

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 轟木義一

相転移は、一般に秩序化を促進する相互作用と、それに熱的擾乱を与えるエントロピー効果の競争でもたらされる。系の変数の対称性により多様な相転移の形態が知られ、ユニバーサリティクラスとして分類がなされて来ている。特に、二次元系では、基底状態に連続的な縮退がある場合、ゆらぎの赤外発散が生じ、長距離秩序を伴わない相転移(コストリッツ・サウレス転移)など特殊な相や、共形場理論で特徴づけられる無限のユニバーサリティクラスの存在など相転移に非常に多様性がみられる。それに対し、三次元系では、知られている全ての相は長距離秩序をもち、またユニバーサリティクラスも、スピン空間の次元など限られたものだけが知られ、ゆらぎを反映した特殊な状態の存在は知られていなかった。

しかし、フラストレーションとして知られる相互作用の競合効果などにより二次元とは異なる形でのゆらぎの効果を反映した相の存在など、ゆらぎを伴う新しい秩序状態の構造が興味を集めて来ている。本論文では、そのような相の典型例として、基底状態を与える二つの状態が混合することによって新しい中間温度相が出現することを発見している。

第1章では、研究の背景を詳しくレビューしている。第2.2章では、ゆらぎの効果を系統的に制御できる、6状態一般化クロックモデルというモデルを導入し、そこで特異な中間温度相を発見している。このモデルは、 Z_6 対称性を持っており、エネルギーパラメータを調節することによって、自然界に存在する多くの Z_6 対称性をもつモデルの典型例と考えることができる。この Z_6 対称性を持つモデルにおける中間相の存在は長く議論されてきた問題であり、これまで結論が出ていなかった問題である。本研究ではこのモデルを詳細に調べることにより中間相は IOP1 と呼ばれる隣り合った二つの状態が交じり合う相が存在することを発見し、さらにその混合比率が1対1で安定した相であるという事を明らかにしている。また、この相への相転移については、高温の常磁性相からの転移は3D-XYユニバーサリティクラスに属すること、また、低温側の基底転移相への転移は一次である事を明らかにしている。

第2.3章では、この知見に基づき、やはり長年の問題であった CsCoCl_3 や CsCoBr_3 のモデルとして知られている積層三角格子反強磁性イジングモデルの秩序状態の構造を調べている。このモデルは、これまで分子場近似によって、部分無秩序状態と呼ばれる中間相

の存在が提唱されていたが、対応する二次元系との性格の違いや、その特異な性質、さらには転移点における比熱の異常の欠如などから、多くの異論が提出され、長年の問題であった。この問題に対し、この系がもつ基底状態の Z_6 対称性に注目し、上述の IOP1 相と部分無秩序状態の関連を議論し、その同一性を示して部分無秩序状態の存在を明かにした。そのシナリオではそこでの低温の転移は一次転移になるが、実験では低温側の転移点付近で比熱になんら異常がない。この問題に対し、この系が強く結合した一次元鎖からなる点に注目し、鎖内のドメイン壁の密度の温度変化を調べることで、この転移は潜熱が非常に小さい 1 次転移だという事を明かにしている。

さらに、第 3 章では、量子誘電体である StTiO_3 の同位体置換によって現れる強誘電体転移のモデルとして考案された励起状態のホッピングの効果を取り入れた量子 Blume-Capel モデルにおいて、熱的擾乱ではなく、基底状態において量子ゆらぎによって古典的な基底状態が混合することで、ゼロ点エネルギー利得を得、秩序状態が現れることも示している。通常、量子相転移という場合、量子揺動で古典的な秩序が壊れる場合が多いが、ここで発見された相転移は、量子揺動によって誘起される新しいタイプである。

以上述べたように、本研究は、熱的擾乱や量子ゆらぎなどゆらぎによって誘起される新奇な三次元秩序状態の存在、さらにその機構を明かにしており、物性物理学、物理工学の分野の基礎となる重要な研究であると考えられる。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。