

地学教育

第62巻 第2号(通巻 第319号)

2009年3月

目 次

原著論文

河川作用の理解の深化で見る科学的探究の諸局面

—探究活動の改善に向けて—……………林 慶一・山下浩之…(35~50)

教育実践論文

香川県豊島の産業廃棄物処分場跡における環境地質学の教員研修の実践:

モデル教材を用いた地質汚染可視化の有効性

……………川村教一・三木武司・泉谷俊郎…(51~59)

本の紹介 (61~62)

お知らせ (63)

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

平成 21 年度全国地学教育研究大会 第二次案内
日本地学教育学会第 63 回全国大会

1. 大会テーマ 地学教育と新学習指導要領
2. 大会趣旨 平成 19 年度の小学校・中学校の新学習指導要領の告示に続き、平成 20 年度には高等学校の新学習指導要領が告示された。本大会では、シンポジウム等の場を通じて、今回の学習指導要領とそれを活かした地学教育の理念・内容・手法について議論を深め、今後の地学教育のあるべき姿についての合意形成の場となることをめざす。
3. 主催 日本地学教育学会
共催 三重県小学校理科教育振興会、三重県中学校理科教育研究会、三重県高等学校、理科教育研究会、三重大学
後援(予定) 三重県教育委員会、津市教育委員会、三重県立博物館、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 名古屋地学会
4. 日程
8月22日(土)
8:30: 受付 共通教育棟 190 番教室前
9:30~10:00: 開会行事, 学術奨励賞授与式 共通教育棟 190 番教室
10:00~12:00: シンポジウム 共通教育棟 190 番教室
12:00~13:15: 昼食
13:15~14:45: 記念講演: 佐治晴夫 鈴鹿短期大学学長 共通教育棟 190 番教室
タイトル 地学教育の新しいパラダイムを求めて—科学の目と詩人の心—
14:45~15:15: 休憩
15:15~16:45: ジュニア・セッション 共通教育棟 190 番教室
16:45~17:45: ポスターセッションコアタイム 共通教育棟学生自習室
18:00: 懇親会 生協第 1 食堂

- 8月23日(日)
8:00: 受付(教育学部 1 号館正面玄関)
9:00~12:00: 研究発表(教育学部 1 号館 3 階)
12:00~13:15: 昼食
13:15~15:45: 研究発表(教育学部 1 号館 3 階)
15:45~16:00: 休憩
16:00~16:30: 閉会行事(教育学部 1 号館 3 階)

- 8月23日(月)~25日(火): 野外見学会
A コース: 三重県の中央構造線
○集合津駅前 午前 8 時 20 分
○コース

- 8月24日(月)
津駅前出発 8:30→多気町五桂池付近①10:00~12:00→昼食 12:00~12:45→勢和多気 IC 付近②→多気町古江櫛田川河床③14:00~14:30→多気町朝柄④15:00~16:00→松阪市飯高町(泊)

- 8月25日(火)
出発 9:00→飯高町日出露頭⑤9:40~11:00→昼食 11:30~12:30→みえこどもの城⑥14:00~15:15→津駅 16:30
○見学ポイント
①: 中央構造線断層岩と三波川変成岩・横野花崗岩および朝柄層の関係
②: 中央構造線断層岩
③: 鶏冠石などの採集
④: 朝柄層と畑井トーナル岩の層相・岩相と食い違い石・破砕帯
⑤: 国指定の天然記念物中央構造線露頭
⑥: プラネタリウム
○宿泊地 山林舎(松阪市飯高町)
○交通手段 観光バス
○募集定員 20 名(最小催行人数 15 名)
○経費 20,000 円
○案内者
庄司勝信((有)エイグ) 林田守生(有間野小学校)

Bコース：伊勢・志摩の地質

○集合津駅前 午前8時20分

○コース

8月24日(月)

津駅前出発8:30→伊勢市円座町①9:30~10:30→伊勢志摩スカイライン山頂②11:30~12:00→鳥羽市内で昼食12:30~13:15→鳥羽市安楽島町③13:40~14:10→砥谷海岸④14:30~15:30→鳥羽駅16:00→伊勢市(泊)

8月25日(火)

出発8:30→鳥羽水族館⑤9:00~9:40→横山展望台⑥10:10~10:30→船越⑦11:00~12:00→志摩市内で昼食→浜島矢取島⑧13:30~14:10→三重県水産研究所⑨14:30~15:00→鷺方16:00→宇治山田17:00→津駅解散18:30

○見学ポイント

- ①：三波川変成岩類(片岩類など)、塩基性岩(蛇紋岩)
- ②：鳥羽市の離島の配列塩基性岩
- ③：秩父帯松尾層群の観察トバリユウの産出地
- ④：秩父帯鳥羽層群中のメラランジェ・枕状溶岩・砂岩中の有孔虫など
- ⑤：海や川の生物の生態
- ⑥：英虞湾のリアス式海岸
- ⑦：四万十帯の地層の互層・褶曲・生痕化石など
- ⑧：四万十帯の地層と段丘堆積層との不整合
- ⑨：真珠研究のようす

○宿泊地 伊勢シティホテル(伊勢市吹上1-11-31 電話0596-28-2111)

○交通手段 バス

○募集定員 25名(最小催行人数18名)

○経費 23,000円

○案内者

上野貴司(皇學館高校) 津村善博(三重県立博物館)

Cコース：尾鷲・熊野地域の地質と化石

○集合 三重大学 午後4時20分

○コース

8月23日(日)

三重大学出発16:30→尾鷲市(泊)18:30

8月24日(月)

出発8:00→熊野市紀和町①9:20~11:00→熊野市で昼食11:30~12:20→熊野市楯が崎(遊覧船)②13:00~14:30→七里御浜海岸付近③15:00~16:30→熊野市駅17:00→津駅20:00
※楯ヶ崎遊覧が荒天などで中止のときは那智黒石採石場(熊野市神川町)見学

○見学ポイント

- ①：丸山千枚田(棚田) 紀州鉾山跡(銅の採掘地) 瀨八丁(峡谷)
- ②：熊野灘のリアス式海岸 楯ヶ崎(熊野酸性岩の柱状節理)
- ③：鬼ヶ城・獅子岩・花の窟(熊野酸性岩類の侵食地形) 七里御浜海岸(磯浜)

※那智黒石採石場(熊野層群黒色頁岩)

○宿泊地 ニューポートホテル(尾鷲市)

○交通手段 観光バス

○募集定員 20名(最小催行人数15名)

○経費 22,000円

○案内者

二村直司(尾鷲小学校)

*Cコースは出発・泊が23日(日)で他のコースと異なります。ご注意ください。

5. 大会参加要項

(1) 各種申込期限

参加申込期限 当日まで可

巡検・懇親会申込 6月30日まで ただし定員に達した場合は受付を終了する

発表申込期限 6月30日

発表予稿集期限 7月15日

予稿集のみの申込(郵送)の期限 6月30日

申込方法 上記申込みはすべて大会HPから申し込む。

(2) 大会参加費、懇親会費、巡検参加費

大会参加費 4,000円、ただし7月1日以降は4,500円 大学生・院生(現職教員を除く)は2,500円、ただし7月1日以降は3,000円

ジュニア・セッションで発表する生徒および引率教員については無料

懇親会費 4,000円

巡検参加費

Aコース(中央構造線): 20,000円

Bコース(伊勢・志摩): 23,000円

Cコース(熊野): 22,000円

予稿集 1,710 円 (送料込み)

振込先

振込先名義: 日本地学教育学会三重大会実行委員会

振込先口座: ゆうちょ銀行 12230-24189761

他の金融機関から振り込む場合:

店名/二二八, 店番 /228, 口座番号/普 2418976

通信欄に巡検および懇親会参加の有無, また巡検参加の場合には選択コースをお書き下さい.

(3) 研究発表募集要項

①発表形式 口頭およびポスターセッション
分科会は小学校・中学校分科会と高等学校・
大学分科会の2会場を予定しているが, 申込みの状況によっては変更することもある.

②発表時間 口頭発表の場合は質疑を含め 20

分(発表 15 分, 質疑 5 分), ポスター発表の場合はコアタイム 1 時間を予定

③使用機器 プロジェクター, パソコン, パソコンはできるだけご自分でご用意下さい. 大会事務局から提供するパソコンはパワーポイント 2003 のみ使用できます.

④原稿の形式と送付方法

大会 HP に掲載する書式に従い, 大会 HP 上から投稿して下さい.

6. 大会事務局

〒514-8507 津市栗真町屋町 1577

三重大学教育学部 事務局長 荻原 彰

Tel. 059-231-9325

メールアドレス ogi@edu.mie-u.ac.jp

HP アドレス <http://www.jsese09.edu.mie-u.ac.jp/>

日本地学教育学会第 63 回全国大会ジュニアセッション発表者募集

地学教育学会では、若い世代の地学への関心を高め、学習・研究活動をより活性化することを目的として、ジュニアセッションの時間を設けています。部活動やグループ活動など日頃の研究成果の発表を募集しています。ジュニアセッションの要領は下記のとおりです。

- 1 日 時：8月22日（土）15:15～16:45
- 2 発表時間：発表10分～15分，質疑5分
- 3 申込方法：大会ホームページ <http://www.jsese09.edu.mie-u.ac.jp/> の「参加申込み」から申し込んでください。
- 4 申込み締め切り：6月30日
- 5 その他：(1) 申込みの際、必ず300字程度の概要をお願いします。それが予稿集の原稿となります。
(2) できるだけポスターセッション（研究成果を掲示して来場者に説明する時間）にも参加して下さい。ポスターセッションは16:45～17:45です。ポスターは当日お持ち下さい。

原著論文

河川作用の理解の深化で見る科学的探究の諸局面

—探究活動の改善に向けて—

Several Aspects of Science Understanding Demonstrated
by Reviewing the Investigation of River Processes

林 慶一*・山下浩之**

Keiichi HAYASHI and Hiroyuki YAMASHITA

Abstract: Almost all of the problem-solving skills and learning curricula in education have been developed based on excessively simplified investigative processes and are far from actual investigative processes involving diverse cognitive aspects. To determine cognitive aspects of investigative learning, we examined the evolution of river study. The historical development of eleven critical elements for understanding the processes of river evolution is described, for the purpose of evaluating the teacher's understanding of river study in general. Changes in the logical structure of these elements resultant from incremental new knowledge are also reviewed, because the primitive structure is still now accepted and taught in school science education. Based on the teachers' response to the presentations on river-study evolution, six main cognitive aspects of the scientific investigative process are recognized: 1) have understood adequately; 2) have understood perfectly; 3) somewhat incomprehensible; 4) seriously incomprehensible; 5) improvement in understanding; 6) significant improvement in understanding. These cognitive aspects should be recognized in the problem solving and inquiry learning for cultivating scientific inquiry ability.

Key words: river processes, transportation of deposits, river current, process of science, inquiry learning

1. はじめに

河川作用は、小学校理科における「流れる水のはたらき」や「土地のつくりと変化」の単元の中で、大きな比重を占めている内容である。また、中学校や高等学校理科の地質分野の「地形の変化」や「地層」の単元でも欠くことのできない内容である。しかし、現行の教科書、特に小・中学校の教科書に示されている河川作用や河床堆積物に関する理解の仕方は、最新の科学から見ると許容範囲を超えて陳腐化してしまっており、適切とは言えないものになっている。このような

現象は、最新の科学の成果が直接反映される地学分野の教育ではしばしば見られ、それらの指摘と改善策の提案がなされてきた(林, 1995, 1997)。したがって、河川作用についても教育分野に新しく適切な理解の仕方を提示することが急務であるが、専門書を含めてこれを概観できる出版物がないのが現状である。そこで、本論文では第一の目的として、教師に河川作用に関する最新の理解をしてもらうために、この分野の主要な理学的・工学的知見を歴史的に取り上げて、知見間の構造的関係の変遷に留意しながら整理・再構築した。

一方、理科教育では自然の事象についての科学的理解を深めることとともに、科学的な探究能力を育成することが重要な課題であり、我が国においてもこのために問題解決的な学習や探究活動・課題研究が強調されてきた(文部省, 1998a, 1998b, 1999a)。そして、この探究の過程は、「問題の把握」、「課題や仮説の設定」、「観察・実験の計画」、「観察・実験による検証」、「情報の収集」、「野外調査」、「対照実験」、「分類」、「数的処理」、「データの解析・解釈」、「推論」、「法則性の発見」など構成要素が例示され(文部省, 1999b, 1999c, 1999d)、基本的には、最初に設定された課題や仮説が、観察・実験・調査等によって検証され、科学的な議論を通して最後に結論が得られる、という抽象化された単純な過程として描き出されており、小学校から高等学校までの教科書でもすべての探究的な活動がこれに沿った形で例示されている。しかし、このような抽象化された単純な過程は、実際の科学の探究においては極めてまれであり、多くの探究過程でははるかに複雑で、多様な局面を持つ。例えば、一つの知見が明らかになることで、その分野のそれまでの理解が大きくあるいは少し進展することもあるれば、それまでに知られていた知見や考え方と矛盾して一種の混乱状態を作り出す場合、さらにはその混乱を深めるような新たな知見の発見もある。これらについては、構成主義学習論において、類似した学習場面が指摘され、解決策としての知識や考え方の再構築の必要性などが指摘されている(Osborne and Freyberg, 1985 など)が、実際の科学研究の過程とはエピソード以上の対比はなされていない。真の探究能力を育成するためには、このような探究の真のプロセスを反映した計画・指導・支援が必要である。そのためには、このような複雑な探究の過程を明確にして、教師がそれらを意識的に理解できるようにすることが必要である。これが本論文の第二の目的であり、ここでは、河床堆積物の上流から下流に向けての細粒化という広く知られた事象の原因についての科学的理解がどのように深化するかを例にして、科学的探究のさまざまな局面を明確にし、そこでの科学者の認知的変化の姿を描き出す。

なお、本論文は、引用した理学的・工学的知見をそのまま学校教育における探究活動の内容として導入することを主張するものではない。これらは科学者が膨大な先行研究を網羅して長い考察を重ねたうえで、学校教育で確保できる時間や費用をはるかに超える規模で実行したものであり、教材化するにはそれぞれにつ

いて相当の研究を必要とするものが多い。しかし、探究過程としては学校教育における探究活動においても同様な局面が現れるので、ここで示した科学者の認知構造の転換はその際の問題解決・指導の指針となりうる。サブタイトルとして「一探究活動の改善に向けて一」としたのもこのためである。

また、関連する理学的・工学的な知見は重要なものは網羅したが、これらが河川研究史に関する厳密かつ詳細なフォローになっていることを保証するものではない。研究史の厳密な総説は将来の専門家の手に委ねることにして、本論文は教育に資することを目的として、科学における探究過程の多様な側面を例示するためのものとして著した。このため、引用についても一次文献の網羅的な引用は行わず、本論の展開上必要な文献を参照するレベルにとどめた。

2. 河床堆積物と河川作用の理解の歴史

最初に、人がものごとを「理解する」=「わかる」とはどういうことかが、本論文では重要な鍵になるので、これについて筆者の立場を明確にしておく。「理解」は、認知心理学の研究対象ではあるが、「記憶」や「学習」などに比べてよく解明されてない。しかし、科学的な探究活動の実態に照らし合わせたとき、「二つ以上の物事の関連がつかない状態から、関連づけられた状態への移行」という定義が最も適切のように思われる。「理解」についてのこのような理解は、Bransford and Johnson (1973)をはじめとした文章を素材にした研究によって明らかにされたものであり、人は文章の各部分がうまく関連づけられないとき「わからない」と感じ、関連づけに成功した瞬間に「わかった」と感じるという現象に基づいている。西林(1994, 1997, 2005)、西林・水田(1999)らは、この考え方の正しさを理科を含むさまざまな分野の豊富な例で示すとともに、自らの研究により精緻な議論に発展させている。科学研究においては個々の研究によってさまざまな知見が見いだされ、それらが既知の知見や考え方と、合理的に関係づけられ科学知の体系が強化されたときに以前より「わかった」状態に進歩する。このような科学研究のメタ認知的な視点からは、上記の「理解」の定義はほぼ満足できるものであり、本論ではこの立場で議論を進める。

