

小中学生を対象とした
「雪を作ろう」実験出張授業の実施と問題点の考察

竹 井 巖

Examination of Problems in Carrying out Visiting Classes of an "Artificial Snow"

Experiment for Elementary and Junior High School Pupils

Iwao Takei

小中学生を対象とした「雪を作ろう」実験出張授業 の実施と問題点の考察

竹井 巖*

Examination of Problems in Carrying out Visiting Classes of an "Artificial Snow" Experiment for Elementary and Junior High School Pupils

Iwao Takei*

Received November 30, 2012

Abstract

Visiting classes of an “artificial snow” experiment were carried out at elementary and junior high schools (for total 1476 pupils in 45 classes) of Ishikawa Prefecture from 2004 to 2011. Purpose of the visiting class is to let the pupils experience fun to scientific experiment and to help them to be interested in science more. Details of the “artificial snow” experiment and the pupils’ reaction to the class were shown. In the results of a questionnaire after class (by 414 pupils of 13 classes), 98% of the pupils have expressed that it was fun to experiment and 90% have come to have an interest in science. Actual problems in the visiting classes of the “artificial snow” experiment were examined.

1. はじめに

文部省による学習指導要領の1989年改訂¹⁾において、過去の「つめこみ教育」の反省に立った「新学力観に基づく教育」が謳われ、教育内容や授業時間数の見直しがなされていわゆる「ゆとり教育」が、小・中・高等学校の初等中等教育に1992年から順次実施されることになる。同時期には、中高校生の理科離れの傾向が指摘されるようになった²⁾。初等中等教育における理科教育への関心と現状への危機感を持つ多くの理系学会や研究者の間では、この頃さまざまな提言や行動が行われた。1994年に物理教育学会、物理学会、応用物理学会の3学会による「理科教育の再生を訴える」声明³⁾が出され、1995年には上記3学会による「次期教育課程に関する要望」、教科「理科」関連学会協議会の「次期教育課程に向けての要望」、学術会議物理学研究連絡委員会理科教育検討小委員会の「理科教育に関する要望」の三つの要望書が第15期中央教育審議会へ出されている⁴⁾。これを受けて、関心を持つ理系の高等教育研究機関の研究者や企業の技術者等が積極的に初等中等教育への関与を試みるようになった。

*教育能力開発センター

Center of Development for Education

しかしながら、1998年の学習指導要領の全面改定(新学習指導要領)⁵⁾でも、平成14年(2002)度から初等中等教育において理科の教育内容の簡素化や授業時間の縮小、「総合的学習の時間」の設置、学校の完全週休五日制の実施などの「ゆとり教育」が推進されていく。その一方で、世論の初等中等教育における学力低下の懸念に応えるかのように学習指導要領の位置付けを絶対視しないとする『確かな学力の向上のための2002アピール「学びのすすめ」』⁶⁾が、省庁改編(2001)で設立されたばかりの文部科学省から平成14年(2002)の1月に出される。教育行政の方向性のゆらぎと世論の初等中等教育への関心の高まりの中、現役や退職した理系研究者・技術者等による青少年対象の科学実験イベントなどを通じた科学普及活動への奉仕的な動きが定着していく。これらの動きに呼応するかのように、行政でもその受け皿作りが行われるようになった。

先鞭をつけた地方自治体の中で石川県は、『小学校科学実験サポーター派遣事業』⁷⁾を平成15年(2003)度より県内の高等教育研究機関等の教員や博物館の技能経験者による協力のもとに始めた。その趣旨は、『通常の理科の授業の中では、取り組みにくい内容の実験を「理科」や「総合的な学習の時間」等を利用して実施し、科学の不思議さ、科学のすばらしさなどに触れさせることで、児童が驚き、感動、発見し、自然や科学に対する興味・関心を引き起こす体験とし、児童の科学を学ぶ意欲や知的好奇心、探究心を育む』にあった。事業としては、高等教育機関等の理系研究者や技能経験者を小学校に派遣し、小学校4年生から6年生を対象として科学実験教室を開催することとした。本稿の著者は、小学生が「科学の不思議さや素晴らしさに驚き感動」する体験を通して、「科学に対する興味・関心」を引き起こすことを願い、「雪を作ろう」をテーマとした科学実験を出張授業で行う形で、この事業に参加協力した。この事業は、3年間実施され、平成17年(2005)度をもって終了した。

平成18年(2006)度からは、文部科学省(独立行政法人科学技術振興機構へ委託)の事業として『理科支援員等配置事業』が、全国の3000校の小学校5年生と6年生を対象とし、事業内容を「理科支援員」の配置と「特別講師」の派遣の2本立てで行われるようになる。この事業は、民主党政権の事業仕分けにより平成21年(2009)度の事業実施中に予算凍結をうけて、「理科支援員」の配置は縮小、「特別講師」の派遣は廃止となった。

平成22年(2010)度から、石川県は『中学生サイエンス教室』として「特別講師」を中学校に派遣する事業を始めた。この事業では、「脱ゆとり教育」の傾向のある「新学習指導要領の改訂」(平成20年(2008))をうけて、中学校の「理科教育の充実・活性化」のために「研究者や技術者などの外部人材を活用した理科の授業や科学実験教室」を実施して「中学生の科学に対する興味・関心を高め、科学的な見方や考え方を養う」目的で、「大学教員、企業研究者、NPO法人関係者等の外部人材を講師として、県内の中学校に派遣する」ことが謳われている。

本稿は、この経緯の中で著者が小中学校へ出張して科学実験教室を実施(のべ45教室、対象児童生徒1476名:付表1)するという機会を得たことをふまえて、この出張科学実験教室の実施上の要領を整理し、そのなかで浮かび上がった様々な問題点を考察することにある。

2. 「雪を作ろう」実験出張授業の内容

石川県内の小中学校に出向いて、科学実験教室として実施した「雪を作ろう」実験は、

- (1) ダイヤモンドダストの人工生成実験と観察
- (2) シャボン膜による雪の疑似成長実験と観察
- (3) ペットボトル中への雪の人工生成実験と結晶形の観察

の3つで構成されている。これらの実験の内容は、加賀市の中谷宇吉郎雪の科学館における雪

の演示実験を神田健三館長および科学館スタッフが洗練していったものを参考にさせていただいた⁸⁾。もともと、ダイヤモンドダストの人工生成実験については大阪教育大学の山下晃(名誉)教授の研究⁹⁾を踏まえた啓蒙活動のノウハウが科学館に伝えられ、また、ペットボトルの人工雪生成については北海道立旭川西高校の平松和彦氏(現福山市立大学)が発案した演示実験^{10,11)}がもとになっている。しゃぼん膜による雪の疑似成長実験は、2003年に札幌で開催された国際会議(IUGG2003 札幌)で J.Hallet 博士の演示実験¹²⁾を参考に、雪の科学館に神田が導入した実験である。以下に、著者が小中学校に出張して実験科学教室で行ったこれら3つの実験の実施内容と要領を示す。

