

応用化学における「創成科目」の例

伊熊泰郎、木場良彦

応用化学科

Several examples of classes for promoting creativity in the education of Applied Chemistry

Yasuro Ikuma and Yoshihiko Kiba

Abstract

In some colleges of Engineering in Japan, there are growing interests in new type of classes which are called "classes for promoting creativity." This interest comes from the fact that many college students in Japan are losing their enthusiasms for studies and classes. The new classes are thought to enhance their willingness to study and eventually promote creativity among them. In this paper, examples of such classes have been shown. These classes have just started in the year 2002 in the department of Applied Chemistry. One of them was done in a large class where about 100 students registered and the other two of them were done in an experimental class where about 16 students were taking the experiment at the same time.

Keywords: new classes, promoting creativity, Applied Chemistry, examples

1. はじめに

日本の多くの大学で「最近の大学生には目的意識がない」と言われるようになって久しい。これらの学生は当然授業に集中できないし、場合によっては欠席しがちになる。さらに、理科離れという現象も表れ、筆者らが属する理工系の大学ではその影響を受けている。これらのことは日本国内の大学に学力低下を蔓延させる一因にもなり、危機感をもつ識者は多い。

これに対して大学側は手をこまぬいているのではなく、動いている。筆者が属している学科をはじめとし、多くの大学の化学系学科では「夢化学」という催しを毎年行い、高校生や中学生を大学へ呼び、化学実験のおもしろさを体感してもらっている。この夢化学は「受験勉強が高校生を理科離れにおいやっている」という考え方に立ち、実験の面白さを伝えることに主旨がある。これとは別の考えで、主要大学の工学部を中心に「創成科目」* [1]

を核とする工学教育プログラムを実施し、学生に積極性を持たせる試みもある。この「創成科目」の具体的な方法は固定されたものでなく、各教員や教官がその目的に沿った方法を考え実施すべきものである。したがって、いろいろな内容の授業が考えられる。

筆者が属する応用化学科でも、授業の一部を「創成科目」的なものに変えようという提案が2000年の終わりになされ、2001年度では一部の実験科目と「基礎化学ゼミ I, II」などで実施されて来た。筆者の1人は、学生の実験教育の一過性の問題、2人制実験の弊害、計算能力(とくに文章問題)の低下などに危機感を持ち、その対策として学生が興味を持つ実験(例えば NO_x のフィールドサンプリング実験)、一人制実験、国語力強化のための漢字テストなどを実施してきた。最近、その実験をさらに押し進めて「夢ステーション」を提案した。本稿では、2002年度に「応用化学概論」と「応用化学実験」の一部で行った新しいタイプの実験と授業を紹介する。

* 学生自らが触発され自らが考えて行動し、頭脳と手足を動かす

ようにさせる内容の授業を「創成科目」と言う。

2. 「応用化学概論」での実施例

この科目は2年次生が受講する必修科目で、学生は総計26回の講義(2回/週)のうち13回以上出席するので、1回に平均100人前後の学生が出席する科目である。この科目では「3年次以降に配置されている6系の履修プランに従うと、どのような専門を身に付けることができるかを各専門の立場から解説し、学生に明確な目標と学習指針を与えること」が目的とされている。この科目は複数の教員で教える概論であり、実際に何人の学生が来るかは当日にならないと分からない、といった特徴がある。

これまで無機系の部分では、科目や研究室の宣伝のために圧電体の話、燃料電池の話などを行ってきた。しかし、教員が一方的に話した場合、学生が自ら触発されることは少ない。無機系の教員が集まって、如何にして「応用化学概論」で無機系の人気を得るか、しかもどのようにして「創成科目」の考えを導入するかを話している時に、生物系の教員に加わってもらい、生物系での話をしてもらった。そこで、「今の学生はものに触ったことが少ないから、感覚を持っていない。だから、ものの大きさを実感するような実験がよいのではないか？」という話を聞いた。その後の議論でこれを発展し、各種物質の密度を体感してもらうことにした。以下に、具体例について述べる。