(1) 破碎・摩耗作用説と選択運搬作用説—「わかった(つもり)」の状態

河床堆積物の上流から下流に向かっての変化(縦断

知見A

河床の堆積物の縦断的粒径変化は、支流の流入部や扇状地末端などで急変することがあるものの、大きくみると上流では粗粒で、下流へ向かって細粒となる。
(河床砂礫の縦断的分布に関する、経験的にも広く知られた、古くからの初歩的な概略的知見)

知見B

河床堆積物の運搬は、平水時にはほとんど起こらず、大出水の際の洪水の際に集中的に起こる。洪水時には、浮流状態で運ばれる泥や砂だけでなく、洪水前後の河床を比較すると、大礫から小型巨礫までもが動くことがわかる。
(洪水による強力な掃流力に関する、経験的にも広く知られた、古くからの初歩的知見)

知見C

運搬状態の粒子が堆積するようになる流速は、泥・砂・礫の全領域にわたって、粒径が大きくなるとともに速くなる。一方、一様粒径の堆積状態の粒子が動き始める流速は、細砂以上では粒径と共に大きくなるのに対して、シルト以下で凝集している場合には、細くなるほど逆に大きな速度を必要とする。
(20世紀に入って始まった人工水路実験を通して、20世紀半ばには確立された知見)

知見D

20世紀初めに始まった回転ドラムを用いた破砕・摩耗実験では、破砕・摩耗作用は小さいとされた。しかし、硬質の人工的な砕石の使用し、摩擦や衝突が実河川よりも弱かった点を批判して、実河川の河床礫を用いて、内側に柵を付けた回転ドラムの中で連続的に落下衝突させる実験が1990年に改めて行われた。その結果は、流下距離1kmに換算される回転で、粒径が 10^{-3-1} の割合で減少した。
(1990年頃に改めて行われた、河床礫の破砕・摩耗実験による新しい知見)

知見E

河床堆積物の縦断的変化の要因としての選択運搬作用と破砕・摩耗作用の重みを比較する目的で、河床礫の礫種の下流への変化を調査した。結論は一致していないが、選択運搬作用が圧倒的に大きな比重を占めているという結論が多い。
(20世紀中葉から調査が行われているが、調査対象、方法、解釈の違いで、今日でも一義的な結論に至っていない知見)

知見F

混合砂礫では、砂が多いと礫同士との摩擦を低下させるとともに、大きい礫ほど上層の速い流れにさらされるため速く移動するなどして、一様砂礫の場合に比べて動きやすくなる。
(1980年前後から可能になった混合砂礫の実際的な運搬実験によって得られた、比較的新しい知見)

知見G

一級河川クラスの年最大規模の出水でも、河床付近での主流方向の流速は、最速で1.4 m/s(台風0423号時の江戸川中流関宿や台風0422号時の荒川下流西新井)程度である。
(実河川の洪水の流速に関する、21世紀に入ってから得られるようになった最新の知見)

知見H

実際の河床礫の移動を見積もるために、渡良瀬川においてレンガを投入して追跡した結果、3年間をかけて最も下流まで移動したのもでも2kmにすぎなかった。
(1950年代に行われた、河川での礫の移動速度を見積もる実験で得られた知見)

知見I

洪水内部の流速分布の測定結果から、平水位から最高水位に達する1時間ほどの洪水波前面の中でも、早い段階で流速が急激に上昇してピークに達し、数分のうちに急速に低下することが確認された。
(21世紀に入って得られるようになった、洪水流の内部構造に関する最新の知見だが、測定例は少数)

知見J

一級河川の二次支流で、洪水の前後で個々の河床礫の位置の変化を調べた結果、小さな出水でも礫が動くことが確認された。また、礫の移動方向は2割が下流へ、6割が左岸方向へ、2割が右岸方向であった。
(洪水時の個々の礫の運動に関する最新の知見)

知見K

河川の直流部・湾曲部に分流を付けた実験によって、河床の砂礫は8割以上が直進せずに、横へ逃げる流路を選択することが明らかとなった。
(20世紀前半には確認・検証された知見)

図1 河川作用、特に河床堆積物の縦断的粒径変化とその原因に関する、現在までに得られている主要な知見。

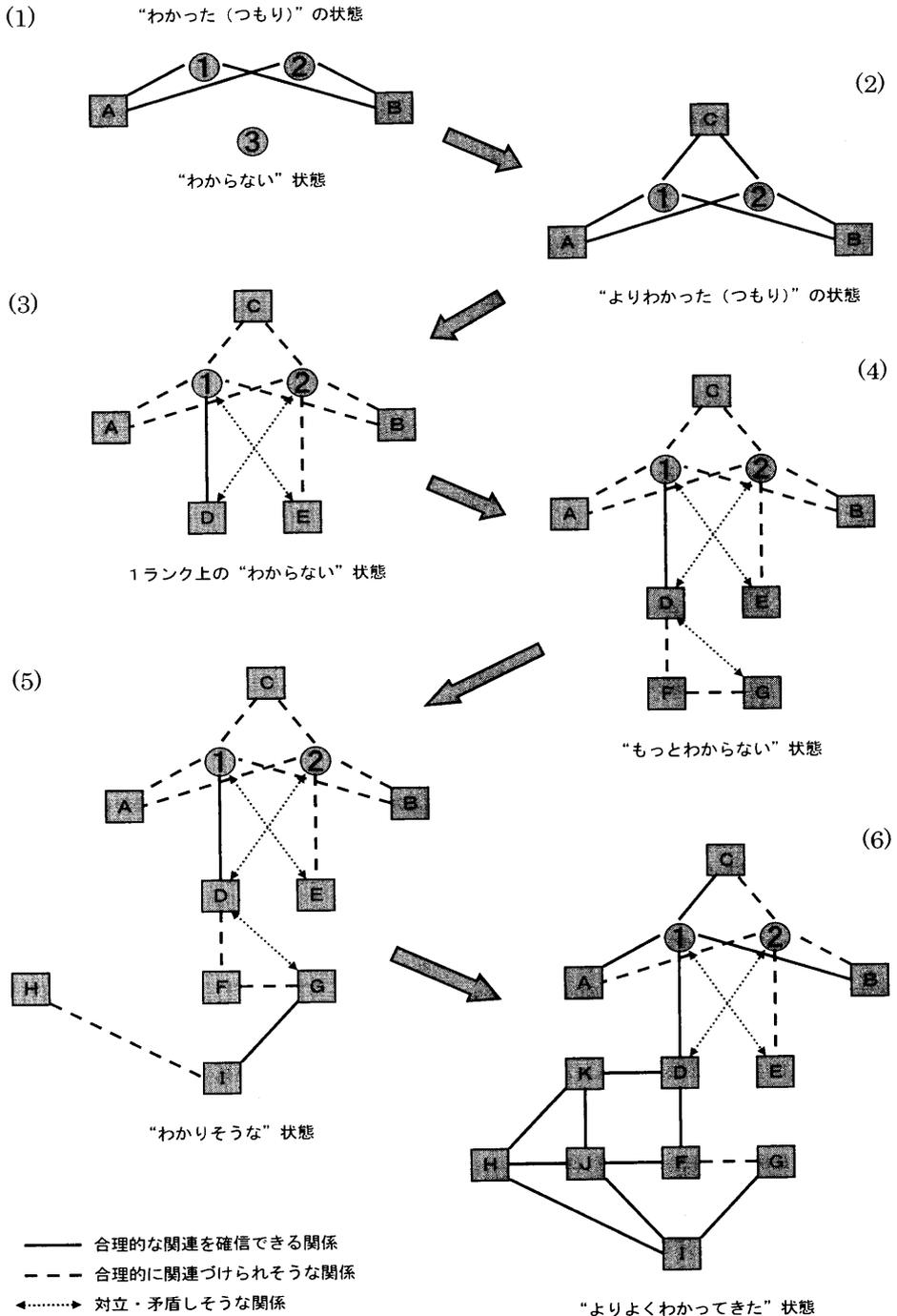


図2 河川作用と河床堆積物の理解の深化をもたらす二つの説と諸知見間の構造的関係の変化
 アルファベットで示した各知見の詳細な内容は、図1および本文を参照。(1)~(6)の構造について、知見間の関係を内容的に簡便に確認するには、図3上にそれらを投影すればよい。

的变化)と、その原因にかかわって、現在までに得られている知見を図1に列挙した。ここに示したような科学の知見は、例え実験であっても再現性の保証された事実であり、事象と対応しているので、心理学で通常使用されている「知識」という用語ではなく知見A～知見Kとした。この記号化は、後述の図2における知見間の構造的関係を簡略に表現するためのものである。

河川は人にとって最も身近な自然の一つであり、それに関する知識は教育を通さずとも経験知として獲得できるものも多い。その意味では、人類の河川理解の歴史は人類史と同程度に古いと考えられる。そのような経験知の一つが、知見Aの河床堆積物の粒径の縦断的变化に関する知識である。厳密に言えば、土石流扇状地の末端では平均粒径が急減するし、支流からの流入により突然再粗粒化することもあるが、概略的には上流から下流へ向かって細粒化の傾向が認められる。これは、自然体験の乏しくなった現在では小学校5年の「流れる水のはたらき」で改めて学習することになっているが、自然とのかかわりの深かった30、40年ほど前までは、ほとんどの人々が日常経験を通して認識していた事象であろう。洪水の強力な土砂運搬についての知見Bもまた、知見Aと同様に現在では小学校において学習することになっているが、経験知の一つであろう。洪水時の膨大な濁り水を見れば、それが大量の泥を運んでいることは明白であり、破堤すれば氾濫原に泥や砂を残し、洪水後の河道内では砂礫堆の分布が大きく変化していることを目の当たりにして、砂礫も運ばれていることを容易に理解することができる。20世紀に入る頃までの人類の歴史の大部分の期間において、河床堆積物やその成因に関して、専門家も含めて人々が認識していた知見は基本的には上の二つにとどまる。

さて、この二つの事実を別個に受け入れてそれ以上は考えないということもありうるが、河川を理解しようとすると二つを合理的に関連づけなければならない。ところが、その関連づけには、Pettijohn (1975) が分類したように、科学者も含めて人々の間に、

- ①**破碎・摩擦作用説**：砂礫は、流水により運搬される過程で、破碎・摩擦により下流へ向かって粒径が小さくなっていく。
- ②**選択運搬作用説**：流水の縦断的变化に伴う分級作用により、粗粒粒子ほど上流にとどまり、細粒粒子ほど下流まで運ばれる。

という、全く異なる二つの対立的な考え方があった。図2の(1)には、この関係を示したが、二つの説のいずれもがA、Bの二つの知見を合理的に関連づけることが可能で、それぞれの考え方の人々をそれぞれに“わかった”という気持ちにさせる。しかし、客観的にみると、異なる考え方が存在する以上は科学的にはわかったことにはなっていないので、正確には別の立場の解釈があり得ることを知らない人々が勝手に「“わかった(つもり)”の状態」であることを示す。もし、科学者のように二つの立場を認識できていれば、本当は、

③わからない状態

にあることが認識できる。したがって、図2の(1)の段階では、“わかった”状態よりも“わからない”状態のほうが、わかっている状態であることになる。

科学の歴史では、図1のC以降の知見のうちいくつかが20世紀に入ってから相前後して明らかになったのでこの段階を脱出したことになる。しかし、学校教育では小学校5年でA、Bの学習をした後は、高等学校で地学を選択した一部の生徒のみが知見Cを学ぶにとどまる。したがって、中学生以下の生徒はもちろん、地学を履修していない市民の多くも、実はこの(1)の段階にある。したがって、小学校5年の「流れる水のはたらき」や中学校第2分野の「大地の変化」の学習、さらには教師教育や社会人教育においても、教える側は学習者だけでなく自分自身も含めて上の三つのうちのどのような状態にあるかを、確認するべきであろう。

(2) それぞれの説の強化—“よりわかった(つもり)”の状態

新しい研究によって何らかの知見が明らかにされた場合、既存の科学知の体系が単純に発展させられるとは限らない。科学史的な順序は別にして、知見Cが加わった場合を例に考察する。知見Cは、20世紀初めからGilbert (1914) らによって始められた人工水路を用いた堆積物の流水実験の蓄積によってHjulstrom (1939) によってほぼ集大成された、水路床に堆積した粒子が運搬され始める流速と、運搬されている粒子が停止して堆積に転じる流速の、各粒径ごとの変化をグラフで示したものである。実河川とは異なる小型の実験水路とはいえ、定量的なデータに基づく粒子の挙動が不連続に変化する流速の閾値が明らかにされ、その後今日まで堆積学・河川工学関連の教科書(Pettijohn, 1975; 庄司, 1971; Fritz and Moore, 1988; 高橋,

1990 など多数) には、基礎的内容として必ず登場する。

いま、(1)の状況にこの知見Cが加わると、前述の①～②の各立場で次のような認識の変化が起こる。①の立場では、「大きい粒子は河床勾配が小さくなり流速の低下する下流になるほど運ばれにくいことが知見Cによって明らかになったが、実際には下流には大量の細粒堆積物粒子が運ばれてきているので、大きい粒子は破碎・摩耗されなければならない」となり、①の説と合理的に関連づけられる。その結果、自説をより確信することになる。②の立場では、「やはり大きい粒子は流れの速い上流で動かなくなってしまい、小さい粒子ほど下流へと流されて、分級が進む」となり、②の説と合理的に関連づけられ、やはり自説を確信することになる。①、②の考え方がともにA、B、Cを合理的に関連づけることに成功し、(1)の状態よりも自説に確認を持てる“よりわかった”状態への移行する(図2の(2))。一方③の立場では、Cは2説のいずれにも支持的になりうるということが理解できるので、これが簡単には解決できない問題であるとの認識を深めることができる。

実際の科学研究の世界では、この場合のように、何らかの知見を新規に明らかにしたものの、当該領域での現下の主要な課題を直ちに解決・進展させることにならない研究のほうが圧倒的に多い。しかし、それは別の新しい研究と組み合わせられて、後に大きな結果をもたらすこともある。ところが、教育では、同一単元学習内でも、同類の分野を扱う上位の学年・校種でも、知識を一つ付加することが直ちにより深い理解につながるという考え方が、あまり疑われずに受け入れられているように見える。それは、学校教育の内外で「知識を覚えること＝勉強」という図式があまりにも広範に見られることから裏づけられる。しかし、真の探究的な学習を行おうとするならば、教師はここで示したような状況が常に起こりうることを認識する必要があり、同時にそのような局面での適切な指導・援助の方法を身につけておく必要がある。

(3) 新知見が混乱をもたらす局面—1 ランク上の“わからない”状態

科学研究では、科学者集団によって多方面からの研究が同時に進行し、それらが相互に影響を与えつつ当該領域の科学知の体系全体を動かしていく。しかし、それらの個々の研究同士の間には相互に矛盾する方向を示すものもある。次の知見Dと知見Eの付加はそ

