

地学教育

第61巻 第2号(通巻 第313号)

2008年3月

目 次

原著論文

アケボノゾウの足跡化石の授業実践での概念変容と地球システム
.....多賀 優...(35~47)

教育実践論文

外惑星の位相変化と視運動を理解するための教材の開発.....中野英之...(49~57)
地学の探究的な活動の指導力を育成する教員研修プログラムの開発
—岩石・地層に関する一連のモデル実験を取り入れて—
.....五島政一・後藤史朗...(59~72)

本の紹介 (58)

お知らせ (73)

学会記事 (74)

日本地学教育学会

平成 20 年度全国地学教育研究大会
日本地学教育学会

第 62 回全国大会東京大会のご案内

日本地学教育学会会長 牧野泰彦
東京大会実行委員長 松川正樹
東京大会事務局長 小荒井千人

大会テーマ

『都市化の進んだ環境の中での地学教育』

- 期 日：平成 20 年 8 月 17 日(日)～19 日(火)
会 場：東京学芸大学
主 催：日本地学教育学会
共 催：東京学芸大学，東京都地学研究会，東京都
中学校理科研究会，東京都小学校理科研究
会（以上，予定）
後 援：文部科学省，全国高等学校長協会，全日本
中学校長会，全国連合小学校長会，日本私
立中学高等学校連合会，日本教育研究連合
会，日本理科教育学会，日本理科教育協会
（以上，予定）

日 程

見学旅行：8 月 19 日（火）日帰り

- A コース：多摩川
B コース：伊豆大島
C コース：情報通信研究機構・国立東京天文台

記念講演

- ①前会長講演 前会長 下野 洋（星槎大学）
②東京の地質と環境の変遷
松川正樹（東京学芸大学）

シンポジウム

『都市化の進んだ環境の中で，地学を如何に魅力的
に考えるか』

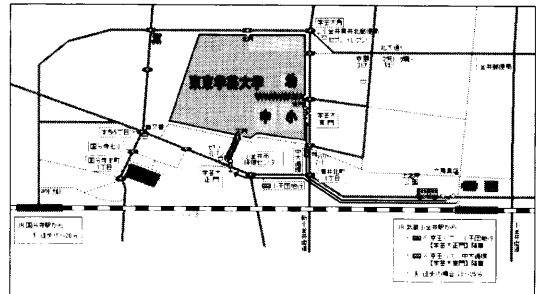
コーディネーター 内記昭彦（都立三田高校）

- ・新学習指導要領の概要と地学教育の実践の重要
性： 田代直幸（国立教育政策研究所）
- ・都市化の進んだ地域での地学教育の実践例
《地質》・・・馬場勝良（慶應幼稚舎）
《気象》・・・名越利幸（岩手大学）
《防災》・・・美沢綾子（県立静岡高校）

アクセス

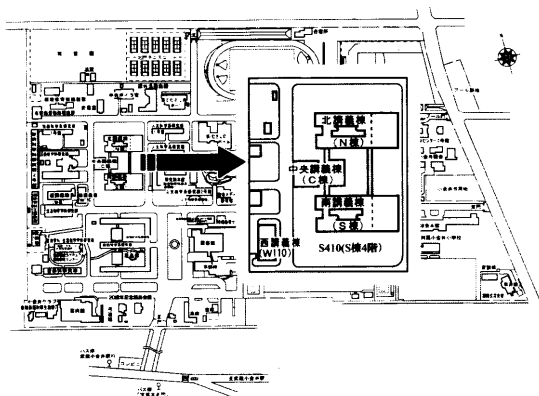
JR 中央線 武蔵小金井駅・北口より
京王バス〔5 番バス停〕【小平団地行】約 10 分
学芸大正門・下車 徒歩約 5 分
徒歩の場合は約 20 分
JR 中央線国分寺駅より・・・徒歩約 18 分

日	時刻	行 事	会 場
17 日 (日)	8:30	受付	講義棟 S1 階
	9:00	開会行事・学術奨励賞 授与式	S410
	9:30	記念講演	S410
	11:00	ジュニアセッション	S410
	12:30	昼食・休憩 (小集会：若手の集い)	
	13:30	シンポジウム	S410
	15:30	ポスターセッション (見学)	
	16:30	・・・移動・・・	
18 日 (月)	9:00	研究発表 I	S 棟
	12:30	昼食・休憩	S 棟
	13:30	研究発表 II	S 棟
	15:30	休憩	
	16:00	閉会行事	W110
	16:30		



会場案内

東京学芸大学小金井地区配線図



大会参加費

7月18日(金)までの振り込み分

一般 4,000円 大学生・院生 2,500円

7月22日(火)以降の振り込み分

一般 4,500円 大学生・院生 3,000円

※ジュニアセッションでの発表の高校生以下、および引率教員は無料です

送金方法

郵便振替にて下記口座にご送金下さい。送金の内訳および連絡先を必ずご記入下さい。

口座名称: 日本地学教育学会東京大会

口座番号: 10180-58886561

・大会参加費: 上記「大会参加費」をご参照下さい。

・懇親会費: 5,000円

・見学旅行費: Aコース(多摩川) 5,000円
Bコース(伊豆大島) 20,000円

※Bコースお申し込みの際の注意

①往復のジェット船を予約するため、5月27日(火)を申し込みの締め切りとさせていただきます。

②7月16日(水)以降にキャンセルされた場合、キャンセル料が発生します。

※Cコース(情報通信研究機構・国立東京天文台)は、バス代のみ(各自当日ご負担下さい)

宿泊案内

各自で手配をお願い致します(JR中央線の国分寺、吉祥寺、立川にビジネスホテル等多数の宿泊施設がございます)。

見学旅行: 実施日: 8月19日(火)

《Aコース: 多摩川中流域に分布する鮮新-更新統上総層群の陸成層と海成層の教材化と実践の軌跡》

最低参加人数 10名(定員 40名)

多摩川河床には上総層群と呼ばれる地層が露出しており、堆積物や含まれる植物・大型脊椎動物・貝などの化石から陸や海の様子が推定できます。さらに短い距離で陸から海へ変化する様子が読み取れる都会にあつては貴重な場所です。多摩川に設定されているいくつかの地学野外実習コースを体験します。

《Bコース: 伊豆大島》

最低参加人数 15名(定員 40名)

伊豆大島の三原山は、噴火から約20年が経ちましたが、当時の噴火の様子を火口周辺から立ち上る噴気や山腹に広がる溶岩流からうかがい知ることができます。三原山の火口は遊歩道として整備され火口を観察することができます。また、教科書や資料集などで紹介されることが多い、海沿いの道路沿いに約700メートル続く大露頭も「露頭」として整備されています。この巡検では、三原山の溶岩流と火口、大露頭を中心に火山の島「大島」を巡ります。

《Cコース: 情報通信研究機構・国立東京天文台》

最低参加人数 10名(定員 30名)

情報通信研究機構(NICT)は、学芸大学に隣接した情報通信分野に関する事業支援や基礎から応用に至る研究開発を行ってそれを社会還元している独立行政法人です。地学教育とも関連が深く、原子時計を管理して日本の標準時を決めて通報したり、太陽活動等を観察していわゆる宇宙天気予報として電波伝播および宇宙環境に関する予報・警報情報を提供しています。ユビキタスネット社会を支える地学という視点から観察してみませんか。このあと、三鷹の国立天文台へ行きます。最近見学コースが整備されて、歴史的なものから、最新のものまで天文観測機器を味わうことができます。話題の4次元デジタル宇宙プロジェクトも見ると予定です。

一般発表、ポスター発表の申し込み

別紙の大会申込用紙に必要事項を記入の上、大会事務局までお送り下さい。一般発表は、小分科会、中分科会、高・大・一般分科会に分けてお申し込み下さい。なお、ジュニアセッションの申し込みは、別紙をご参照下さい。

・発表申し込み締め切り

2008年6月6日(金)必着

※申込用紙は、東京大会 web サイト（下記 URL）にてダウンロードできます。

<http://www.u-gakugei.ac.jp/~chigakut/>

※発表申し込みをしていただいた後、発表要旨のフォーマットをお送りいたします。

発表要旨提出締め切り

- 一般発表：2008年7月12日（土）必着（A4で2ページ）
- ジュニア：2008年7月12日（土）必着（A4で2ページ）

大会事務局・出張依頼の申込先

〒184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1

東京学芸大学 環境科学分野

日本地学教育学会東京大会事務局 松川正樹

Fax 042-329-7544

E-mail: chigakut@u-gakugei.ac.jp

平成 20 年度全国地学教育研究大会・日本地学教育学会 第 62 回全国大会東京大会

申込日：2008 年 月 日

○参加申込み（ジュニアセッション発表者・同引率者は別紙でのお申込みとなります）	
フリガナ 氏名：	所属：
連絡先：〒	
Tel: E-mail:	Fax:
○研究発表申込み（ 切 6 月 6 日必着）	
発表題目：	
キーワード（4 つ）：	
発表者名（所属名）：	
研究分野・分科会： <input type="checkbox"/> 小学校 <input type="checkbox"/> 中学校 <input type="checkbox"/> 高校 <input type="checkbox"/> 大学 <input type="checkbox"/> 一般	
発表形態： <input type="checkbox"/> 研究発表 <input type="checkbox"/> ポスター発表	
使用機器： <input type="checkbox"/> 液晶プロジェクター <input type="checkbox"/> OHP (パソコンをご使用の場合には、各自パソコンをご持参ください)	
○懇親会・見学旅行の申込み（先着順）	
<input type="checkbox"/> 懇親会（5,000 円）	
<input type="checkbox"/> 見学旅行 A コース（5,000 円）， <input type="checkbox"/> 見学旅行 B コース（20,000 円）， <input type="checkbox"/> 見学旅行 C コース	
※見学旅行 B コース（伊豆大島）のみ，5 月 27 日（火）までにお申し込みください。	
○振込み金額	
参加費 7 月 18 日（金）までのお振込分： 一般 4,000 円，大学生・院生 2,500 円	
7 月 22 日（火）以降のお振込み分： 一般 4,500 円，大学生・院生 3,000 円	円
懇親会費 5,000 円	円
見学旅行 A コース（5,000 円），B コース（20,000 円）	円
合 計 金 額	円

○お申込みは，地学教育学会東京大会 web サイト (<http://www.u-gakugei.ac.jp/~chigakut/>) から，ダウンロードしていただき，必要事項をご記入の上，下記メールアドレス宛に添付しお送りください。

事務局 E-mail: chigakut@u-gakugei.ac.jp

郵送または Fax の場合は下記へ送付してください。

〒184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1

東京学芸大学 環境科学分野 日本地学教育学会東京大会事務局 松川正樹 Fax: 042-329-7544

○申込書を送付後，代金を下記の郵便振替口座へご送付ください。

口座名称：日本地学教育学会東京大会 口座番号：10180-58886561

○大会予稿集のみの申込み

申込者氏名
送り先 〒
Tel:

	部数	金額
大会予稿集（1 冊 1,500 円）		円
送料（310 円）		円
合計金額		円

アケボノゾウの足跡化石の授業実践での 概念変容と地球システム

Conceptual Changes in Understanding the Earth System
in Earth Science Class Based on Teaching Material Using Fossil
Footprints of *Stegodon aurorae* (Akebonozou)

多賀 優*

Masaru TAGA

Abstract: Fossil footprints of *Stegodon aurorae* (Akebonozou), a Plio-Pleistocene proboscoid, were reported from Shiga Prefecture, Japan. Since this discovery, the fossil footprints have been used as teaching materials to illustrate evolutionary development in high school Earth Science classes. Changes in students' conceptual understanding of the Earth system in Earth Science class were assessed using the concept map method.

Key words: Earth system, fossil footprint, *Stegodon aurorae* (Akebonozou), concept map, stratum, alluvium plain

1. はじめに

近年、地球環境の変動やそれに伴う自然災害が人類にとって切実な問題となりつつあり、教育においてもこれらを生徒にいかに関心させ、理解させ、行動させるのが早急な課題となっている。環境問題や自然災害は人間を中心に考えがちであるが、これらを地球システムという枠の中で人間と自然との関わりとして考えると、環境問題や自然災害を人間中心の視点とは異なる視点からとらえることができる。また、この視点によって新たな取り組みを考えることができる。

鳥海ほか(1996)によると、地球システムとは地球を構成するいくつかの要素がどのように成立してきたのかやそれらの相互のエネルギーなどのやりとりからシステムとして地球を理解するものであるとしている。例えば、気候についての地球システムでは、大気・海洋・生物圏・人間圏などの性質の異なる構成要素からなり、これらは相互作用しておりそれが気候のシステム全体の変動を支配している。また、何を構成

要素としてとらえるかは、それを扱う視点によって異なる。

教育において1970年頃から地球をシステムとして教える提言がなされてきた。例えば、科学教育(特定研究)地学班(1971)は「地学の目標は自然科学的宇宙観を広めることであり、宇宙全体を1本の進化という筋道で眺められるようにすることである」とし、牧野(1978)はシステムの自然観の育成には地学教育の責任が重いことを指摘している。浜田(1981, 1982a, 1982b)は、「地学は相互関係や動的な経緯を重視するシステム思考に支えられていなければならない」とし、「地球を一つの球状天体としてとらえるとき、その岩石や地層などの固体地球だけでなく、生物や大気、水まで含めることが必要である」としている。阿形(1992)は高校で地域的な自然現象から地球システムを扱うグローバル的な視野で見ることができる地学の設置を提案し、五島ほか(2004)は地球システムを総合的に教えるものとして1991年にアメリカのVictor J. Mayerが開発したアースシステム教育を紹

介している。このように地学教育において地球をシステムとしてとらえさせる提言がなされ、高校の総合理科などにおいてもその具現化が図られてきた。今後、さらに小・中・高校の理科における授業の中でその内容を地球システムとして理解させる工夫が必要であろう。生徒が地球システムに関連づけて地学事象を理解できると、より現在から将来の地球の姿やその地球と人間との関わりが理解できると考える。このような教育を進めるための一つの方法として地球システムに関わる生徒の概念の変容を明らかにすることがあるが、十分な検討はなされていない。例えば、鳥海ほか(1996)は地球システムの分化を地学事象のつながりとした図を示しているが、これを教育における概念形成の観点から検討した例はない。

長鼻類(本論ではアケボノゾウ)の足跡化石が滋賀県において発見され(野洲川足跡化石調査団, 1995)、筆者も野洲川足跡化石調査団のメンバーとして調査に参加した。それ以降、この足跡化石を高等学校の地学で扱ってきた。地学教材としてゾウの足跡化石を扱うと、生徒の多くは興味を示す。生徒にとってゾウは幼い頃から知っている親しみやすい生物である反面、自分たちの近くに生息していない生物でもある。ところが、ゾウの足跡化石は自分たちの身近な場所にゾウが

生息していた事実を示し、その意外性が興味を抱かせてきたものと思われる。また、足跡化石は、湿地や湖、海などでの浅い滞水域でできるので、このような古環境も示し、生徒たちは自分たちが住む地域の過去に思いをはせることができ、興味に結びついたのであろう。足跡化石の教材化についての先行研究としては恐竜の足跡を教材化した(例えば、相場ほか, 2002)、長鼻類の足跡化石の教材化を試みたものがある(馬場ほか, 2000)。これらを参考にして、筆者がアケボノゾウの足跡化石の授業実践を行い、その後の生徒の概念変容から、学習時に形成される概念について検討した。その結果、地球システムにつながる概念が獲得されることが明らかになったので報告する。

2. 授業実践

(1) 指導計画

授業実践は高等学校3年の地学IIの選択者(11名と12名の2クラスで合計23名)に対して筆者が2006年12月に1時間(50分授業)で行った。地学IIのカリキュラムにおける位置づけとしては、高等学校学習指導要領・第5節理科・地学IIでの「(1)地球の探求」の「イ 日本列島の変遷」における単元「島弧としての日本列島」である。この中の「郷土の地形・地

表1 アケボノゾウ足跡化石の授業実践の指導計画

指導内容	教師の活動・生徒の活動	指導上の留意点
[導入] 本時の目的について (3分)	* 滋賀県で発見されたアケボノゾウの足跡化石について学習することを告げる。	
[古琵琶湖層やアケボノゾウについての学習] 1, 古琵琶湖層の形成について (7分)	* 古琵琶湖層群の形成と琵琶湖の移動を説明する。	* ワークシート(図1)により学習する。
2, ゾウの分類や足跡化石の形態について(10分)	* 過去に多くの種類のゾウが生息していたことや、発見されたゾウの足跡化石の形態について説明する。	* 「ゾウの分類の図」や「足跡化石のスケッチ」を用いる。
[スライド] 3, スライドによる野洲川足跡化石 (20分)	* 様々な足跡化石やその調査方法、レプリカ作成方法についてのスライドを示す。	
[スライドと板書] 4, 足跡化石の形成過程 (7分)	* 泥にできた足跡化石を砂が埋めている断面写真(図3)を示す。また板書で、足跡が泥層につき、その穴を洪水による砂層が埋める形成過程を説明する。	* 沖積平野の地層の形成過程については触れない。
[まとめ] 5, まとめ (3分)	* 自分たちの住む地域には、過去にゾウが住んでいたことについてまとめる。	

質」(8時間)での近畿地方の学習(3時間)で、1時間目は「近畿三角地帯とその断層」、2時間目は「近畿の第三紀層・第四紀層の分布と化石」、3時間目が本時間である。

本授業の目的としてはアケボノゾウの足跡化石の形態やでき方、調査の経緯や方法について学ぶことで、その生態や古琵琶湖層群における古環境を理解させることとした。対象の生徒は2学年で履修した地学Iにおいて地層を学習しているが、沖積平野における砂層や泥層の堆積過程については学習していない。本時の授業実践の指導計画を表1に、用いたワークシートを図1に示す。本授業の内容は、「古琵琶湖層群について」、「ゾウの進化と分類」(樽野, 1995)、「足跡化石の調査方法」、「野洲川でのアケボノゾウの足跡化石の形態」などをワークシートで学習した後、スライドを用いて足跡化石の発掘の様子やその形態を学習した。スライドは野洲川での足跡化石調査において筆者が撮影したものを、アケボノゾウとシカの足跡化石やその発掘風景を見せた。その後、アケボノゾウの足跡化石の断面を見せた後、足跡化石の形成過程について説明した。

(2) 授業実践の内容

授業の導入としてゾウの臼歯の化石(ポーランド産)を見せ、マンモスの歯であることを説明した。滋賀県でもゾウの臼歯がしばしば発見されており、過去にゾウが生息していたことが明らかになっているが、本授業では滋賀県で見つかったゾウの足跡化石について学ぶことを告げた。

①古琵琶湖層群について

生徒にとって身近である琵琶湖は400万年という長い歴史をもち、しだいに南から北に移動してきたことについてワークシートの「1,古琵琶湖層の移動」の図を用いて説明した。また、約200万年前の蒲生湖でアケボノゾウの足跡化石が発見されたことや発見地点(○印)を確認した。

