

光で ON-OFF する磁石の開発

大越 慎一 (化学専攻 教授)

今世紀は、光通信や光メモリーなどのオプトエレクトロニクスの時代と言われている。近年、オプトエレクトロニクス用材料として、光で物質変化する材料(光相転移材料・光変換材料)の研究開発が活発に進められており、学会ならびにメディアなどを通じさまざまな研究成果が報告されている。

光により直接的に磁気特性をスイッチングできる磁性材料は、光による書き込みが可能のため、高密度化および高速化が可能となり、光通信や光メモリーおよび光コンピューターなどの光磁気メモリーや光アイソレーター素子などへの応用が期待されている。今回、われわれは、コバルト (Co) イオンとタングステン (W) イオンがシアノ基 (CN) で架橋した3次元構造体 $\text{Co}_3[\text{W}(\text{CN})_6]_2$ (ピリミジン) $_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ において、2種類の波長の光により磁石と非磁石の状態間を可逆的にスイッチングする光磁性現象を示すことを見出した(図1)。この物質は、840 nmの光を照射すると、色相が青色から赤色へと変化するとともに、強磁性相転移温度(T_c : スピンがバラバラな常磁性状態からスピンの秩序だった強磁性状態に相転移する温度)が40 K、保磁力(H_c : 磁化された磁性体を磁化されていない状態に

戻すために必要な反対向きの外部磁場の強さ)が12 kOeの強磁性相(隣り合うスピンの同一の方向を向いて整列し、全体として大きな磁気モーメントをもつ物質の磁性相)に転移することが観測された(図2a, 2b)。各種分光測定の結果より、光照射前のこの物質の金属イオンの電子状態は $\text{Co}^{\text{III}} (S=0) - \text{W}^{\text{VI}} (S=0)$ 状態をとっているが、840 nm 光照射により、 W^{VI} から Co^{III} への電荷移動が起こり、 $\text{Co}^{\text{II}} (S=3/2) - \text{W}^{\text{V}} (S=1/2)$ 状態に光誘起相転移することが分かった。いっぽう、光誘起された強磁性相に532 nm 光を照射すると磁化は消失し、元の非磁性状態(ここでは常磁性: 熱ゆらぎによるスピンの乱れが強く自発的な配向が無い状態)に戻ることが分かった(図2c)。この逆光反応は、532 nm 光励起により逆電荷移動($\text{Co}^{\text{II}} \rightarrow \text{W}^{\text{VI}}$)が起こっていることに起因している。観測された光誘起強磁性相の磁気相転移温度および保磁力の値は、これまでに報告されている光磁性体の中でもっとも優れた値である。本物質において、このような高い性能が観測された理由としては、(i) この物質が、二つの安定状態を取りうる電荷移動型スピン相転移物質であること、(ii) 磁性金属イオンが3次元シアノ

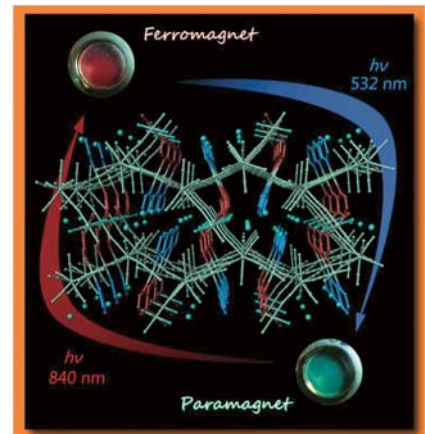


図1: 異なる波長で磁性挙動を変化(強磁性体 ⇄ 常磁性体)させることのできる錯体 ($\text{Co}_3[\text{W}(\text{CN})_6]_2$) の結晶構造。

架橋型構造をとっているためスピン間の磁氣的相互作用が強く働いたこと、また (iii) 非磁性状態と磁石状態で吸収する光の波長が大きく異なっていることによると考えられる。今回、作製された光スイッチング磁石は、磁気異方性が著しく大きいいため、外部磁場が不要な新奇な光書き換え型磁気メモリーへの可能性を示している。

この研究成果に関しては、S. Ohkoshi *et al.*, *Chemistry of Materials*, **20**, 3048, 2008 に掲載されるとともに、同誌の5月13日号~6月17日号の表紙として掲載された。

