

# 化学反応のアニメーション化・ライブラリー化とそれを 教材として活用するために (2)

—— 化学教育におけるパソコン活用の一手法 ——

岡島俊哉・秋山知子・橋川 茜・前田友和・  
陣内弘文<sup>#</sup>・成富利英<sup>#</sup>・内田和一<sup>#</sup>

Education Using Animation of Chemical Reactions  
—— Three-dimensional Visualization of Molecules as Teaching  
Technique for Education of Chemistry ——

Toshiya OKAJIMA, Tomoko AKIYAMA, Akane HASHIKAWA,  
Tomokazu MAEDA, Hirohumi JINNOUCHI<sup>#</sup>,  
Toshihide NARITOMI<sup>#</sup>, Kazuichi UCHIDA<sup>#</sup>

## I 概要

今日、小・中学校あるいは高等学校において、生活科、総合理科という科目が新設され、従来の知識偏重の教育から生徒自らが考え行動することを重視した教育が叫ばれている。また、ゆとりのある教育をめざす観点から教育課程審議会において化学関連の項目で後学年へ移行する項目もある<sup>1)</sup>。小学校では、空気中での水蒸気の変化、水溶液の蒸発による物質の分離、中和、金属の燃焼など(中学校へ移行)、中学校においては、溶質による水溶液の性質の違い(削除)、比熱、イオン、中和反応など(高校へ移行)がある。しかし当然のことながら、内容を少なくすれば理解と興味を引き出せるかという点と必ずしもそうではなく教え方も工夫しなくてはならない。特に興味を引き出すという意味においては、教育に携わる教師は、専門的な深い知識はもちろん、理科教育を始め物理・化学・生物・地学など自然科学の広範な知識も必要不可欠である。

教育機関における重要な役割の一つは、これらの広範な知識を生徒・学生あるいは現場の教師に持ってもらう有用な手段を開発すること、そしてその手法が教育現場で活用できるとすればその環境整備を現場と連携して行うことである。また、特に教師の再教育という場面では、時間的制約を受けた中で応用性のある専門的知識が如何に分りやすく習得できるかも重要である。我々は、自然科学の一分野である化学的知識の教授法について、パーソナルコンピュータを用いた一手法を用い、その教材化の可能性を研究している。

従来、教科書と黒板を用いる講義が主流であった中で、現在では OHP やビデオ教材などを用いた講義も広く普及している。一方で、黒板を用いた一方通行の講義が現在も主流であることも事実である。そして、学生はノートをこまめに“写す”。しかしながら、こまめに“写し”ているわりに頭に定着していないのはなぜだろうか。講義法に問題があることも確かだが、例えば、化学に十分に慣れていない学生に(最近はこのような学生が多いように感じる)、3次元の分子を無理に2次元しか表せない黒板に書いて説明し

<sup>#</sup> 佐賀大学文化教育学部付属中学校 (Junior High School Attached at Saga University)

て、3次元構造を想像させ、半年で多くの化学の基礎知識を覚えて理解せよと言う方が無理に違いない。しかもなぜ化学を学ばなければならないのか（少なくとも化学の基礎知識の講義は必要ではあるが、受講していてあまり面白いものではない）、身近な現象にいかに関与する化学の知識を必要とする現象が多いかについてもぜひ伝えようとするとなすます時間が足りなくなる。OHPやビデオを用いることは、現実の諸問題を実感・体験させるという面で意義は大きいですが、そのために何を習得しなければならないかについてを同時進行では講義しにくい。

ここでは、一般的によく知られているビタミンCとEを例として、学生が本手法により化学的専門知識をどのように習得したかを学生の意見を含めて報告し、本手法による教材化の意義について考える。

## II 理論と考察

図1にビタミンC(アスコルビン酸)およびビタミンE( $\alpha$ -トコフェロール)の構造を示す。これらはいずれも還元型と呼ばれる構造であり、抗酸化活性を有する、それぞれ水溶性、脂溶性のビタミンである。ここで本筋から逸れるけれども、簡単にビタミンCとEの生体内での重要な役割の一つを紹介する。

ビタミンEは細胞膜中に存在しているが、活性酸素のような酸化物質により容易に酸化されやすい。このため、細胞膜を構成する脂質が酸化される前に自身が酸化され、結果として、膜構成成分が過酸化されるのを防ぐ効果をもたらす。このようにして、ビタミンEが酸化力を持ってしまいが、周囲にビタミンCが存在すればこれを酸化できる。ビタミンCはより酸化されやすい物質であり(還元性が強い)、デヒドロアスコルビン酸(酸化型ビタミンC)に変化する。ビタミンE自らは還元型ビタミンEに戻り次の酸化性

