

氏名	もと はら びん たろう 本原 顕太郎
学位(専攻分野)	博士 (理学)
学位記番号	理博 第 2171 号
学位授与の日付	平成 12 年 3 月 23 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	すばる OHS 用冷却赤外分光カメラの開発と電波銀河 B3 0731 + 438 の近赤外撮像観測

論文調査委員 (主査) 教授 舞原俊憲 教授 小山勝二 教授 笹尾 登

### 論文内容の要旨

近赤外, 特に  $1.25\ \mu\text{m}$  帯  $J$ ,  $1.65\ \mu\text{m}$  帯  $H$  バンドの観測では大気上層部の OH ラジカルの輝線 (夜光輝線) が大気からのバックグラウンド放射の大部分を占め, 観測の障害となっている。申請者の所属研究室で開発が行われているすばる望遠鏡用 OHS (OH-Airglow Suppressor Spectrograph) は高分散分光 ( $\lambda/\Delta\lambda = 5500$ ) を行ってこの夜光輝線を最大 95% 以上除去することにより通常に比べて 1 等級程度暗い天体の撮像 / 低分散分光を可能にする夜光輝線フィルタで,  $J$ ,  $H$  バンドで地上観測ではもっとも暗い天体の観測を可能にする。

OHS はこの夜光除去部と夜光が除去された光を分光 / 撮像するカメラ部にわかれ, そのカメラ部は Cooled Infrared Spectrograph and Camera for OHS (CISCO) とよばれる独立した観測装置となっている。CISCO は日本で初めて  $1024 \times 1024$  ピクセルのアレイ検出器 (HAWAII) を用いた分光 / 撮像カメラで, 撮像モードで波長  $0.9 \sim 2.4\ \mu\text{m}$  に感度を持つ視野  $2' \times 2'$  のカメラ, 分光モードで  $\lambda/\Delta\lambda \sim 300$  程度の波長分解能の分光器となる。申請者はこの CISCO の開発をその初期から携わってきた。特に, 100 万素子の HAWAII アレイ検出器からのデータ取得回路とそのソフトウェアシステムの開発を中心として行って, OHS に要求される低読み出しノイズ回路システムの開発に成功した。さらに, CISCO のこれらのシステムは全体をすばる望遠鏡のシステムに接続し, 望遠鏡側と連動した使いやすいインターフェースを提供してこれまで複雑だった近赤外線での撮像 / 分光観測を容易に行うコマンド群の開発にも成功した。

CISCO はすばる望遠鏡の試験観測期の 1999 年 1 月から 7 月にかけて単独でカセグレン焦点に取付けられて観測を行っている。申請者はこの期間に CISCO を用いて  $z = 2.429$  の電波銀河 B3 0731 + 438 の近赤外撮像観測を行った。この観測は  $2.1\ \mu\text{m}$  帯の広帯域フィルタ ( $K'$  バンド) と  $2.25\ \mu\text{m}$  の狭帯域フィルタの 2 バンドで行われた。 $2.25\ \mu\text{m}$  バンドはちょうどこの銀河の  $\text{H}\alpha + [\text{N II}]$  輝線に相当する。

この観測の結果, 中心から 50 kpc 近くまで広がったコーン状の  $\text{H}\alpha + [\text{N II}]$  の輝線雲を検出した。その形状は中心から両側の電波 hot spots へ延びる alignment effect を示し, それぞれの端が 2 股にわかれている。その形状から輝線雲はおそらくはコーン状に広がっており, 中心に隠された AGN から放射された紫外線で励起されていると考えられる。このような巨大な  $\text{H}\alpha$  輝線雲のコーンが明確に捉えられたのは初めてのことで, 電波銀河の alignment effect のモデルに重要な示唆を与えるとともに, 活動銀河核 (AGN) の unification scheme を強力に支持するものである。

さらに電離ガス雲の電子密度は  $50\ (e^-/\text{cm}^3)$ , 質量が  $5 \times 10^9 M_\odot$ , 水素電離光子数が  $4 \times 10^{55}\ (\text{s}^{-1})$  と推定した。これは他の  $z > 2$  電波銀河の  $\text{Ly}\alpha$  雲から得られた値とほぼ同程度である。また中心に隠されている AGN が等方的に電離光子を放出していると仮定するとその総量は  $10^{57}\ (\text{s}^{-1})$  と推測され, これはもっとも明るいクエーサーにも匹敵する量である。

