

平成21年 5月 28日現在

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2007～2008

課題番号：19204019

研究課題名(和文) すばる望遠鏡用コロナグラフィック究極補償光学系の開発

研究課題名(英文) Development of Coronagraph Extreme Adaptive Optics for Subaru Telescope

研究代表者

ギュヨン オリビエ (GUYON OLIVIER)

国立天文台・ハワイ観測所・RCUH 職員

研究者番号：90399288

研究成果の概要：本研究ではすばる望遠鏡用のコロナグラフィック究極補償光学系 (SCE x A0) の開発を行った。すべての鍵となるコンポーネントの製作を行い、実験室において可視光で全体として性能試験を行い、目的の性能が達成されていることを確認した。これはすばる望遠鏡用の新補償光学系 A0188 と太陽系外惑星検出用のコロナグラフカメラ HiCIAO に取り付けるものであり、そのための取り付け治具の製作を別途すすめ、2010 年に望遠鏡に取り付けての観測を予定している。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	21,700,000	6,510,000	28,210,000
2008年度	10,100,000	3,030,000	13,130,000
年度			
年度			
年度			
総計	31,800,000	9,540,000	41,340,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：補償光学系、太陽系外惑星

## 1. 研究開始当初の背景

研究開始時においては、すばる望遠鏡で太陽系外惑星の検出に用いる装置として、新補償光学系 A0188 と惑星検出コロナグラフカメラ HiCIAO の開発がほぼ終了する時期であった。それらと組み合わせて、性能を大幅に向上さ

せる方法として、このコロナグラフィック究極補償光学系の開発を企画した。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、近傍の星の周りの太陽系外惑星をすばる望遠鏡で検出するための新し

い技術“コロナグラフィック究極補償光学系 (SCE x A0)”の開発である。これは別途すばる望遠鏡用に開発された新補償光学系 A0188 と惑星検出コロナグラフカメラ HiCIAO に組み合わせることによってこれらの観測性能を画期的に向上させる。その他に星の周りのダスト円盤、原始惑星系のより深い理解、その他クエーサーの母銀河などのコロナグラフによって検出が容易になる天体にも用いる。

このコロナグラフィック究極補償光学系を用いると、現在の 8m 級望遠鏡にある観測装置で見ることのできる限界よりもずっと中心星に近い 0.04 秒角にある系外惑星を検出することができる。またそのときの中心星との明るさの比としては、15-17 等級暗い惑星を見ることが可能となる。

### 3. 研究の方法

この装置の特徴としては、HiCIAO の撮像カメラの手前に中心星からの散乱光を低減するコロナグラフに大気揺らぎによる光波面誤差を低減する補償光学システムを組み込んで、コントラストを向上させる。

すでに十分な大気揺らぎ低減効果がある A0188 の後ろに取り付けることによって、極めて容易にかつ早期に高性能の補償光学効果を実現することができる。

これに使う技術の特徴としては、

—HiCIAO の焦点面での星像の情報を用いて極めて正確な波面制御システムを構築する。これによって別途波面測定システムを製作する必要がないことに加えて、波面測定光学系と観測光学系が同一なために、余計な誤差が生じないという大きな利点がある。

—すでに存在している A0188、HiCIAO を用いること。A0188 は理想的な前置補償光学系で

あり、HiCIAO は将来のアップグレードが容易なフレキシブルな設計となっており、少ない経費で高性能の観測装置を短期間で実現できる。

—現在知られているなかで最も有効で効率のよいコロナグラフ技術である位相導入による強度変調コロナグラフ (PIAA) を用いた。この技術は、この研究チームによって新たに開発されたものである。

—このシステムはモジュール化されており、姿勢が変化せず、スペースに余裕があるすばる望遠鏡のナスミス焦点にこのシステムを構築すると、その製作、調整、アップグレードが極めて容易である。

