

エネルギーミックスを扱ったシミュレーション活動教材の開発 - 中学校理科「科学技術と人間」での授業実践を通して -

大鹿 聖公* 小比賀 正規**

* 理科教育講座 (理科教育)

** 名古屋市立高針台中学校

Development of Simulation Teaching Material for Energy Mix: Through Class Practice in unit of Science, Technology and Human of Junior High School Science

Kiyoyuki OHSHIKA* and Masaki KOHIGA**

*Department of Science Education, Aichi University of Education, Kariya 448-8542, Japan

**Takabaridai Junior High School, Nagoya 465-0055, Japan

I. 研究の背景

1 東日本大震災以降のエネルギー問題について

2011年3月11日14時46分、東北地方太平洋沖地震が宮城県三陸沖で発生した。この41分後に福島県双葉郡大熊町にある東京電力福島第一原子力発電所を大津波が襲った。その結果、非常用炉心冷却装置が機能しなくなり、燃料棒が露出、原子炉内に水蒸気が充満し、水蒸気爆発を起こし放射性物質が拡散される事故が発生した。この震災での被災状況などについては内閣府ウェブサイト防災情報のページ¹⁾や防災白書²⁾でとりまとめられているが、想定外の津波によって福島原発が壊滅的な被害を被った。この震災を受け、2012年5月に国内すべての原子力発電所の運転が停止となった。2019年8月現在では、九州電力川内・玄海原子力発電所4基と関西電力大飯・高浜原子力発電所4基、四国電力伊方発電所1基の計9基が発電を再開している³⁾が、我が国におけるエネルギー問題への関心は震災以降極めて高くなり、原子力発電の廃止や継続について、また、太陽光発電を含めた再生可能エネルギーへの移行や開発についてなど、さまざまな議論が行われてきている。

文部科学省は、「このような特別の状況に国民一人一人が適切に対処していくためには、まず、放射線等の基礎的な性質について理解を深めることが重要である」⁴⁾とし、エネルギー教育の重要性が認識され、放射線等に関する副読本が見直されている⁵⁾。平成29年に改訂された学習指導要領においても、放射線に関する教育の重要性を反映し、中学校理科での取り扱いは、

第3学年に加え、第2学年でも扱うこととなった⁶⁾。

平成20年改訂学習指導要領による中学校理科においては、自然環境の保全や科学技術の利用に関する問題などに関して、持続可能な社会の構築を考慮し、科学的な根拠に基づいて賢明な意思決定ができるような力を身に付ける必要があるとされている⁷⁾。そして、中学校理科の総括的単元である「自然環境の保全と科学技術の利用」では、新エネルギーの利用と環境への影響や原子力の利用とその課題などのテーマを挙げ、それらの設定したテーマに関する科学技術の利用の長所や短所を整理させ、同時には成立しにくい事柄について科学的な根拠に基づいて意思決定させるような場面を設けることが求められている⁸⁾。

2 エネルギーミックス

エネルギー基本計画において、「電力供給においては、安定供給、低コスト、環境適合等をバランスよく実現できる供給構造を実現すべく、各エネルギー源の電源として特性を踏まえて活用することが重要」だとされ、発電方法のそれぞれの特性を踏まえ、安全性、供給安定性、経済性、環境保全などの観点から最適な電源構成を組み合わせて使用することが求められている⁹⁾。このように発電方法には様々な特徴があり、特定の電源に依存せず、複数の電源を組み合わせることをエネルギーミックスとよんでいる。

現在の日本における発電構成比割合(エネルギーミックス)は、火力発電が約88%、水力発電が約9%、原子力発電が1%、新エネルギーを利用した発電が2%という割合になっており、火力に依存した現状が見ら

れる。しかし、福島第一原子力発電所での事故以前は、火力発電が抑えられ61.7%、原子力発電が28.6%、水力発電が8.5%、新エネルギーを利用した発電が1.1%となっていた¹⁰⁾。東日本大震災以前は、温室効果ガスの排出を抑えるために、火力発電の割合を減らし、原子力発電の割合を増やすことが求められていた。

このようにエネルギーミックスは、安全性、供給安定性などのバランスによって、同じ国でもあっても時代によって変化するとともに、地域によっても変化する。例えば、石油産出量世界一のサウジアラビアではほぼ全ての電力を火力発電でまかなっている。また、フランスは原子力発電を8割程度使用して発電を行っている¹¹⁾。安定供給、経済、環境さらに安全面は全て重要視すべき視点であるが、同時に成立しにくい事柄でもある。それゆえ、エネルギーミックスの決定にはそれらのバランスを考え意思決定していくことが必要であり、科学的な根拠に基づいて意思決定させるような場面で取り上げるテーマに最適であると考えた。

3 中学校理科教科書における「エネルギーミックス」の取扱い

中学校理科教科書において、エネルギーミックスに関する記述や図は、出版されている全5社において取り上げられている¹²⁻¹⁶⁾。教科書での記載の多くは、現在の日本では火力発電・水力発電・原子力発電の3つの発電方法を中心に発電が行われていること、火力発電には温室効果ガスや化石燃料の枯渇などの問題があるために新エネルギーの開発などが求められていることに触れている。また、エネルギーミックスに関連した図としては、我が国の発電構成比割合の経年変化や各国の発電構成比割合が示されているものがあつた。しかし、いずれも資料提示にとどまっておろ、どのようなエネルギーミックスが良いのかを考えさせ、意思決定させるような活動は見られなかつた。

