

地学教育

第63巻 第5・6号(通巻 第328号)

2010年11月

目 次

原著論文

選択的に採集された貝化石による古環境推定の評価

—神奈川県境川遊水地公園内で採集した第四系貝化石を例として—

.....小荒井千人・馬場勝良...(149~162)

教育実践論文

食用廃油を使用した複成火山作製実験の開発

.....笠間友博・平田大二・新井田秀一・山下浩之・石浜佐栄子...(163~179)

学会記事 (180)

日本地学教育学会

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

役員選挙に関する公示

平成 22 年 10 月 18 日

正会員および学生会員 各位

日本地学教育学会
選挙管理委員会

2) 平成 23 年度ないし平成 24 年度まで任期のある評議員（推薦しても無効）

北海道・東北地区：中村泰久

関東地区：相原延光・円城寺守・濱田浩美・渋谷 紘・米澤正弘・松森靖夫

中部地区：熊野善介・藤岡達也

近畿地区：戸倉則正・澁江靖弘

中国・四国地区：林 武広・秦 明德

九州・沖縄地区：八田明夫・三次徳二

会長指名：林 慶一・五島政一・馬場勝良・松川正樹・宮下 治・岡本弥彦

原著論文

選択的に採集された貝化石による古環境推定の評価

—神奈川県境川遊水地公園内で採集した第四系貝化石を例として—

An Evaluation of Paleoenvironmental Reconstruction with
Collecting Fossil Shells Selectively on the Basis of the
Molluscan Fossil Fauna from the Pleistocene
Iseyamabe Formation at the Sakaigawa
Yusuichi Park, Kanagawa Prefecture, Japan

小荒井千人*1・馬場勝良*2

Kazuto KOARAI and Katsuyoshi BABA

Abstract: Both depth and latitude of marine molluscan fossil habitats can be estimated by comparison with the living marine molluscan fauna. Estimates of 10 m in water depth and 35° North Latitude on the Pacific Ocean Slope have been established previously for the Pleistocene Iseyamabe Formation at the Sakaigawa Yusuichi Park, Kanagawa Prefecture, Japan, based on analysis of 96 molluscan species found in the formation. To assess whether students could replicate these estimates, pupils collected molluscan fossils from the same locality, and estimated the depth and latitude of the marine molluscan fossil habitat by comparison with living marine mollusks. Pupils collected between one-third and one-half of the 96 recognized molluscan species in the formation, but arrived at the same estimates of depth and paleolatitude as previously established. This demonstrates that estimates of both depth and latitude of marine molluscan fossil habitat can be confirmed by review of less than one-third of the overall specific composition of the fauna. This method of estimation is useful for paleontology class in school.

Key words: fossil shell, paleoenvironmental reconstruction, elementary school pupil, junior high school pupil, high school pupil, field study of geology

1. はじめに

貝化石は、過去の環境を理解するための有力な材料である。伊田(1956)は、ある産地から産出する貝化石群集を現生のそれと比較すると、貝化石群集の生息深度や緯度を読み取ることができる方法を示した。この方法を用いる場合の、対象となる貝化石群集の構成種数の多少については詳細な議論がなされていない。し

かし、化石群集に基づく古環境の考察には、失われた記録の把握が必要で、例えば、産出個体数と種数の関係は、より多くの種を得たほうがより精度の高い群集組成を示すことが知られている(Raup, 1975)。これに基づけば、群集組成を把握して古環境を考察するためにより多くの化石種を集める必要があることになる。

児童・生徒が採集した貝化石を用いて古生態や古環境を推定する場合、児童・生徒の化石採集には「えり

*1 慶應義塾湘南藤沢中・高等部 *2 岐阜聖徳学園大学教育学部
2010年11月11日受付 2010年11月25日受理

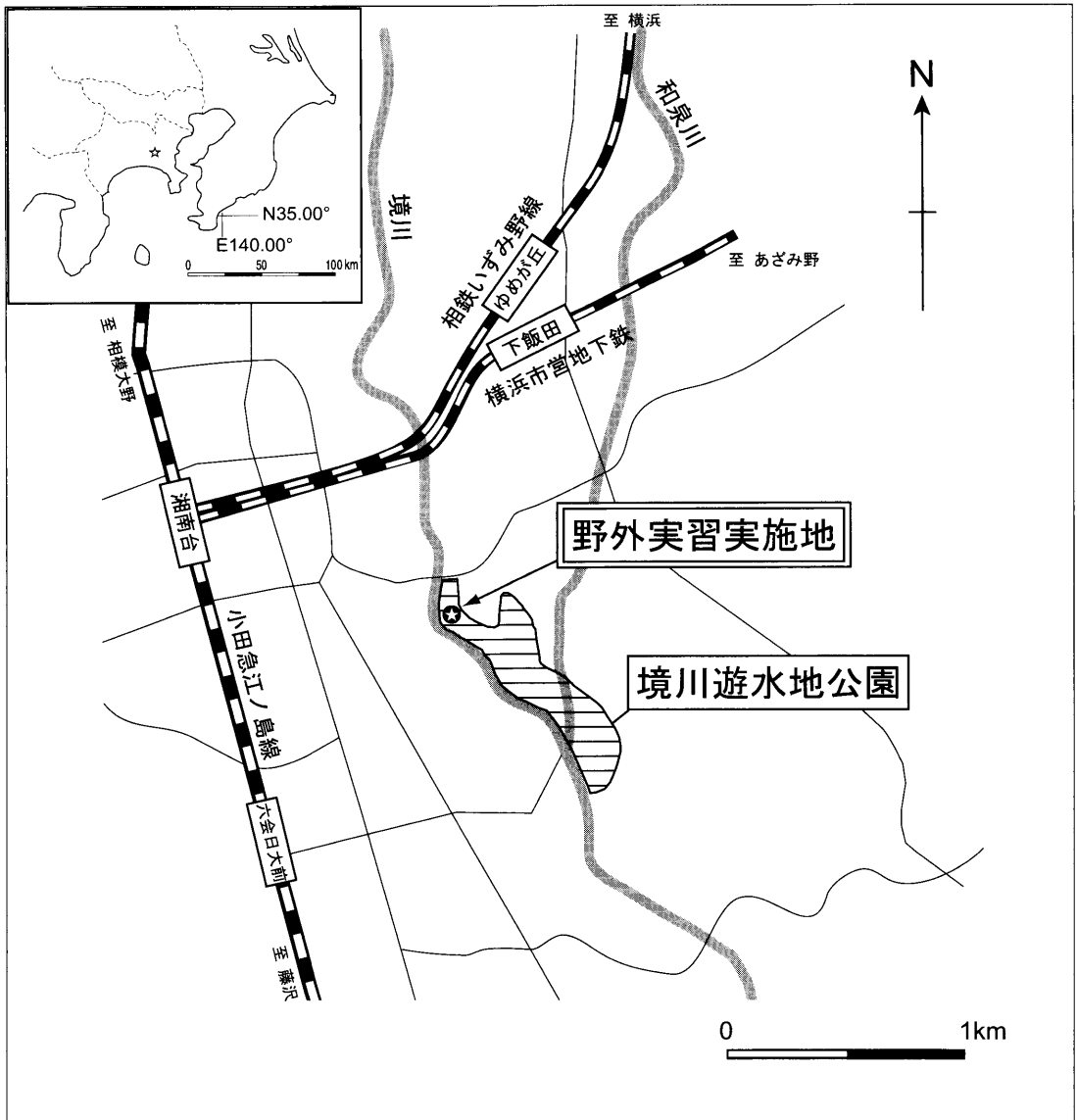


図1 化石を採集した露頭の場所

好み」があることが知られている (川村, 2001). そのため、「えり好み」の採集により得られた材料を基に古生態や古環境を推定すると、その結果は妥当性を欠くことが予想される. これまで、この児童・生徒の偏った材料と推定結果に対する影響について議論されたものはない.

そこで、本研究は、神奈川県横浜市泉区の神奈川県立境川遊水地公園内の露頭で児童・生徒 (中学生・高校生) が採集した化石と同露頭で専門家が採集した化

石を比較し、それぞれの特徴を見いだした. さらに、児童・生徒が採集した化石を用いて推定した古環境の妥当性を検証した.

2. 地質概要

本研究の地質野外実習を实践した露頭は、境川遊水地公園の北端の工事現場に位置する (図1). この公園は、市街地の中にあり、小田急江ノ島線の湘南台駅、横浜市営地下鉄ブルーラインの下飯田駅から徒歩 20

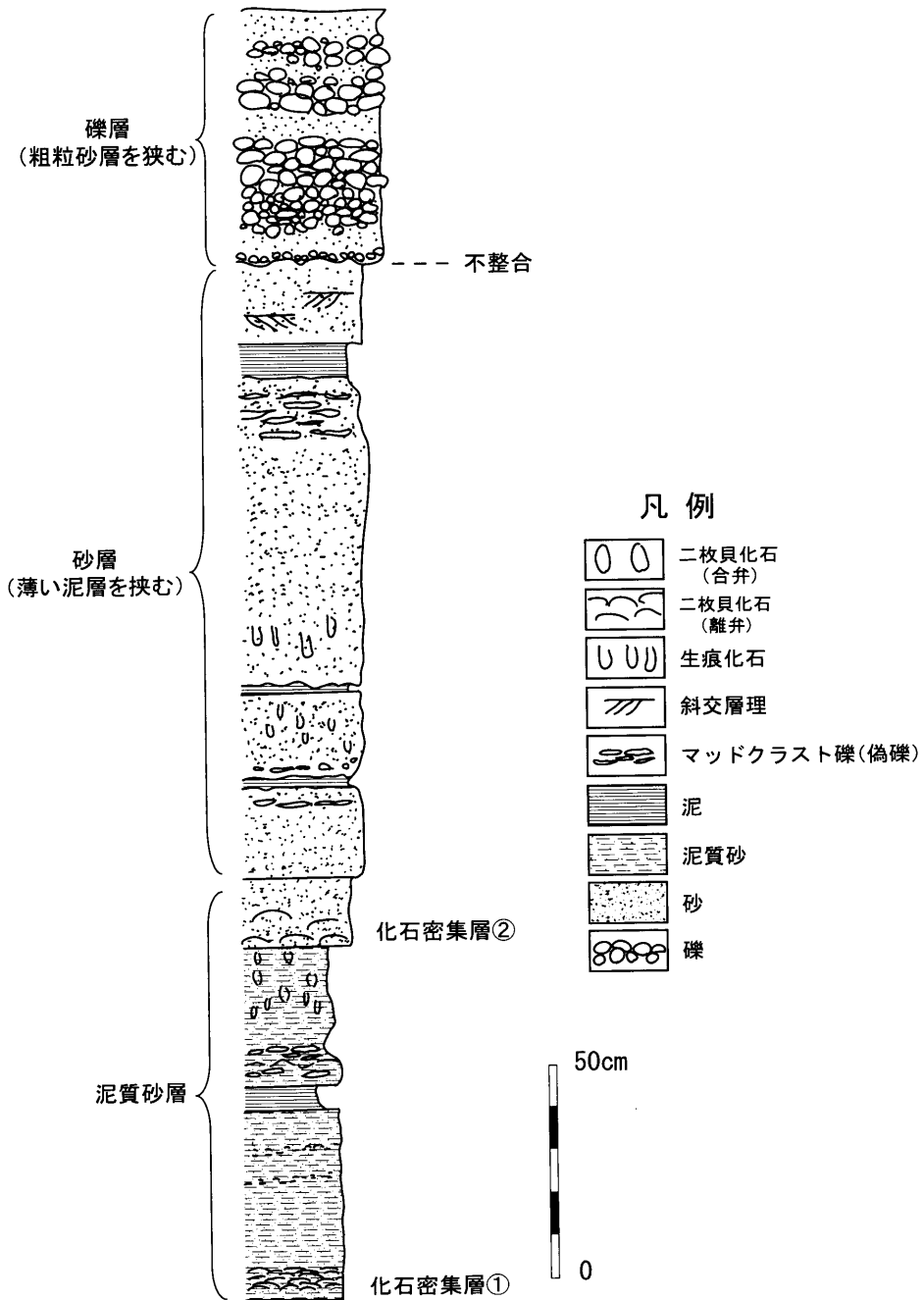
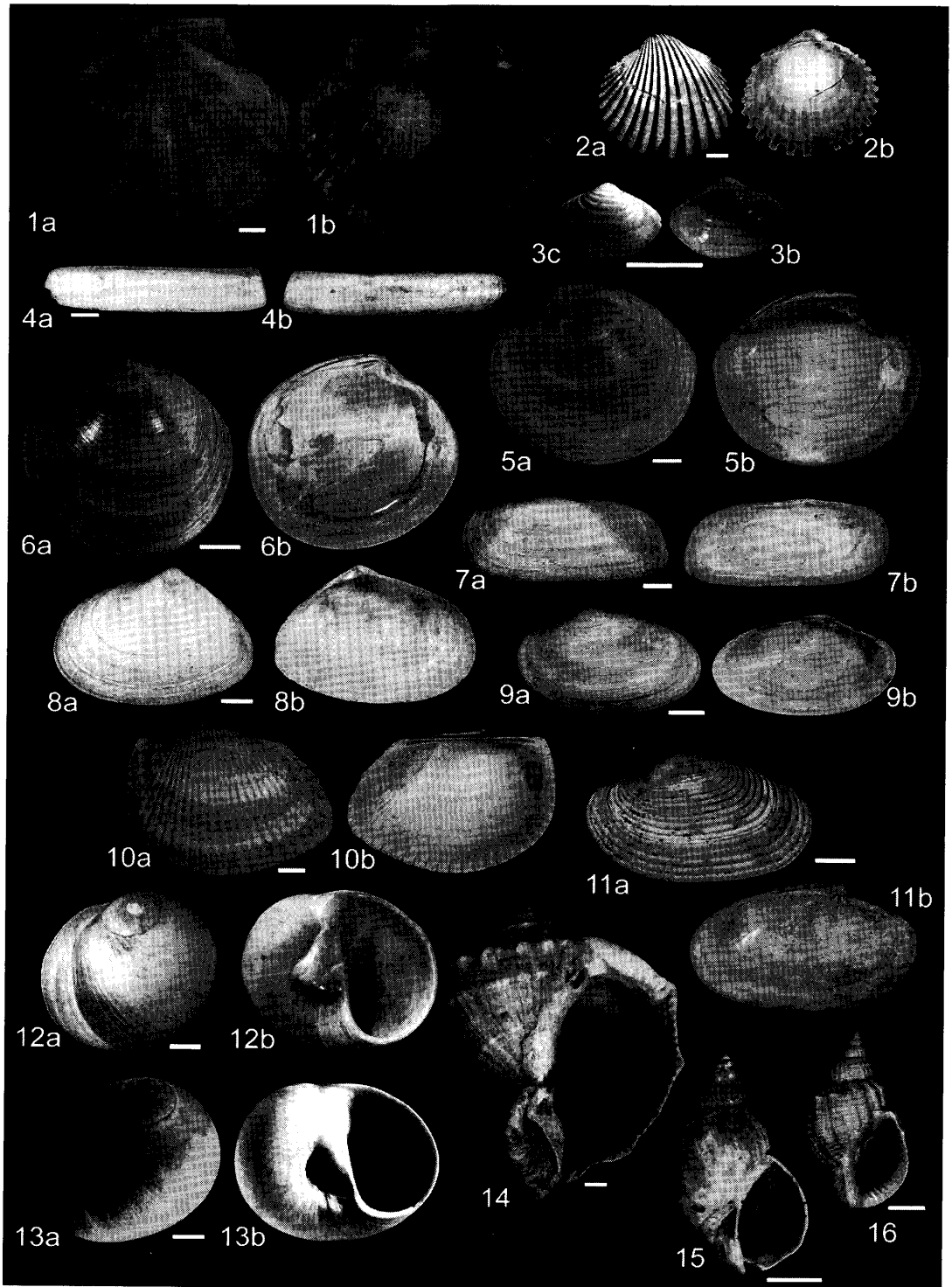


図2 化石を採集した露頭の柱状図

分程度の距離にある。事前に藤沢土木事務所の許可を得る必要があるが、学校などの団体の利用に限り露頭の観察や化石採集が可能である。この露頭は、遊水地として整備されたくぼ地にあり、法面と底部で地層を

観察することができる。露頭の表面は平面に整備され、岩相や地層の重なり方を容易に観察できる。また、露頭が観察できる法面は上空から見るとコの字型を呈しているため、直交した2面や向かい合う露頭で地層



のつながり方や、地層の広がり方を観察することができる。さらに、住宅地に隣接しているため、家屋が建ち並ぶ地面の断面を見ることになり、この周りの地面の下の様子を一目で確認できる。

露頭は、下位より、貝化石を多産する泥質砂層、斜交層理と生痕化石が認められる砂層、そして礫層が重なる(図2)。泥質砂層と砂層はわずか(5度未満)に南に傾斜する。泥質砂層と砂層は整合で接するが、砂層と上位の礫層は不整合で接する。田口ほか(2007)は岩相と露頭の位置関係に基づき、境川遊水地公園に露出するこの露頭の泥質砂層と砂層を成瀬(1952)の藤沢泥層に対比し、貝化石を多産する層準は、第四紀更新世のいわゆる下末吉海進の酸素同位体ステージ5の中でもステージ5.5の海進最盛期ピーク時(12.5万年前)を示していると解釈した。

この露頭の周辺地域では、同様の泥質砂層と砂層が分布しており、大塚(1930)では相模台地泥層、成瀬(1952)では藤沢泥層が報告されている。町田・松島(1976)はこの境川遊水地公園より、およそ3.5 km南の藤沢市伊勢山辺付近(現:藤沢市白旗付近)の露頭を記載し、下位より伊勢山辺礫層、伊勢山辺シルト層、そして伊勢山辺砂層に区分できることを述べ、伊勢山辺シルト層から下末吉海進の初期を示すテフラ層TAu-6, TAU-10を報告した。地形、標高、岩相の記載内容、産出化石から、少なくともこの境川遊水地公園の露頭下部の泥質砂層および中部の砂層は、伊勢山辺砂層(町田・松島, 1976)に相当すると思われる。

下位の泥質砂層は淘汰が良く、保存状態の良い貝化石を多産する。泥質砂層の上位には陶太の良い砂層が整合で重なる。この砂層には、生痕化石が含まれ、薄い泥層を何層か挟み、斜交層理が見られる。この砂層の上位には礫層が不整合で重なる。この礫層は俣野礫層で(田口ほか, 2007)、ところどころにレンズ状の粗粒砂を挟む。礫は円摩度が高く、中礫(4~64 mm)~大礫(64~256 mm)が大半を占め、基質が少なく礫

と礫は互いに接している。

3. 産出化石

泥質砂層に化石密集層が2層認められる。田口ほか(2007)は、同公園内の露頭で、下位よりウラカガミが密集するA層(A1, A2, A3)、タイワンシラトリを含む貝殻が密集するB層の全4層の化石密集層を認めた。本研究の化石の産出層①, ②(図2)は、田口ほか(2007)のB層に相当する。ただし、田口ほか(2007)が *Tellinimacra edentula* として示したものは、フィリピン産現生の *T. edentula* と比較すると、殻頂の位置がより後部に位置し、後背縁の形状が直線的である。この殻形態は、ここよりおよそ150 km北方の茨城県下妻市高道祖の成田層(木下層)から記載された *Psammotreta tsukubaensis* Aoki and Baba, 1987(ツクバシラトリ)(Aoki and Baba, 1987)の特徴を示す。したがって、田口ほか(2007)の *T. edentula* は、*P. tsukubaensis* とした。

