

系外惑星直接観測のための高コントラスト撮像光学系

High-Contrast Imaging Optics for Direct Observations of Exoplanets

○西川 淳^{1,2} (1. 国立天文台、2. 総研大物理)

°Jun Nishikawa^{1,2} (1.Natl. Astronomical Observatory of Japan, 2.Grad. Univ. for Advanced Studies)

E-mail: jun.nishikawa@nao.ac.jp

1. はじめに

系外惑星は、1995年にドップラー法で発見され、2007年頃からトランジット法による大量検出の時代に入り、今やこれら間接法によって1800個を確認し3000個の候補を数えている。一方、2008年からは直接撮像によっても離角の大きい大型惑星が検出され始め、50個が検出されてきた。しかし、地球型惑星は、恒星から小離角にあり、可視光域では恒星より8~10桁も暗く、直接観測はまだ難しい。高コントラストの直接観測には、回折光をナル(null)干渉などで低減するコロナグラフと、スペックルノイズを抑える高精度の波面補償が必要で、前者は30種類以上、後者も数種類が開発されている。惑星大気の水素などの分子の吸収線から生命活動性などを調べるため、広帯域での高い性能が必要である。

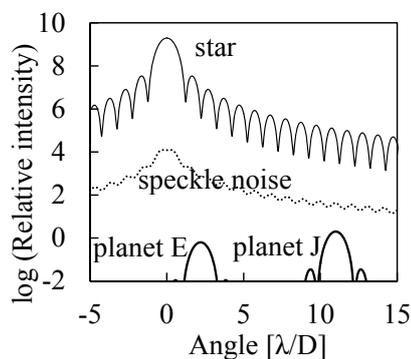


Fig.1 Contrast of a star, speckle, and planets

2. 回折光を除去するコロナグラフ

30光年の距離から見た太陽-地球の離角は0.1秒角で、 $\lambda=500\text{nm}$ での $D=2\text{m}$ の望遠鏡の回折限界分解能(λ/D)の2倍である (λ =波長、 D =口径)。 λ/D の数倍の離角では、恒星像の回折光はピーク強度より2~3桁ほど低くだけであり、さらに6桁は回折光を除去する必要がある(Fig.1)。

恒星の回折光を除去するコロナグラフは、光の回折や打消し合うナル干渉を巧みに利用した多種多様なもので、以下の5種類がある。

- (1) 焦点面マスク
- (2) 瞳面でのシェアリングナル干渉計
- (3) アポダイゼーション・変形開口
- (4) 波面制御 (ダークホール)
- (5) 外部オカルター

上記の(1)(2)(5)は恒星の回折光全体を、(3)(4)

は回折光の裾野だけを落とし、(5)は花びら型の直径40mの円盤を数万km遠方に飛ばして恒星を隠すもので、これらは複合的にも使われる。日本では、(1)では、村上らによる8分割や渦状の偏光位相マスク[1]、(2)では、村上らによる偏光干渉計やTavrovらによる立体Sagnac干渉計、(3)では、塩谷らによる多穴マスクなど、高機能な方法が数種類発案されており、広帯域特性も良い。(1)の焦点面マスクコロナグラフでは、焦点の恒星像に変調を加え、コリメート光中の再結像された瞳に少し小さな絞り(Lyot Stop)を置いて邪魔な光をカットし、最終焦点像を得る系が使われる(Fig.2)。補償光学はその上流にある。

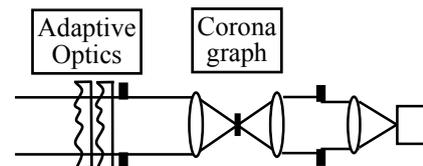


Fig.2 Coronagraph and adaptive optics

3. スペックルノイズを除去する波面補償光学

コロナグラフにより回折パターンを除去しても波面誤差によるスペックルノイズが最終像面には残る(Fig.1)。それを9桁のコントラストに抑えるには $\lambda/10000$ rmsの波面精度が必要とされ、波面誤差が1桁大きくなるとコントラストは2桁悪化する。スペックルが消えるように適切な波面誤差を加える方法が(4)である。また、西川らの非対称ナル干渉 (前置コロナグラフ) 法は、 $\lambda/1000$ 精度の光学系で $\lambda/10000$ 相当でのスペックルノイズレベルに到達する方法である[2]。

4. むすび

既存の望遠鏡による惑星探索に加えて、近未来に実現する30m望遠鏡(TMT)やNASA/WFIRST衛星計画による第2の地球発見一番乗りをめざして、コロナグラフと補償光学手法の国際競争・協力が展開中である。

参考文献

- [1] N. Murakami et al., Opt. Express 21, (2013)
- [2] J. Nishikawa, N. Murakami., Optical Review 20, pp.453-462 (2013)