

## 新しい教育法—マイクロスケール化学の現状と課題

荻野 博<sup>1)</sup>・荻野 和子<sup>2)</sup>・猪俣 慎二<sup>3)</sup>

### New Educational Method — The Present Situation and Future Prospect of Microscale Chemistry

Hiroshi OGINO, Kazuko OGINO, Shinji INOMATA

#### ABSTRACT

In 1993, National Microscale Chemistry Center (NMCC) was founded in USA. Since that time, microscale chemistry has attracted considerable attention as a new educational method and has been disseminated worldwide. Microscale chemistry has many merits: Amount of chemicals is reduced; waste is reduced; resources and energy are saved. In other words, microscale chemistry is environmentally benign. In many countries, teaching materials and equipments for microscale chemistry have been actively investigated. The present authors have also developed teaching materials and equipments. However, this new educational method is still unfamiliar in our country.

#### 要 旨

1993年にアメリカでナショナルマイクロスケールケミストリーセンター (NMCC) が創設された。以来、マイクロスケール化学は新しい化学教育法として世界的に注目され、急速に普及してきた。マイクロスケール化学実験は、従来のスケールを大幅に小さくして実験をすることである。こうすることにより、使用する試薬の量の削減、廃棄物の削減、省資源・省エネルギーが達成できる環境にやさしい実験である。現在、世界各国でマイクロスケール化学実験用の教材・器具の開発が活発に推進されている。著者らも我が国に適したマイクロスケール化学の研究や教材の開発を進めてきた。しかし、この新しい教育法はわが国ではまだ十分に普及しているとはいえない。

#### I. はじめに

化学が錬金術の時代を脱し、化学という学問として前進を始めたのは約200年前といつてよいであろう。なかでもフランスのLavoisier (1743-1794年) の化学に対する貢献は特筆に値する。Lavoisierは元素表を発表し、燃焼や呼吸が物質と酸素との反応であることを明らかにして化学の進歩を妨げていたフロギストン(燃素)説を打破した。質量保存の法則を発見したのも彼であり、以来今日に至るまで化学には天秤が不可欠の道具になった。この時代に気体反応の法則、定比例の法則など化学の基礎をなすきわめて重要な発見が続々と行われた。

2003年にギーセン大学(ドイツ)ではLiebig (1803-1873) の生誕200年を祝う催しがあった。Liebigはドイツの生んだ偉大な化学者である。科学者人名事典(大槻義彦編、丸善)は「19世紀には偉大な化学者は多数いたが、彼ほどに広い範囲で巨大な足跡を残した人物は他にない。」と記述している。

さて、Liebigには数々の功績があるが、化学の教育研究に化学実験を導入した功績を忘れるわけにはいかない。講義と実験を組み合わせる化学の教育をし、実験を行うことによって研究を遂行すると共に、化学の研究の進め方を教育した。当時産業革命を始め多くの面で英仏に遅れをとっていたドイツが世界に冠たる化学の国に変貌を遂げた大きな要因に、Liebigの存在があるといえよう。彼の教育法がいかに画期的であった

<sup>1)</sup> 放送大学教授 (宮城学習センター所長)

<sup>2)</sup> 国際基督教大学 Othmer記念自然科学客員教授

<sup>3)</sup> 福島大学助教授

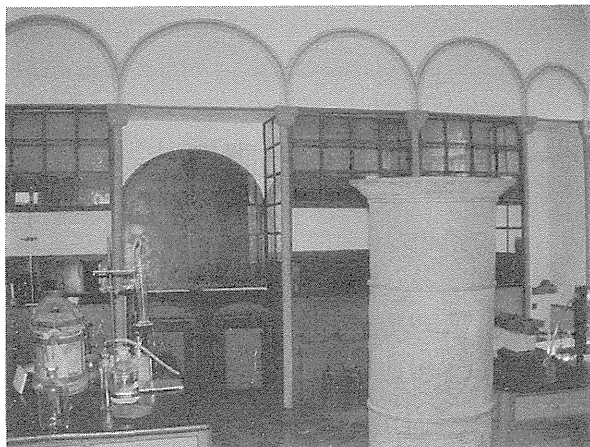


写真1 Liebig博物館の第11室  
(有名な化学者を多数育てた学生実験室)

