

# 実験を中心にした授業の評価に関する実践研究

## —— 「化学卒業実験」の意義と効果 ——

鳥山由子

### 1. 化学卒業実験の目的と概要

生徒実験の評価は、一般的にはレポートによることが多い。しかし、レポートは実験の後に提出されるため、生徒の思い違いと思われる記述を発見しても、実験場面に即して修正させることが難しい。また、中学校・高校学校段階では、レポートの出来映えと実験態度とは必ずしも相関していないという問題もある。

実験中の生徒の理解度を正しく評価するためには、実験の場で、その実験の目標、手段、結果について具体的に生徒に質問して評価することが有効である。

生徒に実験を行わせながら、生徒の理解度を実験中の質疑応答で評価しようとする試みは、かつて、名古屋大学などで、入学試験の一つの形態として試みられたことはあるが、現在は行われていない。実施をやめた最大の理由は、試験を実施する側の負担が大きいことであった（古川 1997）。

しかし、盲学校の生徒数は少ないので、実験の場で評価を行うことは不可能ではない。さらに、盲学校では、生徒一人一人が実験の目的と、方法の全体像を把握して実験を行うために、観察された事象を、その都度、その場でまとめることが大切なこととされており、実験中に、教師が生徒に質問して理解度を確認しながら授業を進めることがしやすい環境がある。

このような盲学校の授業の特性からも、実験結果の確認や考察は、事後に提出するレポートではなく、実験中、または実験直後に、授業の中で行うことが有効であると言える。

ただし、このことは、観察したことを正確に記録に残すことの必要性や、そのための指導を否定するものではない。実験直後に実験結果をまとめた後で、各生徒にノートやレポートを提出させることは有意義なことである。

ここでは、実験中の生徒の理解度や生徒の実験への参加を評価する一つ的手段として、筆者が、筑波大学附属盲学校において、1984 年度から 1997 年度までに実施した高等部 3 年生の「化学卒業実験」について報告する。

この面接実験では、生徒は事前に実験題目を決めて実験計画書を提出させた。実験計画書が不十分な生徒に対しては個別指導を行った。実験計画書が合格した生徒には、生徒と時間の調整を行い、各生徒に約 30 分の時間を割り当てて、個別面接型の実験評価をした。

評価の配点は、実験題材に関わりなく、技能 40 点、理解 40 点、態度 20 点、合計 100 点とした。

教師は、各生徒の実験内容に即して、個別の評価のチェックポイントをあらかじめ設定し、実験中、および、その場で口頭試問を行いながらチェックをした。チェックポイント以外に気づいたことも、個別の評価用紙に記入した。

実験の準備（器具、薬品など）は、生徒の実験計画書の内容を尊重しながら、教育的判断を加えて、教師が行った。ここでいう教育的判断とは、生徒の計画書には書いていなくても、必要だと思われるものは、教師の判断で用意し手億等の準備のことである。

## 2. 生徒が選んだ実験題目

1984 年度から 1997 年度までに、223 人（点字使用者 128 人、普通文字使用者 95 人）の生徒が化学卒業実験を行った。生徒の選んだ実験で最も多かったのは、有機化合物の実験（アルコールの酸化、エステル合成など）で、86 人であった。この実験が選ばれた理由は、3 年次に学習して記憶の鮮明な実験であったこと、授業中にグループ実験でなく各生徒が一人で行った実験であったこと、実験の考察として化学反応式や分子模型での説明などがしやすいこと、反応の進行状況が臭いで確認できることなどであると思われる。

次いで、選択した生徒が多かった実験は、イオンの検出、タンパク質の呈色反応など、溶液の色の変化や沈殿反応で、これらを選んだ生徒は 46 人だった。また、気体の発生実験も 41 人と、比較的多かった。中和滴定は、少数ではあるが常に選ばれる実験であった。授業では、視覚に依存しない方法で実験を行っているが、弱視生徒の中には、一般の教科書に載っているビュレットを用いる実験を、卒業実験でやってみたいと申し出て実施した生徒もいた。

