

炭素循環の学習を通じた地球システム的な見方・考え方の育成

— 地学基礎における「脱炭素社会の実現」の理解を導くための学習 —

2 0 2 1

杉田 泰一

広島大学附属中・高等学校
「中等教育研究紀要」第 68 号別刷

炭素循環の学習を通じた地球システムの的な見方・考え方の育成

— 地学基礎における「脱炭素社会の実現」の理解を導くための学習 —

杉 田 泰 一

地球温暖化の影響は、持続可能な社会の構築を阻んでいる。各国において、地球温暖化やその影響による問題を認識し、解決に向けた取組みを行うことが求められている。日本では「脱炭素社会の実現」に向けた取組みが始まっており、学校教育の各教科等の学習において地球環境問題に関する教育を充実することが求められている。地学基礎の学習では、「脱炭素社会の実現」の理解を導くために、炭素循環の学習を行い、地球システムの的な見方・考え方を育むこと望ましいと考える。本稿では、その理由を述べるとともに、炭素循環を認識させるために開発した学習課題、構想・実践した授業を報告する。

1. はじめに

持続可能な社会の構築を阻む地球温暖化と呼ばれる気候変動は、その状況が深刻なことから気候危機とも呼ばれる（環境省、2020）¹⁾。この気候危機に対して、各国が地球温暖化やその影響による問題に関する共通認識をもち、実効性のある「脱炭素社会の実現」を目指した取組みを行うことが世界的な潮流となっている。日本は、2021年6月、地球温暖化対策の推進に関する法律を改正した。この改正を受けて、同年同月、文部科学省と環境省は、一人一人の児童生徒が持続可能な社会の創り手となることができるよう、地球環境問題に関する教育の充実を求めた²⁾。さらに、同年8月、文部科学省は中学校学習指導要領解説並びに高等学校学習指導要領解説を一部改訂し、「脱炭素社会の実現」をキーワードに加えた学習を例示した³⁾。

今後、「脱炭素社会の実現」に向けた地球環境問題に関する学習は、教科・科目の特質や児童生徒の発達段階に応じながら、多角的・多面的に検討されることになる。理科の特質は、科学的方法によって自然システムを探究することである。したがって、理科における「脱炭素社会の実現」に向けた地球環境問題に関する学習は、自然システムの視点から扱うことが適切である。また、地球環境問題はシステムの中で生起する問題（自然システム内、社会システム内、自然と社会の相互システムの間で生起する問題）であることから考えれば、地球領域（地学）ではその特質に鑑み、システムを構成する各要素を

分解して1つ1つを個別に扱う学習ではなく、システム全体を丸ごと捉える視点から学習することが望まれる。つまり、システムを分割して行う要素還元主義的な学習だけではなく、システム全体といった地球領域（地学）ならではの視点からの学習も行うことによって、地球環境問題の解決を図るための最適解を見いだす資質・能力を育むことが期待される。一方、システム全体を扱うためには、児童生徒の思考の発達が一定程度進んでいること、個別の事象を一定量以上理解していることといった、システム全体を学ぶのに適した発達段階を考慮する必要がある。

以上を踏まえ、「脱炭素社会の実現」に向けた地球環境問題を学ぶ礎として、高等学校地学基礎における実践を行った。具体的には、地球システムにおける炭素のつながりを意図的に取り上げ、地球システムの的な見方・考え方を育成する実践である。

2. 「脱炭素社会の実現」の理解を導く見方・考え方

文部科学省・環境省（2021）は、「世界が直面する地球環境問題として、地球温暖化、資源の不適切な管理、生物多様性の損失」を挙げ、「個々の環境負荷を与える行為はそれぞれの地域で行われているものの、環境負荷の結果がその地域ですぐに顕在化するとは限らず、遠く離れた地で現れる、又は環境負荷の蓄積により一定の時間を経過して、表面化する可能性があることもあり、日常生活や経済社会活動の中で、環境負荷とその影響が相互に見えにくい特

徴がある」と述べている。このような地球環境問題の特徴は、様々な様相が関連し合って発生するシステムであるがゆえに生じる特徴である。したがって、地球環境問題はシステムの視点から扱うことが不可欠である。また、地球環境問題について、地球領域（地学）の特質である「地球システム」を捉えることと関連付けて学習を進めることは親和性が高い。

岡本ほか（2019）⁴⁾は、「地球システムとは、地球における個々のサブシステムで見られる自然の事物・現象のみならず、その相互関係及び全体像を、長大な時間や空間という視点によって動的に捉えた総合的な概念」と説明している。また、こうした概念に基づく見方・考え方として、杉田（2019）⁵⁾は、「宇宙との関わりをもち、変化を続ける地球システムの全体像を、時間や空間、物質循環やエネルギーの視点によって捉え、宇宙と地球、地球を構成するサブシステムを相互に比較、関連付けて多面的に認識すること」を挙げ、これを地球システムのな見方・考え方として説明している。