学生(100~120人)を12~15班(8人/班:名簿作成)に分け、1班ごとに各種大きさの「鉄製円柱」、「銅製円柱」、「真ちゅう製六角柱」、「アルミニウム製円柱」、「焼き物の球」、「焼き物の板」、「アクリル板」、および「発泡スチロール製台形板」を配布した。さらに20gと100gの分銅も配布した。課題としては、「学生が手元に持っている道具と手の感覚を用いて、これらの物質の密度を予想しなさい」というものであった。この内容を学生に伝えるのは講義日が最初であるから、特別な道具を用意してくる学生はいない。学生の中にはグループに分かれるところで英断できないものがいて、班分けもちょっとした問題ではあった。普通の講義室で学生達は8人ずつ集まって、これら8種類の物質の密度を予測するのである。

基本的には教員から何も教えないことにした。しかし、彼らが求めてくれば質問に応えることもある。今回は密度を求めるにもかかわらず、「物質の質量と体積が必要だ」と最初に言ってしまった。今後はこれもしゃべらず、

考えさせるべきと思う。その場合、勇気ある学生が「どうやって密度を求めるのですか」と質問してくるだろう。大部分の学生は筆箱に定規を持っているので、長さ、直径などを測定し、体積は何とか求めた。「質量はそこにある分銅を目安にして決めるのだ」と言うと、学生はなんだかんだと言いながら質量を予測していく。定規を用いて天秤を作る学生がでてくる。比較する分銅が20gと100gの2つであるから、彼らは困ってくる。そのうち、1円玉が1gであることを知っている学生が出てくる。また、教室にペットボトルを持って来ている学生もおり、その中で水100mlは100gだということにやっと思づく学生もいる。中には自分が持っている携帯電話が約200gだということを出す学生もいる。こうやって時間はかかるが、彼らは質量と体積を予測(または測定)し、密度を計算するのである。同じ「鉄製円柱」でも、班によって大きさを変えてあるので、質量や体積は班ごとに異なる。したがって、8人の中で議論する必要がある。8人が共同して密度を計算する班もあるが、8人が2~3人の小班に分かれて作業する班もあった。いずれにしても、共同で問題にあたることで、彼らの会話が進むことと未知のものへ挑戦していく心が出来上がってくる。

この授業の利点は

- (1) 今までにやったことがない
 - (2) 質量を予測するのに工夫をしなければならない
 - (3) 円柱の体積、球の体積、および六角柱の体積の求め方を考えなければならない
- などである。

一方、欠点としては

- (1) 班の中で他人の値を写してしまうものが出る
 - (2) 何を学ぶかは学生によって異なる
- が考えられる。

ちなみに、107人のデータをまとめると表1のようになる。大部分の物質について、天秤による実測値は学生が求めた値の平均値(プラスマイナス標準偏差)内に入っているから、彼らの予想も正しいことが分かる。

この授業から次のようなことも判明した。

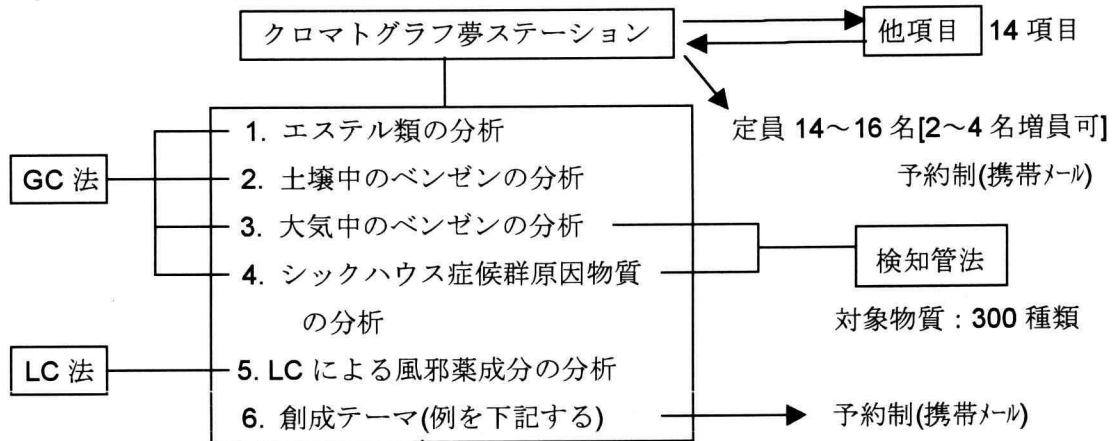
- (1) 直径dの球の体積や六角柱の断面積が求められない学生がいる。
- (2) 予想した質量と定規で測った体積を用いるので、密度の精度は悪い。ところが、密度として5桁も10桁も数値を書いてくる学生が多数いる。つまり、有効数字の意味を理解していない学生が多い。

