

「地球科学と資源・エネルギー」をテーマとする 科学リテラシーの育成をめざした教材開発（Ⅱ）

前原 俊信 蔦岡 孝則 磯崎 哲夫 池田 秀雄
山下 雅文 平賀 博之 小茂田聖士 岡本 英治
丸本 浩 沓脱 侑記 林 靖弘 柏原 林造
田中 伸也

1. はじめに

広島大学附属福山中・高等学校（以下当校）では、平成21年度から文部科学省 研究開発学校の指定を受け、複眼的な視点をもった問題解決力と読解力を育成するために「クリティカルシンキング」を柱に据えた系統的なカリキュラムの研究開発（以下、クリティカルシンキング育成プログラム）に取り組んでいる¹⁾。

ここでは、「クリティカルシンキング」を「適切な規準や根拠に基づき、論理的で偏りのない思考」、「よりよい解決に向けて複眼的に思考し、より深く考えること」ととらえ、与えられたデータや情報を鵜呑みにするのではなく、その情報が、事実か、推測か、希望的内容か、また情報の発信源は信頼できるかなどについての確に判断したり表現したりする能力としている。このような能力を育むため、新教科として「現代への視座」を創設するとともに、既存教科の発展的単元や総合的な学習の時間など、すべての教科で取り組

むプログラムにしている。

本研究では、この新教科「現代への視座」の中で、表1をねらいとして、理科を改編して中学校3学年に設置した新科目「地球科学と資源・エネルギー」の教材開発を行う。

具体的には、当校が平成15年度から6年間、研究開発学校の指定を受け開発した、科学的思考力および科学を支えるリテラシーの育成をテーマとする「サイエンスプログラム」^{2, 3)}をベースに、義務教育修了段階で必要と考えられる科学リテラシーの育成を大きなねらいにしている。ここでいう科学リテラシーは、持続可能な社会の構築に寄与するために必要となる、知識、能力、態度を意味し、OECD PISAの科学的リテラシーを含む内容と捉えている。ここで、PISAの定義⁴⁾からも、このようなリテラシーの育成が、ESDにつながっており、その要素としてクリティカルシンキングが重要となっていることを付記する。

表1 「地球科学と資源・エネルギー」のねらい

中学校で、この段階までに学習を終えている物理・化学・生物的な内容を基盤とし、その上で地学領域を集中して学び、これまで育んできた科学的知識、技能、思考力を活用して、総合的に地球を捉える視点、および資源・エネルギーを中心に現在から将来に向けての社会と科学、自然との関係を考える視点を育む。

また、「地球科学」、「資源・エネルギー」を題材に、直面する課題について考え、複眼的な視点を活かして現状を分析し、その解決に向けての各自の意見をまとめ表現する力の育成をねらいとする。

「地球科学と資源・エネルギー」の主な特徴は、中学校3学年に地球科学分野を集中させるとともに、中学校理科第7単元である「科学技術と人間」、「自然と人間」の内容を、持続可能な社会の構築にむけて必要となる態度、能力であるクリティカルシンキングの育成を柱にして再構成していることである。

研究初年度である昨年度は、「地球科学と資源・エネルギー」の年間授業計画、および2つの単元を例にクリティカルシンキングを柱に据えて、複眼的思考力と活用力を育む指導計画・授業展開例を報告した⁵⁾。

本年度は、持続可能な発展のための教育（ESD）に向けてのクリティカルシンキングと本科目のつながりについて考察し、その能力、態度の育成をねらいと

Toshinobu Maehara, Takanori Tsutaoka, Tetsuo Isozaki, Hideo Ikeda, Masafumi Yamashita, Hiroyuki Hiraga, Masashi Komoda, Eiji Okamoto, Hiroshi Marumoto, Yuki Kutsunugi, Yasuhiro Hayashi, Rinzo Kashihara, Shinya Tanaka: Development of teaching materials in the subject “Earth Science, Resources and Energy” aiming to foster science literacy growth (II)

した具体的な授業構成を提案する。

2. ESDとクリティカルシンキング

国立教育政策研究所は、平成22年9月に「学校における持続可能な発展のための教育（ESD）に関する研究（研究代表者 角屋重樹）」の中間報告書を発表し、学校においてESDを導入・実施するための基本的な考え方や、「視点整理型アプローチ」および「チェックシート型アプローチ」での具体的な授業の実践例を報告した⁶⁾。

