

氏名（本籍地）	Pranshu MANDAL		
学位の種類	博士（理学）		
学位記番号	博甲第 9722 号		
学位授与年月日	令和 2 年 10 月 31 日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	Development of data analysis method and image synthesis pipeline for 100GHz band Nobeyama 45m MKID Camera (野辺山 45m 鏡 100GHzMKID カメラのデータ解析法と画像合成パイプラインの開発)		
主査	筑波大学 教授	博士(理学) 大須賀 健	
副査	筑波大学 教授	博士(理学) 久野 成夫	
副査	筑波大学 准教授	博士(理学) 徂徠 和夫	
副査	関西学院大学 教授	理学博士 中井 直正	

論 文 の 要 旨

本論文は、野辺山宇宙電波観測所の45m電波望遠鏡に搭載された多素子検出器である MKID カメラ用のデータ解析方法及び画像合成パイプラインの開発を行い、Chunk PCA という新しい解析手法を含んだこのパイプラインを実際に試験観測データに適用することでその有効性を検証したものである。本研究は、遠方銀河サーベイや銀河面サーベイといった多素子 MKID カメラによる広域観測を可能にするものである。

第 1 章では、広域マッピングを行うために多素子カメラの開発が観測天文学において非常に重要であることを述べたのち、筑波大学宇宙観測グループを中心に開発された野辺山 45m 鏡 MKID カメラの仕様についてまとめられている。そして、本研究の目的が、野辺山45m鏡 MKID カメラ用のデータ解析方法及び画像合成パイプラインの開発であることが述べられている。

第 2 章では、初めに野辺山 45m 鏡 MKID カメラのデータ取得システムについて説明した後に、データ処理の流れと、その中で本研究ではどの部分を開発したかが述べられている。次に、パイプラインに組み込まれた個々のデータ処理プロセスについて詳しく述べている。まず、準備処理として、データフォーマットの変換が行われることが述べられている。次に、性能がでていないため使用できない素子とデータのとびやスパイクノイズを除外するプロセスが組み込まれていることと、そのために考案された手法が述べられている。続いて、データ処理の中で最も重要な大気の差し引きについて説明している。まず、多素子カメラで一般的に用いられている PCA (Principal Component Analysis) という手法について説明している。従来の PCA において、複数の素子に共通な成分を主成分解析によって求める方法が述べられている。また、従来の PCA は、天体の成分も一部差し引かれてしまうため、強度が実際よりも低くなるという問題があることを指摘している。その問題点を克服するため、新たな手法として独自のアイデアである Chunk PCA

を提案している。Chunk PCA は、時系列のデータをいくつかに分割し(分割されたものを Chunk と呼ぶ)、それぞれの Chunk の中から天体からの信号を含んだ素子を除いて PCA を実行するというアイデアであることが述べられている。これによって、天体からの成分が差し引かれるのを防ぐことができる。さらに、シミュレーションによる疑似的な観測を行い、Chunk PCA によって従来の PCA の問題点が改善されることを検証し、その有効性を示している。次に、MKID から出力される共鳴周波数の変化を天体の電波強度に変換する方法として、チョッパー・ホイール法を用いることが述べられている。最後に、アンテナの位置座標を用いて、2次元イメージを生成する方法について述べている。

第3章では、開発したパイプラインを、火星を使った試験観測のデータに適用した結果について述べている。初めに、各素子のビームパターン、ビームサイズ、ビーム位置などの測定結果から、MKID カメラの性能が予定通りであることが示されている。また、各素子の主ビーム能率と開口能率を求め、これまでに野辺山宇宙電波観測所で行われている測定結果と比較し、強度較正が正しいことが確認されている。次に、全ビームを合わせた最終的なイメージが正しく作成されることが示されている。さらに、通常の PCA を使用した場合と Chunk PCA を使用した場合の比較を行い、Chunk PCA によって大気揺らぎの差し引きが正しく行われ、イメージの質が大幅に向上することが確認されている。最後に、大気の透過率の測定結果の解析結果が示されている。

第4章では、本論文の結論が述べられている。また、将来の課題として、実際の科学的データへの適用やユーザーインターフェースの開発などが挙げられている。

審 査 の 要 旨

〔批評〕

本研究は、野辺山 45m 鏡 MKID カメラ用のデータ処理パイプラインの開発に関するものである。MKID カメラは野辺山 45m 鏡に初めて搭載された多素子カメラ(素子数が 100 を超える)であり、独自の解析ソフトの開発が必要であった。したがって、生データからイメージ作成まですべてのプロセスを含んだパイプラインを開発した本研究の功績は大きいといえる。天体観測では、大気の揺らぎの除去が非常に重要であり、多素子カメラでは PCA という手法が用いられることが多い。本研究では、独自のアイデアでそれを発展させた Chunk PCA という新しい手法を開発し、実際の観測データによる検証でその有効性を示している点は、特に高く評価できる。Chunk PCA は、他の望遠鏡に搭載された多素子カメラへの応用も期待できる。今後、広がった天体や微弱な天体など実際の観測データへの適用を行い、Chunk PCA の有効性のさらなる検証が行われることを期待する。

〔最終試験結果〕

令和2年9月18日、数理物質科学研究科学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。