

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 25 日現在

機関番号：11101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25800122

研究課題名(和文) M理論の3代数模型における4次元時空生成とインフレーション

研究課題名(英文) The four-dimensional spacetime and inflation from 3-algebra model of M-theory

研究代表者

佐藤 松夫 (SATO, Matsuo)

弘前大学・教育学部・准教授

研究者番号：70448075

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：M理論の3代数模型における時空を同定するためには、他の3代数模型との比較を行うことによって、時空としてふさわしい共通の構造を見つけることが有用である。そこで、他にも超対称3代数模型が構成できるかどうか調べ、IIB行列模型、BFSS行列理論を超対称3代数模型に拡張することに成功した。また、M理論の3代数模型における時空の数学的構造を調べた。特に、南部3代数について体積要素を保つ微分同相写像の独立基底を分類し、面積要素を保つ微分同相写像を3つ含むことを示した。

研究成果の概要(英文)：In order to identify the spacetime in the 3-algebra model of M-theory, it is useful to find common structures suitable for the spacetime, by comparing to the other 3-algebra models. Then, we examined whether we can construct the other supersymmetric 3-algebra models, and we succeeded to extend IIB matrix model and BFSS matrix model to supersymmetric 3-algebra models. We also examined mathematical structures of the spacetime in the 3-algebra model of M-theory. Especially, we classified independent basis of the volume preserving diffeomorphism in the Nambu 3-algebra and we showed that the diffeomorphism includes three area preserving diffeomorphisms.

研究分野：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：M理論 行列模型 3代数 超弦理論

1. 研究開始当初の背景

様々な証拠から超弦理論を非摂動論的に定式化する M 理論が存在すると考えられている。BFSS 行列理論は M 理論の IMF 極限 (11 次元時空の一つの方向に光速に近づく速さでローレンツブーストをする極限)を表す有力なモデルである。この極限では IIA 超弦理論の D0 ブレーンのみが自由度として生き残るので、BFSS 行列理論は D0 ブレーンを基本変数として定式化される。しかし、完全な M 理論の記述のためには supermembrane を基本変数とする行列モデルが必要である。

私は supermembrane を基本変数とする M 理論の 3 代数モデル (行列モデルの一つ)の作用を構成した。手法は、超弦理論の非摂動論的定式化のもう一つの有力な候補である IIB 行列モデルの作用を構成するのに用いられるのと同じものを用いた。supermembrane を基本変数とする行列モデルを得るために 11 次元 Green-Schwartz supermembrane 作用から出発した。この作用の対称性を semi-light-cone gauge $_{012} =$ に固定することで volume preserving diffeomorphism (VPD)対称性を持つ 0 次元 3 代数ゲージ理論を得た。この理論はゲージ理論の一つなので行列表現ができて、ブロック対角部分の集まりとして多体系を表すことができる。よって、この作用はこれまでの行列モデルと同様に多体系のダイナミクスを記述できると期待される。この作用の VPD 代数を有限な 3 代数で置き換え、その N 無限大極限をとることで M 理論の 3 代数モデルが定義される。

2. 研究の目的

本研究では、M 理論の 3 代数モデルからダイナミカルに 4 次元時空が生成されるかどうか、つまりこのモデルが非摂動論的な効果を持つかを判定する。さらにインフレーション初期に対する予言を得る。

本研究で肯定的な結果が出れば、さらに研究を進めることでインフレーションのさらなる情報を得て、これまで不可能であった観測値に対する、M 理論、ストリング理論からの予言をすることができる。例えば、インフレーション後期の宇宙の大きさの時間発展の情報を得ることで宇宙の観測で得られる CMB の B mode から読み取れる情報と比較することができ、予言が正しいかどうか判定できる。

3. 研究の方法

M 理論の 3 代数モデルにおける時空を同定するためには、他の 3 代数モデルとの比較を行うことによって、時空としてふさわしい共通の構造を見つけることが有用である。そこで、他にも超対称 3 代数モデルが構成できるのかどうか調べる。

時空を表す 3 代数を体系的に研究するため、Hermitian 3-algebra を Hermitian Freudenthal Kantor triple system (HFKTS)に拡張する。その際、この 3 代数を展開できる冪零基底を見つける。

4. 研究成果

(1) IIB 行列モデル、BFSS 行列理論を 3 代数モデルに拡張することに成功した。また、IIB 行列モデルを 4 代数モデルに拡

張した。このモデルは IIB 行列模型由来の 10 次元と、Lie 代数を 4 代数に拡張したことによる 2 次元を表す 12 個のボゾンの行列を変数に持ち、超対称性は IIB 超弦理論と同じなので F 理論を記述すると期待される。