教科などにおいてESDを具体的に実践する方法の一つである「視点整理型アプローチ」では、ESDの目標を、「持続可能な社会づくりに向けての課題を見だし、それらを解決するために必要な能力・態度を身に付ける」とし、ESDの視点を、「持続可能な社会づくりのとらえ方（要素）」「重視する能力・態度」「学習指導を進める上での留意事項」のそれぞれにおいて設定し、それらの視点に基づいて授業を設計するように提案している。その中で「重視する能力・態度」を以下の7点に整理している。

- ① 批判的思考・判断する力
- ② 未来像を予測して計画を立てる力
- ③ 多面的、総合的に考える力
- ④ コミュニケーションを行う力
- ⑤ 他者と協力する態度
- ⑥ つながりを尊重する態度

⑦ 責任を重んじる態度

ここで、①は具体的には「合理的、客観的な情報や公平な態度にもとづいて本質を見抜き、ものごとを思慮深く、建設的、協調的、代替的に思考・判断する力」としている。

これまで実施していた授業に対して、このような視点の整理を行うことで、ESDへとつなげていくことができるようになってきている。理科の授業では、このように視点を明確にすることで、単元とESDのつながりが見え、これまでの授業のどの部分を強調・改善すればESDの視点を取り入れることになるかが明らかになり、授業計画をスムーズに組み立てることができると考えられる。当校の、クリティカルシンキングを柱にした授業改善でもこのような手法を参考にした。

3. プログラムで育むクリティカルシンキング

クリティカルシンキング育成プログラムでは、育みたい能力を態度・知識・能力の視点から整理し、表2のように具体的な学習目標を設定している⁷⁾。

これをもとに、各教科・科目（単元）で重視する目標を整理し、それぞれの具体を評価規準の形で整理した。この評価規準をもとに、授業を構成している。さらに、現在はこの評価規準に基づいた評価問題を作成して生徒の変容をとらえる研究を試行している⁷⁾。

授業の工夫としては、生徒の観察、実験や、グループ討議、発表など、体験や主体的な活動を通して、考

表2 クリティカルシンキング育成プログラムの学習目標

<p>ア（態度）：クリティカルシンキングを積極的にを行い、注意深くじっくりと考え、事実や価値を明確にしていこうとする態度を身につける。そして、自らが行ったクリティカルシンキングを振り返り、自覚していこうとする態度を身につける。</p> <p>イ（知識）：クリティカルシンキングで必要となる、自然・社会・文化等についての豊富な個別的知識（個々の事実）や概念的知識（法則や理論、目的や意味）などを習得する。</p> <p>ウ（情報分析・問題発見）：信頼できる情報源から情報（文章・データ等）を収集・整理・解釈して、そのうえで問題発見をして、それらを記述することができる。また、所与の情報に対して、その情報源そして情報の整理・解釈の方法の妥当性を吟味して、そのうえで問題発見をして、記述をすることができる。</p> <p>エ（論理性）：論理性を重視しながら、問題解決できる。問題解決の際には、適切な推論ができる。そして、真理性や正当性のある概念知識を前提とした、説明や理解をしたり主張したりすることができる。</p> <p>オ（科学性）：科学性を重視しながら、問題解決できる。問題解決の際には、適切な方法で実験・観察（直接観察や間接観察）等をして、仮説を検証をすることができる。そして、科学的な法則や理論にもとづき、説明をしたり主張したりすることができる。</p> <p>カ（複眼的視点—原因や目的・意味等について）：複眼性を重視して、原因や目的・意味等についてさまざまな事例にもとづいて考察したり、さまざまな観点から考察したりすることができる。</p> <p>キ（複眼的視点—影響について）：複眼性を重視して、影響などについて様々な事例に基づき考察したり、さまざまな観点から考察したりすることができる。</p> <p>ク（表現力）：表現法を工夫して、効果的に主張することができる。</p>
--

