

地層の縞模様のでき方と地学的時間スケールの概念獲得を目指した 実験・観察教材の工夫

川上紳一¹・林優子¹・道下美子²・篠田耕佑³・森本真紀⁴・勝田長貴⁴

Improvement of experimental methods for making banded sediments and formation of the concept of geological time scale

Shin-ichi Kawakami¹, Yuko Hayashi¹, Yoshiko Michishita², Kousuke Shinoda³,
Maki Morimoto⁴, and Nagayoshi Katsuta⁴

要旨

2017年に発行された新学習指導要領における「地球」を柱とした領域の学習では、地球や宇宙に関する自然の事物・現象を時間的・空間的な視点で捉えさせるように位置づけられている。小学6年「大地のつくりと変化」の単元では、地層について学習するが、地層が泥、砂、礫でできていること、地層が空間的な広がりをもって層状に分布していることに重点が置かれてきた。川上・西田（2009）は、年縞のある小石を教材として用い、地層の縞模様を時間目盛りであることに気づかせ、厚い地層の重なりから、地質学的な時間スケールをイメージさせる授業実践を行っている。本研究では、地層のでき方に関する視点を与える教材として、水槽に粒子サイズが混ざった土砂を流し込んで、級化した地層をつくる水槽実験器と、粒子サイズや比重によって粒子の堆積速度が違うことから、混濁した流体から2層の地層ができる年縞実験器を考案した。これらの実験器具と年縞のある小石を教材として用い、地層の堆積を時間的な視点で捉えさせる授業実践を行った。児童の記録したワークシートを分析した結果、地層ができるのに長大な時間がかかったことについて、多くの児童が驚きをもって追究できたことが明らかになった。

キーワード：地層，氷縞粘土，年縞，実験，観察，小学校

¹ 岐阜聖徳学園大学教育学部，岐阜市柳津町高桑西一丁目1番地. Faculty of Education, Gifu Shotoku Gakuen University, 1-1 Takakuwanishi, Yanaizu, Gifu, 501-6194, Japan

² 本巣市立席田小学校，本巣市郡府37, Mushiroda Elementary School, 37, Gunbu, Motosu, Gifu, 501-0402, Japan

³ 岐阜市立長良小学校，岐阜市長良259, Nagara Elementary School, 259, Nagara, Gifu, 502-0071, Japan

⁴ 岐阜大学教育学部，岐阜市柳戸1番1, Faculty of Education, Gifu University, 1-1, Yanagido, Gifu, 501-1193, Japan

1. はじめに

平成29年3月に告示された新学習指導要領では、理科の見方や考え方を働かせて、自然を探究する資質・能力を育成することが重視された。「地球」を柱とする領域では、地球や宇宙に関する自然の事物・現象を扱うなかで、時間的・空間的な視点で捉えることの重要性がこれまで以上に強調されている。小学6年における「大地のつくりと変化」という単元で、地層のでき方や土地のつくりを多面的に探究するなかで、時間的・空間的な視点で見方・考え方を獲得することができるものと期待される。

しかし、学校の近くに地層を観察できる場所がなく、地層の観察やでき方について、深く追究する場面を確保しにくいという問題点が指摘されている(矢田部, 2005)。また、この単元を学習する学習者にとっては、近くに地層がみられる場所がないなど、「大地のつくりと変化」の単元の学習に興味をもてない子どもたちがみられる傾向もあった。

これまでの地層学習に関する先行研究では、学校周辺にみられる地層を活用したものがある(高尾・森, 2007; 丹羽ほか, 2008; 武藤・川上, 2009; 川上ほか, 2012; 鷺見・川上, 2013)が、校区内に適当な地層がない場合は川原の石調べ(古賀, 1983; 大平・岩田, 1983)や、ボーリング調査で得られた岩石試料(川村, 2006; 宇佐美, 2008)の活用が検討されている。しかし、川原の石やボーリング調査の岩石標本については、地層の広がりについてイメージしにくいという欠点があった。こうしたなかで、川上・西田(2009)では、ロシア白海で収集した年縞(福澤ほか, 1994)のある小石を教材として用い、その縞模様が夏季の融雪水による土砂の運搬と、冬季の結氷による湖水中の細粒粒子の沈殿によって縞模様ができ、その枚数が時間の経過すなわち年数であることに気づかせる授業を行っている。さらに、時間的な見方を働かせた探究活動を行うため、川上・西田(2009)は、伊豆大島の火山灰の露頭やグランドキャニオンの地層

