

(続紙 1)

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	坂本 純一
論文題目	Integrable deformations of string sigma models and generalized supergravity		
(論文内容の要旨)			
AdS/CFT対応とは、「反de Sitter(AdS)時空上の超弦理論」と「ある種の共形場理論(CFT)」が等価であるという予想である。この対応には様々なバリエーションがあるが、現在最も理解が進んでいるのはAdS₅/CFT₄対応と呼ばれるもので、「AdS₅×S⁵時空上で定義される超弦理論(AdS₅×S⁵超弦理論)」が「N=4超対称性を持つ超対称ゲージ理論」と等価であるというものである。この対応の特筆すべき特徴は、プラナー極限で双方の理論が可積分構造を持つ、すなわち理論に保存電荷が無限個存在することである。このとき可積分系特有の厳密計算の手法を適用することで、様々な物理量を有限の't Hooft結合定数に対しても計算でき、対応を具体的に検証することができる。 AdS/CFT対応の理解を進めるための次のステップとして、可積分性は保ちつつも、超対称性が少ないあるいは共形対称性がないような、より一般の場合にゲージ/重力対応を拡張することが考えられる。そうした試みの中で重力側を拡張するものとして、Yang-Baxter(YB)変形を利用するものがある。この変形は、2次元非線形シグマ模型の可積分変形を系統的に記述する手法として知られていたもので、AdS₅×S⁵超弦理論の作用にも適用できる。本論文では、AdS₅×S⁵超弦理論のYB変形を考察し、変形そのものの性質および変形後の時空構造を詳細に調べている。 YB変形されたAdS₅×S⁵超弦理論は、変形前と同様にGreen-Schwartz(GS)形式を用いて記述され、フェルミオニックなゲージ対称性であるkappa対称性を持つ。YB変形自体は、古典YB方程式の解である古典r-行列によって特徴づけられ、様々なAdS₅×S⁵時空の変形を記述するが、これまで、作用から変形後の時空の具体形を求めるのは容易でなく、変形後の時空に対する一般公式を導出することは重要な課題の一つであった。本論文では、変形後のGS作用を時空のフェルミオンの2次まで展開することで、作用から直接、変形後の時空に対する一般公式を書き下すことに成功している。この公式は大変簡明な形を持ち、比較的簡単な計算によって様々な重力解を構成することができる。とくに、non-unimodularなr-行列を用いた場合には、YB変形は通常の超重力理論ではなく一般化された超重力理論の解を与え、さらに、こうして構成された重力解のいくつかは、一般化されたTsT変換によって元のAdS₅×S⁵時空に戻すことができる。 本論文ではさらに、上で得られた一般公式が弦理論の双対変換の一種であるβ変換と等価であることを示している。この結果により、T双対性が明白な弦理論の定式化として知られるDouble Field Theory(DFT)の枠内でYB変形が再定式化できることとなり、これまでYB変形が適用できないと考えられていた時空に対してもβ変換を用いたYB変形が適用可能となった。本論文では、Minkowski時空およびH-fluxを持つAdS₃×S³×T⁴時空に対してβ変換を行い、様々な重力解を構成している。とくに、後者の変形では、non-unimodularな変形でも通常の超重力理論の解を与える場合があることを示している。このような現象は、AdS₅×S⁵時空の変形の場合にはなかったものであり、			

一般化された超重力理論の解空間に対する理解を深める結果を与えている。

DFTを用いる利点のひとつに、T双対変換を構造群に含むT-fold時空の取り扱いが可能である点が挙げられる。本論文では、DFTの枠内で時空の場に関するモノドロミーを計算し、様々なYB変形後の時空がT-fold構造を持つことを明らかにしている。加えて、一般化された超重力理論の場合には、特殊なT-foldとして理解できることを議論している。

本論文では最後に、一般化された超重力理論の時空上で弦理論が無矛盾に定義できるか、という問いについて考察している。この新しい重力理論が持つ重要な性質として、「運動方程式がGS作用の κ 対称性の要請から導かれる」というTseytlinとWulffの結果がある。これは、古典論のレベルで、超弦理論が一般化された超重力理論の時空上でも無矛盾に定義できることを意味する。しかし、量子論としても矛盾なく定義できているかについてはこれまではっきり分かっていなかった。本論文では、この問題に対するアプローチとして、まず一般化された超重力理論がDFTに埋め込めることを示し、一般化された超重力理論と通常の理論の違いが、ディラトンが双対座標の線形依存性を持つことに集約されることを示している。この著しい結果により、古くから知られているボソン弦のWeylアノマリーの相殺項をどのように拡張すれば良いかが明らかとなり、一般化された超重力理論に対するWeylアノマリーの相殺項を1-loopレベルで構成することに成功している。また、この相殺項が座標変換のもとで共変かつlocalであることを議論し、弦理論が一般化された超重力理論の時空上でも無矛盾に定義可能であると結論づけている。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、可積分性を持つ新たなゲージ/重力対応の構築に向けて、可積分変形の一つとして知られるYB変形を $AdS_5 \times S^5$ 超弦理論に適用している。YB変形された作用は非常に抽象的で、これまで作用から直接変形後の時空の具体形を求めるのは容易でなかったが、坂本氏は、変形後のGS作用から、直接、変形後の時空に対する簡明な一般公式を書き下すことに成功し、さらにこの一般公式が弦理論の双対変換の一種である β 変換と等価であることを示した。また、Double Field Theory(DFT)の枠内でYB変形を再定式化し、これまでYB変形が適用できないと思われていた時空に対しても β 変換としてYB変形が可能であることを示した。

坂本氏はさらに、様々なYB変形後の時空が構造群にT双対変換を含めた幾何であるT-foldとして理解できること、また一般化された超重重力理論の時空も特殊なT-foldとして理解できることを示した。これらの結果は、可積分変形された時空の大域的な構造を明らかにしており、重要な成果である。

また、最近発見された一般化された超重重力理論の解を背景とする弦理論が量子論レベルで無矛盾に定義できているのか調べるため、一般化された超重重力理論のDFTへの埋め込みを利用することで、ボソン的な弦理論の場合にWeylアノマリーの相殺項を1-loopのレベルで具体的に構成することに成功した。

上記の一連の結果は、ゲージ/重力対応をより広いクラスのモデルで調べることを可能にするもので、弦理論の低エネルギー有効理論の理解に重要な進展を与えたと言える。

以上の成果より、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成31年1月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降