このように、授業では取り上げなかった実験や、授業とは異なる方法で実験を試みる生徒もいた。1985 年度にある生徒が取り組んだ「乳酸とプロパノールのエステル」の合成実験は、授業でおこなったエステルの合成実験の応用として、アルコールと有機酸の種類を変えてみたものであり、1997 年度にある生徒が取り組んだ「エタノールの酸化剤による酸化」は酸化の方法を、授業で行った実験とは異なる方法に変更したものであった。また、1991 年度の「アンモニアソーダ法の実験」、1997 年度の「陽イオンの分析」は、授業では割愛した実験である。1989 年度の「中和熱の測定」は、授業では取り上げなかった実験であったが、この生徒は得意な数学を生かして結果の計算の手間を省くことができるよう反応物質の量を工夫していた。また、1991 年度の「ファラデーの電気分解の法則を確かめる

実験」は、電気が好きな生徒が、やはり結果の計算が容易になるように工夫して実験したものである。生徒の工夫した実験法の中には非常に良い方法があり、後に授業の定番の実験として定着したものもあった。

### 3. 化学卒業実験の具体的展開

化学卒業実験の具体的展開として、次の3事例について以下に具体的に示す。

事例1 アンモニアの発生（気体発生実験の代表として）、

事例2 マグネシウム・カルシウム・バリウムイオンの反応

（沈殿反応の代表として）、

事例3 酢酸エチルの合成（有機化合物合成実験の代表として）

事例1 アンモニアの発生（1984年度 盲生徒）

#### （1）実験計画書

（次ページに表を示す。）

#### （2）評価項目

「技能」のチェックポイント

- ① 上皿てんびんを用いて、試薬を量る。
- ② 2種類の試薬をビーカー内で混ぜ、試験管に入れる。
- ③ 実験装置を組み立てる。
- ④ ガスバーナーを用いて加熱する。
- ⑤ 発生するアンモニアを上方置換法で集める。
- ⑥ 集めたアンモニアの入った試験管の口を指でふさいで水中で指を離す。  
（試験管を持つ手の向き）
- ⑦ 水が飛び込んだ試験管にフェノールフタレインを滴下する。
- ⑧ 感光器でフェノールフタレインの呈色を調べる。

「理解」のチェックポイント

- ① 化学反応式が言える（書ける）。
- ② 使用する薬品の量のおよその関係について、化学反応式から（モルを用いて）計算（概算）をすることができる。
- ③ 上方置換をする理由が説明できる。
- ④ 水中で試験管をふさいでいた指を離したときに起こった現象（指が吸い込まれる感じがして、水が飛び込む現象）の説明ができる。

⑤ フェノールフタレインの呈色について説明できる。

事例 1 で生徒が作成した実験計画書

実験題目：アンモニアの発生

高 3 T. H. (原文は点字)

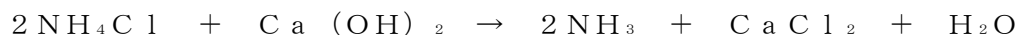
準備するもの

乾いた試験管 2 本、ガラス棒、ゴム栓つきガラス管 (L 字管)、  
塩化アンモニウム、水酸化カルシウム、スタンド、水の入った水槽、  
上皿てんびん

実験方法

- ① 乾いた試験管に塩化アンモニウムと水酸化カルシウムを入れ、ガラス棒で混ぜる。(注 1)
- ② スタンドに試験管をとめて、ガラス管のついたゴム栓をする。
- ③ ガラス管の先に乾いた試験管をかぶせ、気体を集める。

化学反応式



気体の確認方法

- ① アンモニアには、独特の刺激臭がある。
- ② 水によく溶けることからわかる。

(注 1) 実験計画書に書かれたこの操作は誤りであり、実際の場面では、  
ビーカーの中で混ぜてから試験管に入れるよう指摘し、50 ml の  
ビーカーを与えて操作させた。

