

平成22年 4月 1日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2009

課題番号：18540264

研究課題名（和文）超弦のダイナミクスと素粒子の統一理論

研究課題名（英文）Dynamics of superstring and unification of elementary particles

研究代表者

川合 光 (Hikaru KAWAI)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：80211176

研究成果の概要（和文）：超弦理論を構成的に定義することによって、例えば格子ゲージ理論におけるように、いろいろな物理量が少なくとも原理的には可能な数値計算によって求まるようし、重力まで含めた究極の統一模型を構築することを目的とする。具体的には、その有力な候補である行列模型を解析的・数値的両面の様々な角度から解析し、超弦理論のダイナミクスを理解し、究極の理論の構築に迫った。

研究成果の概要（英文）：This research aims to define superstring theory constructively, so that various physical quantities can be obtained by numerical calculations that are possible, at least in principle, as in lattice gauge theory. Matrix model is a promising candidate of such formulation. We have analyzed its various aspects by using both analytical and numerical methods, and made some progress towards the construction of the theory of everything.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	900,000	270,000	1,170,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：物理学

科研費の分科・細目：4301

キーワード：超弦理論、素粒子論、行列模型、統一理論、量子重力

1. 研究開始当初の背景
標準模型が確立した現在、重力まで含めた究極の統一理論を追求しようというのはごく自然な試みである。そのもっとも有力な候補が超弦理論であるが、今のところ完全な定式

化は知られていない。その有力な候補が行列模型であるが、理論の単純さにもかかわらず、その振る舞いはきわめて複雑である。行列模型の構造を徹底的に解析し、弦理論のダイナミクスを理解していくのが上記の究極の理

論を構築するための王道であると思われる。

2. 研究の目的

(1) 超弦理論を構成的に定義することによって、例えば格子ゲージ理論におけるように、いろいろな物理量が少なくとも原理的には可能な数値計算によって求まるようし、重力まで含めた究極の統一モデルを構築することを目的とする。

(2) 具体的には、次の2つのことを同時進行させる。ひとつは、IIB 行列模型を数值的、あるいは解析的な手法によって解いてしまおうという試みであり、もうひとつは、IIB 行列模型よりももっと基本的な理論を探ることである。行列模型を解析する手法を開発して実際に解くことにより、真空の構造を探りながら、対称性や幾何学的な構造などを手がかりとして、より深く自然な模型を追求する。

(3) 以上のほかにも、行列模型と超弦理論の関係を多種多様な側面から解析し、ダイナミクスを解明し、究極の理論の構築に迫る。

3. 研究の方法

数値的および解析的な考察を並行して進める一方で、研究会、セミナーなどを通じて、各地の素粒子物理、場の理論、物性理論、宇宙論、数理論理などの専門家たちと幅広く交流することによって、新しい視点を開き問題を解決した。

4. 研究成果

(1) IIB 行列模型を数値的および解析的な手法によって分析した。具体的には、平均場近似に対する高次補正を計算し、行列の固有値分布をもとめ、時空が力学的に生成される様子を調べた。このような計算により、どのような時空次元がより安定であるかが吟味できるようになる。まだ確定的ではないが、我々の結果は4次元時空がもっとも安定であることを示唆している。これは、なぜ我々の時空が4次元であるかに超弦理論から答えうることを示しており、非常に興味深い。

(2) 行列によって、どのようにして曲がった時空が記述できるかを調べた。その第1歩として、行列を多様体上の正則表現に値をもつ場に対する線形作用素とみなすことにより、D個の行列のなす空間が任意のD次元多様体を含んでいることがわかった。行列をこのように解釈すると、IIB 行列模型における経路積分は10次元以下のすべての時空を

含んでいることになり、そのうちのもっとも安定なものとして我々の4次元時空が実現されているという、時空に対する新しい解釈が得られる。また、IIB 行列模型の古典的な運動方程式は自然にアインシュタイン方程式を再現していることがわかった。

(3) 弦理論の様々な摂動論的真空が行列模型によってどのように実現されているかを調べた。特に、IIB 行列模型の真空として10次元の typeIIA 理論が現れるメカニズムを発見した。まだ最終的な結論には達していないが、これが完成すれば、IIB 行列模型が確かに超弦理論の構成的定式化になっていることの証明となるだけでなく、large-N 極限のとり方を具体的にきめることができ、非常に興味深い。

(4) 行列模型と超弦理論の対応をゲージ重力対応の立場から再構築した。具体的には、いわゆるゲージ重力対応が拡張されたスケール不変性の帰結として自然に成り立つことを示し、任意次元において行列模型と超弦理論が対応していることを示した。