②ゾウの進化と分類

ワークシートの「2,滋賀にいたゾウ」(ゾウの進化と分類)の図(樽野, 1995)を見せながら、図の上側になるほど現在に近づくこと、現在のアフリカゾウやインドゾウに○をつけさせて、現在ではゾウの種類が2種類となっていることを確認した。地球には過去に多くの種類のゾウが生息していたことを告げ、アケボノゾウもその一つであったことを説明した。

3野洲川での足跡化石の形態

ワークシートの「3,現在の象の足跡」の図や「4,野洲川で見つかったいろいろな足跡化石」の図を見せながら、ゾウの前足の足跡は太いが後足のそれは細長いことや、後足が前足を踏み抜いた足跡化石が見つかることもあることを説明した。また、シカの足跡化石も多く見つかったことにも触れた。

④スライドによる足跡化石の学習

全部で29枚のスライドを用いて、ゾウやシカの足跡化石の形態、調査の様子や方法について20分程度をかけて説明した。図2に代表的なスライドを示す。スライド提示時の説明の要点は以下のとおりである。ただし、文頭の各番号は図2の写真番号に対応する。

1) 調査地域の全景(スライド3枚)。砂層の下の泥層に足跡化石が多く見つかった。野洲川での調査ではゾウの足跡化石と考えられるもの、シカの足跡化石と考えられるものが確認された。これらの足跡化石の保存状況はきわめて良いものが多く、明瞭な歩行跡も確認されることから、足跡化石であると判断できた。また、ゾウについては体が小型であることからアケボノゾウと推定された(野洲川足跡化石調査団, 1995)ことを説明した。

2) クリーニング前のゾウの足跡化石(スライド4枚)。左側が前で、爪の跡も見られた。砂が足跡を埋めており、砂に鉄分が沈着し赤くなっているものもあった。

3) クリーニングをして砂を取り除いたゾウの足跡化石(スライド9枚)。左側が前で、爪の跡も見られた。クリーニングしきれなかった砂が一部残っていた。また、シカの足跡化石も見せ(スライド5枚)、大型のシカであったことを説明した。

4) クリーニング風景(スライド1枚)。足跡化石を埋める砂をドライバーや刷毛を用いて取り除いていった。

5) クリーニング方法(スライド1枚)。足跡化石を埋めた砂の堆積した様子を見るため、足跡化石を埋めた砂を四分の一ずつ掘り、砂の断面から穴を埋めた砂の堆積構造を調べた。

6) 足跡化石の記録方法(スライド1枚)。足跡化石はビニールシートをかぶせてスケッチし、等高線で深さを表現した。シカの足跡化石が見られる。

7) ゾウの足跡の行跡(スライド2枚)。矢印方向にゾウが歩いた歩行跡が見られた。

8) レプリカ作りのための足跡化石の型どり(スラ

地学Ⅱ 3年

No

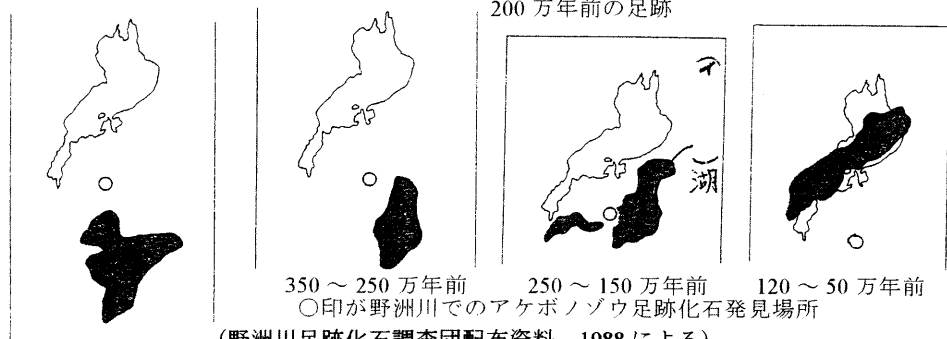
組 番 氏名

月 日

古琵琶湖層のアケボノゾウ

1、古琵琶湖層の移動
古琵琶湖層は()年

前に伊賀上野で誕生し、その後北へ進み、現在の位置に来た、世界でも古い湖。

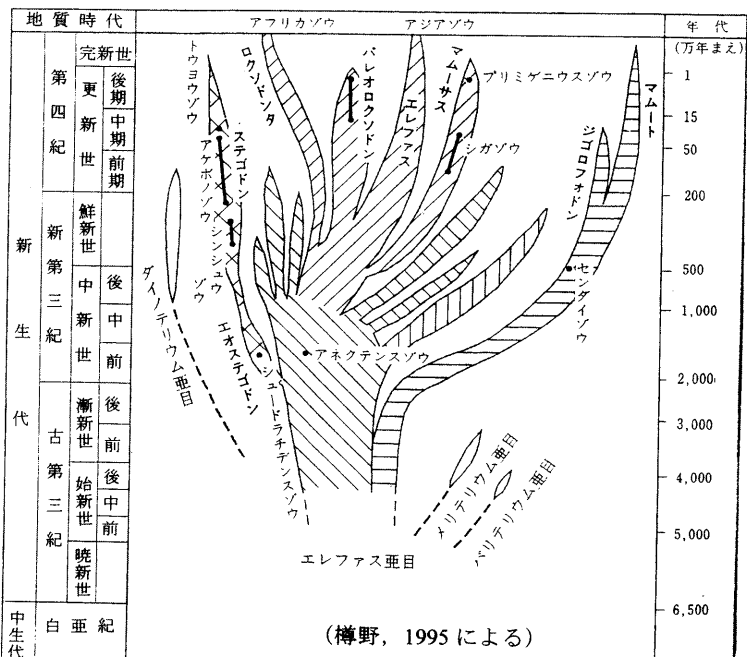
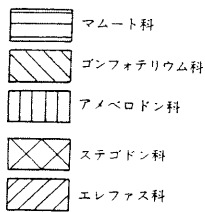


(野洲川足跡化石調査団配布資料, 1988 による)

500 ~ 350 万年前

2、滋賀にいた象

象は長鼻類とよばれ、現在ではアジアゾウとアフリカゾウしか見られないが、過去には多くの種類がいた。日本でも10種前後が見つかっている。



(樽野, 1995 による)

図 1-1 授業で用いたワークシート



足跡化石が発見された頃（200万年前）の様子

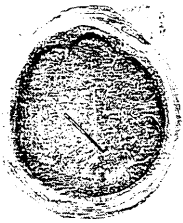
(琵琶湖文化館特別展パンフレット, 1982 による)

ゾウの名前 ()

3、現在のゾウの足跡 (インドゾウ)

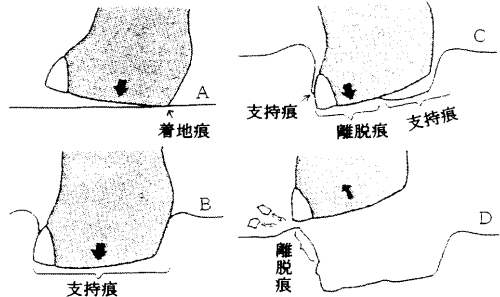
前足

後ろ足



(宝塚ファミリーランド保管インドゾウ足印写真)

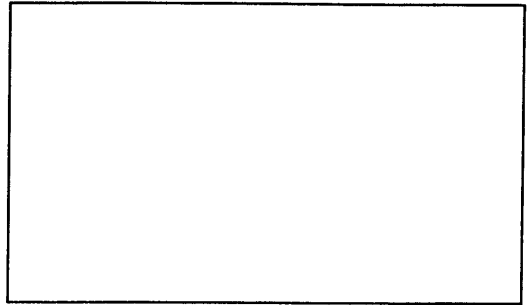
足の動きと足跡のでき方



足の動きと足跡のできかた

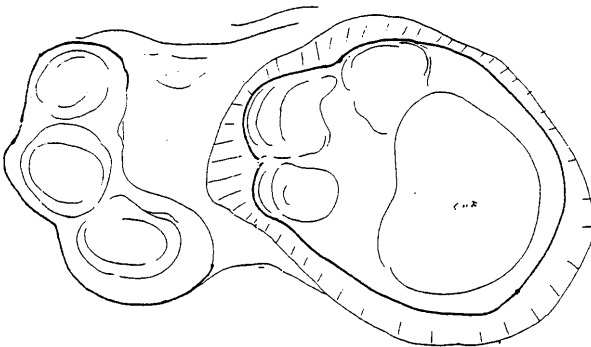
(「ゾウの足跡化石調査法」編集委員会, 1994 による)

5、アケボノゾウの足跡化石の断面



湖や沼の岸辺の泥の上に足跡が付き、その上に大雨で砂が一度に堆積した。

4、野洲川で見つかったいろいろな足跡化石



(オ) の足跡

(エ) の足跡 () が () を踏み込んでいる。

(野洲川足跡化石調査団配布資料, 1988 による)

図 1-2 授業で用いたワークシート

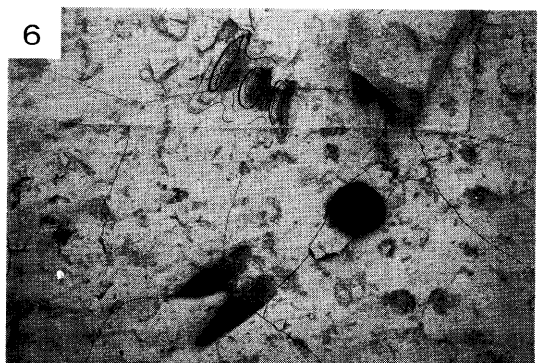
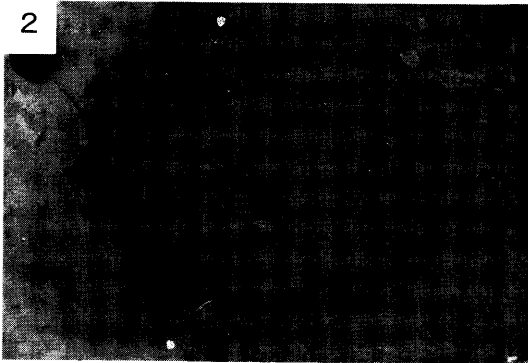


図2 生徒に提示した主なスライド

イド3枚)、足跡化石をシリコンゴムで型どりし雌型を作った。面積が広いのでいくつかに分けて型どりをした。このレプリカは現在、滋賀県立琵琶湖博物館において展示されている。

⑤ 足跡化石形成過程の学習

野洲川の足跡化石発見地点の地層は古琵琶湖層群蒲生累層である。堆積環境は湖沼や湿地が点在し、しばしば洪水により一時的に湖ができる沖積平野であり、蒲生沼沢地群と呼ばれている。その浅い滞水域では通常、泥が堆積し、これにつけられた足跡が洪水流によって運ばれてきた砂によって急速に埋積され、足跡化石が形成された(野洲川足跡化石調査団, 1995)。この足跡の断面をスライド(図3)で示し、図4に示す順で足跡化石のでき方を説明した。

足跡化石の断面では穴を埋めた堆積物の構造がわかるので、生徒への説明時に1枚のスライドで足跡化石の断面写真を示した(図3)。図3では、泥層にアケボノゾウの足が踏み込み、泥層についた足跡の円形の凹みの内部には平行なラミナが発達する砂が埋めている。砂のラミナは底面ではほぼ水平に、凹みの縁では

斜上方に見られ、凹みの縁で途切れている。これは不整合であり凹みができてから内部に堆積するまで時間的間隙があると考えられる。また、凹み内部の砂の湾曲するラミナは圧縮により幅が狭まっていないことから、中心に向かってラミナが湾曲しているものの踏まれたことによる圧縮はなかったと考えられ(岡村, 2000)。これらのことから凹み内部の砂は足跡の凹みができた後に堆積したと判断できる。ただ、凹み内部で中心に向かってラミナが下方に湾曲する理由については明らかではなく、今後の堆積学的な研究課題である。授業では図4の順序に従って、ゾウが泥層の上から踏み込み、その足跡が崩れないうちに洪水が起こり洪水流で短時間に砂に埋まり、足跡が保存されたことを板書しながら口頭で説明した。また、実際は泥層中や砂層中にも足跡があると考えられるが、泥層の上に砂層があるとその間で足跡化石が保存され見つけやすいことも説明した。

授業中に、生徒はワークシートの「5、アケボノゾウの足跡化石の断面」の図で足跡の穴に砂が埋まり、ラミナをもつ砂層が形成される様子を描いていた。



図3 足跡化石の断面写真

⑥まとめ

ゾウの足跡化石から自分たちの住む滋賀県には約200万年前にゾウが住んでいたことがわかることについてまとめた。また、授業終了後に生徒に口頭で直接問うた感想では、自分たちが住んでいる身近なところにゾウが住んでいた驚きを述べる生徒がいた。

(3) 概念変化の調査・分析方法

調査方法は授業の前後における生徒の概念をコンセプトマップ (Novak and Gowin, 1984) を用いて調べ、地層の形成過程の概念の増減について検証した。以後、授業前後に行ったコンセプトマップをそれぞれコンセプトマップ [前]、コンセプトマップ [後] と呼ぶ。コンセプトマップ [前] は本授業の前の時間 (3日前) に、コンセプトマップ [後] は次の時間 (2日後) に行った。方法としては、コンセプトマップ作成用の調査用紙を用いた。この調査用紙には使用する単語 (ラベル) である「足跡化石」、「地層」、「アケボノゾウ」、「砂」、「泥」、「湖」、「大雨」、「足跡」の八つが示してあり、これらのすべてを使わなくてもよいし、新たな単語 (ラベル) をつけ足してもよいという指示がしてある。また、地層の形成につながる概念があるかを検証するため、調査用紙に「どのように足跡化石ができるのでしょうか、そのでき方についてあなたの考えを『言葉つなぎ』で表してください。ただし、なるべくアケボノゾウが足跡をつけて足跡化石になる様子を描いてください。」と指示がしてある。周囲の生徒と相談せずに約15分間で描かせた。

次に、これらの結果を分析する方法について述べる。生徒の概念変容の傾向を知るために、二つ以上概念ラベルを結合させている構造を概念系 (福岡・笠井, 1991) とし、授業実践の前後の授業で行ったコンセプトマップ [前]・[後] における増減を検討した。この概念系としては地球システムの一部である地層の形成を示すものを設定した。

前述のように野洲川の足跡化石発見地点では、沖積平野の滞水域に泥が堆積し、この滞水域につけられた足跡が洪水時の砂に埋積して足跡化石ができた (野洲川足跡化石調査団, 1995)。したがって、足跡化石の形成について考えることは、泥の上に洪水流による砂の堆積を考えることにもなるので、本論では沖積平野における砂泥互層の形成過程につながる概念について扱っていることになる。足跡化石の形成過程の理解を示す概念であり、沖積平野における砂泥互層の形成につながる「通常は泥が堆積し、洪水時に砂が運搬・堆

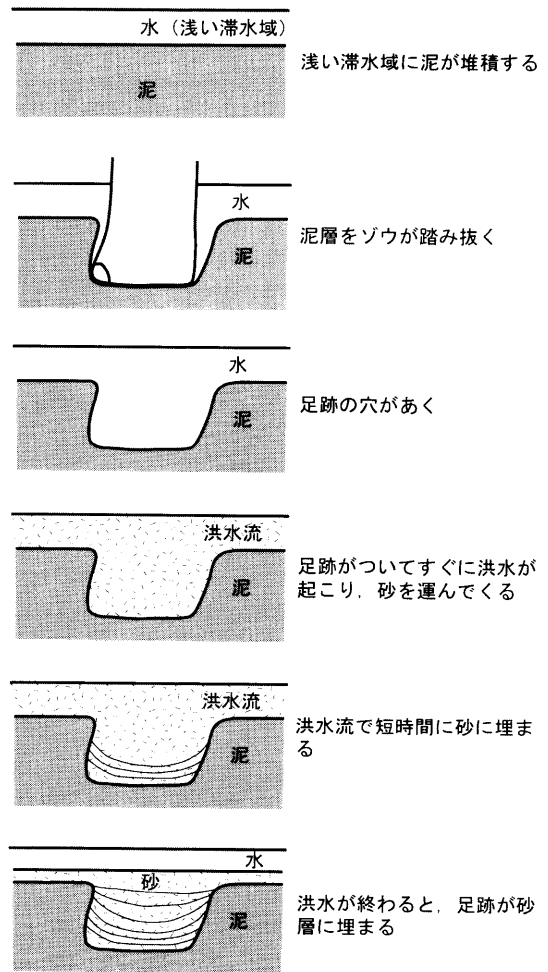


図4 板書で説明したゾウの足跡化石形成過程の流れ

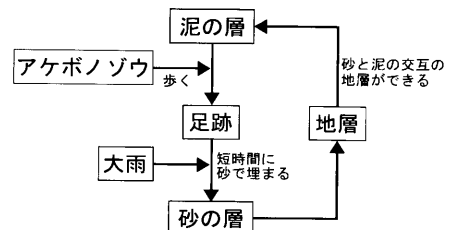


図5 筆者による沖積平野における地層形成につながるコンセプトマップ

積することが繰り返すことにより地層ができる」ことを示す概念は、図5のようなコンセプトマップで表現できる。そこで本論ではこのような概念が形成されたのかを確かめることとした。図5の中に含まれてい

泥に足跡がつく		大雨で砂が流れ堆積する	
[前] 4	[後] 16	[前] 0	[後] 7
足跡に砂が堆積する		砂と泥が繰り返し堆積する	
[前] 3	[後] 17	[前] 5(2)	[後] 13(6)

数字はそれぞれの概念系を獲得した人数を示す。
 () の数字は線の説明(リンキングワード)のみで表現していた者を除いた人数。

[前]: コンセプトマップ [前]
 [後]: コンセプトマップ [後]

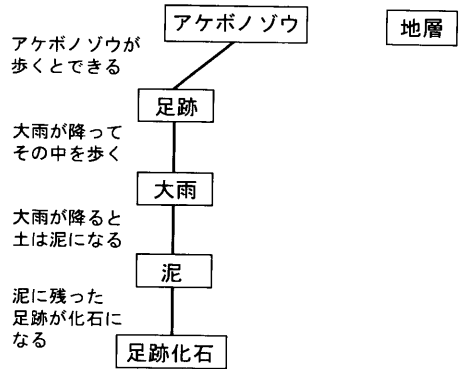
図6 沖積平野の地層形成につながる概念系

る、「泥に足跡がつく」、「大雨で砂が流れ堆積する」、「足跡に砂が堆積する」、「砂と泥が繰り返し堆積する」という概念を四つの概念系として設定し、これらの増減を統計学的に検討した。図6に四つの概念系とそれらを表した人数の増減を示す。

3. コンセプトマップの結果

生徒のコンセプトマップの代表的な例を示す(図7-1, 図7-2)。コンセプトマップ[前]ではアケボノゾウが歩くと足跡化石ができるということと「地層」が全く結びついていないのに対し、コンセプトマップ[後]では泥の上についての足跡の上に大雨により砂が堆積し、それが繰り返され泥と砂が交互に堆積して「地層」ができることを表現していた。

