

地学基礎における地球システムの的な見方・考え方の育成

杉田 泰一

地球システムは、地球で起こっている自然の事物・現象を総合的に捉える中核的な概念であり、未来を担う生徒にとって、地球環境の複雑な変化を捉え、持続可能な社会を形成するために習得すべき概念の一つだと考えられる。しかし、日本の理科教育において、地球システムの扱いは十分とは言えない。本稿は、地球システムの的な見方・考え方を育成する観点から、高等学校地学基礎のカリキュラムを開発して提案するもので、平成30年告示の新学習指導要領の趣旨に応じたものでもある。本カリキュラムに基づく授業を行うことにより、地球システムの的な見方・考え方の育成が可能であることを確認した。

1 はじめに

知識基盤社会へと転換期を迎えた現代社会において、学校教育の再デザイン化が進められている。その具体の一つが、平成29年及び平成30年に告示された各校種の学習指導要領（以下、新学習指導要領）である。

新学習指導要領では、「よりよい学校教育を通じてよりよい社会を創るという目標を共有し、社会と連携・協働しながら、未来の創り手となるために必要な資質・能力を育む『社会に開かれた教育課程』の実現を図る」という視点から、「資質・能力の3つの柱」の整理、さらに、各教科の目標や内容・方法が設定され、今後、その目標に基づく評価も行われる¹⁾。

本稿では、このような新学習指導要領の趣旨に応じた、高等学校理科地学基礎の学習カリキュラムを開発し、提案する。具体的には、地球システムの的な見方・考え方を育成するカリキュラムである。

2 地球システムの的な見方・考え方の育成

(1) 地球システム

現代の地球科学に関する研究の発展は目覚ましく、その中核に地球システム概念が位置付いている。地球環境をはじめとする地球の挙動を捉えるためには、従来の地質学、地球物理学、地球化学といった個別の学問分野の壁を超えて、地球を一つのシステムとして見ることが不可欠になっている。

広辞苑（第7版）によると、システムとは「複数の要素が有機的に関係しあい、全体としてまとま

った機能を発揮している要素の集合体。」である²⁾。鳥海（2010）は、地球システムを磁気圏（宇宙空間との境界領域）、固体圏（地殻、マントル、核の領域）、流体圏（大気、海洋の領域）、生物圏（生物が存在する領域）、人間圏（人間の活動によって規定される領域）のサブシステムから構成され、それぞれの要素内部において複雑な運動と物質変化が互いに密接な関係をもつて起こっていると同時に、互いに他の要素から物質とエネルギーを受け取って、他の要素に渡しているものとして説明している³⁾。また、伊勢（2013）は、「地球とは、地球を構成する要素（岩石・海洋・大気・生物）がそれぞれ関わりあひながら、全体としてまとまりを持って動いている『システム』」と簡潔に説明している⁴⁾。

地球システムを構成するサブシステムは、地球に存在する複数の異なる空間（領域）として捉えられるが、各空間は完全に独立分離しているのではなく、地球が誕生して今日までの長大な時間の流れにおいて、分化というプロセスを繰り返して形成されてきたもので、相互に関連している。

以上のことから、地球システムは、個々のサブシステムにおいて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、長大な時間や広大な空間という視点によって動的に捉えた、地球に関する総合的な概念であると言える。

(2) 日本の理科教育における地球システムの扱い

戦後から今日までの日本の理科教育における地球システムの扱いについて、その概要を述べる。アメリカ合衆国で開発されたアースシステム教育（Earth Systems Education, 以下ESE）が日本の理科教育に紹介される前後を境に2つの流れが見られる。

ESE紹介前は、牧野融らによって「システム地学」あるいは「地球システムの科学」が開発された（例えば、牧野 1974）⁵⁾。1950年代半ばから1970年代半ばにかけて、日本は高度成長期を迎え公害問題が顕在化した。また、1960年代の学校教育では、教育内容の現代化と高度化が求められ、1970年代に科学技術教育の充実を図った学習指導要領が示された。このような中、1960年代の初頭、地球システムという用語は使われなかったものの、坪井忠二は高等学校地学の目標論として、地球システムを扱うことの必要性を説いた（磯崎 2017）⁶⁾。1969年には、竹内・島津が自然を一つのシステムとみなして研究することを提案し、これ以降システムという用語が用いられるようになった（岡本・下野 2014）⁷⁾。1971年から3年間、文部省特定研究「科学教育」の課題研究の一つとして、高等学校地学のカリキュラム研究がいくつかのグループに分かれて行われ、牧野融らによって自然のシステムのカリキュラム化が検討された（渡部 1972）⁸⁾。牧野（1972）は、「システム科学、という名のもとに広範囲にわたる科学分野の総合化が進み」、「科学の最大の武器であった分析的手法の他に、ミクロに深入りせず、すばやく全体にまたがる理論を得ようとした手法が開発されてきた」と述べ、さらに「科学的知識の急増が理科教育に盛り込むべき内容の精選を余儀なくさせたともいえるが、その精選を行うにあたっての基盤として、われわれはシステム化される内容を選ぶ」つまり「自然システムをとらえて、これをカリキュラム化していこう」と述べ、地球内部エネルギーシステム、太陽エネルギーシステム、宇宙エネルギーシステムという内容から構成される「システム地学」というカリキュラム案を作成した。その後「システム地学」は「地球システムの科学」に改められ、環境科学としての教育体系として位置付けられた⁹⁾。

このような流れに転機をもたらしたのが、1993年、中野らによって日本に紹介されたESEである¹⁰⁾。ESEは、「1980年代後半のアメリカ科学教育界において、『危機に立つ国家』（NCEE, 1983）の科学教育の危機を打開する動きの中で、惑星としての地球に焦点を絞り、科学の概念やプロセスの枠を広げ、地球規模でとらえる試みとして開発されたもの」で、「観察・実験などの体験を通して地球システムを理解し、その相互作用の説明、その変化についての予測、科学的な情報に基づいて環境や資源の問題への対応、地球の不思議さ偉大さ美しさといった美的価値を認め、科学やその職業に関心を持つという科学的リテラシーを持った市民の育成に当たることを目指した科学教育」である（五島ほか 2004）¹¹⁾。

ESE紹介後は、五島政一らによって、科学的リテラシーや問題解決能力を育成する視点から日本におけるESEの実践が行われた（例えば、五島 2013）¹²⁾。また、ESEとは別に、2000年代半ば以降、学校教育において持続可能な開発のための教育（Education for Sustainable Development, 以下ESD）の教育が求められ、平成20年及び平成21年告示の小学校・中学校・高等学校学習指導要領には、その視点が盛り込まれた。さらに、同学習指導要領の理科においては、校種を貫く理科の内容構成として「エネルギー」、「粒子」、「生命」、「地球」が設定され、学習内容の構造化が図られた。このような中、岡本ほか（2015）は、科学の基本の見方や概念としての「地球」の捉え方として地球システムを挙げ、「地球」を捉えるための4つの視点「構成」、「関連」、「時間」、「空間」を設定し、地球モザイクと名付けた¹³⁾。また、岡本ほか（2017）は、ESEの理解目標、ESDの構成概念、地球モザイクを関連付けて、「地球」概念の育成を体系的に進めるための枠組みを例示し、小学校理科、中学校理科、高等学校地学基礎におけるカリキュラム開発に着手した¹⁴⁾。

このような流れにおいて、現在の課題は、持続可能な社会の形成のための科学的リテラシーとして、地球システムを学習の中心に据えて学ぶことができる具体を、数時間の授業単位の実践ではなく、長期の学習カリキュラムとして開発することである。

(3) 地球システムを理科教育に導入する意義

地球システム概念が台頭した経緯、戦後から今日までの理科教育における地球システムの扱いの流れを踏まえ、地球システムを理科教育に導入する意義を3つの視点で捉えることができる。

①地球科学という学問の視点

現代の地球科学の研究は、その中核に地球システム概念が位置付いており、複雑系の自然の事物・現象を対象として進められている。したがって、理科教育、とりわけ地学教育において地球システム概念を取り扱うことは、学習の本質に基づく教育内容の現代化そのものに対応する。

