



Title	Functional Renormalization Group Study for Continuous Symmetry Breaking Phases [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	桐越, 研光
Citation	北海道大学. 博士(理学) 甲第14779号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/85843
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Akimitsu_Kirikoshi_abstract.pdf (論文内容の要旨)



[Instructions for use](#)

学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(理学) 氏名 桐越 研光

学位論文題名

Functional Renormalization Group Study for Continuous Symmetry Breaking Phases
(汎関数繰り込み群に基づく連続対称性の破れた相の研究)

対称性の自発的な破れを伴う連続相転移の場合、高温側から臨界点に近づくにつれて系の相関距離は増大し、臨界点直上で発散する。臨界点近傍における種々の熱力学量の特異性は臨界指数によって特徴づけられる。一部の臨界指数は転移温度の上側と下側の両側で定義できるものの、一般には両者は一致するものと考えられている。連続的対称性が自発的に破れた秩序相では、ゴールドストーンの定理に基づく南部・ゴールドストーン (NG) モードと呼ばれるギャップレス励起 (質量ゼロモード) が出現する。NG モードの出現は秩序相においても種々の物理量に特異性をもたらす。例えば、帯磁率の横成分がゼロ磁場において発散する振る舞いは、秩序変数の横揺らぎの赤外発散に対応し、これはゴールドストーンの定理の帰結として説明することができる。他方、縦成分は無秩序相と同様に有限であると考えられている。しかし、パタシンスキーとポクロフスキーは 1973 年に、NG モードと秩序変数の縦揺らぎの結合により、帯磁率の縦成分もゼロ磁場において発散することを指摘した。ゼロ磁場帯磁率の発散は、対応する臨界指数が定義できないことを意味する。また、この振る舞いは相関関数が臨界温度から離れた点においても冪的に減衰することを表しているが、このとき系の相関長は発散しているとみなされるため、相関長に対する臨界指数も定義することができないと考えられる。従って、相転移点の上側と下側で同時に考えられるスケールリング仮説も、それぞれの相で考える必要がある。

従来の繰り込み群の考え方では、秩序相と無秩序相の両側において同様に繰り込み群変換が行われるため、そこから出現する固定点および臨界指数は等価であると考えられている。しかし、秩序相においては秩序変数や NG モードを考慮して繰り込み群変換を実行する必要があるため、秩序相と無秩序相の両側において繰り込み群変換そのものが異なるというのが自然である。他方で、NG モードが引き起こす赤外発散により、摂動論的繰り込み群の方法を使用することは困難である。赤外発散を回避しつつ NG モードの寄与を取り込む場の理論の手法として汎関数くりこみ群 (FRG) が存在する。この手法は、汎関数の偏微分方程式によるくりこみ群の厳密な定式化であり、特にウェッターリックによって有効作用に基づいた定式化が成された後、非摂動的かつ系統的方法が発展してきた。近年、北によって、ゴールドストーンの定理の証明方法の一つとして使われている有効作用が系の対称性を持つこと (ゴールドストーンの定理 I) から要請されるバーテックス間に成り立つ恒等式を FRG に組み合わせることで、パラメータの数を劇的に減らすことが出来ることが明らかとなった。この定式化を用いると、赤外発散を回避しつつ秩序相においても対称性を保った熱平衡状態の解を得ることができる。

本論文の目的は「自発的対称性の破れ」に伴う秩序変数空間の異方性や、NG モードの効果を適切に取り込んだ繰り込み群方程式を導出し、固定点および繰り込みフローを解析することで臨界指数が相転移点の上側と下側で変化することを明らかにすることである。

本論文では、上記の「ゴールドストーンの定理 I を満たす FRG」を、古典スピン系を記述する $O(N)$ ($N \geq 2$) 対称なモデルに適用した。 $O(N)$ 対称性が自発的に破れると秩序変数空間に異方性が生まれる。また、次元解析に基づくと、3次元系の秩序相では3点バーテックスが有意になると考えられるため、このような特徴を反映した固定点が登場すると考えられる。さらに、秩序相においては自発的対称性の破れに伴い $N-1$ 個の NG モードが登場する。これらの効果を適切に取り込むため、無秩序相と秩序相の両側における繰り込み群方程式を導出し、固定点をそれぞれ求めた。その結果、秩序相側には無秩序相では見られない秩序変数空間における異方性を示す固定点が登場することが明らかとなった。次に、この固定点近傍における相関関数のフローから、その運動量依存性を

解析した。無秩序相側における解析では、臨界固定点から離れて無秩序相に向かうと、相関関数はある有限の値に留まる。一方、秩序相では臨界点近傍まで相関関数の縦成分と横成分が共に同じ振る舞いをするものの、固定点から離れると、異なる冪的振る舞いを示しながら発散することが確認された。縦成分の赤外発散はNGモードが出現する秩序相に特有な性質である。また、秩序相における結合定数のフローを調べると、縦揺らぎ同士の結合定数は大きくなる一方、NGモード間の結合定数は消失することが確認された。従って、相関関数および結合定数のフローの振る舞いから、秩序相において系の性質が質的に変わる長さスケールが存在することが分かる。この長さスケールはジョセフソン長と呼ばれるもので、臨界点において発散し、その温度依存性を特徴づける量として臨界指数を定義することができる。また、この臨界指数を用いることで、従来成り立つスケーリング則が一部回復することが分かった。両者の臨界指数を比較したところ、上部臨界次元直下ではその値が一致する一方、3次元では3点パーテックスの寄与により有意な差が生まれる可能性があることが分かった。