

磁場の不思議

谷本 能文

小学生の頃磁石を使って楽しく遊んだ経験をもっている方も多いと思う。私自身なぜか磁石の不思議な魅力に取りつかれたまま、気がつけばこの年になっても一層その魅力に引き付けられてやまない。今日はそんな磁場の魅力の一部を紹介したい。



テレビ新広島でスタジオで熱弁をふるう谷本講師

1. 磁場の魅力

磁石の発見は紀元前十数世紀の中国に遡るといふ。小さな石のかけらなどを引き付ける不思議な石が発見された。ちょうど乳飲み子に乳を飲ませる母親のような慈悲深い石という意味から、慈石と名付けられたといふ。それ以後幾千万の人たちが磁石の不思議に興味を引き付けられたことだろうか。わが国で磁石がどんなに魅力的に捉えられていたかといふ例として、狂言「じしゃく」の初演が1642年ごろ、歌舞伎「毛抜き」の初演が1742年、黄表紙「じしゃく頓智才兵衛」の刊行が1791年などを挙げることができる。狂言「じしゃく」は、昨年春の春竹原市の加茂川荘で野村萬斎氏による公演があったので、ご覧になられた方も多いのでは……。

私自身の体験では、十数年ばかり前に搭乗したエールフランスの機内誌の口紅の広告に”Rouge Magnétique”という単語を発見したとき、7・8年前フロリダの中華料理屋で食事をした食後のデザートにでたフォーチュンクッキーの中から出てきた占いに”You have an unusually magnetic personality.”という文を見つけたとき、興奮したことを覚えている。ひと月ほど前には、司馬遼太郎の「以下、無用のことながら」（文藝春秋、2010）を読んでいたところ、“……めし茶碗が、茶道という磁場に置かれ、するどい選択をへて……”という文章に出会い久しぶりに興奮した。磁場という言葉そのものが、”人

を引き付ける、魅力のある“ という意味をもつほど磁場は、人々を引き付けてきたことが分かる。

2. なぜものは磁石にくっつくか？

すべての物質は、原子からできている。その原子は、電子と原子核からできている。電子の運動には、それ自身が自転する運動（スピン運動）と、原子核の周りを回る運動（軌道運動）の2種類の運動がある（図1）。電子が動くと電流が流れ、その結果磁場が生じる。すなわち、原子は微小な磁石ということができる。電子のスピン運動により生じる磁気的性質を常磁性、軌道運動による磁性を反磁性という。水素原子やラジカルなどは、常磁性を示す。原子同士が結合して分子を作るとき、2つの電子の常磁性が打ち消されるように電子は対をつくる。そのため、ほとんどの普通の物質（分子やイオン）は、電子の軌道運動による磁気的な性質—反磁性—を示す。酸素分子はその例外で常磁性を示す。さらに、大きな領域にわたり常磁性の原子やイオンなどが整列することにより、強い磁気的な性質—強磁性—を示す。鉄などの強磁性の物質は磁場に強くくっつき、酸素などの常磁性の物質は磁場に弱く引き寄せられる。一方、水・砂糖・食塩などの反磁性の物質は、非常に弱い磁場に反発する性質をもっている。

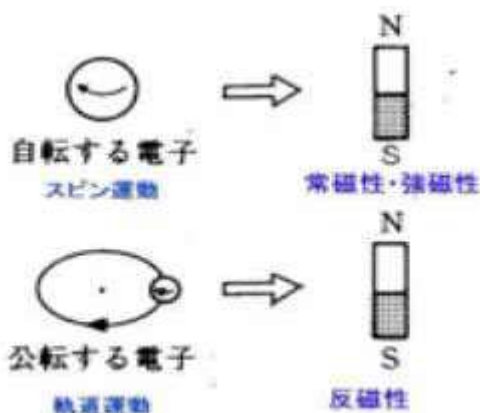


図1 磁性の起源

3. いろいろな磁石の強さ

よく使われる磁場の強さを表す単位に、ガウス(G)とテスラ(T)がある。おおまかにいうと、1テスラ ⇒ 1万ガウスの関係がある。身近にある磁石で例をあげると、地球は0.5 G、携帯電話に使われている磁石の磁場は約50 G、マグネットボタンは約800 G、病院の磁気診断装置MRIの磁場は約15000 G (1.5 T)などとなる。0.01 T~15 Tの大きさの磁場を使って以下に述べる実験を行った。

4. 磁場の作用のメカニズム

磁場の作用のメカニズムは、①ラジカル対機構、②異方的磁気エネルギー、③ローレンツ力、④磁気力の四つに大別される（図2）。①は化学反応の反応中間体であるラジカル対の状態変化が磁場の影響を受けるという機構、②は物質の磁氣的性質が方向により異なるとき、物質は磁氣的に最も安定な方向をとる（磁気配向）、③イオンなどの電荷をもった粒子が磁場中を運動するとき力を受ける、④物質のもつ磁性により、磁場に引き寄せられたり（強磁性・常磁性）、反発したり（反磁性）するというものである。以下では、それぞれの例について簡単に紹介したい。

磁場のいろいろな作用のメカニズム

磁場	メカニズム	反応 & 現象
均一磁場	ラジカル対機構	有機光化学反応
均一磁場	異方的磁気エネルギー	結晶の磁気配向
均一磁場	ローレンツ力	ケミカルガーデン反応
勾配磁場	磁気力	金属樹生成反応 磁気浮上、微小重力

ラジカル対機構: 反応中間体ラジカル対の電子スピン状態の磁氣的相互作用

異方的磁気エネルギー: $\Delta E = -(1/\mu_0)N\Delta\chi B^2$

ローレンツ力: $F_L = qv \times B$ (回転力)

