

手作り分子模型による有機化学反応機構の学習（４）

山口和美*・笹村泰昭**

Study for Understanding the Mechanisms of Organic Chemical Reactions using a Handmade Molecular Model in the Classroom (4)

Kazumi YAMAGUCHI, Yasuaki SASAMURA

要 旨

従来の演示用手作り分子模型にさらに改良を加えた。基本となる $sp^3 \leftrightarrow sp^2$ 互換炭素として、新たに黒い硬質プラスチック製の中空の球を使うことで長期間の使用にも耐えうる模型を作製することができた。また、PETボトルのふたを接着したゴム製のキャップを作製し、教師の手を中心の炭素原子に見立ててそれらを指にはめて使うという演示の方法も新たに考案した。

Abstract

A handmade molecular model for classroom use was improved. By use of the black hollow plastic ball instead of styrene foam ball as sp^2 and sp^3 compatible carbon, those can be used for a long period of time. Demonstration in classroom became more speedily and more smoothly than previous molecular model. Moreover, the cap made of rubber connected to PET bottle cap was newly developed.

1. はじめに

我々は、化学および有機化学の授業において自作の演示用分子模型を役立てている。この分子模型は、軽くて組み替えが容易で安価に作ることができるという長所があり、大きな教育効果を上げている。しかし、この分子模型は繰り返し使用し、持ち運びしているうちにチョークによる汚れが目立ってくることや、基本となる２個連結した炭素同士の結合の強度が弱いために演示中に外れるという欠点があることが分った。

本報ではそれらの欠点を改良し長期間の使用にも耐え得る分子模型を作製したので紹介する。これらの分子模型は、既報^{1)~4)} 同様に教科書⁵⁾ に沿って、シス-トランス異性体や立体配置(R-S)表示の学習はじめ、求電子付加反応、求核置換反応、脱離反応の反応機構を説明する際に使用した。

2. 改良型の分子模型の作製

基本となる炭素原子としては、従来は直径 10cm の発泡スチロール球を使い、ポスターカラーで着色していたが、改良型ではこの炭素原子の素材を黒色の硬質プラスチック製の中空の球に変更した（写真 1）。

他の原子を結合させるための磁石についても、従来型では発泡スチロール球の表面に穴をあけて埋め込んでいたが、磁力の強さに比較して発泡スチロールの強度が弱いために磁石がもぎ取られることがあったので、改良型ではプラスチック球の内側の適切な位置に磁石を接着剤で固定した。磁石を内側に取り付けたことによる結合力の低下は、磁石を従来よりも大きなネオジム磁石にすることで解決した。

これらの結果（１）チョークによる汚れが簡単にふき取れる、（２）基本となる炭素原子の機械的な強度が増す、（３）磁石で結合させた原子の脱着が速やかになるなどの点が改良された。なお、基本となる炭素原子以外の模型は既存のものをその

* 教授 理系総合学科

** 教授 物質工学科

まま使用することができる。

炭素原子としては、1個の球の内面に11個の磁石を接着して、1個で正四面体型の sp^3 混成と正三角形型の sp^2 混成の両方の結合位置に他の原子を結合できる炭素($sp^3 \rightleftharpoons sp^2$ 互換炭素原子(I))と、1個の球の内面に7個の磁石を接着した炭素を2個結合した炭素(2連結の $sp^3 \rightleftharpoons sp^2$ 互換炭素原子(II))の2種を作製した。

互換炭素原子(II)の2個の球の結合については、従来はPETボトルのネジロを2個組み合わせて結合手とし、発泡スチロール球にあけた穴にPETボトルのキャップを埋め込んで、そこに結合手をねじ込むという方法を取っていたが、この方法では結合が外れやすいという欠点があることが明らかになったので、厚みのある発泡ウレタン製のチューブの中に木製の丸棒を入れたものを結合手として使用し、プラスチック球にその棒に合う穴を開けて結合することにした(写真2)。この変更によって、2個の球はある程度の力をかけると回転するが、通常の使用では十分な強度で連結されるために、演示中に外れるようなことはなくなった。

また、立体配置の説明のために、新たに先端部分にPETボトルのふたを接着したゴム製のキャップを作製した(写真3)。このキャップは指にはめることができ、先端部分にはPETボトルのネジロを接着した従来の原子の球を取り付けることができる。

互換炭素原子(I)は、R-S表示と求核置換反応の学習に利用した。互換炭素原子(II)はシストランス異性体、E-Z命名法の説明やプロペンへのハロゲン化水素の求電子付加、メソ-1,2-ジブromo-1,2-ジフェニルエタンからのハロゲン化水素の脱離反応の反応機構の説明に使用した。また、指にはめるキャップはR-S表示とニューマン投影式の説明に利用した。