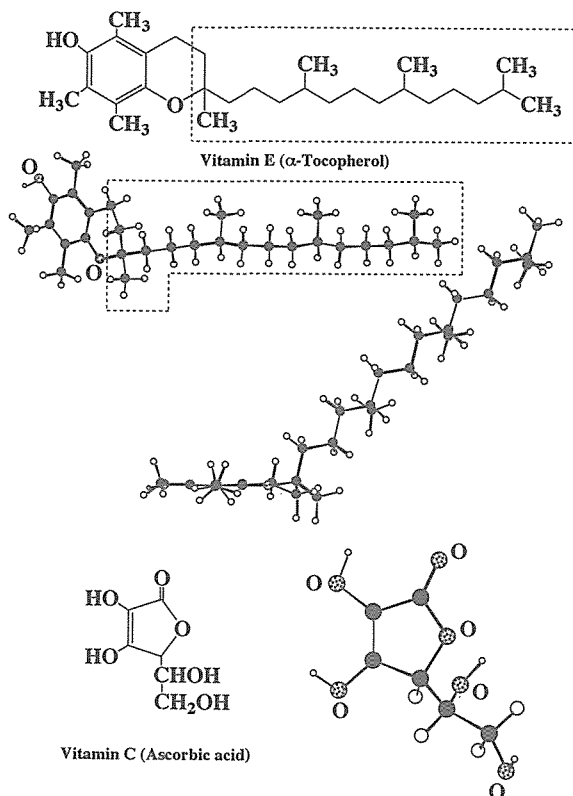


Figure 1. Vitamin E ( $\alpha$ -Tocopherol) and Vitamin C (Ascorbic acid).

物質の攻撃に備える。デヒドロアスコルビン酸も水溶性であるため、最終的に尿中に排せつされていく。このようにして、活性酸素など酸化性物質の毒性はビタミン E により消去され、さらにビタミン C がその毒性を受け継いで酸化型ビタミン C となって排泄されていくことにより、生体構成物質は有毒酸化物質から守られている。ビタミン C とビタミン E のいずれの存在量が不十分でも抗酸化活性が低下するのはこのためである。また、ビタミン C は絶えず酸化されながら排せつされていくにもかかわらず体内では合成できないため、補給しつづけなければならない。なぜならば、ビタミン C が不足してしまうと、酸化物質から受けとった酸化力でビタミン E 自身が細胞膜を酸化してしまう。

これら二つの物質は、現在の健康ブームもあって、多にに興味を掻き立てる（知識欲をそそる）分子である。しかしながら、名称を覚え、上記のようなメカニズムで“健康にいいかもしれない”ということを感じたとしてもそれは大木の一部の枝葉を見たにすぎないだろう。これらの分子構造を知り、なぜ抗酸化活性を持つのかについて化学的知識を習得しながら学んでいけば（枝葉から出発して大木の幹を降りていくように）、いろんな方向にたくさんの枝葉がのびていることに気付くはずである。ミネラル、ビタミン類の役割、糖質・タンパク質・脂質などの役割も少しずつつながりを持ってわかってくると思う。そして、これらの枝葉が一本の幹から出ていることを理解したとき、断片的に習得してきた知識が有機的につながっていくと同時に、多くの現象が互いに深く関わりを持ちながら起こっていることに気付くと思う。我々は原子や分子がその幹にあたると考えている。分子の構造・性質あるいは反応性を理解すること、そのために、化学現象とそれを示すのは最終的には原子・分子であるということ、そしてこの分子が語る多くの言葉を読み取ることが出来る力を養うことが、枝葉の先の幹を見い出すことに当たると考えている。3次元分子モデリング（リアルタイム表示を含む）による手法は、生徒や学生のこの作業を助け、化学の基礎的知識の習得そして応用力養成の補助手段となるものと考えている。授業、講義あるいは実験の中でタイミングよく取り入れることにより、理解が深まることを期待している。