の写真を提示して、それらの地層の厚さから、地層ができるのにかかった年数を推定するという課題を提示している。こうした課題を解決するなかで、地層は地球の歴史を記録したものであること、地層の重なりから地球の歴史の長さを実感することができ、地層を使って過去の出来事を探れることに気づくのではないかと期待された。

一方、「大地のつくりと変化」の単元で用いる地層実験器については、さまざまな検討が行われており、水槽実験で礫、砂、泥の層からなる地層をつくるには、水槽の形状や、流す土砂に関する調整が必要である(牧野ほか, 2016)。川上・西田(2009)の実践では、水を流すごとに新たな地層が形成されるという見方・考え方を育むことを意図した実験を、年縞のある小石の観察の前時に位置づけたが、1年ごとに縞模様ができることについては、プレゼン資料で説明しているにすぎなかった。本研究では、年縞を示す地層の観察を前提として、水を流すごとに地層の重なりが増えること、および粒子の沈降速度の違いでも地層ができるという見方・考え方を確実に獲得できるように実験器具にさらなる工夫を加え、小学6年生を対象とした授業で実践して、その効果を検証した。

2. 地層学習における教材

(1) ロシア白海の年縞を持つ小石

用いた小石は、2003年6月にロシアの白海の東海岸で行った原生代後期エディアカラ生物群化石の発掘調査の際に、ウインターコーストの礫浜で収集したものである。これは川上・西田(2009)が使用したものと同一のものである。

岩石を収集した地域は先カンブリア時代に安定化したバルト地塊に位置している。収集した岩石には細かい縞模様が刻まれており、氷縞粘土が岩石化したものである。この地域の地質からこの岩石は24億年前のヒューロニアン氷河時代のものであると考えられる(Condie, 1997)。現地で収集した小石のうち縞模様が明瞭なもの

約 50 個を地層学習用として日本に持ち帰っている。また、直径 20 cm ぐらいの大きさのものは、博物館での展示用として持ち帰り、京都大学総合博物館に展示していたが、この標本はその後 2 分割し、半分は京都大学総合博物館に展示し、残りの半分は授業用の標本として、岐阜聖徳学園大学で活用している（図 1）。これらの岩石の国外持ち出しについては、ロシア科学アカデミーのミーシャ・フェドンキン教授を通じて、輸出許可を得て持ち帰った。これらの岩石標本は、地層の枚数を年数に換算できる貴重なものである。



図 1. ロシア白海海岸で採集した年縞のある岩石標本。

(2) 地層のでき方に関する水槽実験器

西田・川上（2009）では、地層のでき方に関する水槽実験として、教科書に掲載されているものと同様のものを使用している。水槽に竹を割ってつくった樋をとりつけ、河川と湖（あるいは海）をイメージさせたものであるが、石原ほか（2003）と同様に水槽の幅が 15cm 程度もあったため、土砂の堆積する場所に偏りが生じていた。その後、理科実験用の教材会社が水槽の幅を 4.5 センチまで狭くした地層実験器を製作し、一様に地層が形成されるようにしたものを販売している。さらに、地層が形成される斜面がきついと、成層した地層が形成されにくい場合もあり、さまざまな検討が行われている（たとえば、牧野ほか、2016）。そこで、こうした先行研究を参考にして、水槽の幅を 3.2 センチまで細長くし、底面が水平な部分と傾斜した部分からなるよう実験器具を自作した（図 2）。流す

