

ダイナミックモデルによる身のまわりの現象についての理解 －中学校理科教材「凸レンズでできる像」について－

森下 浩史* 下村 周子* 今田 将志* 原中あゆみ* 内田 太郎*
川里 祥之** 池本 浩幸*** 楠本 正信*** 宮上 和夫****

(平成15年3月15日受理)

An understanding on phenomena we experience daily
based on the dynamic model of the solute in solutions

Hirofumi MORISHITA*, Syuko SHIMOMURA*, Masasi IMADA*,
Ayumi HARANAKA*, Taro UCHIDA*, Yoshiyuki KAWAZATO**,
Hiroyuki IKEMOTO**, Masanobu KUSUMOTO*** and Kazuo MIYAGAMI****
(Received March 15, 2003)

1. はじめに

我々は多くのものに囲まれて生活している。生活していく上で、ものそのものおよびものが示す性質や変化についての理解は、基本的に必要である。ものについては、我々が生来備えている五感を通して把握し認識するのが普通である。学習の場に於いても、生体センサーとしての視覚や触覚などの感覚を最大限に活用して、教育に当ることが基本であろう。

筆者等は先に小学校理科単元「もののとけ方」に関わって、シュリーレン現象が鮮明に観察できるように工夫したいくつかの溶解実験例を示し、粒子のダイナミックな振る舞いを観察させることにより、児童に粒子概念を形成させていく場合の道筋を提案した¹⁾。即ち、もの(溶質)が溶媒に溶ける時、ものが小さいものへと変化していく現象を感覚(視覚)的に観察させたり、ものの巨視的な認識を深めさせることによって、小さくなったものからさらに小さいものになって遂には目に見えなくなった現象について、視認できないほどの微小粒子になったもの(デモクリトスが唱えた再分割破片^{2,3,4)}と同等の微粒子)が溶液中に分散した結果であると、児童は推測できるようになると考えた。巨視的な溶解現象に伴って発現する、流動性と透明性を併せもったシュリーレン現象の観察とその考察か

*長崎大学教育学部理科教育講座, **長崎大学教育学部附属中学校

長崎大学教育学部附属小学校, *長崎市科学館

ら、微視的立場から溶解現象を理解させる一手法として、ダイナミックモデルと名付けたモデルを提唱した。

ものについてのより深い認識を得させるために、光についての学習は極めて大切である。また、現代の情報化時代に於ける科学技術を支えるエレクトロニクスやオプトエレクトロニクスの基礎として、光についての基本的な理解は不可欠である。

光は感覚的に捉えがたいという点から、光の教材の学習は中学生にとって理解が難しい分野⁵⁾である。最近著者等は、凸レンズの結像の様子を表わす作図がうまく描けない多数の中学生を見掛けた。これは、理科の教科書に記載されている実像や虚像についての図および説明文⁶⁾に欠陥があったからである。光線がレンズの内や外を実際どのように通過するのか⁷⁾、コロイド等を用いた実験でその光の道筋が生徒に見えるように工夫してやれば、この問題は容易に解決できる。またこの場合には、光と微小粒子との相互作用（この場合には反射）を実際に視認させることができることから、光というエネルギーと物質（微小粒子）との関係を見い出させ得る学習の場を生徒に提供できることになる。以上の観点から、中学校理科教材「凸レンズでできる像」の学習の中に、ダイナミックモデル（溶質粒子の溶解モデル）を組み込んだ実験を試行錯誤しながら模索してみたので紹介する。「凸レンズでできる像」教材における、光線の作図⁸⁾の学習についての議論の端緒になることを切に望むものである。

2. 光について

可視光域の波長は約700 nm ~ 400 nm であり、太陽光や白色光ではこれらの波長を持ったいろいろな光が混在している。このことは、鳥の羽毛を太陽光にかざしてみたり、または目をすぼめて自分の睫毛で、太陽光（可視光）を分光すること等により簡単に知ることができる。光の伝播速度は真空中で約30万 kmである。光と空気とは殆ど相互作用しないので、空気中での光速は真空中のそれとほぼ同じである。水中の光速は約22.5万 km、ガラス中では大体20万 kmである。これは光の電場と、水やガラスを構成している原子や分子などの電場とが相互作用するからである。この結果、光速は真空中の場合よりもこれらの相互作用に応じて遅くなる。このことが原因で、光は媒質間における境界面で屈折現象を示す。電場同士の相互作用は温度や波長によって当然変化する。従って、屈折率も温度条件や可視光の波長によって変化する。白色光が屈折時に分光される様子を強調して、図1に模式的に示した。