察を深めたり判断をさせたりする展開を取り入れた。

4. 本科目でのESDをテーマとしたクリティカルシンキングのとらえ方と展開例

(1) 地球科学領域

①ねらいとするクリティカルシンキング

当校では中学校の地学的な内容を、義務教育修了時点での「総合的な科学」と位置づけ、物理的な内容、化学的な内容、生物的な内容の学習後に、それらを活用する場面としての意味も含め、3年生に集中的に配置している。この領域では、大地の変化、気象、天文など広範囲で複雑な自然現象を扱い、自然を見る様々なスケール感を育成することをねらいとしている。

私たちの身のまわりの景観は、地球の誕生以来、地表には様々な営力がはたらき、その結果として現在の地球ができてきた。このように、地球を「変動の場」として捉えることは、今回提案するこの領域の大きな特徴である。ある単元では、地球の構成物質である岩石・鉱物と関連を持たせながら、地球の変動の証拠を取り上げていく。具体的には、地震や火山などの短時間で認識できる変動から出発し、次第に時間的、空間

的なスケールを広げ、プレート運動による山の形成までを扱うとともに、「現在は過去を知る鍵」であるという地質学の原理に従って過去を解明する方法や考え方を身につけさせる。

また宇宙という空間的な広がりや天体の運動の学習で必要となる視点の移動など、他の領域では扱うことのできない思考内容が数多く含まれている。

表2の構成をもとに整理したこの領域における評価規準は表3の通りである。

以下に示す展開例は、壮大な時間や空間のスケールを扱う流れの中に位置付いており、実験による風化と実際の岩石の風化をさまざまな角度から比較・検討する中から、地質学的なスケールでの時間の流れを想起させることを意図している。

ここでは、モデル実験と実際の現象を比較し、どのようなところが自然界と対応しており、どのようなところは自然界では起こり得ない部分かを明らかにしていく。その過程でクリティカルシンキングの手法を用いることで、生徒の思考をより深めていくことができると考えた。

表3 地球科学領域の評価規準

<p>ア（態度）：地球科学に関する事象に対して、じっくり作業し、じっくり考えることを通して、論理的な説明をクリティカルな見方に基づいて行っていくとする。</p> <p>イ（知識）：地球科学に関する事象について、時間的・空間的スケールやその広がり、変化のようすを、的確に認識するための知識を獲得している。</p> <p>ウ（情報分析・問題発見）：地球科学に関する事象に対して、自然界からの情報を整理することで、科学的な用語やその内容をことばで表現し、記述することができる。</p> <p>オ（論理性や科学性）：地球科学の学習の場面で、観測や実験などの体験に根ざした活動から結果についてまとめ、さらに新たな課題を発見して科学的な方法で解決していき、レポートを作成するなど、適切な方法でまとめることができる。</p> <p>カ（複眼的視点—原因や目的・意味等について）：地球科学の学習の場面で、科学的な根拠に基づいて、自分の意見を形成し、発表することができる。</p> <p>ク（表現力）：地球科学に関する事象に対して、映像やグラフ、図表などの効果的な方法を用いながら説明することができる。</p>
--

②授業展開

単元：第2章 大地を科学する

「かたい岩石から地層への変化」

【第1次】かたい岩石が壊れるしくみ

- 花崗岩の岩片を加熱・急冷する実験を行い、岩石が細粒化し強度を失って粉々になっていく現象を体験する。
- 実際の岩石の風化と今回の実験で、同じしくみと考えられる部分、条件などが異なる部分などを比較する。（グループ討議、発表）
- 自然界で急激な温度変化は起こらないが、何千年、何万年あるいはそれ以上の長い時間のスケールの中で、風化が徐々に進行していくことを考察する。

【第2次】流水のはたらきと地層の形成

- 礫や砂などの水中での堆積の特徴について実験する。
- 福山の地下のボーリング資料に基づいて、福山の大地のでき方を推定する。

【第3次】土砂災害と地盤

- 土砂災害の特徴について学ぶ。（地滑り・山崩れに関するVTR視聴など）
- 土砂災害を防ぐための工夫や、危険な状況を読み取るための情報の収集、判断の仕方などについて考察する。