②地学の学習固有性及び育成する資質・能力の視点

地学では、複雑系の自然現象でありながら、児童生徒にとって身近な日常生活で見られる自然現象を多く扱う。また、複雑系であるが故に、非可逆的に変化する事象が多く、室内実験で検証的に学習を行うことが難しい側面も併せもつ。このような点に地学の学習固有性を見いだすことができる。また、還元主義的な自然の理解のみならず、総合的な自然の理解を図って自然観の涵養を目指す上で、地学教育の果たすべき固有の役割は大きいものと考えられ

る。

地学の学習を通して育成する資質・能力とは、長大な時間や広大な空間の視点で自然事物・現象を認識することである。地球システムを構成するサブシステムとしての空間が、長大な時間の中で分化することによって形成されたことを踏まえると、地球システムを取り上げて学習することは、長大な時間や広大な空間の視点で自然事物・現象を認識させることの効果が期待される。

③現代社会の課題解決のために必要な資質・能力を育成する視点

現代社会の課題の一つである地球環境に関する問題は、科学的・人文的な多数の要素と複雑な相互関係が一体化しながら変化している。この変化を読み解き、問題を解決するには、地球を「循環システムを伴う人間生活の場としての環境」として捉え、持続可能な社会の形成に向けて、システム思考をもった研究者を育成すること、システム的な見方・考え方の概要を理解できる素養のある市民を育成することが必要だと考えられる。地球システムを理科教育において扱うことは、このような現代社会の課題解決に必要とされる、研究者や地球市民としての資質・能力の育成に繋がることが期待される。

(4) 地球システム的な見方・考え方の定義

地球システムを理科教育に導入する意義を踏まえ、地球システム的な見方・考え方を育成するカリキュラムの開発に取り組んだ。

地球システム「的」とした理由は2つある。一つは、地球システムそのものをシステム論の立場から学術的に学ぶことを目的とはせず、地学の学習を通して育成する資質・能力、現代社会の課題解決のために必要な資質・能力の育成に重点を置くことを意図したためである。もう一つは、地球のサブシステム間の相互関係だけでなく、宇宙と地球のかかわりも広く含めることを意図したためである。

見方・考え方とは、「どのような視点で物事を捉え、どのような考え方で思考していくのか」という物事を捉える視点や考え方（文部科学省 2017）¹⁵⁾であり、本研究で示す物事とは地球システムである。見方の具体としては、例えば、文部科学省（2017）は、理科を構成する「地球」の領域では、地球や宇宙に関する自然の事物・現象を主として時間的・空間的な視点で捉えることとし¹⁶⁾、岡本（2018）は、構成、関連、時間、空間並びに多様性、相互性、有限性を挙げている¹⁷⁾。考え方の具体としては、例えば、文部科学省（2017）は、比較、関連付け、条件制御、多面的に考えるなど科学的に探究する方法を用いて考えることとし¹⁸⁾、岡本（2018）は、比較・観察する、

関連性を見いだす、変化を読み取るという自然のパターン把握の方法としている¹⁹⁾。

以上を参考にしながら、本研究における地球システム的な見方・考え方を「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」とした。

(5) 新学習指導要領に示された3つの資質・能力との整合性

新学習指導要領において、小学校理科、中学校理科、高等学校理科のいずれの目標においても、自然の事物・現象についての問題を科学的に解決するために、あるいは自然の事物・現象を科学的に探究するために必要な3つの資質・能力（「知識及び技能」の習得、「思考力、判断力、表現力等」の育成、「学びに向かう力、人間性等」の涵養）を育成することを示している（文部科学省 2017, 2018）^{20) 21)}。地球システム的な見方・考え方を育成することは、これら3つの資質・能力の育成を図ることに繋がるものと考えられる。

①地球システム的な見方・考え方と「知識及び技能」

中央教育審議会（2016）「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について（答申）」では、各教科等において習得する知識や技能を「個別的事実的な知識のみを指すものではなく、それらが相互に関連付けられ、さらに社会の中で生きて働く知識」と説明し、知識相互を関連付けて構造化することで、主要な概念に関する学習内容の深い理解が図られ、社会における様々な場面で活用できる知識として身に付けていくことの重要性を述べている²²⁾。

地球システム的な見方・考え方を通して地球システムの全体像を捉えることは、個別的事実的な知識の習得のみならず、知識の構造化に伴う学習内容の深い理解、持続可能な社会の形成者として必要とされる生きて働く知識の習得につながる。

②地球システム的な見方・考え方と「思考力、判断力、表現力等」

思考力、判断力、表現力に関して、角屋（2011）は、「思考とは、ある目標の下に、子どもが既有経験をもとにして対象に働きかけ種々の情報を得、それらを既存の体系と意味付けたり、関係付けたりして、新しい意味の体系を創りだしていくこと」とし、「意味の体系とは、対象に働きかける方法とその結果得られた概念やイメージなど」と述べ、「判断とは、子どもが目標に照らして獲得したいろいろな情報について重みを付けたり、あるいは、価値を付けたり

すること」,「表現は,対象に働きかけて得た情報を目的に合わせた的確に表すこと」と述べている²³⁾。

新学習指導要領では,「理解していること,できることをどう使うか」といった知識・技能の活用を「思考力,判断力,表現力等」としている²⁴⁾。理科では,科学的な思考力,判断力,表現力等について,小学校理科では「差異点や共通点を基に,問題を見だし,表現する」,「既習の内容や生活経験を基に,根拠のある予想や仮説を発想し,表現する」等,中学校理科では「規則性,関係性,共通点や相違点,分類するための観点や基準を見いだして表現すること」,「科学的に考察して判断すること」等,高等学校理科では「規則性,関係性,特徴などを見いだして表現すること」としている(文部科学省2017,2018)^{25) 26)}。

このように見たとき,地球システム的な見方・考え方は,規則性,関係性,特徴などを見いだして新しい意味の体系をつくりだしていくというプロセスと整合しており,思考力や判断力と密接に関連していることが分かる。

③地球システム的な見方・考え方と「学びに向かう力,人間性等」

松下(2016)は,日本の教育政策における資質・能力論の正当化の一つとして,2015年にCenter for Curriculum Redesign(以下,CCR)が提示した教育のフレームワークが活用されていることを述べている²⁷⁾。奈須(2017)は,CCRが提示した教育の4つの次元「知識」,「スキル」,「人間性」,「メタ学習」を,新学習指導要領に示された育成すべき3つの資質・能力と対応させ,「人間性」と「メタ学習」が「学びに向かう力,人間性等」に対応していると整理し,「メタ学習」は「どのように省察し,どのように適応するか」というものだと述べている²⁸⁾。

新学習指導要領では,各校種理科における「学びに向かう力,人間性等」として,「問題を解決しようとする態度」,「科学的に探究しようとする態度」,「生命を尊重し,自然環境の保全に寄与する態度」等が示されている(文部科学省2017,2018)^{29) 30)}。

地球システム的な見方・考え方を働かせて問題解決や探究を行うことは,学習対象が複雑系の自然の事物・現象であるがゆえに,適切解を求めて問題解決あるいは探究の方略等を何回も試行錯誤する場面が生じ,その度に自らの方略等を振り返るメタ学習を行う姿が期待される。また,このような過程をとって,自然の成り立ちや多様性についての俯瞰的な認識が高まり,科学的な自然観の涵養,さらに科学的な自然観に基づく生命尊重や自然環境の保全に寄与する態度の育成も期待される。

以上の①～③より,地球システム的な見方・考え方の育成を目指すことは,新学習指導要領に示された3つの資質・能力の育成と整合している。

(6) 新学習指導要領に示された理科における「地球」を柱とした内容構成との関係

新学習指導要領に示された小学校理科,中学校理科,高等学校地学基礎を貫く「地球」を柱とした内容構成は,「地球の内部と地表面の変動」,「地球の大気と水の循環」,「地球と天体の運動」から成り立っており,サブシステムや宇宙と対応していると考えられることができる。「地球の内部と地表面の変動」は固体圏,「地球の大気と水の循環」は流体圏,「地球と天体の運動」は宇宙である。これらの詳細を整理したものが表1である。表に示した線は,各内容が繋がっていることを示している。縦線で示したつながりは,スパイラルな学習をとおして各サブシステムや宇宙の理解を深めることに対応する。横線で示したつながりは,異なるサブシステムや宇宙を比較,関連付けて地球システムの全体像を認識することに対応する。

