

高等学校化学における有機化学実験実施状況 アンケート調査

巻本 彰一・藤田 義人*

Questionnaire on the Implementation of an Organic Chemistry Experiment
at the High School Level

Shoichi MAKIMOTO and Yoshito FUJITA*

Accepted December 18, 2017

抄録：受験直前に有機化学を学ぶこともあって、有機化学実験の実施率は低い。また高等学校で学ぶ有機物自体が、低沸点で臭気を発し、発火や引火しやすい特徴を持っていることも実施率が低い理由の一つである。そこで有機化学実験が、実際にどの程度学校現場で行われているのかを京都教育大学理科領域の学生を中心にアンケート調査を行ったところ、合成実験に関しては、ほとんどの実験で約70%以上の学生が経験していないことが分かった。この現状を改善し、有機化学実験を高等学校の現場で行われやすいものにしていくためにも、有機化学実験のスマールスケール化を検討していく必要があると思われる。

索引語：有機化学実験，実施率，高等学校化学，スマールスケール，マイクロスケール

Abstract: As high school students learn organic chemistry shortly before taking their university examinations, the implementation rate of experiments in the area of organic chemistry is low. The reasons for that seem to involve the volatile nature of organic substances. Therefore, I provided a questionnaire, focusing on students in the science field at Kyoto University of Education. I hoped to learn the extent to which organic chemistry experiments were conducted during high school. The results of the questionnaire showed that roughly 70% of students were not exposed to synthesis experiments during organic chemistry courses. In order to facilitate more experimentation at the high school level in organic chemistry, it seems reasonable to suggest experimentation on a smaller scale.

Key Words: high school chemistry, implementation rate, organic chemistry experiments, small scale, micro scale

* 和歌山県立橋本高等学校

1. はじめに

高等学校学習指導要領解説理科編¹⁾によると、本研究で扱うような有機化合物に関する学習を行う単元は、「化学」の中に位置付けられていて、具体的に有機化合物を扱う単元として、「(4) 有機化合物の性質と利用」がある。この単元の目標として「有機化合物の性質や反応を観察、実験などを通して探究し、有機化合物の分類と特徴を理解させるとともに、それらを日常生活や社会と関連付けて考察できるようにする。」というように記載されている。この目標からもわかるように、生徒の有機化合物に関する知識の獲得を促すために、観察や実験を積極的に取り入れることが求められている。実際に生徒自身が実験で有機化合物を扱い、反応を体験することで内容をより具体的に理解でき、さらに、その有機化合物が日常生活の様々な場面で利用されていることを学習できれば、化学の学習内容と実生活を結びつけることができ、化学についての理解をより一層深めることができると考えられる。

有機化学分野でも同じであり、多くの有機化合物やそれらの官能基の性質、官能基同士の反応など多くのことがらを学習するが、実験の機会は少なく、暗記による学習になっている。しかし、実際に反応させて変化を体験することができるのが化学の魅力であり、簡単な有機化合物であれば、高等学校での学習内容を用いて、高校生でも有機化合物を合成することができる。生徒は、試薬を反応させるとそれまでとは全く違う性質を示す化合物ができることに驚きを感じるとともに、自らの手で新しい化合物を作り出すことができるという有機化学分野の楽しさも同時に感じることも考える。特に有機化合物の合成は構造の変化とともに、色やにおいの変化なども伴うので、より生徒たちに強い印象を与えることができる。このような有機合成の実験教材を授業の中にうまく取り入れ、特に有機化学の面白さ、楽しさを伝えることができれば、学習効果や学習意欲の向上をさらに期待することができると考えられる。

しかし、新課程になってから旧課程に比べて教科書の内容は大幅に増え、有機化学や高分子化学は受験直前にその単元を学ぶこともあって、実験にしわ寄せがきやすい状況となっている。また高等学校で学ぶ有機物自体が、低沸点で臭気を発し、発火や引火しやすい特徴を持っていることも有機化学実験の実施率が低い理由の一つである。さらに、有機化学実験を行ったとしても、行われるのは有機化合物の性質を確かめる定性実験が多く、有機化合物を合成する合成実験は行われにくい傾向にある。

そこで本研究では、高等学校の現場ではあまり有機化学実験が行われていない、という現状をよく聞くので、有機化学実験が実際にどの程度学校現場で行われているのか、を京都教育大学理科領域の学生を中心にアンケート調査を行った。その結果から、より学校現場でも取り入れやすい有機化学実験の開発と、その中でも特に有機合成実験を高等学校の化学の授業で積極的に取り入れられるようにするための方策を考え、また本学での授業改善につなげていきたいと考える。

2. 高等学校化学における有機化学実験の現状とアンケート調査結果

高等学校の現場では、あまり有機化学実験が行われていないという現状から、現在、高等学校で扱われている「化学」の教科書で扱われている有機化合物の反応や実験例について調べた。また、教科書で扱われているような有機化学実験実施の現状を知るために、アンケート調査を行った。その際、

