

日時： 2025年9月12日（金）15:00-17:00  
場所： 東京大学柏キャンパス 基盤棟大講義室（2階）  
講師： 高橋 拓豊 博士（オックスフォード大学）

## ZnCu<sub>3</sub>(OH)<sub>6</sub>Cl<sub>2</sub>のスピノイズ測定： スピノンが媒介する観測スピンの相互作用

低温で磁気秩序を示さない状態は広くスピン液体と呼ばれ、盛んに研究されているが、物質ごとにどの種類のスピン液体が実現しているかを識別することは難しい。そのため  
の手法として、物質が自発的に生じるスピノイズを測定することが近年提案され、古典ス  
ピンアイス Dy<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> [1] やスパイラルスピン液体 Ca<sub>10</sub>Cr<sub>7</sub>O<sub>28</sub> [2] の理解に貢献してきた。

本研究ではスピノイズ測定の手法を、代表的な量子スピン液体候補物質であるハ  
ーバートスミサイト ZnCu<sub>3</sub>(OH)<sub>6</sub>Cl<sub>2</sub> に適用した。本物質では、スピン 1/2 の Cu<sup>2+</sup> が対称性  
の高いカゴメ格子層を形成し、それらが非磁性の Zn<sup>2+</sup> 層に隔てられており、理想的な2次  
元カゴメ構造が実現している。一方で、いくつかの Cu<sup>2+</sup> が Zn<sup>2+</sup> を置換することで準自由ス  
ピンがカゴメ層間に生じている。これらは ZnCu<sub>3</sub>(OH)<sub>6</sub>Cl<sub>2</sub> の理解を妨げる「不純物」と従  
来みなされてきたが、本研究では「観測スピン」と再定義して、カゴメ層の量子状態を探る  
プローブとして利用する。

我々は、fT/√Hz の高感度、μs の時間分解能、mK 領域の温度範囲を有する SQUID  
スピノイズ測定装置を制作し、ZnCu<sub>3</sub>(OH)<sub>6</sub>Cl<sub>2</sub> の観測スピンから生じる磁性ノイズ  
 $M(t, T)$  の検出に成功した。スケール不変なノイズパワースペクトル  $S_M(\omega, T) \propto 1/\omega^{\alpha(T)}$  とノ  
イズ分散  $\sigma_M^2(T)$  において、260 mK 付近で鋭い転移がみられた。この現象を説明するため、  
カゴメ層が量子スピン液体であると仮定し、スピノン励起が媒介する観測スピン間の相互作  
用モデルを構築したところ、実験データと包括的に整合する結果が得られた。このことは、  
観測スピン間の相互作用がスピノンに媒介されていること、ひいてはカゴメ層が量子スピン  
液体状態にあることを示唆する。

- [1] R. Dusad *et al.* Magnetic monopole noise. *Nature* **571**, 234 (2019).
- [2] H. Takahashi & C.-C. Hsu *et al.* Spiral spin liquid noise. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **122**, e2422498122 (2025).
- [3] M. R. Norman, *Colloquium: Herbertsmithite and the search for the quantum spin liquid.* *Rev. Mod. Phys.* **88**, 041002 (2016).
- [4] H. Takahashi, J. Murphy, M. Wood-Thanan *et al.* Spinon Mediation of Witness-Spin Dynamics and Ground State in Herbertsmithite. *Submitted, in prep for arXiv* (2025)

問い合わせ先： 芝内孝禎（東京大学新領域創成科学研究科） shibauchi@k.u-tokyo.ac.jp