

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 19 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350202

研究課題名(和文) 実感をともなった「時間」概念育成のための教材開発—化石化の可視化計画—

研究課題名(英文) Development of teaching materials for fostering the concept of time: A program of visualizing the process of fossilization

研究代表者

山崎 博史 (Yamasaki, Hirofumi)

広島大学・教育学研究科(研究院)・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)：続成作用の教材研究の一環として、貝化石の経年変化を可視化し、「時間」概念育成のための「論理に基づいた学習」の素材開発を行った。また、補足的・予察的にビーチロックの膠結作用も対象とした。貝殻化石のアラゴナイトとカルサイトの量比は3タイプに、殻体の組織は2タイプに分かれた。両者には対応関係が認められ、またこの対応関係は化石の産状とも関連している。以上のことよりカルサイト化の進行には2パターンが認められ、その模式図が示された。これにより化石化の過程が可視化され、その教材化への展開が可能となった。

研究成果の概要(英文)：As part of development of teaching materials for learning diagenesis we tried to visualize the secular change of mineral composition and mineral texture of fossil shell, and to make a development the teaching materials for logic-based study on fostering the concept of time. We also studied supplementally and preliminarily cementation of beachrocks. Quantitative ratios of aragonite and calcite were divided into three groups. Mineral textures were divided into two types. The mineral composition and the mineral textures corresponded to each other. The correspondence relation between the mineral composition and mineral texture was connected to the occurrence of fossils in sedimentary rocks. Based on the mention above we found two patterns of the changing process of mineral composition and texture in fossil shell with the progress of diagenetic effect and showed a pattern diagram of the process.

研究分野：地学教育

キーワード：時間概念 化石硬組織 二枚貝 続成作用 炭酸カルシウム 膠着作用 ビーチロック

1. 研究開始当初の背景

科学、とりわけ地球科学における「時間」概念は、過去 46 億年間、動的バランスをとりつつ変化し続けている地球システムを正しく把握するための基礎概念と捉えることができる。ここで扱う「時間」とはディープタイムと呼ばれる長時間スケールの地質学的時間と同義とする。また、「時間」概念は、地球科学の理解だけでなく、同じく長時間スケールの枠組みの中での理解が必要となる生態学、進化生物学や宇宙論など、科学の他の分野とも深く関わる基礎的概念であり、持続的な発展を目指す社会において人類が共有すべき重要な科学リテラシーの一部である。

「時間」概念の育成は、学校教育においては地学教育が深く関わる事項である。しかしながら、昭和後期以降、日本の高等学校での地学の履修率は 7%以下であり、中等科学教育段階でのこの概念育成には困難な現状が存在する。当研究グループが事前調査として行った「時間」概念についての大学生の認識状況においてもそのことを反映するとみられる傾向が認められ、概念形成のための取り組みの改善やより一層の支援の必要性が指摘された。中等教育段階での地学の履修率の現状を考慮すると、こうした状況の改善のためには大学基礎科学科目での対応が喫緊の課題と考える。

「時間」概念は、国内だけでなく諸外国においても、その指導内容や方法が検討されてきた。この中で、「出来事に基づいた学習」(Event-based study)と「論理に基づいた学習」(Logic-based study)という2つの視点に分けて捉えることが提案されている。前者は地球史スケールで起こった出来事の具体的な時期や時代を覚えること、また出来事の順序を正しく並べる活動を行うことにより巨視的な視点から「時間」を理解することであり、後者は地質スキル(現在主義的思考、因果関係思考、累重関係、水平堆積、年代階層、対比)に基づいて、出来事間の相対的な前後関係や時間間隔を論理的に把握する学習活動である。