かは彼の弟子、孫弟子からノーベル化学賞受賞者が1957年の時点までで42名も輩出していること(Liebig博物館のデータによる)にもよく表れている。この優れた化学教育法は直ちに世界中に普及し、化学の勉強には実験が不可欠であるということが確立された。

筆者らは2003年(Liebig生誕200年の年)にギーセン大学を訪れ、Liebig博物館を見学した。化学実験室のルーツを見ておきたかったからである。

Liebigは1824年にギーセンへ行き、1825年に22歳でギーセン大学の教授になった。以後30年弱の期間をギーセンで過ごした。研究室は最初5室だったが、しだいに拡張され12室になった。この中で第11室が特に有名である。これこそ化学教育の中心とも言うべき化学実験室であり、世界に大きな影響を与えた部屋である(写真1)。この部屋において後に有名な化学者になる多くの学生が実験をしている光景を描いた絵(1840年当時)があり、博物館に掲げられている。また、第12室は約60名の学生を収容できる講義室である。

著者らはいずれも東北大学理学部化学教室の卒業生であるが、我々が昔学んだ講義室は鲁迅が学んだ仙台医学専門学校の講義室そのものであった。この講義室がギーセンの第12室に極めてよく似た雰囲気を持っており、戦前の日本がいかに大きな影響をドイツから受けていたかを教えてくれた。

Liebigの実験はグラムスケールで行われた。当時の有機化合物の分析ではグラムスケールのサンプルを必要としたからである。今日の学生実験の合成スケールはどうだろうか。あまり大きな変化を受けることなく、以前のままのスケールで実験が行われ続けている。

## II. マイクロスケール化学

化学の研究面ではマイクロスケール化が早くから行われている。女性ホルモンや男性ホルモンを発見したButenandt(1903-1995)は1931年に20キログラム

の尿からわずか15ミリグラムのアンドロステロン(男性ホルモン)を単離したと言われている。このように貴重なサンプルを分析するためにマイクログラムオーダーの秤量が可能な天秤の開発が行われた。この結果、有機化学が大きく進展したといわれている。天秤に限らず、分析法のマイクロスケール化は早くから積極的に努力が払われてきた。現在我々が良く使う分析機器(たとえば、NMR、MASS、IR、X線結晶構造解析など)のどれをとっても必要なサンプル量は数ミリグラム以下である。したがって、学生実験において化合物の合成スケールをグラムオーダーに維持することはその意味を全く失ったといえよう。

しかし、必要に迫られるというプレッシャーがあまりかからなかった学生実験のスケールはごく最近までマクロスケールのままであった。これを見ると、Liebigの影響がいかに大きかったかを示すと共に、人間というものはずいぶん保守的であるということも示している。

1980年代に入って特にアメリカにおいて学生実験のスケールを小さくする研究が積極的に始まった。この最大の要因は環境問題に対する意識の高まりである。当時アメリカでは多くの州で廃棄物を規制する法案を次々に制定し、試薬の流しへの廃棄を許さない州が相次いだ。次第に廃棄物や廃液の処理費用が問題になりはじめ、また、購入する試薬によっては購入費用を廃棄費用のほうが上回る場合も出てきた。こうして、学生の化学実験に対するマイクロスケール化が積極的に検討されることになった。実験をマイクロスケール化すると次にあげるような数々の利点が生み出される。

- (1) 実験試薬の費用が軽減できる。
- (2) 試薬の使用量が少ないので、高価な試薬も使える。
- (3) 実験の準備、後片付けなど教師の負担が軽減できる。
- (4) 廃液および廃棄物の処理の手間と費用が画期的に軽減される。
- (5) 電気・水道・ガス・下水道の料金、すなわちいわゆる光熱水料が軽減される。
- (6) 試薬、実験器具などを保管しておくスペースが小さくてすむ。
- (7) 有毒な物質あるいは有毒かもしれない物質との接触の機会を減らせる。
- (8) ガラス器具類などは小さくするほど破損しにくくなる。
- (9) 実験時間が短縮される。
- (10) 火災や爆発などの可能性をほとんど除去でき、実験の安全性が高くなる。