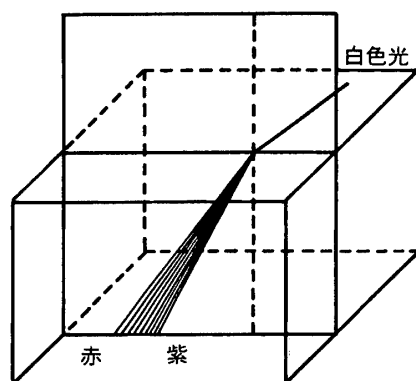


図1 白色光線の分散の様子

3. 中学校理科教材「凸レンズでできる像」について

中学1年生で光について、反射，屈折，光の直進性，レンズで像ができること等を学習する。また，凸レンズ（虫めがね）を用いた実験や観察を通して，焦点距離と像のでき方の関係や結像に関する作図法（図2～5）を学習する。図2，3，4はそれぞれ媒質1と媒質2における球形屈折面の実焦点および実像を表わす。図4の作図は次の1) 2) 3)の内容を表わす。1) 屈折面の曲率中心Oへ向かって進む光線は真直に屈折表面を通過する。2) 平行な光線は屈折して焦点F2を通る。3) 焦点F1を通る光線は屈折して平行な光線となる。

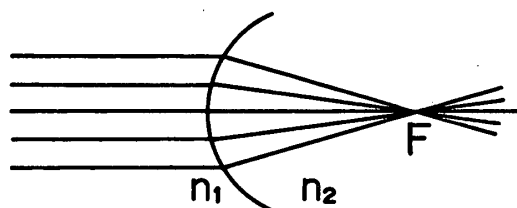


図2 球形屈折面の実焦点（F:焦点） n_1 :媒質1, n_2 :媒質2

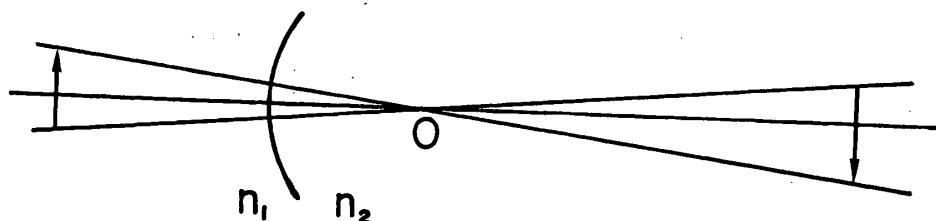


図3 球形屈折面によって作られる物体像 n_1 :媒質1, n_2 :媒質2

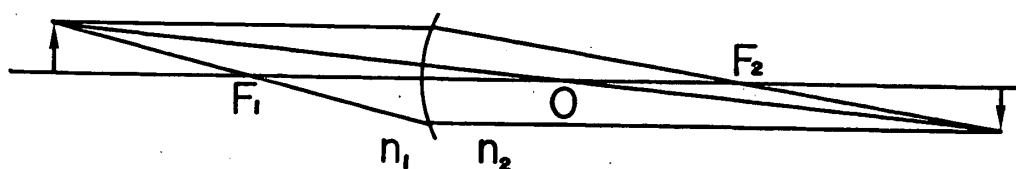


図4 球形屈折面によってできる実像の作図（F:焦点） n_1 :媒質1, n_2 :媒質2

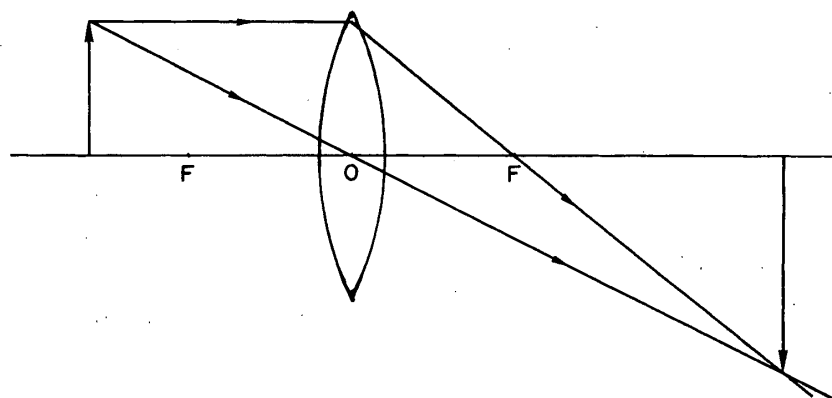


図5 凸レンズによってできる実像の作図（F:焦点）

凸レンズを通して結像した実像はスクリーン上に映し出すことができる。しかしながら、光源から出た光が媒体中をどのように伝播するのか、凸レンズ内を通過して、またどのようにして像を結ぶのかは視覚的に認知し難い。そのために、生徒が深く確かめもせず、教科書に記載されている図、説明や作図の方法をそのまま鵜呑みにするだけの、受け身の学習に陥りがちになることを心配する。

学校で普通行われているガラス厚板を用いた光線の屈折実験⁹⁾から、境界面での光線の屈折(図6)を学習した生徒には、図7の①に波線で示したレンズの中央で屈曲する光の道筋については、理解できないにちがいない。凸レンズの左半分と右半分の材質が異なっていない限り、レンズの中央で光線が折れ曲がることはないからである。また、図7の②に波線で示したレンズの中心点に向かう光線については、生徒だけでなく誰もがこれは正しくないと思直観的に考えるであろう。凸レンズの中心点を通して光が直進できる条件は、光線とレンズ表面が垂直になるとき、つまり、レンズが球の場合のときだけである。

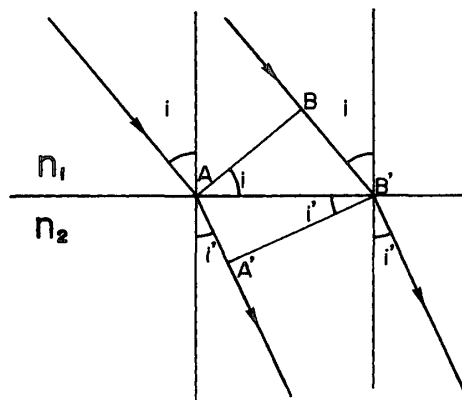


図6 境界面における光線の屈折 ($n_1 < n_2$)

