

研究成果報告書

(国立情報学研究所の民間助成研究成果概要データベース・登録原稿)

研究テーマ (和文) AB		フェルミオンの拡張された反強磁性量子スピン系の理論			
研究テーマ (欧文) AZ		Theory of fermionic extensions of antiferromagnetic quantum spin systems			
研究氏代表者	カナ CC	姓)ハセベ	名)カズキ	研究期間 B	2008 ~ 2010 年
	漢字 CB	長谷部	一気	報告年度 YR	2010 年
	ローマ字 CZ	Hasebe	Kazuki	研究機関名	香川高等専門学校 (旧 詫間電波工業高等専門学校)
研究代表者 CD 所属機関・職名		長谷部 一気 香川高等専門学校(旧 詫間電波工業高等専門学校) 講師			
概要 EA (600字~800字程度にまとめてください。)					
<p>本研究において、正孔(フェルミオン)を反強磁性スピン系にドーピングした‘解ける’模型の構築を行った。本模型は、超対称性と呼ばれるボーズ粒子とフェルミオン粒子を交換する対称性を有している。</p> <p>反強磁性の系に、正孔をドーピングすると超伝導状態が発現することが知られている。このような物理的状況は、高温超伝導の発現機構の理解において不可欠なものであり、多くの研究がなされてきた。しかしながら、これまで上記のような物理的性質を示す‘解くこと’のできる理論的模型は存在していなかった。今回の研究において、そのような特異な物理的性質を発現する量子的状態を超対称性の手法を用いて構成し、後にそれを正確な基底状態として有するハミルトニアンを構成することに成功した。</p> <p>これまでの研究において、量子ホール系の基底状態であるラフリン波動関数と‘解ける’反強磁性スピン系における基底状態の間の類似性が知られていた。更に、量子ホール系を超対称性に拡張する研究が既に行われてきた。この二つの先行研究に基づき、超対称的な量子ホール系の研究を量子スピン系に応用し、正孔のドーピングされた反強磁性スピン系の模型を構成した。正孔のフェルミオンの自由度と、反強磁性スピンをボゾンで表すことによって、その反強磁性スピン状態は、先に述べた超対称性を正確に有している。超対称性にもとづいて、反強磁性スピンハミルトニアンに正孔をドーピングした拡張したハミルトニアンを構成した。先の反強磁性スピン状態は、このハミルトニアンの正確な縮退のない基底状態になっている。その意味で、本模型は、‘解ける’(正確に基底状態を導出できる)模型である。更に、このように構成された、基底状態とハミルトニアンを用いて、正孔のドーピング量に対する反強磁性スピン相関の振る舞い、超伝導状態の発現について(1次元反強磁性鎖において)厳密に議論を行った。その結果、有限の正孔ドーピング量について、確かに本系が超伝導状態を発現すること、正孔ドーピング量がゼロと無限大の極限において、反強磁性絶縁体の性質を示すことを見出した。</p> <p>以上まとめると、正孔のドーピング量に応じて反強磁性、超伝導状態を発現する‘解ける’反強磁性スピンの理論を構築することに成功した。更に、本理論は超対称性とよばれる特殊な対称性を有し、数学的にも興味深いものとなっている。</p> <p>さらに、対称性を非コンパクトなものに拡張した研究も引き続き行い、量子ホール系への応用、トポロジ的な数学的側面についての研究も行った。</p>					
キーワード FA	反強磁性スピン	超対称性	ホップ写像	量子ホール効果	

(以下は記入しないでください。)

助成財団コード TA					研究課題番号 AA								
研究機関番号 AC					シート番号								

発表文献（この研究を発表した雑誌・図書について記入してください。）									
雑誌	論文標題 ^{GB}	Supersymmetric Quantum Hall Liquid with a Deformed Supersymmetry							
	著者名 ^{GA}	K. Hasebe	雑誌名 ^{GC}	Physics of Atomic Nuclei					
	ページ ^{GF}	345~351	発行年 ^{GE}	2010				巻号 ^{GD}	Vol. 2 No. 2
雑誌	論文標題 ^{GB}	Supersymmetric valence bond solid states							
	著者名 ^{GA}	Arovas, Hasebe, Qi, Zhang	雑誌名 ^{GC}	Physical Review B					
	ページ ^{GF}	224404-~224404-20	発行年 ^{GE}	2010	6	02		巻号 ^{GD}	Vol. 79
雑誌	論文標題 ^{GB}	Split-quaternionic Hopf map, quantum Hall effect, and twistor theory							
	著者名 ^{GA}	Kazuki Hasebe	雑誌名 ^{GC}	Physical Review D					
	ページ ^{GF}	041702-1~041702-5	発行年 ^{GE}	2010	2	16		巻号 ^{GD}	Vol. 81
雑誌	論文標題 ^{GB}	Split-algebras and non-compact Hopf maps							
	著者名 ^{GA}	Kazuki Hasebe	雑誌名 ^{GC}	Journal of Mathematical Physics					
	ページ ^{GF}	053524-1~053524-35	発行年 ^H	2010	5	24		巻号 ^{GD}	Vol. 51

欧文概要 E Z

In this work, we constructed 'solvable' antiferromagnetic spin models with doping holes (fermions). The present models have supersymmetry which represents interchange between bosons and fermions.

It is known that superconducting property appears when holes are doped into antiferromagnetic systems. Such physical situations are crucial in understanding high Tc superconductivity, and many researches have already been performed. However, 'solvable' models that exhibit above properties have not been constructed. In this work, we succeeded to construct quantum states which exhibit such exotic properties with the use of supersymmetry method. We also derived their Hamiltonians whose ground states are precisely given by the quantum states.

In preceding works, analogies between the Laughlin wavefunction in quantum Hall effect and the groundstate in solvable antiferromagnetic quantum spin systems were known. Furthermore, supersymmetric extension of the quantum Hall effect was worked out already. Based on these two works, we applied the formalism of the supersymmetric quantum Hall effect to construct antiferromagnetic spin models with hole doping. Representing the spins with bosons and holes with fermions, it was shown that the antiferromagnetic spin states respect supersymmetry. By using the supersymmetry, we constructed Hamiltonians extended for antiferromagnetic spin states with hole doping. The antiferromagnetic states are exact ground states of such Hamiltonians. In this sense, these models are solvable models. Moreover, with the ground states and Hamiltonians, we exactly derived the spin correlation and superconducting order parameter for the present 1D system. We found that the present systems indeed exhibit the superconducting property with finite hole doping, and realize antiferromagnetic insulating property at zero and infinite limits of the hole doping.

To summarize, we succeeded to construct solvable antiferromagnetic quantum spin models that exhibit superconducting and antiferromagnetic properties depending on the concentration of hole doping. In addition to such physical properties, the present models respect the supersymmetry that is also mathematically interesting.

Moreover, we explored models with non-compact symmetries, and discussed their topological aspects and applications to quantum Hall effects.