ここに(1)から(10)のメリットをあげたが、これらを一言で表現すれば、「環境に優しい実験」が遂行できるということである。実際、マイクロスケール化学はグリーンケミストリーであり、環境行政の方策としても注目を浴びることとなった。

マイクロスケール化学がどんなものであるかを具体

的に示すため、我々が化学実験に使っている2, 3の器具を図1に示す。一番左に示されているのは1 mLのマイクロビューレットであるが、これは筆者らが1 mLのメスピペット、プラスチック製2方コック、マイクロピペットの使い捨てチップおよびシリコンチューブを使って自作したものである<sup>1)</sup>。その右隣に置いてあるのは、プラスチック製12ウェルプレートである(縦12.5cm×横9 cm程度)。このようなウェルプレートは多面的な医療検査が実施され、生化学・生命科学の実験・研究などが盛んになるにつれて大量に使われるようになり、非常に質のよいものが廉価に供給されるようになった。ここに示されているのもそのような目的のための製品であるが、筆者らはこれらのウェルプレートをマイクロピッカーが並んだ箱とみなすことにしている。1つ1つのピッカー内で少量の溶液を使った実験ができるからである。また、同じプレートを使って、電気分解などの実験を行うことができる<sup>2)</sup>。ウェルの1つにたとえば食塩水溶液を入れ、2つの穴の開いたプラスチックのふたを載せる。この穴に炭素棒を差し込んで電極にする。この2本の電極に乾電池を使って電圧をかけると、食塩水の電気分解が起こって、一方の電極からは水素ガスが、他方の電極からは塩素ガスが発生する。どちらの電極からどんな気体が発生するかを生徒に考えさせるなど、この実験の進め方にはいろいろなヴァリエーションがあり得る。図2の一番右側は1 mLのプラスチック注射筒をクロマト管にした実験器具である<sup>3,4)</sup>。クロマト管は試験管に差し込まれている。スケールが小さいのでバンドの展開や溶離操作はきわめて短時間に終わる。また試験管はこのまま溶離液の受器の役割を持っている。プラスチック注射筒の底には充填剤が底から漏れ出ないように定性ろ紙片が入れている。このろ紙片をつくるには書類を閉じるために使う穴あけ機(パンチ)を使うと便利である。ろ紙にパンチで穴を開けてできる丸いろ紙片を注射筒の底に落とし、次いで充填剤を入れるのである。

さて、マイクロスケール化学実験が実験の準備や後処理の軽減にいかにか画期的かを示すため、酸・塩基滴定の例で検討してみる。いま、50人の学生に酸・塩基滴定を行わせるとしよう。濃度不明の酸を濃度既知の水酸化ナトリウム標準溶液で滴定する場合、各学生に3回滴定をさせるとしよう。従来の実験では50 mLのビューレットが使われた。したがって、実験に必要な水酸化ナトリウム標準溶液は50(人)×3(回)×50(mL)となり、教師は約10リットルの標準溶液を準備しなければならない。一方、図1に示した1 mLのマイクロビューレットを使ったマイクロスケール実験では50×3×1となり、約200 mLの標準溶液を準備すればよい。しかも、この程度の量ならば、有効数字4桁の精度をもつ500 mLの標準溶液が1本数百円で市販されているので、標準溶液に関しては何の準備も必要としない。10リットルの標準溶液となると、教師が調製する以外に方法はないが、炭酸ナトリウムを含まない水酸化ナ