地球環境問題は、自然システム内、社会システム内、自然と社会の相互システムの間で生起する。地球環境問題の一つである地球温暖化という気候変動（気候危機）は、「脱炭素社会の実現」という言葉に示されるように、自然システム内に限定して着目すれば、炭素のつながりの問題として認識される。炭素のつながりとは、宇宙と地球の間における炭素のつながり、そして地球を巡る炭素循環のことである。そのうち、地球環境問題と深く関わるのは、地球を巡る炭素循環である。日本では「脱炭素社会の実現」が語られるときに、「カーボンニュートラル」という言葉も併用されることが多い。「カーボンニュートラル」とは、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの人為的な排出量から、植林、森林管理などによる吸収量を差し引いて合計を実質的にゼロにする考え方である（環境省、2021）⁶⁾。日本は「脱炭素社会の実現」のために、温室効果ガスを排出しない・減少させるといった限定的な取組みではなく、「カーボンニュートラル」という考え方に基づいて、様々な具体策を進めようとしている。「カーボンニュートラル」を理解したり、その具体策の実効性を判断したりするためには、地球上で炭素が様々な物質として取り込まれ、流れ、循環しているという大きな見方・考え方の中で理解されたり、議論、判断されたりすることが大切である。

また、地球温暖化を捉え「脱炭素社会の実現」を目指すためには、炭素循環のほか、エネルギーの視点から自然システムを捉える見方・考え方も必要である。地球が太陽から受け取ったエネルギーの量と

地球が宇宙空間へ放射するエネルギーの量はつりあっている。また、地球内のエネルギーは、大気圏、水圏、岩石圏、生物圏などの間で相互にやりとりされている。このようなエネルギーの流れに関与する地球の全システムを気候系、大気の状態を気候と呼び、気候は様々な自然の要因と人為的な要因によって様々な時間スケールで変動している（気象庁、2021）⁷⁾。

地球領域（地学）の学習において、地球温暖化を捉え「脱炭素社会の実現」を目指すためには、炭素循環やエネルギーの視点から自然システムを捉える見方・考え方を育成すること、つまり地球システムのな見方・考え方を育成することが望まれる。

3. 地学基礎の教科書における「脱炭素社会の実現」に関連した内容

(1) 炭素循環の扱い

文部科学省（2021）は、平成30年告示高等学校学習指導要領解説を一部改訂し、地学基礎の「地球環境の科学」に関する解説において「脱炭素社会の実現に向けた地球温暖化対策など、人間生活がもたらす地球環境の変化への対応の状況について触れることも考えられる」旨を明記した。しかし、平成30年告示高等学校学習指導要領に基づいて編集された地学基礎の教科書5社（A社、B社、C社、D社、E社）^{8)~12)}は、学習指導要領解説の一部改訂前に編集され、「脱炭素社会の実現」の直接的記載は不十分である。そこで、「地球環境の科学」に関する内容項目のうち、「脱炭素社会の実現」に関連付けられる内容項目を調査し、表1にまとめた。

5社とも気候変動、地球温暖化の観測または実験で得た事実の説明はされていた。しかし、フィードバックの説明は3社の扱い、炭素循環の説明は2社の扱いに限られていた。気候変動や地球温暖化には不確実性があり、その不確実性をもたらす一要因はフィードバックの多様性や炭素循環の複雑性にある。山地（1999）¹³⁾が「地球温暖化への対策を難しくしている本質的な要素の一つは不確実性である」と述べていることから、地球温暖化を捉え「脱炭素社会の実現」を目指すためには、フィードバックや炭素循環を学習する機会が必要であろう。また、一部改訂の学習指導要領解説に示された「脱炭素社会の実現に向けた地球温暖化対策」を地球領域（地学）において扱うことは、対策の具体を単に挙げて知るのではなく、その対策が炭素循環のどの部分に位置付き、どのような実効性が期待されるのかを理解するためのものであることが望まれる。教科書の記載

は、炭素循環の視点から自然システムのしくみを捉えるものとしては不十分であり、指導の工夫を要する。

表1 地学基礎の教科書における「脱炭素社会の実現」に関連付けられる内容項目記載状況

内容項目	A社	B社	C社	D社	E社
地球システム	○	△		○	
炭素循環	○	○			
フィードバック	○		○	○	
気候変動	○	○	○	○	○
地球温暖化	○	○	○	○	○
地球温暖化の影響	○	○	△	○	○
地球温暖化防止への国際的な取組み	○				○