(5) Alday と Maldacena により、重力側での T-duality が議論され、ゲージ重力対応の新たな側面が見出されたが、これに対し、ゲージ理論側で T-duality を解釈すると、ゲージ理論における large-N reduction に他ならないことがわかった。これは、ゲージ重力対応も IIB 行列模型に内包されていることを示しており、大変興味深い。

(6) 行列模型における一般相対論的不変性の解析をさらに進め、行列模型や力学的単体分割をはじめとする random geometry が粘弾性と同じユニバーサルティをもつことを示した。これは、よく知られた場の量子論とスピン系の統計力学の関係を量子重力に拡張したものであり、応用として粘弾性体の時間発展を記述する普遍的な方程式を導くなど、さまざまな発展が期待できる。

(7) ゲージ理論における large-N reduction が曲がった時空上で成り立つかどうかを調べた。特に群多様体およびその上の剰余空間においては large-N reduction が完全に成り立つことを示した。これは、上記(2)の行列模型による曲がった時空の記述とも密接に関係しており、この方向の理論が完成した暁には、宇宙初期の時空構造をはじめ、今までの理論では考察できなかった時空の根本的構造にせまることができるようになると思われる。

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 13 件)

Hikaru Kawai, Shinji Shimasaki,
Asato Tsuchiya,
Large N reduction on coset spaces,
Phys.Rev. D81:085019, 2010.

Tatsuo Azeanagi, Masafumi Fukuma,
Hikaru Kawai, Kentaroh Yoshida,
Universal description of
viscoelasticity with foliation
preserving diffeomorphisms,
Phys.Lett. B681:290-295, 2009.

Tatsuo Azeanagi, Masanori Hanada,
Hikaru Kawai, Yoshinori Matsuo,
Worldsheet Analysis of Gauge/Gravity
Dualities,
Nucl.Phys. B816 :278-292, 2009.

Hikaru Kawai, Matsuo Sato,
Perturbative vacua from IIB matrix
Model,
Int. J. Mod. Phys. A23:2279-2280, 2008.

Hikaru Kawai, Takao Suyama,
Some Implications of Perturbative
Approach to AdS/CFT Correspondence.
Nucl.Phys. B794:1-12, 2008.

Hikaru Kawai, Matsuo Sato,
Perturbative vacua from IIB matrix
Model,
Phys.Lett. B659:712-717, 2008.

Hikaru Kawai, Takao Suyama,
AdS/CFT correspondence as a consequence
of scale invariance,
Nucl.Phys. B789:209-224, 2008.

Hikaru Kawai,
Curved space-times in matrix models,
Prog.Theor.Phys. Suppl. 171:99-109, 2007.

Ko Furuta, Masanori Hanada,
Hikaru Kawai and Yusuke Kimura,
Field equations of massless fields in
the new interpretation of the matrix
model,
Nucl.Phys. B767:82-99, 2007.

M. Hanada, H. Kawai, T. Kanai, F. Kubo,
Phase structure of the large-N reduced

gauge theory and generalized Weingarten
model,
Prog.Theor.Phys. 115:1167-1177, 2006.

T. Aoyama and H. Kawai,
Higher order terms of improved mean
field approximation for IIB matrix
model and emergence of four-dimensional
space-time,
Prog.Theor.Phys. 116:405-415, 2006.

T. Aoyama, H. Kawai and Y. Shibusa,
Stability of 4-dimensional space-time
from IIB matrix model via improved mean
field approximation,
Prog.Theor.Phys. 115:1179-1187, 2006.

Masanori Hanada, Hikaru Kawai,
Yusuke Kimura,
Curved superspaces and local
supersymmetry in supermatrix model,
Prog.Theor.Phys. 115:1003-1025, 2006.

[学会発表] (計 5 件)

川合光, 松尾俊寛
Dense strings and Schwarzschild black hole
日本物理学会, 2010年3月21日, 岡山大学

岩崎皓, 川合光, 島崎信二
曲がった空間上での行列模型と場の理論の
対応関係について
日本物理学会, 2010年3月21日, 岡山大学

Hikaru Kawai,
Symposium on "Numerical approaches to
AdS/CFT, large N and gravity",
Sept 29, 2009, Imperial College London.

佐藤松夫, 川合光
Perturbative Vacua from IIB Matrix Model
日本物理学会, 2008年3月25日, 近畿大学

Hikaru Kawai,
Symposium on "Random Matrix Theory",
May 16, 2007, Niels Bohr Institute,
Copenhagen

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川合 光 (Hikaru KAWAI)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号 : 80211176