



熱い鉄と方位磁石結晶

窮理の部屋130

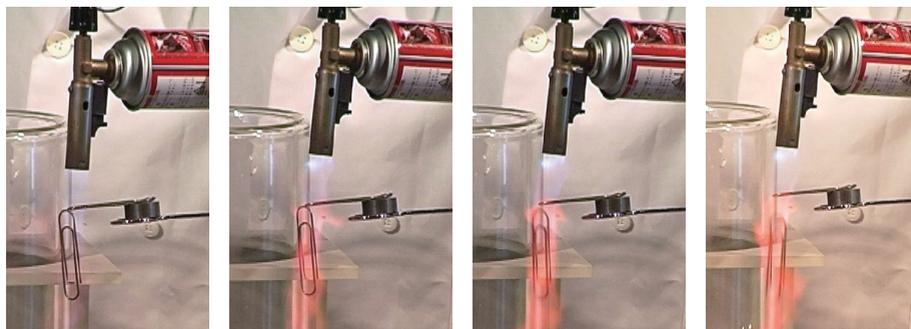


図1 熱い鉄が磁石に反応しないことを確かめる実験。中央の黒い塊がフェライト磁石。これにクリップをつけて、その先に別のクリップを磁力で吊るして、クリップを熱する。

磁石でメモを冷蔵庫に貼り付けるなど、日常生活では鉄が磁石にくっつくというのは当たり前ですが、「なぜ鉄が磁石につくのか？」とあらためて考えると不思議です。さらに、不思議なことですが、鉄は熱くなると磁石につかなくなります。図1はこれを確認する実験の連続写真で、磁石についているクリップを熱するとクリップは磁石に反応しなくなって落ちるというものです。

本稿では、まず、なぜ熱い鉄が磁石につかないかを鉄とそっくりな方位磁石結晶(方位磁石を規則正しく多数並べたもの)で考えます。その次に、「熱い方位磁石結晶はどうか？」について、著者の考えを紹介したいと思います。じつは、この問題は南部陽一郎博士(2010年ノーベル物理学賞受賞)が科学館の方位磁石結晶をご覧になった時の質問なのです(図2)。

図3が方位磁石結晶の展示、「磁石のテーブル」で方位磁石1000個を敷き詰めたも



図2 左から南部博士、高橋館長、著者。方位磁石結晶の前で、南部博士の「熱は？」の問いに、磁石で方位磁石をかく乱して「これが熱！」と応える著者。2010年6月16日



図3 大阪市立科学館の展示物、「磁石のテーブル」

のです。方位磁石は魚の群れのように近所同士は同じ方向に揃っています。じつはこれが鉄とそっくり、鉄は鉄原子が規則正しく並んだ結晶で鉄原子自体が磁石なのです。そして、方位磁石のように鉄原子が近所同士揃っています。

このように揃う性質があるので、図4のように磁石が鉄に近づくと多くの鉄原子が磁石と同じ方向に揃って、鉄が磁石に強くつくのです。これを強磁性といいます。一方、鉄が熱い時は鉄原子が熱運動で整列しなくなります。磁石の力では鉄原子の熱運動を抑制できなくなり、熱い鉄は磁石にほとんどつかないのです。これを常磁性といいます。

図5(左)は「磁石のテーブル」の上で磁石をゆすって方位磁石をかき乱したところで、これが熱い鉄と同じような状態です。揺すっていた磁石を遠ざけると図5(右)のように揃います。これが、鉄が冷えて磁石につく状態になったのと同じです。つまり強磁性になったのです。

