9. 弱いスピン異方性をもつ反強磁性体の場のくりこみ理論

東大・教養　奥　通敬

歴史的には，弱いスピン異方性をもつ反強磁性体の多重臨界現象は，suspensolid の存在の問題にも関連して，くりこみ群を用いて，Nelson–Kosterlitz–Fisher (NKF) により開始された。[1),2)] 彼らのモデルを，場の理論の言葉に翻訳すると，[3)] 次のハミルトニアン密度になる。[4), 5)]

$$H_0 = \frac{1}{2}(\nabla\phi_1)^2 + \frac{1}{2}m_1^2\phi_1^2 + \frac{1}{2}(\nabla\phi_2)^2 + \frac{1}{2}m_2^2\phi_2^2$$

$$+ \frac{u_1}{4!}\phi_1^4 + \frac{u_2}{4!}\phi_2^4 + \frac{2u_3}{4!}\phi_1^2\phi_2^2 \ . \qquad (1)$$

横方向のスピン場は，$\phi_1(x) = (\phi_1^1, \phi_1^2, \cdots, \phi_1^n)$ のように，n 成分を持つ。一方，縦方向は，Ising-like で，1成分のみである。但し，場は古典的で，$\phi_1^4 = (\sum_{\alpha=1}^{n}\phi_1^\alpha(x)^2)^2$ などの記法が用いられている。(1)式最後の，縦横をカップルするゆらぎ u_3 が，今の系に特徴的な term である。3種のゆらぎ $u_i\ (i=1,2,3)$ が，赤外安定な固定点でとる値が，n に依存し，そのバリエーションにより，(1)の系は種々の多重臨界現象を呈する。即ち，ε－展開 ($\varepsilon = 4-d$) の $O(\varepsilon)$ の計算の結果，多重臨界点は，$n > 10$ で decoupled tetracritical，$10 > n > 3$ では coupled tetracritical，$n < 3$ では bicritical となることが，[1), 2), 4), 5)] Liu–Fisher の判定条件により[6)] 示される。(1)のモデルは，3次元 f. c. c. 格子，2次元三角格子などの，2つの副格子に分けられない格子には適用できないことを付記しておく。

Aharony は，同種の磁性体の容易軸方向に，ガウス型ランダム磁場をかけた場合に NKF の議論を拡張し，bicritical point の存在を予言した。[7)] このことは，La–doped $GdAlO_3$ をサンプルとして，Rohrer–Scheel により，験証された。[8)] pure な $GdAlO_3$ は bicritical line を持つことが知られている。[9)] そこで，NKF モデルにガウス型ランダム磁場が作用した系

$$H_1 = H_0 - h_1\phi_1 - h_2\phi_2 \qquad (2)$$

の，多重臨界点近傍の振舞を，文献4) に続き，場のくりこみ論で調べてみた。[5)] その際，別の問題の議論のために，場の理論の言葉で展開した次元解析の結果[10)] を援用した。ε－展開 ($\varepsilon = 6-d$) の $O(\varepsilon)$ の計算の結果，多重臨界点においても，一般の臨界点につきよく知られている $d \to d-2$ 則が確認され，多重臨界点の性質は，(1)と完全に一致するが，転移はなまり，空間次元 $4 < d < 6$ でのみ二次転移が起ることが，新たに分った。又，La–doped $GdAlO_3$ は bicritical line をもつことも，予測される。尚，場のくりこみ理論を用いると，ランダム磁場に

よる転移温度のshift(又は，random mass)が，mass counter termへ自然な形でくりこまれ，くりこまれた質量は，ずれをとり込んだ正しい転移温度で零となる，というメリットがある点を強調しておく。

最後に，文献4)，5)，10)で使った方法を駆使して，弱いスピン異方性をもつ菱面体構造の反強磁性体における，対称破りゆらぎ $\phi_1^3\phi_2$ の役割を調べた。[11]この様なゆらぎが，菱面体構造に存在し得ることは，Mukamelにより指摘された。[12]彼の本来の目的は，混晶 $Fe_{1-x}Co_xCl_2$ の多重臨界点の研究にあった。しかし，菱面体構造に上記のゆらぎが存在しうるという示唆は，傾聴に値するとしても，彼の提案したモデルは，$FeCl_2$ や $CoCl_2$ のように，metamagnetic tricritical behavior[13]を示さない点において，たとえquenched averageにレプリカを採用するにせよ，$Fe_{1-x}Co_xCl_2$ のモデルとしては，不適当である。[この辺の詳細は，文献11)のIntro.にゆずる。]

まずpure系

$$H_2 = H_0 + \frac{2u_4}{4!}\,\phi_1^2(\phi_1\phi_2) \tag{3}$$

における，非対角ゆらぎ u_4 の効果を調べる。ここに，$(\phi_1\phi_2) = \phi_1^1\phi_2 + \phi_1^2\phi_2 + \cdots + \phi_1^n\phi_2$ である。$u_4^* = 0$ の固定点は，(1)と全く同じ多重臨界現象を示し，臨界現象におけるuniversalityの観点から，u_4 の存在は重要でない。更に，数値計算の結果，$u_4^* \neq 0$ の固定点は，8つ存在するが，そのいずれもが，少なくも2つの負の固有値を持つことが明らかになった。即ち，赤外安定な固定点は存在せず，一次転移を示唆している。[14]

H_2 に，ローカルなガウス型ランダム磁場(強度 ζ)がかけられた系

$$H_3 = H_0 + \frac{2u_4}{4!}\,\phi_1^2(\phi_1\phi_2) - h_1\phi_1 - h_2\phi_2 \tag{4}$$

