

高等学校における科学研究の現状と小学校教育に対するアプローチ～5年間の高等学校－小学校接続から浮かび上がった課題と成果～

川勝 和哉¹⁾

キーワード：なぜ、腑に落とす、小学校教師、不安感、拒否感

要旨

中高生の理科好きを育てるためには、小学生時代の経験は極めて重要である。高等学校で科学研究に熱心に取り組む生徒は、きまって小学生時代に教師と自然についてよく話をした経験をもつ。小学校の教師の中で、自身の自然科学の理解が十分ではないと感じ、観察や実験に対する不安感や拒否感が強いという人は多い。そこで筆者は、小学校の教師を対象にして、理科教育にあたる姿勢についての研修会や模擬授業をおこなっている。このような依頼は、各市町教育委員会や各小学校から多く寄せられる。これと共に、高校生による小学生対象の模擬授業や実験教室を実施している。筆者が小学校の教師を、高校生が小学生を対象におこなうさまざまな取り組みは、地元や近隣の市役所、教育委員会、市議会などを巻き込んだ活動に発展している。また、筆者の活動を通じて小学校教師間の横のつながりができ、情報を交換しながら教育に取り組む体制が確立された。

1. はじめに～筆者の問題意識

筆者は1989年(平成元年)に兵庫県の理科教諭として採用された。そのころの高校生には、学習にも部活動にも、まだ時間的、精神的な余裕があったように思う。自分に対して自信をもって大きな夢に向かう生徒が多かった。学習の内容についても、「なぜ」そうなるのかを考えながら勉強しており、自然現象について教師と議論する姿があちこちで見られた。その後、普通科高校、職業科高校、定時制高校をいくつか経験して、22年ぶりに初任時代の勤務校に戻ってきて気づいたことがある。理科の授業をしていると、生徒の関心が、身近な自然の不思議にではなく、「どうすれば」問題が解けるかにあるということである。さまざまな学校を異動している間に、次第に変化する生徒の傾向に筆者自身が気づきにくくなっていたのだろう。どうし

てこんなことになっているのか、という問題意識が、筆者の現在の活動の原点になっている。本稿では、筆者が指導する地学部の高校生の活動と筆者自身の活動を紹介し、地学教育が抱える問題を指摘し、さらに解決策として動き出している具体例を示したい。

2. 高等学校における自然科学教育の現状

具体的にアンケート調査などをおこなったわけではないので、筆者の勤務経験や各地の教師研修会で聞いた印象だが、理科は苦手と嫌いという生徒は、いわゆる進学校といわれる高等学校の生徒では少ないが、中堅校になると多数を占める傾向にある。本校で生徒に聞いてみると、自然に対する興味関心がないわけではないが、数式が出てきたら拒否感をもつとか、計算問題が苦手、記号で書かれるとイメージがわからない、等を理由にあげて、理科の学習を敬遠するのだという。彼らは、身近な自然現象に不思議さを感じる時間的、精神的余裕がなく、問題を解くことに精力を使って疲弊しているように思える。生徒はとにかく試験で点数をとりたがる。そこで、どこを覚えておけばよいのか、どうすれば解けるのか、に特化して授業を聞いているし、質問をしてくる。学習内容に対して疑問をもったり、身のまわりの現象に当てはめて考えたりするような余裕はない。日本人のノーベル賞受賞者を全く知らず、興味もなく、社会の出来事にも無関心で、勉強は試験のためにするものと割り切っている。教師も、生徒に問題を課して学力を上げようと必死である。アクティブラーニング(生徒が主体的に問題を発見し解決する能動的学習)が推奨されると、目的が不明瞭で、ただ考えたことを自由に話しているだけ、という教師も少なくない。自然科学教育はどうあるべきか、などということに時間を費やしている暇はない、というのが本音なのであろう。

ところが一方で、このようにあわただしい日々の中にあっても、興味をもって身のまわりの自然を見ようとしている生徒はいる。目を輝かせて積極的に課題研究や自然科学系の部活動に取り組む生徒は、小学校時代に教師や保護者と「どうしてだろうね」、「不思議だね」といって探求した経験をもっている。彼らは高校生になって、研究活動に取り組める場と時間が与えられると、自ら課題を見つけて仮説を立て、そのための実験や観察の計画を練り、得られた結果から考察をおこなって、論文大会や学会で全国上位入賞の成績を獲得している。生徒は、中学校から高等学校へと進むにつれて、数式や理論を学び、小学校時代に「不思議だ」と感じていたことが理解できた、わかった「つもり」になっていく。本当に「腑に落ちたのか」といえば、ほとんどの生徒は「頭では理解できているのではないかと思うが」と言葉を濁す。筆者は、生徒が幼い頃にもっていた疑問を呼び起こし、「腑に落とす」ことが、理科好きを増やすために絶対的に必要なことだと考えている。理科離れという言葉が一人歩きしているように感じるが、それは

¹⁾ 兵庫県立西脇高等学校 〒677-0054 兵庫県西脇市野村町1794番地60 (kawakatsu_cond@zeus.eonet.ne.jp)

子どもの側の問題ではなく、教師が子どもの好奇心をきちんと受け止められなくなっているという現実ではないだろうか。「腑に落とす」活動を通じて、意欲的に生徒自らが考えて行動することができるようになり、その結果、学力の向上と理科好きの生徒の育成につながる。そのためには、高等学校における教育を工夫することと、小学校教育を見直す必要がある。

筆者は、高校教員生活の30年間、普通科、理数科、家政科、工業科、の各科や定時制課程で課題研究や自然科学部の研究指導にかかわってきたが、生徒が自然科学に対する興味関心を失っていると感じたことは一度もない。身の回りの自然の美しさや不思議さに感嘆するし、「なぜ」と疑問をもつ。理科離れという言葉が独り歩きしているのではないだろうか。失われたものがあるとすると、それは生徒が粘り強く努力する力ではないだろうか。それはつまり、理科だけの問題ではないということである。理科の面白さは、表面的な興味関心で終わらずに、その不思議を「なぜ」という探求心に結びつけ、時間をかけて調べる努力を継続しなければ実感することはできない。探究のための努力は小学生の間に経験させておく必要がある、小学校の教師の役割は非常に大きい。

3. 小学校教師の理科教育の現状

筆者は、高校生の、解き方がわかればよいとか、理屈はわからなくても数字さえ出ればなんとかなる、といった発想の根本には、小学校の時期からの教育に問題があると考えている。前にふれたように、理科や自然科学に強い関心をもって学習や課題研究、自然科学系部活動に取り組む高校生には、共通した経験がある。それは、小学校時代の教師との関係である。子どもは、身のまわりのさまざまな自然現象に対して「なぜ」と疑問を発するものであり、決して自然科学に対する興味関心は失われてはいない。ところが、多くの小学校の教師に聞くと、そのような質問を受けた教師の側には、なかなか時間的、精神的余裕がなく、「あ

とで」とか「自分で調べなさい」などという発言をすることが多いようである。筆者がこれまで関わって優れた研究成果をあげた、理科が好きという高校生は、不思議なほど皆、小学生時代の教師に（それは保護者であるかもしれないが）、「本当だね、不思議だね」と言って、一緒に調べてみた経験をもっている。その場での答えを求めたわけではなく、教師と自然の不思議を共有して一緒に調べた経験をもつ子どもは、高校生になって課題研究や部活動で、その能力を開花させるのではないだろうか。

現在の小学校の教師は、とにかくたいへん忙しいのだと聞く。その一方で、理科嫌いの子どもの何とかなければという問題意識を強くもつ小学校教師も多くいる。小学校教師は、日頃の教育の問題に気づきながら、それをどのように打開すればよいのかの糸口を見いだせずにいるようである。筆者は、先に述べたような小学校教育の問題点を分析して小学校教師に直接伝え、取り組みの手伝いをする活動をおこなっている。これまでに、小学校の教師で構成する研修会や小学校現場の多くから講演や相談の依頼を受けている。これは、何とか問題を解決したいという小学校教師の強い思いの表れであろう。

筆者は、兵庫県教育委員会がすすめるサイエンストライやる事業（高等学校の教師を小中学校教師の授業に役立つ講師として派遣するというもの）の講師に登録しており、小学校との関係が深い。小学校の教師は、自身の理科の知識と理解が十分ではないと感じている。近年の若い理科教師は座学に終始する傾向があり、実験や観察が苦手である。準備や後かたづけがたいへんだし、実験をしていると授業の進度が遅くなる、という理由らしいが、実際に模擬実験をしてもらおうと、図1のような光景を目にすることになる。