i : 入射角, i' : 屈折角

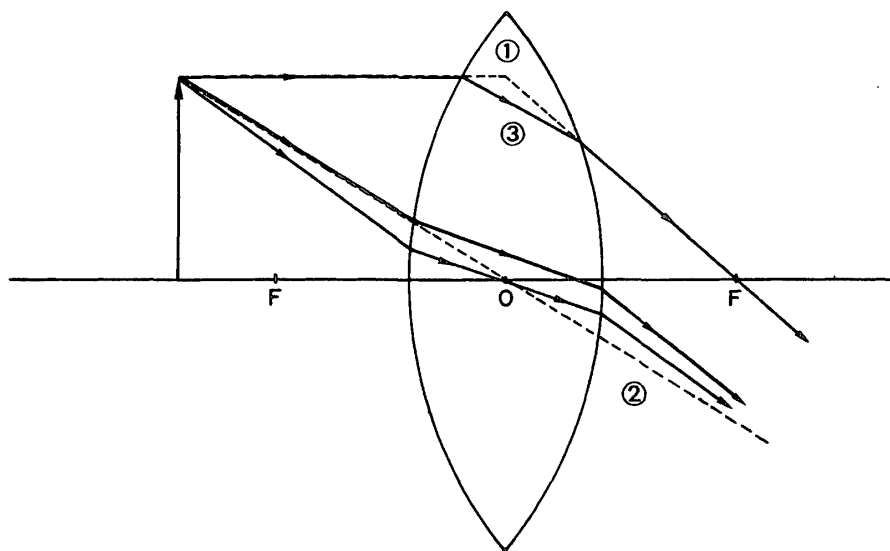


図7 凸レンズにおける光線の屈折

波線①, ②は教科書の作図で用いられる光線の道筋

図8, 9に、アクリル樹脂製凸レンズのシリンドリカルスモークレンズ（中村理工工業製、 $\phi = 50\text{mm}$, $f = 50\text{mm}$ ）に横方向（厚み方向）からレーザー・ポインターでレーザー光を照射した場合の光の道筋を示す。図8は凸レンズに対して平行光線を照射した場合を示した。凸レンズ内を通過する光線は当然ながらレンズ表面で屈折した後、レンズ中央で折れ曲がることはない。図9はレーザー光を凸レンズの中心点に向かって照射した場合を示した。斜めから発射されたレーザー光線はレンズ表面で屈折するので、光線は凸レンズの中心点上を通ることはない。教科書で示している図7の①, ②の光の道筋⁶⁾は、実際の光が凸レンズを通過する光線とは異なる。この光の道筋は飽くまでも、実像に光が集光することを示すために便宜的な方法で表わしたものである。従って、本教材内容の作図の学習を行なうに当たっては、「結像の様子を作図という手法で便宜的に表わす」ということの説明を、教師は生徒に一言付け加えるべきである。

本学部理科教育専修の院生に実施されている授業科目「実践授業研究」の教育の一環として、長崎大学附属中学校1年生の生徒に対して、「凸レンズでできる像」学習教材に関連した授業を現著者の院生が担当した。この際、生徒の中の相当数は凸レンズによる結像の作図を、配布された学習シート上にうまく描けないでいた。これは、平行光線がレンズを透過する場合、教師側が予想していた作図（レンズの中央で光線を屈折させるとした作図）とは異なって、これらの生徒は図7の③に実線で示したように、その光線は入射時にレンズ表面で屈折すると正しく考えたことが原因であった。凸レンズの光の屈折に対するこれらの生徒の考え方は正しかったにもかかわらず、その直後、教える側の思惑通りに教科書に示されていたのと同じ作図に書き改めていた。教わる生徒たちも教える側も共に、教科書に記された教条的な作図法を、この場面では了解していた。しかしながら、筆者等はこの学習局面での、教科書に添った教え込

