

「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（Ⅲ）

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

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（以下、クリティカルシンキング育成プログラム）の研究開発に取り組んでいる。^{1), 2)} 本研究は、この研究開発で設置した新教科「現代への視座」の中の、中学校第3学年新科目「地球科学と資源・エネルギー」として、中学校段階の総まとめとして、実社会、実生活と科学技術の関わりに関する内容を扱い、これからの持続可能な社会の構築に向けて必要となる資質・能力としてのクリティカルシンキングを養う教材開発を行い、新しい理科のあり方の提案を行うものである。

ここで、当校では「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的確に判断したり表現したりする能力としており、特に理科では、安易な一般化や偽科学に惑わされることなく、科学的根拠に基づいて、じっくりと考えて判断する能力と考える。

これまでの2年間の研究では、「地球科学と資源・エネルギー」で扱う内容について、年間計画と単元計画の形で提案した。^{3), 4)} 今年度は、理科におけるクリティカルシンキングの扱い方をまとめるとともに、この年間計画と単元計画の試行に伴う修正と新学習指導要領との関連に関する修正を行い、「地球科学と資源・エネルギー」の指導計画（最終版）をまとめ、既存の

理科と比較して発展的と考えられる内容との関連について示す。

2. 理科におけるクリティカルシンキング

理科の授業では、観察・実験を基に仮説を立て検証したり、理論を展開して予測し検証するなど、帰納的または演繹的に論理を積み重ね、自然現象を解釈し、法則として理解していく。この際、比較、関連性の分析、要素抽出、条件制御、推論など適切な科学的方法に基づき、考察を深める。このような科学性を重視した授業展開により、クリティカルシンキングの育成は可能となるが、クリティカルシンキング育成プログラムでは生徒の意識を高めるために、「本当か?」、「他にはないか?」をより具体化して、以下のような問いかけを授業の中で行うことにしている。

- ・不確かな前提になっていないか
- ・隠れた前提はないか
- ・論理の飛躍はないか
- ・軽率な（早すぎる）一般化はないか
- ・不適切なサンプリングはないか（誤差の考慮、実験方法の適切性など）
- ・他の可能性（対立仮説）はないか

理科授業での具体的場面の例として、中学校2年「電流がつくる磁界」を紹介する。この単元では直線電流の周りの磁界の様子を調べる実験を行う。多くの教科書では、導線を鉛直に位置させ電流を流し、水平面に置かれた画用紙の上に鉄粉をまきその様子を観察する。その鉄粉の模様から電流に垂直な面内に円形に磁力線ができると結論づける。しかし、この実験の結果は、水平面に限られたものである。そこで、「このような結果（鉄粉の様子）になる磁力線は、教科書の結論（電流に垂直な面内に円状に磁力線ができる）以外

Masafumi Yamashita, Masashi Komoda, Eiji Okamoto, Hiroshi Marumoto, Yuki Kutsunugi, Rinzo Kashiwara, Yasuhiro Hayashi, Shinya Tanaka, Toshinobu Maehara, Takanori Tsutaoka, Hideo Ikeda; Development of Teaching Materials in the Subject "Earth Science, Resources and Energy" Aiming to Foster Science Literacy Growth (Ⅲ)

に、他の可能性はないか」と問いかけを行うと、生徒から、「らせん」や「楕円」などの意見が出る。その後、それらの意見（仮説）を確認するための実験（導線に沿った面内での鉄粉模様の観察）を引き出し、実験で確認後、結論へとすすめる展開を行う。このように、結果から結論へとすすめる際、立ち止まってじっくりと考え、言い過ぎがないか、他の可能性がないかなどを考える重要性を指導する。

「地球科学と資源・エネルギー」では、特に複眼性と科学性を重視したクリティカルシンキングの育成をねらいとしており、地球科学では地学分野を「総合的な科学」と位置づけ、実験で直接検証できないスケールの事象をどのように科学的に考察するかについての展開を行う。資源・エネルギーについては、実社会、実生活とのかかわりを考えながら、複数の視点から定量的に考察する展開を行う。

