氏名	森山翔文（もりやまさねふみ）
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2444号
学位授与の日付	平成14年3月25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・宇宙物理学専攻
学位論文題目	Noncommutative Monopole from Nonlinear Monopole （非線形モノポール解から見た非可換モノポール解）
論文調査委員	(主査) 教授 九後太一　教授 川合光　助教授 畑浩之

論文内容の要旨

弦理論の一つの側面を理解するための模型として非可換場の理論が提唱されている中，非可換ゲージ理論中のモノポール解が盛んに研究されてきた。非可換 Born-Infeld 理論は，背景に2階反対称テンソルの B 場が一様に入った弦理論における D-brane（ディリクレ膜）の有効理論と見なされるもので，B 場の効果が非可換な $*$ 積を通して表現されている。一方この系の別な定式化では，B 場の寄与は通常の field strength で表わされ，D-brane の有効理論は可換な Born-Infeld 理論になる。この二つの Born-Infeld 理論は，物理的には等価で，ゲージ同値条件から決まる非自明な場の再定義で結び付いている。申請者の主論文は，非可換モノポール解を可換な理論側から調べたものである。

非可換モノポール解は，上述のように，B 場が入った場の理論に対する古典解である。brane 描像では，モノポール解は2枚の D3-brane（ディリクレ3次元膜）の間に張られた D-string（ディリクレ弦）に対応している。このとき，D-string の端には磁荷が存在し，また，B 場が磁場の役割をすることが知られているので，磁場から受ける力と弦の張力の釣り合い条件から D3-brane に端を持つ D-string が傾くことがわかる。これを D3-brane の上の場の理論として記述すると，非可換モノポール解が興味深い性質として非局所性を持つことが予想される。

このような性質を実際非可換モノポール解を用いて解析するためには，非可換 BPS 方程式が必要であるが，この非可換 BPS 方程式はあらわにはなかなか解けない。申請者はまず参考論文において，この非可換 BPS 方程式を非可換パラメータに関する摂動で解き，非可換モノポール解や非可換 string junction 解を非可換パラメータの最低次で構成した。ところが，構成した古典解に対して，brane を用いた描像で解釈することは難しかった。brane 解釈をする一番わかりやすい方法は，非可換理論と可換理論の間の場の再定義を用いて，可換側に写すことである。そこで，申請者は主論文において，完全に可換側から調べることを考えた。この方法は，より直接的であるというばかりでなく，厳密解を求めることができ，そのことによって，付随するいくつかの問題点をはっきりさせることができる，という利点を持つ。

申請者はまず，Born-Infeld 理論の超対称性に対する物理的考察に基づいて，可換側の解析で解くべき BPS 方程式を同定することが出来た。それはある種の非線形な BPS 方程式となるが，申請者はそのスカラー場部分を厳密に解くことに成功した。その方法は Born-Infeld 理論の対称性，特に空間の回転不変性を活用して，比較的簡単な線形な方程式に写してから解くものである。

先ず，この BPS 方程式のスカラー場の解は，予想通り非局所性を持っている。その他に興味深い性質としてこの古典解は多価性を持っている。この多価性は，場の理論としては経験したことのない特異的なものではあるが，弦理論から考えるとどうしても避けられない性質である。また，解が多価的であるため，もし最初から一価関数として摂動展開を始め，無限次まで解いたとしても，途中の多価になる点で収束限界が現れ，そこで摂動展開が無意味になるので，解を摂動展開で構成することは本質的に不可能であることを意味する。

次に，この非線形 BPS 方程式が対応すると予想される非可換 BPS 方程式も，二つの BPS 方程式を結び付けると思われ

る場の再定義も，ともに単純な非可換パラメータの展開で表わせるのに対して，ここで解析した非線形BPS方程式は一見B場と弦のスケールα'の二重展開になっている。そのため，ここで解析したものが本当に非可換BPS方程式の可換側の対応物なのかという疑問が生じるが，申請者は後の参考論文で，解析に使った非線形BPS方程式を非可換パラメータで書き直すと，やはり単純な非可換パラメータの展開になっていることを示して，解析した非線形BPS方程式が非可換BPS方程式の対応物である証拠とした。

