

# 新しい科学観を取り入れた理科カリキュラムの開発の研究

—「科学の本質」の視点に基づく小・中・高の理科カリキュラムの再構築—

山下 雅文	野添 生	風呂 和志	井上 純一
内海 良一	大方 祐輔	梶山 耕成	佐々木康子
白神 聖也	杉田 泰一	平松 敦史	秋山 哲
土井 徹	中山 貴司	古瀬健太郎	三田 幸司
岡本 英治	沓脱 侑記	小茂田聖士	田中 伸也
西山 和之	林 靖弘	平賀 博之	丸本 浩
吉田 成章	磯崎 哲夫		

## 1. はじめに

本研究は、広島大学附属学校（附属小学校，附属中・高等学校，附属東雲小・中学校，附属三原小・中学校，附属福山中・高等学校）の理科担当教員と教育学部の教員が協同し，新しい科学観を取り入れた小学校から高等学校までの理科カリキュラムを開発することを目的としている。本年度は，その初年度で，「科学の本質」と関連させた2つの実践例と，カリキュラム構想の一例を報告する。

## 2. 新しい科学観とその必要性<sup>1)</sup>

新しい科学観とは，簡単に言えば，「科学の科学（science of science）」と呼ばれる科学史，科学哲学，科学社会学，科学人類学に関する研究領域によって描出される科学の姿と考えられる。このことを「科学の本質」ともいう。これまで理科教師が暗黙の前提として，意識の有無にかかわらず，保持してきた科学観とは異なっている。では，具体的にどのようなものであろうか。

まず，科学的知識は暫定的であるということ。これまで，科学的知識は安定している，すなわち未来永劫正しいと考えられてきた。けれども，科学的知識は，現在の科学者コミュニティ（学会など）において「正しい」とコンセンサスが得られており（科学的知識の暫定性），自然現象を説明する「一つ」の様式である。次に，科学の方法に関しては，これまでは科

学の方法は唯一で，観察から始まると考えられ，科学に固有の方法であるとともに，それは科学者が新しい考えを生み出す過程の方法であった（発見の文脈）。しかしながら，現在では，科学の方法は一つではなく，科学者が生み出した新しい考えをどのように理論化し，精緻化し，科学者コミュニティにおいて説得する方法である（正当化の文脈）。また，観察も「虚心坦懐ありのままに」見ることと考えられていたけれども，観察をする人の持つ理論（知識や考え方のレベルを含め）に基づいて対象物を見るとされる（観察の理論負荷性）。

以上の事例からわかるように，理科教育の基盤の一つである科学観が近年変容してきており，それにとめない欧米やアジア諸国では理科教育に関しても見直しが求められ，それをどのように教えるべきか研究・実践されている。

では，なぜ近年科学の本質を教える必要性が求められるようになったのであろうか。もちろん，理科教育の根底の一つである科学観の変容はあるけれども，それ以外に重要な理由がある。そもそも，1980年代以降欧米諸国を中心に科学的リテラシーの育成が求められるようになっていた。このような状況の中で，誰に対して，何を教えるべきか，またどのような方法で教えるかについて議論されてきた。

例えば，イギリスでは，義務教育段階（5歳から16

---

Masafumi Yamashita, Susumu Nozoe, Kazushi Furo, Junichi Inoue, Ryouichi Utsumi, Yusuke Ohgata, Kousei kajiyama, Yasuko Sasaki, Masaya Shiraga, Taiichi Sugita, Atsushi Hiramatsu, Satoshi Akiyama, Toru Doi, Takashi Nakayama, Kentaro Furuse, Kouji Sanda, Eiji Okamoto, Yuki Kutsunugi, Masashi Komoda, Shinya Tanaka, Kazuyuki Nishiyama, Yasuhiro Hayashi, Hiroyuki Hiraga, Hiroshi Marumoto, Nariakira Yoshida, and Tetsuo Isozaki: New science curriculum development based on the “Nature of Science”: Reconstruction of a coherent science curriculum from elementary through upper-secondary school

歳)の児童・生徒は、知識基盤社会において科学的知識のプロデューサーではなく、科学的知識の鑑識眼を持った消費者としてみなすことが理科教育関係者から提案された。また、実験や観察などの方法は、理科教育においては重視されるけれども理科に固有のものではなく、他教科でも行われており、理科の教科を特徴付けるのは科学的知識と主張された。そのためには、科学的知識の量よりも質の方が重視され、伝統的な知識領域に加えて、科学や技術が関連する社会的諸問題(socio scientific issues: 以下, SSI)を取り入れることが提案され、実践されている。伝統的な知識領域に関しても、科学が説明できる事実として、羅列ではなく物語的(narrative)に配列して学ぶように工夫されている。加えて、観察や実験といった探究活動に加えて、論証活動など、理科教育においてこれまで教師が精通していなかった活動が取り入れるようになってきた。

わが国では、学習指導要領が公的枠組みとして存在し、理科では小学校から高等学校まで4つの主要な概念で構造化されている。このような状況を鑑み、上述の欧米諸国の考え方や実践を、学習指導要領の枠内において取り入れるためには、次のことが考えられる。まず、4つの主要な概念に関連する科学の本質に関わる内容を抽出することである。とりわけ、SSIや科学者の研究、エネルギーやESDといった内容は、私たちの生活や社会において科学がどのような働きをしているかを知る上でも示唆を与えてくれる。また、このような内容は論争の余地がある科学的な問題であり、どのように教えるかといった学習方法とともに検討する必要がある。今年度の下記に示す2つの実践は、その意味でも、試行的な実践と位置づけられる。抽出した内容を、どのように単元計画に位置づけるかは課題であるが、現在試行的に実践を行い検証中である。次に、観察や実験といった科学的探究活動のあり方の再考である。上述の内容を教える際に、観察や実験をどのように位置づけ、科学的証拠に基づく論証活動などをどのように取り入れるかである。実は、このような科学的証拠に基づく論証活動などは、子どもの科学的な思考力や表現力を育成する上で、極めて有効に働く。

