

# 市販の天然ゼオライトを用いた エチレン生成実験

—分子模型を用いるシミュレーション実習と並行して—

林 昭宏

「化学」の「有機化合物」におけるエチレン合成の単元において、グループ学習として分子模型を用いて有機化学反応を一つずつシミュレーションさせた後、従来の合成ゼオライトに加えて天然ゼオライトを用いて安全かつ簡便にエチレンを生成する実験を実施した。分子模型を用いる実習と実際に物質に触れる実験の併用により、生徒の理解度が高まるなど高い学習効果が示唆される結果を得ることができたので、ここに報告する。

[キーワード] 天然ゼオライト   エチレン   分子模型   シミュレーション

## はじめに

「化学」の「有機化合物」は医薬品やプラスチックなど日常生活と密接に関わる重要な単元であり、官能基や分子がどのような構造をしていて、どの部分に変化・反応するのかを理解することが重要である。しかし、教科書の後半の単元に位置するため学習時間が不足しがちで、十分な実験・実習の時間も確保できず、説明のみで丸暗記させる指導に陥りやすい。そのため、例えばプロパンやブタンなどの直鎖型のアルカンがすべて一直線の構造である、カルボキシ基-COOHは-C-O-O-Hのように単純な単結合のみでつながっているなどと、立体的な原子どうしのつながりをイメージできず、化学的な構造を正しく理解できていない例を多く見かける。

エチレンの合成反応についても、構造や官能基等の理解が不十分な傾向は同様である。そこで私は前勤務校である北海道伊達緑丘高等学校において、エタノールからのエチレンやジエチルエーテルの生成や、エチレンの存在を確かめるための付加反応が進行する過程の理解を促すため、分子模型を用いて変化をシミュレーションさせるとともに、新たに市販の天然型ゼオラ

イトを用いてエチレンの合成実験を行うことで理解を深める実践を行った。

## 1 分子模型を用いる有機化学反応のシミュレーション実習

実際にエチレンを合成する前に、グループ学習による分子模型を用いたシミュレーション学習を行った。今回、分子模型にはMolymod分子模型を用いた(図1)。従来多用されてきたHGS分子模型より、各パーツがやや大きく丈夫であるほか、結合パーツを短いものに代えると、図に示したBall&Stickの形だけでなく、Space-Filling(空間充填)モデルを作製することも可能である。

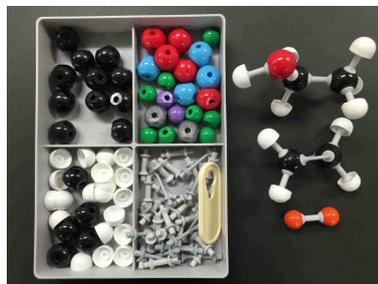


図1 Molymod分子模型

まず、エタノールは分子間脱水するとジエ

チルエーテルが、分子内脱水するとエチレンがそれぞれ生成することについて、エタノール分子中のどの原子が取れて脱水するのかをシミュレーションさせた。例えば、エタノールからヒドロキシ基（-OH）が、メチル基からHがそれぞれ外れることでエチレンが生成することなどを、生徒は分子模型を動かしながら話し合うことで、理解を深めることができていた（図2）。



図2 シミュレーション実習の様子

## 2 天然ゼオライトを用いるエチレン合成

### (1) 実施の背景

近年、従来の加熱還流下で濃硫酸を用いる方法に代わり、アルミナを用いて安全にエチレンを合成する方法が高校現場で広がっている<sup>\*1)</sup>。しかし、この方法は副生成物としてジエチルエーテルが一定程度生じるため、2010年代に入り、合成ゼオライトを用いて純度の高いエチレンを得る生徒実験の実践が報告されている<sup>\*2・3)</sup>。また、国内産のゼオライトには固体酸としての研究例があり、特にモルデナイトはプロトン型ゼオライトの中で最も酸性が高いことが知られている<sup>\*4)</sup>。また、天然型ゼオライトのエチレン合成への利用が可能と示唆された課題研究の報告例もある<sup>\*5)</sup>。これらを受け私は、ホームセンターなどで手軽に安価で入手できる天然ゼオライトをH型（酸触媒）として用意し、エチレン合成に用いることが可能か検証した。また、生徒を天然ゼオライトを用いるグループとβゼオライ