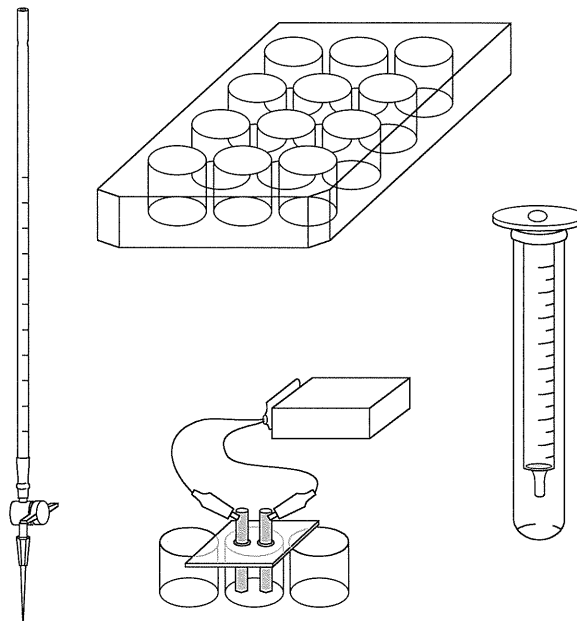


図1 マイクロスケール化学用実験器具の例

左から1 mLマイクロビューレット、電気分解用セル(12ウェルプレート(上図)とウェルにプラスチックプレートを載せ電極をセットした部分(下図))および注射器と試験管を組み合わせたクロマトカラム

トリウム溶液の調製には面倒な操作と長時間を要する。しかも、これらはすべて廃液となる。酸・塩基滴定の廃液はpHを調整すれば大きな問題となることはないが、重金属イオンを含む廃液などではスケールの大小はその処理に極めて大きな差を生じることになる。

### Ⅲ. マイクロスケール化学の現状

#### 1. アメリカのナショナルマイクロスケールケミストリーセンター(NMCC)

すでに述べたように、1980年代にアメリカにおいて学生実験のマイクロスケール化が始まった。1993年には米環境保護庁(EPA)、マサチューセッツ州毒物削減研究所、アメリカ科学財団(NSF)の支援のもとマサチューセッツ州のMerrimack CollegeにNational Microscale Chemistry Center(NMCC)が設置された。このセンターではマイクロスケール化学の研究開発を行い、さらに大学レベルをはじめ初・中等教育レベル向けのワークショップも行い、マイクロスケール化学の普及に努めている。NMCCが行うワークショップには外国からの参加も歓迎されており、米国外へのマイクロスケール化学の普及にも力を入れてきた。なお、メキシコのイベロ・アメリカナ大学にもマイクロスケールケミストリーセンター(MCC)があり、実はこのセンターの設置の方がアメリカのNMCCの

設置よりも早い。所長のIbanez教授はアメリカのNMCCの設立およびその後の運営に尽力されたPike教授、Szafran教授、Singh教授らと古くから親交があり、最も早くからマイクロスケール化学の研究開発に取り組んできた化学者の一人である。アメリカのNMCCで行われるワークショップは大学向けについては一般化学<sup>5,6)</sup>、無機化学、有機化学<sup>7)</sup>、工業化学などのコースがある。一般化学、有機化学のコースについてはそれぞれ荻野<sup>8,9)</sup>、甲<sup>10)</sup>の報告がある。