3. 演示例

3.1 R-S表示の学習(写真4)

R-S表示の学習においては、不斉炭素原子に結合している4つの置換基の優先順位を理解できれば良いので、新たに作製したキャップを教師の左右の手の親指、人差し指、小指の3本の指に装着して、その先に大きさと色の異なる従来の原子模型3個を左右の手の同じ指に結合させて教師の手を光学異性体に見たてるという方法で演示を行っ

た。

人差し指を上に向けて出来るだけ指を広げると、学生側から見ると小指と親指がフィッシャー投影式の左右、人差し指が上、手首が下を向いている形になる。腕をまっすぐ前に伸ばすとR-S表示の学習ができる。原子はそれぞれの指につながっているので、指を動かすことで特定の原子に注目させることもできた。

3.2 求電子付加反応、シストランス異性体およびE-Z体の学習(写真5)

互換炭素原子(II)を骨格の炭素とし、4つの置換基として大きさと色を変えた発泡スチロール球の原子を使用した。2p軌道の π 電子雲にはペットボトルを用いた。4つの置換基の付け替えは従来のものよりも速やかに行うことができ、基本となる炭素骨格をつなぐ結合も従来のものよりも剛性があるので非常に扱いやすくなった。

3.3 求核置換反応およびラセミ体の学習(写真6、7)

互換炭素原子(I)を使用した。例えば、 $SN1$ 反応の学習の場合には、最初平面状の sp^2 構造にしておき、平面の裏または表から求核試薬が接近するとその逆の方向に3種の原子球をスライドさせて sp^3 構造にする。互換炭素原子(I)を2ヶ使用するとラセミ体の生成を分かりやすく説明できた。 $SN2$ 反応の学習の場合には、最初は正四面体状の sp^3 構造にしておき、他の原子が一方から接近した時に、結合していた3種の球(原子)を sp^3 から sp^2 構造に移動させ、さらに逆の立体配置を持った sp^3 構造の位置にすばやく移動させる。

従来型では、中心の炭素に結合している3個の置換基は、磁石から取り外して隣の位置に移動させていたが、改良型の互換炭素原子(I)の表面は非常に滑らかなので、新しい位置への置換基の移動は、置換基を横にスライドさせるだけで可能であり、より実際の反応を目で見ているような状況に近づけることができた。

3.4 脱離反応の学習(写真8)

互換炭素原子(II)を使用した。教科書には「メソ-1,2-ジブromo-1,2-ジフェニルエタンを塩基で処理すると、E2脱離を起こして、EおよびZアルケンの混合物ではなく、純粋なEアルケンを与える」という記述があるが、反応機構を学習するう

えでは、分子構造を忠実に再現する必要はないので、置換基の違いが分かりやすいように大きさと色の違う球を使用した。写真8の左側はニューマン投影式と同じ方向から見た分子模型であり、ニューマン投影式と見比べることによって実際の分子の構造をニューマン投影式で書いた場合にはどのようなになるのかが容易に理解できる。反応は脱離する $-H$ と $-Br$ 基がアンチ近平面の位置になるようにして進行するが、この分子模型を使用するとそのことも容易に理解できる。

4. まとめ

改良型の分子模型は、いずれの演示においても従来のものと比較して (1) 表面が滑らかなので置換基の移動がスムーズに行える、(2) 互換炭素原子(II)の真ん中の結合の強度が十分ある、(3) 汚れの拭き取りが容易である、などの利点がみられた。したがって、これらの改良によって演示用の分子模型がより使いやすく学生にとってもより分かりやすいものになったと言える。

有機化学の学習の初歩の段階において立体化学や反応機構を理解することは重要で、そのことがその後の有機化学学習に興味を持てるかどうかを左右する要因になる。模型を使うと授業はやや散漫になってしまうきらいがあるが、演示用の模型を使う方法は特に初学者が立体化学や反応機構を理解する上で大きな助けになる方法である。

参考文献

- 1) 山口和美・笹村泰昭, 化学と教育, 50 巻 6 号, p470 (2002)
- 2) 笹村泰昭・山口和美, 苫小牧高専紀要, 第38号, p77 (2003)
- 3) 山口和美・笹村泰昭, 高専教育, 27号, p125 (2004)
- 4) 山口和美・笹村泰昭, 苫小牧高専紀要, 第40号, p59 (2005)
- 5) 伊東・児玉訳「マクマリー有機化学概説」東京化学同人 (2000)