土砂については、野外で級化した地層の重なりが観察できる岐阜県山岡町の土岐砂礫層の露頭において、比較的粒子サイズの細かい砂礫が堆積している場所から試料採集を行って、斜面に土砂を配置させたあと、水を流すたびに土砂が流れ、そのたびごとに級化した地層が堆積するようにした。この水槽実験器については、長良小学校の授業で活用し、級化した地層を作ることができることを実証している。今回の授業実践では、粒径や比重の違いによって異なる色の地層が重なることに注目させるため、次節で示す年縞実験器で用いたものと同じ鹿児島県志布志湾で採集した砂鉄や、桜島の火山灰、灰白色の岐阜県多治見市産の陶土を使用して、ピーカーで水を繰り返し流し、ほぼ水平に成層した地層のできる条件を調べた。結果的には、細粒の桜島の火山灰と、多治見市の陶土を使用すると、きれいに成層した地層が形成されることがわかった（図 2）。このようなきれいに成層した地層をつくるには、細粒の灰白色の層ができるまでの時間がかかるため、実験に十分な時間をとることが必要である。



図 2. 水槽実験器と形成された地層の例。

(3) 年縞実験器

「大地のつくりと変化」の單元では、ペットボトルに砂や泥を入れ、よく振ったあと、机の上においておくと、最初粒子の大きい砂礫が堆積し、そのあとゆっくり細かい粒子が堆積して、級化した地層が形成されるという沈降管を用いた実験が広く行われている。この実験は、混濁流（タービダイト）の堆積モデルとして行われているが、野外でみられる混濁流堆積物との比較を目的として行われている授業実践は多くない。本研究では、ロシア白海の氷縞粘土が岩石化した小石を観察させることを前提に、1回の堆積過程で粒径の大きな黒っぽい地層と、粒径が細かい白っぽい地層の2層に分かれて地層が形成させることで、小石にみられる縞模様がどのようにしてできたかをイメージさせようと考えた。用いた砂は、鹿児島県志布志湾で採取した砂鉄と岐阜県多治見市産の灰白色の細粒の陶土（比重2.6-2.7で細粒石英を含む）である。砂鉄は細粒の磁鉄鉱（比重5.2）と紫蘇輝石（比重3.4）からできている。これらの砂をスナッフ管に入れ、水を満たしてキャップで封入した（図3）。この容器をよく振ったあと、机の上におくと、比重の大きな砂鉄の層はすぐに堆積するが、陶土は細粒のため、10分ぐらい経つと沈殿して、容器内の水が透明になり、底面に黒色層と灰白色層が形成される。すなわち、1回の水の流れで、粒径と比重が大きい黒色の砂の層と細粒の灰白色の地層ができることがわかるように工夫した。

3. 授業実践

本研究で開発した教材について、2017年11月13日に、本巣市立席田小学校で授業実践を行った。対象は6年生2クラス（1クラス30名）で、授業は1時間で、それぞれ正味45分である。以下に授業実践の概要を示す。