備考：この実験が行われた 1984 年度は、面接試験を初めて行った年度であるため、教師も試行錯誤の状態であり、実験計画書の書き方の指導が行き届いていなかった。したがって、後に示す 3-2、3-3 の実験計画書に比べて実験計画書が整っていない。しかし、実際の実験の中では、視覚以外の感覚を駆使して正確な操作をするための工夫が随所に見られた。

### (3) 結果

- ① この生徒は、大変に手先が器用な生徒で、すべての実験操作を要領よく、正確に、しかもかなりの速さで行うことができた。
- ② 実験に用いた試薬（塩化アンモニウム 3 g、水酸化カルシウム 2 g）は、この実験が行われた 1984 年には、上皿天秤で量っていた。試薬を少しずつ加え、天秤が釣り合ったところでやめる操作は、盲生徒にとっては時間がかかる操作であるが、この生徒はそれを大変要領よくこなした。
- ③ 実験装置の組み立てにおいて、試験管をスタンドに取り付ける高さを決めるときには、ガスバーナーと試験管との距離を自分の手を物差しにして測って見当をつけていた。また、ガスバーナーにマッチで点火するときには、マッチを持った手の小指をさりげなくガスバーナーの筒に当てて、マッチの炎がガスの出てくる口に確実に当たるように位置を決めていた。それらの動作は、そのつもりで見えていなければ気づかないほどの速さでさりげなく行われていた。
- ④ よく予習してあって、「理解」に関する質問にも、的確に答えることができた。



図1 アンモニアの発生実験中、ガスバーナーに点火しているところ。  
マッチを持った手の小指が、ガスバーナーの筒に触れて、マッチの炎が筒の上に正確にくるように誘導している。  
左手は、ガスバーナーのガス調節ねじを廻している。

## 事例 2 金属イオンの反応 (1991 年度、盲生徒)

### (1) 実験計画書

(次々ページに表を示す)

### (2) 評価項目

この実験は、調べる水溶液に試薬を加えて沈殿生成の有無を調べ、そのことから水溶液中のイオンの存在を知る実験である。操作は、特に難しくはないが、金属イオンを含む水溶液が 3 種類、加える試薬が 4 種類あるので、器具の配置や、実験の進め方について、論理的に計画を立て、結果が生ずるたびに、整理しておくことが必要である。

そこで、評価の「技能」「理解」のチェックポイントを次のように設定した。

「技能」についてのチェックポイント

- ① 駒込ピペットを使って試薬を試験管に入れる。
- ② 試験管内の溶液を振り混ぜる。
- ③ 試薬の組み合わせを間違えずに実験することができる。
- ④ 感光器で沈殿（濁り）の有無、およびその濃淡の区別ができる。感光器を「透過光の場合」と、「黒い背景を用いての反射光の場合」とで使い分けることができる。

「理解」についてのチェックポイント

- ① 実験の目的、手順を説明することができる。
- ② 論理的、規則的に実験を進めることができる。
- ③ 沈殿の確認の際、感光器の音の違いがどのような視覚的な意味を持つかを、透過光の場合、反射光の場合を比較して説明することができる。
- ④ 実験結果を確認し、マグネシウム、カルシウム、バリウムの各イオンの反応結果を比較して説明ができる。
- ⑤ 実験結果をⅡ族元素の特色と、3 種類の金属イオンの周期表での位置とを結び付けて説明することができる。

### (3) 結果

- ① 本生徒は、実験内容を非常によく理解しており、上記評価項目のすべてをクリアしていた。
- ② 特に、多くの試薬を間違いなく組み合わせていくために、試験管立て

( $5 \times 10$  の配列で、50本立て)を利用して、試薬の置き方や、それぞれの試薬に用いる駒込ピペットの位置などを工夫して、間違いなく操作していた。

