

令和 元年 5 月 17 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00966

研究課題名(和文)プレートテクトニクスを機軸とした循環型社会の人材育成をめざす学習プログラム開発

研究課題名(英文)Development of a science study program for understanding plate tectonics aimed at cultivation of human resources promoting a recycling-oriented society

研究代表者

山崎 博史(yamasaki, hirofumi)

広島大学・教育学研究科・教授

研究者番号：70294494

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文):地球表層での物質循環を通してシステム思考を育成するため、水循環と岩石循環に関わる素材探査を実施した。また高校生と大学生を対象に、小・中学校理科の学習内容である堆積作用と火成岩に関する理解・定着状況を検討した。その結果、システム思考を育成するために、地学教育において現象を通時的に捉える指導の必要性が示唆された。そのため通時的思考の育成を学習プログラムの基本的な目的と考えプログラム開発を行った。特に中学校理科の学習単元である火成岩についての学習プログラムを作成して授業実践により検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は地学教育の学習内容を、循環型社会を生きる人材の育成と関連づけることを目的とした。現状把握のため、小・中学校の学習内容のうち堆積作用と火成岩に関する事項の理解・定着状況について、高校生と大学1年生を対象に調査した。その結果、知識の定着は一定程度認められるが、個々の知識を関連付けることに課題があることが示唆された。この関連付けに関して、事象を時間軸の上で捉える通時的思考の育成を考慮する必要性が指摘された。このことは、地学教育においてこれまで指摘されてきた時間概念の育成に関して、具体的な学習内容を考察するためのひとつの視点を与える。

研究成果の概要(英文): In order to improve a student's system thinking based on understanding of supracrustal circulation of materials, teaching materials on water and rock cycles in nature were explored. High school students and university freshmen were questioned about sedimentation and igneous rocks, which were part of the study content of a junior high school science class. The results of the survey, obtained from a questionnaire, showed that the need to lead a diachronic approach to understand geological phenomena for developing a system thinking in earth science education. Study programs were then developed with the basic objective to develop diachronic thinking. The study program on igneous rocks was then tested in a junior high school science class.

研究分野：地学教育

キーワード：教材開発 プレートテクトニクス 通時的思考 堆積過程 続成作用 火成活動 岩石組織

1. 研究開始当初の背景

20世紀を特徴付ける大量生産・大量消費・大量廃棄の社会システムの中で生じた様々な問題に直面している現在、これらの問題への対応策として、生活や経済活動のあり方など、社会システムの変革が求められている。すなわち、循環型社会の実現である。

現状では、循環型社会の実現に向けて、国や自治体、あるいは先進的な企業やNGO等において様々な取組が進行しているところである。こうした社会の実現にはその構成員である市民の意識改革が重要となる。この意識改革の一翼を担うのが人材育成に関わる教育分野からのアプローチと考える。

人間が作る社会の仕組みと自然の仕組みには根本的に違いがあるのだが、その仕組みを理解しようとする時、全体の中での個々の動きを捉えるシステム論的な見方が重要であるという点は共通している。そこで、循環型社会を担う次世代の人材育成に関わる理科教員養成の立場からこの問題にアプローチする時、システム論的に自然を捉えること、システム思考の育成を課題として位置づけた。

ところで、人間生活は生態系から得られる恵みによって支えられており、その恵みは生態系サービスと呼ばれる。生態系サービスは生物多様性が豊かであるほど向上することもあり、生物多様性を保全することが生態系サービスを受け続けること、すなわち持続可能な社会の維持・循環型社会の実現に繋がると考えられる。一方、生態系サービスという考え方には、再生不可能な資源が考慮されていないこと、長期展望の欠如、地形形成過程の扱い方の不備、ジオ多様性と生物多様性の動的で機能的な結びつきが考慮されていないことが指摘され、自然からの全般的なサービスを考える時、地球上の非生物的自然の多様性を意味するジオ多様性を考慮することの必要性が合わせて指摘されている。

生物多様性やジオ多様性で特徴付けられる現在の地球環境は、地圏、気圏、水圏、生物圏の各要素から成り、要素間の相互作用による動的バランスを維持してきた地球システムの変遷の結果と捉えられる。地球環境や自然現象を理解しようとする時、自然科学からのアプローチは多様であるが、そこから得られる結果を相互に関連づけて全体を理解するという、システム思考が必要であり、また重要である。

