

6. スピングラスの臨界現象

北大・理 谷口年史、都福仁

スピングラス相は各スピンのランダムな方向に凍結した状態で、新しいタイプの相転移ではないかとの期待が持たれ最近までに多くの研究がなされてきた。スピングラス転移が熱力学的安定相への相転移か否かということに答える一つの方法として、転移点近傍の臨界現象を調べることが考えられる。通常の相転移の場合、その相を特徴付ける秩序変数や秩序変数帯磁率が転移点近傍でどの様にふるまうかを表す臨界指数が定義され、それらの指数の間には満たすべき関係が存在することがわかっている。スピングラス転移が熱力学的安定相への相転移であるという立場にたったスピングラスの分子場理論によると、秩序変数は各サイトのスピンの熱力学的平均の二乗を空間平均したものとなり、このことより共役な場は磁場の二乗になる。また秩序変数帯磁率は磁化を磁場で展開したときの非線形項となることが示された。その後この非線形帯磁率 χ_2 の測定が行われ、スピングラス転移温度で発散していることがわかりスピングラス転移は協力現象であるという認識が実験的にも確立されるに至った。しかし相転移を特徴付ける臨界指数の値は、測定温度、磁場領域が不適切だったため現在まで統一的な値は得られていない。¹⁾ところで、分子場理論からはスピングラスの磁場中での振舞いに関して興味深い予測がなされている。スピンの成分数が二成分以上の場合、磁場に対するスピンの平行成分と垂直成分の凍結が異なる温度で起こるというものである。さらにこの磁場中でのスピングラス転移曲線と臨界指数の関係についても議論がなされている。²⁾しかしながらこれらの理論と実験結果との対応は不明な点が多く、統一的な見解は得られていない。そこで以上の点を明らかにするために我々は代表的なスピングラス合金である AuFe 4at.%Fe, AgMn 4at.%Mn で、非線形帯磁率の測定から臨界指数を求め、また直流磁場に垂直な方向の線形帯磁率、非線形帯磁率の測定からこの物質の磁場-温度相図を決定した。

測定は相互インダクタンスを用いた交流法によって行われた。線形帯磁率 χ_0 、非線形帯磁率 χ_2 は、角周波数 ω の励起交流磁場 $h_0 \sin \omega t$ に対する同じ周波数成分 ω 、第三高調波成分 3ω の応答として検出される。転移点より高温側で磁場によ

り誘起される秩序変数は $x_2 h_0^2$ となり、一般的な二次相転移の理論との対応を考えると、 $x_2 h_0^2 / \varepsilon \beta$ が $h_0^2 / \varepsilon \beta + \gamma$ を変数としてある関数(スケーリング関数)で表される事が期待できる。ここで β, γ は臨界指数、 ε は $T/T_g - 1$ で定義される換算温度である。そこで x_2 の温度変化を転移点近傍 ($\varepsilon < 0.1$) で詳細に測定する事により、臨界指数の値が求まる。その結果 AuFe 4at%Fe の場合 $\beta = 1.0 \pm 0.2$, $\gamma = 2.0 \pm 0.2$ また AgMn 4at.%Mn の場合 $\beta = 1.0 \pm 0.2$, $\gamma = 1.7 \pm 0.2$ と決定された。(図1) この二つの臨界指数を用いて第三の臨界指数 δ が $\delta = 1 + \gamma / \beta$ ともとまる。さらに我々は転移点直上での x_2 の交流磁場依存性から上記測定とは独立にこの δ の値を二つの試料について求めた。その結果実験精度内で δ の値が上記計算と一致しスケーリング関数を用いた解析が正しいことが確認された。この事より、スピングラス転移は分子場理論で予測された秩序変数を用いて、熱力学的平衡相への相転移として記述できる事が実験的に示された。

現在までに求められている臨界指数の値がなぜ色々な値をとるのかを考察するために、簡単な模型による解析を行ってみた。この模型は通常のスピングラスの分子場理論に原子短距離秩序を加えたものである。³⁾ 数値計算の結果、臨界指数を求めるために過去に行われた実験の温度領域と同じ温度領域 ($\varepsilon > 0.1$) では見かけの臨界指数が大きくなり、その値は磁性不純物や短距離相互作用の大きさに強く依存することがわかった。図2は FCC 格子上に磁性不純物を 4% 分布させ、最近接ボンドに短距離相互作用 P を仮定した場合の非線形磁化のスケーリング解析である。実際に、我々の測定結果も $\varepsilon > 0.1$ の温度領域では見かけの臨界指数の値が大きくなることを示している。(図3) したがって過去に得られた臨界指数の値は、臨界指数を求める温度領域が適切でないために原子短距離秩序の影響を受け正しい値になっていない可能性があると考えられる。

