

氏名（本籍地）	周 斌		
学位の種類	博士（理学）		
学位記番号	博 甲 第 9724 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	The study of the phase retrieval holography measurement for the Ritchey-Chrétien telescope (Ritchey-Chrétien 望遠鏡の位相回復ホログラフィー測定の研究)		
主査	筑波大学 教授	博士(理学)	受川 史彦
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	宇宙科学研究所 教授	理学博士	坪井 昌人
副査	国立天文台 准教授	理学博士	松尾 宏

## 論 文 の 要 旨

本論文は、広視野を実現するために近年の電波望遠鏡計画でも採用されるようになってきたリッチー・クレチアン式望遠鏡の位相回復ホログラフィーによる鏡面精度測定法について行われた初めての研究である。特に光路誤差の補正が複雑となる近傍界での位相回復ホログラフィーについての詳細な研究を行っている。

第1章では、はじめに南極からのテラヘルツ観測で開かれると期待される新しい天文学と南極10m望遠鏡計画について述べられている。続いて、これまでに用いられている電波望遠鏡の鏡面精度測定法について説明し、南極の厳しい環境下では、追加の装置を必要としない位相回復ホログラフィーが適していることが述べられている。最後に、リッチー・クレチアン式望遠鏡の鏡面測定に位相回復ホログラフィーを適用させ、その測定精度を評価するという本研究の目的が述べられている。

第2章では、リッチー・クレチアン式望遠鏡の位相回復ホログラフィー測定について基本となる数学的な解析が行われている。特に、近傍界での位相回復ホログラフィー測定への拡張が行われている。まず、電波ホログラフィー一般について説明した後、リッチー・クレチアン式望遠鏡の場合について、近傍界での放射パターンと開口面での電場分布の近似的な関係式を導き、ホログラフィー測定で得られる波面誤差から鏡面誤差を求める関係式を導出している。この関係式は、双曲面をもつリッチー・クレチアン式望遠鏡について初めて求められたものである。次に、遠方界での解析に用いられる Misell アルゴリズムを近傍界に適用する方法について述べている。

第3章では、近傍界の場合に生じる光路長誤差を補正する方法について検討を行っている。特にリッチー・クレチアン式望遠鏡の場合は、双曲面鏡を用いるため、通常の放物面と光路長誤差が異なる。はじめに、等価放物面を使って光路長誤差を計算し、フィードの位置をずらすことでは光路長誤差を小さくす

ることはできないことを示している。次に、光路追跡法と Ruze によって解析的に求められた計算式を用いて、副鏡の位置を調整することで光路長誤差を小さく抑えることができることを示している。さらに、光路追跡法と Ruze の計算式の結果の比較から、南極テラヘルツ望遠鏡のような口径 10m 望遠鏡であれば、リッチー・クレチアン式望遠鏡でも Ruze の計算式で十分な精度が得られることを示している。Ruze の式を用いることで、計算時間の節約ができるという利点があることを指摘している。

第4章では、シミュレーションソフトウェア GRASP8 を用いた数値シミュレーションの設定について説明している。遠方界の場合を計算し、Misell アルゴリズムがリッチー・クレチアン式望遠鏡の場合でも有効であることを検証している。また、主鏡の外縁部で位相誤差が大きくなることを示し、光路追跡法によって有効な測定が行える境界を見いだせることを示している。

第5章では、リッチー・クレチアン式望遠鏡の近傍界での位相回復ホログラフィー測定について、GRASP8 を用いた数値シミュレーションを行っている。電波源を近傍界の 3 km に設定し、主鏡面の4枚のパネルに段差を与え、位相回復ホログラフィーによる段差の測定精度を求めている。手法として 2 種類を提案しており、一つは副鏡を焦点と焦点からずれた 1 点での近傍界強度分布を測定する方法で、もう一つは、今回の研究で初めて試された焦点からずれた 3 点で測定する方法である。結果として、前者で副鏡の位置を 8mm-9mm 焦点からずらした場合に、10  $\mu$  m 程度の測定精度を実現できることを示している。また後者でも同程度の精度を達成できる可能性を示している。

第6章では、ノイズを含んだ数値シミュレーションを行い、要求される測定精度を達成するために必要な信号対雑音比を求めている。結果として、実際の測定では 70dB 以上の信号対雑音比が必要という結果が示されている。

第7章では、本論文の結論と今後の課題が述べられている。

## 審 査 の 要 旨

[批評]

本研究は、位相回復ホログラフィーを用いたリッチー・クレチアン式電波望遠鏡の鏡面測定について行われた初めての研究である。リッチー・クレチアン式は、近年の広視野電波望遠鏡にも採用され始めており、将来の発展が期待される非常に重要な研究である。本論文では、特に解析が複雑となる近傍界での位相回復ホログラフィーについて、基本的な解析的計算から示しており、この分野の今後の研究に参考となるものである。南極10mテラヘルツ望遠鏡計画のように、厳しい条件下での鏡面測定の場合、位相回復ホログラフィーを用いることができる利点は大きく、リッチー・クレチアン式電波望遠鏡にこの方法を用いることができる可能性を初めて示した点は、高く評価できる。将来的には、他の電波望遠鏡への適用も期待される。今後、実際の測定に向けて残されたいくつかの課題を解決し、リッチー・クレチアン式望遠鏡を用いた実際の測定によって位相回復ホログラフィーの有効性が実証されることを期待する。

[最終試験結果]

2020年9月28日、数理物質科学研究科学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。