教材
⑥	簡易放射線測定器で得られるデータの捉え方	3年生男子1名	放射線の性質	簡易放射線測定器
⑦	市民のための科学的リテラシーを育む問い	4年生男子1名	放射線の性質	紙芝居教材

表3の3作品は内容的に半減期の説明を行う教材であり、4作品はカードゲーム教材を主としたものとなっている。研究をはじめめる段階で、学生の興味や疑問を抱いた点に重なる部分はみられたが、探究活動を進めていくにしたがって、結果として別の作品に仕上げることができた^{注3)}。以下、具体的に、教材開発に携わった学生自身が、教材に込めた思いを手掛かりとして、内容面を検討してみたい。

(3-1) トランプカード教材を用いたランダム現象のサイエンス

(1年生男子1名)

霧箱は、そのまま観察しても不思議な現象である。ただ、ランダムな現象を実感したうえで、霧箱を観察することができれば、放射性物質の性質を理解することができるという点に着目している。サイコロやトランプを用いて、ランダム現象を楽しむことを授業の導入で扱い、まとめて霧箱実験を行うという授業計画を立てることができる。なお、サイコロは図7に示す20面体サイコロを事例として、ランダムな現象を検討しようとしている。



図7 20面体サイコロ

(3-2) プログラミング教材を用いたランダムな現象

(4年生男子1名, 4年生女子1名)

ランダムな現象を伝えるために、プログラミング教材を用いた小学生を対象とした授業を検討している。そこで、図8に示すプログラミング教材を用いて、自分でプログラムをしたロボットに、サイコロを投げさせ、ランダムな現象を体験できる教材を開発した。



図8 プログラミング教材

(3-3) この土器は何千年前のものでしょうか (1年生男子1名)

例えば、「この土器は何千年前のものでしょうか。」という問いに答える授業の導入場面で、放射線とは全く関係のない土器の話から始まり、オセロやサイコロのゲームを行う中で半減期の原理を学び、土器の問いにも答える中で、放射線のことを学ぶことができる教材を検討した。半減期の原理は、オセロ、サイコロ、じゃんけんなどを事例として、ランダムな現象を検討しようとしている。この教材は、科学の問いと関連させようとしている点が、(3-1)、(3-2)の作品と異なっている。

(3-4) 放射線利用に関する未来予想図 (2年生男子1名)

原子力発電所の事故と強く結びつけてしまうと「放射線」は怖い、と考えることがある。ただ、放射線は医療・農業・工業・環境保全など多くの場面で有用に活用され、その恩恵を受けて生活している。子ども達に、放射線が、様々な分野で利用されることに気付かせたいと考えているように、授業の導入場面で活用可能な、図9に示すカルタのようなカード教材(絵札と文字札)を検討している。



図9 カードゲーム教材

(3-5) “Think-Pair-Share” に基づいたグループ分けゲーム (3年生男子1名, 4年生女子1名)

カード教材を用いて、導入場面で活用できる点は(3-4)とよく似ている点である。ただ、図10に示すカードを用いて、グルーピングをするという点は、異なっている。さらに、図11に示すワークシートを用いて、Think(一人で思考)、Pair(隣の人と話し合い)、Share(全体で共有)という内容を記入するようにする。話し合いが活性化されるのは、一人で考える時間を設けるためであると考えられる。一人ひとりが考えることで、全体で共有する際に、考えたことを選択肢が広がりを見せる、言い換えれば、クラス全体を巻き込んだ話し合いになる点が重要である。



図10 カードゲーム教材

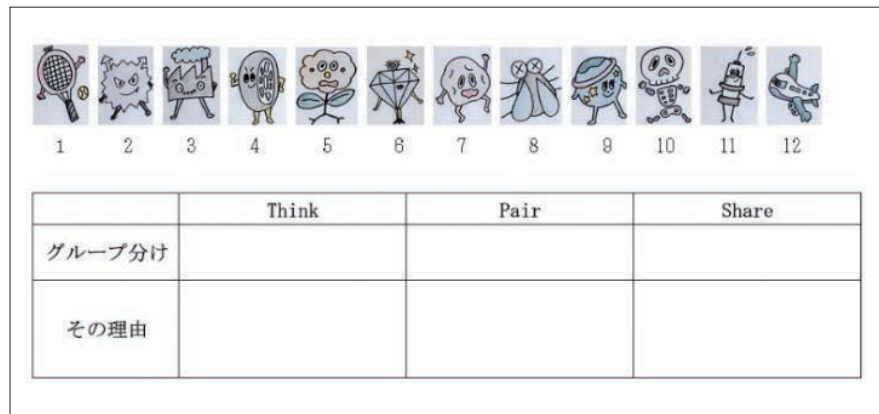


図11 グループピングの根拠を深めているワークシート

(3-6) 簡易放射線測定器で得られるデータの捉え方 (3年生男子1名)