### 3. 「科学の本質」の視点を取り入れた授業実践(1)

広島大学附属福山中・高等学校では、文部科学省研究開発学校の指定を受け、開発課題「持続可能な社会の構築をめざしてクリティカルシンキングを育成する、新教科「現代への視座」を柱にしたすべての教科で取り組む中等教育 教育課程の研究開発」に取り組んでいる。<sup>2)</sup>

新教科「現代への視座」として中学校3年生に設定

した「地球科学と資源・エネルギー」では、これまで学んだ理科の内容を総合化し、地球科学分野の内容をまとめて扱い、総合的な視点や防災教育の基礎を養うとともに、資源・エネルギーについて、複眼的かつ批判的に分析・考察を行い、持続可能な社会に向けての課題を見いだし、その解決に向けての方策を考えていく基礎的能力・態度の育成をねらいとしている。特に、「資源・エネルギー」に関連しては、理科第1分野 第7単元「科学技術と人間」の内容に社会科学的視点を取り入れ、生徒の活動を中心に持続可能な社会の構築に必要な視点を35時間で学ぶ内容としている。このような内容はまさにSSIに関連したものであり、本科目ではこれらを題材に、過去から現在を分析し、科学的根拠にもとづいて未来を考えていく展開としている点の特徴である。各章で扱う具体的教材を表1に示す。

表1 「資源・エネルギー」の各章でのSSI教材

単元名	SSI教材, 内容
第1章 エネルギーの利用	・人類の歴史とエネルギー利用の推移(エネルギー密度の高いものへの移行)および世界のエネルギー消費量とひとりあたりのエネルギー消費量の時代に伴う変化
第2章 化学変化とエネルギー	・古代製鉄と近代製鉄の比較 ・金属資源のリサイクルとエネルギーについて
第3章 持続可能な社会に向けて	・資源・エネルギーの偏在性と有限性(可採年数の見方や都市鉱山など)、リサイクルの重要性 ・日本におけるエネルギー消費の現状と課題、それに対する施策やその効果

第1章では、いろいろなエネルギーとして太陽光発電や風力発電などの新エネルギー(再生可能エネルギー)の開発についても扱う。その際、「福山太陽光発電所(3000kW)の施設稼働率を約15%とすると、この施設200カ所で、100万kWの火力発電所や原子力発電所一基に対応することになる」などの定量的比較を行う。第3章では、エネルギーの利用と生活や社会の変化についても扱う。その中で、リサイクルでは、単に「リサイクルができる(進んでいる)」ではなく、そのリサイクルが産業として成立していくことが重要となる点に触れ、社会科学的な視点を育成する。過去から現在までの分析では、石炭、石油、原子力の利用な

どによる社会の変化という歴史的事項に加えて、近年の日本のエネルギー利用と生活の変化について家族への聞き取りを行い、世代間のつながりの中で生活を振り返るようにしている。また、施策など（家電エコポイント制度、トップランナー方式、固定価格買取制度など）については、エネルギー白書のデータを利用して、どのような現状や科学的根拠に基づいてそれらの施策がとられているのかを考えていく。このような知識や考え方は、賢い消費者・市民として必要なリテラシーにつながり、ESDとしても重要であると考えられる。ESDにおける能力・態度の育成においては、「教材のつながり」、「人のつながり」、「能力・態度のつながり」に留意することが大切である。<sup>3)</sup> SSIを扱うことで、「教材のつながり」を生徒自身が実感することができる良い教材となるだろう。

一方、科学的知識の暫定性や正当化の文脈などの「科学の本質」については、「科学的とはどういうことか」も含め、ESDの視点に立って未来へ向けて判断していく力を育成する際に重要となる要素である。しかし、従来の理科授業で行う実験は、教科書にある事物・現象について、規則性・法則性を見いだしたり、確認したりするものが多く、それらは生徒の創意工夫を生かした実験にはなりにくいものである。学校の実験で「科学の本質」を考えるきっかけを作るには、「唯一の解がない（すぐに答えが出ない）課題」に対して、創意工夫した実験を行って粘り強く取り組む活動や、互いに結果を吟味し議論して結論を導く活動、既習の知識を活用して多面的に考察する活動などが必要と考える。そこで、「資源・エネルギー」では、第1章 新エネルギーにおいて、生徒が主体的に取り組む風力発電の探究活動を取り入れた。

この探究活動では風車の形状を変えることで生徒の意見を活かした様々な実験を行うことが可能である。条件制御を行った実験計画や科学的に分析し考察することなどの理科の特性を活かしつつ、課題を発見し主体的に協力して取り組む活動ができると考えた。また、中間発表会で、互いに自分たちの実験結果と比較して意見やアドバイスを述べたり、クリティカルシンキングを発揮して、実験の方法や結果の分析について議論したりする展開を図り、論証活動を行う場とした。また、ESDの視点で見るとこの探究活動は、互いに意見を交流することで「人のつながり」を意識し、実験室と実際の自然環境の違いを比較・考察することで「地球科学」との関連をはじめとする「実社会とのつながり」や「教材のつながり」、多面的に考察することで「能力・態度のつながり」を感じたりできると考えた。授業展開過程を表2に示す。

表2 探究活動「風力発電」 授業展開過程

1時	ペットボトル風車による発電体験（予備実験）
	・各自1つずつペットボトル風車を作り、サーキュレータで風を当て、発電電圧をテスターで測定（興味付けを行うとともに、どんな条件が発電に関係するか考える。）
2時	実験の条件についての話し合い
	・風力発電の特性を考えるため、どのような条件を変えて調べたいか。→「教室内の実験で、より性能のよい風力発電にするには どうしたらよいだろうか」 生徒の意見（変えて調べたい要素） A. 羽根の枚数                      B. 羽根の長さ C. 羽根の角度                      D. 羽根の大きさ（幅） E. 羽根の厚さ（質量）          F. プロペラの形
	・それぞれの班で上記の条件を分担して調べる。 その際、主テーマ（その条件で4種程度作成し実験する）と副テーマ（2種類程度条件を変えた実験を行い、傾向を知る）を決めて実験を行う。
3時 4時	風車の作成、実験
	・作り方の指導と各班の風車の設計 ・条件制御を行った実験 （時間が必要な場合、放課後などを利用）
5時	中間発表
	※単なる発表会ではなく、「学会」のように各自の研究と照らし合わせ疑問に思ったことなどを指摘、実験方法や結果の分析に対してアドバイスや議論を行い内容の深いものにしていく。
6時	追加実験と報告書の作成

