

スーパーサイエンス概論報告 第3回特別講義（化学分野）

1 研究開発の経緯

(1) 準備・打ち合わせ

ア 名古屋工業大学に特別講義を依頼し、担当は湯地昭夫教授に決定した。早速、名古屋工業大学応用化学科湯地教授と連絡を取り、5月に最初の打ち合わせを行った。受講する生徒が1年生で、講義の内容を理解するのに必要な基礎知識がないため、易しい内容で講義して頂くことをお願いした。さらに特別講義後、大学で希望者対象の特別講義関連実験講習会を実施して頂くことになった。

イ さらに、特別講義までの事前授業（3回分）について、特別講義を理解するのに役立つような内容とするため、メールのやりとりや7月には直接伺うなどして詰めていった。

(2) 事前指導 特別講義前に事前授業を3回行った。

(3) 事後指導 特別講義後、事前授業及び特別講義についてアンケートを実施した。さらに、事前授業・特別講義・特別講義関連実験講習会についてレポートを提出させた。

(4) 評価方法 レポートが、事前授業、講義内容をよく理解し、適切にまとめてあるかを、レポートをテーマ毎に分け、担当教員が評価した。また、特別講義関連実験講習会の参加者も意欲的に取り組んだので評価の対象にした。

2 研究開発の内容

(1) 実施目的

ア 事前指導を通じて特別講義の理解を深める。

イ 特別講義を受け、さらに、大学実験講習会に参加することにより、「はかる」ことの重要性を認識し、科学特に化学の理解を深める。

(2) 実施内容

ア 事前指導

湯地先生の講義までに基礎知識をつけるために、事前授業を3時間分実施した。

(ア) 物質量をはかる（1時間目）

（担当教員；田中基夫、鶴田治之、大島源清）



水上置換による水素の捕集

a 実験により、マグネシウムあるいはアルミニウムと塩酸の反応において、水素発生量を測定することにより化学変化の量的関係を考察した。

b 7種類の濃度の塩化バリウム水溶液



手動式遠心分離器による沈殿の分離操作

に一定濃度の硫酸ナトリウム水溶液をそれぞれ加え、生じる硫酸バリウムの沈殿を手動式遠心分離器で完全に分離させた。この沈殿量の高さをそれぞれ測り、化学変化の量的関係を考察した。

(イ) pH 変化に伴う紫キャベツの色素の変化 (2 時間目)

(担当教員 ; 田中基夫、鶴田治之、大島源清)

a 紫キャベツの色素をエタノールで抽出し、11 種類の pH 1 ~ pH14 の溶液に加え、pH 変化に伴う色素の色の変化を調べたところ、右の写真のようになった。この溶液を比色溶液として利用すれば、紫キャ



ベツの色素を加 左から pH1・pH2・pH3・pH4・pH7・pH10・pH11・pH12・pH13・pH14 の液えることによって様々な溶液の pH を測ることができる。すなわち紫キャベツの色素は、指示薬として用いることができる。

b 本校中庭の池の水を採取し、パックテスト(指示薬を含むパックによる検査)により池の水の pH を測る。

(ウ) 中和滴定によって食酢の濃度を求める (3 時間目)

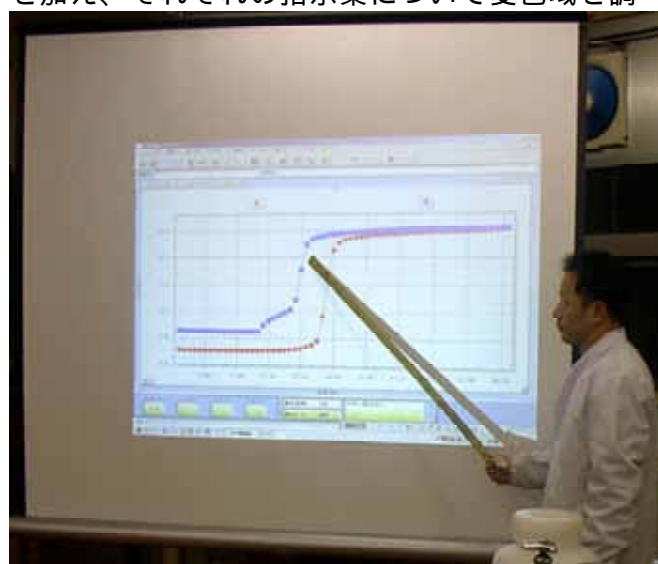
(担当教員 ; 田中基夫、鶴田治之、大島源清)

