

O-1

系外惑星直接観測のための高コントラスト干渉光学系の開発
 ダークゾーン法による散乱光ノイズの低減

Development of A High Contrast Optical Interferometer for Direct Detection of Exo-planets
 Reduction of the Speckle Noise by the Dark Zone Method

○大矢正人¹ , 西川淳² , 藤井紫麻見³ , 堀江正明¹

○Masahito Oya¹ , Jun Nishikawa² , Shiomi Hujii³ , Masaaki Horie

Abstract

If spectrum of a planet outside the solar system is detected, the information of the planet can be obtained by specifying the chemical composition of the atmosphere. However, in contrast to a central star, the planetary light is too weak to observe directly. The Stellar Coronagraph System for observing extra solar planets directly is under development by combining a focal plane mask coronagraph, adaptive optics and so on. The Dark Zone Method is effective to upgrade our Stellar Coronagraph and Adaptive Optics System.

1、はじめに

太陽系外の惑星を直接観測するとき、惑星光は中心恒星に比べて可視域で 10 桁暗いため、直接観測が困難である。そこで我々は、望遠鏡からの光波を補正する初段補償光学 (First Adaptive Optics 以下 First AO) と非対称ナル干渉計 (Unbalanced Nulling Interferometer 以下 UNI)^[2]、位相振幅補償光学 (Phase-Amplitude Correction 以下 PAC)^[2]、中心恒星の光を除去して惑星光を観測するステラコロナグラフを組み合わせて、高精度な波面誤差の補正により、恒星の散乱光を惑星光より低くし、惑星光を直接観測できる高コントラスト干渉光学系を開発 (図 1)、研究している。初段補償光学では、可変形鏡と波面センサー (Wave Front Sensor 以下 WFS) を用いて、波面を補正する。UNI では、光波を 2 つに分け、一方の光波の電場の振幅をアンバランスにした後、逆位相で干渉をさせるが、この時、干渉後の電場の振幅が 0 となる点 (位相特異点) を避けることができ、波面誤差が拡大する。これによって、再び PAC で初段補償光学と同様に波面を補正することで、高精度な波面補正が達成され、恒星光を除去するステラコロナグラフ後に惑星光を観測することが可能になる。しかし、現在用いているステラコロナグラフシステムでは、実際には恒星の散乱光を 5 桁までしか低減できていない。

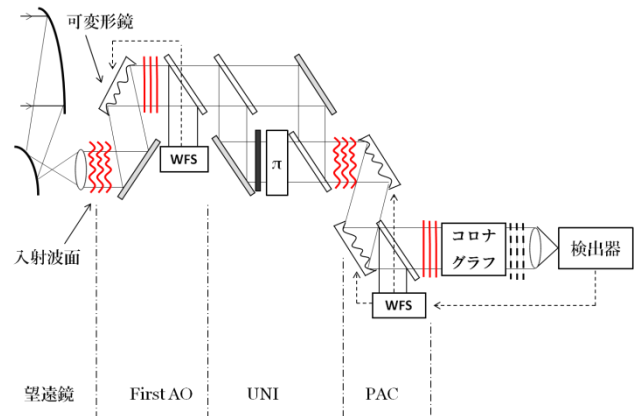


図 1 高コントラスト干渉光学系のレイアウト

2、ダークゾーン^[3]法による散乱光ノイズの除去

理想的には、補償光学とステラコロナグラフなどで惑星系の中心恒星からの光を除去し、惑星光を観測することができる。しかし、波面センサーとコロナグラフ光学系の波面誤差の違いにより、補償光学を働かせても散乱光が残ってしまう。本研究では、可変形鏡と波面センサーに焦点面検出器による波面センシングを加えた補償光学によって、散乱光を低減させる。可変形鏡によって、電場の位相成分に特定の周期を持った成分を発生させると、最終焦点像ではそれに対応した 1 点の電場成分が変化する。このことを利用して、散乱光の除去を行う。これが、ダークゾーン法 (図 2) である。