3. 「地球科学と資源・エネルギー」の内容と指導計画

【科目の目標】

- (1) 地球科学に関する事物・現象について、興味・関心を持ち、それらに関連する基礎的知識を身につけ、時間的、空間的な様々なスケール感を育成するとともに、それまで学んだ科学知識を活用して、持続可能な社会の構築に向けて複眼的に事象を捉え、考察するクリティカルシンキングを養う。
- (2) 資源・エネルギーに関する事物・現象について、興味・関心を持ち、それらに関連する基礎的知識を身につけ、身近な生活との関連について認識するとともに、持続可能な社会の構築に向けて複眼的に事象を捉え、考察するクリティカルシンキングを養う。
- (3) 自然科学や科学技術と身近な生活との関連について認識し、持続可能な社会の構築に向けて科学的に考え、科学的根拠に基づき判断しようとする態度を養う。

A領域（35時間扱い）

※以下の内容は、理科第1分野の（1）身近な物理現象、（2）身の回りの物質、（3）電流とその利用、（4）化学変化と原子・分子、（5）運動とエネルギー、（6）化学変化とイオン（化学変化と電池を除く）を履修後学習する。

単元名	学習内容・ねらい	発展的内容（他教科との関連）
第1章 エネルギーの利用 1. エネルギーの移り変わり (1) 化学変化とエネルギー (2) いろいろなエネルギーの変換	<ul style="list-style-type: none"> ・発熱反応，吸熱反応に伴う，熱の出入りを熱化学方程式として表現し，1gあたりの発熱量などの計算を通して，反応熱の利用への基礎を学ぶ。 ・力学的エネルギー，熱エネルギー，化学エネルギー，光エネルギー，電気エネルギー，核エネルギーの相互変換とエネルギー保存の法則について学ぶ。その際，熱エネルギーの特殊性にも触れ，変換効率が課題となることに気づかせる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・熱化学方程式・資源・エネルギーの利用を定量的に考える基礎とする。 ・熱の特殊性・エネルギーの変換では，必ず一部分が熱エネルギーとなることや，熱の変換には温度差が必要なことを学ぶ。
2. 電気エネルギー (1) 電池 (2) 発電と送電	<ul style="list-style-type: none"> ・電池のしくみを実験を通して学習するとともに，現在使われているいろいろな電池（一次電池，二次電池，燃料電池，光電池）について，その特徴を整理する。 ・発電所の種類として，火力発電，水力発電，原子力発電，その他（風力発電，太陽光発電など）を紹介し，電力需給に占める割合や火力発電の燃料，発電所の立地について学ぶ。また，高圧送電について学ぶ。 	<ul style="list-style-type: none"> ・イオン化傾向（$Mg > Zn > Fe > Cu$）を紹介し，正極，負極，起電力の関係を整理する。 ・発電所の立地・いろいろな要素を踏まえて考察する
3. 原子力発電のしくみと課題 (1) 放射線とは (2) 放射線の利用 (3) 原子力発電	<ul style="list-style-type: none"> ・放射線は原子核から出ており，透過作用，電離作用を持つことや，その種類と特徴を学ぶとともに，自然放射線が存在すること，不安定な原子核を人工的に壊してエネルギーを得ることができることを学ぶ。その際，Sv, Bqなどの単位について触れ，人体への影響について学ぶ。 ・工業，農業，医学分野などでの放射線の利用を紹介する。 ・核エネルギーを熱に変換し，発電していることを学び，その防護の考え方について触れる。また，放射性廃棄物についても触れる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・Bq, Bq/kg, Sv, Sv/hの単位・出す側，受ける側の単位として紹介し，/kg, /hの意味を考える。 ・半減期，放射線防護の3原則 ・放射線の測定方法霧箱，GM計数管，フィルムパッチなど

