

磁石のテーブルで「自発的対称性の破れ」を見る

素粒子物理学において、南部陽一郎博士の提唱（1961年）に始まる「自発的対称性の破れ」は、物質に質量を与える重要な概念となっています。この功績により南部博士は2008年にノーベル物理学賞を受賞されました。「磁石のテーブル」は「自発的対称性の破れ」を具現するものです¹。

方位磁石群の性質

方位磁石は多数集まると、全てがある方向に揃おうとします。その方向は、北に限らず、どの向きでもいいのです²。「どの向きでもいい」ということを「対称性がある」といいます。この性質のために「磁石のテーブル」の方位磁石は近所同士が同じ方向を指しています。



「自発的対称性の破れ」を楽しむ南部博士。2005年12月2日

方位磁石群の対称性の破れ

磁石で方位磁石をかく乱しましょう。かく乱された方位磁石は（左）、しばらくすると近傍で同じ向きに揃います（右）。

動画：http://www.sci-museum.kita.osaka.jp/~saito/SBSpreprint/sbs_WMV_V9.wmv



磁石でかく乱しても（左）すぐに近傍で同じ向きに揃う（右）

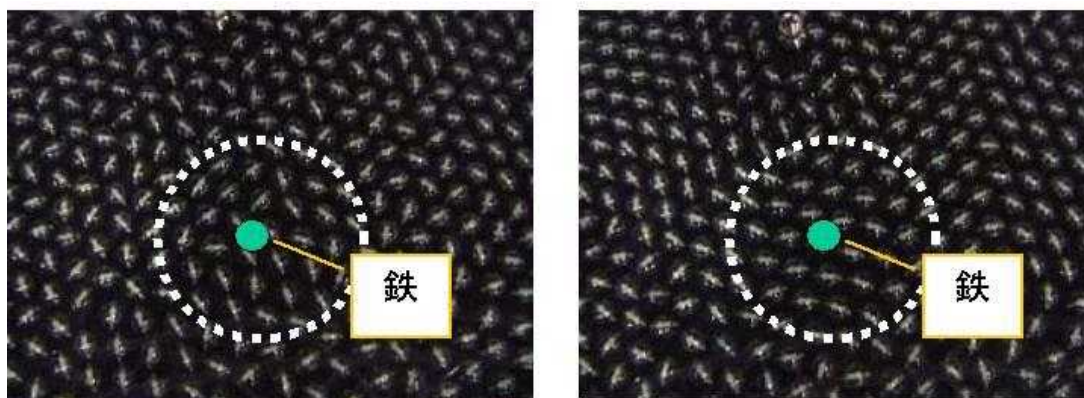
これは、方位磁石には「揃って同じ向きを指したい」という性質（対称性）があるからで、同じ向きに揃った状態を「自発的に対称性が破れた状態」と言います。

¹ 開発者の齋藤吉彦学芸員はこの展示の論文で2005年度日本物理教育学会大塚賞を受賞しています。

² 2次元三角格子双極子結晶は双極子が全て同じ向きに揃うのが基底状態で、双極子の向きには依存しない。

質量起源を考える

方位磁石群の中で小さな鉄を動かすことを考えます。左図のように方位磁石がバラバラの時は、お互いが磁力を打ち消しあうので、鉄はほとんど磁力を受けずに自由に動くことができます。一方、右図のように方位磁石の向きが揃っている時は、鉄が動くときに方位磁石が集団でその動きに引きずられるので、鉄は方位磁石集団から大きな作用を受けて動きにくくなります。つまり、鉄は向きの揃った方位磁石集団との作用によって質量を得るのです。これが対称性の破れによる質量起源です。



鉄は方位磁石がバラバラの場合は自由に動けるが（左）、方位磁石が向きを揃えると動きにくい。

素粒子の質量起源、ヒッグス場

現代の素粒子論では方位磁石群と似たヒッグス場というものが仮定されています。この宇宙はヒッグス場というものが向きを揃えて満ちていると考えられています。そして、向きの揃ったヒッグス場が素粒子の運動を妨げるので素粒子は動きにくくなる、すなわち質量を得ると考えられています。このことを「ヒッグス場の対称性が自発的に破れて素粒子が質量を獲得した。」と表現します。ヒッグス場は仮説です。その証拠を探る実験が 2008 年からスイスにある CERN（欧州合同素粒子原子核研究機構）で開始されました。

鉄は磁石のテーブルとそっくり

もし、鉄を 100000000 倍の顕微鏡で見ることができたら、磁石のテーブルと同じような構造が見えます。じつは、鉄原子は小さな磁石で、方位磁石と同じように集団で磁極の揃った区域(磁区)を作っています。鉄は自発的に対称性の破れた磁区でできているのです。

磁石のテーブルに磁石を近づけて方位磁石群の変化を観察すると、鉄が磁石に着くときの様子が想像できます。