

科学教育を通じた国際交流 —物質の不思議体験教室—

東京外国語大学留学生日本語教育センター
道脇綾子

1. はじめに

小中学生の理数科の成績が世界の中で低下しているというニュースは、教育政策の失敗を認めようとしないうる文科省を動かすものであった。ゆとり教育というあいまいな言葉で示された方針によって、ここ十数年の初等教育は迷走している。

文科省は理科離れ対策のために大学が地域貢献として小中学生に対する理科教育を実施する場合に予算を振り分けている。当センターがこの事業に応募した平成14年度、平成15年度は文科省生涯学習政策局による募集であり、センターの企画が採用され、文科省から東京外国語大学にこのための予算が配分された。これは、当センターの特色である留学生教育を日本人にも体験させることである。初年度、次年度に実施した当センター留学生と中学生とのものづくり教室—物質の不思議体験教室—について考察し、報告する。

なお、この論文は日本総合学会2005年度春季大会で発表した原稿⁽¹⁾に加筆したものである。

2. プログラムの目的

東京外国語大学では、当センターに文科省による理科離れ対策に対応した、予算を配分して今年で4年目である。この予算執行に際してつけられた最初の条件が、「必ず留学生が参加すること」というものである。これはとりもなおさず、大学の地域貢献と同時にできる科学教育を通して行う国際交流である。これは本事業を行うにあたっては、結果として出てくる効果であるが、実際には大きな目的になっている。

この事業は、【大学等地域開放特別事業】大学Jr.サイエンス&ものづくりである。その趣旨及び内容について募集案内⁽²⁾から拾ってみると以下の通りである。

1. 事業の趣旨

近年の青少年の「科学技術離れ」、「理科離れ」、「ものづくり離れ」及び「技能離れ」などに対応するため、小・中学生の早い段階から、大学等の高度な教育機関において、科学技術や数学などへの興味関心を抱く動機付けを与えるとともに、何かを作り出す喜びや完成したときの達成感等を味わい、プロセスの大切さやものづくりの重要性、技能・技術を身につける喜びを理解してもらうようなさまざまな体験活動の機会を提供する。

2. 事業の内容

① 大学や大学共同機関等の有する高等教育機関の機能等を駆使し、子どもたちに対し、様々な

「科学技術」「理数系」「ものづくり」に関する興味関心を抱くような学習プログラムの提供を行う。

また、その講座には、地域在住の優れた技術や技能を持ったスペシャリストをゲスト・ティーチャーとして大学に招き、子どもたちと接することで、職人の匠の技などが身近な暮らしに関係あることを実感してもらう。

- ② 大学等のコーディネートにより、地域の優れた技術や技能を持ったスペシャリストの職場を訪ね、就業体験を行い、生活に密接したものであることを知ってもらう。

本センターとしては、この趣旨に賛同し、事業内容の①に対応したプログラムを提供するためにこの募集に応募することとした。この中でも「ものづくり」を通して子どもたちの「理科離れ」を防止すると共に自然の美しさ、不思議さを体験させたいと考えて実施したものである。大学で行うこのような事業は1回の催し物で終わってしまうことが多いが、センターでは継続して5回実施する計画を立てた。実施は毎土曜日の午前9時から12時までとする。これはさらに次の目的をも満足するものである。

平成14年度から小、中学校にも取り入れられ、実施されるようになった完全学校週5日制の実施に伴い、週末の土、日あるいは3連休が子どもたちに開放されることとなった。この計画は、開放された週末の土曜日を子どもたちの活動の場として提供できるものである。

3. 本センター物理・化学における教授法

(1) 本センターにおける教授法

30数年にわたって、当センターの理科系の教育目標は、小、中、高、大学、大学院等のレベルにこだわらず、理科系のどんな分野にも対応できる基本的な考え方を養成することである。これまでにセンターでの教授法を日本化学学会^{2), 3), 4), 5)}、留学生日本語教育センター論集^{6), 7), 8), 9), 10)}等で発表してきた。

留学生の専門は時代とともに変化し、多様化している。当センターの留学生は、4月当初はまだ日本語がまったく分からない学生がほとんどであり、1年後には日本人の大学1年生に混じって講義を聴くことになる学生たちである。学生たちの国籍はさまざまであり、教育方法や教育内容、宗教や考え方など学生のバックグラウンドは千差万別である。このような学生を1年間で日本の大学の講義が聴けるようにするために物理や化学の内容を端から教育する時間がないことは明らかであり、また、その必要もないと考えてきた。学生たちは、将来理科系の専門に進むのであるが、全員が工学部に進学するのではなく、医学部、薬学部、農学部、理学部など幅広い専門であり、その中でも細分化されている。したがって、センターでの教育は、日本語で専門の授業が聴けるようにすることはいうまでもなく、このように広い分野にわたる基本的なことを満足させるものになると考えられる。このことから、はじめに挙げたセンターの教育目標が生まれている。

