

三角およびハキサゴナル格子における反強磁性N成分スピン系の臨界現象

東北大, I. 山崎 義 武

二次元三角格子と三次元六角格子における反強磁性N成分スピン系の臨界現象について報告する。本報告は次の研究者の研究成果から構成される。

城風敏彦, 山崎 (東北大, I) Ising系の分子場近似^{R1)}; くろこみ群の方法による解析^{R2)}
菊池良一 (Hughes Research Lab., USA), 国分仁 (東北大, I) Cluster Variation Method による三角格子 Ising系の解析^{R3)}

系と目的: 相互作用として反強磁性の最近接(n, n)相互作用 $J(J_{co})$ と第二最近接相互作用 $J'(J'_{co})$ をもつ三角(2d)格子と六角(3d)格子におけるIsing(スピン $1/2$)系を主として考え、N成分スピン系への応用も考える。目的はIsing系で部分的な不規則相(PD)($\uparrow\downarrow$), 三副格子フェリ相(F_{R3})($\uparrow\uparrow\downarrow$)の存在が云えるであろうか? 又、二副格子フェリ相(F_{R2})($\uparrow\uparrow\downarrow$)を含めた各相の臨界的振舞はどうか? N成分スピン系ではこれらの特徴がどのように変るであろうか? このような疑問についてくろこみ群の方法で調べる。

方法: スピン S についてtraceを取り有効ハミルトニアンを連続変数(4)で表わし、自由エネルギーの極値とその安定性を調べる。 $\epsilon(\epsilon=4-d)$ 展開によるくろこみ群の方法を適用する。分子場近似の範囲ではIsing系でパウ相, 部分的な不規則相, 三副格子フェリ相, 二副格子フェリ相, 等の存在の可能性が示され、他の解析(R1, R2)結果との比較がなされ、他の系でも同様な相の可能性が示された。

くろこみ群の方法を適用する前に、有効ハミルトニアンを三角格子(2d)と六角格子(3d)系に対して導く。六角格子系において、計算を単純化するためにpropagatorの波動依存性を球対称に近似すると同一の有効ハミルトニアン系で三角格子系と六角格子系が議論できる。

系の固定点としてIsing系でパウ(P)相, フェリ(F)相, 部分的な不規則(PD)相, 二副格子フェリ(F_{R2})相, spinflip(H)とbiconical(B)の固定点が得られ、他の系でもIsing系と同様な固定点が得られるが、スピンの向きについての解釈が異なる。

これらの固定点の安定性が ϵ のオーダーまで計算されて議論された。極めて長い複雑な計算過程から得られた結果は一般的なNの値に対する表としてまとめるにはすごい負荷を必要とするのでここでは文章表現で記述するにとどめる。Ising系では二副格子フェリ相と対称性を異にするground state ($M_1=M_2=-M_3$) [通称、これをこの相は二副格子と呼ばれてきた]が安定な相である。PD相は三角格子では二成分系即ちXY-like系なのでmodified Kosterlitz-Thouless型の相と呼ぶことが出来る。H相を除いて他の固定点は不安定である。他の系では次元数とスピンの成分数Nに依存して、 F_{R2} やBのどちらかが安定な固定点となり、残りの固定点は不安定となる。

相間距離を ∞ に近づけると系との固定点が安定になるかを矢印のついた線で示す流れ図が図1のように描かれる。図(a)はIsingの場合、図(b)はNon-Isingでしかも F_{R2} の固定点が安