「時間」概念の育成のための素材として化石は有効であり、多くの先行研究がなされている。その中で化石を扱う学習は、化石を古生物の遺骸として、その形態的特徴に基づいて同定を行い、さらにその結果に基づいて時代や堆積環境を考察する展開が一般的である。この場合、「時間」概念育成の視点に立てば、化石は「出来事に基づいた学習」の中での時代を特定するための判断材料として扱われる。これとは別に、生物が生物圏から岩石圏に移行する過程を研究する分野があり、タフォノミー(化石成因論)と呼ばれる。一般には、古生物の死後、その遺骸が堆積物中に埋没し、化石として保存される過程で被る様々な影響の要因(続成作用)を扱う。すなわち生物とし

ての側面からタフォノミーを捉えることは、生物遺骸それ自身に残された変化に着目する見方であり、遺骸そのものからその生物の死後の時間の経過を読みとる可能性を有す。化石硬組織の保存に関する先行研究では、硬組織構成物や内部構造の保存状態について、初生構成鉱物に依存する相違やアラレ石硬組織の方解石化の経年的増加傾向などが明らかにされている。また、このような炭酸塩鉱物を視覚的に判定する方法として各種染色法(マイゲン法、アリザリンレッドS染色法等)が開発されている。このようにタフォノミーから化石を扱うことは、「時間」概念育成の視点に立てば、「論理に基づいた学習」の素材としての活用可能性を示している。

2. 研究の目的

本研究は、続成作用の教材研究の一環として、化石のタフォノミーに関連して化石硬組織(主に貝殻)の構成鉱物の経年変化に着目し、それを可視化し、「時間」概念育成のための「論理に基づいた学習」の素材開発を行うことを目的とした。また、続成作用による堆積物の変化は、含有される生物遺体内だけでなく碎屑物間の固結過程として認められる。そのため補足的・予察的な位置づけで、ビーチロックの膠結作用も対象とした。すなわち、ビーチロックの固結状況を堆積物から堆積岩への変化過程の途中段階を示すものと捉えることで、その時間変化を可視化するための素材となると考えた。

3. 研究の方法

化石硬組織を対象とした研究は、貝殻の構成鉱物や殻体構造の変化を調べることにより貝殻が受ける続成作用の影響を明らかにするものであり、試料採取(現生種、化石種)、偏光顕微鏡による薄片観察、フーリエ変換赤外分光光度計(FTIR)およびマイゲン染色法による鉱物同定を行った。

碎屑物間の固結過程を対象とした補足的・予察的研究は、これまでに報告のある日本国内の中緯度温帯地域のビーチロックの現地調査、試料採取を主に行った。

また、地学教材開発のための基礎研究としての児童・生徒・学生の現状分析および上記の地学現象の理解のための基礎研究としての炭酸塩鉱物を中心としたその化学的性質や化学教育分野の教材研究を平行して行った。

4. 研究成果

現生種と化石種が比較的容易に入手でき、現生種の貝殻がアラゴナイトで構成され、同種または近縁種が新生代の地層から産出するフネガイ目(AnadaraとGlycymeris)を研究素材とした。現生種は島根県大田市、同江津市、高知県土佐清水および沖縄県名護市で採集した。また、化石種は、前期漸新世(約30Ma)の芦屋層群、中期中新世(約15Ma)の備北層

群, 勝田層群, 唐鐘層, 布志名層, 黒瀬谷層, 更新世 (約 1.0Ma) の瀬棚層について, 現地調査により化石の産状を確認し, 採集した。このうち勝田層群では 187 個のノジュールについても検討し, 7 個の Anadara 化石片を見出した。

貝化石のカルサイトとアラゴナイトの存在比を調べるため, FTIR で IR スペクトルの測定を行った。FTIR 分析では, カルサイトは 713cm^{-1} , アラゴナイトは 700cm^{-1} と 713cm^{-1} に吸収のピークを持ち, 試料中のカルサイトの増加に伴って 700cm^{-1} の吸収が減少する。このことから, カルサイトとアラゴナイトの存在比を 10% 刻みで変えて標準試料 (無機結晶を粉末化・混合して使用) として測定し, 測定結果について, 700cm^{-1} のピークを基準としてアラゴナイトの割合を算出して検量線を作成した。これを基に貝殻試料 (現生種・化石種) のカルサイト含有量を測定した。その結果, 検討した試料は, アラゴナイトからカルサイトへの変化が生じていない場合 (現生種, 化石種: 瀬棚層産, 布志名層産), 80% 以上変化している場合 (化石種: 芦屋層群産, 備北層群産, 唐鐘層産, 勝田層群), さらに現生種ほどではないがアラゴナイトが保存されている場合 (化石種: 黒瀬谷層産) の 3 通りに区分された。

