

氏 名 本間 良則

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1499 号

学位授与の日付 平成 24 年 3 月 23 日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 素粒子原子核専攻  
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 BRANE DYNAMICS IN M-THEORY

論文審査委員 主 査 教授 北澤 良久  
教授 磯 暁  
教授 小玉 英雄  
准教授 西村 淳  
講師 溝口 俊弥  
教授 初田 真知子 順天堂大学

## 論文内容の要旨

We discuss recent developments in M-theory and low energy effective theories of M-theory branes. This thesis consists of three parts. In part I, we briefly review the foundations of M-theory. Especially we take a look at M2-brane and M5-brane solutions in 11-dim supergravity and their implications to dual CFTs through the AdS/CFT correspondence. In part II, we summarize the recent progress on the low energy effective theories of M2-branes and M5-branes with particular emphasis on the role of the Lie 3-algebra. In part III, we provide more details about M-theory branes and its reduction to D-branes in string theory. Part III is the main part of this thesis and is based on the author's works.

In order to understand the nonperturbative aspects of superstring theory, it is essential to investigate the dynamics of M-theory and its branes. In modern perspective, it is known that there are two types of description about M2-branes. One is the Bagger-Lambert-Gustavsson (BLG) theory based on a novel gauge structure, Lie 3-algebra and the other is the Aharony-Bergman-Jafferis-Maldacena (ABJM) theory based on two Chern-Simons theories with four bifundamental matter multiplets.

In this thesis, we mainly consider the relationships between BLG theory and ABJM theory. There are two types of Lie 3-algebras classified by the metric of generators, namely Euclidean and Lorentzian. We first explain the general reduction of the Lorentzian-BLG (L-BLG) theory to D2-brane theory and confirm that the L-BLG theory can be regarded as a reformulation of D2-brane theory. However, such a formulation of the L-BLG theory in terms of ordinary gauge theory enables us to connect this theory to the ABJM theory.

Then we see that the 3d  $N=8$  BLG theory based on the Lorentzian type 3-algebra can be derived by taking a certain scaling limit of 3d  $N=6$   $U(N)_k \times U(N)_{-k}$  ABJM theory whose moduli space is  $\text{Sym}^N(C^4/Z_k)$ . The scaling limit which can be interpreted as the Inonu-Wigner contraction is to scale the trace part of the bifundamental fields and the axial combination of the two gauge fields. Simultaneously we scale the Chern-Simons level. In this scaling limit, M2-branes are located far from the origin of  $C^4/Z_k$  compared to their fluctuations and  $Z_k$  identification becomes a circle identification.

Furthermore, we show that the BLG theory with two pairs of negative norm generators is derived from the scaling limit of an orbifolded ABJM theory. The BLG theory with many Lorentzian pairs is known to be reduced to the Dp-brane theory via the Higgs mechanism, so our scaling procedure can be used to derive Dp-branes from M2-branes. We also investigate the scaling limits of various quiver Chern-Simons theories obtained from different orbifolding actions. Remarkably, in the case of  $N=2$  quiver CS theories, the resulting D3-brane action covers a larger region in the parameter space of the

complex structure moduli than the  $N=4$  quiver CS theories. How the  $SL(2,Z)$  duality transformation is realized in the resultant D3-brane theory is also discussed.

Moreover, we explain the recent progress on the application of Lie 3-algebra to M5-branes. For M5-branes, its nonabelian action has not been discovered due to the lack of understanding about consistent coupling between arbitrary number of tensor multiplets and Yang-Mills multiplets. Recently, however, it was suggested that the equations of motion of M5-branes can be constructed by using Lie 3-algebra. We describe its consistency with the known string dualities and confirm that the proposed system has to be modified to realize the dynamics of multiple M5-branes. We also comment about type IIA/IIB NS5-brane and Kaluza-Klein monopoles by taking various compactification cycles. Because both longitudinal and transverse directions to the worldvolume can be compactified in the proposed model, we can realize these systems. This situation is entirely different from the case of BLG theory. Realization of the moduli parameters in the U-duality group is also discussed.

## 博士論文の審査結果の要旨

本研究は、超弦理論の非摂動的な定式化と考えられるM理論に関する意欲的な研究である。重力理論を含めた素粒子の間に働く相互作用を矛盾なく統一し時空と物質を扱うとされる超弦理論は、摂動的な定式化は完成しているものの、その非摂動的な性質に関しては、いまだほとんど理解されていない。その中で、10次元超弦理論の強結合極限として提案された11次元M理論は、超弦理論の非摂動的振る舞いを記述する有効なモデルとして注目を集めている。

本間さんは、その学位論文において、M理論の非摂動的なソリトン解であるM2、およびM5ブレーンとよばれる広がった物体に着目することで、超弦理論の基本的な性質の一部を明らかにした。特に、これまで提案されていた多数のM2ブレーンを記述する二つの定式化（BLG理論とABJM理論）の間の具体的な関係を明らかにしたこと、その関係を通してM2ブレーンと超弦理論のD2ブレーンの間の関係を与えたこと、さらにM5ブレーンに関しても南部括弧を量子化したLie-3代数を使うことで超対称な共形理論を構成したことなど多彩な解析に基づく研究を展開している。これらは、M2、およびM5ブレーンの性質について大きな知見を与え、今後のM理論の発展に重要な寄与を与えている。

本研究は、これまでにレフェリー付専門雑誌に発表した5本の論文に基づく大作であり、高い学問的な知見を含んでいる。学位論文は、これらの背景となる基礎事項から始まり、これまでの研究成果を集大成してまとめたものである。またこの博士論文は完成された英語で書かれており、本間氏の高い語学能力をもうかがわせる。

以上のように、本間さんの提出した論文は、高い完成度で当該分野における新しい学問的な知見を切り開いており、学位論文としてふさわしいものであると認め、論文審査結果を合格と判定した。