

## 中学校理科における楽しい火山噴火実験

### —— キッチン地球科学に基づく火山噴火アナログ実験 ——

柴田大介 埼玉大学大学院教育学研究科  
渡辺桃子 埼玉大学教育学部自然科学講座理科分野  
三浦 脩 埼玉大学大学院教育学研究科  
岡本和明 埼玉大学教育学部自然科学講座理科分野

キーワード: キッチンサイエンス、キッチン地球科学、火山噴火、楽しい理科実験

#### 1. TIMSS2019 に基づく中学校理科の現状

科学技術力の再生をはかる日本にとって、STEM 人材を育成する科学教育の充実は重要である。しかし科学教育の入口である小学校低学年では、理科の授業は存在せず生活科にまとめられている。また高校では、SSH（スーパーサイエンスハイスクール）等の重点英才科学研究教育はあるものの大学受験に備えた選択科目の座学中心の学校も依然として多い。結局、科学技術者育成の鍵を握る実験観察講義は、中学校3年間での理科に委ねられている。それでは日本の子供達は、中学校までの学校教育で科学技術に興味を持っているだろうか？国際数学・理科教育動向調査（TIMSS2019）<sup>1)</sup>によると、理科の勉強が楽しいと答えた日本の生徒の割合が、国際平均より大きく下回っている（図1）。理科の勉強が楽しいと答えた回答の割合も、小学生に比べ、中学生の割合のほうが低くなっている。学年が上がるにつれて、理科を楽しむことができなくなっていると考えられる。さらに、図2に示される通り、2003年から2019年までのデータから判断すると、理科が得意な中学生は世界平均でも国内平均でも一定の低い割合しか存在しない。よって、STEM人材育成のためには、理科が得意な学生であろうと不得意な学生であろうと、理科学習、理科実験が楽しくなることが重要である。なぜなら、理科を楽しんでいると思って学習することができなければ、便利な日常生活にある科学的背景を自然に理解することは困難であるからだ。実際、2003年から2019年の間に改善は認められるものの、日本の中学生は、「理科を勉強すると、日常生活に役立つ」といった項目（図3）や「理科を使うことが含まれる職業につきたい」という項目の肯定的回答（図4）においても国際平均より顕著に低いのは明らかである。