教師による指導と生徒の様子としては、以下の通りである。

【課題設定について】

第1時でペットボトル風車による予備実験を行っているので、どのような要素を変えると発電が変わるかについて活発に意見が出た。また、予備実験から羽根が小さいほど大きな電圧が発生したので、電力の羽根が小さいほどよいだろうと予想していた。これらの意見から、本実験装置で可能な課題をA～Fに整理し、分担を決めた。その際、本実験では多くの変数が関係しているので、一つの条件（変数）を変えるにも、他の条件（変数）をどのように設定しておくかが重要となる。そこで、大きく影響を与えそうな条件（変数）について「副テーマ」としてあらかじめ調べて条件を整え「主テーマ」に取りかかること、加えて複数の班が一つの課題を調べるので、互いに相談して班により少しずつ条件を変えて行うことなどを指示した。副テーマの設定は、後の中間発表で活発な議論を生むこ

とつながった。

【実験について】

実験上の共通条件は以下の通りである。

発電機・・・XiKIT (サイキット) 社製 夢風車 2  
 測定条件・・・サーキュレータ (強, 距離プロペラ間40cm, 風速3.0m/s)  
 測定量・・・外部抵抗なしで電圧 (回転数を測定することになる)  
 外部抵抗 (510Ω) を付け電圧  
 (これより電流が求まり, 抵抗での消費電力が計算できる。)  
 [電力] = [電圧] × [電流] = [電圧]<sup>2</sup> ÷ [510Ω]

電力については, 単にはやく回して高い電圧を作ることが大きな電力発生とイコールではないことに気づいていった。また, 羽根の付け方がずれると再現性の問題が生じる点など, 実験上の苦労もあった。実験の様子について, 図1, 2で示す。



図1 実験風景

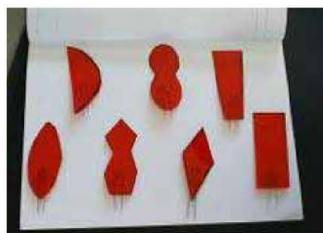


図2 いろいろな羽根

【中間発表について】

中間発表の形式は「発表時間3分・質疑応答3分」を基本とした。発表では, 結果をグラフや表でまとめること, 結果と考察は異なるのでその点をしっかり分けて発表することなどを注意している。生徒の発表は, その点をふまえて行われ, わかりやすいものとなった。

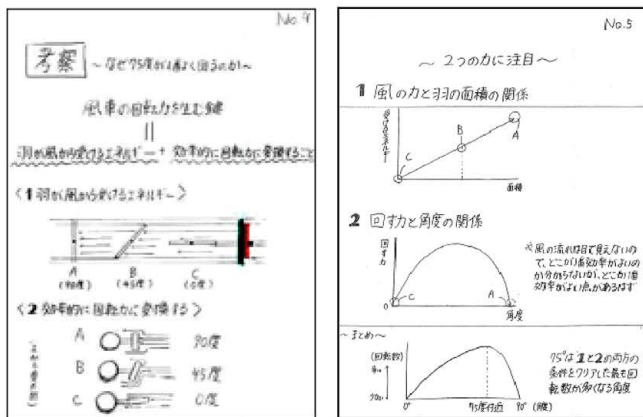


図3 考察の例 (C: 羽根の角度の関係)

考察は科学的用語の正確さに若干の課題があるが, それぞれ深いものとなり, 各班の仮説に基づき定性的に説明しようと努力し意見をまとめることができた。質疑応答では, 「実験の仕方が適切だったか」, 「データの見方について」, 「実験の考察について違う見方もできるのでは」, 「自分たちの班の結果と比較して」など

の観点で質問やアドバイスが行われ, 質問に対する応答も自信を持って行う様子が見られた。各班で副テーマの実験も行っているためか, 質疑応答でそれぞれのテーマについて議論を深めることができた。

理科の授業では, 計画された実験を進めると, ある変数を大きくすると測定値が大きくなる (または小さくなる) 一方向の変化となる結果が多い。しかし, この風力発電では, ある値で最高値となり, それ以上変数の値を大きくすると逆に効果が望めないという場合がある。複雑な事象を考察し, このような特徴を知ること, 持続可能な社会を構築する上で重要と考える。

また, 今回得られた風力発電装置の特徴は, 実際の自然環境を利用した風力発電とは大きく異なる。実験室で一定の向き・風速の条件で行う実験と比べて, 自然では地表付近の風と上空での風の違い, 地形による風の違いなどを考慮する必要がある。このような内容について, 探究活動の後に「地球科学」領域と関連づけて説明する。

授業を通して, 創意工夫して課題に取り組む姿や, 失敗をしても粘り強く取り組む姿もあった。持っている知識を活用し, いろいろな事象と関連づけたりして, 言語化して互いに議論する姿も見られた。

