九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

A New Method to Calculate Transition Lines near the Multicritical Point using Twisted Boundary Conditions

守屋, 俊志

https://hdl.handle.net/2324/4784403

出版情報：九州大学, 2021, 博士（理学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

（様式６－２）

氏　　名	守屋　俊志
論　文　名	A New Method to Calculate Transition Lines near the Multicritical Point using Twisted Boundary Conditions (ひねり境界条件を使った多重臨界点付近の相転移線の計算手法)
論文調査委員	主　査　　九州大学　　准教授　　野村 清英 副　査　　九州大学　　教授　　福田 順一 副　査　　兵庫県立大学　　教授　　坂井 徹

論　文　審　査　の　結　果　の　要　旨

本学位論文の主題は，多重臨界点付近で相転移点を精度良く計算する新しい方法の開発である。複数の相転移が合流する多重臨界点では、互いの臨界現象が干渉するため、有限サイズ効果が非常に大きくなり従来の数値計算方法が使えない。これに対して本論文ではひねり境界条件と双対性をうまく活用することで、多重臨界点近傍でも高い精度の計算ができるようになった。また、臨界指数を計算することにより相転移のユニバーサリティクラスを確認した。

実際に扱うモデルは、以下のボンド交代 XXZ 鎖である。

$$\mathrm{H} = \sum_{j=1}^{N} [1-(-1)^{j}]\left(S_j^x S_{j+1}^x + S_j^y S_{j+1}^y + \Delta S_j^z S_{j+1}^z\right)$$

このモデルの S = 1/2 での基底状態は、Neel 相（秩序相)、Dimer1 相、Dimer2 相(無秩序相) である。それぞれの相転移のユニバーサリティクラスは、Neel 相と Dimer1,2 相との間が 2 次元イジングタイプ、Dimer1 相と Dimer2 相との相転移が 2 次元ガウシアンタイプのものだと予想されている。３つの相転移線が交わる点が多重臨界点となる。その多重臨界点付近では２本のイジングユニバーサリティの転移線が非常に近くなり、有限サイズ補正が非常に大きくなってしまう。

そこで境界条件を取り入れた共形場理論を考察した結果、2 次元イジングユニバーサリティクラスでは y 軸ひねり境界条件の基底状態と z 軸ひねり境界条件の第１励起状態のエネルギーが等しくなり、2 次元ガウシアンユニバーサリティクラスでは y 軸ひねり境界条件の基底状態と第１励起状態のエネルギーが等しくなることがわかった。これらの性質を用いてそれぞれのユニバーサリティクラスの相転移点を求めるのが本研究の方法である。エネルギーの計算は、数値対角化法により行う。また、ユニバーサリティクラスを確認するために、スケーリング次元とセントラルチャージと呼ばれる臨界指数を数値的に計算した。これらの量は固有エネルギーの有限サイズ補正の係数と関係があり、エネルギーを解析することにより求めることができる。

S=1/2 ボンド交代 XXZ 鎖について数値計算を行ったところ、対称性や双対性から期待されたように数値計算でも$\Delta = 1, \delta = 0$ の点が多重臨界点になっており、そこに近い領域でも有限サイズ補正が小さく相転移点を計算することができた。この結果は先

行研究での結果と比べ非常に精度が高い。さらに求めた相境界でのスケーリング次元とセントラルチャージを計算したところ、ユニバーサリティクラスが予想と一致した。S=1,3/2 についても本研究の方法を用い研究を行い、同様に有限サイズ補正の小さい結果が得られた。

本学位論文の方法が適応できるモデルはボンド交代 XXZ 鎖 だけではなく、さまざまなモデルの多重臨界点への応用が期待される。

よって、本研究者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。