3. 「応用化学実験」での実施例

表1. 学生(107名)による密度の予想値の平均値

	鉄 (円柱)	銅 (円柱)	真ちゅう (六角柱)	アルミニ ウム (円柱)	セラミッ クス (球)	セラミッ クス (板)	アクリル (板)	発泡スチ ロール (台形)
密度の平均値/g cm ⁻³	9.004	9.675	8.172	1.728	2.414	1.165	1.131	0.0208
標準偏差/g cm ⁻³	4.518	3.144	3.452	0.6847	1.428	0.502	1.505	0.0332
天秤による実測値/g cm ⁻³	7.86	8.92	8.48	2.65	2.38	2.14	1.17	0.019

KAIT 夢ステーション構想 “誰でも、何時でも、何でも”



バイオリアクターによるアルコール醸造実験(分析評価含む)

化粧品中のパラベン分析

牛乳中のビタミン(A,E)分析

コーヒーと紅茶中のカフェイン分析

しょう油中の安息香酸の分析

たくあん中のサッカリン分析

分光光度計を製作し発色溶液を測定しよう

不当表示食品を見破る方法を開発しよう

花粉症原因物質へのアプローチなど

(以上はスタート時点の項目)

大気中の有害物質の測定(CO,CO₂,NOX,ガソリンなど)

地下水汚染物質の分析

水道水中の残留塩素の測定

ハーブ・ラベンダー香気成分の抽出・分析

納豆菌のDNAの分離精製分析

地球温暖化原因物質CO₂の定量

マニキュア除光液の分析

(以上は追加項目)

図1 夢ステーション構想

この科目は3年次生が全員受講する必修の実験科目である。この科目では「応用化学のうち化学工学、無機開発、生物化学、環境化学などに関するテーマの実験を行い、これらの分野の理解を深めること」を目的としている。応用化学実験は1999年度から実施している科目で、2002年度からは次のような制約内で「創成科目」の考えを取り入れることにした。

- (1) 科目本来の目的は変えない。
- (2) 「1実験項目を3日間(2コマ/1日)かけて実施する」という、今までの方針は変えない。
- (3) 特別予算は申請しないで経常経費内で収める。

以上の制約内で、「創成科目」の考えが取り入れられる実験項目でこれを実行することにした。その実験項目例を、次の3.1と3.2で説明し、3.3で学生へのアンケート結果を述べる。

3.1 クロマトグラフ「夢ステーション」

筆者の1人が担当する項目である“クロマトグラフ”では「夢ステーション」構想を企画した。「夢ステーション」では「誰でも、何時でも、何でも実験ができる」ことを目標に、「学生自らが選んだテーマを自ら調べた方法で行う」ことに重点をおいた。すなわち、学生が希望したクロマトグラフ関連項目の実験が全て実行できるように配慮し、化学実験に学生が一層興味を持ち、自分で考え、実行力がつくようにした。

3.1.1 「夢ステーション」構想

「夢ステーション」は学生が自由に実験できる場であり、サッカーでいえばスタジアムであり、そこでプレイする主役は学生自身である。この構想を図1に示す。主要な実験装置としてはガスクロマトグラフィー8台(TCD, FID)、液体クロマトグラフィー1台および分光光度計1台である。ガスクロマトグラフィー以外の装置は装置として十分とはいえないものであるが、不足時および故障時の対策として分析関連研究室のバックアップを予め依頼しておいた。

2002年度は初年度であり、学生にとっても従来の実験システムでは経験していない未知の領域であることから、戸惑いや混乱も予想される。そのため、予め10数項目の実験テーマを準備し、学生が気に入ったテーマも選択できるようにした。