すべての生徒の概念変容全体の傾向を検討すると、足跡化石のコンセプトマップ[前]・[後]における前述の四つの概念系は、いずれも増加する傾向が見られた(図6, 図8)。これら四つの概念系についてコンセプトマップ[前]・[後]でのそれぞれの概念系を獲得した人数、獲得していない人数の2×2のクロス表を作成し(図9)、各概念系毎にフィッシャーの直接確率計算法で検定を行った。その結果、「泥に足跡がつく」については $p=0.0008$ (両側検定, $p<0.05$)、「大雨で砂が流れ堆積する」については $p=0.0091$ (両側検定,



「地層」は他の単語とつながっていない。

図7-1 コンセプトマップ[前]の例

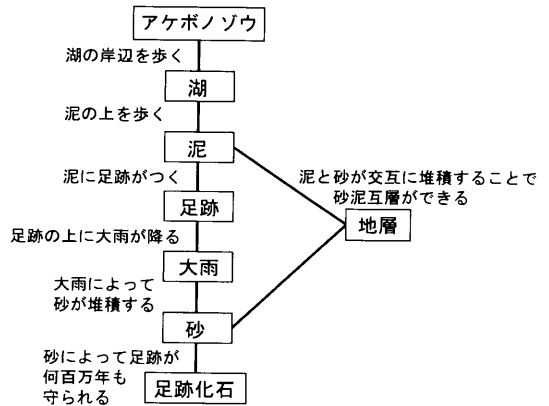


図7-2 コンセプトマップ[後]の例

$p<0.05$)、「足跡に砂が堆積する」については $p=0.0000$ (両側検定, $p<0.05$)となり、5%の危険率で有意に増加することが明らかになった。また、「砂と泥が繰り返し堆積する」については $p=0.2427$ (両側検定, $p>0.05$)となり有意とはならないが、線(リンク)に書かれた説明(リンキングワード)でこの概念について表現している人数を加えて改めて検定すると $p=0.0331$ (両側検定, $p<0.05$)となり、いずれの概念系とも授業後に5%の危険率で有意に増加することが明らかになった。以上の検定結果より、授業実践の前後に行ったコンセプトマップ[前]から[後]で、多くの生徒にコンセプトマップの変化が生じたと判断できる。コンセプトマップ[前]では「地層」と「アケボノゾウ」・「足跡」が結びついていないものや「砂」と「泥」の関係が不明瞭なものなどが多く見られるが、コンセプトマップ[後]では「地層」の形成につな

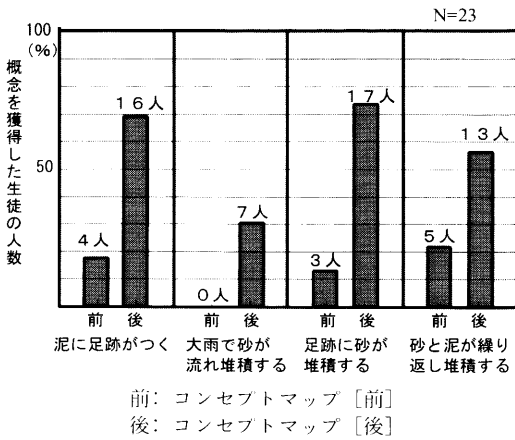


図8 授業実践前後における概念を獲得した人数の変化

泥—足跡 「泥に足跡がつく」	獲得した人数	獲得しなかった人数
コンセプトマップ [前]	4	19
コンセプトマップ [後]	16	7

p=0.0008 (両側検定)

大雨—砂 「大雨で砂が流れ堆積する」	獲得した人数	獲得しなかった人数
コンセプトマップ [前]	0	23
コンセプトマップ [後]	7	16

p=0.0091 (両側検定)

足跡—砂 「足跡に砂が堆積する」	獲得した人数	獲得しなかった人数
コンセプトマップ [前]	3	20
コンセプトマップ [後]	17	6

p=0.0000 (両側検定)

泥-地層-砂 「砂と泥が繰り返し堆積する」	獲得した人数	獲得しなかった人数
コンセプトマップ [前]	5	18
コンセプトマップ [後]	13	10

p=0.0331 (両側検定)

図9 地層形成につながる概念系のクロス表

る説明をする生徒が有意に増加していた。Novak and Gowin (1984) によると、コンセプトマップは概念と命題を外在化するものであり、また、獲得した知識が既にある概念と新たな結びつきができることで、概念の変容が起こり新しい概念ができるとしている。コンセプトマップ [後] では [前] にはない知識と既知の概念との新たな結びつきが形成されている。つまり、機械的な単なる知識の蓄積ではなく、有意味学習が行われて新たな概念(命題)ができたといえる。このこ

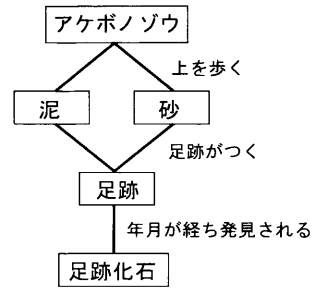


図10-1 四つの概念系がすべて形成されなかった生徒のコンセプトマップ [前]

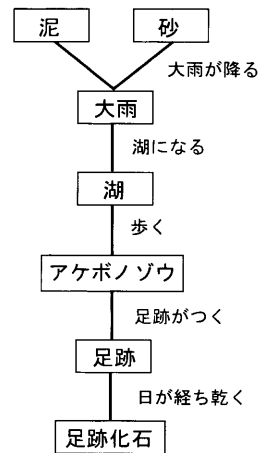


図10-2 四つの概念系がすべて形成されなかった生徒のコンセプトマップ [後]

とは単なる概念の付加とは異なると考えられ、沖積野の地層の形成過程につながる新たな概念が形成されたものと考えられる。

四つの概念系がすべて形成されなかった生徒が1名いた。この生徒のコンセプトマップ [前]・[後] では、四つの概念系のすべてが見られない(図10-1, 図10-2)。コンセプトマップ [後] では「大雨」が書き加えられ、「大雨」により湖ができ、その湖をアケボノゾウが歩くとしていた。しかし、「大雨」と「足跡」の結びつきが見られない。このことから、最後までこの生徒は「大雨」と足跡化石のできかたが関連づけて理解できていなかったものと思われる。

4. 考 察

筆者が描いた地球システムについての一つの案をコンセプトマップで示す(図11)。これは地層の形成過程が地球システムにおいて占める位置を示したもので

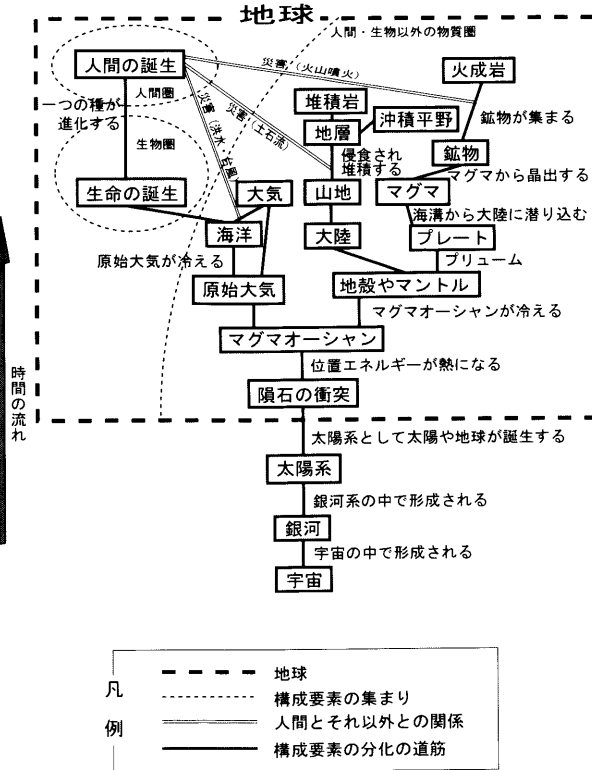


図 11 筆者による地球システムのコンセプトマップ

「地層」や「火成岩」の形成を中心に表現したものである。ここでは構成要素を単語（ラベル）で示し、単語間の関係性を線（リンク）と線の横の説明（リンクワード）で示している。このコンセプトマップは、時間の経過に伴う地球システムの構成要素の分化を示しており、筆者の地球システムについての概念を示すものともいえる。『「山地」が侵食され堆積し「地層」を形成する』という、地層の形成過程は地球システムの一部であり、この概念は地球システムを理解するのに必要な概念である（図 11）。地球システムとは地球を構成する要素の成立過程やそれらの相互のエネルギーなどのやりとりからシステムとして地球を理解するものである（鳥海ほか、1996）ので、地球システムを理解するためには個別にその構成要素を学習するのではなく、それぞれの構成要素がどのような関係をもっているのかを学ぶ必要がある。例えば、「山地」や「地層」、「沖積平野」をつなぐ地層の形成過程のような関係性を示す概念の学習が重要である。また、多賀ほか（2005）は中学校や高等学校の火成岩の学習で形成

される生徒の概念変容から、最終的に火成岩の成因的理解が進むとした。『「マグマ」から晶出した「鉱物」が集まり「火成岩」が形成する』という火成岩の形成過程も地球システムの一部であり、火成岩の成因的理解が進むことで地球システムの理解につながる（図 11）。この学習内容は教える側にとっても地球システムの一部であることは理解しやすい。

今回の授業実践は、生徒たちが住んでいる琵琶湖周辺でアケボノゾウが生息していたという事実と足跡の形態や形成過程、それが明らかになってきた経緯や調査方法を学習し、その生態や古環境を理解させることを目的としていた。しかし、授業実践の結果、足跡化石のできかたの理解は砂泥互層の形成過程の理解につながると考えられ、沖積平野での地層の形成過程につながる四つの概念系が有意に増加していた。このことは沖積平野での地層の形成過程につながる概念構造の一部が形成されたことを示唆している。この例のように、教える側が地球システムにつながる概念形成を押し進めていく機会を把握し、これを意識的に活用する

ことで生徒に地球システムをより明確に理解させることが可能であると思われる。

5. 結 論

滋賀県で発見されたアケボノゾウの足跡化石の授業を高等学校地学で行い、生徒の概念変容をその授業前後にコンセプトマップ法で調べた。また、時間の経過に伴う地球システムの問題を筆者が描いたコンセプトマップで示し、今回の授業実践での概念獲得についての検討を行った。その結果、地球システムの一部である沖積平野の地層の形成過程につながる概念が有意に形成された。足跡化石の学習のように一見地球システムとは関連がないように思える学習内容でも地球システムにつながる概念が形成されることが明らかになった。

地球システムにおける構成要素やそれらの関係性を示す概念がいつどのように形成されていくのかを明らかにすることは、学校教育において地球システムを理解させる学習内容や教授法を作り上げる参考になると思われる。今後、学習内容や教授法を模索しながら、地球システムを理解させていく教育がいつそう促進される必要があるであろう。

謝 辞 滋賀県立草津東高等学校の河野俊夫先生には授業実践で協力をしていただき、ご討論いただいた。山形大学の川邊孝幸教授、滋賀県立水口東高等学校の田村幹夫先生、滋賀県立堅田高等学校の服部 昇先生には論文の内容についてご助言をいただいた。ここに厚くお礼申し上げます。

引用文献

相場博明・八幡麻衣子・松川正樹(2002): 足跡からの絶滅生物の推理と「知識の引き出し」の拡大—翼竜の教材化と実践について—。地学教育, **55**, 27-36。

- 阿形昌宏(1992): 高等学校 [地学] における環境教育—そのかわり—and問題点—。地学教育, **45**, 193-202。
- 馬場勝良・松川正樹・小荒井千人・林 慶一・大久保敦・伊藤 慎(2000): 足跡化石を元に動物を動かそう—恐竜の方法をゾウに応用して—。地学教育, **53**, 269-281。
- 福岡敏行・笠井 恵(1991): 学習ツールとしての概念地図作り (CONCEPT MAPPING) の有効性に関する一考察—6 学年児童の「水溶液の性質」概念の形成において—。日本理科教育学会研究紀要, **32**, 67-75。
- 五島政一・下野 洋・熊野善介(2004): 「アースシステム教育」の日本での検討と実践。地学教育, **57**, 183-201。
- 浜田隆士(1981): 地質現象の見方, とらえ方。高校通信, 東書 [地学], No. 208, 1-5。
- 浜田隆士(1982a): 地球科学への招待 1 地学・地質学・地質科学そして地球科学—名は体を表すか、科学と実験, **4**, 29-33。
- 浜田隆士(1982b): 地球科学への招待 8 海洋科学と地球科学—水惑星の特殊構造—。科学と実験, **11**, 55-60。
- 科学教育(特定研究)地学班(1971): 地学教育の将来像を求めて—箱根における地学教育懇談会記録。地学教育, **24**, 117-151。
- 牧野 融(1978): システム地学から地学システムの科学へ—環境科学としての地学の教育体系開発についての提言。地学教育, **31**, 83-87。
- Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1984): *Learning How to Learn*. Cambridge University Press, 199 p.
- 岡村喜明(2000): 石になった足跡—へこみの正体をあばく—。サンライズ出版, 270 p.
- 多賀 優・草地 功・戸北凱惟(2005): 火成岩の多様性と形成過程に関する概念変容の分析—高等学校の選択地学における実践を例に—。理科教育学研究, **46**, 61-68。
- 樽野博幸(1995): ゾウのきた道—日本のゾウ化石。大阪市立自然史博物館第22回特別展展示解説, 39 p.
- 鳥海光弘・田近英一・吉田茂生・住 明正・和田英太郎・大河内直彦・松井孝典(1996): 岩波講座 地球惑星科学 2 地球システム科学。岩波書店, 東京, 220 p.
- 野洲川足跡化石調査団(1995): 野洲川(甲西町)の古琵琶湖層群産足跡化石。琵琶湖博物館開設準備室研究調査報告, **3**, 1-134。

多賀 優: アケボノゾウの足跡化石の授業実践での概念変容と地球システム 地学教育 61 巻 2 号, 35-47, 2008

〔キーワード〕 地球システム, 足跡化石, アケボノゾウ, コンセプトマップ, 地層, 沖積平野

〔要旨〕 滋賀県で発見されたアケボノゾウ足跡化石の授業実践を高等学校地学で行い, その授業前後にコンセプトマップ法で生徒の概念変容を調べた。その結果, 足跡化石や地層の形成過程につながる概念が有意に形成された。足跡化石の学習のように一見地球システムとは関連がないように思える学習内容でも地球システムにつながる概念が形成されることが明らかになった。

Masaru TAGA: Conceptual Changes in Understanding the Earth System in Earth Science Class Based on Teaching Material Using Fossil Footprints of *Stegodon aurorae* (Akebonozou). *Educational Earth Sci.*, 61(2), 35-47, 2008

惑星の位相変化と視運動を理解するための教材の開発

Development of Teaching Material for Presenting Concepts of
Phase Change and Apparent Movement of a Superior Planet

中野英之*

Hideyuki NAKANO

Abstract: Teaching material for understanding phase change and apparent movement of a superior planet was developed for junior high school students. The material consists of two disks with different radii. The disks are coupled to a handle using two rubber bands, so that students can easily rotate them simultaneously by hand. A planetary model and a viewing window are installed on the disks, and students can observe phase change and apparent movement of a superior planet from the viewing window. The teaching material is useful to help junior high school students understand phase change and apparent movements of a superior planet.

Key words: junior, high school, superior planet, revolution, apparent movement

1. はじめに

中学校および高等学校における天文分野の学習では、惑星の性質や惑星の地球からの見え方や天球上での動きについて学習する。この中で惑星の性質に関する分野は、惑星探査機から送られてきた映像や最新の知見をもとに授業を展開でき、生徒が興味を抱きやすい分野であるといえる。一方で、惑星の地球からの見え方や天球上での動きに関する分野は、立体的に物事を捉える必要があり黒板やプリントといった2次元の説明では理解することが困難な分野である。特に惑星の天球上での動きは、動きそのものが非常に複雑であることから、とりわけ理解することが困難な分野であるように思われる。学習内容が理解できないと、どんな内容でも生徒はつまらなく感じてしまう(例えば、星野, 2007)ことから、楽しみながら理解を深めていくことのできる教材の開発は重要である。

惑星の天球上での動きを理解するためには模型を用いた学習が有効で、これまで内惑星の動きの学習を中心に効果的な教材が開発されてきた。杉本(2005)は

地球と金星の公転軌道の上に惑星模型を置き地球の位置から見た金星の見かけの動きを調べる教材を紹介している。また、鎌田・鷹西(2007)は、地球・金星・天球の一部からなるペーパークラフトを作製し、金星の天球上での動きや満ち欠けを観察する教育実践を紹介している。しかし、これまでの模型教材では、惑星の満ち欠けや天球上での動きの原因となっている惑星ごとの異なる公転周期を再現するために、二つの惑星を別々に動かすといった複雑な操作を必要とするものであった。また、これらの模型教材を外惑星の見かけの動きの学習に適用しようとすると、模型の内側から外側を観察することになり、模型の構造上、顔を近づけて観察することが難しいという課題もある。

公転周期の異なる二つの惑星の動きを単純な一つの操作のみで再現することができれば、模型教材の操作性が大きく向上するうえに、ケプラーの第3法則に基づく惑星の公転や会合周期を学習する際の効果的な演示実験教材としても使用できる。

そこで筆者は、中学生を対象として、以下の4点の目的が達せられる実習教材の開発を行った。

- ①一つの操作で二つの惑星の異なる公転運動を再現できるようにすること
- ②できる限り安価で、容易に入手できる材料で作製できること
- ③強固で壊れにくい構造であること
- ④作製した装置を用いて内惑星だけでなく外惑星の見え方（位相と視直径）の変化と天球上の見かけの動きを学習できるようにすること

本論文では作製した模型教材の作製方法と、中学3年生を対象として行った本教材を用いた教育実践について報告する。

2. 教材の開発

(1) 概要

大きさの異なる2枚の円板を1軸上で回転できるようにし、2枚の円板と回転棒とを2本の輪ゴムで連結する。回転棒を回すことにより、円板を異なる回転速度で回転させることができる。この円板上にアルミ丸棒を折り曲げて加工したものを取り付け、この先端に惑星の模型を装着する。回転棒を回すことにより惑星の公転を再現するしくみとなっている（図1b）。

2枚の円板をそのまま上下に重ねて1軸上で回転させると、アルミ丸棒が輪ゴムに当たり、公転運動を再現できなくなる（図1a）。そこで、2枚の円板の回転軸を1軸上で分離し、アルミ丸棒どうしあるいはアルミ丸棒と輪ゴムがぶつからないように工夫した。この結