中間発表後に以下の5つの設問で行ったアンケート結果は以下の通りである。

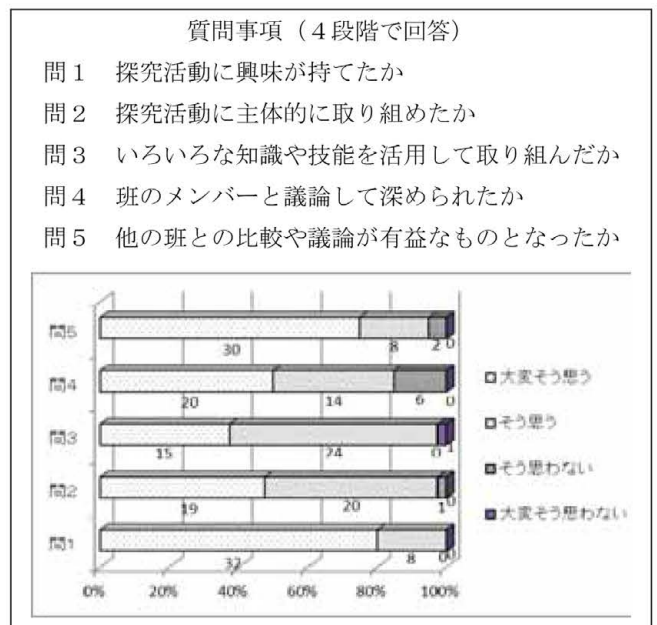


図4 アンケート結果

ほぼ全員が, 興味を持って主体的に取り組めていたことがわかる。しかし, 知識の活用について1名「大変そう思わない」がいた。その生徒の記述は以下の内容であり, 他の発表や議論を聞き, 自分自身の足りなさを感じて評価したことがわかる。この感想から,

自分の考察が他の班の $\frac{1}{10}$ にも満たないレベルで、  
授業が終わった後 とても空しくなった。  
もっと深い考察ができていないはずはなかったのに...  
追加実験もするべきだったと痛感。

この生徒の前向きな態度が感じられ、良い意味で「人のつながり」が大きな刺激を与えたことがわかる。その他の設問の「そう思わない」も、同様に自身の活動を振り返り反省している記述がなされていた。

探究活動に対するアンケートの記述部分を一部紹介する。

- 今回の探究活動はとてよものになったと思う。各班それぞれ実験し、その考察をすることぐらいは予想できたが、質疑応答であんなに盛り上がるとは思わなかった。質問をする生徒は一部の人間だけだったが、議論をしていくうちに本題が明らかになっていったのはおもしろかった。
- 答えが何かわからなくて手探りの状態で答えを見つけるというのは、いつもの実験のような教科書にだいたい答えが書いてあったり予想が容易につくのと違い、楽しかったし新鮮であった。
- この活動を通して考察する力が少しは身に付いたと思います。また、4人で1班の研究だったので、自分の意見を伝えるだけでなく友達の見聞も聞いてより充実した活動になりました。今までの実験や夏の自由研究での自分の考察があらためて浅いとわかったので、これからは今回の活動で学んだことを活かしているいろいろ考えたいと思いました。
- 私たちの班は角度について実験した。実験の正確さの重要性を学んだ。 $5^\circ$ 、 $10^\circ$ の追加実験はとても有益だったと思う。○班の考察はとてよ分かり易かったし、私たちの考えを越えていた。◇班は条件をいろいろ工夫していても良かった。結果からなぜそうなるのかを考える力がついた。
- 自分たちでプロペラを作って試行錯誤して良い結果を得られたときの達成感がとてもうれしかった。私は探究活動というとなんか難しく自分にはできないわけないと思っていたが実際にしてみると様々なアイデアが浮かんで楽しいものになった。他の班の考察が広いスケールでの話で驚いたし興味深いと感じた。
- いつもは実験の手順や最終目標を与えられていたのであまり深く考えずに行っていたが、自分自身で考えることによって論理的に考えている実感がわいたし、他の人の意見も普段より心に響いた。

探究活動を通して、生徒自身の科学的・論理的思考力や創造性が育っているようすが見られるとともに、探究に対しての興味・関心が非常に高まっていることがわかった。また「人とのつながり」を通して、大き

な刺激を受け自身を振り返っている様子もみられた。

「資源・エネルギー」第1章で行った探究活動として、知識や能力を活用して多面的に考察する活動となり、創造性を発揮し、科学的に探究して考察する一つのプロセスを体験することができたと考える。SSIに取り組む準備段階としてのクリティカルシンキングの活用や、科学的証拠に基づき論証しようとする態度の育成にも有効な活動になるのではないだろうか。

#### 4. 「科学の本質」の視点を取り入れた授業実践（2）

広島大学附属東雲中学校の3年生を対象に、単元「中和反応」の試行的授業実践を行った。本実践は、Ratcliffe and Grace (2003) が提唱しているSSIという概念<sup>4)</sup>を取り入れた授業実践である。具体的には、学校理科で一般的に扱われる単なる「科学に関連した問題」ではなく、「社会学の要素も包括した、科学や技術に関わる（論争の余地のある）諸問題」、いわゆるモード2的な知識あるいはトランスサイエンス的な知識<sup>5)</sup>を積極的に取り入れたものである。

一般に中学校理科における「中和」の学習では中和反応の実験を行い、中和反応によって水と塩が生成することをイオンのモデルと関連付けて理解させることをねらいとしている。例えば、うすい塩酸と水酸化ナトリウム水溶液をイオンのモデルで表し、中和反応においては水素イオンと水酸化物イオンから水が生じることにより酸とアルカリがお互いの性質を打ち消し合うことや、塩化物イオンとナトリウムイオンから塩化ナトリウムという塩が生じることをイオンのモデルを用いて理解させる単元である。日常生活や社会との関連で言えば、中学校理科教科書を見ると、各社とも強い酸性の河川の中和事業や土壌の改良に中和が利用されていることが記載されているが、中和により酸とアルカリがお互いの性質を打ち消し合うことを利用した事例で留まっている。実際には、河川の中和事業にはその続きがあり、それらを学習することこそが、本当の意味で日常生活や社会と関連付けることになり、「中和」の正しい理解にも繋がっていくと考える。さらには学校理科で一般的に扱われる科学に関連した問題ではなく、社会学の要素も包括した科学に関する（論争の焦点となる）諸問題へと発展することも期待できる。ただ、ここでは本来理科で育成すべき思考力や知識理解を軽視しているわけではないことは付言しておきたい。本実践では水溶液中のイオンの種類や数の変化を粒子モデルで考えさせ、実験結果を科学的に思考・表現させる学習活動を積極的に取り入れた。その際、自然科学の学問を中心とした系統的な理科学習と、職業理解や社会参加、環境問題などの日常生活や社会と関