ト<sup>\*6)</sup>を用いるグループに分け実験を実施するとともに、違いや課題点等についてアンケートを実施し分析した。

### (2) 実験内容

夏休み後よりエチレンの合成反応に関する分子模型を用いたシミュレーション実習、実験の前時に実験の内容やゼオライトの性質等に関する事前指導を行った後、平成27年8月28日、選択化学履修者15名を5班に分け、3班に天然ゼオライト、2班にβゼオライトを配付（どちらを配付したかは知らせない）して合成実験を実施した。ゼオライトは北海道教育大学函館校 松橋博美教授に御提供いただき、エタノールを除く器具や試薬は北海道立教育研究所附属理科教育センターの「教材パック」を利用した。

**準備** 天然ゼオライト（「魚焼きの達人」のNa<sup>+</sup>イオンをH<sup>+</sup>イオンに置換したもの）、βゼオライト（JRC-Z-HB150）<sup>\*7)</sup>、エタノール、硫酸酸性0.01%過マンガン酸カリウム（KMnO<sub>4</sub>）水溶液、試験管（（大）：18 mm径×1，（小）：16.5mm径×4）、気体誘導管付きNo. 2 ゴム栓、No. 1 ゴム栓×4、ガスバーナー、ガスマッチ、脱脂綿、紙のさじ

#### 手順

- 1 試験管（小）4本、No. 1 ゴム栓4つを水に沈める。
- 2 試験管（大）に脱脂綿を入れ、エタノール約2 mLを加え染み込ませる。
- 3 試験管（大）を図3のようにセットする。
- 4 ゼオライト約0.5 gを、紙のさじで図3のようにして試験管に入れる。
- 5 気体誘導管付きゴム栓を取り付け、ゼオライト部を加熱し、気体を4本分集める（1本目は空気が混入しているため捨てる）。
- 6 2本目のゴム栓を開け、素早く

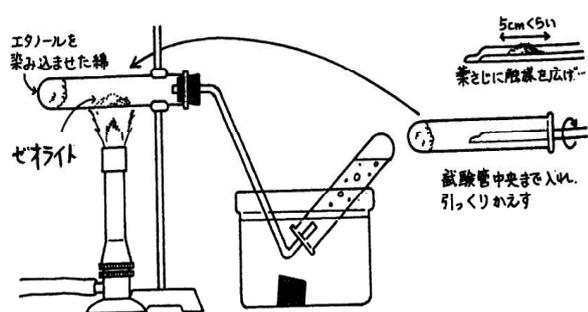


図3 ゼオライトを用いるエチレン合成方法  
(文献2の図を引用)

$\text{KMnO}_4$ 溶液を入れふたを閉めて数回振り、色の変化を確認する。

7 3, 4本目のふたを開け、軽く傾けながら試験管の口のところに素早くガスマッチの火を近づけ、様子を観察する。

実験の結果、エチレンの生成が、臭いや燃焼、 $\text{KMnO}_4$ 水溶液の色変化から確認することができた。ジエチルエーテル臭は全く感じなかった。また、2種のゼオライトの違いは生徒が実験ワークシートに記した結果からは感じられなかった。

### 3 生徒アンケートの結果と考察

実験後、受講生徒にアンケートに回答してもらった。主な結果は以下の通りである。

【1】今日の実験の難易度はどうでしたか？

- ① 簡単 4人
- ② どちらかと言えば簡単 7人
- ③ どちらとも言えない 2人
- ④ どちらかと言えば難しい 2人
- ⑤ 難しい 0人

【2】今日の実験は面白かったですか？

- ① 面白い 11人
- ② どちらかと言えば面白い 3人
- ③ どちらとも言えない 1人
- ④ あまり面白くない 0人
- ⑤ 面白くない 0人

【3】エチレンを発生させる実験に興味は持てましたか？

- ① 興味を持てた 4人
- ② どちらかと言えば持てた 8人
- ③ どちらとも言えない 2人
- ④ あまり興味を持ってない 1人
- ⑤ 興味を持ってない 0人

【4】エチレンの性質を調べる実験に興味は持てましたか？

- ① 興味を持てた 3人
- ② どちらかと言えば持てた 8人
- ③ どちらとも言えない 3人
- ④ あまり興味を持ってない 1人
- ⑤ 興味を持ってない 0人

【5】ゼオライト（触媒）の働きに興味は持てましたか？

- ① 興味を持てた 3人
- ② どちらかと言えば持てた 8人
- ③ どちらとも言えない 3人
- ④ あまり興味を持ってない 1人
- ⑤ 興味を持ってない 0人