果、一つのハンドルの回転操作のみで二つの惑星の異なる公転運動を再現することが可能となった。この点が本教材の最大の長特である（図1b）。

惑星模型にはプラスチック球を半分ずつ黄色と黒に塗りわけて爪楊枝に接着させたもの（惑星模型A: 内・外惑星用）と、工作用紙に穴開けパンチを用いて観察窓を開け、これをストローにとりつけたもの（惑星模型B: 地球）を使用した。外惑星の実習を行う際には外側を回転するアルミ丸棒の先端に惑星模型Aをセロテープで接着させ、内側を回転するアルミ丸棒には惑星模型Bを差し込んで使用する。内惑星の実習を行うときには、惑星模型AとBを逆に装着する。惑星模型Aで黄色くぬった部分は太陽光が当たっている様子を示しているのので、この面を円板の回転中心方向に向けておく。図1bのように、惑星模型と円板を接続するアルミ棒を長くすることにより、顔を近づけても観察窓から外惑星を観察できるようにした。

惑星は近似的に円軌道を公転しているものとして装置を設計した。図1bにおいて、円板A、Bの半径(r_A , r_B)の逆数の比($r_A^{-1}:r_B^{-1}$)は、惑星模型A、Bの公転周期の比($P_A:P_B$)となる。また、回転中心から惑星模型AとBまでの距離(L_A , L_B)は、惑星模型A、Bの公転軌道半径に相当する。円板の大きさやアルミ棒は次のように設計・加工した。

内惑星の学習では金星が、外惑星の学習では火星がよく扱われる。惑星ごとの公転周期の比は、金星:地球=0.61:1、地球:火星=0.53:1であり、それぞれの比は7:12に近い。このため、円板の半径の比を $R_A:R_B=12:7$ として設計するのが妥当である。後述のように円板Bは角バンドの内側に入る大きさにしなければならないため、円板Bの大きさは必然的に5cmとなる。 $R_A:R_B=12:7$ とすると、円板Aの大きさは約8.5cmとなる。

しかし、今回は円板Bの大きさを8.5cmよりも大きい12cmとした。これは、円板は少しでも大きいほうが半径に対する円周の凹凸が少ないものをつくりやすく、結果的により滑らかな回転をするものをつくりることができるからである。円板Aの大きさを12cmとすると、 $R_A:R_B=12:5$ となり、円板Bに対する円板Aの半径が $R_A:R_B=12:7$ の場合よりも大きくなるが、金星や火星の見え方や視運動を定性的に理解させるためには大きな支障はないと判断した。ただし、円板Aが大きすぎると、公転に伴う惑星A、B間の距離の変化や天球上での見かけの動きの変化も小さくな

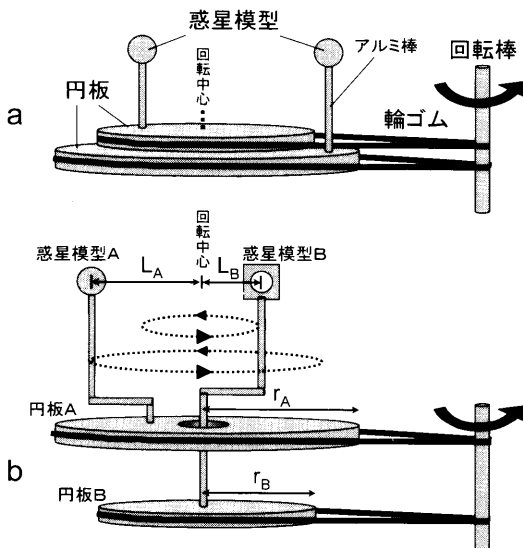
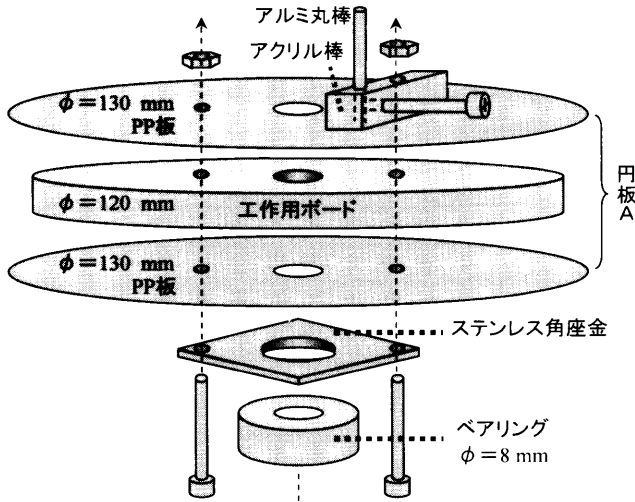
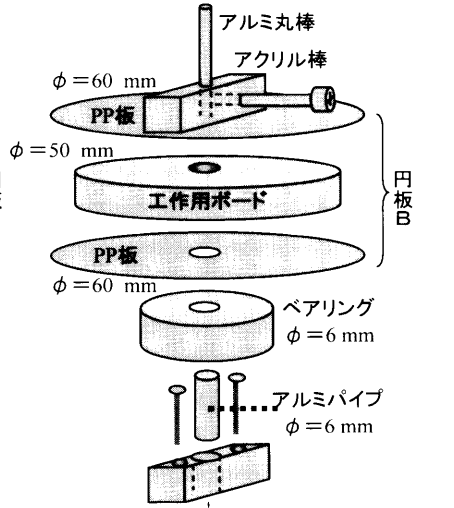


図1 本装置の概略

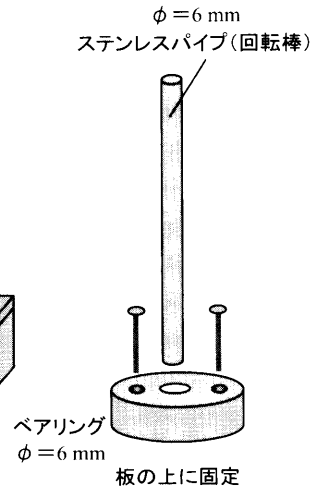
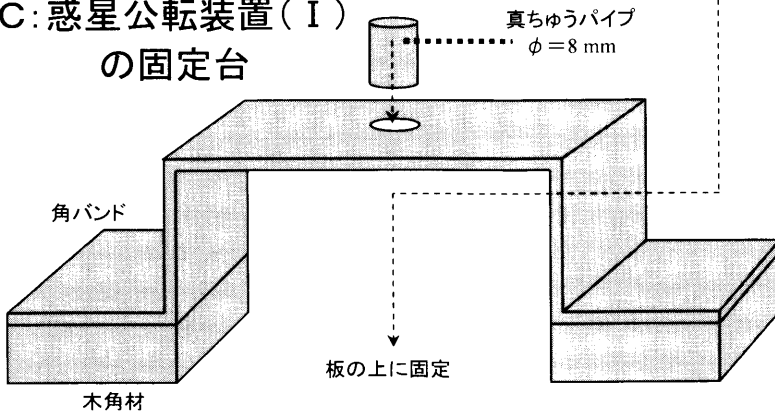
A: 惑星公転装置 (I)



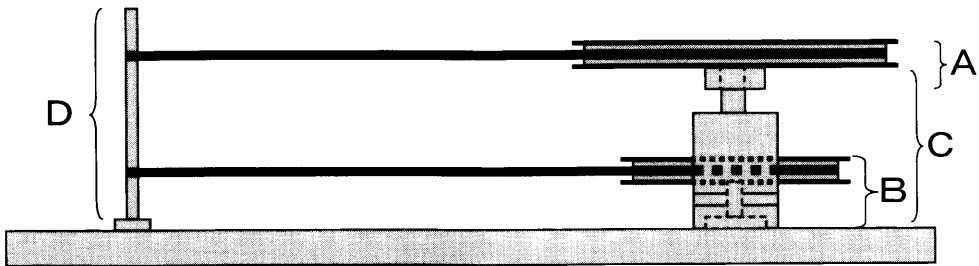
B: 惑星公転装置 (II)



C: 惑星公転装置 (I) の固定台



D: 惑星駆動装置



E: 装置の組み立て方法

図2 模型の作製方法

り、これらの変化を観察しにくくなる可能性が高い。

ケプラーの第3法則に従った惑星の公転を再現するためには、太陽の位置に相当する円板中心から各惑星の模型までの距離を求める必要がある。外惑星と地球の公転周期をそれぞれ P_A と P_B とすると、 $P_A:P_B=5:12$ となる。この公転周期を満たす回転軸からの各惑星の距離 L_A と L_B をケプラーの第3法則を用いて求めると、 $L_A^3/P_A^2=L_B^3/P_B^2$ より $L_A=1.8L_B$ となる。アルミ丸棒を円板に取り付ける際に、アルミ丸棒を $L_A=1.8L_B$ となるように加工して取り付ける。

(2) 教材の作製方法

ここでは、装置の各部分の具体的な作製方法を、図2に沿って説明する。

惑星公転装置(I) (図2A)

[材料]

1. 工作用ボード $\phi=120$ mm 厚さ 5 mm
2. PP (ポリプロピレン) 板
2枚 $\phi=130$ mm 厚さ 1 mm
3. アクリル棒 10×10×30 mm
4. ステンレス角座金 10 mm
5. ベアリング $\phi=8$ mm
6. アルミ丸棒 $\phi=3$ mm

工作用ボード ($\phi=120$ mm, 厚さ 5 mm) の上下に PP 板 ($\phi=130$ mm, 厚さ 1 mm) を接着剤で接着させ、円板 A とする。円板 A には 10 mm の穴をあけ、片面にステンレス角座金 (10 mm) をネジとボルトで固定する。ステンレス角座金にはベアリング ($\phi=8$ mm) をハンダで接着させてある。円板 A の片面にアクリル角材 (10×10×30 mm) を固定し、惑星の模型を乗せるアルミ丸棒 ($\phi=3$ mm) を差し込んで固定できるようにする。

惑星公転装置(II) (図2B)

[材料]

1. 工作用ボード $\phi=50$ mm 厚さ 5 mm
2. PP 板 2枚 $\phi=60$ mm 厚さ 1 mm
3. アクリル棒 2本 10×10×30 mm
4. アルミパイプ $\phi=6$ mm
5. ベアリング $\phi=6$ mm
6. アルミ丸棒 $\phi=3$ mm

工作用ボード ($\phi=50$ mm, 厚さ 5 mm) の上下に PP 板 ($\phi=60$ mm, 厚さ 1 mm) を接着剤で接着させ、円板 B とする。円板 B には 10 mm の穴をあけ、片面にベアリング ($\phi=6$ mm) を接着剤で接着させる。円板 B の片面にアクリル棒 (10×10×30 mm) を接着剤

で固定する。惑星を乗せるアルミ丸棒 ($\phi=3$ mm) をアクリル棒に差し込んで固定できるようにする。円板を固定するアクリル棒 (10×10×30 mm) に穴 ($\phi=6$ mm) をあけ、アルミパイプ ($\phi=6$ mm) を差し込んで接着剤で固定する。アクリル棒を板上に固定し、アルミパイプに円板を差し込む。

惑星公転装置(I)の固定台 (図2C)

[材料]

1. 角バンド No. 7
2. 木角材 2枚 15×20×10 mm
3. 真ちゅうパイプ $\phi=8$ mm 長さ 15 mm

角バンドに $\phi=8$ mm の穴をあけ、真ちゅうパイプ ($\phi=8$ mm, 長さ 15 mm) を通し接着剤で固定する。図のように木の角材を挟んで角バンドを板上に固定する。角バンドに接着させた真ちゅうパイプに惑星公転装置(I)を差し込む。

惑星駆動装置 (図2D)

[材料]

ステンレスパイプ $\phi=6$ mm 長さ 100 mm
ベアリング $\phi=6$ mm

ベアリング ($\phi=6$ mm) にステンレスパイプを通し接着剤で固定する。ベアリングを、円板回転軸から 20 cm 程度離れた位置にネジで板上に固定する。

最後に、円板 A, B に輪ゴムを通し、惑星駆動装置のステンレスパイプ (回転棒) にかける (図2E)。部品を組み立てる際には、円板 A と B の回転中心軸が上から見て重なるように注意して板上に固定する。

円板の上には、目盛環のついた板を目盛環の中心が円板の回転軸と重なるようにかぶせ装置を完成させる (図3)。目盛環には 15° ごとに 1~24 まで数字がふつてある (図4C)。模型は 9 台作製した。模型 1 台を作

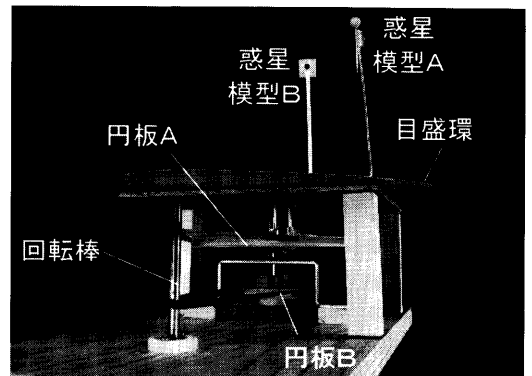
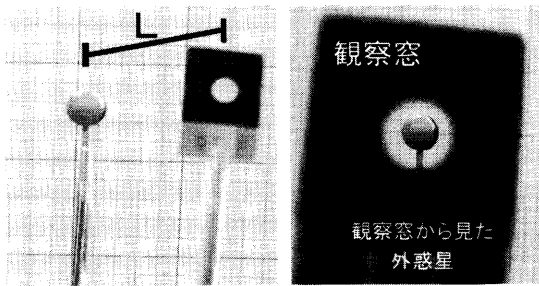
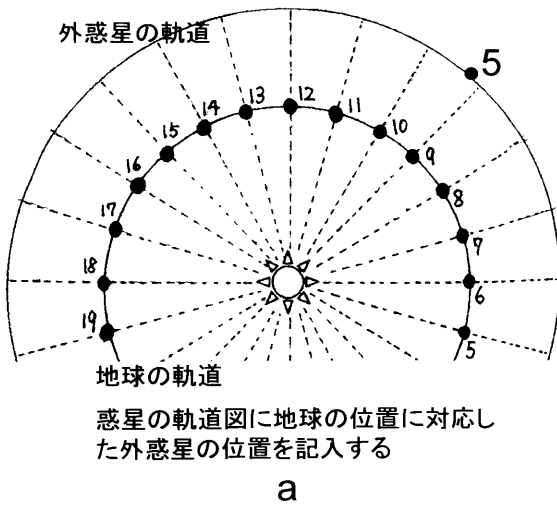
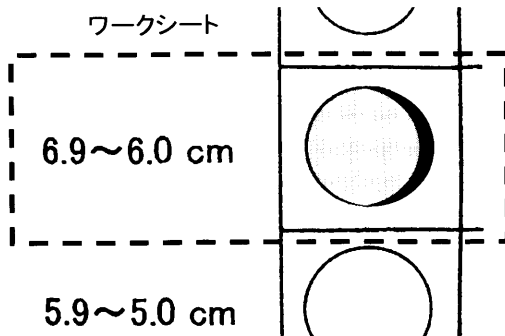


図3 完成した模型

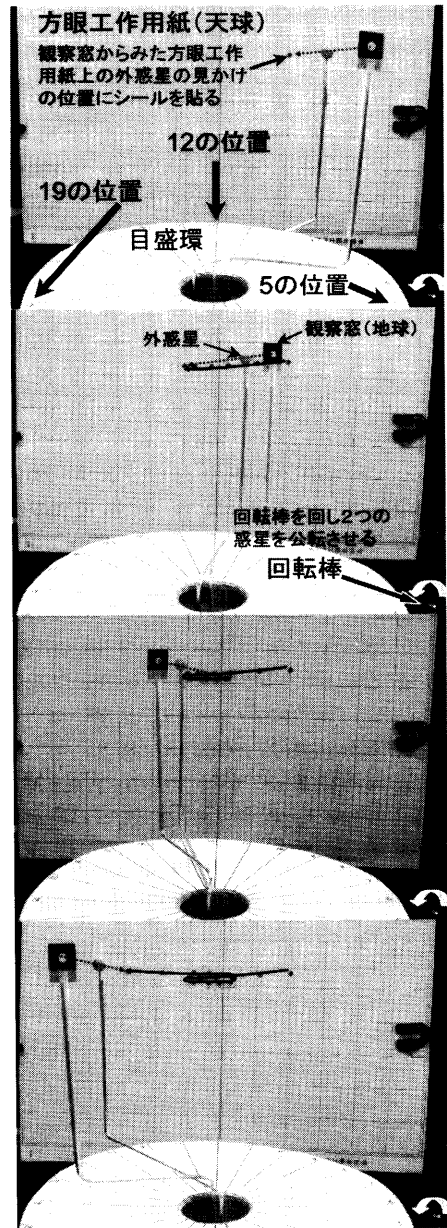


外惑星と地球の距離を測定する



観察窓から見た外惑星のスケッチを距離に応じて大きさを変えた円形の枠に描く

b



観察窓(地球)から見た方眼工作用紙(天球)上の外惑星の見かけの位置にシールを貼る

c

図4 実習の手順

製するのに必要な費用は約 1,000 円程度であった。

また、9 台の模型の作製には 1 日を要した。作製時間を短縮するために、部品ごとに作製台数分をまとめ

て作製するようにした。

(3) 教材の操作方法

外惑星の衝を挟んだ時期における外惑星の見え方と

天球上での動きを調べる手順について説明する。

天球座標を模擬した方眼工作用紙を実験装置の後ろに置く。地球（観察窓）と外惑星がそれぞれ12の位置（衝の位置）にくるように惑星の位置を調節する。

手順1: 回転棒を戻して地球を5の位置に戻す。このときの外惑星の位置をワークシートに記入する（図4a）。

手順2: 地球と外惑星の距離を測定する。距離に対応して大きさを変えた円形の枠に観察窓から見た外惑星の見え方をスケッチする（図4b）。

例えば、図4bで地球と外惑星の距離(L)が $L=6.5\text{ cm}$ であったとすると、 $6.9\sim 6.0\text{ cm}$ 用の枠に惑星像をスケッチする。測定がすべて完了したら、スケッチを切り取りワークシートに貼りつける。

手順3: 地球から見た外惑星を観察し、外惑星が見える方眼用紙上の位置に地球の位置を示す番号を書き込んだシールを貼る（図4c）。方眼紙にすべてのシールが貼り終わったら、結果をワークシートに書き写す。

回転ハンドルを回して地球を6の位置にして、手順1～3の操作を繰り返す。地球が19の位置になるまで同様の操作を繰り返す。

観察窓から見た外惑星の見かけの大きさを測定する

のは困難である。このため、手順2にあるように惑星間の距離を10段階に分け、距離に対応して大きさを変えた円形の枠に観察した惑星像をスケッチさせ半定量的に見かけの大きさの変化を調べられるようにした。このように、惑星の見かけの大きさの変化を半定量的に調べられるようにした点も本教育実践の大きな特長である。