表1. 「地球」を柱とした内容構成³¹⁾

校種	学年	地球		
		地球の内部と地表面の変動	地球の大気と水の循環	地球と天体の運動
小学校	3年			・太陽と地面の様子
	4年	・雨水の行方と地面の様子	・天気の様子	・月と星
	5年	・流れる水の働きと土地の変化	・天気の変化	
	6年	・土地のつくりと変化		・月と太陽
中学校	1年	・身近な地形や地震,岩石の観察,地層の重なりと過去の様子 ・火山と地震 ・自然の恵みと火山災害・地震災害		
	2年		・気象観測 ・天気の変化 ・日本の気象 ・自然の恵みと気象災害	
	3年	・自然環境の保全と科学技術の利用		・天体の動きと地球の自転・公転 ・太陽系と恒星
高等学校	地学基礎履修学年	・惑星としての地球 ・活動する地球	・大気と海洋 ・地球の変遷	
			・地球の環境	

小学校理科では、各学年における横のつながりが多く見られる。一方、中学校理科では、各学年における横のつながりは見られない。高等学校地学基礎では、横のつながりが見られる。しかし、高等学校地学基礎は、全ての学習内容が学年枠がない1つのまとまりとして掲載されるため、この表では自ずと横のつながりが示されることになる。そのため、横のつながりが、地球システムの全体像を認識するものに適っているかは判断できず、教科書の記載から読み取ることが必要である。新学習指導要領に基づく教科書は、現段階では発刊されていないことから、平成21年告示高等学校学習指導要領（以下、現行学習指導要領）に基づいて作成されている教科書5社分を基に、単元に着目して学習内容のつながりを分析した。その結果、表2のような3つの類型A～Cを見いだすことができた。例えば、類型Aは教科書5社分のうち1社に見られた類型で、表中の黒丸（●）は、単元1で宇宙に関する内容、単元2で固体圏に関する内容、単元3で流体圏に関する内容が記載されていたことを示している。単元4は、どの社の教科書も地球の環境に関する内容を扱っていた。なお、新学習指導要領の地学基礎の内容は、現行学習指導要領と比べて大きな変更は行われていない。

表2. 地学基礎の教科書における単元構成^{32)～36)}

類型	A (1社)			B (2社)			C (2社)		
	固体圏	流体圏	宇宙	固体圏	流体圏	宇宙	固体圏	流体圏	宇宙
単元1			●			●	●		
単元2	●			●				●	
単元3		●			●				●
単元4	●	●		●	●		●	●	
単元5			●	(単元設定なし)					

教科書において2単元分が続けて同じシステムの内容を扱っている場合、この表では1つの単元としてまとめて示している。

このように整理すると、教科書どおりの指導では、表1に見られたような横のつながりが実質的には見られず、中学校理科に似た展開になっている。地球システムの全体像を認識するものに適っているとは言えない。また、地球の変遷に関する内容は、表1に示されるように全ての学習内容を横につなぐ上で有益な内容にもかかわらず、流体圏を扱う単元よりも前の単元で扱われており、地球システムの全体像を捉える視点からの扱いになっていない。

高等学校地学の教科書2社分についても、地学基礎と同様に、単元に着目して学習内容のつながりを

分析したところ、横のつながりは見られず、固体圏、流体圏、宇宙をそれぞれ深く学ぶ展開になっていた。

以上のことから、各サブシステムや宇宙をつなぐような学習展開を総合的な構成とするならば、小学校理科のみが総合的な構成であり、中学校理科、高等学校地学基礎・地学は分析的な構成であると言える。地球システムを理科教育で扱う意義、地球システム的な見方・考え方の育成が新学習指導要領に示された3つの資質・能力との整合性をもっていることに鑑みると、中学校理科、高等学校地学基礎・地学において、総合的な構成を模索する必要がある。

3 地球システム的な見方・考え方を育成するカリキュラムのグランドデザイン

(1) カリキュラム構成要素

石井(2015)は、新学習指導要領の作成に向けて、「各教科の本質的な内容の精選、およびそれを深く豊かに学ぶ活動の創出という方向で、カリキュラムの再構成を進める視点が肝要」と述べ、「『知の構造』を用いた教科内容の構造化」を提示している³⁷⁾。

「知の構造」は、知識・技能を総合する「見方・考え方（原理／方法論）」が、何によってどのように構成されているのかを示したものである。「見方・考え方」は内容知と方法知から構成されている。内容知は複数の個別の「事実」の記憶を基にした「概念」の理解、方法知は複数の個別の「技能」を実行できることを基にした「方略」の適用から構成されている。

地球システム的な見方・考え方は、「知の構造化」そのものであることから、地球システム的な見方・考え方を育成するカリキュラムの構成要素について「『知の構造』を用いた教科内容の構造化」を基に検討し、図1のように整理した。

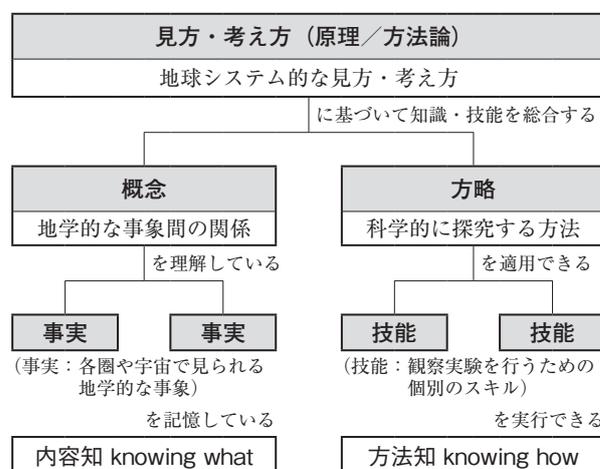


図1. 地球システム的な見方・考え方を育成するカリキュラムの構成要素

地球システム的な見方・考え方の方知については、技能を「観察実験を行うための個別のスキル」として捉える場合と「地球システム的な見方・考え方を適用するためのスキル」として捉える場合の2通りが考えられるが、その検討について本稿では行わず、便宜上、前者の捉え方で整理した。内容知については、図1に示したように、事実を「各圏や宇宙で見られる地学的な事象」として捉え、事実から成る概念を「地学的な事象間の関係」として整理した。内容知に着目した場合、地球システム的な見方・考え方を育成するためには、各事実の部分の習得させておくことが前提であることが明らかである。

以上の状況を踏まえ得た場合、中学校理科、高等学校地学基礎・地学において総合的な構成を図る場合、高等学校地学基礎において取り組むことが効果的であると考えられ、その意義は次のとおりである。

①中学校理科との関係

中学校理科は、小学校理科で学んだことにつながって、各圏や宇宙の内容を分析的に深く学んでいく。高等学校地学基礎では、中学校理科で分析的に深く学んだことに新しい学習内容を付加しながら、各サブシステムや宇宙をつなぐ学習を行うことで、地球システム的な見方・考え方に基づいた知識の再構築を行うことが可能になる。このようにして再構築された知識は、社会の中で生きて働く知識となり、科学的リテラシーとしてのシステム的な見方・考え方の概要を理解できる市民を育成、つまり、一般市民としての教養の深化に寄与することが期待される。

②高等学校地学との関係

高等学校地学は、地学基礎の履修後に続く科目である。また、科目の位置付けとして、地球科学に関する専門性が高い内容であり、分析的に深く学ぶことが必要だと考えられる。その際、地学基礎において地球システム的な見方・考え方を扱っておけば、地学を履修する際にも、地球システム的な見方・考え方を意識しながら学びを深め、延いてはシステム思考をもった研究者、つまり、総合的・分析的な2つの視点をもった研究者の育成に寄与することが期待される。

