

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2005～2008

課題番号：17540254

研究課題名 (和文) 量子重力の構成と超弦理論の非摂動的な研究

研究課題名 (英文) Investigation of nonperturbative formulation of quantum gravity and string

研究代表者

二宮 正夫 (NINOMIYA MASAO)

岡山光量子科学研究所・所長

研究者番号：40198536

研究成果の概要 (和文)：

本研究計画で得られた成果を箇条書き的に次にまとめる；

- (1) 量子重力と超初期宇宙論に応用し、熱力学の第 2 法則—エントロピー増大則を含めて、統一的に研究する方法を見出した。(研究代表者と海外協力研究者との共同研究)
- (2) 超弦の場の理論の新しいモデルを提唱し、これが正しい質量スペクトルと Veneziano 振幅を導くことを示した。(同上)
- (3) スカラー場の負エネルギー解を、新たに Boson sea の方法で定式化した。(同上)
- (4) 量子力学を超初期宇宙論に応用する際、新しい量子力学の解釈を提唱した。最近の Transactional 解釈と少し共通点がある。(同上)
- (5) 超弦理論の格子的非摂動定式化としてタイプ II B 行列理論を一層詳細に研究し、深化させた。(共同研究者：川合光)。

研究成果の概要 (英文)：

We briefly summarize our main results obtained in this research project;

- (1) In order to use the quantum gravity to very early universe theory, we developed a method by unifying the quantum gravity with the 2nd law of thermodynamics, i.e. non decreasing of entropy. (M. Ninomiya and H. B. Nielsen at NBI.)
- (2) As a new superstring field theory, we proposed a new model and showed that this model reproduces the correct mass spectrum and the Veneziano amplitude. (the same as above)
- (3) In scalar field theory, there appear negative energy solutions. We proposed how to treat them as boson sea. (the same as above)
- (4) When applying quantum mechanics to very early universe, we proposed to use a new interpretation of quantum mechanics which is a little similar to recently developed "Transactional interpretation". (the same as above)
- (5) H. Kawai worked out in detail the model called type II B matrix theory which is a kind of lattice model of superstring. He published many interesting papers.

一交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	900,000	0	900,000
2006年度	800,000	0	800,000
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,400,000	510,000	3,910,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子論，超初期宇宙論，量子重力，超弦理論，超弦の場の理論，II B 行列理論
非摂動的定式化，Transactional 解釈

1. 研究開始当初の背景

自然界の超ミクロの世界は、素粒子の標準理論がよく記述することが判明し、そのため 21 世紀に入り、より一層基本となる統一理論の研究が盛んとなっていた。この統一理論のおそらく唯一の、そして最も可能性のあるのが超弦理論である。さらに重力の理論においては量子化が極めて困難であるが、その一方宇宙物理学の理論、観測の進展とともに量子重力が直ちに必要となってきた。超弦理論には自然に重力を含む 4 つの自然界の基本的な力が統一的に記述されている。しかしながら、超弦理論の完成には、摂動論的直空によらない非摂動的定式化が必要なことが明確となっていた。これを完成させるにはしばらくの年月を必要とするだろう。このため重力を単独で宇宙論に応用できるように量子化を遂行しておく必要があるのである。

研究代表者の二宮正夫と分担者の川合光は、これら二つの研究において実績を積んできて、共同研究を行ってきた。

本研究計画を立てる前年に、二宮と川合は共同で、超初期宇宙に対する新しいモデル—サイクリック宇宙論を超弦理論と場の理論に基づき提唱した。また二宮は、海外研究協力者のデンマーク・コペンハーゲン大学附属ニールス・ボーア研究所のホルガー・ベック・ニールセン教授との共同研究を長年にわたり行い、量子重力の格子理論や、超弦の場の理論の新しいモデルを発表してきた。共同研究者の川合は、超弦の一種の格子理論を、共同研究者と共に、タイプ II B 行列理論として発表していた。以上はすべて重力と超弦理論の非摂動的研究に関するものである。

