

時空創発の記述に向けた繰り込み群に基づくテンソルネットワークの研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学 公開日: 2024-06-18 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 桑原, 孝明 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/0002000665

量子重力理論の構築は現代物理学における最重要課題の一つである。量子重力理論を構築する上で注目されているのが、AdS/CFT 対応である。この対応は、反ドジッター (AdS) 空間上の重力理論と、その境界に定義された共形場理論 (CFT) が等価であるという予想である。ここで、境界上の場の理論 (CFT) の自由度からバルクの時空(AdS 空間)が創発している。AdS/CFT 対応には多くの検証がなされているが、厳密な証明はなく、その機構は解明されていない。この機構においては、繰り込み群とエンタングルメントエントロピーや量子誤り訂正といった量子情報における概念が大きな役割を果たしていることが認識されている。MERA、HaPPY code、random tensor network などのテンソルネットワークモデルにおけるネットワークは創発した時空とみなすことができ、繰り込み群や量子情報の構造を備えている。しかし、時空が離散的であり、境界としてゲージ理論を扱っていないというトイモデルにとどまっている。

本論文は、AdS/CFT 対応の機構 (AdS/CFT 対応における時空創発の機構) の解明に向けた繰り込み群に基づくテンソルネットワークについての研究をまとめたものである。

本論文は6章から成る。1章では研究の背景、目的と結果などが説明されている。2章で AdS/CFT 対応、MERA、テンソル繰り込み群、量子誤り訂正などがレビューされている。3章では、一般のゲージ理論に対してテンソルネットワーク表示を行う定式化が提案され、具体的にテンソル繰り込み群によって3次元 SU(2) ゲージ理論を解析した結果が示されている。テンソル繰り込み群を用いて3次元以上の非可換ゲージ理論を解析したのはこれが初めてであり、独自性・新奇性が顕著な研究である。この研究は AdS/CFT 対応において重要なゲージ理論をテンソルネットワークとして数値的に直接扱うという点で意義がある。さらに、符号問題が生じるためモンテカルロ法が適用できない有限密度 QCD の解析に向けて重要なステップである。4章では、スカラー場理論において、波動関数関数のスケール依存性を表す厳密繰り込み群方程式が導かれている。この方程式が連続時空に対応する連続テンソルネットワークを定義すると解釈される。5章では、4章で導かれた厳密繰り込み群方程式の摂動解において、繰り込み群のフローにより、量子誤り訂正が実現されることが示されている。この結果は、量子誤り訂正と繰り込み群の間の一般的な関係を示唆し、AdS/CFT 対応の研究に知見を与えることが期待される。6章では本論文の研究のまとめと今後の展望が述べられている。

以上のように、本論文では、AdS/CFT 対応の機構の解明に向けたテンソルネットワークの研究として重要な成果が得られている。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文としてふさわしいものと認められる。