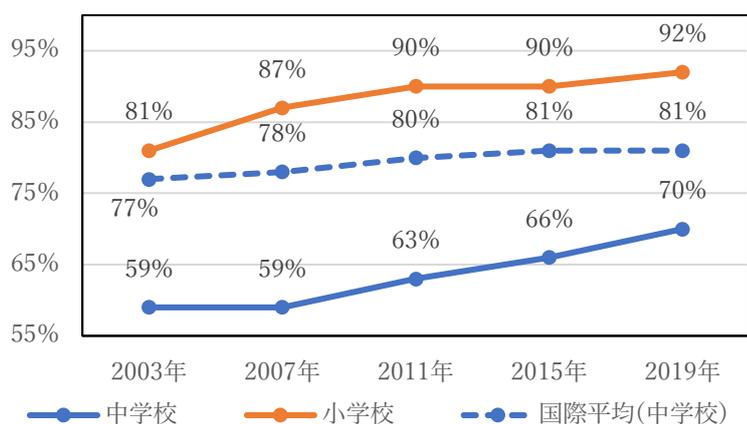


図1 「理科の勉強は楽しい」と答えた児童生徒の割合の推移

出典：国際数学・理科教育動向調査（TIMSS2019）のポイントより抜粋

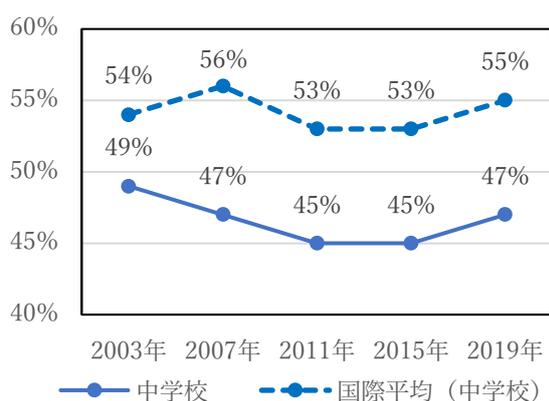


図2 「理科は得意だ」と答えた生徒の割合の推移

出典：国際数学・理科教育動向調査（TIMSS2019）のポイントより抜粋

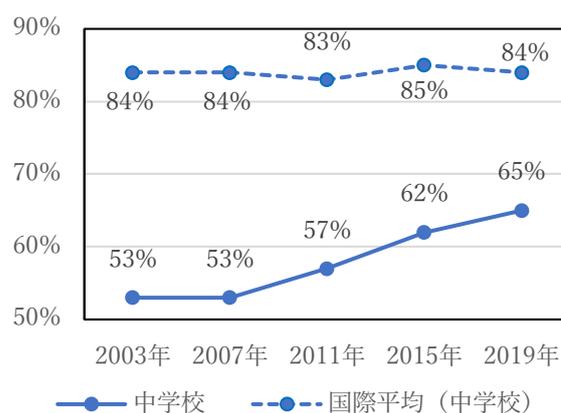


図3 「理科を勉強すると、日常生活に役立つ」と答えた生徒の割合の推移

出典：国際数学・理科教育動向調査（TIMSS2019）

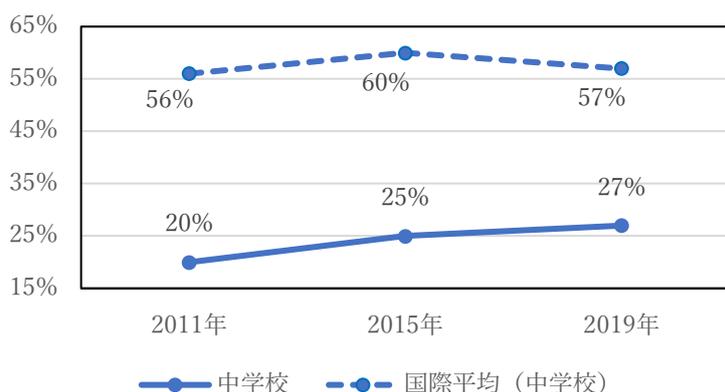


図4 「理科を使うことが含まれる職業につきたい」と答えた生徒の割合の推移  
出典：国際数学・理科教育動向調査（TIMSS2019）のポイントより抜粋

それでは、理科が楽しくなるために何が必要なのか？この問いに対する答えは単純で、楽しい実験を行えば良い。では楽しい理科実験であれば、それで良いのであろうか？科学的思考や探究が楽しいと思わせることが、楽しい実験であるよりも重要である。つまり、楽しい実験で科学探究が面白いと思うための工夫と実験・観察を行う必要がある。生徒に興味・関心を持ち、身近なもので行うことができる教材を考える必要がある。

## 2. 中学校理科におけるキッチン地球科学

理科実験では、食材を用いることがある。例えば、「ジャガイモを用いたデンプンの有無の確認」や「炭酸水素ナトリウムの熱分解を活用したホットケーキやカルメ焼きづくり」などが挙げられる。これらは、一般の家庭の台所でも実施することが可能である。食材を用いた理科実験は、食材、食品、調理を科学的に理解する「キッチンサイエンス」も実践できる。地球科学（地学）では、マグマ、マントル対流などの岩石の融解や流動、断層や地震などの破壊現象などを、食材を使ってアナログ実験を行っており、「キッチン地球科学」として確立されている<sup>2)</sup>。