(1) ダイヤモンドダストの人工生成実験⁹⁾と観察

[用意するもの]: 雲箱、マグライト、ぷちぷち(緩衝材)、注射器

[準備]: 雲箱の中にドライアイスを入れて、十分冷やしておく。実験直前に中のドライアイスを出して、実験テーブルに設置する。実験の進行は、児童生徒にライトの使用法(光の絞り方)、ぷちぷちを入れた注射器の使用法(失敗したときの交換方法など)を周知させてから、暗幕カーテンをした部屋の明かりを消して暗くして実施する。

実験の準備が整ったら、雲箱のふたを外させて、児童生徒には以下の手順で実験をさせる。

[実験の手順]

- ① 部屋を暗くして、ライトで雲箱の中を照らします。
- ② よく冷えた雲箱の中に、そっと息を入れると、白い小さな水滴でできた雲ができます。
- ③ できた雲の中で、ぷちぷちを注射器でつぶすと、白いけむりのようなものができます。
- ④ このけむりを観察していると、きらきらかがやくダイヤモンドダスト(雪の赤ちゃん: ちいさな氷の粒)に成長していきます。



図1 雲箱を用いたダイヤモンドダスト実験。絞った光の中でぷちぷちを注射器でつぶす。

この実験においては、部屋の空気中に含まれる水分が雲箱の保冷剤による冷気に触れて過冷却水滴となる。この過冷却水滴の雲ができることが、実験において必要な条件となる。もし、部屋の空気が乾燥していて、過冷却水滴の雲が十分にできないようであれば、そっと息を吹き込むなどの操作が必要になる。確実を期して、児童生徒には息をそっと吹き込ませた。

生じた過冷却水滴の雲にマグライトの絞った光を当てると、白っぽくにごく輝く光の筋が暗闇に浮かび上がる(図1)。この光の筋にぷちぷちを入れた注射器を沿わせ、注射器のピストンを押してぷちぷちをつぶす。このとき、断熱膨張で吹き出る空気の流れに沿って、明瞭な白い煙(氷晶の集まり)ができて、漂うようになる(写真1(a))。この漂う煙が、ライトの光の中で時間経過とともにきらきらと輝き出す(写真1(b))。

ここでは、まず、白くにぶい輝きであった過冷却水滴の中に、明瞭な白い煙ができること、その煙が徐々に輝きを増し、きらきらと個々の粒子の輝きとして観察できることが、児童生徒の最初の驚きとなる。さらに観察を続けると、ライトに照らされた個々の粒子が赤、黄、緑、青などのさまざまな色の光で輝きを見せ始める。これは、氷晶が成長して角板状に横に広がった六角板となり、その角板の厚みが増すことによる2重反射光の干渉色によるとされる⁹⁾。個々の氷晶は、小さいため空気中のその場に浮かんで滞留する。また、時間と共に向きを変えるため、色合いの変化を伴ってきらきらと光る。

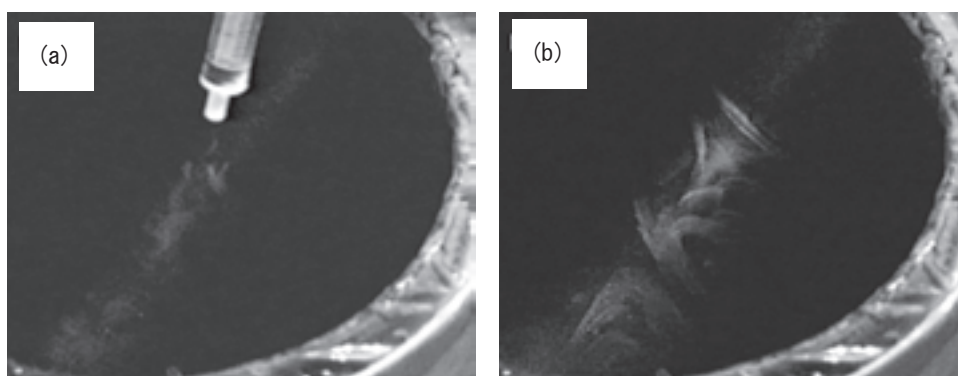


写真1 (a)注射器でぷちぷちをつぶした瞬間 (b)生じた煙状の氷晶が成長して輝き出す

氷晶の結晶面からの強い反射光と干渉色の赤、黄、緑、青のきらめく光は、児童生徒にとって強い印象をもたらすようである。ダイヤモンドダストという表現は、寒冷地における冬のよく晴れた日中の大気中の気象現象に対して名付けられているが、同じ空中に漂う氷晶の観察であってもこの実験では暗闇に輝く星雲をイメージさせる光景で、児童生徒に限らず付き添いの教員関係者にも印象的な実験となる。この実験を児童生徒に実施させる第一の目標は、美しい現象を自ら実現させて観察体験させることにある。目を輝かせ喚声を上げながら注視観察する児童生徒には、その感情の高揚を妨げないように、質問が特に無い限りは、現象の理屈の説明はしないこととした。

ダイヤモンドダストの実験が終了した時点で雲箱にふたをさせて、興奮冷めやらぬ児童生徒に、雲箱の中に雪の赤ちゃんである氷晶がたくさん浮かんでいることを指摘する。その後、雪の赤ちゃん(氷晶)を捕まえてみようとする。どのような方法があるだろうかとの問いかけながら、次のしゃぼん膜による雪の疑似成長実験に移る。

(2) しゃぼん膜による雪の疑似成長実験¹²⁾と観察

[用意するもの]: 雲箱、しゃぼん液、針金の輪

[準備]: ダイヤモンドダスト実験に引き続き行う。児童生徒には、ビデオで実験の要領を提示し、理解させた上で明かりを消して実験をさせる。

[実験の手順]

- ① シャボン液を針金の輪につけて、冷たい雲箱の中にそっと入れてみよう。
- ② 雲箱の中に浮かんでいる氷の粒が、シャボン液の膜にくっつくとき氷が成長して、雪結晶のような模様がシャボン液に広がります。