4 「エネルギー問題」を扱った先行研究

中学校理科における「エネルギー問題」に関する授業実践では、これまでも原子力発電の利用の賛否についての意思決定を図る取り組みが行われている。

打田らは、多面的な考察を通した意思決定をさせるために、環境・発電方法・経済の3つの視点から日本の発電事情について考察するためのエネルギーミックスの教材化に取り組んでいる¹⁷⁾。また、内田は原子力発電の賛否を含む未来のエネルギー政策を題材としたプログラム開発に取り組んでいる¹⁸⁾。

しかし、これらのエネルギー問題に関してエネルギーを扱った先行研究では、生徒たちが考えた未来のエネルギーの理想形態を客観的に判断することが難しいと考えられる。証拠に基づいた科学的な理解が求められている理科では、エネルギー政策に関する意思決

定においても実験観察や体験などと同様に、活動を通して、根拠をもった思考や判断が必要と考えた。

5 研究の目的

本研究では中学校理科第3学年の学習単元「科学技術と人間」において取り扱うエネルギー問題に焦点を当て、放射線を扱う原子力発電や化石燃料の有限性に伴う火力発電、再生可能エネルギーの代表とされる太陽光発電などの発電方法の構成比割合を示す「エネルギーミックス」に関する教材開発を行った。また、この教材を用いた授業実践を通して、その効果などについて検証した。

II. 開発した教材について

1 シミュレーション教材の概要

本研究では、生徒が主要な発電方法の仕組みや特徴の理解を深め、「エネルギーミックス」の評価を行うことができるよう、ある選択した「エネルギーミックス」の1日の発電状況をシミュレーションできる教材を開発した。シミュレーション活動では、各発電方法の発電量をシナリオやサイコロによる条件で決定するようにした。

教材の中心となるシミュレーション活動は、図1に示すシミュレーションを行うワークシートと図2に示すシミュレーションの進め方について描かれたプリントを用いておこなうものとした。

本研究で開発した教材では、取り扱う発電方法を火力発電、水力発電、原子力発電、太陽光発電、風力発電の5種類とし、「エネルギーミックス」を10個のマスをを用いて表すことにした(図1上部)。10個のマスが発電構成比の100%を表し、1マスが10%を表すものとした。そして、それぞれのマスに火力発電・原子力発電・水力発電・太陽光発電・風力発電の中から1つずつを入れて、エネルギーミックスを表すようにした。例えば、火力が約88%、水力が約9%、原子力が1%、新エネルギーを利用した発電が2%という現在の日本のエネルギーミックスは、本教材では火力9マス、水力1マスで表現することにした。

シミュレーション活動は1日を6つの時間帯(0~4時、4~8時、8~12時、12~16時、16~20時、20~24時)に分け、それぞれの時間帯ごとに発電量のシミュレーションを行うものにした。時間帯のうち、0時~4時と20時~24時までを夜間、4時~20時を昼間とした。10マスの総発電量を100とし、需要量は1日の中で最も電力が必要な時間帯の需要量を90として、0~4時を40、4~8時を70、8~12時を80、12~16時を90、16~20時を70、20~24時を60とした。これらの数値は、一般日本原子力文化財団が提供する『『原子力・エネルギー』図面集』の図「最大電力発生

日における1日の電気の使われ方の推移」を元に設定した¹⁹⁾。

2 発電量のシミュレーション方法

各発電方法における発電量のシミュレーションは、教科書の記述をもとに、生徒が理解すべき発電方法の特徴を挙げ、それに合わせて設定をした。各発電の特徴と教材での設定は以下の通りとした。

○火力発電

電力需要量が多くなる時間帯に電力を供給する主要な電源として使用される火力発電は、電力需要量に合わせて発電量を比較的簡単に変化させることができる。そこでシミュレーション活動においては、需要量に応じて発電量を自由に決定することができるものとした。

○原子力発電

核反応によって発生した熱を利用して発電が行われる原子力発電は、一度核燃料の反応を始めるとすぐに停止することが難しい。そのため、1日中一定の電力を発電するベース電源として使用されている。そのため、シミュレーション活動においても発電量は一定であるものとし、常に一定の電力を発電するものとした。1マスあたり10が常に発電されることとした。

○水力発電

水力発電は大きく揚水式水力発電と貯水式発電方法の2つに分けられる。シミュレーション活動では貯水式水力発電を取り上げ、その特徴を考慮し、生徒の話し合いによって自由に発電量を定めることのできるものとした。

○太陽光発電及び風力発電

太陽光発電及び風力発電に関しては、天候によって発電量が大きく左右されるために、シミュレーション活動においては、サイコロによって天候を決定し、それによって発電量が決定されるようにした。

これらの設定をもとに、シミュレーション方法を決定し、それらを進め方としてプリントにまとめたものが図2の進め方プリントである。

3 評価観点の設定

教材を用いた活動からエネルギーミックスの評価を行うための観点として、安定供給、安全面、環境面の3つの観点を設定した。

●発電方法のベストミックスを考えよう！ 3年 組 氏名
氏名

シミュレーションするエネルギーミックス

シミュレーション結果

時間	需要量	火力	原子力	水力	太陽光	風力	総発電量	停電
		4	0	0	0	6		
0-4	40		0	0	0			
4-8	70		0	0	0			
8-12	80		0	0	0			
12-16	90		0	0	0			
16-20	70		0	0	0			
20-24	60		0	0	0			