「キッチン地球科学」に基づく理科実験の重要性は、視覚、触覚、聴覚以外の嗅覚や味覚を加え複数の感覚を使った実験ができることにある。視覚と触覚に嗅覚や味覚を加えた五感をできるだけ多く使った実験は、視覚と触覚だけに頼る実験に比べて学習内容が定着することが期待される。

中学校理科において、これまで食材を使った実験がある学習単位では、キッチン（地球）科学の導入は容易である。身近な食材を用いることで、学校現場だけではなく家庭でも実験を行うことができるようになる。学びの場が学校以外の場に広がることで、今まで以上に学びを深められるのでないかと考えた。しかし、新しく導入する教材が大掛かりなものになると、現場の教員の大きな負担になる。これらを踏まえ、教材の研究を行なった。

## 3. 現行教科書の記述について

中学校の授業で扱う実験は、教科書に記載されているものを参考に行うことが多い。ものの粘

り気（物質の粘性）の違いを調べる実験やマグマの粘り気の違いとそれによってできる火山の形との関係を調べる実験は、どのようなものが行われているか各教科書会社の記述を下に示す。

『中学校 科学1』（学校図書 令和2年検定）<sup>3)</sup>では、水でといた小麦粉を板にのせ、その流れ方の違いを見る（図5）。水を少なくすると粘り気の高い溶岩のように流れにくく、水を多くしゆるくすることで粘り気の少ない溶岩のように流れて広がりやすいことを示している。

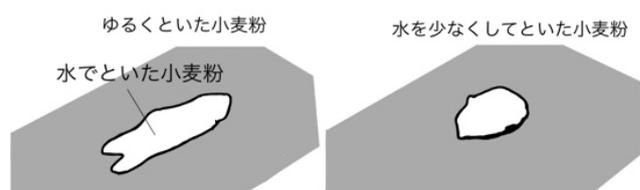


図5 水でといた小麦粉を板にのせ、その流れ方の違いを見る実験  
出典：『中学校 科学1』（学校図書 令和2年検定）より改変

『理科の世界1』（大日本図書 令和2年検定）<sup>4)</sup>では、興味・関心を高める活動の「やってみよう」という中で、ホットケーキミックスに水を加え、それを押し出すという活動を示している（図6）。ホットケーキミックス50gに水の量を、20mlと30ml加えたものをそれぞれ用意し、2種類の粘り気の違いのものを用意する。それを絞り袋に入れ、中心に穴を空けた工作用紙の下から押し出し、粘り気と押し出してできた形の関係を考察する。

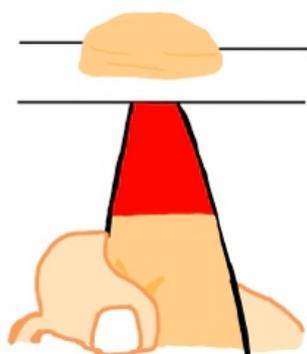


図6 ねばりけのちがいでできる火山の形との関係を調べる実験  
出典：『理科の世界1』（大日本図書 令和2年検定）より改変

『自然の探究 中学理科1』（教育出版 令和2年検定）<sup>5)</sup>では、石膏に入れる水の量を変え、ペトリ皿に垂らした時にどのように固まるかを調べる活動を示している（図7）。粘り気の違いが形状にどのような影響を与えるのかを、固まりやすい性質をもつ石膏を使い行なっている。