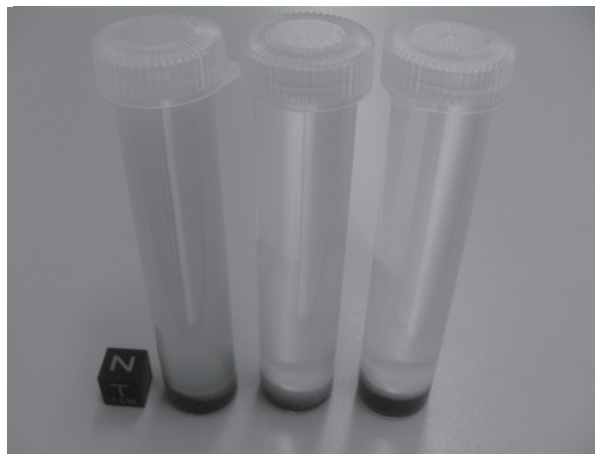


図3. 年縞実験器。左はよく振った直後。中央と右は、10分以上経過して、砂が沈殿した状態。スナッフ管の底に黒い砂鉄の層ができ、白色の砂はゆっくり沈殿する。

(1) 地層実験器による実験

まず、地層実験器を使って、水を流すたびに、土砂が運ばれ地層ができることを調べる実験を行った。今回は45分間の授業で、水槽実験器、年縞実験器を使った実験、およびロシア白海の年縞をもつ小石の観察、さらに地層が形成された時間の長さの推定までを行うため、水槽実験の時間を短縮せざるを得なかった。そこで、さまざまな大きさの粒子が混ざった砂、砂鉄、白っぽい砂などを流路においたあと、ピーカーで水を流して堆積の様子を観察させて、水を流すたびに地層が形成されることを捉えさせることに重点をおいた。実験は、講師による演示実験とし、教師用の実験テーブルのまわりに児童を集めて観察させた。この実験について、児童の記述は次のようである(数字は人数)：

- ・重い砂がすぐ積もり、白くて細かい砂は時間がたつと積もる (17)
- ・水の流れで土砂が運ばれ、地層になる (15)
- ・細かい砂は水に溶けてにごった、砂粒は水に浮いた (9)
- ・流すたびに地層ができる (8)
- ・雨が降ると、水が流れる (7)
- ・流れた砂が順番に積もって地層になる (5)
- ・だんだん粒がこまかくなる (4)