3. 教育実践

(1) 授業実践

対象は、筆者の勤務校である獨協埼玉中学校の第3学年で、5クラス計170名を平成19年5月14・15・17日に理科の時間を利用して実施した。

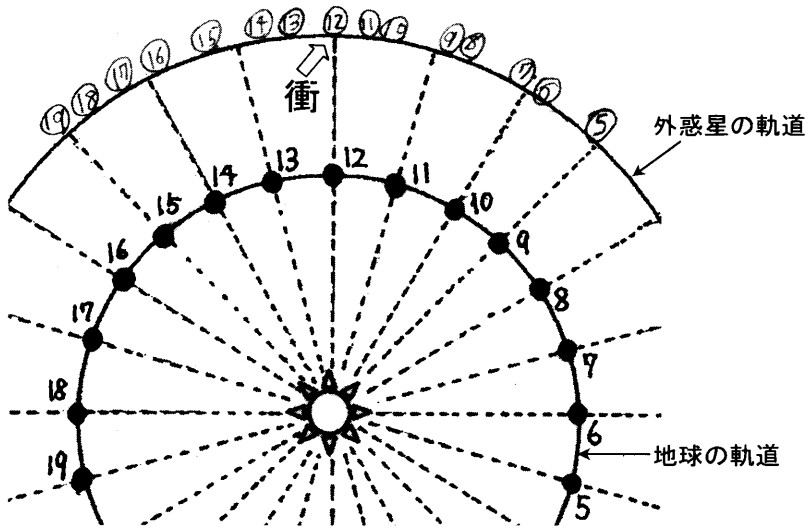
筆者の勤務校の中学3年生は、「宇宙と地球」の単元で、まず太陽系の起源や天体について学習し、その後惑星の見え方や動きについて学習する（表1）。

太陽系の起源では、星間ガスと星間塵からなる星間分子雲が収縮して原始太陽系星雲が形成されることや、原始太陽系星雲の中で星間塵から微惑星や惑星が形成される過程について学習する。太陽系の天体については、スライドを用いて地球型惑星と木星型惑星やカイパーベルト天体などについて学習する。

惑星の見え方や天球上の動きについては、学習指導要領で記されているように（文部省、1999）、中学校で金星の学習をおこない、高等学校でケプラーの法則

表1 学習活動の内容

時数	指導内容	備考	
	[1学期前半] 地球と宇宙 太陽系の天体		
2	1. 太陽系の起源	星間塵、原始太陽系星雲 彗星・小惑星・隕石	
2	2. 惑星の姿	地球・木星型惑星 カイパーベルト天体	ビデオ・スライド学習を通して最先端の惑星科学に触れる
1	3. ケプラーの法則	第1～第3法則	本実験装置を使ったケプラーの第3法則の演示実験 問題演習
2	4. 内惑星の見え方と動き	内惑星の見え方、合、最大離角 明けの明星・よいの明星	本実験装置を用いて内惑星の見え方を学習
2	5. 外惑星の見え方と動き(本装置を用いた実習)		
(1)	10分:プリントの配布、実習の手順の説明 実習の手順の説明(手順1～3) 25分:実習 …教師による班の間の巡視と補足説明 10分:実習プリントの完成 5分:片付け		
(1)		外惑星の見え方、衝、合、留	実験の解説と外惑星の見え方と天球上の動きのまとめ
3	6. 太陽の姿	構造、核融合反応、大気、黒点 日食・月食	天体望遠鏡の使い方 投影法を用いた太陽黒点の観察

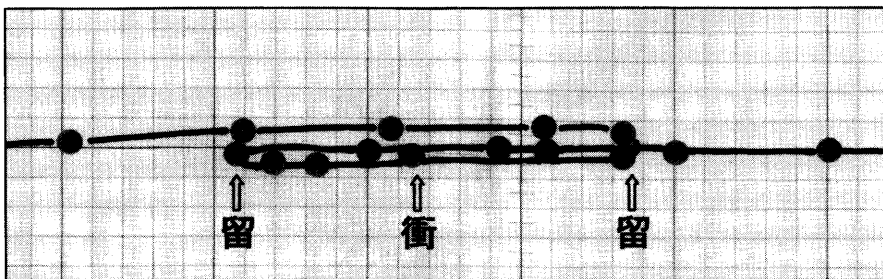


a 外惑星と地球の位置関係

地球の位置	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
距離 cm	13.5	11.0	10	8.5	7.0	6.5	6.2
地球から見た外惑星の形							
	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱
	6.0	7.2	7.0	8.0	9.0	10.5	12.0

衝

b 外惑星の見え方の変化



c 外惑星の天球上の動き

図5 生徒の実習例

や火星の逆行などを学習するのが一般的である。しかし、筆者の勤務校では以下の理由により、ケプラーの法則や外惑星の見かけの動きなど、高等学校で学習す

る内容を中学校での学習に積極的に取り入れている：
1) ケプラーの第三法則を理解するために必要な生徒の数学的準備ができており、惑星の見え方や動き変化

の原因となる惑星ごとの公転周期の違いをケプラーの第三法則を用いて理解させることが可能であると判断したため、2)理科の授業時間数を公立中学校よりも多く確保でき、高等学校で学習する内容の一部を取り入れる時間的なゆとりがあったため、3)高等学校で地学Iを履修する生徒はごくわずかであり、高等学校で学習する内容であっても中学生が理解できそうな内容であれば、積極的に授業に取り入れていきたいという授業担当者の思いがあったため、4)筆者の勤務校では、内惑星の見え方を小学校のときに塾等で学習している生徒が多く、中学校ではより高度な内容を学習したいという生徒の要求が高いため、5)生徒が内惑星の天球上での動きを観察しようとしても薄明中で星座を確認するのが困難な場合が多い。さらに、内合に近づくと内惑星はほとんど観測することができなくなるうえに、夕方と明け方にまたがって観察することになる。その点外惑星の場合は天球上の動きの観察は継続がしやすく、惑星の天球上での動きを調べるには内惑星よりも外惑星のほうが適していると考えたため。

惑星の見え方や動きについては、はじめにケプラーの第3法則を学習した。本装置を用いた演示実験を行い、内側の軌道を公転する惑星のほうが外側を公転する惑星よりも公転周期が短いことを視覚的に理解させた。そして、惑星ごとの公転周期の違いが、惑星の見え方や動きの変化の原因となっていることを理解させ、ケプラーの第3法則の説明を行った。その際、模型では惑星は円軌道に沿って公転しているが、実際の惑星は楕円軌道に沿って公転する(ケプラーの第1法則)ことを説明し、演示実験に用いた装置は円軌道をもつ二つの惑星のケプラーの第3法則に基づく公転運動を再現しているにすぎないことを説明した。また、地球の軌道は離心率が小さく円軌道に近いが、火星は比較的離心率の大きい楕円軌道をとるため、火星の大接近や小接近が起こることについても触れた。第2法則についてはごく簡単に内容を説明するとどめた。ケプラーの第3法則を学習した後に、ケプラーの第3法則を用いて惑星の公転周期や軌道半径を求める演習問題を行った。

内惑星のみかけの動きの学習では、本装置を用いて内惑星の見え方を調べる実習を行った。地球側の輪ゴムを外して地球を固定し、回転棒を回して内惑星のみを動かし、地球から見た内惑星の大きさの変化、満ち欠けを観察した。この実習により、内惑星は月のように満ち欠けをすること、満月状に見えるときに内惑星

が最も小さく見えることを理解させた。この実習を踏まえ、授業で太陽・内惑星・地球の位置関係と内惑星の見え方についてまとめ、宵の明星や明けの明星、東方・西方最大離角などについて学習した。

以上の学習を終えた後に、本装置を用いて外惑星の見え方と天球上での動きを調べさせる授業実践を行った(表1)。実習には1時間を充てた。生徒3~4名を1班として九つのグループに分け、作業を行わせた。

(2) 生徒の反応と評価

図5に、生徒の実習例を示す。ほぼ全員の生徒がこの作例程度の内容に仕上げていた。外惑星はほとんど満ち欠けをしないこと、地球と外惑星が最も近づく衝の位置で外惑星が最も大きく満月状に見えること、順行→逆行→順行の動き、留と留の間の位置で衝となること、留の前後では惑星のみかけの動きの変化が小さくなることなどを確認することができた。短い時間の中で外惑星の見え方や天球上の動きについて多くのことを学習することができた。

「途中で外惑星が反対方向に動き出して驚いた」という感想が最も多く、なぜこのような動きをするのか不思議に感じた生徒が多かったようである。実習に失敗した班はなかったが、実習の途中で方眼用紙を固定しているスタンドを動かしてしまい、実習をやり直した班もあった。外惑星の見え方や天球上での動きの説明は、本実習後に行ったので、生徒は外惑星の見え方や天球上での動きを全く知らない状態で実習に臨んだ。このため、「惑星が満ち欠けをしないので不安に思った」「惑星が逆方向に動いたので実験に失敗したかと思った」という感想が多く、実習中にも同様の質



図6 実習の様子

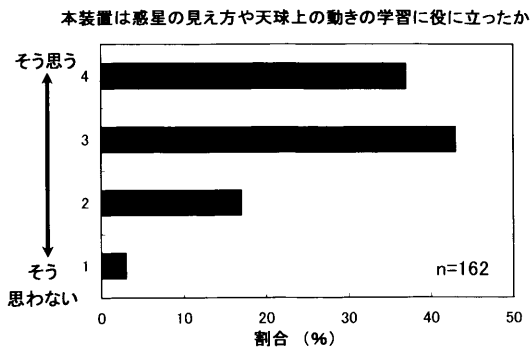


図7 授業アンケートの結果

問が多数あがった。はじめに授業で外惑星の見え方と天球上での惑星の動きについて説明したほうが、もっと円滑に実習を行うことができたかもしれない。また、「皆で協力して作業ができた楽しかった」という感想も多く、グループ内で役割を決め、楽しみながら協力して外惑星の見え方や動きを学習することができたようである(図6)。

また、実習の終わりに本装置が外惑星の見え方と動きを理解するうえで役に立ったかどうかを4段階で問うアンケート調査を170名の生徒を対象に行った。その結果、回答のあった162名のうち80%以上の生徒が3以上の評価をつけており、おおむね良好な結果が得られた(図7)。

4. おわりに

本研究では、中学生を対象に外惑星の見え方や天球上の動きを理解するための教材を開発した。作製した装置を用いて教育実践を行ったところ、中学生が楽し

く外惑星の見え方や天球上での動きの変化について学習することができた。開発した装置は、内惑星の見え方の実習にも使え、さらにケプラーの第3法則や会合周期を学習する際の演習実験教材としても使用できるなど、さまざまな場面で有効的に利用できる。

今回作製した教材は、前述のとおりケプラーの第3法則に基づく二つの惑星の公転のみを再現したものにすぎないが、今後はケプラーの第1・2法則を再現できるよう、教材に改良を加えていきたい。

惑星間の距離に対応して大きさを変えた円形の枠に惑星像をスケッチする方法は、簡単に見かけの大きさや見え方の変化を調べることができる方法である。しかし、今回はスケッチを切り取ってワークシートに貼るという少し面倒な方法を採用したため、この作業に時間がかかった。シールに円形のスケール枠を印刷しておき、これに惑星の見え方をスケッチしてワークシートに貼れるようにすれば、効率良く実習が進められると考えられる。今後はこの点も改良していきたい。

引用文献

- 鎌田正裕・鷹西智子(2007): 地球上からの金星の見え方と金星・太陽・地球の位置関係を同時に表現できるペーパークラフト教材。地学教育, 60, 161-169.
- 杉本 智(2005): 天文学習のための自作教具。平成17年東レ理科教育賞作品集,
http://www.toray.co.jp/tsf/rika/pdf/rik_087.pdf
- 星野由佳(2007): 二次元で表示されたものを三次元でとらえるには, 理科の教育, 56(7), 45-47.
- 文部省(1999): 中学校学習指導要領解説—理科—。大日本図書, 東京, 89 p.

中野英之: 外惑星の位相変化と視運動を理解するための教材の開発 地学教育第61巻2号, 49-57, 2008

〔キーワード〕 中学校理科, 外惑星, 公転, 見かけの動き

〔要旨〕 本研究では、中学生を対象に、外惑星の見かけの動きを理解するための教材の開発を行った。教材は、惑星の模型と地球に見立てた観察窓を載せた2枚の半径の異なる円板と回転棒を輪ゴムで連結させて作製したものであり、二つの惑星の異なる公転周期を回転棒を回すだけで再現することができる。作製した装置を用いて、外惑星の位相や見かけの大きさ、天球上での惑星の動きを観察する教育実践を行った。実践の結果、本教材を用いて中学生が楽しく惑星の位相や大きさの変化、天球上での見かけの動きを学習することができた。

Hideyuki NAKANO: Development of Teaching Material for Presenting Concepts of Phase Change and Apparent Movement of a Superior Planet. *Educat. Earth Sci.*, 61(2), 49-57, 2008

本の紹介

佐々木晶 監訳・訳 米澤千夏 訳 【図説】科学の百科事典 7 「地球と惑星探査」 朝倉書店 A4 変判、177 頁、2008 年 2 月初版、6,500 円（税別）ISBN 978-4-254-10627-5

全 7 巻からなる、【図説】科学の百科事典の第 7 巻である。このシリーズには、他に、「動物と植物」、「環境と生態」、「進化と遺伝」、「化学の世界」、「物質とエネルギー」、「星と原子」の 6 巻がある。New Encyclopedia of Science の Earth and Other Planets: Geology and Space Research (Oxford Univ. Press 出版) が原書で、鮮やかな図版が多用されており地球惑星科学の資料集的要素を兼ね備える図鑑という印象を受ける。原書が出版されたのがイギリスなので、震度など日本の指標と異なるものもあるが、注釈などで対応している（本文では、震度ではなく、リヒター・スケールが用いられている）。

本書の構成は以下のとおりである。

- ・序：現代科学の主要分野、歴史年表
- 1 宇宙から：宇宙の構成要素、太陽系以前、太陽、惑星の集積、大小さまざまな惑星
- 2 太陽の家族：惑星とその軌道、地球と月、内惑星、火星に生命は存在するか、遠い仲間、外惑星の衛星、小天体、外縁部を超えて
- 3 熱エンジン：惑星は熱くなる、中心核の形成、元素の分別、磁場、大気はどのように進化したのか、内部の時計
- 4 躍動する惑星：最初の地殻、マグマの上昇、火山、地震波、現在の大気、地球の海洋、初期の大陸、氷河時代、
- 5 地理的なジグソーパズル：安定帯と変動帯、さまよえる大地、プレートとプレューム、海洋底の下部にあるもの、島弧、海から生まれた山脈、大地溝帯
- 6 変わりゆく地球：無から永遠へ、川のはたらき、海岸と海洋、砂漠と風、氷河と氷
- 7 はじまりとおわり：地球上の生命、ガイア仮説、自然災害、ハリケーンと竜巻、小惑星の驚異、人類は地球をあとにする、地球と惑星科学の物語
- ・用語解説
- ・資料

本書の特徴として、①図版が大きく、各トピックの理解を促すための図が多用されている、②最新のデータが用いられている、③巻末の用語解説と資料の充実の 3 点を挙げることができよう。

- ①図版が大きく、各トピックの理解を促すための図が多用されている

地球上で生じるさまざまな現象には、ミクロ的なものからマクロ的なもの、また日常からかけ離れたタイムスケールのもなど、紙面という二次元の媒体では伝えるにくいものが少なくない。また、一つの現象を理解するために多くの知識が不可欠な場合が少なくない。しかし、本書では、写真やグラフなど資料性の高い図の他に、さまざまな現象を図を用いて説明している。これらの図は、複雑な現象を図解することで直感的に理解できるよう工夫されている。また、これらの図を深く理解するために必要な文字情報は、それぞれの図に添えられた文中でも触れられているが、さらに、詳しく知りたい場合は巻末の用語解説と資料を利用することができる。このように、図、本文、用語解説・資料の 3 段階構成になっていることも本書の特徴といえる。

また、写真・図が大きくカラフルなので、授業などの機会に書画カメラ等を用いて資料として提示するのにも適している。

- ②最新のデータが用いられている

地球惑星科学の分野では、新しい観測技術の開発や、それに伴う新発見により既存概念が大きく変わることが多々ある。本書は、特に宇宙分野の資料（写真、数値）には、火星の地表面の画像など最近の観測に基づく資料が多用されている。近年、web で同様の画像を容易に入手できるようになっているが、本書のように解説が添えられていることにより、授業等での使い勝手が大幅に増すと思われる。

原書が出版されたのは 2003 年だが、冥王星の惑星からの除外などの 2003 年以降の新情報は翻訳の際に、加筆・修正することで対応している。

- ③巻末の用語解説と資料の充実

巻末には、本文に関係する用語解説（五十音順の用語集）が添えられている。この分野で頻出する語句、最近目にする機会が増えてきている語句などが並んでいるので、事典としても活用できる。また、資料には、地球惑星科学の分野で用いる、単位や天体に関する数値、鉱物の組成、宇宙探査の歴史などがある。いずれの資料も、本文を読み解くために“あると便利”なものである。

百科事典の 1 冊ということもあり、網羅的ではあるが、各トピックに高校の教科書よりも一歩踏み込んだ解説が添えられている。各トピックをじっくり読むと高度な内容まで踏み込んでいるが、分かりやすく大きな図を多用しているので、興味を持ってページをめくれば、高校生に限らず、小学生、中学生でもある程度の内容は理解できるのではないと思われる。小・中・高校の図書室の蔵書としてお勧めしたい 1 冊である。
(小荒井千人)

地学の探究的な活動の指導力を 育成する教員研修プログラムの開発 —岩石・地層に関する一連のモデル実験を取り入れて—

The Development of a Teacher's Training Program to Foster the Practical Ability
to Guide Inquiry-based Activities on Earth Science through
a Series of Model Experiments for the Rock Cycle

五島政一*・後藤史朗**

Masakazu GOTO and Shiro GOTO

Abstract: There are a many teachers' training programs for Earth Science but the contents and methods employed by each are different in their objectives. We have developed a new program in which teachers experience and inquire about one of a series of model experiments for the rock cycle. Teachers have the opportunity to guide the experiments with each other and to discuss how to use the experiments effectively in their class lessons. It is shown that the program can increase students' inquiry-based work and scientific thinking, and also that teachers can foster the practical ability to apply their knowledge and skills for the class. The contents and methods were arranged for the objectives of the program and the pattern table of the teacher's training program was summarized.