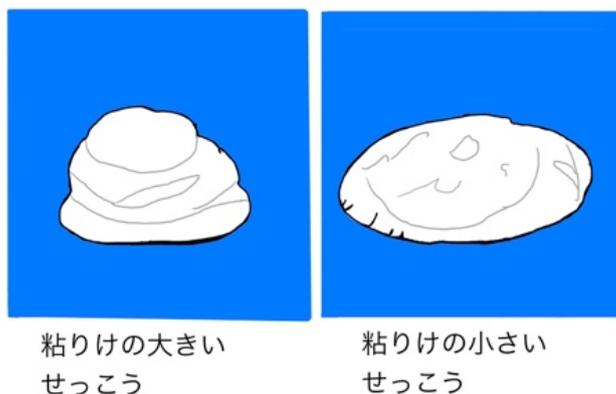


図7 マグマの粘り気と火山の形について調べる実験

出典：『自然の探究 中学理科1』（教育出版 令和2年検定）より改変

『新しい科学1』（東京出版 令和2年検定）<sup>6)</sup>では、教育出版と同様に石膏を用いた活動を示している。こちらは、袋に石膏と水をいれ混ぜ合わせ、発泡ポリスチレンの板の下から押し出している（図8）。図7との違いは、実際に火山のように下から石膏を押し出していることである。

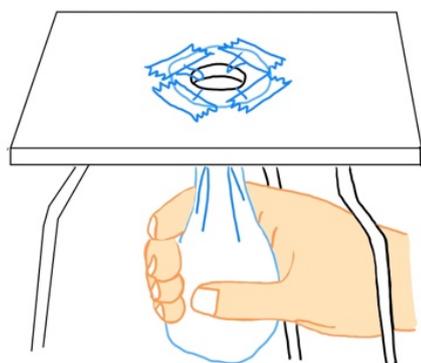


図8 石膏のねばりけによる形のちがいを調べる実験

出典：『新しい科学1』（東京出版 令和2年検定）より改変

『未来へ広がるサイエンス1』（啓林館 令和2年出版）<sup>7)</sup>では、二つの活動を示している。一つ目は、歯科で用いる型取り剤を用いる方法である（図9）。粘り気の違う型取り剤を用意し、それらをそれぞれポリ袋に入れ、中央に穴を空けた紙皿の下からゆっくり押し出し、その様子を観察する。固まった後に切って断面を観察するところまで記されている。二つ目の活動は、粘り気の違うスライムを用意し、注射器に入れて押し出すものである（図10）。紙粘土で作った火山のモデルの山頂から、注射器に入れたスライムを押し出し、その様子を観察する。それぞれの活動を通して、マグマの粘り気と火山の形がどのような関係にあるのか考察を行う。