啓林館，実教出版，数研出版，第一学習社，東京書籍の5社から出版されている学習指導要領に準拠した「化学」の教科書²⁻⁶⁾を参考にした。

2.1 教科書における有機化学分野の扱い

上記の教科書のうち，実教出版は『化学』と『新版化学』⁷⁾，東京書籍は『化学』と『新編化学』⁸⁾の2種類ずつ教科書が出版されていたので，合計5社7冊の教科書において本文中でどのような有機化学反応が扱われているのかを調べた(表1)。表1では，有機化合物の反応のうち，教科書に「観察実験」のような囲み欄で具体的な実験例が示されている反応については，網掛けにしてある。

表1 高等学校化学の教科書で扱われている有機化合物の反応

第2章 脂肪族炭化水素	第3章 酸素を含む脂肪族化合物	第4章 芳香族化合物
2-1 メタンの生成	3-1 アルコールとナトリウムの反応	4-1 ベンゼンのハロゲン化
2-2 アルカンの燃焼	3-2 アルコールの酸化反応	4-2 ベンゼンのスルホン化
2-3 アルカンの置換反応	3-3 アルコールの脱水反応	4-3 ベンゼンのニトロ化
2-4 エチレンの製法	3-4 ジエチルエーテルの生成	4-4 トルエンのニトロ化
2-5 アルケンの付加反応	3-5 銀鏡反応	4-5 ベンゼンの付加反応
2-6 アルケンの酸化反応	3-6 フェーリング液の還元	4-6 フェノール類と アルコール類の相違点
2-7 アルケンの重合反応	3-7 ホルムアルデヒドの生成	4-7 フェノール類と アルコール類の類似点
2-8 アセチレンの製法	3-8 アセトアルデヒドの生成	4-8 フェノールのニトロ化
2-9 アセチレンの付加反応	3-9 アセトンの製法	4-9 フェノールのハロゲン化
2-10 アセチレンの重合反応	3-10 ヨードホルム反応	4-10 フェノールの製法
2-11 アルキンの酸化反応	3-11 カルボン酸の塩	4-11 芳香族カルボン酸の性質
	3-12 ギ酸の生成	4-12 安息香酸の生成
	3-13 酢酸の生成	4-13 フタル酸・テレフタル酸の生成
	3-14 酸無水物の生成	4-14 無水フタル酸の生成
	3-15 エステル化反応	4-15 サリチル酸の合成
	3-16 エステルの加水分解とけん化	4-16 カルボン酸としての サリチル酸の反応
	3-17 油脂の合成	4-17 フェノール類としての サリチル酸の反応
	3-18 セッケンの合成	4-18 アニリンの製法
	3-19 セッケンの性質	4-19 アニリンの性質
	3-20 合成洗剤の合成	4-20 アセトアニリドの合成
		4-21 ジアゾ化
		4-22 カップリング
		4-23 芳香族化合物の分離

※有機化合物の反応のうち，教科書に「観察実験」のような囲み欄で具体的な実験例が示されている反応について，表に網掛けをつけている。

教科書における有機化合物を扱う単元は，一般的に「1章 有機化合物の特徴と構造」，「2章 脂肪族炭化水素」，「3章 酸素を含む脂肪族化合物」，「4章 芳香族化合物」，「5章 有機化合物と人

間生活」の5つの章で構成されていた。そのうち、2章と3章で脂肪族化合物、4章で芳香族化合物の具体的な化合物の特徴や性質を学習するので、この3つの章で有機化学反応が記載されている。記載されている有機化学反応は、実験室で行うことのできる反応から複雑な条件が必要になる反応と多くの反応が扱われていた。

教科書に囲み欄で掲載されている具体的な実験例について、どのようなものがあるのかを調べた(表2)。ここで○印は実験・観察実験で、△印は探求・探求活動で取り上げられているもの、とに区別して表記した。5社7冊の教科書には合計で30種類の有機化学実験が掲載されていた。これらの実験のうち、全部の会社の教科書に掲載されていた実験は「アルコールの性質と反応」のみであった。また、1社のみが取り上げている実験は15種類もあった。1社のみが取り上げている実験に関しては、「5章 有機化合物と人間生活」で扱われている実験が多くを占めた。「5章 有機化合物と人間生活」では、日常生活と有機化学を関連させるような実験を扱うことが考えられ、各社の取り上げ方に特徴が見られた結果、5章の実験はすべて1社のみが扱う結果となった。しかし、「1章 有機化合物の特徴と構造」の実験も、すべて取り上げている会社は1社のみであった。また、「2章 脂肪族炭化水素」の「メタンの分子模型の作製」や「4章 芳香族化合物」の「ベンゼンの性質と反応」も1社のみが取り上げていた。5章以外の1社のみが取り上げている実験は有機化合物全体の導入や各章で扱う化合物の導入に当たる実験であり、有機化合物の学習を進めていく上で重要であるが、扱っている会社は少なかった。

