

透過中性子偏極度解析法による磁化のスローダイナミクスの観測

高エネルギー研

高橋 美和子

1. 実験の目的

高エネルギー物理学研究所中性子散乱施設 KENS に設置された TOP 分光器 (Time of flight spectrometer with Optical Polarizer) は飛行時間法と偏極冷中性子を組み合わせた分光器である。本実験は、この分光器を用いた、透過中性子偏極度解析法による磁性体中の磁化の動的揺らぎの観測可能性について調べる目的で行なった。

透過中性子偏極度解析法は、中性子スピンの試料中の磁場によってラーモア歳差運動を利用し、試料中のマクロスケールな磁気構造を調べる手法である。従来、この方法は磁区構造など試料の静的な内部磁場の性質を調べることに用いられてきた。しかし、試料中の磁場が、中性子スピンの感知し得る程度に、マクロなスケールで、遅い時間変化をしている場合にはその動的性質に関する情報も得られる可能性がある。本研究ではこのようなねらいのもとに、磁化がマクロでゆっくりとした時間変化をする対象として強磁性体の臨界揺動を考え、2次元 XY 型強磁性体 Rb_2CrCl_4 の臨界点を中心とした透過中性子偏極度解析を行ない、その臨界揺動に関する情報を得ることを試みた。

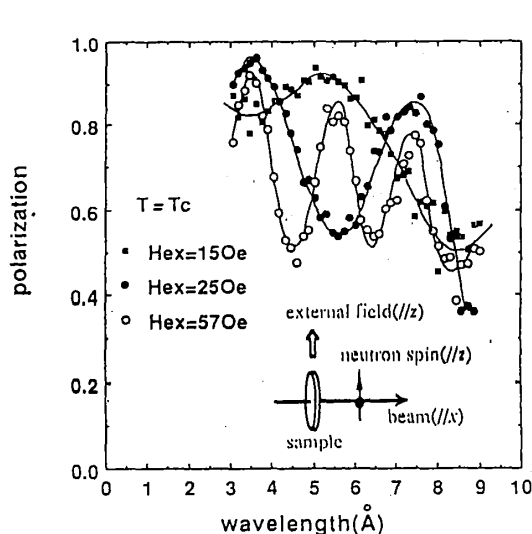
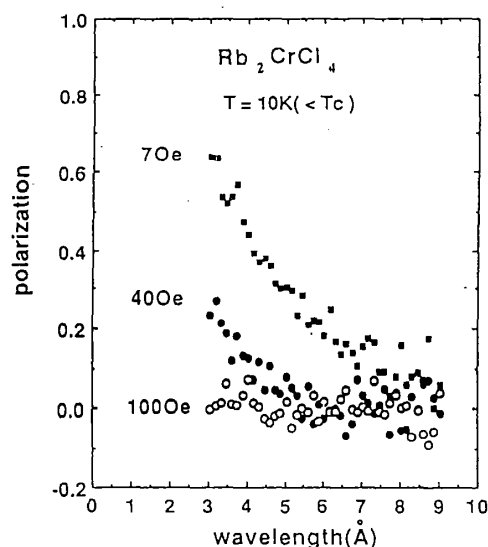
2. 実験方法

測定に用いた TOP 分光器は $3 \sim 10 \text{ \AA}$ の偏極冷中性子を用い、試料中の磁気的な性質をメゾスコピックなスケールで観測することを主な目的とした分光器である。この分光器を用いた透過中性子偏極度解析実験では、パルス中性子を用いることにより試料透過前後での中性子偏極度変化の波長依存性を調べることができる。実験では、中性子スピンの z 方向の偏極度変化を測定した。

測定した試料 RB_2CrCl_4 は 2次元 XY 型の強磁性体である。磁性をになう Cr^{2+} イオンは c 面内にあり、その性質はほぼ 2 次元的であるが、弱い面内異方性によって $T_c = 52.4 \text{ K}$ で 3 次元的な秩序を形成する。試料は直径 10 mm 、厚さ 2 mm の円盤状で c 面が円盤の面になるよう成形され、測定においては中性子ビームが面の中心に垂直に入射するよう設置された。偏極度スペクトルは T_c を中心に温度範囲 $10 \sim 52.4 \text{ K}$ 、面内に外部磁場 $7 \sim 100 \text{ Oe}$ かけた状態で測定した。 T_c 近傍での温度精度は $\pm 0.01 \text{ K}$ 以内である。

3. 実験結果

図1は転移点 $T_c = 52.4\text{ K}$ において c 面内（容易面）に磁場をかけた状態で得られた偏極度スペクトルの代表的なものである。挿入図は実験条件を示す。図中で、スペクトルには試料中の内部磁場に対して中性子スピンのラーモア歳差運動することによる振動がみられるが、注目すべき特徴として、それは全体的に長波長側で0に向かって下がった形となっている。また、その傾きの割合は外部磁場の大きさによらずほぼ同じである。図2は T_c 以下 10 K における偏極度スペクトルの磁場変化を示したものである。スペクトルは 100 Oe の磁場中では波長によらず0となっている。これは、強磁性磁区構造に対して従来から用いられているモデルで説明することができる。しかし、 100 Oe より小さな磁場中においては長波長側で0に近づく形で全体に波長依存性がみられ、通常の磁区構造のモデルでは説明されないことを示唆している。

図1 $T=T_c$ における偏極度スペクトル図2 $T=10\text{ K}$ における偏極度スペクトル

4. 解析

図1、2に示した測定結果には、試料中の磁場が時間変化しないとする従来のモデルでは説明のつかない特徴がみられる。このモデルでは、試料中の内部磁場が一様である場合、偏極度スペクトルは減衰振動の形の波長依存性をとる。また、磁区構造のように試料中にいくつかの磁場の異なるドメインがある場合には、内部磁場、ドメインサイズの小さな場合は指数関数的に減少する波長依存性をもつが、大きな場合は、波長によらず一定となる。 T_c における測定結果（図1）ではスペクトルに明確な振動がみられるため試料中の内部磁場は一様であると考えられ、振動しながら長波長側で0に向か

