

有機物で磁石を作るのにはどうすればよいか

物質と磁性の問題を扱うにあたって、より身近な課題とするために、「有機物で磁石を作るのにはどうすればよいか」を念頭において話を進めることにする。

(問いかけに対して、学生さん(の一人)から戻ってきた答は、物質を強力な磁石の間に入れるというものであった。)

物質を磁石の間に入れると、確かに鉄のように磁石の間に吸い付いて、そして、磁化をするものもある。ところが、典型的な有機物である、メタンを(ガスでなく冷やして固体にしても)磁石の間にいれて磁場をかけると、磁場から逃げ出してしまふ。それに対して、ナトリウムのような金属は磁場をかけると磁場の中に吸い込まれるし、その場では磁化を示すけれど、磁場をのぞくと鉄のように磁化が残ることはない。

磁場をかけたときに磁場から逃げ出す物質を

反磁性体

という。また、ナトリウムのように磁場に吸い込まれるものの、磁場を切ったときに磁化が残らないものを

常磁性体

と呼ぶ。これに対して、鉄のように磁化が残る物を

強磁性体

と呼ぶ。なお、強磁性体に類似したものとして反強磁性体やフェリ磁性体がある。

多くの有機物は反磁性体である。それに対して、多くの金属は常磁性体である。そして、小数の金属、鉄やコバルトなどが強磁性体である。どうして、有機物の多くが反磁性を示し、金属が常磁性を示すのかを理解するためには、物質の磁性の発生機構を理解する必要がある。

磁性の起源

磁性の起源を考える前に電荷の起源を考えておこう。電荷の起源は、電子や陽子などの素粒子である。これらの素粒子は単体で電荷を持ち、点電荷となりうる。一方、磁性に関しては、いくたの努力にもかかわらず、現時点で点磁荷を作り出す磁気単極子は発見されていない。また、発見されたとしても、それは、素粒子の大統一理論に関連する話であって、鉄の磁性の原因とは直接の関係がない。物質の磁性の起源は、実は物質中の電子なのである。

電子がどうして磁性を引き起こすのかを理解するためには、物質中の電子の状態を思い

出さなければならない。1年の物理化学で習ったことによると、電子は  $1/2$  のスピンを持つ素粒子で、原子においてエネルギーの低い方から  $1s, 2s, 2p \dots$  軌道に収まっている。

電子はスピンを持っているので、それ自体で小さな磁石として機能する。ただし、一つの軌道に2つの電子が収まった状態では、2つの電子のスピンは逆向きになるので、正味では磁場を発生しない。電子の軌道に関しては、 $s$  軌道は軌道角運動量が0であるが、 $p$ 、 $d$  軌道は有限の軌道角運動量を有している。つまり、電子が原子核の回りをおよそ一定の方向に回転しているという古典的な描像を与えるものになっている。電子は電荷をもっており、円環状の回転運動は電流があることを意味しており、これより電磁石の原理で磁場が発生する。

物質の磁性の起源は電子のスピンと軌道運動の2つである。

#### 反磁性体・常磁性体

ヘリウム原子を考えよう。電子状態は  $1s^2$  で  $1s$  軌道に2つの電子が収まっている。 $1s$  軌道の角運動量は0であり、軌道由来の磁気成分はない。また、同じ軌道に電子が2つ入っているのでスピンも相殺しておりスピン由来の磁気成分はない。つまり、Heは磁気的に不活性な原子なのである。Heに磁化をかけると、それまで磁場がなかった原子に反磁場が発生する。 $1s$  軌道は確かに角運動量は0であるが、これは電流の流れていない閉回路に相当するものであり、外部から磁場をかければ、それを打ち消すような電流が流れて反磁場が発生するのである。これが、反磁性体である。

反磁性のつよさはベンゼンの様に異方的な分子では異方的になる。そして、これが液晶が磁場で配向することの原因になっている。

一方、水素原子のように、不対電子を持っているものは、それが、磁場と同じ方向に、より配向するようになり、常磁性となる。常磁性には、不対電子由来の他に自由電子由来のパウリの常磁性も知られている。

多くの金属は常磁性ではあるが、強磁性ではない。物質が強磁性となるためには、さらなる条件が必要になる。

有機物でも不対電子を持つと常磁性となる。常磁性体は強磁性ではないが、反磁性よりは強磁性に近い物である。実際有機物で磁性体を作ろうとする研究者はスピンのある物質を扱っている。