初等・中等理科教育でも、自然現象に関する知識・理解を通して問題解決能力や多面的・総合的な見方を培うことを目的としている。しかしながら、特に後期中等教育の現状は、様々な制約から限定的なアプローチによる知識・理解に止まっているのではないかと危惧される。理科の履修科目の偏りはその現れと考えられる。本研究は、このような現状を踏まえ、制度上の改革とは別に、理科学習で扱う素材の検討を行い、得られた素材を学習プログラムに活用することのできる教員を養成する立場からこの課題に対する示唆を得ようとするものである。

2. 研究の目的

循環型社会を生きる人材に必要な資質の一つをシステム思考と捉え、次世代の人材育成に関わる中等理科教育を担う教員養成において、自然現象に対して自然科学の諸分野からの多面的なアプローチにより得られた結果を総合的に捉えるシステム思考の育成を目指した学習プログラム開発に取り組み、以下の成果達成を目指す。地球上の非生物的自然の多様性を意味するジオ多様性を生態系サービスの基礎をなすものと位置づけ、生態系サービスにおける物質循環とジオ多様性をプレートテクトニクスとの関わりから捉えるための学習素材を見だし、その素材を基にプレートテクトニクスと循環型社会とを関連づける学習プログラムを考案する。さらに授業により実証的に評価し、課題を整理して以後の展開のための研究資産とする。

3. 研究の方法

本研究は以下の項目に沿って実施された。①文献調査：生態系サービスを地球史の時間軸の中で捉え直す。②素材探査・収集：複数のサービスを対象として、担当者それぞれの専門分野（地質学、化学、生物学）の視点から野外調査と室内実験による素材探査を行ない、基礎データを収集する。③教材開発：基礎データを総合し、それをプレートテクトニクスの枠組みの中で捉えるための教材開発を行う。④学習プログラム開発：③による教材を活用する学習プログラムを作成する。⑤試行実践：開発した学習プログラムを地球科学関連基礎科目で試行する。⑥評価・再検討・改善：⑤の結果を基に学習プログラムを評価・再検討し、また学会発表による評価を受け、改善する。

4. 研究成果

(1) ジオ多様性をプレートテクトニクスとの関わりから捉えるための学習素材と教材開発

地質学、化学及び生物学の各分野において、事象間の関連性を基軸とした探求活動に資するための素材探査とその素材の特性について基礎的研究を行った。それらのうち、ジオ多様性やそれを生み出す地球表層の物質循環をプレートテクトニクスとの関わりから捉えるための学習素材として、以下について検討した。

①多様な海岸地形の構成物：ビーチロックは砂浜や礫浜の堆積粒子が続成作用により地表で固結したものである。長崎県奈留島、和歌山県すさみ町及び山口県下関市の岩石海岸においてビーチロックと類似した固結堆積物（ビーロック様岩）を見いだした。これらのうち奈留島

では、その形成年代を¹⁴C法によって推定し、縄文海進期以降の海水準変動と地形発達を関連付ける素材として検討した。

- ②河床勾配の多様性に対応した河床堆積物：河川は地表の侵食や風化生成物の移動に関わり、結果として地形の多様性を生み出す役割を担っている。理科教科書に記載されている理想モデルとしての河川の解説では、流域と堆積物の特徴との関連が述べられているが、実際の河川のそれとは対応しないことが指摘されている。この点について、階段状地形で特徴付けられる広島県芦田川流域で検討し、河床勾配と河床礫の最大礫径が対応することを確認した。また、結果を礫径と河川や周辺の地形・地質との関連を考察する探求活動の素材として検討した。
- ③物質循環の理解のための石炭の活用：堆積岩は地表の構成物が分解され、特定の物質が濃集したものと捉えられる。石炭の起源物質は植物遺体であり、また、植物遺体が濃集後、続成作用の進行に応じて炭素含有量が変化している。続成作用が堆積物中の有機物に対して及ぼす影響を探求的に考察する素材として、石炭の炭素含有量と石炭組織との関連について検討し、高校理科での生徒実験を考案した。
- ④非火山性高温温泉：温泉は自然の恵みとして人間生活と密接に関連している。温泉は泉源の温度あるいは含有する物質により区分される。高温温泉は、一般には火山・マグマと関連付けて捉えられやすいが、非火山性高温温泉も存在する。非火山地帯の紀伊半島南部の高温温泉もそのような温泉に分類され、しかもそのうちのいくつかの温泉の温度は突出している。温泉の温度による多様性は、白亜紀にこの地域で生じた大規模火成活動と沈み込むプレートに起源をもつスラブ起源流体により生じていると考えられている。これにより、非火山性高温温泉の存在という意外性のある自然現象を、プレートの沈み込み帯での地質現象として探求的に学習するために各種資料を整理し、GISソフトウェア上での活用を検討した。
- ⑤たたら製鉄と地質：鉄は人間生活に欠くことのできない物質の一つであり、岩石由来の鉄を利用することは非生物的生態系サービスの具体例と捉えられる。日本列島においても古代から製鉄業が営まれてきた。その原材料は当初は砂鉄（山砂鉄、川砂鉄、浜砂鉄）であった。砂鉄とその母岩である地質、および鉄穴ながしと呼ばれる砂鉄採取技術の高度化と地質との関わりを、資料に基づく探求活動の素材として検討した。
- ⑥プレート運動の原動力を理解するための熱対流モデル実験教材の改良：プレート運動の原動力の理解のため、理科授業においてマンテル対流を視覚的に捉えるために幾つかの熱対流のモデル実験が提案されてきた。そのうち高等学校地学の教科書でも地震波トモグラフィの結果と合わせて扱われるマンテル内のブルームの上昇に関して、先行研究の成果を基に冷凍水飴の使用によるモデル実験の操作性の向上を検討し、実験の再現性を確認した。