スピン成分が二つ以上の場合、磁場に対する垂直成分の凍結がある温度で起こり、さらに低温で強い不可逆性が出現するということが分子場理論から予測されている。この逐次転移を明かにするために、直流磁場に対して垂直方向の帯磁率の測定をおこなった。AuFe 4at.%Fe の場合直流磁場に垂直な方向の線形帯磁率はある温度に折れ曲がりを示しその温度が磁場の増加に伴って低温側に移動する。またこの温度で線形帯磁率の虚数部が急激に増加することから強い非可逆性が出現する温度と考えられる。(図4) 同様のことは AgMn 4at.%Mn についても観測

研究会報告

された。一方、非線形帯磁率の発散は直流磁場によって押えられるが、その最大値を示す温度は磁場によって変化しないことが AuFe 4at.%Fe, AgMn 4at.%Mn の測定から確認された。これらの測定より磁場-温度相図上に二本の臨界線が描ける。臨界線を $H \sim \tau \phi$ [$\tau = 1 - T_g(H)/T_g(0)$] と表すと、強い不可逆性が出現する臨界線は $\phi = 1.7$ (AuFe 4at.%Fe), $\phi = 1.55$ (AgMn 4at.%Mn) となりこの値は先に求めた臨界指数の値を用いて $(\beta + \gamma)/2$ に近い値を取ることが分かる。この関係はスケーリング変数 $H^2/\epsilon \beta + \gamma = \text{const.}$ という条件から導かれることから、低温側の臨界線は相転移線というよりクロスオーバー線と考えるべきであろう。磁場中のスピングラス転移については、その存在も含めてまたリエントラントスピングラスとの関連からも、今後の研究が必要であろう。

参考文献

- 1) H. Bouchiat: J. Phys. (Paris) 47(1986)71.
- 2) D.S. Fisher and H. Sompolsky: Phys. Rev. Lett. 54(1985)1063.
- 3) K. Bien and K.D. Usadel: J. Magn. Mag. Mat. 58(1986)117.