本センターの3学期の物理、化学は、同じ時間帯に学生実験を実施している。留学生はそれまでに考え方を中心にした授業を受けているので、この時期はそれを実際に実験して自分で考えるための期間になる。化学実験で合成した結晶は、顕微鏡で観察し、熱分析やX線回折等の装置を用いて分析し、使用した溶液は粘性や表面張力等を物理的に測定する。これらのデータを持ち寄り、物質について総合的に考察する。その結果、自然の不思議さや奥深さに感動すると同時に、その研究方法をも学んでいる。

(2) 中学生に合わせるのではなく

これまでに培ってきたセンターでの教育方針をこの体験教室でも試みようとして、このプログラムに取り組むこととした。この体験教室のプログラムを見て参加を希望する生徒は、理科系の科目にすくなからず興味を持っているものである。したがって、中学校にはここまで教えてよいという指導要領の制限があるが、ここではそれにはこだわらない方針である。すなわち、指導要領の範囲外の内容についても中学生にも理解できるように配慮しながら進めていくことである。また、内容的にも基本的にセンターで行っている実験と同様のものを提供していくこととする。

4. ものづくり教室プログラムの流れ

本プログラムは、当センターの物理、化学の現職教官が留学生教育のノウハウを地域に解放するものである。そのために、9時から12時までの3時間であるが、毎回、最初の50分から1時間程度は、自然に対するその日のテーマについて、考え方の講義を行うことが特徴である。残りの時間に実験を通したものづくりを行う。

ここで、ものづくり教室—物質の不思議体験教室—におけるプログラムを具体的に紹介する。

第1回目

- (1) コースの説明、自己紹介
- (2) 結晶について
- (3) 溶液を作る
- (4) どんなデザインにする？
- (5) 結晶を育てる準備

第2回目

- (1) 電池のはたらき
- (2) いろいろなものから電池を作る

- (3) 電池の不思議さを体験する
- (4) 水の不思議

第3回目

- (1) 光のはたらき
- (2) 光と電気エネルギー
- (3) ソーラーカーを楽しむ

第4回目

- (1) 結晶の美しさを観測する
- (2) 金が蒸発する？
- (3) 光学顕微鏡、電子顕微鏡で結晶を観察する
結晶の色？ 光学顕微鏡は何倍まで出来る？
電子顕微鏡は何倍？

第5回目

- (1) 結晶の美しさを永遠に保存する
- (2) 永遠に保存した結晶を仕上げる
- (3) 自然の美しさと素晴らしさ

初年度第1回ものづくり教室から次年度第2回までのプログラムの中心は以上の通りである。第2回ものづくり教室は、参加者^{註1}の中に前年度に参加した生徒がそのまま続けて参加してきたために、新たにこれ以外に別枠のプログラムを追加した。しかし、はじめて参加した生徒のためには、第1回のプログラムから進めた。翌年も続けて参加した生徒のために追加したプログラムは以下のコースである。

第1回目に参加した人は、このコース（上記第1回目～第5回目）をより深く探求するか、環境コースあるいは自由研究コースから選ぶことができる。

○環境コース

- ・きれいな水
- ・汚い水
- ・汚染された土など

○自由研究コース

環境コースの内容は、環境問題に目を向けた実習で、センター近くの多摩川に出かけて実習した。このときはセンターの移転を控えていたために、この教室を8月末から9月末にかけて実施した。

5. ものづくり教室—物質の不思議体験教室—プログラムの展開と考察

このプログラムにおいてもセンターの授業と同様に結晶を作ることを取り入れている。安全性と子どもたちに身近であることから結晶は、NaClを使用した。ここではこの結晶を水に溶かして、飽和水溶液から再結晶により結晶をつくり、成長させるものである。そこで、第1回目のテーマは、

「物が水に溶けるってどんなこと？」

ということになる。講義といっても一方的にこちらの言い分を伝えるのではなく、常に子どもの考えや留学生の意見を取り上げながらディスカッションを通して、物の見方や考え方を検討していくものである。最初は恥ずかしそうにしている中学生であるが、教官のリードにより、これまでの経験や自分の考えを発表し出す。このとき、留学生は溶解について既に学んでいるために、それにとらわれた意見を言うことが多い。しかし、中学生にはそれがないうために純粋に溶けることに考えを集中することが出来るため、そのプロセスを頭の中で思考していくことが出来る。中学生のユニークで本質を突いた発想に、留学生も刺激を受け、改めて考え始める。このような講義の後で、留学生と一緒にNaClの飽和水溶液を作る作業を始める。このとき、溶液をよく観察するとダイヤモンドダストのようにきれいな結晶が見えることを伝えて観察させる。

