

論文審査の結果の要旨

氏名 北川 祐太郎

空間分解したスペクトルを一度に得ることができる面分光は、今や可視・近赤外線による銀河の研究に欠かせない観測手法である。しかし、100 平方秒を超える広視野の近赤外面分光装置は、多くの難しい開発要素を含むためまだ存在しない。本研究は、東京大学アタカマ天文台 6.5 m 望遠鏡の近赤外多天体スリット分光器 SWIMS に装着する軽量小型の広視野面分光ユニット SWIMS-IFU を開発し、併せて、将来の広視野面分光観測の予備研究として、すばる望遠鏡で近傍のスターバースト (SB) 銀河の空間分解した星形成活動を調べたものである。

本論文は 2 つのパートで構成されている。パート I (第 1 から第 6 章) では SWIMS-IFU の開発について、パート II (第 7 から第 10 章) では SB 銀河の観測について述べられている。

第 1 章ではパート I の研究の背景と目的が述べられている。広がった天体の 3 次元分光データ (空間 2 次元、波長 1 次元) を取る方法の中で、面分光が効率の面で優れていることが指摘され、続いて、面分光を用いた近傍から遠方までの銀河研究の現状が、近赤外線観測の重要性を強調しながらまとめられている。そして、近傍銀河の研究に不可欠な広視野の近赤外面分光装置を世界に先駆けて開発するという、本研究の動機が述べられている。

第 2 章はパート I の導入である。3 つある面分光のタイプの中で近赤外ではイメージスライサータイプが最も優れているが、開発が難しいため狭い視野のものしか存在しないことを指摘し、SWIMS 用にイメージスライサータイプの広視野面分光ユニットを開発するという目的が述べられている。

第 3 章では、装着対象である SWIMS について紹介した後、SWIMS-IFU に求められる仕様を述べている。SWIMS-IFU は SWIMS 用のスリットマスクと同程度に小型かつ軽量にする必要がある。この厳しい制約の中で、適切な空間分解能と広い視野を持つ面分光光学系を設計できたことが、本研究の重要な成果の一つである。

第 4 章はその光学設計についてである。まず、近軸近似計算を用いて、幅 220 mm 未満、奥行き 170 mm 未満、高さ 60 mm 未満というサイズ条件を満たす光学設計の解を見出している。そして、その解を出発点として、レイトレーシングによって系全体の最適化を行っている。結像性能は視野上の最も悪い位置でも 0.39 秒 (スポット直径) であり、SWIMS-IFU が自然シーイング下で用いられることを考慮すると満足できる結果である。最後に、一体加工方式を採用するので、部品数が大幅に減り、組み立て誤差も小さくなることを指摘している。

第 5 章は超精密切削の検証実験についてである。SWIMS-IFU のような複雑な形のみラーアレイを一体加工するには、研磨よりも超精密切削が優れていることを述べ、理化学研究所の超精密非球面加工機を用いて SWIMS-IFU とほぼ同じ仕様のスライスミラーの切削実験を行っている。試行錯誤の結果、加工具の 2 軸を同時に制御することで、要求面精度を満たす切削に成功している。有望な素材であるニッケルリン (NiP) メッキしたアルミニウムについて超精密切削でスライスミラー加工を成功させたのは本研究が初めてである。こうして論文提出者は、SWIMS-IFU の開発の鍵である、光学系の構築と超精密切削技術の確立に成功した。実機の完成には至らなかったものの、その実現性を示した内容であるといえる。

第 6 章では、大望遠鏡による近赤外観測で金属ミラーの重要性が高まっていることを見据え、9 種類の合金について超精密切削加工への適性を調べている。まず、ダイヤモンドバイトを用いた旋盤加工実験を行い、NiP メッキなど 3 つの合金がダイヤモンド旋盤加工に適していることを見出している。続いて、NiP メッキされた 3 つの異なるアルミ素材の表面精度を低温環境で調べ、バイメタル効果が小さく留まる点で RSA443 という特殊アルミ合金が優れていることを見出している。

第 7 章はパート II の導入である。近傍の SB 銀河は、星形成率が高い点で遠方銀河に似ているため、それを詳しく調べれば遠方銀河の理解に繋がることが述べられている。

第 8 章は対象とした 2 個の SB 銀河の観測とデータ解析についてである。観測はすばる望遠鏡赤外カメラ IRCS を用いて AO モードで行われた。狭帯域フィルターで水素の Pa α 輝線を、K バンドで連続光を撮像観測している。前者から星形成率、後者から星質量が導出できる。

第 9 章では、空間分解した星形成活動を各天体について調べている。どちらの天体も星形成率面密度と星質量面密度の間に正の相関があること、Pa α で明るい 3 つのクランプでは比星形成率が高いことなどを見出している。

第 10 章では、2 天体のスターバーストの原因としてガスの面密度が高い可能性を示唆しているほか、前章で見つけたクランプと遠方銀河に見られるクランプとの類似性を指摘している。

第 11 章は全体の結論である。

以上のように本研究は、光学設計と精密加工という課題を克服して広視野近赤外面分光ユニット SWIMS-IFU の製作に道筋をつけるとともに、面分光を模した狭帯域撮像を行って銀河の広視野面分光の重要性を示した。いずれも面分光による銀河研究への重要な貢献である。本研究は本原頭太郎ら 14 名との共同研究であるが、論文提出者が主体となって行ったものであり、その寄与は十分高いと判断される。よって博士 (理学) の学位を授与できるものと認める。