●評価

停電した回数 合計 回

温室効果ガス (火力発電で発電した電力10ごとに、矢印の方向で1つ塗りつぶしていきましょう。)

放射性廃棄物 (原子力発電で発電した電力10ごとに、矢印の方向で1つ塗りつぶしていきましょう。)

シミュレーションの結果がまとまると、シミュレーションをしたエネルギーミックスの特徴をまとめよう！

図1 活動で使用するワークシート

エネルギーミックスを考えよう！ シミュレーションの進め方

1日を4時間ずつ6つの時間帯に分けて、それぞれの時間帯に必要な 発電量 と 発電量 をシミュレーションしていきます。

STEP 1 原子力発電所の発電量を決めよう！

原子力発電所は、一度発電を始めるとなかなか発電量を減らすことができません。発電所1ヶ所につき、1日中、常に10発電します。

STEP 2 太陽光発電所の発電量を決めよう！

太陽がさんさんと降りそそいでいるときは、たくさん発電できますが、空が曇り覆われ太陽の光が少ないときにはほとんど発電することができません。そして、太陽の出ない夜間(0-4時-20時-24時)は発電することができません。

発電量の決め方 サイコロを振って決めましょう！
(3カ所太陽光発電所があれば、発電量を3倍しましょう)

天気は快晴 発電量10 曇り空! 発電量5! 天気は雨! 発電量0!

STEP 3 風力発電所の発電量を決めよう！

風力発電所は、太陽光発電所と同様に、自然のエネルギーである風を使用しています。そのため、風が吹かなければ、発電することができません。

発電量の決め方 サイコロを振って決めましょう！
(3カ所風力発電所があれば、発電量を3倍しましょう)

強風注意! 発電量10 ちょうどよい風! 発電量5! 無風! 発電量0!

STEP 4 火力発電所・水力発電所の発電量をそれぞれ決めよう！

火力発電所は、燃料を燃やす勢いを変えることで、水力発電は、流す水の量を変えることで、簡単に発電量を減らすことができます。

そのため、グループで話し合い、発電量を自由に決められます。

8カ所、火力発電所があれば、0-80の間で自由に発電量を決められます。しかし、1カ所しか火力発電所がなければ、0-10の間でしか発電量を定めることができません。

●必要な発電量よりも発電量が少ない場合は、停電をしてしまいます。
●火力発電を使うと、温室に悪影響を及ぼすとされている温室効果ガスが出てきてしまいます。発電量10につき、まるを1つ塗りつぶしましょう!
●原子力発電を使うと、人体や作物に影響を与える可能性のある放射線を出す放射性廃棄物が出てきます。発電量10につき、まるを1つ塗りつぶしましょう!

図2 シミュレーションの進め方プリント

安定供給については、シミュレーションを行う「エネルギーミックス」が安定的に電力を供給することができるかを評価させるために、停電の回数を基準とすることとした。10マス分の各発電方法の発電量の合計が需要量に届かない場合には、停電が起きてしまうこととし、図1のワークシートの結果の表の右端に記入するようにした。

安全面については、原子力発電での発電量に応じて放射性廃棄物が排出されるようにし、安全面の評価が行えるようにした。

環境面については、温室効果ガスの発生を取り入れ、放射性廃棄物と同様に、火力発電の発電量に応じて温室効果ガスが排出されるように設定した。

放射性廃棄物と温室効果ガスはどちらも発電量10あたりに1つの丸を塗りつぶすようにさせることで、計算を簡単にし、どれだけの量が排出されたのかを視覚的にわかりやすくした（図1下部）。

4 シミュレーション活動の進め方

シミュレーション活動を始める前に、シミュレーションを行う発電方法を組み合わせた各自の「エネルギーミックス」を決める。図1に示したワークシートの上にある10マスに1マスずつ5種類の発電方法のいずれかをあてはめ、シミュレーションを行う「エネルギーミックス」を決める。

次に、1日を4時間ごとに分けた時間帯ごとにシミュレーション活動を進める。進め方は図2のプリントを見ながら行う。各時間帯では、はじめに原子力発電の発電量を決める。前述の通り、シミュレーションをする「エネルギーミックス」の中にある原子力発電のマス数で自動的に原子力発電の発電は決定される。例えば、2マス原子力発電があれば20となる。次に太陽光発電と風力発電の発電量を決める。ここではサイコロを振って天候や風力の状況を決定し、それに従って発電量を決定する。1もしくは2が出れば、1マスあたり発電量10、3もしくは4が出れば、1マスあたり5、5もしくは6が出たら、1マスあたりの発電量は0と設定した。また太陽光発電だけは太陽の出ている夜の時間帯（0～4時、20～24時）は発電量0とした。最後に火力発電と水力発電の発電量を決定する。前述の通り、どちらも発電量を容易に変更可能な発電方法であるため、生徒が自由に1マスあたりの発電量を0～10の範囲で自由に決定できるようにした。