その前に、おしゃべりしながらワイヤーに糸を巻いて、それを使って自分の好きなデザインに形作り、結晶成長させるための準備をしておく。糸の巻き方に個性が出るし、形作りもワイワイ言いながら自分のデザインを決めている。個性的なデザインや凝ったもの、また良く似たデザインのものなどが次第に出来上がってくるのは楽しみである。

第2回目は電池を取り上げている。ここでのテーマは、

「なぜ電流が流れるの？」

ということである。難しい専門用語を用いずに、中学生にも理解できるようにリードしていくことはなかなか難しいことであるが、松井教官は巧みに留学生教育の実績を踏まえてこの難問をクリアしている。このテーマは中学校でも実験しているが、「なぜ電気がつくのか」という生徒が一番興味を持つことは、指導要領で指導してはいけないことになっているところである。そのため、ただ事実だけを見せて、その原因について考えさせることな

く、これを暗記させて終わりになる。若くて吸収力のある柔軟な中学生の頭には、これほど面白くない理科の授業では、理科離れが起きても不思議ではない。ここでは、なぜ電気が流れるのか、電子やイオンという言葉を使わないで想像力を働かせ、そこに何かがあるらしいということを考えさせている。さらに、ダムで発電できるのはどうしてか、川の水が流れる理由などから、そこに何か差があることが重要であることに気づかせることが出来る。

その後、中学生と留学生の共同実験が始まる。この実験で普通に使われているみかんやりんごばかりでなく、これは電気が流れないだろうと考えられるような材料も準備しておく、どのような性質を持ったものがよく電気を流すことができるのか、自分で考えていけるように工夫しておく。実験終了後に、自分たちの実験結果を発表し、そこで重要なことが何であるかを気づかせている。

この回の楽しみは、果物や野菜などの実験材料を実験終了後に始末することである。つまり、バナナ、りんご、みかん等、そのまま口に入れて処分できるものを楽しく味わいながらお腹に収めることである。このときにはお互いに相手の気持ちを考えて、自然にみんな仲良く分け合っているのがほほえましい。

第3回目は光と電気について取り上げ、ソーラーカーで遊ぶ。ここでのテーマは、

「光ってなあ〜に？」

ということである。この質問に対して何を答えていいのかわからないようであるので、逆に質問してみた。「もし光がなかったらどうなるの？」

この教室も3回目になっているので、難しい答えを要求されていないことに気づいて、ぼちぼち答えが返ってくるようになり、太陽光にはいろいろな働きがあることに気がつく。

誰でも雨上がりの空に現れるきれいな虹を思い出すことができる。光はいつも透明なのに、虹のようにいろいろな色に分けることが出来る。虹の色以外に赤外線や紫外線もあり、太陽光は虹の7色だけでなく、それ以外の光も混ざっていることに気づく。絵の具は色を混ぜると黒くなるが、光は混ぜても黒くならず透明になってしまう不思議なものである。水面の波は石を投げたときに出来る波とさざ波は違う。その違いは山と山との間の長さに違いがあり、これを波長ということを教えて、虹の7色の違いを連想させる。

ある種の結晶に光を当てると電気が生まれることがある。光は電気を作ることもできることを確認するために、ソーラーカーを使った実験をする。実験室で実際に動かそうと組み立てても、ほとんど動かない。そこで外に出て同じことをする。この場合に太陽光のところではうまく車が走るが、日陰になると止まってしまう。初めはコツがわからず、自分の影が邪魔をして車が走らなかつたりしている。そのうちに、夢中になって、太陽電池の

接続方法を変える等、いろいろと工夫して競争をしだす。このように楽しみ、遊んでいるうちに、日陰や実験室内のように光が弱いところではソーラーカーは動かないが、日が当たっているところは何か違うことがあることに気がつく。しかし、生徒たちは日が当たっているところは温度が高いため、エネルギーが高いからソーラーカーが走るのだと考えているようである。そこで、電気スタンドの白熱電球で走らせて見ようと声をかけた。その結果、温度が高くてもソーラーカーはほとんど動かないことがわかる。このことから、温度が高い、すなわちエネルギーが高い、だから車が動くということではないことに気がつき、何か不思議な世界にひきつけられる様子である。ここで結論を知らせる必要はなく、このような経験を重ねることに意義があるといえる。

