

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	おおた みつひさ 太田 満久
学位 (専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学 位 授 与 の 日 付	平成 年 月 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理学研究科 物理学第二 専攻
(学位論文題目) Classification of Supersymmetric Solutions in Supergravity (超重力理論における超対称解の分類)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 國友 浩 准教授 九後 太一 教授 國廣 悌二 教授

(続紙 1)

京都大学	博士（理学）	氏名	太田 満久
論文題目	Classification of Supersymmetric Solutions in Supergravity		
(論文内容の要旨)			
この論文ではヘテロ型超重力理論に着目し、特に、現象論的にも興味深い超対称性を保つ古典解について考察した。特に、非自明な NS フラックスを許す解の中で、ブラックストリング解の地平面近傍極限を記述すると考えられる 3 次元反ド・ジッター空間を含むようなクラスの解について、保たれる超対称性の数 $N=1, 2, 3, 4$ 毎に、空間を G 構造と固有振率を基にして完全に分類した。 超弦理論の低エネルギー有効理論は一般に超重力理論となることが知られており、その超対称性を保つ古典解は、現実の自然を記述するモデルとしてはもちろん、超弦理論の更なる理解にむけて非常に重要な役割を担っている。特に非自明なフラックスを含む超対称古典解はホロノミー群を一般化した概念である G 構造と許される固有振率によって分類することができる。この G 構造に基づく解の分類は、具体的に新しい解を構築する上で非常に有用であり、実際、いくつかの興味深い解が、このような分類の結果に基づいて構築されている。 本論文では、超重力極限を越える最初の補正である、α' に関する一次の補正を取り入れた 10 次元ヘテロ型超重力理論を考察し、その超対称古典解に G 構造と固有振率による分類を適用することで、非自明な α' 補正を含む、新たな興味深い解の構成への道を開いた。 まず前半部分では、ヘテロ型に限らない一般の超重力理論における超対称古典解の分類を考察し、その基礎事項としてフラックスを含まない場合に有効な特殊ホロノミーによる分類を導入している。次にこれを一般化する形で一般化ホロノミーによる分類と G 構造による分類を述べた上で、これらを解析する上で非常に強力な手法であるスピン幾何による手法についてまとめた。 以上の一般的考察を踏まえた上で、具体的なモデルとして α' 補正を含む 10 次元ヘテロ型超重力理論に着目し、その超対称古典解に関してできるだけ一般的な分類を試みている。即ち具体的にスピン幾何の手法を用いることで、ワープ因子を許した $AdS_3 \times M_7$ 型の時空を仮定した範囲で最も一般的なキリングスピノル方程式の解を求め、M_7 上の超対称性の数 $N=1, 2, 3, 4$ 毎に G 構造とその固有振率に基づいて解を完全に分類している。まず一般に非自明なワープ因子は許されず、時空は直積空間となることが示された上で、7 次元多様体 M_7 は許される超対称性の数毎に、$N=1$ の場合は G_2 構造、$N=2$ の場合は $SU(3)$ 構造、$N=3$ 及び $N=4$ の場合は $SU(2)$ 構造で特徴付けられ、許される固有振率がどのように制限されるかに関しても完全に明らかにした。 最後にキリングスピノル方程式は超対称性を保つことを保証するのみで、古典解であることは必ずしも保証しないことに注意する必要がある。即ち、得られた解が運動方程式及びビアンキ恒等式を満たすかどうかは改めて確かめなければならない。ここではこの問題についても解析し、キリングスピノル方程式に加えてビアンキ恒等式を要請すれば、残る運動方程式は、正しく一次の α' 補正を含む形で、自動的に満たされることを示した。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、ヘテロ型超重力理論における古典解のうち特に、現象論的にも興味深い、超対称性を保つ解について考察したものである。なかでも、非自明な NS フラックスを持ち、3次元反ド・ジッター空間を含むような解のクラスに着目し、超重力極限を越える最初の補正である、 α' に関する一次の補正を取り入れた上で、保たれる超対称性の数 $N=1, 2, 3, 4$ 毎に、G 構造と固有振率を基にして解を完全に分類することに成功している。

超弦理論を現実の世界と対応づけるには、その低エネルギー有効理論である超重力理論の古典解を解析する必要がある。特に階層性の問題などを解決するためには、超対称性を保つ古典解が重要であり、その性質を一般的に特徴付けることは非常に重要な問題である。このような解析は、超弦理論が統一理論として研究され始めた当初から行われてきたが、当初はより簡単である、フラックスが存在しない時空が考えられていた。しかしながら近年、余分な零質量粒子を排除するためには非自明なフラックスの導入が必要であることが明らかになってきた。このような非自明なフラックスを含む超対称古典解はホロノミー群を一般化した概念である G 構造と許される固有振率によって分類することができる。このような解の分類は、具体的に新しい解を構築する上で非常に有用である。本論文は、 α' に関する一次の補正を取り入れたヘテロ型超重力理論の超対称古典解に、この G 構造と固有振率による分類を適用し、非自明な α' 補正を含む新たな解の構成に最初の指針を与えている。

具体的には、まず $\text{AdS}_3 \times M_7$ の構造を仮定した上で、スピン幾何の方法を用いてキリングスピノル方程式を解き、キリングスピノルを具体的に求めている。このとき M_7 空間の G 構造を定義する外微分形式は、キリングスピノルの双一次形式として具体的に構成される。これらの外微分形式とその外微分の構造から、許される超対称性の数毎に 7次元多様体 M_7 が、 $N=1$ の場合は G_2 構造、 $N=2$ の場合は $\text{SU}(3)$ 構造、 $N=3$ 及び $N=4$ の場合は $\text{SU}(2)$ 構造で特徴付けられ、更に許される固有振率がどのように制限されるかに関しても完全に明らかにしている。このような分類は、具体的な解の構造には依らない一般的な解の性質を捕らえたもので、より具体的な解の構成や、その物理的な考察に対して拠り所となる基礎を与えるものと言える。

同時に、スピン幾何の方法を用いる際にこの論文で用いられているフェルミオンの生成消滅演算子を用いる方法は、高次元のスピンを解析するにあたって非常に汎用性の高い方法であり、他のこの種の解析に際しても非常に有用な手法を与えるものである。この方法は古くから知られている方法ではあるが、これまでキリングスピノル方程式の解析には用いられておらず、その有用性を明らかにしたのはこの論文の一つの成果として評価できる。

以上の理由から、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 22 年 1 月 14 日に論文の内容とそれに関連した事項について試問を行った。その結果合格と認めた。