この一連の発電量の決定の流れを6つの時間帯全て行った後で、停電の回数、放射性廃棄物の量、温室効果ガスの量をワークシートに記入させる。

活動のまとめとして、シミュレーションを行った「エネルギーミックス」のよい点、悪い点をまとめる。

以上が、本研究で開発した教材の概要と用い方である。

Ⅲ. 授業実践について

1 実践の概要

開発したシミュレーション活動の教材としての有効性を検討するために、2015年7月に愛知県内の公立N中学校第3学年2クラス（生徒数80名）を対象に授業実践を行った。授業実践は45分授業、2授業時間分で行った。授業の流れは図3に示した通りである。

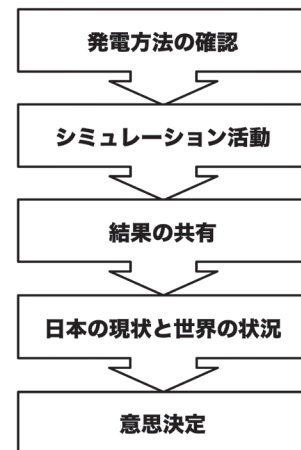


図3 授業実践における授業の流れ

2 授業実践の詳細と結果

1) 発電方法の特徴の確認（15分）

授業の冒頭で、シミュレーション活動で扱う発電方法（火力発電・原子力発電・水力発電・風力発電・太陽光発電）の発電方法の仕組みを確認した。火力発電、原子力発電は化石燃料や核反応で発生した熱などを用いてタービンを回し発電していること、水力発電、風力発電は水力や風力によって同じくタービンを回し発電していることを板書でまとめ、確認した（図4A, B）。

2) シミュレーション活動（25分）

各発電方法の特徴を確認した後に、どれか1つの発電方法だけで発電をしていると、温室効果ガスを大量に排出してしまったり、安定的に電気を供給することができなくなってしまったりすることを説明し、様々な発電方法を組み合わせて電力を供給する「エネルギーミックス」の重要性を確認した。様々な国の現在の「エネルギーミックス」をもとにした6種類の「エネルギーミックス」を示し（表1）、どの「エネルギーミックス」がもっとも良いと思うかを考えさせた。（ここではモデルとなっている国の説明はせず、「エネルギーミックス」のパターンとして紹介した。）

その結果、Eの太陽光発電を主な発電方法とする太陽光型の「エネルギーミックス」を良いと考える生徒が多数いた。そこで、本当にEの「太陽光型」の発電方法が良いのかを確かめるために、2人1組のペアで6種類の「エネルギーミックス」をシミュレーションす

ることを伝えた。各生徒がどのパターンをシミュレーションするか授業者（筆者）が割り振った。

開発した教材では、自由にエネルギーミックスを設定することができ、様々なパターンが検討できるが、生徒が自由に設定すると、活動時間の延長や特定のパターンに偏った「エネルギーミックス」などが起き、多様な「エネルギーミックス」のシミュレーション結果を確認することができなくなると考え、本実践ではあえて表1に示した6種類の「エネルギーミックス」を用意して、この6通りで生徒に活動を行わせた。

サイコロやワークシート、シミュレーションの進め方を示したプリントを配布し、前述のシミュレーション活動の流れに沿って活動を始めた。しかし、プリントを読むだけでシミュレーション活動を進めることは難しいと考え、深夜0時から4時までの最初の時間帯だけは教師の指示のもと、クラス全員で同時に進めることとした。

シミュレーション活動でサイコロを使用することのないパターンD及びパターンFの生徒からは「残念！サイコロないのか」や「サイコロ振りたかった」など不満の声が上がった。それに対しては、サイコロを使うということは不安定だということを強調し説明をした。

実際にシミュレーションを開始すると、「無風だー 停電だー」「電気バンバン余ってる」などの声上がり、後ろや隣のペアの様子を見ながらシミュレーションを進めていた（図4C, D）。

シミュレーション活動終了後に休み時間を設けた。その休みの時間にも他のシミュレーション結果が気になり、互いの結果を共有している様子が見られた。

3) シミュレーション結果の共有（20分）

ペアで行ったシミュレーション結果を踏まえて、各パターンの特徴をワークシートにまとめさせた。シミュレーション結果を振り返りながら「おれら安心だー。停電したけど」「お昼ご飯が食べられなくなる」などつぶやきながら記入している姿が見られた。そして、それぞれの結果を共有するために各パターン1ペアずつ発表させた。また、その内容を黒板に板書し

た。板書した内容をまとめたものを表2に示す。

風力中心のパターンAをシミュレーションした生徒からは、「全然電力が安定せず、4回も停電してしまった。温室効果ガスはあまり出ず、放射性廃棄物はまったく出なかった」といった発表があった。原子力中心のパターンBの生徒は「放射性廃棄物がたくさん出てしまった。でも停電はなかった」という発表をした。他の生徒たちからは、放射性廃棄物の量が驚きの声が上がった。水力中心のパターンCの生徒は「環境的には安全、電力的にも基本的に安定」という特徴を説明していた。3. 11以降の日本の電力構成比割合を示した火力中心のパターンDの生徒は、「温室効果ガスがたくさん出るけど、安定している」といった特徴を発表した。太陽光発電中心のパターンEの生徒は、「1日中停電をしてしまった」と結果を発表していた。周りの生徒からは、「ずっと停電。なんにもできない」といった発言が聞かれた。3. 11以前の日本の発電構成比割合を示したパターンFの生徒は、「1回も停電しなくて、安定供給だったけど、温室効果ガスと放射性廃棄物が出た」と発表をした（図4E）。