③結果と考察

花崗岩の岩片を加熱・急冷する実験は、岩石の風化をモデル化したものだが、温度変化による岩石や鉱物の膨張・収縮によるストレスが、岩石を破壊していくことを体験的に感じるができる。しかしこの現象を科学的な根拠に基づいて読み解くためには、生徒には、中学校で学習してきたさまざまな知識が要求される。岩石が熱を受けた際に、燃焼などの化学変化が起きているのではないことは、花崗岩が1000℃を超える高温のマグマから形成されたこと。そのため、燃焼などの化学変化が起こる可能性のある物質は、すでに反応を終えていることなど、中学校の学習内容を根拠にして考察を行うことができた例が数多く出てきており、地学的な内容を中学校のまとめとして配置している利点が現れたものであろう。

図1はこの展開例の授業終了時点での生徒の意識調査の結果である。ここからは、興味を持つことができた生徒は多い(問1)が、深く考える(問3)は生徒に浸透していないことが見て取れる。内容的にかなり難しいことを扱ったことも重点を置いたほどには意識として定着していない原因であろう。生徒にとっては、もっとわかりやすい内容で思考を深める方が、達成感が得られ、それが効果につながるのではないか。今後、内容の更なる検討が必要であると感じている。

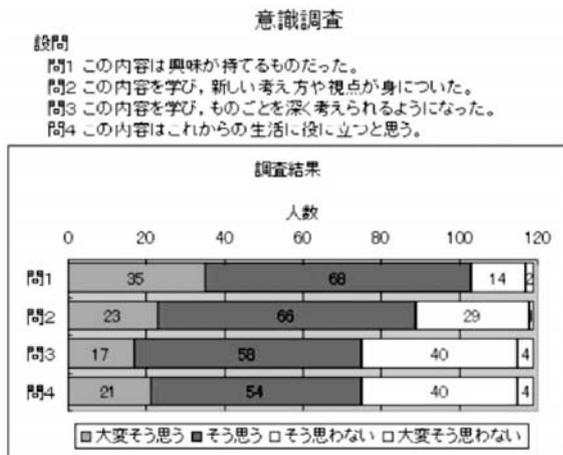


図1 地球科学領域の実践に対する生徒の意識

(2) 資源・エネルギー領域

① ねらいとするクリティカルシンキング

ここでは、ESDをテーマとするクリティカルシンキングを「科学的な根拠に基づいてものごとを思慮深く、建設的に思考・判断することができる力」として、科学技術の発展と人間生活のみつめる中で、現状を分析し課題を発見する展開とした。自分の生活を振り返り、具体的な事例を通して日常生活や社会と科学技術

表4 資源・エネルギー領域の評価規準

- ア(態度)**：学校で学んだ知識を日常生活や社会との関連で活用してクリティカルシンキングを積極的に行い考えていこうとする。そして将来どのような社会を築いていくかについて幅広い視点から考えようとする。
- イ(知識)**：科学的現象や法則、および社会の中の科学の利用と有用性、および役割、課題についての知識を獲得できている。
- ウ(情報分析・問題発見)**：事実性を重視して、情報を収集したり、整理したり、解釈したり、問題発見したりして、科学と社会とのかかわりに関連した事象を持続可能な社会の構築の視点で考えることができる。
- オ(科学性)**：資源・エネルギーの関連した事象から課題を発見し、科学性を重視しながら、論理的に現象を説明したり、推論したりすることができる。特に、持続可能な社会に向けて、科学的データにより説明したり判断したりすることができる。
- カ(複眼的視点—影響について)**：複眼性を重視して、資源・エネルギーの関連した事象について、科学的データに基づき、説明や主張の確実性を確認したり、多様な説明や主張の可能性を探って複数のものを認識できたりする。また、複数の説明や主張がある中で、自己がどれを重視・支持するか、意思決定できる。
- ク(表現力)**：グラフや図、数式などを適切かつ効果的に利用して、結果の提示や現象の説明を行うことができる。

とのかかわりについて考察し、科学的事項を理解する。

このように、科学的データや根拠に基づき考察し、判断する態度の育成は、理科からESDへ大きく貢献できる部分である。

表2の構成をもとに整理した本単元の評価規準は表4の通りとなる。

資源分野では、化石燃料を題材に、自然科学的知識と社会的知識を活用し、日本の現状と課題を分析する。その際、化石燃料の質を考える視点は何かについてワークショップ型の学習を行い、生徒間で議論を深める展開を行うことで、コミュニケーション力や表現力の育成を図る。また、熱化学方程式を取り入れることで、数量的な比較をすることができ、ねらいである「科学的根拠に基づいた」活動につながると考える。このような様々な視点を設定し、それを複眼的に考慮して科