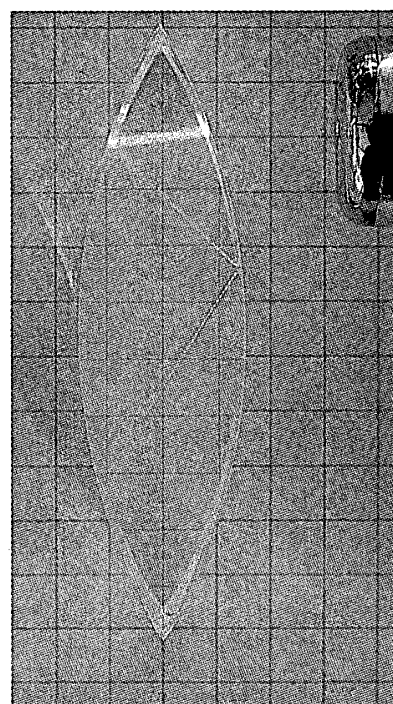


図8 平行光線に対する凸レンズ内における光の道筋



図9 凸レンズの中心点に向かう光線に対する光の道筋

み方式には無理があったと感じた。また、生徒自らによる探究心の育成を如何にするのかという、教育指導面での課題が浮き彫りにされたと感じた。

光の不思議さや、凸レンズによって像ができる¹⁰⁾ことの驚きや神秘さに目を見はる生徒の感性や主体性を、一体どのようにして教え育てていけるのであろうか。生徒自身の感覚では捉えきれない「みれない」「さわれない」世界を感じ取れるようにさせるためには、「みれる」「さわれる」世界の中で全力を注がせて主体的に感性を磨かせること、即ち、「みれる」世界を通して「みれない」世界を強く感じさせることが大切である。このような学びの中で、自分自身を鍛え自分で発見することが、教科書や教師による教義以上に大切なことだと考える。この発見の喜びが、さらにまた生徒の感性と主体性を引き出すことに繋がると信じている。

4. 中学校理科教材「凸レンズでできる像」へのダイナミックモデルの適用について

光の道筋は、光源から見て箱の前面に小孔をあけ、側面に透明な膜を張った暗箱に線香などの煙を充満させてやれば、簡単に観察できる(図10)。同様な方法で、水槽と懐中電灯などの光源および牛乳などがあれば、光の道筋を観察することができる。今回は、水槽の前方に懐中電灯を置き、水槽の前面に凸レンズとダンボール紙で作った円孔をセットし、水槽の側面から観察をした。図11に水槽中の水に牛乳を加えた場合の懐中電灯の光の道筋を示す。砂糖水を加えても水槽中の光の道筋は観察できないが、牛乳を数滴を加えると、光の道筋がくっきりと明るく見えてくるようになる。水槽の後方に立てたスクリーンに、水溶液を透過してきた光のスポットがこの時点までは明瞭に観察されていたが、さらに牛乳を加えた場合には、水溶液中の光の道筋の周辺までもが輝くようになり、光の道筋は不明瞭になってくる。同時に、水槽後方のスクリーン上の透過光のスポットの明るさは減少する。