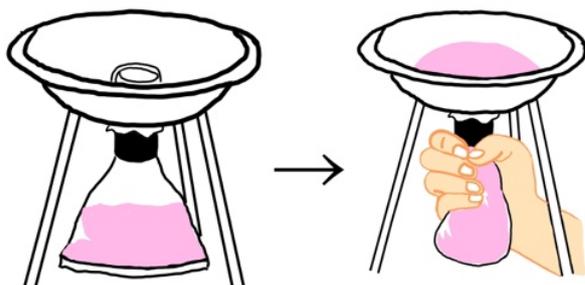


図9 歯科で用いる型取り剤を用いた実験

出典：『未来へ広がるサイエンス1』（啓林館 令和2年出版）より改変

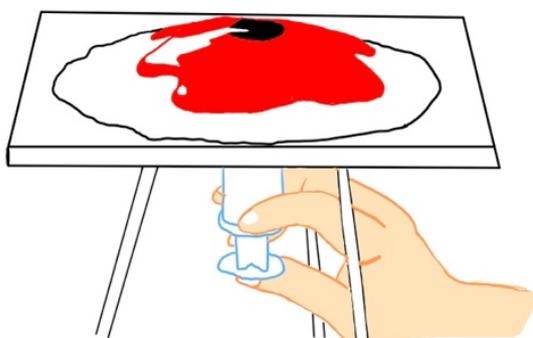


図10 スライムを用いた実験

出典：『未来へ広がるサイエンス1』（啓林館 令和2年出版）より改変

各教科書会社のマグマの粘性と火山の形状に関する実験について調べてみた結果、どの実験も比較的簡単な手順で実験を行うことができるようになっている。しかしこれらすべては、水に溶解した物質をマグマに見立てた粘性実験だ。つまり、含水量の違いが与える粘性の変化を学習させる実験になってしまっている。マグマはマントルや地殻深部の岩石が部分熔融し浮力による上昇の過程で圧力温度の低下により晶出した結晶を含んでいる。そしてマグマは地表で急速に冷却固化すれば火山岩、地殻でゆっくり冷却すれば深成岩になる。上記の実験材料は、水溶することで液体のような挙動をして、乾燥固化が進めば粘性が高くなる変化の観察実験にすぎない。マグマの粘性に対する含水量の効果を学習させる実験としてはある程度評価できるが、後述するように当該学習単元に置いて火山について学習すべき内容は、マグマの $\text{SiO}_2$ 量と生成温度に対する粘性の効果についてである。温度上昇により熔融する物質で実験を行わないとマグマのアナログ実験にならない。玄武岩マグマの粘性が低く、安山岩マグマ、流紋岩マグマと粘性が上昇するのはマグマの生成温度や $\text{SiO}_2$ 含有量の違いに起因している。つまりマグマと同様熔融する物質でのアナログ実験を行う必要がある。

#### 4. チョコレートを用いた火山噴火実験の提案

火山に関する学習は、中学校理科1年次の「地球」分野において単元「火山と地震」（火山活動

と火成岩)、「自然の恵みと火山災害・地震災害」<sup>8)</sup>で行われる。火山噴火現象を室内で再現するには、アナログ実験が最適である。今回火山噴火教材として提案するものは、チョコレート火山である。『世界一おいしい火山の本』(林信太郎著)<sup>9)</sup>で紹介されていたチョコレートを使った潜在溶岩ドーム実験を基に考えたものである。秋田大学教育文化学部林信太郎教授は、火山学者として火山噴火の教育普及活動に取り組んでいる。チョコレートをを用いた火山噴火実験は、NHKの「ブラタモリ」等の科学教養番組内で演示されている<sup>10)</sup>。本研究では、林信太郎氏の実験を参考に、マグマの粘性の違いや溶岩の代わりに用いるチョコレートの温度による火山の形状に着目してもらったための実験改良を行った。使う材料も、スーパーなどで手軽に手に入れることができるものを使うようにした。

火山の形は、火山をつくるマグマの粘性によって異なる。マグマの粘性が高いと溶岩は流れにくく、盛り上がった形になる。一方でマグマの粘性が低い場合、噴き出す溶岩は流れやすく傾斜が緩やかな火山の形になる。マグマの粘性の違いは、一般にマグマに含まれる二酸化ケイ素成分の割合と温度による。これを基に、チョコレートでマグマを再現し、火山噴火のモデル実験を行った。チョコレートを溶かす際の温度を調節し、粘性の違いを示し、噴火の様子を比較した。噴火の様子を観察する時は、ココアパウダーを使ってココアの山を作った。その後、チョコレートを注入し、どのようにチョコレートがココアの山から出てくるか、またどのように流れるかを観察した。

#### 4-1. チョコレートを用いた火山噴火実験 準備物

- ・チョコレート (コーティング用チョコレートのクーベルチョコレートだと溶ける時間が早く済むが、粘度の細かい調整がしにくい)
- ・ココアパウダー (純ココアのもの)
- ・シリンジ (少なくとも 30ml 程度の容量のもの)
- ・PE (ポリエチレン) チューブ (直径 6mm 程度で、シリンジに繋ぐことができるもの)
- ・アクリル板 (A4 程度の大きさ)
- ・茶こし
- ・台になるもの (アクリル板をのせるため、三脚など)
- ・温度計 (非接触型であると瞬時に測ることができるためおすすめ)
- ・ボウル 大小 1 つずつ (湯煎のお湯を入れる用とチョコを溶かす用)