一般に、分子は3次元立体構造を持っている。その立体構造は実験的にも観察できる。例えば、X線結晶解析法により固体中での分子の配置が見られる。磁気共鳴法や赤外線（紫外線）分光法などからも分子の構造に関する情報が読み取れる。しかしながら、これらの解析には専門知識を要し、学習教材としての役割は低い。この点、計算化学的手法は計算機とグラフィックス表示機能さえあれば基本的には分子が原子と電子から成り立っており、分子は構造を絶えず変化させていること、時には大きな分子が分解して小さな分子になったり、逆に、小さな分子同士が結合して大きな分子になったりという、様々な化学現象をリアルタイム表示できる。分子軌道計算はこのような化学現象をリアルタイム表示するためのデータを提供する方法の一つである。現在、分子をグラフィックス表示できるソフトは多いが、化学反応や分子の動きを細かくしかも精度良く表示できるものは少ない。それは、そのデータを作成する分子軌道計算ルーチンそのものが操作できないようになっていたりあるいは操作法がわからなかったりするためである。分子軌道計算では、分子の安定構造・遷移状態やそれらを繋ぐポテンシャル上の任意の点の構造を求めることができる。その対象は、有機分子・無機分子あるいは気体と液体・液体と固体の界面での分子の挙動（蒸発・気化・昇華・結晶化・液化など）ほぼすべての分子の挙動を含む。これらのある時間間隔で表示することにより分子の挙動を示すアニメーションができあがる。

今回、上記二つの分子の安定構造を分子軌道計算法を用いて求め、その過程で、化学の基礎知識を習得する方法とその効率性を学生に体験してもらった。まず学生に分子モデルを組み立ててもらうことから始めた。炭素鎖を基本骨格に持つ有機分子のモデルを作成する際、炭素とそれに結合する原子がなす結合距離と角度については、 $Csp^3-Csp^3 = 1.54 \text{ \AA}$ ,  $Csp^3-Csp^2 = 1.50 \text{ \AA}$ ,  $Csp^2-Csp^2 = 1.34 \text{ \AA}$  など、そして、 $X-Csp^3-Csp^3$  ( $X$ : 任意の原子) =  $109.5^\circ$ ,  $Csp^2-Csp^2-Y$  ( $Y$ : 任意の原子) =  $120^\circ$  など、ほぼその距離

や結合する方向が決まっている(図2)。モデルを組むときには、その結合の方向を持つ断片(市販されている)を選んで繋ぎあわせていく(この操作が結合を作りながら分子を組み立てることに相当する)。これらの距離や角度は実際の計算における初期値として用いることができる。先の結合距離や結合角は、 $sp^3$  混成軌道を持つ炭素原子では、炭素原子核を四面体の中心に置いたとき、四面体の頂点方向に伸びた結合手を持つように設定されている。また、 $sp^2$  炭素では、平面正三角形の頂点の方向に結合手が伸びるような値を持つ。例えば、図3に示すようなブタン分子( $C_4H_{10}$ ,  $CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$ )では、すべての炭素原子(C1~C4) ( $sp^3$  炭素という)は4つの原子と結合をすることができる。C1, C4 原子では、結合相手の1つが炭素原子であり残りの3つが水素原子、C2, C3 原子では2つが炭素原子2つが水素原子である。

分子の構造を完成させるには、これらの結合距離と結合角の他に二面角を設定しなければならない。この二面角は、結合が回転することにより生ずる配座異性体を決定するものである。二面角が異なると複数の異なった3次元構造が生じ、図4の二つのブタンの構造(配座異性体、I~II)はC2-C3結合の回転による二面角の違いによって生じたものである。ブタンの2つの配座の中では、配座I(トランスジグザグ型)の方が安定である。これはなぜであろうか? 2つのメチル基( $-C1H_3$ ,  $-C4H_3$ )の間の立体反発や、C2-C1とC3-C4結合がエクリプス型配置を取るためなどが考えられるが、もし3次元表示する手段が無かったとすれば(分子モデルも視覚化する機器もない)、これらを黒板で説明することになる。まず3次元構造を2次元で表すための表記法の説明がその前に必要であり、その表記法に学生が慣れ理解し、さらに他の分子に応用できるまでの知識力になるのに膨大な時間がかかる。その間に学生は本来何を学んでいたかが分からなくなり、表記法の断片的な知識だけが残り、そのため忘れるのも早い。本手法ではまず、学生にはZ-matrixと呼ばれる原子の位置関係を指定する初期座標を上記の2個の配座のそれぞれについて作ってもらい、これらの初期構造(計算を始めるために人間が勝手にインプットした結合距離・結合角・二面角を持つ構造)から分子の実際の構造を求めるため構造のチューニングを行ってもらった(構造最適化という)。分子軌道計算はGAUSSIAN94プログラムを用いて行った。この操作を実際に行うことにより、(1)学生に、分子が3次元で結合を回転すればいろいろな構造を取り得ること、(2)分子の3次元構造は結合距離、結合角、二面角の3つの要素だけで決められること、(3)分子の構造は原子同士の相互作用が決めることを3次元的思考で理解できる。この過程で彼等は、ブタンで示すような炭素と水素原子のみからなるアルキル基と呼ばれる官能基(ほとんどの有機化合物に含まれる最も頻繁に現れる官能基)の立体化学の基本事項あるいは表記法などについてほとんど瞬間的に理解することができた。なぜならば、学生の頭には、分