図10 暗箱中の光の道筋

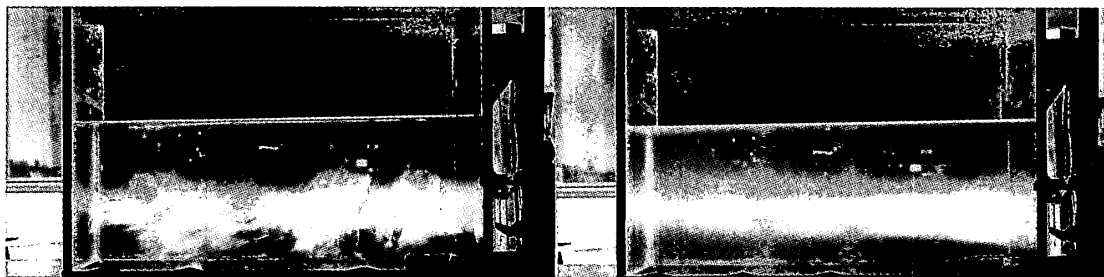


図11 牛乳が入った水槽中の光の道筋 左側：攪拌前、右側：攪拌後

光の道筋は、多数のほぼ同じ大きさの牛乳の小さな粒が懐中電灯の光を反射することにより、出現するものであることが見て分かる。光の道筋をよく観察してみると、この光の道筋の中で牛乳の小さな粒は常に動めいている。この状況において、図11右側の写真に示している均一になった水溶液をさらに激しく攪拌しても、光の道筋の様子及びその明るさに変化は見られない。また、光線の方角を上下左右何れの方角に傾けて変化させても、透過する光線の様子に何ら変化は見られない。この観察から、生徒は溶質が溶媒中に溶解した場合の、溶質粒子の均一分散状態のモデルを、イメージ化することができると考える。

図11左側の写真では、水槽中へ牛乳を注いだ直後の光の道筋の様子を示している。牛乳の集合状態の様子は、光の道筋とは別に白く光り輝き、絶えず動めきながらその姿を刻々と変化させていた。これらの事象は、まさに溶質が溶媒中に溶け出したときのシュリーレン現象のダイナミックなイメージそのものである。これらの不均一な牛乳粒子の集合状態は、経時変化あるいは機械的な攪拌操作等による拡散によって、エントロピー的に安定で均一な粒子の分散状態へと移行する。

透明な下敷きやラップなどに水滴を落したもののでも、虫めがねの代用品になる。凸レンズ型水レンズが市販されているが、凸レンズ型水レンズとしては試験管（図12）、アクリル管（図13）、大小2枚の時計皿を組み合わせたもの等でも代用できる。シリンドリカル凸型の水レンズも簡単に自作できる。2枚の透明な下敷きの端どうしを貼り合わせ、これをアクリル板などの上に接着剤で固定し、これに水を入れると出来上がる。もっと簡単には市販の透明な洗剤容器が利用できる（図14）。図15では透明な洗剤容器の横方向からレーザー光を照射した場合の光線の様子を示した。

