

論文審査の結果の要旨

氏名 松井 千尋

強い相関のある量子多体系は物性物理学および統計力学の中心的な課題であるが、この問題について一般的に有効な理論的手法は未だ存在しない。厳密解の得られる1次元可積分系は理論研究において重要な役割を果たしてきたが、相関関数の厳密な計算は可積分系においても非常に困難である。相関関数の厳密な計算は、これまで最も単純で基本的な可積分系であるスピン1/2反強磁性ハイゼンベルグ鎖を主な対象として行われてきており、より一般の可積分系においてはほとんど未開拓の問題である。本論文は、このような背景のもと、可積分な高スピンXXZ鎖における相関関数の厳密な評価を論じたものであり、序論、結論に加え、本編の5章よりなる。

序論では、研究の動機として、臨界現象の物理および可積分系の研究がそれに果たす役割、また可積分系における相関関数の厳密計算の意義などが述べられている。特に、エンタングルメント・エントロピーやEmptiness Formation Probabilityなど、通常の2点相関関数では表せない物理量が注目されており、これらの研究における可積分系の役割が強調されている。続けて、本論文で対象とする高スピン（スピン1以上）、特にスピン1の鎖について近年の実験的な研究も背景として物理的な興味を紹介している。さらに、本論文の成果と構成がまとめられている。第1章では、1次元量子系における量子臨界現象と共形場理論のレビューを行なっている。また、共形場理論の一例として、多くの1次元量子系の低エネルギー有効理論である朝永・ラッティンジャー流体を導入している。第2章では、スピン1/2XXZ鎖のベータ仮設法による厳密解のレビューを行なっている。ベータによる原論文では基底状態の波動関数に関して仮設を与えていたが、本論文では、より現代的な、ベータ仮設法の代数的な定式化を紹介し、特にモノドロミー行列の果たす基本的な役割を強調している。このモノドロミー行列は後に論じる相関関数の厳密計算においても重要であり、本章で紹介する代数的な定式化は後の各章での議論の準備にもなっている。第3章では、高スピン（スピン1以上）の可積分なXXZ鎖の厳密解の代数的な定式化をレビューするとともに、モノドロミー行列の各成分を対角化または擬対角化する基底の存在を示している。これは、相関関数の厳密計算の際に技術的な鍵となる点である。第4章では、高スピン可積分XXZ鎖における量子逆散乱法を論じている。これは局所的な物理量をモノドロミー行列の要素として表現し、その相関関数の厳密計算を可能にするものである。高スピン可積分XXZ鎖における量子逆散乱法は既に定式化されていたが、実用上便利な形では与えられていなかった。そこで本論文では、高スピンをスピン1/2の積として表現し、スピン1/2鎖に対する量子逆散乱法を適用することによる新たな定式化を与えている。これは、後に行う具体的な計算に有用であることが示される。第5章では、これまでの各章の内容を踏まえ、本論文の中心的な成果である、高スピン可積分XXZ鎖のギャップレス領域における相関関数の厳密な表式を導いている。それによれば、熱力学的極限で、 n サイト上で定義される一般的な相関関数は多重積分の形で与えられる。特に、スピン1可積分XXZ鎖の1点関数については、任意の異方性パラメータに対して積分を実

行し顕な表式を具体的に導いている。結論では、全体のまとめを行い、今後の展望について述べている。今後の課題として、高スピン可積分系における2点相関関数の遠方での漸近形を導出し共形場理論と比較すること、また本論文では扱えなかったギャップのある領域での相関関数の計算が挙げられている。

以上のように、本論文では、これまで結果が知られていなかった高スピン可積分XXZ鎖の相関関数の厳密な表式を導いている。この目的のため、スピン1/2鎖の量子逆散乱法に基づいて、高スピン可積分XXZ鎖における量子逆散乱法の新たな定式化を行なっている。本研究は、最も基本的な可積分系であるスピン1/2XXZ鎖よりも複雑な可積分系である高スピン鎖について、その数理的構造を明らかにしたものである。また、相関関数についての具体的な結果を得ることにより、今後の数値的研究に対するベンチマークも与えている。なお、本論文は、出口哲生氏との共同研究に基づいているが、本人の寄与は主体的で十分であると認められる。

よって、論文審査委員会は全員一致で博士（理学）の学位授与が適当であると認めた。