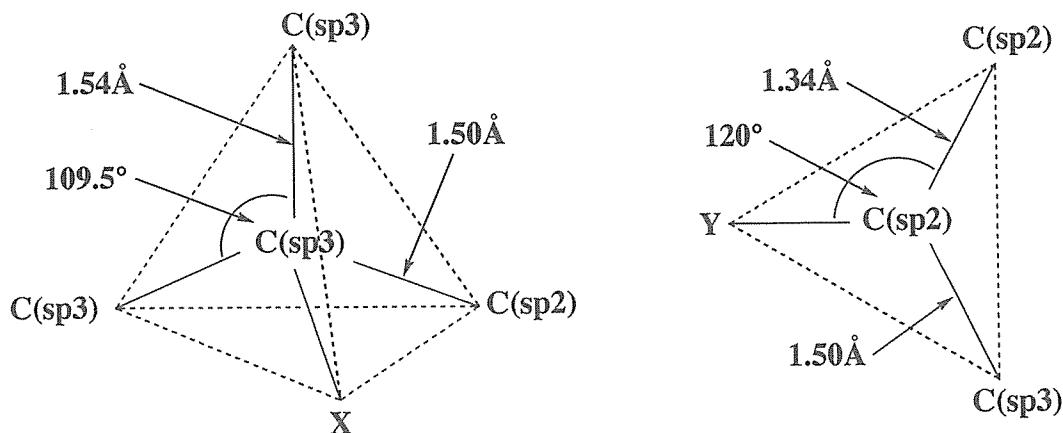


Figure 2. Bond lengths and angles around  $sp^3$  and  $sp^2$  hybridized carbon atom (I and II, respectively).

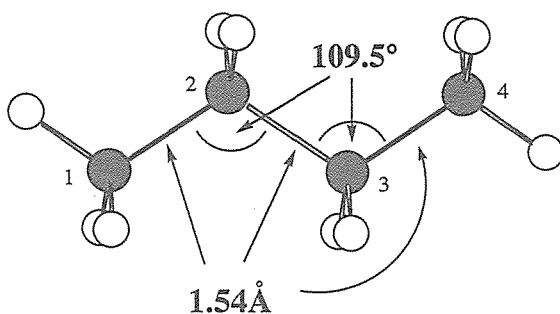
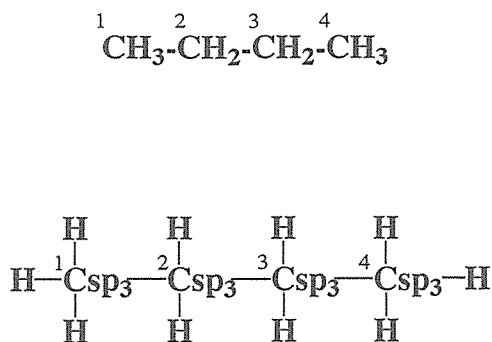


Figure 3. The structure of *n*-butane ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ).

子モデルおよび Z-matrix を作成する過程で分子の 3 次元構造がすでにインプットされており、表記や構造を 2 次元で説明したとしても学生はその説明を頭の中で 3 次元に直すことが容易だったからである。分子の 3 次元構造の表示が化学の基礎知識の理解に如何に重要で学習能率をあげるかということを示す結果でもある。この手法は、特に生徒や学生の化学離れを加速していると思われる表記法（3 次元構造を 2 次元構造にして説明するための手法）などの、いわゆる化学を学ぶために必須ではあるが化学の面白さを全く感じさせない事項の習得を“ついでにやって終わる” くらいの労力で済む利点を持っている。パソコン上で分子を表示したり動かしてみせることはよく行われているが、分子の構造や挙動を表示することから化学知識を有機的つながりを持たせて理解させる試みはあまり行われていない。化学教育では、“分子に教えてもらう” ことの意味を考えなければならない。