(2) M 理論の 3 代数模型から 4 次元時空を導出するためには、3 代数の構造をよく理解する必要がある。そのため、3 代数の拡張である、Hermitian-Freudenthal-Kantor triple system (HFKTS) の数学的構造について調べた。結果、HFKTS の tripotent basis での展開や、Peirce 分解に関する基本的な構造定理を得た。また、M 理論の 3 代数模型の $u(N)+u(M)$ エルミート 3 代数を $*$ -generalized Jordan triple system (GJTS) に拡張することに成功した。この GJTS を場の理論に適用すると、チャーンサイモンゲージ理論になり、ある極限では novel Higgs mechanism が働いて、ヤンミルズ理論に帰着することを示した。

(3) 3 代数の拡張である、Hermitian generalized Jordan triple systems (HGJTSs) の数学的構造について調べた。結果、最も単純な HGJTS を場の理論に適用すると、基本表現の物質をもつ典型的な $u(N)$ チャーンサイモンゲージ理論になることを示した。また、双線形形式に基づく HGJTS を構成した。この 3 代数を場の理論に適用すると、チャーンサイモンゲージ理論になり、ある極限では novel Higgs mechanism が働いて、ヤンミルズ理論に帰着することを示した。

(4) 南部ブラケットの量子化、正則化

は南部氏が南部ブラケットを提案して以来 40 年来の重要な問題である。また、M 理論の 3 代数模型の一体状態の古典極限が supermembrane 作用に帰着することを証明するのにも正則化は必要である。最近見つかった Hermitian 3-algebra は高い対称性と M2 ブレーンとの関係により、南部 3 代数の正則化の有力な候補ではあるが、まだ正則化になっていることは示されていない。南部 3 代数については、volume preserving diffeomorphism の独立基底を分類し、area preserving diffeomorphism を 3 つ含むことを示した。

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 8 件)

[1] Noriaki Kamiya and Matsuo Sato, “ A class of hermitian generalized Jordan triple systems and Chern-Simons gauge theory ” Modern Physics Letters A 29 (2014) 1450156、pp.1-7、2014 査読有
DOI: 10.1142/S0217732314501569

[2] Matsuo Sato, “ On the Structure Constants of Volume Preserving Diffeomorphism Algebra ” The European Physical Journal C 74 (2014) 2878、pp.1-4、2014 査読有
DOI: 10.1140/epjc/s10052-014-2878-3

[3] Noriaki Kamiya and Matsuo Sato, “ Hermitian generalized Jordan

triple systems and certain applications to field theory”
International Journal of Modern Physics A 29 (2014) 1450071、pp.1-13、2014 査読有
DOI: 10.1142/S0217751X14500717

[4] Noriaki Kamiya and Matsuo Sato, “ Hermitian triple systems associated with bilinear forms and certain applications to field theory ”
Hadronic Journal 37 (2014) 、 pp.131-147、2014 査読有
<http://www.hadronicpress.com/HJVOL/ISSIndex.php?VOL=37&Issue=2>

[5] Noriaki Kamiya and Matsuo Sato, “ Hermitian()-Freudenthal-Kantor Triple Systems and Certain Applications of *-Generalized Jordan Triple Systems to Field Theory ”
Advances in High Energy Physics 2014 (2014) 310264、pp.1-7、2014 査読有
DOI: 10.1155/2014/310264

[6] Matsuo Sato, “ Three-Algebra BFSS Matrix Theory ”
International Journal of Modern Physics A 28 (2013) 1350155、pp.1-12、2013 査読有
DOI: 10.1142/S0217751X13501558

[7] Matsuo Sato, “ Extension of IIB Matrix Model by Three-Algebra ”
International Journal of Modern Physics A28 (2013) 1350083、pp.1-9、2013 査読有

DOI: 10.1142/S0217751X13500838

[8] Matsuo Sato, “ Four-algebraic extension of the IIB matrix model ”
Progress of Theoretical and Experimental Physics、 2013 (2013) 073B04、pp.1-7、2013 査読有
DOI: 10.1093/ptep/ptt054

〔学会発表〕(計 1件)

佐藤 松夫、 “ Triple systems and applications to field theories ”、RIMS研究集会 計算機科学における論理・代数・言語、2014年2月18日、京都大学 数理解析研究所(京都府京都市)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

佐藤 松夫 (SATO, Matsuo)
弘前大学・教育学部・准教授
研究者番号 : 70448075