連付けたSSIの内容を区分して学習するのではなく、50分の授業の中でその双方を取り入れることにより、生徒たちが「日常知」と「学校知」を双方向に繋げることのできる授業構成となるように配慮した。

【試行的授業実践の実際】

試行的実践の具体的な授業展開を表3に示す。

表3 SSIを取り入れた試行的実践の授業展開

学習内容	学習活動
1. 導入 本時の課題の確認	<p>□群馬県の草津温泉を流れる河川—湯川の石灰乳液投入（中和事業）とその下流の品木ダムについての説明を聞く。</p> <p>□学習課題を把握する。</p> <p>【課題】 中和実験の結果・考察を通して、品木ダムの役割を科学的に考えてみよう。</p>
2. 展開 演示実験 硝酸銀水溶液の反応  【実験】 塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和反応  【考察】	<p>□塩酸や水酸化ナトリウム水溶液に硝酸銀水溶液を加えたときの様子を確認する。</p> <p>①塩酸 2 mLが入った試験管を2本用意する。</p> <p>②水酸化ナトリウム水溶液を加えていった時のフェノールフタレイン溶液や硝酸銀水溶液の変化を観察する。</p> <p>③実験器具等を片付ける。</p> <p>【発問】「塩酸に水酸化ナトリウム水溶液を加えていったときの、水溶液中のイオンの種類や数を粒子モデルで考えよう。」</p> <p>□最初の塩酸 2 mL中にあったイオンや中和によって生じた塩が、なくなっていないことを確認する。</p>
3. 終結 品木ダムの役割を科学的に考える。 本時のまとめ	<p>□本時で学習したことを科学的根拠として、一般的なダムと異なる側面（浚渫作業）について、科学的に説明する。</p> <p>□品木ダムは中和の際に生成される化合物を沈殿させる役割があることを確認する。</p> <p>□湯川の中和事業は、酸性の河川を中和することだけでなく、その下流にある品木ダムも含まれていることを理解し、「粒子の保存性」の視座から中和反応を再考する。</p>

学校理科で学習した科学的知識や科学的概念と実社会・実生活での経験とを積極的に結びつけることで、単に知識や技能を覚えて再生するだけではなく、あらゆる文脈の中で使いこなす力、自分なりに咀嚼して表現していく力、発信していく力を育成することをねらいとしている。SSIを取り入れた本授業実践では、実社会・実生活の側面から授業が始まり、中和に関する生徒実験を行い、水溶液中のイオンの種類や数の変化を粒子モデルで考えさせ、実験結果を科学的に思考・表現させる学習活動をしっかりに行わせ、最後に実社会・実生活の側面による終結を行った。

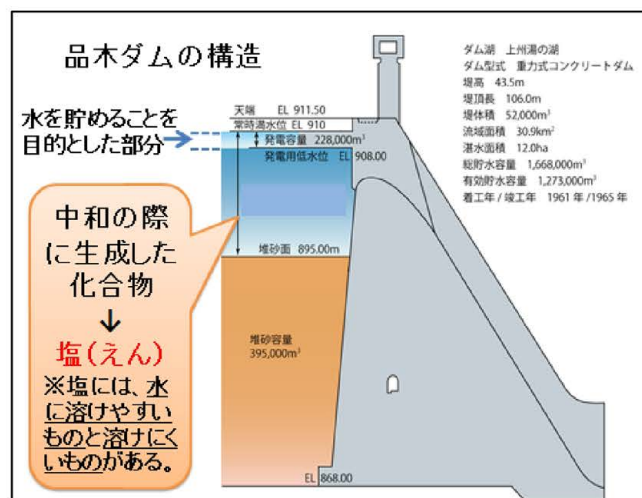


図5 試行的授業実践で使用したスライド

その理由として、理科室という非日常的空間の中で学習する理科は、ややもすると、生徒が暮らしている実社会・実生活とは一見関係のないものに映ってしまう。実際に「中和反応」の実験・考察を行い、中和反応によって水と塩が生成することをイオンモデルと関連付けて理解した生徒が、高校受験や定期テスト以外の日常生活の場面において、理科で学習した知識を活用させるとは考えにくい。そのような場合は、科学が実社会・実生活で応用されている側面を理科授業の中で紹介することにより、実社会・実生活との結びつきを明確にするアプローチが常套手段とされているが、それが真の意味の「活用」に繋がるのかは甚だ疑問である。本授業実践では、次の時間に以下に示す課題を提示し、生徒たちに自分の考えを記述させた。

中和事業により、河川の水は中性になり、魚も住めるようになりました。しかし、新たに品木ダムの浚渫物土捨場の環境負荷に関する問題や、永久に続くであろう維持管理費の問題を抱えています。あなたは、今後も中和事業を続けていくべきだと考えますか。それとも、人間の手を加えない自然本来の姿に戻すべきだと考えますか。理由も含めて、自分の考えを書きなさい。

