The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	競合イジング模型の相転移に関する理論的研究
Author(s)	今岡, 仁
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/40183
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

氏　　名	今岡　仁（いまおか　ひとし）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学位記番号	第　13144　号
学位授与年月日	平成9年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科応用物理学専攻
学位論文名	**競合イジング模型の相転移に関する理論的研究**
論文審査委員	（主査） 教授　興地　斐男 教授　石井　博昭　教授　増原　宏　教授　後藤　誠一 教授　志水　隆一　教授　岩崎　裕　教授　河田　聡 教授　豊田　順一　教授　中島　信一　教授　一岡　芳樹 教授　樹下　行三　教授　川上　則雄　教授　伊東　一良 教授　萩行　正憲　教授　八木　厚志

論文内容の要旨

本論文は，強磁性および反強磁性のスピン間相互作用が競合するイジング磁性体を有限温度での有効相互作用によるスピンの結合状態として表現したパーコレーション系と見なす方法を導入し，この系での巨視的な数の縮退をもつ最低エネルギー状態が複雑な秩序状態を協力して作り出す特性を自然な形で表現できることを述べ，具体的な例を通して臨界現象の解析を行うと共に，秩序状態の分類を行った結果をまとめたものである。

第1章では，競合イジング磁性体の研究がスピングラスの解明に由来する歴史的背景について述べ，さらに本論文の目的である，巨視的な数の縮退をもつ最低エネルギー状態が作り出す大きなスピン揺らぎをもつ秩序状態の存在を明らかにすることの重要性について述べている。その秩序状態を表現する数学的準備として，競合のない従来のパーコレーション系をまず導入している。

第2章では，競合四角格子イジング模型にゲージ変換を施した場合，熱力学的には同等であるが，強磁性およひ反強磁性のスピン間相互作用が入れ換わった様々な格子模型が得られることを示し，次にゲージ変換された格子模型の磁場応答について常磁性的な型になるかまたはVillain－Stephensonユニバーサリティの型になるかの分類が，部分無秩序相の概念を適用することにより可能であることを述べている。さらに，1次元的な相関関数の解析により，磁場応答が例外的に非ユニバーサルな型になる場合があることを示している。また，ゲージ変換される格子模型の中で，相互作用が長期的な周期を持つ18種類の格子模型を考慮した範囲内では，部分無秩序相の概念を用いた磁場応答の分類法は数値実験の結果と良く一致し，比較的短い周期をもつ格子模型の場合にその分類法は有効であることを結論している。

第3章では，競合イジング模型のパーコレーション表現に双対変換を施し，全く新しい型の模型，偶数サイトパーコレーション模型を提案している。変換前の模型パーコレーション表現はゲージ変換に応じてグラフのパターンが異なる不便な性質を持つが，ここで得られた双対模型はそのような短所を持たないことを指摘している。また，この模型は従来の表現であるKC模型が持っていたような負の統計重みを持つ欠点もなく，競合イジング系を表す模型として，より普遍性の高い模型になっており，競合系の相転移を取り扱うのに適していることを述べている。

第4章では，競合イジング模型における最低エネルギー状態のパーコレーション表現とは，「隣接するスピンが相互作用に従って配向しているときのみそれをボンドで結ぶ」というルールで得られたグラフとなると説明している。その結果，巨視的な数の縮退をもつ最低エネルギー状態は，ボンドの連結がの仕方が少しずつ食い違ったグラフの集