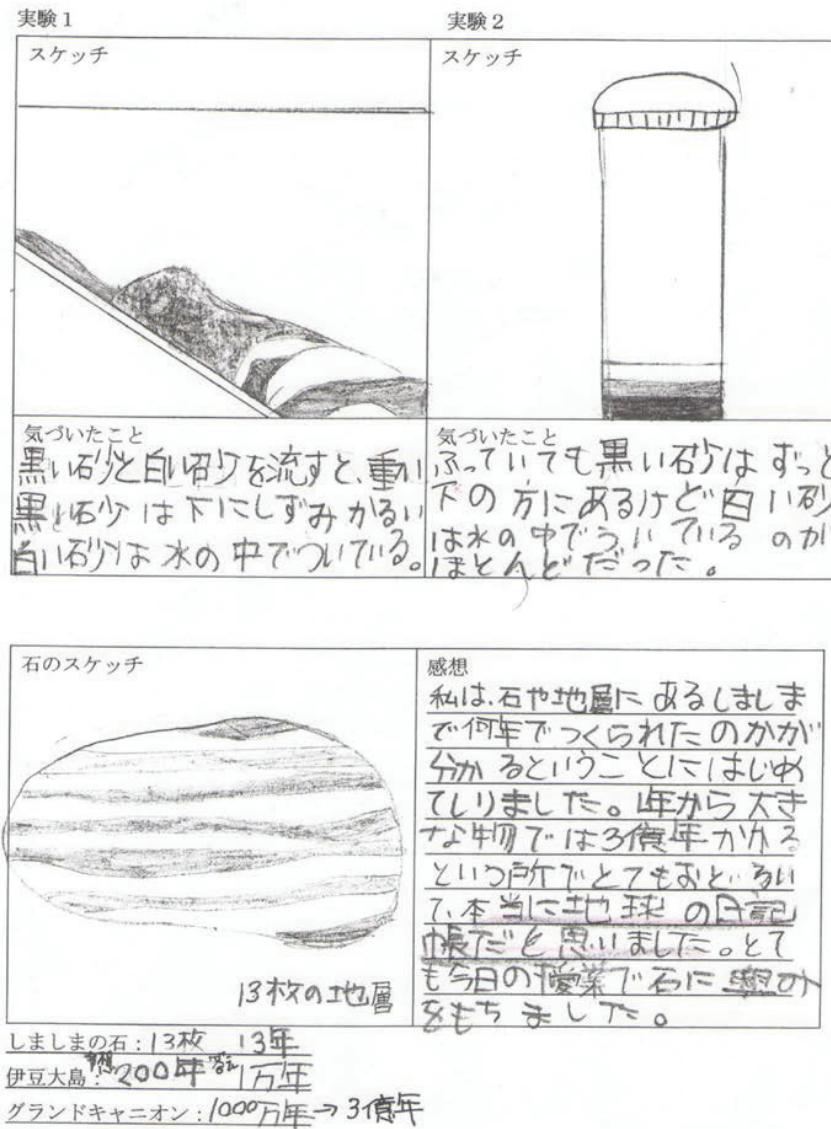


図4. 児童のワークシートの記入例。

これらの記述から、雨が降って水が流れると、土砂が運ばれて地層ができること、重い砂が早く積もり、細かい砂がゆっくり降り積ることなどを理解していることが読み取れた。

用いた砂は黒っぽい色をした砂鉄が早く降り積ったが、白い砂のほうが早く積もったと実際とは逆の記述をしている児童が何人かいた。これは、実験を教師による演示実験としたため、実験後の地層の様子をもとに記述したものであり、地層の形成過程に関する観察が不十分であったことを示唆している。今後の改善としては、班ごとに実験を行えるようにするなど、さらな

る改善が必要と考えられた。

続いて、年縞実験器を児童に一つずつ配布し、地層ができる様子を観察させた。この実験に関する児童の記録には次のようなものがあった(数字は記入数)：

- ・黒い粒はすぐに積もり、その上に白くにごった砂がだんだん積もって層になった (40)
- ・黒い砂と白い砂が混ざって第3の地層ができる (12)
- ・白い砂は積もるのに時間がかかる (10)
- ・だんだん水がきれいになった (4)
- ・重いものから積もっていく (6)

・上の層ほど粒が細かい (1)

(2) ロシアの氷縞粘土の小石の観察

2 種類の地層形成実験を行った後、ロシア白海で収集した小石を児童に配布し、観察させた。縞模様があるという発言を受けて、枚数を数えさせた。この地層の縞模様がどのようにしてできたのかについて質問すると、前半で行った実験を受けて、「水を流すたびに地層ができる」という児童の発言があった。さらに、「黒い色をした地層と白っぽい色の地層がペアできる」という児童の発言が出たので、これらの発言をクラスの児童全員で共有させた。

小石に刻まれた縞模様がほぼ同じ厚さであることに注意を促し、流れる水の量がほぼ同じで、運ばれる土砂も同じ分量であったのではないかと気づかせた。そして毎回同じぐらいの水が流れるような状況として、夏季に融雪が起こり、水が流れて地層ができたということを、プレゼン資料を用いて説明した。そして、地層の枚数は年数に対応することを確認し、小石に刻まれた縞模様の枚数から年数を求め、ワークシートに記入させた。

このあと、伊豆大島の火山灰層とグランドキャニオンの露頭写真(川上・西田, 2009)を提示し、これらの地層ができるのに必要な年数を予想させた(高橋・小林, 1998; Elston et al., 1991)。

表 1 に伊豆大島の火山灰の露頭にみられる地層がどれくらいの年月でできたのかに関する児童の予想を集計したものである。伊豆大島の露頭については、1000 年から 1 万年という年数が最も多く、次いで 1000 年未満が多かった。約 75% の児童が、伊豆大島の露頭の地層が積もるのにかけた時間を数千年未満と予想したので、実際には約 1 万年分の地層であると説明を聞いて驚いたことが授業終末時に記入させた感想から読み取れた。

表 1. 伊豆大島の露頭にみられる地層の堆積した年数に関する児童の予想

児童の予想	人数
10 ² -10 ³ 年	12
10 ³ -10 ⁴ 年	32
10 ⁴ -10 ⁵ 年	2
10 ⁵ -10 ⁶ 年	4
10 ⁷ 年以上	3

表 2. グランドキャニオンの写真にみられる地層の堆積した年数に関する児童の予想

児童の予想	人数
10 ³ -10 ⁴ 年	6
10 ⁴ -10 ⁵ 年	2
10 ⁵ -10 ⁶ 年	1
10 ⁶ -10 ⁷ 年	1
10 ⁷ -10 ⁸ 年	7
10 ⁸ -10 ⁹ 年	24
10 ⁹ 年以上	4

