

論文審査の結果の要旨

氏名 杉本 正宏

電波天文学ではチリ北部アタカマ砂漠で 2012 年から観測を開始する ALMA (アタカマミリ波サブミリ波干渉計)により観測的研究が飛躍的に進歩すると期待されている。ALMA は直径 12m のパラボラアンテナ 50 台で構成される 12m アレイと直径 7 m のアンテナ 12 台と直径 12m のアンテナ 4 台で構成されるアタカマコンパクトアレイ(ACA)よりなる巨大システムである。本論文はこの ALMA、特に ACA を対象とした電波望遠鏡アンテナの設計法と評価法についての研究である。本論文は 5 つの章よりなる。

第 1 章ではこの ALMA の望遠鏡システムの説明の後、アンテナの設計法と評価法についての現状をレビューし、ALMA のアンテナの開発において解決すべき問題を列挙している。

第 2 章は 7m アンテナの光学設計についての章である。本研究の光学設計では以下の 2 点の特長がある。第一にはカセグレン副鏡と受信機フィード間の定在波による受信帯域内の周波数特性の悪化、特に平坦性の悪化の解決である。定在波を抑制するために、副鏡の中心部の反射鏡の形状を工夫して副鏡の反射波がフィードホーンに戻らないようにする設計法があり、12m アンテナでもコーン状反射鏡を取り付ける方法が採用されている。本研究ではこの方法を改良し中心部の反射鏡の形状を、自由度を増やした曲面とした。曲面形状の最適化では、光線追跡法で反射波が主鏡をどう照らすかを調整して、反射波が受信帯域全体にわたり確実に空に逃げて、雑音上昇が避けられる設計を成功させた。さらに物理光学的手法で設計を確認した。第二は 12m アンテナと 7m アンテナでの受信機の共通化である。12m アンテナ用受信機が 7m アンテナでも使用できることは、望遠鏡サイトでのメンテナンス性を向上させ結果的に観測効率を高めることにつながる。しかし、12m アンテナと 7m アンテナでは焦点距離等の光学パラメータが異なるため、12m 用に合わせた受信機光学系はそのままでは 7m アンテナの主鏡面上の照度分布が最適にはならない。この研究では反射鏡とプリズムからなる補正光学系を設計し、実際にその光学系を通した放射パターンを測定して 12m アンテナの光学系に一致していることを確認し、受信機の共通化に成功した。

第 3 章は ACA の 12m アンテナの光学系の測定と評価法の改良についての章である。ビームパターンの測定はセンチ波帯やミリ波帯では惑星等を用いて行われるが、サブミリ波帯では感

度が十分でないため測定精度が良くなかった。この向上のためには明るい光源が望まれる。月の縁を利用するビームパターンの測定方法も試みられたが、惑星を使用する方法に比べ精度が必ずしも良くなかった。本研究では精度向上しない原因が月をディスク状天体と考えていることであると特定して、輝度分布の情報を付け加えて解析することによって、惑星を用いる方法と同等のレベルまで精度を向上にさせることに成功した。さらに 12m アンテナ用受信機フィードの近傍界を測定し、それからビームパターンを計算した。それを上記の観測結果と比較して 12m アンテナ用アンテナ光学系が 1% のレベルまで設計通りの性能であることを確認した。

第 4 章はマルチモードガウス光学によるビーム伝送解析と光学損失解析を組み合わせた電波望遠鏡アンテナの利得と雑音の解析法の研究である。アンテナの利得と雑音の解析は物理光学を用いれば原理的には可能であるが、サブミリ波では光学系の大きさに比べ波長が短いため計算量が劇的に増えて膨大な計算時間が必要であり、最適な光学パラメータを探す等のプロセスには現実的でない。この研究では実際に 12m アンテナの測定に計算量を少なくできるマルチモードガウス光学による解析法を適用しアンテナの利得と雑音を計算した。利得については十分な精度で一致した。雑音は 20% の不一致があった。ただしこの原因は受信機雑音温度が変化していたためと考えられ、予測が悪いとは言えない。さらに実際にこの方法で最も周波数の低い 31-45 GHz 帯の光学系の最適な光学パラメータを探し、エッジレベルを変更して性能を向上させる提案も行っている。第 5 章は論文全体のまとめである。

本論文の提出者は多岐に亘った望遠鏡アンテナの設計法と評価法を通して、ALMA の観測性能を向上させており、電波天文学の実験的研究として高く評価できる。なお、本論文は、井口聖、関本裕太郎、稲谷順司ら ALMA アンテナグループとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験・観測・解析・結果のまとめを行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上の理由から、論文提出者杉本正宏に博士（理学）の学位を授与できると認める。