この課題に対する生徒の自由記述を一部紹介する。

- 身近に酸性が強く、生物が住めないような川があるということとはとても危険だと思う。今、この事業を止めてしまうと利根川など周りの環境にも影響が及んでしまうので現状維持するためにこの事業を続けるべきだと思う。
- 続けるべきではないと思う。理由は2つある。1つ目は「死の川」と呼ばれるのが本来の姿であるからである。人間が手を加えて中性にすることによって起きるメリットは少ない。魚が住めるようになるというのは、自然に逆らってまで喜ぶことではないし、元から魚は住んでいない川なので中和事業をする必要はないと思う。2つ目に中和事業するのに必要不可欠な品木ダムの必要性がなくなるからである。品木ダムを利用することによって、莫大な税金をしゅんせつ作業に費やさなければならない。
- 生態系や経済的な影響を判断した上で中和事業を続けるかどうかを決定できればいいが、環境への影響も大きいので続けるべきだと思う。
- 私は人間の手を加えない自然本来の姿に戻すべきだと思う。確かに中和事業をすることで魚も住めるようになったかもしれない。しかし、その中和事業に何十億円もかけるべきだろうか。私は、そんなにもお金をかける必要はないと思う。中和事業をすることでメリットがあるのは良いが大きな問題がある。もともと魚が住んでいて、人間のせいで魚が住めなくなったわけではない。つまり、もともとの生態系を人間がくずしたわけではない。
- 今後も中和事業を続けていくべきだと思います。人間が勝手に取り組み始めたことは責任をもって続けていかなければならないのです。もし、これが砂漠のスケートリンクであれば仕方がないのですが、湯川の場合には自然への影響が伴います。それを承知で始めたのが人間なので。もし、ダムが老朽化して建て直しとなれば別です。何かそういうきっかけ、それも物理的なきっかけがあれば、申し訳ないけど中和事業を止めますと言えます。なぜなら、新たに施設を作り直すというのはダム事業存続派であっても、そんなことするなよと言えるような合理的な理由に値するからです。
- 中和事業を中断し、人間の手を加えない本来の姿に戻すべきだと思う。なぜなら、これからの事を考えてみると分かる。現在行われている中和事業は、このままだと永遠に行われることになる。すると、維持管理費も永遠に続くことになり、住民の負担もすごいことになる。また、中和の際にできた塩を含む土を捨てることによる環境問題の面でも課題はある。これはとてもおそろしい。もし自然を元に戻したら、明らかに今と比べて「きれいな自然」とは言えないと思う。しかし、自然とは本来そういうものだし、ありのままの姿を受け入れるべきである。決して「魚がいてきれいな所」が「自然」とは限らない。

これらの生徒の記述例から、中和反応で学習した知

識を活用して、有用性とリスクの相互作用における費用便益の分析を含んだ視点や持続可能な開発のための検討を含んだ視点を取り入れた意思決定を行っていることがわかる。

【授業実践後のアンケート結果】

授業実践後に行ったSSIを取り入れた授業内容の感想に関するアンケート結果は以下の通りである。

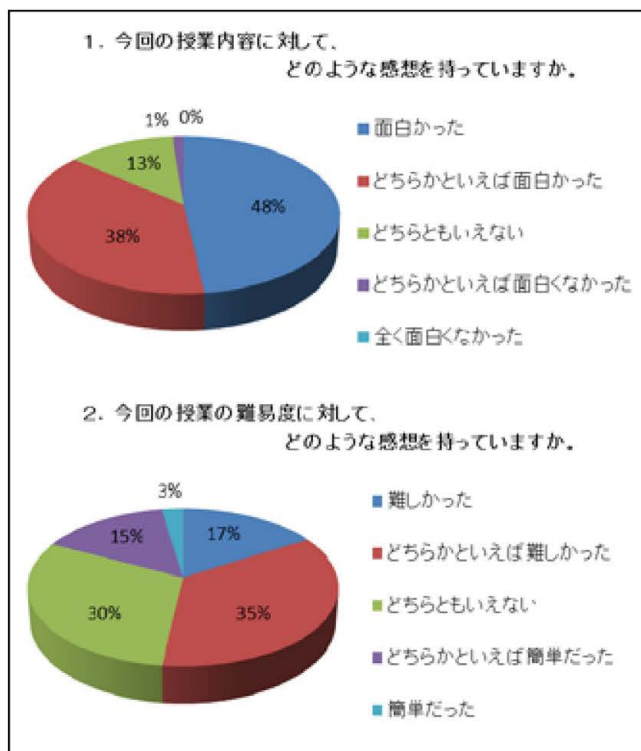


図6 アンケート結果（SSI導入の授業内容の感想）

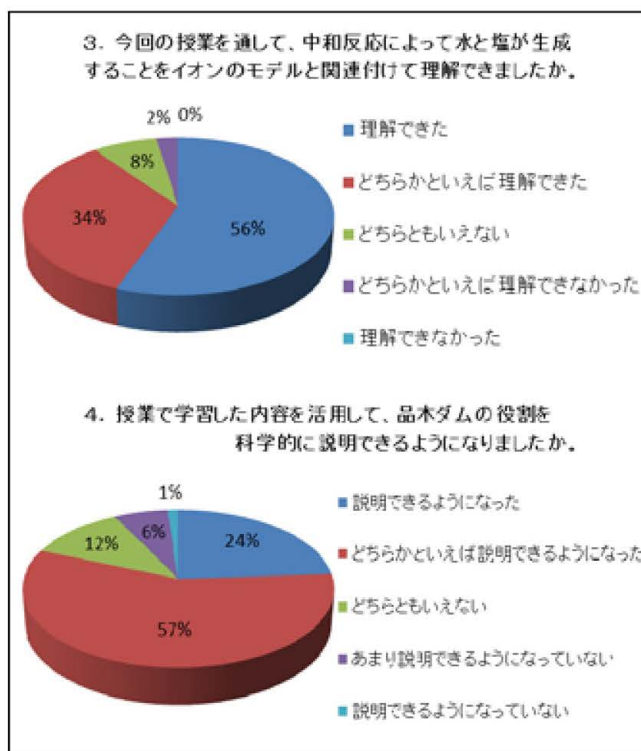


図7 アンケート結果（SSI導入授業の理解度）

図6には、SSI導入の授業内容の感想について示した。この結果から、8割以上の生徒たちがSSI導入の授業内容を面白いと感じてはいるものの、一方で、決して平易な授業内容ではないことがわかる。

図7には、SSIを取り入れた授業の理解度に関するアンケート結果について示した。この結果から、9割の生徒たちが今回のSSI導入授業を通して、中和反応によって水と塩が生成することをイオンのモデルと関連付けて理解することができ、さらに8割以上の生徒たちが品木ダムの役割を科学的に説明できるようになっていたことがわかる。