化石密集層①, ②から貝化石を4,851個体採集し、96種に分類、同定した(表1, 図3)。ただし、現在は現地の露頭の表面を傷つけることが許されていないため、現在採集が可能な場所は遊水地の底に広がる化石密集層①のみである。産出した貝化石は、大型の貝から微小貝までさまざまな大きさの標本が含まれる。本研究では、採集した貝化石の種ごとのサイズを奥谷(2000), Oyama(1973)の数値を基に区分し、二枚貝および角貝の殻長、巻貝の殻高が5 cm以上の種をL, 3~5 cmの種をM, 1~3 cmをS, 1 cm以下の種をSSとした。採集した貝化石種をサイズ別に区分すると、Lが34種, Mが15種, Sが16種, SSが31種で、全種の約半数が1 cm以下の小型の種で占められる。また、貝化石の大きさと産出個体数との関係は、全産出個体数(4,851個体)のうち、Lの種が669個体(13.8%), Mの種が190個体(3.9%), Sの種が1,448個体(29.8%), SSの種が2,544個体(52.4%)

図3 採集した主な化石

1a, b: *Pecten albicans* (イタヤガイ), 2a, b: *Fusocardium braunsi* (ブラウンスイシカケガイ), 3a, b: *Raetellops pulchellus* (チヨノハナガイ), 4a, b: *Solen krusensterni* (エゾマテ), 5a, b: *Phacosoma japonica* (カガミガイ), 6a, b: *Dosinella penicillata* (ウラカガミ), 7a, b: *Solecurtus divaricatus* (キヌタアゲマキ), 8a, b: *Psammotreta tsukubaensis* (ツクバシラトリ), 9a, b: *Paphia undulata* (イヨスダレガイ), 10a, b: *Scapharca broughtoni* (アカガイ), 11a, b: *Paphia euglypta* (スダレガイ), 12a, b: *Glossaulax didyma* (ツメタガイ), 13a, b: *Glossaulax reiniana* (ハナツメタ), 14: *Rapana venosa* (アカニシ), 15: *Babylonia japonica* (バイ), 16: *Sydaphera spengreriana* (コロモガイ)。

※スケールバーはいずれも1 cm。

表 1 筆者らが採集した貝化石種のリスト

| 種名 | 和名 | 個体数 | サイズ | 種名 | 和名 | 個体数 | サイズ |
|--|-----------|-----|-----|--|-------------|------|-----|
| <i>Suchium costatum</i> (Kiener) | キサゴ | 18 | S | <i>Rhizorus radiolus</i> (A. Adams) | アオモリマヒガイ | 58 | SS |
| <i>Suchium giganteum</i> (Lesson) | ダンベイキサゴ | 1 | L | <i>Rhizorus eburneus</i> (A. Adams) | マヒガイ | 16 | SS |
| <i>Putilia paludinoides</i> (Yokoyama) | タニシツボ | 210 | SS | <i>Rhizorus ovulinus</i> (A. Adams) | タマゴマヒガイ | 10 | SS |
| <i>Batilliana zonalis</i> (Bruguiere) | イボウミニナ | 1 | M | <i>Dentalium octangulatum</i> Donovan | ヤカドツノガイ | 58 | L |
| <i>Strombus japonicus</i> Reeve | シドロ | 1 | M | <i>Saccella confusa</i> (Hanley) | ゲンロクソテガイ | 551 | SS |
| <i>Palmadusta artuffeli</i> (Jousseaume) | チャイロキヌタ | 1 | S | <i>Scapharca broughtoni</i> (Schrenck) | アカガイ | 35 | L |
| <i>Glossaulax didyma</i> (Roding) | ツメタガイ | 22 | L | <i>Scapharca satowi</i> (Dunker) | サトウガイ | 10 | L |
| <i>Glossaulax reiniana</i> (Dunker) | ハナツメタ | 41 | M | <i>Scapharca kagoshimensis</i> (Tokunaga) | サルボウ | 4 | L |
| <i>Glossaulax hosoyai</i> (Kira) | ホソヤツメタ | 4 | L | <i>Crerella yokoyamai</i> Nomura | チゴキザミガイ | 1 | SS |
| <i>Eunaticina papilla</i> (Gmelin) | ネコガイ | 1 | M | <i>Atrina pectinata japonica</i> (Reeve) | タイラギ | 1 | L |
| <i>Cryptonica andoi</i> (Nomura) | エゾタマガイ | 1 | M | <i>Chlamys squamata</i> (Gmelin) | ニシキガイ | 1 | M |
| <i>Tonna luteostoma</i> (Kuester) | ヤツシロガイ | 3 | L | <i>Pecten albicans</i> (Schroter) | イタヤガイ | 4 | L |
| <i>Tonna allium</i> (Dilwyn) | トキウガイ | 1 | L | <i>Crassostera gigas</i> (Thunberg) | マガキ | 2 | L |
| <i>Arnaea thielei</i> (Boury) | クリノイトカケ | 3 | M | <i>Pillucina pisidium</i> (Dunker) | ウメノハナガイ | 2 | SS |
| <i>Epitonium liliputanum</i> (A. Adams) | コビトイトカケ | 3 | M | <i>Cycladicama cunningii</i> (Hanley) | シオガマ | 1 | S |
| <i>Hirtoscala aculeata</i> (Sowerby) | トゲシノブ | 3 | S | <i>Cycladicama lunans</i> (Yokoyama) | マンゲンツシオガマ | 3 | SS |
| <i>Eulima bifascialis</i> (A. Adams) | ハナゴウナ | 3 | SS | <i>Anodontia steamsiana</i> (Oyama) | イセシラガイ | 1 | L |
| <i>Hypermastus philippianus</i> (Dunker) | ヒリッピツツミガイ | 2 | SS | <i>Fulvia mutica</i> (Reeve) | トリガイ | 51 | L |
| <i>Bedequina binleffi</i> (Lischke) | カゴメガイ | 1 | S | <i>Fulvia hungerfordi</i> (Sowerby) | チゴトリガイ | 1 | S |
| <i>Rapana venosa</i> (Valenciennes) | アカニシ | 1 | L | <i>Microcardium braunsi</i> (Tokunaga) | ブラウンスイシカゲガイ | 2 | M |
| <i>Mitrella bincincta</i> (Gould) | ムギガイ | 1 | SS | <i>Macra chinensis</i> Philippi | バカガイ | 5 | L |
| <i>Zeuxis castus</i> (Gould) | ハナムシロ | 3 | S | <i>Coelomactra antiquata</i> (Spengler) | アリソガイ | 2 | L |
| <i>Reticunassa multigranosa</i> (Dunker) | キメムシロ | 409 | SS | <i>Luturaria maxima</i> Jonas | オトトリガイ | 6 | L |
| <i>Reticunassa japonica</i> (A. Adams) | キヌボラ | 2 | S | <i>Raetellops pulchellus</i> (Adams & Reeve) | チヨノハナガイ | 1178 | S |
| <i>Siphonalia cassidariaeformis</i> (Reeve) | ミクリガイ | 5 | M | <i>Moerella jodoensis</i> (Lischke) | モモノハナガイ | 5 | S |
| <i>Siphonalia fusoides</i> (Reeve) | トウト | 2 | L | <i>Nitidolella hokkaidoensis</i> (Habe) | サクラガイ | 7 | S |
| <i>Babylonia japonica</i> (Reeve) | バイ | 45 | L | <i>Macoma praetexta</i> (v. Martens) | オオモモノハナ | 166 | S |
| <i>Olivella fulgurata</i> (Adams & Reeve) | ムシボタル | 31 | S | <i>Macoma sector</i> Oyama | サギガイ | 3 | L |
| <i>Sydaphera spengleriana</i> Deshayes | コロモガイ | 20 | L | <i>Psammotreta tsukubaensis</i> Aoki & Baba | ツクノシラトリ | 25 | L |
| <i>Habesolatia nodulifera</i> (Sowerby) | トカシオリレ | 3 | L | <i>Theora fragilis</i> (A. Adams) | シズクガイ | 3 | SS |
| <i>Inquisitor jeffreysii</i> (Smith) | モミジボラ | 11 | L | <i>Solecortus divanctus</i> (Lischke) | キヌタアゲマキ | 12 | L |
| <i>Tomopleura nivea</i> (Philippi) | マキノモンシャジク | 5 | M | <i>Solen krusenstermi</i> Schrenck | エソマテ | 204 | L |
| <i>Mangelia tabatensis</i> Tokunaga | タバタマンジ | 26 | SS | <i>Siliqua pulchella</i> (Dunker) | ミノソガイ | 72 | M |
| <i>Pseudoelotrema fortirata</i> (Smith) | ホソシヤジク | 2 | SS | <i>Alventius ojanus</i> (Yokoyama) | ケントリガイ | 18 | SS |
| <i>Noditrebra tsuboiana</i> (Yokoyama) | コゲチャタケ | 25 | M | <i>Pliacamen tiara</i> (Dilwyn) | ハナガイ | 26 | S |
| <i>Strotelrebra subtextile</i> (E. A. Smith) | シラタケ | 3 | M | <i>Microcirce diflecta</i> (Gould) | ミジンシラオガイ | 33 | SS |
| <i>Brevimurella japonica</i> (E. A. Smith) | ヒメトクサ | 6 | M | <i>Pitar lineolata</i> (Sowerby) | ウスハマグリ | 5 | M |
| <i>Orinella pulchella</i> (A. Adams) | クチキレガイ | 38 | SS | <i>Phacosoma japonica</i> (Reeve) | カガミガイ | 38 | L |
| <i>Turbonilla</i> spp. | | 110 | SS | <i>Dosimella penicillata</i> (Philippi) | ウラカガミ | 20 | L |
| <i>Agatha virgo</i> (A. Adams) | ミガキクチキレ | 5 | SS | <i>Ruditapes philippinarum</i> (Adams & Reeve) | アサリ | 12 | M |
| <i>Paracinguina triarata</i> (Pilsbry) | ミスジイトカケギリ | 18 | SS | <i>Paphia euglypta</i> (Philippi) | シダレガイ | 7 | L |
| <i>Odosstoma</i> spp. | | 160 | SS | <i>Paphia amabilis</i> (Philippi) | サツマアカガイ | 4 | L |
| <i>Monopteryma eximia</i> (Lischke) | ヒメゴウナ | 1 | S | <i>Paphia undulata</i> (Born) | イソダレ | 2 | L |
| <i>Monopteryma lauta</i> (A. Adams) | ホソマキギヌ | 4 | SS | <i>Callista chinensis</i> (Holtzen) | マツヤマワスレ | 44 | L |
| <i>Solidula strigosa</i> (Gould) | コシイミガイ | 3 | SS | <i>Clementia vatheleti</i> Mabille | フスマガイ | 6 | L |
| <i>Ringicula dolians</i> Gould | マメウラシマ | 826 | SS | <i>Mya arenaria oonogai</i> Makiyama | オオノガイ | 16 | L |
| <i>Ringicula succinata</i> A. Adams | ヘコムツラガイ | 8 | SS | <i>Panopea japonica</i> A. Adams | ナミガイ | 1 | L |
| <i>Retusa minima</i> Yamakawa | ヒメコムツガイ | 20 | SS | <i>Latemula anatina</i> (Linnaeus) | オキナガイ | 6 | M |

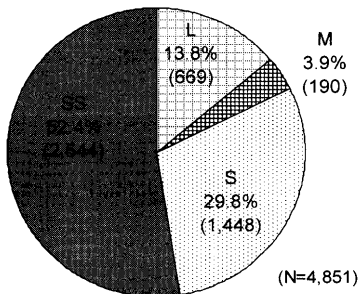


図 4 筆者らが採集した貝化石種のサイズの割合
L=5 cm 以上, M=5~3 cm, S=3~1 cm,
SS=1 cm 以下, N は個体数を示す。

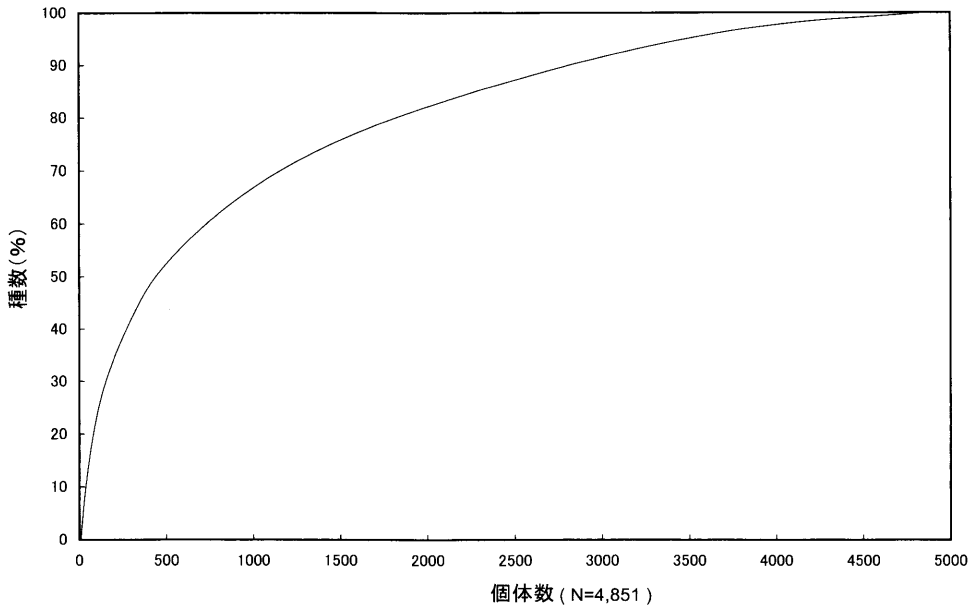
で, S と SS の種が全産出個体数の約 8 割を占める (図 4)。

化石密集層①, ②の二枚貝は, 大半が離弁で殻の膨

らんだ側を上に向け層界面と平行に埋没している。また, 化石密集層①の上位から化石密集層②の直下までの層は, 合弁で生活姿勢を保ったまま埋没している二枚貝化石を産出する。特に, 化石密集層①, ②から産出する貝化石は, ほとんど破壊されておらず表面の摩擦もほとんど見られない。これらのことから, 化石密集層①, ②から産出する貝化石は, 生息地からの移動は少なくほぼ現地性と判断される。したがって, これらの産出化石は一つの群集として認識でき, これを用いて推定する古環境は妥当であると考えられる。

4. 化石の産出個体数と種数との関係

化石を用いて古環境を推定する場合, なるべく多くの種を採集したほうがより精度の高い古環境が推定できる可能性をもつ。産出個体数と群集を構成する種数



$$E(S_n) = \sum_{i=1}^S \left[1 - \frac{\binom{N-N_i}{n}}{\binom{N}{n}} \right]$$

N: サンプルの個体数

S: サンプルの種数

E(S_n): n 個の標本を含んだサンプル中に見いだされるはずの種数

図5 採集個体数と種数との関係（希薄化の曲線と式）

との関係は、Raup (1975) の理論式により rarefaction (希薄化) として求めることができ、産出個体数が多いほど群集を構成する種数が増えることを示している。具体的には、標本の希薄化はデンマークの中新統の 2,954 個体のサンプルを基に検討された。その結果、2,954 個体で産出した種数が 100% となるとすると、産出個体数と種数との関係は、種数が 100% に近づくにつれて徐々に収れんすることを示した。また、この産出個体数と種数との関係は、群集全体の約 80% を採集するためには、約 2,000 個体採集する必要があることを示している。そこで、筆者らが採集した 96 種 (4,851 個体) を基に、産出個体数と種数の関係 (希薄化) を求めた (図 5)。この結果、筆者らが採集した 96 種を 100% とすると、群集の約 50% の種数を採集するためには約 500 個体採集する必要があり、群集の約 90% の種数を採集するためには約 3,500 個体採集する必要があることが示された。

5. 貝化石種を用いた古環境の推定

中期更新世以降の貝化石種は、大半が現生種なので現生種の生態を基に古環境を推定することができる。例えば、化石群集の古水深を見積もる方法に、化石群集に含まれる各種の生息深度から VDM (Vertical Distribution Means) 特性曲線を作成し、最も多くの種が生息していた深度をその群集が生息していた水深 (古水深) とする方法がある (伊田, 1956)。また、化石群集の古緯度を見積もる方法に、各種の生息海域 (緯度) から HDM (Horizontal Distribution Means) 特性曲線を作成し、最も多くの種が生息していた生息海域 (緯度) をその群集が生息していた緯度 (古緯度) として古生態を推定する方法がある (伊田, 1956)。また、大越 (1974) は、種数だけでなく個体数も加味して古環境を推定している。これらの方法は、いずれも種数に基づいており、種数が多いほど精度が高くなる特徴がある。本研究では、化石密集層①、②から採集

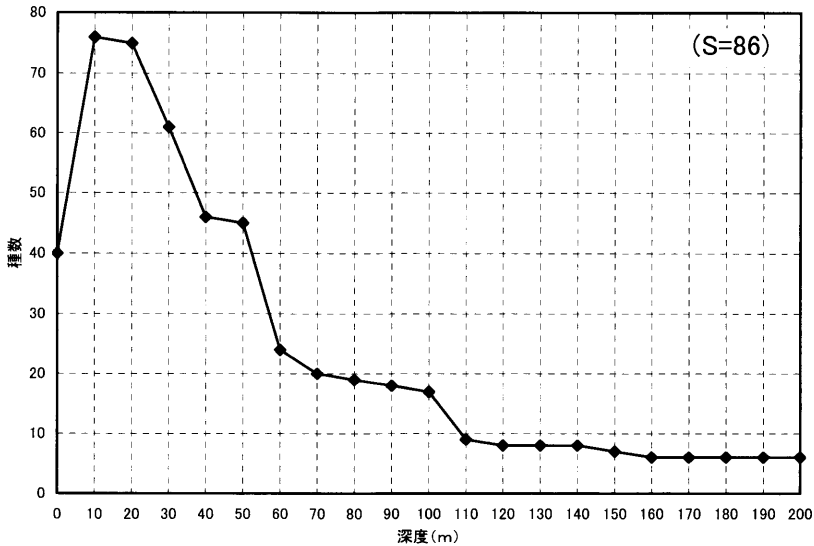


図6 筆者らが採集した貝化石種を用いて作成したVDM特性曲線Sは種数を示す。

した貝化石種のHDM特性曲線とVDM特性曲線を作成し、古水深と古緯度を見積もった。

5.1 古水深の推定

VDM特性曲線から古水深を求める方法は、大山(1952)の現生貝の生息深度の区分を基に一つの化石群集で貝化石の種ごとの生息深度を求める。そして、重複する生息深度の種数を累積し、最も重複する種数が多い深度の区分をその化石群集の生息深度として古水深を見積もる(伊田, 1956)。さらに、川村(1998, 2001)は、肥後・後藤(1993), Higo *et al.* (1999)の海生貝の生息深度を基に、浅海帯で浅の生息深度をメートルで表示した。

