

## 地学分野における探究学習のための教材開発

Development of the teaching materials for active learning in  
the earth and planetary science education

川上紳一

Shin-ichi KAWAKAMI

岐阜聖徳学園大学

Gifu Shotoku Gakuen University<sup>1</sup>

[要約] 次期学習指導要領では、アクティブラーニングの視点からの授業改善が求められている。こうした改訂の背景には、学習者が主体的に問題をみつけ、解決することを通じて、科学的な概念や考え方を学ぶことが重視されている。地学分野の学習は、教室で再現することができない事象が多くあり、モデル実験を行って、事象を支配するプロセスを理解し、地学リテラシーを身に着けることが重要である。本発表では、筆者がこれまでに開発した教材とそれらを活用した学習プログラムを示し、探究学習を支える実験・観察教材のあり方を議論する。

キーワード：地学、実験、観察、教材、化石、火山、隕石、探究学習

### 1. はじめに

初等中等教育における理科教育・科学教育は、小学校低学年の生活科から始まり、学年進行に伴って自然認識の空間的、時間的スケールを広げ、高等学校の地学では、宇宙の中の地球という視点で、宇宙の構造や進化を学んでいく。宇宙的時間・空間スケールで自然の事物や現象、さらに自らの存在を捉え、地球環境問題などの今日的な課題を考察する力をつけることが重要であると考えられる。しかし、実際には、高校で地学分野を履修する生徒は多くなく、地球や宇宙を視野に入れた自然観を構築し、自然科学とは何かを考察できるスキルを身につけさせるような教育とはかけ離れた現実がある。

筆者は、地球惑星科学、とりわけ太陽系の形成論、地球史の研究を進める一方で、教員養成を主たる目的とする大学で、30年にわたり理科教育・科学教育にも携わってきた。こうした中で、新しい理科教育・科学教育の展開には、地球惑星科学の専門性と、理科教育学、科学教育学の研究主題の一つである学習者の実態を踏まえた学習プログラムの開発を融合させることが重要であるという認識に至った(川上, 2011)。そして、学習者にとって、学習自体が楽しく、分かりやすく、さらに興味・関心を高めることがで

きる教材の開発と、それらの学習プログラムにおける位置づけが重要であると考え、さまざまな取り組みを試みてきた。すなわち、開発した教材については、大学の公開講座や出前授業などを通じて、実際に小中学生を対象に実践することで、学習者の学力、ニーズ、興味・関心の度合いとマッチさせることの重要性を痛感している。さらに、開発した教材や学習プログラムを小中学校の理科授業のなかで展開していくためには、教員の研修活動で、教材や学習プログラムを紹介し、小中学校の教員に授業で活用してもらえるようにすることも重要であると考えている。こうした活動の中から、平成21年度に岐阜県におけるコアサイエンスティーチャー(CST)養成プログラムを構想し、CSTの計画的養成に携わってきた。

### 2. 地学分野における探究学習

探究学習では、学習者が主体的に解決すべき事象を提示し、実験・観察や調べ学習を行うなかで、事象に対する見方・考え方を獲得し、問題解決するための知識やスキルを身につける学習をいう(大野, 2016)。こうした探究学習を具体化するためには、探究的な学習が可能なテーマの設定、必要な教材の開発、事象提示、実験・観察から、結果の考察までの

一連の学習プログラムを構想することが必要である。テーマの発掘や教材の開発は、筆者の地球惑星科学の研究のなかで出会ったもので、理科教育や科学教育の現場で活用が可能であることに気づいたものであり、公開講座などの実施の際に活用したものである。

### 3. 天体望遠鏡の製作とクレーター実験

天体分野の学習では、星空の下で、月や惑星の観察体験が重要である。月や惑星の観察では、天体望遠鏡で観察することで、クレーターで覆われた月面の姿や土星の輪を見て感動を感じる学習者が多い。天体学習で、学習者一人一人に天体望遠鏡を与えて、天体観察を行うことはできないか。こうした要望を受け、市販の天体望遠鏡を探したところ、1個2500円の天体望遠鏡組立キット（コルキット・スピカ）が使えることに気づいた。このキットで天体望遠鏡を製作したあと、観察会を行って、月面を観察させると、月面の大小さまざまなクレーターの存在に気づく。



図1. クレーター形成実験.