最後に、SSIを取り入れた授業に対する生徒たちの感想は以下の通りであった。

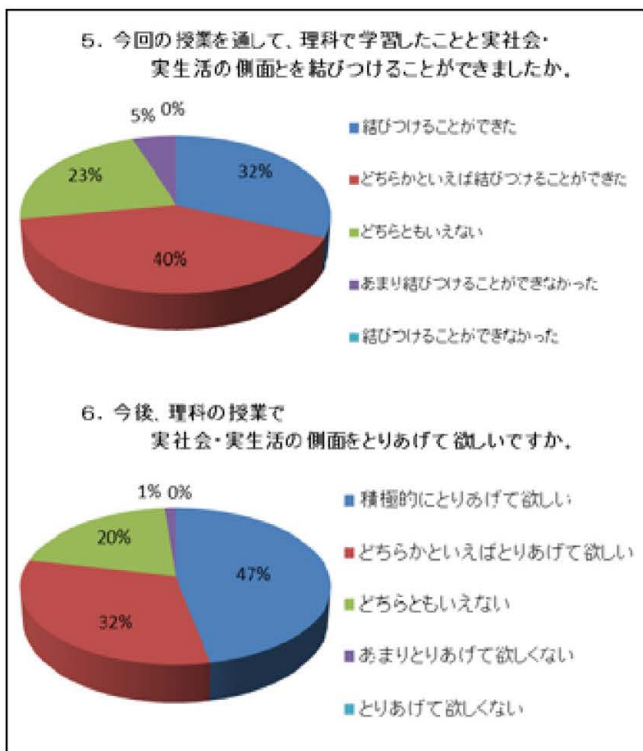


図8 アンケート結果 (SSI導入授業に対する感想)

この結果から多くの生徒たちがSSIを取り入れた授業に対して比較的肯定的な見方をしていることがわかる。

現代において、科学はかつて考えられていたような価値中立的なものではなく、社会的、経済的、政治的、道徳的な影響を多分に受けるものという考え方(科学観)が一般的である。「実社会・実生活」という文脈あるいは流れの中で科学的な概念を「活用」させるにあたっては、科学・技術社会において論争の焦点となる諸問題に取り組みさせることが必要であり、また、そのような展望を見据えて「活用」させることには重要な意味があると考えられる。理科の授業では「学校知」と「日常知」を別々に扱うのではなく、むしろ、SSI

を毎時間の授業内容と積極的に結びつけることが、これからの中学校理科における授業のあり方を考えるうえで非常に重要な視座になってくるであろう。それは、生徒たちが将来直面するであろう科学が絡む諸問題に対して、イデオロギー的な見方に左右されずに、あらゆる情報を取捨選択し自ら意思決定を行うことができる力の育成を意味している。

### 5. 「科学の本質」の視点を取り入れた中学校理科におけるカリキュラムの構想

中学校理科は人類の文化財産としての科学的知識のうち、基本的なものを習得し、それらを活用して身の回りの自然事象やテクノロジーとよりよく関わる力の育成を目標としている。ここでいうよりよく関わる力というのは持続可能な社会を構成する一人の市民としての資質を意味している。平成20年度改訂の学習指導要領では理科の学習指導は4つの科学概念に基づいて系統的に指導し、基本的な科学的知識とそれらの活用を含めた科学的な見方・考え方を生徒に身に付けさせることが図られている。<sup>6)</sup>

しかし、今日の社会はグローバル化・情報化が進み、科学の役割もそれに応じたものに変化してきており、理科における科学の取り扱い方も変更せざるを得ない時期が来ている。4つの科学概念は現代科学の描く真正な自然世界から得られたものであるが、科学の歴史を振り返れば、これらの概念は常に不動のものではない。社会からの要請によって科学者の行う研究の方向やテーマが影響を受けている事実もある。<sup>7)</sup> このように考えると理科を純粋な理論体系を学ぶ教科であるにとらえることも必要であるが、科学に参加する意欲を高めたり、科学自体に対する見方や考え方を身に付けさせたりすることも重要であると考えられる。

学習指導要領では理科の学習内容と日常生活を結びつける指導の重要性は指摘されている。その指導は科学の有用性を認識させ、理科を学ぶ動機づけを行うことをねらいとし<sup>8)</sup>、単元の導入やまとめの段階で教師による説明によって行われている。しかし、実際には学校で学んだ科学的知識や科学的な見方・考え方が教室の外には出ない現実がある。「科学の本質」の視点に基づいて、日常生活との結びつきを生徒にじっくり考えさせたり、話し合わせたりするための指導計画が準備されていないからだと考えられる。学習指導要領では中学校3年生の単元「自然と人間」の中で自然や科学技術とのかかわりについて学習することになっているが、その指導時数は中学校3年間の総授業時間数のわずか6%でしかない。<sup>9)</sup>

そこで、本研究では「科学の本質」の視点を取り入



れた理科の指導を展開するために各学年の年間指導計画の中に科学技術関連の社会問題について生徒に調査・報告・発表及び討論を行わせる時間を設定することを計画している。学年に応じて年間の時数は5～15時間とし、教師は問題の提起と資料調査やレポート作成の援助、発表会での調整を行い、是非に関わるよう

な評価については生徒どうしの交流を通して、一人ひとりの生徒に行わせることとした。カリキュラムの構想は表4にまとめている。なお、本校は幼小中一貫教育であるので、小学校部分については随時追加していきたい。

