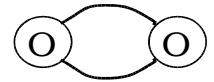


高大連携第 4 回講義報告：9 月 3 日は理学部化学科から水谷先生の講義

分子の振動を捕らえて化学結合を考える方法とは

物質を分子や原子の結合として分析する「化学」の研究では、結合の種類（共有結合、イオン結合、金属結合など）など静的な結合のことで分子構造について説明ができることは高校 1 年生で学習したはずだ。高校で学習した「結合」は、酸素分子の場合、右図の棒で表し、この結合は最外殻電子を互いに共有する「共有結合」であることなど、高校でも習った通りの説明が講義冒頭であり、先生の説明は分かりやすいものだった。今回の講義は、この共有結合を「動的」に捕らえて考えるというテーマだ。



酸素分子

結合している原子同士は互いに近づきすぎると反発し、遠ざかるとき引き合う性質がある。これはバネと同じ性質が適用できる（バネの力 f と伸び x の関係は、 $f = kx$ という「フックの法則」による関係式が成立する）。したがって、おもりとバネの関係と同じことになる。連携通信 22 号で紹介した通りに講義が進んで行き、筆者として「予想通りバッチリ」の展開だ！。分子は非常に小さいので目には見えない。分子の振動を捕らえるために「光」を使うのだ。光で分析する技術「分光分析法」の始まりだ。

ラマン分光法・・・光を当てたときの光の吸収や光の放出を利用するのだ！

インドの物理学者ラマンが発明した「ラマン散乱法」とはどのようなものか？「光を当てたとき、物質を通った光は分子により振動数に影響が起こる。分子の振動により、物質中を透過した光の振動数が元の振動数から分子の振動数だけ変化する」という物理現象を利用したものだ。ラマンによる実験では、紫色の光（振動数の高い光）を液体試料に当てたところ、液体試料から緑の光（振動数の低い光）が出てくることを発見した（1928 年に英国のネイチャーに掲載、1930 年にノーベル物理学賞を受賞）。実際の研究は、色という主観的な表現でなく、光をプリズムで分光し振動数ごとの光の強さを示す「スペクトル」を分析するのだ。このスペクトルを見ることでその液体試料に含まれる物質が特定出来る。この「ラマン分光法」による物質の特定方法（分析法）では「スペクトルは物質の指紋」と言えるほど、物質特定の有力手段となったのだ。その分析例として、軽い水素（原子量 1 の水素）でできた水（軽水）と、重い水素（原子量 2 の水素）でできた水（重水）のスペクトル比較で説明があった。バネの振動の物理に当てはめて考えた通りのことがこの比較から重たい水素で出来た重水がゆっくり振動していることが分かる。

分光分析法のための技術：レーザー光、回折格子、CCD 検出器の登場

現在では、利用する光や分光技術、検出装置の発達により研究は飛躍的に進んできた。太陽光と比べて、非常に強く、振動数、位相の整った光「レーザー光¹」の発明がその一つである。また、プリズムと比べてより正確に振動数や波長分析が可能な「回折格子²」、写真で撮影するより感度が非常に高く測定が速い CCD（デジタルカメラなどでも利用されているもの）などの登場が分光分析技術を飛躍的に発展させたのだ。その分光分析法で何を測定するのか、それは今注目のバイオの分野なのだ。

ヘモグロビン：その内部の「鉄-ヒスチジン」結合の強弱で酸素をコントロールする

ヘモグロビン（血液中で酸素を運ぶ主体）やミオグロビン（筋肉中で酸素を蓄える主体）で、酸素結合の中心部分となるヘムという構造がある。「それぞれの酸素結合能力の差で、呼吸で得た酸素を肺から筋肉に運ぶシステムが成立している」との生物学での説明があった。酸素との結合の違いが起こる原因

