

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ランダム量子スピン系の実空間くりこみ群による解析
Title(English)	Real-Space Renormalization-Group Analysis of Random Quantum Spin Systems
著者(和文)	宮崎涼二
Author(English)	Ryoji Miyazaki
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9382号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:西森 秀稔,斎藤 晋,田中 秀数,古賀 昌久,西田 祐介
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9382号, Conferred date:2014/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		宮崎涼二	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	西森 秀稔	教授	審査員	西田祐介	准教授
		斎藤 晋	教授			
	審査員	田中秀数	教授			
		古賀昌久	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Real-Space Renormalization-Group Analysis of Random Quantum Spin Systems」と題し、6章から構成されている。

第1章「Introduction」では、相転移・臨界現象およびくりこみ群の一般論を紹介した後、ランダムさを含む系の性質について述べている。古典系だけでなく量子系、特に横磁場イジング模型にランダムさが含まれるとき、純粋系にない特異な臨界現象が生じる可能性が1次元で知られているということを紹介し、2次元以上の現実的な系でこの問題に明確な結論を付ける必要性を強調している。

第2章「Renormalization group」では、本論文で用いる解析手段であるくりこみ群理論の枠組みを紹介している。スケーリング理論、運動量空間くりこみ群、および1次元系に特有の強ランダムくりこみ群などを簡潔にレビューした後、本論文で展開する量子スピン系（横磁場イジング模型）の実空間くりこみ群の概要を述べている。

第3章「Real-space renormalization group for the transverse-field Ising models」以後の3章が本論文の中心部分である。まず第3章は、ランダムネスを含まない横磁場イジング模型の実空間くりこみ群の理論の導入である。実空間くりこみ群においては、いくつかのスピンを束ねて新たな粗視化された自由度を定義するが、まず1次元系でそのプロセスを詳細に定式化している。横磁場イジング模型の対称性を活用することにより、くりこみ後のハミルトニアンが元のハミルトニアンと同じ形に出来ること、それにより驚くべきことに相転移点の値および相関長を支配する臨界指数の値が厳密解と完全に一致することを示している。くりこみ後の高い励起状態を無視する近似であるにも関わらず、厳密解が導出できることの意義を強調するとともに、対称性を十分反映しないくりこみ方法を使用すると、正しい転移点や臨界指数が再現できないことを指摘している。次に、この方法を2次元および3次元に拡張して適用し、対称性に注意した定式化を行うことにより、大規模な数値計算等による複雑な解析を経た従来の結果に十分近い臨界指数値を得られることを指摘し、この論文で開発された手法の簡便性と有効性を示している。

第4章「Real-space renormalization group analysis of the random transverse-field Ising model」では、ランダムさを含む横磁場イジング模型の実空間くりこみ群を展開している。まず、1次元系について、前章の純粋系のブロックスピン変換の方法を適用してパラメータの分布の変化を追いかける。その解析から、無限ランダム固定点の存在を導くとともに、転移点および臨界指数の値が厳密解を再現することを示している。従来展開されてきたエネルギー空間くりこみ群の成果を、より柔軟で簡便な方法で再現することに成功している。この柔軟性を活用して、純粋系の方法を2次元および3次元のランダム系に拡張し、相互作用定数の分布の変化を規定するくりこみ群方程式を導出している。得られたくりこみ群方程式を数値的に解くことにより、1次元と同様の無限ランダム固定点の存在を見いだしている。これは、従来、粗い近似や数値計算に基づいて異なる主張がなされてきた無限ランダム固定点の存在の問題に決着を付ける成果であり、1次元同様、2次元および3次元でも少しでもランダムさが入ると、量子系においては純粋系とは定性的に異なる臨界現象が生起することを曖昧さなしに示した重要な成果である。また、相互作用のランダムさが、主に強磁性的な範囲で揺らぐのか、あるいはスピングラス的に大量のフラストレーションを伴って揺らぐのかによらず同一の無限ランダム固定点に帰着することは、通常の古典スピン系と違う横磁場イジング模型の顕著な特徴であることを指摘している。また、スピングラス系において基底状態の相図を描き、スピングラス相の2次元および3次元での存在を確立したことも注目し値することを述べている。

第5章「Real-space renormalization-group analysis of the transverse-field Ising model

with the hierarchical interaction」では、ダイソン格子と呼ばれる階層的な構造を持つ格子に置かれたランダムな横磁場イジング模型のくりこみ群解析を行っている。ダイソン格子においては、相互作用が長距離的に振る舞う場合があるため、通常の短距離相互作用のみが存在する格子とは臨界現象が異なる可能性がある。まず、ランダムさの系の解析を行い、相互作用が長距離的な場合には従来の臨界指数が必ずしも定量的に信頼できないこと、短距離的な場合には従来の結果が再現されることを示している。ランダムさを含むスピングラスについては、短距離的な相互作用の場合には無限ランダム固定点の存在が見られるが、長距離的になると結論がやや曖昧になるとしている。

第6章「Conclusion」では論文全体を総括し、従来1次元でしか信頼できる結果がなかった無限ランダム固定点の有無の問題を、新しい実空間くりこみ群の方法により2次元および3次元、さらに階層構造を持つダイソン格子で確立したことが本論文の中心的な成果であることを述べている。今後の課題として、相関長を特徴付ける指数以外の臨界指数についても信頼性の高い評価方法を確立することの重要性を述べている。

以上の通り、本論文は、ランダムさを含む量子的な横磁場イジング模型の有限次元実空間くりこみ群法を開発・確立した重要な業績であり、今後、当該分野において標準となるべき方向性を示している。したがって、本論文は博士（理学）の学位授与にふさわしいものと判断される。