



図 2: (a) 複合アニオン化合物 $A_3\text{ReO}_5X_2$ の結晶構造と磁氣的性質に基づく分類。(b) グループ#3 に属する「理想的な」異方的三角格子反強磁性体のモデル物質 $\text{Ba}_3\text{ReO}_5\text{Cl}_2$ において観測された磁気励起スペクトル。

物質ごとに J'/J の値に若干の差があるものの、その比は 0.25~0.45 の範囲に収まることが明らかになりました(図 2a)。いずれの物質においても、磁化率および比熱の振る舞いは一次元的な性質を示しており、異方的三角格子が比較的大きな J'/J で特徴づけられる場合であっても、磁性の一次元化が生じることが分かりました。

さらに、結晶構造解析および第一原理計算の結果から、本物質群は(i)DM 相互作用が内在する物質(グループ#1)、(ii)面間相互作用が比較強い物質(グループ#2)、(iii)付加的な相互作用の影響が無視できる物質(グループ#3)の三つに分類できることが明らかになりました(図 2a)。実際に、グループ#1 および#2 に属する物質では、低温での比熱測定から磁気相転移が観測されました。一方、グループ#3 の物質については、ミュオンスピン回転実験により、60 mK という極低温に至るまで磁気相転移が起こらず、動的なスピンの揺らぎが持続していることが確認されました。また、中性子非弾性散乱実験によって、TLL 状態を示唆する磁気励起の観測に成功しました(図 2b)。

以上の結果から、本研究では複合アニオン化合物 $A_3\text{ReO}_5X_2$ を用いることで、異方的三角格子反強磁性体に対する系統的な実験研究が初めて可能であることが示されました。特に、従来物質と比べてより理想的なモデル物質を実現できたことは重要な成果であり、磁性の一次元化に対する理解の飛躍的な深化に繋がります。また、本物質群は、磁性を担う元素が $5d$ 遷移金属元素である点、ならび

に配位子が 2 種類のアニオンから構成される点で物質設計上の特徴を有しており、磁性を自在に制御するための新たな物質開発指針を与えるものと期待されます。

本研究は、東京大学物性研究所の小金聖史大学院生、松山直史大学院生、矢島健助教、河村光晶助教、松尾晶技術専門職員、金道浩一教授、東北大学大学院理学研究科の森田克洋助教、東北大学多元物質科学研究所の那波和宏准教授、佐藤卓教授、名古屋大学大学院理学研究科の出口和彦講師、高エネルギー加速器研究機構の幸田章宏教授、J-PARC センターの古府麻衣子副主任研究員、河村聖子研究副主幹との共同研究です(所属はいずれも研究当時)。

参考文献

- [1] D. Hirai *et al.*, “Visible” 5d Orbital States in a Pleochroic Oxychloride, *J. Am. Chem. Soc.* **139**, 10784–10789 (2017).
- [2] D. Hirai *et al.*, Anisotropic Triangular Lattice Realized in Rhenium Oxychlorides $A_3\text{ReO}_5\text{Cl}_2$ ($A = \text{Ba}, \text{Sr}$), *Inorg. Chem.* **59**, 10025–10033 (2020).
- [3] M. Gen *et al.*, Chemically tunable quantum magnetism on the anisotropic triangular lattice in rhenium oxyhalides, *Nat. Commun.* **16**, 9938 (2025).