さらに，主論文で解析したのは非線形BPS方程式のスカラー場の部分であるが，申請者はその後の参考論文において，この手法をゲージ場の部分にも拡張している。スカラー場の部分を解くときに，スカラー場と座標の間で回転をさせる必要があった。この回転をスカラー場同士の回転変換とstaticゲージの取り替えに分けると，ゲージ場に対してはstaticゲージの取り替えに起因する変換行列を考慮に入れなければならないことがわかる。この変換行列に着目することで，ゲージ場部分の解析も厳密に行うことが出来た。

論文審査の結果の要旨

近年，弦理論の一つの側面を理解するための模型として非可換場の理論が提唱され，非可換ゲージ理論や非可換Born-Infeld理論などが盛んに研究されている。非可換Born-Infeld理論は，背景に2階反対称テンソルのB場が一様に入った弦理論におけるD-brane（ディリクレ膜）の有効理論と見なされるもので，B場の効果が非可換な$*$積を通して表現されている。一方この系は，B場を通常のfield strengthで表わした可換なBorn-Infeld理論と物理的には等価であり，ゲージ同値条件から決まる場の再定義で結び付いていることが示されている。

申請者の主論文は，非可換モノポール解を可換な理論側から調べたものである。非可換モノポール解は，brane描像では，2枚のD3-brane（ディリクレ3次元膜）の間に張られたD-string（ディリクレ弦）に対応している。D-stringの端には磁荷が存在しB場は磁場の役割をするので，磁場から受ける力によってD-stringが傾くことがわかる。これをD3-braneの上の場の理論として記述すると，非可換モノポール解が興味深い性質として非局所性を持つことが予想される。

このような性質を実際非可換モノポール解を用いて解析するためには，非可換BPS方程式が必要であるが，この非可換BPS方程式をあらわに解くのはなかなか難しい。申請者はまず参考論文において，この非可換BPS方程式を非可換パラメータに関する摂動で解き，非可換モノポール解や非可換string junction解を非可換パラメータの最低次で構成した。ところが，構成した古典解に対して，braneを用いた描像で解釈することは困難であった。brane解釈をする一番わかりやすい方法は，非可換理論と可換理論の間の場の再定義を用いて，可換側に写すことである。そこで，申請者は主論文において，完全に可換側から調べることを考えた。この方法は，より直接的であるというばかりでなく，厳密解を求めることができ，そのことによって，付随するいくつかの問題点をはっきりさせることができる，という利点を持つ。

申請者はまず，Born-Infeld理論の超対称性に対する物理的考察に基づいて，可換側の解析で解くべきBPS方程式を同定することが出来た。それはある種の非線形なBPS方程式となるが，申請者はそのスカラー場部分を厳密に解くことに成功した。その方法はBorn-Infeld理論の対称性，特に空間の回転不変性を活用して，比較的簡単な線形な方程式に写してから解くものである。

先ず，このBPS方程式のスカラー場の解は，予想通り非局所性を持っている。その他に興味深い性質としてこの古典解は多価性を持っている。この多価性は，場の理論としては経験したことのない特異的なものではあるが，弦理論から考えるとどうしても避けられない性質である。また，解が多価的であるため，もし最初から一価関数として摂動展開を始め，無限次まで解いたとしても，途中の多価になる点で収束限界が現れ，そこで摂動展開が無意味になるので，解を摂動展開で構成することは本質的に不可能であることを意味する。そういう意味でこの解は厳密に解いて初めて得ることのできたものなのである。

次に，この非線形BPS方程式が対応すると予想される非可換BPS方程式も，二つのBPS方程式を結び付けると思われる場の再定義も，ともに単純な非可換パラメータの展開で表わせるのに対して，ここで解析した非線形BPS方程式は一見B場と弦のスケールα'の二重展開になっている。そのため，この論文で解析したものが本当に非可換BPS方程式の可換側の対応物なのかという疑問が生じるが，申請者は後の参考論文で，解析に使った非線形BPS方程式を非可換パラメータで

書き直すと，やはり単純な非可換パラメータの展開になっていることを示し，ここで解析した非線形BPS方程式が非可換BPS方程式の真の対応物であることを確かめている。さらに，主論文で解析したのは非線形BPS方程式のスカラー場の部分であるが，申請者はその後の参考論文において，この手法をゲージ場の部分にも拡張し，ゲージ場部分の解析も厳密に行うことに成功している。

以上のように申請者は，主論文および関連の参考論文において非可換モノポール解の物理的諸性質の解明に多くのオリジナルな寄与をした。よって，本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。

主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として，これに関連した研究分野について口頭試問した結果，合格と認めた。