

# 楽しい光学実験

櫻田 安志

## Enjoying Optical Experiments

Yasushi SAKURADA

In recent years, it is said that Japanese students are learning less and less and are losing interest in science. On the other hand, a great many children participate in and enjoy activities involving scientific experiments. With these factors in mind, our department has been involved in science education activities in the Kushiro area. That is, conducting classes at junior high schools and demonstrations at Science Festivals. Originally these activities were meant to be PR for our technical college. However, we also found that we could learn important ways of teaching through such educational activities in this regional area. In addition, these experiences have led us to confirm how enjoyable it is to teach optical experiments. In this paper, we present our attempts to apply such experiences to the lectures given at our college. One attempt is to demonstrate an optical phenomenon and encourage the students to take part in the class. The other is to have intellectual interactions with the students during an experiment involving the joint making of optical elements.

**Key words:** optical experiments, lecture, demonstration, experimental learning, interactive lesson

この数年、学生たちの学力低下や理科離れの問題がクローズアップされている。学力低下や理科離れの背景には、教育システムの問題、教育者の問題、現代日本人の価値観の問題など、さまざまな要素があるように思われる。最近では、これらの要素が重要視されてくると同時に、この国の理科教育をみつめなおす現場教師の動きも活発になっている。このような背景の中で筆者らは、中学校への訪問授業、青少年のための科学の祭典（以下、科学の祭典）などへの参加を通して、地域での理科教育活動への協力を行ってきた。もともとこれらは学校のPRとして行った活動であったが、自分の講義方法の見直しという観点からも重要な知見が得られている。そのうえ、この経験は自分自身が光学実験の楽しさを再確認することにもつながっている。本稿では、このようにして地域での理科教育活動で得られた経験を、実際の講義へ活用しようという試みについて紹介する。

### 1. 科学教育ボランティアに参加して

訪問授業や科学の祭典に代表される科学実験教室の講師は科学教育ボランティアとよばれる。科学教育ボランティアの多くは、小中高等学校の理科教師や科学館の学芸員であり、教育現場で活躍するプロの方たちである。近年、学力低下や理科離れが深刻化していることへの対策として、科学教育ボランティアの活動はますます活発になっている。その結果、各地で頻繁に科学実験教室が開かれ、そこには多くの子供たちが参加して、さまざまな形で科学実験を楽しんでいる。そのような中で、筆者らは高等教育機関からの地域協力として科学実験教室への参加を行ってきた。実際に科学実験教室に参加してみると、実験をしている子供たちは生き生きとしており、そこには理科離れという現実は感じられない。また、筆者らが行っている中学校への訪問授業においても、内容の理解度はともかく、子供

たちは実験に関してよい反応を返してくる。

これらの科学実験教室に共通するのは、受講者参加型の実験を行うことが多いという点である。受講者参加型の実験には、デモンストレーションに対して受講者が補助的に参加するサイエンスショー的なものと、ほとんどすべての作業を自分で行う体験実験型のものがある。その両方に共通の傾向として、参加している子供たちの表情には驚きや感動の様子が随所にみられ、さらに実験を通して講師と子供の間で親密な交流がみられている。

さて、科学実験教室で行われている実験を筆者の講義と比べてみると、要求される内容やその水準はまったく異なるものの、筆者の講義方法ははるかにつまらないものであった。特に重要なのは、これまで筆者は学生に対して一方的な講義をしていた点である。これには講義をする側の責任が大きい。すなわち、われわれは学力低下や理科離れを学生側の問題と捉えがちで、自主的に学習をしない学生に対して嘆くことが多い。しかし、その背景には学生が本質的に受身なのではなく、講義を行うわれわれが学生に受身の姿勢で講義を受けさせてきたという事実がある<sup>1)</sup>。この反省のもとで、学生が受身にならないような講義展開をすることが筆者にとって重要な課題となっている。以上の背景から、筆者は科学実験教室の経験を自分の行っている講義に取り入れることを考えた。

## 2. 学生参加型の講義を

筆者らが一番重要と考えたのは、学生が参加できる講義形態である。その中で特に目指したいことは、教師と学生が共同して知的な創造を行うことである。そこで、学生の参加を促すような形での講義をすることを目的として、デモンストレーションを通して学生の講義参加を促す試みや、学生と共同での光学素子作製を通して学生と教師の間で交流をする試みを行った。