筆者は、行政や教育委員会などを巻き込んで、小学校の教師の悩みに寄り添い、理科に対する不安感や拒否感をやわらげるための研修会や模擬授業をおこなっている。小学校の教師をひとりにせず、互いにネットワークを作って情報を共有することができるシステム作りである。後に、この具体的な活動を示す。

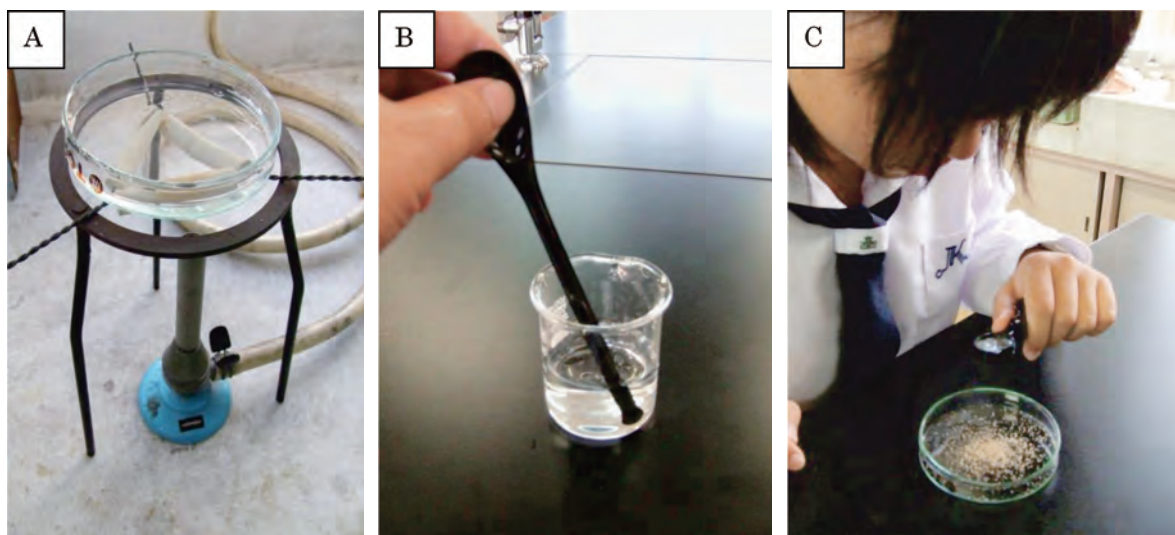


図1 小学校教師が実際におこなった実験作業の再現（A：金網を使わず直接火にかける，B：ガラス棒を使わずに薬さじでそのまま混ぜる，C：ルーペを目にあてずに上下させる）。

4. 問題の解決に向けての取り組み

ここでは、筆者が勤務してきた高等学校や、関わってきた小学校との、最近の5年間の取り組みについて、本年度の活動を中心にまとめる。

4.1. 高等学校における授業

高校生が理科をどうとらえているかが如実に表れるのは、やはり理科実験である。たいていの場合、実験は教科書で理屈を学んでからおこなう。生徒は教科書に書いてある内容や教師の説明に疑問を持っていないため、実験する前から結果はわかっていると考えている。しかし実際には、教科書通りの結果が出るとは限らず、予測に反した結果となる場合も少なくない。生徒は、予想外の結果が出た場合でも、その原因について考えることをせず、教科書通りの結果が出たように装って、まるで試験問題の答案のようなレポートを書いて提出する。「なぜ」教科書通りにならなかったのかを考察することに面白さがあり、自然への理解を深める鍵が隠されているのに、それを隠して、とにかく能率よく済ませてしまおうと考えるようである。

筆者は、教科書通りの結果が出て出なくてもよいことを、事前に生徒にはっきりと伝えるようにしている。意外な結果が出たときほど、時間をとってその結果を取り上げ、生徒と共に可能性をいろいろと考える。その時点で学習している単元の内容の中で説明が見つかることはほとんどなく、分野を横断する広がりをもって考察することが求められる。これによって、考えられる可能性から結果を合理的に説明できる仮説を導き出す楽しさを、生徒と共有することができる。もちろん、そのような考察は、入試問題を解くときにも大きな力となる。入試問題は、大問が単一の単元内で収まるように作られていないからである。

4.2. 高等学校における課題研究や自然科学系部活動の研究

かつて、筆者が勤務していた進学校が文部科学省のすすめるスーパーサイエンス・ハイスクール事業（SSH）に応募しようとしたとき、校内で反対の声がわき上がった。課題研究などという余計なことをしていると、問題演習がおろそかになって、進学実績が落ちるのではないかと危惧されたのである。当時はまだSSH事業が認知されていなかった。賛成する教師はほとんどいないという状況の中で、筆者は校長の指示を受けて、SSH指定の申請書作成に取

り組んだ。SSH指定を得たあとのようすとみると、教職員の努力によって地域の核となるような研究成果と進学実績を上げ続けており、SSHの再指定を受け続けている。筆者が現在勤務する高等学校は、SSHの指定を目指してはいない。しかし、SSH指定校での経験と知識が、現任校での課題研究や自然科学系部活動の指導に生かされている。そもそも文部科学省のSSH事業は、SSH指定校での活動を近隣の学校教育にも活用し、そのノウハウで地域全体の自然科学教育の底上げをはかることが目的とされている。

どの分野の研究であろうと、自然科学の研究を通じて生徒に身につけさせたいのは、仮説演繹法に基づく論理的思考力や複眼的視点、プレゼンテーション能力などであり、それらの力は教科や科目に縛られない、考える力そのものの育成につながっている。まさにアクティブラーニングである。これらの能力を身につけた生徒は、単に問題を解くだけでなく、さまざまな自然現象や入試問題にさえ潜んでいる探求心を呼び起こして、結果的には高い学力を身につけて進学実績を向上させる。筆者はこれまで、生徒の研究のモチベーションをどのように維持すればよいのか、などについて考察を続けてきた。筆者の経験から、科学研究の指導方法には校種による違いはなく、生徒の行動力や柔軟な発想力は指導者の予想をはるかに超える。生徒の力を引き出すことさえできれば、すぐれた科学研究が完成する。大切なことは、「なぜ」をキーワードにして、生徒のモチベーションを高く維持しながら、具体的な内容を直接指導することは一切せず、研究の核心部分についての教育をおこなったら、あとは生徒自らに考えさせることである。したがって、筆者の専門外のテーマであっても指導は可能である。本校の生徒は全国レベルの大会のほとんどに上位入賞をするため、指導法についての問い合わせを受けるが、その核心は一切の指示をせず「見守ること」にある。

具体的に、課題研究の指導の過程で生徒に説明していることは以下の7点である（表1）。これらは、研究活動の精神的指針とでもいうものである（川勝, 2016, 2017a）。

- ① 最初から成果を上げようと肩に力を入れなくてよい。身のまわりの不思議なことに着目して研究を始めてしまえば、途中でいろいろな疑問が出てきてそこから一気に研究が花開く。そのために、テーマは身近で特別な分析装置がなくても研究可能なものであることが必要である。
- ② ただ単に楽しいとか面白いとかいう興味・関心の入り

表1 生徒に対する課題研究の指導上の注意。

<ol style="list-style-type: none"> ① 最初から成果を上げようとせず、まずは身近なところに目を向けよう。 ② 自然科学の真の面白さを体験するためには、着眼点のほかに努力と根気が必要です。 ③ 自分の提案が形となって発見へとつながるかもしれないのでチャレンジをしよう。 ④ 研究にはオリジナリティーとプライオリティーが必要です。 ⑤ 「やってみたらうまくいった」ではなく、「なぜ」を明らかにしよう。 ⑥ 特別な機器を使おうとせず、高校生らしい柔軟な発想と工夫を大切にしよう。 ⑦ グループで互いに議論しながらすすめよう。

口の段階から、自然科学の学習や研究に取り組むための基本的な姿勢である「苦しさや努力が伴わないと面白さは表面的なもので終わってしまう」という考えを定着させる。

- ③ 自分の提案が形となり発見へとつながるかもしれない、そのようなことが現実に可能なのだと生徒に思わせることが重要で、その理解をモチベーションにつなげる。新しいチャレンジをしようとするとき、できない理由は誰でも言える。できる理由をひとつでも考えさせ精一杯努力させる。ただし、努力したからといって、よい論文が書けて高い評価を得るとは限らないことも生徒に教え、成果を求めず努力させる。
- ④ 研究という限りは、高校生の研究であってもオリジナリティーやプライオリティーが確保されるように指導する。そのためには、根気よく努力することが必要であることを理解させる。努力から得られる自然科学の真の面白さに少しでも近づかせることができる。
- ⑤ 「やってみたらうまくいった」は科学ではなく、「なぜ」を明らかにすることが必要であることを理解させる。実験や観察は最初から指導しすぎず、うまくいかなかったときこそ、生徒自身に考えさせることによって考察力を養うチャンスであるにとらえる。実験ノートは正しく記録するように徹底させる。
- ⑥ 近年のSSH事業を見ていると、一般の高等学校では使