3.1.2 「夢ステーション」支援システム

「夢ステーション」では創成実験と同時にいくつかのイベントを組み合わせ実施し、複合的、総合的効果によって学生の実力向上を図るようにした。また夢ステーション支援システムも考慮した。その概要を図2に示す。

3.1.3 「創成実験について」

実験の1日目では機器操作に慣れるため、従来のテーマである酢酸エステルの分析を一人実験で行い、2、3日目では14~16名を4~6組に分けて学生が選んだ創成実験を実施した。各組にTA(ティーチングアシスタント)をつけ、実験の指導に当らせた。ただし予めTAには学生に全てを教えず、要点のみを教えるように指示しておいた。資料のあるテーマについては実験方法を事前に渡し、資料のないものは図書館、インターネット(Google 使用)などで調べるようにさせた。初年度ということもあり、学生自らが十分に調べてくることは少なかったようであるが、調べれば調べるほど興味がわいた学生も少なからず存在した。学生によってサンプル種、サンプリング場所、時間、分析方法などが異なり、殆ど一人一テーマに近い形で実験ができた。

実験結果を発表する場としてポスターセッションを開設した。すなわち、A4用紙1枚にパソコンでレポートの要約を提出させ、学内掲示板に掲示公表させる方法である。また要旨集を教員に回覧しチェックを受けるようにした。この方法は前期の途中から導入されたので準備不足の感はまぬがれず、最初は低レベルのポスターが多かった。最終回になり電子メールを活用する方式に変更して、リアルタイムでアドバイスなども適時行えるようになり、質的向上が図れたと考える。

その学生の実験後の感想では最大級の満足度を表す言葉が数多く得られた。いわく“とても面白い、楽しい、嬉しい”、“とても新鮮、充実感、印象的”、“とてもやりがい”など、従来の実験レポートの感想にはなかったものであった。その感想を図3の内円部分に示した(ただし“とても”とか“非常に”とか“すごい”という前置形容詞は省略した)。また、外円部分にはそれらの満足度を高める起因と考えられる項目を示した。