### 2.1 1人対多人数で行うデモンストレーション

訪問授業では、10数名から40名程度の生徒を対象にしたデモンストレーションを行うことが多くある。そのような実験の典型的なものとして、大気光学現象の基礎を説明するレイリー散乱実験がある。子供たちには、散乱によって生じる夕焼けの色や青空の色が印象的かつ感動的で、この実験は数ある光学現象の中でも非常に盛り上がる実験のひとつである<sup>2-4)</sup>。教育においては、感動を重視することは重要であるが、このようなデモンストレーションを講義で行う場合には、「すごかった」「きれいだった」という表面的な部分だけでは高等教育で行う意味がないだろう。言い換えると、講義の一部として行うには、そのターゲット



図1 レイリー散乱の観測実験。側方からの散乱光は空の色を再現し、透過光は太陽の色を再現している。白色LEDを使うことで青空の色がはっきりと確認できる。

となる学習項目を明確にし、専門性を盛り込んだ内容にする必要がある。そのため、筆者らはこのような典型的な実験に対しても、独自の工夫をこらしている<sup>5)</sup>。

図1は、光散乱による夕焼けや青空の様子をみせるためのデモンストレーションに、大気の光学的な厚さの概念を組み入れるために、散乱体をユニット化した教材を用いた実験の様子である。この実験を手がかりとして光散乱による気象光学現象の説明を行った。このような実験の発展形としてエアロゾルの影響を実験的に示すこととともに、大気密度を考慮する場合などを考えさせている。また、この実験に併せてエアロゾルの夕焼けへの影響などをプロジェクターで紹介することにより、学生は散乱をより身近な現象として捉えることができる。

このような実験でも演示をするだけであれば、ビデオに録画した映像を視聴させることで対応できるかもしれない。しかし、実験によっては学生にデモンストレーションを手伝わせることにより、教室全体の参加意識を高めることが可能である。また、デモンストレーションにおいて学生たちがコメントを言い出してくれると、それは学生が講義に乗ってきた証拠である。たとえそれが冗談や私語であっても、内容に関係があることであれば、それを糸口として内容を深めたり、盛り上げたり、関連した実験をしてみせることも可能である。

この実験を行うと、学生たちからは、レイリー散乱に関する理論的な扱いに関する質問や身近な気象現象に関する話題、大気成分に関する質問などさまざまな質問がある。筆者は、これらの質問に対して自信のない回答をしてしまうこともあるが、そのときには正直に打ち明けるようにしている。そして、逆に学生たちに課題として与えてレポートを提出してもらうこともある。また、学生から理論的な