えないような高度な分析装置を駆使して研究をおこなう学校が増えている。高等学校総合文化祭でも同様の傾向が強く見られ、筆者としては疑問に感じるところである。装置の仕組みはよく理解できないが、出た結果を見るとこういうことがいえるのではないかと、いった発表をさせるくらいなら、安易に特別な機器を使わずに、高校生らしい柔軟な発想と工夫で新しいことを明らかにする楽しさを感じさせたい。

- ⑦ 議論の効果を引き出すため、グループ研究を基本として、複眼的視点に立って、仮説演繹法に基づいた論理立てをするように訓練することを大切にさせる。知識と経験がない高校生は、グループの構成員どうして議論することによって新しい発想を引き出すことができる。

近年の研究テーマの一部を表2に示す。研究成果は、論文にして文部科学省認定大会をはじめ、専門学会誌に投稿する。また、論文をもとにしてポスターやパワーポイント画面を作成し、専門学会等でパネル発表や口頭発表をおこない評価を得る(図2)。この評価は、大学への進学実績をあげる。また、発表の機会に多くの専門研究者と出会い、議論したり助言を得たりすることによって、生徒に科学的な視点を身につけさせることができる。大学での研究に強い意欲を示すようになる生徒も多い。

生徒は、困難な課題に向かうとき、どのようにすれ

表2 近年の研究テーマの一例。

- ・ The differentiation process of the I-type granitoids in southwest Japan and New South Wares in Australia. (地学)
- ・ 本校が立地する兵庫県中部地域の基盤岩の形成過程 (地学)
- ・ 地元凝灰岩「竜山石」の加工廃棄粉末を利用した室内壁塗装剤の開発 (地学+工業)
- ・ 地元凝灰岩「竜山石」の加工廃棄粉末を利用した陶器の色相変化 (地学+工業)
- ・ 本校体育館下から得たボーリングコアから推定する旧加古川流域の凝灰岩の分布 (考古学+地学)
- ・ 兵庫県南部地震の最大余震 (2013年4月13日) と加古川市南部の地盤の動き (都市工学)
- ・ 交差点左折の渋滞を緩和する道路条件の考察 (都市工学)
- ・ 満員電車から乗客をもっともスムーズに乗降させる方法 (物理学+数学)
- ・ ダイラタンシー現象の条件の考察 (化学)
- ・ 氷中に包有される空気の温度圧力条件の解明 (物理化学)
- ・ 水の結晶化におけるムペンバ効果の検証 (物理化学)
- ・ 731部隊と私たちの生活 (生物学・倫理学)
- ・ 脳死心臓移植の倫理的考察 (生命倫理)
- ・ シャボン膜の性質と pH 特性に関する研究 (化学)
- ・ 上空の水滴の形状と形成される虹の種類 (光学)
- ・ マツの種類による松毬の鱗片配列の規則性の共通点と相違点 (生物学+数学)
- ・ 垂直な壁を歩行するゴキブリの脚のはこび (生物学)
- ・ 魚類の鱗片配列と類縁関係 (生物学・数学)
- ・ クモの糸の構造と引っ張りの力に対する強度の関係 (生物学・工学)



図2 筆者が指導する高校生の活動 (A: 文部科学省認定論文大会の口頭発表で全国一位に, B: 日本地質学会でポスター発表, C: 生徒の研究が掲載された Nature 誌, D: オーストラリアでの2週間におよぶ露頭調査, E: タイで開催された国際学会で表彰, F: サンフランシスコで開催された AGU で発表).

ば結果にたどり着けるかという道筋を知りたいと思うものである。しかし、未知の現象を解明しようとする以上、どのようにすればたどり着けるのかわからない。教師についても同じことがいえる。教師の資質として、研究の内容について具体的なアドバイスが

できるかどうかは問題ではない。教師は生徒に教えることが仕事であり、わからないということに抵抗感をもっている教師は多い。しかし、学校の授業で取り扱う内容はすべて答えがわかっているのに対して、研究は答えがあるのかどうかすらわからないものを扱うわ

けだから、わからないということに引け目を感じる必要はない。筆者はむしろ、「不思議だね」と共感することが大切であると考えて指導している。ここでも重要なことは、「どうすれば」ではなく、「なぜ」を追求させることである。このような活動を通じて、柔軟な発想力や複数の視点から同一のものごとを判断する力、客観的事実を相手に正確に伝える言語能力と数学力が育成される。これらは教科の学習ではなかなか身につける機会がない能力である。

4.3. 筆者による小学校教師を対象にした活動

西脇市の小学校理科専科の教師を対象にした、参加者31名の小さな研修会のアンケートは、小学校教師の抱えている問題を如実に示している。事前アンケートでは、教職について5年以下の若い教師が56%を占めているが、31年以上のベテラン教師も33%参加されており、さまざまな年齢層の教師が悩みを抱えていることがわかる。参加者の全員が、観察や実験が苦手であると答えており、一方で校内での研修をおこなっていると答えた教師はだれもいなかった。悩みを抱えながら、誰にも相談できずに苦悩しているようすがよくわかる。日頃の問題点として、研修の機会がない、教材研究にける時間がたりない、教わる人材が不足している、という意見が多くを占めており、設備が整っていないとか、消耗品が不足している、という意見は33%であった。研修後の意見は次のようなものであった(表3)。

小学校教師の研修会に参加して話を聞くと、どこでもほとんど同じ質問を受ける。「子どもに興味や関心をもたせたいという強い気持ちはあるが、時間内にここまで進まなければならないという意識に縛られて、つつい子どもの話を聞かず、自分の予定どおりに授業を進めてしまう」とか、「子どもから、実験の結果がおかしいとか、どうしてこうではいけないのか、などの質問や発言があっても、聞かないフリをしてしまうが、どうしたらいいだろうか」と

いうのである。1時間でひとつの実験を完了させなければならないので、子どもの「なぜ」にいちいち構ってはられない、ということである。2021年に小学校で始まる新学習指導要領では、たとえば、「どのように地層ができるのでしょうか」というような問いかけから始まる。そして、その原因が何なのかについて、これまでに学んだ知識や経験をもとにして仮説を立てさせる。それから実際に実験や観察をおこなって、得られた結果から考察をし、原因を明らかにする、という手順である。これまでの教科書では、まず用語や定義を覚えたり、理屈を学習したりしてから、検証実験という形で実験がついてきていた。結果が見えてしまっているので、異なる結果が出ると「実験に失敗した」と考え、また教師も「本当はこうなるはずのもの」というスタンスで授業を展開していくことになっていたのでないだろうか。これまでの授業でさえ、大きな壁を感じていた小学校の教師にとって、この大きな変化に対する不安ははかりしれないものがある。筆者の活動は、この理解と助言から始まる。

小学校の実験の授業は大変である。導入から結果、考察までを45分の中うまく収め、正しい結論が導き出されるように注意しなければならない。そこで、事前の予備実験を繰り返し、正しい結果が出るように工夫することになる。時間内に結果が出るかどうか心配な時には、事前に正解の結果を準備しておいて、本当はこうなるはずだとするのである。しかし、このような実験の進め方にこそ、発想の転換を含んだ改善点がある。正しい結果よりも、予期しなかった結果にこそ思考力の育成の鍵が隠されている。

先に書いたように、小学校教育ではすべて決まった答えのある問題を扱っている。答えがあることがわかっているので、忙しい子どもたちは、本質に対する疑問をもったり、その疑問を解決しようと思ったりすることを避けて、できるだけ効率的に「あることがわかっている」答えに向かおうとする。どうすれば問題が解けるのか、どうすればテストで得点が上がるのか、どこを見ておけば点が取れるの