のようなケースの例である。

知見Dは、①の破碎・摩耗作用が河川の縦断的粒径変化にどの程度寄与しているかを検証することを目的として、20世紀初頭から始められた回転ドラム内での碎石の摩擦・衝突実験である。当初の実験結果においては、円磨度や粒径の変化は極めて限定的で、このために破碎・摩耗作用は河川の縦断的粒径変化にはさほど寄与していないと考えられた(Wentworth, 1919)。しかし、ドラム内の摩擦力・衝突速度が実河川におけるそれよりもはるかに弱いことに気づいた小玉(1990)は、ドラム内に棚を付けて、ある高さまで砂礫が持ち上げられてから落下する装置を工夫して、実河川に近いと考えられる条件で実験を行った。その結果、驚くべき短時間の間に破碎・摩耗が起こり、流下距離1 kmに換算される回転でチャート・安山岩礫とともに $10^{-3} \sim 10^{-1}$ という大きな値の粒径減少率を得た。これは、日本の主要な扇状地河川における粒径減少率 $10^{-2} \sim 10^{-1}$ に迫るものであり、①の破碎・摩耗作用のみで河床堆積物の縦断的粒径変化を説明できる可能性を示した。したがって、本知見Dと①の破碎・摩耗作用説は強い支持関係にある。一方、②の選択運搬作用説は破碎・摩耗作用をほとんど無視する立場なので、Wentworth(1919)らの回転ドラム実験の結果が整合的であったのに対して、小玉(1990)による実験結果の知見Dとは、一転して対立・矛盾するものとなった(図2の(3))。

知見Eは、実際の河川における①の破碎・摩耗作用説と②の選択運搬作用説の重みの比率を評価する目的で行われた、実河川での粒径別礫種の縦断的变化を調べた結果得られた知見である。他の観察・実験等から十分正当性の保証されている礫種による硬軟・内部構造を反映した破碎・摩耗率の差(例えば、秦・長, 1993)を前提にして、もし①の破碎・摩耗作用が主であるとすれば、流下に伴って破碎・摩耗されやすい礫種は細粒化がより速く進行し、結果として同一粒径階級の礫種構成率に上・下流で変化が生じるはずである。この原理に基づき、いくつかの調査が行われたが、Plumley(1948)は河岸段丘礫の調査から①の破碎・摩耗作用と②の選択運搬作用の重みを1:3と見積もり、小玉ほか(1989)は奥入瀬川の河床礫の調査から逆に3:2と見積もるとともに、Plumley(1948)の調査結果の解釈を修正して3:1と見直すべきだと主張した。これらの対立見解を踏まえて、山本(1994)はこの調査により適した河川として支流の影響のほとんど

ない鬼怒川を選定して詳細な調査を行った結果、①の破碎・摩耗作用と②の選択運搬作用の比率は大きいても1:9以下と主張した。これらの結論の間の正反対とも言えるほどの大きな差は、調査河川とそこで河床礫がさらされる風化等の諸作用の種類・程度の違いも原因ではあるが、示された基本データに結果に結論に見られるほどの差があるわけではない。そのため、データ処理とそのアルゴリズム、究極的にはそれらの背景となっている①と②の説の考え方の違いそのものが主要な原因であるように筆者には思われる。ところで、大矢(1993)は、これらとは少し異なる目的で最上川の盆地・峡谷部において砂礫流動を調べ、溪流部の河岸・河床から供給された礫が、安山岩礫を除き大礫以上の礫が下流側の盆地を越えて運ばれることはないことを明らかにした。そして、その原因を、花崗岩礫については②の選択運搬作用で、頁岩礫については①の破碎・摩耗作用で解釈している。このように河床礫の縦断的变化は解釈が難しく、現時点でも一義的な結論が得られているわけではないが、データ処理の説得力等からは②の選択運搬作用の重みが支持されるように筆者には見える。もしそうであるとすれば、知見Eは②との合理的関連づけができる可能性が高い。このことは同時に、知見Eが①とは対立的な関係をとることを意味する。

①説に対するEや②説に対するDのように、合理的に説明できない知見が見つかったら、(2)で確信を持っていた①または②の説とA、B、Cの各知見との合理的と思われた関連づけについても、確信的なものではなくなって、再考する必要がある。このことを表現するため、図2の(3)では関係を示す線を、実線の“合理的な関連づけの確信できる関係”から破線の“関連づけられそうな関係”に変更した。

実際の科学研究の世界では、この場合のように、同一目的・同一調査原理に基づきながら相対立する結論が報告されることが、多様性のある事象を対象とする場合にはしばしば発生する。そして、それぞれの結論がその分野の対立する仮説をそれぞれに支持あるいは否定することもある。科学だけではなくたいの学問領域において大きな対立学説が形成されている場合には、このような状況が見られる。

ところで、認知科学的に見ると、ここで示したような知見の付加は、(2)の“わかった(つもり)”の状態をひっくり返して、“わからない”状態を作り出してしまうことになる。しかし、この“わからない”状態とい

うのは、調べた上でも①と②の両作用の重みを決めかねるということであって、(1)ときの“わからない”よりも理解のレベルとしては1ランク上の“わからない”状態である。いろいろなことがわかってくと謎が深まるというようなケースも同じで、結論とは別に理解のレベル自体は進んでいるということには自信を持てる。

もし、教育における探究場面でこのようなことが起こったときは、細心の注意が必要である。自分の立場にとって都合の良い関連づけあるいは対立関係のみに目が向き、不都合な部分を見落としがちになるからである。よく計画された検証実験・調査でも、地学分野のような多様性のある事象を対象とする場合には、指導者は恣意的な解釈に陥らないような指導・援助をしなければならない。そのためには、事前に科学的な素材研究を注意深くしておく必要がある。

(4) 多数の矛盾を内包する混迷状態—“もっとわからない”状態

科学研究では、もっと複雑な場合もある。新しい二つの研究成果がそれら同士は相互に合理的に結びつけられそうなのに、既知のある知見に対して一方が整合的で、他方が対立的であるというような場合である。次の知見Fと知見Gが同時に付加される場合はこの例である。

知見Fは、今日の高校教科書にも見られる基本的内容となっている上記のHjulstrom(1939)の知見Cが、実は均一粒径粒子を用いて行われた実験で、現実のほとんどの河床堆積物が混合粒径砂礫であり、この場合は粒径別の解釈の加算で済まないのではないかという疑問から出発している。1980年前後からの、山本(1978)、池田(1984, 1988)、伊勢屋・池田(1986)などの研究によって、比較的短期間の間に混合砂礫の特異な流水特性が明らかにされた。混合砂礫では、礫が多い(50%以上)と摩擦抵抗が大きくて動きにくい、砂が多いと摩擦を低下させる(減摩効果)とともに、礫は大きいほど突出して上層の速い流れにさらされるため砂よりも速く移動し(突出効果)、その礫が前の砂を押し(衝突効果)ながら停止し、また、その礫を後方の砂が後を追って移動し再び礫の間隙を充填する(連行効果)。河床堆積物にしばしば観察されていた透かし礫層などの堆積のメカニズムに関する理解も、これによって大きく進展した。なかでもここでの議論に大きな影響を与えるのが、混合砂礫の動きやすさと、礫が大きいほど動きにくいのは重いからではなく

より強くかみ合っているからという知見である。このような実験上の知見 F は、回転ドラムによる知見 D (実河川の混合砂礫は動きやすい) の実験条件である摩擦・衝突の起こりやすさの正当性を支持するものであり、合理的に関連づけられそうである。

もう一つの知見 G は、海洋観測分野で用いられていた超音波ドップラー流速分布計を洪水流の観測に用いることによって、実際の洪水時の横断面の流速分布が把握された結果、近年 (2007 年) になって初めて報告された知見である。二瓶 (2007) は、川幅 (堤外地幅) 約 350 m の大河川の中流 (江戸川新関宿橋) における年最大規模の出水の際の最大流速時における主流方向の流速分布を 0.2 m/s 間隔のコンターで示した。この研究は、河川工学に資するための水理学的研究であるため、堆積学的視点から興味のある河床部の流速についての言及はあまりない。また、計測機器自体の評価も含めた試行的な調査の段階であり、測定誤差を考慮して著者は慎重に議論しているが、堆積学的観点からは極めて重要な発見であると考えられるので、筆者による解釈が混入してしまいが、少し詳しく解説する。使用している用語については、末次 (2005) などを参照されたい。測定地点は、広い高水敷を左右に持つ複断面河道になっており、中央やや右よりに幅約 80 m、高水敷からの深さ約 7 m の低水路がある。このときの洪水では高水敷が水深約 2 m、したがって低水路は最大水深が約 9 m となったが、低水路内の洪水断面の中央右寄りと左寄りに生じた 2 点の流心の最大流速はともに約 2.0 m/s、低水路の河床 (低水敷) では 0.6~1.4 m/s であることが読み取れる。流心流速も、河床部の最大流速も、従来想像されていた流速の半分程度しかないという驚くべき事実が明らかになった。酒井・二瓶 (2007) に示された、台風 0422 号による大出水時の荒川下流 (西新井橋) における鉛直方向の流速分布の時間的変化を示した図でも、河床での最大流速は 1.4 m/s とほぼ同じであったことが読み取れる。均一粒径水路床での層流的な実験結果を示すヒュールストローム図によれば、この 1.4 m/s を初動速度とする礫は約 15 mm 径の中粒中礫、1.4 m/s を沈降速度とする礫でも約 30 mm 径の粗粒中礫にとどまる。したがって、この知見 G は、より粗粒の大礫あるいはそれを少し超える大きさの礫 (小型巨礫) まだが洪水時に運搬されることを当然として組み立てられた従来の堆積学分野の科学知を大きく混乱させる“困った現象”ということになる。しかし、混合砂礫はずっと動きや

すいという上記の知見 F をここに加えて考えると、洪水後に確認できる大礫クラスまでの実際の移動を合理的に説明することが可能である。この意味で、知見 G は知見 F とは整合的な関係である。ところが、(3) の段階でその知見 F と整合的であった知見 D (回転ドラム実験) との関係は、逆に対立的なものとなる。回転ドラムの実験では、落下する礫の衝突速度は~3 m/s (小玉, 1990) にも達していたが、大河川における年最大規模の洪水時でも、河床での流速はこの半分しかなかったからである。知見 G は、回転ドラムの実験条件が大幅に過剰なものであったことを示唆しており、その結果としての破碎・摩耗作用による粒径減少率も過大な見積もりであったということになる。

実際の科学研究の世界では、複数の研究者が同様なテーマに取り組んでいると、このような知見同士の関係づけのネットワークを作っていくうちに、つながって欲しいところがつながらなくなるというようなこともときどき起こる。二つもの知見が加わったのに、以前以上に解明が難しくなったように見える時期である。認知科学的に見ると、ここの (4) の段階は、一つ前の (3) の“わからない”状態から、“もっとわからない”状態への移行である。この状況は、混迷が深まったように、あるいは袋小路に入り込んだように見える。しかし、この状態がずっと続くわけではなく、次の展開がいずれ訪れる。

このような混迷と停滞の時期は、探究活動における最も困難な局面の一つであるが、児童・生徒が探究活動に取り組んでいる過程でも出現することは十分ありうる。その際、確実な見通しを持たないその場の思いつきの指導・援助は、かえって混乱を深めることになるので、指導する教師には指導・援助の前に、まず自分自身が科学的に正しい見通しを持つ能力が求められる。

(5) 解決の契機となる新知見の登場—“わかりそうな”状態

科学研究では、当該領域の研究が大きな袋小路に入ったような場面で、過去の研究の再発見や、技術の進展によって入手できるようになった新しい種類の発見が、解決に向けての方向性を示してくれることがある。次の知見 H は前者の例であり、知見 I は後者の例である。

知見 H は、多田ほか (1957) によって行われた、渡良瀬川におけるレンガ (大きさとしては大礫相当であるが、密度は 2.0 程度) の投入実験によって明らかに

された、実河川における礫の流下速度に関する知見である。実験結果は、投入後3年間で最も下流へ運ばれたものでも約2 kmで、水中での相対密度がレンガの1.6倍程度の平均的な岩質の礫の場合は、これより動きにくいと考えられ、100~200 m/年かそれ以下であろう。牧野(2006)も、河床の礫が上流から河口で運ばれるのには、観測結果がないので推測値であると断ってはいるが、数百年から数千年がかかると述べている。この見解に従って、延長200 kmの河川を1,000年をかけて流下すると考えると、200 m/年となり、ほぼ同じオーダーとなる。知見Hは、半世紀も前に得られたものであるが、有名な実験であり決して忘れ去られているわけではない。それにもかかわらず、近年の教科書・論文ではほとんど顧みられていない。その知見自体は、極めて興味深い事実であるが、他の知見との関連づけが極めて困難で、関連づけができないとその事実は長期にわたって孤立したものとなることの典型的な例である。実際、数少ない引用例である鮭川ほか(1992)の河川工学の教科書においても、運搬作用の節の末尾に他の記述との関連なしに付記されているだけである。しかし、媒介となる何らかの知見が見いだされれば、息を吹き返して今まで見えてこなかった価値が見えてくることがある。同種の例は、次の(6)の段階での知見Kの場合もでも示す。

知見Iは、前記の知見Gの観測を可能にしたのと同じ超音波ドップラー流速分布計によって、通過する洪水の河川断面内における主流方向・横断方向の流速分布の時間的変化が測定可能となったことで、2007年に初めて明らかにされた事象である。地学関係者にはまだあまり知られていないので、少し詳しく説明する。二瓶(2007)は、千葉県大堀川(一級水系利根川の支流の都市型河川)における2003.8.5の記録の出水時に、河口より1.5 km地点で洪水を観測した結果、水位上昇開始から1時間後に最高水位になり、5時間後に中間水位にまで戻る洪水波を観測した。この洪水波は、下流であるため久室(1959)が示したような波長が短く波高が高いという特徴以外に、ピークが前方に著しく偏っているという特徴があった。このとき、主流方向の流速は、約1時間にわたる洪水波前面の増水期の中でも中間水位に達する直前のわずか8分間に流心流速が0.3→1.7 m/sと激増してピークに達し、数分間続いた後、約10分をかけて1.5 m/sにまで低下して、その後は緩やかに2時間後に1.1 m/s、3時間後に1.0 m/sとなっていた。観測機器の特性上河

床から0.3 m上までのデータは欠損しているが、描かれた流速コンターを筆者が外挿して推定したところ、河床付近でも洪水波前面の激増期は流心と同様に存在し、ピーク時の流速も流心とほぼ同じであったと思われる。しかし、ピークの時間はずっと短く(1分程度)、その後は急速に低下していったと想像される。つまり、洪水時の河床付近の流速は、増水期のある段階に瞬間的とも言える短時間に跳ね上がり、その後急速に低下していくというこれまで予想されていなかった事実が判明した。大河川でも同様な変化があるかどうか、今後の調査が期待されるところであるが、ここでは一応この事実を基に議論を進める。もし河床礫が1回の洪水では上述の知見Hが示唆するように、短距離、すなわち短時間しか動かないとすれば、この瞬間的なピーク時に動くと考えのが合理的である。こうして、知見Iは知見H(レンガの投入実験)と合理的に関連づけられる。同時に知見Iは、洪水時の最大流速分布を示す知見Gとも、それがダイナミックな変化のある瞬間的な姿であることを示すという意味で関連づけられる。結果的に、長期にわたって孤立していた知見Hは、新知見Iと関連づけられて初めてその重要な意味が見えてきた。

このような過去の孤立的な知見が、新知見と結びつくことで、それを媒介にしてこれまでつながらなかった多くの知見とつながってくるということは、実際の科学研究の場面でもときどき起こることである。