産出した96種の貝化石は、*Fuscardium braunsi* (ブラウンスイシカケガイ) および *Psammotreta tsukubaensis* (ツクバシラトリ) 以外はすべて現生種なので、各種の生息深度は現生の貝類図鑑などで求めることができる。本研究では、肥後・後藤(1993), Higo *et al.* (1999), および奥谷(2000)に従って各種の生息深度を求めた。同定した96種には、生息深度が明らかになっていない種が10種含まれるため生息深度を求めたのは96種中86種である。作成したVDM特性曲線は、水深10mにピークが現れた(図6)。このことから、化石密集層①、②から産出した化石群集の生息深度は、水深10m程度と見積もられる。また、多産する種の *Paetellops pulchellus* (チヨノ

ハナガイ), *Ringicula doliaris* (マメウラシマ) は内湾生種なので、化石密集層①、②を含む地層が堆積した環境は、水深10m程度の内湾と推定される。この結果と、同露頭の地層の重なり方を合わせると、化石を多産する泥質砂層の上位には生痕化石や斜交層理が見られる砂層が重なることから、内湾から海岸線に近い環境に変化したことが推定される。

5.2 古緯度の推定 (HDM 特性曲線)

各種の生息海域(緯度)は、肥後・後藤(1993), Higo *et al.* (1999), および奥谷(2000)の太平洋側の生息海域を緯度に読み替えた。同定した96種には、生息海域が明らかになっていない種が5種含まれるため生息深度を求めたのは96種中91種である。その結果、北緯35°にピークが現れたことから、古緯度は北緯35°付近が見積もられる(図7)。

6. 地質野外実習の実践

児童・生徒を対象に地層の観察と採集した化石を基に古環境の変遷を読み解くことを目的とした地質野外実習を実施した。小学生はクラブ(理科部)での活動(7名)、中学生は1学年全員(160名)を対象とした授業、高校生は選択科目履修者(12名)を対象とした授業であった。それぞれの内容は、地層の観察と化石の採集からなるが、対象により若干異なる。なお、小学生・中学生・高校生とも化石は化石密集層①から採

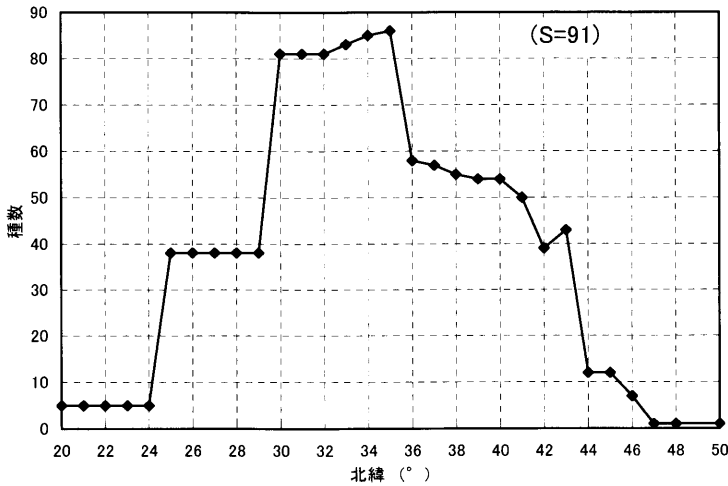


図7 筆者らが採集した貝化石種を用いて作成したHDM特性曲線 Sは種数を示す。

集し、採集時間はほぼ同じ時間(40分)とした。

6.1 小学生を対象とした地質野外実習

地層の観察では、地面の下の様子と地層の広がり の把握を目的とした。露頭全体を広い範囲で観察できる 離れた場所から露頭を観察させ、地面の下の様子と地 層の広がりを把握させた。化石採集では、産状の観察 はせず地層の中から化石を取り出す作業に終始した。 また、採集する際には、なるべく多くの化石を採集す るように指導した。

6.2 中学生を対象とした地質野外実習

地層の観察では、筆者らが露頭の前で地層の重なり 方について解説し、下位の泥質砂層から順に砂層、礫 層の各層を手で触れさせ、各層の粒子の違いを確認さ せた。また、露頭を観察する際に化石の産状に触れ、 採集する化石がほぼ現地性と考えられることを説明し た。化石採集では、なるべくたくさんの種類を採集す

るように指導した。

6.3 高校生を対象とした地質野外実習

地層の観察では、中学生を対象とした実習と同様 に、地層を作る粒子の違いと重なり方の観察に加え て、各層の厚さの違いを認識させるために柱状図の作 成を課した。また、露頭に含まれる化石の産状の様子 を観察させた。化石採集では、なるべくたくさんの種 類を採集するように指導した。

7. 採集した化石を用いた実習の実践

児童・生徒とも地質野外実習で採集した化石を用い て古環境を推定する実習を実践した(表2)。採集した 化石は、含まれている層が未固結なので、水洗いのみ で化石の表面に付着した土砂を容易に取り除くことが できる。

表2 地質野外実習で採集した貝化石種を用いた実習の各校種ごとの内容

| | 小学生 | 中学生 | 高校生 |
|-------------|---|---|---|
| 事後学習 の内容 | ①化石の整理と分類 ②化石の同定 ③古環境の推定 ※採集した上位8種の水 深データを調べ、おおよかな 古環境を推定した。 | ①地層の観察結果から、堆 積環境と地史を推定 ②化石の整理と分類 ③化石の同定 ④化石から古環境の推定 ※現生種の図鑑を参考に古 環境を推定した。 | ①地層の観察結果から、堆 積環境と地史を推定 ②化石の整理と分類 ③化石の同定 ④化石から古環境を推定 ※現生種の図鑑を参考に古 環境を推定した。 |

7.1 小学生を対象とした化石を用いた実習

採集した貝化石を水洗いした後、1人ずつ同じ形の貝化石を分類した。そして、本田昌幸氏（神奈川県立境川情報センター公園利用専門官）が作成した境川遊水地公園から産出した化石を基にした同定用写真カードを用いて36種を同定した。また、同定した種の生息環境から生息深度を見積もり、最も多くの種が重複する水深を採集した貝化石種が生息していた水深（古水深）とした。その結果、水深10mに生息する種が32種と最も多いことから、採集した貝化石種の古水深を10mと見積もった。

7.2 中学生と高校生を対象とした化石を用いた実習

小学生を対象とした実践と同様に、水洗い後に分類した。中学生では、全員が採集した化石を合わせると40種を同定した。同定できた種は、現生の貝類図鑑を

用いて生息環境を調べた。その結果、ほとんどの種の生息環境に内湾が含まれていたことから、採集した貝化石種が生息していた古環境を内湾と推定した。高校生が採集した貝化石種でも、中学生と同様の手法で内湾という古環境を推定した。

8. 採集した化石を実習で用いる際の留意点

8.1 産出個体数の比較

同じ露頭でも採集者により採集する化石の特徴の相違を調べるため、小学生7名が採集した貝化石（36種602個体）、中学生160名が採集した貝化石（40種1,082個体）、高校生12名が採集した貝化石（44種138個体）と、筆者らが採集した貝化石（96種4,851個体）で、採集頻度を比較した（表3）。なお、多産する種は、1人で2個体以上採集した種、1~2人で1個体採集した種、2~3人で1個体採集した種の

表3 小学生・中学生が採集した貝化石種（上位10種）と筆者らが採集した貝化石種（上位10種）との採集頻度の比較とサイズの関係

| | 種名 | (和名) | サイズ | 採集頻度 | | | |
|--|---------------------------------|------------|-----|------------------|-----|-----|-----|
| | | | | 著者 (産出個体数比:%) | 小学生 | 中学生 | 高校生 |
| 著者等 が採集 した貝 化石上 位10種 | <i>Raetellops pulchellus</i> | (チヨノハナガイ) | S | 24.3 | - | - | - |
| | <i>Ringicula doliaris</i> | (マメウラシマ) | SS | 17.0 | - | - | - |
| | <i>Saccella confusa</i> | (ゲンロクソデガイ) | SS | 11.4 | - | - | - |
| | <i>Reticunassa multigranosa</i> | (ヒメムシロ) | SS | 8.4 | - | ● | - |
| | <i>Putilla paludinoidea</i> | (タニシツボ) | SS | 4.3 | - | - | - |
| | <i>Solen krusenstermi</i> | (エゾマテ) | L | 4.2 | - | - | ● |
| | <i>Macoma praetexta</i> | (オオモモノハナ) | S | 3.4 | ●● | - | - |
| | <i>Odostomia</i> spp. | | SS | 3.3 | - | - | - |
| | <i>Turbonilla</i> spp. | | SS | 2.3 | - | - | - |
| | <i>Siliqua pulchella</i> | (ミゾガイ) | M | 1.5 | - | - | - |
| 児童・ 生徒が 採集し た貝化 石上位 10種 | <i>Babylonia japonica</i> | (バイ) | L | 0.9 | ●●● | ●●● | ●●● |
| | <i>Glossaulax reiniana</i> | (ハナツメタ) | L | 0.8 | ●●● | ●●● | ●●● |
| | <i>Phacosoma japonica</i> | (カガミガイ) | L | 0.8 | ●●● | ●● | ●● |
| | <i>Glossaulax didyma</i> | (ツメタガイ) | L | 0.5 | ●● | ●● | ●● |
| | <i>Scapharca broughtoni</i> | (アカガイ) | L | 0.7 | ●● | ● | ●● |
| | <i>Sydaphera spengleriana</i> | (コロモガイ) | L | 0.4 | ●● | ● | ● |
| | <i>Dosinella penicillata</i> | (ウラカガミ) | L | 0.4 | ●●● | ● | - |
| | <i>Scapharca satowi</i> | (サトウガイ) | L | 0.2 | - | ● | - |
| | <i>Zeuxis castus</i> | (ハナムシロ) | S | 0.1 | - | - | ● |
| | <i>Solen krusenstermi</i> | (エゾマテ) | L | 0.02 | - | - | ● |

サイズ: 5 cm 以上 (L), 3~5 cm (M), 1~3 cm (S), 1 未満 (SS)

小学生・中学生・高校生の多産種: 1人で2個体以上(●●●), 1~2人で1個体(●●), 2~3人で1個体(●)

3段階に区分した。また、化石を採集した小学生・中学生・高校生は人数と採集した貝化石の個体数に差があるが、それぞれの化石採集の条件(場所・時間)と、採集した貝化石の上位10種は違いがないため、それぞれが採集した貝化石群集の特徴を比較しても問題ないと判断した。その結果、*Babylonia japonica* (バイ)が、小学生・中学生・高校生のすべてで1人2個体以上採集し、最も多く採集された。また、*Phacosoma japonica* (カガミガイ)、*Glossaulax reiniana* (ハナツメタ)、*Glossaulax didyma* (ツメタガイ)も、児童・生徒で採集頻度が高い種となった。筆者らが採集した貝化石の採集頻度は *Ringicula doliari* (マメウラシマ) が最も高い頻度で産出したが、児童・生徒はほとんど採集していない。一方、*Phacosoma japonica* (カガミガイ) は、筆者らが採集した化石の採集頻度は高くないが、児童・生徒では採集頻度が極めて高かった。これは、児童・生徒が化石を採集する際に選択的に採集したことに起因したと思われる。

また、筆者らが採集した96種(4,851個体)から見積もった Raup (1975) の産出個体数と種数との関係(図5)に基づく、例えば中学生が採集した貝化石は、1,082個体なので、筆者らが採集した96種を100%とすると、約70%(67種)採集できるはずである。しかし、実際に採集した種数は40種であったことから、中学生は選択的に採集していたことが示唆

される。

さらに、児童・生徒が採集した貝化石の優先種には、巻貝、二枚貝とも含まれているので、巻貝と二枚貝という観点での選択性はないと思われる。また、顕著に特異な形態を呈している二枚貝・巻貝も含まれていないため、形態による選択的採集もされていないと思われる。しかし、大きさに注目すると小学生は優先種の10種中7種、中学生は10種中8種、高校生は10種中7種が大きさ5cm以上の種(Lサイズ)であった。筆者らが採集した優先種10種では、大きさ5cm以上の種(Lサイズ)が1種、3~4cmの種(Mサイズ)が1種、3~1cmの種(Sサイズ)が2種、1cm未満の種(SSサイズ)が6種で、大半が1cm未満であった。このことから、児童・生徒が採集した貝化石は大きさにより選択的に採集されていることが示唆される。

8.2 生徒が選択的に採集した化石で推定した古環境の妥当性

中学生(160名)が採集した貝化石(1,082個体)を用いて、1人当たり1個体以上採集した3種、3人で1個体以上採集した5種、5人で1個体以上採集した10種、10人で1個体以上採集した14種それぞれの場合のVDM特性曲線とHDM特性曲線を作成し、筆者らが採集した86種の貝化石で作成したものと比較した(図8)。その結果、3種、5種、10種、14種それ

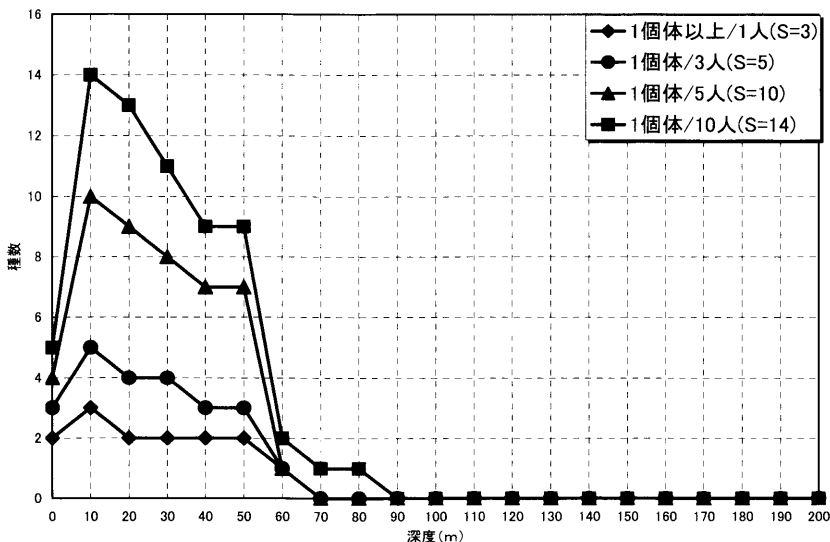


図8 生徒が採集した貝化石種の優占種で作成したVDM特性曲線 Sは種数を示す。

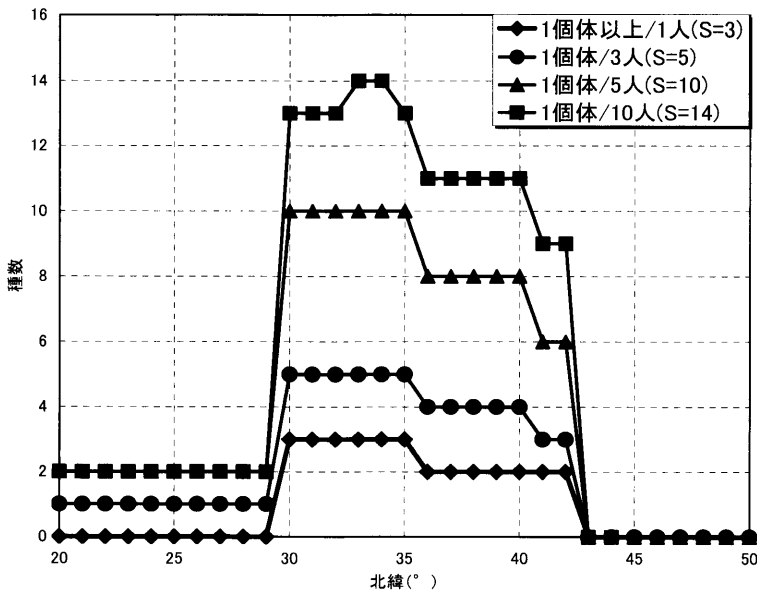


図9 生徒が採集した貝化石種の優占種で作成したHDM特性曲線
Sは種数を示す。

ぞれの場合で、86種で作成したVDM特性曲線と同様に水深10mにピークが現れた。このことから、児童・生徒が選択的に採集した種構成を用いても、筆者らのように多種を用いて解析しても同様の結果が得られることが示された。一方、HDM特性曲線は、10名の児童・生徒で1個体採集できるような採集頻度があまり高くない種も含めると、北緯33~34°にピークが現れ、筆者らが作成したHDM特性曲線で推定した古緯度(北緯35°)とは若干異なる(図9)。また、児童・生徒誰もが採集できるような多産種のみでHDM特性曲線を作成すると、筆者らが推定した古緯度(北緯35°)は含まれるものの、ピークの幅が広がる(北緯30~35°)。このことから、HDM特性曲線を用いて古緯度を推定する際には、産出個体数が少ない種も含め、より多くの種を用いて解析するのが良いことが示された。

9. 化石を用いた実習の結果と考察

児童・生徒が採集した貝化石と筆者らが採集した貝化石を基に優占種を調べると相違が認められた。特に、児童・生徒が採集した貝化石と筆者らが採集した貝化石とを比較すると、筆者らが採集した貝化石の優占種のほとんどは大きさ1cm未満(SS)の小さな貝化石であったが、児童・生徒が採集した貝化石は大き

な種に集中していることが認められた。このことから、児童・生徒が化石を採集する際には、化石標本の大きさにより取捨選択されていることがわかった。したがって、化石を用いた群集の構成種に基づく解析を児童・生徒がする際には、ある特定の種に偏った化石で定性的に分析しても影響がない方法を用いるのが適切である。例えば、本研究で用いたVDM特性曲線から古水深を見積もる方法は、採集した貝化石が大きめの種に偏っていても古水深を導くことができる。したがって、児童・生徒が採集した貝化石を用いて古環境を推定する実習では、VDM特性曲線から古水深を見積もる方法が適している。

10. 結 論

- (1) 神奈川県境川遊水地公園に分布する伊勢山辺層の化石密集層から貝化石を4,851個体採集し96種を分類し同定した。
- (2) 筆者らが採集した貝化石の個体数と種数との関係を、Raup(1975)の希薄化を用いて調べた。その結果、この露頭の化石密集層で、筆者らが採集した96種の90%の種数を採集するためには、3,500個体程度採集する必要があることがわかった。
- (3) 採集した96種のうち86種を用いてVDM特性曲線を作成し、古水深を10mと見積もった。ま

た、91種を用いてHDM特性曲線を作成し、古緯度を北緯35°と見積もった。

(4) 小学生・中学生が地質野外実習で採集した貝化石を検討した結果、児童・生徒は採集する化石を、大きさを基準に取捨選択している。

(5) 筆者らが採集した86種を用いて作成したVDM特性曲線と、児童・生徒が選択的に採集した貝化石種で作成したVDM特性曲線には大きな相違が認められない。このことから、児童・生徒が選択的に採集した標本のみのデータでVDM特性曲線を作成し古水深を見積もることは可能である。

(6) 児童・生徒が選択的に採集した貝化石種で作成したHDM特性曲線を作成すると、筆者らが採集した91種を用いて作成したHDM特性曲線のピークと若干異なる。これは、種数が少ないことに起因するので、児童・生徒が採集した貝化石種を用いてHDM特性曲線を作成し古緯度を推定する際には、産出個体数が少ない種も含め、より多くの種を用いて解析するのが良い。

謝辞 この地質野外実習を実践するにあたり、本田昌幸氏（県立境川情報センター公園利用専門官）をはじめとする神奈川県立境川遊水地公園のスタッフの方々と、慶應義塾湘南藤沢中等部3年生の担任の先生方に大きな援助をいただいた。また、慶應義塾幼稚舎理科部の先生方にも野外実習にご協力いただいた。東京学芸大学広域自然科学講座環境科学分野の松川正樹教授には、終始ご指導いただき数々の貴重なご意見を賜った。広尾地学研究会の皆様からは数々のご意見をいただいた。この場を借りて心より感謝の意を表します。なお、本研究は平成18～20年度慶應義塾学事振興資金（共同研究）の一部を使用した。

引用文献

Aoki, N. and Baba, K. (1987): A *Psammotreta* (*Tellini-*

mactra) species from the Narita Formation, Shimotsuma, southern Ibaraki, central Japan. *Annual Report of the Institute of Geoscience, The University of Tsukuba*, **13**, 74-79.