表3 研修を終えた小学校教師の意見の一部。

- ・具体的な指導法ではなく、なぜを大切に子どもに接していけばよいのだと思うと、肩の力が抜けた。
- ・余裕をもって子どものなぜ？につきあうという、大切なことを学んだ。
- ・自分の知識のなさを卑下することなく、子どもたちといっしょに不思議に感じる気持ちを大切にこれからも取り組んでいきたい。
- ・砂場を一生懸命に掘る子どもの姿を思い出した。ずっと掘り進んだらどうなるんだろう？という思いで、1週間一緒に、まだかなあ？と言いながら掘ったことを思うと、子どもの興味のあることに教師もつきあい、一緒に学ぶ、考える機会が必要だということに、あらためて気づいた。
- ・子どもの「なぜ？」に寄り添う教師の姿やそのときのエピソードが、成長してからの課題解決学習に必要な探求心を育てると知りました。実験に失敗しても、そこから広がる何かがあれば学びにつながれると感じた。
- ・子どもに寄り添う余裕をいかにもつかの大切さがわかった気がする。しかし、教材をこなすのに精一杯なのが現状です。

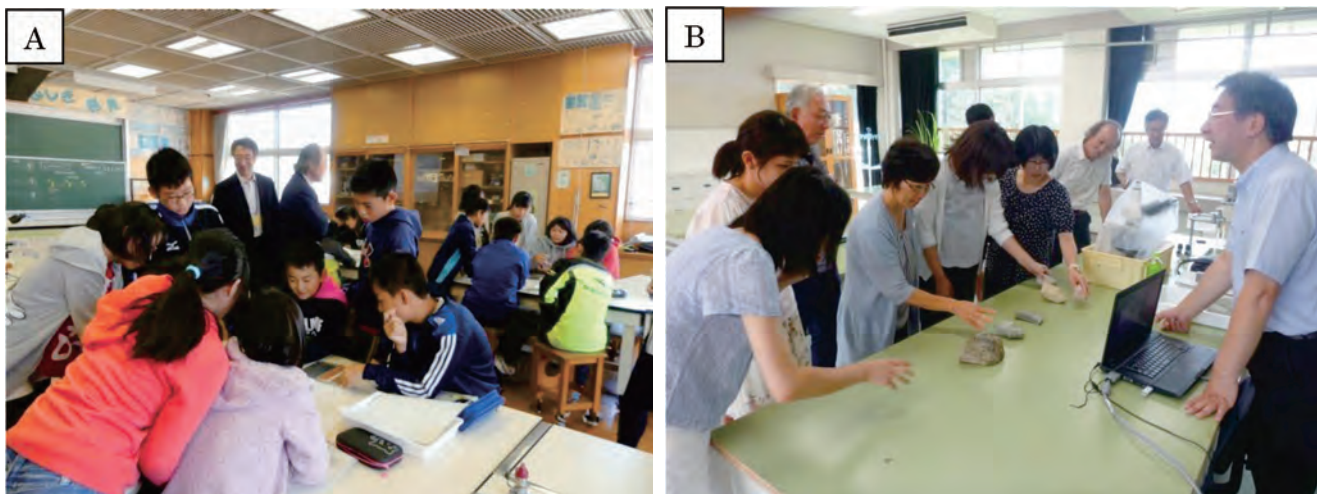


図3 筆者による小学校教師研修会での模擬授業 (A) と小学校教師への研修 (B) のようす。

か、といった発想は、こうした流れの中で、実に自然にうまれてきたものであろう。答えにたどり着けない子どもは、勉強のできない子どもというレッテルを貼られ、早く答えにたどり着くことができる子どもは優れているとされる。しかし、現実の社会に目を向けてみると、むしろ答えのない問題がほとんどである。どのようにすれば答えに効率的にたどり着けるのかなど、だれにもわからない。基礎の習得は欠かせないが、一律に結果を求め続けることよりも、ある事柄をどのように考えるか、という思考力の育成に至らなければ、基礎力を生かすことはできない。自然現象の不思議を体験し、その「なぜ」を明らかにするという活動は、このような実社会の中で生活していくための訓練だということもできる。一見答えから遠ざかるように見える子どもの言動であっても、たとえそれが回り道をしているように見える問いかけであっても、教師はそれを見逃さずにとらえて、大切に育てる意識が必要であろう。答えがある学習活動の中で、理科実験で子どもが発する予想外の発言や、放課後の子どもからの答えに窮する質問こそ、答えがないかもしれない、子どもを育てる大切な機会なのである。

筆者の知る限り、子どもの自然に対する興味や関心が以前よりも薄れているという実感はない。これは小学校教師に聞いても同じようである。日常的に「なぜ」という質問を頻繁に受けているというから、興味や関心を持たせるための取り組みよりも、むしろ「なぜ」を調べたり考えたりすることを大切にすべきなのではないかと考える。このような観点に基づいて、筆者は、近隣の小学校教師の研修会で、実際に小学生を対象にした模擬授業を実施する活動をおこなっている (図3A)。

心配なことは、小学校教師が自身の自然科学の理解が十分ではないと感じており、理科実験そのものに対する不安感や拒否感をもっていることである。小学校教師からは、「どの程度の内容をどのように教えればよいのか」といった具体的な教育内容に関する質問や相談を多く受けてきた。小学生5年生の理科になると、かなり学問的にも高いレベルの内容が出てくるが、教師自身の専門的な内容の理解が十分ではない分野では、説明に窮する場面もあるという。特に問題になっているのは、地学分野に関する内容で

ある。小学校教師からの多くの質問を聞き、あるいは対話していると、何をどのように教えるのか、ということが問題なのではないことに気づく。そもそも、教師が地学分野を「おもしろい」と感じる前に、「地学分野は難しく、教えるのが大変だ」という思いが潜んでいるように思える。地学分野の実験の方法がわからない、参考書に書いてはあるが子どもに教えるには不安だ、野外に連れて行って露頭を見せても、岩石や鉱物を判断できず、子どもに質問されたらどうしようと不安になる、という切実な声を聞く。そこで筆者は、小学校の教師に地学分野の面白さを知ってもらい、まず不安感や拒否感をやわらげるための研修会や模擬授業を積極的にこなしている (図3B)。このような依頼は各市町教育委員会や研修会、各小学校から多く寄せられる。

若い小学校教師は、高校生時代に地学の授業を受けた経験をもたず、大学でわずかな実験と講義を受けただけである。この原因のひとつは、教員採用試験のありかたにある。筆者が兵庫県の教員採用試験を受けた1989年には、すでに高等学校理科(地学)の募集はされていなかった。そのため、現在の若い教師は、高等学校で地学の授業を受けた経験がない。この傾向は兵庫県に限ったことではなく、全国の地学教育関係者が危機感を募らせている。地震、火山の噴火、異常気象、地球温暖化、などの問題を考える上で地学教育は欠かせないものであるし、そもそもそのような問題があろうとなかろうと、すべての理科の分野が教育されなければならないはずである。地学の履修者を増やすために、地学教育の重要性をもっと積極的に説くべきだとか、教育委員会に地学専門の教師を採用するように強く申し入れをすべきだ、理科の教師を目指す者には大学で実験実習の講座を必修とすべきだ、などの提案がある。地学の学習が重要であるということは、おそらく誰もが理解しているだろうが、その理解が行動に結びついていないことは看過できない問題である。

具体的に、小学校教師から示された、どのような点に不安感や拒否感を感じるのかの例を2つ示す。もっともよく寄せられる意見は、「地層の理屈はわかるけれども、実際に見たことがないので、子どもたちを連れて野外に出かけても、具体的な説明ができない」というものである。地層