多くの会社を取り上げている実験例を見てみると、その多くが性質を調べるような定性実験であった。各章で有機化合物の性質を学習して、さらに実験を行うことでより理解が深まることが考えられるので、多く扱われる結果となったと考える。

表1と表2を比較して、教科書で扱われている有機化合物の反応のうち、どの程度が囲み欄で実験例まで記載されているのかを調べた。結果、2章～4章までの有機化合物の反応のうち、約半数の反応について実験例の記載があることがわかった。実験例の記載のある反応の多くは有機化合物の性質を示すような反応が多く、合成反応は高等学校の実験室で行うのには厳しい条件の反応もあり、実験例の記載は定性反応に比べて少ないことがわかった。

2.2 有機化学実験実施の現状

教科書には多くの有機化合物の反応が扱われており、それらのうちの19種類においては具体的な実験例(実験方法により1種類の反応について複数の実験例を含む)も記載されていることがわかった。では、それらの実験が、実際にどの程度学校現場で行われているのかを大学生を中心にアンケート調査を行った。

アンケート調査は、2014年度に京都教育大学の化学基礎実験(a),(b)を受講している理科教員志望の大学生・大学院生と京都教育大学大学院の理科教育教科内容論Ⅱ-化学-を受講した大学院生、計54名を対象に行った。表2に示した教科書に掲載されている実験例について、①生徒実験、②教師による演示実験、③行っていない、の3つの選択肢うちで、自身の経験として当てはまるものを選択させた。また、3つの選択肢のうち①と②の回答を「経験あり」、③の回答を「経験なし」とした。また、実験内容が教科書によって複数ある実験に関しては、それら全てに対して経験を調査した。アンケートの結果を以下に示す。

表 2 各社の高等学校化学の教科書に掲載されている有機化学実験

章名	実験内容	啓林館	実教出版		数教出版	第一学習社	東京書籍	
		化学	新版 化学	化学	化学	化学	新編 化学	化学
1. 有機化合物の特徴と構造	有機化合物の成分元素の検出						○	○
	有機化合物と無機化合物の比較		○					
	有機化合物の立体構造を調べる						○	
2. 脂肪族炭化水素	メタンの分子模型の作製		○					
	脂肪族炭化水素の性質	○			○	△		
	アルカンとアルケンの比較		○	○		○	△	△
	アセチレンの合成と性質					△		○ △
3. 酸素を含む脂肪族炭化水素	アルコールの性質と反応	○	○ △	○ △	△	△	○	○
	アルデヒドの性質と反応	○		△	△	△	△	△
	ヨードホルム反応		○	○	△	○	○	○
	エステル合成とケン化	○	△	△	○		△	△
	セッケンの合成	△			△		△	△
	セッケンと合成洗剤の比較	△	○	○	△			
4. 芳香族化合物	ベンゼンの性質と反応	○						
	ニトロベンゼンの合成	○						○
	フェノール類の性質と反応		○	○			△	△
	アニリンの合成と性質	○			○	△		△
	アゾ化合物(アゾ染料)の合成	○	△			△	△	△
	サリチル酸誘導体の合成	△	○	△		○	○	○ △
	芳香族化合物の分離	△			△		△	△
5. 有機化合物と人間生活	メタンの発生と性質			○				
	頭痛薬の中のアセチルサリチル酸の滴定	○						
	アスピリンとサリチル酸メチルの比較							○
	アゾ染料の合成	○						
	染色方法について調べる				○			
	植物を用いた染色		○					
	糖類の性質					○		
	食品中のアミノ酸の検出						○	
	ヘアカラーの仕組み						△	
	ビタミンCの定量							△

