

令和 3 年 8 月 16 日現在

機関番号：33704

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K02965

研究課題名(和文) 探究的な学びにより地学的見方・考え方を育み問題解決を促す学習プログラムの研究

研究課題名(英文) Study on inquiry learning program with problem-solving for development concepts and way of thinking in earth sciences

研究代表者

川上 紳一 (KAWAKAMI, Shin-ichi)

岐阜聖徳学園大学・教育学部・教授

研究者番号：80183036

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：地学分野の学習では、実物標本や模擬実験を通じて、事物・現象の本質に迫ることが重要であり、本研究では、火山モデル実験、年縞堆積物形成実験、火山灰教材セット、アンモナイト、恐竜化石の観察教材などを活用して、探究的に学習するための教材の開発を行った。火山灰中の鉱物を種類ごとに分離し、鉱物同定のスキルを高める教材を開発した。中学校の理科授業での火山灰の扱い方などに関する授業改善に関する提言を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地学の学習は、地質・古生物、気象、地球物理学、宇宙や天文学にまたがり、知識の詰め込み教育になりがちであったが、本研究では、地球で見られる事物・現象について、モデル実験や標本の観察を通じて探究的に学習できるように、先進的な教材開発を行った。3Dプリンタで製作した火山模型に粘性流体を流して溶岩流の形態を実験的に調べる教材や、アンモナイトや三葉虫、恐竜骨格模型を活用した絶滅生物の復元など、専門知識をベースに特色ある教材を開発している。研究成果を社会に還元するため、中学生を対象としたアウトリーチ活動を行って、学習効果を検証している。

研究成果の概要(英文)：In the earth science education, it is important to understand processes acting in natural phenomena through real specimens and/or experimental modelling. Several interesting and important teaching materials have been developed for studies on lava flows, laminated sediments, westerly waves, extinct animals such as ammonites and dinosaurs. Mineral specimen sets occurring in volcanic ashes have been made to enhance students' skill for identification of rock-forming minerals. Recommendations regarding how to utilize the teaching materials such as mineral specimen sets in junior high school science classes have been proposed.

研究分野：地球惑星科学

キーワード：地学教育 科学教育 探究学習 教材開発 火山 古生物 偏西風

## 1. 研究開始当初の背景

平成 28 年発行の学習指導要領では、学習者の主体的・対話的で深い学びによる問題解決する力の育成が目標の一つに位置付けられているが、高校地学の教科書では、知識や概念の解説が多く、実験・観察を取り入れた学習者の探究的な学びは多くない。

研究代表者は、将来教員を目指す学生を対象に地学分野の専門科目を担当しているが、学生は高校で地学を履修していない。そのため、高校の学習内容を含めて専門分野の授業を行っているが、興味・関心を高めて学習者に主体的で深い学びを促すには、新たな実験・観察教材とそれを活用した学習プログラムの開発が必要であることを痛感している。

理科教育、地学教育における学術的研究には、児童・生徒の学力調査、教材・教具の開発、野外観察学習の展開、さらに博物館・科学館・研究機関との連携などさまざまな取組などがあるが、教育内容における学問的専門性を背景にし、かつ学校現場での授業実践による検証による評価を含めた研究は多くない。こうした現状を受けて本研究では、教育方法学と教育内容学の融合を目指している。

研究代表者は、地球惑星科学における異分野融合を目指した専門的研究( 編々学 ) を行ってきたが、さらに、理科教育・科学教育の融合を目指して、探究的な学習プログラムを構築している。それらには、天体望遠鏡の製作とクレーター形成実験、三葉虫、アンモナイト、恐竜化石の観察と探究活動などがあり、小中学生対象の公開講座やアウトリーチ活動を展開している。本研究では、こうした教育・研究活動を小中学校理科はもとより、高校地学、大学初年次の地学教育までを視野に入れて発展させるものである。