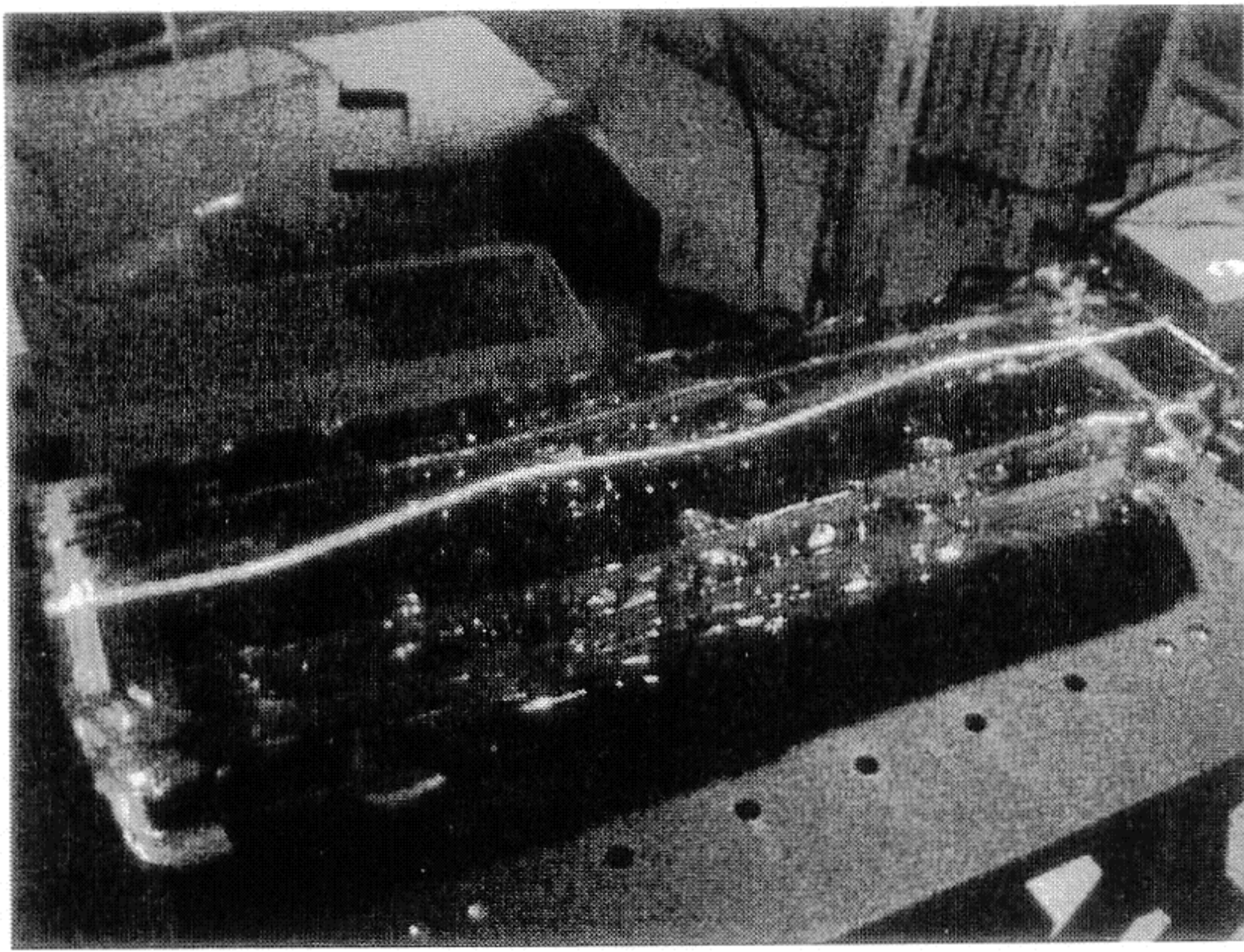


図2 ゼリーで作製した3層光導波路中を進むレーザー光。レーザー光は第2層中で全反射を繰り返して進む。

扱いに関する質問がないときには、随所において理論式の説明や実験式の導出などを行い、高い専門性を維持する必要がある。

もちろん、1人対多人数でデモンストレーションを行うことはよいことばかりではない。デモンストレーションに際しては、周到な準備を行わないと演示者が浮いてしまうことになる。筆者の講義でも、残念ながら筆者だけが空回りして浮いてしまうことも多い。このような場合でもデモンストレーションは講義の導入をする場合、講義にリズムを与える場合には有効である。多くの教官は1時間以上にわたる講義を、教科書の説明を行うレクチャー形式だけで行うことが多い。しかし、過密したカリキュラムでの学生の集中力の問題や、専門性の高い講義の難易な内容によって、長時間レクチャー形式をとるのには無理がある。

## 2.2 グループ作業を伴う実験

体験型の講義として、グループ作業を行うこともときには重要である。特に、学生相互、学生と教官のコミュニケーションをとりながら、グループごとに独自の発想を生かすことができる。そのようなグループ作業として、ゼラチンを用いて光学素子を作製する実験を行った。透過型の光学素子では光の方向を屈折率や形状によって制御するが、ここではゼラチンを用いることで、透過型の光学素子を手軽に実現できる。このようにして作製した素子中の光波伝搬では、ゼラチンによる適度な光散乱によって光路を可視化できる。また、ゼラチンにガムシロップや砂糖を混ぜることによって、その屈折率を調整することができることも興味深い。

図2は、ゼラチンを用いて作製した3層の光導波路中のレーザー光の伝搬の様子である。この導波路は、第1層にプレーンのゼリーを、その上に第2層としてガムシロップを混ぜて作製したゼリーをつくり、さらに第3層として

プレーンのゼリーを乗せたものである。このような実験とともに、光ファイバーや水での導波実験を行ったり、ファイバースコープやイメージコンジットでの像観察実験を行うことで、ともすればブラックボックス化してしまう素子の中の光の様子を知ることができる。

