

# 実験を通した有機化合物の構造理解のための ICT 活用

岐山高等学校 山田 志歩

## 1 研究のねらい

有機化合物の構造決定は、大学入試でも頻出であるが、知識を元に思考判断することが求められる、慣れるまで情報の整理が難しい。どのような反応でどの構造が決定づけられるのか記憶に残すためには、実際に構造決定を行う実験を行うことが有効であると考えた。ただし、教科書での学習だけでは、実験中の色の変化が掴みづらく、反応の有無の判断が難しいと考えられる。そこで、生徒が実験の結果を比較するために「実験動画」を参照できるように実験プリントを作製し、実験を通して構造決定に利用できる試薬や実験方法を学ぶと共に、構造決定の問題演習のように活用できる授業を考えた。

## 2 実践した内容

実験から考察までを1時間で行った。授業を行った3年生はWordを用いたレポート作成を経験しており、大学のレポートで必須になるタイピングに慣れてほしいという思いもあり、Wordでの実験プリントを作成した。

通常通りWordを作成した後、「開発ツール」(図1)を用いて入力フォームを挿入し編集の制限をかけることで、生徒側は実験手順等を編集できず、動画へのアクセス、決定できる構造(予想)、結果、考察の入力や画像のアップロードのみができるようにした。

なお、この実験では以下のように未知の有機化合物X(2-ブタノール)の構造が決定できる。<sup>[1]</sup>

事前情報：化合物がC, H, Oのみでできており、Cの数が4、Oの数が1であることが分かっている。

- 1：臭素水の色が速やかに消えない  
→炭素間に不飽和結合はない
  - 2：金属ナトリウムを加えると気体が発生する  
→ヒドロキシ基-OHをもつ
  - 3：ヨウ素と水酸化ナトリウムを加えると黄色沈殿(ヨードホルム)ができる  
→ $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-}$  または  $\text{CH}_3\text{-CO-}$  をもつ
- 以上から2-ブタノール  $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH}_2\text{-CH}_3$  と決定できる。



図1 Wordの開発ツール

(デザインモードで入力フォームを挿入、編集の制限でパスワードをかければ、フォーム以外への編集を制限できる)



図2 作製した実験プリント  
(生徒は黄色の網掛け部分のみ入力できる)

この実験プリントを用いて、以下のように授業を進めた。

- ①校内共有ネットワーク Nas 内の生徒が自由にアクセスできるフォルダへプリントを保存し、生徒には実験の前の授業で、自分のタブレットのデスクトップにコピーしておくよう指示した。
- ②タブレットに入った実験プリントを各自で見てもらいながら実験手順を説明した。
- ③班で1枚のレポート提出とし、実験と並行してレポートへ入力させた。
- ④実験後、全員に Microsoft Forms でアンケート（振り返り）を回答させた。
- ⑤manaba の「プロジェクト」であらかじめ実験班を組んでおき、班から1名に「課題提出」でレポートを提出させた。

### 3 実践中および実践後の生徒の変容

生徒は以前に有機化学実験（アルコールとアルデヒド）を行っていたこともあり、手慣れた様子で実験を進めており、Word への入力を並行して行うことができていた。



図3 実験中の様子

実験を終えた後は、教科書や参考書を開き、班のメンバーと話し合いながら構造を決めていた。



図4 考察中の様子



図5 生徒の実験レポート

Forms で行ったアンケートで、生徒の理解度、授業の感想を確かめた。（3年生普通科と理数科で実施し、164名から回答）

- ①今回の実験で決定できる構造を予想できたか。

すべてできた	44%
一部できた	43%
できなかった	13%

- ②今回の実験結果から構造を決定できたか。

決定できた	57%
一部は分かった	37%
分からなかった	6%

- ③実験を通した構造決定は、記述内容のみから構造を考えるより興味を持てたか。

持てた	50%
やや持てた	43%
あまり持てなかった	6%
全く持てなかった	1%

④今回の実験を通して、有機化合物の構造を決める実験方法への理解が深まったか。

深まった	54%
やや深まった	39%
変化なし	6%
全く深まらなかった	1%

①で構造を一部でも予想できていた生徒は87%であったが、②で実験後に構造が一部でも分かった生徒は94%に増えていた。実験を行い、その後班の中で構造を話し合うことにより、気づきや教え合いが生まれ構造決定の理解が進んだのではないかと思われる。