では，面白い現象が起ることを記す。u_4 項の存在により $O(\varepsilon)$ [$\varepsilon = 6-d$]の計算でも，縦横のランダム磁場のからみの有無が，重要な要素となる。今，そのからみの強さを ζ_3 とする。一般には，$\zeta_3 = 0$ と考えられ，$(\zeta u_4)^* = 0$ 固定点での臨界現象は，H_1 のそれに一致する。興味深いのは，菱面体構造がこわれない程度の弱い外力により格子にゆがみが与えられたときで，このとき $\zeta_3 \neq 0$ となり得る。この場合 $(\zeta u_4)^* = 0$ の固定点は存在するが，すべて，赤外不安定 [bicritical fixed pointは存在せず，decoupled tetracritical pointは存在するが，不安定]となる。つまり，u_4 項の存在により，nonuniversalな振舞が現れる。$(\zeta u_4)^* \neq 0$ のときは，固定点そのものが存在しない。これらのケースは，u_4 の非対称な性格から推察して，一次転移と考えられるが，この点については，推察の域を出ず，今後の更なる理論的研究が，待たれ

る。

これからの研究方向としては，

(i) Nelson–Fisher のモデル[13]に，Mukamel のゆらぎを加え，レプリカなどの手段で，$Fe_{1-x}Co_xCl_2$ の tetracritical point の性質を調べる。

(ii) Fishman–Aharony [15] の方法で，重みとしてMukamel型のゆらぎを加えて，レプリカで，議論する。*)

(iii) (3)の $u_4^* \neq 0$ の場合と，構造相転移との関連を探る。

(iv) (3),(4)より得られた結果を省みて，赤外安定な固定点の存在の有無と，一次相転移とのつながりの理論的研究。

などが考えられる。

---

*) 最近，染谷氏により，$Fe_{1-x}Co_xCl_2$ などの混晶系の相図が報告された。[16] これらの結果によると tetracritical point から離れた領域での実験との一致はかなり良い（特に para-antiferro 転移線は，ほゞ完全に一致している）が，多重臨界点近くの結果は，余り満足できない。これは，分子場近似が用いられていることに帰因すると考えられる。tetracritical point そのものの議論には，ゆらぎを取り入れる，又は，分子場近似を超えることが，不可欠であると思われる。この意味で，$Fe_{1-x}Co_xCl_2$ の tetracritical point は，coupled か decoupled か，という問題は，依然，未解決のまゝ残されている。

文　献

1) D. R. Nelson, J. M. Kosterlitz and M. E. Fisher, Phys. Rev. Letters **33** (1974), 813.
2) I. F. Lyuksyutov, V. L. Pokrovskii and D. E. Khmel'nitskii, Soviet Physics JETP **42** (1975), 923.
3) F. Ravndal, *Scaling and Renormalization Groups* (Nordita, Copenhagen, 1976).
4) M. Oku, Prog. Theor. Phys., unpublished.
5) M. Oku, Prog. Theor. Phys., in submission. (Received December 12, 1981).
6) K. S. Liu and M. E. Fisher, J. Low Temp. Phys. **10** (1973), 655.
7) A. Aharony, Phys. Rev. **B18** (1978), 3328.
8) H. Rohrer and H. J. Scheel, Phys. Rev. Letters **44** (1980), 876.
9) H. Rohrer, Phys. Rev. Letters **34** (1975), 1638.
10) M. Oku and R. Abe, Prog. Theor. Phys., in submission. (Received October 26, 1981).

11) M. Oku, Prog. Theor. Phys., in submission. (Received December 23, 1981).
12) D. Mukamel, Phys. Rev. Letters **46** (1981), 845.
13) D. R. Nelson and M. E. Fisher, Phys. Rev. **B11** (1975), 1030.
14) T. C. Lubensky, Phys. Rev. **B11** (1975), 3573.
15) S. Fishman and A. Aharony, Phys. Rev. **B18** (1978), 3507.
16) Y. Someya, J. Phys. Soc. Jpn. **50** (1981), 3897.

10. フラストレーションのある系での相転移

東大・理　　宮　下　精　二

ここ数年スピングラスの相転移が精力的に研究されている。[1)~9)] スピングラスとはAuFeやCuMnなどの磁性希薄合金やCo(S_x Se_{1-x})のような混晶系で見られる現象で，低温で周期的な長距離秩序は伴なわないが非常に相関が強い相が実現され，高温からこの低温相に移るとき比熱には何ら特異性が見られないのにかかわらず帯磁率 χ_0 にcuspがみられ更にその磁場依存性が非常に敏感である（帯磁率を磁場で展開したとき，$\chi(H) = \chi_0 + \chi_2 H^2 + \cdots$ ，χ_2 の負への発散）ことなどからある種の相転移であろうと考えられている（図1及び図2 (a)）[2)]。また

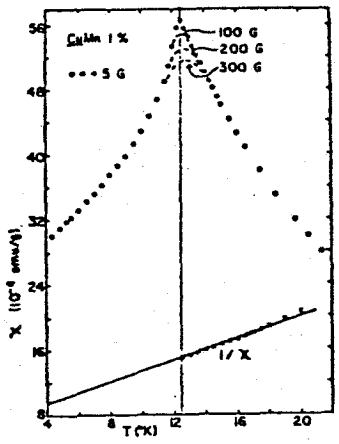

図1　From Ref. 2) Cannella

た通常の転移とのちがいに低温相の非常にゆっくりした緩和現象なども報告されており[3)]，新しいタイプの相転移として興味が持たれている。この問題では従来の相転移の問題とは異なりシ