体験型の実験では、失敗経験ができることも重要である。学生たちは正しい答えが大好きで、無駄なことをしたくはない。しかし、実験に際して、自ら工夫をし、自ら判断をして正しく実験を行うわけではない。失敗を無駄なことと考えていて、正しい答えを聞き、間違えないことが重要だと思っている。体験型の実験を通して、うまくいかないのが当たり前であることを知り、うまくいくためにはどうすればよいのかを模索することが重要である。このように、前向きな失敗体験をすることも価値のあることだろう。

## 2.3 光学における実験やデモンストレーションの意義

光学現象の特徴は、その視覚的な効果にある。講義においてデモンストレーションを見せることの意義はおもにそこにある。近年は、プロジェクターが安価になったことを受け、講義室においても画像や映像を簡単に活用することが可能となっている。動画を用いて見せる物理現象のインパクトは大きく、学生の注目度も高い。しかし、このような環境でも、放っておけば学生は受身になってしまう。講義においては、学生を受身にさせないことを意識して、できるだけ参加型の講義スタイルをとる工夫が必要だろう。

筆者らが、講義中にこのような実験を行う理由は、

- 学生が参加する講義、教師と学生が共同してつくる講義
- 遊びの要素を取り入れた講義、楽しく学ぶ講義
- 基礎的な力を育む講義、必要なことを伝え、足りないことは自ら学ぶ講義
- 失敗して、そこから学ぶ講義、トライ&エラーを実践する講義

を目指しているからである。また、学生参加型の講義をすることで、学生の学習意識を高めるだけでなく、実験に学生自身の発想を生かすことが期待できる。大げさにいえば、講義において知的創造を行うことができるだろう。このようなスタイルの講義では、ときには雑談などを交わすこともあるが、これは教師と学生との新しい人間関係づくりにも利用できる。言い換えると、教師（教える人）と学生（教わる人）という人間関係を変化させ、講義において創造的な交流関係をつくることができる。

