

高次多極子がもたらす磁場誘起相

希土類元素を含む化合物を冷却すると、電子の持つ磁気モーメントと呼ばれるミクロな磁石が秩序だって整列することにより磁石としての性質が生じることがある。希土類イオンの場合、磁気モーメントは 4f 電子の角運動量 J に比例することが知られている。実は 4f 電子は J の一次のモーメントのみならず、 J^2 や J^3 といった高次のモーメントを持つ場合がある。これらの高次のモーメントは多極子モーメントと呼ばれ、最近の研究によりそれらが温度低下とともに自発的に整列する場合があることがわかってきた。多極子モーメントの整列現象は磁気モーメントと比較して実験的な検出が難しいことから、しばしば“隠れた秩序”と呼ばれる。二次のモーメント(電気四極子)や三次のモーメント(磁気八極子)の秩序は近年、新規物質開発や実験手法の進歩からその本質が明らかになりつつあるが、より高次の多極子に関しては未だにその報告例はごくわずかである。

希土類元素イッテルビウム (Yb) を含む正方晶の化合物 $\text{Yb}_2\text{Pt}_2\text{Pb}$ では、磁性を担う Yb イオンが図 1 のようにシャストリー・サザーランド格子と呼ばれる二種類の直交した二量体構造を持った二次元面内に配置している。先行研究によると、この物質は約 2.1 K 以下で反強磁性相 (I 相) に入り、詳細な比熱、磁化の測定から強い磁気異方性が観測されている。すなわち Yb イオンの持つ磁気モーメントは自由に回転できず、二量体の軸方向に対して平行か反平行にしか配向できない状態にあることが分かっている。さらにこの物質はゼロ磁場の I 相に加え、約 1 テスラ以上で II 相と呼ばれる秩序相を持つことが報告されているが、その正体は謎であった。

最近、東京大学物性研究所と大阪大学理学系研究科および大阪大学極限量子科学研究センターの研究グループによって $\text{Yb}_2\text{Pt}_2\text{Pb}$ の単結晶試料に対して最低温約 80 mK という極低温下での直流磁化測定が行われた。その結果、この物質の II 相の秩序変数が七次の多極子モーメント(磁気 128 極子モーメント)である可能性が高いことを明らかにした。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2012 年 10 月号に掲載された。

直流磁化を測定する場合、コイルの中で試料を駆動させて生じる誘導電流を測る手法が一般的である。しかしこの手法は試料を動かす際に熱が発生するため、0.5 K を下回る極低温での実験が困難である。そこで本研究では空間的に不均一な磁場を試料にかけ、発生する微弱な力を小型の静電容量式ロードセルを用いて検出する方式によって磁化測定が行われた。

一方の二量体に平行に磁場をかけた場合、磁場と垂直な向きの二量体は磁場に対して全く応答しないことが分かっている。そのように磁場を印加した結果、磁場方向の二量体の磁化は図 2 (左) に見られるように熱揺らぎのない極低温においても II 相の領域で線形的な上昇を示して飽和することが明らかになった。この磁化の挙動や得られた磁気相図 (図 2 (右)) は、通常の反強磁性体におけるスピントロップ相 (磁気モーメントの反強磁性成分が磁場に対して垂直に向いた状態) に類似している。しかし前述の通りこの物質の磁気モーメントは二量体の軸方向の成分しか持たず、これらは一見矛盾しているように見える。

本論文では、Yb イオンの磁気モーメントだけを考えるのではなく、高次多極子も成分に持つ複合モーメント (擬スピン) を考えれば奇妙な II 相の振る舞いが説明できることを示した。それによると、II 相は図 1 に示すように擬スピンの反強磁性成分が磁場と垂直な方向を向いた状態として理解できる。これは実際には高次多極子モーメント(最も簡単な近似では七次の多極子である磁気 128 極子)が反強的に整列した状態であるが、この場合軸方向の磁気モーメントは連続的に増加するこ