○：実験・観察実験 △：探求・探求活動

1) 有機化合物の成分元素の検出

スクロースを燃焼して、二酸化炭素と水の生成を確認した。

① 13%, ② 11%, ③ 76%, 経験あり 24%, 経験なし 76%

2) 有機化合物と無機化合物の比較

ナフタレンと塩化ナトリウムのそれぞれについて、水やヘキサンに対する溶解性、加熱による融解・燃焼の様子を比較した。

① 6%, ② 6%, ③ 88%, 経験あり 12%, 経験なし 88%

3) メタンの分子モデルの作製

(A) 発泡スチロール球と爪楊枝でメタンの分子モデルを作った。

① 14%, ② 22%, ③ 64%, 経験あり 36%, 経験なし 64%

(B) メタンの分子モデルの水素原子 2 個を別の原子に置き換え何種類のモデルができるか調べた。

① 25%, ② 25%, ③ 50%, 経験あり 50%, 経験なし 50%

4) 脂肪族炭化水素の性質

ブタン, エチレン, アセチレンに臭素水や硫酸酸性の過マンガン酸カリウム水溶液を加えたときの色の変化, または, 燃焼の様子を観察, 比較した。

① 18%, ② 6%, ③ 76%, 経験あり 24%, 経験なし 76%

5) アルカンとアルケンの比較

ヘキサンと 1-ヘキセンに臭素水や硫酸酸性の過マンガン酸カリウム水溶液を加えたときの色の変化を観察, 比較した。

① 16%, ② 4%, ③ 80%, 経験あり 20%, 経験なし 80%

6) アセチレンの合成と性質

(A) アルミ箔に包んだ炭化カルシウムを水の張った水槽に沈め, アセチレンを発生・捕集した。

① 15%, ② 0%, ③ 85%, 経験あり 15%, 経験なし 85%

(B) 捕集したアセチレンについて燃焼の様子, または, 臭素水や硫酸酸性の過マンガン酸カリウム水溶液を加えたときの色の変化を観察した。

① 15%, ② 4%, ③ 81%, 経験あり 19%, 経験なし 81%

7) アルコールの性質と反応

(A) 様々なアルコール類の水への溶解性を調べた。

① 19%, ② 4%, ③ 77%, 経験あり 23%, 経験なし 77%

(B) エタノールに米粒大のナトリウムを入れ反応させた。

① 17%, ② 8%, ③ 75%, 経験あり 25%, 経験なし 75%

(C) メタノールに熱した銅線を近づけ酸化させた。

① 19%, ② 11%, ③ 70%, 経験あり 30%, 経験なし 70%

(D) 1 級, 2 級, 3 級アルコールに硫酸酸性の過マンガン酸カリウム水溶液を加えて酸化の様子を観察, 比較した。

① 14%, ② 4%, ③ 82%, 経験あり 18%, 経験なし 82%

8) アルデヒドの性質と反応

(A) アセトアルデヒドにフェーリング液を加えて色の変化を観察した【フェーリング液の還元】。

① 47%, ② 13%, ③ 40%, 経験あり 60%, 経験なし 40%,

(B) アセトアルデヒドにアンモニア性硝酸銀水溶液を加えて変化を観察した【銀鏡反応】。

① 50%, ② 15%, ③ 35%, 経験あり 65%, 経験なし 35%

9) ヨードホルム反応

エタノール, アセトン, 酢酸のそれぞれにヨウ素ヨウ化カリウム水溶液と水酸化ナトリウム水溶液を加えて, 加熱し変化を観察した【ヨードホルム反応】。

① 43%, ② 12%, ③ 45%, 経験あり 55%, 経験なし 45%

10) エステルの合成とけん化

(A) 酢酸とエタノールから酢酸エチルを合成した。

① 28%, ② 4%, ③ 68%, 経験あり 32%, 経験なし 68%

(B) 合成した酢酸エチルを水酸化ナトリウム水溶液でけん化した。

① 26%, ② 7%, ③ 67%, 経験あり 33%, 経験なし 67%

11) セッケンの合成

(A) ヤシ油をけん化してセッケンを合成した。

① 19%, ② 2%, ③ 79%, 経験あり 21%, 経験なし 79%

(B) 合成したセッケンの水溶液にフェノールフタレイン溶液や塩酸、塩化カルシウム水溶液などを加えて様子を観察した。

① 13%, ② 6%, ③ 83%, 経験あり 19%, 経験なし 83%

12) セッケンと合成洗剤の比較

セッケン水、合成洗剤水溶液それぞれに、食用油やフェノールフタレイン溶液、塩化カルシウム水溶液などを加えて様子を観察、比較した。