海外においては、プリンストン高等研究所、プリンストン大学、ハーバード大学、カリフォルニア・サンタバーバラのカブリ理論物理

学研究所、ジュネーブの CERN、パリのエコールノルマルスーペリオール等において D-ブレーンや、AdS-CFT デュアリティーなどの超弦理論の非摂動的研究が 1990 年代半ばから精力的に研究発展させられてきていた。我々は、上記の我々のそれまでの研究を基に、本研究計画において重力の量子論と超弦理論を独自に発展させようとしたものである。

2. 研究の目的

上記項目 1 に詳述したように、重力と超弦理論の非摂動的定式化とその研究を一層推進し、これらの発展を目指すと共に、超初期宇宙など、観測できるであろう研究領域に応用することを目的とした。

代表者の二宮は、超弦の非摂動的理論である超弦の場の理論を構成するために、これまで知られている Kaku—吉川の Light—cone ゲージの超弦の場の量子論ではなく、共変的な超弦の場の量子論の構成を目指した。そのために、まず、超弦の変数 $X^{\mu}-26$ ないしは 10 個のスカラー場が負のエネルギー解を有するので、その新しい理論の構成を目指した（主な発表論文：1, 4, 12）。また、量子重力の超初期宇宙への適用として宇宙エントロピー（熱力学の第 2 法則）の研究を目指した（同上：5, 6, 7）。

川合は自身と共同研究者が作った超弦の行列理論から、時空がいかんしてあらわれるかの研究（同上：2, 3, 8, 9）やゲージ理論と重力理論の対応の研究を遂行した（同上：13）。

3. 研究の方法

研究代表者の二宮は、海外協力研究者のホ

ルガー・ベック・ニールセン教授と共同で共变的な (Light-cone ゲージをとらない) 超弦の場の理論において必然的に生じる弦の変数 X^μ -スカラー場の負のエネルギー解を扱う新しい Boson sea の理論を開発し、様々な応用を考察した。また、量子重力の超初期宇宙への適用法として、他の基本的物理法則と熱力学の第2法則のエントロピー増大則を統一的に適用するように作り上げた。さらに超弦の場の理論の新しいモデルとして、以前に発表したものを発展させて、Right-moving と Left-moving の X^μ モードを独立な基本構成要素として超弦の場の理論を構成する方法を考察した。このモデル・方法から実際に通常の超弦の第一量子論を持つ質量スペクトルを導出できることを示した。さらに、我々のモデルから Veneziano 振幅を導出できることを示した。共同研究者の川合は、主として、彼自身が提唱した一種の格子理論の IIB 行列理論の詳しい性質を調べた。

4. 研究成果

本研究計画の目的に概ね達成され、以下のような成果が得られた。

・研究代表者二宮

(1) 量子重力に関しては、超初期宇宙論への応用として、海外協力研究者のニールス・ボーア研究所 ホルガー・ベック・ニールセン教授と共同で宇宙物理に適用し、熱力学の第2法則のエントロピー増大則との関連を研究し、これらを統一的に適用する方法を提唱した論文を数編発表した。

(2) 超弦理論の非摂動的定式化として、弦の生成・消滅を記述できる超弦の場の理論の新しいモデルを提唱した。つまり、基本構成要素として、弦の座標 $X^\mu - 10$ または 26 個のスカラー場を Right-moving と Left-moving に分解する。そしてこれらを独立な変数として、場の理論を構成する。この新しいモデルから通常の超弦の第一量子論の質量スペクトルを導出することができた。さらに、超弦理論に必要な Veneziano 振幅も導出することができた。したがって我々の新しい超弦の場の理論は正しい道を進んでいると信じられる。これから、このモデルのダイナミクスを詳細に研究する計画である。これまでに得た結論は現在論文として執筆中である。