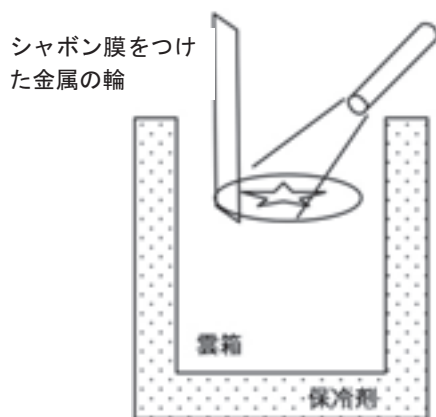


図2 雲箱を用いたシャボン膜上の疑似的雪成長実験

この実験においては、十分に冷えた雲箱の中に、ダイヤモンドダスト実験でできた氷晶が漂っていることが前提となる。前の実験が長引いたり、説明の時間に手間取ったりすると、雲箱が暖まり、実験条件が整わないことがある。

針金の輪にシャボン液の膜を張り、雲箱の中にそっと入れていくと、氷晶がシャボン膜に付着する。雲箱の中が十分に冷えていると、付着した氷晶は成長核となってシャボン膜の水を凍結させて、氷晶の結晶方向に応じて六角形や四角形の凍結模様が広がっていくことが観察される。擬似的な雪の成長を短時間の変化として児童生徒は観察できる。暗間でライトに照らされたシャボン膜は、透明なので黒っぽく見えるが、凍結した氷部分はライトの照射角度を調節すると白っぽい輝きをもって明確に観察できる。

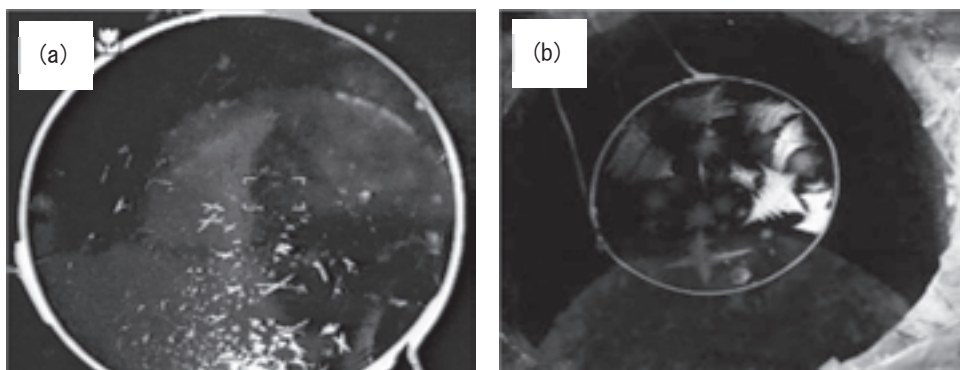


写真2 (a)シャボン膜上に捕らえられた氷晶 (b)雪の疑似成長(六角形、手裏剣形の模様)

しゃぼん膜上での凍結模様の形成は、多量の氷晶が漂っている場合には、多量の氷晶の付着によって全面に小さな粒上の斑点が生じ(写真2(a))、しゃぼん膜の全面的凍結で終了する。しゃぼん膜が凍結するたびに、針金の輪を外に出して、観察をやり直す事になる。付着する氷晶の数が減少してくると、個々の氷晶から時間とともに凍結模様がゆっくり広がる様子が観察できる。氷晶がしゃぼん膜にどのように付着したかで、結晶方向による六角板形と長方形(十字手裏剣型)の二つの幾何学的模様の成長が観察される(写真2(b))。黒っぽいしゃぼん膜の一点から、白い幾何学的凍結模様が生じて広がる様子は、見ていて飽きないものである。

児童生徒は、この実験を飽きもせず延々と続けそうな傾向がある。1人1人が一通り体験した頃合いを見計らって、実験の打ち切りを宣言すると、悲鳴のような抗議の声が児童生徒から漏れるが、次のペットボトルに雪を作る実験に移ることにして実験器具の後片付けを指示する。

(3) ペットボトルの人工雪生成実験と結晶形の観察^{8,10,11)}

[用意するもの]: ペットボトル(500mL)、発泡スチロール保冷箱(2L)、ドライアイス、ゴム栓、釣り糸、おもり(消しゴム)、虫めがね

[準備]: 図3のような配置に装置(平松式人工雪生成装置)^{8,10,11)}を準備する。

- ① 雪が成長するために必要な水分を、ペットボトルに入れます。(ペットボトルに水を少し入れて、よく振ります。十分に振ったら、水は捨てます。)
- ② 雪が成長する場所を、細い釣り糸で用意します。(図のように、おもりの付いた釣り糸をペットボトルの中に入れて、ゴム栓でふたをします。このとき、釣り糸がゆれないように、おもりを底につくようにします。)
- ③ 雪が成長できるように、冷たくします。(発泡スチロールの箱の中のペットボトルのまわりにドライアイスを十分にいれて、ふたをします。)

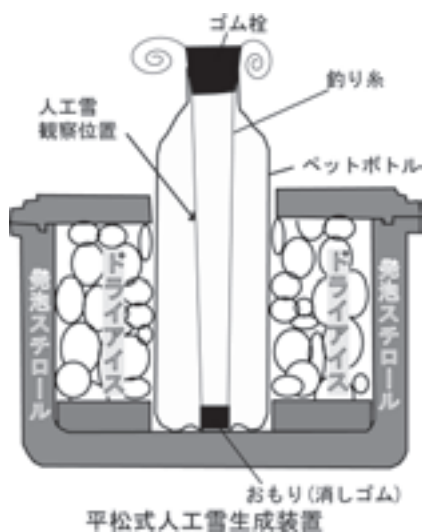


図3 平松式人工雪生成装置^{8,10,11)}の構成

この実験では、ペットボトルの中に(1)雪が成長するために必要な水分を用意することがまず必要になる。呼気に含まれる水分をペットボトルに吹き込むだけでも可能であるが、確実に人