a pH 1 ~ 13(13 種類)の溶液を 2 組作り、一方の組にはメチルオレンジを、もう一方の組にはフェノールフタレインを加え、それぞれの指示薬について変色域を調べた。

b 10 倍に薄めた食酢を、フェノールフタレインを指示薬として水酸化ナトリウム水溶液で滴定する。滴定値より、食酢に含まれる酢酸のモル濃度を求める。

c b の滴定をメチルオレンジを指示薬として行い、(b)の滴定値と比較すると大きな差が生じる。従って、その理由を考察する。

d 演示実験として、pH センサーを使って中和滴定を行い、瞬時にパソコンで情報処理し、パソコンに滴定曲線を描かせた。



pH センサーによる滴定曲線の説明

右図は、そのグラフをスクリーンに写し、説明している場面である。

イ 特別講義

(ア) 実施日時 平成 15 年 10 月 21 日(火)、22 日(水)、24 日(金) 各 12:55 ~ 15:15

(イ) 実施場所 愛知県立一宮高等学校 会議室

(ウ) 実施方法

対象は、本校普通科1年生 9クラス360名のうち、この講義受講希望者120名を3グループに分け、次の3回に分けて実施した。

10月8日(火) 1, 4, 7組(40名)

10月9日(水) 3, 6, 9組(40名)

10月11日(金) 2, 5, 8組(40名)

(I) 講師 湯地昭夫 教授(名古屋工業大学応用化学科)

(オ) 演題 「化学ではかる」

テキスト、パワーポイントを使って、人間の五感と数々の機器・試薬によってはかる場合を比較しながら、講義及び質疑応答が行われた。

<「はかる」とは?>

私は、言葉を適正に表すことを大切にしています。「はかる」を国語辞典で引いてみると、いろいろな漢字があり、それぞれ異なった意味を持っています。この講義の「はかる」は、「そのものの量が単位量の何倍になっているかを、器具を用いて正確に見いだす」に相当します。

先人たちは複雑な物質や現象を分けて1種類の要素とし(分離)、その量(物質質量)や性質(物性)をはかって理解する様々な分析や計測を行ってきました。現代化学の華々しい成果は、このような様々な分析や計測を土台として実ったものです。現在の新



特別講義風景

しい物質・技術の開発も、様々な分析や計測の技術とともに前進しています。

分析や計測によってわかる量は単位を付けて示されますが、すべての単位は、7つの本質的な物理量(長さ・質量・時間・電流・温度・光度・物質質量)に対応する7つの単位を組み合わせることによって作ることができます。例えば、金塊の質量が1 kgでその体積が51.7cm³だったとすると、密度は $1000/51.7 = 19.3\text{g/cm}^3$ となります。この密度は、物質の性質(物性)であるため、密度という物性値を測定したことになります。化学的な物理量として「物質質量」があります。前述の金塊1 kgは $1000/197 = 5.1$ モルとなり、これが物質質量の測定です。この講義では、物質質量をはかる操作すなわち定量分析を中心に話します。

<五感に倣って「はかる」>

人間は五感を駆使して外界の変化を察知し、適切な対応をして暮らしています。この五感のうち聴覚を除く4つの働きは、機器・試薬等を利用することによってでき、場合によっては人間の感覚を越えた性能を発現させることもできます。

触覚の化学 - 手のひらで重さを量るように、溶液中の銅イオンを電解して銅を水晶振動子上に析出させ、水晶の振動数変化で銅の量をはかること、すなわち定量ができます。また、指で触って凹凸をしらべるように、原子間力顕微鏡で物質表面

の凹凸を調べることもできます。

視覚の化学 - 酸性の程度がpH試験紙の色の変化からわかるように、物性を色の変化としてはかる方法があります。pH試験紙やバックテストによる測定は、電源のない場所で有効であり、吸収されない反射する光を人間の目で見て判定します。逆に光の吸収を分光光度計ではかる場合は、光源からの光をモノクロメーターにより単色化して試料溶液に透過させ、透過光の強度を電気信号に変えて、試料の吸光度を測定します。これによって試料溶液中の目的成分の定量ができます。

味覚の化学 - 口の中でうまみの味覚を感じるように、電気化学的なうまみセンサーは、複数のセンサーからの電気信号をコンピューターで処理することによって、人間の味覚に匹敵する情報を得ることができます。