著者らは1999年7月にワークショップ（一般化学）に参加した。ワークショップがどのようなものかをとそのときの様子にもとづいて以下簡単に述べる。

#### 第1日目

登録受付

センターのスタッフおよび参加者の懇親会

#### 第2日目

7:30~8:30 大学のカフェテリアで朝食

8:30~9:45 オリエンテーション、センター内見学

9:45~10:30 講義と演示

10:30~11:45 各自の実験

11:45~12:30 昼食

12:30~13:30 実験

13:30~14:00 講義と演示

14:00~17:30 実験（この間15分休憩）

17:30~18:30 夕食

19:00~20:00 マイクロスケール化学実験用器具の見学

#### 第3日目 前日とほぼ同様の内容

第4日目 前日とほぼ同様の内容であるが、12:30~13:15に著者（荻野和子）によるマイクロスケール化学実験の講演と演示を行った。

19:00~20:00 NMCC所長Singh教授によるデモンストレーション（大爆発あり、大量沈殿生成ありのマクロスケール実験のエンターテイメント！）

#### 第5日目 午前は他の日と同様の内容。

12:00~18:00はボストン市の観光、博物館見学など

#### 第6日目 午前は他の日と同様の内容。

13:00~13:30 マイクロスケール化学への転換に要する経費等についての解説

その後、修了証の交付。本ワークショップに対する評価シートの記入と提出。解散

このワークショップの指導は所長Singh教授、副所長Szafran教授、前所長Pikeの3名で行われ、これに加えて実験の準備や後片付けを行う学部学生2名、事務担当者1名がいた。ワークショップ参加者は米国12名、スウェーデン3名、日本2名、ドイツ、フィリピン、インド、ブラジル各1名の計21名であった。ワークショップの参加費はごくわずかであるにもかかわらず、宿泊費、食事費、実験所要費、実験書代がすべて

カバーされる。このマジックを可能にしているのは、EPA、NSF、マサチューセッツ州の財団等からの資金援助があるからである。なお、マサチューセッツ州からの参加者（tax payerである）は参加費が最も安くなっている。このワークショップで取り上げた実験テーマは引用文献5) および6) に記載のものから選ばれており、次のA、Bのうちから一方を選べといった風に参加者にもテーマに選択の余地が残されていた。各人の実験台にはマグネチックスターラー付きホットプレート、結晶皿を使ったサンドバス（小さなバイアルが立っている。フラスコとして、ピーカーとして、あるいは、ろ過の際の受器としても使う。）、スタンド、真空ポンプ、マイクロバーナーが置いてあり、他には何もない。実験台が実に広々としている。実験台が広いのは、器具が小さく場所を取らないこと、試薬はビンが小さくすべて共通のドラフト内に置かれていること、電子天秤をはじめ遠心器、IR分光器、融点測定装置、データ処理のためのパソコンなど共通機器はすべて別の場所に置かれていることなどのためである。ピペットは使い捨てチップのついたものがただ1本だけドラフト内に置かれている。使い捨てチップがついているので、各自が異なる試薬溶液を次々と必要量量り取って使うことができる。各自の実験台の引き出しにはマイクロスケール実験用キット、温度計などが整然と収納されている。このキットは実に良くできている。特に蒸留装置は素晴らしい。大きな蒸留装置の組み立ては、下手をすると半日がかりになることがある。キットに入っている装置は組み立てが簡単で、組み上がりもコンパクトである。組み上げた蒸留装置を片手で持つこともでき、ただ1ヶ所をクランプでとめただけでスタンドに取り付けることができる。なお、NMCCの試薬の保管庫は常時強制排気装置で排気されており、健康管理についても十分な配慮がなされていた。毎日全員が実験を共にするばかりでなく、指導者を含め3度の食事も共にするため、互いに会話が弾み親睦を深めることができた。

NMCCの設置が成功を収めたため、その後アメリカ各地にさらに10箇所を超えるMCCが設置されている。また、マイクロスケール化学の導入が遅れた大学はEPAが立ち入り検査をして罰金を課したといわれる。

## 2. 世界の現状

アメリカのNMCCは世界の化学教育界に大きな影響を与え、マイクロスケール化学が世界に普及するのに大きな役割を果たした。マイクロスケール化学で活躍している研究者・教師にはNMCCのワークショップに参加した経験のある人が少なくない。多くの国でマイクロスケール化学の研究や教材開発あるいは実験キットの製作などが始まった。表1はイベロ・アメリカナ大学のMCCの調査によるMCCを設置している国のリストである。いかにマイクロスケール化学が普及したかを良く示しているといえよう。このリストに

表1 マイクロスケール化学センターを設置している国（メキシコのマイクロスケール化学センターのデータに著者が一部修正を加えたもの）

地域	国名
アジア	イスラエル、シンガポール、中国
アフリカ	エジプト、エチオピア、南アフリカ、モーリタニア
オセアニア	オーストラリア
北米、中米、南米	アメリカ、アルゼンチン、エクアドル、グアテマラ、コロンビア、チリ、ドミニカ、ニカラグア、ハイチ、パラグアイ、ブラジル、ベネズエラ、ボリビア、ホンジュラス、メキシコ
ヨーロッパ	イギリス、イタリア、オーストリア、オランダ、スウェーデン、スペイン、ドイツ、トルコ、フィンランド、ベルギー、ロシア