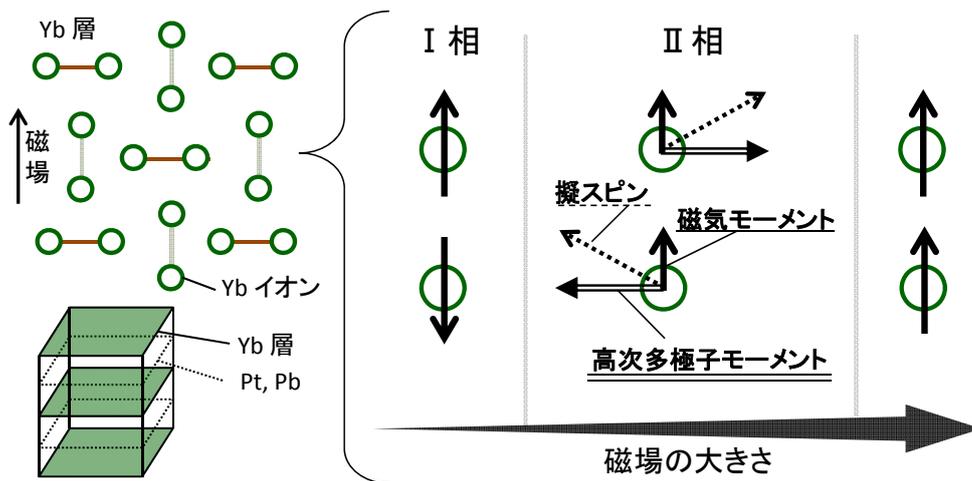


図 1. $\text{Yb}_2\text{Pt}_2\text{Pb}$ における Yb イオンの配置と磁場印加に伴う秩序状態の変化

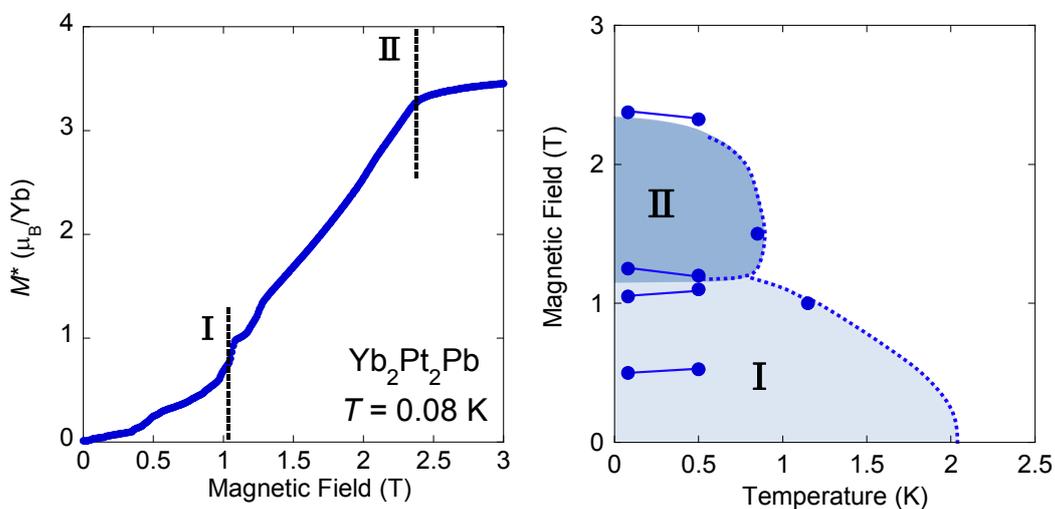


図 2. 約 80 mK における二量体に平行な磁化の成分(M^*)の磁場依存性(左)と磁場温度相図(右)右図の点線は東北大学の落合氏らによる比熱測定の結果から抜粋

とが可能になる。このような“隠れた高次多極子秩序”の存在は、希土類物質において時折見られる一見奇妙な秩序状態を理解する上で鍵となる可能性があり、注目される研究結果である。

原論文

[Low Temperature Magnetization of \$\text{Yb}_2\text{Pt}_2\text{Pb}\$ with the Shastry–Sutherland Type Lattice and a High-Rank Multipole Interaction](#)
[Yasuyuki Shimura, Toshiro Sakakibara, Ken Iwakawa, Kiyohiro Sugiyama, and Yoshichika Ōnuki: J. Phys. Soc. Jpn. 81 \(2012\) 103601.](#)

情報提供

志村 恭通 (東京大学物性研究所)
 榊原 俊郎 (東京大学物性研究所)