### III ビタミン E

ブタンの  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  をアルキル鎖というが、ビタミン E では図 1 の右半分の  $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$  の部分がこのアルキル鎖にあたる。ブタンで求められた安定配座が、主にメチル基あるいはメチレン基の C-H 水素同士の間には立体反発力というものがある、それを軽減するように基が配列し、最終的に立体反発力が最も小さいものが最安定配座であり、軽減の度合いに応じて配座の安定性が決まるということを学生は理解したので、ビタミン E のアルキル基の部分分子モデルに示すように組めるようになった。つまり、ブタンのようにたった炭素 4 個の分

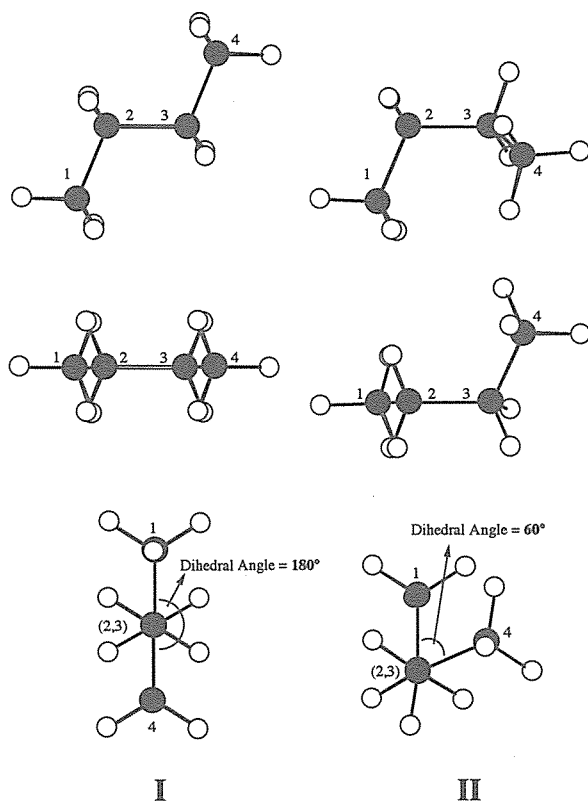


Figure 4. Two conformational conformers (I and II) of n-Butane ( $C_4H_{10}$ ).

子で学んだ知識が、ビタミン E に応用できたことになる (部分的構造ではあるが)。さらに、ほとんどの脂溶性基の立体配座についても分子モデルがほぼ正しく組めるようになっていく。なぜならば、分子の構造が結合距離・結合角そして二面角という 3 つの要素により決まるが、脂溶性有機分子の無数の配座異性体の存在が本質的に二面角だけが異なり、これを修正していけば立体反発が小さくなるようにモデリングできることを理解できたためである。その後、類似の様々な脂溶性置換基の安定配座を簡単に推測できるようになっている。この時点で、有機化学は暗記の学問であって、無数の化合物を覚えることができないので嫌いになってしまう (なってしまった) という学生の (おそらく高校生においても) 間違った捕らえ方が矯正された意義は大きい。ある基本的ルールが正しく理解さえできていれば、芋づる式に無数の化合物の構造や反応や性質が整理されて理解でき (実際に学生は類似のいろいろな分子に応用できるようになっており)、あとはその立体反発力がなぜ生ずるかというさらに基礎的な電子論について教えていけばよい。

表記法に慣れていないため二次元の構造でしかなかったビタミン E の構造を 3 次元グラフィックス表示すると、ベンゼン環は平面構造だから理解しやすとしても、ベンゼン環に縮環した 6 員環が平面構造でなかったのは驚いた様子であった (シクロアルカンの項で、椅子型・舟形という構造は説明していたが)。このようにして、結局ビタミン E の安定構造が表示されたときには感激していた。この感激の中には、自分が 2 次元で思っていた構造とは全く懸け離れた構造であったという驚きが含まれていた。また、その構造を分子モデルを作るところから始めて、Z-matrix を作成し最終的にグラフィックス表示までできたという達成感もあったと思う。