続いて行ったグランドキャニオンの地層の堆積した年月については、10 万年未満と 1 千万年以上に分かれたが、1 億年から 10 億年の間の値を記入した児童の割合が高かった。約半数の児童が 1 億年以上と推定しており、地球の歴史のなかの長い年月が地層として記録されているという認識に至ったものと考えられる。

4. 議論

(1) 用いた教材がもたらす学習効果について

本実践では、地層をつくる実験と、野外で収集された縞模様のある小石を有機的に結びつけ、実験から気づいた地層のでき方に関する見方・考え方を働かせて、後半で提示した小石の縞模様や伊豆大島やグランドキャニオンの露頭写真に示された地層ができるのにかけた時間を推論させた。この授業を振り返った感想としては次のような記述があった(数字は記入数)：

- ・地層を調べて、驚くことがたくさんあった、びっくりした (34)
- ・ほかの地層についても調べてみたい・知りたい (22)
- ・地層のでき方がよくわかった (11)
- ・地層から年月がわかることがすごいと思った (7)
- ・地層や石に興味をもった (5)
- ・地層には長い歴史がある、すごい (4)
- ・実験をしたり、そこから考えたりすることがとても楽しかった (4)
- ・地層は長い年月をかけてできる (2)
- ・地層を作る実験が面白かった (1)
- ・地層は地球の日記帳だと思った (1)

これらの記述から、児童の約半数が伊豆大島やグランドキャニオンの露頭にみられる地層が長い年月をかけてできたということに驚いていることがわかる。こうした記述から、本研究で新たに導入した地層実験器によって、地層観察から地質学的な時間スケールについて推論させるという授業実践のテーマを理解できているものと考えられた。また、もっと調べたいという記述も約30%の児童にみられ、地層に関する興味・関心も高まったものと考えられる。

(2) 地層の堆積過程における時間的概念形成について

本研究では、縞模様のある小石を提示し、縞模様がどのようにしてできたのかをイメージできるような実験器具を考案した。黒い色をした砂鉄と白い砂を混ぜたものをスナッフ管に入れ、水をいれて封入させた。磁鉄鉱の比重は5.2、紫蘇輝石の比重は3.4であるのに対し、白い砂の比重は2.7である。こうした比重の違いを受けて、スナッフ管をよく振ったあと、机の上におくと、すぐに砂鉄は沈殿して黒色層を形成するが、白色の砂は約10分程度かけて徐々に沈殿して白い地層を形成する。スナッフ管を振って、粒子を混合させることは、流れる水の働きによ

る碎屑粒子の輸送と定置に、白色層の堆積は、氷縞粘土の堆積における冬季の結氷時における細粒粘土の沈殿に対応させたものであるが、白色の層が時間をかけてゆっくり沈殿することに多くの児童が気づいていたことは注目される。

また、一部の児童の記録には、黒色の磁鉄鉱や紫蘇輝石にも細かい粒径のものが混ざっているため、それらが混ざって第3の灰色の地層ができることに気づいたケースもあった。中間に第3の灰色の層ができるという観察については、砂鉄の砂をふるい分けして、細粒のものを除去することで、黒い地層のうえに白い地層が重なることをはっきりさせ、縞模様のある小石の縞模様との対応をより明確にするような改善は可能である。

また、白い砂がゆっくり沈殿していくにつれて、水が透明になることに気づいている児童も多くいた。この気づきについては、流れる水の働きにおける増水時と平時の河川水の違いなどをふり返らせることで、小学5年「流れる水のはたらき」の学習と関連づけた学びに導くことも可能であると考えられる。