今回初めて“学生自ら選んだテーマで実験する”試みを行い、いくつかの興味ある知見が得られた。それらを以下に示す。

- (1) 実験後の感想では最大級の満足度を示す言葉が多数の学生から得られた。
- (2) 学生が自ら選んだ、身近なテーマの方がやりがいも

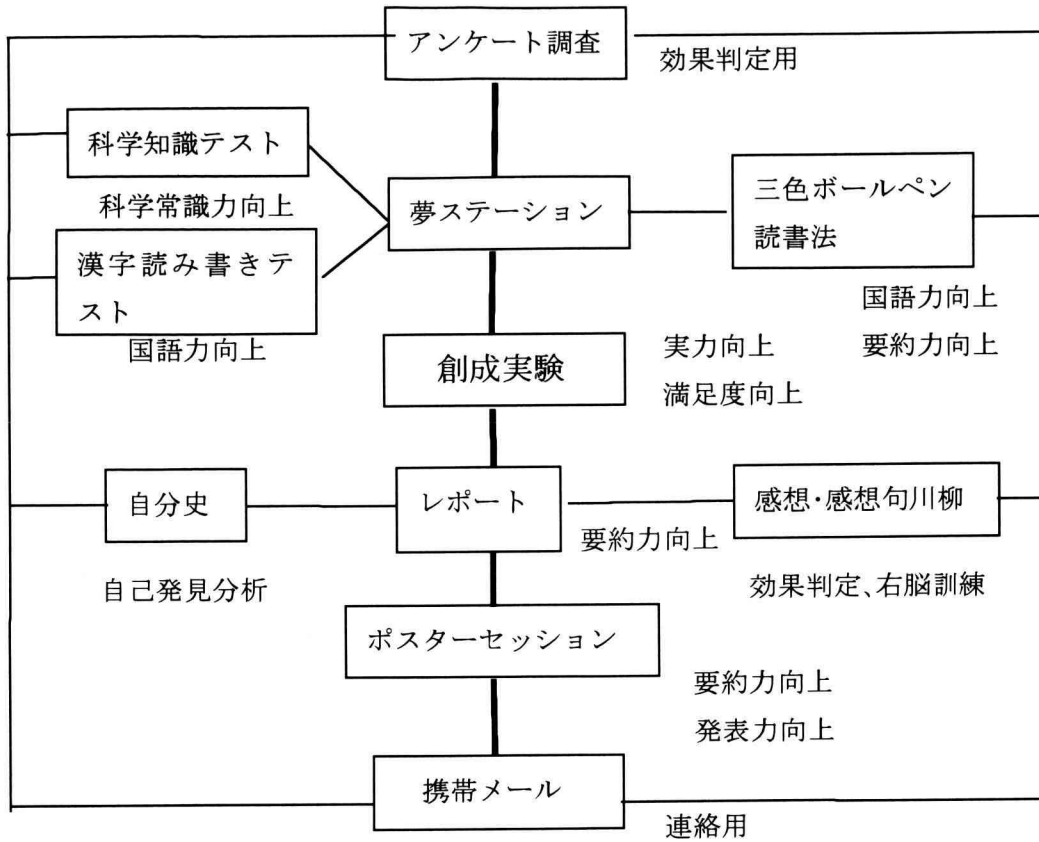


図2 夢ステーション支援システム

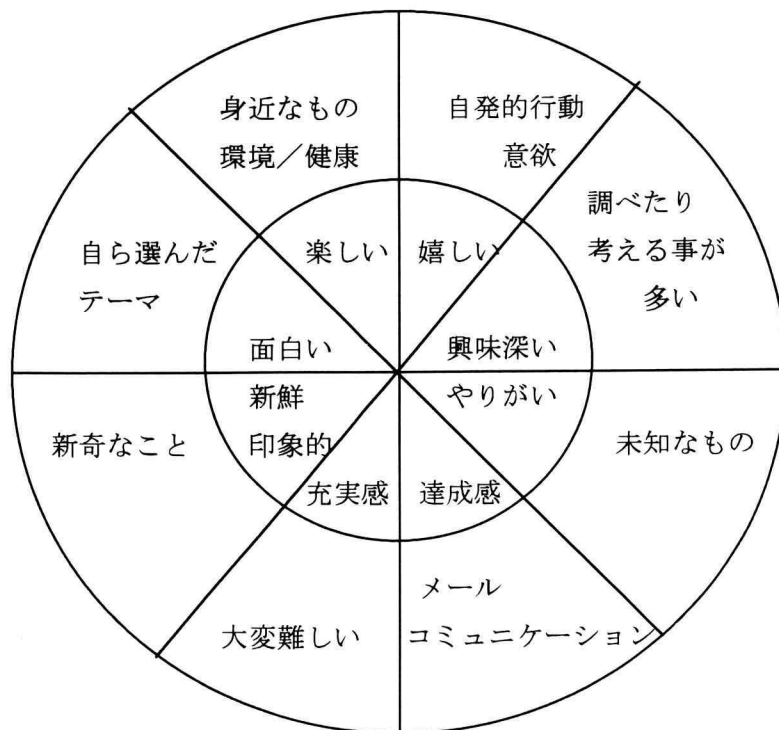


図3 満足度とその起因項目との関係

あり、積極的に実験する原動力になることが分かった。実験は非常に大変であっても全く疲労を感じない学生が存在したのは新しい発見であった。

(3) 学生の選んだテーマは身近なもの、未知なもの、新しいもの、当方が予想しえなかったものなど多岐多様にわたり、学生の関心の広さをうかがい知ることができた。

(4) 夢ステーションでは“失敗は成功のもと”の方針で事前に学生に宣言しておいた。しかし実験に対する思い入れが強いためか、失敗すると非常に悔しがり再実験を希望する学生が多かった。

(5) 学生の意見として夢ステーションのような実験を続けて欲しいし、全学年でも実施して欲しいという希望が多かった。

(6) 夢ステーション構想を「応用化学実験」での1日目のガイダンスで説明した際、数分間、学生が水を打ったように静まりかえったのはとても印象的であった。今思えば、夢ステーションの成功はこの時点で決まっていたのかも知れない。

(7) 電子メールを用いたポスターセッション方式は双方向でリアルタイムなのでスピーディーなレポートの要約、報告、および発表に威力を発揮した。この方法は学生一人一人のレポートの添削、指導などに強力な手段となるので、今後は拡大・強化したい。