#### IV ビタミンC

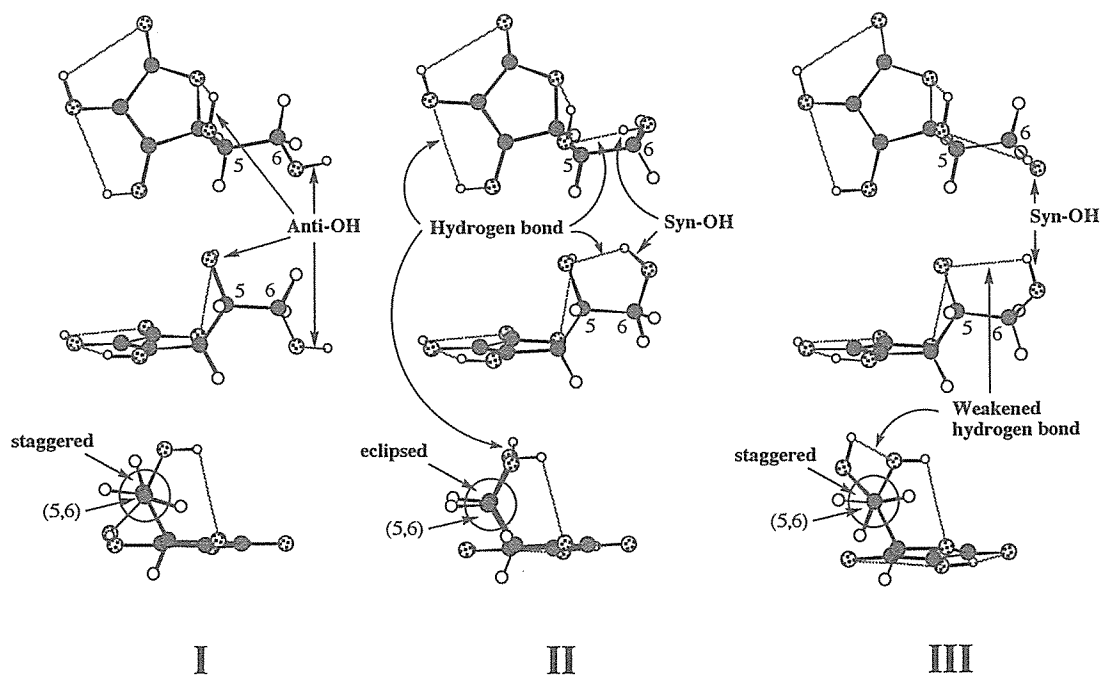
次に、ビタミンCのZ-matrixの作成を行い、実際に計算した。ビタミンCはビタミンEと異なり脂溶性ではなく水溶性である。構造をじっくり眺めてみると、ビタミンCにはEよりも酸素原子が多いことに気がつく。さらに、ビタミンCには水酸基(-OH)が4個、ほぼ分子全体に散らばっているのに対して、ビタミンEには1個しかない。しかも、ビタミンEではアルキル基(点線内)が分子の大部分を占めている。これが、ビタミンCが水に溶け(水溶性)、ビタミンEが水に溶けない(脂溶性)理由である。-OHのような極性基がたくさん分子内に存在する方が水中での居心地がいいのである。ビタミンEは-OHが一個しかなく、水中での居心地が悪いため細胞膜(脂質二重膜、脂溶性の環境)の中に隠れている。

学生が作成したビタミンCの配座を図5のIに示す。その初期構造の作成には、ブタンあるいはビタミンEにおいて得られた脂溶性基の初期構造を作成したときの知識が使われていた。2つの-OH水素の間の反発とトランスジグザグ構造など。しかしながら、ビタミンEのような脂溶性化合物と異なり、ビタミンCでは極性置換基同士の間には静電引力が働いている。すなわち、ビタミンCのように-OH基が多い場合、水素結合と呼ばれる特殊な非結合性相互作用により原子同士が水素原子を仲介にして接近するようになる。この現象は脂溶性置換基にはなかったものである。学生はC5およびC6位に結合した-OHの配向を間違えた(実際には、水素結合についてはこのときすでに講義して知っていたはずだが学生はここで使えなかった)これを修正して、配座IIが出来上がった。IIはC5-OHとC6-OHの間に、分子を安定化する水素結合を持っている配座であるが、この水素結合による安定化を最大にする配座をとるために、C5-C6結合がエクリプス配座とした。学生はこのエクリプス配座を脂溶性基のところで不安定配座としてありえないことを知っていたため、水素結合を最大にするためにC5-C6をエクリプスにしなければならないか?という疑問を持った。ビタミンCが配座IであるかIIであるかどうかは、水素結合(O5...H-O6)による安定化とC5-C6結合がエクリプス配座を取ることに伴う不安定化のいずれが大きいかにによる。分子構造の安定性(ある分子がどのような構造(配座)をとりやすいか)は、これら幾つかの相互作用の総和の結果であるが、講義で相互作用の各々の説明はできてもそのバランスにより取り得る配座が決まっていることは説明することは困難である。これまでは、ここで相互作用の説明だけしてよしとしてきたように思う。この配座IおよびIIを構造最適化することにより最も安定な配座はIIIであることがわかった(つまり最安定配座はIでもIIでもない)。IIIがすべての相互作用の総和を含めた場合の安定配座である。IIとIIIの違いは、C5-C6結合の周りがエクリプス配座からスタガード配座になったことと、C6-OHの水素がO5に向かうように、C6-O結合が回転したことである。すなわち、エクリプス配座をとることによる不安定化が水素結合による安定化を上回ったため、C5-C6結合の回転が起こり、エクリプスからスタガード配座に移行したのであるが、依然、C6-OHの水素原子はO5と水素結合を保とうとしていることがわかる。そして、(IIの場合ほど大きくは無いが)分子をできるだけ安定にするため水素結合による安定化も得ようとしているのである。