このような展開になってくると、認知科学的には(4)の“もっとわからない”状態に突然風穴が空いて、何か“わかりそうな”状態へと変わり、研究者は“ぞくぞく”、“わくわく”、“どきどき”する。とりわけ、(4)の混迷あるいは袋小路の時間が長く深刻なほど、このときの興奮と期待は大きくなる。この瞬間は、研究の醍醐味の一つであり、児童・生徒の取り組む探究活動でも一度は経験させたいものである。しかし、それにはしばらくの間“どうしてもわからない”という谷底の時期をその前に経験しなければならない。簡単な観察や実験を行うたびに順調に解決への道が進んでいくところには、この醍醐味を味わう機会は少ないし、活動を通しての探究能力の向上もあまり大きくは期待できない。

(6) 知見間の構造的関係が再構築された状態—“よりよくわかってきた”状態

(5)の“わかりそうな”状態からの展開は意外に迅速なことが多い、わかっていない知見間の関係の間を埋

めるにはどんなことがわかれば良いかが、はっきりしてくるからである。次の知見Jと知見Kはそれらの例である。

本例では、3年間でのレンガの流下量の小ささ(知見H)と実験による混合砂礫の動きやすさの証明(知見F)の間を埋める何らかの知見が期待される。それは、理想的には1回の洪水での実際の河原の混合粒径堆積物を構成する個々の礫の運動様式、移動方向・距離に関する知見である。廣木ほか(2006)は、大阪府内の大和川の二次支流の実河川において、設定した方形枠内の河床礫に番号を付け、洪水ごとに継続的に移動を追跡するというユニークな実験を行った。その結果は、「礫は小出水でも簡単に動くこと」、そして「下流方向のみならず、流れに対して直交方法に移動したり、上流方向に移動するものもある」というものであった。論文の図に示された個々の礫の移動方向を筆者が改めて分類したところ、設定枠内で移動した25個の礫のうち、下流側へ左右各45°以内で移動した礫は中礫4個のみで、左岸方向へ同じく各45°以内で移動した礫は中礫8個と大礫4個、右岸方向へ同じく各45°以内で移動した礫は中礫3個と大礫1個、上流側へ左右各45°以内で移動した礫は中礫1個、その他はほとんど位置を変えないか、その場で回転しただけのように見える。明白に移動した礫の実に76%が横へ逃げたと解釈することができる。これはレンガの流下実験で実際にはわずかしき移動しなかったということ(知見H)とは、「礫は小出水でも簡単に動くが、その移動方向は流れに対して横方向なので、3年間の間の何度もの洪水で動いても、下流側へは少しずつしか運ばれなかった」という説明で合理的関連づけができる。また、小出水でも動くということは、混合砂礫は動きやすいという知見Fと小出水でも洪水初期には高流速が瞬間的にあるという知見Iによって説明されるので、J-FおよびJ-K間にも合理的関連づけができる。

知見Kは、流水に対する礫の応答に関する事実である。廣木ほか(2006)は礫の動いた結果を詳細に示すことには成功したが、その瞬間を実際に目撃したわけではない。実際の洪水の最中にこれを目撃する方法は現在まで知られていないが、実験的な研究がないかを筆者が調べたところ、河川工学の領域で1920年代、30年代に行われていた大変興味深い実験を、野満・瀬野(1970)の中に見いだした。それは、G. M. MatthesやH. Bulleらが行った「分流のあるときの掃流砂礫の配分率」に関する研究である。彼らの模型

実験によると、河川の直流部に50%の水量を引水する分流を分岐角30°, 60°, 90°, 120°, 150°で作ると、支流への砂礫の流入率はそれぞれ97.3%, 96.2%, 90.5%, 87.5%, 92.0%となり、分岐角にはあまり関係なく、礫は直進せず横へ逃げようとする強い性質があることが明らかにされた。また、F. Habermassによれば、河川の湾曲部に接線方向に引水率50%の直線分流を作った場合、掃流砂礫は分流には極めてわずかしき入ってこないことも知られている(野間・瀬野, 1970)。水よりも重い砂礫はより大きな遠心力によって接線方向の直線支流に流入するのではないかという予想を裏切って、直線方向から横へ逃げるように内側にカーブして進むわけである。この実験結果は、上記の廣木ほか(2006)の調査結果とほぼ完全に一致する。したがって、知見Kと知見Jの間には極めて強い合理的関連づけが成立する。また、知見Hに対しても、「実際の流下距離が小さいのは、流れから常に逃げようとするからである」と説明できるので、知見Hとの間にも合理的な関連づけができる。さらに、回転ドラムによる実験(知見D)とも、「礫は主に横へ動くので、実河川での実動距離は流下距離よりもずっと長く、それゆえドラムの回転時間はもっと長くしてよい」ということになり、衝突速度が過剰ではあったことによる破碎・摩耗作用の過剰な見積もりを相殺してくれるので、やはりある程度合理的に関連づけられる。これは同時に、先に述べた知見D(回転ドラム実験での礫の~3 m/sという衝突速度)と知見G(洪水時の最大流速が1.4 m/s程度で、それも短時間しか続かない)の間の対立的な関係を緩和する。

こうして、一気に知見Eを除くすべての知見の間に、①の破碎・摩耗作用説の下に合理的関係のフレームワークができあがる。関係が非常に複雑になってしまったので、ここで概略をストーリー的に述べると次のようになる(図3参照)。「洪水はその初期の増水時の中でも比較的早期に流速が瞬間的に跳ね上がって最高値に達し、その後急激にある値まで低下し、その後は水位の低下とともに緩慢に低下していく。河床にある大礫や小型巨礫までが動くのは、この短時間の流速ピークときであるが、このときの最高流速は意外と小さくヒュールストローム図では大礫はもちろん粗粒中礫の運動も説明できない。しかし、ヒュールストロームの実験のような均一粒径粒子ではなく混合砂礫になっていると、大きな礫もずっと動きやすいので大礫や小型巨礫までが動き始める。こうして動き始めた礫

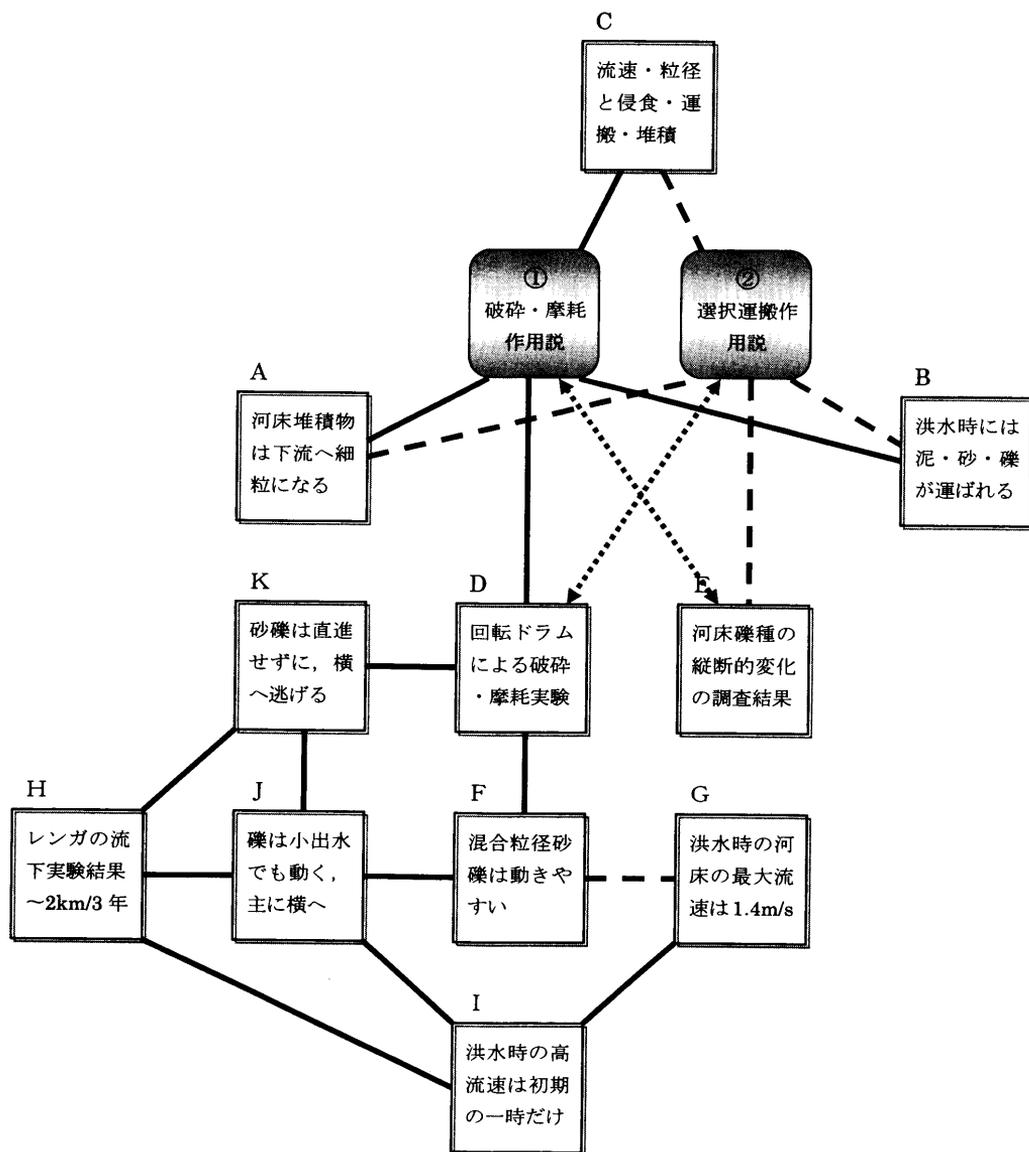


図3 河川作用と河床堆積物に関する説・知見の簡略化した内容と、それらの間の考える最も合理的な関連づけ
 図2の記号表示では内容の関連を読み取りにくいので、図2の(6)に相当する段階について各説・各知見の内容を簡略化して表示した。

の流下距離は、いったん動き始めれば短時間の流速ピーク時間内でもかなり大きくなりそうであるが、実際には極めてわずかな距離しか流下しない。これは、礫が流れの速い部分に乗って流れようとはせず、流れに対してできるだけ横へ逃げようとする性質が強く、横へ移動すればより小さい流速のところがあるのでそこですぐに停止してしまうからである。こうして、礫

は洪水のたびにごく短時間だけ、わずかな距離を、下流方向よりもむしろ横方向に移動することを繰り返す。長期的には、礫は幅広い河道の中で右へ左へと擦れ合いぶつかり合いながら、少しずつ下流側へ移動していく。このように、実際の流下距離よりもはるかに長い実動距離を移動する間に、河床での風化も加わり、礫は破碎・摩耗される。こうして長い時間をかけ

て細粒化が進行し、また粒径に応じて選択的に下流へ運搬される作用も手伝って、上流が粗粒で下流ほど細粒になるという、河川の縦断的粒径の一般的な変化傾向が形成される。(なお、読者がこのストーリーに必ずしも同意できない場合でも、本論文の基本的な主張には影響がないことは「4. おわりに」において説明を付してある.)」。

この(6)の段階では、②の説が否定されたわけでも、①の破碎・摩耗作用と②の選択運搬作用の割合の問題が片付いたわけでもないが、圧倒的に多くの知見が上述のストーリーのようなつながりを作って①のほうを支持している構造から、科学的に理解することにかなり成功したと考えられる。認知科学的には、ここに至って“完全にわかった”とまでは言い切れないが、それに加わり近づいた“よりよくわかってきた”状態に到達したと解釈できる。探究活動においても、直接の観察や実験で知り得た知見のほかに、間接的に得られた知見も含めて、多くの知見が一つの考え方の下に合理的に関連づけられたとき、児童・生徒は、“本当にわかった”と心底から感じ、真の探究を成し遂げた大きな充実感を味わうことができる。これは、西林(1994, 1997, 2005)、西林・水田(1999)らの多数の例でも示されているが、筆者らの実践によっても確認されている。同時に、この経験を通して複雑な自然の事象に取り組む、本当の科学の方法を身につけることができるようになる。教師がこのような探究活動を支援・指導・演出できれば、児童の探究能力は実践的なものになり、形式的な単純な現行の探究方法では不可能な多くの現実問題に取り組むことができるようになるであろう。

3. 科学的な探究過程から教育的な探究過程へ

豊富で高度な知識と高い技能に加えて長い経験を持つ科学者が行う研究と、児童・生徒が取り組む学校教育における探究的活動には大きな違いがある。その一つとして、児童・生徒の場合には探究の初期段階で探究に必要な知識や技能を習得させることが必要になる。多くの教師はこの段階で領域固有性に由来する問題などさまざまな困難に直面しているという現実もある。したがって、これを解決するための研究が、学校での探究活動を成功させるためには不可欠である。しかし、その次の段階では前章で示したような科学研究におけると同様な困難な局面が、学校教育における探究活動でも現れてくる。本章では、この局面に焦点

を当てて、の児童・生徒自身による問題解決と教師の指導の指針を提供する。そのために、まず前章の例で具体的に示した探究過程のさまざまな局面とその展開について認知的側面から整理し、探究的な教育活動においてそれらを取り入れるための具体的方策を提案する。

(1) 科学的な探究過程の多様な局面と教育

探究の過程は、新しい知見が何も付け加わらないところではほとんど進まない。常に自分自身が調べ続けるとともに、他者の研究にも注目し、新知見を集積していくことが基本である。しかし、新知見の付加がそのたびに理解を深めることにはならないことは、本例を振り返っても明らかである。(1)～(6)のすべての段階で1, 2個の新知見が付加されており、それによって確かに以前とは異なる状況へと進んでいる。しかし、それは直線的な理解の深化ではなく、(1)の段階で、二つの知見を簡単なスキーマ(思考の枠組み)で関連づけることに成功して“わかった”と思い、(2)の段階で、三つ目の知見をその“わかった”認知構造に合理的に組み込むことができ“よりわかった”と思っていたのが、(3)の段階で、もっと知見が増えてくると今までの理解と合理的に合わない場合が出てきて、今までの部分についても確信が持たなくなり、一転して全部が“わからない”状態へと変わってしまう。この時点で過去を振り返ってみると(1)の段階は“わかったつもり”、(2)の段階は“もっとわかったつもり”であったに過ぎず、今は「わかってはいないことがわかった」という意味でメタ認知的に1ランク上の“わからない”状態であることに、自分自身の思考の深化を確認できる。真の探究過程では、表層的な理解から真の理解へ向かう入口で、必ずこのような場面に遭遇する。科学の世界ではむしろこの状態のほうが常態であるといってもよいくらいである。

学校教育ではこのような行き詰まりの場面になることは嫌悪される傾向があり、簡単に成功する探究の方法探しが行われ、こうすれば解決できるというような言説やマニュアル本が好まれる。しかし、この困難な場面こそが、日常スキーマでは理解できない課題への入口であり、これに取り組むことで科学的なスキーマすなわち科学的な見方や考え方を身につけていくことが可能になるという意味で、ここから本当の理科が始まる絶好の場面であるという認識を教師側は持つべきである。

