



Title	太陽系外惑星の直接検出のための空間光変調器を用いた波面制御技術に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	米田, 謙太
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14866号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85157
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Kenta_Yoneta_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 米田 謙太

審査担当者 主査教授 長谷川 祐司
副査教授 森田 隆二
副査教授 戸田 泰則
副査名誉教授 馬場 直志
副査講師 村上 尚史

学位論文題名

太陽系外惑星の直接検出のための空間光変調器を用いた波面制御技術に関する研究
(Study on wave-front control technique using spatial light modulator for direct detection of exoplanets)

太陽系外惑星(太陽以外の恒星を公転する惑星)は、現代の天文学における重要な研究テーマの一つである。これまでに発見されている系外惑星のほとんどは、視線速度法やトランジット法といった間接的な観測法によるものである。一方、系外惑星を直接検出することができれば、スペクトル分析などにより惑星大気の詳細な情報が得られると期待され、極めて大きな意義がある。系外惑星を直接検出するためには、その障害となる明るい恒星光を除去する高コントラスト観測装置が不可欠である。例えば、究極目標の一つである生命を宿す惑星を検出するためには、必要とされる恒星光除去性能(コントラスト)は 10^{-10} とも言われており、非常にチャレンジングな技術課題である。高コントラスト観測装置は主に、コロナグラフと波面制御系から構成される。コロナグラフとは、望遠鏡瞳により生じる恒星回折光を除去する装置である。波面制御系は、コロナグラフで除去できない恒星散乱光をさらに除去し、惑星探査領域(ダークホール)を形成する装置である。

将来の系外惑星探査に向けて、可変形鏡(Deformable Mirror, DM)による波面制御技術の開発研究が盛んに行われている。恒星周囲にどれだけ広いダークホールを形成できるかは、DMの制御素子数に比例する。現在開発されているDMは数 $10 \times$ 数 10 素子程度であり、恒星近傍の恒星光を強力に除去する能力は実証されているが、恒星遠方ほど観測が困難となる。そこで筆者は本論文において、制御素子数が圧倒的に多い空間光変調器(Spatial Light Modulator, SLM)に着目し、新たな3つの波面制御技術を提案している。

第2章では、広範囲ダークホール技術について述べている。筆者は、SLMの制御素子の多さを活かした2種類の観測モードの数値シミュレーションを行った。1つは、広い領域のダークホールを形成して未知の惑星を探査する観測モード、もう1つは、既知の系外惑星を詳細に調査するために惑星位置の小さな領域で強力に恒星を除去する観測モードである。これらの観測の数値シミュレーションを行い、 10 パーセク遠方の観測ターゲットに対し、太陽系の海王星軌道までカバーするダークホール形成を実証している。本成果は、DMよりも恒星の数倍遠方まで観測領域が広がることを示唆しており、将来のさらなる発展が期待できるものである。

第3章では、ハーフトーンダークホール技術について述べている。波面制御系において、波面制御量はDMやSLMの位相分解能によって量子化されるため、達成できるコントラストが制限され

てしまう。ハーフトーン手法とは、画像の連続的な明るさを限られた階調で表現する手法である。本論文では、達成されるコントラストの向上を目指し、ハーフトーン手法を波面制御に適用することが提案されている。筆者はまず、提案手法の数値シミュレーションを行い、コントラストが 10^{-9} から 10^{-10} オーダへ改善されることを実証した。さらに、レーザ光源を恒星に見立てた室内実証実験を行い、提案手法の有効性を実験的にも実証している。実験で得られたコントラストは 10^{-8} オーダにとどまったものの、本成果は、位相分解能の低い波面制御デバイスで高コントラストを目指すうえでの重要な知見を与えるものである。

第4章では、連星ダークホール技術について述べている。これまでに、単一星だけでなく連星系(複数の恒星から成る系)にも系外惑星が発見されており、惑星系の多様性を理解するうえで興味深いターゲットである。しかしながら連星系での惑星観測は、離れた位置に存在する複数の恒星からの光を同時に除去する必要があるため、従来は観測が困難であるとされてきた。筆者は、制御素子の多い SLM での連星系波面制御を提案し、室内実験によりその原理実証に成功した。本成果は、将来の観測ターゲットを連星系にまで広げる可能性を独自手法で開拓した点において、大きな意義があると考えられる。

これを要するに、筆者は、広く開発が行われている DM ではなく SLM に着目した新たな波面制御技術の開発研究により、広い惑星探査領域、高い恒星除去性能(コントラスト)、連星系ターゲットの開拓という3点についての新知見を得ている。またこれらの研究を通じて、将来の高コントラスト観測技術のための本学の研究開発拠点の形成にも多大な貢献をし、今後さらなる研究の発展が大いに期待される。よって筆者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。