

(続紙 1)

京都大学	博士（理 学）	氏名	鈴木 良拓
論文題目	Perturbative construction for higher dimensional black holes (高次元ブラックホールにおける近似解の摂動的構成法の研究)		
(論文内容の要旨)			
超弦理論によって大きな余剰次元の存在が示唆され、高次元における重力の古典的な振舞いは余剰次元のダイナミクスを知る上で重要である。特に粒子加速器における生成の可能性が示唆される高次元ブラックホールについては近年盛んに研究が行われている。ところが、高次元において、ブラックホールは4次元の場合より遥かに複雑な相を為すことが分かってきており、厳密解の発見は極めて困難である。特に6次元以上の時空においては球状の Myers-Perry 解以外の厳密解は見つかっていない。本論文では、Matched Asymptotic Expansion (MAE)を Einstein-Maxwell 理論に適用することによって、余剰次元に対して十分に小さい場合の荷電 Caged ブラックホール解を摂動的に構成し、その性質を解析した。 4次元時空における漸近平坦定常ブラックホール解に対しては唯一性定理や位相定理が存在し、真空においては Kerr 解に限ることが示されている。一方、5次元時空ではブラックリング解を初めとして球面と同相でない解が多数発見され、無数の相を持つことが分かってきた。6次元以上においても同様の多様性が予想されているが、そのような非自明な厳密解は見つかっていないのが現状である。一方で高次元ブラックリングは高速回転極限においてはリングの厚みに対してリング半径が十分に大きくなり、ホライズン近傍ではブラックストリング、遠方ではリング状の質量が作る弱重力場とそれぞれ近似できることが予想でき、実際に MAE を用いて摂動的に求められている。一般のブラックオブジェクトについても遠方においてトーラスに近似できる場合に解かれている。また高次元ブラックリングは遠方から見たときに有効的な作用に従うリング状の有効場として記述することができ(ブラックフォールド近似)、その変分から導かれるリングの釣り合いの式とリング内でのエネルギー保存の式からブラックリングの物理量の関係が決定される(ブラックフォールド方程式)。この二つの近似は等価であって、MAE における近傍の摂動がホライズン上で正則である条件としてブラックフォールド方程式が導かれることが真空の場合に示されている。p-form 場を帯びた荷電ブラックストリングについてもブラックフォールド近似が適用され、相空間での振る舞いが求められているが、現状では実際に近傍の摂動までは解かれていない。2章において、これらの現状が簡潔にまとめられている。 高次元におけるコンパクト化された時空である Kaluza-Klein 時空においてもブラックホールは多様な相を持ち、静的解として一様ブラックストリング(UBS)、非一様ブラックストリング(NUBS)、Caged ブラックホールと三つの相を持つことが知られており、特に UBS 以外は厳密解が知られていない。Caged ブラックホールにおいて、ブラックホールがコンパクト化次元よりも十分に小さい極限において同様に MAE が適用でき、実際に真空において摂動解が解かれた。本論文では3章において、電荷を帯びた Caged ブラックホール解を MAE により摂動的に構成し、その振る舞いを調べ、荷電ブラックホール解の物理量の振る舞いを明らかにした。4章においては、質点による有効場近似では非自明な有限サイズ効果について MAE を高次項まで行うことにより評価し、相構造について洞察を行った。 本論文の主たる成果は、Matched Asymptotic Expansion による高次元ブラックホールの近似解の構成法を世界で初めて Einstein-Maxwell 理論において適用し、荷電 Caged black hole 解を摂動的に構成し、熱力学の法則を満たすことを示したことである。			

(論文審査の結果の要旨)

超弦理論によって予言される高次元時空の存在から高次元重力理論の研究は精力的になされているが、高次元における重力の理解は不十分であるのが現状である。特に Einstein 方程式の非自明な解であるブラックホール解については次元が 6 以上の時空では厳密解は球状の Myers-Perry 解が知られているのみである。一般に定常な高次元時空においては要求される空間対称性は唯一つの軸対称性のみであるが、座標自由度は次元とともに増大していくため様々な対称性の低い解が許される。十分に対称性を課さない場合に Einstein 方程式を厳密に解くことは困難であるため、高次元において対称性の低い解を探索するには何らかの近似的手法が必要となる。その中で有力な手法の一つが摂動法的一种である Matched Asymptotic Expansion である。この手法は解の時空が複数の乖離した大きさのスケールを持つ場合に適用することができる。この手法を用いて、これまで Kaluza-Klein 時空における小さい Caged ブラックホール解や薄いブラックリング解などが真空の Einstein 重力理論において構成された。同種の近似としてブラックフォールド近似(有効世界面近似)があり、真空においては MAE の結果と同様の条件式(ブラックフォールド方程式)を与える。超弦理論においては一般に p -形式場や dilaton 場といった重力以外の古典場が存在するが、電荷を帯びた場合についてはブラックフォールド近似による釣り合いの条件式のみが調べられ、摂動解は構成されていない。

本論文は電荷を帯びた場合において MAE を適用し世界で初めて荷電ブラックホール解を構成した。その結果、(i)電荷をゼロにすることにより真空解をその解の系列に含むこと、(ii)熱力学の法則を満たすこと、(iii)Extreme 極限においてコンパクト化された空間上での Majumdar-Papapetrou 型の多重ブラックホール厳密解となること、が明らかとなった。

以上のように本論文は、高次元ブラックホールにおける摂動的手法について、特に電荷がある場合の近似解の構成について重要な研究を行った。

よって、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 25 年 1 月 18 日、論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降