(2) 学習プログラムと試行実践

初等・中等理科教育では様々な地質現象が扱われる。その中で、基軸となるプレートテクトニクスと関連付けて、すなわちプレート収束域の現象として位置づけることが比較的容易と考えられる火成活動と火成岩の形成を取り上げ、中学校での学習プログラムを検討した。

はじめに現状認識のため、中学校での学習内容の定着状況について大学生と高校生を対象に質問紙調査を実施した。その結果、個々の現象を識別し関連付けて考えるというシステム思考の前段階として、現象の識別とそれらを時間軸上で捉えるという通時的思考の育成の必要性が示唆された。そこで、現行の理科教科書で扱われる内容を基本としながらも、現象を通時的に捉えることを考慮した学習単元構成・学習内容を検討した。特に、生徒実験の活用について、基本事項の解説のための実験に加え、それをもとにした生徒の予想を検証するための実験を生徒自身が考案・実施する活動を採用し、試行実践を行った。

試行実践の結果、中学生は火山岩の形成過程とその岩石組織との関連を通時的に捉えることに関して一定程度の理解を示した。その他、生徒の予想の中には、中学校の学習内容を超えて、高等学校での学習内容へとつながる可能性のある発想が認められた。今後の課題として、中学校の学習においても高等学校の学習内容あるいはより本質的な理解につながることを意識した指導の必要性が示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 18 件)

- ①竹下 俊治・上東 大地・小林 誠・田中 歩・山口 大輔・松浦 拓也、大学生を対象とした「コケ植物」についての認識に関する調査、学校教育実践学研究、査読無、25、2019、39-44. <http://doi.org/10.15027/47504>
- ②山崎博史・藤井 潤・兼重堅志郎・妹尾息吹・吉富健一、水飴を用いた熱対流モデル実験の操作性向上、学校教育実践学研究、査読無、25、2019、45-50. <http://doi.org/10.15027/47505>