第4回目は結晶を観察する。したがって、ここでのテーマは、

「目に見えないものを観るにはどうする？」

ということである。この質問には常識的に、「顕微鏡で見ればいい」との答えがすぐ返ってくる。しかし、例えば「ビーカーの中の水を観察してその水の様子を描け」といわれるとみんな面食らい動揺する。透明でいつも同じように見えることでもよく観察するとその違いがわかってくる、あるいは想像力を働かせて考えるようになる。空気との境界やビーカーに接触しているところの水と水に囲まれた水は同じだろうか、何となく同じではないことにはすぐ気が付く。しかし、これをスケッチしなさいといわれると非常に困る。

目に見えない非常に小さなものならば、顕微鏡を使えば大きくしてみることが出来る。しかし、結晶の中までは簡単に見ることが出来ない。センターにある装置を使ってみるとすれば、走査顕微鏡とX線回折装置がある。ここでは、走査顕微鏡で結晶を観察することにする。試料は、学生が自分たちで作った炭酸カルシウムを観察する。準備として、結晶に金を蒸着する必要がある。「金を蒸気にするとどんな色になるか？」この質問には、「金が蒸発するの？」という逆の質問がよくある。いろいろな予想が出てくるが、すぐにそれらの考えが違うことが分かる。目の前に金の蒸気が立ち上がると一斉に感動する声が聞こえてくる。それからみんな一斉に携帯電話をかざして写真を撮る。そこには薄く赤みを帯びた紫色の金の蒸気が柱状に見える。誰でも、予想もしないきれいなものを見ると感動するものである。この様子は留学生も毎年同じようにくり返している。

金属が蒸発するとか、金属が入っているのに透明であるなど、思いもよらない質問には簡単なことでもなかなか答えが出ないことがある。新しい研究課題は意外と身近で素朴な質問や発想の中にあるようである。

第5回目は作った結晶を保存し、自然の美しさと素晴らしさについて考える。ここでのテーマは、

「美しさは苦しさ」

これはどのようなことだろうか、説明が必要である。昔から宝石は女性が好むものであると同時に権力の象徴でもあった。それは宝石が美しいだけでなく、普通の石のようにどこにでも転がっているものではなく、貴重なものであることによる。多くの宝石は結晶である。この美しい結晶はどのように出来るのかを考えると、このテーマの趣旨がわかってくる。

例えば、水の結晶は雪や氷である。雪の結晶は、形や大きさがいろいろあり、同じものは無く、とてもきれいである。雪は寒い冬に出来るが、この結晶を作る分子にとって、この温度はどんなものであろうか？自然の中では、原子や分子にとって一つひとつばらばらでいるよりも、幾つか集まっている方が安定して存在することが出来る。これらが結びつくときを考えると、簡単にはいかない。これまでの状態のままでは結びつくことができない。自分の持っている何かを捨てる、あるいは何かを取り込むことによって相手とバランスをとり、はじめて結びつくことが出来る。何かを捨てたり、取り込んだりすることによって、周りの環境がこれまでと変わり、安定するまでは居心地の悪いものになる。その過程を経てはじめてきれいな結晶に成長することが出来る。この変化は、分子や原子にとって結果的に苦しい状態であると考えられる。例えば雪は、寒い冬でも結晶化するために灼熱の地獄を通過して、はじめて美しい結晶になっているのである。雪や氷ばかりでなく、宝石のような結晶や金属の結晶でも苦しい状況を通り越しているのは同様である。

このものづくり教室のように子供たちが実際に自分の手や体を使って、理科実験やものづくりを通して受けた感動的な経験や作り上げた達成感・満足感は、いつまでも忘れないものであり、その科目を好きになるきっかけを作ることが可能であり、実際にそのような感想を持たせることが出来た。実験結果や講義の内容を全て理解させる必要はなく、参加した生徒や学生それぞれが自分の程度に応じて理解し、興味をもてれば十分であるといえる。大切なことは、この教室に参加して楽しかったという感想を持たせることができるかどうかである。学校とは違い、どれだけ理解しているか、覚えているかをチェックする必要がないために、子どもたちは興味あることに対して自由に、のびのびと体験できることが大きく関与していると考えられる。学校で行う実験は楽しいが、他方でそれがどうであったか後で試験があるために、嫌いになっている可能性もある。初年度の教室に参加した中学生全員が、最後の第5回目に漏らした下記のような言葉がそれを物語っている。