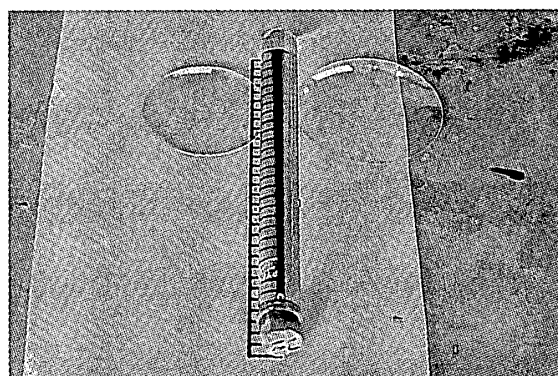


図12 凸型水レンズ（試験管）

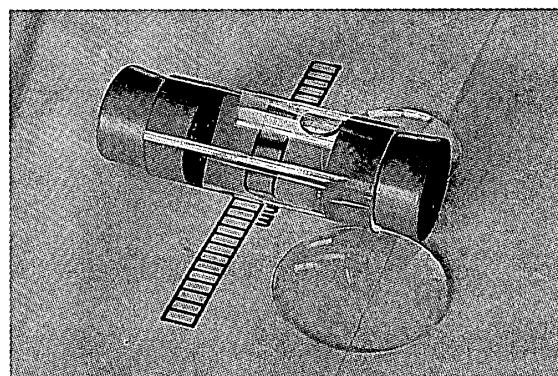


図13 凸型水レンズ（アクリル管）

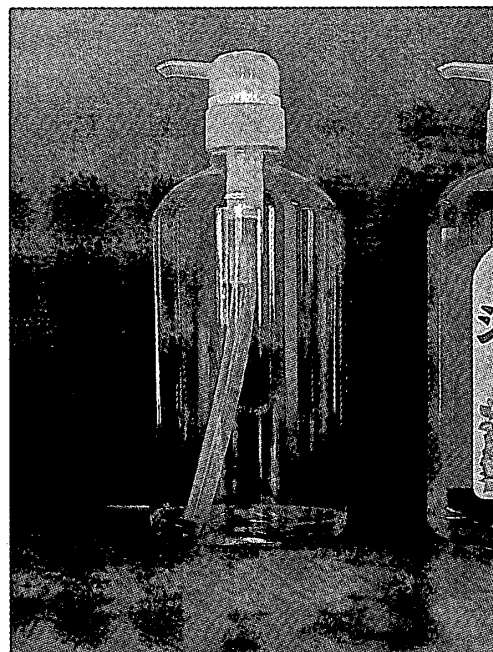


図14 凸型をした洗剤用透明容器

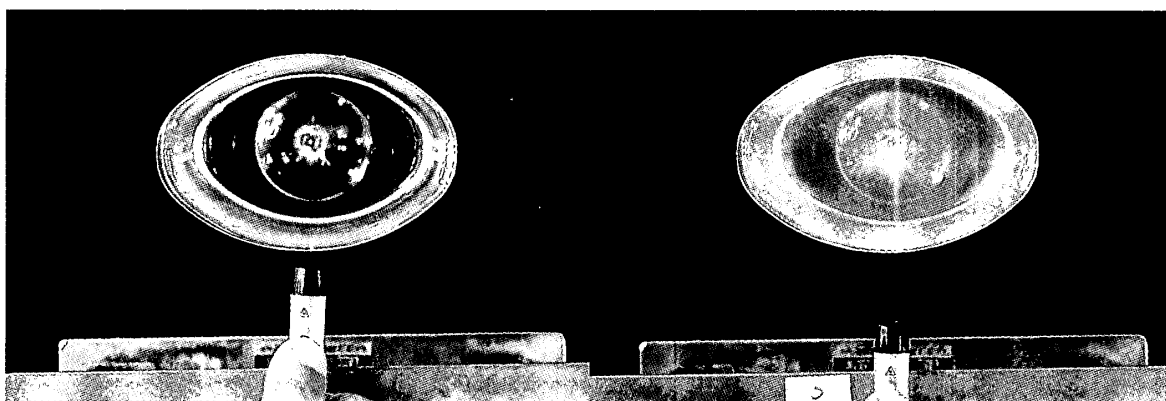


図15 凸型をした洗剤用透明容器とレーザ光 左側：水，右側：牛乳水溶液

図16, 17はシリンドリカル凸型水レンズの上部にティーバッグをつるした場合の装置図と写真である。このティーバッグの中に入浴剤や石鹼などのコロイドの性質を示すものを入れておくと、スモーク製の水レンズを作ることができる。暗箱の中に置いたこのスモーク製水レンズのセットに外部より光を当てることにより、凸レンズによる光の道筋が確認できる（図18）。また、入浴剤等はダイナミックに拡散現象を示しながら経時的に溶解するので、溶質が溶解するときの溶解イメージと重ね合わせることができる。光とコロイド粒子が繰り広げるダイナミックな状況が、光線の明りの中で見て採れる。これらの観察を通して、生徒には溶解現象における「みれない」溶質粒子によるダイナミックな拡散→均一分散過程のイメージが創られていくものと考ええる。

