

$S = 1/2$ の二次元ハイゼンベルグ 反強磁性体の臨界現象

阪大 基礎工 松浦基浩

二次元ハイゼンベルグスピン系（以下 2dH 系）の磁気秩序化に関しては、Mermin-Wagner によって有限温度には自発磁化が発現しないことが示された以外、とくに低温領域の振舞いはほとんど未解決に残されている。実験的にとり上げられた擬 2dH 系は全て比較的高い温度で相転移し自発磁化の発現が認められており、理想系からのずれ要素（面内相互作用のイジング的対称性、面間相互作用）の影響が著しい。このような事情を考えると、2dH 系の研究には $S = 1/2$ の反強磁性系が興味ある対象である。ただし、反強磁性体の秩序変数たるスタガード磁化が交換相互作用と非可換な非保存量であって量子揺動効果が最も大きいからである。

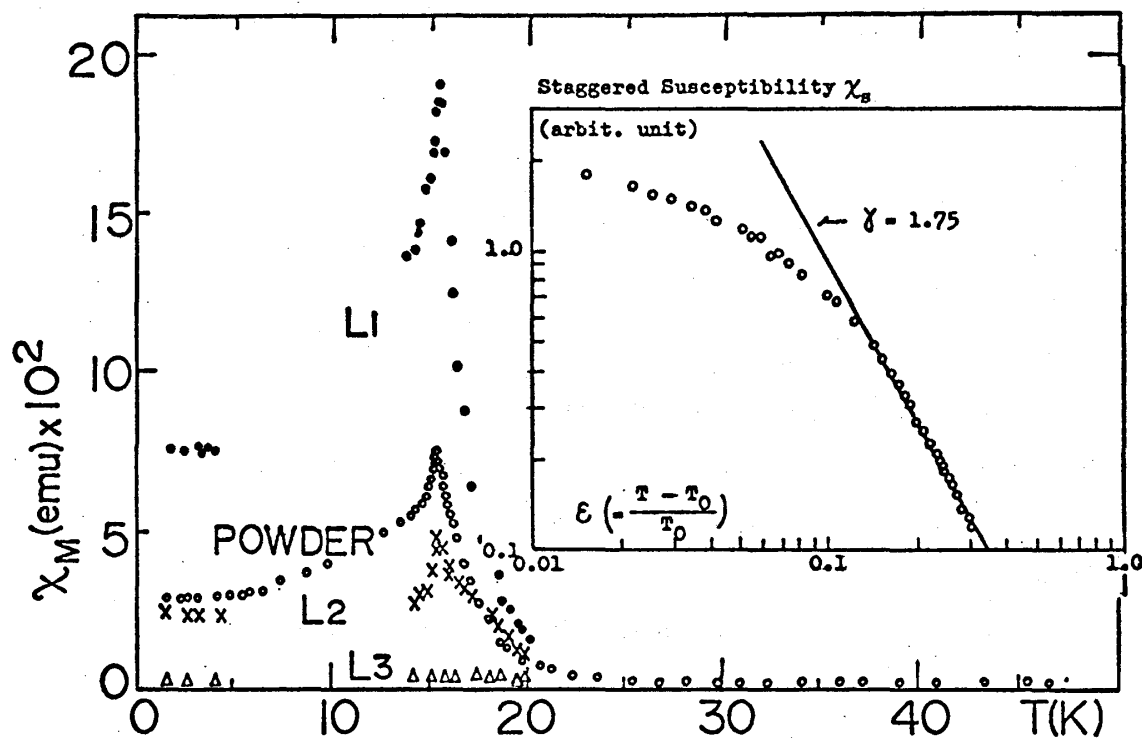


Fig. 1. Magnetic susceptibility of $\text{Cu}(\text{HCOO})_2 \cdot 2(\text{NH}_2)_2\text{CO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

さて $\text{Cu}(\text{HCOO})_2 \cdot 2\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (以下 CuFUH) では面間相互作用が非常に弱く ($J'/J \sim 10^{-4}$) $S = 1/2$ の 2dH 反強磁性系に近似され上述した格好の対象である。殊に面内の二つの部分格子点での局所的対称性が異なる (以下これを C_2 系と呼ぶ) ために低温域で面内のスタガード帯磁率が直接観測し得る¹⁾。図 1 はこの塩の帯磁率であるが転移点 T_0 ($= 15.5\text{K}$) に向っての発散的振舞いは正にこの χ_s によるものである。 T_0 近傍での鈍化は面間の弱い反強磁性的相互作用による発散抑止効果である²⁾。実際 J'/J の大きい $\text{Cu}(\text{HCOO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (以下 CuF4H) の χ_s の発散特性は CuFUH に比して弱く抑止効果の増大を示す。従って $J'/J \rightarrow 0$ の極限では χ_s は発散すると考えるのが妥当でありその要因は発散指数の値 ($\gamma \cong 1.75$) から見て系に内在する弱いイジング的異方性によるものと結論される。