臭覚の化学 - 物質は、その物質のガス状になったものの臭いをかいで特定することも多いように、電気化学的なガスセンサーによって物質の濃度もわかります。例えば、ガス漏れ検知器や自動車のエンジンに用いる酸素センサーは、センサーへの気体の吸着による電気抵抗の変化によって感知します。



においセンサーによるガス状の酢の定量実験(物理化学部)

< はかる方法を選ぶ >

分析・計測にはいろいろな方法があるので、目的に応じて適切なものを選ぶことになりますが、そのとき何を基準にして判断したらよいのかを説明します。基準となるものは精度、感度、選択性、正確度、詳しさ等です。

精度 - どのくらい詳しくはかる必要があるかを考えます。また、各分析法には固有の精度があり、例えば、天秤は有効数字6桁の測定ができます。水素イオンの濃度を測定するのに、酸塩基滴定の場合はビュレットの目盛りから相対誤差0.3%であるのに対して、pHメーターを使った場合は、測った対数値を真数に換算すると、相対誤差2.3%とかなり大きくなります。

感度 - どのくらい少ない量をはかる必要があるかを考えます。はかる場合には、絶対的な量も大切ですが含まれている割合も大切です。この割合を表す単位としてppm・ppb・ppt・ppqなどがあります。より少ない物質質量をはかることへの挑戦が続けられ、非常に高感度なレーザー励起蛍光法は、溶液中に一分子しか存在していないときでも、蛍光が得られることによりはかれます。一方、ppt以下の感度が足りない試料溶液でも、予め適切な方法で濃縮してやれば簡単に定量できます。

選択性 - 測定を邪魔する他のものが、どのくらい存在するかを予想することが必要です。理想的な選択性は、何がどれだけあっても妨害しない状態です。例えばpHメーターで 10^{-2} mol/l NaOH溶液のpHをはかるとき、 H^+ と同じ1価の Na^+ が 10^{10} 倍も存在する中で、 H^+ だけに応答し、pHを正しく測ることができます。一方、性

質の似た選択性のない混合物の場合には、クロマトグラフィーなどで分離してからそれぞれの定量をします。

正確度 - できる限り真の値に近づくために、同じ物質を共同で分析したり、誰もが使える正しい「ものさし」を用意する努力がなされています。

詳しさ - 無闇に詳しくはかるのではなく、必要なだけ詳しくはかれば良いのです。具体的には、どのような状態で存在するかまで知りたい(状態分析)、あるいはどこに偏って存在するかを知りたい(局所分析)、更に、時間変化を追跡したい(モニタリング)などの需要に応じて、はかることになります。

エ 質疑応答

講義終了後、質疑応答の時間を設けた。先生が分析化学の研究に進むきっかけになったこと、分析化学の研究の魅力、研究者になるための必要条件などの質問が出た。先生にもその質問に対して丁寧に答えて頂けた。

(3) 事後指導と評価方法

事前授業、講義について以下の 2 つのテーマから 1 つを選んでレポート(A4 1枚)を提出させた。

化学実験の授業(「水素の捕集」「BaSO₄の沈殿生成」「紫キャベツの色素」「食酢の滴定」)で、実験を行ってわかったこと、疑問に思ったこと、さらにもっと詳しく知りたいと思ったことなどをまとめる。

スーパーサイエンスハイスクール化学分野特別講義「化学ではかる」の講義で、説明等を聞いてわかったこと、疑問に思ったこと、さらにもっと詳しく知りたいと思ったこと、感想などをまとめる。

評価方法はレポートの内容により、A～Dまでの4段階で評価した。

- | | |
|-----------------------|---------------|
| A...よく理解できており、特に優れている | B...よく理解できている |
| C...理解できている | D...特に悪いレポート |

(4) スーパーサイエンスハイスクール第3回特別講義関連実験講習会

ア 実施要項

- (ア) 期日 平成15年10月25日(土) 13:00～16:00
- (イ) 訪問場所 名古屋工業大学 分析化学実験室
担当 : 湯地昭夫教授、内田哲男教授、技術職員4名、大学院生1名
- (ウ) 参加生徒数 普通科1年生 20名
- (エ) 引率教員(2名) 田中基夫、大島源清