○は十分に記載されていることを示し、△は記載されているものの不明瞭であることを示す。

(2) エネルギーの流れの扱い

地球が太陽から受け取るエネルギーの流れは、地球の熱収支によって示される。地球の熱収支の学習は、地学基礎の「地球環境の科学」以外の内容項目において扱われる。

表1に示した地学基礎の教科書5社いずれにおいても地球の熱収支や温室効果を扱い、エネルギーの視点から自然システムを捉える記載がされていた。

4. 授業の構想

地球領域（地学）の学習において、地球温暖化を捉え「脱炭素社会の実現」を目指すためには、炭素循環やエネルギーの視点から自然システムを捉える見方・考え方を育成することが大切である。地学基礎の教科書に見られる内容項目の記載状況を調査したところ、エネルギーの視点から自然システムを捉える記載は整っているが、炭素循環の視点から自然システムを捉える記載は不十分で、指導上の工夫を要することが分かった。このような現状を踏まえ、次に示す炭素循環に重点を置いた課題を設定した。

【課題】

地球上には、炭素Cからできた様々な物質・物体があります。私たちの生物の体も炭素を基にした有機物からできています。また、生物をとり巻く環境にも炭素が存在しています。このような状況を踏まえ、今までの地学基礎や地学基礎以外の学習を思い出しながら、時間的な流れ、空間的な広がりを意識して「炭素のつながりとそのつながりにおける人間のかかわり」について説明する解説文や図などを作成しなさい。

課題に取り組むための足場がけとして、課題に取り組む前に、各単元の学習において表2に示す内容について時間をかけて指導し、炭素やエネルギーが、大気圏、水圏、岩石圏、生物圏などの間で循環したり相互にやりとりされたりしていることをイメージさせた。なお、中学校理科の既習事項（太陽のエネルギーは有機物の合成に関与する、炭素は生態系内を循環する、大気中の二酸化炭素の増加によって地球温暖化が起こっている、大気中の二酸化炭素の増加には化石燃料の大量消費が関係している、地球温暖化が人間生活に影響をもたらす等）は、地学基礎では簡単な復習程度の指導とした。

表2の学習を終えたあとの単元「地球環境の科学」において、先述の課題に取り組ませた。課題取組後、「この取組みを通して、あなたが感じた地学を学ぶ意義を述べなさい」と問い、振り返りを記入させた。

表2 課題取組前に行った学習内容・学習の問い

単元	〔学習内容〕 学習の問い
地球の大気	〔地球の熱収支〕 太陽のエネルギーを受け取っている地球の平均気温が上昇し続けないのはどうしてだろうか。
	〔温室効果〕 地球の平均気温が、地球が受け取る太陽のエネルギーから求めた理論値よりも高いのはどうしてだろうか。
	〔水蒸気フィードバック〕 二酸化炭素の温室効果よりも水蒸気の温室効果のほうが大きいのに、地球温暖化の問題では二酸化炭素の増加が原因とされるのはどうしてだろうか。
	〔フィードバックとアルベド〕 大気中の水蒸気量の増加は、地球の平均気温に対して正のフィードバックとして働くだけで、負のフィードバックとして働くことはないのだろうか。
地球の活動	〔多形〕 炭素を含む様々な種類の鉱物は、どのような条件ででき、どのような性質があるのだろうか。
	〔岩石サイクル〕 石灰岩は長い年月をかけて地球上をどのような姿で巡るのだろうか。
地球の歴史	〔原始海洋の形成と大気の進化〕 原始大気から、水蒸気や二酸化炭素といった温室効果ガスはどのようなしくみで取り除かれていったのだろうか。
	〔全球凍結〕 原生代末の全球凍結はどのようにして起こり、どのようにして終わったのだろうか。
	〔石炭紀〕 石炭紀に大量の石炭ができたことと地球環境の関わりはどのようにになっていたのだろうか。
	〔ティッピングポイント〕 1万3000年前に温暖化に向かっていた西欧が急に寒冷化に転じたのは、どのようなことが関係したのだろうか。

5. 授業の実践

(1) 結果

本校高等学校第2学年地学基礎選択履修生徒（48人）を対象に授業を行った。6時間扱いで課題に取り組み、B4サイズの白紙に記入したレポートを作成させた。レポート例を図1に示す。