## 2. 研究の目的

本研究は、初等中等教育の地学領域の学習において、学習者の主体的な学びを促す実験・観察教材の開発と授業実践による検証を行って、地学分野における探究的学習の在り方を明らかにすることを目的としている。地学分野の学習は、教室で実験・観察ができないものが多くあり、教科書や資料集を用いた知識の詰め込みになりがちであり、探究的な学習を促す教材開発が必要となっていた。

## 3. 研究方法

地球惑星科学のさまざまな分野の専門知識と初等中等教育の理科教科書、地学教科書の内容を比較し、探究学習を構想できるテーマを発掘し、教材開発を行う。教材は、化石や岩石・鉱物などの実物標本、自然現象をモデル化する実験器具、事象を提示するために野外などで撮影した補助教材( ビデオクリップ ) からなる。補助教材の開発では、研究代表者が過去 20 年にわたって蓄積してきた画像や動画( 理科教材データベース ) を活用して開発する。これらの教材を組み合わせることで学習プログラムを作成して、小中学校での授業実践を通じて検証する。授業実践は、研究代表者が岐阜県教育委員会と連携して構築してきた岐阜県コアサイエンスティチャー養成事業に関わってきた小中学校の理科教員との共同研究で授業実践して、学習者の知識・技能の習得、興味・関心のほか、楽しかった・面白かったなど情意面の変容に関してアンケート調査を行って検証していく。

## 4. 研究成果

本研究では、小中学校の理科、高等学校の地学基礎および地学、教員養成系大学における地学の講義・実験で扱う内容を想定し、地質学・古生物学分野、気象学分野、火山学や地震学分野における探究学習を促す教材を研究した。また、補助教材として、化石発掘現場の状況、火山地形、火山活動などをテーマにしたビデオ教材(youtube)を開発し、補助教材として学習プログラムに組み込んでいる。

### 4-1. 火山のモデル実験

( 1 ) 理科では、火山の活動や火山の形をマグマの性質と関係づけて学習することになっている。火山体にはスコリア丘のように 1 回の活動で形成されるものもあるが、ハワイ島の火山のように、溶岩流が繰り返し流れて地形発達が起こるほうが一般的である。三宅島南西部について 3D プリンターで火山地形モデルを作る、斜面勾配、粘性流体( 溶かしたチョコレート ) の粘り気や、流出率を変えて、溶岩流の形態がどのように変化するかをシミュレーションする実験教材を開発した。

( 2 ) スコリア丘は溶岩噴泉活動によってできる円錐形をした火山体であり、国内では伊豆半島の大室山や阿蘇山の米塚が有名である。カラーサンドを用いて、スコリア丘の形成過程に関する実験教材を開発した。カラーサンドは漏斗から降り積もらせ、火山体の底に穴をあけて一部抜き取ることで、スコリア丘に似た形態を再現させることができる。この実験で、スコリア丘の斜面勾配が安息角になっていることが理解できる。



図1．溶岩流の形態を支配する要因を探るモデル実験．

#### 4-2．造岩鉱物の観察

中学校理科の教科書では、火山の学習において、火山灰を採取し、洗浄したあと実体顕微鏡で観察し、火山灰中の鉱物の種類や量を調べる実験が位置づけられている。しかし、火山灰中の鉱物を実体顕微鏡で同定することは困難であった（松本，2013）。本研究では、高山軽石層や鹿児島県志布志湾の海岸の砂から造岩鉱物を分離した鉱物標本セットを約 900 セット制作し、岐阜県内の中学校に配布した。この火山灰セット中の鉱物の分離の妥当性を電子顕微鏡（SEM-EDS）で検証した。これを受けて、最近の桜島の火山灰や 2000 年 3 月に噴火した有珠山火山灰中の鉱物を分離した。これらの火山灰中に含まれる鉱物は斜長石と輝石であることを確認した。火山灰の性質をマグマの性質と関係づけることは困難であり、火山灰鉱物標本セットで造岩鉱物について学習したあと、火成岩の観察へと接続するという指導案を提案した。