(2) 地学基礎における地球システム的な見方・考え方を育成するカリキュラムの軸

地学基礎は中学校理科に続く科目であり、その接続を円滑に行うことができるカリキュラムを開発することが求められる。中学校理科における自然のシステムとして、中学校第2学年で水の循環、第3学年で生態系の炭素循環を学んでいる。これらの循環において、太陽のエネルギーが関与していること、循環の中に人間が位置付いていることを扱っている。このような中学校理科における学習状況を踏まえ、地学基礎において地球システム的な見方・考え方を育成するカリキュラムの軸として、「太陽と人間」を設定することとした。

(3) カリキュラムのグランドデザイン案

今まで検討したことを基に、地学基礎における地球システム的な見方・考え方を育成するカリキュラムのグランドデザインを整理したものが図2である。ここでは、期待する汎用的な効果が、新学習指導要領に示された3つの資質・能力と対応する。

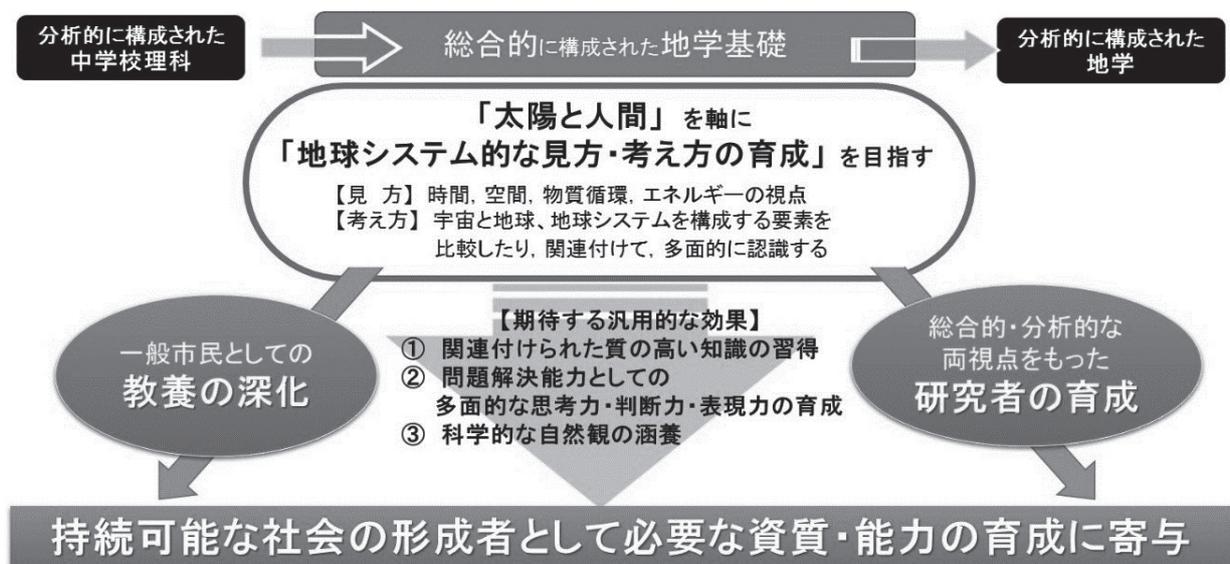


図2. 地学基礎における地球システム的な見方・考え方を育成するカリキュラムのグランドデザイン案

4 地学基礎における地球システムの見方・考え方を育成するカリキュラムの具体

(1) カリキュラムの枠組案

三次（2018）は、新学習指導要領の地学基礎の学習内容は、「地球」を柱とする領域の特徴的な視点に基づき、時間的な視点と空間的な視点は複雑に関係していて切り離せないものの、空間的な視点から地球の現在のすがたを捉える項目、時間的な視点から地球や宇宙の変動の歴史と仕組みを捉える項目に整理したことを述べている。また、地学基礎や地学で扱う地球を取り巻く環境は、長大な時間の流れや広大な空間の広がりの中で、多様な事物・現象が相互に関連し続けているという特徴があること、つまり、地球システムを述べている³⁸⁾。

地球システムの見方・考え方を育成するためには、時間的や視点や空間的な視点に加え、各サブシステムや宇宙のつながりを意識することが可能になるように、物質循環やエネルギーの視点も強調して学習内容を再編していくことが必要だと考えられる。特に、今回作成するカリキュラムは「太陽と人間」を軸としており、カリキュラム全体の底流に太陽エネルギーを据えることが適当であると考えられる。

このような考えに基づき、カリキュラムの枠組を検討し、表3を作成した。

表3. 地学基礎のカリキュラム枠組案

テーマ	単元名	扱うシステム		
		固体圏	流体圏	宇宙
太陽と地球	①水の循環からみた地球	●	●	●
	②太陽の概観		●	●
	③地球の大気と海洋		●	●
	④太陽系と生命の起源	●	●	●
	⑤地球と日本列島の概観	●		●
	⑥活動する地球	●		
	⑦地球の変遷	●	●	●
太陽と宇宙	⑧太陽の進化と宇宙の歴史			●
地球と人間	⑨地球の環境	●	●	

最初の単元は、中学校理科と接続する入口になるとともに、地球システムを意識させる導入でもある。そこで、中学校理科で学習した水の循環を扱うことから始める。その上で、カリキュラムの軸となる太陽そのもの、続いて太陽と地球の関わりにつなぎ、まとめとして地球の変遷を扱い、各サブシステムや宇宙が相互に時間的・空間的に関わり続けていることを認識できるように配慮する。さらに、このような関わりが太陽や宇宙の歴史とつながっていることを扱う。最後に、地球システムの見方・考え方を生かして現在の地球環境を捉えさせ、持続可能な社

会への関わり方を考えさせる。

(2) 各単元の内容

各単元の概要は次のとおりである。各単元は、地球システムの見方・考え方を育成するために、新学習指導要領では扱われない内容も付加した。

①水の循環からみた地球

水の循環の過程において様々な地学的な事物・現象が見られることを、小学校理科や中学校理科で学んだことと関連させて整理して、太陽のエネルギーが関係する地球システムの存在に気付く。

②太陽の概観

太陽の緯度別自転周期の違いを基に、太陽が流体でできていることに気付き、太陽の熱源を知る。また、中学校理科で学習した太陽の表面構造と関連させながら、太陽のエネルギーの放出という視点から太陽の表面活動を理解する。

③地球の大気と海洋

地球の大気や海洋の層構造を見だし、太陽が各層構造に与える影響を知る。また、地球の熱収支と関連させながら、大気や海洋の運動に太陽のエネルギーが関係していることを認識する。

④太陽系と生命の起源

他惑星の特徴と比較しながら地球が水惑星である要因を見だし、エネルギーと物質の濃縮という視点から太陽系や生命の起源、地球の層構造形成や大気組成の変遷の概要を理解する。

⑤地球と日本列島の概観

地球の形および内部構造を探究史と併せて理解し、地球内部の熱にも触れる。地表の多様性として日本列島のジオパークを取り上げ、地表の諸活動によって日本列島が形成されたことを理解する。