(8) 支援システムとしてアンケートと携帯メールを用いた。これらの方法は学生の反応把握やコミュニケーションをとるのに、非常に有効であった。またレポートで実施した感想句や自分史については学生を別の面から理解するのに非常に役立った。

3.2 熱膨張

無機材料に関する「応用化学実験」の実験項目として、過去に「熱膨張」と「示差熱分析」を行って来た。「熱膨張」としては銅、鋼、およびムライトを試料として用い、室温から 800°C までゆっくり昇温し、その間の長さの変化を測定して、熱膨張率を決定するものであった。

「示差熱分析」としては転移熱が既知の物質 (Na_2SO_4) と反応熱が未知の物質 (シュウ酸亜鉛、炭酸水素ナトリウム) を加熱し、発生または吸収される熱を検出して、未知の物質の反応熱を求めるものであった。2 つの項目とも最大 8 名の学生を対象にして行い、電気炉を用いて加熱することが共通点であった。

「創成科目」のうたい文句は「学生自らが触発され、自らが考えて行動し、頭脳と手足を動かすようにしむけ

る」ことである。「熱膨張」と「示差熱分析」にこの考えをどう組み込むか？筆者の一人は米国ユタ大学の Cutler 教授が担当した大学院の実験科目を思い出した。彼は有名なセラミックス研究者であったが、良い教育者であることでも知られていた。そのクラスは受講生が 8 人位の小さなものであったが、「全員の知識、学科内の全ての薬品、器具、装置など、何を用いてもよいから、長さ 1m、直径 30mm のアルミ管を作りなさい」というもので、目的ははっきりしていた。しかし、何を用いてどのようにするかは全く決まっていなかった。このような設定の実験科目は初めてだったので何をどうするか分からず戸惑ったが、皆で議論しながら実験を進め、(1) 焼結しやすい材料の目安、(2) スリップキャストの仕方、(3) 丸い管を丸いまま焼結する方法、(4) ガス炉の使い方などを知った。時間がかかったが、学ぶことも多かった。この Cutler の実験科目と「応用化学実験」の間には、大学院生と 3 年生の違い、無制限に近い時間と 2 コマ×3 日の違いがある。これを考えると、Cutler の実験科目と同等の考え方で「熱膨張」実験を行うのは無理であると思えた。しかし、今までの「熱膨張」と「示差熱分析」の実験のように、試薬、器具、および手順が全て決定されており、学生はただそのルールに乗るだけの実験は脱却するべきであると認識した。

3 節の制約内で出来ることとして考えたのは「学生が自宅から試料を持ってくること」であった。この方法では学生が積極的に実験に関与できる。試料が何で作られているのかを知る必要があるし、その物質は加熱しても大丈夫か？何度まで加熱できるか？もし、凡その熱膨張率が分かれば、どれぐらいの大きさであれば熱膨張率を測定することができるのか？など、いろいろなことを予め知る必要がある。これらの情報としては実験 1 日目に図書館で学生 1 人 1 人が調べた。文献の調べ方など、学生から質問があった時に教員から必要最小限の指示をすることにした。熱膨張率をいかにして測定するかについても考えてもらうと良い実験になるのであるが、学生から出る各種の測定方法の要求に対処できない可能性がある。そこで、測定装置をこちらで用意することにした。したがって、試料の最大の大きさは固定したことになる。学生は必ずしも無機材料を選ぶわけではないので、無機系の実験項目と分類するのは無理があるようだ。しかし、それは「創成科目」の観点からは些細なことで、目をつぶることにした。実際の実験でもいろいろなトラブルが発生した。試料が膨張しない、煙がでる、試料が縮む、など、予想外のことが起こった。しかし、学生には「3~

4 回ほど測定が出来るので、その中で意味のあるデータを1回以上取れば良い。万が一全ての測定に失敗しても失敗した理由を考えて報告書を書けばよい」と伝えていた。

この方式による実験の利点としては

- (1) 測定に用いる試料を自分で考えなければならない。したがって、実験に積極的に取り組まざるを得ず、受身では何もデータが出ない。
- (2) 全員が異なる試料を用いることにしたので、融点などの調べ方もいろいろで誰かの値を教えてもらうわけにはいかない。つまり、自分で調べるしかない。
- (3) 失敗したとしても自分の責任になる。改良してデータが得られるようにするのも自分である。したがって、やりがいがある。