クレーターがどのようにしてできたかを取り上げて予想を描かせ、カラーサンドを用いてクレーター形成実験を行っている(図1)。クレーター形成実験では、成層構造をした標的にクレーターを形成させる。クレーターの形成に伴って、下位の地層が噴出してくる。また、繰り返し衝突させると、カラーサンドが混ざることがわかる。天体望遠鏡の製作の前に、月からやってきた隕石を提示し、実験後に再度

月隕石を観察すると、月の岩石の多くが、天体衝突で角礫化した岩片が混ざったポリミクト角礫岩であることがわかる。この学習過程で使用する教材は、天体望遠鏡組立キット（スピカ）、クレーター形成実験教材、月隕石である。これらを有機的に結びつけることで、月の起源や進化において、天体衝突が重要な役割を果たしている。こうした学習プログラムの実践は、岐阜大学公開講座、日本学術振興会ひらめき☆ときめきサイエンスなどで過去15年以上にわたって継続して実施している。探究学習で提示する月隕石については、モロッコにおける情報収集、隕石探査を行って、より適切なものを確保している(図2)。

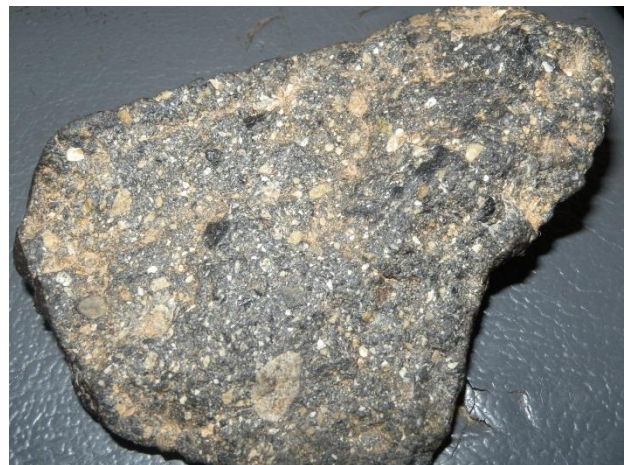


図2. 月からやってきた角礫岩質隕石.

### 4. 火山現象のモデリング

中学校の理科授業では、火山の形とマグマの粘り気の関係性を調べる実験を行うことになっている。しかし、自然界の多くの火山は、長い年月の間に噴火活動を繰り返し発達してきたものである。火山の休止期には、侵食を受けてガリの発達や河川による開析が起こる。学習者が行う火山モデル実験をより実際の火山を模擬し、溶岩流の流出による火山の発達や、溶岩流や火山灰によって成層した火山が形成される過程をシミュレーションする教材を開発した。あわせて、火山の発達の事象を提示するために、ハワイ島のキラウエア火山、マウナロア火山、伊豆大島でデジタルコンテンツの開発を行い、溶岩流が重なって平坦な楕状火山が形成されていることを踏ま

えて実験を行った(多和田ほか, 2009; 石原ほか, 2009). 図3に火山模型を用いて溶岩流を流し, 火山体の成長をシミュレーションする実験を行う学習者の様子を示す.

さらに, 火山のモデル実験は, キッチン火山実験といわれるような身近な食材を使ったモデル実験が広く行われている. 溶かしたチョコレートをマグマのモデルとし, 実際の火山地形を3Dプリンターで作製して, 溶岩流の形態を支配する要因を探究する学習プログラムも開発した(岡田ほか, 2017).



図3. 火山噴火による火山体成長のモデル実験.

## 5. アンモナイト化石を用いた示準化石と生物の仲間わけ

中学校の理科教科書では, アンモナイトは中生代の示準化石として扱われている. アンモナイトは軟体動物に分類される. アンモナイトの祖先は古生代デボン紀のオルソセラス(直角石)の出現に始まり, 中生代末まで, およそ4億年に及ぶ. これらはアンモナイト亜綱に分類されていて, 中学校の教科書で扱われるアンモナイトはアンモナイト目を指す. 筆者らは, フランス産ジュラ紀アンモナイトを大量に確保し, それらの分類・同定作業から, それらが中生代ジュラ紀の地層から産出したものであることを探求する学習プログラムを開発した(川上ほか, 2010). この教材は, 開発から10年が過ぎ, 化石の劣化が顕著になって新たな教材開発の必要が生まれた. そこで, モロッコ産ゴニアタイト化石, クリメニア化石を大量に入手し, 同定作業を行った(山口ほ

か, 2015). ゴニアタイト化石の分類はほぼ完了したが, これらの化石は大きさが1cm程度と小さく, さらに縫合線の形態が似通っているため, 初めてゴニアタイト化石を分類する学習者にとっては, 分類が難しいことがわかった. そこで, 直径が5cm程度あるやや大きいクリメニア目の化石(図4)を用いた教材化を進めている.



図4. デボン紀後期のクリメニア化石. 縫合線が単純で, 大きな標本が多く, 探究学習に適している.

一方, アンモナイトと似た形態をもつ現生生物としてオウムガイが知られている. オウムガイの殻が水に浮くことを演示実験したあと, オウムガイとアンモナイトの殻の形態を比較して, オウムガイとアンモナイトが近縁な生物分類群であることを探究する学習プログラムも継続的に実践している(川上ほか, 2010). こちらは, 小学校5, 6年生にとっても, 面白く, わかりやすい学習となっている.