4) 日本の発電状況の確認・まとめ（10分）

結果を共有した後に教室の電灯を指差しながら、「では現在わたしたちが使用している電気は、今回のA～Fのどのパターンの「エネルギーミックス」で発電が行われているのか」と発問した（図4F）。多くの生徒は3. 11以前の「エネルギーミックス」を示したパターンF（混合型）が日本だと答えた。それを受け、教師は火力中心のパターンDが現在の日本の「エネルギーミックス」だと伝えた。そして、シミュレーション結果を確認しながら、日本は停電することもなく安定供給を実現することが可能だが、温室効果ガスがたくさん出てしまっている現状にあることを説明した。また、A～Fのパターンのモデルとなっている国とそれぞれの発電状況について紹介を行った。最後に、今後はどのような「エネルギーミックス」にしていけば良いかを考えさせ、授業を終了した。

表1 用意した6つのエネルギーミックス

パターン		火力	原子力	水力	太陽光	風力	モデルとした国
A	風力型	4	0	0	0	6	デンマーク
B	原子力型	0	8	0	2	0	フランス
C	水力型	0	0	8	0	2	ノルウェー
D	火力型	9	0	1	0	0	現在の日本 ^{*1)}
E	太陽光型	3	0	1	6	0	イタリア
F	混合型	6	3	1	0	0	東日本大震災以前の日本

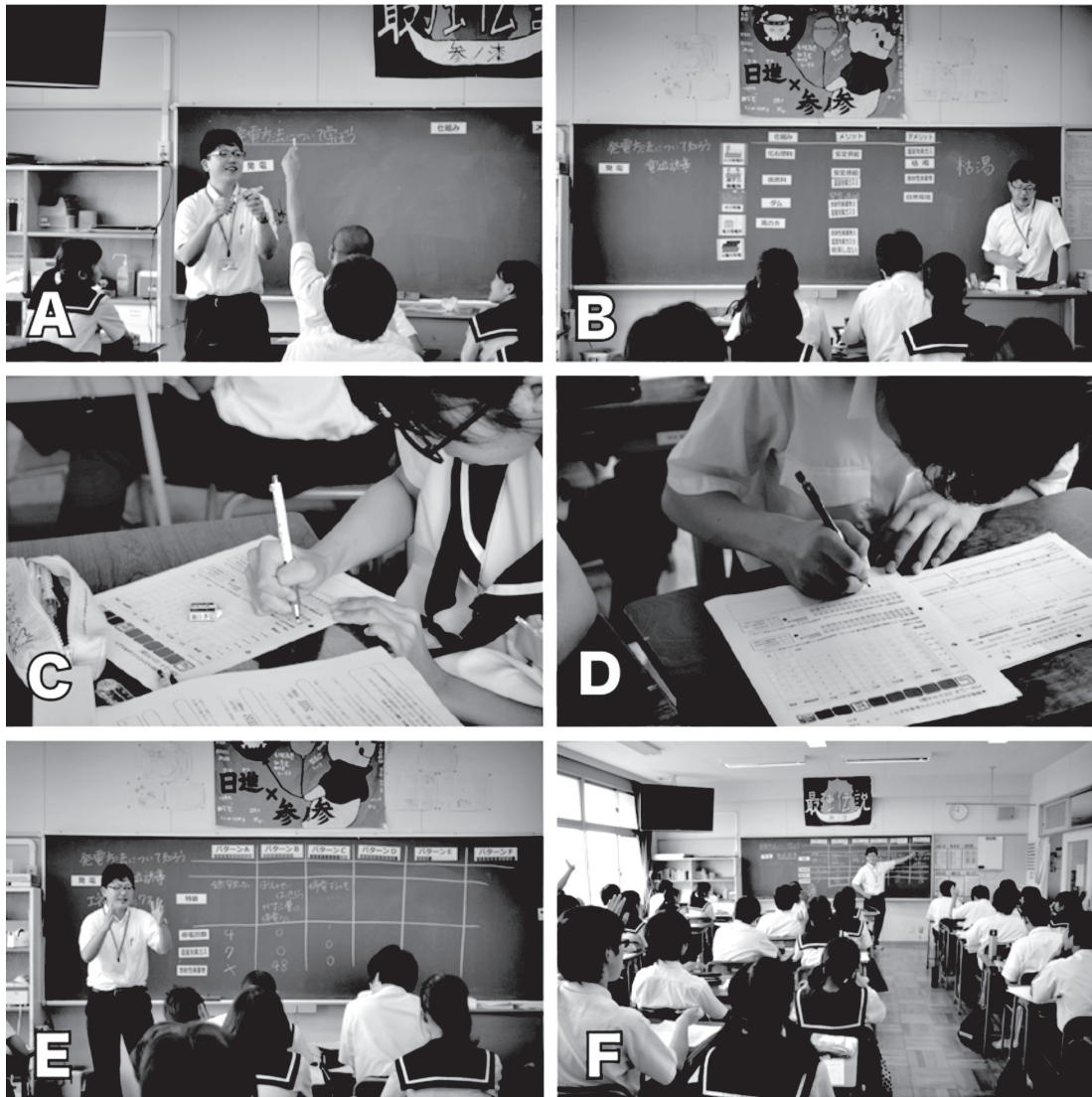


図4 授業実践の様子。A：手まわし発電器を用いて、発電の仕組みを説明している様子。B：各発電方法の特徴をまとめている様子。C・D：シミュレーション活動に取り組んでいる様子。E：結果を共有し、板書にまとめている様子。F：今の日本のエネルギーミックスについて尋ねている様子。