① 6%, ② 4%, ③ 90%, 経験あり 10%, 経験なし 90%

13) ベンゼンの性質と反応

ベンゼンの色やにおい、水への溶解性、燃焼の様子を観察した。

① 30%, ② 13%, ③ 57%, 経験あり 43%, 経験なし 57%

14) ニトロベンゼンの合成

ベンゼンと濃硝酸、濃硫酸からニトロベンゼンを合成した。

① 20%, ② 4%, ③ 76%, 経験あり 24%, 経験なし 76%

15) フェノール類の性質と反応

(A) フェノールに BTB 溶液や塩化鉄 (Ⅲ) 水溶液を加えて変化を観察した。

① 30%, ② 8%, ③ 62%, 経験あり 38%, 経験なし 62%

(B) フェノールと炭酸の酸の強さを比較した。

① 19%, ② 4%, ③ 77%, 経験あり 23%, 経験なし 77%

16) アニリンの合成と性質

(A) ニトロベンゼンを塩酸と還元してアニリンを合成した。

① 28%, ② 7%, ③ 65%, 経験あり 35%, 経験なし 65%

(B) 合成したアニリンにさらし粉水溶液を加えて色の変化を観察した。

① 31%, ② 6%, ③ 63%, 経験あり 37%, 経験なし 63%

17) アゾ化合物 (アゾ染料) の合成

ジアゾ化、カップリングを経てアゾ染料 (p- ヒドロキシアゾベンゼン, 1- フェニルアゾ -2- ナフトールなど) を合成し、布を染色した。

① 22%, ② 6%, ③ 72%, 経験あり 28%, 経験なし 72%

18) サリチル酸の誘導体の合成

(A) サリチル酸とメタノールからサリチル酸メチルを合成した。

① 22%, ② 6%, ③ 72%, 経験あり 28%, 経験なし 72%

(B) サリチル酸と無水酢酸からアセチルサリチル酸を合成した。

① 22%, ② 6%, ③ 72%, 経験あり 28%, 経験なし 72%

19) 芳香族化合物の分離

それぞれの芳香族化合物がもつ性質を利用して、フローチャートに従って、分離した。

① 17%, ② 7%, ③ 76%, 経験あり 24%, 経験なし 76%

アンケート調査の結果、有機化学実験の経験数と人数の分布を図1に示した。実験の経験数が0種類と回答した学生は7人おり、全体の1割程度の学生が高等学校で有機化学実験を全く経験していないことがわかる。経験数が23～26種類と回答した学生は合計4人いた。このように多くの種類の有機化学実験を経験した学生は一般的には稀であり、高等学校の化学の教員が積極的に実験を取り入れていたのではないかと考えられる。また、高等学校がスーパーサイエンスハイスクール指定校であり、実験の機会が豊富にあったのではないかと、もしくは科学部等に所属し実験を行う機会が豊富であったのではないかと、とも考えられる。また、生徒実験なのか教師による演示実験なのか実施形態は分からないが、経験数が10種類前後の学生が一般的な高等学校での有機化学実験の経験状況を表しているのではないかと考えられる。

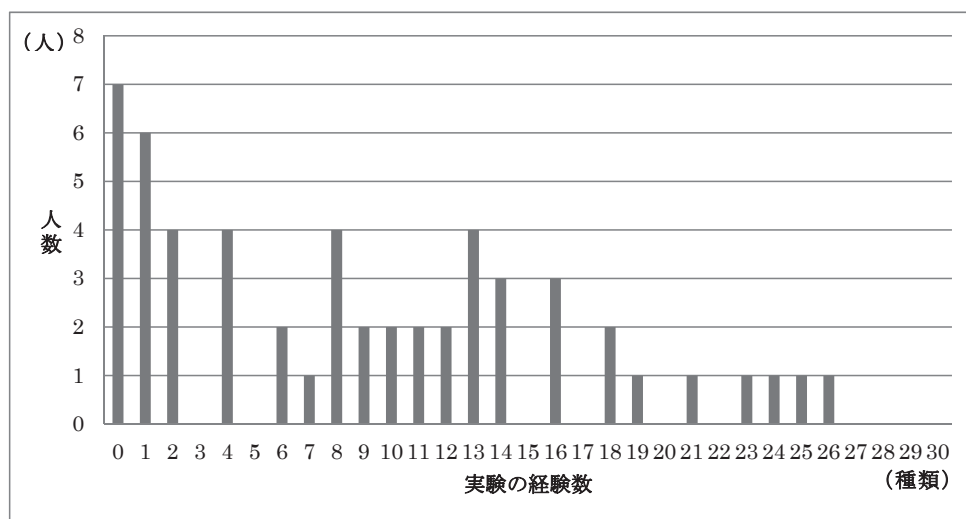


図1 有機化学実験の経験数と人数分布

アンケート調査で、50%以上の生徒が「経験した」と回答した実験は、「3) メタンの分子モデルの作製 (B)」, 「8) アルデヒドの性質と反応 (A)」, 「8) アルデヒドの性質と反応 (B)」, 「9) ヨードホルム反応」の4種類のみであった。これらはすべて有機化合物の性質を調べる実験であり、合成実験は1つも当てはまらなかった。合成実験に注目してみると、上で挙げた実験のうち、合成実験は「6) アセチレンの合成と性質 (A)」, 「10) エステルの合成とけん化 (A)」, 「11) セッケンの合成」, 「14) ニトロベンゼンの合成」, 「16) アニリンの合成 (A)」, 「17) アゾ化合物 (アゾ染料) の合成」, 「18) サリチル酸の誘導体の合成 (A)」, 「18) サリチル酸の誘導体の合成 (B)」の8種類であった。

表2に示したように、8種類の合成実験での経験ありの割合は、順に15%, 32%, 21%, 24%, 35%, 28%, 28%, 28%, であったので、ほとんどの実験で約70%以上の学生が経験していないと回答していたことになる。合成が比較的簡単で、においの変化で合成の確認を行いやすいエステルの特

