

令和元年5月29日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2018

課題番号：25287049

研究課題名(和文)弦理論における多彩な対称性とその起源

研究課題名(英文)Various symmetries in string theory and their origin

研究代表者

加藤 光裕 (Kato, Mitsuhiro)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：80185876

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：重力を含む素粒子の相互作用を統一的に記述する基本理論を探索する共通の目標をベースにして、弦理論と場の理論における様々な対称性とそれに基づく物理的性質や代数構造などを理解することを目指し、各分担者の得意とする対象を題材に取って探求した。その結果、各テーマにおいて重要かつ有用な成果を得ることができた。特に目先の応用よりも今後の基礎となる知見を多く得ることができた。これらは、それぞれのテーマにおいての意義のみならず、相互に刺激し合うことで、他のテーマにもヒントを与えるものとなり、今後テーマ間の関係や理解の深化に役立つことが期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

主に基礎的な部分で長年の懸案であった問題に対して、解決あるいはその糸口を与えるような成果を得ることができた(共変的行列理論や開いた超弦の場の理論の定式化など)。また新しい解析手法の提案もできた(格子上の $N=2$  SYKモデルやフェルミオン行列式のゼロ点を境界に持つレフシツ・シンブルの経路積分への評価法など)。いずれも新たに解析が可能になったことで今後の成果が期待される。

研究成果の概要(英文)：We have obtained various important new results such as covariant formulation of the Matrix theory, complete action for superstring field theory, three-point function of  $N=4$  supersymmetric Yang-Mills theory, lattice formulation of  $N=2$  SYK model and extended string field theory for massless higher-spin fields.

研究分野：素粒子論、弦理論、場の理論

キーワード：行列理論 弦の場の理論 超対称性 符号問題 高階スピン SYKモデル 非局所演算子 南部力学

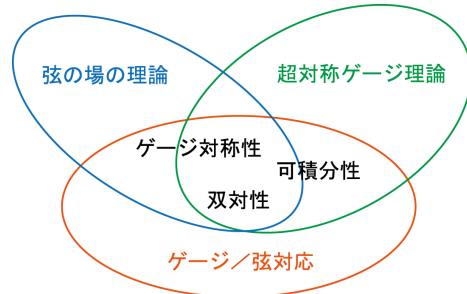
## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

弦理論の研究は、様々な角度からの研究の蓄積により、30年近く前の「第1次スーパーstring革命」の時代には予想もできなかった極めて豊かな構造が明らかにされ、最近ではゲージ/弦対応の様々な物理系への応用など、基本理論としての役割に留まらない広がりを見せている。その一方で、弦理論の背後にある基本原理やその非摂動的な定式化など、長年来の根本問題も依然として残されていた。

### 2. 研究の目的

本研究は、応用面よりも、弦理論の基本的な問題に焦点をあて、弦理論とは何かをその本質から探ろうとするものである。その際に鍵となるのは、弦理論特有の無限次元ゲージ対称性、様々な双対性や可積分性、そして背景非依存性である。また、こういった性質が顕著に現れ、重要な役割を果たすいくつかの物理的シチュエーション、すなわちゲージ/弦対応や弦の場の理論の量子論的解析などの具体的諸問題に各分担者の専門性を生かして取り組み、個別の知見と全体的統合的分析との相互作用によって一段掘り下げた深い理解を目指すものである。



### 3. 研究の方法

これまでの研究背景や方法論も違う6名のチームであり、ここに個別の方法を詳述する余裕はないが、個々の分担研究において当然研究の方法は異なっている。それを現在同一の研究機関に属しているメリットを生かして、互いに刺激し合い相互作用することで、今まで気がつかなかったような新たな視点や方法論を開発することで、より一層高い見地から研究を進めることができる。

個々のテーマにおいても、小手先の応用ではなく、それを解明することで本質が明確になるような根本的な問題や長年の未解決問題などの重要な課題に正面からアタックすることを、各分担研究においても主眼とすることを分担者間の共通認識として取り組んだ。