4. 新エネルギーの利用	・再生可能エネルギー、代替エネルギーとして現在利用が進められているものや、開発されているものを調べ、その特徴を学習する。	
第2章 資源の利用	・いろいろな化石燃料の性質と埋蔵量、その分布を学ぶ。その際、石油は多くの工業製品の原料となっていることに気づかせる。	・資源・エネルギーの偏在性
1. 化石燃料・金属資源	・金属・非金属資源の分布を学び、日本の資源輸入依存や資源の可採年数について触れ、資源・エネルギーの有限性を考える。	・金属の精錬
(1)化石燃料	・鉱物の利用の例として、鉄の精錬を扱い、精錬に大きなエネルギーが必要であることを学ぶ。	
(2)いろいろな鉱物資源	・地球温暖化、ゴミ問題、酸性雨などの環境問題を考え、リサイクルの重要性や3R運動などを学ぶ。その際、アルミニウムを例にエネルギー的に優れていることを考える。	
(3)金属の精錬とエネルギー		
2. 地球環境とリサイクル		
第3章 持続可能な社会に向けて	・便利さや快適性の向上に伴う生活の変化とエネルギーの消費（特に電気エネルギー）の増加をデータ（エネルギー白書などを活用）を使って考察し、今、何が課題かを考える。	・「生活と科学技術」として、「科学技術の貢献や課題」に加え、「DHMOの使用規制」の話題を取り上げ、偽科学や『科学』とのつきあい方について扱う。（※本稿、次節で具体例を紹介）
1. 科学技術と人間	・その課題を解決に向けての政策や技術（電球に対しては、白熱電球から蛍光灯、LEDへ）を調べたり、実験を通して確認したりする。	
(1)生活と電気エネルギー	・科学技術と生活の関係に触れ、科学の貢献と課題を考えるとともに、クリティカルシンキングを行う。	
(2)生活と科学技術		
2. 持続的にくみとして の自然環境	・生態系、物質循環を復習し、エネルギーの効率的利用や環境負荷低減のための循環型社会について考える。	

B領域（70時間扱い）

単元名	学習内容・ねらい	発展的内容（他教科との関連）
第1章 天気を科学する		
1 気象観測でデータ収集	・「観天望気」など、ことわざと気象について調べ気象への関心を高める。また、気象観測の基礎的方法を習得する。オーガスト乾湿計のしくみを自分の言葉で記述。	・気象観測機器のしくみについて考察する。
2 気象変化の規則性	・天気図の読み方を学び、特徴を記述する。また、校内の気象について過去の百葉箱の観測データからその特徴を読み取り、自分の言葉で記述する。	・校内の気象観測データの活用（デジタル百葉箱を含む）
3 姿を変える水	・飽和水蒸気量、湿度、露点をもとに霧や露のできかたについて学習する。また、洗濯物の乾き方と湿度の関係について考察する。	・湿度を瞬間の値で捉えるだけでなく、時間の幅の中で捉える。
4 雲をつくろう	・観測したビデオや写真データから雲のでき方を学び、雲のできる高さや露点の関係や雲の中での水滴や氷晶のようすや雨の降り方を考える。	・雲をインターバル撮影して動画をつくる。
5 気圧と風から台風を科学する	・低気圧と高気圧付近の風の特徴と、台風の構造と風のふき方、進路予想について学び、台風による災害の特徴と防災についても学ぶ。その際、転向力の影響についても触れる。	・台風や豪雨災害に対する防災について学ぶ。
6 前線を知る	・前線のでき方とようす、前線通過に伴う気象の変化を学び、前線の性質や低気圧の通り道を推定する。	
7 天気図を作成し、天気を予測しよう	・前線のでき方とようす、前線通過に伴う気象の変化を学び、前線の性質や低気圧の通り道を推定する。 ・天気記号や天気図の作成方法を学び、実際に気象通報より天気図を作成し、天気の変化を予測する。	・自分で天気図を作成し、天気予報を作成する。
第2章 大地を科学する		
1 地震の揺れを捉える	・地震計のしくみを学ぶとともに、地震の揺れの特徴や伝わり方をデータから分析する。	

2 地震災害を防ぐ	・断層の特徴を学び、日本の断層のようすと震源の分布の関係、プレートテクトニクスについて学習する。また、地震による災害の特徴と防災について考える。	・地震予知や地震災害に対する防災について学ぶ
3 火山の形から考える 防災	・いろいろな火山の映像を視聴し、火山の形、噴出物、噴火の仕方の違いを、自分の言葉でまとめる。	・火山災害に対する防災について学ぶ。
4 火山灰を科学する	・いろいろな火山の火山灰や噴出物を観察し、鉱物の種類と同定について学ぶ。また、火山の噴火の歴史や特徴について資料で調べる。	
5 火成岩を鑑定する	・マグマの冷え方により結晶の大きさが変わることを選び、火成岩を観察しそのでき方を考える。また、岩石薄片の偏光の性質や色指数を学び、火成岩を分類する。	
6 大地の歴史を読み取る	・花崗岩の風化モデル実験を通して、風化のしくみと土砂災害の特徴について学ぶ。また、礫や砂の堆積の特徴を実験を通して学ぶとともに、福山のボーリングデータを元に福山の大地の成り立ちを推定する。	・風化に関するモデル実験を行い、土砂災害に対する防災について学ぶ。
7 地層から時間を読み取る	・堆積岩のでき方を学び、その中に見られる化石からその成り立ちを考える。	
8 身近な大地の歴史を調べよう	・野外学習で、地層や火成岩の観察。野外学習での説明を自分の言葉でレポートにする。	・野外学習を通して、教室で学んだ知識を活用し、自然の現象を考察する。
第3章 宇宙を科学する		
1 天文学とはどのような学問か	・VTR教材を使って、天文学の概要を知り、天体の位置の表し方や、長い時間スケールでの星座の形の変化を学び、星までの距離感や時間スケールを養う。	・天文学が扱う時間や距離のスケールについて考察する。
2 太陽と月からわかること	・太陽表面の観測やVTR教材を通して、太陽表面のようすや太陽エネルギーについて学ぶ。また、月の観測を行い、月の満ち欠けのしくみを考察する。	
3 地球が自転すると？	・太陽の1日の動きを観測し、日周運動に伴い地球から他の天体がどのように見えるかを考え、視点を変えた運動を考察する。	・観察者の位置や視点を変えて現象をモデルを用いて考察する。
4 地球が公転すると？	・星座早見盤や天体シミュレーションを使って星座の年周運動と地球の公転の関係を学び、天体の動きを考える。	・地球の公転に関するモデル実験をもとに、星座の見え方や季節の変化について考察する。
5 季節変化の原因を探る	・太陽の南中高度の変化や、昼と夜の長さの変化を調べ、太陽の日周運動の経路との関連で考察し、公転軌道面に対する地軸の傾きと季節の移り変わりを捉える。	
6 惑星の見え方を科学する	・太陽系の惑星を調べ、その位置と見え方や、それぞれの星の特徴と地球環境との比較を行うとともに、太陽系の起源について学ぶ。	
7 太陽系の外には何が あるか	・地球から天体までの距離は非常に遠く、今見ている天体は、過去の天体から出た光を見ていることになることを学び、宇宙の広がりや時間の流れを感じ、地学や天文学の意義について考える。	・広大なスケールと長大な時間にわたる現象を扱い、スケールを変えながら考察する。

4. 特徴的な単元の具体的指導計画

【A領域】「生活と科学技術」

A領域では、中学校の理科第7単元の内容を中心に、「クリティカルシンキング」を育てていく中で、各々の生徒が、偽科学に惑わされず、見聞きする情報を科学的に考察し、正しい判断に基づき行動することが大切であることを認識させたいと考えた。その中で、『科学』とのつきあい方を考えるきっかけにしようと、次