5. おわりに

本研究は、川上・西田(2009)が構想した地層のでき方と地質学的な時間スケールに関する概念獲得を目指した学習プログラムにおける、地層実験の改善を図ったものである。年縞形成実験器の製作では、比重が異なり、しかもみかけの色が白と黒で違いが明瞭な砂を使うことで、地層の形成過程を視覚的にとらえられるようにしたこと、実際に観察する年縞のある小石との対応をより鮮明にさせたことで、地層のでき方と、地層ができるのにかかった時間をイメージしやすくすることができた。一方、地層のでき方を探究するための水槽実験器については、縞模様のある地層ができるよう、水槽内にとりつける底盤の形状、傾斜角や用いる砂の種類などについて、さらなる検討を行って、授業実践につなげていきたい。

謝辞. 本巣市立席田小学校での授業実践は、岐阜大学と岐阜信用金庫による産学連携事業として実施しさせていただいた。ここに記して深謝する。

文献

Condie, K. C. (1997) Plate tectonics and crustal evolution, Forth edition, Butterworth-Heinemann, 282p.

Elston, D.P., and G. H. Billingsley, and R. A. Young (1991) Geology of Grand Canyon, Northern Arizona (with Colorad River Guides), Field Trip Guidebook T115/315, American Geophysical Union, 239p.

福澤仁之・小泉格・岡村真・安田喜憲 (1994) 福井県水月湖の完新世堆積物に記録された歴史時代の地震, 洪水, 人間活動イベント, 地学雑誌, **103**, 127-139.

石原里佳・丹羽直正・川上紳一 (2005) 小学 6 年「土地のつくりと変化」における多面的見方や達成感を育む教材の開発とその授業実践による検証, 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), **29**, 13-19.

川上紳一・西田香 (2009) 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.

川上紳一・長谷川広和・東條文治・藤林純子・竹谷哲郎 (2012) 東海層群をテーマにしたコア・サイエンス・ティーチャーCST 中級研修講座の実施と教材開発・理科授業実践, 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), **36**, 95-100.

川村教一 (2006) 土質調査用ボーリング試料を利用した地層対比学習の教材化の留意点: 香川県高松平野での検討から, 地学教育, **59**, 167-176.

古賀敏正 (1983) 小学校地学領域-6 年「地そう」の指導を中心に-, 理科の教育, **32**, 394-397.

牧野泰彦・椎名かほり・沢島裕太郎 (2016) “地層をつくる”水路実験方法の改善とその堆積学的な背景. 地学教育, **69**, 39-47.

文部省 (1999) 小学校学習指導要領解説-理科編, 東洋館出版社.

武藤大輔・川上紳一 (2009) 長良川河床の地層はぎ取り標本を活用した授業展開-小学校 6 年「大地のつくりと変化」における身近な土砂堆積物の活用を通じて-, 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), **33**, 39-46.

丹羽直正・小嶋智・川上紳一 (2008) 美濃帯チャート層中の放散虫化石の観察を中心とした地域教材の活用-小学校 6 年理科単元「大地のつくりと変化」における実践-, 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), **32**, 39-46.

大平柳一・岩田将之 (1983) 小学校 6 年「地層の重なり方, 地層のでき方」-地域の教材化を通して-, 理科の教育, **32**, 616-620.

鷲見陽紀・川上紳一 (2015) 岐阜県地域教材「阿多岐層」を活用した小学校第 6 学年「大地のつくりと変化」に関する探究学習, 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), **39**, 41-50.

高尾将臣・森繁 (1987) 地域素材を生かした学習指導の工夫 (II) -6 年「大地のつくり」の指導実践- 香川大学教育実践研究, **7**, 49-65.

高橋正樹・小林哲夫 (1998) 関東・甲信越の火山 (1), フィールドガイド日本の火山, 築地書館, 166p.

宇佐美徹 (2008) ボーリングコアを利用した地層の学習: 身近な大地のおいたちを探る, フォーラム理科教育, **9**, 15-20.

矢田部玲生 (2005) 「野外観察を通して地学リテラシーを育てるための教師教育プログラムに関する研究」文部科学省化学研究費補助金基盤研究 (B) 研究報告書, 268p.