化石の鈹物組織の薄片観察では, 殻体構造が確認できるものと, 殻体構造は確認できず, 粗粒な結晶がモザイク状になっているものの 2 通りが見出された。前者の試料は FTIR 分析でアラゴナイト優勢と同定されたものと一致し, 後者の試料はカルサイト優勢と同定されたものと一致した。

また, 勝田層群の試料は, 一般には殻体構造は認められず, 80% 以上カルサイト化しているが, ノジュールから産出した化石の中に, 殻体構造の一部が保存されている試料が見出された。その部分は FTIR 分析により, アラゴナイトが残存していることも確認された。

以上のように, 化石種の炭酸カルシウムはカルサイトに変化していることが多く, カルサイト化は大局的には経年的な現象と考えられる。しかし, 15Ma 前後の布志名層や黒瀬谷層産の化石の中には高いアラゴナイト含有率を持つ例外があることから, 経年変化に加えて別の要因を考慮する必要があることが追認された。

経年変化以外の要因について次のことが指摘できる。すなわち, 勝田層群産化石の産状とカルサイト化の状況の対応は, ノジュール形成過程における続成作用初期に化石を取り囲む碎屑物が膠結作用により固められて間隙水の流入が阻害され, 続成作用で生じる温度・圧力が貝殻に影響しにくくなった可能性を示唆する。このことは, Maeda (1987) がアンモナイトのタフオノミーの検討において指摘したことと同様の現象であり, 経年変化以外の要因として, 母岩の粒度 (鈴木, 1997) だけでなく, 地層中の間隙水の動きに影響を

与える続成作用の程度の違いが指摘される。

貝化石の化石化の過程に関して, 殻体構造の壊変とカルサイト化には相関があることが指摘される。また, 結果としてアラゴナイトからなり殻体構造を示す状態から粗粒・モザイク状カルサイトからなる状態への変化過程 (化石化の過程) には 2 通りのパターンがあることが想定された (下図)。すなわち, 殻体構造を残しながら成長線に沿うようにカルサイト化が進行する場合と埋没初期のノジュールの進行により成長線部分のカルサイト化の先行が妨げられ, 全体的に外側からカルサイト化が進行する場合である。

本研究で見出された 2 パターンに関して, 下図は化石化の過程を可視化したことに他ならない。2 パターンそれぞれの途中段階と考えられる試料が見出されており, この模式図に示した変遷を具体的な試料を用いて確認することが可能である。このように, 続成作用を受けた結果として存在する化石は様ではなく, 鈹物組成や殻体の組織に関して多様な状況が認められ, それが時系列の中で把握できる。これにより化石が「論理に基づいた学習」の素材として有効であることが指摘される。

なお, 本研究成果は, 研究代表者である山崎の指導の下で野村聡司氏が広島大学大学院教育学研究科に提出した修士論文 (地学教材開発のための貝化石を用いた続成作用の基礎的研究) としてまとめられている。

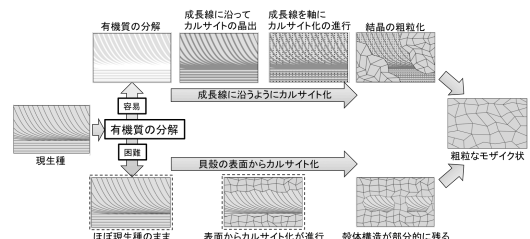


図 二枚貝の化石化の過程に認められる 2 つのパターン

続成作用の教材研究として補足的・予察的に行ったビーチロックの検討結果は次の通りである。既報のビーチロックの中から大分県屋形島のビーチロックを対象に, その形態的な特徴, 構成物組成とセメント物質, 年代測定を行った。その結果, 形態的には洲の浜と呼ばれる砂嘴に斜交していること, 構成物は現在のビーチの堆積物と比べて生物遺骸の割合が $1/4$ であること, セメント物質はマイゲン染色法によりカルサイトであること, ビーチロックを構成する貝殻片の放射性炭素年代は約 4000 年 (Beta Analytic Inc. に依頼) であり, 従来の想定より古くなる可能性があることが分かった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14 件)