大学での講義には100人以上の学生が参加することも珍しくない。そのため、ティーチングアシスタントなどの導入なしでは体験的な実験の展開は難しい。しかし、研究室

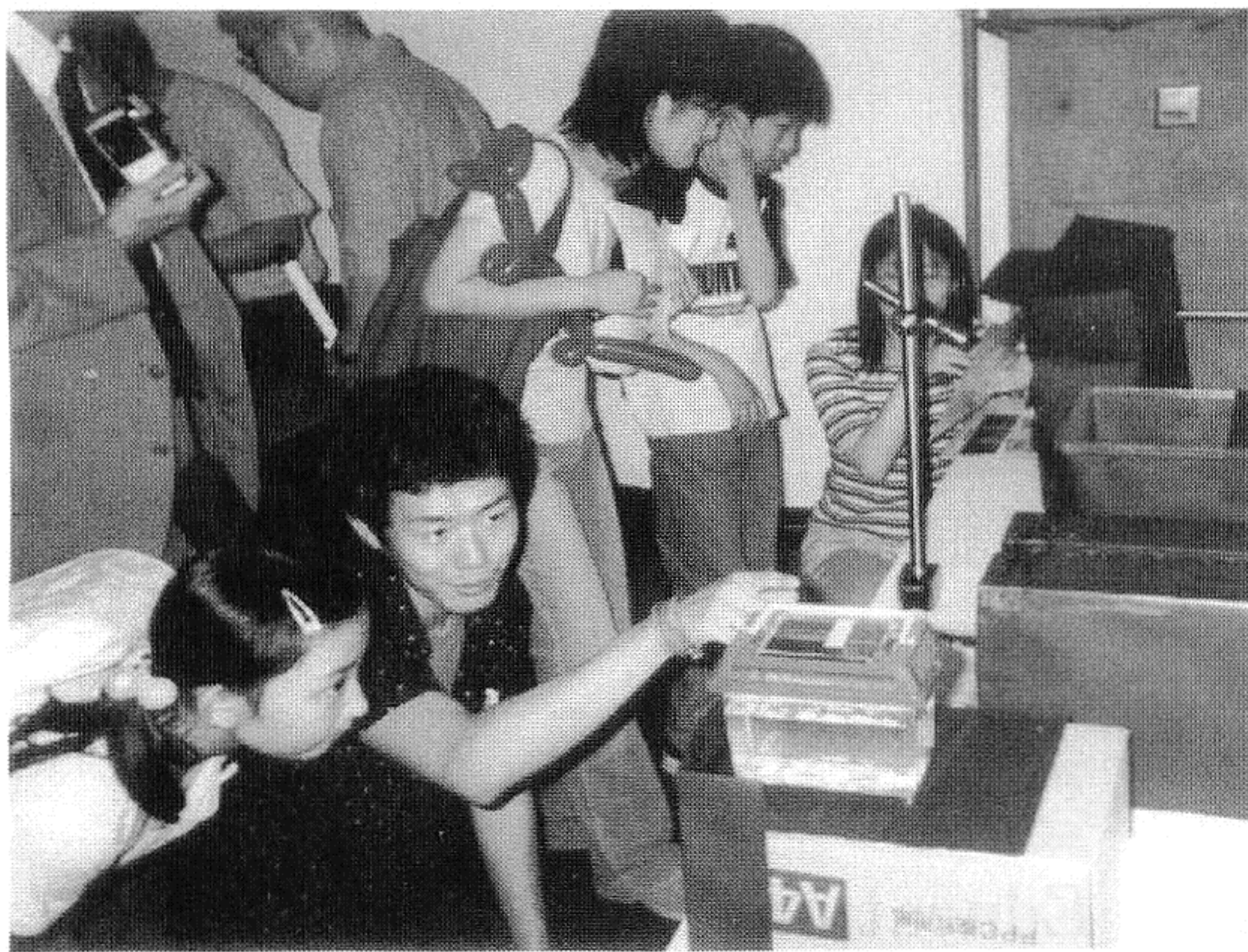


図3 昨年8月に、北大で行われた「青少年のための創造科学実験」の1コマ。

での人間関係づくりや選択科目での実施であれば体験的な実験の展開はすぐにでも可能であろう。もちろん、通常行われるスキルを重視した実験も重要である。まずは、学生参加型の楽しい実験授業を行い、基礎事項の理解、教官との人間関係を育む。このようにして学生の心をこちらに向ける。そして、スキルを重視した実験を行い必要な能力をさらに育む。これが筆者らの目指す実験教育の姿である。

### 3. 今後の取り組みとその広がりについて

図3に示すように、上述の取り組みによって作製された教材は、その原点ともいえる科学実験教室においても活用されている。現在、科学実験教室では自然現象の原理に基づく教材は数多く作製されているが、専門教育に直結した内容をわかりやすく説明する教材は多くはない。今後、筆

者らは専門教育に利用するために、さらに多くの教材を作製し、公開していきたいと考えている。このような教材は科学実験教室でも歓迎されるだろう。その一方で、科学実験教室では教育技術に関して小中高の先生方から学ぶべきところが多い。そのため、今後も科学実験教室に積極的に参加し、教育技術に関する交流を深めたいと考えている。

高等教育は縛りのない世界であるため、自由な発想を講義に持ち込むことができる。実験授業は、このような考えで行い始めた試みであるが、いまだに学生たちが主体的に行える知的で楽しい実験にはなっておらず、教官だけが楽しい実験であるのは否定できない。しかし、いつの日にか学生とともに楽しめる実験授業ができるようになりたいと思う。

### 文 献

- 1) 浅野 誠：大学の授業を変える 16章 (大月書店, 1994) pp. 35-41.
- 2) P. Doherty, D. Rathjen and the Exploratorium Teacher Institute: *The Magic Wand and Other Bright Experiments on Light and Color* (Wiley, New York, 1991). 広井 禎, 石崎喜治, 杉木優子, 戸田一郎, 山田達之輔共訳：絵を映す魔法の杖 光と色 (丸善, 1997) pp. 1-5.
- 3) D. S. Goodman: "Scattering," *Optics Demonstrations with the Overhead Projector* (Optical Society of America, Washington, DC, 2000) pp. 6-9.
- 4) F. A. Jenkins and H. E. White: *Fundamentals of Optics*, 4th ed. (McGraw-Hill, Singapore, 1981) pp. 514-518.
- 5) 櫻田安志, 渡辺貴行, 中村 隆：“創造的学習のための教材開発”, 第49回応用物理学関係連合講演会講演予稿集 (2002) p. 471.

(2003年1月14日受理)