1, 日大理工・院 (前) ・物理 2, 国立天文台 3, 日大理工・教員・物理

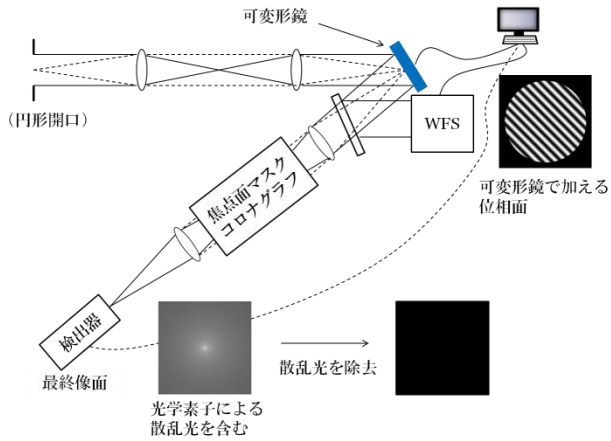


図 2 ダークゾーン法のご概念図

$$\begin{cases} A_0 = (I_{+a} - I_{-a}) / (4a) \\ B_0 = (I_{+b} - I_{-b}) / (4b) \\ a = \sqrt{(I_{+a} + I_{-a} - 2I_0) / 2} \\ b = \sqrt{(I_{+b} + I_{-b} - 2I_0) / 2} \end{cases}$$

となり、最終焦点像の電場が求められる。したがって、ステラコロナグラフなどの光学素子で発生する散乱光の電場の成分を5点法によって求め、ダークゾーン法によって低減すればよい。ダークゾーンで生成された時に得られるWFSの出力がWFSとステラコロナグラフ光路にある波面誤差の差であり、これをオフセット値として使うことで、WFSの測定誤差を常に小さくすることが可能になる。

3, 5点法による補正成分の導出

通常、最終焦点像を観測するとき、強度のみしか分からない。可変形鏡を用いて電場の位相を動かすと、対応して強度が変化する(図.3)。

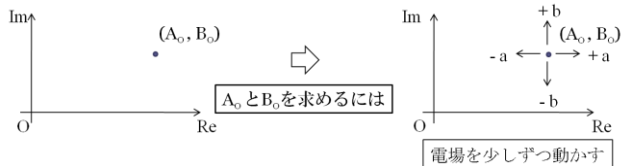


図 3 最終焦点像でのある一点での電場の変化のさせ方

それを利用して、最終焦点像のある一点での電場について、電場の成分を四方向に動かすことで最終焦点像での強度を5点観測できる。図.3に示すように、電場を実軸、虚軸方向にそれぞれ $\pm a$, $\pm b$ 移動させると、5点の強度 I_0 , $I_{\pm a}$, $I_{\pm b}$ は以下のように表わされる。

$$\begin{cases} I_0 = |A_0 + B_0 i|^2 \\ I_{\pm a} = |(A_0 \pm a) + B_0 i|^2 \\ I_{\pm b} = |A_0 + (B_0 \pm b) i|^2 \end{cases}$$

この5点の強度から電場を求めることができ、電場 A_0 , B_0 と変化量 a, b は、

4, 参考文献

[1] 井田茂, 系外惑星, (東京大学出版, 2007)
 [2] J.Nishikawa, L.Abe, N.Murakami and T.Kotani, "Precise wavefront correction with an unbalanced nulling Interferometer for exo-planet imaging coronagraphs", Astronomy & Astrophysics 489, 1389-1398(2008)
 [3] Amir Give'on, Ruslan Belikov, Stuart Shaklan, Jeremy Kasdin, "Closed loop, DM diversity-based, wavefront correction algorithm for high contrast imaging systems", Optics Express, Vol. 15, Issue 19, pp12238-12343(2007)
 [4] 大頭仁, 高木康博, "光学の基礎", (コロナ社 2007)
 [5] 黒川隆, "光機能デバイス", (共立出版, 2004)
 [6] 家正則, 岩室史英, 舞原俊憲, 水本好彦, 吉田利道, "宇宙の観測 I - 光・赤外天文学", (日本評論社, 2007)