Key words: teacher training, model experiment, rock cycle, inquiry-based learning, earth science

1. はじめに

現行の小学校・中学校・高等学校の学習指導要領解説理科編(文部省, 1999a, b, c)の基本方針では、「生きる力」を育成するために、「児童生徒が知的好奇心や探究心をもって、自然に親しみ、目的意識を持った観察、実験を行う」というように、学習への内発的な動機づけを大切に、目的意識をもった主体的・意図的な「観察・実験」を行うことが強調されている。さらに、中学校と高等学校では「問題解決能力や多面的、総合的な見方を培うこと」として自ら課題を発見し、試行錯誤しながら自ら学び、自ら考える力を育成するために、探究的な学習がよりいっそう重視されてい

る。

地学事象を正確にとらえるには、フィールドワークは必須の条件であり(恩藤, 1976)、地学教育は、観察や実験などを中心とした自然を調べる過程を重視して行われるべきである(下野, 1987)など、地学における野外学習、観察や実験の大切さは以前から認識されている。しかし、「教員養成上の諸問題の一つとして、小中学校の教員は、地学に関する実験・観察をほとんど経験していない(関, 1976)」など義務教育段階での地学の実験・観察に関する指導力不足について懸念されている。

地学の学習は、再現の困難なものが多く実験を行って調べることができない(柿谷ほか, 1978)と地学教

育を展開するうえでの課題が指摘されている。

また、国立教育政策研究所が実施した平成17年度高等学校教育課程実施状況調査(理科・地学I)によると、地学の内容は、他の理科の内容に比べて、生徒にとって比較的興味ある内容であるが、その指導は理解しやすく魅力あるものとなっておらず、観察・実験についてもあまり行われていない現状にある(国立教育政策研究所, 2007)。

これらの課題に対処する方法として、モデル実験は一つの有効な方法であると考えられる。なぜなら、モデル実験は、①そのやり方の工夫により探究的な学習を展開しやすい、②簡単な道具で行うことで地学を専門としていない教員でも容易にできる、③再現の困難な地学現象を擬似的に示せる、④生徒の興味・関心を深めたり概念形成に有効である(吉田・加藤, 2005)などの特徴を有しているからである。

2002年7月に国立教育政策研究所において、生徒の興味・関心を深め、探究的な学習を支援する一連の岩石サイクルに関するモデル実験を紹介することと、それらを利用して探究的な授業を展開できる指導力を育成することを目的とした教員研修プログラムを実施した。ここではモデル実験に関する研修プログラムの内容とその効果について検討したので報告する。

2. モデル実験に関する先行研究について

これまで「岩石・地層」分野のモデル実験として、「高校地学における堆積実験のモデル実験の開発」(松原, 2006)、「流水の作用の定量的実験を行い自然界の平衡関係を確認する」(全国理科教育センター研究協議会, 1973)、「チョコレートとココアを使ったカルデラ形成のアナログ実験」(林ほか, 2004)、「コンデンスミルクでカルデラ実験」(林, 2006)、「続・教室でできる地学実験: ココアと小麦粉で断層を作ろう」(岡本, 1999)、「噴火モデル実験」, 「サルチル酸フェニルを使って結晶の生成過程を観察する」, 「水を流して水の流れ方と地面の変わり方を調べる」(歌代・海野, 1982a, b, c)などが報告されている。林ほか(2004)は、モデル実験の教育上の意義について、「生徒の自由な発想に基づいてさまざまなパラメータの変更が可能であり、生徒の思考力や柔軟性を高める可能性がある」と述べている。

モデル実験を行った授業実践では、「ガラス器具を使っての地層作りや液状化の再現のモデル実験」(布施, 1997)、「地層堆積モデル実験装置の製作を取り入

れた中学校理科授業」(村上, 2004)、「火山の噴火モデルを実験を利用した授業」(吉田・加藤, 2005)などの先行研究がある。これらの成果として、生徒の興味・関心を深める、概念形成に有効である、理解を深めるなどの効果が報告されている。ただし、これらは独立した実験を授業で行った場合の報告であり、単元全体にわたって一連のモデル実験を行った授業では、どのような効果が見られるかについての研究報告はない。

3. 教員研修プログラムの目的と方針について

教員研修プログラムは、その目的、参加者の人数、時間に応じて、いろいろな方法で行われるが、その内容により研修の効果に大きな差が出ることは明らかである。教員研修のプログラムの目的は、知識を身に付けるもの、技能を身に付けるもの、そして実践力を身に付けるものなどに分類することができる。筆者の一人は今まで多数の教員研修を行い、研修プログラムの効果について研究を行ってきた(五島, 2003, 2005)。

研修参加者が学校現場に戻って、研修で学んだことを実践できる可能性を高めるためには、研修のプログラムで知識や技能を身に付けるだけでなく、研修者自身が他の研修者や生徒などに実践・指導する機会を設けることや研修で使用した道具や教材を持ち帰れるようにする工夫が必要である。

実験に関する研修会の方法は、指導者主体の演示実験を見せる研修と参加者主体の実験を体験する研修が考えられる。また、参加者が実験を単に体験するもの、および、行った実験を他の参加者の前で演示し指導するものが考えられる。後者のほうがより研修中に主体的に実験を行う動機づけになる。いかにして参加者の主体性を高める内容でプログラムを構成するかが大切であり、それはプログラムの効果を左右する。

これまでの経験に基づき、研修プログラムの目的(知識の修得、技能の修得、実践力(指導力)の修得など)に応じて、研修の内容を分類し、類型表(表1)にまとめた。本研究で紹介する教員研修プログラムの詳細については次の4章で述べるが、これは、タイプDとタイプEの中間に位置するものである。

研修プログラムは、「岩石・地層」の単元に関して一連のモデル実験を紹介することと、それらを利用して探究的な授業を展開する実践力を育成することを目的とし、次のように内容を工夫し半日で収まるように構成した。

表1 モデル実験に関する研修プログラムの目的(タイプ)と内容・方法の類型表

	教員研修の目的			研修プログラムの内容と方法
	知識の修得	技能の修得	実践力(指導力)の修得	
プログラムのタイプ	A	○※		実験に関する理論や説明
	B	○	○	理論や説明+演示実験の見学
	C	○	○※	理論や説明+実験の体験(+演示実験の見学)
	D	○	○	理論や説明(+演示実験の見学)+実験の体験+実演指導
	E	○	○	理論や説明(+演示実験の見学)+実験の体験+実演指導+授業案やカリキュラムの作成

タイプA：モデル実験に関する知識を主として身に付ける研修
 タイプB：モデル実験に関する知識を身に付け、技能も少し身に付ける研修
 タイプC：モデル実験に関する知識を身に付け、主として技能を身に付ける研修
 タイプD：モデル実験に関する知識、技能、実践力を身に付ける研修
 タイプE：モデル実験に関する知識、技能を身に付け、主として実践力を身に付ける研修
 (※は研修プログラムの目的において重点を置くことを示す。)

- (a) 最初に短時間で研修プログラムの目的と内容の説明を聴講する。
- (b) 探究的に行えるように内容を構成されたモデル実験を行う。実物や野外のフィールドの露頭の写真を示し、実体験に近づける。
- (c) 体験したモデル実験を他の参加者に演示し指導を行い、また、授業での利用の仕方や指導法の提案を行う。
- (d) モデル実験と関連する地学事象を野外で発見する。
- (e) 最後にモデル実験の内容と利用方法についての全体討論を行い、知識・技能・実践の仕方を共有する。

半日という時間制限があるので、参加者を9グループに分け、各グループが一つの実験をじっくり行い、かつ、各グループの参加者が他の参加者に担当した実験を指導する機会を作ることで、短時間で9種類の実験を共有可能にした。

4. 岩石サイクルのモデル実験に関する教員研修プログラムの内容と方法について

モデル実験の多くは、The Dynamic Rock Cycle (The Earth Science Education Unit, 2002)を参考にして、内容や方法について一部修正したものである。本研修プログラムには、小学校教員6名、中学校教

員14名、高等学校教員8名、大学などその他3名で合計31名が参加した。研修プログラムの内容や方法は以下のとおりである。

(a) 教員研修プログラムの目的と内容の説明(30分)

OHPやコンピュータプロジェクターを利用して指導者(クリス・キングと五島政一)がプログラムの目的、岩石サイクル(図1)とそれに関するモデル実験の内容とやり方について説明する。

(b) 活動(45分)

参加者は3~5人単位の九つのグループに分けられ、実験解説書を参考に1種類の実験を探究的にじっくり行う。さらに、授業でのモデル実験の活用法、モデル実験で探究的な学習を展開する場合の工夫などについてグループで考える。

(c) 共有(90分)

グループの参加者が担当した実験を他の参加者に演示して教え合うことで、全員がすべてのモデル実験の内容、方法、授業での利用の仕方などについて共有する。特に生徒の探究的な学習としてモデル実験を利用する際の注意点について説明する。

(d) 野外観察(30分)

プログラムの開催場所周辺で野外観察を行い、モデル実験(1)(2)(7)に関連した地学事象を観察し、身近な所にモデル実験と関連した現象が起こっていることを

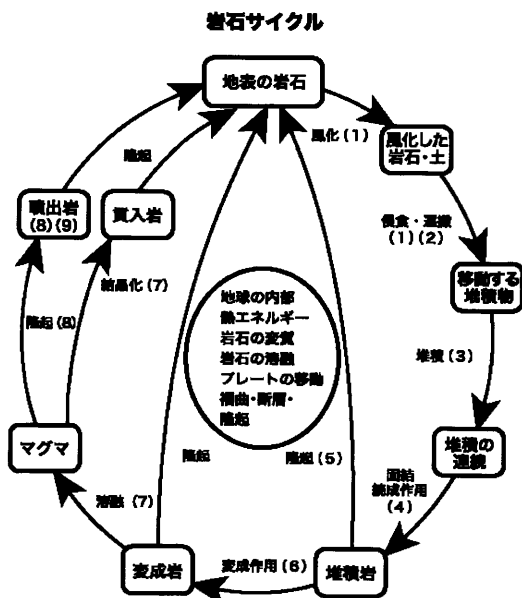


図1 岩石サイクル. Rock cycle (The Earth Science Education Unit, 2002) を基に改変. 図中の(数字)は, モデル実験の番号と対応している.



図2 野外における差別侵食の地層の例

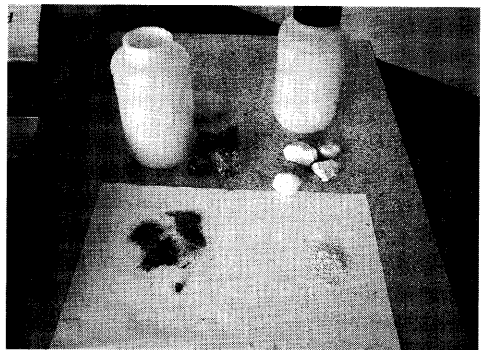


図3 モデル実験(1): 粉碎された岩石

理解し, 日常生活と地学事象を関連づける.

(e) 全体討議 (45分)

プログラムのモデル実験の内容, 授業への導入の仕方, 類似したモデル実験の紹介, 科学的思考力を育成するための工夫, 探究的な学習への利用の仕方などについて全体で討議する.

(f) まとめとアンケート (15分)

最後に指導者によるまとめを行い, 参加者はアンケート用紙にプログラムの評価や感想を記入する.

今回実施した岩石サイクルに関連した九つのモデル実験は以下のとおりである.

- (1) 岩石・地層の風化・侵食のモデル実験
- (2) 流水の作用「侵食, 運搬, 堆積」のモデル実験
- (3) リップルマークを作るモデル実験
- (4) 固結「堆積岩をつくる」のモデル実験
- (5) 隆起に関する断層のでき方のモデル実験
- (6) 化石の変形のモデル実験
- (7) 溶融と結晶化のモデル実験
- (8) 玄武岩質溶岩のハワイ式噴火のモデル実験
- (9) 溶岩の流れの速さに関するモデル実験

(1) 岩石・地層の風化・侵食のモデル実験

目的: 岩石や地層が異なった速さで風化・侵食されることを示し, それが地形に表れること(図2)を理解する.

準備するもの: もろい砂岩(約50g), 石灰岩(約50g), 花崗岩(約50g), 頁岩(約50g), 広口のプラスチック容器, ゴーグル, 上皿天秤または電子天秤, トレー, 0.5規定の塩酸

実験手順:

- ①岩石の小片をガスバーナーで熱した後, 水で急冷する. 岩石が壊れるまでこの過程を繰り返す. どの岩石が一番壊れやすいか, またこの現象は自然のどのような場所で起こっているか考える.
- ②それぞれの岩石を同じ大きさにして, それら四つを広口のプラスチック容器に入れて15秒間振る(図3). 容器に入れる前の岩石の質量と振った後, 小さくなった岩石の質量を比べる.
- ③プラスチック容器に水を入れ, ②と同様の実験を行い, 水の有無による風化・侵食の程度の違いを考察する.

④塩酸を岩石にかけて反応を調べる。

注意：塩酸を使用するときなど、安全ゴーグルを着用する。

実験解説：

①実験手順①～③は、物理的な風化・侵食作用のモデル実験である。実験①は、温度変化による差別的膨張で起こる破砕に相当し、実験②・③は、河川水による磨食に相当している。実際に野外で差別侵食により出っ張った場所とへこんだ場所の岩石を採取してモデル実験を行い、地層（岩石）の硬さと地形の形成との関連について考察すると効果的である。

②実験手順④は、化学的な侵食作用（溶食）のモデル実験である。石灰岩は、酸性の水溶液（自然界では、二酸化炭素を含んだ雨水など）に反応し溶けていく。野外で採取できる石灰岩をモデル実験に使うことにより、化学反応を生徒に身近な現象と感じさせることができ、日常生活と自然科学の現象を関連づけることになる。

(2) 流水の作用「侵食、運搬、堆積」のモデル実験

目的：樋の中に土砂を入れ、上方から水を流すことで、侵食、運搬、堆積の様子を観察する。

準備するもの：樋、砂、ゴムホース、水、バケツ、虫眼鏡、小石

実験手順：

①樋に土砂を詰め、上から一定の水を流すとき、水路に沿って侵食の起こっている場所で土砂がどのように運ばれるかなど注意深く観察する（図4）。

②砂が水路に沿って運ばれるとき、砂粒がどのように動いているか、虫眼鏡などを使い正確に観察する。

③土砂が堆積している場所を見る。堆積物の層は水平か傾いているか、樋の下方の水たまりにデルタが作ら

れる様子を観察する。

④水が樋下方からあふれ出るとき、何が起こるか観察する。

⑤数個の小石を水路においてその周りの流れを観察する。

⑥水の流れの速さや量を変えてみる。

⑦この実験を終えたら、実験でできた堆積物の場所に礫岩、砂岩、泥岩などを置き、堆積物と岩石の関連を理解する。

これは、水の量や速さ、小石の大きさや形など条件を変えることで探究的なモデル実験になる。アメリカ合衆国のコロラド州のジョン・エバンス中等学校では、コロラド川をモデルとした20mの長さの河川のモデル実験場を校庭に設置し、数カ月にわたって観測してデータを収集し探究的な学習を展開している（下野、1999）。

(3) リップルマークを作るモデル実験

目的：堆積岩に見られるリップルマークが水の動きによってできることを示す。地層のリップルマーク（図5）から当時の水流の様子を理解できる。

準備するもの：(A) ビーカー（1,000 mL用）、洗い砂（250 g）、スプーン、水、白い紙

(B) プラスチック水槽（40×20×20 cm）、洗い砂（250 g）、スプーン、水、白い紙

（注意）波や堆積物が観察しやすくなるよう白い紙を下に敷く。

実験手順：

A 一方向の流れによって作られる構造

①水を入れていない円形水槽の中央に水で満たしたビーカーを置き、円形の水路を作る。

②円形水槽に半分の水位まで水を入れる。砂を大きじ

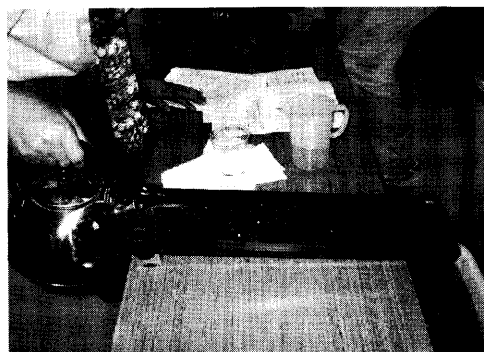


図4 モデル実験(2)：流水の作用のモデル実験装置



図5 リップルマークの観察できる地層の例

スプーン 2・3 杯分、円形の水路に均等に広がるように入れる。

③スプーンで水を回転させる。水流の速さをいろいろと変えてみる。中央のピーカーが動かないように注意する（水槽の横からリップルマークを観察する）。

④水流を作り、次の観察を行い、ノートに記録をする。

- (a) 砂が堆積する場所はどこか調べる。
- (b) リップルマークの頂上は、水平か、曲がっているか調べる。
- (c) リップルマークの傾斜は流れの方向の斜面で急であるか、それとも反対方向の斜面が急であるか調べる。
- (d) 非対称的リップルマークと呼ばれている堆積構造になっているかどうか調べる。また、それが一定方向の流れのときに、形成されているかどうか注意して調べる。
- (e) リップルマークの傾斜の形が、水流の方向を明らかにするために利用できるか調べる。

B 振動する波の動きでできる構造

①長方形の水槽に 7 cm の深さまで水を入れる。その水槽に砂を大きじ 2・3 杯入れ、砂を水槽の下に均等に広げる。

②水槽の片方を上げ下げして上下に揺らし、波を作る。水がこぼれないように注意する。約 30 秒間揺らしつづけた後に、次の観察を行いノートに記録を取る。

- (a) リップルマーク（図 6）の頂上がまっすぐか、曲がっているか調べる。
- (b) リップルマークの両側の斜面の角度や勾配に違いがあるか調べる。
- (c) 対称的リップルマークと呼ばれている堆積構



図 6 モデル実験 (3): 水槽にできたリップルマーク

造ができる。適度な速さの波が水槽で振動するときこれが形成されることを調べる。

実験解説: 地層中で観察されるリップルマークは、水の流れによって形成されたものと考えられている。対称的なリップルマークは、海や湖の波打ち際で形成され、非対称的なリップルマークは、川や海の水そして風などの一方向からの流れによって形成される。そして非対称的なリップルマークの斜面の傾斜の急な側が、水の流れの下流の方向であることをモデル実験で理解することができる。

水槽の水をかき回すと、らせん状の流れが水中で発達するため、砂は円形水槽の内側に堆積する。染色液を水面に落としてみると水の流れの方向を知ることができ、らせん状に流れていることが観察できる。最初に水槽の水をかきまぜ一定方向の水流を作り、砂が円形の水路のどこに堆積するか予想し、その理由を考える。その答えを演示するモデル実験として利用できる。

野外で観察することができるリップルマークは堆積物がどのような水流の環境で堆積したかの証拠を示していることを理解できる。

水流の速さや揺らし方の条件によって、砂の多様な堆積の仕方が見られるので探究的なモデル実験として適切である。

(4) 固結「堆積岩をつくる」のモデル実験

目的: 堆積岩の形成のシミュレーションとして、堆積岩の特性がその構成物や固結の程度によることを調べる。

準備するもの: ノズル側を切り落としたプラスチック注射器 (20 mL 用)、トレー、ゴーグル、プラスチックのカップとスプーン、洗い砂 (250 g)、粉状の粘土 (10 g)、焼石膏 (10 g)、砂岩、水、0.5 規定の塩酸、ペレットの強さを測定する道具、ベアリング

注意: 消石灰を使用後、流しに流さないこと

実験手順:

- ①ノズルの側を切りとった注射器に湿った砂を入れる。
- ②切りとった注射器のところに指を当て、強く注射器のピストンを押す（図 7）。
- ③紙の上に注射器から出したペレット A（堆積岩に相当するもの）を紙の上におく（図 8）。
- ④湿った砂と粘土を 3:1 に混ぜる。
- ⑤砂の代わりに、砂と粘土を混ぜたもので上の操作を行い、ペレット B を作る。