(2008年5月7日プレスリリース)

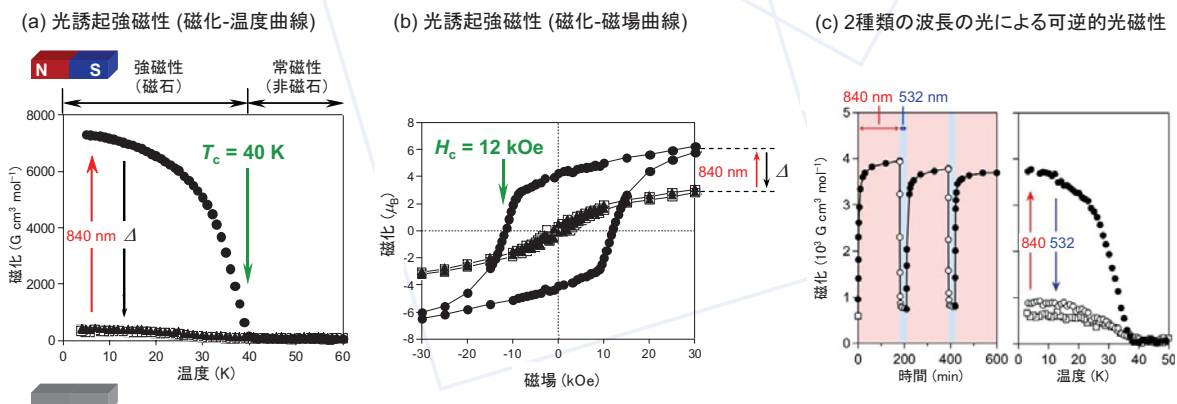


図2: (a) $\text{Co}_3[\text{W}(\text{CN})_6]_2$ (ピリミジン) $_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ における光誘起強磁性。840 nm 光照射前後の磁化-温度曲線; (□) 光照射前, (●) 光照射後, (▲) 熱処理後 ($h\nu = 840 \text{ nm}$ 光, Δ = 熱処理, T_c : 磁気相転移温度)。 (b) 840 nm 光照射前後の磁化-磁場曲線; (□) 光照射前, (●) 光照射後, (▲) 熱処理後 (測定温度 = 3 K; $h\nu = 840 \text{ nm}$ 光, Δ = 熱処理, H_c : 保磁力)。 (c) 2種類の波長の光による可逆的光磁性。840 nm 光および532 nm 光照射前後の磁化-温度曲線; (□) 光照射前, (●) 840 nm 光照射後, (○) 532 nm 光照射後 ($h\nu 1 = 840 \text{ nm}$ 光, $h\nu 2 = 532 \text{ nm}$ 光)。

反陽子を使って基礎物理定数を測る

- 理科年表にも載ってます -

早野 龍五 (物理学専攻 教授)

プランク定数, 微細構造定数, 重力定数, 素電荷など, 物理法則に普遍的に現れ, (恐らく) 時間とともに変化しない量を, 基礎物理定数 (fundamental physical constants) と呼びます。その数値を高精度で求めることは, 理学や工学の広い分野にとって重要であり, 基礎物理定数表は, 精密実験および関連する理論の成果です。

基礎物理定数には, 素電荷: $(1.602\ 176\ 487 \pm 0.000\ 000040) \times 10^{-19}\text{ C}$ のように次元をもつものと, 微細構造定数 $(137.035\ 999\ 679 \pm 0.000\ 000\ 094)^{-1}$ のように無次元のものがあります。また, 光速 ($299\ 792\ 458\text{ m s}^{-1}$) など, 値が定義されているものもありますが, そのほかほとんどの定数は, 測定精度を反映した不確かさを伴っています。

とくに次元をもった定数の場合は, どの単位で書くかによって, 相対標準不確かさ (誤差) が異なるので, 注意が

必要です。たとえば陽子質量を kg 単位で表すと, その精度は 50 ppb (ppb は 10^{-9}), MeV/c^2 では 25 ppb, 原子質量単位では 0.1 ppb, というように, 大きく精度が異なるのです。