成実験や、日常生活との関連を意識させやすく教材に向いていると考えていたアゾ染料の合成実験も、他の合成実験同様に経験していない学生が多い結果となった。

3. 考察

高等学校化学の教科書の有機化学の単元の全5章のうち、「2章 脂肪族炭化水素」、「3章 酸素を含む脂肪族化合物」、「4章 芳香族化合物」の3つの章の中で54種類の有機化合物の反応を学習することがわかった。これらの有機化合物の反応は、高等学校の実験室で容易に行うことができるような簡単な反応から、高温・高圧のような厳しい条件下で触媒を用いて反応を起こすような反応までと多種多様な反応が扱われていた。

教科書で、「観察実験」や「探究活動」などの囲み欄で記載されている具体的な実験例で示されているような19種類の有機化学実験に関して、高等学校でどの程度経験してきたのか、を訊ねた上述アンケート調査からは、ほとんどの実験について大学生・大学院生は高等学校で経験していないと回答していた。特に有機合成実験に関しては、約70%が経験していないという結果であり、半数以上が経験したと答えた有機化合物の性質を調べる実験とは違いがあったと考えられる。

合成実験が定性実験よりも行われていないのはなぜなのか、を考えてみると、まず第一に、合成実験は定性実験に比べて必要とする試薬が多くなってしまいうことが挙げられる。合成実験では合成して得る生成物を確認する必要があるため、検出反応ができる程度の生成物が必要となる。そのために反応させる試薬の量も多くなってしまいがちである。

第二に合成実験を行うための実験装置が大掛かりになってしまうことがあると考える。有機合成実験では加熱を湯浴で行ったり、還流操作や蒸留操作のために冷却器をつなげたりと装置が大がかりになりがちである。そのため、グループ実験であっても学校現場で必要数の器具を揃えることは難しいと考える。また、大がかりな実験装置を生徒が実験中に組み立てることは大変であり、時間がかかってしまう可能性がある。

また、有機化学実験全般に言えることであるが、引火性の試薬が多くガスバーナーで加熱するときに引火する危険性があること、揮発性の試薬が多く特有のにおいが実験室に充満してしまうことなどが考えられる。

これらのことから、学校現場で有機合成実験が敬遠されてあまり行われず、多くの生徒が経験していないという現状になっているのではないかと考えられる。この現状を改善し、有機化学実験を高等学校の現場で行われやすいものにしていくためにも、有機化学実験のスモールスケール化を検討していく必要がある。スモールスケール化実験はマイクロスケール化実験とも呼ばれ、1980年代にアメリカの大学において開発され始め、今ではアジアやヨーロッパの各国においても関心が高く、世界中の化学実験で取り組まれている⁹⁾。スモールスケール化は、環境に配慮した化学としての「グリーンケミストリー」と社会の持続的発展が可能な化学としての「サステイナブルケミストリー」の考え方に基づいており、使う試薬の量や実験後の廃液の量の削減を目的として実験器具のスケールダウンが行われてきた。この実験器具のスケールダウンに伴い、実験操作の簡略化や実験時間の短縮、個別実験が可能なことなどが注目され、新たな授業展開や学習効果が期待されている。

しかし、有機化学実験のスモールスケール化においては、無機化学実験の毒劇物等の使用量を減ら

すため、という視点とは違う別の重要な視点がある。それは、高等学校で学ぶ有機物自体が、低沸点で臭気を発し、発火や引火しやすい特徴を持っていることと関係している。例えば 1mL の溶剤に引火した場合、周りの可燃物を撤去さえすれば、燃え尽きるまで放置することで対応できるが、50mL 程度が引火したとなると消化器が必要となる。また高等学校化学までは有機溶剤を使用する経験がほとんどないことから、有機化学のスマールスケール化の第一義は「安全のために」であろう。

従って、有機化学実験のスマールスケール化においては、次の 3 点が重要であると思われる。

①有機合成実験のスマールスケール化による実験装置の簡略化・試薬の削減による安全性の向上

②様々な有機合成実験で用いることのできる実験装置の開発・システム化

③学習者に対して従来の実験と同等の教育効果を与えられるスマールスケール有機化学実験の開発
言い換えると、準備に時間がかからず安全に実験ができること、何万円もかかる特殊な装置ではなく簡便でメンテナンスが楽であり数が簡単に揃えられること、それにも関わらず通常スケールと同様の教育的効果があること、となる。試料が少なくなれば当然のことながら実験結果は見にくくなる。例えばエステル合成実験では、反応後の反応液に蒸留水を加えると合成された酢酸エチルが浮くとされているが、サンプル管ピンを用いた先行研究では¹⁰⁾、実際に蒸留水を加えてみると、はっきりとエステル層が水層の上に浮き、2 層になる様子は確認しにくかった。「操作の途中で二層に分かれる」はずが、そう見えなければ生徒は混乱すると思われる。スマールスケール化は、単にスケールを小さくするだけでなく、①～③の全てを満足するものが待たれている。

