

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：56101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26400258

研究課題名(和文) 量子純粋状態による統計力学の定式化の超弦理論への応用と時空の解明

研究課題名(英文) Application of the formulation of statistical mechanics by quantum pure state to superstring theory and elucidation of spacetime

研究代表者

松尾 俊寛 (Matsuo, Toshihiro)

阿南工業高等専門学校・創造技術工学科・准教授

研究者番号：80392124

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、量子純粋状態による統計力学の定式化を超弦理論に応用し、ブラックホールや高励起弦を熱力学的対象とする研究を通して時空の理解に必要な情報を得ることを目指すものである。本研究では、自己重力による引力と排除体積効果による斥力を同時に考慮したランダムウォーク模型について配位の広がりのスケーリングに対する相互作用の依存性を解析することで重力崩壊に至る相構造を明らかにした。系が動的に発展している非平衡状態についても重力理論や非平衡物理の知見を応用する研究を行った。

研究成果の概要(英文)：We apply the formulation of statistical mechanics in terms of thermal quantum pure states to superstring theory that is a consistent quantum theory of gravity, aiming at revealing essential nature of spacetime via studies of black holes and highly excited strings as thermodynamic systems. We study a random walk model in which there exist an attractive interaction of self gravity as well as a repelling one due to self avoiding effects. We find phase structures of gravitating strings that clarify how the size changes as the strengths of the interactions vary. We also studied that nonequilibrium properties of systems where configurations develop dynamically by using and trying to apply the theory of gravity and recent developments in nonequilibrium statistical mechanics such as fluctuation theorem etc.

研究分野：素粒子論

キーワード：超弦理論

1. 研究開始当初の背景

超弦理論は矛盾のない重力の量子論を与えるものであり時空に対する新しい見方を提供してきたが、時空の本質的な自由度を記述する方法については未解明である。超弦によるブラックホールの構成、ブラックホールと超弦のエントロピーの比較、超弦の輻射とホーキング輻射との対応関係など「曲がった時空と高励起弦の対応」についての研究が盛んに行われており、本研究代表者もこれらのテーマについて部分的な成果を得ていた。一方、統計力学の新しい定式化に関して、従来のアンサンブルの考えに基づくギブス流の定式化に代わり純粋状態で熱力学量を計算できる定式化が提唱され、孤立量子系の平衡への緩和の問題とともに統計力学の基礎づけについて研究が進展していた。

2. 研究の目的

本研究課題では上記の状況に基づき、統計力学の新しい定式化を統計力学系としての弦の大自由度系に応用し、超弦による時空の記述の理解への手がかりを得ることを目的とし研究を行なった。また、純粋状態統計力学そのものに関する考察を行い、非平衡統計力学への拡張や応用も将来的な目標として研究を行なった。

3. 研究の方法

本研究に用いた方法は主に手計算による解析的方法である。また、研究を遂行する上で、他研究者との議論、情報交換は決定的に重要であり、共同研究者のみならず他の研究者とのさまざまなやり取りの中で生まれたアイデアによって研究を進展させることがで

きた。他研究者とのコミュニケーションが重要な研究方法であった。

4. 研究成果

本研究では、熱力学的性質がブラックホールに対応する高励起弦を超弦理論の統計力学系とし、高分子物理モデル用いた解析を行った。具体的には、ランダムウォークに基づくエドワーズ模型に自己重力による引力と排除体積効果による斥力を同時に取り入れた模型について解析し、配位の広がりや密度分布、圧力などの熱力学的性質を解析的に導出する方法について研究を行った。とくに引力と斥力の相互作用の強さがサイズのスケールリングに対してどのように影響するのか明らかにし重力崩壊に至る相図を得たことが主要な成果である。自己重力は弦理論では本質的であるが高分子物理の分野では通常考慮されない。逆に、排除体積効果は実在高分子では重要な性質として無視できないが弦理論では(少なくとも摂動論的には)現れない。しかし、超弦理論にも非摂動効果として斥力が現れる可能性を主張する研究者もあり、非摂動効果を理解するための手がかりとして本研究では斥力を取り入れた解析を行った。

配位が動的に発展している非平衡状態についてもモノマー間の流体力学的相互作用の効果を双対重力理論で表す方法を検討し、またゆらぎの定理に代表される近年の非平衡物理の進展による知見を応用する方法を研究したが、これらについては具体的な成果を得るに至っていない。

純粋状態統計力学に関する研究では、それを応用したゆらぎの定理などの非平衡関係式の証明の試みや、統計力学の基礎づけに関する典型性の議論への応用を試みた。

本研究を遂行する過程で派生的に生じた課題として、状態のもつれの散乱による変化を断面積と関連づける Peschanski-Seki 公式と純粋状態統計力学を用いて表現された弦の散乱振幅の問題、カノニカル熱的量子純粋状態を用いた経路積分による非平衡過程の記述の問題、純粋状態統計力学と拡張したブラックホール熱力学の問題、などがあり、これらに取り組むことは今後の課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1件)

Shoichi Kawamoto and Toshihiro Matsuo, Size scaling of self gravitating polymers and strings, 査読有, Progress of Theoretical and Experimental Physics, 123B2(2015)1-22, DOI:10.1093/ptep/ptv165

[学会発表](計 3件)

河本祥一、松尾俊寛、Size scaling of self gravitating polymers and strings, 日本物理学会 2015 年秋季大会 (大阪市立大学)

河本祥一、松尾俊寛、Portrait of collapsed string as self gravitating polymer, 日本物理学会 2015 年春季大会

(早稲田大学)

河本祥一、松尾俊寛、Portrait of collapsed string and correspondence principle, 日本物理学会 2014 年秋季大会 (佐賀大学)

[図書](計 件)

[産業財産権]

出願状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究代表者

松尾 俊寛 (MATSUO, Toshihiro)

阿南工業高等専門学校・創造技術工学科・

准教授

研究者番号：80392124

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

河本 祥一 (KAWAMOTO, Shoichi)