

連載・環境科学のやさしい基礎話し

自然観察指導員埼玉連絡会 会員 理化学研究所 広報室 理学博士 高橋勝緒

豊かな生活と環境保護の両立は21世紀の大きな課題です。もともと「豊かな生活」とは「自然環境に恵まれた生活」として同義語であるべきものなのでしょうが、いつしか物質文明の名のもとに相反する要素を持つに至ってしまっています。

環境問題については、本会の活動の中心であり、既に皆様の深く思考・実践されている課題です。

本連載では、その環境問題の基礎となる科学的事柄のいくつかを取り上げ、物理や化学の基礎知識と環境問題を結びつける「極くやさしい話し」として書いてみたいと思います。複雑な環境の科学的問題を考える上で、その基になっている物質やエネルギーの科学をちょっとだけ思い出していただく機会となれば幸いです。

本編は、自然観察指導員埼玉連絡会の「あらかわ通信」に寄稿した小文をまとめたもので、同連絡会は、私が自然観察ボランティアの活動をしている団体先です。

その5 . 光と物質のかかわり (近代的分析手法)

はじめに

環境問題にとって、物質の存在を調べる「化学分析」は極めて重要な技術です。

前回は物質を「見る」話をしましたが、そこで夏の夜空を彩る花火の色が、その色を発する元素の分析に役立つことを述べました。今回は、このような美しい光や、目に見えない光などが物質を「見る」役割を果たすことを少し詳しく述べましょう。

「量子論」などと呼ばれる現代科学の側面です。

原子の構造と光

我々の日常には、電灯や蛍光灯、テレビの画面からネオンサインまで、色々な光が満ちあふれています。「発光」に共通した仕組みは、物質を構成する原子の中の電子の作用です。

全ての物質、例えば空気や水、鉄、生物など、酸素や水素、鉄、炭素、窒素などの原子が結びついてできています。その原子は、さらに原子核と電子によってできており、模型的には、太陽の周りを地球や火星が回っているように、原子核の周りを電子が回っています。

水素原子では、回っている電子の数は1個、炭素6個、鉄26個、金79個などと原子の種類(元素)によって決まっています。そしてそれらの電子が回る道筋

(軌道)も決まっています。

原子の中で安定な軌道を回っている電子に、原子の外から、光を当てたり、他の電子や原子をぶつけるなどのエネルギーを加えると、原子内の電子はエネルギーをもらって、より高いエネルギーを持つ外側の軌道で回るようになります。このように高いエネルギーの軌道から、低い軌道に移るとき、余ったエネルギーは光として放出されるのです。

原子によって、電子の回れる軌道は決まっており、軌道が変わるときに放出するエネルギー、すなわち光のエネルギーが決まっており、そのエネルギーに見合った波長(色)の光が観測されるのです。したがって、花火のように、高温(原子が盛んに衝突し合う状態)になった原子では、電子のエネルギーが増し、そのエネルギーの放出が、原子特有の色の光となって夏の夜空を彩ります。

このような、特定の軌道を持つということが、量子論的とか量子化された状態と呼ばれています。

ネオンサインは、気体のネオンを封入したガラス管の中で、電極間に高電圧を加えて放電させる(電子の流れによりネオンに電子を衝突させる)ことにより、ネオン特有の赤い光を発光させます。ネオンサインが色々な色を出すのは、ネオン以外の色々な気体を封入した放電管を用いることによるものです。このように、電子や熱、電波などの作用で、原子特有な発光をさせて、その光の色(波長)と強さにより、物質中の原子の種類と量を測定する方法を発光分析と呼んでいます。

発光させる代わりに、原子が原子内の電子の軌道を変える際に、特定のエネルギーの光を吸収する作用を利用する吸光分析と呼ばれる方法もあります。

分子の構造と光

本シリーズの第3話、「二酸化炭素の話」で述べましたように、例えば、二酸化炭素($O=C=O$)のような分子では、酸素と炭素が結合しており、この結合がバネのように伸び縮みする性質があります。この伸び縮みの振動にも特定のエネルギーの状態があり、それに見合ったエネルギーの光を吸収する性質があります。

二酸化炭素では、その吸収する光は目に見えない赤外線で、この吸収によって地球温暖化の元凶と考えられています。

絵の具や染め物に使う色素は複雑な分子で、その分子を構成する原子の結びつきの伸縮振動などが、我々が色として感じる光(可視光)を吸収します。このように、分子の構造によって、特定の波長の赤外線や可視光の吸収が起こることを利用して、色々な分子の種類や、溶液中の濃度などが測定できます。一般に、光などの波長と物質の種類の間を用いる分析方法をスペクトル法と呼んでいます。

NMRスペクトル法

原子核は陽子と中性子からできています。

陽子は磁石を持ったこまが回っているような状態にあり、この磁石の回転の様子を検出すると色々な物質（主に有機物）の分析に役立ちます。

特に、水素原子は陽子が一つの原子で測定に適しています。その水素が、複雑な分子の中で、どのような原子と結合しているかによって、陽子の回転のエネルギーの状態が微妙に異なり、その相違から、複雑な分子の構造が判定できます。

極微量物質の分析

最近の環境問題では、ダイオキシンや環境ホルモンなど、極微量でもその有害性が問題視される場合が増えています。これらの話題で、良く用いられる濃度の単位が ppm や ppb です。1%が全体を100(cent)としたときの1の意味であるのに対し、1 ppm は全体を百万 (million) に分けたときの1の意味、1 ppb は十億 (billion) 分の1の割合 (濃度) を意味します。

1 ppb とは、例えば1 gの水の中に十億分の1 gの鉛が溶けていることになります。

現在の優れた天秤でも百万分の1 g程度が測定限界ですから、1 ppb の鉛を量るには、1リットルの水から、全ての鉛を取り出さなければなりません。

極微量物質の分析には、このように多量の中から目的物質のみを選別して取り出す特別な方法か、多量の中の微量を選択的に検出する特別な方法が必要です。

質量分析は後者の方法の代表です。

真空中で、色々な物質をイオン（電気をを持った原子や分子などの粒子）にして、そのイオンを電圧をかけて加速し、磁場の中での曲がり方を測定すると、そのイオンの質量（重さ）がわかります。この方法では、曲がって飛んで来る粒子の数を測定するため、極微量の物質でも、その特定の質量の物質の量を選別して検出することができます。

この他に、生物の抗体反応を利用するユニークな極微量物質の分析方法もあります。

人類は、物理や化学、生物機能の原理を用いて、極微量の環境物質の測定もできるようになりました。

しかし、どんな物質が、どれほどで、生物にどんな影響を与えるかは、まだまだ未知数です。そしてもちろん、有害かも知れない物質を人間に与えてみる実験はできないのです。人間の寿命が長ければ、それだけその間の影響を見定めるのには時間がかかります。環境科学の難しさがこれからも減ることはないでしょう。

[*クリックすると、大きい画像を表示します。](#)



光と物質