図2．火山灰鉱物標本セットと造岩鉱物の観察．

#### 4-3．地層実験

小中学校で地層の観察の学習があるが、地層がどのようにできるのかについて、適切な実験教材は少ない。本研究では、2003 年 6 月にロシアの北部、白海海岸のウインターコーストで採取した 1 年ごとに縞模様が形成された（年縞）地層が小石化したものを観察させ、縞模様のでき方と、その枚数を年数に換算させることで地質学的時間スケールの概念形成を促す授業実践（川上・西田，2008）をさらに発展させた。今回は、地層実験装置を改良し、桜島火山灰と多治見陶土を混ぜた砂を水で流す実験を繰り返すことで、ロシア白海の小石と同様の縞模様ができるような実験器具を開発した。ロシア白海の小石を観察して縞模様のでき方について疑問を持たせ、実験から縞模様のでき方について探究できるようにした。すなわち、同程度の砂を同じ分量の水を流すことで、厚みのそろった地層ができることを実験でシミュレーションしたあと、どのようにしたら毎回同じ分量の砂が運ばれるか、地層の形成環境を考えさせる。氷河湖のような環境では、夏季の融雪水で年縞ができる。ロシア白海の小石の縞模様は、23 億年前の氷河時代の堆積物であることを考察させることができた。



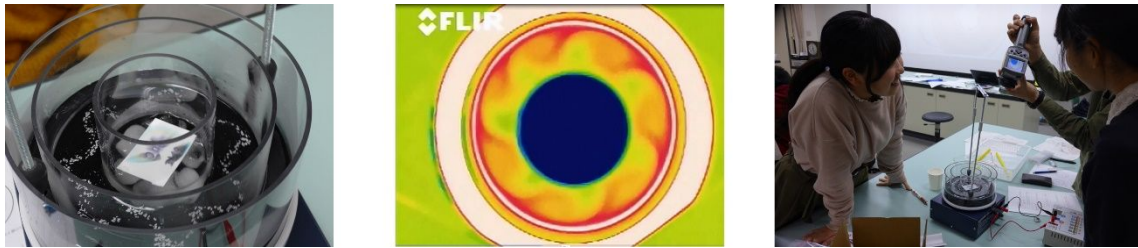
図3．年縞堆積物の縞模様を再現する実験．

#### 4-4．偏西風波動実験

偏西風波動実験は、平成 28 年度の学習指導要領の改訂で、高校地学の授業で行う実験に位置付けられた。教材業者から偏西風波動実験器が市販されるようになり、学校現場での活用が期待された。こうした動きを受け、本研究では、偏西風波動のシミュレーションを行う実験装置を考案し、さらにサーモカメラやサーモインクで、水温の異なる流体が波動をつくる様子を撮影したデジタルコンテンツを開発した。偏西風波動が起こるメカニズムは、傾圧不安定性であり、内側

の冷水と外側の暖水によって、試験水槽に温度勾配が生じること、水槽の回転によるコリオリの力が必須である（田中，2007）。偏西風波動の現象と、それが温帯低気圧と移動性高気圧の周期的通過の関係づけ、大気大循環のしくみ、温帯低気圧の発達メカニズム、天気が西から東へと変化することなどについて、納得できる学習プログラムを開発した。

図4．偏西風波動実験におけるサーモカメラによる温度計測。



#### 4 - 5 . 絶滅生物の復元

古生物学に関する学習は、化石の記載や分類になりがちであり、学習者の興味・関心のばらつきが大きく、探究学習としてのねらいが明確にできないことが多い。本研究では、モロッコやフランス産の化石を大量に確保しており、それらを活用した探究学習プログラムを開発した。

##### (1) オウムガイとアンモナイトの殻の比較

アンモナイトは絶滅した生物群であるが、オウムガイは現在もフィリピン近海で生息している。どちらも軟体動物、頭足綱に属し、殻の形態に類似性がみられる。こうしたことから、まずオウムガイの殻の浮沈実験から疑問をもたせ、殻のつくりを観察させた。これに続いてアンモナイト化石の2面カット標本を観察させ、隔壁、連室細管、初期室の違いや、殻の表面近くにみられる縫合線の存在に注目させた。縫合線の形態は、古生代デボン紀のゴニアタイト類は比較的単純であるが、中生代のアンモナイト類では複雑になっている。中生代のアンモナイト化石で、縫合線のつくりがわかる化石を確保し、縫合線の形態について理解が深まるようにした。