⑥活動する地球

プレートテクトニクスの観点から地表の事物・現象を理解し、それらが太陽や地球内部のエネルギー、物質循環と関係していることを認識する。

⑦地球の変遷

太陽や地球内部のエネルギー、物質循環によってもたらされてきた地球環境と生物の関係の変遷史を理解する。

⑧太陽の進化と宇宙の歴史

太陽の進化と宇宙の歴史の探究史に触れながら、それらをエネルギー、元素の生成という視点から認識する。

⑨地球の環境

地球環境を地球システムの視点で捉え、地球と人間の関わりについての自らの考えをもつ。

①～⑨の各単元の詳細は、表4のとおりである。

表4. 地球システム的な見方・考え方を育成するための地学基礎カリキュラム案

単元名	項目	学習内容の概要	中学校理科との関連例	扱うシステム		
				固体圏	流体圏	宇宙
①水の循環からみた地球	地表で見られる自然の事物・現象のつながり	地表やその付近で見られる水が関係する自然の事物・現象を挙げ、それらを水の循環と関連付けて整理し、太陽のエネルギーを基にした地球システムに気付く。	流水のはたらき 霧や雲の発生 水の循環	●	●	●
	水の循環速度	陸・海と大気中における水の存在量や年間移動量を基に、各空間の水の滞留時間を求め、水の循環の過程に、時間オーダーが異なる現象（空間）がつながりながら存在していることに気付く。	地球上の水の存在割合		●	
②太陽の概観	太陽の自転	複数日の太陽表面の写真を基に、黒点に着目して低緯度と高緯度の自転周期を求め、その違いから太陽を構成する物質の状態を推測する。	黒点を基にした太陽の自転と形の推測			●
	太陽の構成物質と熱源	太陽の構成物質が明らかにされた歴史に触れ、太陽光や蛍光灯の光を分光器で観察して比べ、光の種類について理解するとともに、太陽光の暗線を確認する。また、太陽の熱源について知る。				●
	太陽表面の活動と地球への影響	地球と比べながら、太陽の自転速度と太陽磁場の関係を知り、粒状斑、プロミネンス、黒点、フレアを太陽のエネルギー放出の視点から理解する。また、フレア等が地球に及ぼす影響を調べる。	太陽の表面構造		●	●
③地球の大気と海洋	大気圏の構造（気圧）	オーロラ等の現象が見られる高度を基に、地球大気の高さを推測する。また、その値と、地表付近の高い所と低い所の高度差と気圧差を基に求めた大気の高さの上限を比較し、高さに伴う空気の密度変化を見だし、高さとの関係性を理解する。	高度に伴う大気圧の変化		●	
	大気圏の構造（温度）	温度を原子・分子の熱運動として捉え、大気圏の温度分布を予想して、実際のデータと比べる。また、地球、金星、火星のデータを比べ、地球の大気圏の構造の特徴を見だし、特徴をもたらす要因を理解する。	物質の状態変化と粒子の運動		●	●
	太陽放射	太陽定数等を基に、地球全体が太陽から受け取るエネルギーの総量、単位面積・時間当たりの地表面が受け取るエネルギーの量の理論値を求める。また、単位面積・時間当たりの地表面を受け取るエネルギーの量を調べる実験を行い、理論値と一致しない要因を推測する。	陸と海の温まり方のちがい		●	
	熱収支	岩石圏、大気圏、宇宙それぞれの熱収支のつり合いの必要性を見出した上で、太陽放射の一部が吸収・反射されたりすることや地球放射等に変換されることを理解し、地球全体の熱収支を考察する。	放射冷却 温室効果ガス		●	
	熱輸送	地球が球であることによってもたらされる緯度別の太陽放射の量のちがいと関連付けて、流体による熱輸送に気付く。	太陽から地面が受ける熱の量と緯度との関係		●	
	大気の大循環・海流	地球規模の大気の動きを調べ、大気の大循環を見だし、大気による熱輸送を理解する。また、大気の大循環と海流の関係を見だし、海流も熱輸送を担っていることを理解する。また、大気の大循環が低緯度、中緯度、高緯度によって異なるしくみを知る。	風の吹き方 偏西風		●	

	大気の大循環と気候	海陸の分布や大気の大循環を基に、移動する大気中の水蒸気量の変化を捉え、雲の発生等と関連付けながら地域ごとの気候の特徴を理解する。年間の高圧帯等の位置のちがいやその原因にも触れる。	上昇気流・下降気流 雲の発生 高気圧・低気圧 気団		●	
	偏西風と日本の天気	偏西風に伴う移動性高気圧・温帯低気圧の形成について知り、年間を通じた太陽放射の量のちがいによる偏西風の変動を基に、日本の四季の気圧配置や天気を理解する。また、地形が偏西風におよぼす影響を知る。	移動性高気圧 温帯低気圧 日本の四季の気圧配置と天気の特徴 ヒマラヤ山脈	●	●	
	大気と海洋の相互作用	海面の温度に関するデータ等を基に、エルニーニョ現象やラニーニャ現象の海水温分布の特徴を見だし、そのしくみや気候への影響を理解する。			●	
	海の層構造	海面の年間水温や深さによる水温変化のデータを基に、海洋の層構造を見いだす。また、表層の海水が深層へ運ばれるしくみや海水の大循環を知り、大気物質が海に取り込まれて運ばれることに気付く。			●	
	大気と海水の組成	大気と海水の組成を知るとともに、長い期間わたるそれぞれの運動に伴って攪拌が進み、広範囲に渡って組成が同じになったことを理解する。	混合物		●	
④太陽系と生命の起源	地球の水と生命の起源	金星、地球、火星の太陽からの距離や表面温度、大気組成や気圧、直径、水の存在の有無を比べ、地球に生命が存在できる要因を見出すとともに、各要因のつながりを理解する。	地球の特徴			●
	太陽系を構成する天体	太陽系を構成する天体を比べ、各天体の特徴を理解するとともに、特徴に基づいて惑星を分類する。また、隕石の成分や年齢推定結果から、地球をつくるもとになった材料や形成年代について気付く。	太陽系を構成する天体 地球型惑星・木星型惑星	●	●	●
	太陽系と地球の形成	太陽系、地球、月の形成過程を知り、地球に生物が存在できる要因が長い時間の中で整えられてきたことを理解する。また、地球内部の層構造が形成されたことや内部に膨大な熱が蓄積されたことを知る。		●		●
	生物の誕生	地球における大気や海の形成過程を知り、大気、海、地表の物質が相互に関係しながら組成が変化したり、地表の温度変化がもたらされたりしたことを理解する。また、生物誕生に関する複数の仮説を知り、生物誕生の環境が地球上でどのようにして整えられてきたのか理解する。		●	●	
	地球大気の変遷	現在の地球大気組成やオゾン層の形成過程、オゾン層が生物の生存に与えた影響について理解する。	空気の組成 オゾン層		●	
⑤地球と日本列島の概観	地球の形	地球が完全な球であると仮定して子午線全周の長さを求め、その値を赤道の全周と比較し、地球が完全な球でないことを見いだす。また、地球の形に関する探究史を基に、地球の形が回転楕円体に近似できることを理解する。	月食 太陽の南中高度	●		●
	地球の内部構造	地球内部の構造の探究史に触れ、地球内部の特徴を理解するとともに、地球内部の温度変化や圧力変化にも触れる。また、地球内部と地球磁場の形成の関係に触れ、太陽活動がもたらす生物への影響を緩和していることを知る。	P波・S波 地球の磁力線	●		●