- ③山崎博史・梶原周平・吉富健一，地域素材を活用した地学の学習（8）：芦田川の河床礫と中国地方南部の地形特性，広島大学大学院教育学研究科紀要 第二部，査読無，no. 67，2018，1-8. <http://doi.org/10.15027/46758>
- ④D. Hara, K. Nishikawa, N. Koga, Characterization of Carbon/Carbon Composites by Kinetic Deconvolution Analysis for a Thermal Oxidation Process: An Examination Using a Series of Mechanical Pencil Leads, Industrial & Engineering Chemistry Research, Peer reviewed, 57, 2018, 14460-14469. Doi: 10.1021/acs.iecr.8b02478
- ⑤N. Koga, S. Kodani, Thermally induced carbonation of Ca(OH)₂ in a CO₂ atmosphere: kinetic simulation of overlapping mass-loss and mass-gain processes in a solid-gas system, Physical Chemistry Chemical Physics, Peer reviewed, 20, 2018, 26173-26189. Doi: 10.1039/c8cp05701j
- ⑥Y. Tsuboi, N. Koga, Thermal decomposition of biomineralized calcium carbonate: Correlation between the thermal behavior and structural characteristics of avian eggshell, ACS Sustainable Chemistry & Engineering, Peer reviewed, 6, 2018, 5238-5295. Doi: 10.1021/acssuschemeng.7b04943
- ⑦N. Koga, N. Kamenno, Y. Tsuboi, T. Fujiwara, M. Nakano, K. Nishikawa, A. Iwasaki-Murata, Multistep thermal decomposition of granular sodium perborate tetrahydrate: A kinetic approach to complex reactions in solid-gas systems, Physical Chemistry Chemical Physics, Peer reviewed, 20, 2018, 12557-12573. Doi: 10.1039/c8cp01138a
- ⑧M. Fukuda, N. Koga, Kinetics and Mechanisms of the Thermal Decomposition of Copper(II) Hydroxide: A Consecutive Process Comprising Induction Period, Surface Reaction, and Phase Boundary-Controlled Reaction, Journal of Physical Chemistry C, Peer reviewed, 122, 2018, 12869-12879. Doi: 10.1021/acs.jpcc.8b03260
- ⑨N. Kamenno, N. Koga, Heterogeneous Kinetic Features of the Overlapping Thermal Dehydration and Melting of Sodium Thiosulfate Pentahydrate, Journal of Physical Chemistry C, Peer reviewed, 122, 2018, 8480-8490. Doi: 10.1021/acs.jpcc.8b02202
- ⑩竹下俊治，石原悠作，今村亮介，潘 祐佳，堀田晃毅，Google マイマップを利用した植物図鑑の作成，学校教育実践学研究，査読無，24，2018，61-65. <http://doi.org/10.1502/45458>
- ⑪山崎博史，妹尾息吹，長谷川礼次，藤井潤，羽座健太，武永有岐子，久森洗希，久原有貴，大学院生と大学生による天体観望会実施報告—幼稚園児の天体望遠鏡による月と土星の観察—，学校教育実践学研究，査読無，24，2018，67-73. <http://doi.org/10.15027/45459>
- ⑫古賀信吉・磯崎哲夫・松浦拓也・木下博義・三好美織・蔦岡孝則・梅田貴士・網本貴一・竹下俊治・富川 光・山崎博史・吉富健一・井上 正之・山田秀人，探究的な学習活動を機軸とした中等理科教育の展開，学校教育実践学研究，査読無，23，2017，19-26. <http://doi.org/10.15027/42768>
- ⑬Yamasaki, H., Suzuki, M., Harada, K., Suga, T., Hayashi, T., Newly identified Oligocene formations in the Sera Plateau, Hiroshima, SW Japan., 広島大学大学院教育学研究科紀要 第二部，査読無，no. 66，2017，1-8. <http://doi.org/10.15027/44772>
- ⑭K. Nishikawa, Y. Ueta, D. Hara, S.. Yamada, N. Koga, Kinetic characterization of multistep thermal oxidation of carbon/carbon composite in flowing air: Mechanical pencil leads as a model system, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Peer reviewed, 128, 2017, 891-906. 10.1007/s10973-016-5993-6

- ⑮Kakisako, M.; Nishikawa, K.; Nakano, M.; Harada, K.; Tatsuoka, T.; Koga, N., Stepwise Inquiry into Hard Water in a High School Chemistry Laboratory, Journal of Chemical Education, Peer reviewed, 93, 2016, 1923-1928. Doi: 10.1021/acs.jchemed.6b00217
- ⑯Fujiwara, T; Yoshikawa, M; Koga, N., Kinetic approach to multistep thermal behavior of Ag₂CO₃-graphite mixtures: Possible formation of intermediate solids with Ag₂O-Ag and Ag₂CO₃-Ag core-shell structures, Thermochimica Acta, Peer reviewed, 644, 2016, 50-60. Doi: 10.1016/j.tca.2016.10.001
- ⑰Kameno, N; Yamada, S; Amimoto, T; Amimoto, K; Ikeda, H; Koga, N., Thermal degradation of poly(lactic acid) oligomer: Reaction mechanism and multistep kinetic behavior, Polymer Degradation and Stability, Peer reviewed, 134, 2016, 284-295. Doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2016.10.018
- ⑱中西裕也・山崎博史, 校舎内の壁を利用した地層観察の模擬体験活動-地層の広がり把握するための高等学校地学基礎での実践-, 地学教育, 査読有, 69, 2016, 73-83. https://doi.org/10.18904/chigakukyoiku.69.2_73

〔学会発表〕(計 18 件)