肥後俊一・後藤芳央(1993): 日本及び周辺地域産軟体動物総目録。エル貝類出版局, 八尾, 693 p.

Higo, S., Callomon, P. and Goto, Y. (1999): Catalogue and bibliography of the marine shell-bearing Mollusca of Japan. Elle Scientific Publications, Yao, 749 p.

伊田一善(1956): 貝化石群集の特性曲線について。地質調査所月報, **7**, 63-68.

川村教一(1998): 建設廃土中の化石による古環境解析の教材化。第3回日教弘教育賞教育研究集録第9集, (財)日本教育公務員共済会, 東京, 54-57.

川村教一(2001): 建設廃土中の完新世貝化石による古環境解析の授業実践—香川県高松平野を例として—。地学教育, **54**, 75-83.

町田 洋・松島義章(1976): 下末吉海進初期の古環境に関する若干の資料。第四紀研究, **15**, 136-140.

成瀬 洋(1952): 相模野大地東縁部の地質。地質学雑誌, **58**, 423-432.

奥谷喬司(2000): 日本近海産貝類図鑑。東海大学出版会, 東京, 1221p.

大越 章(1974): 軟体動物化石による堆積環境の解析(予報)—津久井化石床を例にして。横須賀市博物館雑報, no. 19, 11-18.

大塚彌之助(1930): 三浦半島北部の層序と神奈川県南部の最新地質時代に於ける海岸線の變化に就いて。地質学雑誌, **37**, 343-386.

大山 桂(1952): 海産貝類の垂直分布について。貝類学雑誌, **17**, 27-35.

Oyama, K. (1973): Revision of Matajiro Yokoyama's Type Mollusca from the Tertiary and Quaternary of the Kanto Area. Paleontological Society of Japan Special Papers, no. 17, 148 p., 57 pls.

Raup, D.M. (1975): Taxonomic diversity estimation using rarefaction. *Paleobiology*, **1**, 333-342.

田口公則, 松島義章, 大島光春, 樽 創, 生命の星・地球博物館古生物ボランティアグループ(2007): 横浜市南西部の上部更新統から見出された熱帯種タイワンシラトリ化石。神奈川県立博物館研究報告(自然科学), no. 36, 33-38.

小荒井千人・馬場勝良：選択的に採集された貝化石による古環境推定の評価—神奈川県境川遊水地公園内で採集した第四系貝化石を例として— *地学教育* 63 巻 5・6 号, 149-162, 2010

〔キーワード〕 貝化石, 古環境の推定, 小学生, 中学生, 高校生, 地質野外実習

〔要旨〕 神奈川県立境川遊水地公園で小・中・高校生を対象に地質野外実習を実施し, 児童・生徒が現地で採集した貝化石種を用いて古環境の推定を試みた. 児童・生徒は大型の貝化石種を優先的に採集する傾向が認められた. それらを用いて VDM 特性曲線と HDM 特性曲線を用いて推定した古環境は, 筆者らが採集した貝化石種から同様の方法で推定した古環境と大きな差がないことが示された. したがって, この露頭で児童・生徒が採集した, 大きさにより選別されている貝化石種を用いて推定した古環境は妥当である.

Kazuto KOARAI and Katsuyoshi BABA: An Evaluation of Paleoenvironmental Reconstruction with Collecting Fossil Shells Selectively on the Basis of the Molluscan Fossil Fauna from the Pleistocene Iseyamabe Formation at the Sakaigawa Yusuichi Park, Kanagawa Prefecture, Japan. *Journal of Education of Earth Science*, 63(5・6), 149-162, 2010

食用廃油を使用した複成火山作製実験の開発

Development of Experiment on Polygenetic Volcanoes Using Waste Food Oils

笠間友博*・平田大二*・新井田秀一*・山下浩之*・石浜佐栄子*

Tomohiro KASAMA, Daiji HIRATA, Shuichi NIIDA, Hiroyuki YAMASHITA
and Saeko ISHIHAMA

Abstract: A new experiment that simulates volcanic eruptions and edifice formation is developed. In this experiment, waste food oils containing a coagulant are used to represent lava and colored sand is used to represent volcanic ash. The experiment can be used to simulate any type of polygenetic volcano, such as strato volcanoes, shield volcanoes, and calderas. The experiment aims to illustrate the relationship between the viscosity of magma and the shape of the edifice, and it is designed for junior high-school students. The viscosity of magma can be controlled by varying the temperature of the oil. An eruption cloud can be formed by colored sand and jets of hydrofluorocarbon gas sprayed from a canned air duster. Such experiments (e.g., making a model of Mt. Fuji, which is the most famous volcano in Japan) are a good way of introducing the concept of volcanology to grade-school students, especially those in the sixth grade. For high-school students, volcanoes with more complicated eruption mechanisms, such as the Hakone volcano, can be simulated by using the experiment. The experiment requires a greater effort in terms of preparation and restoration compared to other conventional school experiment; however, by using this experiment, students show greater interest and gain a better understanding of the subject.

Key words: volcanic eruption experiment, edifice formation experiment, school-museum cooperation, waste food oil, colored sand

1. はじめに

火山には多くの種類があり、噴火のタイプやマグマの性質などに関連づけて分類されている。噴火とともに火山体を作製するモデル実験は、小麦粉やチョコレート、ココアなどを使用したキッチン火山実験(林, 2006 など)をはじめ、教育普及目的で盛んに行われている。これらの実験は、手軽に短時間で行える点で優れている。しかし、粘性の異なる物質を押し出すなど単純な操作で火山を作製するため、山体は単成火山が中心となる。富士山など教科書には多くの成層火山

が登場するが、成層火山等の複成火山を実験で作製するには、より時間をかけた大掛かりな実験が必要であり、専用の実験装置の開発も必要である。

筆者らの所属する神奈川県立生命の星・地球博物館では、学校への学習支援を目的に複成火山作製実験を開発し、普通の授業の中では作製の難しい多様な火山体の作製を試みた。この実験は溶岩の材料として食用廃油を用いることから「食用廃油火山実験」と名づけた。

本論では、食用廃油火山実験による複成火山作りについて報告を行い、学校教育の中でどう活用できたか

概要を述べる。なお、本実験ではこれまでに約5,390人(2010年6月現在)が火山を作製した。学校における教育実践の詳細については別稿にて報告する予定である。

2. 実験目的

①複成火山作製の必要性と学校教育

火山噴火は、溶岩とテフラの噴火に分けることができる。火山体はこれら噴出物の堆積で成長するが、山体崩壊やカルデラ形成で、高さを減じることもある。火口も一つとは限らず、複数の山体からなる火山もある。複成火山では、長期にわたる形成史の中にこのような多様な活動が介在する。実験で作製するためには、これらが、一つの実験台上で再現できることが必要である。これが可能ならば、少なくとも陸上の火山については、単成火山を含め、日本のみならず世界のさまざまな火山を実験で作製できるはずである。

現行学習指導要領では、小学校6年(火山と地震の選択、新学習指導要領では選択ではなく必修となった)、中学校1年および高校地学I(新学習指導要領では地学基礎)で火山の扱いがある。小学校6年生では火山噴火と地層、火山と土地の変化について扱う。複成火山作製が実験で可能ならば、繰り返される溶岩とテフラの噴出によって、火山体周辺がしだいに埋まっていくといった土地の変化や火山体が成長していく様子を実験で調べることができ、その断面を観察すれば火山灰層など火山噴火と地層の関係も調べることができる。また教科書で扱いの多い富士山の作製も可能となる。

中学校1年ではマグマの粘性と火山の形、火成岩について扱う。マグマの粘性と火山の形に関する実験は、前述のようにキッチン火山実験などで広く行われている。しかし、溶岩ドームを除くと、成層火山と盾状火山は複成火山で、複成火山作製が可能ならば、これら三つの山体をより正確に比較できる。さらに教科書に示される具体的な火山を作りながら、マグマの粘性と火山の形について学習することも可能となる。

高校ではプレートの動きと火山形成に触れ、扱われる火山の種類や噴火様式も増える。単成火山・複成火山という用語を扱っている教科書もある。複成火山形成が実験で可能ならば、これらの火山の形成過程を実験で調べることができる。

また、総合学習で地域の火山を扱う場合、該当する火山の形成史を実験で再現することもできる。

以上のように複成火山作製が実験で可能ならば、学校教育に大いに役立てることができる。

②実験の到達目標

複成火山作製のためには以下のような項目を満足する必要がある。

- 1) 溶岩噴出を何度も繰り返すことができる。
- 2) 溶岩は粘性、噴出量、噴出率など噴火の調整ができる。
- 3) テフラ噴出を何度も繰り返すことができる。
- 4) テフラ噴出は連続的な噴火や断続的な噴火、噴煙柱高度など噴火の調整ができる。
- 5) 溶岩噴出、テフラ噴出を任意の割合で組み合わせることができる。
- 6) カルデラ形成ができる。
- 7) 山体崩壊ができる。
- 8) カルデラ形成や山体崩壊の後にも、溶岩噴出、テフラ噴出が1)~5)のようにできる。
- 9) 複数の山体を任意の位置に作るができる。

以上に加え、学校の学習支援では以下の項目も必要である。

- 10) 安全性が確保されている
 - 11) 1時間または2時間連続授業で火山が完成する。
 - 12) 消耗品は安価で大量入手できる。
 - 13) 形成過程を学習するため断面の観察ができる。
- これらの到達目標を念頭に実験開発を試みた。

3. 実験素材の選択と装置設計

①溶岩の材料

溶岩の材料は、食用廃油に家庭用食用廃油処理剤(ジョンソン(株)固めるテンブル、以下処理剤と呼ぶ)を加えたものを使用した(笠間ほか、2006)。博物館レストラン、児童・生徒の家庭などからの回収油に、処理剤をその説明書に従って加えた(以下、これを単に油と呼ぶ)。油の加熱および温度管理は1℃単位の調整が可能なヒーティングバス(ビュッヒ社B-491、容量4l)を使用した。

処理剤の溶解推奨温度(80℃以上)から63℃までは、処理剤の影響は見られなかった。63~60℃で油表面やヒーティングバス側面に固まった油(以下、固化油と呼ぶ)が形成され始めたが、粘性に目立つ変化は見られなかった。この温度幅は、油の種類や使用状況、室温が影響した。59℃以下では粘性がやや上がり、固化油も多くなった。完全に固化する温度は55~50℃

の間であった。固化油はぜい性を有するゼリー状物質で、パレットナイフで容易に切断でき、カルデラの作製、山体の崩壊、山体の切断観察が容易であった(図11参照)。また、パイプ状器具で穴を開けることができ、この作業時に穴の周囲にひび割れは生じなかった。このため新たな火道の作製や閉塞した火道の再開も容易であった。閉塞した火道の再開は、噴火を繰り返すうえで重要であった。

油は63~60°C間の固化油が生じない最低温度に設定して使用した。レードルですくい、漏斗でポリエチレン製洗浄瓶(250 ml用、ノズル付のキャップは外した。以下油容器と呼ぶ)に入れ、後述の実験台天板下面に取り付け、図1のように手で容器側面を押すことで噴出させた。噴出量、噴出率の調節も手の操作で行った。洗浄瓶にはさまざまな製品があるが、ノズル

付キャップのネジが、後述するテフラの材料である砂を入れるペットボトルと同じ製品を選んだ。小さな力でも噴出できるように、油は容器にほぼいっぱいに入れた(約280 ml)。1回の容器取り付けで、無理なく押し出せる油量は100 ml程度で、これを適量、数回の噴火に分けて噴火させた。現実の噴火も噴出量や一連の噴火活動中の噴火回数は変化するため、噴出量や噴火回数は定量的な指示をせず、後述する砂ともに実験者の操作に委ねた。

油は1回の容器取り付けでの一連の噴火では、粘性は変化しなかったが、次の容器取り付けまでの間に冷めて粘性が変化した場合は、油をヒーティングバスに戻して入れ替えた。粘性が変化しない場合は、不足分を注ぎ足した。このためヒーティングバスは2台用意し、1台は油の供給用(63~60°C)、もう1台は油の再加熱(75~70°Cに設定)、または油の不足を補うために新しい廃油に処理剤を溶かすこと(85~80°Cに設定)に使用した。

63~60°Cの油は、図2のように粘性の低い玄武岩質溶岩を表し、実験台天板に厚さ2~1 mm程度で薄く広がった。表面は滑らかでパホイホイ溶岩と似た形態を示した。この厚さの油が完全に固化する時間は約20~30秒であった。油の固化は、表面のつやがなくなることで容易に判断できた。油の粘性調整は、油容器を氷水の入った丸型水槽で強制的に冷やすことで行った。油は容器側面から固化が始まり、5分で中心まで固化した。固化した状態でも容易にぜい性破壊し、容器から押し出して噴出させることができ、図3のように粘性の高い流紋岩質溶岩の溶岩ドーム作製に使用した。中間の粘性の安山岩質溶岩は、3分前後冷



図1 油の操作
手前の人物は油を噴出、奥の人物は油容器の取り付け作業を行っている。

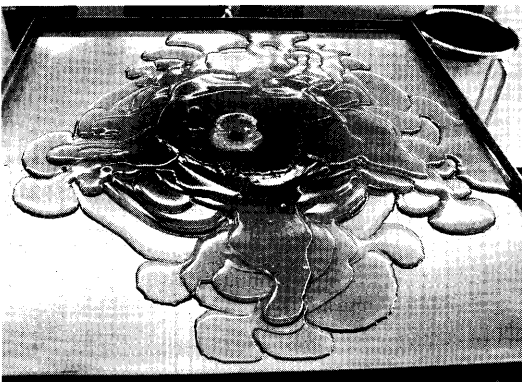


図2 63~60°Cの油で、低粘性の玄武岩質溶岩を表す



図3 55~50°Cの固化油で、高粘性の流紋岩質溶岩を表す

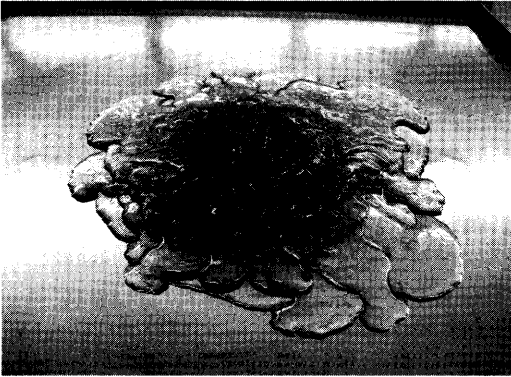


図4 59～55℃の油で、中間の粘性を持つ安山岩質溶岩を表す

却し、パフェスプーンにて容器面に形成された固化油を中心部の未固化油と混合させて使用した。流れ出した油は、図4のように粘性の上がった液体部分と固化油の薄片との混合物で、アア溶岩ないし塊状溶岩と似た表面形態を示した。冷却時間とパフェスプーンの混合操作の調節で、中間粘性の溶岩は、幅広い粘性の再現が可能であった。

②テフラの材料

笠間ほか(2006)は、テフラに見立てた乾燥土を、スプレー缶のガスで噴出させる実験を行った。分子量の小さいヘリウムを用いれば、噴煙柱が形成され、二酸化炭素など分子量の大きな気体を用いれば火砕流となった。本実験では、より粗粒な砂を用いることによって土埃を避け、噴煙再現より山体形成に重点を置いた。砂は噴火を印象強く見せるため、また火山体の断面を見やすくするため、色の選択が可能な市販のカラーサンド(新東陶料(株)焼成着色骨材シントーカラーサンド、8番サイズ、以下これを単に砂と呼ぶ)を用いた。スプレー缶は、比較的安価な事務機器掃除用のエアダスター(代替フロン製品)を用いた。砂8番サイズ(粒径0.1mm前後、ほぼ極細砂に相当)は、この代替フロンガスの圧力で効率的に噴出する粒度として選定した。このほか、ジメチルエーテル(DME)製品も同様の圧力を持ち、使用の互換性があった。これらのガスは可燃性であるため、火気を使用しない環境で、換気を行いながら使用した。なお、二酸化炭素製品は不燃性の利点があるが、高価で容量が少なく、代替フロン、DME製品と比べてガス圧が高く、適合する砂の粒度が異なるため使用しなかった。

砂の容器は、飲料用ペットボトル容器(280ml用)



図5 砂の操作
ノズルは、図中→位置に浅く差し込む。



図6 砂の噴火の種類
a: プリーシー噴火, b: 火砕流噴火, c: ストロ
ンボリ式噴火。

を用いた(以下砂容器と呼ぶ)。側面下部には噴出させるスプレーのノズルを差し込む穴(直径2mm)を一つつけた。砂は噴出効率を上げるため漏斗で飲み口までいっぱいに入れ、ノズル差込口を手で押さえながら実験台まで運び、油容器と同じように後述の実験台天板下面に取り付け、図5のように側面下部にあけた差込口にスプレー缶のノズルを3～5mm差し込み、ガスの噴出とともに噴出させた。1回の容器取り付けで効率的に噴出する砂の量は70ml程度、油と同様にすべては噴出しないが、噴出量はこれで十分であった。色を変えながら噴火させるため、砂は容器取り付けごとにすべて入れ替えた。噴火の調節はスプレーの押し方、砂の詰め方で行った。砂の噴煙の上昇高度は瞬間的には約1mに達することがあったが、スプレーを押し続ける連続的な噴火では30～50cmであった。1秒程度の1回の噴火の噴出量は、砂の詰まり具合で変化し、5～30ml程度であった。したがって1回の容器取り付けで数回の噴火が可能であった。ペットボトルをたたきながら砂を入れると密に入り、1回当たり

の噴出量が多くなり、濃く横へ崩れやすい噴煙（＝擬似的な火砕流）を形成した（図 6b）. 軽く入れるとその逆に薄く、噴煙柱状に上方へ伸びる噴煙（＝擬似的なプリニー式噴火）を形成した（図 6a）. 少量のガスを断続的に噴出させると低い噴煙を形成し、火口周辺にテフラを堆積させるストロンボリ式噴火となった（図 6c）.

