

これまでの研究成果のまとめ

氏名：遠藤 洋太

銀河中心には超大質量 (太陽の 100 万倍以上の質量) で、きわめて小さい領域にエネルギーが集中した天体が存在すると考えられている。ここではそのようなエネルギーが集中した天体をコンパクト天体と呼ぶ。昨今、これらの天体の近傍領域の観測が可能になり、コンパクト天体の形成過程やその周りの現象を理解することは天体物理学の中心課題となっている。コンパクト天体はブラックホール (BH) をはじめとして様々な可能性が考えられてきた。申請者は超大質量コンパクト天体やその周りでの現象を理論的に記述・解析する研究を行ってきた。

超大質量コンパクト天体の候補としてボソン星 [1]

ある種の非線形な場の理論にはエネルギーが空間的な有界領域に局在化した安定な古典解が存在することが知られている。そのような解の一例として、 $U(1)$ 対称性を持った複素スカラー場の理論にはノントポロジカルソリトン (NTS) 解と呼ばれるエネルギーが局在化する古典解が存在する。 $U(1)$ 対称性を持った複素スカラー場に加えてゲージ場とヒッグス場 (GH スカラーモデル) と重力を結合させた系も同様に NTS 解 (ボソン星) が存在する。

申請者は、このモデルに対して球対称定常なボソン星の数値解を求め、その性質について議論した。この結果は物理専門誌である Physical Review D に掲載された。これは本研究所所属の石原氏、小川氏との共同研究である。

ディスクを伴う Kerr ブラックホール周りの真空磁気圏 [3]

コンパクト天体の周りにはプラズマと電磁場が存在すると考えられている領域があり、これを磁気圏と呼ぶ。本研究では磁気圏の構造を説明する理論的モデルを構築を目的とする。第ゼロ近似としてコンパクト天体を BH とみなし、プラズマを無視、すなわち、BH 周りの真空磁気圏を考えた。この近似の利点は、電磁場を記述する Maxwell 方程式の解析解が得られる点にある。

自転しているブラックホールを表す Kerr 時空を背景時空とし、赤道面上の円盤上を方位角方向に流れる電流 (トロイダル電流) をソースとする、定常かつ軸対称な真空磁気圏を解析した。Newman-Penrose の手法を用いることで Kerr 時空中での真空の Maxwell 方程式は変数分離可能となり、常微分方程式に帰着することが知られている。境界条件を BH の事象の地平面と無限遠で課し、赤道面に対して上 (北) と下 (南) の領域でそれぞれ正則な解を赤道面で電流分布と整合するように張り合わせることで解を構成した。従来は、リング電流をソースとして生成される磁気圏モデルが知られていたが、このモデルを拡張してディスク電流を扱う場合、異なる半径のリング電流解を重ね合わせる必要があった。これに対し本研究では、赤道面上の電流分布を直接ソースとして与えて解析解を導出した点に新規性がある。

次に、この解が示す物理的性質を理解するため、特定の電流分布による磁気圏の解析を行った。電流分布を固定した場合、磁場の大域的な構造は BH の自転に依らないことが確認された。BH の電荷がない場合、BH の自転が許される最大値に近づくにつれて事象の地平面から磁場が排斥される現象が見られた。また、トロイダル電流の向きがある半径で反転するとき、磁気圏内に異なる磁場構造を持つ 2 つの領域が形成されることが明らかとなった。このモデルでは BH の自転によって磁場から電場が作られるのが最大の特徴である。電場の発生は荷電粒子の加速や電荷降着を示唆する。これらの結果は、BH 磁気圏構造と電場生成の基礎的な理解を与えるものである。この研究は、本研究所所属の石原氏と愛知教育大学の高橋氏との共同研究であり、この結果も物理専門誌である Physical Review D に掲載された。