写真1 プラスチック球



写真2 2連結の $sp^3 \leftrightarrow sp^2$ 互換炭素原子(II) 上: 従来のもの、下: 改良したもの



写真3 ゴム製のキャップ

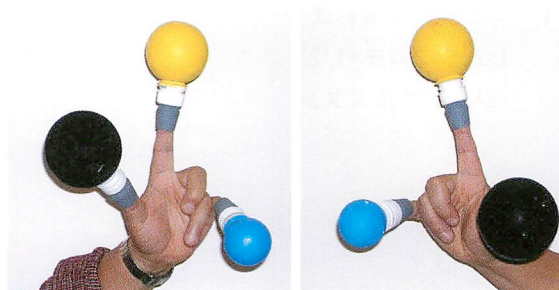


写真4 ゴム製のキャップの使用例 R-S表示の学習

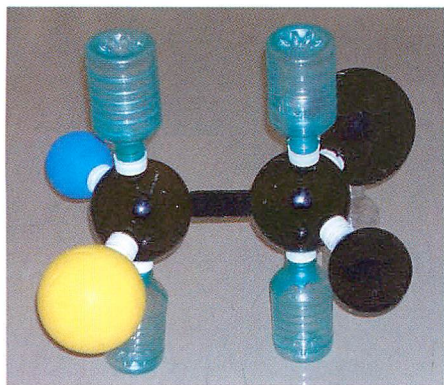


写真5 求電子付加反応、
シス-トランス異性体、
および E-Z 体の学習

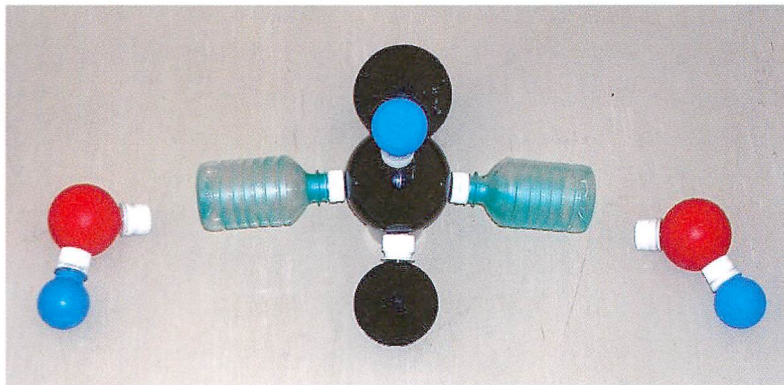


写真6 S_N1 反応の学習

S_N2 反応 $\text{OH}^- + \text{CHR}_1\text{R}_2\text{-Br}$

遷移状態

$\text{CHR}_1\text{R}_2\text{-OH} + \text{Br}^-$

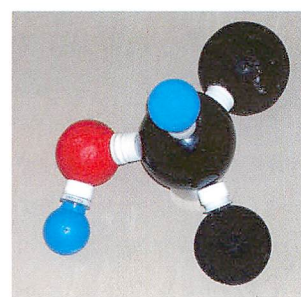
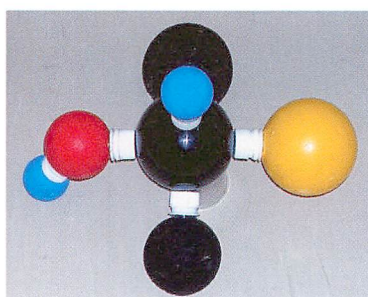
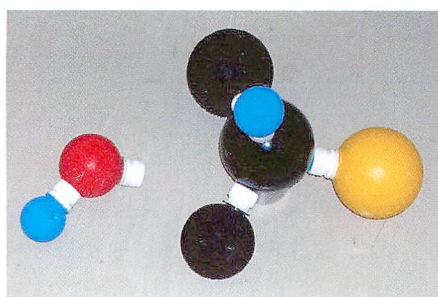


写真7 S_N2 反応の学習 左：反応前、 中：遷移状態、 右：反応後

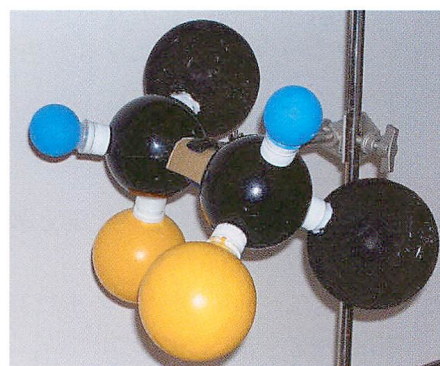
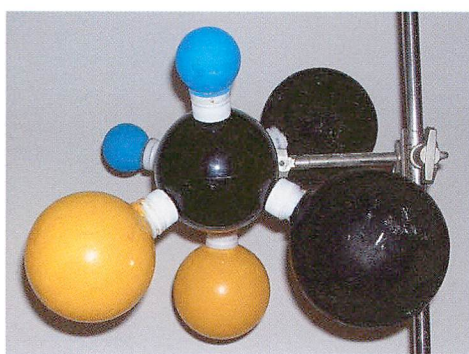
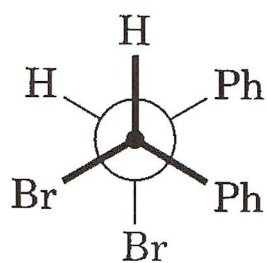


図1 ニューマン投影式
1,2-ジブromo-1,2-
-ジフェニルエタン

写真8 脱離反応の学習 左：正面から見たもの、右：斜めから見たもの

(平成17年12月15日受理)