次にこの絶好の場面をどう展開するかが、大切であ

る。それは、関係のありそうなことをもっと調べて新しい知見を増やすことである。科学の世界を広く見渡してもこれ以外に道はないように思われる。出版されている書籍や言説には問題場面ですぐに解決に結びつけられる万能的なノウハウを述べたものがあるが、そのようなものがあれば科学者がすでに発見しているはずである。それが無いゆえに、科学研究には苦勞があり、逆に一人ひとりがさまざまな考えを巡らしてあらゆる工夫をする面白さがある。探究とは困難なものであり王道はない、本例ではこの方向で、(3)の段階の“わからない”状態に、20世紀に入って科学者が新たに見いだした二つの知見を加えた。しかし、その結果は(4)の段階のように、もっと複雑な“わからない”状態になってしまった。もちろん、この段階で解決できる場合もあるであろうが、それは比較的簡単にわかってしまうことだったという意味で、探究の面白さを味わうには物足りない課題だったとも考えられる。本例のように“もっとわからない”状態になることは十分起こりうることであり、そのときにとるべき方法は、「あらゆる手を尽くす」ことと言うしかない。ここでは、過去の研究成果を掘り起こすとともに、近接の学問領域の技術革新によって可能になった最新の成果も調べ、得られたすべて知見のどこかに何らかの合理的な関係を構築できないかと模索した。その結果として、(5)の段階の“わかりそうな”状態にたどり着いた。

探究的な活動を教師が支援・指導する場合には、“もっとわからない”状態が教師側の実力の発揮しどころである。その分野についての知識や経験が浅ければ、通り一遍の結果保証のできない無責任なアドバイスしかできないが、事前にその領域についての学問的な勉強をしておけば、成功の見通しの立つアドバイスをできることが多い。探究活動が推奨されながら、教師の側のこのような努力の必要性があまり指摘されていないことが、探究活動の成果が上がらず PISA などの我が国の児童・生徒の問題解決的な能力の低さとなっているとも考えられる。小学校や中学校であっても、探究活動をするのであれば、教師はその分野の専門的な本に目を通して、想定されるさまざまな局面での指導力を身につけるべきである。

“わかりそうな”状態になると、科学研究の世界では短期間に次々と“わかった”という研究発表が出てくる。本例の場合も、(5)から(6)の状態への移行は、比較的簡単であった。それは、“わかりそうな”状態になった時点で、どの知見とどの知見を結びつければ良

いかが明白になっているので、研究と情報収集のテーマを集中できるからである。ここで付加された二つの知見はそのようにして導入されたものである。

学校における探究活動でも、このときが児童・生徒が最も“わくわく”する段階であり、しかもその“わくわく”は研究者が経験するものと全く同じである。現在では「科学の面白さ」という言葉が氾濫しており、それらの中には手品的な面白さを強調しているものもあるが、手品を見て面白がっても手品師になろうと思う人は極めてまれである。本当に科学をやってみたいと思う児童・生徒を育成するのであれば、ここに示したような科学者が科学をしていて感じる“わくわく”を体験させてやるのが有効である。教室では、誰かがこのわくわくするような場面に立ったとき、他の児童・生徒にもその状況を説明して、感動を共有させることができれば効果的である。

本例では最後の(6)の段階で、多くの知見に合理的な関連がつけられて“よりよくわかってきた”状態になった。しかし、一部に矛盾する、あるいは不明な部分が残っている。実際の科学の研究においても、問題が完全に解決してしまうことはまずない。たいてい、合理的に関連づけられないものが残ったり、その後もいったんうまくできあがった構造体系と矛盾する知見が発見されて、そこからさらなる大きな探究が展開される。

教育においても、自然の事象が限られた時間と能力の下で行われた探究活動で解決されてしまうことがないことを実感させるのは、正しい自然観と科学観を育成するうえでも重要である。学校における問題解決学習や探究活動・課題研究では、しばしば問題が“見事に”解決されて“しまう”が、それは都合の良い部分を見ているだけである。教師は解決されていない問題にも注意を向けさせる必要がある。それには、探究活動で登場したすべての知見のうち、現時点で関連づけられているのがどの範囲で、どこに関連づけられていない知見あるいは知見群が残っているかを確認することである。本例の場合は、②の仮説とそれに関連しそうな A, B, C, E の各知見の関係、特に②と特異的に結びつき①と排他的な関係の E の知見が課題であり、これをさらに深める研究が必要になることがわかる。つまりこれからさらに取り組むべきことがかなり明白になるのである。小学校の児童や中・高校の生徒にもこのような何が未解決なのかを考えさせてみるのが、科学がそれぞれの分野での主目標をシフトさせながら発

展していることを、実感を持って理解させることにつながる。

(2) 地学分野の探究での問題解決・指導の指針としての提案

学校教育においては、現実の科学研究にはほとんど見られることのない、抽象化された単純な探究過程が信じられていて、多くの場合それらをモデルに児童・生徒の探究活動が実践されている。他方、科学者も自らの探究過程をメタ認知的に客観化して、探究の過程を正しく教育に還元することを怠ってきたきらいがある。このため、教師が科学的な探究方法を明示的に学ぶ機会がほとんどなく、研究者の指導の下に具体的な自然の事象の研究に取り組む中で、暗示的な形で身につける形になっていた。しかし、教師自身が暗示的に習得した内容を、教育する立場で意識的に教育実践するのは容易なことではない。そこで、本論文の最後に本研究で明らかにした次のような探究活動の多様な局面を、下記のa～fの視点で、学校教育の探究活動の中でメタ認知的に意識させることを提案する。

- a. 初期の段階で、少数の知見のみを日常スキーマで簡単にまとめることは、それができても科学的に“わかった”状態ではない。
- b. aの“わかった”状態で説明可能な知見だけにとどまらずに、関連する他の知見にも目を向ける。
- c. bを行うと、合理的な説明ができない知見が出てきて、aの状態が崩れて、“わかったつもり”でしかなかったことを自覚できる。
- d. こうして“わからない”状態になったところから、科学的な探究活動が始まる。当面は、関連しそうな事象を自分でさらに調べたり、信頼できる情報源から収集して知見の集積を図る。
- e. この収集過程では、抽象化された単純な探究過程が想定しているように、知見が加わるたびに理解が深まるというようなことはまれで、“もっとわからない”状態になるのが普通である。頭を絞ってあらゆる手を尽くして知見を増やしていくことで、いずれそれらの知見同士の間部分的な関連づけができてきて“わかりそうな”状態へと抜け出せる。
- f. “わかりそうな”状態からは、効果的な知見の付加が可能になり、関連づけが次々にできて“よりよくわかってきた”状態に移行できる。この移行過程での、次々にわかってくる面白さ、感

動、充実感が、児童・生徒に本当の科学の面白さと奥深さを教えることになる。

このような多様な局面は、純粹化された事物・現象を扱う物理・化学分野の探究活動で一般的ではないかもしれない。そのような分野では、従来型の探究過程の認識でも良いかもしれない。しかし、複雑系を扱う地学では、これら多様な局面を意識的に把握しようとする努力が、困難な場面で探究を進展させるだけでなく、地学分野の探究の独自性とその面白さを見いだすことにつながると考えられる。

4. おわりに

最終的に本論で示した“よりよくわかってきた”状態は、学問的には現時点でも決着していない①の破砕・摩擦作用と②の選択運搬作用の重みの問題について、筆者が広い範囲の学問領域からの、最新の研究成果を導入するとともに、過去の有益な研究を掘り起こして、合理的な関連づけを行ってオリジナルに構築したものである。したがって、ここに提示した関連づけや全体のフレームワークについて、人によっては同意できない部分が残っている可能性がある。しかし、もしそうだとすると、科学の探究過程にここに示したような主要な局面が存在することまでが否定されることはないので、本論の探究活動の改善に向けた科学研究の分析と学校教育での探究活動の改善に向けた提案にはほとんど影響はないと考えている。本研究には、文部科学省科学研究費補助金基盤研究(C) (課題番号19500766 0001: 代表 林 慶一, 2007～2009)の一部を使用した。

引用文献

- Bransford, J. D. and Johnson, M. K. (1973): Considerations of some problems of comprehension. In Chase, W. G. (ed.), *Visual information processing*. Academic Press, New York, 383-438.
- Fritz, J. M. & Moore, N. J. (1988): *Basics of Physical Stratigraphy and Sedimentology*. 層序学と堆積学の基礎 (原田憲一 訳, 1999), 愛知出版, 東京, 386 p.
- Gilbert, G. K. (1914): *The transportation of debris by running water*. U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 86, 263 p.
- 廣木義久・坂本 綾・吉川 剛 (2006): マーキング法による河川礫の移動調査: 川の増水による礫の移動を実感させるために. 地学教育, 59, 121-129.
- 林 慶一 (1995): 「海岸段丘」の扱いに見られる「目標」と「内容」の不一致及びその改善法. 理科の教育, 44, 30-

32.
林 慶一(1997): 中学校教材「リアス式海岸」の成因の扱いにみられる自然科学からの遅れ. 地学教育, 50, 77-85.
- Hjulstrom, F. (1939): Transportation of detritus by moving water. In Trask P. D. (ed.), *Recent Marine Sediments: A Symposium, Pt. I, Transportation*, 5-31, American Association of Petroleum Geologist, Tulsa, Oklahoma, Murby, London, 736 p.
- 池田 宏(1984): 二粒径混合砂礫の送流に関する実験水路. 筑波大学水理実験センター報告, 8, 1-15.
- 池田 宏(1988): 混合砂礫の送流実験の経過. 筑波大学水理実験センター報告, 12, 21-31.
- 伊勢屋ふじこ・池田 宏(1986): 混合砂礫を用いた大型水路実験—混合効果による勾配の急変と堆積構造の違い—. 筑波大学水理実験センター報告, 10, 125-134.
- 小玉芳敬・池田 宏・伊勢屋ふじこ(1989): 渡良瀬川における粒径別岩種構成比の縦断的变化—沖積礫床河川における礫の破碎・磨耗効果の重要性—. 筑波大学水理実験センター報告, 13, 13-25.
- 小玉芳敬(1990): ERC-ABRASION-MIXERによる渡良瀬川の河床礫の破碎・磨耗実験. 筑波大学水理実験センター報告, 14, 115-130.
- 久宝雅史(1959): 河川工学. 森北出版, 東京, 276 p.
- 秦 明德・長 和博(1993): 河床礫教材化の視点—花崗岩地帯を流れる川「斐伊川」を例として—. 日本理科教育学会紀要, 34, 1-10.
- 牧野泰彦(2006): 台地を刻む河川の教材化を探る. 地学教育, 59, 137-144.
- 文部省(1998a): 小学校学習指導要領(平成10年12月). 大蔵省印刷局, 東京, 97 p.
- 文部省(1998b): 中学校学習指導要領(平成10年12月). 大蔵省印刷局, 東京, 104 p.
- 文部省(1999a): 高等学校学習指導要領. 大蔵省印刷局, 東京, 388 p.
- 文部省(1999b): 小学校学習指導要領解説 理科編. 大日本図書, 東京, 122 p.
- 文部省(1999c): 中学校学習指導要領(平成10年12月)解説 理科編. 大日本図書, 東京, 162 p.
- 文部省(1999d): 高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編. 大日本図書, 東京, 310 p.
- 二瓶泰雄(2007): 超音波ドップラー流速分布計に基づく実河川流速・流量モニタリング. ながれ, 26, 13-20.
- 西林克彦(1994): 間違いだらけの学習論. 新曜社, 東京, 190 p.
- 西林克彦(1997): 「わかる」のしくみ. 新曜社, 東京, 187 p.
- 西林克彦(2005): わかったつもり. 光文社, 東京, 253 p.
- 西林克彦・水田まり(1999): 親子でみつける「わかる」のしくみ. 新曜社, 東京, 202 p.
- 野満隆治 [原著]・瀬野錦蔵 [補訂] (1970): 新河川学. 地人書館, 東京, 348 p.
- 大矢雅彦(1993): 河川地理学. 古今書院, 東京, 253 p.
- Osborne, R and Freyberg, P. (1985): *Learning in Science—The Implications of Children's Science—*. 子供たちは以下に化学理論を構成するか—理科の学習論—(森本信也・堀 哲夫 訳, 1988), 東洋館出版社, 東京, 270p.
- Pettijhon, F. J. (1975): *Sedimentary Rocks*, 3rd. ed. Harper & Row, New York, 628 p.
- Plumley, W. J. (1948): Brack hills terrace gravels: A study in sediment transport. *J. Geol.*, 56, 526-577.
- 酒井雅弘・二瓶泰雄(2007): ADCP データに基づく大河川洪水流の更正係数に関する検討. 水工学論文集, 51, 733-738.
- 庄司力偉(1971): 堆積学. 朝倉書店, 東京, 284 p.
- 末次忠司(2005): 図解雑学 河川の科学. ナツメ社, 東京, 239 p.
- 鮎川 登・大矢雅彦・石崎勝義・荒井 治・山本晃一・吉本俊裕(1992): 河川工学. 鹿島出版会, 東京, 248 p.
- 多田文男・谷津栄寿・三井嘉都夫(1957): 渡良瀬川における土砂の堆積について(第3報). 資源科学研究所彙報, 45.
- 高橋 裕(1990): 河川工学. 東京大学出版会, 東京, 311 p.
- Wentworth, C. K. (1919): A laboratory and field study of cobble abrasion. *J. Geol.*, 27, 507-522.
- 山本晃一(1978): 河川における土砂の移動機構に関する研究ノート—混合粒径河床材料の移動特性—. 土木研究所資料, 1416号, 226 p.
- 山本晃一(1994): 沖積河川学. 山海堂, 東京, 470 p.

林 慶一・山下浩之：河川作用の理解の深化で見る科学的探究の諸局面—探究活動の改善に向けて— 地学教育 62 巻 2 号, 35-50, 2009

〔キーワード〕 河川作用, 堆積物の運搬, 河川の流速, 科学研究の過程, 探究活動

〔要旨〕 学校教育で展開されている河川作用の内容は, 現在の科学から見て許容限度を超える時代遅れのものになっている。本論文ではこれまでに蓄積された河川作用にかかわる基礎的な知見を紹介するとともに, それら知見間の構造的関係すなわち理解の仕方がどのように変遷してきたかを記した。これにより, 実際の科学の探究の過程でのさまざまな局面とその転換の姿を描き出すことができ, 教育における探究活動を成功させるのに有効な指針となることを述べた。そして, “わかったつもり” の段階, “よりわかったつもり” の状態, “わからなくなる” 段階, “もっとわからない” 状態, “わかりそうな” 状態, “よりよくわかってきた” 状態の少なくとも六つの局面を探究活動で意識すべきとの提案をした。

Keiichi HAYASHI and Hiroyuki YAMASHITA: Several Aspects of Science Understanding Demonstrated by Reviewing the Investigation of River Processes. *Educat. Earth Sci.*, 62(2), 35-50, 2009

香川県豊島の産業廃棄物処分場跡における環境地質学の 教員研修の実践：モデル教材を用いた 地質汚染可視化の有効性

An Environmental Geology Lesson for Science Teachers Utilizing the
Former Industrial Waste Disposal Site at Teshima Island,
Kagawa Prefecture, Japan: Effectiveness of the
Geo-pollution Model as Teaching Material

川村 教一*・三木 武司**・泉谷 俊郎***

Norihito KAWAMURA, Takeshi MIKI and Toshiro IZUMITANI

Abstract: The authors developed teaching materials for Environmental Geology education utilizing the Teshima Disposal Beds at the former industrial-waste disposal site at Teshima Island, Seto Inland Sea National Park, Japan, and presented the lesson to a class for science teachers. The lesson comprises both direct observation of the disposal beds as well as a demonstration of pollution of beds and underground water aquifers using a small and portable geo-pollution model. The outdoor setting of instruction at the former waste disposal site, and the use of the geo-pollution model, were effective in enhancing the science teachers' understanding of geo-pollution. The lesson also enhanced the teachers' interest in broader environmental issues.