って下がる特徴は以上のモデルでは説明することができない。そこで、試料中の磁場に臨界揺動によってガウス・マルコフ的に変化する磁場成分

$$\langle H_i(t)^2 \rangle = \Delta_i^2 / \gamma^2 \quad (1)$$

$$\langle H_i(t_0) H_j(t_0 + t) \rangle = \delta_{i,j} (\Delta_i / \gamma)^2 e^{-t/\tau_{ci}} \quad (2)$$

$$i = x, y, z$$

を導入することにより、 T_c 近傍の偏極度スペクトルを説明することを試みた。測定結果を、このモデルのもとで行なったシミュレーションの結果と比較した結果、1) 静的な磁場が容易面 (yz 面) 内にある、2) 時間変化する磁場は外部磁場に垂直な方向 (x 、 y 方向) にのみ等方的に存在する、という条件のもとで、 T_c での長波長側で 0 に向かって下がる偏極度スペクトルがよく再現された。これは、臨界揺動によって容易面内にマクロスケールな磁化の揺らぎが生じ、その揺らぎが外場によって抑えられている結果と解釈される。図 3 に外部磁場 $H_{ex} = 57 \text{ Oe}$ のもとでの測定結果をシミュレーションによる計算で fitting した結果を示す。また、表 1 に各磁場中の測定結果をシミュレーションの結果と fitting して得られたパラメータをまとめた。表から明らかなように、系のダイナミクスを特徴付けるパラメータ $\alpha = \Delta \cdot \tau_c$ は外部磁場の大きさによらない。これは、偏極度が長波長側で 0 に向かって下がる割合が外部磁場によらないという測定結果に対応していると考えられる。

$T = 10 \text{ K}$ の強磁性状態において弱磁場下 ($< 100 \text{ Oe}$) でみられた波長依存性 (図 2) は、この測定で観測する時間 ($\leq 10^{-6} \text{ sec}$) 及び空間 ($\geq 10^2 \mu\text{m}$) のスケールでは、内部磁場が、 Cr^{2+} のモーメントから予想される大きさ ($\sim 2000 \text{ Oe}$) より、小さくなっていることを示す。これは、定性的には、 T_c 以下においてもマクロスケールでの非常にゆっくりとした磁化の揺らぎが存在し、この測定スケールで平均される磁場が小さくなっているためと解釈される。また、外部磁場を大きくするに従い、スペクトルの波長依存性が無くなることから、この磁化の揺らぎは外部磁場によって抑えられていると考えられる。

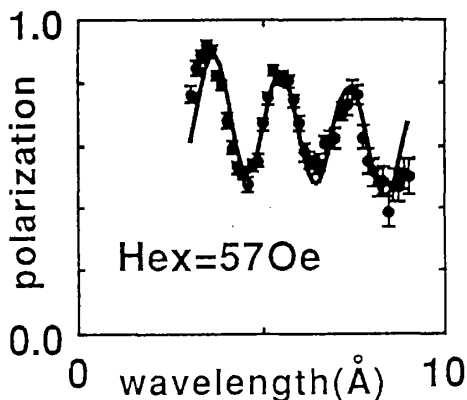


図3

$T = T_c$ 、 $H_{ex} = 57 \text{ Oe}$ での測定結果を fitting した結果。実線が計算結果を示す。

	Hex = 20Oe	25Oe	40Oe	57Oe
H_{0y} (Oe)	50	72	122	152
H_{0z} (Oe)	131	157	272	301
Δ/γ (Oe)	80	80	120	100
τ_c (sec.)	1.1×10^{-8}	1.1×10^{-8}	0.7×10^{-8}	0.8×10^{-8}
α (Oe·sec.)	0.017	0.017	0.017	0.016

表1 シミュレーションによる fitting で得られたパラメータ。 H_0 は静的な磁場の大きさを表す。

5. まとめと展望

本実験により、 Rb_2CrCl_4 の転移点 ($T_c \pm 0.01 \text{ K}$) において、試料全体にわたった緩和時間 10^{-8} sec 程度の磁化の揺らぎが観測された。シミュレーションによる解析により、この揺らぎは外部磁場をかけると抑えられてそれに垂直な方向にのみ存在し、その動的性質は外部磁場によらないことが明らかになった。また、転移点以下においても、弱磁場下 ($< 100 \text{ Oe}$) では時間的、空間的にマクロなスケールで磁化が揺らいでいる可能性が示唆された。これらの結果は、この手法による磁化のマクロスケールでのスローダイナミクスの観測の有効性を示している。

今後は、磁場の時間的揺らぎに関してさらに定量的な議論が行なえるよう、試料まわりや解析手法の改善を行なう予定である。本手法が、スピングラス等ランダムな系における遅い緩和現象の新たな観測手段となることが期待される。

参考文献

- S.Mitsuda ; 博士論文 (東北大学理学部, 1986).
- S.Itoh ; 博士論文 (東北大学理学部, 1990).
- W.G.Williams ; " *Polarized Neutrons* " (Oxford, 1988).
- S.Mitsuda, Y.Endoh ; J. Phys. Soc. Jpn. 54 1570 (1985).
- K.Katsumata, J.Tuchendler, Y.J.Uemura, H.Yoshizawa ; Phys. Rev. B. 37 356 (1988).
- C.Uchiyama ; 博士論文 (お茶の水女子大学人間文化研究科, 1990).
- M.Takahashi, S. Itoh, M.Takeda ; to be published.