工雪の結晶を成長させるためには、水道の水でペットボトルの内部を濡らす方が手軽である。このとき、できるだけペットボトル内部に水滴が残らないようにする。また、ペットボトルの中に(2)雪を成長させる場所を設ける必要がある。平松式人工雪発生装置においては、釣り糸をペットボトルの長軸上に2本張ることで実現している。釣り糸がピンと張って、しかも動かないようにするため消しゴムのおもりの用いる。この作業が、児童生徒には難しいようで、時間を要することが多かった。このペットボトルへの糸張り作業ができれば、ゴム栓でペットボトルにふたをして糸を固定する。これ以降は、ペットボトルの姿勢を変えないように注意深くそっと扱い、発泡スチロールの保冷箱の中央に設置する。ペットボトルを乱暴に動かすと、糸がよじれて実験観察に適さない状況になることがある。最後に、ペットボトルが設置された保冷箱へ(3)雪が成長できるようにするための冷却剤としてのドライアイスを含める。児童生徒にとっては、軍手をしてドライアイスを取り扱う機会となる。ドライアイスの性質を、手の感触や、手からこぼれ落ちて机の上で滑り動く様子などの観察から体験することになる。ドライアイスは、保冷箱にふたができる程度に詰めさせる。入れすぎると、ふたができなくなったり、中心からずれてペットボトルがふたの穴にうまく入らなくなったりすることがある。この場合は、ドライアイスを取り除いたり、はじめからやり直したりすることになる。

装置の設置が完了したら、装置に触れないように観察することになる。概ね20分程度の観察時間となるが、設置直後、10分後、20分後に観察機会を設け、その間はドライアイスの取扱の注意点（ハット飛ばし：ドライアイスをお小さなふた付き容器に入れてふたを飛ばすパフォーマンス）や雪結晶の形や成長条件の説明を入れて、生徒児童を飽きさせないように配慮する。

設置直後に観察させると、釣り糸に氷が生成付着して白くなっている場所を確認できる。この氷の付着と未付着の境目が0℃付近の温度目安位置になる。このことを児童生徒に確認させて、ドライアイスの温度が約-80℃で室温が20℃くらいであることを留意させ、ペットボトル内の釣り糸に沿った方向に温度勾配があることを図などで理解させる。

設置後10分を経過した頃に児童生徒に観察させると、釣り糸に氷の粒の付着が確認でき、0℃の温度位置から下1cmから2cmの位置には氷が飛び出して成長している場所が観察できるようになる（写真3(a)(b)）。雪の結晶成長で最も早く成長する温度が-15℃程度であることを、児童生徒の理解度を見ながら説明する。

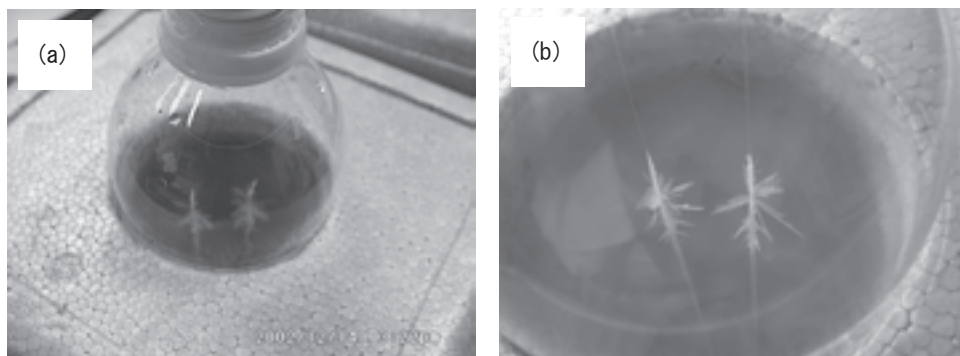


写真3 (a)平松式人工雪発生装置による雪 (b)釣り糸上にできた樹枝状雪結晶

設置後20分を経過したあたりから、ペットボトルの中に成長した雪の形を児童生徒に観察しながらスケッチするように指示する。人工雪の結晶形は、シダ植物の葉のような樹枝状結晶が大きく明確に観察できるが、針状、角柱状や角板状の結晶を見いだす児童生徒もいる。

以上、「雪を作ろう」実験出張授業において3つの実験を実現するために必要な事柄や留意点を述べてきた。この3つの実験の実施は、「雪の発生（雪の赤ちゃん：ダイヤモンドダスト）」、「成長（しゃぼん膜上の疑似成長）」、「雪結晶の形の観察」をひとつの流れの中で体験させる教育的意味がある。他方で、出張授業を実施する観点からは、冷却剤のドライアイスを運搬・保管する容器として雲箱を使い、その冷却された雲箱を実験の流れの中で有効に使用するという意味もある。

3. 「雪を作ろう」実験出張授業における児童生徒の反応

小学校における理科特別授業での児童の反応

理科支援員配置事業の理科特別授業（本実験出張授業）に関して、授業直後に学校関係者によって小学校児童に実施されたアンケート（「特別授業」を終えて）の結果がある。すべての実施校分ではないが入手できたその内訳は、以下のようなものとなった。回答児童数 414 名（13 教室：付表 1）の反応は、『授業は楽しかったですか』の設問に対して、

ア とても楽しかった	80.0%
イ 楽しかった	17.9%
ウ ややつまらなかつた	2.2%
エ つまらなかつた	0.0%

『自然や科学、理科に対する興味・関心は高まりましたか』の設問に対して、

ア とても高まった	48.6%
イ 高まった	41.6%
ウ あまり高まらなかつた	8.7%
エ 高まらなかつた	1.2%

と回答している。

この結果は、本実験出張授業における内容について、授業が楽しかったと肯定的に捉えている児童が98%であったこと（強烈な印象を持った児童が80%との驚異的な率を示した）、また、この授業によって理科に対する興味・関心が引き起こされたと肯定的に感じた児童が90%であったこと（興味・関心を強く持った児童は49%とほぼ半数）を示している。

児童のアンケートにおける自由記述内容

児童の授業に対する感想の記述内容は、

- 「雪の赤ちゃんであるダイヤモンドダストがきらきらとして、とてもきれいだった」
- 「ダイヤモンドダストが赤色や青色、黄色に光って、オーロラみたいにきれいだった」
- 「雪の赤ちゃんをしゃぼん膜でつかまえるのが楽しかった」
- 「ペットボトルの中で雪が枝のようにどンドンくつつくのが不思議だった」
- 「部屋の中で雪をつくるのができて、驚いた」
- 「雪の結晶を自分たちでも条件をそろえれば作れるんだなあと思いました」

などが代表的であった。

不思議だなと思ったこととか、もっと知りたいと思ったことは何かという設問については、

「ぶちぶちをつぶすとどうしてけむりができて、それが雪の赤ちゃんのダイヤモンドダストにどうしてなるのか不思議」

「雪の結晶の形がどうしていろいろあるのか」

「どうしてダイヤモンドダストは浮かんでいるのか」

「雪の結晶の形がどうして六角形になるのか知りたい」

などが、不思議に思っていることや知りたいことの多数を占めた。

日常的な現象から離れて、特殊な条件下での不思議な現象を見せるために用意した実験（空の雲の中で生じている現象を再現している実験であると説明するのではあるが）であるので、児童が「きれい」とか「驚いた」、「楽しい」と素直に反応してくれたことは、実験教室担当者としては目論見通りということになる。このことは、「授業が楽しかったか」との設問に「アとても楽しかった」と驚異的な率の80%で答えていることと一致する。