砂は油に対するぬれ特性が適切で、はじきや過度のしみ込みは生じなかった. また、油の流れによる砂の侵食もほとんど生じなかった. 一方、固化油の表面には油分による湿り気が存在するため、降下した砂は、山頂部など安定角を越えた斜面にも付着し、擬似的なアグルチネートを形成した. 過剰に堆積した砂は粒子流となり安定角を形成した.

③実験台

実験台は筆者らが設計し、専門業者（神奈川県小田原市の(有)ケー・クラフト）に依頼して製作した. 製作費は(独)科学技術振興機構(JST)の2006年地域科学館連携支援事業の支援を受けた. 実験台は出張授業を考慮して組み立て式とし、2台1組で木箱に収納し、合計14台製作した. 組み立てた実験台は、縦・横・高さ各35 cm, 操作時の安定性を重視し重量は約5 kg, 材質はステンレスである. 作製から4年経過したが、破損はない.

図7に実験台の詳細を示す. 天板Fの中央には、カルデラ作製に使用する直径4 cmの穴がある. この穴に陥没円盤Cがはまる. C中央には直径1.2 cmの火口がある. Cは高ナットE'によって最大70 mm下げることができる. 陥没円盤の下には雌ネジ付ジョイントDがあり、前述の油、砂の容器（洗浄瓶、ペットボトル）をねじ込むことができる. CとFは蛇腹Bで接合しており、Cを下げて油を噴出させても漏れない. Bはグリス容器を切って使用した. 天板の大きさ、火口径、カルデラ形成にかかわる陥没円盤径は、試行実験で決定した. カルデラ形成は陥没円盤を下げて蛇腹を伸ばし、地下に空洞を作り、上部山体を落とした. 砂だけの山体は自然に落ち込み、カルデラができたが、固化油層があると自然には落ちず、パレットナイフで人為的に崩し落とした. カルデラ形成後に再び噴火させるには、油を噴出させてカルデラ内の崩落物を固め、パイプを通して新たな火道を作った. 山体崩壊（馬蹄形カルデラ形成）も人為的にパレットナイフで山体を破壊させた. 複数の山体を作製する場合は、作製した山体を人為的に横にずらしてパイプで新たな火

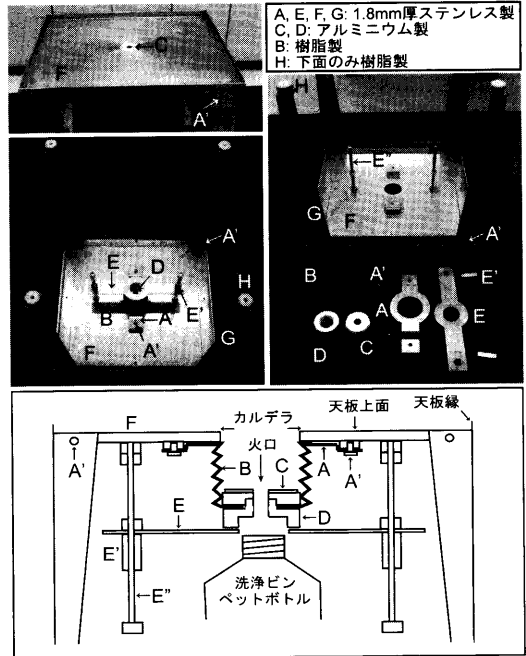


図7 実験台

左上：天板上部，左中：天板下面，右中：天板下面の分解，下：天板の構造
A: 蛇腹を天板に付ける板, A': ボルト, B: 蛇腹, C: カルデラ用陥没円盤, D: 雌ネジ付ジョイント, E: 蛇腹支持板, E': 陥没円盤作動用高ナット, E'': 陥没円盤作動用長ボルト (天板にダブルナットで固定する), F: 実験台天板, 一辺 35 cm の正方形, 緑の高さ 1 cm, G: 実験台脚, 長さ 35 cm, H: 実験台脚長調節ネジ

道を作った. これを繰り返すことによって複数の山体を作ることができた. 山体の移動はパレットナイフで山体基部を天板から切り離す方法と、あらかじめ天板上にビニールシート（一辺 50 cm 程度の正方形に切る、厚さ 0.03 mm）を敷いてビニールシートごと移動させる方法をとった. 後者のほうが移動作業は楽であるが、噴出物がビニールシートと天板の間に少量たまることがあった. ビニールシートを敷いても、金属パイプを通してビニールシートに円形の穴が開き、新たな火道は容易にできた.

複数の山体を作る場合や山体崩壊、カルデラ形成後に新たな山体を作る場合は、山体ごとに砂の色を変えて、断面観察が目立つように指導した.

なお、これら実験装置一式は、1,800 cc クラスのライトバン1台で運べる容量である.

4. 結果—どのような火山ができたか—

①実験の実施

開発した実験は、以下のような場面でを行った(2006年9月～2010年7月現在)。

- ・小学校の授業

神奈川県内7校8回, 東京都内1校1回

- ・中学校の授業

神奈川県内5校10回, 東京都内1校2回

- ・高等学校の授業

神奈川県内2校4回, 千葉県内1校1回

- ・小学校のPTA イベント 神奈川県内1校1回

- ・小学校の学童保育のイベント 神奈川県内1校1回

- ・高等学校のクラブ活動

神奈川県内1校1回, 静岡県内1校1回

- ・教員研修 神奈川県, 藤沢市, 足柄下郡各1回

- ・博物館講座 毎年8月に3回実施, 講座名「ミニ火山をつくろう」

- ・博物館イベント

2008年箱根火山特別展22000分の1箱根火山作製, (笠間ほか, 2009a), 2007年, 2009年ミュージックフェスタ, 2008年科学の祭典神奈川大会

- ・自治体からの依頼 神奈川県内エコクラブ1回

- ・学会イベント

2007年地震火山こどもサマースクール, 2009年日本火山学会火山学者と火山をつくろう(笠間ほか, 2009b)

②対象年齢

授業では火山の扱いがある小学校6年生が最低年齢だが, 博物館等のイベントでは学習より火山作りの面白さを味わう実験として対象年齢を下げた。ただし, 実験台の高さ, スプレーを押す力を考慮して小学校1年生以上を対象とした。

③汚れ対策・安全対策

実験は砂と油を使用するため, 汚れても良い服装で行った。実験室の机も新聞紙で覆った。

容器に入れる油は63～60℃であるため, 火傷防止のため油容器の持ち運び, 噴火操作時に耐油性ゴム手袋を使用した。スプレー缶は気化熱を奪われ霜が付くこともあるので, 操作時に軍手を使用した。砂を避けるためにマスク, ゴーグル(水泳用を持参など)を適宜使用した。

砂はスプレーのガス圧が限られており, 火道の閉塞

も解除した状態で実験を進めるので, 過度に爆発的な噴火をすることはなかった。しかし, 油は押す力を強めると加熱した油が飛び散る場合があるので, ゆっくり押し出すことを指示した。はじめに加熱油の危険性を説明すると, よくルールを守って真剣に実験に取り組んだ。加熱油は児童・生徒に適度の緊張感を与えていた。

④器具の配置

4人程度からなる班に分け, 班で火山を作製した。

1) 各班に用意するもの

実験台1台, 実験台下敷き(油が机にしみ込むのを防ぐ)1枚, 砂容器1個, 油容器1個(冷却して使う場合は2～3個用意), ガススプレー1本, パレットナイフ(刃渡り24cm)1本, 火道掃除用ステンレスパイプ(直径8mm, 長さ20cm)1本, トング1本(カルデラ形成時のみ使用), パフェスプーン1本。

2) 全体で用意するもの

ヒーティングバス2台, 食用廃油15～24l(ポリ灯油缶に入れる), 処理剤5本入り箱8箱, カラーサンド8番赤, 青, 黄色, 白, 灰色各3kg(トレイに入れる), レードル1本, 漏斗油用1個, 漏斗カラーサンド用5個

⑤火山体作製

表1に実験作業の概要を示した。噴火回数, 噴出量などの数字はあくまでも目安である。油はほとんどが山体作製に寄与したが, 砂は実験台を越えて, 机や床に降り積もることもあった。

時間をかけ噴火回数を増やすにつれ, 山体の完成度は上がった。しかし, 実験台の面積は限られており, 山体は最終的には実験台からはみ出した。天板の縁に紙を差し込みかさ上げする, または山体の縁をパレットナイフで切除するという対処を行ったが, 作製時間約3時間, 噴火回数約300回(容器交換回数約60回)ではほぼ限界に達した。これが本実験の最大製作時間である。一方, 山体の完成度から逆に許容される最短作製時間も決めた。これは約30分であった。ただし, 溶

表1 実験作業の概要

| | |
|---------------------|------------|
| 1回の容器取り付けでの噴火回数(S) | 5回 |
| 1回噴火の噴出量(T) | 10ml |
| 1回の容器取り付けでの噴出量(S×T) | 50ml |
| 容器取り付け回数(U) | 10～50回 |
| 1回の容器取り付けでの操作時間(V) | 3分 |
| 火山作製時間(U×V) | 30分～150分 |
| 火山体の体積(S×T×U) | 500～2500ml |

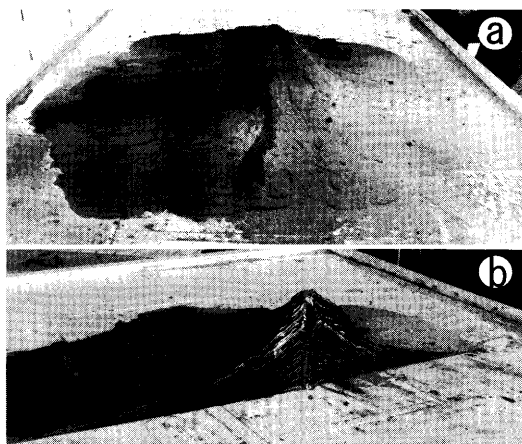


図8 本実験で作製した最大級の成層火山
高さ約18 cm, 裾野の直径約1m, 博物館イベントで来館者が約8時間で作製。

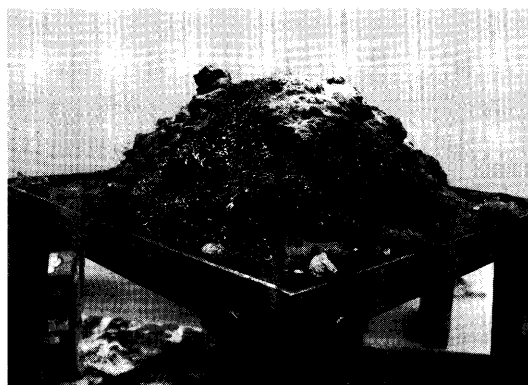


図9 溶岩ドーム
高校地学部が約2時間で作製。

岩ドームや火砕丘は、これ以下の時間でも比較的完成度の高い山体が作製できた。したがって作製時間は1～3校時で設定し、2校時連続授業を推奨した。

なお、広い卓上に実験台天板を組み込んで円錐形成層火山を試作した結果では、油の噴出量が山体の大きさを規制する結果となった。すなわち押し出せる油の量は約100 ml, 山体形成のためには、この油が火道を上がり、山体斜面を流れ下り、裾野まで完全に達する必要がある。山体の高さ約18 cm, 裾野の直径約100 cm (図8) 以上の山体では裾野まで油が到達しにくくなり、山体の成長が山頂部に偏り始め、火口から裾野までの滑らかな曲線に折れ曲がりが生じてきた。したがって、この大きさが250 ml 洗浄瓶を用いる限界の

大きさであった。一方、砂の噴出、堆積では問題は生じなかった。

具体的な山体の作製について以下に述べる。

1) 溶岩ドーム (図9)

[中学校1年の「マグマの粘性と火山の形」向け、所要1～2校時]

油容器を氷水で5分冷やし、固化油を噴出させた。冷却に時間がかかるため、油容器は一つではなく、2～3個用意して実験を行った。ゼリー状の固化油が噴出過程でゼイ性破壊を受けることによって、ごつごつとした溶岩ドーム特有の形状を再現できた。

溶岩ドームは1回の油押し出しでも形成できるが、本実験の特色を生かして爆発的噴火(砂の噴火)を交えた。油の噴火から始め、容器の取り付け比率を油1～2回に対して砂1回の割合で交ぜ、溶岩ドームを作った。砂の堆積は溶岩ドーム表面のごつごつとした形状を浮き立たせ、リアルな山体表面を作った。また、断面観察では砂の堆積層が溶岩ドーム成長の目印となった。溶岩ドームは、新たな固化油が既存の溶岩ドームの外に流れ出る外成的な成長と風船が膨らむような内成的な成長をした。これらは山体の剛性と押し出す固化油の粘性との相対関係で決まった。同一の噴火でも図10のように、両タイプの成長をする場合があり、山体の剛性が不足している方向に内成的な成長をする様子が見られた。

砂噴出は固化油で閉塞した火道にパイプを通し、火道を再開させて行った。その際、パイプを下から上に通すと山体が部分的に持ち上がり、割れ目が入って山体の強度が低下するため、上(火口側)から下に通す

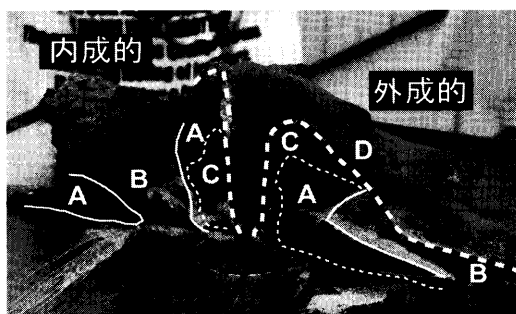


図10 溶岩ドームの断面
形成はA→B→C→Dの順、山体の左側は内成的な成長が多い(Bの左側、Cの左側の部分)。Dは外成的に山体を覆っている。中学1年生が40分で作製。

こととした。この方向は、他の火山でも山体強度保持のため重要であった。なお固化した油の押し出しでは、閉塞した火道をパイプで再開させる必要はなかった。実験台で作製する最大級の溶岩ドームは高さ15 cm以上に達した。

2) 盾状火山 (図11)

[中学校1年の「マグマの粘性と火山の形」向け、所要1~2校時]

油の噴火から開始し、63~60℃の油を、冷却せずに低粘性の状態ですばらせた。溶岩ドームと異なり、1回の噴出量が多いと天板の縁まで油が到達し、噴火を重ねると油が天板よりあふれるため、火口と天板縁との中間までを流出の目安とした(火口を中心に直径約20~25 cmの範囲)。

1回の容器取り付けの噴出量を数~10回程度に分けて、噴出→固化を繰り返して油の層を重ねた。2容器目、3容器目…と、その都度油容器の冷めた油を入れ替えて同じ操作を繰り返した。油と砂の容器取り付け比率は油2~4回に対して砂1回の割合で行った。低粘性のマグマの火山の例として伊豆大島が取り上げられている中学校教科書もあり、油2回に砂1回の割合では伊豆大島に近い山体ができた(図12)。油3~4回に砂1回ではより傾斜の緩い典型的な盾状火山となった。

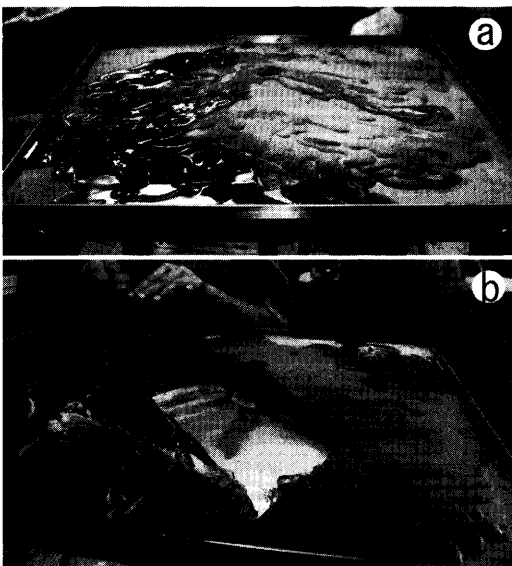


図11 盾状火山(a)と切断中の盾状火山(b)共に中学1年生が40分で作製。



図12 伊豆大島をイメージした火山
中央に円形カルデラを(実際は菌型)作製し、カルデラ内に三原山を作製した。大学4年生が1時間で作製。

低粘性の油の噴火では、噴火終了時に押した手を離すと油はドレンバックし、火道が油で閉塞することはなかったが、火道周囲に固化油がパイプ状に付着し、次が砂の噴火の場合は、その固化油がガス圧でストロー状に飛び出すことがあったので、油の噴火が終わり、砂の容器を取り付ける前には、1回火口からパイプを下に通して固化油を取り除いた。この操作は成層火山でも重要であった。

砂の堆積層は、盾状火山の成長過程(内部構造)を知る良い目安となった。流れ出た油の形状は山体斜面の成長とともに変化し、開始時の同心円状に広がる状態から扇形に広がる状態を経て、しだいに狭くなり溶岩流となった。油の流れが溶岩流に見えるような状態となるには、少なくとも3容器程度(約300 ml)の油の噴火が必要であった。溶岩流は緩傾斜部に到達すると広がり、溶岩扇状地を形成した。実験台で作製する最大級の盾状火山は高さ3~4 cmであった。山体が天板の縁に達しやすく、縁のかさ上げや山体の縁を切除することが比較的多かった。

3) 成層火山

成層火山は、油と砂の容器取り付け比率を油1回に対して砂1回、つまり油と砂を交互に噴火させて作製した。砂が先でも、油が先でも山体強度や山体移動作業で差は生じなかった。砂の堆積層は厚くなる(>3 mm)と山体切断時に崩れ、断面観察の妨げになることがあった。したがって1回の容器取り付け中の噴火回数を増やすより、砂、油の容器交換回数を増やしたほうが、美しい成層構造が得られた。成層火山は使用



図13 油の粘性変化

山頂部の油はやや冷やしすぎて厚い溶岩ローブをなしてしまった。これ以上粘性が上がると溶岩ドームとなる。溶岩ローブ下位の油は、標準的な安山岩質溶岩を表現している。中学1年生が作製中の成層火山にて。

する油の粘性で形状が大きく変化した。油の冷却時間とパフェスプーンの混合の仕方、盾状火山と同じ低粘性の状態から溶岩ドームに近い状態まで、幅広い粘性で作製が可能であった。ただし、逆に粘性調整幅が広いと、同一の粘性を再現するには、細かい調整が必要であった(図13)。

成層火山を特徴づける均整のとれた円錐形にするには、山体強度保持、中心火道の安定、側噴火の抑制が必要であった。火道を安定させるために、油の噴火後、砂の噴火開始時にパイプを1回、火口から下に通して、火道に付着した固化油を除去した。この操作で火道を確保し、側噴火を抑制した。側噴火は砂噴出時に火道閉塞があると、ガスが山体内部の砂の堆積層の厚い部分を抜けることによって生じた。よって砂が厚く堆積し(>3 mm)、油に対して砂の割合が多くなると、山体強度が低下し、側噴火が多くなった。側噴火口は一つだけではなく複数同時に形成されることもあった。形状も円形から、溶岩流の脇に沿って細長い割れ目噴火状になることもあった(図14)。側噴火では単にガスが抜けてすり鉢状の火口が形成されるだけのものから、山体内部の砂の再堆積や新たな砂の堆積で小さな火砕丘を形成するものもあった。側噴火の火道は、後の油の噴火でも使われ油が流出したが、この油の固化とともに閉塞し、次の砂の噴火では中心火口の噴火に戻ることが多かった。側噴火自体は実験としても意義のある現象であるが、側噴火が多発すると山頂部の成長が悪くなり、山体は歪んだ。