##### (2) アンモナイトの分類

アンモナイト化石は1万種以上知られているが、分類群を絞り込むことで、その化石が産する地層の時代を決めることができる。筆者らは、こうした探究活動を、フランス産ジュラ紀アンモナイト化石を教材化して授業実践を行ってきた。しかし、フランス産の化石は時間とともに劣化して、観察に使いなくなってしまった。また、ジュラ紀のアンモナイト化石は、巻き方が類似していることに加え、縫合線が複雑で、縫合線によって化石を分類できない難点があった。そこで、モロッコ産デボン紀ゴニアタイトの分類学的研究を行って、示準化石の学習に活用できるようにした（川上ほか，2018）。アンモナイト化石の同定には、探究学習用に制作したアンモナイト図鑑を用いるが、本研究では、図鑑を一新し、化石の写真に縫合線を加え、学習者がアンモナイト化石の形態や縫合線の形態を把握しやすいようにした。その結果、多くの学習者が化石の同定を正しく行うことができた。

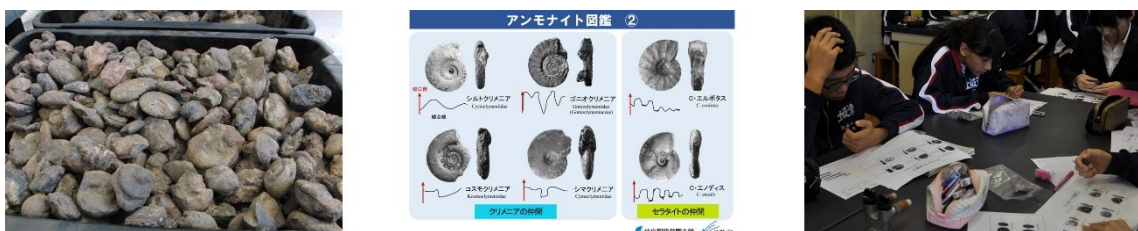


図5．モロッコ産デボン紀クリメニア化石と示準化石に関する探究活動。

##### (3) 三葉虫ノジュール

アンモナイト化石の観察は、産出した化石をクリーニングしたものや、地層から分離して小石化しているものであった。しかし、野外での化石発掘では地層に含まれる化石を、岩石を割って探ることが多い。モロッコ産の三葉虫カリメネ化石は、化石を含む岩石が丸い小石（ノジュール）状になっている。そこで、モロッコで化石の入っている可能性の高い小石を収集しておき、授業時にそれを割って化石を取り出す活動に使えるようにした。割って取り出した化石を観察したあと、より完全な三葉虫化石（ファコプスなど）を観察し、三葉虫の目が複眼であること、脱皮して成長するなどの事実から、三葉虫が節足動物に分類されることを探究するようにした。

##### (4) ニワトリの骨格標本と恐竜の指骨の比較

本研究を進めるにあたって、モロッコ南西部の中生代湖成層であるケムケム層群で発掘された恐竜の指骨化石を観察教材で使用することにした。比較のため、ニワトリの足の骨格標本を製作する活動を取り入れた（伊藤ほか，2019）。ニワトリの足の骨格は、恐竜の足の骨格と相同性

が高い。また、指骨の形態は特徴的であり、ニワトリの指骨と大きさを比べることで、恐竜の体長などを推定できる。ニワトリの足の骨格標本の観察から、まず足の骨格が相同器官であることを確認させた。