学的データを使って評価する展開は、鉱物資源、様々な発電方法などを題材とした場合にも活用できる。

エネルギー分野では、電気エネルギーの利用と人間生活を題材に構成した単元「科学技術と人間」を報告する。エネルギーの変換、変換効率の視点は理科において重要なテーマであるとともに、ESDの視点としても重要なものである。ここでは、将来に向けての新たな科学や環境技術の開発が必要であることを考えさせる。また、社会構造の変化に伴うライフスタイルの変容や、政策による省エネルギーへの誘導など、現在の状況について社会的な視野も含めた多様な視点で考察し、問題の解決に向けてそれぞれの生活を見直していくことが重要であることも考えさせることで、ねらいとするクリティカルシンキングの力を養う。

②授業展開

〈資源分野〉

単元：第3章 持続可能な社会に向けて

「エネルギー資源（化石燃料）」

授業構成：

【第1次】人類とエネルギーのかかわり

○火の発見から石油を利用する現代までの、文明の発展と、人口の推移、およびエネルギー消費量の変化について、また、科学技術の発展と生活の変化について考える。（安全、快適な生活へ。人口の爆発的増加へ。）

○石炭、石油、天然ガスという化石燃料の種類とそのでき方、主な利用について資料を使って整理する。（燃料見本により、実物を観察）

【第2次】エネルギー資源の分布

○世界地図を利用し、エネルギー資源の分布や可採年数を考えるとともに、日本の輸入の現状を分析する。

【第3次】エネルギー資源を考える視点

○木炭の燃焼（ $C + O_2 = CO_2 + 349kJ$ ）と、メタンの燃焼（ $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O + 890kJ$ ）の熱化学方程式を紹介し、エネルギーの質を考える。（その際、モルの概念までは教えないが、同じ分子の数のかたまりで考えることを理解させ、その質量は木炭では12g、メタンでは16gとなる。）1gあたりの発熱量の比較。同じ発熱量なら分子の数はどちらが多いかなど数量的に考察する。この比較の視点を、「エネルギーの発生量」とする。

○この他の比較の視点がないかについて班で話し合う。

それを分類し、マッピングを行う。（ワークショップ型の活動とする。）

○木炭とメタンについて、複数の視点（「エネルギーの発生量」と「環境への負荷」など）に立っての比較を行い、発表する。

〈エネルギー分野〉

単元：第3章 持続可能な社会に向けて

「科学技術と人間」

授業構成：

【第1次】生活と電気エネルギー

○電球の発明（電力網の開発）について学ぶとともに、シャープペンシルの芯を使った自作電球の実験を行い、エネルギーの変換を考える。

○電球（電灯）の普及に必要な技術や、普及したことによる社会の変化について考える。

○白熱電球の電流と電圧を測定し、消費電力（使用電力量）の計算を行う。

【第2・3次】生活と科学技術

○40W白熱電球と同じ明るさの電球型蛍光灯、電球型LEDでの電流を測定し電力を求め、変換効率について考える。

○それぞれから出る光の性質（スペクトル、紫外線などや触ると熱いかなど）について実験を通して考察する。

○エネルギーの最終利用のデータ（資源エネルギー庁より、石油危機以来のエネルギーの最終利用の分析を行い、現在の課題について考える。民生、運輸部門の利用量が1973年比較で2倍以上増加する一方、産業部門はほぼ横ばいにもかかわらずGDPが2倍以上成長しているなどの現状を分析し、生活の変化を振り返って、なぜ民生、運輸部門の利用量が増加しているかその要因を考える。

○班での議論の後、その他の資料を使って、民生部門では家電製品の多様化や、普及に伴う台数の増加、大型化などが課題であり、運輸部門では自家用車と貨物自動車の増加が課題となっている点などを整理する。

○京都議定書について解説するとともに、エコカー減税やエコポイント制度などの政策を考える。

③結果と考察

〈資源分野〉では、熱化学方程式とモルの基礎となる考え方を導入した。「ある一定数のかたまり」という部分については深入りは避けたので、燃料1gあたりでの比較、分子1個あたりの比較（何倍といった程度の量的比較）や一定発熱量での比較など、あまり抵抗なく理解された。様々な視点では、「可採量」、「発生するCO₂の量」、「保管費用」、「運搬費用」、「採掘の費用」など多様な意見が出た。これらを、「エネルギ

