

これまでの研究成果のまとめ

上田 航大

S 星の観測を用いた Sgr A* 周囲の暗黒物質分布推定：

天の川銀河中心には Sgr A* を公転する S 星のクラスターが存在し、その軌道の観測は強重力場におけるブラックホール物理の検証に加え、中心領域付近の暗黒物質の分布を調べるための強力な手段を提供する。近年、例えば S2 星の近日点通過の観測からポストニュートン近似における 1PN の補正項との一致が確認されるなど、一般相対論の強重力場テストとして大きな成果が得られている。一方で、Sgr A* 周辺に存在し得る暗黒物質（アクシオン場、Proca 場など）についても、一般相対論からの微小なずれとして寄与する事が期待されている。

本研究では、今後すばる望遠鏡によって取得される S24 星の近日点通過データを用いて、暗黒物質分布パラメータを推定するため、その準備として解析手法の構築を進めた。特に、ポストニュートン近似で記述される S 星の運動方程式、および観測モデルに含まれる各種パラメータ（離心率などの軌道パラメータ、天球上の位置、視線速度など）を推定する統計的手法を整理した。具体的には、S24 星の観測データが得られる前段階として、最小二乗法によるパラメータフィッティングの挙動を調べ、その適用可能性を検証した。また Hamiltonian Monte Carlo (HMC) 法についても、事後分布サンプリングの枠組みを学習し、S 星解析への導入可能性を検討した。

その結果、最小二乗法については、推定したいパラメータそのものが S 星の運動方程式の中に直接入っているため、観測量を計算するには毎回その微分方程式を数値的に解く必要がある事が判明した。そのため、関数の形が解析的に書けることを前提にしている Mathematica の標準的な最小二乗法のコードは使えず、最小二乗法を適用するためには、自分でフィッティングコードを組み立てる必要があることが明らかになった。一方、HMC 法については今年度は主に理論的背景とアルゴリズムの学習を進めた段階であり、今後は最小二乗法で構築したコードに加え、事後分布のサンプリングを実装し、S24 星の軌道要素などの各種パラメータについて推定を行う予定である。