8台の測定器で実験を用いて、約4時間実験を行い、1万回の測定を行った。1万回の測定結果の平均値は $0.063 \mu\text{Sv/h}$ であり、これを真の値 “true value” とみなした。1万回の測定結果のうち、ランダムにとった連続する100回分のデータは、 $0.065 \mu\text{Sv/h}$ であり、相対誤差は、3.8% であり、5.0% 以下であった。同様に、1万回の測定結果のうち、ランダムにとった連続する25回分のデータは、 $0.066 \mu\text{Sv/h}$ であり、相対誤差は、4.8% であった。10～25回程度の測定で、相対誤差が5.0% になる点がみられる。その結果、測定に当たっては、10～25回程度の平均が良いことが分かった。

また、この教材は、信頼性か、正確性か、を考える格好の教材である。図12のように、AさんとBさんがダーツゲームをした。Aさんは7点、Bさんは5点のため、Aさんの勝ちだが、Bさんの結果はまとまっておらず、Aさんよりも信頼性があった、と考えられる。これは、例えば、実験で「3, 4, 17, 3, 2, …」といったようなデータが得られた時、「17」をどう扱うかを検討するための教材である。

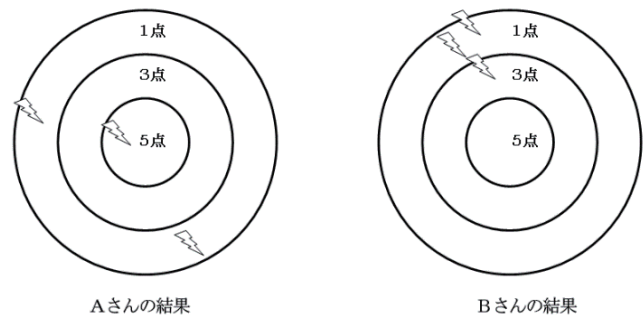


図12 ダーツを事例とした信頼性と正確性

(3-7) 市民のための科学的リテラシーを育む問い (4年生男子1名)

比喩をモデル化して描いた紙芝居を提示し、どのたとえなら上手く説明できるかについて話し合い活動をさせる。紙芝居の絵は、電球、花火、蛍、ライト、キャッチボールなどを作成した。正解は存在せず、児童が主体的に学び、自分自身が説明しやすい「放射線モデル」を発見することを目標とした。そのうえで「レントゲンは放射線、キュリー夫人が放射能を発見した」という例文が、正しいかどうかを議論するのも面白いであろう。そのうえで、福島県内の一部の市をトレースした紙芝居を使用し、原子力発電所の事故後の空気中の放射線の量が変化する様子を、自身が発見した「放射線モデル」を用いながら説明できるようにする教材にし、「予防原則 (距離, 遮蔽, 時間)」の観点から説明せよ。」といったような問いで、どのような意思決定を行い、どのような行動に移していくべきかを考えさせる教材になっている。実は、この問いは、笠 (2013) で紹介された英国のCGSE科学の問いであり、安全性やリスクに関して現在基本となる考え方を基にして、根拠を示しながら自分の考えを述べる点で、市民のための科学的リテラシーが要求されるレベルの内容として提示されている点が興味深い。