合に対応するが，いずれのグラフも総てのスピンがボンドによって結ばれたクラスターを持つことを示している。さらに温度を上げてゆくに従って，最低エネルギー状態に対するグラフのボンドが熱量に応じた確率で消され，グラフは虫食い状態からついには巨視的なスピンクラスターが無くなる温度に至ることを説明し，その温度がここで導入したパーコレーション系の転移温度の定義であるとしている。この種の転移は，自由エネルギーに特異点を持たず，それを巨視的な観測量と関係づける問題は，ダイナミクスを中心として研究が進められているが，現時点では未解決であることを述べている。さらに，四角および三角イジング格子について強磁性および反強磁性相互作用をその比率をパラメータとしてランダムに配置する±J模型に注目し，競合ボンド濃度の変化がパーコレーション転移に及ぼす影響を調べるため，モンテカルロ法を用いて臨界温度および臨界指数を算出し，相図としてまとめている。さらに，競合イジング模型に対するパーコレーション転移とダメッジスプレディング転移について考察し，従来数値実験の結果から両者の転移温度の等しいことが予想されていたが，ここでの判定基準を用いた数値実験ではダメッジスプレディング転移温度がパーコレーションのそれより低くなることを示し，さらに伝達関数の解析によってそれを確認している。ただし，競合のある場合のダメッジスプレディング転移に関してはモデル設定の自由度が残っているため，さらに総合的な研究が必要であることも指摘している。

第5章では，本研究で得られた結果をまとめ，今後の展望について述べている。

論文審査の結果の要旨

統計力学の中心的な課題の一つは，複雑な相互作用をする巨視的な体系に対し，何らかの意味での秩序状態，すなわち各々の成分要素が巨視的な距離で何らかの相関を持つ条件を見いだすことである。特に，ここで述べた相互作用に競合があるスピン系の場合，その複雑な秩序状態を引き出すには特別な工夫が必要となる。従ってこの研究は，相互作用が複雑に絡む多様な巨大システムを制御するのに必要な基本概念の設定に対する足がかりを提供するものと考えられる。

本研究では，2次元の競合相互作用を持つイジング磁性体に対し巨視的な数の縮退をもつ最低エネルギー状態の一般化された秩序をパーコレーション表現によって抽出し，数値実験を用いてその臨界現象を研究している。その成果を要約すれば次の通りである。

(1) 競合イジング模型にゲージ変換を施して，磁場応答に絶対零度の臨界現象であるVillain－Stephensonユニバーサリティが現れる場合のあることを導いている。ゲージ変換は無数にあるが，周期的なゲージ変換の場合，平均場近似に基づく部分無秩序相を仮定することにより，臨界応答が得られる場合が存在するので，ここでその判別法を提案している。磁場応答が臨界性を示さないとき，大多数の場合は常磁性的な型となるが，さらにその型にも属さない例外的な場合のあることも示している。また，臨界応答が現れる条件として，磁場によって選択される最低エネルギースピン状態は，それとごく近いスピン状態が無数に存在していることが必要であると指摘している。

(2) 競合パーコレーション模型の秩序状態は，スピンの立場で見ると，巨視的な数のスピン状態が融合することにより，全体として一つの状態となっているものと解釈している。この意味で，この秩序状態はスピンシングレットと呼ぶに相応してことを述べている。それを反映して，対応するユニバーサリティクラスは内部自由度1のポッツモデルに属していることが示されている。

(3) 競合パーコレーション模型の双対模型である偶数サイトパーコレーション模型は，すべて実数のパラメータで表現され，競合条件は各クラスターのサイト数が偶数となる条件に置き換えられることを導いている。特に競合パーコレーション模型の絶対零度に対する双対模型はダイマー模型と同等となり，このような変換を通じて競合パーコレーション模型の新しい研究方法が生まれる可能性を示唆している。

(4) 従来のダメージスプレディング・ダイナミックスに対する統計重みの設定（monotonicity条件）を用いると，競合がある場合のダメージスプレディング転移温度は，パーコレーション転移温度より少し低く見積もられることを数値実験によって示している。ただし，ダメージスプレディングの定義自身に不確定要素があり，そのタイナミックスに関するさらに総合的な研究の必要性も指摘している。

競合磁性体のみならず，複雑な相互作用をもつ巨大システム，コンピュータ，生体系，宇宙系などの複雑系は多方面から興味が持たれており，それらの複雑系を支配する法則を見いだすことは基礎研究として大切な意義を持つだけでなく応用面でも極めて重要なテーマとなっている。本論文は，典型的な複雑系である競合イジング模型に隠れている秩序状態の存在を磁場応答，パーコレーション表現，双対性，ダメージスプレディングなどの諸性質を通して明らかにしようとしたもので，応用物理学，特に物性工学および数理情報工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。