

融合授業案 5年 化学と数学

題材 「原子の電子構造と立体図形」

1. 授業のねらい

本授業では、「原子の電子構造と分子の形」を切り口として、化学における電子配置や電子軌道の概念をもとに、数学を用いて分子の形を議論する授業を行った。分子の構造を学習する際に、メタンやアンモニアは多面体構造であることを扱う。例えば、メタン分子は中心にある炭素原子をとり囲む電子対の反発する力が最小になるように配列することから、正四面体構造であると推定できる(原子価殻電子対反発モデル(VSEPRモデル))。メタンの H-C-H 間の角が 109.5° となることをベクトルの計算を通して理解し、幾何学的に考察したうえで、共有電子対、非共有電子対の配置から H-N-H 間、H-O-H 間の結合のようすを把握しようとする事により、分子の形に関する理解が深まると期待できる。

2. 教材案

(1) 数学の授業

【指導目標】

正四面体の重心の位置ベクトルを求めることができる。その結果を活用して、四面体の面がなす角や辺のなす角などの計量ができる。さらに、空間ベクトルを利用して四面体をはじめとする空間図形の幾何的特徴を考察する。

本時の展開

	生徒の学習活動	指導上の留意点	評価の観点
導入 5分	<p><u>課題 1</u></p> <p>正四面体 OABC の重心を G とするとき、$\angle AGB$ の大きさはいくらだろうか。</p>		
	<ul style="list-style-type: none"> ・ $\angle AGB$ のような角度が現れる例について検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 正四面体の重心 G に関して、定義や性質、位置ベクトルによる表現などを振り返る。 	
展開 1 25分	<ul style="list-style-type: none"> ・ 生徒が結果を発表する。 ・ 四面体や四面体の重心の性質を調べることにより、分子についてわかることがないか検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ベクトルを用いて H-C-H 間角度について計算する。一般に、正四面体 O-ABC の重心を G とすると、 $\vec{OG} = \frac{1}{4}(\vec{OA} + \vec{OB} + \vec{OC})$ とかける。このとき、$\angle AGB \doteq 109.5^\circ$ と算出することができる。 ・ $\vec{GA} + \vec{GB} + \vec{GC} + \vec{GO} = \vec{0}$ から、メタンには極性がないことに気づく。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 正四面体の重心を幾何的に理解し、位置ベクトルを正しく表現する。 ・ メタンの構造や極性について、ベクトルを用いて考察する。

<p>展開 2 30分</p>	<p>課題 2</p> <p>メタンは正四面体 OABC の構造になり、その重心 G の位置に炭素原子 C があり、各頂点に水素原子 H がある。これに対して、アンモニア NH₃ の構造について考えてみよう。</p>		
	<ul style="list-style-type: none"> ・アンモニアの場合の分子野形と極性について確認する。 ・アンモニアのモデルとして、メタン（正四面体）の状態から、GO=GA=GB=GC かつ ∠OGA=∠OGB=∠OGC が大きく広がった四面体を考える。 ・アンモニア NH₃ の場合の結合角 H-N-H の大きさから、非共有電子対と共有電子対の反発が共有電子対同士の反発に比べて強いことを数値的に確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・アンモニアの構造が三角錐になることを化学の知識から説明させる。 ・モデル化の条件について説明する。 ・グループをつくり、探究させる。 ・H-N-H 間が 106.7° であると、四面体 O-ABC において、∠OGA=∠OGB=∠OGC=112.15° となる。 ・計算結果から、$\vec{OG} = 0.88(\vec{GA} + \vec{GB} + \vec{GC})$とわかり、$\vec{GA} + \vec{GB} + \vec{GC} + \vec{GO} \neq 0$ より、アンモニアには極性があることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・位置ベクトルを利用して課題の解決を図ろうとする。 ・グループにおける探究活動に積極的に参加する。 ・内積を駆使して課題を解決する。 ・アンモニアの構造や極性について、ベクトルを用いて考察する。
<p>まとめ 10分</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・メタン CH₄ やアンモニア NH₃ と比べて、水 H₂O の構造について考える。 ・空間ベクトルを用いることで、空間図形の性質を捉えることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・メタン CH₄（課題 1）やアンモニア NH₃（課題 2）に比べることにより、水 H₂O の場合の結合角 H-O-H の大きさから、非共有電子対同士、非共有電子対と共有電子対、共有電子対同士の反発の大きさを考察する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ベクトルを用いると、結合角や極性の議論ができることを理解する。

(2) 理科の授業

【指導目標】

さまざまな分子について形や極性の有無を予想し、計算と描画を行う。

本時の展開（3 コマ分、公開授業はその 2 コマ目）

第 1 時(前時)			
	生徒の学習活動	指導上の留意点	評価の観点
<p>導入 20分</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・共有結合の極性を復習する。 ・電気陰性度の違いから双極子モーメントが生じることを思い出す。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2次元表記（ルイス構造）で3次元構造を表すことを意識させる。 ・原子価殻電子対反発（VSEPR）を理解させる。 	<p>メタンが無極性、アンモニア・水が極性分子であることを理解する。</p>