③と④、あとの感想と合わせ、実験を通した構造決定は興味を持って、理解が深まったとおおむね良好な意見が寄せられた。

〈生徒の感想〉

「知識の活用を実感できた」

- ・自分のインプットした知識を使って考えながら考察することができた。今までの実験の中で一番理解できて楽しかった。

「タブレットについて」

- ・タブレットで実験することで記録がしやすかったのが良かった。動画が見れるのが便利だった。
- ・初めてパソコンだったので少し戸惑った。

「理解できた」

- ・構造決定は教科書を読んだだけでは理解できなかったけど実験を行ったことで理解が深まった。
- ・ある溶液にだけ反応する、または反応しない特性を持つものを知っていれば、有機化合物の構造の決定はこんなに簡単に出来るものなんだと思いました。

「楽しかった」

- ・複数の反応の結果から着実に正しい答えに近づいていく過程が楽しかった。
- ・いつも以上に班で話し合っただけ楽しかった。

「学習に生かされた、今後生かしたい」

- ・家で復習しておいたので、あらかじめ結果の予想ができ、理解しながら実験を行うことが出来た。
- ・Cが4つで、Oが1個の構造で考えられるものはある程度予想はできたけれど、三回の実験工程から構造式を考えるのは難しかった。それぞれの実験かどの官能基が含まれているかを考えて、でも教科書を見なが

ら見てもCの数が合わなかったりしてひとつに特定するのは大変だった。有機の学習がまだ足りていないなと思った。

〈生徒の理解状況〉

提出されたレポートを見ると、約85%のグループで正しい構造の決定までできていた。構造決定の問題演習は十分にできていない状態であったが、以前行ったことのある実験（実験2・3）でどのような構造が決まるかは比較的推測できた生徒が多かった。

今回最も難しかったのは臭素による炭素間不飽和結合の有無の判断で、対照実験として行われた2-ブテン-1,4-ジオールは臭素の色は速やかに消えるが、化合物Xでは速やかに消えないという変化の違いには気づけたが、そこから決まる構造まで分からなかったという生徒が多かった。一方、化合物Xに臭素を加えた試験管もしばらく放置しておくとも色が消えるということに気づき（図4）、質問してくれた生徒もおり、置換反応と付加反応の反応の速さに言及する機会にもなった。

〈生徒の取り組み〉

事前にNasからデスクトップへ保存した際、動画を見たり、決定できると考えられる構造を予想したりと予習をしてきた生徒もおり、学習のきっかけになったようであった。

タブレット使用に関しては、多くの班が1時間の授業内でレポートを完成できたものの、初めての実験で使用したため戸惑いのあった生徒もいた。簡単な実験を扱う1年次からこのような取り組みを行うのも良いかと思っている。

## 4 研究のまとめ

生徒の感想で印象的だったのは、「（なんのための）実験か理解できて楽しかった」である。今回はICT活用の一環として、実験レポートを自作したが、その中で実験の結果の前に「この実験から判断できる構造」を書かせたことで、この生徒はこれから行う実験が何のためのものか、考えるきっかけになったのではないかと振り返っている。小中学校での実験には「予想」が付きものだったが、私自身の授業では単純に実験を行い、結果から考察だけをさせることが多かった。知識の確認・活用の意味合いが強い実験では、実験を行う前の「予想」を考えさせる工夫が必要だと気づかされた。それが以前聞いた知識を思い出し、再構成する機会になれば、当初目的にしていた「知識がより記憶に残る」実験になるのではないかと思う。

また、いつもは（時間の関係もあるが）実験結果のみを先に記入し、考察をあとで書かせていたが、今回は実験と並行しながらレポートを作るように指示したため、「考えながら」進めることができた可能性もある。

今回の構造決定は、正直なところペーパーの実験プリントで行うこともできたと思う。ただ、実験後も動画を見ながら構造決定した生徒も一部いたことから、ある程度の参考にはなったかと思っている。記入するところが明確であったことも、記録の時間短縮、考察の時間確保に繋がったかもしれない。