## 6. 絶滅生物に関する探究学習

スピノサウルスは, 中生代白亜紀の肉食恐竜の一種である. 1930年代にエジプトで最初の化石が発見され記載されたが, 第二次世界大戦で化石が失われ, 謎の多い恐竜とされてきた. その後, サハラ砂漠で多くの歯が発掘され, 市場に出回っている. 最近, 保存のよい化石が発掘され, 生態や形態に関する新たな説が出され, 注目されている.

スピノサウルスは歯の化石(図5)が入手可能なことと, 骨格模型, 復元模型が多くあることから, 実際の化石と模型を比較して, 体の大きさ, 体重などを探究することができる.



図 5. スピノサウルス科恐竜の化石.

また、骨格標本模型を他の生物の骨格標本と比較することで、相同器官について学ぶことも可能である。筆者らは、スピノサウルスの安価で質のよい骨格標本模型として、ジュラシック・エッグ・スピノサウルス(図6)を用いて探究学習を実践している。



図 6. スピノサウルスの骨格模型.

一方、モササウルスは中生代白亜紀の海生爬虫類の一種である。モササウルスの歯や頭骨はモロッコのクーリブカ周辺で多産しており、歯はミネラルシヨールなどで入手が可能である(図7)。モササウルスについてもジュラシック・エッグ・モササウルスという安価な骨格標本模型(図8)が市販されており、実物化石と骨格標本模型を比較する教材として利用できる。モササウルスには、歯がするどく尖ったモササウルス属と、歯がどんぐりのような形をしたグロビデンス属が知られている。グロビデンス属の歯は平たく、硬いものを割るのに使われていたと考えられ、アンモナイトを捕食していたのではないかと

考えられている。モササウルスをテーマにした探究学習は、2016年2月に紋別市博物館で実践している。

また、三葉虫がどのような生き物だったのかを探究する学習教室も繰り返し実践している(大野ほか, 2003; 川上ほか, 2014)絶滅した生物の形態や生態に関する復元をテーマにした学習教室では、実物標本と比較のための骨格模型がセットとして確保できるかどうかは鍵である。



図 7. モササウルスの歯の化石.



図 8. モササウルスの骨格模型.

## 7. 地層の縞模様と地層形成実験

小学校第6学年、中学校第1学年で、大地のつくりについて学習する。地層は、泥、砂、礫からできていることを学習することになっているが、地層を作っているものよりも、地層の重なりから地球の歴史を探ることができることを学ぶことに意義がある。1年ごとの縞模様をもつ地層を観察対象にし、地層の枚数を数えることで、地層の重なりを年数に換算

することができる。こうした視点で地層を観察するため、1年ごとの縞模様がある小石(図9)を約60個、ロシア白海海岸で収集し、教材化した。この地層が1年に一枚層ができるわけは、冬季に凍結し、夏季に融解すること、融雪水によって地層が供給されることによる。地層実験では、水を流すたびに地層ができることを理解させるようにする。地層実験と縞模様の岩石の観察から、地質学的な時間スケールをイメージすることができるようになる。実際に露頭写真から地質学的時間スケールを推定するための事象提示としては、伊豆大島の火山灰の露頭写真や、グランドキャニオンの写真を用いている。さらに、潮汐リズムを記録した地層として、南オーストラリアの6億年前のエラチナ層の岩石標本をスライスし、観察教材として活用できるようにした(図10)。



図9. ロシア白海海岸で採集した年縞の刻まれた小石。



図10. 潮汐リズムを記録したエラチナ層。

## 8. 活断層モデル実験

活断層は内陸地震の活動によって地表に現れた食い違いが蓄積し、地形として認識できる変動地形の一つである。空中写真判読やトレンチ調査によって、地形に現れたりニアメントが活断層であるか調査研究が行われている。活断層の垂直変位が蓄積して、平野と山地が発達することを理解するための活断層モデル実験器を開発した。内陸地震にともなう地表変位の形成を事象提示として用いて、断層モデル実験をもとに獲得した見方から、衛星画像を用いて、日本列島に存在する活断層を探すという流れで、学習プログラムを構築し、実践した(榎・川上, 2017)。

## 9. 変成岩と中央構造線の教材化

変成岩については、小中学校の理科授業では扱われず、高校の地学基礎、地学で扱われているのみである。しかも発展的な内容として扱われていることが多い。岩石の学習では、火山岩、深成岩、堆積岩が含まれているが、それらの観察をもとに、分類や形成過程を学習することに興味をもたせることが困難であった。そこで、中央構造線に付随する低温高压変成岩である三波川変成岩と高温低压型変成岩である領家片麻岩・花崗岩を取り上げ、それらが中央構造線という断層で接していることが日本列島の形成発達史における重要な研究課題であるという認識にいたる学習プログラムを開発した(藤原・川上, 2016)。この学習では、火山フロントでマグマが発生していることと、沈み込んだスラブ内において低温高压変成作用が起こっていること、それらが水平距離で100km ぐらい離れた場所で起こっていることを踏まえ、それらが中央構造線で接していることに疑問をもつというものである。

