The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Studies of low dimensional quantum spin systems by numerical renormalization group methods
Author(s)	前島, 展也
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/43632
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

【19】

氏　　名	前島展也（まえしま のぶや）
博士の専攻分野の名称	博　士（理　学）
学位記番号	第　16750　号
学位授与年月日	平成14年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Studies of low dimensional quantum spin systems by numerical renormalization group methods （数値繰り込み群法を用いた低次元量子スピン系の研究）
論文審査委員	（主査） 教　授　阿久津泰弘 （副査） 教　授　小川　哲生　　教　授　川村　光　　教　授　菊池　誠 助教授　時田恵一郎

論文内容の要旨

この博士論文は大きく分けて2つの部分から成る。

一つは、S=1/2反強磁性 zigzag 梯子模型の熱力学的性質に対する数値的研究である。この模型は、反強磁性的な最近接サイト間相互作用に加えて、次近接相互作用を有するために、フラストレーションを持つ系として知られている。次近接相互作用が誘起する現象として、ゼロ磁場での基底状態が示すスピン液体－ダイマー転移、絶対零度磁化曲線に現れるカスプ（折れ曲がり）などの基底状態における特異な振る舞いが今まで活発に研究された。我々は、この zigzag 梯子模型の熱力学的性質を DMRG とよばれる数値繰り込み群法の一種を用いて調べ、その物理量に現れる特徴的な性質を明らかにした。特に注目したのが、絶対零度磁化曲線のカスプと熱力学量の関係である。カスプ形成の原因は磁場中での1粒子状態密度の発散であると考えられている。この発散は素励起の分散曲線の極大点から生じているという解釈が既に与えられている。我々は、その状態密度の発散が、熱力学量にどのような影響を与えるかを調べた。その結果、磁場中比熱に、上述の状態密度の発散に起因すると思われるピーク構造を観測した。このピーク構造は、特に飽和磁場近傍の低温領域で明瞭に現れることが分かった。

残りの一つの部分では、行列積波動関数を用いた数値繰り込み群アルゴリズムについて論じる。

行列積波動関数においては、ある基底で展開したときの展開係数が複数の行列の積のトレースで表される。故にこの行列を調節することで、行列積波動関数を系のハミルトニアンや転送行列などの重要な行列の固有状態の近似として表すことが可能である。我々はこの行列積波動関数と DMRG を利用して、1次元量子スピン系の量子転送行列の最大固有値状態を精度良く近似する数値繰り込み群法を考案した。そしてそれを S=1/2XY 模型の熱力学量を数値的に計算し、得られた結果が厳密解と良く一致することを示した。

また行列積波動関数を一般化したものであるテンソル積波動関数は2次元量子系の状態の記述に利用することができる。我々はこのテンソル積波動関数を利用した、vertical density matrix algorithm（VDMA）と呼ばれる新しい数値繰り込み群アルゴリズムを提案した。この手法では、DMRG とテンソル積波動関数の考え方をうまく組み合わせることで、2次元量子系の取り扱いに成功している。我々はこの VDMA を用いて、2次元横磁場イジング模型の基底状態における自発磁化、2次元反強磁性 XXZ 模型のスタッガード磁化とエネルギー、などの、それぞれの模型の重要な物理量を計算した。特にエネルギーについては、量子モンテカルロ法などの既存の優れた方法による結果と遜色ない値を与えることが分かった。

論文審査の結果の要旨

前島展也氏は極めて信頼性の高い数値手法を用いて低次元量子スピン系の研究を行った。特に、S=1/2反強磁性梯子系に関して、磁化曲線のカスプ型特異性に対する有限温度効果を詳細に調べ、実験観測との定量的比較を可能にした。さらに、前島氏は計算手法の拡張をも行い、特に、量子系に村する密度行列型アルゴリズムの高次元版の開発に成功した。これらの成果は量子多体問題研究の発展に多大な寄与をするものであり、博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。