図1の生徒Aと生徒Bが作成したレポート、課題取組後の振り返りに、次のことが記されていた。

1) 生徒Aのレポートと振り返り

〔レポートに記されていたこと〕

- ・ 身近に存在する炭素について、物質名や物体名を具体的に挙げて、単体としての炭素、化合物としての炭素を説明していた。
- ・ 炭素の元素がどのようにしてできたのか、恒星の進化と関連付けて説明していた。
- ・ 大気圏、水圏、岩石圏、生物圏に跨る炭素循環について、具体例を挙げて説明していた。
- ・ 炭素が関係する地球の平均気温に対するフィードバックについて、正のフィードバックの例と負のフィードバックの例をそれぞれ1つずつ挙げて説明していた。
- ・ 人間の活動に伴って炭素循環に変化が起きていること、その変化の把握が大切であることを説明していた。

〔振り返りに記されていたこと〕

地学を学ぶ意義は、視野を広く持てるようになることです。地学は、宇宙や地形、海、生物の起源、火山など様々な分野を含みますが、それら全てはつながっていて分けて考えることはできません。今回のレポートで再度実感しましたが、全てつながっているということは、一つの行動が広い範囲に大きな影響を与えるということです。これを理解することで、この行動が何を引き起こすのか、目の前のことだけでなく視野を広げて考えるようになります。そして、環境保護の視点も育ちます。

〔地球システム的な見方・考え方の評価〕

レポートや振り返りの記述には、主に空間や物質循環の視点から、宇宙と地球、地球を構成するサブシステムを比較・関連付け、炭素循環と人間のかかわりを説明するとともに、その説明を基に環境を多面的に捉えることの大切さを認識していた。このような状況から、生徒Aについては、地球システム的な見方・考え方ができたと考えられる。

2) 生徒Bのレポートと振り返り

〔レポートに記されていたこと〕

- ・ 炭素の元素が恒星の中でできることを説明していた。
- ・ 大気中の二酸化炭素濃度の増減について、地球

史上のできごとと関連付けて説明していた。

- ・ 大気圏、水圏、岩石圏、生物圏に跨る炭素循環について、具体例を挙げて説明していた。また、その循環に人間を加え、炭素循環の経路の変化、炭素の行方が解明できていない現状についても説明していた。
- ・ 身近に存在する炭素について、物質名や物体名を具体的に挙げて説明していた。その一つに石炭を挙げ、資源の枯渇にも触れていた。
- ・ 地球温暖化を挙げ、地球の平均気温に対するフィードバックについて、正のフィードバックの例と負のフィードバックの例をそれぞれ1つずつ挙げて説明していた。

〔振り返りに記されていたこと〕

炭素という一つの物質のみに着目しても、その影響は様々なところに現れていることを今回の課題を通してより深く知った。はるか昔の生物や植物の恩恵を今もなお受けていることや、自然システムの優秀さを改めて感じることもできた。地学を学ぶことで、私たちはそれらを脅かす自分たちの活動を省みることができる。また、まだまだ明らかにされていないことが多い地学という学問の中で、わずかな手がかりから少しずつスケールの大きな謎を明らかにしていくという楽しさ、粘り強さの大切さを学ぶことが地学を学ぶ意義だと思う。

〔地球システム的な見方・考え方の評価〕

レポートや振り返りの記述には、主に時間や物質循環の視点から、宇宙と地球、地球を構成するサブシステムを比較・関連付け、炭素循環と生物のかかわりを説明し、現代における炭素循環における人間のかかわりへと言及を深め、変化を続ける地球像を捉えようとしていた。このような状況から、生徒Bについては、地球システム的な見方・考え方ができたと考えられる。

3) 他生徒のレポートと振り返り

他生徒が作成したレポートについても、生徒Aや生徒Bと同様に、主に次のことが記されていた。

- ・ 炭素元素の起源
 - ・ 地球史における炭素の挙動
 - ・ 大気圏、水圏、岩石圏、生物圏に跨る炭素循環
 - ・ 身近な炭素でできた物質や物体
 - ・ 地球温暖化とフィードバックの関係
- 少数ではあるが、次のことを記したものもあった。
- ・ ^{14}C による放射年代測定と生物の炭素固定
 - ・ 生態系における炭素循環
 - ・ 時間スケールのちがいや空間スケールのちがいによる炭素循環のちがい
 - ・ 脱炭素社会