- ③ 感光器を用いての沈殿の確認は、自ら「透過光の場合」と、「反射光の場合」の両方で結果を調べ、それぞれの結果を総合して正しく判断していた。

(無色の液体が白濁した場合、透過光の条件で感光器で調べると、無色の時に比べて感光器の音が下がる(透過してくる光が沈殿によってさえぎられるため)。しかし、反射光で感光器で調べると、無色の時に比べて、感光器の音が高くなる(白濁により乱反射が生じるため)。

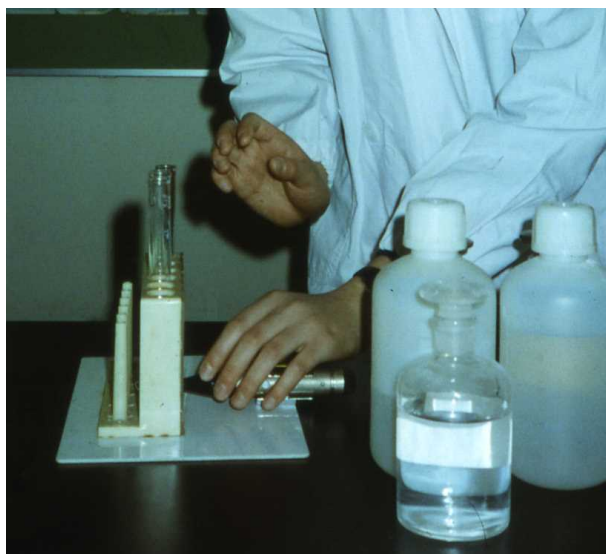


図 2

実験中、溶液の白濁を調べるために、試験管内を透過してくる光を感光器でチェックしている。

(溶液に濁りが生じるので、無色の溶液に比べて、感光器の音が低くなる)

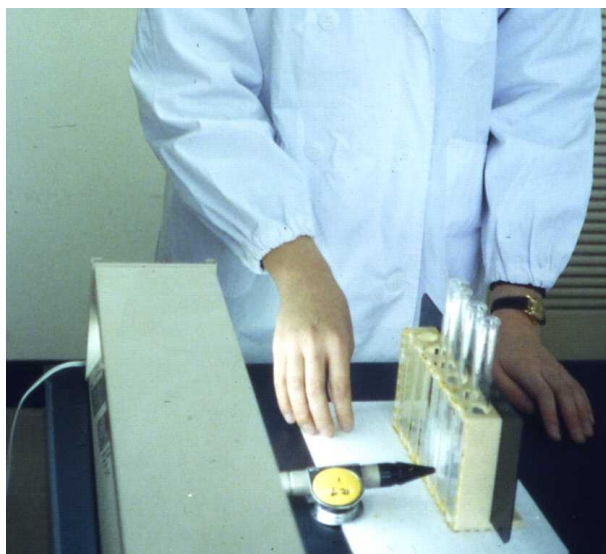


図 3

図 2 と同じ場面で、試験管光源、感光器の位置関係を変えて、試験管に当たって反射した光を感光器で調べている。試験管の後ろには黒い板が置いてある。溶液の白濁による乱反射のために、無色のときに比べて感光器の音が高くなる。

事例 2 で生徒が作成した実験計画書 高 3 A. M. (原文は点字)

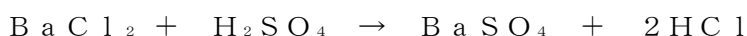
- 1 実験題目 マグネシウム、カルシウム、バリウムの化合物
- 2 実験目的 II 族 A の化合物の性質の違いを調べる。
- 3 準備 器具：試験管 9 本、試験管立て、駒込ピペット 7 本、感光器  
感光器用電気スタンド  
薬品：塩化マグネシウム、塩化カルシウム、塩化バリウム  
水溶液（各 15ml）、炭酸ナトリウム水溶液（3 ml）  
希硫酸（3 ml）、希水酸化ナトリウム水溶液（3 ml）  
希塩酸（5 ml）、