一方で、「不思議だと思ったこと、もっと知りたいと思ったこと」について児童が記述している内容を、実験実施者が説明しようとする、幾分高度な概念を用いる必要のあるものが多いので、授業中で対応することは困難である。実験教室では、実験内容の踏み込んだ説明は避けて実施している。もちろん、児童から高度な内容の質問が出たときには、児童の学習段階を配慮して理解できる範囲で説明することに努めた。ただし、実施者としては、質問がうれしかった反面で、言いくるめるような説明でわかったような気にさせることに意味があるのかと反省することが多かった。その意味で、アンケートの「自然や科学、理科に対する興味・関心は高まりましたか」との設問で「アとても高まった」と回答した児童が49%であったのは、実験内容が幾分高度なもので直感的に理解できる内容ではないことが、児童の意識レベルの敷居を高くして、控えめな回答になっているのかもしれない。それでも、この積極的な知的好奇心を半数の児童に喚起したことを意味するこの回答は、驚異的な率だったと思う。

中学校でのサイエンス教室

実験の操作や実施については、基本的に小学校高学年で行うものと違いはない。生徒の行動や反応についても異なることは少ない。素直に現象を受け入れ、きれいと思えば歓声を上げるし、感激していることは目の輝きや振る舞いを見れば明らかであった。ただし、中学生に実験教室として実施する場合に付け加えたことは、中学生らしい理科の知識を前提とした導入なり説明を組み入れていることである。しかし、生徒の反応をみると、このような付加的な導入や説明を余計なこととは言わないが、体験させることの重要性から見れば些細なことのように思えた。もちろん、中学校の理科の授業で扱う「物質の変化」（1年）や「物質と原子」「天気とその変化」（2年）の学習（復習）につながることを期待できるのであるが、この実験授業の有用性を検証できるデータは現在のところ得られていない。

実験授業の受け入れ状況

初期の『小学校科学実験サポーター派遣事業』（2003-2005）において、学校の先生方と話をする機会が多くあった。そこで気になったのは、小学校の授業では理科の授業をどの先生でも担当できる建前であるのだが、どちらかといえば雑務や専門分野の関係から手間をかけることを敬遠される先生方が多く、実験教室に使う理科室もあまり利用されていないような印象を持つことが多かった。その後、文部科学省の『理科支援員等配置事業』（2006-2009）が始まって

からは、ベテランの退職教員や技能経験者および理系の大学生(院生)等の支援員が小学校の理科教育で一定の役割を果たすようになった(「特別実験授業」は理科支援員が配置されている学校で実施される傾向があった)ためか、初期のような印象を受けることは少なくなった。

特別実験授業の機会を得て出張した小中学校によっては、非常に熱心に理科教育を推進される先生方や、理科教育に独自の考えや理想を持たれている管理職の先生方がいることもあり、個々の学校の違いを強く感じた。きちんと学校教育が行き届いているところで実験授業ができる機会があると、学校の対応や児童生徒の反応のすばらしさに息をのむ思いをすることがあったが、もちろんそうでない場合もあった。一方で、強い期待を持たれて実験授業の機会を設けていただいたのに、私の出張実験授業を実施する上での力及ばない面もあって、不首尾の感覚を抱えて帰る思いをしたことも少なからずあった。このように個々の学校の事情や出張授業実施者の都合が実施上の善し悪しを反映する部分もあるが、実験授業での児童生徒の反応は、本源的なところで好奇心や知識欲に満ちていることを示していると常に強く感じさせられた。出張実験授業で現象を体験させ知識に触れさせる、という教育上の一定の役割を確信できた。

4. 出張授業実施上の問題点

「雪を作ろう」実験の出張授業実施上の問題点

小中学校に出張して「雪を作ろう」実験を実施する上で重要なことは、いかに適切な低温の環境を教室内で実現するかである。特に、ダイヤモンドダスト実験に於いては、実験可能な低温をすぐさま用意できるわけではないので、低温を保持した状態で所定の装置(雲箱)を運搬することが求められる。このことは、準備に適切な配慮と十分な時間を要することを意味する。また、ダイヤモンドダスト実験に引き続きしゃぼん膜による雪の疑似成長実験を行う場合には、適切な低温を1時間程度保持する必要がある。本実験で用いた雲箱は、内部金属缶と外部プラスチック容器の間に保冷剤を詰めた構造を持っている。この雲箱を -20°C のフリーザーで一晩冷却し、出張授業当日の朝にドライアイス⁸⁾を袋詰めして雲箱に入れ、運搬することにより教室における実験用途に間に合わせた。

ここで実験を行うときに、雲箱からドライアイスの袋をいつ出し、児童生徒の机の上に雲箱をいつ設置するかが問題となる。授業の始まる前に実験台に設置すると、実験の説明をしているうちに雲箱が暖まって、実験のプロセスを完了できないことがあった。また、実験の直前にドライアイスの袋を出す手順で実施すると、冷えすぎているためダイヤモンドダスト実験がうまくできないこともあった。授業の流れを勘案しながら雲箱を児童生徒に供するタイミングが重要である。比較的良好なタイミングとしては、ダイヤモンドダスト実験の手順説明の過程で、ドライアイスを出した雲箱を児童生徒に受け取りに来させ、実験のタイミングを計って始めさせるとうまくいくようである。

実験環境が時期や場所によって異なるため、実験実施に不具合が生じる場合がある。たとえば冬季に実験授業を行う場合、教室の暖房等で空気が乾燥していて、雲箱の中に過冷却水滴が十分に形成されない場合があった。この場合、息をそっと吹き込ませて過冷却水滴の雲を作らせたりした。また、緩衝材のぷちぷちを注射器でつぶして断熱膨張による氷晶核形成を行うのであるが、児童生徒がうまくできない場合が少なからず見られた。その場合、注射器でぷちぷちをつぶすのではなく、指でつぶさせてみたり、ドライアイスのかけらを撒いたりして氷晶の核形成を実現することも行った。つまり臨機応変の対応が要求されるということである。

ペットボトルの中に人工雪を作る実験^{8, 10, 11)}では、予め装置等を冷やす必要がないので、ドライアイスを用意しておく(ここでは雲箱から取り出して保管していたドライアイスを用いた)

