

論文審査の結果の要旨

氏名 ルス クリスティアン エドゥアルド

手前の銀河によって重力レンズされたクェーサー（重力レンズクェーサー）はレンズ銀河やクェーサーの詳細な研究を可能にする。しかしハッブル宇宙望遠鏡（HST）並の高空間分解能の観測が必要なため、これまでに観測されたサンプル数はまだ多くはない。本論文は、すばる望遠鏡の補償光学系を用いて 20 個という多数の重力レンズクェーサーを観測し、HST に匹敵する精度を達成して、各天体の詳細な解析といくつかの統計的な研究を行ったものである。

本論文は 9 章と付録からなる。第一章では研究の背景と目的が述べられている。まず、本研究で観測対象とした SDSS Quasar Lens Search (SQLS) という大規模な重力レンズクェーサーサンプルの概要がまとめられている。続いて、高空間分解能の観測によって引き出せるレンズ銀河やクェーサーの重要な物理量が例示され、最後に、すばる望遠鏡の補償光学系を使って多数の重力レンズクェーサーを詳細に研究するという目標が述べられている。

第二章では重力レンズ理論の原理が説明されている。レンズ方程式の導入と背景天体の増光率や歪みの式の導出に続いて、臨界線とコースティックス（焦線）、レンズ天体（ここでは銀河）の質量モデル、レンズモデルを解く際の変数の縮退などが説明されている。

第三章は補償光学系の概説である。まず、大気の影響についての基礎的事項が解説され、続いて、補償光学系の概要が述べられている。最後に、補償光学系の点像分布関数（PSF）について解説されている。

第四章は、Hostlens を含む本研究で使われたソフトウェアの説明である。このソフトは、観測された画像から、レンズ銀河、クェーサー、およびその母銀河の位置や光度プロファイルを求める。その際 PSF も同時に推定するので、PSF があらかじめ分かっている本研究のデータに有効である。

第五章では観測とデータ解析が記述されている。SQLS サンプルから選ばれた重力レンズクェーサーが、レーザーガイド星補償光学系（LGS+AO188）付きの赤外線撮像分光器（IRCS）を用いて、補償光学の性能が最も高い K バンドで観測された。重力レンズクェーサーの解析には PSF の情報が必要だが、データ整約の結果、星像から直接得られる PSF は大気の状態の時間変動により安定せず、解析に使えないことが判明した。そこで論文申請者は新しい手法を開発した。すなわち、本補償光学系の星像を最もよく近似する関数形を探し（2 つの Moffat 関数の重ね合

わせ)、各重力レンズクェーサーについて、その関数の変数とレンズ銀河やクェーサーの位置や光度プロファイルの変数を同時にフィッティングで推定する、というものである。実際、この手法を使うことで、PSF が既知でない場合でも十分高い精度で重力レンズクェーサーの解析ができることが示された。

第六章では各重力レンズクェーサーの解析結果が詳細に述べられている。クェーサー多重像や銀河の位置、レンズ銀河やクェーサー母銀河の光度プロファイル、レンズ銀河の質量プロファイルなどがまとめられている。レンズ銀河の光度プロファイルの測定精度は HST よりやや劣るものの、クェーサー多重像の相対位置の精度は約 1-2 ミリ秒角であり、HST で得られる精度に匹敵する。

第七章では、レンズ銀河の光度プロファイルは楕円銀河に特有な 1/4 乗則では合わず、多様である等、前章の解析からわかったいくつかの重要な結果がまとめられている。また、過去の低空間分解能の観測との比較や、解析の際のクェーサー母銀河の影響の考察も行われている。

第八章では、本研究のサンプルを用いて銀河やクェーサーのいくつかの統計的性質が調べられている。目的の一つは、本研究のサンプル、ひいては将来の同様の補償光学による観測が、HST での観測と同様に、そうした統計量の研究に有効であることを示すことである。クェーサー本体と母銀河の光度の相関、母銀河の光度と中心のブラックホール質量との相関、レンズ銀河の光度分布と質量分布の、楕円率と方位角についての比較、レンズ銀河の周囲の重力源がレンズモデルに与える影響、レンズ銀河の質量プロファイルの形状などが調べられている。第九章では論文全体のまとめと将来の展望が述べられている。

以上のように本研究は、多数の重力レンズクェーサーをすばる望遠鏡の補償光学系で観測し、独自の手法を用いてレンズ銀河やクェーサー母銀河の構造を詳細に調べたものであり、高く評価できる。本研究で確立された観測および解析手法を、Hyper Suprime-Cam 等の次世代広視野サーベイから得られる大規模なクェーサーサンプルに適用することで、この分野の進展が期待できる。本論文は家正則、大栗真宗、稲田直久ら 18 名との共同研究であるが、観測、データ解析、考察のすべてにおいて論文提出者が主体的に行っており、その寄与は十分高いと判断できる。よって博士（理学）の学位を授与できるものと認める。