

ミス石においてカゴメ面間に入っていた Zn イオンに対応する Ca イオンが同じカゴメ面内に位置するため、カゴメ面間の相互作用が弱まり、より二次元性の良いスピン系が形成される②Ca イオンのイオン半径は Zn イオンや Cu イオンのそれよりも大きく、ハーバートスミス石で問題になっている Zn と Cu 間のサイトミキシングの問題が起きないという 2 つの利点がある。実際、第一原理計算によると反強磁性的な最近接相互作用 $J_1/k_B \sim 52$ K (k_B はボルツマン定数) が第 2 近接以降の他の相互作用よりも十分大きいことが示されている[10]。先行研究から $T^* \sim 7$ K に相転移があることが比熱[9]や NMR[13]の測定から示されており、 T^* より低温では長距離磁気秩序が形成されていると考えられている。一方、 $T^* < T < J_1/k_B$ の広い温度範囲でスピン相関の発達したスピン液体状態が現れることが期待される。

実験結果

観測された熱ホール効果を図 2 に示す。図 2(a) は熱流に対して垂直な横方向温度差 $\Delta T_y = T_{L1} - T_{L2}$ (図 1(c) の実験配置図参照) の磁場依存性を示している。図からわかるように磁場に対して反対称な成分が明瞭に観測されていることが分る。これを反対称化して $\Delta T_y^{Asym}(H) = \Delta T_y(+H) - \Delta T_y(-H)$ を求め、熱ホール伝導率 $\kappa_{xy}(H)$ を求めたものが図 2(b) である。図 2(b) に示されているように $T > T^*$ では線形の磁場依存性を持つ κ_{xy} が観測された。一方、 $T < T^*$ では急速に κ_{xy} が減少し、4 K 以下では非線形な磁場依存性が観測された。これは磁気転移によって素励起が変化したことによる影響が観測されたと考えられる。

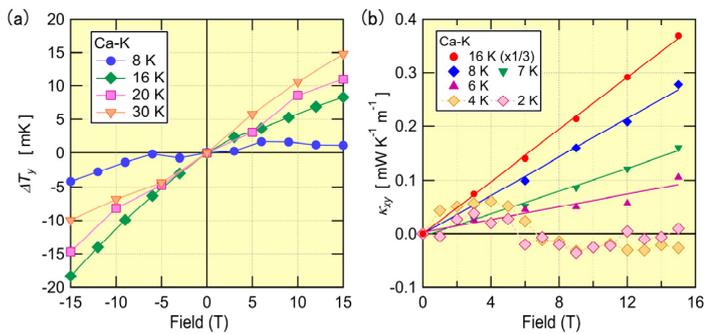


図 2 Ca カペラサイト石で観測された熱ホール温度差 $\Delta T_y = T_{L1} - T_{L2}$ の磁場依存性 (a) と熱ホール伝導率 $\kappa_{xy} = \frac{\kappa_{xx}(H)\Delta T_y^{Asym}(H)L}{\Delta T_x(H)w}$ (ここで $\kappa_{xx}(H)$ は縦熱伝導率、 L と w はそれぞれ $T_{High} - T_{L1}$ 間と $T_{L1} - T_{L2}$ 間距離) の磁場依存性 (b)。

図 2(b) の $T > T^*$ のデータを線形フィットして求めた κ_{xy}/TB の温度依存性を示したのが図 3(a) である。 κ_{xy} は ~ 60

K 以下の温度から現れ始め、20 K 弱のところピークを示した後に急激に減少する温度依存性を示した。図 3(a) では先行研究におけるボルボサイト石における結果[3]と一緒に示してある。この 2 つの物質で κ_{xy} の符号は逆であるが、絶対値と温度依存性は非常に良く似た振る舞いを示している。ボルボサイト石の縦熱伝導率 κ_{xx} は Ca カペラサイト石のそれよりも一桁以上も大きいことを考えると、非常に良く似た κ_{xy} が両物質で観測されたこの実験結果は、 κ_{xy} の起源が κ_{xx} の大部分を占めるフォノンではなく、スピンによる共通の熱ホール効果の存在を示唆していると考えられる。

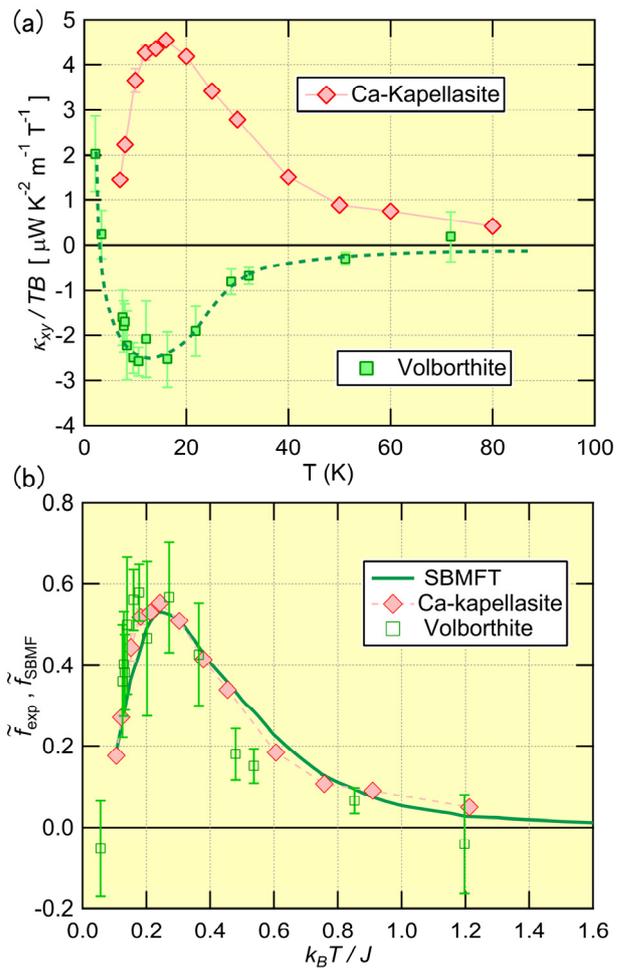


図 3 熱ホール伝導率を温度と磁場で割った κ_{xy}/TB の温度依存性 (a) と規格化された熱ホール伝導率の温度依存性 (b)。ボルボサイト石における先行研究[3]の結果を両方の図に、SBMFT 法を用いた計算結果を図 (b) の実線に表示している。Ca カペラサイト石とボルボサイト石の実験結果に用いたフィッティングパラメタはそれぞれ $(J/k_B, D/J) = (66, 0.12)$ 、 $(60, -0.07)$ である。

この共通の温度依存性を理解するために我々は Schwinger-boson mean field theory (SBMFT) と呼ばれる