#### 4 実験方法

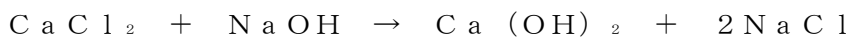
- ① 塩化マグネシウム水溶液、塩化カルシウム水溶液、塩化バリウム水溶液を約 5 ml ずつ、それぞれ 3 本の試験管に入れる。
- ② ①に希硫酸を約 1 ml ずつ加えてよく振り混ぜた後、感光器で観察する。
- ③ ①に希水酸化ナトリウム水溶液を約 1 ml ずつ加えてよく振り混ぜた後、感光器で観察する。
- ④ ①に炭酸ナトリウム水溶液を約 1 ml ずつ加えてよく振り混ぜた後、感光器で観察する。
- ⑤ ④に希塩酸を加え、感光器で観察する。
- ⑥ ②の塩化バリウムの試験管に希塩酸を加え、感光器で観察する。

#### 5 予想される反応

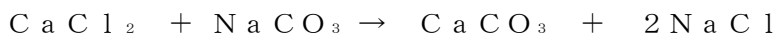
方法②では、バリウムのみ白い沈殿ができ、その他は変化がない。



方法③では、バリウムのみ半透明で、その他は白く濁る。



方法④ではすべて白く濁る。



方法⑤では、沈殿が溶けて、 $\text{CO}_2$  が発生する。



方法⑥では、変化がない。

#### 6 留意事項

- ① 薬品が混じり合わないよう、駒込ピペットは薬品によって使い分ける
- ② 塩酸や硫酸が手や目に触れないようにする。



(備考) この実験計画書には、試薬の濃度が示されていないが、事前指導において生徒と話し合い、塩化マグネシウム、塩化カルシウム、塩化バリウムの水溶液は  $0.2 \text{ mol/l}$  で、その他は  $1 \text{ mol/l}$  水溶液を用意した。

### 事例 3 酢酸エチルの合成 (1991 年度 盲生徒)

#### (1) 実験計画書

実験計画書 (次ページに表で示す)

#### (2) 評価項目

「技能」に関するチェックポイント

- ① 注射器を使って、酢酸、エタノールをそれぞれ試験管に  $2 \text{ ml}$  ずつ入れる。
- ② 駒込ピペットを使ってエタノールを酢酸の試験管に移す。
- ③ 試験管を振る。
- ④ 試薬瓶にとりつけてあるディスペンサーを使って濃硫酸  $0.5 \text{ ml}$  を試験管に入れる。
- ⑤ ガスバーナーに点火し、湯の入ったコニカルビーカーを金網にのせ、試験管を加熱する。
- ⑥ エステルの生成を臭いで知る。
- ⑦ 水を加え、二層になった様子を感じ器で調べる。
- ⑧ 駒込ピペットを使って下層の液をとりだす。
- ⑨ 炭酸水素ナトリウムの飽和溶液を使って中和する。中和の終了を音で知る。

「理解」に関するチェックポイント

- ① 実験の目的と手順を説明できる。
- ② 化学反応式を言う (書く)。
- ③ 分子モデルを使って反応を説明できる。
- ④ 操作や起こった現象を説明できる。

操作⑤で、なぜ間接的に加熱するか。

操作⑦で二層になったのはなぜか。上層は何で、下層は何か。

操作⑨で発生する気体は何か。この中和反応に水酸化ナトリウムを用いることができないのはなぜか。

- ① 本生徒は、実験をよく理解して実験を進めていた。
- ② 実験操作は危なげがなく、静かに落ち着いて操作した。
- ③ 実験中、器具の位置を使いやすく並べたり、必要な器具を手近な所に置いて使い終わった器具を移動させるなど、手順よく実験していた。
- ④ 「理解」に関する質問にも、すべての的確に答えた。