### 4. 研究成果

弦理論や量子重力におけるいくつかの重要な未解決問題に対して、解決あるいは解決への糸口を与えるような結果を得ることができた。例えば、

- Matrix理論の11次元共変性が明白な定式化の成功および南部力学のハミルトン・ヤコビ形式の提唱
- 超開弦の場の理論のラモンセクターを含む完全な定式化

また、多くの研究者の関心を集めるホットな研究対象に対して、新たな解析方法や定式化を与えることにも成功した。例えば、

- フェルミオン行列式のゼロ点を境界に持つレフシッツ・シンブルの経路積分への評価法
- N=2 SYK 模型の格子上での定式化
- ゼロ質量の高階スピンをスペクトルに持つ拡張された弦の場の理論の構成

さらには、これまでの初期段階の解析に比べてより深い理解を与えることに成功した。例えば、

- ディスオーダー型非局所演算子の定義とそれらがなす代数構造の決定
- N=4 超対称ヤン・ミルズ理論の強結合領域も含む3点関数の決定

などである。いずれも各テーマにおいて重要な成果であって、その結果を生かした今後のさらなる発展が期待されるとともに、相互の刺激効果によって新しい方向性を見出す可能性も醸成されたことを付記しておく。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 25 件)

- [1] [Mitsuhiro Kato](#), Makoto Sakamoto and Hiroto So, A lattice formulation of the N=2 supersymmetric SYK model. PTEP 2018 (2018) 121B01. 査読有 doi:10.1093/ptep/pty128
- [2] [Mitsuhiro Kato](#), Makoto Sakamoto and Hiroto So, Non-renormalization theorem in a lattice supersymmetric theory and the cyclic Leibniz rule. PTEP 2017 (2017) 043B09. 査読有 doi:10.1093/ptep/ptx045
- [3] [Tamiaki Yoneya](#), Covariantized matrix theory for D-particle. JHEP 1606 (2016) 58. 査読有 doi:10.1007/JHEP06(2016)058
- [4] Hiroshi Kunitomo and [Yuji Okawa](#), Complete action for open superstring field theory, PTEP 2016 (2016) 023B01. 査読有 doi:10.1093/ptep/ptv189
- [5] [Y. Kazama](#), S. Komatsu and T. Nishimura, Novel construction and the monodromy relation for three-point functions. JHEP 1501 (2015) 95. 査読有 doi:10.1007/JHEP01(2015)095

[6] N.Drukker, T.Okuda and F.Passerin, Exact results for vortex loop operators in 3d supersymmetric theories, JHEP 1407 (2014) 137. 査読有 doi:10.1007/JHEP07(2014)137

〔学会発表〕(計 29 件)

[1] Tamiaki Yoneya, "Generalized Hamilton-Jacobi Theory of Nambu Mechanics," Sugawara Symposium on Fundamental Problems in Theoretical Physics, 2018

[2] 加藤光裕, "Taming Lattice SUSY," 駒場研究会「弦・場・素粒子」2017

[3] Yuji Okawa, "Complete formulations of superstring field theory," Quantum Gravity, String Theory and Holography, 2017

[4] Takuya Okuda, "SUSY localization and  $tt^*$  amplitudes," Gauge theories, supergravity and superstrings, 2015

[5] Yoshio Kikukawa, "Hybrid Monte Carlo on Lefchetz thimbles -A study of the residual sign problem," International Workshop on the Sign Problem in QCD and beyond, 2014

〔図書〕(計 5 件)

[1] 風間洋一, 「宇宙の統一理論を求めて」2016, 岩波書店, 365 頁

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 米谷民明

ローマ字氏名: Tamiaki Yoneya

所属研究機関名: 東京大学

部局名: 大学院総合文化研究科

職名: 名誉教授

研究者番号(8桁): 10091521

研究分担者氏名: 風間洋一

ローマ字氏名: Yoichi Kazama

所属研究機関名: 東京大学

部局名: 大学院総合文化研究科

職名: 名誉教授

研究者番号 (8桁): 60144317

研究分担者氏名: 菊川芳夫

ローマ字氏名: Yoshio Kikukawa

所属研究機関名: 東京大学

部局名: 大学院総合文化研究科

職名: 教授

研究者番号 (8桁): 20252421

研究分担者氏名: 大川祐司

ローマ字氏名: Yuji Okawa

所属研究機関名: 東京大学

部局名: 大学院総合文化研究科

職名: 教授

研究者番号 (8桁): 10466823

研究分担者氏名: 奥田拓也

ローマ字氏名: Takuya Okuda

所属研究機関名: 東京大学

部局名: 大学院総合文化研究科

職名: 助教

研究者番号 (8桁): 90595646

## (2)研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。