1. 山崎博史, 室内での堆積物観察・水槽実験を取り入れた地学実習プログラム-教員免許状更新講習の例-, 学校教育実践学研究, 22, 査読無, 2016, pp99-104

2. Yoshikawa Masahiro, Koga Nobuyoshi, Identifying Liquid-Gas System Misconceptions and Addressing Them Using a Laboratory Exercise on Pressure-Temperature Diagrams of a Mixed Gas Involving Liquid-Vapor Equilibrium, Journal of Chemical Education, 93, Peer reviewed, 2016, pp79-85
Doi: 10.1021/acs.jchemed.5b00107

3. Nakano Masayoshi, Wada Takeshi, Koga Nobuyoshi, Exothermic Behavior of Thermal Decomposition of Sodium Percarbonate: Kinetic Deconvolution of Successive Endothermic and Exothermic Processes, The Journal of Physical Chemistry A, 119, Peer reviewed, 2015, pp9761-9769
Doi: 10.1021/acs.jpca.5b07044

4. Wada Takeshi, Nakano Masayoshi, Koga Nobuyoshi, Multistep Kinetic Behavior of the Thermal Decomposition of Granular Sodium Percarbonate: Hindrance Effect of the Outer Surface Layer. The Journal of Physical Chemistry A, 119, Peer reviewed, 2015, pp9749-9760
Doi: 10.1021/acs.jpca.5b07042

5. Tatsuoka Tomoyuki, Shigedomi Kana, Koga Nobuyoshi, Using a Laboratory Inquiry with High School Students to Determine the Reaction Stoichiometry of Neutralization by a Thermochemical Approach. Journal of Chemical Education, 92, Peer reviewed, 2015, pp1526-1530 Doi: 10.1021/ed500947t

6. Kitabayashi Suguru, Koga Nobuyoshi, Thermal Decomposition of Tin(II) Oxyhydroxide and Subsequent Oxidation in Air: Kinetic Deconvolution of Overlapping Heterogeneous Processes. The Journal of Physical Chemistry C, 119, Peer reviewed, 2015, pp16188-16199
Doi: 10.1021/acs.jpcc.5b04975

7. 山崎博史・齋藤紘樹, 流水の堆積作用に関する大学生の認識状況, 地学教育, 67, 査読有, 2015, pp181-187

8. Yoshikawa Masahiro, Goshi Yuri, Yamada Shuto, Koga Nobuyoshi, Multistep Kinetic Behavior in the Thermal Degradation of Poly(L-Lactic Acid): A Physico-Geometrical Kinetic Interpretation, The Journal of Physical Chemistry B, 118, Peer reviewed, 2014, pp 11397-11405 dx. doi.org/10.1021/jp507247x

9. Kitabayashi, Suguru, Koga Nobuyoshi, Physico-Geometrical Mechanism and Overall Kinetics of Thermally Induced Oxidative Decomposition of Tin(II) Oxalate in Air: Formation Process of Microstructural

Tin(IV) Oxide, The Journal of Physical Chemistry C, 118, Peer reviewed, 2014, pp17847-17861
dx. doi.org/10.1021/jp505937k

10. Yoshikawa Masahiro, Yamada Shuto, Koga Nobuyoshi, Phenomenological Interpretation of the Multistep Thermal Decomposition of Silver Carbonate to Form Silver Metal, The Journal of Physical Chemistry C, 118, Peer reviewed, 2014, pp8059-8070 dx. doi.org/10.1021/jp501407p