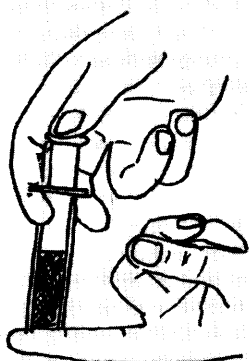


図7 モデル実験(4): 注射器によるペレット作成の様子

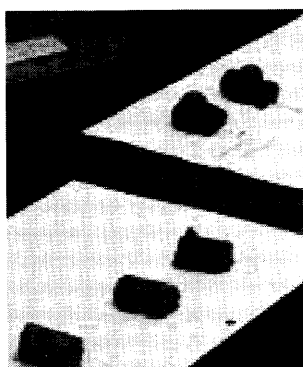


図8 モデル実験(4): 注射器から出されたペレット

⑥次に湿った砂と消石灰を1:5に混ぜたもので上の操作を行い、ペレットCを作る。

⑦それらのペレットを乾燥させる。

⑧ペレットの中で最も固く岩石に近いものはどれか。最も岩石に近いものを証明する証拠を示す実験を企画する。

⑨ベアリングをペレットに落として、強度を調べる実験をする。

⑩実験結果が予想を支持するものか確認する。もう一度実験を行うならば、実験をどのように改良できるか考える。

⑪圧力が砂から擬似的な砂岩を作るのに十分であったか、また何か他の原因が砂粒をしっかりとくっつける原因となるかを考察する。

⑫以上行った実験の条件を変えて、堆積物が固化する要素を調べる。

実験解説: 堆積物が岩石となるためには、長い時間をかけて堆積物が圧密・膠(コウ)結・再結晶などによ

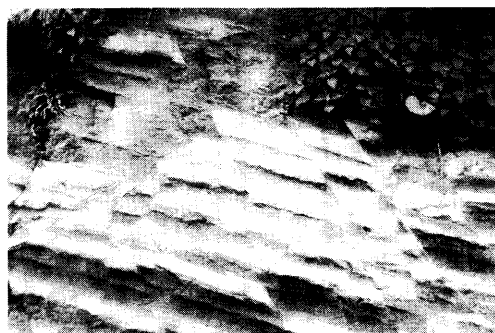


図9 逆断層の路頭の例

て固結することが必要である(続成作用)。しかし、ここで取り上げた短時間で行うモデル実験では、堆積物の固結の程度(堆積岩の硬さ)に影響を与えている要因を、構成粒子の再配列と消石灰による膠結作用のみに限定することにする。

構成粒子の再配列による堆積物の圧密は、粒子の大きさに影響を受ける。同じ大きさの粒子だけより、違う大きさの粒子を混ぜたときのほうが圧密の程度は大きくなる。このモデル実験では、大きい粒子が砂で小さい粒子が泥や粘土である。砂と泥の混合物による圧密は、1円(砂)やビーズ(泥)でさらにモデル化できる。それは、1円間の隙間をビーズが埋めることで圧密が起こることを示せる。

また、実験結果は砂と消石灰を混ぜたペレットが一番硬いのであるが、これは、石灰質や珪酸質の膠結物による固結のモデルとして利用できる。

この実験で擬似的な岩石(ペレット)を作らせることで岩石サイクルの堆積・固結の部分をシミュレーションできる。

(5) 隆起に関する断層のでき方のモデル実験

目的: 圧力によって逆断層ができ、張力によって正断層ができることをモデル実験で示す。露頭の写真の断層(図9)がどのような方向の力でできたのか理解する。

準備するもの: 砂(200g)、小麦粉(30g)、小匙スプーン、プラスチック容器(15cm×6cm×6cm)、板(6cm×8cm)

実験手順:

- ①プラスチック容器の底に砂を水平に敷く。板を容器の端に立てる。
- ②小麦粉を砂の上に平らに薄く敷く。
- ③その上に砂を薄く水平に敷く(多少小麦粉の層より



図10 モデル実験(5): 実験でできた逆断層と正断層

厚くてもよい)。

④上の②と③を繰り返す。

⑤3層の砂層と2層の小麦粉層ができたなら、板を少しずつ押し。半分以上押ししてくると地層が盛り上がり逆断層ができる(図10)。

⑥容器の2/3ぐらいまで押して止め、板を少し後ろに引くと、押されて盛りあがった地層が崩れ落ち正断層ができる(図10)。

実験解説: 日本列島はプレートの沈み込み帯に位置し、プレートの押す力で地層が海底から付加することにより形成された。よって逆断層がたくさん観察できる。このモデル実験では、板を押すことで地層が押されて逆断層ができることを最初に示し、最後に板を引いて持ち上げられた地層が落ちて正断層ができる様子を演示できる。砂と小麦粉の代わりに、グラニュー糖やココア粉を用いて、実験後にココアを飲んで楽しむこともできる。また、いろいろな材料で断層を作ることもよい。

このほか、積み木を利用して、押したり引いたりして、積み木の動きから逆断層や正断層を理解することもできる。また、色粘土を何層か重ねて地層を作り、両脇から押して褶曲を作るモデル実験や、もっと手軽に多色の紙でできている雑誌やマンガ本を両脇から押して褶曲を作るモデル実験などの工夫が可能である。

(6) 化石の変形のモデル実験

目的: 変形した化石より、地層が過去にどのような方向から力を受けて変成したか推論できることを示す。

準備するもの: 消石灰、色粘土、貝の化石、三葉虫の化石、紙コップ、攪拌棒、小匙スプーン

実験手順:

①貝化石や三葉虫の化石を使って色粘土で型を取る。

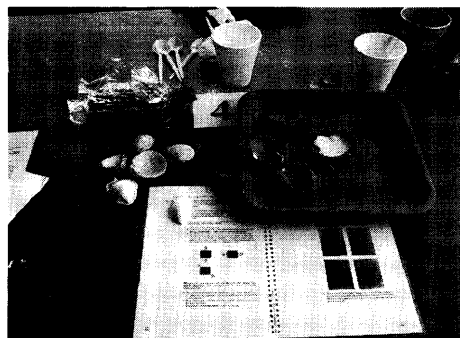


図11 モデル実験(6): 粘土と石膏で作った変形化石

②雌型色粘土を変形させる。

③消石灰を水(1:1)に溶かし、かき混ぜる。消石灰が固まり始めたら、変形した色粘土の型に入れ、変形された化石のレプリカを作る(図11)。それを他の人に見せる。他の人は、変形した化石のレプリカがどのような方向から力を受けて変形したのか答える。

実験解説: ある一定方向から力を受けた地層に含まれた化石は変形している。その化石の変形した形から当時の力の方向を推定できることを理解させる実験である。岩石サイクルの中では、変成に関するモデル実験の開発が難しい。変成作用は、温度や圧力によって既存の岩石が溶けることなく化学変化によって鉱物が変化して元の岩石とは異なった岩石に変化する一連の作用である。圧力による変形作用は変成作用の一部である。温度や圧力によるより効果的なモデル実験の開発がこれからの課題である。

(7) 溶融と結晶化のモデル実験

目的: 火成岩を構成する結晶の大きさについて考えるモデル実験として、サルチル酸フェニルの融解と再結晶を行う。このモデル実験を通して、その結晶の大きさが冷却速度と関連があることを理解する。

準備するもの: サルチル酸フェニル(5g)、試験管、ビーカー(250mL用)、スライドガラス(3枚)、ピペット、ゴウグル、ルーペ、お湯、冷蔵庫、ティッシュ、火成岩のサンプル(花崗岩、斑レイ岩、玄武岩、流紋岩)

実験手順:

①紙の上に室温にしたスライドガラスと、冷蔵庫で冷やしたスライドガラスを置く。二つのスライドガラスを区別つけられるよう紙に名前をつける。

②湯の中で融解したサルチル酸フェニルをピペットで

取り、それぞれのスライドガラスに2・3滴すばやく置く。そしてどのように再結晶していくか観察する。

③以下の点に注意しながら再結晶の様子を観察する。

- (a) どちらのスライドガラスに最初に結晶ができるか。
- (b) 結晶が最も速く成長するのはどれか。
- (c) 最も大きい結晶が成長するのはどれか。

④もしスライドガラスを暖めたなら、どのような結晶ができるか、以下の点について予想する。

- (a) すぐに結晶ができるか。
- (b) 速く成長するかゆっくり成長するか。
- (c) 大きい結晶ができるか小さい結晶ができるか。

湯で暖めた温かいスライドガラス上でサルチル酸フェニルをゆっくり冷やした実験をした場合、どのような結晶ができるか考えを述べる。つづいて、深成岩と火山岩の標本を見て、どのような過程で冷えたのか考える。深成岩は、マグマが地下深くでゆっくり冷却・固結してできた岩石である。また火山岩は、マグマが地表または地表付近で急冷してできた岩石であることを確認する。

(8) 玄武岩質マグマの上昇とハワイ式噴火のモデル実験

目的: 玄武岩質マグマの上昇により、火山が噴火し溶岩が流れ出して固まることをモデル実験で示す。地下の火道の固まった溶岩の様子も示す。

準備するもの: 赤いロウソク、金属下ろし金、ピーカー（500 mL用）、砂（50 mL）、冷水（350 mL）、三脚、金網、ガスバーナー、マッチ

実験手順:

- ①赤いロウソクを金属卸がねで50 mL分削り、500 mLのピーカーに入れる。金網を載せた三脚上でガスバーナーで加熱して、液体にする。その後冷やして固体に戻すことでピーカーの底に一樣に赤いロウが広がる。
- ②①で固まった赤いロウの上に50 mLの砂を一樣に敷く。
- ③その上に冷水を約350 mL入れる。
- ④ガスバーナーで図12に示すようにピーカーを加熱する。
- ⑤1・2分でロウが溶け始める。溶けたロウが上位の砂を突き抜けて冷水中を上昇する。ロウが上昇し始めたからガスバーナーを消す。
- ⑥液体の上昇したロウは水面に広がり冷水に冷やされて固体になる（図13）。また、上昇したロウが水中で

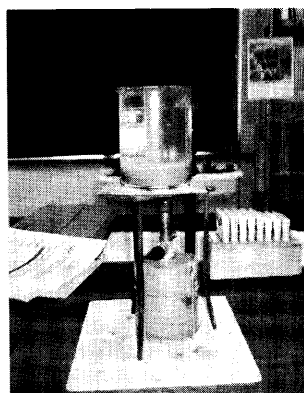


図12 モデル実験(8): ロウの加熱の様子

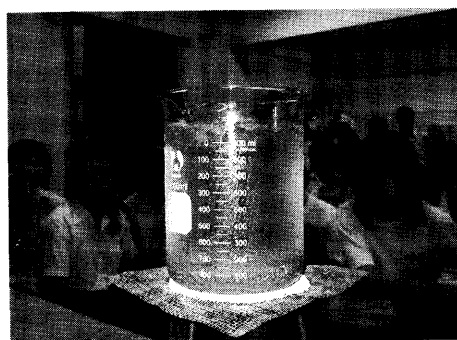


図13 モデル実験(8): ロウ「マグマ」の上昇の様子

固まり火山の火道で固まった岩石のように見える。

実験解説: この実験は地下の玄武岩質マグマが火山から噴火する様子を再現したモデル実験として利用できる。実際の火山ではマグマが火道を上昇し、地殻の割れ目から流れ出して地上で溶岩として固まる。この過程を本実験では、最下層にあるロウが溶けて冷水中を上昇して水面を薄く覆い冷水で冷やされ固体に戻ることによって表現している。また火道の岩石を視覚的に見えるようにしたモデル実験である。三原山やキラウエアのような玄武岩質溶岩によるハワイ式噴火をイメージさせるダイナミックなモデル実験であり、生徒が理解しやすく楽しめる実験である。なお、爆発的な噴火を再現するものとして、炭酸飲料を用いたモデル実験（永井，2007）がある。

(9) 溶岩の流れの速さに関するモデル実験

目的: 溶岩の流れる速さはその粘性に影響を受ける。実際の溶岩の粘性は、温度や化学組成などによって異なるが、ここでは温度、水分量、固体の含有量などに

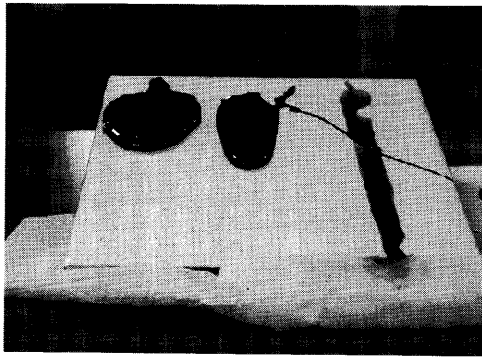


図14 モデル実験(9): 蜂蜜の「溶岩」の流れ方

よって粘性が異なる蜂蜜などを利用して溶岩の流れの速さを示すモデル実験(図14)を行う。

準備するもの: 蜂蜜やシロップ、ペトリ皿やタイル、金属製ヘラ、小匙スプーン、攪拌棒、ストップウォッチ、線引き、バーナー、お湯、三脚と金網、試験管、温度計、スタンド、ピペット、注射器、砂、試験管ブラシ、ゴーグル

実験手順:

1 蜂蜜を使った実験「蜂蜜(溶岩)の流れやすさを変える」を企画する。

(a) 蜂蜜をより流れやすくする方法を二つ以上考案する。

(b) 蜂蜜をより流れにくくする方法を最低一つ考案する。

2 実験を実施し、結果を記録し、グラフに結果をまとめる。

3 実験結果が示す意味をまとめる。最初の予想が正しかったかどうかを確認する。

(4) この実験をより良いものとするためには、どのように工夫すればよいか考える。

実験解説: マグマは、岩石が熔融したもので、高温の液体(結晶や揮発成分も含む)である。地下のマグマが火山から噴火して地上に出るとき溶岩と呼ばれる。

溶岩には、粘性が大きくゆっくり流れるものや、粘性が小さく速く流れるものがある。

蜂蜜を使ったモデル実験で、高い温度や多く水分を含むと流れやすく、固体などが混ざると流れにくいことを調べることができる。本物の溶岩は1,000℃近い温度なので実験室に持ち込むことはできない。溶岩の代わりに蜂蜜を使い、条件を変えることで、その流れやすさを変えることができる。

蜂蜜の濃さや温度、混ぜた固体などの条件によっていろいろなデータが採れるので探究的なモデル実験として適切である。

5. 教員研修プログラムのアンケート結果について

プログラムの評価を行うために、プログラムの構成・内容・教育効果等に関するアンケート調査を行った。その結果を以下に示した(表2, 3)。

「地学を教えるのに自信がついたか」また「地学を教えることがより楽しくなるか」という質問に対して「強くそう思う」と「そう思う」と肯定的に回答した人(以下肯定的に回答した人と略す)は、それぞれ31人中28人と29人で9割以上いる。「生徒の興味が深まるか」という質問に対して肯定的に回答した人は全員である。また、小学校教員の感想に「地学そのものの知識がない私でも楽しく理解することができました。地球上で長い時間かかって行われる現象を短時間で理解させるための方法は見ているだけで楽しいです。しかし現実のできごととの関連づけのときに時間のギャップがありすぎてすぐに理解することが難しい面もありました。簡単な実験が多かったので、何回も繰り返しできて実験する中で子どもたちがいろいろ発見できるだろうなと思いました。」や「子どもの驚きが科学的な興味につながる活動であると思います。」、中学校理科教員の感想に「私自身、苦手意識があったが地学の楽しさを感じることができた。明日からすぐに実

表2 プログラムの全体の評価

	非常に低い (1点)	低い (2点)	普通 (3点)	高い (4点)	非常に高い (5点)
プログラムの効果	0	0	0	14	17
プログラムへの興味	0	0	0	10	21
プログラムの価値	0	0	0	12	19

表3 課題とした項目の評価

	全然そ う思わ ない (1点)	そう思 わない (2点)	どちら とも言 えない (3点)	そう思 う (4点)	強くそ う思う (5点)
地学を教えるのに自信がついた	0	0	3	20	8
地学を教えることがより楽しくなる	0	0	2	11	18
生徒の興味が深まる	0	0	0	16	15
地学の探究的な作業をふやせる	0	0	1	14	16
生徒の科学的な思考力を養成するのに役立つ	0	0	1	15	15
地学の学習を野外とより密接に関連づけることができる	0	0	3	16	12
明日の授業に役立てられる	0	0	4	14	13

践したい。」や高校地学教員の感想に「とても楽しく有意義な時間を過ごさせていただきました。実験といふなかなか準備がたいへんで構えがちなのですが、今日の実験はどれも短時間に簡単にできるものでたいへん参考になりました。」などがあった。

「地学の探究的な作業をふやせるか」という質問に対して肯定的に回答した人は31人中30人である。中学校理科教員から「探究的な学習を行う選択理科の授業ですぐに使いそうです。」などの感想があった。また、「生徒の科学的な思考力を養成するのに役立つか」という質問に対して肯定的に回答した人は31人中30人である。

「地学の学習を野外の事象とより密接に関連づけることができるか」という質問に対して肯定的に回答した人は31人中28人と約9割いる。

「明日の授業に役立てられるか」という質問に対して肯定的に回答した人は31人中27人いる。探究的な指導を行う実践力を育成するうえでの「プログラムの効果」や「プログラムの価値」についても「非常に高い」と「高い」と回答した人は、それぞれ31人全員である。また、高校地学教員から「簡単な実験で、どのワークショップも有効であると感じた。教え合うことで、すぐに授業で実践できるようになる。実験とフィールドを関連づけているのでよい。」などの感想が述べられていた。

6. 考 察

このプログラムによる、探究的な活動の指導力を育成する効果については、上のアンケートの結果（「プログラムの効果」、「プログラムへの興味」、「プログラムの価値」）で示したようなものであった。

岩石サイクルの地学的事象のすべてをモデル実験で再現することは困難である。今回のプログラムでは、体系化した一連のモデル実験を提供したので、参加者がこれらの中から必要に応じて選択・利用して授業を構成することが可能である。研修に参加した中学校理科教員は「岩石や地層が断片的でなく、体系づけられることに大きな意味があると思う。なるほど納得！と生徒がスーとおちる気がするし、地球環境を高いレベルで理解することが可能であると思う」と述べている。

短時間であるが参加者が一つのモデル実験をじっくり探究的に行ったことによって、担当したモデル実験の内容をよく理解し、他の参加者に実験の演示や説明を通して、モデル実験に必要な知識や技能をうまく伝えることができた。また、授業への導入方法を討論する時間をプログラムの内容に組み込むことにより、参加者が児童生徒に対して授業で教えるための具体的なイメージを提供することができ、参加者が学校で岩石・地層に関して生徒の探究的な活動を指導できる可能性を高めた。