さらに円錐形にするには噴火回数を重ねることも必要だった。1回の容器取り付けの噴火では油や砂は特

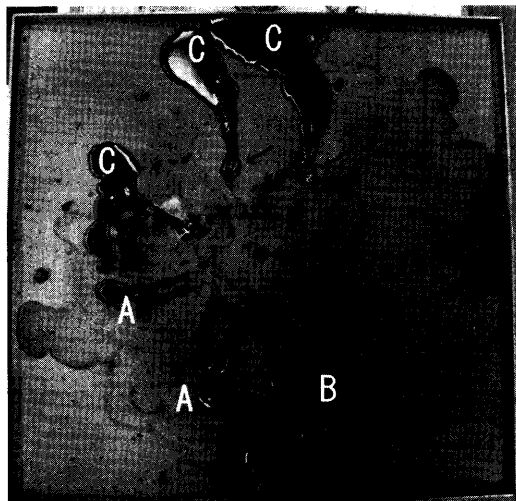


図14 成層火山の側噴火

太い矢印は中心火口、細い矢印は側火口、破線で囲んだ部分は割れ目噴火の側火口。A～Cは油(溶岩流)。まずAに先行する砂(テフラ)の噴火で、割れ目状の側火口が生じ、そこからAが流れた。Aの固化で側火口は閉塞し、中心火口よりBが流れたが、その後の砂(テフラ)の噴出で、新たな側火口が生じ、3カ所からCが流れた。筆者らが作製

定方向にしか堆積しないことが多く、容器交換回数を重ねることによって、堆積方向の偏りは解消された。堆積物の偏りは油で顕著で、火口周囲の微妙な高低差で、流出方向は決定された。しかし、これは火山防災を考えさせる良い機会となった。砂も油ほどではないが火口周囲の高低差の影響を受け、濃い噴煙では火砕流状に低所から側方に広がる傾向が見られた。さらに砂の噴出は火口壁のオーバーハング(オーバーハングによって水平方向の速度成分が生じる)や実験室内の風向変化の影響を受けた。実験室内の風向と砂の堆積方向の関係は、上空の風とテフラの堆積方向の関係を確認する実験として役立った。前述の最短作製時間30分(噴火回数約50回)は、この堆積物の偏りがほぼ解消される時間として決めた。

成層火山は、油の粘性別にいくつかの具体的製作例を紹介する。

3)-1 単純な富士山(粘性の低い油を使用した成層火山)[小学校6年の「火山と土地の変化」向け、所要1~2校時]

盾状火山と同じ温度の油で、砂と油の容器取り付け比率を1:1とすると富士山型の成層火山となった。

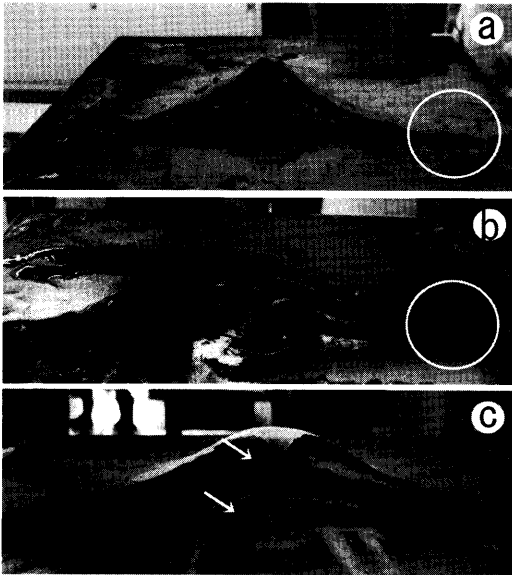


図15 小学6年生が授業で作ったさまざまな富士山
a: 標準的な富士山, ただし細かく見ると下部には油の厚い層があり, 形成当初は盾状火山的であったことがわかる. 後の噴火で, 油の噴出量を少なくしたことで山体の傾斜は急になっていった.
b: aのような作製作業のむらは見られず, 断面はきれいに成層するが, 1回, 1回の油の流出量が多い(丸印の部分をもとに比較)ので山体は横に広がった.
c: 火口がすり鉢状に大きい. 断面を見ると厚く砂を堆積させた噴火が2回あり(矢印の白っぽい層), 火砕丘を作り, 後の噴火でこの形状があまり変わらなかったことがわかる.(a~cいずれも作製時間約1時間.)

しかし, 図15のように実験操作の違いによって山体に違いが見られた. 油の噴出量が多いと山体底面は大きくなり, 盾状火山のように山体は横に広がった(図15b). 逆に油の噴出量が少ないと山体は痩せ, 傾斜は大きくなった(図15a). 砂の噴出量が多いと火砕丘のように火口は大きくなった(図15c).

側噴火によって, 室永火口とよく似た火口が形成されたこともあったが, 側噴火の方向性を制御することはできなかった.

高さは5cm(山身体積約1,500ml)を目指すように指導したが, 2校時あれば進行の遅い班でも5cmに達した. この単純な富士山は中学校, 高校でも行ったが, 成長速度, 山体の完成度に学齢差は認められなかった. 盾状火山とは異なり, 山体は上に成長するの

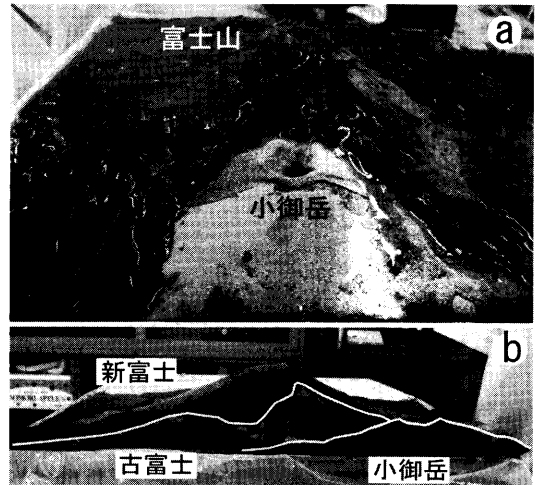


図16 発展的な富士山
a: 小御岳火山側から見る, b: 断面, 山体崩壊は強調して大きく行った. 高校1年生が2時間30分で作製.

で, 縁のかさ上げや山体の縁を切除することは比較的少なかった.

3)-2 発展的な富士山(図16)(複数の成層火山と山体崩壊)[高校地学向け, 所要2~3校時]

作製方法は単純な富士山と同じだが, 実際の富士山の形成史に基づき, 土台となる小御岳火山から火山作りを開始し, 古富士火山, 新富士火山と砂の色を変えて三つの山体を重ねた. 古富士火山では, 古富士泥流堆積物に相当する山体崩壊を行った. 小御岳火山に相当する成層火山の高さは3cm, 所要約40分であった. 小御岳火山作製後山体を横に移動し, 古富士火山を作製した. 高さの目安は5cmだが, 脇にすでに山体があるので単独で高さ5cmの火山を作るより時間はかなり短くなり, 作製時間は約20~30分であった. 山体崩壊は古富士火山完成後に行った. 山頂部を含む馬蹄形カルデラをパレットナイフで作製し, 高さを1~2cmの低くし, 崩したものは細かくして山麓部に堆積させた. 最後に新富士火山が古富士火山を完全に覆い, 小御岳火山をわずかに覆い残すようにして完成とした. 所要時間は約10~20分であった. ただし, これらの各所要時間は進行状況によって延長, 短縮させた(下記, 発展的な箱根火山も同じ).

3)-3 単純な桜島(図17, 中程度の粘性の油を使用した成層火山)[中学校1年の「マグマ粘性と火山の形」向け, 所要1~2校時]



図 17 単純な桜島
安山岩質マグマの成層火山. 中学 1 年生が
40 分で作製.

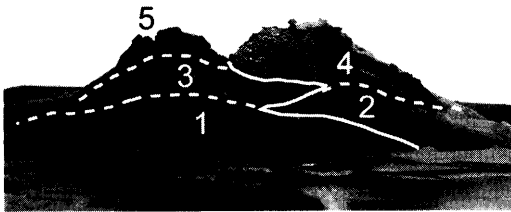


図 18 発展的な桜島
断面で北岳, 南岳をイメージした山体堆積物
の指交関係が見える. 高校地学部員が 2 時間
30 分で作製.

油を氷水で 3 分程度冷却し, パフェスプーンにて容器側面の固化油を中心部の未固化油と混ぜて噴出させた. 単純な富士山に比べると山体の傾斜は急になった. また, 油の流れが厚くなるため, 一つひとつの溶岩流の形状が目立つようになり, 溶岩流が個々の火山独特の起伏を作り, 個性ある山体を作るようになった.

3)-4 発展的な桜島 (交互に作る二つの成層火山) [高校地学向け, 所要 2~3 校時]

二つの成層火山を同時進行で作製し, 桜島の北岳と南岳を表現した. 二つの成層火山を作る場合, 一方を完成させてからもう一方を作製させる方法のほかに二つ同時に作製させる方法も可能であった. 同時進行の場合は油, 砂の噴火各 3~5 容器毎に山体を移動させ, 山体と天板の火口を合わせ, 二つの成層火山を作製した. 移動はパレットナイフで天板との間を切り離す方法, ビニールシートを敷く方法, いずれでもできた.

断面観察では両火山の油や砂の層の指交関係が観察できた (図 18).

3)-5 箱根駒ヶ岳 (桜島よりやや粘性の高い油を使

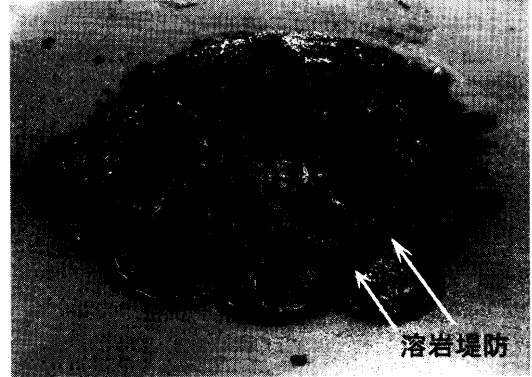


図 19 箱根駒ヶ岳
この実験では溶岩堤防ができた. 博物館講座
で小学 4 年生と保護者が 1 時間 30 分で作
製.

用した成層火山) [中学・高校の総合学習向け, 所要 1 校時]

油の冷却時間や固化油の混合率を増やすと, 単純な桜島より山体はさらに急になり, 溶岩流も厚くなった. 厚い溶岩流と溶岩ドームが重なってできた箱根駒ヶ岳の作製に使用した (図 19).

4) 火砕丘 (スコリア丘) [高校地学向け, 所要 1 校時]

油は使用せず, 砂のみの噴火で作製した. 山体作製の効率を上げるため, 砂容器に砂を密に詰め, 断続的にガスを少量噴出させストロンボリ式噴火を表現し, 山体を成長させた. 十数容器の噴火で高さ 5 cm, 底面の直径 20 cm 程度の火砕丘ができた. 山体外側斜面は, 砂の堆積が安定角を形成するため直線状であった. すり鉢状の大きな火口側の斜面も直線状で, こちらは砂の火道内へのドレンバックで安定角を形成する様子が観察された.

陥没円盤を 2~3 cm 下げた状態で, 同様の操作をすると, 砂の噴煙が多少横方向に広がりやすくなり, 火口がより広がったタフリング状の山体を形成した.

火砕丘から発展させる実験として以下の実験を行った. 火砕丘完成後に固化油を押し出し, 中央に溶岩ドームを作製して樽前山を作製した (図 20). ビニールシートを敷いて火砕丘を作製し, 砂が崩れないように火砕丘を移動し, 新たに火口を火砕丘脇に作製し, 低粘性の油を流し, 伊豆大室山と先原溶岩台地を作製した. 実際の火砕丘は溶岩流より軽いため, 溶岩流出によって浮き上がり流出することがある. しかし, 本

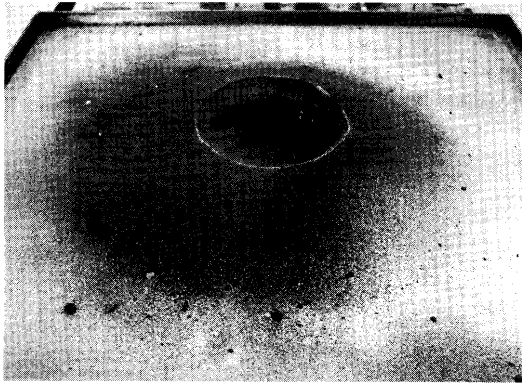


図20 樽前山
火砕丘と溶岩ドームの組合せ。大学4年生が
40分で作製。

実験では砂のほうが油より重いため、火砕丘の中で油を流してもこの破壊は再現できなかった。山体内部の砂はきれいに成層していたが、断面の観察では崩れた砂に覆われる部分が多く、水で湿らせるなどの工夫が必要であった。

5) カルデラ火山

次のような火山を作製した。

5)-1 巨大カルデラ火山(図21) [高校地学向け、所要1校時]

阿蘇火山、始良火山など大規模火砕流噴火は、砂を容器に密に詰め、スプレーのガスを連続的に強く出して、疑似的な火砕流を表現した。実験台板上の砂はスコリア丘のような三角錐状堆積物は作らず、平らな台地状の堆積物をなし、実験室の机や床にも達し、低アスペクト比火砕流堆積物のように堆積した。使用するガスには浮力がないことと砂が濃く噴出することで噴煙はすぐに崩壊するが、極細砂サイズでは空気の流れに支えられる時間は短く、ほとんどは流れず降下堆積物として堆積した。この砂の噴火を2~3回繰り返して、天板の陥没円盤を下げてもカルデラを作り、カルデラ火山とした。山体は砂でできているためカルデラは自然にできた。最後に固化油を少量噴出させて中央火口丘を作った。

5)-2 単純な箱根火山(カルデラを持つ成層火山) [中学・高校の総合学習向け、所要1~2校時]

まず単純な富士山、単純な桜島で成層火山を作製する。成層火山作製に多くの時間はかけられないので、30~40分程度で切り上げ、陥没円盤を下げ、空洞に山頂部を崩し落した。カルデラ形成は人為的にパレット

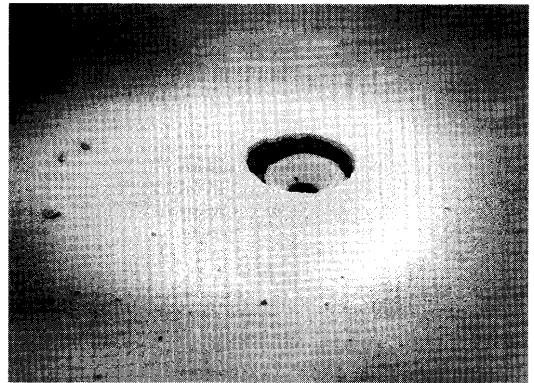


図21 巨大カルデラ火山
砂のみの火山なので、陥没円盤を下げるとカルデラができた。カルデラ壁には砂の成層構造見える。大学4年生が15分で作製。

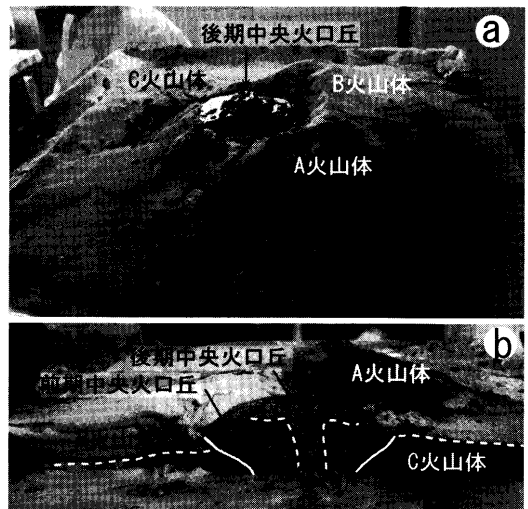


図22 発展的な箱根火山
a: C, B, Aの順に成層火山(外輪山)を作り、中央にカルデラを形成させた、b: 断面。高校1年生が2時間30分で作製。

トナイフを使用した。陥没円盤の直径は4cmだが、カルデラの直径は10cmぐらいまで作製可能であった。中央火口丘の作製は、カルデラ内の崩落物を低粘性の油で固めてから、パイプで新たな火道を作って行った。この際、油は容器いっぱいに入れ、崩落物が隠れる程度まで手で押し出したのち、ドレンバックを防止するためトンゴで油容器を固定し、数分間そのまま放置し固化させた。中央火口丘は、これまでに記載したさまざまなタイプの火山を作製できたが、溶岩