(3) 超弦理論を Light-cone ゲージを用いずに定式化するとき、必ずスカラー場 X^μ は負のエネルギー解を有し、このことが大きな問題であった。それを避けるのが一つの大きな理由で Light-cone gauge を採用した Kaku-吉川の Light-cone String Field Theory が成功しているのである。我々はこのスカラー場の負のエネルギー解を適切に処理する Boson

Sea の理論を展開し、数編の論文を出版した。(4) また、これらの研究を進める中で、宇宙論において量子力学を適用する際、新しい解釈: Wheeler-Feynman に端を発して最近大きな進歩を見せた Transactional interpretation に近いが必ずしも一致していない新しい量子力学の解釈理論に達した。これらの結果は現在論文にまとめている。(5) 共同研究者の川合光は自ら共同研究者と共同で提唱したタイプ IIB 行列理論—これは超弦理論の一種の格子化モデル—を詳細に研究し、多くの成果を論文として発表した。

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 17 件)

1. 二宮正夫, Holger B. Nielsen, 羽原由修
“Hole Theory of Boson Sea” e-Print Archive: hep-th/0504173. 1-25 (2005), 査読有
2. 川合光, S. Bal, 花田勝則, 久保福一郎:
“Fuzzy Torus in Matrix Model” Nuclear Physics B727. 196-217 (2005), 査読有
3. 川合光, 花田勝則, 木村祐介: “Describing Curved Spaces by Matrices” Progress of Theoretical Physics 114. 1295-1316 (2006) 査読有
4. 二宮正夫, Holger B. Nielsen, 羽原由修:
“Supersymmetric relativistic quantum mechanics” International Journal of Modern Physics A21. 1333-1340 (2006), 査読有
5. 二宮正夫, Holger B. Nielsen: “Law Behind Second Law of Thermodynamics-Unification with Cosmology-” Journal of High Energy Physics 603. 57 (2006), 査読有
6. 二宮正夫, Holger B. Nielsen: “Intrinsic Periodicity of Time and Non-maximal Entropy of Universe” International Journal of Modern Physics A21. 5151-5162 (2006), 査読有
7. 二宮正夫, Holger B. Nielsen:
“Unification of Cosmology and Second Law of Thermodynamics: Solving Cosmological Constant Problem, and Inflation” Progress of Theoretical Physics 116. 851-871 (2007), 査読有

8. 川合光, 花田勝則, 久保福一郎 et al:
“Phase structure of the large-N reduced gauge theory and generalized Weingarten model” Progress of Theoretical Physics 115. 1167-1177(2006), 査読有
9. 古田 黄, 川合 光, 他2名: “Field Equations of Massless Fields in the New Interpretation of the Matrix Model” Nucl. Phys. B 767. 82-99 (2007), 査読有
10. H.B.Nielsen, 二宮正夫: “Search for Effect of Influence from Future in Large Hadron Collider” Int. J. Mod. phys. A23. 919-932 (2008), 査読有
11. Holger B.Nielsen, 二宮正夫: “Test of Influence from Future in Large Hadron Collider;AProposal” arXiv:0802.2991.1-33 (2008), 査読有
12. 羽原 由修, 永谷 幸則, Holger B. Nielsen, 二宮正夫: “Dirac Sea and Hole Theory for Bosons I--A new formulation of quantum field theories--” Int. J. Mod. Phys. A23. 2733-2769 (2008), 査読有
13. 畦柳 竜生, 花田 勝則, 川合 光, 松尾 善則: “Worldsheet Analysis of Gauge/Gravity Dualities” Nucl. Phys B816. 278-292 (2009), 査読有

[学会発表] (計1件)

二宮正夫 “Complex action, prearrangement for future and Higgs broading” 10th Workshop on What Comes Beyond the Standard Model (2007-7-17), Bled, Slovenia

6. 研究組織

(1) 研究代表者

二宮 正夫 (NINOMIYA MASAO)

研究者番号: 40198536

(2) 研究分担者

川合 光 (KAWAI HIKARU)

研究者番号: 80211176

(3) 連携研究者

()

研究者番号: