

# [P3-214] 非対称ナル干渉法と高コントラスト撮像法

西川淳, 田村元秀 (国立天文台), 横地界斗, 黒川隆志 (東京農工大), 村上尚史 (北大), ABE Lyu (ニース大), 小谷隆行, 村上浩 (JAXA), TAVROV Alexander (ロシア宇宙研究所), 武田光夫 (電気通信大)

## ● Abstract

我々は、太陽系外惑星を直接撮像するため、高精度波面補正法(UNI-PAC)と広帯域ナル干渉型コロナグラフ(CP-AIC)を組み合わせた光学システムを提案し、開発を行っている。これまでにレーザーを用いた原理検証実験においてPACによる0.19倍 (UNI-PACで0.073倍)のスペックル低減を確認した。また、大きさをもつ恒星に対応した新型の広帯域ナル干渉型コロナグラフ(TCP-AIC)や8分割位相マスクも開発中である。

## ● Concept

地球型惑星の直接検出のためには、恒星からの回折光やスペックルノイズを $10^{-10}$  (可視域)レベルに減光しなければならない。そのため、使用する光学素子には $\lambda/10000$ という極度に滑らかな面精度が要求される。我々は、**非対称ナル干渉計 (UNI:Unbalanced Nulling Interferometer)**と**位相・振幅補正 (PAC:Phase-AmplitudeCorrection)**からなる高精度な波面補正法と、**共通光路広帯域ナル干渉型コロナグラフ (Common Path-Achromatic Interferometric Coronagraph : CP-AIC)**, **8分割位相マスク (8OPM)**、を組み合わせることでこの問題を解決すべく開発を進めている (Fig.1).

● **UNI-PAC** (J. Nishikawa et al., 2008, A&A 489, 1389, Yokochi et al., 2011, Opt. Exp. Accepted) 2光波の片方のビームの強度を少し落とした非対称ナル干渉により、恒星光は $10^{-2}$ 程度に減光され、同時に波面誤差を拡大する (e.g.  $\lambda/1000 \rightarrow \lambda/100$ )。Fig.2は、各面(Arm1, Arm2, UNI, PAC)における光波面を複素平面上に示したものである。非対称ナル干渉後は、干渉前に比べて振幅・位相とも誤差が拡大されている (UNI)。後段に補償光学系を配置し、波面誤差を初期波面程度にまで補正する (PAC:位相・振幅とも補正するため、2枚の可変形鏡が用いられる)。

以上のUNI-PACにより、恒星光は強度が $10^{-2}$ 程度に減光され、**波面誤差は初期波面換算で誤差拡大率だけ高精度 (e.g.  $\lambda/10000$ )**になっている。

● **CP-AIC** (Yokochi et al., 2009, Opt. Lett. 34, 1985) (A. V. Tavrov et al., 2008, Applied Optics 47, 4915) Sagnac干渉計は、完全共通光路であり、**外乱に非常に安定**である。また、Fig.3に示すような3次元構造であり、**アクロマティックなナル干渉**を実現できる。2色の単色レーザーを用いたCP-AIC単体のナル干渉の実験において、消光比は中心位置で、 $4.16 \times 10^{-6}$  (532nm),  $1.17 \times 10^{-5}$  (633nm)であった。CP-AICを2段にし(Tandem CP-AIC), 4光波干渉によって**恒星サイズに対して残存光強度を4次の特性**にし、10桁のコントラストを狙う。(図4上)

● **8OPM** (Murakami et al 2010, ApJ 714, 772) 8分割位相マスクは、フォトニック結晶波長板で高精度の製作に成功し (図4下)、偏光干渉により6~7桁の広帯域のナルに成功した (図3下)。JPLで試験予定。

## ● Laboratory Demonstrations

UNI-PACとCP-AICによるデモンストラータ光学系をFig.5に示した。

Fig.6は、波面センサーで測定した、Arm1, Arm2, UNI後, PAC後の波面誤差である。原理図同様、波面誤差がUNI後に拡大され、PAC後に補正されている (この例では、**波面誤差が6.7倍に拡大され0.18倍補正された:  $\lambda/110 \Rightarrow \lambda/16 \Rightarrow \lambda/90$ 。=初期波面換算で $\lambda/550$ rms)**。

~ $3\lambda/D$  (DM有効範囲) 以内のスペックルは、Arm1,2からUNIで0.39倍、PAC後は0.19倍、合計0.073倍 ( $5.0 \times 10^{-3} \rightarrow 1.8 \times 10^{-4}$ ) 下がり (Fig.7)。波面誤差から推定される変化とおおまかに一致した (Fig.8)。UNIでもスペックルが低下したのは、2つの波面の相関と、DMなどの共通光路の素子による散乱光の可能性があり、後者の除去は重要課題である。

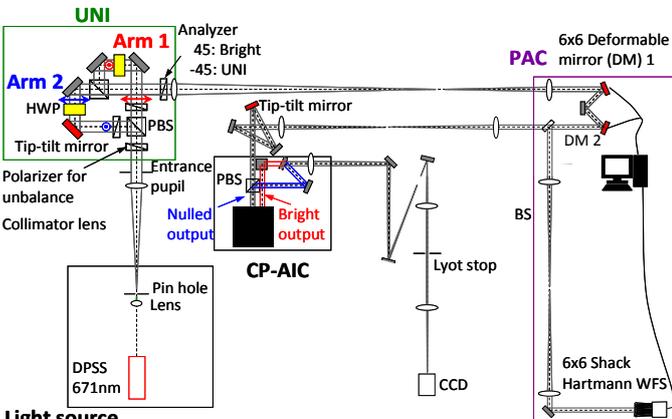


Fig. 5. Optical layout of the UNI-PAC + CP-AIC. (Yokochi et al 2011)

