

氏名	今田大皓
学位の種類	博士（理学）
学位記番号	博甲第 7637 号
学位授与年月日	平成 28 年 3 月 25 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	

Theoretical Study of Radio Telescope Optics with Wide Field of View
(広視野電波望遠鏡光学系の理論的研究)

主査	筑波大学教授	博士(理学)	久野成夫
副査	筑波大学教授	理学博士	中井直正
副査	筑波大学教授	博士(理学)	受川史彦
副査	大阪大学教授	博士(理学)	芝井 広
副査	国立天文台准教授	博士(理学)	関本裕太郎

論 文 の 要 旨

本論文は、天文学における掃天観測で必要とされる広視野光学系をもつ電波望遠鏡を実現するために、電波望遠鏡光学系の理論的な考察を行い、広視野電波望遠鏡の光学設計の新たな手法と、点回折干渉計を応用した新たな波面センサーを考案した研究について記述したものである。

第一章では、現代の天文学における広視野電波望遠鏡の必要性、広視野電波望遠鏡設計への幾何光学導入の必要性と問題点についてまとめたのち、本論文の目的を述べている。

第二章では、アンテナの性能を表すパラメータおよびアンテナによって測定される物理量についての説明を行っている。点源を観測することで測定できる“ビームパターン”と、アンテナ効率と受信機のビームパターンの積に比例する“実効的な開口面積”の二つが最も基本的なパラメータであることを述べている。また、相反定理についての説明を行っている。

第三章では、ビームパターン、ビーム立体角、スピルオーバー、開口能率といったアンテナの性能を表すパラメータについて、特に開口アンテナの場合についてより明確に記述している。望遠鏡の中を伝わるビームが基本的なガウスビームであると仮定できる場合、これらのパラメータはビームサイズによって規定されることを述べている。また、これまでの電波望遠鏡の光学設計が、単一ビームを想定し基本的なガウスビームを仮定した準光学的に行われており、広視野望遠鏡の設計には適切でないことを指摘している。さらに、基本的なガウスビームを想定できない場合の開口能率について、これまで十分な研究が行われていないことも指摘している。そのうえで、電波望遠鏡の設計に要求される条件を整理しており、その条件は、(1)入射エネルギーのうちの検出器に到達するエネルギーの比率である開口能率を高くすること、(2)開口能率が観測周波数に依存しない系にすること、とまとめられている。

第四章では、基本的なガウスビームを仮定した電波望遠鏡の性質についての理論を、一般的なビームへと拡張することを試みている。周波数に依存しない系の条件が、フレネル回折を計算することによって示すことができ、レンズの公式を満たす二つの面では、位相まで含め幾何光学的に扱えることを示している。実際に計算を行う際に、瞳を周波数に依存しない場所として使うことができることも提案している。また、開口能率が入射電場と検出器の感度分布の結合を計算することで得られることから、入射波の波面誤差と検出器の感度分布をゼルニケ多項式で展開し、光線追跡から得られる収差の大きさの値を用いることで、開口能率を解析的に書き下せることを示している。さらに、ここで得られた解析解を応用し、収差による開口能率への影響を軽減する条件を導いている。これらの、観測周波数に依存しない系の条件および開口能率の解析的記述が、広視野広帯域電波望遠鏡の新しい設計手法として提案されている。

第五章では、第四章までで述べられた手法を、現在、筑波大学によって検討が進められている南極10m テラヘルツ望遠鏡に適用し、その性能を評価している。筑波大学10m テラヘルツ望遠鏡の光学設計は、光線追跡法を用いて幾何光学的な評価方法のみに基づき行われてきたものであるが、受信機位置の調整を行うことで、本研究で提案された新たな評価方法においても0.638という非常に高い開口能率が得られることを示している。

第六章では、点回折干渉計を応用した新たな波面センサーを提案し、その性能評価を行っている。このセンサーはPPBS(polarizing point-diffraction beam splitter)を用いるもので、PPBSのピンホールとその他の部分によって、入射ビームは透過する電波と反射する電波のどちらも直交する二つの偏波となる。また、ピンホールを透過する電波とそこで反射される電波(これらを参照ビームと呼ぶ)およびピンホール以外を透過する電波とそこで反射される電波(これらをテストビームと呼ぶ)に分けられる。参照ビームとテストビームは同じ光路をたどり、同時に4つのインターフェログラムを得ることができ、これらを用いて実時間で高精度の波面誤差の測定が可能になることを示している。さらに、解析的な計算に基づき、波面測定システムの系統誤差を評価し、必要な精度を得るための条件について考察を行っている。

第七章では、本論文のまとめを行っている。

審 査 の 要 旨

〔批評〕

従来の電波望遠鏡の光学設計においては、収差のほとんどない視野中心では準光学的手法が用いられてきたが、広視野光学系を設計する場合、光線追跡による幾何光学収差によって行われてきた。その結果、電波望遠鏡で最も回折の効果が大きくなる給電部の応答を考慮した設計がほとんどなされてこなかった。本研究で提案された広視野電波望遠鏡光学設計の新しい手法は、給電部の応答と収差の結合を解析的に明示することにより、これまで不可能であった視野中心以外も含めた光学系の最適な解を導くことを可能とした。周波数に依存しない解による広帯域化と合わせて、南極テラヘルツ望遠鏡を含めた新世代の電波望遠鏡の性能を飛躍的に高めることになる基礎的な貢献である。以上のように、本研究は当該分野において独自性の高い極めて重要な研究であり、天文観測での必要性が非常に高くなってきている広視野電波望遠鏡の開発に、将来大いに役立つことが期待される。今後、他の評価方法との関連についてより明確にしていくこと、今回提案された手法を南極テラヘルツ望遠鏡に適用して、より高い開口能率を得るための考察が行われることを期待する。

〔最終試験結果〕

平成28年2月16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。