展開 1 15分	<ul style="list-style-type: none"> ・C, N, O 原子については、最外殻 (L 殻) において, $2s, 2p^3$ があり、これらの混成軌道から分子軌道のおおよその形がイメージする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・L 殻=$\{2p, 2p_x, 2p_y, 2p_z\}$ ・sp^3 混成軌道 $=2s \pm 2p_x \pm 2p_y \pm 2p_z$ ・ベクトル和から正四面体であるとわかる。 	
展開 2 20分	<ul style="list-style-type: none"> ・winmostar を起動し、基本操作を身につける。 ・3次元座標と分子内座標を理解する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・スクリーンで操作を確認させる。 ・2次元の図を書いてから入力する。 ・計算結果の全エネルギーを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子の座標をソフトウェアに入力できる。
まとめ 10分	<ul style="list-style-type: none"> ・電子雲 (空間充填モデル) や分子軌道を表示し、ルイス構造との関連を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・入出力ファイルをエクスプローラで確認させる。 ・ノーベル賞受賞歴に触れる。 	
第2時(本時)			
導入 10分	<ul style="list-style-type: none"> ・CO_2 の形や原子軌道について考察し、PC で確かめる。 ・C 原子の周りの電子について考察する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・「混成軌道」「σ / π 結合」を説明する。sp 混成、sp^2 混成軌道について説明し、二重結合、三重結合を整理する。 	
展開 1 15分	<ul style="list-style-type: none"> ・O_3 について、構造と極性を予想し、PC で描画、計算を実行する。 ・「共鳴構造」について理解する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子価から考えると間違いになる場合もあることを紹介する。 ・構造式の書き方が複数になることがあることを確認するが、構造の安定性については深入りしない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・以前に学習した原子価の知識と、そこから広がった知識を合わせて、軌道の形を推定する。
展開 2 15分	<ul style="list-style-type: none"> ・SO_2 について、構造と極性を予想し、PC で描画、計算を実行する。 ・CO_2 と SO_2 の形が異なる理由について考察する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・大きな原子 (第3周期以降) に4配位以上の形もあり得ることに触れる。 ・「電子対反発」が成り立つことを導かせる。 	
展開 3 15分	<ul style="list-style-type: none"> ・PCl_5 および SF_4 について、構造を予想する。 ・実際の分子の形 (三方両錐形、シーソー形) を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・PCl_5 は無極性、SF_4 は極性分子であることをヒントにする。 ・うまく行かない場合は、初期構造の推定をやり直させる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・3次元と分子内座標を使い分けて正しく初期構造を入力できる。
まとめ 10分	<ul style="list-style-type: none"> ・原子価が4までの場合と、それ以上の場合について、ともに「電子対反発則」で予想できることを確認する。 ・「極性」、「結合エネルギー」を確認し、計算化学の利用方法に触れる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・「電子対」という概念は、あくまで共有結合をモデル化したものであるが、未知の構造を推定するためには有効であることとする。 ・計算化学の可能性に触れておく。 	

第3時			
導入 20分	・さらに多くの応用方法を含め、「多分子の計算」、「分子動力学」、「反応機構」など探究課題を共有する。	・個別に興味のあるテーマを挙げさせ、可能な限り具体例を示す。	
展開 35分	・興味ある分野で、科学計算が応用できるテーマを考え、レポートにまとめる。実行可否は問わない。	・生徒のリクエストに応じ、教師用PCでインターネット検索を行い、画面を全体に表示する。	・科学的トピックスへの関心を持ち、問題を設定する。
まとめ 10分	・今回学んだことを整理する。 ・アンケートを実施する。		

3. 大学の教員からの指導助言

- ・分子の結合エネルギーが最低となる構造で安定することから、初期構造の違いにより、結合エネルギーが変わり、最適解の結果が変わることを体験させるような活動が有効である。
- ・反応は、安定な方向に流れていくものであり、きわめて自然なことである。メタンの結合角が 109.5° となることを数学的に計算することにより、自然の素晴らしさを実感できる機会となったのではないだろうか。昨今では、大学生でも空間的な視野の欠落が目立つ。分子模型を触らせるなどの取り組みはとても大切なことである。

4. 考察

今回は化学と数学の融合授業として、分子の形を化学と数学の両面から考察する授業を実施した。公開授業は、数学を活用する場面がやや乏しく感じる展開となってしまったが、前時の授業を映像公開するという新たな試みにより、理数融合のねらいについては、参加者の理解を得たのではないかと考える。