イ 実施内容

(ア) 実験のねらい

特別講義の「化学ではかる」を実践し理解を確かなものにする。生徒が日常的に飲んでいる水、愛知県内諸地域の水及び市販ミネラルウォーター(10種類程度)に含まれる、カルシウムイオンとマグネシウムイオンの濃度を二つの方法(キレート滴定と原子吸光分析)で測定するとともに、それぞれの測定法の原理を学ぶ。



実験前の説明風景

(イ) 実験の手順

- a 実験1: カルシウムイオンとマグネシウムイオンの合計量をはかる実験を行った。

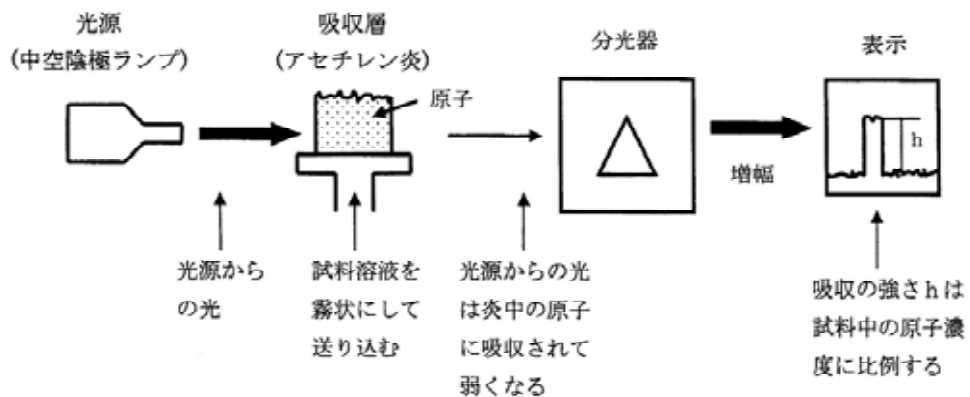
この実験は、ビュレットに EDTA 標準溶液を、三角フラスコに調べる飲料水・アンモニア - 塩化アンモニウム緩衝液・カルマナイト指示薬を入れ、三角フラスコの溶液の色が赤から青に変わるまでビュレットの溶液を少しずつ加える。



キレート滴定実験

b 実験 2 : カルシウムイオンのみの濃度をはかる実験を行った。この実験は、ビュレットに EDTA 標準溶液を、三角フラスコに調べる飲料水・水酸化カリウム溶液・NN 希釈粉末指示薬を入れ、三角フラスコの溶液の色が赤から青に変わるまでビュレットの溶液を少しずつ加える。

c 実験 3 : 原子吸光分析法で Mg をはかる実験を行った。下図のようにして試料中のマグネシウムイオン濃度が測定される。



原子吸光分析装置の概念図



原子吸光分析で用いた中空陰極ランプと記録紙吸光信号結果

(ウ) 実験の結果

各生徒が家庭から持参した水道水あるいは井戸水について、キレート滴定で得られたマグネシウムイオン濃度と原子吸光分析で得られたマグネシウムイオン濃度がほぼ

一致した。なお、水 1 の中に含まれているカルシウムイオンとマグネシウムイオンを炭酸塩に換算した重さ (mg) の合計量を硬度といい、この硬度も次のように算出した。

$$\text{硬度 (mg/)} = (\text{カルシウムの量} \times 2.5) + (\text{マグネシウムの量} \times 4.1)$$

当然のことながら、井戸水の硬度は高かった。また、水道水でも地域によって硬度が違っていた。

(I) 実験の原理(考察)

ビュレットから滴下する EDTA 1 個は、ある条件でカルシウムイオンやマグネシウムイオンの 1 個と手をつなく。一方、指示薬もこれらのイオンと手をつなぎ、色が変わる性質を持っているが、EDTA より手をつなぎ方が弱いので EDTA とこれらのイオン量が同じになる時、指示薬はカルシウムイオンやマグネシウムイオンと手を離して溶液の色が変わる。実験 1 では、カルシウムイオンとマグネシウムイオンの含量と同じ量の EDTA を加えたときに溶液の色が赤から青に変わる。この性質を利用し水の中に含まれているカルシウムイオンとマグネシウムイオンの含量を調べることができる。実験 2 では、水酸化カリウムによりマグネシウムイオンが沈殿するため、カルシウムイオンのみと同じ量の EDTA を加えたときに溶液の色が赤から青に変わる。この性質を利用し水の中に含まれているカルシウムイオンの量を調べることができる。実験 3 は、定量したい元素を含む試料溶液を、前ページの概念図に示すような空気 - アセチレン炎中に噴霧すると、基底状態の原子が生成し、その元素に固有の波長の光を吸収する。このときに吸収される光の量(吸光信号)は、噴霧した溶液中の元素の濃度に比例するので、当てた光がどの程度減少するかを調べることによって、溶液中の濃度を定めることができる。