## 10. 議論

地球を研究対象とする地球科学は、地質学、火山学、古生物学、鉱物学、天文学、気象学というように、自然の事物・現象を個別に記載し、その中から法則性を導く学問として生まれた。1970年代以降、

プレートテクトニクスが成立し、さらなる総合化の視点から学問の再編成が進んだ。かつての学習内容には、こうした学問の発達過程が残っており、一見すると地学分野はさまざまな学問の寄せ集めであるとみなされがちであった。また、地学を学習する学習者にとっては、地学の学習に含まれるすべての分野にわたって興味があるわけではなく、興味のない分野の学習は暗記になりがちであった。こうした状況を克服するには、地学の諸分野にまたがって、探究的に学習できる学習プログラムと、それらをセットとしたカリキュラムの開発が必要であった。本発表では、これまでに筆者が取り組んできた一連の教材開発と学習プログラムを示し、探究学習を可能とするテーマ、教材、学習過程について紹介してきた。一つの探究学習は、事象提示などを含めた講義、実験・観察、結果の整理、交流、学習のまとめまでを含めて約90分である。教員養成を目指す学生の実験として大学の講義で行っているが、小中学校への出前授業としても実施し、改善を図っている。

今後の課題としては、開発した教材を小中学校に提供し、理科授業のなかで活用できるようにすることである。

## 引用文献

- 石原里佳・川上紳一・多和田有紗：歯科用印象材を用いた火山噴火と地層の形成に関するモデル実験，岐阜大学教育学部研究報告（自然科学），33，25-30，2009.
- 榎悠希・川上紳一：活断層に関するモデル実験 - 野島断層から近畿地方のネオテクトニクスを探究する理科授業 - ，日本科学教育学会第8回研究会研究報告，本号，2017.
- 藤原峻祐・川上紳一：変成岩の形成過程をテーマにした探究学習の試み - 中央構造線に付随する変成岩の教材化 - ，日本理科教育学会第62回東海支部大会研究発表予稿集，B1000，2016.
- 川上紳一：魅力的な教材開発・アウトリーチ活動を通じた地球惑星科学と里佳教育の連携，第四紀研究，50（別冊号），S59-S66，2011.
- 川上紳一・勝田長貴・小野輝雄：スピノサウルスの骨格模型を活用した課題解決学習 - 大学公開講座「大学生と学ぶ，恐竜学入門」における実践，岐阜大学教育学部研究報告（自然科学），40，2016.
- 川上紳一・西田香：地層の縞模様のでき方と地学的時間スケールをテーマにした実験・観察学習 - 洗足池小学校での実践，岐阜大学教育学部研究報告（自然科学），33，31-37，2009.
- 川上紳一・大野照文・小野輝雄：小学生向け学習教室「三葉虫を調べよう」におけるモロッコ産三葉虫ノジュールの活用，岐阜大学教育学部研究報告（自然科学），38，73-76，2015.
- 川上紳一・東條文治・吉田裕之・小野輝雄：アンモナイトとオウムガイ標本を用いた課題解決型特別授業の実践 - 示準化石と動物の仲間わけ - ，教師教育研究，第6号，165-170，2010.
- 岡田京・川上紳一・長澤美穂・橋田千尋・武下晃慎：溶岩流の形態を支配する要因に対する探究学習 - 実験教材の開発と中学校での授業実践 - ，日本科学教育学会第8回研究会研究報告，本号，2017.
- 大野照文（監修）：学びの海への船出 - 探究活動の輝きに向けて，京都大学総合博物館，447p，2015.
- 大野照文・川上紳一・田口公則・染川香澄・磯野なつ子・たけうちかおる：小学生を対象とした化石教室「三葉虫を調べよう」のねらいと実践，岐阜大学教育学部研究報告（自然科学），27，no. 2，131-137，2003.
- 多和田有紗・武藤正典・東條文治・川上紳一：火山噴火現象と地層のでき方を関連づける実験教材の開発と中学校での授業実践による予察的評価，岐阜大学教育学部研究報告（自然科学），33，17-24，2009.
- 山口太志・大村恵里華・山田しおり・川上紳一：モロッコ産デボン紀ゴニアタイト目化石の分類と教材開発：示準化石をテーマにした課題解決型授業に向けて，日本理科教育学会東海支部大会研究要旨集，C1045，2015.