

Title	Analytical Formulations of Instrumental Focal Point Diffraction for Detection of Biosignatures in Exoplanet Atmospheres
Author(s)	伊藤, 哲司
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72679
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (伊藤 哲司)

論文題名

Analytical Formulation of Instrumental Focal Point Diffraction
for Detection of Biosignatures in Exoplanet Atmospheres
(系外惑星大気中の生命兆候の検出に向けた装置の焦点面回折の解析的定式化)

論文内容の要旨

天文学の分野において、分光観測による、潜在的な生命が居住可能な系外惑星の大気組成の決定は、最も重要な課題のうちの一つである。これは、大気組成に、惑星が生命を有している兆候が現れ得る、という考えに基づく。これまでに見つかっている太陽系外の生命居住可能候補惑星はそのほとんどが、太陽より低温の恒星、M型星周りの惑星である。M型星周りの惑星の大気透過光や放射光のスペクトルは、惑星の食や、軌道運動による、明るさの変化の波長依存性を精密に計測することにより、主星光と分解して検出できる。その観測には、長時間にわたって、明るさの変化の波長依存性を精密に計測するための、測光安定度が重要であり、M型星周りの生命居住可能候補惑星の場合、シグナルに対して10万分の1の測光安定度が必要である。

地上観測では、大気吸収の時間変動によって測光安定度が悪化する。そのため、スペースからの観測が有利である。このスペースからの観測においても残存する要因の一つに、望遠鏡の指向変動に伴う、スリット損失の時間変動がある。本研究では、この要因の低減のために、瞳振幅変調マスクを用いた点広がり関数 (Point Spread Function: PSF) のサイドローブの変調、という手法を利用することを提案した。この手法は、天文学の分野でこれまで、主に系外惑星の直接撮像のために提案されてきた。そして、この新しい目的に適した、新しいタイプのマスクパターンを、独自の数理解析的手法で定式化した。このマスクパターンを用いると、指向変動が、回折限界像メインローブ半径の70%程度以下であれば、ほとんど任意のスリット半径について10万分の1の測光安定度が達成されると期待される。

次に、この手法を、次世代の超大型宇宙赤外線望遠鏡コンセプトであるOrigin Space Telescope (OST) に適応するための研究を行った。OSTは正六角形型のセグメント望遠鏡として計画されている。そこで、正六角形型のセグメント望遠鏡のPSFの解析式の新しい定式化を具体的には次のように行った。2変数を用いて定式化されていた正六角形型のセグメント望遠鏡のPSFの解析式に対して、各変数の置換が正三角形の頂点の置換に対応するような3変数を用いた定式化を導入する。これにより、正六角形状のセグメント望遠鏡を数式の上で3次元正方形形状の回折格子の一部として明確に理解できる。これは、正六角形型のセグメント望遠鏡の開口を仮定した新しいマスクパターンの導出に応用できる可能性があり、太陽系外の生命兆候の分光観測への技術開発を一步前進させる可能性がある。

本研究で提案されたようなマスクパターンを、最適化されたスリットとともに、Matsuo et al. 2016で提案されたDensified Pupil Spectrometerという方式の分光器に組み込み、OSTに搭載して観測することができれば、装置由来の系統誤差に影響を受けない、光子ノイズリミットの、潜在的な生命が居住可能なM型星まわりの系外惑星のトランジット分光観測が実現できる。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (伊藤 哲司)

	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授 芝 井 広
	副 査	教 授 住 貴 宏
	副 査	教 授 長 峯 健太郎
	副 査	准教授 林 田 清
	副 査	准教授 湯 川 諭

論文審査の結果の要旨

宇宙赤外線の高安定度分光観測は、潜在的な生命居住可能惑星の大気組成を知ることができるため、天文学の最も重要な研究分野の一つである。大気組成には、その惑星の生命活動の兆候が現れるからである。既発見の太陽系外生命居住可能候補惑星のほとんどは、太陽より低温の恒星（M 型星）周りを周回する惑星である。このような M 型星周りの惑星の大気透過光や放射光のスペクトルは、惑星の食や、軌道運動による光度変化の波長依存性を精密に観測することにより、主星光と区別して検出できると期待される。しかしながら主星と惑星の光度比は 10 万以上であるため、惑星のスペクトルを抽出するためには、10 万分の 1 あるいはそれ以上の測光安定性を持つ観測装置が必要である。地上からの観測では大気吸収の時間変動が障害となるため不可能である。一方、宇宙望遠鏡による観測では宇宙望遠鏡の指向方向の微小変動に伴うスリット損失の時間変動が、この測光安定性を悪化させる主要原因になることがわかってきた。

申請者は、宇宙望遠鏡の測光安定性を向上させるために、「瞳振幅変調マスクを用いた点広がり関数 (Point Spread Function: PSF) のサイドローブ変調」という手法を提案し、新しいタイプのマスクパターンを独自の数理解析的手法で定式化した。このマスクパターンを用いると、宇宙望遠鏡指向方向の変動による測光安定性の悪化を、10 万分の 1 程度以下に抑制することが可能になると予想される。

さらにこの手法を、次世代の超大型宇宙赤外線望遠鏡計画である Origin Space Telescope (OST) に応用するための研究を行った。OST は正六角形型のセグメント望遠鏡として計画されている。そこで、正六角形型セグメント望遠鏡の PSF を解析的に定式化する手法を創案した。2 変数を用いて定式化されていた正六角形型のセグメント望遠鏡の PSF の解析式に対して、各変数の置換が正三角形の頂点の置換に対応するような 3 変数を用いた定式化を導入する。これにより、正六角形状のセグメント望遠鏡の PSF が、3 次元正方形の回折格子の一部として数式上で明確に理解できる。この手法は OST をはじめとする次世代の正六角形型セグメント望遠鏡のマスクパターンの設計に効果的に応用できる。

申請者のこれらの研究結果は、宇宙生命探査分野の研究に重要な技術的貢献をすると期待される。したがって申請者の研究は高い価値を有し、博士（理学）の学位を授与するにふさわしいと判断する。