載っていない国はMCCが置かれていないというだけで、マイクロスケール化学が普及していないことを意味するわけではない。アジアでは、たとえばタイやフィリピンにはマイクロスケール化学の熱心な推進者がいる。

アジアでは特に中国がマイクロスケール化学の推進に力を入れており、教科書への取り入れや実験キットの開発が盛んに行われている。筆者らは2003年に中国の杭州師範学院を訪問し、マイクロスケール化学の実施状況を視察した。同学院の周教授は中国におけるマイクロスケール化学推進の中心的な研究者だからである。同教授は大学レベルで始まったマイクロスケール化学（中国語では微型化学）を化学に限らずマイクロスケール科学に広げ、小中学校も含めた科学教育改革を目指している。著者らの訪問時には中学校の理科の先生たちが各自の開発した微型科学用実験装置を用意して出迎えてくれ、実演をして見せてくれた。実験はどの教育レベルでも重視されているようで、高校レベルでは実験技術を競うコンテストも行われている。実際、優勝者に渡すカラフルな表彰状を見ることができた。有名大学に生徒を合格させた教師の給料を上げる制度も導入されているとのことで、日本ではとても考えられない生徒の学力を向上させる努力を知ることができた。周教授の教え子である黄教授が活躍している広西師範大学も訪問した。同大学では各学生に青いプラスチックボックスに入った実験キットが渡される。学生は各人独自の実験計画を立て、計画書を大学に提出する。審査により計画が承認されると、学生は24時間いつでも大学の実験室に立ち入って実験を行うことが許可されるとのことであった。黄教授によればマイクロスケール化学は安全だからこのような制度をとることができたとのことであった。

国際マイクロスケール化学シンポジウムも始まり、第1回はメキシコ（1997年）、第2回は香港（2001年）、第3回はメキシコ（2005年）で開催された。特に第3回はマイクロスケール化学の確立と普及に大きな貢献をしたアメリカのNMCCの3教授（上述のPike、SzafranおよびSingh教授）の榮譽をたたえるシンポジウムでもあった（写真2）。

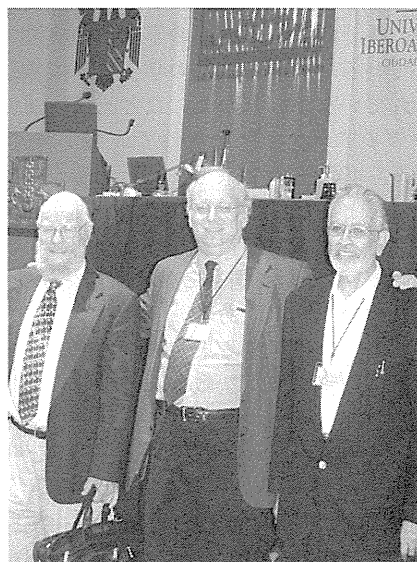


写真2 第3回国際マイクロスケールシンポジウム（2005年、メキシコ）において表彰された左からPike教授、Szafran教授およびSingh教授

化学教育の最大の会議である国際化学教育会議（International Conference on Chemical Education、2年に1回開催）では1996年以来毎回マイクロスケール実験のシンポジウムが設定されるようになった。また、環太平洋国際会議でもマイクロスケール化学実験についてのシンポジウムが行われている<sup>11)</sup>。さらに、アジア化学会議（2003年、ハノイ）、アジア分析化学会議（2004年、香港）でもマイクロスケール化学のセッションが設けられた。このように今やマイクロスケール化学は世界中に大きな広がりを見せている。

