

ハニカム構造を持つ $R_2Pt_6X_{15}$ 系化合物の磁気構造
Magnetic structure of $R_2Pt_6X_{15}$ system with honeycomb lattice

松本裕司¹⁾、太田玖吾¹⁾、渡部悠貴¹⁾、市岡紫龍¹⁾、大角将勝¹⁾、
芳賀芳範²⁾、田端千紘²⁾、金子耕士²⁾

Yuji Matsumoto¹⁾, Kyugo Ota¹⁾, Yuki Watabe¹⁾, Shiryu Ichioka¹⁾, Masakatsu Osumi¹⁾,
Yoshinori Haga²⁾, Chihiro Tabata²⁾, Koji Kaneko²⁾

1)富山大学、2)原子力機構

(概要)

ハニカム構造を持つ、 $U_2Pt_6Al_{15}$ と $Tb_2Pt_6Ga_{15}$ の磁気構造を決定するために中性子散乱実験を JRR-3 にて行った。 $U_2Pt_6Al_{15}$ は $T_{m1} = 9$ K、 $T_{m2} = 24$ K をもつ反強磁性体であり、磁気構造が I 相 ($T < T_{m1}$) は $k_1 = (1/2\ 0\ 0)$ 、 $k_2 = (1/2\ 1/2\ 0)$ 、II 相 ($T_{m1} < T < T_{m2}$) は $k_3 = (1/3\ 0\ 0)$ を持つことがこれまでの実験により解ってくる。今回偏極中性子散乱実験を行い、磁気モーメントが c 軸方向を向いていることを明らかにした。一方 $Tb_2Pt_6Ga_{15}$ は $T_{m1} = 21$ K、 $T_{m2} = 23$ K をもつ反強磁性体である。I 相 ($T < T_{m1}$) は $k = (0\ 0\ 1)$ を持つことを明らかにした。また、 c 面内に磁気モーメントは向いており c 面内は強磁性、 c 面間が反強磁性的である可能性が高いことが解った。

キーワード：磁気構造の決定、ウラン系新物質、ハニカム構造

(1行あける)

1. 目的

本研究の対象物質である、直方晶 $R_2Pt_6X_{15}$ ($R =$ 希土類、 $X = Al, Ga$) 系化合物の構造は、空間群 63 で、磁性を持つ $R-R$ 間距離が 4 Å 程度、 R を含む R_2X_3 層間が 8 Å 程度離れており 2 次元的な磁氣的相互作用が期待できる。また、 R_2X_3 層の R サイトが秩序してハニカム格子を形成していると考えられている。そのため幾何学的フラストレーションに由来する物性の発現が期待される。

我々は、この系の結晶育成と物性測定を行っている。これまで、 $U_2Pd_6Al_{15}$ ^[1] と $U_2Pt_6Al_{15}$ ^[2] に加えて、新物質の $R_2Pt_6Ga_{15}$ ($R = Nd-Yb$ ^[3], U ^[4]) に成功している。これまで、2021 年 11 月の JRR-3 の TAS-1 において中性子散乱実験により、 $T_N = 26$ K を持つ反強磁性体 $U_2Pt_6Ga_{15}$ は $(1/6\ 1/6\ 0)$ の磁気構造を持つことと、磁気モーメントが c 軸方向に向いている可能性が高いことを明らかにした。

$U_2Pt_6Al_{15}$ は $T_{m1} = 9$ K、 $T_{m2} = 26$ K の反強磁性体でイジング的な磁気秩序であることが解っている。 T_{m1} は c 軸に磁場を加えると 3 T 程度で消失するが、 T_{m2} は磁場に鈍感で 7 T においてもほとんど転移温度は変化しない。また、 C/T を絶対零度に外挿すると小さな値のため電子の有効質量の増強はないと考えられる。この $U_2Pt_6Al_{15}$ の T_{m1} 、 T_{m2} での磁気構造を明らかにするために中性子散乱実験を 2022 年 6 月の TAS-1 で行った。その結果、 T_{m1} 以下の I 相では $(1/2, 0, 0)$ 、 $(1/2, 1/2, 0)$ 、 $(1/3, 0, 0)$ と 3 つの磁気反射、 T_{m2} と T_{m1} の間の II 相では $(1/3, 0, 0)$ の 1 つの磁気反射が観測された。このため I 相は複雑な磁気構造を持つことが予想されるため、より詳細な測定が必要になる。