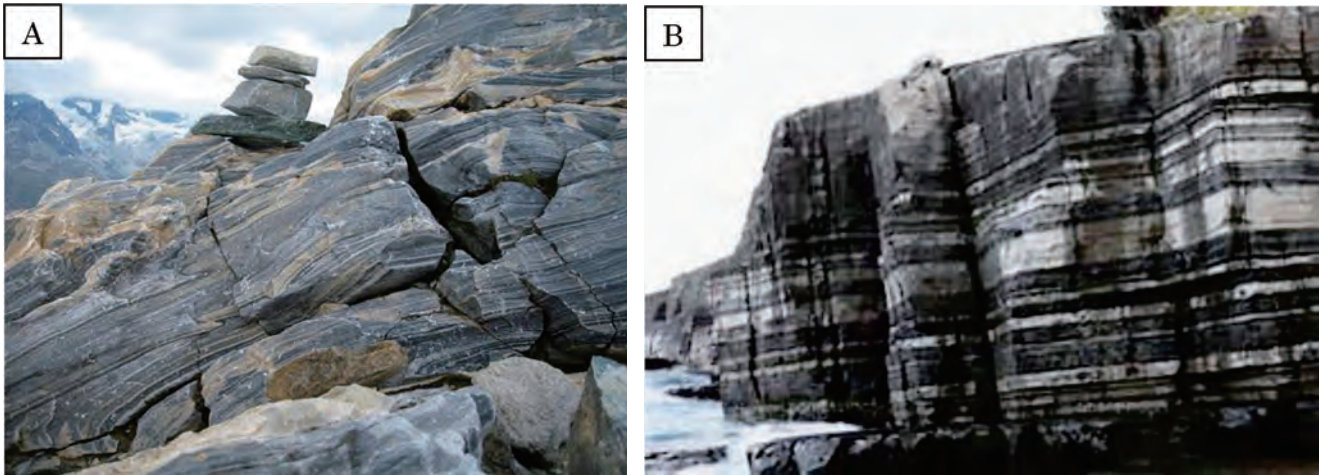


図4 流理構造を示す安山岩 (A) と縞模様のホルンフェルス (B) (Wikipedia から)。

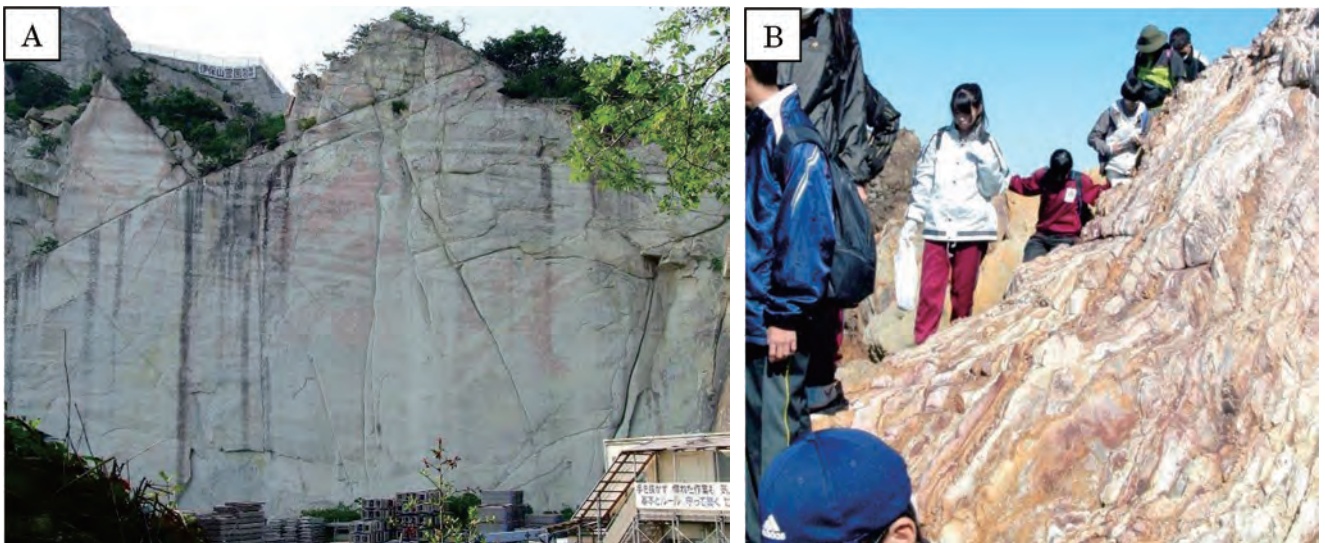


図5 水底に堆積した縞模様が見える1枚の凝灰岩層 (A) とオーストラリアの砂泥互層 (B)。

は、平凡社の地学事典によると、「厚さに比べて水平方向の広がり大きい層状の堆積物や堆積岩」と定義されている。ここには、その成因や岩石構成、広がりスケール感がふれられていないので、なかなかのほどとはいかない。ふれられないのは、それらについて具体的に示すことができないからである。場所によっては、厚さが1mもある単層が何層にも重なっていることもある。日本では露頭状況も悪く、地層を現場で判断するのは簡単ではない。あるベテランの小学校教師が筆者のところに2枚の写真(図4)を持ってきて、これらは地層かと尋ねたが、それは流理構造をもった安山岩だとか、変成岩の一種のホルンフェルスであった。逆に筆者から2枚の写真を示したが、いずれも判定は困難であった(図5)。地層は、縞模様や色だけでは判定できず、専門家でも判定に困ることが少なくない。あるいは、身の回りにあふれている岩石に堆積岩があるが、白っぽい泥岩と黒っぽい砂岩、白っぽい凝灰岩、となると判断が難しい。筆者が勤務する兵庫県西脇市一帯は広く凝灰岩層に覆われているため、授業で野外に子ども連れ出すと、どうしても凝灰岩と接することになる。一般に教科書では、細粒で砂岩のような写真が掲載されているが、実際には火山の噴火の際に火口付近の岩石を吹き飛ばすた

め、凝灰岩には岩片が含まれる。また、堆積したときの熱が内部にたまって一部の岩片や鉱物が溶け、その後再び固まって一方向に引きのばされたガラスや岩片を多く含む凝灰岩(溶結凝灰岩)などがあり、場所によって岩石の表情は千差万別である。経験の少ない小学校教師が、図6の岩石はいずれも凝灰岩であると判断し、子どもに説明することは困難であろう。

子どもはたいへん純粋な感性で自然を見ているので、子どもの質問は自然現象の核心をついていることが多く、専門家でも答えに窮する場合がある。子どもの疑問を適当にやりすぎずに子どもと共有することは、恥ずかしいことではない。答えを教えてくれる百科事典のような教師は子どもに感心されるだろうが、疑問を共有してくれる教師は子どもに信頼されるのではないだろうか。教師は、生徒に対して授業をおこない、問題の解き方や考え方を教えているため、わからない、と生徒に言うことに大きな抵抗感をもっているし、そう言わなくても済むように平素から準備を怠らない。この窮屈な考え方を変えても大丈夫なのだトアドバイスしている。

また、研修内容を知りたいという多くの問い合わせを得たことから、「高校生の課題研究の指導方針と指導方法(川

勝, 2016)」や「小学校の先生のための“おもしろ知識 20～地学分野編” (川勝, 2017b)」、「小学校の先生のための“あらためて考えてみるとそれ本当?” (川勝, 2018)」などの冊子を作成して、近畿一円の希望者に無償配布している。とくに小学校教師を対象にした前2冊は、西脇市内にとどまらず、近隣の府県の希望者にそれぞれ400冊以上を配布し、現在では各府県市町村の教育委員会に冊子データを送信して、自由に活用していただいている。

4. 4. 高校生による小学生を対象にした活動

本校地学部は2014年に筆者の赴任を機に新生発足し、活発に活動を始めた。現在60名をこえる部員がいくつかの班にわかれて、日々グループ研究に励んでいる。研究成果は必ず論文の形にまとめる。どんなにすぐれた成果を上げていても、それを相手に伝えなければ研究した意味がない。実験や論文をまとめる過程で、生徒は、理科の力だけではなく、国語力、英語力、数学力、情報力、などが求められることを体験する。論文をまとめることで、理系の生徒も文系の生徒も、どうして学校では、進路に必ずしも必要ではない科目を勉強するのかを理解する。論文をまとめたら、専門学会や論文コンテストに投稿して評価を受ける。さらに、論文をもとにして、ポスターを作ったり、パワーポイント画面を作ったりして、プレゼンテーションに臨む。日本地質学会などの専門学会での発表や、高校生を対象にした文部科学省認定論文コンテストでは、毎年応募したすべての論文が全国上位入賞を続けている。

本校の地学部は、身近な自然現象の「なぜ」を明らかに

する研究活動で成果をあげると、自らの成果を小学生に伝える活動に積極的に取り組んでいる。本校の生徒が小学校に出向き、理科の授業を定期的におこなっている。この取り組みは、地元や近隣の市役所や教育委員会、市議会などを巻き込んだ活動に発展しており、地域の小学生を小学校の体育館に集めて実施する体験型実験教室や、本校理科室を小学生に開放し、共同で研究活動を行う取り組みも実施している。内容は市販の実験書によるのではなく、すべて高校生自身が不思議に思い、苦労して取り組んで明らかにした身近な自然現象の「なぜ」をわかりやすく伝える活動なので、教える高校生のモチベーションも高まり、小学生も興味をもって聞くことができる。このような活動は、前任校で地学部を立ち上げて活動をおこなっていた5年前からおこなっているものである。