生徒Aや生徒B以外の振り返りの記述例を次に示す。下線は、地球システマ的な見方・考え方に基づく記述に対し筆者が引いたものである。

- 炭素はあらゆる物質に含まれており、地球規模で循環していることが分かった。炭素によって構成されるCO₂は地球温暖化を引き起こす原因となるもので、大気中のCO₂を減らすために海洋に炭素を蓄積するという研究があることを知った。この取り組みから、地学は地球を構成する物質同士を相互作用し合っており、環境問題の対策に活かせると思った。地球惑星科学を学ぶことによって、今後環境問題などに向き合う際、目の前ことだけで考えるのではなく、地球規模のつながりを考え、視野を広げていくことができると思う。
- 炭素の働き方、その循環の仕方を学ぶことで、地球、宇宙の長い時間の歴史の一端を学ぶことができた。また、小学校、中学校、高校1年の生物基礎の学習につなげて、炭素循環のしくみを理解し、学びをつなげることができた。また、家庭科で学習した「うま味」についても炭素化合物だと学べた。他には、近年話題になり、中学校の技術で学習した炭素系新素材についても調べて、知識を広げることができた。このように、地学は本当に幅広い時間、空間について学ぶことができ、他の色々な知識と結び付けて理解することができるので、そこに学ぶ意義があると考える。
- 現在、様々な環境問題が世界各地で起きている。その中には、私たちが生活する上で排出している炭素が原因になっているものも少なくない。また、排出した炭素は炭素循環によって遠くまで運ばれ、遠い地域の問題の原因となっていると感じた。以前は遠く離れた場所のことは自分には関係ないことだと、他人ごとだと思っていたが、この課題に取り組むにあたって様々な情報を知り、自分も行動することで少しでも問題の改善に協力できれば良いと感じた。
- 学ぶ意義の一つ目は、物事を大きな視点で考えることができるようになることだ。炭素の時間的・空間的広がりを考える時、火山の活動やプレートの沈み込みなど様々なことが関係しており、つながっているすべての要素を考える必要があった。二つ目は現在問題とされている環境問題の原因やその深刻性を大まかに理解できることだ。地球で起こっている活動の一部として環境問題をとらえることで、それがなぜ問題とされていて、解決するにはどのようにしたら良いのかを考えることができる。具体的には、この課題では脱炭素化社会のニュースをより理解できるようになるだろう。
- 課題を通して学んだことは、例えば大気・海洋・地層などは複雑につながっており、他の理科の科目を学ぶ上で客観的・大規模な視点を持つために役立つと感じた。また、近年地球温暖化など国際的に取り組むべき問題が存在するが、何か一つの角度からアプローチするのは駄目で、様々な対策を持続して並行して行わなければならないという根本的理解につながった。人間の活動は、自然環境と相互に密接な関係を保って成り立っている。日本では再生可能エネルギーと従来の化石燃料を使った発電方法をどれくらいどのように使っていくかが問題だが、ど

ちらも正の面もあれば負の面もある。地学を学んだことをもとに一方が完全に正しいと決めつけずに議論に参加していけると思う。

- 今回の課題で扱った炭素だけについて考えても、地球ができる前から宇宙空間に存在し、今日では地球温暖化に大きく関わる物質であるという時間的・空間的スケールの大きさを感じた。地球温暖化が最終的に寒冷化につながる可能性もあるといったように、多くの原因が結びついて起こっているぶん、地球の規模での変化を予測することは非常に難しく不確定であるということを経験や授業で学んだことから、地学を学ぶ意義は、一つの物質や現象を限られた場所・時間だけでなく、広い時間的・空間的スケールに結びつけることで多面的に理解し、今後の予測につなげていくことができるのではないかと考えた。
- 私は、炭素をどのように利用して、どのような影響を引き起こしているか、例えば、化石燃料を燃やしたことが一因で地球温暖化が進んでいることが分かった。このように地学では、気候変動や自然災害など国家間の協力を要するほどの大規模な問題に対しての知識が得られる。その知識がなければ問題に気づかないし、協力を仰ぐこともできないだろう。
- この課題を通して、時間的スケールの大小を問わず、炭素が自然との綿密なつながりの中で循環していることを知り、また人間もその営みの中にあることを強く意識しました。地学を学ぶことは、自然の綿密なつながりの一部である人間がその循環へと与える影響について、あらためて見直す機会だと思えます。また、つながりの密を意識することで、環境問題へ単一の見方ではなく、多角的な視点で取り組む姿勢の必要性を感じることができるようになったとも思えます。
- 我々の住んでいる地球には様々な問題があるが、特に現在、地球温暖化について問題視されている。その時、私たちは自国のことだけや過去数年など狭い範囲しか見ない傾向がある。しかし、地球惑星科学を学んでいけば、大きなスケールでの問題に注目することができる。例えば、氷期・間氷期など含めて長い時間の温度の変化と比べることで、現在の地球温暖化がどれだけ短い期間で起こっているかわかる上、正のフィードバックの視点から見るとこれからもっと温度が上がっていくのわかる。このように地学を学んでいけば、将来の予測ができる上、問題の危険度を知ることもできる。
- フィードバックについて調べた時、ひとつの変化が連鎖して反応を促進・抑制しており、因果関係を考える力が身についた。また、大気から地下深くまで地球システムを学ぶことができ、自然・気象現象の本質を見抜く力をつけるという意義があると思った。また、地球温暖化について考えた時、今まで現在の環境にしか目を向けていなかったが、時間スケール、空間スケールを広げることで異なる結論を見いだすことができ、地学は観点を広げる意義もあると思った。
- 炭素の起源など私たちが作っている物質が当たり前前に存在していたのではないと知ることで、これまでの生物の進化に神秘さを感じ、今を大切に生きようと思う心が生まれるのではないかとと思う。また、人間活動と自然界で行われる炭素循環の関わりを学

