O-28

系外惑星直接観測のための高コントラストコロナグラフシステムの開発

Developing a high contrast coronagraph system for direct detection of exo-planet

○大矢正人^{1,2}, 堀江正明^{1,2}, 西川淳², 田村元秀², 藤井紫麻見³

Abstract: A stellar coronagraph system for observing extra solar planets directly is under development by combining unbalanced nulling interferometer (UNI), adaptive optics, and a focal plane mask coronagraph. However, a sufficient high contrast is not obtained yet in the experiment. We thought that the remained speckle noise at the final coronagraph focal plane is caused by a non-common path error. We describe that our coronagraph system becomes practically higher contrast by upgrading the controlling method of adaptive optics with the wave front sensor assisted by focal plane wavefront sensing method, where two feedback loops are used. Furthermore, we describe that a secondary shadow by reflecting telescope is removed by cascaded eight-octant phase mask coronagraph.

1. はじめに

太陽系外惑星の観測は、天文学において重要なテーマの1つである.特に地球型惑星を直接に撮像し、生命存在の可能性を示す水や酸素などのスペクトルを検出することが次の最大のマイルストーンとなる.しかし、近くにある主星が大変明るいため、惑星の直接観測では約10桁のコントラストが必要であり、波面誤差を波長 λ に対し、 λ/1000[rms]まで低減する必要がある.そこで、我々は、焦点面マスクコロナグラフや非対称ナル干渉計(UNI)、補償光学などを組み合わせることによって、系外惑星を直接観測するための高コントラストコロナグラフシステム(図.1)を開発中である^[1]



2. 焦点面波面センシング

図.1 の位相振幅補正(PAC)の補償光学の波面センサー 光路での測定値が λ 1000[rms]でも、コロナグラフを通 って最終的な焦点面検出器へ至る光路にある λ 1000[rms]より悪い波面誤差(非共通光路誤差)があ れば、残留スペックルノイズが焦点面検出器で問題に なるレベルで発生する.そこで、焦点面波面センシン グの追加によって、この残留スペックルノイズを除去 する.焦点面波面センシングは、瞳面に設置した可変 形鏡と最終焦点像を観測する検出器を用いて、補正す べき像面上の電場を検出し、波面を制御してその電場 を除去する.像面の1点の電場は、可変形鏡で特定周 期のコサイン波状の位相を4種類加えて観測すること で、求めることができる.求めた像面電場の負値に対 応する電場を可変形鏡で発生させることにより、スペ ックルノイズを除去する.

3. 焦点面波面センシングの実験

図.2 のように、He-Ne レーザー (λ =633nm) の光を 対物レンズでピンホール(直径 5µm)に集光し恒星像 を模擬した. ピンホールを通過した拡散光をコリメー ターレンズ(焦点距離 f=400mm) でコリメートするこ とで、恒星からのコリメート光をシミュレートしてい る. その後, 2 枚のレンズ (f=200mm) で入射瞳を再 結像した場所に可変形鏡(DM)を配置した. さらに、 2 枚のレンズ (f=200mm) でコリメート後, ビームス プリッタで光路を2つに分ける.片方の光路では、入 射瞳を再結像した場所に波面の位相を測定するシャッ クハルトマン式波面センサー(WFS)を配置した.も う一方の光路では、焦点面の八分割位相マスク(EOPM) (3)をクロスニコル配置の偏光子で挟み、絞りを透過後、 焦点面の CCD で観測する (八分割位相マスクコロナグ ラフ). EOPM は、中心から放射状に8領域に分かれ、 隣り合った領域の位相差が π となっている.図.2の EOPM 透過後の瞳面では、恒星光が瞳の外周に集中す るため、絞りによって恒星光を除去できる.

1:日本大学・院・物理 2:国立天文台・光赤外研究部 3:日本大学・教員・物理

焦点面波面センシングによって,焦点面の1点のスペックルノイズを1回だけの制御ループで除去すると,図.3のようになる.除去前と除去後を比較すると,電場は1/3に減少し,強度は1桁以上減少した.



図.2 高コントラスト干渉光学系のレイアウトと 焦点面波面センシングの追加



図.3 焦点面波面センシングによる補正前と補正後の 最終焦点像の複素平面での比較

反射式望遠鏡でのコロナグラフ観測では, 副鏡の影 による影響が, 特に暗い天体の観測で問題となってい る. 新たな解決法の1つが, 図.4 のように, 八分割位 相マスクコロナグラフを2つ用いることである. 副鏡 のない屈折式望遠鏡では, 1つの EOPM と絞りによっ て, 恒星光を除去できる. しかし, 副鏡のある反射式 望遠鏡では, 図.5 のように副鏡の影によって, 残留パ ターンが発生してしまう. EOPM を2段用いることに よって, マスク上での隣り合った領域の位相差が 2π(=0)となり, 2段目の瞳面(L2)では副鏡の影が再結像 され, 絞りによって, 除去できる.

5. 八分割位相マスクコロナグラフによる 副鏡の影の除去の数値計算

図.4の構成に従って,数値計算を行った.図.5では, EOPM が1つと2つの時の最終像面を比較した.中心 恒星からの離角で数[\\D]の場所では,恒星光が1桁程 度低減する.特に,副鏡の影によるリング状のパター ンの除去が出来ている.



図.4 八分割位相マスクコロナグラフによる副鏡の 影の除去の概要と数値計算方法



図.5 八分割位相マスクコロナグラフによる副鏡の 影の除去の数値計算結果

6. まとめと今後の課題

焦点面波面センシングの制御によって,スペックル ノイズの除去が進み,更に,八分割位相マスクコロナ グラフによって,反射式望遠鏡の副鏡の影の除去が可 能となった.今後,我々の高コントラストコロナグラ フシステムに組み込むことで,更なるスペックルノイ ズの低減を目指していきたい.

7. 参考文献

[1] J. Nishikawa et al., "Precise wavefront correction with an unbalanced nulling interferometer for exo-planet imaging coronagraphs", Astron. & Astrophys. 489, 1389-1398 (2008)

[2] K. Yokochi et al., "Speckle level suppression using an unbalanced nulling interferometer in a high-contrast imaging system", OPTICS EXPRESS 4958, Vol. 19, No. 6, 4957-4969 (2011)

[3] N. Murakami et al., "An EIGHT-OCTANT PHASE -MASK CORONAGRAPH", Publi. of Astron. Soc. of the Pacific, 120:1112-1118, (2008)