

二期生の DP 化学での取組み

化学 HL 中山 彩夏 / 化学 SL 源嶋 大央

1 はじめに

令和2年4月に入学した IB コース第二期生が第一期生と大きく異なるのは、理系進学希望者が増加したことである。本校はグループ4の科目のうち、物理、生物のどちらかと化学の2つの科目で HL を選択できるというカリキュラム上の特徴がある。一期生は化学 HL 選択者9名のうち物理選択者はおらず生物 HL 選択者のみ2名だったが、二期生は化学 HL 選択者10名のうち物理 HL 選択者6名、生物 HL 選択者3名であり、理系進学を目指して二科目を上級レベルで学ぼうと積極的な科目選択をしている生徒が多い。

グループ4の HL 科目では授業時間240時間のうち、個人研究10時間、グループ4プロジェクト10時間を含む最低60時間を実習の時間に充てる必要がある。また、カリキュラムには、主に SL と HL の共通項目に規定の実習が9つ定められており、そのテーマに沿った実験などを授業内容に組み込む必要がある。「実習」は必ずしも「生徒実験」である必要はなく、様々な状況に応じて担当教員が工夫し、シミュレーションなどの課題を与えたり演示実験を観察させたりすることもこれに含むことができる。一期生の DP 履修時に比べると新型コロナウイルスの流行による学校での学習活動への影響も少しずつ減り、授業でディスカッションの時間を確保したり、多くの実験の計画を立てたりできるようになってきた。そこで、二期生の化学 HL では上級レベルであることをさらに意識し、可能な限り規定の実習を満たしつつ HL 科目のみ学習する発展項目でもより多く実習を取り入れた授業を目指した。本稿ではその中でもいわゆる「日本の高校化学」では取り扱わない内容の授業で取り入れた実習について報告する。

2 HL 発展項目における実習を伴う学習活動

2.1. グラフから反応速度式を求める

反応速度についての単元は、日本の高校化学と大きく違いはないが、何がどのような理由で反応速度に影響しうるのかは SL のレベルでも説明できることが求められる。HL では、反応速度は律速段階によって決まることやその関係性を理解することなどに加え、アレニウスの式についても学ぶ。ここでは、反応式や濃度変化とその反応速度がどのような関係になっているかを生徒が自身で手を動かして理解、納得できるよう、一次反応と二次反応について時間経過に対する反応物の濃度変化のデータからグラフを作成する実習を行った。一次反応の例として、五酸化二窒素 N_2O_5 が四酸化二窒素 N_2O_4 と酸素 O_2 に分解するときの反応¹⁾を用いて、データをあらかじめ入力しておいた Excel ファイルを生徒に共有した(図1左)。これを用いて各自必要な値を計算させ横軸に反応時間、縦軸に① $[\text{N}_2\text{O}_5]$ 、② $\ln[\text{N}_2\text{O}_5]$ を取ったグラフを作成させると、①は指数関数、②は一次関数のように一次反応に特徴的な形状を確認することができる(図1右)。また横軸に $[\text{N}_2\text{O}_5]$ 、縦軸に反応速度を取ったグラフから反応速度定数を求めることもでき、テキストに書かれている内容や一般式が再現できる。この実習は Google Meet を使ったオンライン授業で実施し、各自 Excel などの表計算ソフトでグラフ化まで作業した後は代表生徒に自身の PC の画面共有をさせ作成したグラフや計算結果を説明させた。反応速度を測定する実験の実施が困難でも、またオンライン授業であっても分析や計算の手段としての表計算ソフトの使い方や、グラフの見かた、式や数値の意味などを複合的に学ばせることがで

きた。

Table 1 CCl₄ 中での N₂O₅ の分解 (45°C)

時間 t /s	[N ₂ O ₅] /mol dm ⁻³	ln[N ₂ O ₅]	1/[N ₂ O ₅] /(mol dm ⁻³) ⁻¹
0	0.0365		
600	0.0274		
1200	0.0206		
1800	0.0157		
2400	0.0117		
3000	0.0086		
3600	0.0064		

② t に対する ln[N₂O₅]

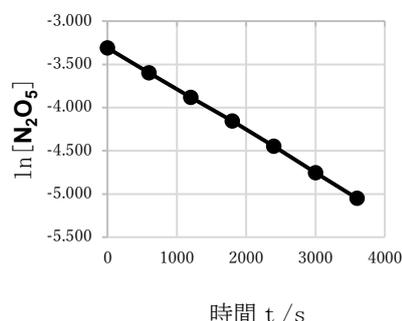


図1 生徒に提示したデータ(左)と Excel を使って作成したグラフ(右)

2.2. pH の測定と酢酸の K_a および pK_a の決定

酸と塩基の単元では、日本の高校化学の内容に加えルイスの酸塩基と pK_a の概念を学習する。ここでは、 K_a および pK_a の概念について理解を深めることと、規定の実習のテーマの1つである「pH メーターと万能指示薬の使用について知る」という2つの目標を達成するため、藤岡らが提案する生徒実験²⁾を参考に、酢酸の水溶液の pH を測定する実験を行った。実験の概要は次の通りである。弱酸である酢酸水溶液のモル濃度を c [mol/L]、電離度を α としたとき $1-\alpha \approx 1$ という近似が成り立つとすると、その pH は次式のように表せる。