#### 4-2. 実験手順

- ① アクリル板の中央に穴を開ける。
- ② 三脚台にアクリル板をのせ、セロハンテープで固定する。
- ③ アクリル板の上に茶こしを使い、ココアパウダーでできた山を作る。山の中心に穴が位置するように整形する。穴からココアパウダーが落ちないように、はじめは下から穴を指で塞いでおく。ある程度山ができると穴からこぼれなくなる。こぼれないところまで山ができたら指を離す。
- ④ チョコレートをボウルに入れ、湯煎し 50℃を超えないように温度を上げチョコレートを溶かす。チョコレートが溶けたら湯煎から外し、チョコレートの温度を調節する。この時、温度を高くする (30℃程度) と粘り気が少なく、低い温度 (22~25℃程度) にすると粘り気が大きい

チョコレートにすることができる。

- ⑤ チョコレートが溶けたら、シリンジでチョコレートを吸い込む。
- ⑥ シリンジにPEチューブを繋ぐ。
- ⑦ アクリル板の下から穴にチューブを繋ぎ、ゆっくりチョコレートを入力する。チョコレート  
を吸い込み、注入するまでは素早く行う。
- ⑧ チョコレートを注入したときの様子を観察する。
- ⑨ 注入し終わったら、穴からチューブを外しセロハンテープなどで素早く穴を塞ぐ。塞ぐのが  
遅れてしまうと、チョコレートが穴から抜け落ちてしまう。

実際に行ったチョコレート火山実験の結果は以下の通りである。この実験では、実際の火山の噴火のように溶岩が流れ出て、広がっていく様子を観察することができる。チョコレートが流れ出る際に、ココアの山に割れ目が入る (図 11)。チョコレートが流れ出る直前には、山の割れ目の一部が膨らみ、その後崩壊する様子を見ることができる (図 12)。そしてそこからさらにチョコレートを流し込むと、溶岩に見立てたチョコレートが溢れ出す。流れ出したチョコレートは、斜面を降るにつれて広がっていく様子が観察できる (図 13)。チョコレートを注入し終わり、しばらくおいてチョコレートが固まったところでココアの粉を取り除くことで、マグマの代わりであるチョコレートがココアの山の中をどのように通ってきたか (火道) を見ることができる。(図 14)



図 1 1 ココアの山に割れ目が入る様子



図 1 2 一部崩壊する様子



図 1 3 チョコレートが広がっていく様子



図 1 4 マグマの代わりであるチョコレートがココ

アの山の中をどのように通ってきたか

そして、この実験によってできたチョコレートのかたまりやココアパウダーは、食べることができるため、片付けの手間を減らすことができる。さらに片付けの手間を減らすだけでなく、最後に食べることで味覚を刺激することができる。

## 5. 学校現場での活用における課題

本研究で行ったチョコレートを用いた火山噴火実験教材を学校現場で活用する際の課題について考えてみたい。一つ目は、実験で出来たものを口にして良いのかという点である。実験に関する注意事項としてよく言われるもののなかに、実験に使用したもの、また実験で作ったものを口に入れてはならないということがある。しかし、これは反応によって材料が無毒であっても有害なものができる可能性があるため言われていることである。今回行った実験は、主にチョコレートとココアパウダーを用いるため、有害なものができる可能性は限りなく低い。また、チョコレートやチョコレートに含まれる原材料、ココアパウダーにアレルギー反応を起こす児童生徒がいる可能性があり、食べることができないという場合もある。この場合でも、最後に食べるということができないだけであり、実験自体は行うことができる。さらに、実験を行う前にアレルギーの有無を聞いておき、万が一の事故が起きないようにする。