ぶことを通して、自然界はすべてのものが相互に関係しあって常に変動し続けていることを理解し、私たち人間がその循環を乱していることを知ることができるので、人間が原因で引き起こされていると考える現在の環境問題について危機感を抱くと同時に、真剣に解決策を見つけようと努力できるようになると思う。さらに人間中心の考えではなく、地球全体の中の人間という生物によって物事を捉える視野が広がるのではないかと思う。

- 炭素という元素の名前を聞くだけでは漠然としていて、あまり身近に感じることはこれまでなかったが、炭素は様々なものに形を変えて私たちの生活の中に溶け込んでおり、身近なものであるということを通じて学んだ。炭素の誕生から現在まで宇宙規模の大きな変化の流れを知り、そのどれか一つでも起こっていなかったら地球は存在せず、今の生活はなかったかもしれないと気づくことは、日々の生活の中の自然に興味をもつ姿勢につながり、地学で得られる知識を持って興味から実用化できるものへ発展させることができると思う。
- 例えば今回テーマにした炭素もこうやって授業の一環で取り扱われない限り、単なる元素として全く気にもとめずに生活していたと思います。レポートを書くにあたり、調べて初めていかに炭素が長い間私たちを取り囲み、そして生物の体の元になったか、地球の生態系の活動の中で炭素の量が一定に保たれるよう水陸両方合わせての循環が行われていたか、そして今年代測定や黒鉛に、またダイヤモンドといったところで人間に恩恵を与える一方、体内に残る悪影響や地球温暖化への影響など炭素の多面性を知ることができました。このように元素といったミクロの世界から宇宙というマクロの世界まで様々なつながりを学ぶことが地学を学ぶ意義だと思います。

生徒Aや生徒B以外の生徒がレポートに記したこと、振り返りに記したことにも、生徒Aや生徒Bと同様に地球システム的な見方・考え方に基づく記述が随所に見られた。

(2) 考察

1) 成果

本課題やその課題を取り組むための関連する学習を行うことによって、生徒は、地球温暖化や炭素循環についての地球システム的な見方・考え方を身に付けること、地球環境問題の解決等に地球システムの見方・考え方が必要なことに気付くことができた。

①地球システム的な見方・考え方を身に付けること

課題には、「炭素のつながりとそのつながりにおける人間のかかわり」を記述するように示しておいたが、地球環境問題を記述するように示していなかった。また、課題には炭素がさまざまな物質・物体として存在していることと炭素のつながりを記述するように示しておいたが、炭素循環を記述するように示してはいなかった。それにもかかわらず、生徒は

レポートにおいて地球温暖化や炭素循環を取り上げて記していた。

生徒が自ら地球温暖化を取り上げた要因として、生徒は地球温暖化やその原因の1つである大気中の二酸化炭素濃度増加について様々な機会を通じて学習したり生活の中で聞いたりしているため、レポート作成においては必然のことだったと考えられる。

一方、生徒が自ら炭素循環を取り上げた要因としては、課題取組前に行った地学基礎の各単元で学習した内容をレポートに取り入れて記していたことから、生徒は既習事項や調べた情報について、時間や空間という視点によって、点と点を結んで線や面を描くようにしながら炭素のつながりを整理することにより、炭素が地球上を循環していることに気付いたためだと考えられる。

以上より、本課題やその課題を取り組むための関連する学習は、地球システム的な見方・考え方を生徒が身に付ける上で有益であったと考えられる。

②地球環境問題の解決等に地球システムの見方・考え方が必要なことに気付くこと

レポート作成後の振り返りにおいて、「排出した炭素は炭素循環によって遠くまで運ばれ、遠い地域の問題の原因となっている」、「何か一つの角度からアプローチするのでは駄目で、様々な対策を持続して並行して行わなければならない」、「つながりの密を意識することで、環境問題へ単一の見方ではなく、多角的な視点で取り組む姿勢の必要性を感じる」、「多くの原因が結びついて起こっているぶん、地球の規模での変化を予測することは非常に難しく不確定である」、「今まで現在の環境にしか目を向けていなかったが、時間スケール、空間スケールを広げることで異なる結論を見いだす」等といった地球環境問題を捉えたり、脱炭素社会の実現を理解したりするために必要な見方・考え方が記されていた。これらの記述から、地球環境問題の解決等に地球システムの見方・考え方が必要なことに気付くことができたと考えられる。