### 3. 日本の現状

荻野和子らは、1990年からマイクロスケール化学に関する研究や教材開発を行うと共に、これらの成果を大学および高校レベルでの化学実験に導入してきた<sup>12)</sup>。日本化学会化学教育協議会では2000年にマイクロスケール実験ワーキンググループが組織され、また、

日本化学会が発行する「化学と教育」誌に「マイクロスケール実験の広場」の欄ができた。放送大学宮城学習センターにおける化学実験にも2002年からマイクロスケール化学実験が導入された(2005年度には広島学習センターにおける面接授業でも実施した)。また、いくつかの国際会議や国際シンポジウムにおける招待講演でもこれらの成果や結果を発表してきた<sup>13)</sup>。しかし、残念ながら日本では依然としてマイクロスケール化学は良く知られているとはいえない。

#### IV. 今後の課題

日本の科学教育の問題点は学生や生徒に与える実験の機会の少なさである。大学においては教養部を廃止して以来、多くの大学で理系の学生への実験すら大きく後退している。また、文系の学生への実験はほとんど実施されていない。しかし、たとえば、イリノイ大学やインディアナ大学クラスのアメリカの大学では、毎週3000から4000人の文系を含めた学生が実験をしており、ほとんどの化学の授業は文系・理系を問わず実験を伴っている。実験の重要性が良く認識されていることを示している。わが国もこのような姿勢を見習い、科学教育を改善すべきである。

高等学校の先生に対する東北大学のアンケート調査には先生方の切実な声が記載されている<sup>14)</sup>。すなわち、「授業時間が足りない。」「観察・実験そのものに時間がかかる。」「必要な機器をそろえる予算が要る。」「教師の負担が大きい。」「機材の準備や後片付け、レポートの評価に時間がかかる。」「観察・実験の授業用のプリント作成や予備実験・調査など教材研究に時間がかかる。」など時間と予算に関する問題点の指摘がある。ただし、これらの問題の多くがマイクロスケール実験の導入により軽減あるいは解決しうる。

高等学校の教科書の実験項目を見ると、実験の進め方の次に「答え」の書いてあるものが少なくない<sup>15)</sup>。このため、高校の先生の指摘には次のような文章も見ることができる<sup>14)</sup>。「教科書は体系的に書かれて良くまとめられているだけに、探求しようとする結果がすべて書かれている。そのために観察や実験を経て得られる結論が分かっしまい思考力が育たない。極端な場合、観察や実験の結果を教科書に書いてあることに合わせようとする。」「教科書に観察や実験の項目が入っていてもその結果を踏まえて学習を展開する構成にはなっていない。そのため、教科書に示してある説明と観察・実験をして学ぶ内容が重複してしまい、授業時数も不足する。」。要するに、学習指導要領上も実験をなぜ行うのかの意義に対する突き詰めた検討が不十分なのである。

我々の目の前には地球環境、先進国の少子化と発展途上国の人口爆発、資源・エネルギーなどグローバルな問題が山積している。この解決には多くの可能性を考え、そこから対処法を考えていく力量を持った人材を必要としている。化学実験は化学の学習のためとい

う狭いとらえ方である限り理系を目指す人がやればよい科目になってしまうが、科学的な考え方を身につけることは文系・理系を問わず従来に増して必要である。実験を行う意義を充分検討すると共に教師も生徒や学生も容易に充実した実験に取り組める環境の構築がいまこそ求められているといえよう。マイクロスケール化学はこのことの解決法の1つを提供するものであり、わが国が取り入れるべき教育法である。