4. 4. 1. 実験教室

実験教室を開催している高等学校は全国に少なくないと思うが、筆者が指導する高校生が実施する実験教室は、市販の実験書に書いてある内容ではなく、高校生自身が身近な現象に疑問をもって明らかにした研究成果を子どもにわかりやすく紹介する体験型実験教室である点で特徴的である。西脇市の小学校の体育館を会場にして実施したところ、120名以上の子どもが集まり、大盛況であった。

最初に、兵庫県南部を南から北に露頭調査して、加古川市～高砂市、加西市、西脇市から採取した岩石（すべて凝灰岩）をルーペで観察してもらって、構成している粒の大きさや配列を調べてもらう。これによって、北側にいくほ

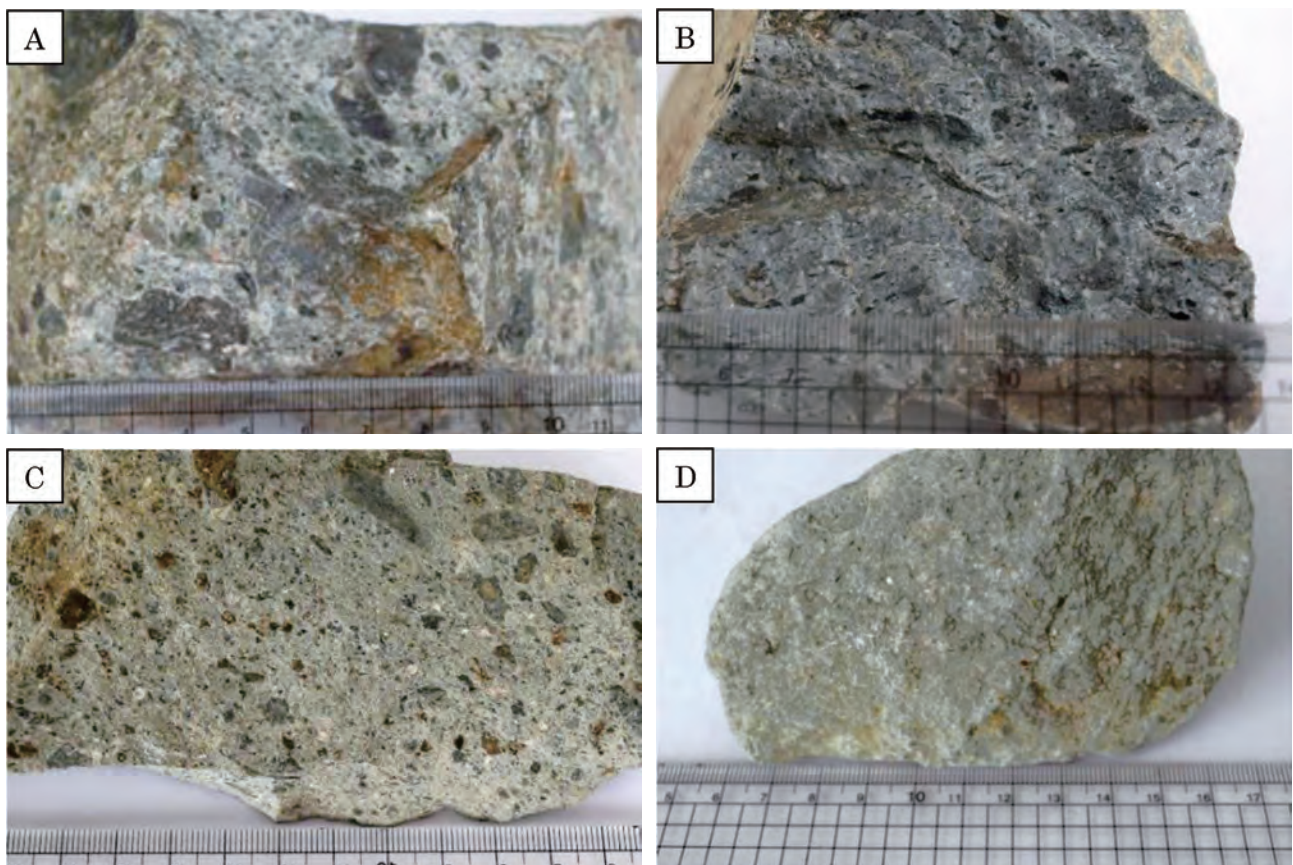


図6 兵庫県南部に分布するさまざまな凝灰岩 (A: 西脇市北部, B: 西脇市中部, C: 加西市, D: 高砂市)。

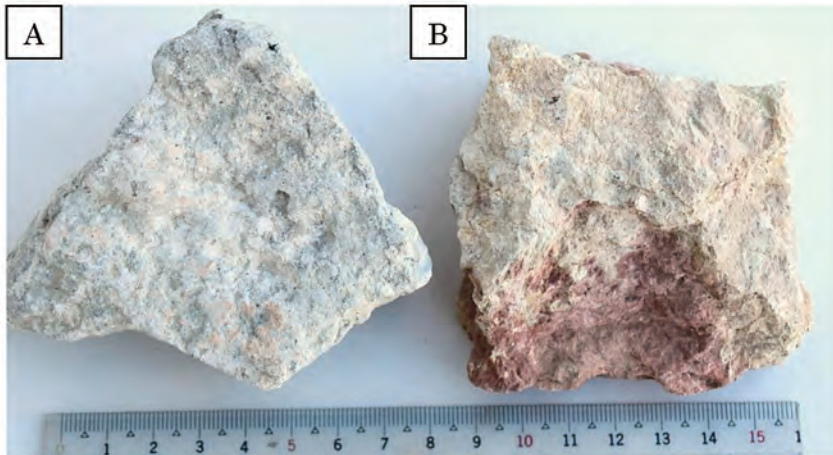


図7 加古川市～高砂市の青色 (A) と赤色 (B) の凝灰岩。

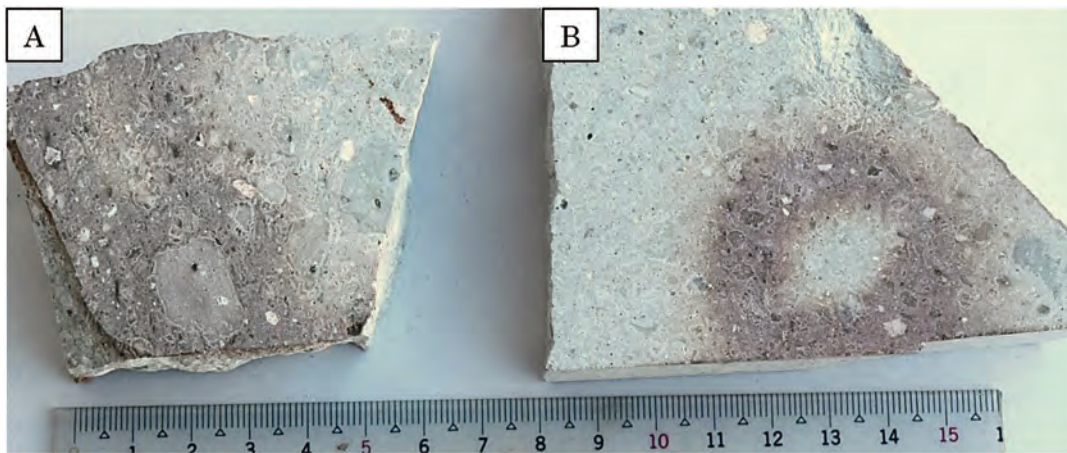


図8 酸化炎によって加熱した青色凝灰岩 (A) と、中央に還元炎をもつ酸化炎で加熱した青色凝灰岩 (B)。

ど凝灰岩の粒度は不均一で、大きな岩片が不規則に入っていることを確かめてもらう (図6)。そして、お互いに岩石をこすり合わせてかたさを比較し、地域によって同じ凝灰岩でもかたさに違いがあることを知ってもらう。次に、粒度やかたさに違いがあるのはなぜなのかを考えてもらう。小学校5年生の理科では、礫、砂、泥の順に堆積することを学ぶ。これをもとにして、粒度が不均一な北側ほど深いところが見えていて、もともと深いところにあった凝灰岩を採取したのではないかと考えることができればよい。そして、なぜ深い場所の凝灰岩を露頭でとることができたのか、可能性を考えてもらう。このとき必ずしも、地盤が隆起して剝削されたためであることを示す必要はない。