さて, 基礎物理定数のうち代表的なものは, 理科年表の「物理/化学部」や, 高校の理科の教科書に記載されていますが, その元になっているのが, 科学技術委員会 (The Committee on Data for Science and Technology) が 4 年ごとに更新して発表する CODATA 推奨値 (CODATA recommended values of the fundamental physical constants) です。その最新値, 2006 CODATA の詳細が最近公表され (Mohr *et al.*, *Reviews of Modern Physics* **80**, 633-730, 2008), われわれが 2006 年 6 月 9 日にプレスリリースした研究成果「反陽子質量を 10 桁測定することに成功」(理学部ニュース 2006 年 7 月号掲載) が, 基礎物理定数の最新版に用いられていることが明らかになりました。

基礎物理定数は, 種々の実験結果と, 定数相互を結びつける方程式・関係式

を用いて, 図 1 の手順で決められます。まず, 他の定数よりも高精度で測定されているリュードベリ定数と陽子・電子質量比を評価して固定し, 次に微細構造定数に関連する量とプランク定数に関連する量を評価。最後に派生値として種々の単位であらわした粒子質量などが決定されるのです。

2006 年に, われわれは「反陽子ヘリウム原子」(図 2 のように, ヘリウム原子核に陽子の反粒子で, 電荷がマイナスの反陽子一個と電子一個が束縛された奇妙な原子) のレーザー分光で, リュードベリ定数と陽子・電子質量比の積を 10^9 の精度で決定しましたが, その成果が, 図 1 の一番上に示したリュードベリ定数および陽子・電子質量比の決定で用いられたのです。

図 3 に示すように, 反陽子ヘリウム原子の分光精度は年を追って高まってきましたが, われわれはさらに一桁以上の精度向上をめざして, 本年度から特別推進研究「エキゾチック原子の分光による基礎物理量の測定」に取り組んでいます。

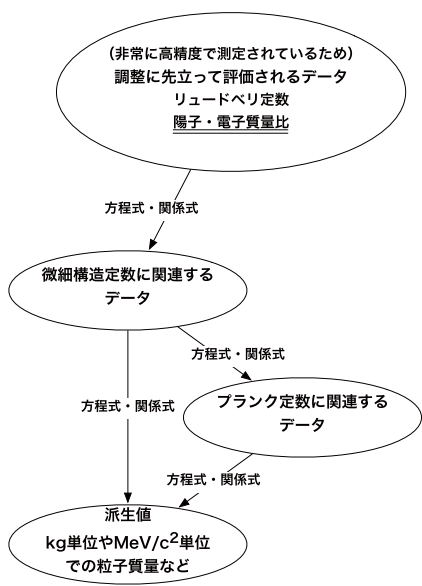


図 1: CODATA による基礎物理定数の調整手順。

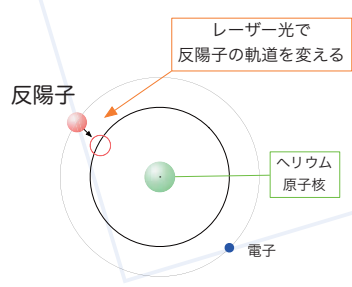


図 2: 反陽子ヘリウム原子のレーザー分光。遷移周波数は, リュードベリ定数×要旨・電子質量比に比例する。

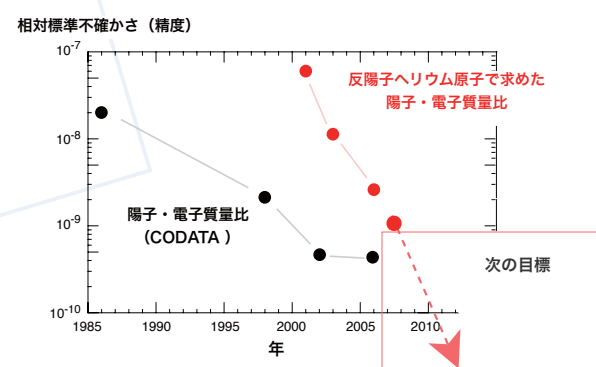


図 3: 反陽子ヘリウム原子のレーザー分光は, さらなる精度向上の可能性を秘めている。