5. まとめ

放射線の性質であるランダムさという現象を、サイコロ、じゃんけん等の比喩を用いて理解させることや、授業の導入場面で、手作りのカード教材や紙芝居教材等を用いて理解させること、さらには、理解を深めるためのワークシート作成等、様々な教材に対する工夫がみられた。今回は、特に、市民のための科学的リテラシーが要求されるレベルの科学的な問いと関連付けた教材がみられた。このような教材は、科学的知識という知識・理解を活用していくため、より高次な思考が要求される。最終的に、科学的根拠に基づく高次思考を促す議論となることが期待されるものなので、今後、重要性を増すものと考えられる。本研究で実施されたように、実際に実験を行うなかで、実験計画のデザインを見直すという試みの繰り返しによるビルドアップ型の教育について、今後検討を重ねていきたい。

謝辞

本研究の一部はJSPS科学研究費助成事業20K14121, 21K02620, 18K02602の助成を受けたものである。

注

- (1) 2020年度、調査対象校の学生（当時3年生）5名が、今年度と同じ学習内容の出張講義を受講した。この講義受講者は、出張講義で学んだことを作品にまとめ、公益財団法人日本科学技術振興財団主催「2020年度放射線教材コンテスト」に参加した。全国から101件の応募がある中、調査対象校の学生が、優秀賞（2作品）及びディスカバリー・ジャパン賞／特別賞（1作品）を受賞した。なお、2020年度のコンテストに参加した5名のうち、4名が今年度（2021年度）も参加した。この4名は、出張講義1日目の実験等については昨年度と同じ内容であったため受講せず、出張講義2日目の作品作りのための意見交換を中心とした内容を学習するWeb会議に参加した。
- (2) 公益財団法人日本科学技術振興財団主催「2021年度放射線教材コンテスト」では、全国から93件の応募があり、調査対象校の学生が、優秀賞（1作品）及び全国小学校理科研究協議会賞／特別賞（1作品）を受賞した。
- (3) 第一著者は、これまでに多くの中学生や高校生の課題研究活動に携わってきた経験がある。その際、同じテーマで探究活動を始めたとしても、生徒たちの興味が全く同じということは無いため、仕上がった作品は全く別の作品になる、という結果に必ずなった。なお、本研究においても、スタート地点では全く同じテーマであった作品が数点あった。実際に、当該学生より「同じテーマなので、別のテーマにしたほうがいいですか。」という質問も出たが、「自分の思うテーマで進めてください。」という助言をするようにした。その結果、今回も例外ではなく、仕上がりは全く別の作品になった。この「同じテーマで探究活動を始めたとしても、仕上がった作品は全く別の作品になる」という点は、課題研究を担当する教師が心得ておくべき重要な視点であると考えられる。

引用・参考文献

福島真人著、日比野愛子・鈴木舞・福島真人編（2021）、科学技術社会（STS）テクノサイエンス次代を航行するために、新曜社、pp. 8-13.

清原洋一（2012）、東日本大震災と日本の教育の将来（2011日本エネルギー環境教育学会特別シンポジウ

- ム：震災復興とエネルギー環境教育), 日本エネルギー環境教育研究, 6 (2), pp. 91-94.
- 文部科学省 (2008), 中学校学習指導要領 (平成20年3月告示), 東山書房, pp. 52-57.
- 文部科学省 (2018a), 中学生・高校生のための放射線副読本—放射線について考えよう—, pp. 1-21.
https://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1409776.htm (2021年10月9日閲覧).
- 文部科学省 (2018b), 中学校学習指導要領 (平成29年3月告示), 東山書房, pp. 57-73.
- 小川正賢 (1993), 序説STS教育—市民のための科学技術教育とは—, 東洋館出版, pp. 17-28.
- 大洲隆一郎 (1991), STS理科カリキュラムに関する基礎的研究 I—STS教育運動についての科学的考察—, 日本理科教育学会研究紀要, 31 (3), pp. 37-47.
- 笠潤平 (2013), 原子力と理科教育—次世代の科学的リテラシーのために—, 岩波書店, pp. 24-35.
- 笠潤平著, 本堂毅・平田光司・尾内隆之・中島貴子編 (2017), 科学の不定性と社会—現代の科学リテラシー入門, 信山社, pp. 122-135.
- トーマス・クーン著, 中山茂訳 (1962/1971), 科学革命の構造, みすず書房, pp. 26-47.
- 山岡武邦, 沖野信一, 松本伸示 (2020), 放射線教育用情報カード教材「DUO×DUO」を活用した高等学校理科授業の実践とその評価, エネルギー環境教育研究, 14 (2), pp. 3-11.