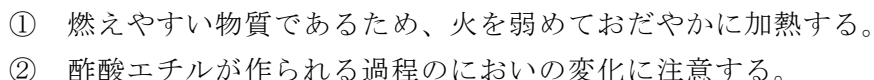
実験題目 エタノールと酢酸の脱水縮合

目的 エタノールと酢酸でエステルを作り、その性質を調べる

準備 器具：試験管（２）、コニカルビーカー（１）、三脚（１）、  
金網（１）、駒込ピペット（３）、注射器（２）、  
薬品：酢酸（２ ml）、エタノール（２ ml）、濃硫酸（0.5 ml）  
炭酸水素ナトリウムの飽和溶液（適量）、蒸留水、沸騰石

- ① 試験管に酢酸とエタノールをそれぞれ 2 ml ずつ入れて、よく混合さらに触媒として濃硫酸 0.5 ml を加える。
- ② コニカルビーカーに水を張り沸騰石を 4 粒ほど入れて、①の試験管立て、ガスバーナーで加熱する。
- ③ ②の試験管が冷えてから蒸留水を加え、液が二層に分かれたら下層液をピペットで取り除く。
- ④ 上層の液に、炭酸水素ナトリウムの飽和溶液を気体が発生しなくなまで徐々に加える。
- ⑤ ④の結果、液が二層に分かれたら、下層の液を取り除く。

実験方法の②では、脱水縮合によって、酢酸エチルが作られ、液体が酸の臭いから、セメダインのような臭いに変わることが予想される。



備考：濃硫酸を加える操作は、授業では時間の関係で教師が援助したため、ディスペンサー（瓶にとりつけるタイプのもの）を使うのは初めてであったが、その場で使い方を教えたところ、すぐに使うことができた。「準備する器具」の中にディスペンサーがなく、駒込ピペットの数が1本多いのは、濃硫酸を駒込ピペットで入れるつもりでいたからである。

#### 4. 終わりに

本報告は、筆者が筑波大学附属盲学校で化学の授業を担当していた期間のうち、1984年度から1997年度までの高等部3年生223人（点字使用者128人、普通文字使用者95人）に実施した「化学卒業実験」をまとめたものである。当時は、1クラスの定員が10人だったので、授業中は、実験がうまくいかない生徒の指導に追われ、順調に実験を進めている生徒の様子を観察は不十分であった。また、化学の授業では、原則としてすべての授業時間に実験・観察などの体験活動を取り入れるようにしていたにもかかわらず、ペーパーテストによる定期試験では、授業で育った生徒の能力が試験結果に反映されにくいと感じることもあった。なお、授業では、「ガスバーナーの使い方」など、実験の基本操作の実技テストは実施していたが、それは実験の技術面だけの評価にすぎなかった。

このような問題に対する一つの解決方法として考えた形が、化学卒業実験である。しかし、高等部3年生は大学入試や専攻科入試で忙しい時期であるので、生徒のコンセンサスを得ることも重要であった。そこで、化学卒業実験の実施方法と採点方法を説明し、試験結果は定期試験と同等の扱いにすること、卒業実験の実施日は各生徒の希望に合わせることで、生徒の意欲を喚起することができた。

実施してみて、強く感じたことは、二つある。一つは、一人ひとりの生徒に実験を通してじっくり向かい合って初めて、生徒の能力を正しく知ることができることである。もう一つは、この卒業実験の30分の時間内に生徒の力が驚くほど伸びることである。音楽の演奏指導などで、「100回の練習より1回の舞台」という言葉があるが、生徒が最大限の集中力で取り組む場でこそ、生徒の力が大きく伸びることを実感することができた。欲を言えば、この「化学卒業実験」後に、各生徒に実施した実験のレポートを書かせれば、充実したレポート指導ができたと思われるが、そこまでは取り組むことはできなかった。

---

引用文献：古川路明（1997）大学入学試験に見る工夫（その2）面接入試への化学実験導入の試み一名古屋大学理学部における経験から、  
化学と教育、45（2）、100-102.