

論文審査の結果の要旨

氏名 相馬 達也

本論文は7章および1つの補遺からなる。第1章では、THz帯での天文観測の背景と本論文の概要を説明している。電磁波を用いた宇宙観測において、テラヘルツ帯（周波数 0.3-3 THz, 波長 0.1 – 1 mm）と呼ばれる周波数帯は、電波と遠赤外線の間にあたり、長らく検出技術の空白領域となっていた。しかし、近年の技術の進歩により、この周波数帯の観測も可能になってきている。テラヘルツ帯では、星間分子雲に含まれる基本的な原子・分子のスペクトル線が存在しており、それらの観測から星間分子雲の構造・運動・化学組成を詳細に調べることが期待できる。ただ、この周波数帯は大気の吸収や観測のための気象環境に影響を受けやすく、これまでの観測は Herschel 宇宙赤外線望遠鏡や航空機搭載望遠鏡 SOFIA といった口径数 m クラスの望遠鏡による観測に限られていた。それらに対して地上では、より大口径の望遠鏡を用いた、角度分解能の高い観測が期待できる。相馬氏が所属する研究グループでは、THz帯の高感度受信機を開発し、チリ・アタカマ砂漠(標高 5000m 弱)に設置された国立天文台の ASTE 望遠鏡に搭載することで、この周波数帯での宇宙観測を行う計画を進めてきた。しかし、観測に適した気象環境が限られることから、指向精度のキャリブレーションや観測効率の向上、観測機器の信頼性や安定度の向上、搭載作業の簡素化といった課題もあった。

第2章では、THz受信機や素子開発についてのレビューを行い、本研究の位置づけを示している。地上からの THz 帯観測のために、(1) 超伝導 HEB (Hot Electron Bolometer)ミクサ素子の開発 (2) それを用いた受信機の開発 (3) その受信機を ATSE 望遠鏡に搭載した科学観測、の一連の研究開発の重要性が示されている。第3章では、本研究の中核技術である広帯域ミクサについて、その着眼やシミュレーションを用いた最適化設計、製作したミクサの性能評価(使用可能周波数帯、雑音温度)の結果を示している。広い周波数帯で使用可能な高感度受信機の開発を進め、受信周波数幅や雑音温度において世界最高水準レベルにある超伝導ホット・エレクトロン・ボロメータ(HEB, Hot Electron Bolometer)ミクサ素子の開発を進めた。その結果、0.9-1.5 THz の周波数帯を1台のミクサでカバーするという目標を達成した。達成された比帯域49%は、世界でこれまで開発・使用されてきた受信機ミクサにおいて経験的に限界と考えられていた30%を大幅に更新するものであった。これにより、1.3/1.5 THz 帯と同じミクサを用いて、比較的難易度の高い0.9 THz 帯の指向精度キャリブレーションを行うことや、各周波数帯において電磁波の2つの偏

波を同時に観測することを可能にした。

第4章では受信機の開発について述べられている。前章で示したミクサを用いた受信機の設計と、製作した受信機の応答や安定度の測定評価、ビームパターンの評価とその結果の考察、ホーン接続部に関する将来への知見が示されている。中でも、受信機の冷却段に内蔵できる周波数通倍器を開発し、局部発信機導入の際の振動に起因する不安定性を解決するとともに、局部発信機入力の際の光軸調整作業を大幅に簡略化することに成功したことは特筆に値する。開発された受信機の雑音レベルやビームパターンといった特性評価も入念に行うとともに、その結果と計算シミュレーションの比較から、受信機ホーン部とミクサ部の接合構造を改善する将来のための知見も残している。

第5章はASTE 10m 望遠鏡の概要と製作した受信機の設置、試験観測について記載されており、第6章では天文観測結果とその結果の考察が示されている。第4章で示された受信機を実際に南米・チリのアタカマ砂漠にあるASTE望遠鏡に搭載して2015年秋に観測を行い、3つの低質量原始星領域(RCrAIRS7B, NGC1333IRAS2A, OMC2 FIR4)において ^{13}CO ($J=8-7$, 881 GHz)の輝線を新た検出に成功した。他の輝線と合わせた解析から、速度構造を探るといった解析を行い、開発した受信機が科学観測に十分な性能を持つことを示した。最後に、第7章は本論文の結果と結論、将来への知見がまとめられている。

本研究は、所属研究室や国立天文台との共同研究であるが、論文提出者が主体となって、ミクサの設計・製作、受信機の開発、ASTE望遠鏡への取り付けと天文観測という一連の研究を進めたもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。特に、広帯域ミクサの着想、受信機への周波数通倍器の内蔵、といった相馬氏独自のアイデアが生かされているとともに、各種特性評価と計算機シミュレーション結果を組み合わせることで、装置についての深い理解と知見を得ている。開発された受信機や研究の過程で得られた知見を生かすことで、雑音温度のさらなる低減やTHz帯の科学観測の更なる発展も期待でき、この分野における相馬氏の貢献は非常に大きい。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。