	地表の構成	金星, 地球, 火星の表面の高度分布を比べ, 地球の陸と海がちがう物体から構成されていることを見だし, 地殻や上部マントルを構成する主な岩石の密度を調べ, 地殻やマントルの構造を理解する。	花こう岩・玄武岩・斑れい岩	●		●
	日本列島の形成	身近な地表として伊豆半島とアボイ岳のジオパークを取り上げ, 形成過程を整理し, プレーートの移動・衝突との関係を見いだす。	プレートの移動と沈み込み	●		
⑥活動する地球	プレートの動き	地球表面が複数のプレートから構成されていることを知り, 海底の構成岩石の年代等と関連付けて, プレーートの移動を理解する。また, プレート(リソスフェア)やアセノスフェア, プルームを関連付けて, 地球内部の熱の視点からプレートの誕生・移動・消滅を理解する。	日本付近のプレートプレートの移動と沈み込み	●		
	プレートの動きの変化	ホットスポットの形成過程を知り, 太平洋プレート上に形成されたホットスポット由来の火山島や海山を基に, 太平洋プレートの運動の変化を見だし, プレーートの動きがいつも同じとは限らないことを理解する。	太平洋プレート	●		
	プレート境界と自然の事物・現象	プレート境界と大地形, 地震や火山の活動の関係を見だし, プレーートの境界を分類し, その特徴を理解する。	海嶺・海溝・断層 日本列島における震源や火山の分布の特徴	●		
	地震の特徴	地球内部のエネルギーの放出という視点から地震を捉え, 日本列島で起こる地震を震源の分布を基に分類する。また, それぞれの地震の特徴を, 地震によって起こる現象, 地震によってできる地形等と関連付けて理解する。	地震発生のしくみ 震源・震央, 震度・マグニチュード, 日本列島で発生する地震の震源分布の特徴, 活断層, 津波	●		
	地震の解析	地震波を分析することによって, 震源や震央等を推定できることを理解する。	P波・S波, 初期微動継続時間, 断層の形態	●		
	マグマの形成と火山	地球内部の熱等と関連付けながら火山活動を捉え, 日本列島の火山の並びを基に, 日本列島の地下でマグマが形成されるプロセスにプレートが関係していることを見だすとともに, マグマ形成から火山噴火までのプロセスを理解する。また, マグマの性質のちがいと火山噴火のちがいの関係を見だし, 日本列島の火山噴火の特徴を理解する。	活火山 マグマ 火山噴出物 マグマの粘り気と火山の形・噴火の関係 日本列島の火山分布の特徴	●		
	鉱物と火成岩	マグマの温度変化に伴ってケイ酸塩鉱物の骨格が変化し, その結果, 晶出する鉱物の種類やマグマの性質が変化することを理解する。また, 鉱物の晶出順序や冷却過程のちがいによって, 火成岩の多様性が生じることを理解する。	鉱物 火成岩・火山岩・深成岩 等粒状組織・斑状組織	●		
	風化と堆積岩	露頭で見られる岩石の様子等を基に, 地表の岩石は温度変化や水の影響を受けて風化し, 碎屑物に変化することを理解する。また, 流水は地表の地形の形成に影響すること, 碎屑物等は山地から深海底の広い範囲において堆積し, 続成作用によって堆積岩になることがあることを理解する。	風化 侵食・運搬・堆積 V字谷・扇状地・三角州 地層の形成 堆積岩	●		
	変成岩	石墨とダイヤモンド, 石灰岩と大理石等を比べ, 温度・圧力の変化に伴って鉱物・岩石の特徴に変化が起こることを知り, その変化がもたらされる地球内部の場所と関連付けて理解する。		●		

	岩石サイクル	火成岩、堆積岩、変成岩の関係を整理し、それらが長い時間をかけながら一つのつながりをもった変化であることを見いだすとともに、太陽や地球内部のエネルギーが関与した物質循環であることを認識する。	火成岩・堆積岩 プレートの移動と沈み込み 水の循環	●		
⑦地球の変遷	大地の形成順序の推定方法	岩石の種類や地層の産状、放射年代等を基に、大地の形成順序が複数の方法によって推定できることを理解する。	地層の形成順序 示準化石、鍵層	●		
	地層の形成環境	地層の構成物や構造、化石等を基に、地層が形成された環境やその変化を推測できることを理解する。	海底における礫・砂・泥の堆積、級化石相化石	●		
	地質時代の区分	地質時代の区分の基準を知り、地球史の変遷を捉える視点を理解する。	地質年代 示準化石	●		
	隠生累代の概要	隠生累代の地球環境と生物の変遷を知る。		●	●	●
	全球凍結と生物	原生代後期の全球凍結が起こった要因、終焉の要因に関する仮説を知り、地球環境の変化や生物の進化が、太陽や地球内部のエネルギー、物質循環を基にした様々な地球システムのつながりによってもたらされたことを認識する。		●	●	
	顕生累代の概要	隠生累代の地球環境と生物の変遷を知る。	古生代、中生代、新生代	●	●	●
	顕生累代の地球環境と大量絶滅	地球環境の変化が、生物の入れかわりをもたらすことを理解する。また、地球環境の変化が、宇宙からの影響のほか、太陽や地球内部のエネルギー、物質循環を基にした様々な地球システムのつながりによってもたらされていることを認識する。	示準化石 フズリナ、三葉虫、アンモナイト、恐竜、ジカリア、マンモス	●	●	●
⑧太陽の進化と宇宙の歴史	太陽の進化	HR図を基に恒星を分類し、太陽の今後の姿を内部構造の進化と関連付けて理解する。また、太陽の進化によって、エネルギーの生成のしくみが変わったり、元素が生成されたりすることを知る。	恒星			●
	宇宙の進化	宇宙の誕生に関する探究史の概略に触れながら、宇宙の誕生と膨張について理解するとともに、エネルギーと物質の視点から宇宙を捉えることができることを認識する。	銀河系・銀河天の川			●
⑨地球の環境	地球規模の環境の変化	地球規模の地球の環境変化の例を取り上げ、既習事項等を基に、変化のしくみや現代における人間生活や社会への影響を調べ、地球環境と人間のかかわり、科学技術の利用等について自らの考えをもつ。	自然環境の保全と科学技術の利用（地球温暖化、オゾン層の破壊等）	●	●	
	自然からの恩恵と災害	日本列島で見られる自然の事物・現象を取り上げ、人間が自然から享受する恩恵、自然から被る災害および防災・減災の取組みの変化を整理し、自然との共生について自らの考えをもつ。	自然環境の保全と科学技術の利用（地震災害、火山災害、気象災害、ハザードマップ等）	●	●	

表4に示すカリキュラム案を年間2単位、3学期制で運用する場合、おおよその目安として、単元①～単元④を1学期、単元⑤・単元⑥を2学期、単元⑦～単元⑨を3学期で学ぶことを想定している。ただし、探究活動を数多く設定すれば、2単位の運用では不足する可能性があることは否定できず、今後の課題である。

5 カリキュラムの試行と効果

(1) 試行の時期・対象

地学基礎における地球システムのな見方・考え方育成するカリキュラムは、2017年度から授業実践と同時展開で開発するとともに、その意義等は新学習指導要領の告示に併せながら修正・改善を重ねて

きた。表3、表4に示した事項は、2017年度と2018年度の2年間の試行を基に改善したものである。両年度とも基本的には表4とほぼ同じカリキュラムによる授業を行った。以下、2017年度と2018年度の試行の効果を報告する。

本校における理科基礎の履修は、第1学年で全員、化学基礎（2単位）、生物基礎（2単位）を履修し、第2学年で物理基礎（2単位）または地学基礎（2単位）を履修する。また、第3学年において、各理科基礎（1単位）を履修することが可能である。本報告は、第2学年において試行したものである。

(2) 意識の変容

①地球科学に対するイメージ

2017年度履修生徒に対して、単元⑤までの学習を終えたところで、「地学基礎を学習することで、地球科学（地学）に対するイメージが変わったこと」を尋ね、自由記述によって回答させた。その結果の一部を表5に示す。

表5. 学習後の地球科学のイメージ

<ul style="list-style-type: none"> ○太陽は地学で習う大抵なものごとに対して影響を与えている。 ○地球と太陽、人間（生命）の3つの結びつきは大変強いもので、相互不可欠な関係にあることを認識することができる。 ○地球内部や環境についての内容が主だと思っていたが、宇宙のことも学んですべてはつながっているとわかった。 ○地学は地球の多様な環境だけでなく、宇宙の成り立ちや宇宙（太陽）と地球の関係を学ぶというイメージができた。 ○岩石の種類を学んで何の役に立つのだろうと思っていたが、地球内部の様子を推測できることを知って、すごいと思った。個々の事象が関連しているということに気付くことが多くなった。 ○語句を覚えることの多い科目だと思っていたがそれは勘違いで、私たちが普段目にする現象を深く考えることができる面白い科目だと思った。 ○暗記科目ではなく今まで知り得た知識の応用だった。

カリキュラムに示した単元を全て終えていない段階での調査であったが、この時点で既に、地球システムを意識している様子を見取ることができた。

②地球システムの意識の状況

地球システムの意識の状況等を調べるために、2017年度の履修生徒に対して、単元⑤までの学習を終えた段階、単元⑨までを終えた段階それぞれにおいて、ESEの理解目標を質問指標とした質問紙調査を行い、4段階の評価（4：あてはまる、3：ややあてはまる、2：あまりあてはまらない、1：あてはまらない）による回答をさせた。また、比較のために、