一方、欠点としては

- (1) 何を試料として選ぶかにより実験のやりやすさ、実験の時間などがまちまちであり、不公平感がある。
- (2) 上手に熱膨張率を決定できないことがある。

これに対する、学生の感想としては

- (1) 実験の時に自分で何かを事前に調べたり、決定したりすることが初めてだったので少し緊張しました。でも、だからこそ真剣に取り組めたし、楽しかったです。
- (2) 自分達で材料を選んで、実験に適するかを調べたりするのはすごく楽しかった。決められたことをやるのではなく、自分達が主体でやっているようでうれしかった。実験準備も大変だが、でもそれだけやりがいがある。
- (3) 今回のように実験の試料を自分達で決めてやるのは初めてで、どのような結果になるのか分からなかったのが勉強になったと思う。
- (4) 今回の実験では自分で試料を決め、文献を調べて、試料を自分で用意するという、今までやったことのないような実験だったから、はじめはよく分からなかったけど卒研のためにも役に立つ実験だったと思う。
- (5) 自分達が用意した試料ではうまく測定することができなかった。しかし、どうして失敗したのか考えたり、2つの加熱装置で失敗しながらも測定を試みたりと、分からないまますぐに終わりにすることがなかったのが、良かったと思う。

などであり、前向きのものが多かった。なかには、

- (6) せっかく違う試料の実験をやったのだから、結果を報告し合える発表の場があっても良い。

という提案もあった。これは次回に生かしたい。

3.3 アンケートについて

「応用化学実験」と「夢ステーション」に関する2通りのアンケートを実施した。「応用化学実験」に対する評価では60%強の学生が面白い、また今後役に立つと答えている。一番印象に残った項目としては「ガラス細工実験」を筆頭に「夢ステーション(クロマトグラフ)」が次にランクされた。高位の項目としては「酵素センサー」、「熱膨張」、「セラミック温度センサー」などであった。

また、今回初めて2.5年間の全実験項目についての評価を実施したところ、2年生での「合成化学実験」の「染料(オレンジ II)合成実験」が群を抜いた人気で、次いで「ガラス細工実験」であった。これは学生にとって“無から有を生み出す”化学らしく、かつ視覚に訴えるところに強く印象づけられたものと推察され、今後の実験のあるべき方向を示唆しているようである。

「夢ステーション」アンケートでは「面白い」、「役に立つ」、「力がつく」、「もっとやりたい」と答えた学生が70%強を占めた。また難しいと答えた学生は20%存在した。役に立たないと答えた学生は5%未満であった。この70%強という数字はかなりの高率で「夢ステーション」が支持されたと考えられる。難しいと考えた学生はテキストが存在しない「創成実験」特有のシステムになじめなかったものと考えられる。この点については、次年度以降に適切な対策をすれば、学生がより高率で支持する方向に改善されると思う。

4年生が行う卒業研究において「創成科目」の考えはかなり実行されている。したがって、1~3年生の間に「創成科目」の授業を導入すれば、学生は4年間を通じて「創成科目」の授業を受講することが可能となる。この「応用化学実験」での試みが3年生での「創成科目」を定着させるものになってくれれば幸いである。

4. まとめ

「創成科目」の考えを取り入れた授業として多人数の場合と、少人数の場合の例を述べた。もちろん、これらは始めたばかりで、今後、この内容は変化していくが、考え方の一例を提示したことで了解していただきたい。多くの方に新しい形の創成教育を考えてもらい、これ以上に発展した創成科目が生み出されるきっかけになってくれればこんなに嬉しいことはない。もちろん、大学の授業すべてがこのような「創成科目」的なものになってよいかという点については議論の余地がある。一部の授業だけで充分であると考える教員もいる。今後の議論を

待ちたい。

最後にこれらの授業形態を考えるにあたって、いろいろな方と議論をした。本学科の笹本教授、井川教授、佐藤教授をはじめとし、多くの方に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 「工学教育プログラム関東地区講演会報告書」関東工学教育協会 (2000 年)。