表2 生徒が行ったシミュレーション結果

パターン	A	B	C	D	E	F
特徴	安定しない	放射性廃棄物がとても多い 停電しない	安定している 停電しない	温室効果ガスが多い 安定している	温室効果ガスが少ない 安定しない	停電しない 温室効果ガスと放射性廃棄物が両方出る
停電回数	4回	0回	0回	0回	6回	0回
温室効果ガス	少(7)	0	0	多(38)	中(18)	中(20)
放射性廃棄物	0	多(48)	0	0	0	中(18)

3 質問紙調査の結果と考察

教材の評価を行うために、本授業実践の前後で質問紙調査を実施した。調査項目は開発したシミュレーション教材に関する項目、エネルギー問題に関する知識・理解に関する項目、科学的な思考・判断に関する

項目からなっている。調査は授業実践を行った80名の生徒を対象に行い、結果を分析した。事前・事後の比較を示す結果では有効な回答の得られた73名の結果を示す。

1) シミュレーション活動について

授業で行ったシミュレーション活動について、“とても楽しかった”と回答した生徒が24名(33%)、“楽しかった”が31名(42%)、“どちらでもない”が14名(19%)、“つまらなかった”が2名(3%)、“とてもつまらなかった”が2名(3%)であった。また、シミュレーション活動へ積極的に参加することができたかでは、“できた”と回答した生徒が25名(34%)、“まあできた”が32名(44%)、“どちらでもない”が13名(18%)、“あまりできなかった”が1名(1%)、“できなかった”が2名(3%)であった。さらに、シミュレーション活動の進め方については、“難しかった”と回答した生徒が7名(10%)、“少し難しかった”が22名(30%)、“どちらでもない”が21名(29%)、“あまり難しくなかった”が12名(16%)、“難しくなかった”が11名(15%)であった。

これらの結果から、7割以上の生徒が授業での活動が「楽しかった」と回答し、積極的に参加することができていた。ほぼ全生徒がこの教材を取り入れた授業に取り組めたことがわかった。その一方で、4割程度の生徒がシミュレーション活動の進め方を難しいと感じており、教材の活動が若干困難だったと思われる。ルールの簡易化やわかりやすい説明、生徒自身が読むだけで簡単に理解できるようなワークシートの改善が必要だと思われる。

2) 知識・理解について

授業内容の理解に関して、シミュレーション活動の中で扱った5つの主要発電方法の特徴について理解できたかでは、“できた”が29名(40%)、“まあできた”が31名(42%)、“どちらでもない”が10名(14%)、“あまりできなかった”が3名(4%)、“できなかった”を回答する生徒はいなかった。8割以上の生徒が各発電方法の特徴を理解することができたと回答しており、授業を通して各発電方法の特徴を理解させることができたと考えられる。

次に、現在の日本でもっとも多く電力を発電している発電方法はどれかを授業でも取り上げた火力発電、原子力発電、水力発電、太陽光発電、風力発電の5つから選択させた。その結果、事前では“火力発電”を選択した生徒が31名(43%)であり、“原子力発電”が20名(27%)、“水力発電”が2名(3%)、“太陽光発電”が8名(11%)、“風力発電”を選択する生徒はおらず、“わからない”が11名(16%)であった。事後では、“火力発電”を選択したものが71名(97%)、“わからない”を選択したものが2名(3%)であった。正答である火力発電を選択する生徒が大幅に増えていた(図5)。

また、二酸化炭素などの温室効果ガスを排出する発電方法を5つの発電方法から選択させた^{*2)}。事前では、

正答である“火力発電”のみを選択している生徒が12名(16%)。“火力発電”及び“原子力発電”をともに選択して、誤答となった生徒が40名(55%)、“火力発電”、“原子力発電”、“水力発電”の3つを選択して、誤答となった生徒が8名(11%)、それ以外のパターンで誤答となった生徒が13名(18%)だった。事後では、正答である“火力発電”のみを選択している生徒が39名(53%)。“火力発電”及び“原子力発電”をともに選択して、誤答となった生徒が22名(30%)、それ以外のパターンで誤答となった生徒が12名(17%)だった(図6)。

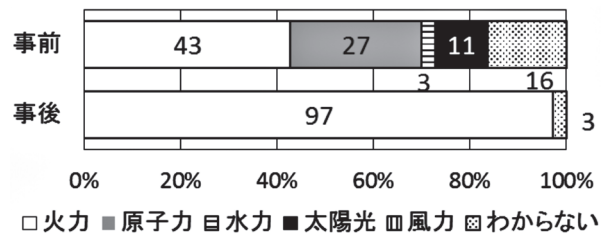


図5 日本で最も発電している発電方法の理解度についての事前事後比較 (n=73)

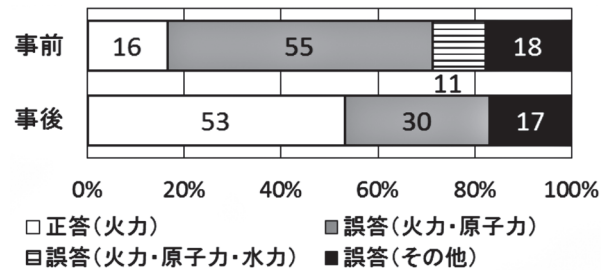


図6 各発電方法の温室効果ガスの排出に関する理解度の事前事後比較 (n=73)