Key words: environmental geology, field study, geo-pollution model, Teshima Disposal Bed, lesson for science teachers

I. はじめに

筆者らの在住する香川県では、環境問題である「豊島問題」が約 30 年前に発生した(廃棄物対策豊島住民会議, 2003)。「豊島問題」とは、昭和 50 年代後半～平成 2 年にかけて、香川県豊島の業者が、島外からのシュレッダーダストや廃油、汚泥などの産業廃棄物を搬入し、瀬戸内海国立公園内で野焼きや不法投棄を行い、大気・地質(地層および地下水)汚染を引き起こした事例である。警察による摘発後、平成 15 年には豊島の産業廃棄物の不法投棄跡地(以下、処分場跡とする)に中間保管・梱包施設が香川県により完成

した。処分場跡には現在もおもな廃棄物層が残存しているが、平成 28 (2016) 年までには豊島の産業廃棄物や汚染された土砂等が完全撤去される計画である(香川県, 2003)。香川県環境森林部により環境教育の場として利用されるよう整備されているものの(香川県, 2003)、環境地質学の教育の観点からの利用はまだなされていない。

これまで社会教育の立場から地質汚染の教材開発を行った例としては、伊藤ほか(1996)による汚染物質の地下水による広がりを観察できる模型製作がある。学校教育の観点から川村(2003)は、豊島における廃棄物の不法投棄の実態をもとに、自然環境と人間社会

* 香川県立丸亀高等学校 ** 香川県立土庄高等学校 *** 香川県立小豆島高等学校
2007 年 1 月 30 日受付 2009 年 3 月 25 日受理

の間の物質循環のあり方について検討させる学習を中学校理科第2分野、高校理科総合Aもしくは総合的な学習の時間において提案したが、実践は行っていなかった。

本研究では、豊島の産業廃棄物処分場跡を環境地質学の教育の学習地とし、そこに分布する廃棄物層および新しく開発した地質汚染モデル説明器を用いて、高校理科教員を対象とした教員研修を行ったので、その成果と課題について報告する。

II. 本実践のねらいと特徴

1. ねらい

本実践では、豊島処分場跡における廃棄物層の観察と地質汚染に関する実験を通じて、香川県豊島の地下地質や地質汚染について理解させるとともに、環境保全に対する関心、および環境地質学に対する関心を高めさせることを目的とした。

2. 指導観

川村(2003)は高校生を対象とした総合的な学習の時間の授業案の指導観を述べ、環境地質学の教育における野外学習や地質汚染モデルの教材化が重要であると考えた。これをもとに、本理科教員研修における指導観を次のように位置づけた。

環境地質学的内容に関する知識と理解の向上: 環境問題としての土壌汚染は、環境教育指導資料に取り上げられている(例えば、国立教育政策研究所教育課程研究センター, 2007)。地質汚染に関する学習は、高等学校理科「理科総合B」の大項目「(4)人間の活動と地球環境の変化」の身近な課題例として学習指導要領解説に取り上げられている(文部省, 1999)。なお「土

壌汚染」とは土壌汚染対策法などにに基づく表現で、応用地学では「地層汚染」とも呼ぶ(例えば、楡井・藤崎, 1996)。このことから、「理科総合B」における学習指導に関し、高校理科教員が地質汚染について知識や理解を向上させておくことが望ましいと、筆者らは考える。

景観の野外観察: 豊島の処分場を観察することにより、地層となるほどの膨大な廃棄物の量、国立公園内に位置する島という自然景観におけるその存在の異質さを、処分場において視覚と嗅覚で体感させる。

モデルを用いた学習: 豊島の処分場における地下層序、水理地質、汚染のしくみの概要について、地質汚染に関する実験を導入して理解させる。

III. 豊島処分場跡付近の環境地質学的特徴

1. 豊島処分場周辺の地形・地質

豊島は香川県小豆郡土庄町にあり、小豆島の西方向約10 kmに位置する(図1)。豊島の多くは標高340 m以下の山地からなり、山地は白亜紀広島花崗岩類と中新世讃岐層群の火山岩類から構成される(川村, 2003)。豊島の北西部にある家浦ほか、海岸沿いには小規模に沖積低地がある。処分場は豊島の西端に位置し、当初、この場所は砂の採取場として開発されていた。砂資源が枯渇したあと、1980年頃から産業廃棄物の不法投棄が始まった(廃棄物対策豊島住民会議, 2003)。

豊島処分場跡付近の地下地質層序および水理地質は、公害等調整委員会調停委員会(1995)によると次のとおりである。

地下地質層序: 基盤岩は花崗岩類で、これに重なる

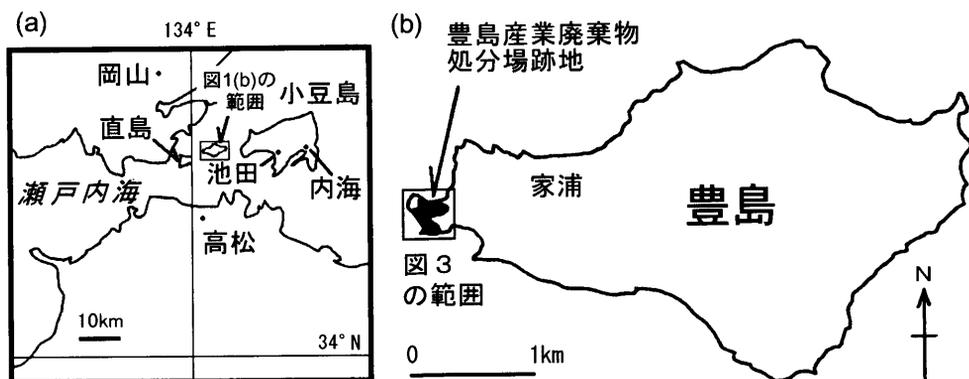


図1 豊島産業廃棄物処分場の位置

のは下位から順に、いわゆる沖積層、埋立土層、豊島廃棄物層、盛土層である(図2, 3)。花崗岩類は、上面が処分場内ではすり鉢状に侵食され、また上面付近には強風化部・風下部がある。沖積層はアルコース質の砂を主体とし、層厚は0~十数mである。埋立土層は、シルト混じり砂層で層厚1~十数mで、砂採取時の堆積物と推定されている。廃棄物層は東西400m、南北200mの範囲に、厚さ1.5~16.5mで堆積し、川村(2003)はこれを豊島廃棄物層と呼んだ。豊島廃棄物層は、主にシュレッダーダスト質層とその間に挟在されるアルコース質の砂礫層の互層から構成される。シュレッダーダスト質層を構成する物質は、ゴム、プラスチック、金属、スポンジなどからなるシュレッダーダストが主体で、その他に汚泥、鉍滓、灯油缶、プリント基板などが含まれており、場所や層準によって構成物質の割合が異なる。盛土層は、処分場北端の

海岸沿いだけに、層厚10m程度で分布する最上部の層である。

水理地質: 新鮮な花崗岩類および廃棄物層最下部の一部は難透水層と考えられている。これに対し、花崗岩類の強風化部・風化部、沖積層や埋立土層の砂層、豊島廃棄物層の主にシュレッダーダスト質層が帯水層と考えられている。水位の違いから、帯水層は花崗岩類・沖積層・埋立土層と豊島廃棄物層の2層に区別されている。

処分場内の地下水の流動は次のように推定されている。雨水が廃棄物層中に浸透し地下水となる。廃棄物層最下部にある難透水層の分布は断片的で、難透水層のない部分から下位の沖積層へ漏水している。埋立土層や花崗岩類の風化部内の地下水は、上位の廃棄物層からの浸透以外に背後の山地から供給されたものもある。これら地下水の水平方向の動きは、処分場の周辺部から中央付近に集まる流れが考えられている。一方で埋立土層中の地下水はさらに下位の沖積層中の礫層へ移動しそこを通じて海に流出している可能性が指摘されている。

なお、現在までに処分場の地表を防水性シートで覆って雨水の地下への浸透を減少させるとともに、海岸沿いに遮水壁を設けて地下水の海への流出を防いでいる。

2. 廃棄物中の有害物質とその挙動

検出された有害物質: 豊島廃棄物層には有害物質(カドミニウム、鉛、ヒ素、水銀、PCB、ダイオキシンなど)が含まれている。廃棄物層中の浸出水からは、鉛、PCB、ベンゼン、BOD(生物学的酸素要求量)、COD

地質年代	地質	地質汚染モデル説明器内の構造
第四紀 完新世	盛土層	(省略)
	豊島廃棄物層	インスタントコーヒー粉末の薄層を挟在する細砂層
	埋立土層	粗砂層
	沖積層	細礫層
白亜紀	花崗岩類	ペットボトルの内壁

図2 豊島西部の地質層序(川村, 2003を修正)と地質汚染モデル説明器内のモデル地層の対比

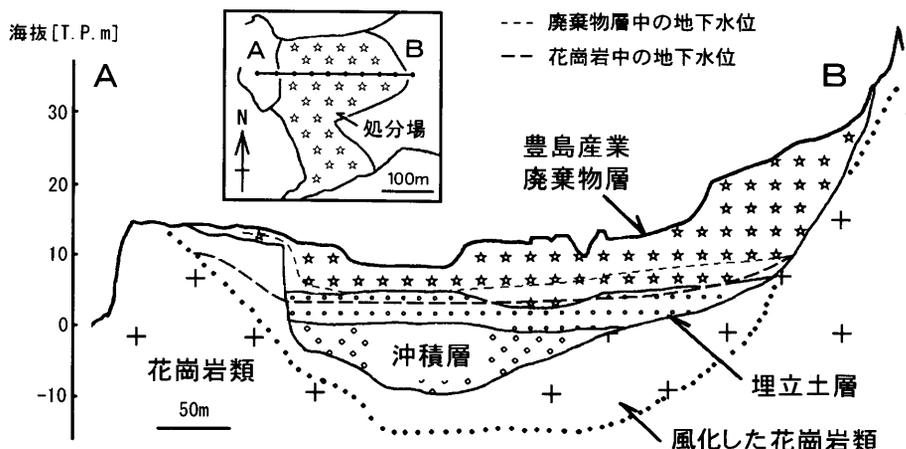


図3 豊島西部の水理地質断面図(公害等調整委員会調停委員会, 1995; 川村, 2003を修正)

(化学的酸素要求量), 全窒素などが「排水基準を定める総理府令」の基準値を超過して, 廃棄物層直下に分布する地質の溶出試験では, 鉛, ヒ素, PCB, ベンゼン, 有機塩素系化合物などが「重金属等に係る土壤汚染調査・対策指針及び有機塩素系化合物等に係る土壤・地下水汚染調査・対策暫定指針」あるいは「土壤環境基準値」の基準値, 花崗岩類および沖積層の地下水からは, 鉛, ヒ素, ベンゼン, 有機塩素系化合物が「水質汚濁に係る環境基準」に示された健康項目の基準値を, いずれも超過して検出された。

地下水の汚染状況: 沖積層, 花崗岩類中の地下水は, 測定地点によって濃度に違いはあるものの有害物質がいずれも地点からも検出され, 処分地内の地下水全体に拡散していると考えられている。なお, 地下水のpHは1カ所で7.1であった以外は5.9~6.8の弱酸性であった。電気伝導度はほとんどの地点で30~218(mS/m)であるが, 一部地点で513~2,530(mS/m)と比較的高く, これは海水の影響と考えられている。

以上のことから, 廃棄物に含まれる有害物質が溶出, 浸透し, 沖積層, 花崗岩類中の地下水を汚染し, 海へ流れたと考えられている。

IV. 地質汚染モデル説明器の製作と使用法

1. 機能と構造

地質汚染モデル説明器とは, 地下地質層序と構成物質を模式的に示すこと(地質のモデル), 物質が地下水中に溶出し, 帯水層から外部に流出する様子を示すこと(地質汚染のモデル)ができる装置で, 筆者のうち川村が製作したものである。

伊藤ほか(1996)は, 地質汚染模型製作の基本方針として, 地質汚染の現象を視覚的にわかりやすく表現することを挙げた。筆者らもこの方針に従った。伊藤ほか(1996)では特定の地域を再現するのではなく, 模式的な地下水流動模型をガラスビーズを地質体の素材として表現した。この点, 筆者らは豊島処分場の地質とその汚染の理解を図ることをねらいとしているため, 地質のモデルは処分場付近の地下地質層序を模式化するとともに, 説明器内の各部と対比させて豊島処分場地下の実態に類似するように工夫する必要があると考えた。

また, 伊藤ほか(1996)による模型は, 縦40cm×横80cm×幅10cmのサイズであるが, 課題として汚染物質の洗浄に時間がかかり, 短時間での繰り返し使用が難しいことが挙げられた。そこで, 本研究では説明

器にペットボトルを用いることにより小型化してこれらの課題を解決するとともに, 組立を容易にすることにより携帯可能な説明器として屋外での学習でも使えるように工夫した。

本説明器には, 豊島処分場の地下水流動のおおよそを反映させることとした。そこで図3に示すようにすり鉢状になっている花崗岩類(難透水層)の上面は説明器容器であるペットボトル内壁, アルコース質砂の沖積層(帯水層)は透水性が出るように細礫と粗砂サイズにふるい分けしたマサ, シルト混じり砂の埋立土層(帯水層)は透水性があるようにシルトは含めず細砂層に, 豊島廃棄物層はインスタントコーヒー粉末を挟ませた細砂層にそれぞれ見立てた。盛土層は局地的にしか分布しないので説明器では省略した。上部ペットボトルの口は, 処分場地下水の海への流出口にあたる。説明器は, 「廃棄物層」モデルのあるものとなしもの各1器, 計2器を1セットとする。

2. 材料

説明器の製作に必要な材料は次のとおりである。

2L ペットボトル, 礫(径数cm)1個, マサ土400~500g, 中粒~細粒砂サイズのいわゆる海砂100g程度, スポンジ2枚(大サイズ10cm×10cm×1cm, 小サイズ10cm×5cm×1cm程度各1枚), インスタントコーヒー2g程度。

3. 製作手順

(1) 地質汚染モデル材料の調整

①マサ土として学校(丸亀高等学校)のグラウンドの土を用いた。ふるい(開口径2mm, 0.5mm)を用いて土を細礫サイズ(径数~2mm), 粗粒砂サイズ(径2~0.5mm), 中粒砂サイズ以下(0.5mm以下)に分ける。

②ふるい分けした細礫サイズ, 粗粒砂サイズの砂, 各200g程度を上澄みが濁らなくなるまで超音波洗浄機などを用いて洗浄する。中粒砂サイズ以下は泥が含まれており洗浄に手間がかかるので, 説明器には用いなかった。

③洗浄, 乾燥後の砂, 礫はチャック袋等に入れて保管する。

(2) ペットボトルの加工

2L ペットボトルの中央部を切断して, 上部と下部に切り離す(図4)。

4. 説明器の組立

組み立てた地質汚染モデル説明器の構造を図4に示す。組立は1器当たり約10分程度で完了する。方

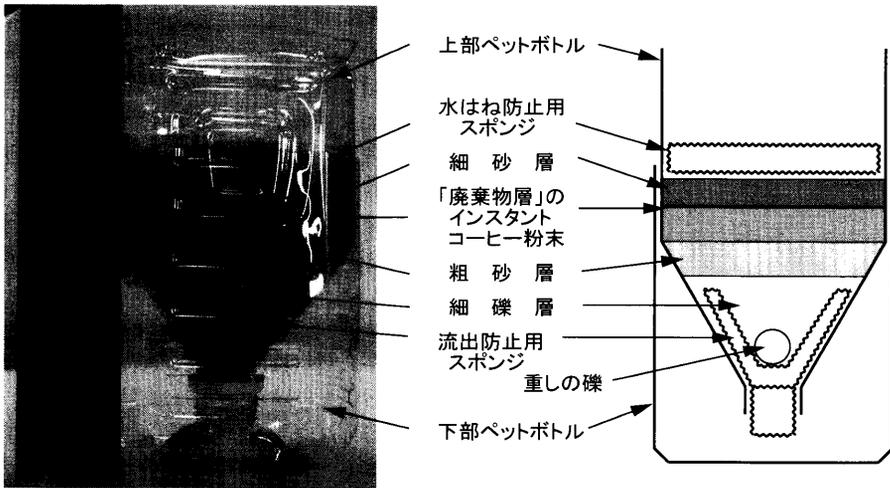


図4 地質汚染モデル説明器の構造

法は次のとおりである。

(1) 「廃棄物層」のあるモデル

- ①上部ペットボトルを倒立させ、下部ペットボトルは、上部ペットボトルのスタンドとして使う。上部ペットボトルの底にスポンジ1枚（小サイズ）を敷き、重しとして礫1個を置く。
- ②細礫150g程度を上面が水平になるように敷き、その上に粗砂～中砂サイズの砂を層厚0.5cm程度敷く。
- ③細砂（海砂）を層厚0.5cm程度になるよう敷き、その上にインスタントコーヒー粉末を下位の砂が隠れる程度に敷く。
- ④ふたたび海砂を1cm程度敷き、その上にスポンジ1枚（大サイズ）を載せる。