- ①山崎博史・武永有岐子・杉田泰一, 火成岩組織と河川の堆積作用に関する問題への解答状況から示唆される通時的なもの見方の育成の必要性, 日本地学教育学会第 72 回全国大会茨城大会(筑波大学, つくば市), 2018
- ②橋口晃亮, 竹下俊治, 地衣類の共生関係に着目した実験教材の開発, 地衣類研究会第 46 回全国大会(佐賀大学, 佐賀市), 2017
- ③石原悠作, 竹下俊治, 島根県浜田市の海岸に生育する地衣類について, 地衣類研究会第 46 回全国大会(佐賀大学, 佐賀市), 2017
- ④竹下俊治, 地衣類 GO!の次はマイマップ, 地衣類研究会第 46 回全国大会(佐賀大学, 佐賀市), 2017
- ⑤木村崇志, 山崎博史, 長谷川礼次, 五島列島奈留島池塚周辺の地形と海水準-地形発達史の教材化のための基礎的研究-, 日本地学教育学会第 70 回全国大会神戸大会(神戸大学, 神戸市), 2017
- ⑥井上遼, 網本貴一, 山崎博史, 石炭の教材化のための基礎的研究, 日本地学教育学会第 70 回全国大会神戸大会(神戸大学, 神戸市), 2017
- ⑦藤井 淳, 兼重聖志郎, 妹尾息吹, 山崎博史, 冷凍水飴を用いたブルーム上昇モデル実験の改善-断熱層を用いた局所的加熱による検討-, 日本地学教育学会第 70 回全国大会神戸大会(神戸大学, 神戸市), 2017
- ⑧N. Koga, S. Kikuchi, Comparative Kinetic Study for the Thermal Decomposition of Structural Concretes Used in the Sodium-Cooled Fast Reactor, CATS-2017(Fukuoka, Japan)(国際学会), 2017
- ⑨M. Fukuda, N. Koga, Impact of Environmental Water Vapor on the Thermal Decomposition Behavior of Copper(II) Hydroxide, CATS-2017(Fukuoka, Japan)(国際学会), 2017
- ⑩Kakuyama, M; Monn, K. W.; Takeshita, S., Photobionts of Dermatocarpon miniatum Collected in Korea and Japan, International Symposium for Lichen Biodiversity and Their Use (Lotte City Hotel Gimpo airport) (招待講演)(国際学会), 2016

- ⑪野村聡司・山崎博史・吉富健一・古賀信吉，貝殻の続成作用に伴う変化の地学教材としての可能性，日本地学教育学会第69回全国大会徳島大会（四国大学，徳島市），2016
- ⑫木村崇志・山崎博史・古賀信吉・吉富健一，ビーチロックを題材としたセメント化作用の教材化について，日本地学教育学会第69回全国大会徳島大会（四国大学，徳島市），2016
- ⑬井上遼・山崎博史・網本貴一・吉富健一，有機物の続成作用による変化の基礎的研究，日本地学教育学会第69回全国大会徳島大会（四国大学，徳島市），2016
- ⑭兼重聖志郎・妹尾息吹・朝倉一晃・井上慶祐・山崎直人・吉田航一・山崎博史，水飴を用いたプルームテクトニクスのモデル実験 -実験操作性の向上-，日本地学教育学会第69回全国大会徳島大会（四国大学，徳島市），2016
- ⑮山崎博史，地層学習における現世堆積物利用について，日本地学教育学会第69回全国大会徳島大会（四国大学，徳島市），2016
- ⑯藤原敬之・古賀信吉，比喩的ゲームを活用した化学反応の動的挙動に関する学習，2016 日本化学会中国四国支部大会（香川大学，高松市），2016
- ⑰福田昌弘・坪井庸二・北林 俊・古賀信吉，銅(II)塩鉱物の組成決定実験における酸化還元滴定への段階的アプローチ，2016 日本化学会中国四国支部大会（香川大学，高松市），2016
- ⑱原 大地・亀野奈央・藤原敬之・古賀信吉，発泡性入浴剤を素材とした探究的な学習プログラムの開発，2016 日本化学会中国四国支部大会（香川大学，高松市），2016

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：古賀 信吉

ローマ字氏名：KOGA NOBUYOSHI

所属研究機関名：広島大学

部局名：大学院教育学研究科

職名：教授

研究者番号（8桁）：30240873

(2) 研究分担者

研究分担者氏名：竹下 俊治

ローマ字氏名：TAKESHITA SHUNJI

所属研究機関名：広島大学

部局名：大学院教育学研究科

職名：教授

研究者番号（8桁）：90236456

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。