磁気力: $F_M = (1/\mu_0)\chi B dB/dz$ (直線力)

図2 磁場効果のメカニズム

5.1. ラジカル対機構による効果

界面活性剤水溶液にキサントンとキサントンを溶かし、光を照射すると、キサントンダイマー、キサントンダイマー、キサントンとキサントンのダイマーが生成する。この光反応を0.18Tの磁場中で行ったところ、キサントンダイマーとキサントンダイマーの収量は、磁場のない時に比べて数倍増加した。詳細な検討の結果、これらの磁場効果は、反応により生じた中間体（ラジカル対）の変換過程が磁場の影響を受けたためであることが分かった。

5.2. 異方的磁気エネルギーによる効果

ベンゾフェノンのヘキサン飽和溶液から結晶を析出させた（図3）。磁場がない時、ランダムな向きの棒状結晶が得られた。8Tの磁場中で行ったところ、磁場に垂直に配向した棒状結晶が得られた。この結果は、異方的磁気エネルギーにより説明された。直径数10nm×長さ数 μm のカーボンナノチューブでも磁場により配向させることができた。

ベンゾフェノン結晶 ヘキサンの飽和溶液から再結晶

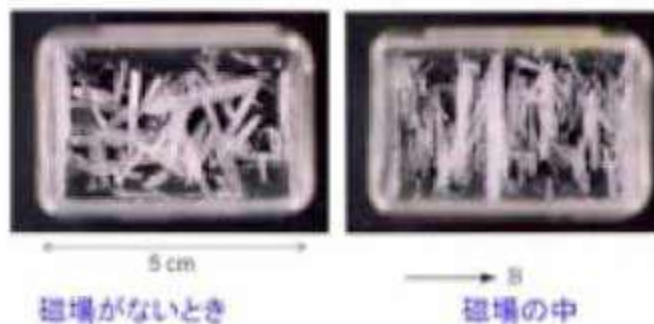


図3 ベンゾフェノン結晶の磁気配向

5.3. ローレンツ力による効果

金属塩結晶を水ガラス溶液に入れると結晶が溶け、不溶性のゲル膜チューブが生成する。金属塩種類により、いろいろな色のチューブができ、あたかも小さな庭のような風情となる。この反応はケミカルガーデン（シリケートガーデン）と呼ばれ、高校の文化祭などでよく紹介される反応である。この反応を 15 T の垂直強磁場中でおこなったところ、磁場がない時ゲル膜チューブはまっすぐ上方に成長したのに対し、磁場中では右巻きらせん状に成長した（図4）。磁場の向きを逆にすると今度は左巻きらせん状に成長した。これらの結果は、水溶液中のイオンに対するローレンツ力より対流が起きたためであることが解明された。

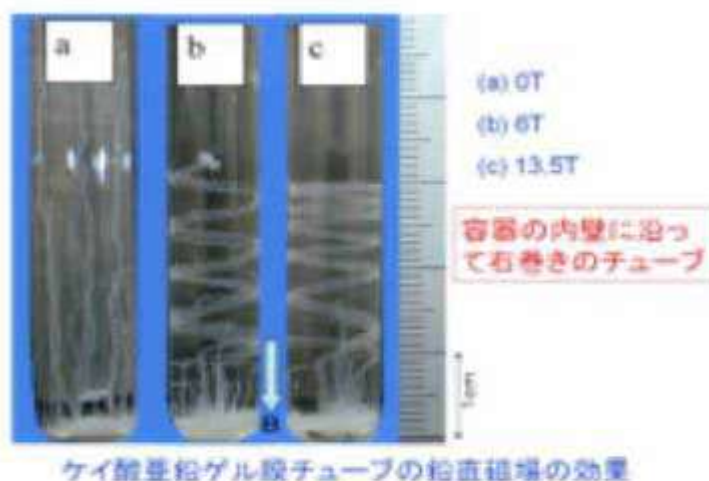


図4 シリケートガーデン反応の磁場効果

5.4. 磁気力による効果

常磁性物質は磁場に引き寄せられ、反磁性物質は磁場から反発力を受ける。ローソクを磁場中で燃やしその炎に対する磁場の影響を調べた。その結果、磁場と炎の位置により、炎はドーナツ型、傘型、ラッパ型と様々な形となることが分かった。常磁性の酸素をふくむ空気が磁場に引き寄せられ、その結果、炎の周囲の空気の流れが様々な形となった結果であると、説明された。

カエルを強い垂直磁場中に置いたところ、カエルは空中に浮上した(磁気浮上)(図5)。カエルの身体には多量の水がある。水は磁石から反発力を受ける。このカエルに対する反発力と重力が釣り合い、カエルが浮上したことが分かった。そのほか、水・ミニトマト・プラスチックチップなどが磁気浮上する。



図5 カエルの磁気浮上

6. まとめ

以上、簡単に紹介したように、磁場を使うことにより、いろいろな面白い現象を見出すことができた。これら磁場の化学反応・物理変化・生物現象への影響を研究する研究分野は「磁気科学(Magneto-Science)」と呼ばれている。既知のメカニズムを応用した研究、未解明の磁場の影響のメカニズムの解明、新しい磁場効果の探索など、今後さらなる研究が必要である。

なお、カエルの磁気浮上など磁場を使った面白い実験の動画が、[「日本磁気科学会ホームページ」](#)の「磁気科学ギャラリー」に載っているので、是非ご覧ください。

(本稿は、平成23年1月18日にTSS文化大学で行った講演の概要である)