

課題名 (タイトル) :

弦の場の理論

利用者氏名 : 岸本 功

所属 : 和光研究所 仁科加速器研究センター 理論研究部門 川合理論物理学研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

自然界の全ての物理法則を統一的に記述する「究極」の理論の最有力候補は超弦理論である。それを非摂動的に定式化する方法の候補の一つが、通常の粒子の場の理論を弦へ拡張した「弦の場の理論」である。したがって弦の場の理論を用いて計算を行うことは、一つの指導原理から全ての物理現象を導くということであり、論理的に首尾一貫して理論物理学を適用し最終的には現実の自然現象へ応用していく上で極めて重要である。しかし、この理論を用いた摂動論を超えた具体的な計算（例えば非自明な古典解を構成し、ゲージ不変量を調べたりする計算。）を実際に行う場合、弦の場は通常の意味の時空の点粒子の場を無限個含むため、非常に複雑な計算が必須となり、厳密に解析的な計算を行うことは困難である。したがって、レベルトランケーション近似という処方に基づいて無限個の場を有限個の場で近似して数値計算をなるべく高い「レベル」の場まで取り入れて行うことが現実的である。従来、通常の摂動真空まわりの理論のタキオン凝縮解の計算での世界記録（レベル(18, 54)）がよく知られていたが、この研究ではこの世界最高レベルを超える計算を実行し、さらに、そのレベルまで別の非摂動論的真空解まわりの理論における D ブレーン解を調べるために RICC の計算機を用いた。

2. 具体的な利用内容、計算方法

ボゾニックな開弦の場の理論の運動方程式を「レベルトランケーション」という一種の近似法により有限個の場に対する方程式として書き下し、ニュートン法の一般化により線形化して、逐次近似で数値解を構成する。さらにその得られた弦場の配位に対してゲージ不変量（開弦場の作用および質量殻上の閉弦場と開弦場との内積）を計算した。以上の計算のうち、特に開弦の相互作用を計算する準備として必要になってくる 3 弦相互作用項のデータの計算を実行するために RICC の

計算機を利用した。弦理論の相互作用項は元来無限個であるが、レベルトランケーション近似を用いて有限個にしても場の 3 乗のオーダーの数ほど出てきて非常に多いため、世界記録を更新するレベルに到達するためにはメモリを大量に使用した計算をするのが効率的であると考えた。そこで RICC の大容量メモリ計算機を主に用いて、（現時点では私が使用できる他の計算機システムでは実行することが困難な）C++によるプログラムを実行することで計算を遂行した。

3. 結果

弦の場の理論のレベルトランケーション近似による数値計算を従来よく知られていた世界記録を更新するレベル、具体的にはレベル(24, 72)まで計算できるようになった。実際、このレベルまで摂動真空まわりの理論のタキオン凝縮解だけでなく、非摂動論的真空解まわりの理論における D ブレーン解をも構成し、それぞれゲージ不変量を計算することができた。その結果、前者に対してはセンの予想が（ジーゲルゲージにおいて）より確実なものになった。さらに後者に対しては別の議論により知られている D ブレーンのエネルギーをほぼ再現することがわかり、これは我々が以前定性的に示したこと（BRST コホモロジーが消えること）を別の観点から定量的に支持する結果になっている。

4. まとめ

弦の場の理論におけるレベルトランケーション近似による数値計算の手法を、世界記録を更新する高いレベルまで具体的に実行できるようにした。特にジーゲルゲージのタキオン凝縮解および D ブレーン解を数值的に構成し、ゲージ不変量を評価することができた。これにより従来の弦理論における予想が定量的により確かなものになった。

5. 今後の計画・展望

現時点での計算アルゴリズムを効率的に並列化するこ

とができれば、次のレベル(26, 78)までの計算は実現可能であると期待できるので検討している最中である。弦の場の理論の分野において数値計算をかなりの高いレベルまで実行できるようになると、他の手法では困難な研究を（数値実験としてではあるが）遂行することができるので、将来、自然界の究極の理論である超弦理論の全貌を解明するための第1歩になると期待している。今回の研究では、最も扱いやすいボゾニックな開弦の場の理論に限った計算を行ったが、より現実的な自然現象と結びつけるためにはより複雑な超弦の場の理論における計算が必要になってくる。超弦の場の理論における数値計算手法の確立も今後の大きな課題である。

6. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況（どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか）や、継続して利用する際に行う具体的な内容

弦の場の理論の数値的アプローチの進展のために RICC の継続利用を切望する。今後は弦の場の理論におけるこれまでの計算を効率よく並列化するアルゴリズムを開発して、大容量メモリ計算機だけでなく、PC クラスタをも駆使して計算を高速化し、より高レベルの計算も適度な時間で実行できるようにする予定である。弦の場の理論の数値的アプローチのために RICC を利用することにした当初は今年度のうちにそこまで計算を進めるつもりであったが、プログラムの並列化が現時点では遅れている。次年度に利用する際は、これまでの計算ではまだ（特に高レベルのものについて）確かめていない、解の BRST 不変性についても調べる予定である。これは理論の整合性を数値的に確かめるために重要である。また、さらに超弦の場の理論の古典解の計算へと進めていきたい。

7. 一般利用で演算時間を使い切れなかった理由

本研究は簡易利用である。

8. 利用研究成果が無かった場合の理由

前述および次頁のリストのようにいくつかの利用研究成果があった。

平成 21 年度 RICC 利用研究成果リスト

【国際会議などの予稿集、proceeding】

1. Isao Kishimoto and Tomohiko Takahashi,
“Numerical Evaluation of Gauge Invariants for a-gauge Solutions in Open String Field Theory,”
arXiv:0910.3025 [hep-th]. RIKEN-TH-170 (プレプリント、2009 年 10 月発表)
accepted for publication in Theoretical and Mathematical Physics
2. Isao Kishimoto and Tomohiko Takahashi,
“Exploring Vacuum Structure around Identity-Based Solutions,”
arXiv:0910.3026 [hep-th]. RIKEN-TH-171 (プレプリント、2009 年 10 月発表)
accepted for publication in Theoretical and Mathematical Physics

【国際会議、学会などでの口頭発表】

Isao Kishimoto,

“On identity based solutions in open string field theory,”
APCTP Focus Program on Current Trends in String Field Theory,
APCTP Headquarters, Pohang, Korea, Dec. 7-18, 2009.

