氏　　　　　名	古内（ふるうち）　一之（かずゆき）
博士の専攻分野の名称	博　士（理　学）
学 位 記 番 号	第　１５１５１　号
学位授与年月日	平成12年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学 位 論 文 名	INSTANTONS ON NONCOMMUTATIVE R^4 AND PROJECTION OPERATORS （非可換4次元ユークリッド空間上のインスタントンと射影演算子）
論文審査委員	（主査） 教　授　東島　　清 （副査） 教　授　大坪　久夫　　教　授　高杉　英一　　助教授　窪田　高弘 助教授　糸山　　浩

論文内容の要旨

インスタントンは4次元多様体上のゲージ場の配位で、反自己双対条件を満たし、作用が有限なものである。4次元ユークリッド空間の場合には、微分方程式である反自己双対条件を解くという問題を、定数行列の方程式（ADHM方程式）を解くという問題に帰着させるADHM構成という手法が知られている。インスタントンのモジュライ空間はADHM方程式の解の空間で、同じインスタントンを与える点を同一視することにより得られる。このモジュライ空間は特異点をもっており、その解消の仕方は知られている。ただし、特異点を解消してしまうと、単純にはその空間からインスタントンを構成することができなくなる。ところが、4次元ユークリッド空間の座標を非可換にすることでこの特異点を解消した空間からインスタントンを構成できることがネクラソフとシュワルツにより示された。一方、ある背景場中の弦理論を考えると非可換幾何が現れることが近年明らかになり、上の特異点の解消された空間と非可換空間上のインスタントンの対応も超弦理論の中で物理的な解釈がつけられる。さらに、ⅡB型超弦理論の構成的定義の候補として提案されたⅡB行列模型は本質的に時空の非可換性を内包している。これらの事実は、時空の微視的構造の解明において非可換幾何が重要な役割りを果たす可能性を示唆する。

この論文の主題は、以下の通りである。

1．ADHM構成の非可換な場合への拡張を完成する。

2．非可換な場合のインスタントン解のⅡB行列模型での物理的意味を調べる。

非可換4次元ユークリッド空間のインスタントン解のADHM構成において重要なポイントは2つある。

1．非可換な座標を用いること。

2．射影演算子をきちんと取り扱うこと。

ここで射影演算子とは、非可換な空間を規定するフォック空間に作用し、その部分空間を抜き出す演算子である。(1)は同語反復のようだが、上で述べたように非可換な場合のADHM構成は先に変形されたADHM方程式の方が研究されており、それが非可換な空間上のインスタントンを記述していることはその後発見された。(2)については、射影演算子が現れることはネクラソフとシュワルツにより指摘されていた。しかし、この射影演算子の取り扱いについては注意しなければならない点が残されていた。本論文ではまずこの射影演算子を取り扱う技術的な枠組を完成する。これにより非可換な4次元ユークリッド空間上のインスタントン解の構成が完成したことになる。次に、ⅡB行列模型がこれら非可換4次元ユークリッド空間上のインスタントン解を取り扱う枠組みとして非常に自然であることを議

論する。その理由は次のような事情による。通常ではインスタントンはヤン＝ミルズ理論の解として位置付られるが、非可換時空上のインスタントンを取り扱うのにヤン＝ミルズ理論は適当ではない。その理由は、射影演算子はインスタントンの存在する空間の構造を規定していることによる。非可換4次元ユークリッド空間は全フォック空間により定義されており、その部分空間を取り出したものは異なる時空構造を持つとみなされる。異なるインスタントンは異なる射影演算子と関係しており、したがって異なる構造の空間上に存在する。しかしヤン＝ミルズ理論には空間の構造を規定する能力はない。これに対し、IIB 行列模型では非可換な空間とインスタントンはあわせて1つの古典解として扱われる。このような空間とゲージ場の融合は非可換空間上のインスタントンの非常に興味深い性質と言える。

論文審査の結果の要旨

インスタントンは4次元多様体上のゲージ場の配位で、反自己双対条件を満たし、作用が有限のものである。4次元ユークリッド空間の場合には、微分方程式である反自己双対条件を解くかわりに、定数行列の方程式（ADHM 方程式）を解く問題に帰着させる ADHM 構成法が知られている。インスタントンのモジュライ空間は、ADHM 方程式の解の空間で同じインスタントンを与える点を同一視する事により得られる。このモジュライ空間の特異点を解消するには4次元ユークリッド空間の座標を非可換にすればよいことが、ネクラソフとシュワルツにより提案された。

本論文においては、フォック空間上の射影演算子の方法を用いて、ADHM 構成法の非可換空間への拡張を完成させた。射影演算子を用いてフォック空間の元を取り除くことは、時空構造を変形することを意味する。時空の非可換性を内包する超弦理論の IIB 行列模型を用いてその物理的意味を考察した。

本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認められる。