1 CD（コンパクトディスク）、MD（ミニディスク）、DVD（デジタルビデオディスク）などで使われている光技術。発生する光の振動数、位相が揃った非常に強い光であるので多くの分野で応用されている。

2 高校物理 I B の波の分野（光波）で学習しますので楽しみにしておいてください。

は説明はできるのか？ヘム構造の中の鉄原子の振動を捉え、その結合力の变化の理由を探る。それを特定するために鉄の同位体（原子量が異なる鉄）を利用し、ヘモグロビンの中の無数にある結合の内その鉄原子のそばの結合のバネの強さと鉄原子のバネ振動数が変化を見つければよい。スペクトルのどの部分がそれに対応しているのか鉄原子の重さを変えた2つのスペクトル（分子の指紋）の相違から特定し、鉄-ヒスチジンの結合の強弱が酸素結合度に影響を与えていることが分かってきた。また、二酸化炭素がヘモグロビンにくっついたことで酸素との結合が弱まり、酸素が離れ易くなる仕組みが備わっていることも分かってきた。また、生命活動のエネルギーの源であるミトコンドリアという組織の内部のチトクロームの働きの研究では、兵庫県の播磨化学公園都市（相生市の北部）にあるSPring8（巨大放射光施設：光からX線の領域までの光を使う世界最先端の研究施設）が大活躍していること。また、これを使ってノーベル賞級の研究が日本で進められていることなどの紹介もあった。（夏休みの8月21日に、理数コース全員でSPring8の施設見学に行きました。すごく大きい研究施設でした。詳細については理数コースの人に聞か、インターネットなどで調べてください。）

高校での理科学習の心構え：研究現場では「物理、化学、生物の総合力だ！」

この講義の最後に講師の水谷先生は次のような話を受講生にしました。現在、化学の研究分野では「生物」分野（バイオ関連）の研究が多く行われている。その研究では「物理」の技術が多く利用されている。このように研究最先端では物理・化学・生物という科目の枠を超えた研究が行われているという事実が多くある。「高校での学習範囲（物理、化学、生物）という狭い考えは通用しない。自然科学という総合の枠で考えて欲しい。物理を選択していない人は物理に興味を持って新聞・雑誌などの情報から物理を理解するように努めること、生物を選択していない人も同じだ。高校での学習と将来必要となる知識は別のもの」受験科目にあるから勉強するのだという低次元の価値観とは異なる「自然のシステムがどのように美しい仕組みになっているかを知る喜び（アンリ・ポアンカレ）」が示すような次元の高い価値観を持って欲しい。奥の深い話で締めくくられた連携講義第4回目でした。（志）

バネとおもりの振動の物理学（物理と数学の知識）このコラムの説明わかるかな？

「バネの力 f [N(ニュートン)]はバネの伸びの量 x [m]に比例する(フックの法則)」 $f = -kx$ …①が成立する。このときの比例定数 k をバネ定数という。これは中学校の学習範囲ですが。

「物体に力が働くと、物体に生じる加速度 a [m/s²]は物体の質量 m に反比例し、力の大きさ f [N]に比例する(ニュートンの運動の法則)」 $f = ma$ …②が成立する。これは高校1年生の学習範囲。

それに「**数学の微分・積分の知識**」です（これは高校2年生の学習範囲）。位置 x を時間 t の関数と考えるとき、速度 v は x の微分係数であること $v = \frac{d}{dt}x$ 、加速度 a は速度 v の微分係数であること

$a = \frac{d}{dt}v = \frac{d^2}{dt^2}x$ …③が成立する。以上の①、②より $ma = -kx$ から、 $a = -\frac{k}{m}x$ になり、③より

$\frac{d^2}{dt^2}x = -\frac{k}{m}x$ …④になる。これより x がどのような関数(時間 t を変数とする関数)かを求めるだけだ。

位置 x を時間 t で2回微分する(2次微分係数)と元の関数のマイナスの値の定数倍になっているから、 x は三角関数 \sin や \cos の関数(微分公式 $\frac{d}{dx}\sin x = \cos x$ 、 $\frac{d}{dx}\cos x = -\sin x$)になる。

これより、位置の関数 $x = A \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right)$ が関係式④の解の一つである。この関数の周期(1回振動する時間)

T は $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 、振動数(1秒間に振動する回数) f は $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$ になることがわかる。

※ 微積分が理解出来るようになれば良いのですが、皆さんいかがでしょうか？ 数学がんばってください！