二つ目は、材料費など実験にかかる予算はどうするのかということである。学校現場などでは、実験に使える予算が限られている。実験に使うココアパウダー（純ココアのもの）は、安価なものは100g 464円、お菓子作りの材料器具専門店の富澤商店のものだとさらに安価となり200g 289円程度する。そして、チョコレートは明治や森永製菓のチョコレートが50g 118円程度する。1回の実験で材料を最低限に抑えたとしてもココアパウダーを約50g程度、チョコレートを30g程度使うことを考えると決して安い金額ではない。予算に余裕がない場合は、すべての班で実験を行うのではなく、演習実験として教員が全員の前で一度行うという形にすることで材料費を抑えることができる。実際に生徒にやってもらうということができなくなってしまうが、この実験は家庭でも行うことができる。材料や器具は、スーパーや100円均一ショップなどで揃えることができるため、興味をもった生徒には家庭でチャレンジしてもらう。学校現場ですべて行うことができればそれが一番であるが、どうしても不可能な場合は家庭に学びの場を広げることが大切になってくると考える。

## 6. 学びを広げるための動画学習教材

今回行ったチョコレートを用いた火山の実験の後に、動画学習教材を活用することで更なる学びの発展につながると考える。動画学習教材としては、無償で利用することができるものとしてNHK for school<sup>11)</sup>がある。NHK for schoolでは、各教科の動画学習コンテンツを閲覧することができる。さらに、小・中学校学習指導要領の教科、学年、単元ごとに教材を選択することができる。使うことのできる動画学習教材は、活動の直前や直後、単元の最後にまとめとして用いることがメインとなっている。一人一台端末環境が実現され始めているため、児童生徒が自分自身で動画を閲覧することは可能であると考えられる。一人一台端末環境が実現されていない場合でも、プロジェクターなどを使い、全体に動画を見せることは可能である。これらの動画学習教材を活用することで、自分で行ったチョコレート火山の実験と実際の火山の映像を比較することができる。

## 7. 今後の展望

今回のチョコレート火山では、マグマの粘り気に注目して実験を行った。実際の火山のように溶岩の色にも着目した実験を行なっていきたい。また、噴火も一度だけでなく何度も噴火をさせた場合にどのようなことになるかということを実験で再現できるようにする。今回の実験で再現することができたのは、山が割れて、溶岩が流れ出るといったところまでであった。実際の火山のように溶岩以外の火山噴出物（火山ガス、火山弾、火山灰など）もチョコレート火山の噴火の時に噴き出されるようにしていきたい。

### 謝辞

本研究を行うにあたり、埼玉大学大学院理工学研究科「科学者の芽」プログラムから実験の機会と実験材料購入の支援を頂いた。

### 参考文献

- 1) 国立教育政策研究所, 国際数学・理科教育動向調査 (TIMSS2019) のポイント, <https://www.nier.go.jp/timss/2019/point.pdf> (最終閲覧日: 2023/01/11)
- 2) 熊谷一郎、市原美恵、久利美和、栗田敬 (2020) 地球惑星科学の混相流 ―キッチン地球科学の視点から―, 混相流, 34, 389-394
- 3) 文部科学省検定済教科書 中学校科学1, 学校図書株式会社, 令和2年3月検定済, 196
- 4) 文部科学省検定済教科書 理科の世界1, 大日本図書株式会社, 令和2年3月検定済, 205
- 5) 文部科学省検定済教科書 自然の探究中学理科1, 教育出版株式会社, 令和2年3月検定済, 181
- 6) 文部科学省検定済教科書 新しい科学1, 東京書籍株式会社, 令和2年3月検定済, 201
- 7) 文部科学省検定済教科書 未来へひろがるサイエンス1, 啓林館株式会社, 令和2年3月検定済, 92-93
- 8) 文部科学省 (2018) 中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編, 80-85
- 9) 林信太郎 (2006) 「チョコやココアで噴火実験 世界一おいしい火山の本」, 小峰書店
- 10) 林信太郎 (2019) プラタモリにおける実験の役割―教育現場でどう活かすか, 地理, 64, 16-21
- 11) NHK, NHK for School, 理科のページ, <https://www.nhk.or.jp/school/rika/> (最終閲覧: 2023年1月27日)

(2023年3月31日提出)

(2023年5月7日受理)