4. 化学基礎実験における授業改善

化学の教員が担当する理科領域学生の実験授業には、1 回生前期に小学校理科教材論 A (化学)、1 回生後期に化学基礎実験、2 回生前期に化学教育実験、3 回生前期に有機・生物化学実験、3 回生後期に環境分析化学実験がある。この内、有機化学の内容を取り扱っている実験は化学基礎実験、化学教育実験、有機・生物化学実験の 3 科目である。その中でも理科免許取得に必要な必修科目は化学基礎実験 (180 分) であり、その受講生は 40 名強の理科領域 1 回生が主体で、過年度生や他領域からの学生が数名いる。その授業内容についての変遷を表 3 に示す。2014 年度までの内容は、分析化学の中の陽イオン定性分析を主体としている内容で、空き時間を埋めるような形で有機化学実験が入っていた。さらに授業時間数が半期 15 回に満たなかった時代には、2 回目の「化学実験におけるコンピューターの利用」、3 回目の「化学実験の基本操作と実験器具の使い方」、14 回目の「容量分析と有機合成実験」は行っていなかった。それらの 3 回分は、半期が 12 回から 15 回への授業回数増加に伴い、順次増やしたものである。

しかし授業内容全体として見たときには分析化学の内容が多く、化学関連の専門科目が減少する中、バランスを欠くようになってきた。そこで 2015 年度末で小学校理科教材論 A (化学) と化学教育実験を受け持っていた専任教員が 1 名減少することが見込まれたため、他の実験授業と併せて化学基礎実験の授業内容を 2 回に渡って整理することとした。方法は分析化学の実験内容を減らし、それにより 3 回分の授業時間を捻出して空いた時間に化学の他の分野の実験内容を当て、内容全体をバランスよく充実させるという方法であった。

2015 年における 1 回目の整理では、空いた時間を、一旦、小学校で行う化学分野の実験に当てた。

表3 京都教育大学理科領域専攻の化学基礎実験 (a), (b) の授業内容の変遷

回	～2014年度	2015, 2016年度	2017年度～
1	安全教育とガイダンス	安全教育とガイダンス	安全教育とガイダンス
2	化学実験におけるコンピューターの利用	化学実験におけるコンピューターの利用	化学実験におけるコンピューターの利用
3	化学実験の基本操作と実験器具の扱い方	化学実験の基本操作と実験器具の扱い方	化学実験の基本操作と実験器具の扱い方
4	第1属陽イオンの個反応と系統分析	物質と水に対する溶解度と再結晶	物理化学実験1
5	第2属陽イオンの個反応	水溶液の液性と金属との反応	物理化学実験2
6	第2属陽イオンの未知試料分析	気体の発生とその性質	第1属陽イオンの系統分析
7	第3属陽イオンの個反応	第1属陽イオンの個反応と系統分析	第2属陽イオンの系統分析
8	第3属陽イオンの未知試料分析	第2属陽イオンの系統分析	第3属陽イオンの系統分析
9	第4属陽イオンの個反応 第5属陽イオンの個反応	第3属陽イオンの系統分析	第4属陽イオンの系統分析
10	第4属陽イオンの未知試料分析 とエステル合成	第4属陽イオンの系統分析と エステル合成	第5属陽イオンの系統分析
11	第5属陽イオンの未知試料分析 と糖の還元性	第5属陽イオンの系統分析と 糖の還元性	第6属陽イオンの系統分析と 容量分析
12	第6属陽イオンの個反応とタンパク質の性質	第6属陽イオンの系統分析と タンパク質の性質	第1,3,5属陽イオンの未知試料分析
13	第1,3,5属陽イオンの未知試料分析	第1,3,5属陽イオンの未知試料分析	エステルの合成と糖の還元性
14	容量分析と有機合成実験	容量分析と有機合成実験	タンパク質の性質と有機合成実験
15	小テストとレポート提出	小テストとレポート提出	小テストとレポート提出

それは、小学校で行う理科の実験を経験する科目に小学校内容論(90分)があり、ほぼ全学的に受講生がいるが、教育課程上、理科領域の学生はこの科目を受講することができない。この科目は全学的にとるために受講生が多いことと、理科領域専攻内にある他の専門的な実験授業を代わりに受講すればよい、ということからの措置であった。しかし、近年は学生自体が毎週レポートを提出しなければならない実験授業を敬遠する傾向があることや、専門科目の減少により、理科領域の学生にも関わらず、将来教壇に立ったときに小学校の理科の実験が満足に実施できない恐れも出てきた。そこで2015年度と2016年度は、小学校5年生の「物質と水に対する溶解度と再結晶」、小学校6年生の「水溶液の液性と金属との反応」と「気体の発生とその性質」について化学基礎実験に組み入れた。この3つで小学校での化学分野の実験はほぼ網羅できている。基礎実験で行うことにより授業時間は2倍になったので、他の領域の学生が学んでいた小学校内容論よりは深い内容まで教授することができた。