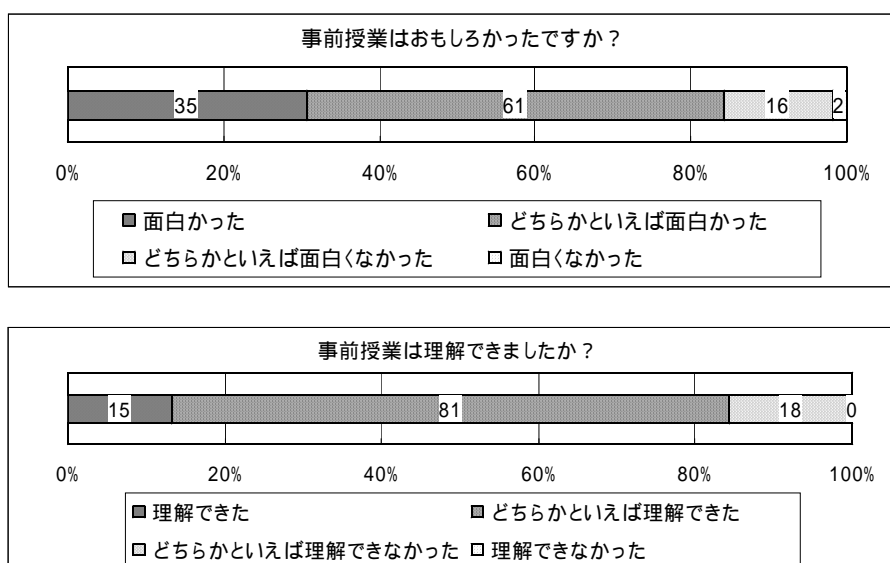
ウ 事後指導と評価方法

希望者を対象とした実験講習であるためアンケートは行わず、「実験講習会に参加して」という題で感想文を提出させ、実施目的が達成できたかを調べて評価した。

3 実施効果とその評価

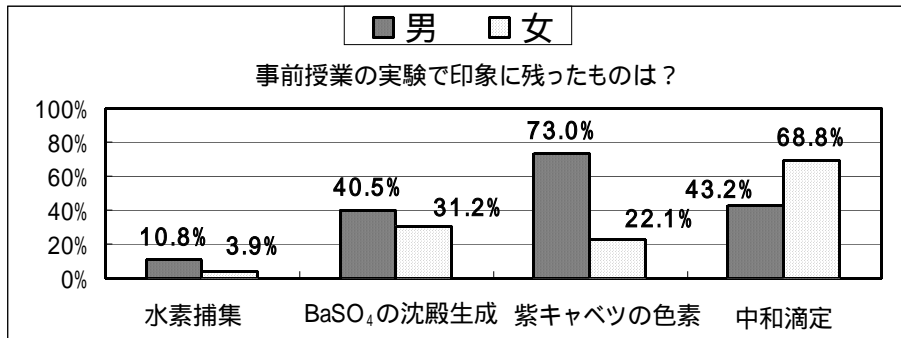
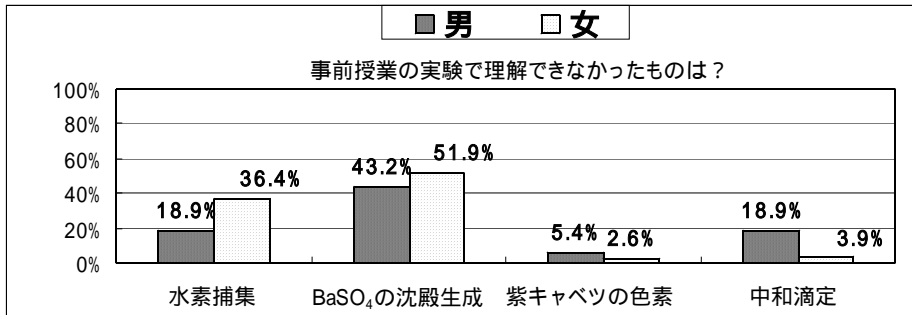
事前授業、特別講義に対するアンケート結果・分析(関連部分のみ)