また、このプログラムの内容は生徒の科学的な思考力を育成することにも役立てることができると思われる。特に、モデル実験(1)と(3)は条件を変えた多様な実験が可能であり、定量的なデータを総合的に思考するというに適したモデル実験である。したがって、平成17年度高等学校教育課程実施状況調査(理科・地学I)で浮き彫りになった、約3割の教員しか探究的な指導を行っていない現状に対して、一つの解決方法を提供できる。

初等・中等教育用のモデル実験の有効性や有用性を評価する基準として①見栄えがよく、自然現象を理解しやすいこと、②だれでも容易にできること、③道具が安価であること、④道具が入手しやすいこと、⑤実際の自然現象に近いことなどが挙げられる。モデル実験に身近な道具を利用することで地学を日常生活や社会と関連づけることもできる。一方で、モデル実験は、できるだけ実際の自然現象に近くなければならない。今まで開発されたモデル実験の中には、より正確に自然現象を再現できるものもあるが準備がたいへんで一般の教員には実施することが不可能なものもあった(例えば、高田、1995)。ここで紹介したモデル実験は、第一に参加者が学校現場に戻ってすぐできるということを重視したために、自然現象を正確に再現できるという点に課題が残った。今後、より正確で魅力的、探究的なモデル実験を開発していくことが望まれる。

岩石・地層の単元では、教室内で説明するだけの授業では生徒は自然を正しく理解することができない。このため、野外観察などを行い身近な地域の自然を通じた学習が必要である。国立教育研究所(1998)の理数長期追跡研究によれば、8割以上の児童生徒は実験を楽しみと思い、また約7割の児童生徒は野外学習を楽しみと思っている。その利点を生かして生徒の探究的な活動を引き出す指導が有効である。しかし、野外観察を行えば地域の自然を正しく理解できるというものでもない。野外で実物に触れることで理解は深まるものの、「生徒が納得してわかった」というところまではなかなかいかない。なぜならば、この分野は地質的年代の古い地層や地層の広がりなど大きなスケールの時間的空間的概念を扱うので、生徒が野外観察や教師の説明だけで正しく理解することは容易ではない(例えば、布施、1996)ためである。しかし、生徒の野外観察とそれを支援する簡易で面白い探究的なモデル実験を合わせて行うことで野外観察と室内学習を関連づけることができ、「生徒が納得してわかった」という段

階まで指導することができる可能性が高まる。これらのモデル実験は生徒の観察した地学的事象を再現したり、地層観察の解釈の正しさを証明するために有効である。また参加した中学校理科教員の感想「地球科学をとらえていくうえで自然を見る目と同時に熱や化学反応といったものをいかに結びつけて示せばよいかということを示していただきたいへん興味深いものでした」のように、地学と物理や化学の現象とを関連づける内容としても有用である。これらのモデル実験は、野外観察と関連づけて指導することで、地学事象を物理的、化学的など総合的に理解することに貢献できる。

これらから、このプログラムは、探究的な活動を指導しやすくすること、参加者の指導力を育成するのに効果的な内容で行われたこと、そして野外観察と室内実験とを関連づけ地学を総合的に理解することに役立つものであると推察できる。

以上、本プログラムの成果を述べたが、これらに基づいて、生徒の探究的な活動を指導する能力を育成する効果的な教員研修プログラムのあり方について、次の2点を提言したい。

- (1) 一つの教材(モデル実験)ではなく、探究活動に適した一連の教材を提供することが有効である。
- (2) 生徒の探究的な活動を指導する能力を育成するためには、探究的な活動を行わせるだけでなく、研修参加者間で教え合わせたり、授業への導入方法を考えさせることが有効である。

7. 今後の課題

日本では、地学の履修率が極めて低い。それは入試制度との関連が大きいと推察するが、生徒の地学への興味・関心は比較的高いにもかかわらず、地学の授業がわかりやすく楽しいものでないこと(国立教育政策研究所、2007)も原因の一つであろう。地学を専門とする教員の数は、他の理科の分野の教員に比べ非常に少ないので、地学教育を普及するためには、地学専門以外の理科教員が楽しくわかりやすく地学の授業を展開できるように教員研修や教材教具の開発など工夫することが必要である。

ここで紹介した教員研修プログラムでは、その参加者の約7割は地学を専門としていない教師であり、また、理科を専門としていない小学校の教師も2割含まれていた。アンケート結果からも関(1976)が指摘した地学を教える教員養成上の問題に対処できる有用な

研修プログラムであることが伺われる。

今後、岩石サイクルの一連のモデル実験を生徒が地学に興味を深めるような探究活動を行えるより良いものに改善することや教員研修プログラムの内容をより工夫することで、地学を楽しく学べる教員研修を充実させたい。また、岩石・地層だけでなく気象、天文の単元でも、地学専門でない教員でも身近な道具を活用して楽しく教えることができるモデル実験を開発したい。そして、それらを体系化した教員研修を行うことで地学教育の普及に貢献したい。このことは、地学教育や日常生活と関連した総合的な理科教育の普及に役立つばかりでなく、理科嫌いが問題になっている日本の理科教育に一助となることができると思う。

8. 終わりに (謝辞)

五島は、東京理科大学の学生るとき、「物理特講(物理演示実験)」という授業を履修した。それは、学生に物理を理解させ、物理の面白さを伝えるために、力学、電磁気学、波動学、熱力学など一連の物理の内容について身近な器具や道具で簡単な演示実験を行い、物理を日常生活に結びつけるという授業であった。その授業を担当されていた石川孝夫教授、鈴木清光氏、古屋東一郎氏、五十嵐靖氏から「物理好きな人を育成するには、どのような物理教育が必要であり、またどのような物理の教師が必要なのか」を具体的に学ばせて頂いた。ここで紹介した岩石・地層に関する演示実験に関する内容や方法を工夫した教員研修プログラムは、そのときの体験をベースに企画したものである。最後に、このプログラムの企画と運営を一緒に行ってくれたクリス・キング氏(Chris King)、大学時代に素晴らしい授業をしてくださった4名の先生方、専門的な視点から助言をいただいた岡本弥彦教授と小林辰至教授、激励をいただいた鶴見和子博士、そして本論文の査読者に心より感謝を述べたい。本論文は、日本地学教育学会第61回全国大会発表予稿集「地学モデル実験のための教材・教具の開発と教師教育への利用」を大幅加筆したものである。なお、本研究は、平成13～16年文部省科学研究費補助金基盤研究(B)課題番号13571043「アースシステム教育の国際比較研究に基づいた教育システムの開発に関する実証的研究」(代表:五島政一)と、平成17～20年文部省科学研究費補助金基盤研究(A)課題番号17200046『子どもが主体的に学び、科学を好きになるための教育システムの開発に関する実証的な研究』(代表:五島政一)の一

部を使用した。

引用文献

- 布施人志(1996):「土地のつくり」の指導における効果的な実験・観察. 理科の教育 2, 東洋館出版, 東京, 22-25.
- 布施人志(1997): 中学校「大地の変化」で活用できる器具・素材. 理科の教育 6, 東洋館出版, 18-20.
- 柿谷 悟・片山貞昭・楠見久・佐田好・鷹村 権・福原悦満・藤井 守(1978): 地学教育の未来像を求めて—小中高・大の一貫地学教育(その1). 地学教育, 31, 1-10.
- 五島政一(2003): アースシステム教育の国際比較研究に基づいた教育システムの開発に関する実証的研究. 平成13～16年文部省科学研究費補助金基盤研究(B)(2)研究報告書第1集「アースシステム教育とその教師教育」, 国立教育政策研究所, 東京, 217p.
- 五島政一(2005): アースシステム教育の国際比較研究に基づいた教育システムの開発に関する実証的研究. 平成13～16年文部省科学研究費補助金基盤研究(B)(2)研究報告書第3集, 国立教育政策研究所, 東京, 472p.
- 林 信太郎・毛利春治・依山洋一・藤縄明彦(2004): チョコレートとココアを使ったカルデラ形成のアナログ実験, 日本火山学会講演予稿集, 東京, 48.
- 林 信太郎(2006): 世界一おいしい火山の本. 小峰書店, 東京, 127p.
- 国立教育研究所(1998):「数学的・科学的能力や態度の小中高・社会人における発達・変容に関する研究」研究成果報告書Ⅱ—数理調査項目別反応率一覧—(研究代表者: 瀬沼花子). 国立教育研究所, 東京, 210p.
- 国立教育政策研究所(2007): 平成17年度高等学校教育課程実施状況調査教科・科目別分析と改善点(理科・地学I). 国立教育政策研究所, 東京, 29p.
- 松原義嘉(2006): 高校地学における堆積構造のモデル実験の開発. 理科教育学会予稿集, 日本理科教育学会, 260.
- 文部省(1999a): 小学校学習指導要領解説理科編. 文部省, 東洋館出版, 東京, 122p.
- 文部省(1999b): 中学校学習指導要領解説理科編. 文部省, 大日本図書, 東京, 162p.
- 文部省(1999c): 高等学校学習指導要領解説理科編理科編. 文部省, 大日本図書, 東京, 310p.
- 村上弘美(2004): 地層堆積モデル実験装置の製作を取り入れた中学校理科授業. 理科の教育 7, 東洋館出版, 26-29.
- 永井秀行(2007): 炭酸飲料を用いた火山噴火モデル実験. 平成18年度東レ理科教育賞受賞作品集第38回, 東レ科学振興会, 千葉, 23-26.
- 岡本義雄(1999): 続・教室でできる地学実験ココアと小麦粉で断層を作ろう. 日本地質学会広報誌「なるふる」, 13号, 日本地質学会, 東京, 7, 8p.
- 恩藤知典(1976): 指導教師の立場から. 海洋科学, 8, 34-38.

- 関 利一郎(1976): 教員養成上の諸問題. 海洋科学, 8, 29-33.
- 下野 洋(1987): 地学教育の改善に関する一つの提案. 地学教育, 40, 69-78.
- 下野 洋(1999): 野外学習プログラムの評価に関する実証的国際比較研究. 平成10~11年度科学研究費補助金資料集, 国立教育研究所, 東京, 93-99, 127p.
- 高田 亮(1995): クラックによるマグマ上昇. みえないものをみようとするアナログ実験, 科学, 65, 673-685.
- The Earth Science Education Unit (2002): The Dynamic Rock Cycle, Keele University, UK, 28p.
- 歌代 勤, 海野和三郎(1982a): サルチル酸フェニルを使って結晶を生成過程を観察する. 図解実験観察大事典地学, 東京書籍, 東京, 108, 349p.
- 歌代 勤, 海野和三郎(1982b): 水を流して水の流れ方と地面の変わり方を調べる. 図解実験観察大事典地学, 東京書籍, 東京, 44-47, 349p.
- 歌代 勤, 海野和三郎(1982c): 噴火モデル実験. 図解実験観察大事典地学, 東京書籍, 東京, 104, 349p.
- 吉田 勇・加藤尚裕(2005): 火山の噴火モデルを利用した授業. 理科の教育 5, 東洋館出版, 32-35.
- 全国理科教育センター研究協議会編(1973): 流水の作用の定量的実験を行い自然界の平衡関係を確かめる. 探究の学習をめざした地学教材の研究(小・中・高), 東京書籍, 東京, 138-139.

五島政一, 後藤史朗: 地学の探究的な活動の指導力を育成する教員研修プログラムの開発—岩石・地層に関する一連のモデル実験を取り入れて— 地学教育 61 巻 2 号, 59-72, 2008

〔キーワード〕 教育研修, モデル実験, 岩石サイクル, 探究的学習, 地学

〔要旨〕 教員研修プログラムはその目的により, 内容や方法が異なる. 研修プログラムで岩石サイクルの一連のモデル実験を探究的に体験し, 教え合う場を作り, さらに, 授業での利用方法などを討論させるなど工夫した結果, この研修は授業において生徒の探究的な作業を増やせ, 科学的な思考力の育成に役立ち, 研修で身に付けた知識や技能を利用して探究的な指導を行う実践力を育成するものであることが示された. また, モデル実験を用いた教員研修をその目的・内容・方法によって分類し, 類型表にまとめた.

Masakazu GOTO and Shiro GOTO: The Development of a Teacher's Training Program to Foster the Practical Ability to Guide Inquiry-based Activities on Earth Science through a Series of Model Experiments for the Rock Cycle. *Educ. Earth Sci.*, 61(2), 59-72, 2008

~~~~~  
お 知 ら せ  
~~~~~

日本地学教育学会東京大会ジュニアセッション参加者募集

日本地学教育学会東京大会において、ジュニアセッションを開催します。つきましては下記の要領で参加者を募集いたします。

- 日 時：口頭セッション：2008年8月17日（日）午前9時30分～12時30分
ポスターセッション：8月17日（日）～18日（月）の会期中
- 場 所：東京学芸大学 S410 教室（予定）
- 応募資格：地学または環境関連の研究を行っている中学生・高校生のクラブまたは個人
- 応募方法：口頭またはポスター発表を選択する（口頭発表を選択した方にはぜひポスター発表もしていただくことを期待しています）。
- 申込方法：(a) 発表のタイトル, (b) 発表者名・学年・学校名（発表者・学校名にはフリガナも記載のこと）, (c) 概要（500字程度）, (d) 希望する発表方法（口頭発表かポスター発表、または両方）, (e) 連絡先（郵便番号・住所・氏名・電話番号・FAX・E-mail等）を明記の上、メールまたは郵送、FAXにてご応募ください。
- 締め切り：2008年5月31日（土）必着
- 申込・問い合わせ先：
〒184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1
東京学芸大学広域自然科学講座環境科学分野
日本地学教育学会東京大会事務局 松川正樹
Fax 042-329-7544
E-mail: matsukaw@u-gakugei.ac.jp

 学 会 記 事

第 5 回 常務委員会議事録

日 時：平成 20 年 2 月 6 日（水）午後 6 時 10 分～
午後 7 時 30 分

場 所：日本教育研究連合会 小会議室

出席者：下野 洋・渋谷 紘・濱田浩美・岡本
弥彦・米澤正弘・高橋 修

議 題：

1. 前回議事録の承認
前回（第 4 回常務委員会）議事録の承認がなされた。
2. 平成 20 年度評議員会および総会について
平成 20 年度評議員会は平成 20 年 4 月 19 日（土）10 時 30 分から、平成 20 年度総会は 13 時より、東京学芸大学（西講義棟）で開催する。終了後、地学教育フォーラムを 14 時から開催、「新学習指導要領と地学教育」というテーマで、熊野善介会員および五島政一会員に講演を依頼することとした。
3. 入会者・退会者について
入会者 2 名・退会者 3 名が承認された（平成 20 年 2 月 6 日現在：名誉会員 6 名、正会員 596 名、学生会員 19 名、在外会員 8 名）。
入会者：有道俊雄（兵庫）・佐々木智謙（山梨）
退会者：柴橋敬一（山形）・安富裕二（東京）・山田 純（三重）
4. その他
 - 1) 大学入試センター試験問題検討委員会を、南島正重委員を中心に組織し、本年度も検討を行うこととした。
 - 2) 本年度学会賞・学術奨励賞の審査委員会を発足させた。

報 告：

1. 各種常置委員会から
 - 1) 編集委員会（代読：渋谷常務委員長）から、60-1 号の編集状況について報告があった。
2. 寄贈交換図書
 - 産業技術総合研究所（2008）：産総研 TODAY，通巻 83 号，Vol. 8, No. 1
 - 東京地学協会（2007）：地学雑誌，No. 6，2007 Vol. 116
 - 日本理科教育学会（2008）：理科の教育 01，通巻 666 号，2008/Vol. 57
 - 日本理科教育学会（2008）：理科の教育 02，通巻 667 号，2008/Vol. 57
 - 日本理科教育学会（2007）：理科教育学研究，2007/.11. Vol. 48, No. 2
 - 熊本地学会（2007）：熊本地学会誌. No.146. 2007.11.17
 - 産業技術総合研究所地質調査総合センター編（2007/11）：地質ニュース，第 639 号
 - 産業技術総合研究所地質調査総合センター編（2007/12）：地質ニュース，第 640 号
 - 産業技術総合研究所地質調査総合センター編（2008/1）：地質ニュース，第 641 号
 - 産業技術総合研究所地質調査総合センター編（2008/2）：地質ニュース，第 642 号
 - 産業技術総合研究所（2008）：シンセシオロジー，1 巻，1 号
 - 立教学院理科研究会（2007）：子供の成長に応じた科学の教え方「光に関する学習」67 ページ

編集委員会より

前号に引き続き2号の発行も大幅に遅れてしまいましたことをお詫びいたします。
原稿の投稿が少なく、また修正等に時間のかかるものが多いために受理となる論文が少なくなっております。
引き続き会員の皆様の積極的な原稿の投稿をよろしくお願いいたします。

平成19年度に査読をお願いした方々は下記のとおりです。お忙しいところ時間を割き、また無償でお引き受けくださり、厚く御礼申し上げます。

池田幸夫, 伊藤 慎, 大西利和, 尾久土正己, 加藤尚裕, 柗原礼士, 小室光世, 榊原保志, 高橋 修, 田中 均,
坪内秀樹, 富田晃彦, 西浦慎悟, 八田明夫, 馬場勝良, 藤岡達也, 牧野泰彦, 松岡 篤, 松森靖夫, 森 厚, 矢
島道子, 米倉覚則, 米澤正広

編集委員: 松川正樹(委員長), 相場博明(副委員長), 青野宏美, 天野和孝, 伊藤 孝, 大久保 敦, 小荒井千
人, 五島政一, 土橋一仁, 林 慶一, 林 武広, 三次徳二, 南島正重, 山崎謙介, Jim W. Haggart

地 学 教 育 第61巻 第2号

平成20年3月25日印刷

平成20年3月31日発行

編 集 兼 日 本 地 学 教 育 学 会
発 行 者 代 表 下 野 洋

〒263-8522

千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33

千葉大学教育学部理科教育教室内

電話 & FAX 043-290-3682 (濱田)

振替口座 00100-2-74684

印 刷 所 株式会社 国際文献印刷社

169-0075 東京都新宿区高田馬場3-8-8

電話 03-3362-9741~4

EDUCATION OF EARTH SCIENCE

VOL. 61, NO. 2

MAY, 2008

CONTENTS

Original Article

- Conceptual Changes in Understanding the Earth System in Earth Science Class
Based on Teaching Material Using Fossil Footprints of *Stegodon aurorae* (Akebonozou)
.....Masaru TAGA...35~47

Practical Articles

- Development of Teaching Material for Presenting Concepts of Phase Change and
Apparent Movement of a Superior Planet
.....Hideyuki NAKANO...49~57
- The Development of a Teacher's Training Program to Foster the Practical Ability to
Guide Inquiry-based Activities on Earth Science through a Series of Model
Experiments for the Rock Cycle
.....Masakazu GOTO and Shiro GOTO...59~72

Book Review (58)

Information (73)

Proceeding of the Society (74)

All communications relating this Journal should be addressed to the
JAPAN SOCIETY OF EARTH SCIENCE EDUCATION

c/o Faculty of Education, Chiba University; Chiba-shi 263-8522, Japan