図 1

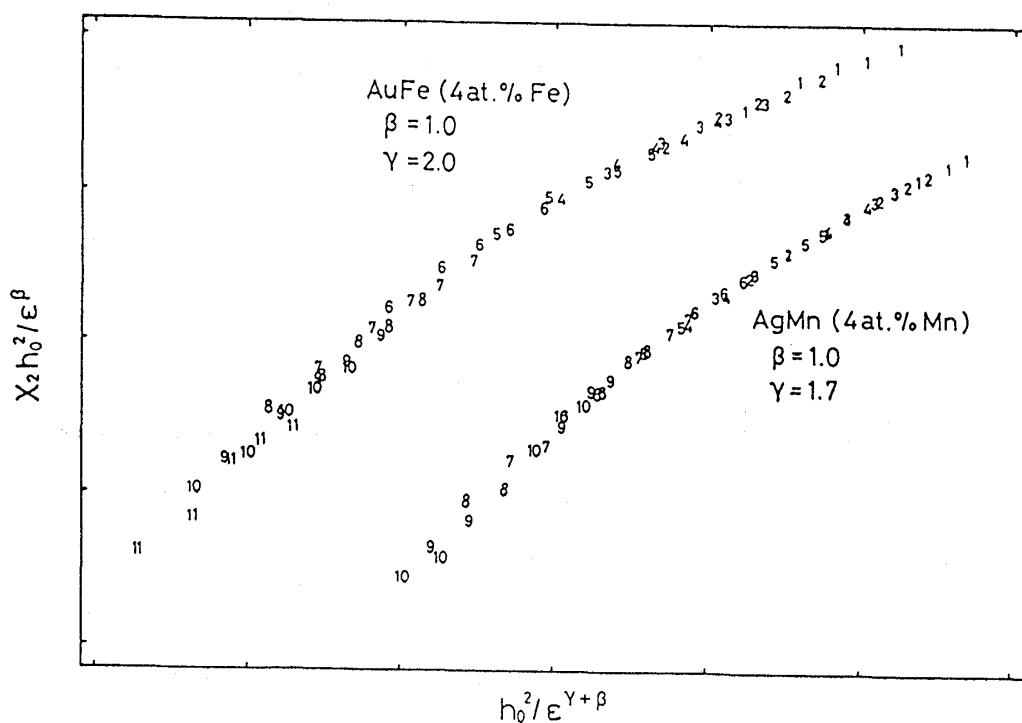


図 2

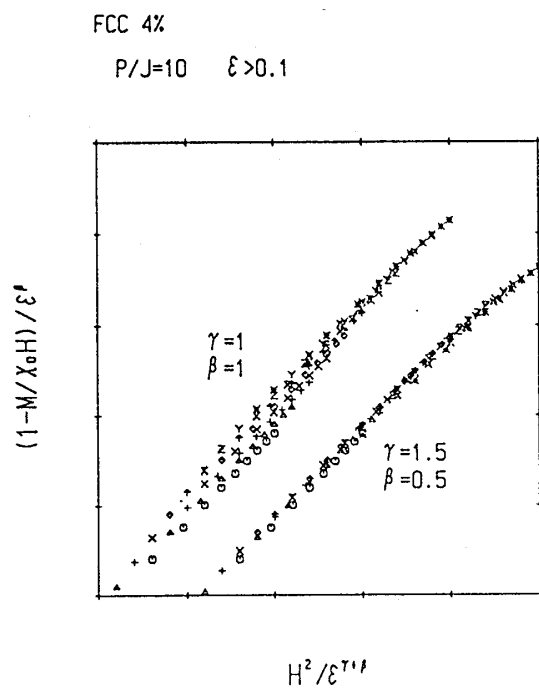


図 3

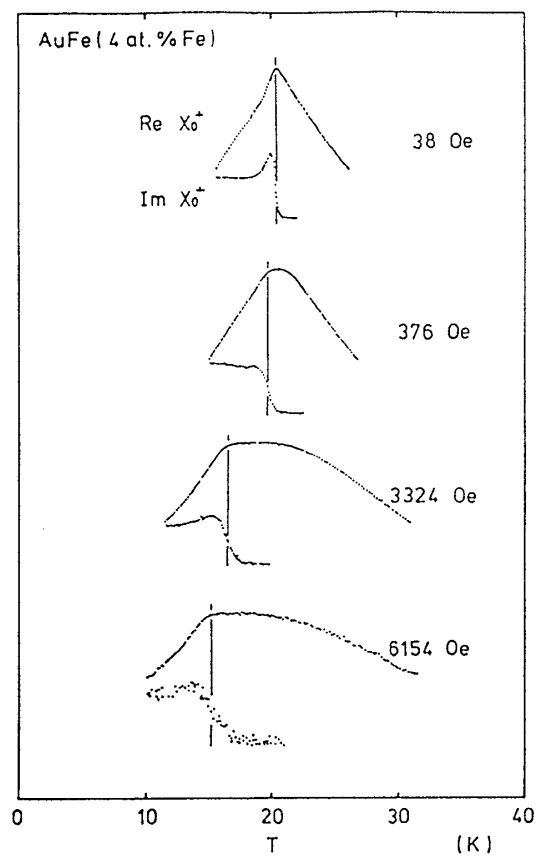
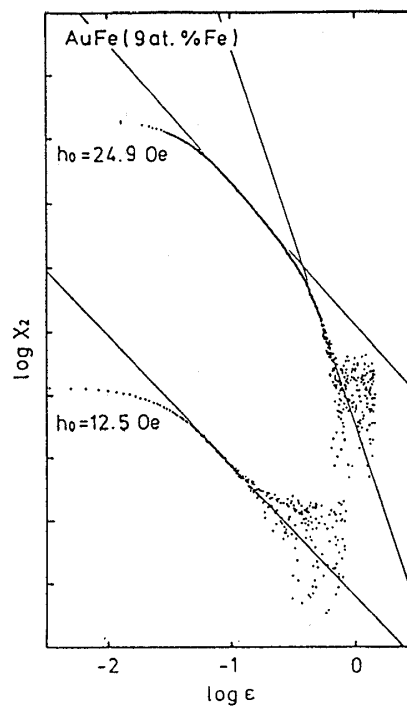


図 4