2) 今後の展望

①地球システム的な見方・考え方に基づいて地球温暖化の影響を考察すること

生徒は、地球温暖化がもたらす様々な影響の事実について、日頃から学習したり、聞いたりしている。しかし、作成したレポートには、地球温暖化の影響についての記述が少なかった。現在起こっている地球温暖化の影響、さらに将来起こりうる地球温暖化の影響を理解することは、「脱炭素社会の実現」に向けた方策を考えていく上で必要である。今後は、地球システム的な見方・考え方に基づいて、現在と

未来の地球温暖化の影響を考察するための課題や指導の工夫・改善が必要である。

②地球システム的な見方・考え方に基づいて「脱炭素社会の実現」に向けた具体的方策を評価したり、創造したりすること

本課題の学習により、生徒自ら炭素循環を導くこと、地球環境問題の解決等のために地球システム的な見方・考え方が必要なことに気付いた。しかし、その理解を基に、現在進められている「カーボンニュートラル」のしくみを具体的に理解したり、具体策の実効性を評価したり、さらに新たな具体策を提案する学習へと発展するところまでには至っていない。今後、このような学習に発展できるよう、本課題の学習後の教材開発等を進めることが必要である。なお、「カーボンニュートラル」のしくみに基づく具体策の実効性を評価したり、新たな具体策を提案したいりする学習ができれば、「脱炭素社会の実現」に向けた取組みの技術的問題や社会システムにおける問題等にも気付き、他教科・科目との学習と関連付けることができるようになるものと期待される。

③他教科・科目の学習として接続・統合される学習にすること

本課題の学習は、理科や地球領域（地学）の特質から取り組んだものであるが、本来、地球環境問題は原因を一つとっても複雑であり、学際的に扱われるべき内容である。今後、地学基礎における取組みが、他教科・科目の取組みとつながり、生徒の中で統合されることが必要である。その統合をもって初めて、真の意味での生徒一人一人が持続可能な社会の創り手となることができるための資質・能力を育成できたと言えるだろう。

3) 地球システム的な見方・考え方と Sagacity の関係

本校はSSH（第4期）に指定されており、研究開発課題「社会に開かれた科学技術を先導する人材育成の起点となる科学教育カリキュラムの開発」の下、学校設定教科「SAGAs（探す）」を設定している。本教科設定の趣旨は、社会に開かれた科学技術を先導する人材の基盤となる高度で多面的な能力「Sagacity」を育成する起点として、課題研究を中核とした科学教育カリキュラムを教育課程に位置付け、課題研究を通じて「科学的」・「高度かつ専門的」・「国際的」・「主体的・自律的」な素養を育むことである（広島大学附属高等学校，2019）¹⁴⁾。ここで言う科学教育カリキュラムとは、数学や理科といった限られた教科だけのカリキュラムのことではなく、全教科に渡るカリキュラムのことである。

表3は、本課題の学習において生徒が作成したレ

ポートや振り返りを基に、学校設定科目SAGAsで育みたい4つのそれぞれの素養のマザールーブリックに対応させながら、本課題の学習で育むことが可能な素養を具体的にまとめたものである。本課題の学習を通して育成する地球システム的な見方・考え方は、学校設定教科SAGAsで育む素養と相互補完・相互還流することが可能な関係で、親和性があるとの示唆を得ることができた。このことから、先の2) 今後の展望①～③に述べたことを取り組んでいく際、表3を新たな切り口として課題や指導の工夫・改善、教材開発を進めることができるのではないだろうか。

表3 本学習で育むことが可能な素養

素養	本学習で育む具体的素養
科学的である	・多角的・複合的な視点をもって問題解決を行うこと。 ・成果の科学的意義や社会的意義について自らの考えを提案すること。
高度かつ専門的である	・対象となる事象や問題について知的好奇心をもって深く探究すること。
国際的である	・共通の目標に向けて協働すること。
主体的・自律的である	・様々な事象に関心を持ち、困難と思われる問題に対して高い洞察力をもって主体的に取り組むこと。