(2) 「廃棄物層」のないモデル

(1)の③でインスタントコーヒーの粉末を敷かないこと以外は、(1)に同じである。

5. 地質汚染モデル説明器の使用法

(1) 用意

地質汚染モデル説明器を1セット、水を約1Lを用意する。説明器セットのうち地層モデルを、野外学習地到着前に組み立てる。

(2) 実験手順

- ①下部ペットボトルに、上部ペットボトルをのせる。
- ②まず、「廃棄物層」のない説明器を用いて、上部ペットボトルの上から、水を数百mL程度を一気



図5 「廃棄物層」を通過して下部に流出した「汚染地下水」（インスタントコーヒー抽出液）

に注ぎ込む。

- ③下部ペットボトルから流出してきた水を観察させ、肉眼観察では清澄であることを確認させる。
- ④次に、「廃棄物層」のある説明器を用いて、同様に水を数百mL程度を一気に注ぎ込む。
- ⑤ペットボトルの下部に流出してきた水を観察させ、着色していることを確認させる（図5）。

表1 研修日程の概要

研修日程	内容	場所	講師	時間[分]
瀬戸内海の形成史 (移動)	地形・地質概説(地形形成史、第四紀の海水準変動と瀬戸内海での縄文海進等)	小豆島町池田	川村	10
生態観察	溜池の植物、昆虫観察 海岸・草場の植物観察		市村、泉谷	30
環境地質 (移動)	産業廃棄物処分場見学、地質標本(地層のはぎ取り標本、ボーリングコア標本)観察 地質汚染実験	土庄町家満	市村 川村	30 15

V. 実践

1. 研修主題: 香川県豊島の産業廃棄物処分場の地質汚染

2. 対象: 高校理科教員(日本生物教育会香川大会小豆島・豊島研修会参加者)

高校の理科教員(生物教員, 理科助手)19名が参加し, 香川県外から16名, 県内から3名であった。

3. 研修活動の内容

2007年8月8~10日にあった小豆島・豊島研修会のうち, 8月9日に環境地質学の内容を豊島で行った。実施した研修活動の日程概要を表1に示す。

①地形・地質の概説

瀬戸内海の地形については, 参加者に案内書として川村(2003, 2007)を配布するとともに, 瀬戸内海の形成史の概説, 豊島の地質やその構造の概要を現地で説明した。

具体的には, 小豆島町池田(図1(a))において, まず小豆島やその東方の瀬戸内海島嶼部の地形を観察させた。この際, 更新世後期の最終氷期には海退のため瀬戸内海はすべて陸域であったこと, その後の縄文海進により海水準が上昇し現在のような多島海の景観になったことを解説した。香川県内の瀬戸内海地域の地質の概要としては, 下位から順に領家花崗岩類, 山陽花崗岩類, 中新統讃岐層群や小豆島層群, 土庄層群, 第四系(いわゆる洪積層と沖積層)などから構成される(長谷川・斉藤, 1989; 川村, 2007)ことなどを説明した。

②処分場での研修

- ・豊島の廃棄物処分場施設全体および廃棄物層を含む地層の露頭, ボーリング・コア, はぎ取り標本断面(約5m高)を観察した。
- ・汚染地下水流出防止対策としての遮水壁などを見学した。

処分場における地質として, 筆者のうち川村がIII.1で述べた地下地質層序を解説した。

③地質汚染モデル説明器を活用した地質汚染の演示

次に, 地質汚染モデル説明器を用いた演示実験を行った。この際, IV.1で述べたように, 豊島処分場の地下地質層序を模式化し, 下位から順に難透水層の花崗岩類, 帯水層である沖積層や埋立土層, 汚染物資を含む豊島廃棄物層のモデルとして, 説明器内に細礫層やインスタントコーヒーの層を重ねて入れ, 漏斗状になった上部ペットボトル下部は, すり鉢状になっている花崗岩類上面を示すなど説明器は処分場の地下地質層序のモデルであることを解説した。

次に説明器による演示実験を行い, 説明器に上方から水を細砂層に注入して, インスタントコーヒーが水に溶けて細砂層の下部の細礫中に充満し, やがて説明器の下方にコーヒーで着色された水が流出するようすを観察させた。その際, 豊島処分場における地質汚染の実態として, 浸透した雨水が透水層でもある廃棄物層から重金属や有機溶媒などを溶出させ, 廃棄物層下部の透水層(説明器における粗砂層・細礫層)を経て, 難透水層である花崗岩類上面を伝って海へ流出していたことを説明した。このとき, 実際の花崗岩類上面の形態は, すり鉢を縦に半切したような形態になっていること, および汚染拡大防止の遮水壁は海側への流出部分をふさいだものであることも解説した。

4. 準備および指導体制

自然観察, 処分場案内と解説, 環境地質などは表1に示すように環境省公園指導員(市村 康氏)と筆者らが連携し, 廃棄物処分場の設置過程や香川県による整備については市村氏に解説していただき, その他を筆者らが担当した。

VI. 参加者アンケートの結果

アンケート用紙を後日郵送したところ8名から回答があり, 回収率は約42%である。

参加者に研修について, 環境地質学に関する認知度, 研修項目の理解度, 環境地質学教育の推進, 研修の改善点や感想について選択式および自由記述でアンケートを実施した。選択式の集計結果を図6に示す。

VII. 成果と課題

1. 成果

野外学習という研修形態が妥当であったか, 廃棄物層と地質汚染の実態について正しく理解できたか, 環境地質学の教育に意義を感じたか, の観点から成果を検討する。

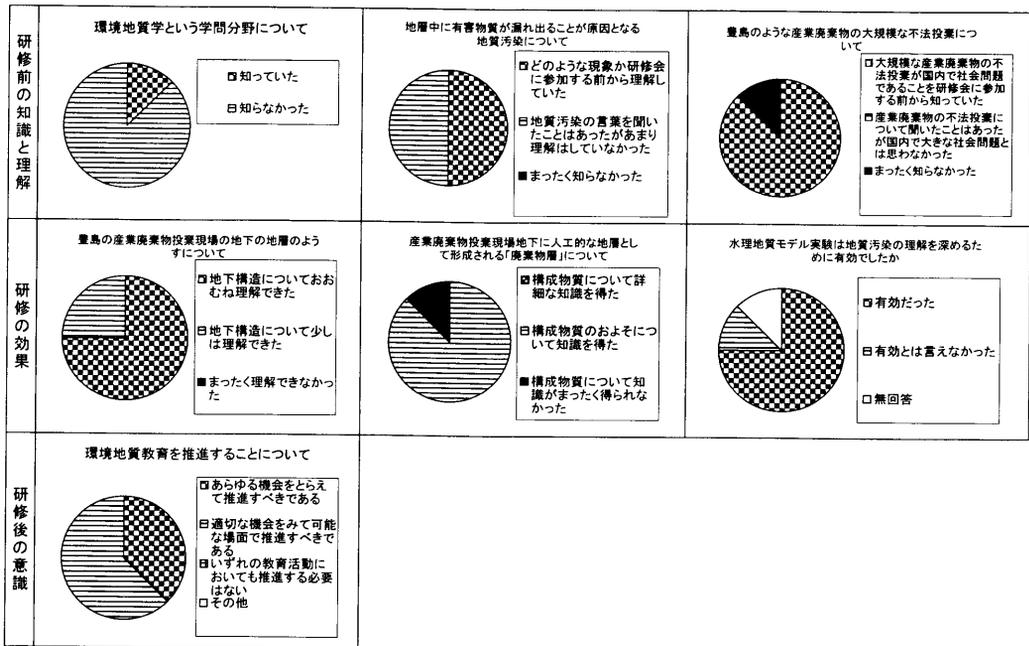


図6 研修参加者アンケートの集計結果

(1) 野外学習の重要性

自由記述の回答があった4名の回答者からの記述はすべて野外での観察の重要性を示唆するものであった。要点を抜き出して列挙すると次のとおりである。

「広大な廃棄現場ですね」

「現地で研修した内容すべてがとても印象に残っています。(略)実物を見ることの大切さを改めて感じました」

「廃棄物の層および現地を目の前にしてその当時(不法投棄時:筆者注)の様子(におい等も含め)実感できた。やはり現物による教育はすごいと思った。見るまではどこか身にしみては感じていない」

「県外の人にとっては、やはり現地研修が印象に残るのではないのでしょうか(香川県内教員)」

このように処分場の廃棄物層の観察は、社会問題となるような廃棄物層の膨大さ等の実態や汚染に対する理解が深まることにつながる。

(2) 研修項目の検討

前章の結果から考えると、豊島処分場跡およびその地下構造の理解、廃棄物層の構成物質の知識については、程度の違いはあるが、ほとんどの回答者では深まったと考えられる。

(3) 野外における地質汚染モデル説明器の利用

大型の地質汚染模型(例えば伊藤ほか, 1996)では室内で演示せざるをえない。本実践のように研修日程が限られる場合、野外で説明器を短時間で組み立てて演示することにより、野外での観察対象をその場でモデル化して理解することを可能とする。

地質汚染モデルの演示実験は有意義で、地質汚染について理解を深めるうえで有効だったという回答がほとんどである。これは、説明器を室内実験ではなく、豊島の現地に行って地形と地質を観察、解説したあと、地質汚染モデル実験器を提示したため、モデルをもとに地質汚染を理解しやすかったと思われる。演示実験有効でなかったという回答者は「工夫があればわかりやすかった」と述べており、改善すれば有効であるとの示唆が得られた。

(4) 環境地質学の教育の意義

参加者の研修後の取り組みを示すものとして2名の回答者から「(教材用に)資料画像のDVDが欲しい」、「帰ってから3冊の書物を読みました」と回答が寄せられた。これらの記述から豊島の環境教育に関心が高まった、あるいは教育実践に取り組もうとする行動につながった教員が現れたことがうかがえ、本研修の一連の活動の成果といえる。

前章の2に見るように、「地質汚染」という用語の認知度は高く、このことへの関心の高さをうかがわせる。先に述べたように「地質汚染」は高校「理科総合B」で身近な課題例として例示されていることや、研修参加者の半数しか「地質汚染」を理解していなかったこと、環境地質学という分野の認知度が低かったからこと、前章に示したように研修後は環境地質学の教育の推進を回答者全員が賛同したことから考えて、地学の学習が固体地球に関する環境教育において、より貢献できることを教員研修でも機会をとらえて実践していくことが望ましいと考える。

(5) 連携活動

今回の研修講師のうち、自然観察の一部、処分場案内と解説は、豊島住民会議のスタッフにお願いしたので、処分場内の案内や移動は効率的にできた。本実践のような研修を行う場合に、地域教材を熟知した環境教育スタッフと連携することにより、研修内容の分担ができれば成果が上がりやすいと感じた。

2. 課題

本研修で用いた地質汚染モデル説明器は、IVで述べたように、野外学習地の地下地質層序をモデル化したものである。本研修の手法を他の学習地で実践するとき、モデル説明器の設計のために当該学習地の地下層序や地質汚染の実態が解明されていることが必要である。このことから、野外学習地は層序学的な研究資料が入手できる土地に限られてしまう。また、本研修における野外学習地は香川県により環境学習の場として開放されているが、他の学習地の場合、土地の管理者の理解により環境学習の場として広く開放してもらえるかどうか今後の課題として予想される。

ところで、アンケートには、「(現地)の過去の写真を見ておくと現在と比較できて良かった」との改善意見が2名からあった。表1に示したように処分場近くのため池の生物の観察により、保全されるべき自然環境と処分場の環境の比較を行ったが、同地点の比較を行う資料を用意したほうが、より効果的であったようだ。

また、研修内容に対し時間不足であったとの意見があった。離島なので交通手段に限りがあり、研修時間はこれにより制限されてしまう。研修活動をより効率的に実施することが今後の課題である。

VIII. まとめ

理科教員を対象とした環境地質学研修の一環とし

て、香川県豊島の産業廃棄物処分場跡に見られる廃棄物層および地質汚染モデルの教材化を行い、実践した。本研究の要点は次のとおりである。

- 野外学習において用いることのできる携帯性の良い、学習地の地下地質層序を模式化した地質汚染モデル説明器を開発した。
- 研修の内容は、瀬戸内海および豊島の地形・地質概説、豊島廃棄物層の観察、地質汚染の演示実験などから構成した。
- 処分場や廃棄物層の野外観察は理解の深化に大きな役割を果たす。
- 地質汚染や豊島の環境問題について教員の関心を高めることにつながった。
- アンケート回答者全員が環境地質学の教育を推進すべきと考えた。

謝辞 教材開発に先立ち、香川県環境森林部廃棄物対策課資源化・処理事業推進室からは、豊島処分場の見学、ならびに資料の提供につきましてご高配を賜った。研修当日は、豊島処分場において豊島住民会議事務局の担当者、および環境省自然公園指導員の市村康氏には、会場への交通の便の確保、現地での解説、はぎ取り標本の観察などでたいへんお世話になった。香川県内から研修に参加した教員には研修の諸事にわたり、お世話になった。また、研修に参加された先生方には熱心に研修活動に取り組んでいただいたほか、アンケート回答等を通じて貴重なご意見をいただいた。関係者および研修参加者のみなさまに御礼申し上げます。

引用文献

- 廃棄物対策豊島住民会議(2003):豊かさを問う一豊島事件の記録。廃棄物対策豊島住民会議, 28 p.
- 長谷川修一・斉藤実(1989):讃岐平野の生い立ち。アーバンクボタ, 28, 52-59.
- 伊藤哲也・山濱裕・須藤雅彦・和田直(1996):地質汚染模型の製作。第6回環境地質学シンポジウム講演論文集, 215-220.
- 香川県(2003):豊島廃棄物等処理事業。香川県環境森林部廃棄物対策課資源化・処理事業推進室, 7 p.
- 川村教一(2003):香川県豊島の廃棄物層の教材化。第13回環境地質学シンポジウム論文集, 155-160.
- 川村教一(2007):香川県の地学的環境。香川県高等学校生地部会(編), 日本生物教育会第62会全国大会香川大会記念誌「香川の生物」, 1-12.
- 公害等調整委員会調停委員会(1995):豊島産業廃棄物水

質汚濁被害など調停申請事件に係る調査検討結果. 公害等調整委員会調停委員会. 142 p.

国立教育政策研究所教育課程研究センター(2007): 環境教育指導資料(小学校編). 国立教育政策研究所教育課程研究センター, 107 p.

文部省(1999): 高等学校学習指導要領解説 理科編・理数編. 大日本図書, 東京, 310 p.