だけで実施可能である。その意味で、この実験は環境に左右されない完成度の高い実験である。しかし、時間を要する結晶成長に伴って観察機会を設けるので、どのように飽きさせないで児童生徒を実験授業の流れの中で誘導するかは、進行上の工夫が必要である。ドライアイス小さな密閉容器に入れてふたを飛ばす「ハット飛ばし」や「チンダルの花」実験⁹⁾などで、児童生徒の視線をペットボトルから離すように進行すると、観察ごとに変化の様子が明確に認識できるようである。また、限られた授業時間の中で、複数の実験を織り込むには、言うまでもなく実験の段取りや時間配分の工夫が必要である。1時間半の実験授業に於いて、上述の3つの実験を児童生徒に体験させる場合、このペットボトルにできた雪結晶の観察スケッチの時間が十分に取れない場合が少なからずあった。実験の順番を変える試みをしたこともあったが、ここで提示している順番ほどにはうまく行かないようである。

最後に、1時間半の実験授業は、小学生にとって長いか短いか言及しておく。この3つの実験においては、児童生徒は次から次へと展開する実験課題に集中力が途切れることなく嬉々として取り組み、連続して実施しても特に問題はないようであった。もちろん、学校によっては、トイレ等の休憩時間を入れることを要求される場合もあったが、その場合の実験の流れは惨憺たるもの(感情・好奇心の盛り上がりの寸断、実験の時間不足)になる傾向が強かった。

受け入れ初等中等教育現場の抱える問題点

小学校や中学校で科学実験授業を行う場合に、専門用語や科学的概念を児童生徒に対してどこまで提示するかという問題がある。言うまでもなく、学年によって持っている知識は異なっているし、各学校におけるカリキュラム進行上の配慮も必要となる。本実験授業においては、小学校4年で習う「水のすがたとゆくえ」や5年で習う「天気の変化」などが関連するので、話す内容もそのレベルをいたずらに超えないよう配慮した。相変化や気体の断熱膨張、光の干渉などの用語を用いないことは当然として、原子や水分子、結晶といった概念に踏み込んで説明することも控えた。小学校での科学実験授業では、むしろ現象への関心を向けさせることに目的を絞ったといえる。この時、児童生徒からなぜ雪は六角形なのか、なぜ、ぷちぷちをつぶすとダイヤモンドダストができるのか、といった質問が出されたときに、どのように対応すべきか悩みは深い(質問などに対応する時は、水のような(氷、水、水蒸気)の変化、気体の性質、しゃぼん玉の色(干渉色)といったよく知っている事実で説明を行った。簡単な模型を用意して説明したこともあるが、さらに詳しいことは中学や高校で学ぶことになるのかな、と逃げることもあった)。この分野の研究者として児童生徒にきちんと対応するには、いささか敷居が高かったというのが正直な感想である。もちろん、科学的に正確な答えを提供することは大切なことである。しかし、教育の段階という現実があるので、初等中等教育の現場で現実離れた対応をとることは好ましくない。ましてや、安易な比喻や言い回しでその場をしのぐことは、科学研究者が初等中等教育に出向いて、一定の役割を果たそうとする場合に、難解な専門用語や概念をむき出しにする以上に害が大きいかもしれない。本来の趣旨が「理科離れ」や「理科嫌い」の改善に資することであるならば、慎重な配慮をもって理想と現実の間の適切な場所に納めることが必要であろう。

この科学実験教室の事業に参加して小学校へ出向いた初期の頃に、理科教育や理科実験を担える人材の不在を嘆く小学校が少なからず見られたことは印象的であった。小中高と学年が上がるたびに「理科離れ」、「理科嫌い」の傾向が進む現実²⁾は、大学教育においても理科担当教員を志望する学生の減少を招き、初等中等教育を担う人材の先細り構造となっているのか、と感じたものである。2006年より実施されている「理科支援員」の派遣事業は、その意味でも貴重で、現場で理科教育の充実に一定の役割を果たしているものと思う。

ここで述べた科学実験の出張授業(行政の言う「特別授業」)の目的は、児童生徒に日常授業では体験しにくい実験や現象に触れさせ、理科に対する興味・関心を引き起こすことが一つの

大きな目的であった。さらに教育行政の立場から、「特別授業」を担当する研究者等と現場教員との交流や幾分高度な科学実験の実施による現場への刺激にも期待があったようである。そして、受け入れ校で熱心に理科教育を実践されている教員の多くは、当実験授業の内容に強い関心を示し、授業等に取り入れることができないかと質問をされることも少なからずあった。ただし、ドライアイスの調達や下準備の手間等を考えて、自らの教育に取り入れることは断念される傾向があった。手間をかけても、児童生徒に自然現象の不思議に触れさせ、科学の奥深さに思いをはせる体験を与えることは、十分に苦労が報われるものと思われるが、現場の教員の置かれた状況はそれを許さない多忙なもののように見受けられた。

最後に、この出張授業における児童生徒の実験参加の様子や反応について、必ずしも積極的に参加できる児童生徒ばかりではなかったことを指摘しておかなければならない。協調的な行動をとれない、または動作や反応のゆっくりした児童も存在するので、実験授業の進行に配慮しなければならない場合があった。多くは、周りの児童や教員の手助けで実験に参加できるようであったが、児童の中には発達障害、自閉症、肢体不自由などの障害があり、養護教員のサポートで参加する場合があった。実験授業の実施者としては、そういった児童生徒の実験参加にまったく対応できなくて、どのように位置付けてどのように対応すべきだったのか今でも解答を得られないでいる。

問題点の考察から得られる結論

小中学校において科学実験を出張授業として実現するための必要な事柄や留意点を述べてきた。初等中等教育の現場に科学的なレベルを下げないで実験環境を持ち込むことには、多くの配慮や手間が必要となる。出張授業を実施する上で、実施者は受け入れ小中学校の実情に合わせた配慮や手間をかける必要がある、というのが問題点の考察から得る第一の結論である。

出張授業を実施した小学校中学校には、各校ごとにさまざまな事情があることに触れてきた。その多様さゆえに、この実験出張授業を教育現場でどのように位置付けるかは明確にできなかった。あえて位置付けるとするならば、このような科学実験教室は初等中等教育の現場で一定の役割(非日常的サイエンスショー)を演ずることはできても、それぞれの学校での日常授業への参考にはならないであろう、というのが第二の結論である。