表2 学習プログラム、写真は高校地学授業の様子

| | 児童・生徒の活動 | 指導の留意点 | 進行上の注意点 | |
|--------------|---|--|--|--|
| 導入 (10分) | 噴火の写真パネル(伊豆大島、桜島)を見る。噴火には溶岩を出すタイプと火山灰(噴煙)を出すタイプがあり、溶岩を廃油、火山灰を色砂で表現するという説明を聞く。 | 実験では、溶岩と火山灰で違う素材を使用するが、実際の噴火では同じマグマが、爆発的噴火をするか非爆発的な噴火をするかで決まることを説明。 | 安全のため廃油は軍手とゴム手袋、色砂は軍手とゴーグル、マスクを使用することを説明。 |  |
| | 溶岩の粘性には多様性があり、火山灰を出す噴火にも連続的な噴火、断続的な噴火、噴煙の高さにも多様性があるという説明を聞く。 | 安全上の注意点を徹底指導し、溶岩の粘性は油の温度で調整すること、火山灰の噴出はガススプレーの操作で調整することを説明。 | 油は固めてから次の油を流すこと、色砂は厚く堆積すると断面切断時にくずれすることを説明。 |  |
| | 火山の何万、何十万年という歴史が授業時間に圧縮されているので直ぐに火山体はできないという説明を聞く。 | 美術の時間ではないので、砂を上からふりかけたり、手で山を作ったり、実験台を傾けないように指導。すべて自然に任せることを説明。 | 砂の色の選択順序を決めること、砂操作前に付属パイプで、火道掃除をすることを説明(写真5)。 |  |
| 基本操作 | 油の配布・入れ換え (写真1:高校選択地学の授業、以下同じ) | 油は63~60℃に設定して渡す。必要に応じて水槽に氷水を用意して、油を冷やして粘性を調整する。 | 危険防止、作業効率を上げるために学芸員が行う。油が冷めたら入れ換える。 |  |
| | 砂の装填・入れ換え (写真2) | 複数の成層火山作製、山体崩壊後の再生などでは、山体ごとの色の配分を更に変えさせる。 | 砂の色が混ざらないように注意する。 |  |
| | 溶岩(油)の噴火 (写真3) | 溶岩の粘性と地形や山体の傾斜と溶岩流の形状の変化を観察させる。 | 溶岩流は火口と天板の縁との中間地点を到達の目安とする。 |  |
| | 火山灰(砂)の噴火 (写真4) | 火山灰の降下範囲と風との関係、噴煙の高度と山体成長との関係などを観察させる。 | スプレー缶が冷えすぎないように、休ませながら使用。 |  |
| 展開 (65分) | 展開A 小学校6年 「単純な富士山」の作製 全班共通 | 低粘性の油と砂の噴出を単純に繰り返し、火山の成長過程、噴火と地層の関係を考えさせる。班によって火山の形状に違いがあることに気付かせる。 | 砂の色は規則正しく順番に変える。 |  |
| | 展開B 中学校1年 「溶岩ドーム、盾状火山、単純な桜島」の作製 班を3グループに分け、高粘性、低粘性、両者の中間の3タイプの油を使用し、砂の噴火頻度も変化させて火山を作製する。 | 各グループで油の粘性を調整して、マグマの粘性と火山の形状について考えさせる。砂の噴火からテフラの堆積と風の関係、テフラの堆積と山体形状との関係(特に成層火山=単純な桜島)についても考えさせる。 | 溶岩ドームは水槽に氷水を用意し、5分油を容器ごと冷却。中間粘性のマグマは同様の冷却操作を3分行う。効率アップのため、これらの油容器は複数用意する。 |  |
| | 展開C 高校地学 「発展的な富士山と発展的な箱根火山」の作製 班を2グループに分けて両火山を作製する。 | 多様な噴火様式、カルデラ形成(写真6)、山体崩壊など、様々な火山活動と山体形状について実験で考えさせる。富士、箱根火山の形成史の概要に触れ、野外観察を行う場合は作製した火山で観察地点を確認させる。 | カルデラ形成では陥没円盤とバレットナイフを使用。カルデラ内に多量の溶岩を噴出させる場合は、冷却時間が長いのでトングを使用(写真7)、山体崩壊もバレットナイフを使用。成層火山群作製時の山体移動もバレットナイフを使用する(写真8)。 |  |
| まとめ (15分) | 完成した火山を観察し、他班の火山との比較をする(スケッチを行う)。 | 作製した火山体及び他班の火山体を観察する。同じ粘性・操作で作製した火山でも山体形状は多様に変化する可能性があることを確認させる。 | スケッチは横から見たもの、真上から見たものに分ける。 |  |
| | 完成した火山をバレットナイフで火口を通る線で切断し(写真9)、断面を観察する。他班の断面も観察し比較する(スケッチを行う)。 | 火山体の形成過程を断面より考えさせる。小学校6年では地層の向きについても触れ、説明する。 | バレットナイフはノコギリのように前後に動かさずに、まっすぐ下ろし二分割し、片方は端に崩し寄せる。 |  |
| (片付け) | 実験台上の火山をバレットナイフでそぎ落とし、机上の新聞紙に包む。高校では放課後に別途実験台の分解まで生徒が行う場合もあるが、床掃除を含め所要約1時間。 |  実験台の分解掃除 |  実験台の収納箱 |  |

ドームは固化油をそのまま噴出させるとカルデラ底が隆起，変形することが多いため，新たに作製した火道内で冷却させて噴出させた。

2校時連続授業が可能な場合は，下記の発展的な箱根火山を作製した。

5)-3 発展的な箱根火山 (図22) [高校地学，中学・高校の総合学習向け，所要2~3校時]

箱根火山は日本地質学会国立公園地質リーフレット編集委員会(2007)により示された新しいモデルに基づき，まず成層火山群を作製した。実際の成層火山は10以上だが，3~4個に省略した。発展的な富士山と同じように，最初の成層火山が最も時間がかかり，あとの火山ほど時間はかからなかった。最初の火山を40分近くかけて作り，移動させ，2~3個の成層火山を製作時間20~30分程度で，移動させながら追加した。そして成層火山群の中央部にカルデラを作った。崩落物は油で固めたが，この際，カルデラ内を油で満たし，前期中央火口丘を表現した。その後新たな火道を作製して溶岩ドームを作製し，後期中央火口丘とした。

⑥学習プログラム

実験は上記のように多様な火山作製に対応できるため，作製火山は，学校の教員の相談に応じて決めた。一方，博物館でも要望の多い小学校6年，中学校1年および高校地学について，対応する学習プログラムを作成した。これを表2に示す。小学校6年では，日頃目にする機会の多い富士山を扱い，単純な富士山を各班共通で作り，火山噴火と地層，火山と土地の変化について学習した(展開A)。中学校1年では班を3グ

ループに分けて，上記1)溶岩ドーム，2)盾状火山，3)-3単純な桜島を作り，マグマの粘性と火山の形について学習した(展開B)。高校地学では，班を2グループに分け，地元の富士山，箱根火山について，発展的な富士山，発展的な箱根火山を作り，さまざまな火山活動と山体の形について学習した(展開C)。

5. 児童・生徒の評価

2006年地域科学館連携支援事業(生命の星・地球博物館(2007))および2007年SPP事業で行った本実験授業の評価を表3,4に示す。共に無記名のアンケートより集計した。両表に登場する同じ記号の中学校は，同一の中学校で，両方の事業を行ったことを示す。評価は5段階で行い，平均値を示した。共に授業の面白さ，理解度は非常に高い評価を得た。ただし，表5の操作性では簡単~やや簡単という答えが多いものの，約10%の児童・生徒がやや難しいという評価をした。

表5は高校における自由意見の併記も求めた実験授業の評価である(2010年実施)。面白さ，理解度，操作性の各項目は表3,4と同じ傾向の結果が得られた。自由意見では，授業の目的である火山の構造や噴火についてよくわかったという内容が最も多かった。否定的な意見は表に示したもののみであったが，たいへんだった・疲れた，油の臭いや汚れが気になったという意見があった。

表6は小学校6年生の記名感想文のまとめである(2009年実施)。楽しい・面白い，断面がきれいという感想以外に，火山のでき方(噴火して高くなること)

表3 児童・生徒の評価(2006年 地域科学館連携支援事業)

| 質問項目 | 10月13日 小学校D 理科6年生81人 単純な富士山作製 | | 10月17日 小学校E 理科6年生88人 単純な富士山作製 | | 11月6日 中学校F 総合学習1年生62人 単純な箱根火山作製 | | 11月15日 中学校G 理科1年生154人 単純な箱根火山作製 | | 2月27日・28日 中学校H 理科1年生184人 溶岩ドーム・盾状火山・単純な桜島作製 | | |
|-------|--|-----|--|----|--|-----|--|----|--|-----|-----|
| | 2時間授業 | | 2時間授業 | | 2時間授業 | | 1時間授業 | | 2時間授業 | | |
| | 選択肢 | 評価 | % | 評価 | % | 評価 | % | 評価 | % | 評価 | |
| 理解度 | よくわかった | | 48 | | 44 | | 73 | | 35 | | 50 |
| | ややわかった | | 41 | | 46 | | 26 | | 49 | | 41 |
| | なんともいえない | 4.3 | 7 | | 8 | 4.3 | 1 | | 14 | 4.2 | 7 |
| | ややわからなかった | | 2 | | 2 | | 0 | | 2 | | 1 |
| | まったくわからなかった | | 2 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 |
| 操作性 | たいへん簡単だった | | 28 | | 28 | | 18 | | 18 | | 30 |
| | やや簡単だった | | 28 | | 35 | | 44 | | 35 | | 35 |
| | ふつう | 3.7 | 33 | | 23 | 3.7 | 29 | | 36 | 3.6 | 24 |
| | ややむずかしかった | | 11 | | 11 | | 9 | | 10 | | 9 |
| | たいへんむずかしかった | | 0 | | 3 | | 0 | | 1 | | 2 |
| 興味・関心 | たいへんおもしろかった | | 67 | | 70 | | 91 | | 62 | | 66 |
| | ややおもしろかった | | 17 | | 23 | | 8 | | 28 | | 27 |
| | ふつう | 4.4 | 7 | | 5 | 4.6 | 1 | | 8 | 4.5 | 4 |
| | ややつまらなかった | | 5 | | 2 | | 0 | | 2 | | 2 |
| | たいへんつまらなかった | | 4 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 |
| 評価平均 | | | 4.1 | | 4.2 | | 4.4 | | 4.1 | | 4.3 |

表4 生徒の評価 (2007年 SPP事業の結果)

| 質問項目 (SPP書式の問7~問9) | 選択肢 | 6月27日 高校I 選択地学1,2,3年生16人 単純な富士山・ 単純な箱根火山作製 2時間授業 | | 11月8日 中学校F 総合学習1年生65人 単純な箱根火山作製 2時間授業 | | 11月28日 中学校G 理科1年生173人 単純な箱根火山作製 1時間授業 | | 2月28日・29日 中学校H 理科1年生165人 溶岩ドーム・盾状火 山・単純な桜島作製 2時間授業 | |
|-----------------------|------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|
| | | % | 評価 | % | 評価 | % | 評価 | % | 評価 |
| 授業は面白かったか | 面白かった | 100 | | 74 | | 80 | | 80 | |
| | どちらかといえば面白かった | 0 | | 16 | | 12 | | 9 | |
| | どちらともいえない | 0 | 5.0 | 10 | 4.6 | 8 | 4.7 | 7 | 4.6 |
| | どちらかといえば面白くなかった | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | |
| | 面白くなかった | 0 | | 0 | | 0 | | 3 | |
| 授業内容は難しかったか | 易しかった | 6 | | 14 | | 14 | | 9 | |
| | どちらかといえば易しかった | 56 | | 21 | | 27 | | 27 | |
| | どちらともいえない | 38 | 3.7 | 48 | 3.3 | 38 | 3.2 | 37 | 3.1 |
| | どちらかといえば難しかった | 0 | | 12 | | 17 | | 21 | |
| | 難しかった | 0 | | 5 | | 4 | | 5 | |
| 授業は理解できたか | 理解できた | 63 | | 47 | | 49 | | 44 | |
| | どちらかといえば理解できた | 37 | | 37 | | 39 | | 39 | |
| | どちらともいえない | 0 | 4.6 | 14 | 4.3 | 11 | 4.4 | 12 | 4.2 |
| | どちらかといえば理解できなかった | 0 | | 2 | | 0 | | 2 | |
| | 理解できなかった | 0 | | 0 | | 1 | | 3 | |
| また、このような授業に参加したいか | 参加したい | 94 | | 57 | | 65 | | 61 | |
| | どちらかといえば参加したい | 6 | | 19 | | 22 | | 24 | |
| | どちらともいえない | 0 | 4.9 | 19 | 4.2 | 10 | 4.5 | 8 | 4.4 |
| | どちらかといえば参加したくない | 0 | | 2 | | 2 | | 1 | |
| | 参加したくない | 0 | | 3 | | 1 | | 6 | |
| 評価平均値 | | 4.6 | | 4.1 | | 4.2 | | 4.1 | |

表5 生徒の評価と自由意見

| 質問項目 | 選択肢 | % | 評価 |
|------------------------|--------------------|-----|-----|
| 実験は面白かったか | 面白かった | 78 | |
| | どちらかといえば面白かった | 12 | |
| | どちらともいえない | 10 | 4.7 |
| | どちらかといえば面白くなかった | 0 | |
| | 面白くなかった | 0 | |
| この実験により火山に対する理解が深まったか | 深まった | 46 | |
| | どちらかといえば深まった | 38 | |
| | どちらともいえない | 10 | 4.2 |
| | どちらかといえば深まらなかった | 3 | |
| | 深まらなかった | 3 | |
| 実験操作は簡単だったか | 簡単だった | 15 | |
| | どちらかといえば簡単だった | 28 | |
| | どちらともいえない | 25 | 3.1 |
| | どちらかといえば難しかった | 20 | |
| | 難しかった | 10 | |
| 自由意見(項目別に採取, 5%を超えたもの) | 火山の構造や噴火についてよくわかった | 30 | |
| | またやりたい・もっとやりたい | 18 | |
| | 大変だった・疲れた | 18 | |
| | 面白かった・よかった | 15 | |
| | 断面がよかった | 13 | |
| | 油の臭いが気になった | 10 | |
| | 汚れた | 10 | |
| 達成感が大きい | 5 | | |
| 評価平均値 | | 4.0 | |

高校1年生理数コース特別授業で3時間かけて発展的な富士山, 発展的な箱根火山を作製したときのもの。自由意見は項目別に一人の意見から複数採取したものもある。

がわかった, 噴火のしくみがわかった, 地層のでき方がわかったという授業の目的にかかわる感想が多かった。要望は時間不足, もっと大きな装置で火山を作りたいといった積極的な内容であった。否定的な内容は, 表5同様に汚れに関するものがあつた。しかし, 感想文全体の中では, これらの児童はすべて, 汚れたが有意義であったという内容でまとめていた。

本実験は時間がかかり, すぐに結果は出ないが, たいへんだった・疲れたという感想はあるものの, 退屈した, 飽きたという感想はなかつた。表5ではわずかであるが達成感が大きいという意見もあつた。

7. 考察

処理剤入りの食用廃油と砂で, 結果に示したように

表6 生徒の評価と自由意見

| 感想文中の採取項目 | % |
|---------------------------|----|
| 肯定的内容(文頭の記述より1つ採取) | |
| 楽しかった・面白かった | 26 |
| 火山のでき方がわかった | 22 |
| 噴火のしくみがわかった | 16 |
| 断面がきれいだった | 8 |
| 勉強になった | 7 |
| 地層のでき方がわかった | 5 |
| 火山形成に時間がかかることがわかった | 4 |
| 今までにない体験ができた | 3 |
| 実験素材・実験装置に関心した | 3 |
| 理科が好きになった | 2 |
| 噴火の怖さがわかった | 2 |
| わかりやすかった | 1 |
| 油を容器入れるのに興味があった | 1 |
| 要望(全て採取) | |
| もっと大きい火山を作りたいかった | 3 |
| もっと大きい実験装置があればよかった | 3 |
| 時間がたりなかった | 2 |
| 否定的内容(全て採取) | |
| 油まみれ・砂まみれになった | 3 |
| 片づけが大変だった | 2 |
| 手についた油を洗うのが大変だった | 1 |
| 手がべとべとした | 1 |
| ゴーグル(水泳用)が痛かった | 1 |

小学校6年生144人のまとめ、単純な富士山を2時間で作製した。肯定的な感想は多いので、一つの感想文の謝辞を除いて先頭に挙げた感想項目を機械的に採取した。

多様な複成火山を作製できることが、本実験の試みにより明らかになった。特に処理剤入りの食用廃油は、融点に相当する温度が55℃程度と低いこと、幅広い粘性調整ができること、溶岩ドームや塊状溶岩をイメージするぜい性破壊が可能なこと、強度がなく断面の切断が容易であること、安価で大量入手できること、燃えるゴミとして廃棄できることなど、学校で使用する溶岩材料として、優れた特徴を持っていることが明らかになった。表5,6のアンケート評価結果にあるように、臭いや汚れといった課題が存在するが、現状ではこれに代わる材料はないと考えている。

表3~6より、最も高く評価されたのが面白さであった。表3~5の10回の実験での平均値で4.7と極めて高い数字が得られた。この面白さの原因は、油の温度と砂・油の容器の取り付け比率のみを決め、個々の噴火回数・噴出量などは決めずに操作者の自由に任せた点、つまり噴火で「遊び」ができることが、大きく寄与しているものと考えられる。これらの要素を児童・生徒の自由意志に任せられる理由は、噴火回数が100のオーダーに達するため、個々の噴火にたとえ失敗やいたざらと言えようならばつきが生じて、一連の噴火活動の中で回復してしまうことにある。定量的な事象を扱うことの多い理科実験の中では、大雑把

な実験かもしれない。しかし、実際の火山にも常に噴火活動の変化が存在するため、噴火操作に自由度があるほうが、むしろ実際の火山に近いと考えられる。

ただし面白さの裏腹として、「遊び」が高じて授業から逸脱するのではないかと、最悪の事態として事故が起きるのではないかとという想定は企画段階からあり、手袋をはじめ安全対策には特に注意を払った。特に加熱油でふざけられると危険である。しかし、注意はよく守られており、授業評価アンケートでも臭いや汚れを指摘する回答(表5,6)はあるものの、危険性や扱いづらさ、恐怖感を述べた回答はなかった。砂も激しく噴出させると自分が砂まみれになることがわかると、以後は不必要に大噴火をさせなくなった(ただし、テフラを広域に分散させる大噴火は実際にあるので、単純に戒めることはできず、砂の噴火については学校の判断に委ねた)。授業の様子でも児童・生徒は「遊び」に夢中でふざけている暇がないという印象を受けた。これまでに火傷や目に砂が入って保健室に行ったなどの事故事例は幸いない。

「遊び」はこの実験の魅力であるが、表3~5のように、「遊び」をもたらす自由度のある操作性について、逆にやや難しいと感じる児童・生徒がいることも事実である。操作性の平均評価値は3.6であった。表4の授業の難しさも理解度が高いので、この操作性を含んで評価が下がったと思われる。ただし面白いことに、小学校で単純な富士山を作ると、クラスごとに山体の特徴が似る傾向がある。博物館講座でもその日ごとに、似た火山ができる傾向がある。実験終了後に他班の完成品と比べる指導をするが、作製段階で互いに他班の山体の成長、特に美しい山体や高い山体を目標に意識し、その班と似たような操作を行っている結果と考えられる。操作はやや難しいとする結果がある一方で、操作のさじ加減を短時間で会得している様子もうかがえる。操作の自由度と操作性の向上については、今後の検討事項である。

学習内容と直結する理解度も平均評価値は4.4と、面白さと並んで高い値が得られた。この実験が単に面白だけではなく、火山の理解に役立っていることを示している。中学校1年のマグマの粘性と火山の形は、学習テーマが絞られているため実験も設定しやすく理解も得やすいと思われるが、小学校6年の火山と土地の変化、地層との関係という学習テーマは、広範囲の内容を含むため、実験の選定も難しい。しかし本実験を行うことで、表6の感想で火山のでき方がわ

かった(22%)や地層のでき方がわかった(5%)という記述が登場することは、小学校6年の火山学習にも十分有効であることを示している。また、時間がかかる実験であったが、表5,6でも退屈した、飽きたという回答はなく、時間設定も適切であったと考えられる。一方でこの時間は、表6の火山形成に時間がかかることがわかった(4%)のように、火山ができるまでの地質学的な時間を実感させるのに有効であったと言える。地質学的な題材を使う実験は、時間をかけることによって、地質学的なタイムスケールを実感させることができることを示唆している。

以上のように、この油と砂を使用した複成火山作製の手法は、学校用実験として十分役立つものであるものと判断される。今後、複成火山作製の一つの手法として確立すべき実験であると考えている。

8. おわりに

日本は火山国であり、身近にある火山や火山噴出物は、生きた地球を物語る重要な教材である。火山に対する興味関心を高め、理解を深めるためには、動的な実験が有効である。本実験は、時間と手間のかかる実験であるが、その効果は大きい。博物館と学校が交流することで、子どもたちにとって非日常的で印象深い、一生忘れられない実験になることを目指して、わ

れわれは本実験の学習支援活動に取り組んでいる。

謝辞 実験台の蛇腹(グリス容器)は、神奈川県藤沢市の協同油脂(株)の紹介で、神奈川県横浜市の安永油化工業(株)より提供していただいた。これらの企業の方々に厚くお礼申し上げる。

引用文献

- 林 信太郎(2006): 世界一おいしい火山の本—チョコやココアで噴火実験. 小峰書店, 東京, 127 p.
- 笠間友博・林 信太郎・萬年一剛(2009a): 火山学者と火山を作ろう! in 箱根・小田原テキスト. 日本火山学会, 東京, 24p.
- 笠間友博・平田大二・新井田秀一・山下浩之・石浜佐栄子(2006): 廃食用油と乾燥土を用いた生徒向け火山噴火実験. 日本地質学会第113 学術大会講演要旨, 272.
- 笠間友博・山下浩之・平田大二・新井田秀一・石浜佐栄子・大島光春・田口公則(2009b): 2520 人でつくった箱根火山～神奈川県立生命の星・地球博物館 箱根火山特別展ワークショップ報告～. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会講演要旨 (CD 版).
- 日本地質学会国立公園地質リーフレット編集委員会(2007): 1. 箱根火山, 日本地質学会, 東京, 2p.
- 生命の星・地球博物館(2007): 箱根火山をつくろう. 地域科学館連携支援事業・研究者情報発信活動推進モデル事業成果報告会要旨, 独立行政法人科学技術振興機構, 東京, 19-21.