従来の教科書どおりの単元構成（表2 類型A）に基づいて学習した2016年度履修生徒に対しても、同様の質問紙調査を行った。結果を表6に示す。

表6. 地球システム等に関する生徒の意識

質問項目	2017年度履修生徒		2016年度履修生徒
	単元⑤まで学習	単元⑨まで学習	単元⑨まで学習
① 地球はユニークで、たぐいまれな美しさを持ち、大変価値のある惑星である。	3.82	3.71	3.89
② 人間の活動は、集団的なものであれ、個人的なものであれ、またそれを意識するしないにかかわらず、アースシステム（地球は相互作用するサブシステムで構成されるシステムである）に対して影響を与えている。	3.72	3.69	3.52
③ 科学的思考力や科学技術の発達は、地球や宇宙空間を理解したり利用したりする人間の能力を伸ばしている。	3.70	3.65	3.74
④ アースシステムは水、岩石、氷、大気、生命のサブシステムの相互作用で構成される。	3.50	3.79	3.37
⑤ 地球は40億年以上の歴史があり、そのサブシステムは絶えず変化している。	3.53	3.66	3.26
⑥ 地球は太古より広がる巨大な宇宙の中にある太陽系の小さいサブシステムである。	3.68	3.68	3.44
⑦ 多くの人々が、地球の起源やプロセス、進化等に興味を抱き、これらに関わる仕事に携わっている。	3.00	3.10	2.48

地球システムの意識の状況を調べる質問は、質問②、質問④、質問⑤、質問⑥である。2017年度履修生徒は、単元⑤までの学習を終えたときの値が、2016年度履修生徒の単元⑨までの学習を終えた時点の値を上回っている。このことは、表5に示した記述から見取ったように、2017年度履修生徒が、単元⑤までの学習を終えた時点で、既に、地球システムを意識している様子が見られたことと合致する結果である。また、2017年度履修生徒は、質問④と質問⑤において、単元⑨までの学習を終えたときの値が、単元⑤までの学習を終えたときの値よりも上昇している。このことから、本カリキュラムに基づく学習を行うことで、地球システムの意識をもたせることができることを確認した。

また、地球システムの意識の状況以外を調べる質問①、質問③、質問⑦のうち、質問①と質問③の値は、

本カリキュラムの学習によって下がっているが、質問⑦の値は上昇を続け、単元⑨までの学習を終えたときの値が、2016年度履修生徒2.48に対して、2017年度履修生徒3.10で、+0.62の大幅な差が見られた。このような変化や差をもたらした要因の分析はできていないが、質問⑦の値が上昇したことについて特筆しておきたい。岡本（2017）は、ESE「理解目標」とESD「持続可能な社会づくりの構成概念」の関係を整理し、質問①～質問⑥は、ESDでは「人を取り巻く環境（自然・文化・社会・経済など）に関する概念」に対応し、質問⑦はESDでは「人（集団・地域・社会・国など）の意志や行動に関する概念」に対応することを整理した³⁹⁾。一般的に、日本の理科教育は、ESDとの関係で捉えれば、「人を取り巻く環境に関する概念」に対して寄与しているが、「人の意志や行動に関する概念」に対する寄与は十分でないと考えられる。しかし、質問⑦の結果から、今回作成したカリキュラムに基づいて学習することで、「人の意志や行動に関する概念」に対しても十分寄与できる可能性を見いだした。つまり、地学基礎における地球システム的な見方・考え方を育成するカリキュラムに基づく学習は、持続可能な社会の形成者として必要な資質・能力の育成に十分寄与できるものと考えられる。

(3) 地球システム的な見方・考え方の習得

地球システム的な見方・考え方の習得状況を調べるために、2017年度履修生徒に対し、単元⑦までの学習を終えたときに、課題「太陽とホルンフェルスの関係を、今まで学習したことをもとに詳しく説明しなさい。」を提示した。取り組み時間は50分間であった。

その結果の一例を図3に示す。「砕屑物が積もって続成作用によってチャートが形成される」等、自然の事物・現象に関する記述に一部誤りが見られるものの、全体としては各システム間のつながりを示すことができていた。また、2017年度のカリキュラムの試行では、生徒に対して「太陽と人間」を軸にしながら学習を進めることを伝えていなかったにもかかわらず、図3の右下キャラクターの吹き出しに「全ての源は太陽にあり！」と記されていた。このことから、本生徒は地球システム的な見方・考え方を習得できていると考えられる。

しかし、図3を記した生徒のように、地球システム的な見方・考え方の習得を確認することができた生徒は少数であった。多くの生徒は、文章による説明、直線的なつながりの図によって説明しようとしたものの、途中で断念していた。また、太陽とホルンフェルスの間に存在する自然の事物・現象について著しく理解していない生徒は、説明できていなかった。本課題は、知識の単なる再生ではなく、今まで身に付けた様々な自然の事物・現象の知識を活用しながら、それらのつながりを考察し、さらに複数のつながりを並べて説明する必要があった。そのため、多くの生徒にとって取り組みにくかったと考えられる。本課題の取り組みは、今後、地球システム的な見方・考え方の習得に関する評価の在り方を内容と方法の両面から検討する際の参考資料になりうるものと考えられる。

図3は、課題「太陽とホルンフェルスの関係を、今まで学習したことをもとに詳しく説明しなさい。」に対する生徒の作品例である。図には、太陽（SUN）から地球（地球の内部のエネルギー（マントル））へエネルギーが伝わる様子や、地殻の厚さ、プレートテクトニクス、岩石の加水、地殻の厚さ、海嶺での圧縮、マグマの貫入、マグマが硬まる、ホットスプーム、地球の内部のエネルギー（マントル）、温度変化、風化、破砕物の積もる、続成作用、泥岩、砂岩、チャート、GOAL? ホルンフェルスか、温度を上げて液体の存在できる、ハビタブル、水のほととぎす、START、原岩、マントル、プレートテクトニクス、岩石の加水、原因、海嶺での圧縮、全ての源は太陽にあり!、マグマの貫入、マグマが硬まる、ホットスプーム、地球の内部のエネルギー（マントル）が示されている。

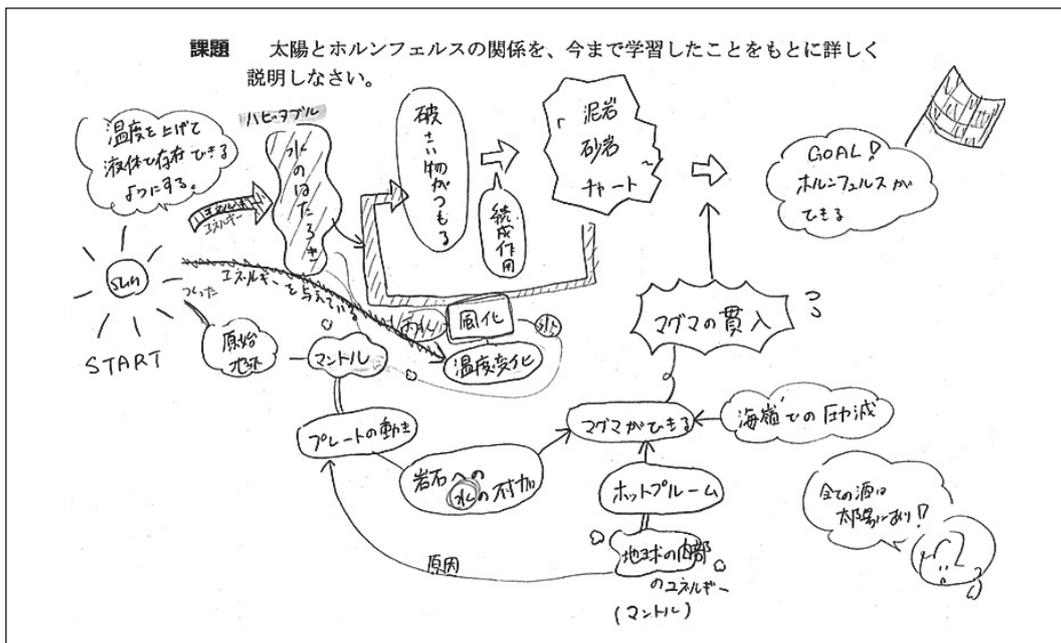


図3. 生徒の作品例「太陽とホルンフェルスの関係」

図3の取組みの改善として、生徒の取り組みにくさを除くために、2018年度履修生徒に対して、単元③の学習を終えたときに、主に単元③の知識を活用して解決できる課題を提示した。課題は「地球規模の気温上昇は、地表にどのような影響を及ぼすか示せ。」である。また、文章で述べるのではなく、図式化することを求め、グループ内による話し合いを許した(1グループ3人)。取組み時間は30分間であった。