次に、瀬戸内海側の加古川市～高砂市の凝灰岩は細粒均質だが、青色と赤色の凝灰岩が分布しており (図7)、その色の違いの原因は何かを考えてもらう。ほとんどの子どもは、赤い凝灰岩が熱で焼けたという仮説を立てるため、その仮説が正しいかどうかを確かめる実験2にうつる。高温バーナーの炎を酸化炎だけからなるように調節して、青色の凝灰岩を数分間加熱すると、全体が赤黒く変色する。次に、炎を強くして中心に還元炎を作って同様に加熱すると、酸素が不足しているバーナー中心部の還元炎が当たる部分では色の変化が見られず青色のままであるが、その周囲の十分な酸素を得て燃えている酸化炎が当たる部分は、赤色の凝灰岩と同じように赤黒色化する (図8)。これによって、多くの子どもは青色の凝灰岩が何かの熱によって赤色化したのではないかと考察する。地下深くにある熱

源として、マグマの上昇が考えられる。それらを偏光顕微鏡で確かめてみると、赤色の凝灰岩の鉱物は、もとの鉱物構造が変わってしまっていることが観察できる。これらの観察と実験から、兵庫県南部の形成過程を考えて、みんなの前で発表する。高校生が子どもに立ててほしいと考えている仮説が出てこなくても、無理はしない。あくまで探求の楽しさを伝えるのが目的である。これは、文部科学省認定大会で全国2位を受賞した研究内容を扱ったものである。当日のようすを図9に示す。

また、これまでには、近隣の自然科学館のスペースを借りて、同様の実験教室を定期的実施しており、いずれもたいへんな盛況であった。

4.4.2. 出前授業

小学校に高校生が出向いて、正規の授業時間を使って、研究成果に関する授業をおこなうものである (図10)。この実施には、平素からの高小連携が欠かせない。小学校の正規の授業時間に実施するため、高校生は指導案を書き、何度も模擬授業をおこなって練習を重ねる。高校生にとっても、貴重なプレゼンテーションの訓練の場となる。たいへんの場合、小学校側で時間割を調整してもらい、同日の1時間目から5時間目まで、連続で授業をおこなう。そのため、教壇に立って話をする生徒、各実験テーブルで小学生の実験をサポートする生徒、実験ごとにテーブルの上の道具を片づけて次の時間に備える生徒、などの役割を分担する。



図9 体験型実験教室「キッズフェスタ」当日の様子。

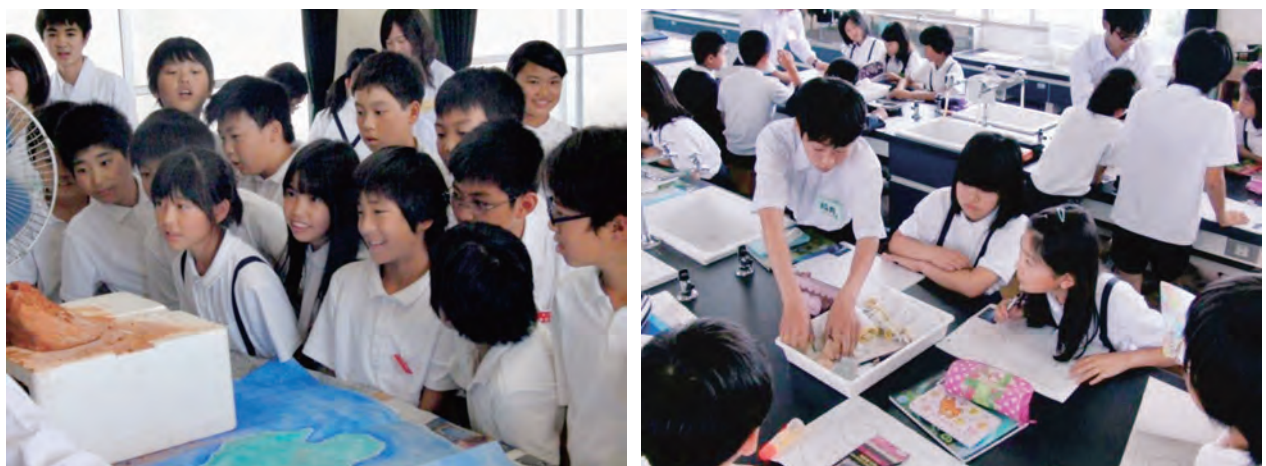


図10 小学校で実施した出前授業。

表4 出前授業を終えた子どもの感想文の一部。

- ・わたしは、問題を解いて答えを出したら、それで終わりだと思っていました。けれども今日の勉強で、わたしは「なぜそうなるのか」と問いかけることが理科の大切さだと思いました。
- ・これはこうなるもの、ではなく、しっかりと自分の目で見て考えることが大切だと思いました。
- ・いろんな石がさわられて楽しかったです。もっといろいろなことを知りたいと思いました。前よりもっと理科が楽しくなりました。
- ・わたしは理科が苦手です。たまに実験に失敗して、結果がわからないときがあったり、少しでもまちがえるとわからなくなってしまうからです。わたしはそこであきらめていました。これまでは、すぐに教科書を見たり友達から答えを聞いたりして、自分で「なぜ失敗したのだろう」と考えなかったけど、今日の授業を聞いて、これからは自分でしっかり考えて、苦手を得意に、得意を好きにしていきたいです。

子どもは、ときどき驚くような発想で問題に向かおうとする。たとえば、岩石をこすり合わせてかたさを比較する実験では、やわらかい方の岩石の粉が落ちる。判断が難しい場合があると、同じ班の小学生どうして話し合っ、たがいに角でこすりあって、傷が付いた方がやわらかいと判断すればよいのではないかと考えた。高校生になると、「互いにこすり合わせてみましょう」というと、どちらの粉かわからない、といってすぐに投げ出すところである。こうした小学生の柔軟な発想力を大切に育てたいと思う。出前授業を終えた小学6年生の感想文を表4にいくつか示す。

4.4.3. オープン・ザ・研究室

自然科学部の活動を、地域の小中学生に公開する取り組みである。夏休み中の2週間にわたって、高校生とともに研究活動を体験し、成果が上げれば共同研究者として名前を残す。高等学校を地域住民に開放するという意味ももち、毎回好評である。

4.5. 高校生による小学校教師を対象にした活動

高校生が自身の研究によって明らかにした身近な自然現象のしくみを、近隣小学校の教師を対象にプレゼンテーションする研修会がある。小学校教師に研究内容を理解して

もらうことはもちろんだが、高校生が喜々として探求活動をおこなっているようすを見てもらい、その萌芽が小学校にあるのだということを体感してもらうことが第1の目的である(図11)。

4.6. 高校生による地域住民を対象にした活動

専門学会で発表するだけでなく、地元住民や企業、行政、地元住民にも発表することで、地域に還元することも研究者(高校生)の重要な役割である。高校生のプレゼンテーション能力の向上だけでなく、地域住民に自然に対する興味や関心を高めてもらうことができる。

筆者の住む兵庫県南部の加古川市は、兵庫県南部地震以後も、数度続いた大きな余震によって道路が一部陥没するなどの被害が出た。本校生徒は、余震によってマンホールの周囲に生じたひび割れに着目して被害状況を調べ、地面にかかった力の向きと大きさを客観的に示すことができると考えた。マンホール372個におよぶ執念の調査で、地盤の動きを地図上に示すことができた。さらに、地面がどちら方向に動いたかを明らかにする過程で、彼らは地域によって割れ方に傾向があることに気づいた。住宅地の道路は割れがひどいのに、国道などの幹線道路はほとんど割れていなかった。法令等を調べた結果、幹線道路ではひび割