「もうこれで終わりなの！」

「来週からは楽しみがなくなってしまう！」

「もっと続けてほしい！」

「来年もまた来るから、必ずこの教室を開いて！」

この教室のもう一つの目的である国際交流については、当センター1年コースの学生^{注2}が参加することによって、単なる理科の体験教室とは異なるユニークな教室として目的を達成することができた。理科離れ防止や週末、放課後行われる子どもの居場所提供を目的とした理科実験を行う大学は増えつつある。しかし、外国人学生と日本人との国際交流に理科実験を通して行っているところはほとんどない。残念なことはこの教室に参加する生徒の人数が限られていることである。

このプログラムの実施状況を写真で示す。写真1は初日の結晶作り、写真2は電池の実験、写真3はソーラーカーを楽しんでいるところである。写真4は第2回ものづくり教室における多摩川での実習の様子である。写真5は作成したデザイン上に成長した結晶である。

6. まとめ

本プログラムは、5回全部参加できることを条件としたために参加した中学生は初年度が3名であり、2年目が8名であった。留学生の参加は、それぞれ12名、10名であった。中学生の参加は、2年目は行事が理解されたために増加したが、全部出席できることという条件は、週末に課外活動等があるため非常に大変であることが理解できた。

中学生と留学生が理科実験を通して国際交流をすることは非常に珍しい活動であり、日本人が外国人と考えている欧米など特定の外国だけでなく外国人という国際感覚を生徒が経験できることは意義のあることである。

謝辞

このプログラムは、松井信行東京外国語大学名誉教授の現役時代に物理・化学が協力してはじめたものであり、退官後の現在もボランティアとしてご協力いただき開催しているものである。この論文をまとめるにあたり快くご承認いただばかりでなく、ご協力、ご助言をいただきました。ここに記して心より感謝申し上げます。

7. 参考文献

(1) 道脇綾子「科学教育を通じた国際交流—自然の不思議体験教室—」日本総合学術学

会2005年度春季大会（神戸大学）（2005）

（2）「大学等地域開放特別事業 大学Jr.サイエンス&ものづくり」 文科省生涯学習政策局 平成14年度

（3）松井信行・道脇綾子「科学的思考力を養成する科学教育—均一・沈黙法における不均一反応—」日本化学会東北地区化学教育研究協議会（2004）

（4）松井信行・道脇綾子「科学的思考力を養成する科学教育—自然のすばらしさから思考力へ—」日本化学会東北地区化学教育研究協議会（2003）

（5）松井信行・道脇綾子「電場反応における科学教育」日本化学会東北地区化学教育研究協議会（2000）

（6）松井信行・道脇綾子「均一・不均一の科学」日本化学会東北地区化学教育研究会（1999）

（7）松井信行・道脇綾子「科学的思考力を養成する科学教育—均一・沈黙法における不均一反応—」『留学生日本語教育センター論集31号』東京外国語大学（2005）

（8）松井信行・道脇綾子「電場反応における科学教育」『留学生日本語教育センター論集27号』東京外国語大学（2001）

（9）道脇綾子「物理・化学を融合した科学教育（1）物理教材について」『留学生日本語教育センター論集22号』東京外国語大学（1996）

（10）松井信行・道脇綾子「留学生の科学的思考力を養成する科学教育について（その9）—不均一反応を利用した炭酸カルシウムの合成—」『日本語学校論集17号』東京外国語大学（1990）

（11）松井信行・道脇綾子「留学生の科学的思考力を養成する科学教育について（その6）—合成化学における新しい試み—」『日本語学校論集16号』東京外国語大学（1988）

8. 注

1) 募集対象は府中市立中学校在校生である。初年度参加者は3名、次年度参加者は8名であった。

2) 参加留学生は当センターの1年コースに在籍する留学生であり、学生たちの出身国はタイ、スリランカ、カンボジア、ベトナム、マレーシア、ブルネー、ブルガリア、オーストラリアである。初年度参加者は12名、次年度参加者は10名であった。

9. 資料写真



写真1



写真2



写真3



写真4

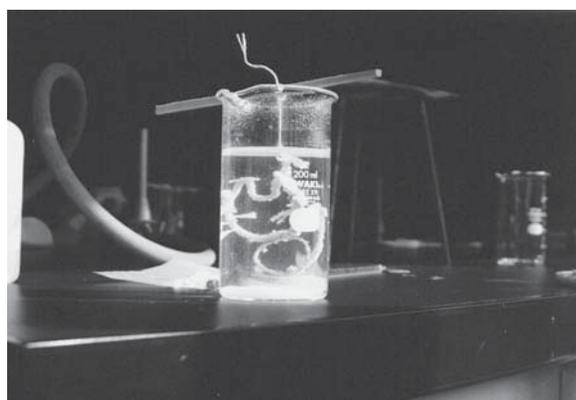


写真5