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+] = -\log_{10}\sqrt{cK_a} = -\frac{1}{2}\log_{10}c - \frac{1}{2}\log_{10}K_a$$

したがって、モル濃度 c を変化させたときの pH を測定し $\log_{10}c$ に対する pH をプロットすれば一次関数が得られ、その切片から K_a および pK_a を求めることができるというものである。

あらかじめ用意しておいた 1 mol/L の酢酸水溶液を原液としてメスフラスコで 10 倍、100 倍、1000 倍に希釈する操作においては、中和滴定の際に行う操作の練習でもありテクニックの習得を意識させた。pH の測定には、別の実験で使用したワイヤレス温度センサ (PASC0 社) と同シリーズの pH センサを使用することでセンサの操作に手間取ることなく pH メーターとしての取り扱いに重点を置いて指導できた。生徒が実際に Excel などの表計算ソフトを用いてデータをプロットし、得た近似線の切片から求めた K_a および pK_a を表 1 に示す。

表1 各班のデータ

	$K_a(\times 10^{-5})$	pK_a		$K_a(\times 10^{-5})$	pK_a
1班	1.76	4.75	4班	1.48	4.83
2班	14.7	3.83	5班	1.82	4.74
3班	1.46	4.84			

2班の結果については、配付した原液の 1 mol/L の酢酸水溶液の pH の測定値が他の班に比べずれが大きく pH センサの校正が正確に行えていなかったことによると思われるが、他の班は概ね文献値 $pK_a = 4.76$ ³⁾に近い値を得られている。また、測定終了後には、原液から 1000 倍希釈液までの 4 種類の濃度の水溶液それぞれにメチルオレンジを滴下して見事なグラデーションになることを観察した。pH と指示薬の変色域の関係も視覚的にとらえることができた。この実験は希釈操作や pH メーターの使い方の習得、濃度と pH の関係についての理解を深めるこ

とにフォーカスすれば SL 科目でも行える実験であるものと思われる。引き続き実験手順等を検討したい。

2.3. $^1\text{H-NMR}$ スペクトル解析演習におけるデータベースとアプリケーションの活用

有機化学の分野では、赤外分光法 (IR) や水素原子核 (^1H) を観測する核磁気共鳴分光法 (NMR) によって分子中の官能基や水素を特定できることを学習し、それぞれのスペクトルから化合物を同定したり、逆に化合物の構造からスペクトルを予想したりするスキルが求められる。そこで、有機化学において最も重要な分析法である NMR に関して、「**chloromethoxyethane の $^1\text{H-NMR}$ スペクトルを予想し説明しよう**」という問いを与えた。

まずは IUPAC 名で表記された化合物から構造式を書いて等価な水素を特定させ、ピークの種類と分裂パターンを予想させた。次に手元の『化学資料集』で一般的な化学シフトの値を参照し予想させ、この化合物の $^1\text{H-NMR}$ スペクトルの概形を書かせた。ここで大切にしたのは化学シフトの具体的な数値ではなく、ピークが何によってシフトするか、どのピークがどの水素によって分裂するかなどの概念の習得である。物理 HL を選択している生徒は既習の電磁誘導の原理を基礎にピークがシフトする仕組みを理解し、予想を正しく説明することができた。予想の後には「答え合わせ」のため国立研究開発法人産業技術総合研究所が無償提供している有機化合物のスペクトルデータベース (SDBS) (https://sdfs.db.aist.go.jp/sdfs/cgi-bin/cre_index.cgi) へアクセスし実際のスペクトルと比較させた。すると、予想とほぼ一致しており、正しく予想できたことが確かめられた。しかもこの化合物特有の構造や電子密度を考慮した微妙な化学シフトの値までも的中させたことは驚きである。こうしてデータベースを用いた演習を重ねることで、様々な化合物とそのスペクトルについて論理的に説明することができ、スペクトルから化合物を同定することもできるようになった。また、分子の立体構造を確認する際は、分子モデリングツールとして Web アプリケーション MolView (<https://molview.org>) を活用した。これは Windows や Mac などの OS に依らず、またスマートフォンでも利用できる。異性体を見比べたり VSEPR 理論によって予想した分子の形状を確かめたりする際にも便利である。これもデータベースとともに活用例を増やしていきたい。

3 おわりに

二期生の化学 HL では上記のほかにも酸化還元滴定や銀鏡反応など一般的な生徒実験も多く実施することができた。また 9 つの規定の実習も全て実施することができ、最終的に授業での実習時間は 80 時間ほどになった。実験や演習を含む実習は、IA (内部評価) の課題である個人研究のためのトレーニングでもあるが、教科書の記述を確かめたりデータや現象を分析、評価したりすることを通して科学的なものを見かたを養うための貴重な機会である。学習内容をより深く理解させることや思考力などの向上を目指し、学校でも実習を 1 つでも多く取り入れられるよう、今後も継続して研究していきたい。

参考文献

- 1) 卜部 吉庸, 理系大学受験 化学の新研究, 三省堂, **2013**, 204
- 2) 藤岡 和男, 新海 裕, 化学と教育, **2007**, 55, 288
- 3) 日本化学会 編, 化学便覧基礎編改訂 6 版, 丸善, **2021**, 828