図6．ニワトリの足の骨格標本の製作活動。

(5) ニワトリの骨格標本の学習のあと、モロッコ南西部で発掘された恐竜の骨格化石のうち、スピノサウルスであることが確かなものについて観察させた。スピノサウルスは人気の恐竜であり、安価な骨格模型が市販されている。骨格模型と化石の大きさの比較から、体長、体重、一日の餌の量などを推理させた。さらに、モロッコ南西部のケムケム層群で発掘されたスピノサウルスの下顎化石について、レプリカを製作した。また、スピノサウルスの化石では、大量の歯の化石が発掘されていることから、下顎化石の歯のあった部分の大きさに見合う歯の化石を選び、歯のついた下顎を復元する探究活動を行えるようにした。スピノサウルスの歯の化石はワニの歯と似ている。また、顎のつくりもワニと似ていることが指摘されており、魚食性の恐竜だったと考えられている。顎や歯の観察からスピノサウルスがどのような生き物を捕食していたかを推理させた。



図3．化石や模型を比較して絶滅生物の復元する探究活動。

#### 4-6．まとめ

本研究では、地球惑星科学のなかの地質学、鉱物学、古生物学、地震学や火山学、気象学分野において、探究学習に適したテーマを選び出し、独創的な教材開発を行って、探究学習プログラムを考案し、授業実践などを行ってきた。過去におこなった天体望遠鏡の製作と月の観察、クレーター形成実験などを含めると、初等中等教育で扱う単元の多くで活用できる探究的な実験・観察テーマ群を確立することができた。今後も実験方法などの改良を加えると同時に、小中学校での出前授業、アウトリーチ活動を展開し、学習効果や学習者の意識、興味・関心の変容などを調査し、研究成果としてとりまとめていく予定である。

#### 文献

伊藤悠・松田義彦・川上紳一(2019)日本科学教育学会研究会研究報告, 33, no.8, 23-28.

川上紳一ほか(2019)日本科学教育学会研究会研究報告, 32, no.10, 53-58.

川上紳一・西田香(2009)岐阜大学教育学部研究報告(自然科学), 33, 31-37.

松井智彰(2013)南九州から南西諸島における総合的防災研究の推進と地域防災体制の構築」報告書, pp.137-140.

田中博(2007)偏西風の気象学, 成山堂, 174p.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 伊藤悠・松田義彦・川上紳一	4. 巻 33, no.8
2. 論文標題 ニワトリの骨格標本製作をとりいれた生物進化に関する探究学習：中学校での実践	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本科学教育学会研究会研究報告	6. 最初と最後の頁 55-60
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 川上紳一・勝田長貴	4. 巻 33, no.8
2. 論文標題 地学分野における探究学習のための教材開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本科学教育学会研究会研究報告	6. 最初と最後の頁 23-28
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 武藤正典・石橋信弘・林優子・香川雅子・勝田長貴・川上紳一	4. 巻 44
2. 論文標題 火山灰中の鉱物同定のための鉱物標本セットの中学校理科授業への導入	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 岐阜大学教育学部研究報告、自然科学	6. 最初と最後の頁 43-49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 沼野理人・川上紳一
2. 発表標題 偏西風波動モデル実験器のビデオ撮影
3. 学会等名 日本理科教育学会東海支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤安吾・早川貞幸・川上紳一
2. 発表標題 スコリア丘の形成に関する探究学習プログラムの作成に向けて
3. 学会等名 日本理科教育学会東海支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐渡楓・川上紳一
2. 発表標題 ヒスイ輝石と沈み込み帯テクトニクスを関係づける探究学習に関する研究
3. 学会等名 日本理科教育学会東海支部大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="http://www.ha.shotoku.ac.jp/~kawa/KYO/index.html">http://www.ha.shotoku.ac.jp/~kawa/KYO/index.html</a> 理科教材データベース <a href="http://www.ha.shotoku.ac.jp/~kawa/KYO/index.html">http://www.ha.shotoku.ac.jp/~kawa/KYO/index.html</a>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	寺田 光宏  (TERADA Mitsuhiro)  (40514641)	岐阜聖徳学園大学・教育学部・教授    (33704)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------