笠間友博・平田大二・新井田秀一・山下浩之・石浜佐栄子: 食用廃油を使用した実験複成火山作製実験の開発 地学教育 63 巻 5・6 号, 163-179, 2010

〔キーワード〕 火山噴火実験, 山体形成実験, 学校と博物館との連携, 食用廃油, 色砂

〔要旨〕 火山灰として色砂, 溶岩として凝固処理剤入りの食用廃油を使用することで, 噴火させながら多様な複製火山を作製できることが明らかとなった. この実験を食用廃油火山実験と呼ぶことにする. 小学校6年生, 中学校1年生, 高校生の授業に対応し, アンケート結果では児童・生徒の理解度, 興味・関心は極めて高かった.

Tomohiro KASAMA, Daiji HIRATA, Shuichi NIIDA, Hiroyuki YAMASHITA and Saeko ISHIHAMA: Development of Experiment on Polygenetic Volcanoes Using Waste Food Oils. *Journal of Education of Earth Science*, 63(5・6), 163-179, 2010

 学 会 記 事

第2回 常務委員会議事録(案)

日 時 平成22年7月16日(金) 18時30分～20時15分

場 所 国際文献印刷社 会議室

出席者 牧野泰彦・馬場勝良・濱田浩美・渋谷 紘・伊藤 孝・内記昭彦・高橋 修

議 題:

1. 平成22年度鹿児島大会について

八田明夫大会実行委員長(代読高橋)から鹿児島大会の進捗状況についての説明があった。記念講演、ジュニアセッション、巡検、その他が例年どおり予定されている。また、次年度(平成23年度)広島大会の現在までの進捗状況についても併せて報告があった。開催時期を10月にするという案が広島の実行委員会から出されている件について、今後も検討が必要との結論に至った。
2. 大会宣言文について

8月20日(金)開催の評議員会までに鹿児島大会実行委員会で原案を作成することになった。この鹿児島大会実行委員会からの原案をもとに、評議員会での承認を得る予定である。
3. 評議員会について

平成22年度定例評議員会は、8月20日(金)17時00分から、鹿児島大学教育学部自然科学棟において開催される予定である。
4. 「地学教育功労賞」および「渡部景隆奨励賞」について

「地学教育功労賞」については推薦なし。「渡部景隆奨励賞」については、3件の推薦(青木秀則会員「サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト(SPP)による野外教育の実践および地元の研究者と連携した新しい地学教育プログラムの開発」、桑水流淳二会員「鹿児島県内の身近な岩石や化石などの地質素材の教材化を通し、火山や火山噴出物、微化石の観察等に関する指導の工夫を行う」、および岡本義雄会員「地球科学における「自然のモデル化」を中心とした教材開発」)があり、選考のうえ同賞の授与が決定した。
5. 学術奨励賞について

廣木学術奨励賞選考委員長(代読高橋)から、

本年度学会賞・学術奨励賞についての選考結果が紹介され、討議、承認が行われた。日本地学教育学会学会賞については該当者なし、優秀論文賞には、岡田大爾会員「児童・生徒の天文分野における空間認識に関する研究—1985年当時の視点移動能力について—」地学教育第62巻第3号79-88頁に、また教育実践優秀賞については、原正会員ほか「論文題目: 研究用銀河スペクトル画像を用いたハッブル則の高校向け教材の開発と試行」地学教育第62巻第5号151-165頁に授与されることが決定した。

6. 入会者・退会者について

今回は入会者7名、退会者1名が承認された。
入会者: 竹内幹蔵(島根)・垣内佑哉(東京)・鈴木尚起(兵庫)・本間 勝(千葉)・馬場賢治(京都)・河尻清和(神奈川)・棟上俊二(福岡)
退会者: 大里俊一
7. その他
 - 1) 日本教育研究連合会「教育研究賞」の推薦依頼があり、同賞の推薦について議論が行われたが、結果については次回評議員会まで保留とした。
 - 2) 前年度に引き続き、地学オリンピック日本委員会への協賛を決定した。また、第6回国際地学オリンピック日本大会組織委員会への本学会からの委員の選出を行う件について人選を保留とした。
 - 3) 教科「理科」関連学会協議会(CSERS)の本学会からの委員について、馬場勝良委員の後任について議論が行われた。

報 告:

1. 各種常置委員会から
 - 1) 教科「理科」関連学会協議会第102回会合および12月4日(土)に開催されるCSERS第15回シンポジウム(テーマ: 教員の資質向上への取り組み)の報告および紹介が内記昭彦委員からあった。
 - 2) 松川正樹編集委員長(代読高橋)から63巻4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 (2010): 産総研 TODAY, Vol. 10, No. 7
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2010): 地質ニュース, 第 669-671 号
- 日本理科教育学会 (2010): 理科の教育, 通巻 694 号, Vol. 59
- 日本理科教育学会 (2010): 理科教育学研究, Vol. 51, No. 1
- 平地学同好会会報 (2010): 平地学同好会, 27 号
- 熊本地学会 (2010): 熊本地学会誌, 152 号
- 地震調査研究推進本部事務局 (2010): 地震本部ニュース, 平成 22 年
- 山口県立山口博物館 (2010): 山口の自然, 70 号
- 山口県立山口博物館 (2010): 山口県立山口博物館研究報告, 36 号
- 海洋政策研究財団 (2010): 海洋白書 2010
- 大阪環境防災ネットワーク (2010): 河川を題材とした環境防災教育教材集
- 東京地学協会 (2010): 地学雑誌, Vol. 119, No. 3

※次回は 10 月 1 日 (金) 18 時より国際文献印刷社会議室にて開催予定。

第 3 回 常務委員会議事録

日 時 平成 22 年 10 月 1 日 (金) 18 時 00 分～20 時 00 分

場 所: 国際文献印刷社 会議室

出席者: 牧野泰彦・馬場勝良・濱田浩美・南島正重・伊藤 孝・内記昭彦・高橋 修

議 題:

1. 平成 22 年度鹿児島大会の終了について

八田明夫鹿児島大会実行委員長 (代読: 高橋) から鹿児島大会の終了および会計報告があった。大会報告を次号「地学教育」へ掲載する予定。

2. 平成 23 年度以降の大会について

広島大会は平成 23 年 10 月 9 日 (日)・10 日 (月祝) に広島大学において開催予定である (テーマ未定)。例年と異なり秋季の開催となる。平成 24 年度は岩手 (盛岡) を依頼中, 平成 25 年度以降の大会の開催地については現在検討中である。

3. 役員選挙日程について

次号「地学教育」に公示掲載。本年度は, 評議員 9 名 (北海道の欠員補充を含む), 監査 1 名の

改選が予定されている。

4. 入会者・退会者について

今回は入会者 4 名, 退会者 4 名が承認された (平成 22 年 9 月 21 日現在: 名誉会員 5 名, 正会員 539 名, 学生会員 16 名, 在外会員 5 名)。

入会者: 高橋輝章 (香川)・根尾夏紀 (新潟)・上村剛史 (東京)・久田健一郎 (茨城)

退会者: 大野静雄・倉又孝夫・武田良子・田中実

5. その他

1) 日本教育研究連合会教育研究賞の推薦について

相原延光会員 (神奈川) を推薦することが承認された。

2) 次年度総会 (春) および地学教育フォーラムについて

次年度総会の開催日程について議論され, 次年度の総会は春と秋の 2 回, 春の総会は 4 月 23 日 (土) に開催することが決まった。会場については未定である。次々年度から総会は年 1 回, 大会開催時に同時開催される。また, 伊藤孝広報委員長から総会后開催の地学教育フォーラムについての企画案が出され, それについて議論された。講演の人選については伊藤広報委員長に一任された。

3) 日本地学教育学会ホームページの移動について

学協会情報発信サービスにおけるホームページ構築・提供支援の終了に伴い, 日本地学教育学会ホームページも移動することになった。移動先については現在検討中である。

4) 国際地学オリンピック日本大会組織委員会委員の選出について

第 6 回国際地学オリンピック日本大会組織委員会委員に, 本学会から岡本義雄会員および藤岡達也会員を選出した。

5) 日本地学教育学会会員名簿の発行について

電子媒体で会員名簿を作成することについて議論され, 今後も電子媒体での会員名簿作成について検討が行われることになった。

報 告:

1. 各種常置委員会から

1) 編集委員会

松川正樹編集委員長(代読:馬場)から63巻5/6号合併号の進捗状況について報告があった。

2. 寄贈交換図書

- ・日本理科教育学会:理科の教育, 59-5~59-10
- ・日本理科教育学会:理科教育学研究, 51-1
- ・産業技術総合研究所地質調査総合センター:地質ニュース, 669~673
- ・産業技術総合研究所:産総研 TODAY, 10-7
- ・東京地学協会:地学雑誌, 119-2~119-4
- ・香川県高等学校教育研究会:香川県高等学校教育研究会誌, 46
- ・海洋政策研究財団:海洋白書 2010
- ・大阪環境防災ネットワーク:河川を題材とした環境防災教育教材集
- ・地震調査研究推進本部事務局:地震本部ニュース
- ・日本地理教育学会:新地理, 57-3, 58-1, -2
- ・東レ科学振興会:平成22年度東レ理科教育賞受賞作品集

※次回,第4回常務委員会は12月3日(金)開催。

平成22年度 第2回評議員会議事録(案)

日 時 平成22年8月20日(金)17時20分~19時00分

場 所: 鹿児島大学教育学部 講義棟 202

出席者: 牧野泰彦・八田明夫・林 武広・馬場勝良・野瀬重人・相原延光・松森靖夫・藤岡達也・米澤正弘・山本和彦・伊藤 孝・林 慶一・廣木義久・五島政一・戸倉則正・岡本弥彦・三次徳二・高橋 修

はじめに本評議員会は,出席者17名・委任状12名で計29名となり,現評議員数37名の過半数を超えているため成立することが確認された。

議 題:

1. 鹿児島大会について

八田明夫鹿児島大会実行委員長から,鹿児島大会についての概要および日程等の説明があった。

2. 大会宣言文について

鹿児島大会実行委員会から鹿児島大会宣言文(案)が提出され,それについて討議,承認が行わ

れた。

3. 地学教育功労賞について

本年度,表記功労賞への推薦および該当はなし。次年度の推薦を広く求めることになった。

4. その他

次年度は,総会時期の変更に伴い,春と夏の2回に分けて総会を開催することになった。

報 告:

1. 本年度学術奨励賞について

廣木義久学術奨励賞選考委員長から本年度学術奨励賞について報告があった。学会賞については該当者なし。優秀論文賞:岡田大爾「児童・生徒の天文分野における空間認識に関する研究—1985年当時の視点移動能力について—」地学教育62-3,教育実践優秀賞:原 正ほか「研究用銀河スペクトル画像を用いたハッブル則の高校向け教材の開発と試行」地学教育62-5,に授与されることが報告された。

2. 渡部景隆奨励賞について

渋谷 紘常務委員長(代読:高橋)から,本年度渡部景隆奨励賞について報告があった。本年度渡部景隆奨励賞には,青木秀則会員(茨城県水戸第一高等学校)・岡本義雄会員(大阪教育大学附属高等学校)・桑水流淳二会員(鹿児島県立鶴丸高等学校)の各氏に授与されることが報告された。

3. 次期(平成23年度)開催地(広島)の紹介

林 武広広島大会実行委員長から広島大会の紹介と現在までの進捗状況についての説明があった。広島大会は,広島大学(広島市)において,平成23年10月9日(日)・10日(祝)で開催される予定である。

4. その他

1) 編集委員会から

本年度63巻の5号と6号を合併号にすることが報告された。

平成 22 年度日本地学教育学会 渡部景隆奨励賞

青木秀則（あおき ひでのり：茨城県立水戸第一高等学校）

研究・実践テーマ：サイエンスパートナーシップ・プロジェクト (SPP) による野外教育の実践および地元の研究者と連携した新しい地学教育プログラムの開発

青木会員は、産業技術総合研究所や東京大学・首都大学東京・茨城大学・日本大学などの研究者と協力し、サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト (SPP) による高等学校における野外教育の実践を継続して行っており、これまでにその成果を学会、論文等に公表してきている。その内容は、「古地磁気による地球環境・地球変動史の復元 “最新の古地磁気研究の紹介と堆積岩のサンプリング・残留磁化測定の実験学習”」「那珂台地のなりたち “水戸一高のある台地の生い立ちを探る”」「水戸一高周辺の地下地質のボーリング掘削による探求」など、勤務地周辺の自然を題材とし地域に根ざしたものである。このように、青木会員は地学教育に関する実績がめざましいばかりではなく、今後の展開も大いに期待できることから、渡部景隆奨励賞を授与するにふさわしい。

桑水流淳二（くわする じゅんじ：鹿児島県立鶴丸高等学校）

研究・実践テーマ：鹿児島県内の身近な岩石や化石などの地質素材の教材化を通し、火山や火山噴出物、微化石の観察等に関する指導の工夫を行う

桑水流会員は、長年、鹿児島県の高等学校・総合教育センター・県立博物館などにおいて児童生徒の指導や現職教員の指導を行い、鹿児島県の地学教育に寄与してきた。また、日本地学教育学会の会員であるとともに、鹿児島県地学会の会員として化石や海岸の砂などの研究や教育実践に関する研究を行い、地域に根ざした活動をこれまで長く続けてきている。その内容は、「鹿児島県種子島北部の熊毛層群から産出した古第三紀放射虫化石」「鹿児島県屋久島の四万十累層群から生痕化石 *Zoophycos* の発見」「火山と火山活動に関する指導の工夫—火山灰の観察を通して—」「鹿児島県内で観察される漣痕」などの研究成果として報告されてきている。このように、桑水流会員は優れた研

究・教育実践の業績があり、渡部景隆奨励賞に値するものである。

岡本義雄（おかもと よしお：大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎）

研究・実践テーマ：地球科学における「自然のモデル化」を中心とした教材開発

岡本会員は、府立高等学校・大阪府教育委員会・大阪府教育センターなどを歴任し、教員あるいは研究員兼指導主事として小・中・高等学校教員の指導にあたりるとともに、独自の優れた教材研究を進めその成果を国内外に発信してきた。岡本会員の研究は、地球物理分野を中心とし、地震・火山噴火に関連した現象やプレートテクトニクスについての最新の成果を分かりやすく生徒に伝えるためのモデル化教材開発に主眼が置かれている。その内容は、「基石モデルの教材化」「ベビーパウダーを用いたクレーター形成実験」「小麦粉を用いた断層実験」などのモデル実験であり、これらは論文としても公表され、この数年では国際学会での成果公表も行い、海外からの注目も集めている。このように、岡本会員の研究・教育実践の活動は日本の地学教育に大きく貢献してきたことから、渡部景隆奨励賞に値するものである。

平成 22 年度日本地学教育学会 学術奨励賞

優秀論文賞

論文名：児童・生徒の天文分野における空間認識に関する研究—1985年当時の視点移動能力について—

著者：岡田大爾

掲載巻号：第 62 巻，第 3 号，79–88 頁

本論文は、児童の空間認識能力のうち、天文現象の理解に欠かせない視点移動能力の発達について、小学校 4 年生～中学校 3 年生を対象に、定量的に調査・分析したものである。調査は具体的な質問に基づいており明快で、調査結果が各学習段階における学習内容と関連づけられながら議論されており、適切な教授法についての具体的な言及もなされている。今後、同様の手法を用いた比較研究の進展も期待され、学習指導要領改訂のための重要な知見をもたらすものと思われる。以上のように、本論文は研究内容および今後の発展性が高く評価されることから、日本地学教育学会学術奨励賞優秀論文賞にふさわしいものである。

教育実践優秀賞

論文名：研究用銀河スペクトル画像を用いたハッブル則の高校向け教材の開発と試行

著者：原 正・畠 浩二・五島正光・洞口俊博・金光 理・古荘玲子・矢治健太郎・PAOFITS ワーキンググループ

掲載巻号：第 62 巻，第 5 号，151-165 頁

本論文は，高等学校地学におけるハッブルの法則の学習方法の問題点を指摘したうえで，それを改善するための教材を開発し，その有効性を教育実践により評

価したものである。(1)ハッブル定数を求めるための解析用データセットの開発，(2)開発した教材の実践，(3)ワークシート，質問紙調査，事前・事後テストの分析による教材の多角的評価と，教育実践論文としてバランスのとれた内容となっており，用いられている観測データとその分析結果も明確に示され，実用性が高いと判断できる。以上のように，本論文は研究内容および教育実践内容において，日本地学教育学会学術奨励賞教育実践優秀賞にふさわしいものである。

編集委員会より

学会誌「地学教育」は、これまで、年6回（奇数月の隔月）発行して参りました。60年以上にわたりこのペースで出版し続け、日本の地学教育を担って参りました。しかし、63巻で5号と6号の合併号を出版せざるを得なくなりました。これは、学会員の減少による予算不足に因るためです。さらに投稿原稿数が減少していますので、一編の論文に対する経費の割合が高くなる現象が生じております。これらを解消するためには、会員数と投稿論文数の増加が必須です。論文原稿の投稿をお願いいたします。なお、投稿前に、原稿を何方かに読んで頂きますと、論文としての起承転結の原則、論理の飛躍、初歩的な誤りが見つけられ、出版の近道となります。

地 学 教 育 第 63 巻 第 5・6 号

平成 22 年 11 月 25 日印刷

平成 22 年 11 月 30 日発行

編 集 兼 日 本 地 学 教 育 学 会
発 行 者 代 表 牧 野 泰 彦

〒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. 63, NO. 5 · 6

NOVEMBER, 2010

CONTENTS

Original Article

An Evaluation of Paleoenvironmental Reconstruction with Collecting Fossil Shells Selectively on the Basis of the Molluscan Fossil Fauna from the Pleistocene Iseyamabe Formation at the Sakaigawa Yusuichi Park, Kanagawa Prefecture, Japan.....Kazuto KOARAI and Katsuyoshi BABA...149~162

Practical Article

Development of Experiment on Polygenetic Volcanoes Using Waste Food OilsTomohiro KASAMA, Daiji HIRATA, Shuichi NIIDA, Hiroyuki YAMASHITA and Saeko ISHIHAMA...163~179

Proceeding of the Society (180)

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