「雪を作ろう」実験の出張授業を実施し、その実験に対する児童生徒の反応も検討してきた。上述のさまざまな問題点を乗り越える手間はあるにしても、次世代を担う児童生徒に科学実験によって科学的興味や関心を刺激することは、より深い自然観を身につけさせることになるので、社会にとって十分価値があり有用である、というのが第三の結論である。特に「雪の結晶を自分たちでも条件をそろえれば作れるんだなあと思いました」と児童生徒が述べているように、彼ら自身が実験を実施することと「自分たち」が実現した非日常的な自然現象を目にすることは、この上もない教育的な意味がある。その自然に秘められた不思議な光景を見たときの彼らの目の輝きと歓声は、実験授業の実施者にとっても貴重な見返りになるはずである。

5. まとめ

「雪を作ろう」実験を行う出張科学実験授業を、石川県内の小中学校で 2004 年から 2011 年にかけて延べ人数 1476 名の児童生徒(45 教室)に対して実施した(付表 1)。この授業は、石川県の『小学校科学実験サポーター派遣事業』(2003-2005)、文部科学省の『理科支援員等配置事業』(2006-2009)、石川県の『中学生サイエンス教室』(2010-2011)の各事業に参加協力することで行われた。各学校に出向いて行った科学実験授業の目的は、児童生徒に「科学の不

思議さや素晴らしさに驚き感動」する体験を通して、「科学に対する興味・関心」を引き起こすことにあった。授業後に実施されたアンケートの結果（414名の回答）では、実験授業が楽しかったと肯定的に捉えている児童が98%であったこと（強烈な印象を持った児童が80%との驚異的な率を示した）、また、この授業によって理科に対する興味・関心が引き起こされたと肯定的に感じた児童が90%であったこと（興味・関心を強く持った児童は49%）が示された。

出張授業で行った実験「雪を作ろう」は、

- (1) ダイヤモンドダストの人工生成実験と観察
- (2) シャボン膜による雪の疑似成長実験と観察
- (3) ペットボトル中への雪の人工生成実験と結晶形の観察

の3種類の実験を授業の流れに沿って実施された。内容については、実施上の留意点も含めて本文で詳述した。

また、このような科学実験特別授業を外部の人間が小中学校で実施する場合の問題点や課題について検討した。受け入れる学校には様々な事情を抱え一律ではない問題点や課題があり、授業の実施内容に注意することや出張実験を実施する場合の技術的な問題点を克服することなど配慮しなければならないことが多い。しかし、その手間をかけてでも、児童生徒に自然現象の不思議に触れさせ、科学の奥深さに思いをはせる体験を与えることは価値あることである。

補足・謝辞

当小論の著者は、本学の薬学部の学生に対する物理学の講義を担当している教員である。

「1. はじめに」の項で書き始めたように、1990年代に我が国の教育界で「理科離れ・理科嫌い」が小学校から中学・高等学校へと学年が上がるごとに進行することが問題視されるようになった。その中で、特に「物理」の高校での履修率が著しく低下する事態が注目された。このことを背景として、理工系大学教育において、高校時代に物理を履修してこなかった理系学生に対する基礎理科教育の補習等が現実のものとなった（鶴岡他¹³⁾「初等中等教育での「理科離れ」は、大学教育にも大きな影響をあたえている。」）。この事態を受けて、物理系3学会による提言や要望の表明^{3,4)}がなされたのである。

「『理科教育の再生を訴える』³⁾（三学会共同声明）

・・・しかるに最近、初等・中等教育の段階で、学年が上がるに従って理科嫌いが増えていることが報告されている。この若者の理科離れと言われる事態、特に物理離れ（※下線は引用者）は、我が国の将来にとって憂慮すべき問題である。われわれは、この傾向を逆転させ、望ましい教育環境を確保するため一層の努力を行うが、関係各方面にたいしても、ご理解とご協力をぜひともお願いしたい。

- (1) 大幅に減少した小・中・高校の理科の授業時間の回復を
- (2) 小学校低学年における理科の復活を
- (3) 実験・観察を十分に行える環境の整備を
- (4) 高校までの全ての生徒に国民的素養としての物理を含む科学教育を
- (5) 科学を正しく理解し、広い視野と優れた判断力をもった小・中学教員の養成を」

大学の教育現場では、新生生の受け入れ関係教員が大きな危機感をもつようになる。鶴岡他の論文¹³⁾に引用されている金城啓一氏の『センター試験と日本の物理教育 -1993年大学入試センター試験のアンケート集計を終えて-』と題した報告¹⁴⁾では、大学入試制度に原因の一端があるとされるのだが、中等教育における「物理離れ」現象が、初等中等教育や大学教育(特に教育学部の初等中等教育教員養成)を通して「構造的に「理科嫌い」を再生産するようになって

てきた」現状が述べられている。大学で一般教育の物理学の教育にたずさわる私のような教員研究者でも危機感を共有し、初等中等教育になんらかの寄与ができればと考えるようになった。

本小論で報告した内容は、石川県の『小学校科学実験サポーター派遣事業』(2003-2005)、文部科学省の『理科支援員等配置事業』(2006-2009)、石川県の『中学生サイエンス教室』(2010-2011)の各事業に参加することで得られた貴重な機会(のべ45教室、対象児童生徒1476名)より、著者が経験し学び考えたことをまとめたものである。振り返ってみれば、この事業に参加して初等中等教育にどのくらいの寄与ができたか心もとないのであるが、児童生徒の実験教室での目の輝きを見たものとしては、この実験教室がささやかでも成長期の一コマとして彼らの将来において肯定的に位置づけられることを願わずにはおられない。

お世話になった石川県教育委員会および小学校、中学校の関係各位に敬意を表するとともに、この実験内容についてさまざまな情報の提供と実践研修の機会を与えていただいた神田健三館長をはじめとする中谷宇吉郎雪の科学館のスタッフの皆様へ感謝します。