このように、分子の構造は安定化因子と不安定化因子の相互作用の大きさのバランスの上に成り立っていることをこのたった一つの水素原子が語っており、学生はこのメッセージを容易に理解することができた。実際には、得た知識を使って、いろいろな分子に反復応用することにより確実な知識として磨かれていくことになると思われる。

#### V 終わりに

分子の3次元構造を表示することは、単に分子の3次元構造を示して感動してもらうことだけではない。



**Figure 5.** The conformational isomers C (ascorbic acid). Conformer **I** is the anti-OH conformation having staggered conformation at C5-C6 single bond and has no hydrogen bond between O5 and O6-H hydrogen. **II** is the eclipsed conformation around C5-C6 and the strongest hydrogen bond between O5 and H-O6. **III** is the most stable conformation having staggered around C5-C6 and has weakened hydrogen bond.

もちろん化学への招待ということにおける意義は大きい。しかしながら、実際には、興味を持ったとしても化学の知識を習得する過程においてやる気を失わせることになることもありうる。興味を持続させることも教師の役割の一つであるが、そのために、化学基礎をおろそかにはできない。この相反する課題を同時にクリアするための手法の一つとして3次元表示法を提案する。的確な分子モデルを選べば、その分子は教科書の数十ページ分の内容を語っている。個々の分子の語るメッセージを読み取り、その内容の詳細をわずかな時間で学生に伝えることも可能となる。ビタミンEおよびビタミンCは一般にもなじみやすく、生活にも密着した分子であるため、知識欲を掻き立てる分子である。しかも専門的にも、一方は脂溶性他方は水溶性という異なった性質を示すなど（それは分子構造に依存するが）、構造、相互作用さらに、反応性（ビタミンCとEの抗酸化共同作用）とは何かといった化学の基礎知識を習得するための良い教材分子である。

本手法は、（言い過ぎかもしれないが断片的）基礎知識を一つ一つ教える知識注入形の講義形式ではなく、(1)つながりのある化学的基礎知識を習得させるため、(2)興味を掘り起こし思考させながら学習させるための有効な手法と考えている。教育課程審議会答申の中で、例えば中学校では、“科学的思考力や問題解決能力の育成及び科学に関する基本的概念の形成を目指して、学年進行に応じて、直接的な体験・観察に基づく学習から、分析的、総合的なものの見方を育てる学習へ発展”させることを基本方針としている<sup>2)</sup>。あらゆる化学現象を示す本体としての分子が語る多くの言葉を、教師が正しく翻訳して伝えることができれば、生徒や学生は分子が語りかけてくるものを今度は自分の言葉で受け取ることができるようになるだ



ろう。そして、習得した知識を自分で応用する力を発揮できるようになることが化学への親しみを増し、ひいては理科離れを食い止める一つの手法になるものと期待している。最後に、体験してもらった学生の感想をあげておく。

(学生 A)

今まで、私は分子構造を、おもに教科書や参考書の平面の構造しか見たことがなかった。これまで、学校でなされていた教育は知識を詰め込み、テストでいい点をとればいいという知識注入型であった。とくに、理科という分野においては、実験や観察が重要なのに、それを省き試験のための授業という黒板での授業がほとんどであった。これでは、せっかく興味をもった子供でも、どうしてこんな原理になるのか、どうしてこんな反応がおこるのかを、曖昧にしたまま卒業してしまう。又は、それが分からないまま理科という分野が嫌いになってしまうかも知れない。小学校で目で見えていた事柄が(現象の体験)、中学校からは、目で見えない(思考のみの)事柄になってしまう。