【6】今日の実験では、合成ゼオライトと天然ゼオライトを使っています。あなたが使ったのはどちらだと思いますか？

- ① 合成ゼオライトだと思う 0人
- ② 天然ゼオライトだと思う 4人
- ③ 分からない 11人

アンケートの結果より、実験の内容について全体に肯定的な回答であり、理解度についても概ね良好な結果であった。また、【6】および実験ワークシートの記載より、天然ゼオライトも、合成ゼオライトと同様にエタノールを分子内脱水し、エチレンを生じさせる触媒活性を有していたと考えられる。

分子模型によるシミュレーション実習を取り入れた効果をこのアンケート結果だけでは判断することはできないが、この実験と同様に「実験パック」を用いて行ったメチルオレ

ンジの合成実験<sup>\*7)</sup>についても、分子模型を用いた年度の方が、ワークシートの記載内容やテストの正答率より、高い学習効果を上げていると感じている。

生徒はあらかじめ机上でシミュレーションした反応を実験で目の当たりにすることで感動し、化学に対する興味・関心が高まるとともに、理解が深まったものと考えている。

#### 4 まとめと今後の展開

私は今回の実践を通して、分子模型を用いて有機化学反応を一つずつシミュレーションさせることにより、生徒の理解度が大きく高まることを実感することができた。また、従来の合成ゼオライトに代えて天然ゼオライトを用いても、安全かつ簡便にエチレンを生成する実験ができることを確認するとともに、分子模型を用いる実習と実際に物質に触れる実験の併用により、高い学習効果が示唆される結果を得ることができた。

エチレンはさまざまな物質の原料となり、工業的に生産される多種多様な有機化合物の中でも最も重要な物質の一つである。そのため、エチレンを中心とした反応のフローチャートがどの教科書にも載っているが、生徒は見ただけで抵抗感を示し、無理に暗記をさせてもなかなか定着しない。今回の実践のように分子模型を用いて一つずつ反応をシミュレーションする経験を繰り返し積むと、生徒は有機化合物の立体的な構造を思い浮かべ、やがて頭の中で反応の具体をイメージすることができるようになる。分子の立体的な構造が分かれば、それを平面の構造式に表現することは容易である。

教科書を教える指導から教科書「で」教える指導へ大きな転換が図られている中で、ICTの活用や、指導内容の精選等により説明を効率良く進めるとともに、実験や実習の時間を確保して生徒に「実感を伴った」理解を促す指導を行うことで、限られた時数の中で

も学習内容の定着率が高まり、結果として従来より短い指導時数でも高い学習効果を生み出すことができるのではないかと考えている。

#### おわりに

天然ゼオライトを用いたエチレンの合成実験の実施にあたり、ゼオライトを前処理し御提供いただくとともに、実験やアンケートの内容について御指導・御助言いただいた、北海道教育大学函館校 松橋博美教授に感謝申し上げます。

また、実践全般について御指導・御助言いただいた、北海道立教育研究所附属理科教育センター 伊藤崇由研究研修主事にも感謝申し上げます。

さらに、本実践の実施にあたり多大なご協力をいただいた、北海道伊達緑丘高等学校の教職員の皆様及び生徒の皆さんに厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 妻木貴雄, エタノールからエチレンを作る—活性アルミナを用いて, 化学と教育, 第42巻1号, pp. 42-43, 1994.
- 2) 堀川伸, H型Yゼオライトを用いたエチレンの生成, 北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要第22号, pp. 106-107, 2010.
- 3) 伊藤崇由,  $\beta$ ゼオライトを用いたエチレン生成実験, 北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要第23号, pp. 130-135, 2011.
- 4) 富永博夫, ゼオライトの科学と応用, 講談社, 1998.
- 5) 北海道苫小牧西高等学校, 平成24年度サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト(講座型学習活動支援)実施報告書, 2013.
- 6)  $\beta$ ゼオライトを無償で提供頂くには、触媒学会に所属する大学の先生等に依頼する必要があります。 $\beta$ ゼオライトの入手、ならびに天然ゼオライトの前処理方法の詳細等は本センター化学研究班までお問い合わせ下さい。
- 7) 小原伸彦, マイクロスケール実験によるメチルオレンジの合成, 北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要第23号, pp. 138-139, 2011.

(はやし あきひろ

檜山教育局高等学校教育指導班指導主事)