一量]、「環境負荷 (CO₂, NO_x, SO_x, 公害など)」、
「機能性 (安全性, 運搬, 保管など)」、
「安全性 (爆発など)」、
「経済性 (各種費用, 開発の費用など)」と分類し、考察を深めることができた。

〈エネルギー分野〉では、ESDの視点を加えるため、科学的視点に加え社会的視点を取り入れことで、エネルギーの有効利用などに関連した多様な科学技術が開発されていることを理解し、将来の生活の在り方や社会と科学について予測し、考える展開ができた。

3限までを終えての生徒の意識調査の結果を図2に示す。この結果より、本単元が、興味・関心が持て、新しい視点が身につく、生活に役立つものになると多くの生徒が考えており、当初のねらいが達成できたと考える。

生徒の感想では、「生活で使われているものを科学的に見ることができるようになった」や、「家族と話し合いをして、生活を見直したい」などの前向きな意見が多くある一方、教材が身近すぎて新聞などでも見聞きしているためか、新しい考え方や視点は身に付かなかったという意見も少数だが有った。全体では、社会全体で二酸化炭素の削減や省エネルギーに向けて努力をしていることを知り生活の見直しにつながったという意見が多かった。

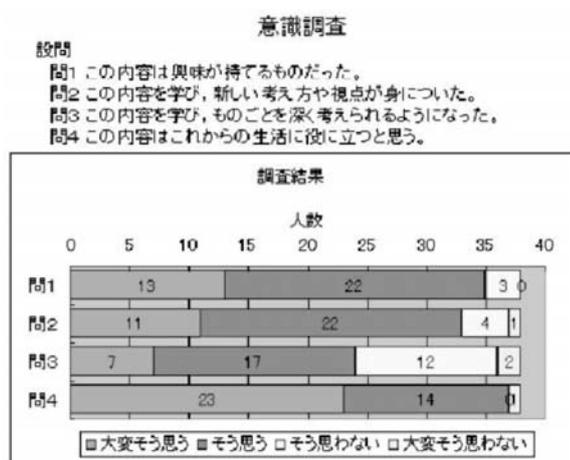


図2 エネルギー領域の実践に対する生徒の意識

5. 今後の課題

本科目は、中学校理科の内容をESDとクリティカルシンキングの育成を柱に、再構成・補完したものである。そのため、ここで扱う教材や授業展開は、多くの中学校でも実践可能なものであると考えている。授業では、現象・事象に対していろいろな視点で考察したり、意見をまとめる展開ができたと感じる。

実際にこれらの活動を通して、生徒にクリティカルシンキングが身についたかについての評価が必要となっているが、今後、当校が研究開発で進めている評価問題などを通して生徒の変容を捉え、能力の評価とカリキュラム評価につなげていきたい。また、資源・エネルギー分野は、多くの事象を社会的視点も含めて展開するので、実践を通して授業構成の再検討を進めていく予定である。

引用 (参考) 文献

- 1) 広島大学附属福山中・高等学校 中等教育研究紀要 第50巻 (第1部), 2010年3月 他
- 2) 広島大学附属福山中・高等学校 中等教育研究紀要 第46巻 (第1部), 2006年3月 他
- 3) 広島大学附属福山中・高等学校 中等教育研究紀要 第49巻 (第1部), 2009年3月 他
- 4) 経済協力開発機構 国立教育政策研究所 OECD, PISA2009年調査 評価の枠組み—OECD生徒の学習到達度調査, 明石書店, 2010年10月
- 5) 山下雅文他, 「地球科学と資源・エネルギー」をテーマとする科学リテラシーの育成をめざした教材開発, 広島大学学部・附属学校共同研究機構研究紀要第38号, 2010
- 6) 国立教育政策研究所 学校における持続可能な発展のための教育 (ESD) に関する研究 中間報告書, 2010年9月
- 7) 広島大学附属福山中・高等学校 文部科学省研究開発学校 研究開発実施報告中間まとめ 平成22年度 (第2年次), 2010年11月