今後、意味のある実験を行えるよう ICT を有意義に活用する方法を考えていきたい。

## 5 構造理解を深めるための支援ツール

今回の授業実践では、実験から有機化合物の構造を決定させたが、分子の「構造」には小分子の「形」や不斉炭素をもつ分子の「立体化学」、無機化学の「結晶格子」、タンパク質の「二～四次構造」など様々ある。最後に、これら化学物質の構造を理解するために有効なツールをまとめる。

### ①Molview

今回の有機化合物などの小分子の構造をつくることのできるソフト。検索で「Molview」と検索すればすぐにヒットする。ブラウザ上で操作可能で、処理も早い。操作自体も直感的に行うことができる。糖類などの立体化学が重要な分野でも、分子模型を組まなくても構造をつくることのできるのが便利である。ソフト自体は英語ではあるが、ネット上では日本語の説明も充実している。<sup>[2]</sup>

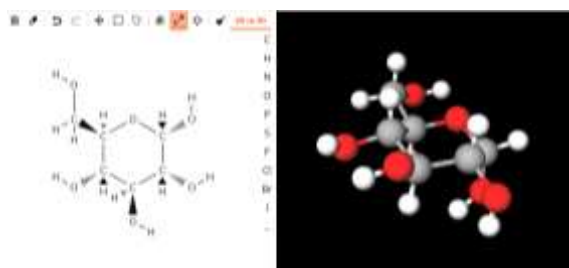


図6 Molviewで作成した $\alpha$ -グルコース（六員環を上から見た構造で書くことで、立体異性を作り分けることも可能）

### ②VESTA

塩化ナトリウム NaCl のようなイオン結晶や金属の結晶構造を見て動かすことができる。結晶格子は空間認識が難しく「生徒ひとりひとりの手元に模型があったらいいのに…」と思う分野であるが、それを実現してくれるツールである。

こちらは実行ファイル（exe ファイル）を

ダウンロードし<sup>[3]</sup>、対応する結晶のファイルを読み込む<sup>[4]</sup>と構造を見ることができる。充填型モデルと棒球モデルの切り替えができ、3D 構造を自在に動かせるため、紙面上で分かりにくい格子内部の認識がしやすい。大学の授業でも使われており、ソフトは英語だがネット上で日本語の説明も見ることができる。<sup>[5]</sup>

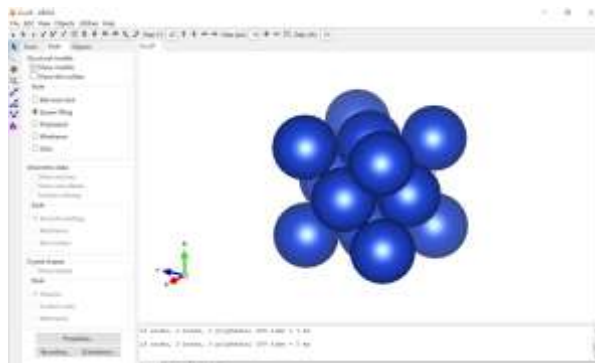


図7 VESTA で見た面心立方格子（銅の結晶ファイルを利用）

### ③PDB j

こちらは大阪大学が中心となって運営されているサイトで、論文に掲載されたタンパク質の構造情報をブラウザ上で見ることができる。<sup>[6]</sup>



図8 ヘモグロビンの構造（4つのサブユニットを色分け表示し「四次構造」を可視化）

## 6 参考文献

- [1] 演示実験で学ぶ有機化学 吉田 工
- [2] <https://zigzagsci.com/molview/>
- [3] VESTA 実行ファイル ダウンロードサイト <https://jp-minerals.org/vesta/jp/>
- [4] 結晶ファイル ダウンロードサイト（産総研結晶構造ギャラリー）  
<https://staff.aist.go.jp/nomura-k/japanese/itscgallery.htm>
- [5] [http://science.shinshu-u.ac.jp/~tiiyama/?page\\_id=3207](http://science.shinshu-u.ac.jp/~tiiyama/?page_id=3207)
- [6] <https://pdj.org/?lang=ja>