その結果の一例を図4に示す。単元③の知識を活用して、地球規模の気温上昇が自然の事物・現象にどのような影響を与えるのか、その影響がさらにもどのような気温変化をもたらすのかについて考察し、「気温up」や「気温down」と記載している。この他に「地形の変化」や「生態系の変化」についても記載しており、単元③の知識以外も活用している。このことから、本グループは、地球システム的な見方・考え方に基づいて課題解決を図ることができたと考えられる。ただし、生徒一人一人が地球システム的な見方・考え方を習得できているかについては判断できない。

今回の取組みは、どのグループも取り組みやすかったようであるが、単元③の知識のみで考察を進めているグループがあった。このようなことから、グループ間の交流を行うことで、なるべく多くのつながりを見いださせるように指導した。

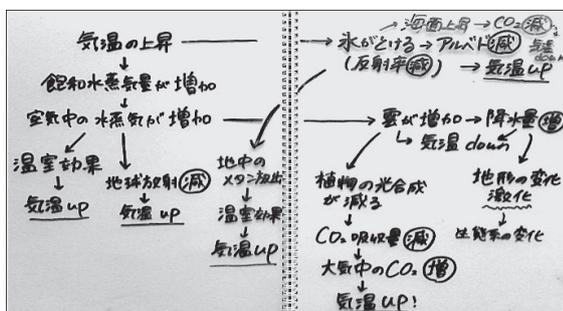


図4. 生徒の作品例「温度上昇がもたらす影響」

2017年度及び2018年度に行った地球システム的な見方・考え方の習得状況の調査から、本カリキュラムに基づく学習によって地球システム的な見方・考え方の育成が可能であることを概ね確認できた。

6 おわりに

本稿では、戦後の日本理科教育における地球システムの扱いを整理し、地球システム的な見方・考え方を定義した。また、地球システム的な見方・考え方を育成することは、新学習指導要領に示された3つの資質・能力と整合していることを示した。その上で、小学校理科、中学校理科、高等学校地学基礎・地学それぞれの学習内容の構造を整理し、地学基礎において地球システム的な見方・考え方を育成することが、持続可能な社会の形成者の資質・能力を育成するために適当であると判断し、そのカリキュラム案を作成した。さらに、このカリキュラム案を試行した授業を行い、本カリキュラムが地球システム的な見方・考え方を育成する上で有効であることを一定程度確認した。

今後の課題は、地球システム的な見方・考え方の育成に関する評価の開発、探究活動の開発(教材開発)、これらの開発をとおしてカリキュラムをさらに修正・改善することである。

謝辞

本研究は、JSPS科研費18H00140の助成を受けて行ったものである。

引用文献・参考文献

- 1) 文部科学省, 「高等学校学習指導要領解説総則編」, 2018年. http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2018/07/13/1407073_01.pdf (閲覧日2018年12月31日)
- 2) 新村出, 『広辞苑(第7版)』, 2018年, 岩波書店, 1283.
- 3) 島海光弘ほか, 「地球システム科学とは」, 『地球システム科学』, 1996年, 岩波書店, 1-10.
- 4) 伊勢武史, 『「地球システム」を科学する』, 2013年, ベレ出版, 18-24.
- 5) 牧野融, 『地球システムの科学』, 1974年, セントラル・プレス.
- 6) 磯崎哲夫, 「地学を学ぶ意義についての論考」, 『科学教育研究』, 41(2), 2017年, 246-257.
- 7) 岡本弥彦, 下野洋, 「理科の基本概念『地球』を育成するための視点設定と授業実践: 小学校理科第6学年『土地のつくりと変化』の指導を通して」, 『岡山理科大学紀要』, 50, 2014年, 57-65.
- 8) 渡部景隆, 「48年度の中間報告に当たって」, 『高

- 校地学カリキュラ改善の研究』, 1972年, 1-2.
- 9) 牧野融, 「システム班のカリキュラム案とその検討」, 『高校地学カリキュラ改善の研究』, 1972年, 3-21.
- 10) 中野佳昭, 大隅 紀和, 「今後の理科教育カリキュラムの展望: 日中科学教育シンポジウム' 91のV.メイヤーの提案から」, 『日本科学教育学会年会論文集』, 17, 1993年, 123-124.
- 11) 五島政一ほか, 「『アースシステム』の日本での検討と実践」, 『地学教育』, 57 (6), 2004年, 183-201.
- 12) 五島政一, 『問題解決能力を育成するアースシステム教育とその教師教育プログラムの開発に関する実証的研究: 科学的リテラシーの育成を目指した理科教育の在り方に関する理論的・実践的研究』, 2013年, 東洋館.
- 13) 岡本弥彦, 下野洋, 「科学の基本的な見方や概念としての『地球』の捉え方」, 『日本地学教育学会第69回全国大会福岡大会講演予稿集』, 2015年, 118-119.
- 14) 岡本弥彦ほか, 「ESDの視点に立った『地球』概念の育成」, 『日本地学教育学会第71回全国大会兵庫大会講演予稿集』, 2017年, 77-78.
- 15) 文部科学省, 「中学校学習指導要領解説理科編」, 2017年. http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2018/06/12/1387018_5_2_2.pdf (閲覧日2018年12月31日)
- 16) 上掲書15)
- 17) 岡本弥彦ほか, 「ESDの視点に立った『地球』概念の枠組み」, 『日本地学教育学会第72回全国大会茨城大会講演予稿集』, 2018年, 103-104.
- 18) 上掲書15)
- 19) 上掲書17)
- 20) 上掲書15)
- 21) 文部科学省, 「高等学校学習指導要領解説理科編理数編」, 2018年. http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2018/07/13/1407073_06.pdf (閲覧日2018年12月31日)
- 22) 中央教育審議会, 「幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について(答申)」, 2016年. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afiedfile/2017/01/10/1380902_0.pdf (閲覧日2018年12月31日)
- 23) 角屋重樹, 「理科における思考力, 判断力, 表現力を育成する指導のあり方」, 『日本教材文化研究財団 研究紀要』, 40, 2011年, 4-8.
- 24) 上掲書15)
- 25) 上掲書15)
- 26) 上掲書21)
- 27) 松下佳代, 「資質・能力の新たな枠組み: 『3・3・1モデル』の提案」, 『京都大学高等教育研究』, 2016年, 139-149.
- 28) 奈須正裕, 『資質・能力と学びのメカニズム』, 2017年, 東洋館, 79-81.
- 29) 上掲書15)
- 30) 上掲書21)
- 31) 上掲書21)
- [註] 本稿に示す表1は, 本書17ページの図3を基に作成した。
- 32) 木村龍治ほか, 『改訂地学基礎』, 2017年, 東京書籍.
- 33) 森本雅樹ほか, 『地学基礎新訂版』, 2017年, 実教出版.
- 34) 磯崎行雄ほか, 『地学基礎改訂版』, 2017年, 啓林館.
- 35) 小川勇二郎ほか, 『新編地学基礎』, 2017年, 数研出版.
- 36) 西村祐二郎ほか, 『改訂地学基礎』, 2017年, 第一学習社.
- 37) 石井英真, 『今求められる学力と学びとは: コンピテンシー・ベースのカリキュラムの光と影』, 2015年, 日本標準, 33.
- [註] 本稿に示す図1は, 本書33ページの図を基に作成した。
- 38) 三次徳二, 「高等学校理科『地学基礎』『地学』の改善事項」, 『理科の教育』, 796, 2018年, 東洋館, 727-731.
- 39) 上掲書14)