#### 謝 辞

本研究は放送大学丹保憲仁学長をはじめ関係各位のご支援とご理解を得て行ったものである。ここに深甚なる謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 荻野和子、化学と教育、53、286 (2005)。
- 2) 荻野和子、東海林恵子、化学と教育、46、742 (1998)。
- 3) 荻野和子、熊野ひろみ、化学と教育、50、584 (2002)。
- 4) 荻野和子、菊池義廣、荻野博、化学と教育、51、111 (2003)。
- 5) Z. Szafran, R. M. Pike, J. C. Foster, *Microscale General Chemistry Laboratory*, Wiley (1993)。
- 6) M. M. Singh, R. M. Pike, Z. Szafran, *Microscale & Selected Microscale Experiments for General & Advanced General Chemistry*, Wiley (1995)。
- 7) D. Mayo, R. M. Pike, P. K. Trumper, *Microscale Organic Laboratory (Third Edition)*, Wiley (1994)。
- 8) 荻野博、荻野和子、化学と工業、191 (2000)。
- 9) 荻野和子、化学と教育、49、235 (2001)。
- 10) 甲國信、化学と教育、49、302 (2001)。
- 11) *Environmentally Benign Chemistry Including Microscale Chemistry*, A Symposium at 2000 International Chemical Congress of the Pacific Basin Societies (Pacifichem 2000), Honolulu, U.S.A. (2000). (オーガナイザー: 荻野和子、R. Silberman) および *Microscale Chemistry and Green Chemistry*, A Symposium at 2005 International Chemical Congress of the Pacific Basin Societies (Pacifichem 2005), Honolulu, U.S.A. (2005). (オーガナイザー: 荻野和子、W. Chan, M. Singh)。
- 12) たとえばつぎのようなワークショップ、研修、招待講演などがある。荻野和子、簡単にできるスモールスケール化学実験(宮城県教育委員会主催)、(1996); 荻野和子、スモールスケール化学実験、(鶴岡高等工業専門学校物質工学科主催)、(1996); 荻野和子、スモールスケールおよびマイクロスケール化学実験のすすめ(日本化学会東北支部、同化学教育研究協議会主催)、(1997); 荻野和子、マイクロスケール学生実験のすすめ、東京大学平成12年度教育改善充実特別経費講演会、(2000); 荻野和子、環境にやさしいマイクロスケール化学実験、(宮城県教育委員会、仙台市教育委員会主催)、(2001); 荻野和子、化学実験講習会「マイクロスケール実験の広場」、日本化学会関東支部化学教育協議会主催、(2003); 荻野和子、さまざまな場面でのマイクロスケール化学実験の利用、(2004)、東京大学; 荻

- 野和子、マイクロスケール化学実験のめざすもの—さまざまな場面でのマイクロスケール化学実験の利用、(2004) 京都教育大学；萩野 和子、マイクロスケール化学実験へのお誘い、平成16年度サイエンス・パートナーシップ・プログラム、(2004) 茨城大学；萩野 和子、マイクロスケール化学実験、(2005)、長崎県教育センター。
- 13) 国際会議、国際シンポジウムでの招待講演、基調講演の例：H. Ogino, Introduction of a New Type of University in Japan—The University of the Air, at the 20th Philippine Chemistry Congress, (2005), Baguio, Philippines; H. Ogino, Microscale chemistry experiments at The University of the Air which is a new type of university in Japan, at the International Symposium on Chemistry and Education, (2005) Osaka City University. K. Ogino, Microscale Qualitative Analysis of Unknown Solutions Containing Some Cations, at the 7th Asian Conference on Analytical Sciences, (2004), Hong Kong ; K. Ogino, Some Microscale Chemistry Experiments, at the 19th Philippine Chemistry Congress, (2004), Iloilo, Philippines; K. Ogino, Recent Development of Microscale Chemistry in Japan, at 10th Asian Chemical Congress, (2003), Hanoi, Vietnam; K. Ogino, Activation of Chemical Education through Microscale Experiments, at the International Symposium on Microscale Chemistry, (2001), Hong Kong ; K. Ogino, Simple, Easy and Safe : Microscale and Small Scale Experiments for High School Chemistry, at 2000 International Chemical Congress of the Pacific Basin Societies, (2000), Honolulu, Hawaii, U. S. A.
- 14) 東北大学教育研究センター報告「高等学校における理科教育と実験の現状」(2002)。
- 15) 学術会議叢書10 “今、なぜ、若者の理科離れか—科学者と社会との対話に向けて—”、日本学術協力財団、第2部、萩野 博 “高等学校・大学の化学実験の現状で科(化)学力は育つか” 195 (2005)。

(平成17年11月11日受理)