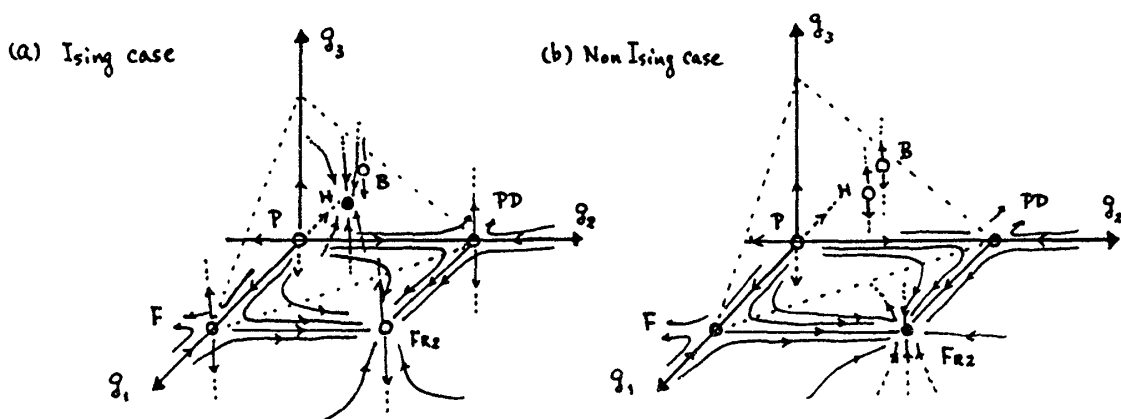


図1. 流れ図

定な固定点の場合である。相互作用空間(g_1, g_2, g_3)の(g_1, g_2)面内の流れを $\rightarrow$ で、 g_3 軸方向の流れを $\uparrow$ で描く。各固定点にP, F, Fe_2 , PD, H, Bを附し、安定な固定点を●で、不安定な固定点を○で示す。Non Ising系で安定な固定点は三次元で考えるとXY系でBか、Heisenberg系で(正確には $N \geq 2$) Fe_2 の固定点である。

固定点とその臨界指数については次のように要約される。固定点(P)は、 $3N$ -成分のガウス系の固定点で、臨界指数は分子場近似の値と一致する。固定点(F)は N -成分の Heisenberg 系と $2N$ -成分ガウス系の decouple された形の系の固定点で、純粋に強磁性の系で出現し、反強磁性の系ではこの系のこの固定点の転移温度は負となって現実には出現しない。固定点(PD)は、 N -成分ガウス系と $2N$ -成分 Heisenberg 系の decouple された形の系の固定点で、反強磁性の系で出現し、強磁性の系では出現しにくい。臨界指数は言うまでもなく $2N$ -成分 Heisenberg 系の値と一致する。このことから Ising 系の PD 相の臨界指数は XY 系のそれと一致する。固定点(Fe_2)は N -成分 Heisenberg 系と $2N$ -成分 Heisenberg 系の decouple された形の系の固定点である。二次元 Ising 系の PD 相は Kosterlitz-Thouless の理論を少し変形して出せる modified Kosterlitz-Thouless (MKT) と呼ぶことにすれば、二次元 XY-系の Fe_2 相で 4 -成分 Heisenberg 系の性質は現われないので 2 -成分 Heisenberg 即ち XY 系の性質が MKT として現われると考えられる。固定点(H)は $3N$ -成分 Heisenberg 系の固定点である。この点は二次元、三次元の Ising 系で安定である。固定点(B)は全く新しい表式で表わされるが長過ぎるので省略する。

クロスオーバーの振舞が、いろいろな領域で観測に合う苦なので、そのオーダで調べた。

ゆらぎによる誘導された一次相転移も各不安定固定点のところで調べられる必要がある。このことについて計算を進め一次相転移の起こることの可能性と、そのときの磁化のトビが計算された。

2d Ising 系と 2d XY 系はそれぞれ PD と Fe_2 相で planar XY モデルと等価になるのでも Kosterlitz-Thouless の理論を表現して内部エネルギー、臨界指数 $\nu (= \frac{1}{2})$, 等々、更に多くの知見が得られた。

結論: 三角と六角格子の Ising 系では PD 相か、それぞれ、磁化のゼロと有限(初)の相になること、前者の転移点は MKT になることなどが分った。三角格子の二次元系の Fe_2 相も同様に MKT 相に当る。Non Ising 系の各相のスピンの orientation は近いうちで結論した。