参考文献・註

- 1) 『学習指導要領』文部省,(1989)。(1992年小学校入学者より実施。文部科学省の表記『旧学生指導要領』)
- 2) 国立教育政策研究所資料等, 理数長期追跡研究ブックレット 055 「数学的・科学的能力や態度の小中高・社会人における発達・変容に関する研究」研究成果報告書 I, 文部省科学研究費基盤研究(C)(2), 平成10年(1998)。
- 3) 霜田光一, 「理科教育の再生を訴える」3学会会長共同声明について, 『物理教育』 Vol.42, No.2, 266-267(1994)。
- 4) 霜田光一, 「第15期中央教育審議会への要望書」, 『物理教育』 Vol.44-No.1,56-60(1996)。
- 5) 『新学習指導要領』文部科学省,(1998)。(2002年小学校入学者より実施。現行『学習指導要領』)
- 6) 『確かな学力の向上のための2002アピール「学びのすすめ」』文部科学省,(平成14年1月17日)(2002)。
- 7) 石川県学校指導課, 「科学する心を育てる～小学校科学実験サポーター派遣事業～」, 『教育いしかわ』 No.163,1 (平成15年9月)(2003)。
- 8) 中谷宇吉郎雪の科学館「雪の体験学習」実行委員会, 『学習テキスト「雪とあそぼう」実験教室』中谷宇吉郎雪の科学館、平成15年(2003)。
- 9) 山下晃, 「手作り実験あれこれ 教育の現場から Part3 (2) 氷晶を作る」『可視化情報学会誌』 18巻71号,273-278(1998); 山下晃, 「プチプチ漬しとダイヤモンドダストを作る実験との関係は?」『雪氷』73(2)、147-148(2011)。
- 10) 平松和彦, 「ペットボトルで雪の結晶を作る」日本雪氷学会講演予稿集,216(1997)。
- 11) 平松和彦, 「ペットボトルで雪の結晶をつくってみよう」,(左巻・内村編著)『おもしろ実験・ものづくり辞典』東京書籍,480-485(2002)。
- 12) 安成哲平, 「IUGG2003札幌 参加報告」『雪氷』65巻5号,471-472(2003)。
- 13) 鶴岡森昭, 永田敏夫, 細川敏幸, 小野寺彰, 「大学・高校理科教育の危機 - 高校における理科離れの実状-」, 『高等教育ジャーナル(北大)』第1号,105-115 (1996)。
- 14) 金城啓一, 「センター試験と日本の物理教育 - 1993年大学入試センター試験のアンケート集計を終えて-」 『物理教育』41, 219(2003)。

付表1 「雪を作ろう」実験出張授業実施状況

	日時	場所	学年	人数	備考
	科学実験サポーター事業「雪をつくろう（みずのすがたとゆくえ）」				
1	2003. 9. 18 14:05-15:40	能登町立宇出津小学校	4年生	41名	
2	2003. 9. 25 14:05-15:40	加賀市立東谷口小学校	5,6年生	20名	
3	2003. 9. 26 14:05-15:40	辰口町立中央小学校	4年生	37名	
4	2004. 10. 28 13:40-15:40	志雄町立樋川小学校	4年生	29名	
5	2005. 11. 22 14:00-15:35	輪島市立河井小学校	5年生	63名	
6	2005. 11. 25 13:45-15:15	志賀町立堀松小学校	5,6年生	30名	
7	2006. 2. 14 10:35-12:15	白山市立石川小学校	5年生	61名	
	理科支援員等配置事業「科学実験特別授業」				
1	2007. 2. 14 13:50-15:20	中能登町立御祖小学校	5,6年生	28名	A（:アンケート）
2	2007. 1. 30 10:30-12:00	野々市町立菅原小学校	6年生	42名	A
3	2007. 1. 30 14:00-15:30	野々市町立菅原小学校	6年生	41名	A
4	2007. 11. 30 10:40-12:20	野々市町立館野小学校	5年生	37名	
5	2007. 11. 30 13:50-15:30	野々市町立館野小学校	5年生	38名	
6	2007. 12. 4 8:40-10:20	金沢市立西小学校	5年生	32名	
7	2007. 12. 4 10:40-12:20	金沢市立西小学校	5年生	33名	
8	2007. 12. 19 8:40-10:10	金沢市立大徳小学校	5年生	30名	
9	2007. 12. 19 10:30-12:00	金沢市立大徳小学校	5年生	30名	
10	2007. 12. 19 13:50-15:20	金沢市立大徳小学校	5年生	30名	
11	2008. 11. 26 10:40-12:00	金沢市立伏見台小学校	4-6年生	33名	A
12	2008. 12. 2 10:40-12:15	川北町立橘小学校	5年生	20名	A
13	2008. 12. 5 8:45-10:20	金沢市立森山町小学校	5年生	32名	A
14	2008. 12. 5 10:35-12:15	金沢市立森山町小学校	5年生	33名	A
15	2008. 12. 9 8:40-10:20	金沢市立西小学校	5年生	20名	A
16	2008. 12. 9 10:40-12:20	金沢市立西小学校	5年生	20名	A
17	2009. 2. 24 10:35-12:20	野々市町立野々市小学校	5年生	38名	Aわくわく理科教室
18	2009. 2. 24 13:50-15:30	野々市町立野々市小学校	5年生	39名	Aわくわく理科教室
19	2009. 11. 10 10:35-12:15	能美市立浜小学校	5年生	39名	
20	2009. 11. 10 13:45-15:25	能美市立浜小学校	5年生	38名	
21	2009. 11. 11 10:35-12:15	能美市立浜小学校	5年生	37名	
22	2009. 11. 17 10:35-12:15	金沢市立浅川小学校	5,6年生	18名	
23	2009. 11. 18 10:35-12:15	能美市立寺井小学校	5年生	30名	A
24	2009. 11. 18 13:45-15:25	能美市立寺井小学校	5年生	29名	A
25	2009. 11. 20 10:35-12:15	能美市立寺井小学校	5年生	30名	A
26	2009. 11. 26 9:15-11:05	小松市立寺井小学校	5年生	9名	
27	2009. 11. 26 13:50-15:30	野々市町立野々市小学校	5年生	27名	
28	2009. 11. 27 10:40-12:20	野々市町立野々市小学校	5年生	27名	
29	2009. 11. 27 13:50-15:30	野々市町立野々市小学校	5年生	27名	
30	2009. 12. 1 10:35-12:15	金沢市立材木小学校	5年生	34名	
31	2009. 12. 2 10:35-12:15	金沢市立西小学校	5年生	31名	
32	2009. 12. 2 13:50-15:30	金沢市立西小学校	5年生	32名	
33	2009. 12. 3 13:50-15:30	川北町立橘小学校	5年生	31名	
34	2009. 12. 8 10:35-12:15	白山市立蕪城小学校	5年生	36名	
35	2009. 12. 9 10:35-12:15	白山市立蕪城小学校	5年生	35名	
36	2009. 12. 9 13:50-15:30	白山市立蕪城小学校	5年生	35名	
	中学生サイエンス教室				
1	2011. 2. 22 13:40-15:20	珠洲市立宝立中学校	1-3年生	48名	
2	2011. 12. 13 13:40-15:30	能登町立柳田中学校	2年生	26名	