現在の日本では、発電構成比割合で9割程度が火力発電、残りの1割を水力発電でまかなっている^{*1)}。太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーは、経済的問題や安定的供給などの問題から、数%程度しか使用されていない。また、実践を行った2015年当時原子力発電は、東日本大震災以降すべての発電所が稼働を停止していた。

このような現状であったにもかかわらず、事前では主力の発電方法である火力発電(正答)を選択した生徒は半分以下であった。3割程度の生徒は原子力発電が最も発電していると考え、1割程度の生徒は太陽光発電が最も発電していると考えていることがわかった。生徒たちは中学第2学年の社会科及び技術家庭科において、「エネルギー」について学んでいるものの日本の現状については十分に認識できていない現状が明らかとなった。事後では、73名中71名の生徒が、正答である火力を選択することができるようになっていた。

また、温室効果ガスの排出に関しても、事前では火

火力発電以外に原子力発電もまた温室効果ガスを排出すると回答する生徒が多くいたが、事後では大幅に誤答が減少した。授業後の感想でも、「現在の日本がこんなに危ない状況だったとは知りませんでした。だいたいを火力発電だなんて、温室効果ガスがすごいだろーなと思いました」など、日本の現状が印象に残ったとする感想が多く見られた。これらの結果から、本教材は日本が化石燃料を燃焼させて発電を行う、火力発電に依存している現状や発電方法の特徴を理解させることに有効だと考えられる。

3) 科学的思考について

エネルギー問題に関する意思決定に関する設問の結果を以下に示す。

今後、使っていくべきだと考える発電方法を主要発電方法5種から選択させた。事前では、“火力発電”を選択したものはおらず、“原子力発電”が2名(3%)、“水力発電”が11名(15%)、“太陽光発電”が36名(49%)、“風力発電”が7名(10%)、“わからない”が17名(23%)であった。事後では“火力発電”が15名(21%)、“原子力発電”が4名(5%)、“水力発電”が30名(41%)、“太陽光発電”が5名(7%)、“風力発電”が7名(10%)、“わからない”が12名(16%)であった。事前では、火力発電を選択するものは全くいなかったが、事後では2割程度の生徒が火力発電を選択していた。また、水力発電もまた大幅に増加していた。一方で、太陽光発電は大幅に減少していた。

今後どの発電方法を使用していくべきだと考えているかの設問では、事前では、半数程度の生徒が太陽光発電だと考えていた。この太陽光発電を選択した生徒たちは環境面を意識し、「一番環境破壊にならない方法だと思うから」と記述したり、枯渇しない無限性を意識し「太陽さえあれば発電できるから」と記述したりしていた。再生可能エネルギーで廃棄物等を出さない太陽光発電や風力発電を選択した生徒が半数以上のものほり、生徒の多くが環境を考慮した選択をしていることがわかった。

事前で太陽光発電を選択していた生徒の多くが、事後では水力発電所を選択していた。また、事前で誰も選択しなかった火力発電を選択する生徒も2割程度いた。

火力発電を選択した生徒の理由としては、「温室効果ガスはでるけど、安定して多くの電気を発電できるから」や「温室効果ガスを出すけど、発電量を安定させるためには頼らざるを得ないから」などの環境に配慮しつつも今の日本の火力発電に頼らざるを得ない状況を認識し選択するものが多かった。中には「今は停電せずに生活するために火力で、技術があがれば太陽光も使えるようになると思う」というように、今後の科学技術に期待するコメントを記述しているものもいた。

また、水力発電を選択した理由として、「安定している上に、温室効果ガス・放射性廃棄物を出さないから」など水力発電が温室効果ガス及び放射性廃棄物を排出することがないことを挙げるものが多かった。また「発電所を建てるのに問題や条件はあるけど、温室効果ガスを出さない上に、安定供給できて、資源の枯渇もないため、すばらしい発電方法だと思う」などの水力発電のデメリットを踏まえた上で、水力発電を選択するものもいた。

今回の活動では、水力発電所のデメリットである「水力発電に必要なダムの建設場所には限界があり、生物が生活する環境への影響やダムの底にたまる大量の土砂の扱い等の問題」についての要素がなく、多くの生徒が水力を最もよいものだと捉えてしまう結果となった。

次に、生徒のエネルギーミックスに関する認識の差を調査するために、「日本の電力を10カ所の発電所でまかなうとき、火力・原子力・水力・風力・太陽光をそれぞれ何ヶ所ずつでまかなうと思いますか」と尋ねた。生徒が考えたエネルギーミックスの平均を図7に示す。事前では、“火力発電”が17%、“原子力発電”が14%、“水力発電”が17%、“太陽光発電”が35%、“風力発電”が17%だった。事後では、“火力発電”が40%、“原子力発電”が12%、“水力発電”が25%、“太陽光発電”が8%、“風力発電”が15%だった。火力発電が占める割合が上昇し、太陽光発電の割合が大幅に減少する結果となった(図7)。

今後使用していくべき発電方法に関する結果では、授業前の生徒の多くが環境への影響を考慮し太陽光発電を使っていくべきだと考えていることがわかった。しかし、授業後には多くの生徒が水力発電を使用すべきだと考えるようになり、授業前には全くいなかった火力発電を選択する生徒は2割程度に増加していた。