## ● Conclusion

我々は、UNI-PAC, CP-AICコロナグラフを用いた高コントラスト撮像装置の開発を推進中である。波面誤差のUNIによる拡大とPACによる補正の結果、制御した波面誤差レベルが $\lambda/90$ rmsレベルであるにもかかわらず、 $\lambda/550$ rms相当の波面誤差とスペックル強度の低下を観測した。波面制御精度の向上、複数の波面センサーの設置、表面精度の高いDMや光学素子、などで改良中である。

● **Acknowledgement** 本研究は、科研費(No. 20656013, 21360037), JAXA 搭載機器開発実験費, 特別研究員奨励費(20・4783) 支援を受けた本実験は国立天文台先端技術センター光学実験室にて行われた。

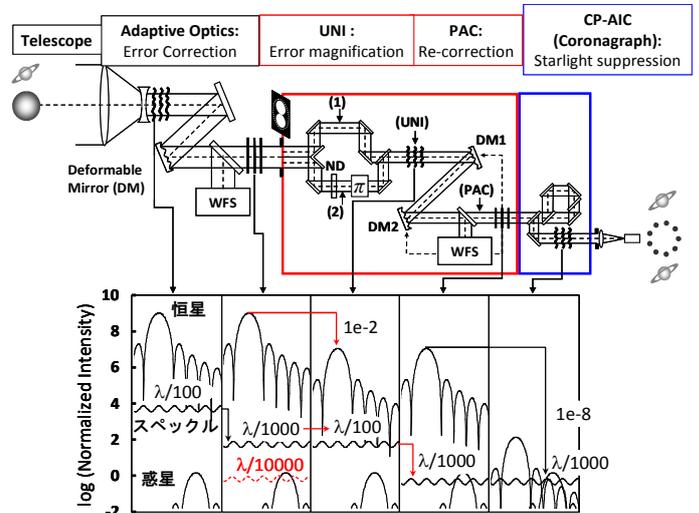


Fig. 1. Schematic design of high-contrast imager using the UNI-PAC and the CP-AIC. Nishikawa et al.

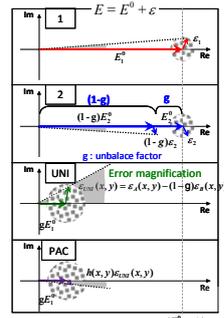


Fig. 2. Principle of precise wavefront correction with UNI-PAC system. (Yokochi et al. 2011)

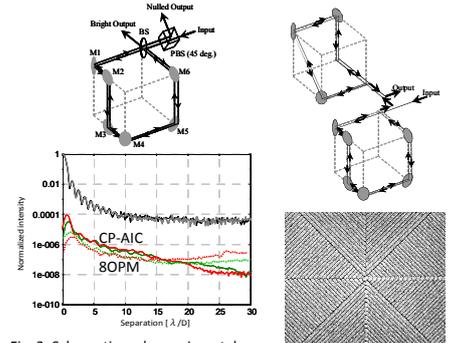


Fig. 3. Schematic and experimental result (with two laser light) of the CP-AIC coronagraph and 8OPM. (Tavrov et al 2008, Yokochi et al 2009, Murakami et al. 2010)

Fig. 4. TCP-AIC and 8-Octant Phase Mask. (Tavrov et al 2008, Murakami et al 2010)

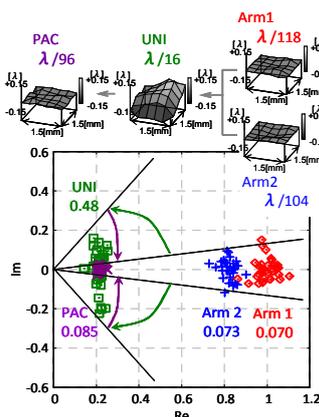


Fig. 6. Error magnification and correction by the UNI-PAC. (Yokochi et al 2011)

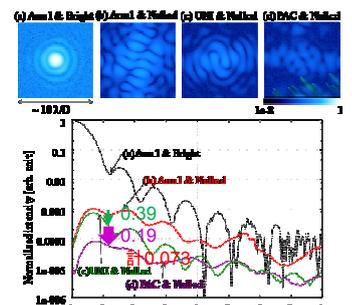


Fig. 7. Speckle suppression in the focal plane by the UNIPAC with the CP-AIC. (Yokochi et al 2011)

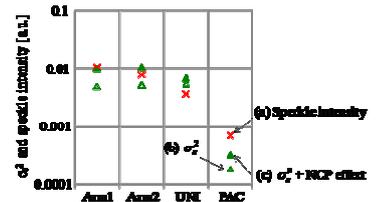


Fig. 8. Absolute wavefront aberrations and speckle intensity through the UNI-PAC process. (Yokochi et al 2011)