(1) 事前授業について



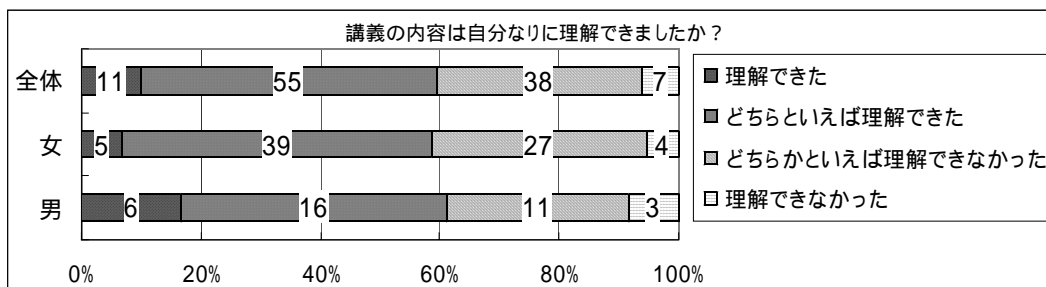
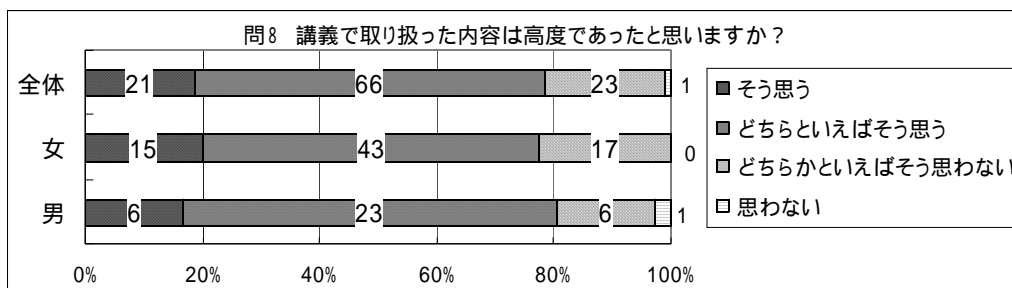
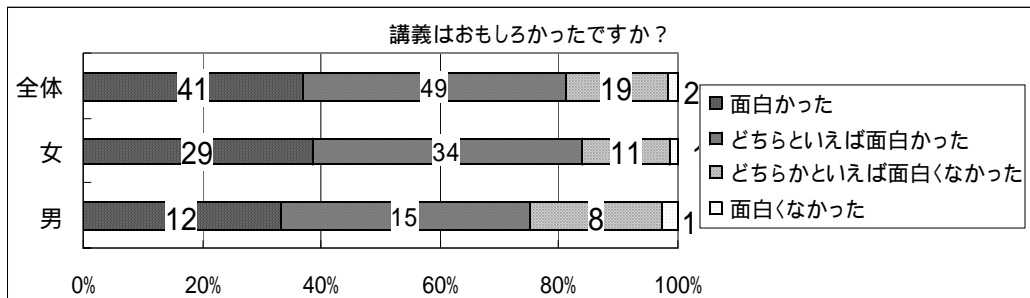
「事前授業が面白かったですか」という質問に対して、84 %の生徒が「面白かった」または「どちらかといえば面白かった」と答えている。また、「理解できましたか」という質問に対しては、これも 84 %の生徒が「理解できた」または「どちらかといえば理解でき

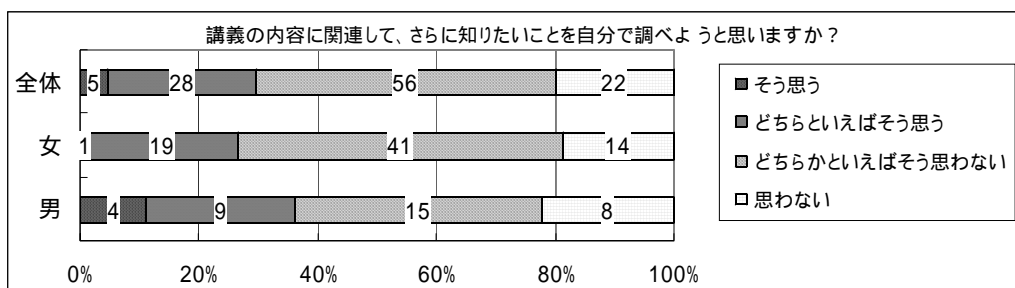
た」と答えており、事前授業は大変良好であった。



具体的に事前授業の実習で最も印象に残ったものは、食酢の中和滴定(全体の 60.5 %)であり、最も難しかったものは、BaSO₄の沈殿生成(全体の 49.1 %)という結果であった。