$R_2Pt_6X_{15}$ は 2 次元的な磁気相互作用が働き、 R がハニカム構造をとるために XY 型の反強磁性体であればフラストレーションの効果が期待できる。 $Tb_2Pt_6Ga_{15}$ はその候補で c 軸に磁場を加えた時は、メタ磁性を起こさないが、 a, a^* に磁場を加えた時はメタ磁性転移を起こす。このため、XY 型の磁気構造をとっている

と考えられる。この系において幾何学的フラストレーションに着目しての中性子散乱実験による研究は存在しない。このためこの系において、フラストレーションに由来する磁性が発現するのかどうかを明らかにする必要がある。

本研究では、ハニカム構造をとる $R_2Pt_6X_{15}$ 系物質であるウラン系新物質 $U_2Pt_6Al_{15}$ と XY 型の $Tb_2Pt_6Ga_{15}$ の磁気構造を中性子散乱実験により決定する。 $U_2Pt_6Al_{15}$ の結果と、2021 年 11 月に行った $U_2Pt_6Ga_{15}$ の中性子散乱実験の結果を比較することで、5f 電子周りの状態が化学的圧力の違いによりどのように磁性が変化するかを系統的に研究を行う。さらに、XY 型の $Tb_2Pt_6Ga_{15}$ においてハニカム構造に由来する幾何学的フラストレーション効果が表れるのかを調べ、この結晶構造に由来する物性が発現するのかを明らかにすることを目的とする。

2. 方法

JRR-3 の TAS-1 において、 $U_2Pt_6Al_{15}$ の偏極中性子実験を行った。TAS-2 において 4 K 冷凍機を用いて $Tb_2Pt_6Ga_{15}$ 磁気構造を決定する。六方晶表記で(h0l)面において測定を行った。

3. 結果及び考察

$U_2Pt_6Al_{15}$ の偏極中性子散乱実験を行った。I 相である、 $T = 1.6$ K において $k_1 = (1/2 \ 0 \ 0)$ 、 $k_2 = (1/2 \ 1/2 \ 0)$ 、II 相である、 $T = 12$ K において $k_3 = (1/3 \ 0 \ 0)$ の測定を行った。その結果、 k_1 、 k_2 、 k_3 それぞれの磁気モーメントが c 軸方向を向いていることを明らかにした。

$Tb_2Pt_6Ga_{15}$ の a^* 軸から c 軸の面内で中性子散乱実験を行った。I 相において $(0 \ 0 \ 1)$ の磁気反射を観測した。 $k_1 = (0 \ 0 \ 1)$ の line scan を行ったところ、h-scan の磁気反射の形状はガウシアンとなり、l-scan はローレンチアンとなった。このことより、 c 面内の磁気相関が強く、面間の磁気相関が弱いと考えられる。また k_1 の磁気反射は、 l が偶数の時は観測されなかった。このことは面間が強磁性でないことを示している。さらに、 h が大きくなると磁気反射強度は急激に弱くなった。このことは磁気モーメントが c 面内を向いていることを示していて、磁化測定の結果ともつじつまが合っている。これらのことより、 $Tb_2Pt_6Ga_{15}$ の I 相の磁気構造は、 $k_1 = (0 \ 0 \ 1)$ で c 面内が強磁性、面間が反強磁性で磁気モーメントが c 面内を向いている可能性が高いと考えられる。

4. 引用(参照)文献等

- [1] Y. Haga *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. Suppl. A **77**, 365 (2008).
- [2] Y. Haga *et al.*, JPS Conf. Proc. **29**, 013003 (2020).
- [3] Y. Matsumoto *et al.*, J. Phys. Conf. Ser. **683**, 012035 (2016).
- [4] Y. Matsumoto *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **90**, 074707 (2021).
- [5] K. Ota *et al.*, New Physics : Sae Mulli. 73 1170 (2024).