図11 高校生による小学校教師対象の研修会。

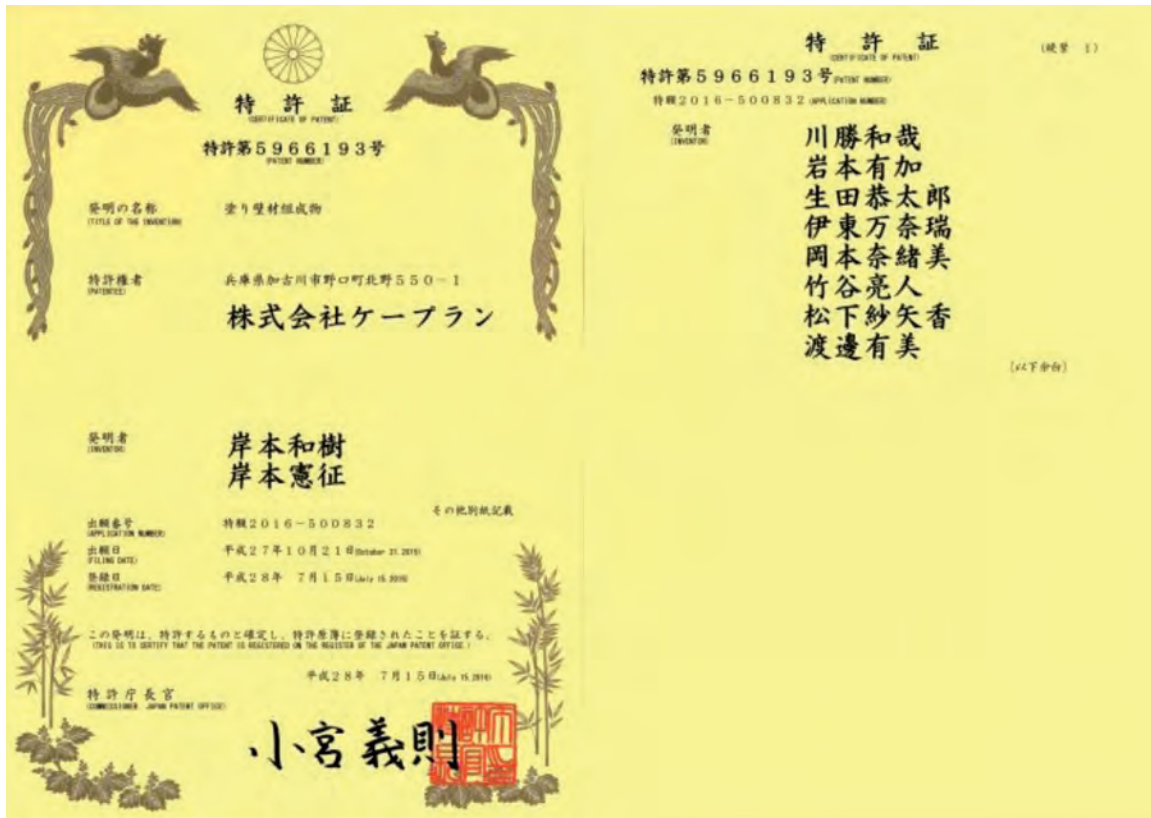


図 12 室内壁塗装剤で取得した特許証（左側ページが企業、右側ページが開発者）。

れが入らないように明確な強度基準があるにもかかわらず、住宅地の道路整備基準が整っておらず、事実上施工業者に任されていることを知った。調査した生徒らは、研究成果を市役所に持ち込み、行政と協議をおこなって宅地の道路造成基準を検討することになった。

また、地元を流れる1級河川の加古川は、たびたび氾濫を起し、その水害の被害を受けた生徒も少なくない。生徒はその原因を明らかにするために4年間にわたって露頭調査をおこない、水害の原因をやわらかい凝灰岩に貫入するかたい安山岩にあると結論づけた。水害を防ぐための護岸工事が、加古川沿いの全面で現在実施されているが、必要な場所と不必要な場所、急を要する場所はどこかなどについて地域行政に提案し、護岸工事の資料として用いられている。さらに、西脇市の防災講演会で講演をおこなうなど、地域住民の防災に対する意識の向上にも役立つことになった。さらに、交差点を左折する自動車が、右前輪が対向車線にはみ出さないように、左後輪が路側帯から外にはみ出さないように注意しなければならないため、左折に時間がかかっているようすを見た生徒は、スムーズに安全で素早く左折するための道路条件を考察して、行政に提案したこともあった。

ほかにも、加古川市～高砂市の特産品に高級石材として名高い凝灰岩「竜山石」がある。この凝灰岩は加工しやすいため、古墳時代から石棺に用いられてきた。現代でも、皇居や国会議事堂などの壁面に用いられている。この凝灰岩の性質を詳しく調べてみると、調湿性にすぐれており、石材の切り出しの際に出る大量の粉末にもその性質は変わらずにある。廃棄物として処分されていたこの粉末を何と

か活用できないかと考えた生徒は、これを室内壁塗装剤の成分として混ぜ込むことを考えた。実験によると、販売されている珪藻土や消石灰入りのものに比べても、非常に高い調湿性を有することが明らかになった。その原因が微細な空隙がびっしりと均質に存在することにあることも明らかにした。この成果を地域の産業界に提示したところ、地元企業から共同研究の申し出を受けて商品化にこぎつけ、2016年に特許を取得して現在市販されている（図12）。

5. さいごに～取り組みの成果

これまで述べてきたように、高等学校の教師をしていて強く感じるのは、高等学校で研究の場が与えられて花開き、将来の日本を担う人材となっていくような生徒は、小学生時代の経験が重要な役割を担っているということである。小学校の教師は、年齢に関係なく理科教育に対する悩みを抱えている。観察や実験の重要性を認識しながら、その実施に不安を感じ、相談したり指導してくれたりする相手が身近におらず困っている。これまで、理科教育のために施設や設備を整える必要があると指摘されてきたが、実際の小学校の教育現場は、人的資源の不足に問題があると感じている。日々の仕事に忙殺されながら、子どもが「なぜ？」と質問を投げかけてきて、応えたいという気持ちがあっても、時間的・精神的余裕がなく、聞き過ぎてしまうというのが現状である。小学校教師は、子どもの人生の中で重要な時期の教育にあたっているという責任を感じている。筆者が研修で子どもに対する接し方について話すと、高校教

師に何がわかるか、といった反発はまったくなく、真剣に教師のあり方について考えようとする姿勢が見られる。

筆者のこれらの取り組みは、教育委員会を通じて近隣の市役所や市議会に知られるようになり、兵庫県の子どもの教育を推進する中心的な活動であると認知されるようになっていく。教育委員会や各市長、行政との面談も定期的におこなわれるようになり、それらが一体となって取り組んでいる。また、これまで小学校ごとにばらばらであった理科教師が、筆者の活動を通じて交流をおこなうようになり、定期的な情報交換の場が設けられるようになった。そこには、小学校教師ばかりではなく、保護者が参加することもある。こうして、地域で子どもを育てようとする機運が高まっている。5年前に小学生であった子どもが高等学校に入学して、嬉々として自然科学系の部活動で活動し、優れた成果をあげるようになっていたり、関わったほとんどすべての高校生が理学や工学系の大学に進学して研究職を目指して頑張っている姿をみると、筆者の活動が次第に花開いていることを実感させる。ここに示した活動は今後も続けていきたいと考えている。2018年度には、月に1回程度の頻度で、あちこちの研修会に参加することになる。

地学の人気にかげりはない。むしろ小学生には大人気である。いつの間にか、「解き方」重視の思考によって、地学を素直に面白いと思うことができず状況に陥ってしまっている。学習内容が楽であるとか、センター試験で高得点が期待できる、自然災害の理解のために重要だ、あるいは、地球の歴史の壮大なロマン、などといったところで、高等学校で地学を履修する原動力にはなりにくい。小学校教育での地学への関わりかたが出发点である。

参考文献

- 川勝和哉 (2016) 高校生の課題研究の指導方針と指導方法～どうすれば生徒のモチベーションを高く維持できるのか (株式会社リバネス助成)
- 川勝和哉 (2017a) 生徒の個性を大事にするオーケストラクラス経営 (学事出版)
- 川勝和哉 (2017b) 小学校の先生のための“おもしろ知識 20～地学分野編” (中谷医工計測技術振興財団助成)
- 川勝和哉 (2018) 小学校の先生のための“あらためて考えてみるとそれ本当?” (中谷医工計測技術振興財団助成)

略 歴

1964年生まれ、島根大学大学院理学研究科修了 (鉱物学)。現在兵庫県立西脇高等学校教諭 (理科・科学倫理学)。科学教育の実績により、2009年兵庫県教育長より兵庫県優秀指導者表彰を受賞。2011年度と2014年度の2度にわたり野依科学奨励賞を受賞した。2012年度に日本物理学会より物理教育功労賞、2013年度には指導する生徒が文部科学大臣賞を受賞し、自らも下村文部科学大臣 (当時) より優秀教職員表彰を受けた。神奈川大学から授与された優秀指導者表彰は12年連続となる。2017年には東京理科大学から優秀指導教師表彰を受けた。2016年7月15日に兵庫県高砂市に産する竜山石の粉末を用いた調湿性の極めて高い室内壁塗装剤の開発で特許を取得 (塗り壁材組成物: 特許番号 5966193号)。啓林館教科書「地学基礎」「地学」「理数探求」著者、日本地質学会地学オリンピック支援委員、西脇経緯度地球科学館運営委員会委員。

2018年6月7日受付, 2018年7月23日受理。