(2) 特別講義について





「講義は面白かったですか」という質問に対して、81 %の生徒が「面白かった」または「どちらかといえば面白かった」と答えている。また、「内容は高度でしたか」という質問に対しては、79 %の生徒が「そう思う」または「どちらかといえばそう思う」と答えており、1年生はまだ科学の知識が十分ではないこともあって、内容が高度であると感じたようだ。しかし、8割以上の生徒が「面白かった」と答えていることから、科学への関心が高まり、「はかる」ことの重要性を認識して化学の理解を深めることができたと思われる。従って、実施した価値は十分あったと思われる。「講義の内容は、自分なりに理解できましたか」という質問に対して、「理解できた」または「どちらかといえば理解できた」と答えた生徒は、60 %に達しており、今まで実施された特別講義3回のうち、最もよく理解できた。これは講師の懇切丁寧な説明と事前授業の成果である。また、「講義の内容に関連して、さらに知りたいことを自分で調べようと思いますか」という質問に対しては、33 %の生徒が「そう思う」または「どちらかといえばそう思う」と答えており、3割の生徒は事前授業や特別講義によって、「化学ではかる」ことに興味を持つようになったと考えられる。

(3) 特別講義関連実験講習会について

特別講義が行われた週の土曜日に大学を訪問し、「化学ではかる」を実習した。参加者のレポートには「講義を聞くだけよりも、正直に言って楽しかった。実験をしながら先生に質問もでき、いろいろなことが聞いたのが良かった」あるいは「先生に進められ、あまり乗り気になれないまま参加したけれど、湯地先生をはじめとする先生方が、やさしく丁寧に教えてくださったので、よくわかりました。楽しく多くのことを学びました」と述べているように、参加者全員のレポートに「楽しかった」の記述があり、科学の楽しさを味わうことができた。次に「溶液の色が赤からだんだん紫になっていって急に青となる時には、ビュレットの一滴が実験結果の正確さを大きく左右してしまうので、大変緊張し集中する瞬間でした」あるいは「キレート滴定法で、液が紫色から青色に変化する滴定の完了する瞬間のとき、本当に一滴入れただけで一瞬にして色が変わり、感動した。何回も滴定をやったが、一滴でうまく止めて紫から青色に変化させることができたのは、2回だけでした。うまくできた時は本当にうれしかった」と述べている。これらは定量分析のとき、器具を操るテクニックと慎重な操作が求められることを示しており、生徒たちはこれを学んだ。

4 今後の研究開発の方向

特別講義は、化学分野と物理分野のテーマからどちらかを選択させ、受講させた。これによって、少人数で受講できることになり、講演して頂く先生及び受講する生徒の双方にとって良かったと思われる。しかし、事前授業を含め準備をする教師は、ほぼ2倍の仕事量が必要となり大変であった。今後は、教師がいかにしてスーパーサイエンスハイスクールに関わる時間を確保するかが課題である。

講義後の実験講習会で、生徒は「硬度を計算しているとき、ふと Na^+ や K^+ は硬度に関係ないのかという疑問がわいてきました」あるいは「自分の家の水について硬度をはかることができ、良かったと思います。ただ、同じ一宮市内でも、地域によりマグネシウムイオン濃度が大

幅に異なっており疑問を持ちました」あるいは「先生に勧められて参加したが、すごくおもしろく参加してよかった。実験テキストに書いてあった紹介本やホームページも見たい」と述べている。これは実験講習会に参加しただけに留まらず、新たな疑問を持って自ら進んで科学を探求する心が芽生えたことを示している。なお、今回の実験講習会は参加希望者が定員に達せず、教師の勧めにより参加した生徒もいた。しかし、上述のように参加者全員が楽しく充実した実験であったと述べている。このことから今後の研究開発の方向は、特別講義よりむしろ実験・実習を中心に行っていくべきである。