では、熱い方位磁石結晶、すなわち図5(左)のようなときは磁石にほとんどつかない、すなわち常

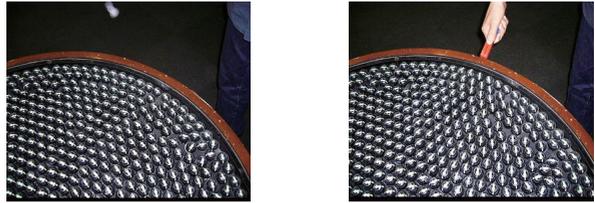


図4 方位磁石結晶(左)に棒磁石を近づけると多くの方位磁石が磁石と同じ向きになる(右)。

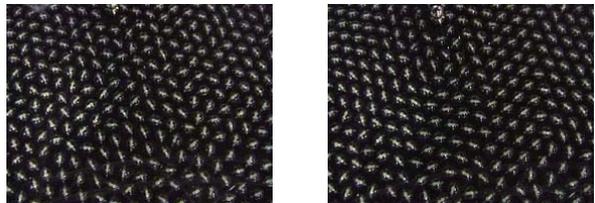


図5 左は磁石で方位磁石を揺すってバラバラに回転運動させたところ。しばらくすると揃った状態で動きが止まる(右)。



磁性なのでしょう？南部博士の質問です。著者は常磁性ではなく、反磁性といって、磁石に反発するようになって考えています。ちなみに、水や銅は反磁性物質です。強力なネオジウム磁石やてこを使って工夫すれば、非常に弱いですが水や銅の反磁性を確認することができます。

それでは、「方位磁石結晶が反磁性になる」という著者の考えを紹介しましょう。方位磁石は磁石なので、くっつく場合(図6①)もあれば反発する場合(図6②)もあるので、この2つの中間の状態反磁性になる場合を考えることができます。図6①からわずかにずれて図6③のように揺れている場合は、磁石と方位磁石がほとんど同じ向きなので引合いますが、図6②からわずかにずらして手を離れた場合、つまり、図6④のように大きく揺れた場合は反磁性になり

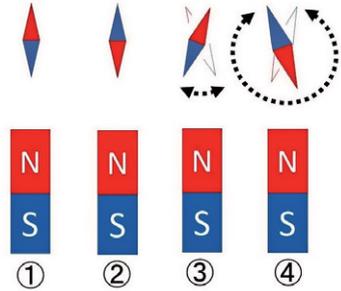


図6 磁石と方位磁石

ます。このことは、図7のように方位磁石の回転速度を考えると簡単にわかります。①②⑥⑦の時はゆっくり回転しながら磁石に反発します。一方、図③④⑤の時は早く回転しながら引き付けられます。ということは、反発している時間が長く引き付けられるのは短時間になるので、回転運動の全体で平均すれば反発していることとなります。この考えで方位磁石結晶を鉄と同じスケールにして平均場近似というテクニックで計算をすると、「方位磁石結晶は超低温以下では強磁性で超低温以上では反磁性、高温になるにしたがって反磁性がどんどん弱くなって反応しなくなる。」という結果になりました。

冒頭に書いたように、鉄は高温で強磁性から常磁性に変化します。一方、方位磁石結晶は鉄とほとんど同じはずなのに、超低温以下を除いて、全く違う磁性を示すのです。なぜこのようなことになるかといえ、原子のようなミクロの世界

を、図7のような日常の常識で考えたからです。鉄の性質を導くには、量子力学という日常の常識とかけ離れた理論が必要です。「日常の常識で考えると、現実の物質と全く異なる結果になる。」というのはよくある事です。でも、とても面白いことと思います。

齋藤 吉彦(科学館学芸員)

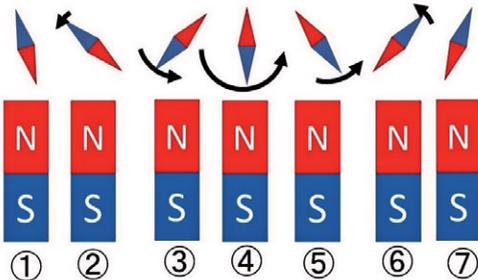


図7 方位磁石のおおきな振動。矢印は回転速度の大きさを表す。