一方, 輝線成分を除去した  $2.1\ \mu\text{m}$  (静止波長  $6000\ \text{\AA}$ ) の連続光イメージは中心に分解されない AGN コア ( $0''.4$  以下) と広がった銀河成分に分解することに成功した。さらに, 他バンドの結果と合わせて spectral energy distribution のフィットを行った結果, 母銀河は instantaneous な星生成を起こして 500 Myr 程度経過しており, その星質量は  $3 \times 10^{11}$

$M_{\odot}$ であることを示した。これは標準的な  $z=1$  の 3 CR 電波銀河と同程度の星質量であり、この天体も近傍の電波銀河と同様に非常に巨大銀河を母銀河として持つことを示した。

このように、これまで良く分かっていなかった  $z > 2$  の電波銀河の多様な様々な性質（中心 AGN、母銀河、広がった輝線雲）に関する新たな情報を提供する結果を得ることができた。

### 論文審査の結果の要旨

OHS によって夜光を除去した光を受ける検出器にとって、その読み出しノイズは限界等級を決定する非常に重要な性能となる。申請者はこの重要性に早い段階から注目し、大学院博士前期課程入学時に低ノイズ読み出し回路の開発を発案・計画した。ここに申請者の優れた着想力が見て取れる。

CISCO に用いられる 100 万画素の検出器はそれまでにハワイ大学で用いられている 1 例のみしか存在せず、そのシステム設計はほぼ独自に行う必要があった。さらに、読み出しノイズを低減するためには回路自身だけではなく、CISCO のハードウェア/ソフトウェア両面にわたる詳細な知識が要求される。ここで申請者は CISCO のシステム全体と調和のとれた独自の読み出し回路システムを設計し、製作した。初期のシステムにはいくつかの問題があったもののその原因を究明して改善することにより、最終的に OHS に要求される仕様を満たしたシステムに仕上げることに成功した。更にすばる望遠鏡の試験観測などを通じて CISCO の駆動ソフトウェアの開発にも携わり、すばる望遠鏡のソフトウェアシステムにも習熟している。申請者はこのような作業を通じて先進的な観測装置開発に要求されるハードウェア/ソフトウェア両面にわたる高度な問題発見/解決能力を修得している。

一方、申請者はこれら機器開発の傍らで高赤方偏位した電波銀河の alignment effect と呼ばれる現象に注目し、その輝線雲の観測に CISCO が適していることを指摘した。そこで申請者は CISCO の試験観測期にその観測の一環として電波銀河 B 3 0731 + 438 の広帯域フィルタと  $H\alpha + [N II]$  輝線を狙った狭帯域フィルタの観測を行った。さらに結果の解析を行う課程で CISCO のデータの解析手法を確立した。

この結果、申請者はこれまで全く知られていなかった、高赤方偏位の電波銀河の  $H\alpha + [N II]$  輝線雲のコーンを検出することに成功した。さらに、このコーンの放射機構は中心に隠されている AGN が放射する紫外光によって電離された水素原子の再結合線である可能性が極めて高いことを示したことは、電波銀河の alignment effect の機構の解明にとって非常に重要な成果である。また、申請者は輝線雲のシミュレーションを行い、このような輝線雲は中心にクエーサーとおなじベクトルを持つ紫外光によって励起されたモデルで良く再現されることも示した。このことは、電波銀河のみならずクエーサーなどを統一的に説明しようとする unification scheme を強力に支持する重要な結果である。

他方、申請者は輝線雲だけではなく、連続光画像に写っている電波銀河の母銀河にも注意を向けている。申請者はその画像解析のために独自に 2 次元画像フィッティングプログラムを開発した。申請者はこのプログラムにより銀河成分と AGN コア成分を分離して、その結果を過去の観測データと合わせて母銀河が比較的最近（5 億年前）に形成され、質量は典型的な  $z=1$  の電波銀河と同程度であることを示した。

上記のように、申請者は観測装置の開発を精力的に行うと同時に、それによって得られたデータの解析を行って科学的意義を持った結果を抽出しており、観測装置開発・科学的成果両面において非常にバランスのとれた研究を行っている。

以上本論文は、すばる望遠鏡の近赤外線カメラという先進的な観測装置開発を行い、更にそれによる観測で科学的成果をあげたという点で高く評価される。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。

平成 12 年 1 月 18 日、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合格と認めた。