表4 「科学の本質」の視点を取り入れた中学校理科のカリキュラム構想表（広島大学附属三原中学校）

構成要素	中学校1年生	中学校2年生	中学校3年生
学習内容例	<p>学年の学習内容と結びついた科学技術に関連する社会問題を取り扱う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ゴミの諸問題に私たちはどう関わればよいのか。（関連「身の回りの物質」）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・臓器移植と私たちはどう向き合うか。（関連「動物の種類と生活」）</li> <li>・気象災害に強い街づくりをどう進めるか。（関連「天気の変化」）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・遺伝子組み換え作物と私たちはどう向き合うか。（関連「生命の連続性」）</li> <li>・日本の資源戦略はどうあるべきか。（関連「運動とエネルギー」、「化学変化と原子・分子」）</li> <li>・日本の宇宙開発はどうあるべきか。（関連「地球と宇宙」）</li> </ul>
配置の原則	<p>年間指導計画に位置づける。テーマに関連する単元の指導後あるいは指導前に実施する。なお、中学校3年生は2～3月に単元「自然と人間」の中で実施することもある。</p>		
履修原理	<p>理科の中で学習するので、当然必修である。学習の習得状況にかかわらず、学級単位で学習指導を行う。</p> <p>評価は作成資料やレポート、意見文など生徒が作成したもので行う。特に科学的思考・判断・表現については、生徒個人の価値観ではなく、事実に基づいた考えが示されているかで評価基準を作成していく。</p>		
配当時間	年間4時間程度	年間10時間程度 (5時間×2回)	年間15時間程度 (5時間×3回)
授業の流れと形態	<p>授業の流れは①～⑦を基本とする。②は提起された問題から想起したことを明確化させ、③へつなげるために行う。</p> <p>①問題提起 ②ブレインストーミング ③問いの形成と問題解決の見通し ④調査 ⑤資料やレポート作成 ⑥交流 ⑦意見文作成</p> <p>②は小集団での実施と全体での交流を行う。③④⑤⑦は個別学習となる。⑥は小集団（班）での交流を行う。</p> <p>中学校3年生では①の問題提起は教師が行うのではなく、生徒が日頃から問題に思っていることを取り上げることも考えている。</p>		
指導方法	<p>導入時に一斉指導を行う。他は個別指導を中心に行う。最も重視しているのは、上記の授業の流れの中に示した⑥である。自分が学んだことを身近な人に話すことで、自分の考えを整理したり、他の人と自分との相違点を見出したりできると考える。</p> <p>留意点として、判断に関わる部分については生徒の考えを引き出すようにし、生徒とともに答えを考える立場をとることとする。</p>		

## 6. おわりに

本年度は、研究の初年度でもあり、まずは新しい科学観である「科学の本質」について検討し、それがどのようなものか、また、日本の理科学習に取り入れることが可能なかどうか、を考え、試行的に実践を行ってみたい。

実践(1)は、もともと附属福山中・高等学校が文部科学省研究開発学校の指定を受け、開発課題「持続可能な社会の構築をめざしてクリティカルシンキングを育成する、新教科『現代への視座』を柱にしたすべての教科で取り組む中等教育 教育課程の研究開発」において行っている授業実践で、ESDの考え方を主体としている。「科学の本質」には、科学が社会においてどのような役割や働きをしているのか、についても含まれる。そのことから本授業実践は、科学の本質とESDを相互関連させて学ぶことが可能であることを示している。

一方、授業実践(2)は、附属東雲小学校・中学校が小中連携としてこれまで4年間実践してきた事例で、SSIを取り入れることにより、日常知と学校知の双方の連携を意図したものである。実践(1)に比べると、より「科学の本質」を教えることが意識され意図されている。

これら2つの実践例からSSIなどを学習内容に取り入れることは、現行の学習指導要領の範囲内においても可能であるということである。ややもすると、特定の領域においてのみ可能と考えがちであるけれども、授業実践(1)、(2)や附属三原中学校の構想表からも明らかなように、中学校の理科学習では、科学の本質を学習内容として取り込むことは可能である。また、授業実践(2)で論じられているように、このような学習を通して得られた科学的知識を、実社会において真の意味で「活用」することが求められる。だからこそ、授業実践(1)において行われたような、自分たち自身で探究活動をし、得られた結果に基づき、他者とコミュニケーションを取り、自分の意見を明確に表現する活動は、「科学の本質」を学習する際に求められる方法である。このことは、今日の理科教育で求められている科学的思考力や表現力の育成に直接的に結びつくことになる。

しかしながら、「科学の本質」を導入する際には、課題もある。授業実践(1)も(2)も1時間あるいは数時間の授業実践を検証したのみである。学習者の評

価が肯定的であるけれども、長時間における実践において学習者の反応はどのようになるのか、また、単元において、毎時間「科学の本質」について少しずつ言及する方法が良いのか、単元のまとめの段階でそれらを一括して取り入れるのが良いのか、という導入の仕方の問題がある。これについては、現在実践をして分析中である。これは、附属三原中学校のカリキュラム構想とも関わる問題である。

次に、「科学の本質」を教える場合、これまで理科教師が精通してきた観察や実験などの科学的探究活動に加えて、あまり精通してこなかった論証活動などを取り入れることになる。授業実践(1)や(2)においても、話し合いや発表などがそれに当たる。また、附属三原中学校のカリキュラム構想の「授業の流れと形態」である。学習者のコミュニケーション能力、表現力等を、科学的探究活動とどのように結びつけて育成するのか、これも新たな課題である。授業実践(1)や(2)から、この示唆は得られるであろう。

## 引用(参考)文献

- 1) ここでは、主として以下の文献を参考にした。  
日本理科教育学会編(2012)『今こそ理科の学力を問う』、東洋館出版社。  
日本理科教育学会編(1998)『キーワードから探るこれからの理科教育』、東洋館出版社。
- 2) 広島大学附属福山中・高等学校(2013)『中等教育研究紀要 第53巻 第1部』。
- 3) 国立教育政策研究所 教育課程研究センター(2012)『ESDの学習指導過程を構想し展開するために必要な枠組み』
- 4) Ratcliffe, M. and Grace, M. (2003) *SCIENCE EDUCATION FOR CITIZENSHIP: Teaching Socio-scientific issues*, Open University Press.
- 5) Gibbons, M, et al. (1994) *The new production of knowledge: the dynamics of science and research in contemporary societies*. London: Sage.
- 6) 文部科学省(2008), 『中学校学習指導要領解説 理科編』, p. 3, 大日本図書
- 7) 日本理科教育学会編(1998)『キーワードから探るこれからの理科教育』 pp. 2-3, 東洋館出版社。
- 8) 前掲6) p. 3
- 9) 塚田他, 『指導書 第2部詳説 未来へひろがるサイエンス1, 2, 3』(2011), 新興出版社啓林館。