生徒が考えるエネルギーミックスの変化においても同様に、授業前では、エネルギーミックスの5割以上を太陽光発電および風力発電にしようと考え、「環境によさそうだから」など環境面を意識した理由が多く見られた。しかし、授業後には、火力発電などの割合が増加し、太陽光発電の割合が減少した。意思決定の理由を見てみると、授業前には環境面を強く意識していた生徒が、授業後には環境面だけでなく、安定面も同じように考慮しながら意思決定を行っていることがわかった。

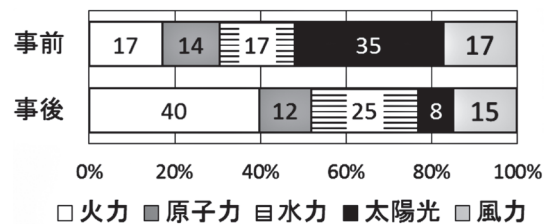


図7 生徒が考えるエネルギーミックスについての事前事後調査結果 (n=73)

IV. 研究のまとめと今後の課題

本研究で開発したエネルギーミックスを扱ったシミュレーション教材は、主要な発電方法である火力発電、原子力発電、水力発電、風力発電、太陽光発電の特徴を理解させることに有効であり、また、特定パターンのエネルギーミックスの1日の発電量をシミュレーションし、安定供給、安全面、環境面の視点から評価する活動を通して、エネルギーに関する科学的思考が環境面だけに限られていたものが、安全面や安定供給の面までも考慮し、多面的な科学的思考や意思決定を促すことができたと考えられる。

しかし、水力発電のデメリットや資源の有限性など教材に盛り込めていない点で、生徒に十分な思考をさせることができないなどの課題も見出された。このような観点を入れるなどして、教材の改善を図る必要がある。

註

- ※ 1) 本研究で示す現在の日本は、授業実践を行った2015年当時を示している。2019年9月時点、国内の原子力発電は数機稼働しているため、本教材で設定しているエネルギーミックスの比率とは異なっている。
- ※ 2) 発電方法による二酸化炭素などの温室効果ガスの排出については、発電のみを対象としたため、火力発電のみと設定した。細かな条件を含めた場合、その他の発電においても排出することができる。

引用文献

- 1) 内閣府, 2019a, 特集東日本大震災, http://www.bousai.go.jp/kohou/kouhoubousai/h23/63/special_01.html (2019年8月15日アクセス)
- 2) 内閣府, 2019b, 令和元年版防災白書, <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h31/> (2019年8月15日アクセス)
- 3) 資源エネルギー庁, 2019, 日本の原子力発電所の状況, https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/001/pdf/001_02_001.pdf (2019年8月15日アクセス)
- 4) 文部科学省, 2011, 放射線等に関する副読本, http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/detail/1311072.htm (2019年8月15日アクセス)
- 5) 文部科学省, 2019, 中学生・高校生のための放射線副読本, http://www.mext.go.jp/component/b_menu/other/_icsFiles/afiedfile/2018/10/04/1409771_2_1_1.pdf (2019年8月15日アクセス)
- 6) 文部科学省, 2018, 『中学校学習指導要領解説理科編』, 学校図書.

- 7) 文部科学省, 2008, 『中学校学習指導要領』, 東山書房.
- 8) 文部科学省, 2008, 『中学校学習指導要領解説理科編』, 大日本図書.
- 9) 資源エネルギー庁, 2018, 「第5次エネルギー基本計画(平成30年7月)」, https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/180703.pdf (2019年8月15日アクセス)
- 10) 電気事業連合会, 電源別発電電力量構成比, http://www.fepc.or.jp/about_us/pr/pdf/kaikeens3_20160520_1.pdf (2018年1月11日アクセス)
- 11) Sustainable Japan, 2018, 『世界各国の発電供給量割合[2017年版](火力・水力・原子力・再生可能エネルギー)』, <https://sustainablejapan.jp/2017/03/10/world-electricity-production/14138> (2019年9月15日アクセス)
- 12) 有馬朗人他, 2013, 『新版理科の世界3』, 大日本図書
- 13) 細矢治夫他, 2013, 『自然の探究中学校理科3』, 教育出版
- 14) 岡村定矩他, 2013, 『新編新しい科学3』, 東京書籍
- 15) 霜田光一他, 2013, 『中学校科学3』, 学校図書
- 16) 吉川弘之他, 2013, 『未来へひろがるサイエンス3』, 新興出版社啓林館
- 17) 打田晃士・原 宏介・平賀伸夫, 2010, 「多面的な考察を通して意思決定させる教材としての「エネルギーミックス」の教材化」, 『日本科学教育学会年会論文集』, 34: 225-226.
- 18) 内田 隆, 2015, 「未来のエネルギー政策を題材としたシナリオワークショップ: ~参加型テクノロジーアセスメントの手法を利用した理科教材の開発と実践~」, 『理科教育学研究』, 55(4): 425-436.
- 19) 日本原子力文化財団, 2018, 「原子力・エネルギー」図面集: 最大電力発生日における1日の電気の使われ方の推移, <https://www.ene100.jp/zumen/1-2-10> (2019年8月15日アクセス)

(2019年9月18日受理)