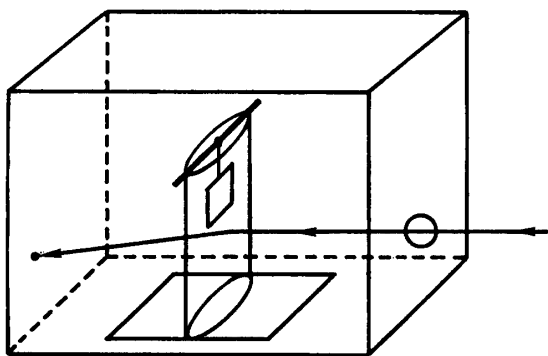


図16 暗箱中の水レンズにおける
光の道筋観察装置



図17 凸型をした洗剤用透明容器による
光の道筋観察装置

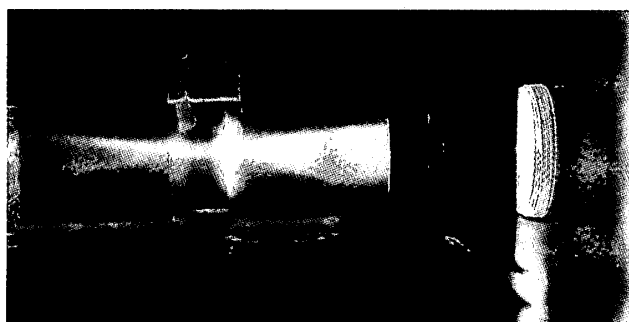


図18 暗箱中の凸型をした洗剤用透明容器と光の道筋

5. おわりに

「みれる」「さわれる」などの直接体験は、生徒たちの身体とところを揺れ動かすであろう。「みれる」「さわれる」の直接体験を通して、「みれない」「さわれない」自然現象に対する価値観や謙虚な態度を創造し、探究心を身に付けさせることが、今の理科教育に求められているように思う。

上に示した光教材への溶質の溶解ダイナミックモデルの適用例は、透明な光の道筋の検証過程の中から思い付いた実験操作法である。微小な粒子概念を生徒に得させたいがために、溶質として敢えてコロイドを用いて紹介したものである。今回の実験では水媒質に不透明性を示す牛乳や石鹸などのコロイドを添加したが、透明性の高いコロイド（ゼラチンなど）を用いれば、理科教育における学習指導上別のもっと効果的な学習展開が期待されるであろう。

本報告では、凸レンズによる結像の学習に溶解現象の学習を組み合わせることによって、光（エネルギー）と粒子（物質）との関係にも注目させることを、学習の目的の1つとして貰いたいとの願いがある。1つの概念とまた別の概念とが組み合わさって結びつき、さらに概念間のネットワークが形成され、これらが総合されて生徒の感性や主体性が育まれていくことに繋がっていく。これらの有機的な概念の結び合いの中から、自然現象を正しく観る生徒が数多く育ってくれることを切に願うものである。

謝 辞

図10に付随した一連の写真を見た長崎大学教育学部の福山豊教授から「散乱後の懐中電灯の光線が水槽の後方で赤色味を帯びている」ことの指摘を受けた。自然現象が示す理由（ことわり）について、奥行の深さを感じさせて頂くことができた。スモークレンズは環境科学部の後藤信行、富塚明の両教授にお借りした。各種の実験および写真撮影は立山敬啓君（教育学部3年生）の仕事である。上の方々に心よりお礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 森下浩史ほか、教育実践総合センター紀要、第1号、21（2002）
- 2) アイザック・アシモフ著、竹内敬人訳、『化学の歴史』、河出書房新社、21（1971）
- 3) 田中実ほか、『化学の歴史』、朝倉書店、5（1965）
- 4) 都築洋次郎、『化学史』、朝倉書店、57（1966）
- 5) 広瀬正美、理科の教育（東洋館出版社）Vol.41, No.11, 8（1991）
- 6) 三浦登ほか、新しい科学1分野上、東京書籍、13（2002）など
- 7) 厚地大司、理科の教育、Vol.33, No1, 20（1991）
- 8) 石井俊行、橋本美彦、理科教育学研究、Vol.41, No.3, 41（2001）
- 9) 三浦登ほか、新しい科学1分野上、東京書籍、5（2002）など
- 10) 吉原邦夫、科学と実験（共立出版）Vol.32, No.1, 12（1981）