の課題を提示することにした。この課題では、ある化学物質を規制しようとして述べる文章を生徒に提示し、その文章に書かれていることに対して、各自の立場を明らかにし、その理由について考えさせることにした。

[生徒への提示課題]

以下の英文は、「DHMOと呼ばれる化学物質を規制しよう！」と呼びかけているものです。DHMOとは、Dihydrogen monoxideの略であり、その特徴や性質、

危険性などについて、説明されています。

さて、あなたは規制に賛成ですか？反対ですか？

英文を読み、賛成・反対の理由とともに、まとめてみましょう。

[英文の一部（日本語訳）]

- ・DHMOは無色、無臭、無味であり、食べ物にも含まれている。
- ・DHMOを吸入すると多量の発汗、多尿、腹部膨満感、嘔気、嘔吐、電解質異常が出現する可能性がある。
- ・重度の熱傷や地表の侵蝕の原因ともなる。
- ・企業では、溶解や冷却に用いられ、消火剤や農薬の散布などにも使われる。
- ・使用済みのDHMOを大量に河川、海洋に投棄しており、それはまだ違法とされていないので、今のところ何もなされていない。

[生徒の反応と意見]

文章を読み、各自の立場を明らかにし、理由を記述させた。この結果、40名中34人の生徒が規制に対して「賛成」と回答した。また、「意見を定めることはできない（保留）」と判断した回答もあった。

反対や保留と回答した生徒の記述では、「自分にはDHMOについての知識が無」いことや、「規制に反対する側の意見を見ていないので、一方的に決めるのはかなり難しい」というものが見られる。

記述をさせた後に、DHMOとは「水」のことであることを生徒たちに明かすと、「だまされた」と生徒たちは口にした。

今回の課題では、あえて生徒を偽科学に触れさせて惑わし、立場の異なる意見を聞かずに一方的な情報により判断することの危うさ、各自の持つ知識のみだけでなく、きちんと調べて、じっくりと科学的に判断することの大切さを学ばせることができたと考えられる。

【B領域】「地震災害を防ぐ」

平成23年3月11日の東日本大震災では、過去に予想されていた規模をはるかに超えるマグニチュード9クラスの地震と、その後の津波で大きな被害が生じた。しかしその中で、的確な判断により多くの人命が救われたことも伝えられている。

B領域では、クリティカルシンキングを生活の中で活用する場面として、「自然災害に対する防災」を台風・火山・地震・土砂災害などの内容と合わせて扱っている。いざという場面に出くわしたとき、冷静に最善の方法を判断して行動できるようになるためには、被害を生じる可能性のある自然災害を、普段から科学的に認識し、起こりうる事態を想定しておくことが大

切である。B領域では、例えば以下のような構成で防災を扱っている。

単元：第2章 大地を科学する「2 地震災害を防ぐ」

【第1次】緊急指令！活断層をさがせ

○地震は、地下で岩石が破壊されることで発生することや、地震は繰り返し発生することを学ぶ。

【第2・3次】プレートテクトニクス

○大地に大きな力がはたらくしくみとして、プレートテクトニクスについて学び、日本付近のプレートの動きや海溝沿いに発生する巨大地震のしくみを学ぶ。

【第4次】地震災害をいかに防ぐか

○緊急地震速報が流れたらどうするか？家族と連絡が取れなくなったらどうするか？など、予想される地震の規模や被害を考えるだけではなく、行動面での想定が必要であることを学ぶ。

緊急地震速報が実用化され、本震が起こる数秒前には地震の揺れがくることを知るができる可能性が高い。南海地震の福山での震度は6強。もし、自宅にいるときに緊急地震速報が出たらどのように行動するか、事前に家族で話をするすることで、被害を防げる可能性がある。避難路を確保するために扉を開ける、火災の原因となるガス等を消す、時間的に余裕があればできることと、最低限命を守るために必要な行動は、想定しておけば判断が可能となる。家具が倒れない・中身が飛び出さないように固定したり、倒れそうな家具を置かない部屋を作って、全員がその部屋へ避難することも有効だろう。家族が外出中に地震が発生した場合、通信手段が途絶し、帰宅困難な状況が発生することも、今回の震災によって経験した事実である。そのような場合、家族がどこに集合するのか、事前の取り決めが緊急時の行動の指針となる。