11. Koga Nobuyoshi, Nishikawa Kazuyuki, Mutual Relationship between Solid-State Aragonite-Calcite Transformation and Thermal Dehydration of Included Water in Coral Aragonite, Crystal Growth & Design, 14, Peer reviewed, 2014, pp879-87
doi:10.1021/cg4018689

12. Koga Nobuyoshi, Shigedomi Kana, Kimura Tomoyasu, Tatsuoka Tomoyuki, Mishima Saki, Neutralization and Acid Dissociation of Hydrogen Carbonate Ion: A Thermochemical Approach, Journal of Chemical Education, 90, Peer reviewed, 2013, pp637-41 doi:Doi 10.1021/Ed300090g

13. Tatsuoka Tomoyuki, Koga Nobuyoshi, Enregy diagram for the catalytic decomposition of hydrogen peroxide, Journal of Chemical Education, 90, Peer reviewed, 2013, pp633-636
doi:10.1021/Ed400002t

14. Koga Nobuyoshi, Kasahara Daisuke, Kimura Tomoyasu, Aragonite crystal growth and solid-state aragonite-calcite transformation: A physico-geometrical relationship via thermal dehydration of included water, Crystal Growth & Design, 13, Peer reviewed, 2013, pp2238-2246
doi:10.1021/cg400350w

[学会発表] (計9件)

1. Koga Nobuyoshi, Multidisciplinary and Comprehensive Chemistry Teaching/Learning for Next Generation, 1st International Seminar on Chemical Education 2015, 30 Sep, 2015, Yogyakarta (Indonesia)

2. 中西裕也・山崎博史, 高等学校『地学基礎』で行う模擬野外観察活動の意義, 日本地学教育学会第69回全国大会北海道大会, 2015年8月23日, 福岡教育大学(宗像市)

3. 家成賢太郎・山崎博史, 風化学習素材とすのため池堆積物, 日本地学教育学会第69回全国大会北海道大会, 2015年8月23日, 福岡教育大学(宗像市)

4. 山崎博史, 地形図とペーパークラフトを活用した学校所有ボーリング資料の教材化: 小学校での時間概念導入のツールとして, 日本地学教育学会第69回全国大会北海道大会, 2015年8月22日, 福岡教育大学(宗像市)

5. 野村聡司・吉富健一・山崎博史, 地学教材開発のための貝化石を用いた続成作用の基礎的研究-新生代の貝化石を用いて-, 日本理科教育学会中国支部大会 2014, 2014 年 12 月 6 日, 山口大学 (山口市)
6. 中西裕也・山崎博史, 地層の広がり把握するための模擬野外観察, 日本理科教育学会中国支部大会 2014, 2014 年 12 月 6 日, 山口大学 (山口市)
7. 山崎博史・齋藤紘樹, 流水の堆積作用に関する大学生の認識状況, 日本地学教育学会第 68 回全国大会北海道大会, 2014 年 8 月 10 日, 酪農学園大学 (江別市)
8. 野村聡司・吉富健一・山崎博史, 地学教材開発のための貝化石を用いた続成作用の基礎的研究 (予報), 日本地学教育学会第 68 回全国大会北海道大会, 2014 年 8 月 9 日, 酪農学園大学 (江別市)
9. 光野 萌・吉富健一・藤川義範, 現生種との比較における中新世貝化石の化石化の研究, 日本地学教育学会第 67 回全国大会大阪大会, 2013 年 8 月 17 日, 大阪教育大学 (大阪市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山崎 博史 (YAMASAKI HIROFUMI)
広島大学・大学院教育学研究科・教授
研究者番号: 70294494

(2) 研究分担者

吉富 健一 (YOSHIDOMI KENICHI)
広島大学・大学院教育学研究科・准教授
研究者番号: 00437576

(3) 研究分担者

古賀 信吉 (KOGA NOBUYOSHI)
広島大学・大学院教育学研究科・教授
研究者番号: 30240873