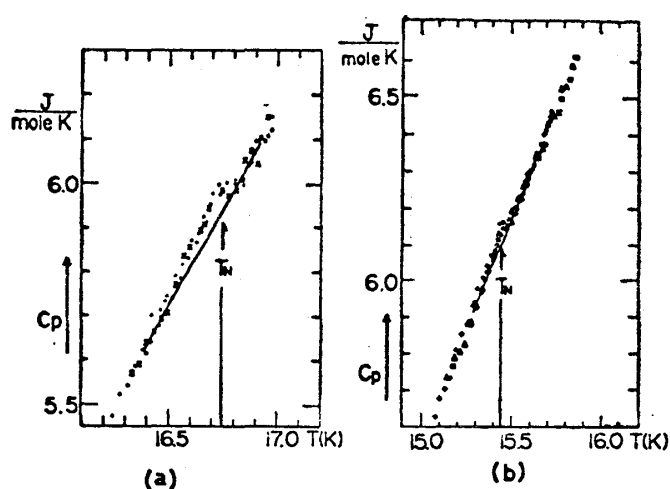


Fig. 2 Heat capacity of (a) CuF4H [11] and (b) CuFUH [9] near T_N .

次に CuFUH の比熱を見ると (図 2) T_0 での特異性が著しく小さい。これを CuF4H と比較して分るように $J'/J \rightarrow 0$ の極限では C_p の特異性はないと考えるのが妥当であろう。これに対して転移点の差異は CuFUH と CuF4H とでは約 8% 位で比熱や帯磁率の大きい差異と比べて非常に小さい。これらの事実から結論として次の事が言える。 $S = 1/2$ の 2dH 反強磁性系においては弱い異方性によって有限温度 T_0 に相転移が起り、 T_0 で χ_s は発散するが比熱には異常がない。

ところで $S = 1/2$ の場合イジング的対称性をもたらすものとしては双極子相互作用

と結晶場効果によるものとであり、今の場合には前者は極めて小さく後者によるものと推定される ($\Delta J/J \sim 10^{-3}$)。 $S = 1/2$ の反強磁性系においてなお、このように弱い異方性にもかかわらず比較的高い温度で相転移する ($kT_0/J \sim 0.5$) ことは驚くべきことであって 2dH 系におよぼすイジング対称性の影響の顕著なことを裏書きするものである。更に、かように比較的高い T_0 故に T_0 以下には約 30 % 余りのエントロピーが残されているにもかかわらず比熱に異常がないことも極めて特徴的である。この事は以下に見るように $S = 1/2$ の 1dH 反強磁性系における 3d 的線間相互作用による相転移の様相と対比することによってより深く印象づけられる。

図 3 は CuFUH の比熱の特異性を 1dH 反強磁性系 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{NC}_5\text{H}_5$ と同じスケールで比較したものである。後者では線間相互作用 $J'/3$ が約 10^{-3} と評価されており、 T_0 はこれに応じて非常に低い温度 ($kT_0/J \sim 0.08$) に現れている。 T_0 以下にはエントロピーはほぼ 3 % しか残されていないにもかかわらず T_0 では

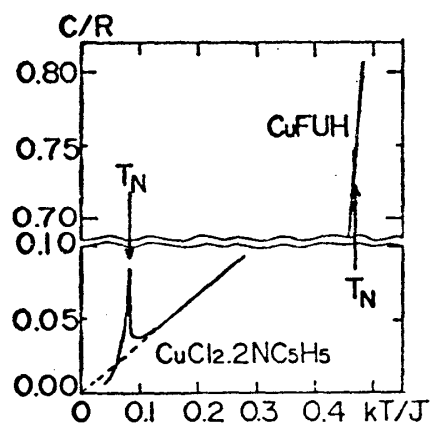


Fig. 3 A comparison of the heat capacity anomaly of $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{NC}_5\text{H}_5$ and CuFUH.

顕著な λ 型の比熱異常が見られ CuFUH の場合と興味深い対照をなしている。このように 2dH 系の秩序化におよぼすイジング対称性の効果は極めて顕著でかつユニークなものである事が分ったものの、そのため理想的 2dH 系の振舞いを電磁場下に観測することが極めて難しくなっているのはやや皮肉なめぐり合せである。

参 考 文 献

- (1) 松浦, 網代, 永田: 日本物理学会誌 31 巻 12 号 (1976) 975.
- (2) 松浦, 山本, 山川, 長谷田, 網代: Physica 86-88B (1977) 680.