2回目の整理である2017年度からは「物質と水に対する溶解度と再結晶」、「水溶液の液性と金属との反応」、「気体の発生とその性質」についてを、理科領域1年生が受講できる科目の小学校理科教材論A(化学)に移した。従来は講義形式の90分の科目であったが、担当者に変更になることを利用し、講義と実験の半々とした。ただ授業時間が半分になるので、それまでの1回分の授業を2回に分け、従来レベルの内容を維持した。化学基礎実験においては、移行により空いた3回分の授業時間

を利用し、表3のように内容を物理化学実験、分析化学実験、有機化学実験と分野ごとの内容に分けた。そのことにより、実験内容を分野ごとにすっきりと整理し、基礎的な理論や考え方、操作方法等をしっかりと基礎から教えることが可能になったと考える。

有機化学実験に対する経験度の向上についてであるが、2017年度以降、基礎実験においては2)、7) A、8) A、10) AB、13)、14)、15) A、17)、18) Aの10種類を、化学教育実験では、11) AB、12)の3種類を、有機・生物化学実験では、通常スケールで、16) AB、17)、18) AB、19)の6種類を、サンプル管ビンを反応容器としたスモールスケール実験で、4)、5)、6) AB、7) A、10) AB、13)、14)、15)、16) AB、17)、18) Aの14種類を行っている。それゆえ、高等学校において全く有機化学実験を経験していない学生であっても、化学基礎実験の受講により、一般的な高等学校での有機化学実験の経験数の平均レベルである10種類の実験を経験できるようになった。また10種類の内、合成実験は4種類含まれているので、高等学校の教科書にある合成実験の内、半数を経験できるようになった。有機化学の実験に興味を持ったならば、化学基礎実験の後、化学教育実験、有機・生物化学実験と受講すれば、高等学校での有機化学に関する実験を21種類経験でき、その中には8種類の有機合成実験全てが含まれている。また有機・生物化学実験ではサンプル管ビンを反応容器としたスモールスケール実験を14種類経験できるので、将来現場に立ったときにでも応用できれば有機化学実験の実施率を上げ、また実験室の環境改善にも役立つことと思われる。

5. 結論

アンケート調査からも有機化学実験、特に有機合成実験の実施率が低いことが明らかとなった。高等学校化学の教科書のボリュームから、現場で有機化学実験に時間を割きにくい状況は変わらないが、準備に時間がかからず安全に実験ができること、何万円もかかる特殊な装置ではなく簡便でメンテナンスが楽であり簡単に揃えられること、それにも関わらず通常スケールと同様の教育的効果があること、という条件を満足できるような有機化学実験が開発されると、実験の実施率は現在よりは高くなる可能性がある。アンケート結果から、分析化学実験が主体であった化学基礎実験の内容を整理して、物理化学分野、分析化学分野、有機化学分野と分野ごとに柱とし、内容を充実させることで有機化学実験の経験不足を補うことにした。高等学校において全く有機化学実験を経験していない学生であっても、一般的な高等学校での有機化学実験の経験数の平均レベルである10種類の実験を経験できるようになった。さらに、化学基礎実験の後、化学教育実験、有機・生物化学実験と受講すれば、高等学校での有機化学に関する実験を21種類経験でき、その中には8種類の有機合成実験全てを経験できるようになった。

参考文献

- 1) 文部科学省『高等学校学習指導要領解説 理科編・数理編』実教出版、2010.
- 2) 齋藤烈ら編著『化学』啓林館、2013, pp.267-362.
- 3) 井口洋夫ら編著『化学』実教出版、2013, pp.233-306.

- 4) 辰巳敬ら編著『化学』数研出版, 2013, pp.269-348.
- 5) 山内薫ら編著『化学』第一学習社, 2013, pp.237-330.
- 6) 竹内敬人ら編著『化学』東京書籍, 2013, pp.289-402.
- 7) 井口洋夫ら編著『新版化学』実教出版, 2013, pp.183-244.
- 8) 竹内敬人ら編著『新編化学』東京書籍, 2013, pp.186-249.
- 9) 芝原寛泰, 佐藤美子共著『マイクロスケール実験 - 環境にやさしい理科実験 -』オーム社, 2011, p.3.
- 10) 本間順「探究心を育む化学教育～有機マイクロスケール実験～」北海道高等学校教育研究会研究紀要, 第49号, 2011, pp.1-4.