6. おわりに

2022年度以降、高等学校の教育は新教育課程に移行する。地学基礎は、理科の他科目と同様に、科学的に探究する力を育成することを目指し、観察・実験等を行いながら探究的に学習を進める。地学基礎の「地球環境の科学」に関する教科書の探究活動は、地球の平均気温が上昇していることを資料から読み取ることに限られており、高校生の学習としては物足りなさを感じる。物足りなさの原因は、地球の平均気温の上昇という事実だけを扱い、その事実の考察を地球システムと関連付けて多角的・多面的に行わないところにある。気候変動はダイナミックな地球システムの中で起こっている。「地球環境の科学」に関する探究活動において、気候変動を捉えたり、地球システムと自己のつながりの関係を捉えたりすることは不可欠ではないだろうか。また、本稿で示したレポートや振り返りのように、高校生にもなれば、システムという考え方を理解できると言えよう。地球の平均気温の上昇に関する考察を地球システムと関連付けて多角的・多面的に行いたい。

地球環境問題を語るときに“Think Globally, Act Locally”という言葉が用いられてきた。地球システムの中で気候変動を捉えたり、地球システムと

自己のつながりの関係を捉えたりすることは、正に“Think Globally, Act Locally”につながる。今後、地学基礎の「地球環境の科学」に関する“Think Globally, Act Locally”の探究活動につながる展開の一助となり、「脱炭素社会の実現」の理解を導く礎になるよう、炭素循環を通した地球システム的な見方・考え方を育成する本学習の再構築を図りたい。

引用文献・参考文献

- 1) 環境省, 『令和2年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書』, 日経印刷, 2020年, 4-24.
- 2) 文部科学省・環境省, 「気候変動問題をはじめとした地球環境問題に関する教育の充実について(通知)」, 3文科初第329号・環政総発第2106012号, 2021年.
- 3) 文部科学省, 『『中学校学習指導要領解説』及び『高等学校学習指導要領解説』の一部改訂について(通知)』, 3文科初第933号, 2021年.
- 4) 岡本弥彦ほか, 「地球システム的な見方・考え方の育成を目指した理科の指導: 中学校第1学年地層の重なりと過去の様子において」, 『日本科学教育学会研究会研究報告』, 33巻, 6号, 2019年, 31-34.
- 5) 杉田泰一, 「地学基礎における地球システム的な見方・考え方の育成」, 『広島大学附属中・高等学校中等教育研究紀要』, 第65号, 2019年, 53-67.
- 6) 環境省, 「カーボンニュートラルとは」, 『脱炭素ポータル』 https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon_neutral/about/ (閲覧日2021年11月30日)
- 7) 気象庁, 「気候変動」 <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/3-1.html> (閲覧日2021年11月30日)
- 8) 前川寛和ほか, 検定地学基礎教科書『地学基礎』, 東京書籍, 2021年, 148-166.
- 9) 天野一男ほか, 検定地学基礎教科書『地学基礎』, 実教出版, 2021年, 176-185.
- 10) 磯崎行雄ほか, 検定地学基礎教科書『高等学校地学基礎』, 啓林館, 2021年, 210-217.
- 11) 中村尚ほか, 検定地学基礎教科書『高等学校地学基礎』, 数研出版, 2021年, 184-195.
- 12) 西村祐二郎ほか, 検定地学基礎教科書『高等学校地学基礎』, 第一学習社, 2021年, 178-185.
- 13) 山地憲治, 「不確実性について」, 『GISPRI ニュースレター (1999年11月)』 <https://www.gispri.or.jp/newsletter/199911-1>, (閲覧日: 2021年11月30日)
- 14) 広島大学附属高等学校, 『研究開発実施報告書平成30年度指定スーパーサイエンスハイスクール第1年次』, 2019年, 7-13.

Learning to Develop Perspectives and Thinking About the Earth by Learning the Carbon Cycle in the Natural System :

Learning on the Basics of Earth Science for High School Students to Understand "Realization of a Decarbonized Society"

Taiichi SUGITA

Abstract:

The effects of global warming are harming our lives and society. Recognizing this situation for all inhabitants on the planet, and making efforts to resolve it are among the common problems that countries worldwide tackle to form a sustainable society. In Japan, efforts toward the realization of a decarbonized society have begun. Japan strives to enhance education on global environmental issues through school education. Therefore, in studying the basics of earth science in high school science, it is desirable to foster perspectives and thinking about the earth by studying the carbon cycle to understand the realization of a decarbonized society. Consequently, a learning task was developed for the learner to recognize the carbon cycle based on the learned items, and a lesson was planned and put into practice to tackle the developed task. It was confirmed that learners were able to acquire cultivated perspectives and thinking about the earth, through the reports written by the learners and the description of the learners' reflection after learning.