こうした内容を、科学的な認識に基づいて想定しておく際にも、クリティカルシンキングの手法は欠かすことのできないものであり、防災に対する想定をおこなうことは、生徒のクリティカルシンキングを育成するのに適した場面であると言える。

5. 成果と課題

「地球科学と資源・エネルギー」として、これまでの理科の内容に発展的事項を取り入れて再編を行った。授業後の生徒の意識調査からも、現代を捉え考える視点の育成につながったと考える。また、生徒に期待する資質・能力が身についたかについて評価問題を実施し、分析している。⁵⁾ その概要を以下に示す。

【A領域】

(問いの概要) 大阪, 広島, 沖縄の環境家計簿を用いて、

それぞれ電気のCO₂排出係数の違いの原因を推察する。また、都市ガスとLPガスの排出係数の違いを基礎的データを使って説明し、CO₂排出の観点からどちらが効果的かを判断し、説明させる。

(結果) 調査が各地区の発電のしくみと割合について未習の時期であったため、CO₂排出係数の違いの推察を正しく指摘できる生徒は少なかった。一方、モルの概念や、アボガドロの法則についての学習はしていない段階であるが、各気体の密度を利用して、メタンとプロパンのCO₂排出量の比較や、発生する熱量の比較を半数の生徒が計算することができた。また、その結果を利用して、発生する熱量を同じとした場合、メタンガスの方がCO₂排出量が少ないと正しく比較できていた生徒が38%となっていた。

この結果より、調査問題自体の難しさは課題として残るが、熱化学方程式などを取り入れ授業を展開することで、定量的な比較をする力を養うことができたと感じる。また、本調査問題に対する生徒の関心も高く、数値を使って比較できることに強い興味を示していた。

【B領域】

(問の概要) 花崗岩の岩片をガスバーナーで加熱し、水の中に入れて急冷する操作を数回繰り返すと、花崗岩が指先で崩れる程度に強度を失う。この実験で見られる現象と、自然界で起こる風化との条件を比較し、この実験が自然界の風化に対応している条件と自然界と異なる条件を整理し、この実験のどの部分が風化のモデルなのかを判断させ記述させる。

(結果) 自然界では実験のような高温にはならないことを指摘できる生徒は約80%であった。また、温度変化によって岩石や鉱物が膨張・収縮しているために、岩石が破壊され強度を失うことについても、この部分を風化のモデルと考えると正解を記

述した生徒も多い。しかし、マグマの熱によって風化が起こるなどの記述のように、自然界の条件と対応していない部分を風化の本質と考える生徒もいた。

B領域では、繰り返しモデル実験を扱っており、そのたびごとに、どの部分が自然界の現象に対応しているかを確認する。モデル実験には、雲の発生や宇宙の現象のように、教室内では再現できない広大なスケールの現象や、風化のように長い時間スケールでの現象を、教室内で扱える大きさにしたり、短時間で変化が起こるようにしてモデル化するなど、現象をそのまま再現していない。この点を生徒にも意識できるように扱っていくことで、実験の条件を慎重に吟味する態度を育成できていると感じている。

以上のことより、当校で開発した新科目「地球科学と資源・エネルギー」は、生徒にとっても学ぶ意義を感じられるものであり、現代を捉え、考える視点を育む内容として効果があったと考える。

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
- 2) 広島大学附属福山中・高等学校 中等教育研究紀要 第51巻(第1部), 2011年3月
- 3) 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
- 4) 前原俊信他, 「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Ⅱ, 広島大学学部・附属学校共同研究機構研究紀要第39号, 2011
- 5) 広島大学附属福山中・高等学校 中等教育研究紀要 第52巻(第1部), 2012年3月(印刷中)