私は、分子モデルをつくりインプットを作り、計算し、分子構造をアニメーション化してみた。すると、私の描いていた分子像とは違う映像が出てきて驚いた。教科書で見ていた構造式とは似ても似つかないものだった。立体的に見た分子はどこが反応しやすいのか、どういう形をしているのかがとても分かりやすかった。また、自由自在に分子を動かすことができ、いろんな面から分子を見ることができる。

現象を体験すると同時に、(1)分子というものがあって、それを目で見えるようにして、(2)子供達自身で移動させたり、分子と分子をくっつけたりはなしたり、(3)分子は動いているんだという概念を楽しく学ぶといった作業をさせてやれば理解も深まり、興味もより強く持つようになるのではないかと思う。さらに、(4)コンピューターを使わせ、子供達自身が作業することでより記憶に残りやすくなると思う。

(学生 B)

生徒の理解を助けるものとして、現在広く用いられているものとして教科書がある。しかし、現在の教科書は、平面的なものであって視覚的に理解することは容易ではない。そこで、原子や分子などの微視的なものは目で見ることが出来ないのでアニメーション化することは、生徒達の理解力を向上させる良い手段だと思われる。しかし、これだけで生徒の「理科離れ」が解消されるだろうかというはまだ困難だろうと思う。まず、化学反応などをアニメーション化することでいままで使われていた教科書よりもかなり理解することができるようになるが、すべての生徒が興味や関心を持てるわけではないので、どこでこれを使用するかがポイントになると思う。それに、いきなりこれを使用しても生徒の頭を混乱させるだけだと思うのでよく説明しておく必要がある。そこで、まずそれがなにを表している教科書の何を示しているかを説明し教科書を理解させた上で用いることで、生徒の興味、関心を高めさせることもでき、立体的にモデルを見ることができるので理解する力も向上するのではないかと思われる。それによって、先生もモデルを作る必要がなくなり、材料などを準備することがないので少し負担が減るのではないかと思う。

(学生 C)

中学校理科の第1分野で、原子・分子の概念がはじめて登場するのは、『化学変化と分子・原子』という単元である。この単元では、化学変化の事象を原子・分子のモデルと関連づけてみる見方や考え方を養うことが目標である。実際に教科書には、粘土で原子・分子の模型をつくってみる例があげられている。しかし、酸素分子と銅原子から酸化銅をつくったり水素分子と酸素分子から水分子をつくったりする作業を行ったとしても、模型の組み合わせをつなぎかえるだけで、生徒にとってこの作業は、黒板に○で表した原子・分子を書くこととほとんどかわりがないように思われる。ただ「酸素」「銅」「酸化銅」、「酸素」「水素」「水」という文字を模型に置き換えたにすぎない。しかし、原子分子の概念を理解するためだけには、

粘土、プラスチック、紙などでつくった模型を用いることで十分学習できるだろう。では、原子分子の概念を学習した後、さきに行った実験での反応の様子を原子・分子レベルで考えるとき、模型のつなぎかえだけでよいのだろうか。生徒にとってこの作業は、単に化学反応式を暗記するための作業にほかならないと思う。分子は、単なる○で示されるものではなく、大きさを持ち、形を持ち、原子が離れたりくっついたりすることもできるダイナミックな原子の集合体である。分子や化学反応の様子をアニメーション化し、立体的に動く映像を生徒に見せる。具体的には、炭酸水素ナトリウムの炭酸ナトリウムと二酸化炭素、水への分解、酸素分子と水素分子から水分子ができる様子や、酸素分子と鉄分子から酸化鉄ができる様子、また、酸化銅と炭素の混合物を熱したら酸化銅が還元されて銅と二酸化炭素ができる様子など、物質の名前だけでなく、分解や化合の様子などを表示する。これによって、生徒はより具体的に化学反応の様子を学習でき、化学反応への興味関心も高まるのではないだろうか。また、分子の概念を学習する際によく用いられる例で、水の中に砂糖を入れたら溶けてなくなるといった現象もアニメーション化して見せることでより理解が深まるだろう。

## VI 参考文献

- 1) 教員養成セミナー (21)、時事通信社、pp.189-191、1998年9月。
- 2) 教員養成セミナー (21)、時事通信社、pp.162-171、1998年9月。