

氏 名 中 村 真

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第503号

学位授与の日付 平成13年3月23日

学位授与の要件 数物科学研究科 加速器科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 Gauge Theory as Noncritical Strings

論 文 審 査 委 員 主 査 教授 北澤 良久  
教授 小林 誠  
教授 平田 光司  
教授 高田 耕治  
助教授 磯 暁  
教授 川合 光（京都大学）

## 論文内容の要旨

We consider bosonic noncritical strings as QCD strings and we present a basic strategy to construct them in the context of Liouville theory. We show that Dirichlet boundary conditions play important roles in generalized Liouville theory. Specifically, they are used to stabilize the classical configuration of strings and also utilized to treat tachyon condensation in our model.

At the beginning of the thesis, we review the relation between gauge theories and string theories, and we make basic presuppositions and assumptions for further discussion to construct QCD strings. Here "QCD strings" mean strings which describe four-dimensional non-SUSY large- $N$  pure Yang-Mills theory, where quarks are not dynamical. We assume that the boundaries of open QCD strings correspond to the Wilson loops in Yang-Mills theory. We consider a noncritical (four-dimensional) bosonic string as a natural candidate for such a QCD string. Noncritical strings, in the spacetime where the dimension is lower than one, can be consistently quantized in the framework of Liouville theory. Therefore, we attempt to generalize it to higher-dimensional cases. Namely, we consider a generalized Liouville theory as such a QCD string, and attempt to quantize it. In this thesis, the generalized Liouville theory is assumed to be the Liouville theory in general backgrounds.

One of the main problems here is the stabilization of the Liouville mode while preserving Weyl invariance. We discuss several ideas for it, and we find that we can stabilize the Liouville mode with Dirichlet boundary conditions. In general, Dirichlet boundary conditions for the Liouville mode break Weyl invariance on the world-sheet, because we have a dilaton which has non-trivial dependence on the Liouville mode. However, we point out that they maintain Weyl invariance, if an appropriate condition is satisfied. We obtain the criterion for consistent Dirichlet boundary conditions at the one-loop level of the non-linear sigma model on the world-sheet. This method has a desirable property; the stabilized value of the Liouville mode is independent on the Euler number of the world-sheet, and we can stabilize it for all the topology of the world-sheet.

We also analyze the perturbative solutions of the equation of motion for the backgrounds. It is shown that we have a suitable solution, at the one-loop level, which satisfies the criterion for Weyl invariance. Furthermore, this argument leads us to the unique selection of the branch of the solutions; although we have several branches of the solutions, we can select the unique branch among them by examining whether it allows consistent Dirichlet boundary conditions or not.

The other problem is the existence of tachyons. We also discuss tachyon condensation. Although complete treatment of it is very difficult, we present a simple strategy for it in the framework of generalized Liouville theory. The idea we present is to attach "tadpoles" to the world-sheet. They have a role to alter the string vacuum. We surmise that the "tadpole" in Liouville theory might be represented as a macroscopic hole on the world-sheet with Dirichlet boundary conditions, where the Dirichlet boundary condition for the Liouville mode is restricted by the criterion for Weyl invariance. Furthermore, the macroscopic hole on the world-sheet should be mapped into a single point in the target space. This is because, they should not be observed in the target space. Therefore, the boundary conditions on the macroscopic hole as a tadpole should be D-instanton-like Dirichlet boundary conditions. Although a similar proposal to alter string vacuum with D-instantons has already been given for critical strings, we insist that we can also use the above method for the generalized Liouville theory. The insertion of such D-instanton-like boundaries into the world-sheet does not break our basic presuppositions and assumptions presented in the beginning of the thesis. Furthermore, we guess that the non-perturbative effects in Liouville theory are different from those of critical strings. This is because the moduli space, namely the regions for the target-space coordinates of the D-instanton-like tadpoles which should be integrated over, is different from those for ordinary strings with a constant dilaton. This is because, we have the restriction comes from the criterion for Weyl invariance mentioned above.

To sum up our main statement in this thesis, Dirichlet boundary conditions have an important role in the generalized Liouville theory, and they can be imposed on the Liouville mode while preserving Weyl invariance if the appropriate condition is satisfied. The investigation of Dirichlet strings in dilatonic backgrounds is very important, and it should yield necessary information about the construction of noncritical strings.

## 論文の審査結果の要旨

中村真氏は、Gauge Theory as Noncritical Strings と題する博士論文を提出した。この論文において、中村氏は、ゲージ理論を弦理論で記述するという素粒子論の大きな課題についての独自の研究成果を報告している。素粒子論の標準模型が、ゲージ理論であるようにゲージ理論は素粒子論において中心的な役割をはたしている。

特に強い相互作用は、量子色力学と呼ばれるゲージ理論記述されると考えられているが、低エネルギー領域で結合定数が強くなるために、その振る舞いの理論的理解は、素粒子論の大きな課題である。現象論的には、強い相互作用が、弦理論によって記述される可能性が高い。理論的にも、量子色力学の  $1/N$  展開において、弦理論的構造がみいだされた。そこで量子色力学に相当する弦理論を構成するという試みがなされてきた。そのような弦理論は、四次元の理論であり弦理論の立場からは、非臨界弦理論の範疇に属する。

Polyakov 流の弦理論の定式化において、弦の二次元世界面の計量の conformal mode をきちんと量子化する必要があることが知られている。この自由度は、第5の次元と解釈でき5次元の弦理論が量子的力学を記述するであろうと考えられている。中村氏の研究は、このような枠組みにそったものであるが、この様な試みには解決すべき課題として先ず次の二点が挙げられる。第一点は、conformal mode の zero mode を決定する問題であり、第二点は理論に存在する tachyon を処理する問題である。中村氏は、第一点について、Wilson loop を記述する弦の境界に Dirichlet 境界条件を課することで解決することを提唱した。その場合、弦理論の理論的要請から、Dirichlet 境界条件を設定する5次元座標の位置が決定できると論じた。第二点については、tachyon 凝縮の効果を、Dirichlet 境界条件付きの境界を多数導入することで解決する可能性を指摘した。

以上述べた様に、中村氏の博士論文は、ゲージ理論を弦理論で記述するという素粒子論の大きな課題の解決について深い研究結果を報告している。特に conformal mode の zero mode を決定する問題については、一つの決定的な解決法を見いだしている。この論文は、中村氏の素粒子論に対する広範な知識と、高い研究能力を示したものであり、十分博士論文に値すると判断した。