楡井 久・藤崎克博(1996): 第I部第3章地質汚染調査概要. 武田裕幸・今村遠平(編), 応用地学ノート, 共立出版, 東京, 33.

参考 Web サイト

環境省 http://www.env.go.jp/policy/suishin_ho/basic.pdf

川村教一・三木武司・泉谷俊郎: 香川県豊島の産業廃棄物処分場跡における環境地質学の教員研修の実践: モデル教材を用いた地質汚染可視化の有効性 地学教育 62 巻 2 号, 51-59, 2009

〔キーワード〕 環境地質学, 野外学習, 地質汚染モデル, 豊島廃棄物処分場, 教員研修

〔要旨〕 香川県豊島の産業廃棄物処分場跡に見られる豊島廃棄物層および小型で携帯可能な地質汚染モデルの教材化を行い, 理科教員を対象とした環境地質の研修を行った. 成果として, 処分場や廃棄物層の野外観察は理解の深化に大きな役割を果たす, 地質汚染に関し知識や理解を深めることができる, 環境問題について関心を高める, 環境地質学の教育の意義を認めることが挙げられる.

Norihito KAWAMURA, Takeshi MIKI and Toshiro IZUMITANI: An Instruction of Environmental Geology Lesson for Science Teachers at the Former Industrial Waste Disposal Site, the Teshima Island, Kagawa Prefecture, Japan: Effectiveness of the Geo-pollution Model as Teaching Material. *Educat. Earth Sci.*, 62(2), 51-59, 2009

本の紹介

川那部浩哉 監修・高橋啓一 著 「化石は語る—ゾウ化石でたどる日本の動物相—」A5判, 220頁, 2008年7月初版 2,000円(税別), 八坂書房 ISBN978-4-89694-914-8

本書は、琵琶湖博物館に勤める著者が、主に古琵琶湖層群から産出する動植物化石に注目して、500万年前以降の琵琶湖の変遷、ならびに日本の動物相の成り立ちを解説した書である。主に著者が専門とするゾウ化石が中心に扱われているが、ゾウ化石と共産する哺乳類、貝類、魚類、植物などの化石も併せて紹介されている。

第1章「古琵琶湖のゾウたち」は、著者が滋賀県多賀町で行ったアケボノゾウ発掘の記録から始まる。工事現場から化石が産出したため、十分な発掘の時間がとれずに徹夜で作業したこと、後に教育委員会の協力で工事が一時的に中断され、その結果貴重な化石を発掘できたことなど、論文や報告書からは通常得られない発掘の裏話を垣間見ることができる。続いて太古の琵琶湖の底や周辺の平野に堆積した古琵琶湖層群(450~40万年前)の層序を示し、時代ごとに産出するゾウ化石の種類がミエゾウ、アケボノゾウ、シガゾウ、トウヨウゾウと入れ替わっていることを解説している。古琵琶湖層群よりさらに新しい時代の地層からはナウマンゾウの化石も発見されていることを付け加え、なぜこのような動物の移り変わりが起こるのかを問題提起してこの章は終わる。

第2章「古琵琶湖の時代をさぐる」では、古琵琶湖の変遷の様子と、そこに生息していた動物群集の変化が解説されており、古琵琶湖層群のなかで哺乳類化石の産出が乏しい時代については大分県安心院のデータも紹介されている。この章では、日本列島と中国大陸との接続状況が動物相に与える影響についての説明が詳しい。例えば、日本が大陸と陸続きだった450~350万年前には、ミエゾウ、もしくはその祖先が大陸から渡ってくることができた。一方、大陸と切断されることが多くなった300万年前以降には、ミエゾウが小型のアケボノゾウに進化した可能性が示唆されている。そして、「陸上のゾウ化石、湖の貝や魚の化石、そして植物化石などの移り変わりは、地球規模の気候変化や大陸と日本の接続関係の変化によって起こっていた出来事を反映している」と結論づけている。

第3章「日本の動物相のおいたち」では、500万年前以降の日本の動物相の変遷が気候変動と併せて紹介されているが、やはり古琵琶湖層群のデータを中心に解説がなされている。特に350~250万年前の気候の寒冷化、ならびに日本と大陸との分断と、63万年前と34万年前に生じた大陸と日本列島との間の陸化が、動物相に与えた影響が詳しく述べられている。また、45,000~16,000年前の日本には、冷涼な気候を好むマンモス動物群と、温暖な気候を好むナウマンゾウを伴う動物群が存在し、気候の変化に応じて二つの動物群が南北移動を繰り返していたことが解説されている。1万数千年前に日本のゾウ類は絶滅し、現在の動物相が形成されてきたが、今後さらに野生動物が絶滅していくことを危惧して、本書は締めくくられている。

本書のメインは、古琵琶湖層群の化石群集の変遷と、気候変動や地理的隔離といった外的要因を関連づけた解説であろう。例えば、大陸から隔離された日本で、大型のミエゾウが小型のアケボノゾウに進化したという著者の主張は説得力があり興味深い。一方で、著者や他の研究者が収集した化石群集のデータは基礎的データとしても価値があると言える。太古のゾウたちはどのようなエサを食べ、どのような天敵がいたのか。他の動物や人間との関わりの中で、どのように個体数を減らし、そして日本から絶滅していったのか。本書に示されたデータを基に、読者が太古の生態系の構造とその移り変わりを思い描くこともできる。気になった点は、解説の順序が不適切と思われる箇所や、2章と3章で重複していると思われる内容が見受けられることである。また、索引や文献一覧は付けられているが、著者自身の文献リストが掲載されておらず、本書の主張をさらに文献にまでさかのぼって検討することが困難である点も残念である。著者による自伝的な化石発掘の記録は、学芸員の日常を知ることができる点で興味深いのが、本書の内容と無関係な日記的記述も見られた。しかしながら、専門用語の解説が脚注に示され、本文の内容をまとめた図も挿入されているため、これまで地質学や古生物学に親しみがなかった読者にもわかりやすい構成となっている。一読すれば古琵琶湖の歴史と、日本の動物相の成り立ちについて基礎的な知識を得ることができ一冊である。

(柴田健一郎)

~~~~~  
本の紹介  
~~~~~

鎌田浩毅 著 地学のツボ 地球と宇宙の不思議をさぐる ちくまプリマー新書 筑摩書房

鎌田浩毅氏から新たな本が上梓された。

これまでも鎌田氏により火山学や地球科学についての啓蒙書が著されているが、このたびの新刊はさらに対象分野を広げ、高校地学の内容全般にわたり解説された新書である。一言で表すなら、本書は社会人向けの地球科学、天文学の入門書、高校生にとっては理科・地学の入門書としてお薦めの一冊である。地学の入門書には類書があるが、他著と比べたときの本書の特徴のいくつかをここで紹介したい。

本書の緒言にはこう記されている。

「地球の過去から現在までを見通しながら、地球科学の本質を知る」

「地学を通じて科学的なものの考え方について紹介」

つまり本書により、教養としての地学の知識はもちろん、科学的に考えることも学べる。これから地学を学ぼうとする高校生にとっては、さまざまな分野にわたる地学の全体像を知り、地学への興味を引き出す一助となる新書である。

また、筆者はこうも書いている。

地学は暗記科目ではなく、「いろいろな現象の背後にある理屈がわかると、個々の知識をなるほどと納得できる」

高校生にとっては、本書を通読することにより地学の学び方をよく理解できるだろう。

さて、本書の構成は次のとおりである。

- 第1章 地球は生きている—地震と火山—
- 第2章 地面は動く！ 地学におけるコペルニクスの転換
- 第3章 地球の歴史
- 第4章 地球変動による生物の大絶滅と進化
- 第5章 大気と海洋の大循環
- 第6章 地球の外はどうなっているか—太陽系と地球—
- 第7章 進化し続ける宇宙への探求

本書は、一晩で一気読みできる。章立てからわかるように本書は地球と宇宙を俯瞰しており、決して内容が薄いわけではないが、忙しい現代人にとって手に手

軽な分量にまとめてある。しかも、専門的すぎず、本文の理解を助けるようなわかりやすい図が効果的に使われていることが読者の理解を助けるだろう。

著者である鎌田氏は、京都大学大学院の人間・環境学研究科に研究室を構える火山地質学者である。鎌田氏による火山や地球に関する啓蒙書をご存じの方も多くおられるであろう。地学の普及講演会やTV出演の経験豊富な著者の本書での語り口は、読者にとって親しみやすい表現である。ややもすれば堅苦しくなりがちな概念、専門用語をかみ砕いて説明し、また平易な表現や、擬音語で地学の現象を生きいきと表現してくれるので読みやすく、親しみやすい本となっている。高校生でもよく知っている地名を取り上げて地学事象を説明するくんだり、水平スケールを具体的にイメージしやすいようである。著者による紙上講義は、京都大学での講義を彷彿とさせてもくれる。

本書の中で著者はこう主張する。

「地学は役に立つ」

全くそのとおりだと思う。地学教師として小生が常々思っている、教養としての地学の重要性を著者は明確なメッセージとして示してくれた。

地学は、物理や化学と違って最新の内容を反映させやすい科目であろう。そのためにも、新しい地学の学習内容に関する「勉強」を理科教師は続ける必要がある。本書は地学の学習の内容を復習できると同時に、最新の地球科学の内容を知ることができ、理科教師にとっても有意義であろう。

ところで高校のいわゆる理系クラスの生徒は、地学を履修できないことが多い。このような生徒には、あたかも地学の授業に出席して著者の講義を聞いているかのような本書を手取るよう希望する。どうか、まだ地学に関心を持っていない人に、またこれから地学を一人で学ぼうとする人に、ぜひ読んで欲しい本である。

なお、初版本にはよく見られることだが、わずかな誤植が見られる。科学の普及書であるだけに、その読者には用語などなじみのない方がおられるかもしれないので、今後の改訂をお願いしたいところである。

(川村教一)

~~~~~  
お知らせ  
~~~~~

「地学教育功労賞」および「渡部景隆奨励賞」の新設について

日本地学学会では、平成 21 年度より上記の賞を新設いたしました。その概略は、以下のとおりです。詳しくお知りになりたい方は、下記にご連絡ください。

「地学教育功労賞」

- 1 目的 地学教育、本会に関係した活動に多大の貢献のあった会員を表彰します。
- 2 受賞の対象 本会会員
- 3 受賞者の推薦 本会会員は、受賞者を推薦（他薦に限る）することができます。推薦者は、推薦書を提出していただきます。
- 4 受賞者の決定 受賞者の選考は常務委員会で行い、評議員会に候補者を推薦し、評議員会で決定します。
- 5 授賞式 研究大会にて行い、受賞者に賞状を授与します。

「渡部景隆奨励賞」

- 1 目的 地学教育の発展や本学会に貢献および尽力している小学校・中学校・高等学校等に勤務する会員を対象とし、児童・生徒の指導実践およびそれに関する研究（論文・ポスターセッション・口頭発表等）の奨励に寄与することを目的とします。
- 2 受賞の対象 本会会員
- 3 受賞者の推薦 および申請 受賞者の推薦には、複数の推薦者が必要です。なお、申請者は、推薦書、申請書および研究・指導の成果 3 点以内を本会事務局に提出します。
- 4 受賞者の決定 受賞者の選考は、常務委員会で行い、評議員会に報告します。
- 5 授賞式 研究大会にて行い、受賞者に賞状と副賞（賞金 10 万円）を授与します。
- 6 その他 本奨励賞の基金は、渡部景隆名誉会員からの 200 万円のご寄付によるものです。毎年 4 名以内への授与を考えています。

問合せ先 〒271-8555 千葉県松戸市岩瀬 550
聖徳大学 AO 入試研究センター 渋谷 紘
Tel. 047(365)1400
Fax. 047(365)2411
E-mail: hshibuya@seitoku.ac.jp

横須賀市自然・人文博物館トピックス展示

「博物館資料からよみがえった翼竜化石」

横須賀市自然・人文博物館では、トピックス展示「博物館資料からよみがえった翼竜化石」を開催しています。この展示は、日本で 16 例目であり、今回が初公開となる翼竜化石を展示しています。この化石は、1934 年に淡路島の和泉層群から採集され、アンモナイト (*Baculites* cfr. *vagina*) として東京大学総合研究博物館に収蔵されていました。しかしながら、近年、小島郁生博士（国立科学博物館名誉館員）らの研究によって、翼竜、特にアズガルコ類の中手骨の化石であることが明らかとなりました。この展示では、翼竜の化石であることが明らかになるまでの研究の歴史を紹介しているほか、トピックスアラヤプテロダクティルスといった翼竜化石、翼竜の足

跡化石のレプリカなどを併せて展示し、中生代の空を飛び回っていた翼竜について解説しています。ぜひご来館ください。



会 期：平成 21 年 4 月 11 日(土)～7 月 12 日(日)
 場 所：横須賀市自然・人文博物館本館 1 階展示コーナー
 問 合 せ：横須賀市自然・人文博物館
 〒238-0016 横須賀市深田台 95
 Tel. 046-824-3688
 Fax. 046-852-3658
 URL <http://www.museum.yokosuka.kanagawa.jp/>

メールアドレス登録・修正のお願い

今年度より広報委員会が活動を開始し、学会ホームページ、電子メールを通した各種会員サービスが本格スタートしました。迅速かつ簡便な情報伝達、情報交換の場として、ニュースレターの発行も始まったところです。つきましては、学会事務局へ電子メールアドレスを未登録の方は、ぜひともご登録のほど、よろしくご願ひ申し上げます。

また、ニュースレターをご登録の電子メールアドレスにお送りしましたところ、かなりの数、戻ってきてしまいました。アドレスにご変更がありました皆様も、ご連絡のほどご願ひいたします。

必要な情報は、

- ・氏名
- ・住所
- ・電子メールアドレス

でございます。いただきました個人情報には本学会のご連絡の範囲で使わせていただきます。なお、お送りいただく際の件名は「地学教育会員情報」にさせていただくと助かります。

日本地学教育学会広報委員会
 送り先アドレス：chigaku.cafe@gmail.com

編集委員会より

前号に引き続いて大きく出版が遅れてしまいました。依然として原稿不足が深刻な状態です。皆様の積極的な原稿の投稿をお待ちしています。また、書評・紹介などの投稿もお待ちしています。

平成 20 年度に査読をお願いした方々は下記のとおりです。大変お忙しい中に無償でお引き受けくださり、厚く御礼申し上げます。

磯崎哲夫, 植木岳雪, 川村教一, 香田達也, 五島正光, 坪内秀樹, 中川清隆, 中村文隆, 名越利幸, 西浦慎悟, 馬場勝良, 林 信太郎, 半田利弘, 藤岡達也, 牧野泰彦, 松森靖夫, 森 厚

編集委員: 松川正樹 (委員長), 青野宏美, 天野和孝, 伊藤 孝, 大久保敦, 尾久土正己, 柗原礼土, 小荒井千人, 柴田健一郎, 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 62 卷 第 2 号

平成 21 年 3 月 25 日印刷

平成 21 年 3 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. 62, NO. 2

MARCH, 2009

CONTENTS

Original Article

- Several Aspects of Science Understanding Demonstrated by Reviewing the Investigation of River Processes
.....Keiichi HAYASHI and Hiroyuki YAMASHITA...35~50

Practical Article

- An Environmental Geology Lesson for Science Teachers Utilizing the Former Industrial Waste Disposal Site at Teshima Island, Kagawa Prefecture, Japan: Effectiveness of the Geo-pollution Model as Teaching Material
.....Norihito KAWAMURA, Takeshi MIKI and Toshiro IZUMITANI... 51~59

Book Review (61~62)

Information (63)

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