などである。

### 4. 研究成果

このコロナグラフィック究極補償光学系の中心となる部分は、

—1024 素子の MEMS 型の可変形鏡

—すばる望遠鏡の副鏡支持 (スパイダー) による光の回折を取り除く光学系

—PIAA 型コロナグラフレンズ光学系。他のコロナグラフと比較して光のロスが無いという特徴がある。

—低次波面測定用、焦点面マスク

—コロナグラフによる星像収差をキャンセルするための逆 PIAA 光学系

—単一光子検出 CCD

で図 1 に示している。この図には入射光学系である A0188 とカメラ部分である HiCIAO も示されている。

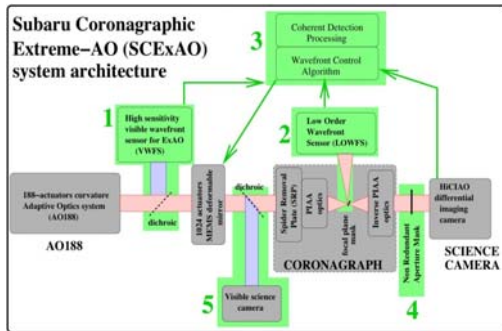


図1、すばる望遠鏡用コロナグラフィック究極補償光学系の概念図。灰色の部分は本研究で開発されたもの、および既存の装置であり、緑の部分は将来のアップグレードの部分であり、このコロナグラフィック究極補償光学系の性能を大きく向上させるものである。このうち、焦点面波面測定アルゴリズムは最初の観測では遅い制御として使用する予定である。

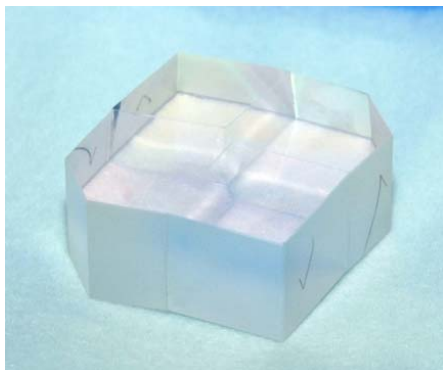


図2、スパイダー除去光学系。

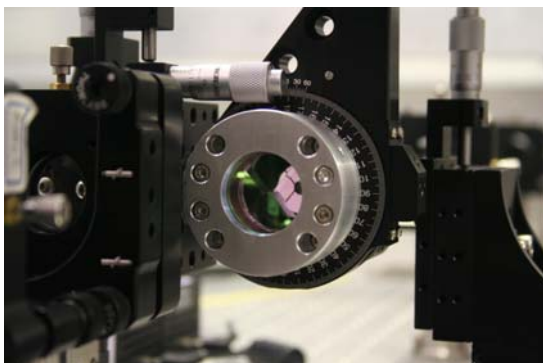


図3、スパイダー除去光学系。マウントして光路に挿入したところ。

平成19年度、20年度によける主要な開発は、  
 -スパイダー除去光学系（図2,3）で、すばる望遠鏡のスパイダーによる回折を除去する新開発の光学系である。

-PIAA 非球面光学系。フッ化カルシウムによる透過型光学系である。これによって光のロス無しにビームのアポダイゼーションが可能になった（図4,5）。

-コロナグラフィック可変形鏡

1024 素子（32x32 素子）の金コート MEMS 可変形鏡であり、1024 チャンネルの高電圧回路で制御する。

である。

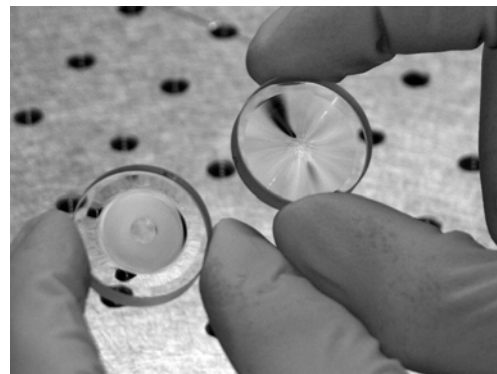


図4、PIAA コロナグラフ透過型光学系

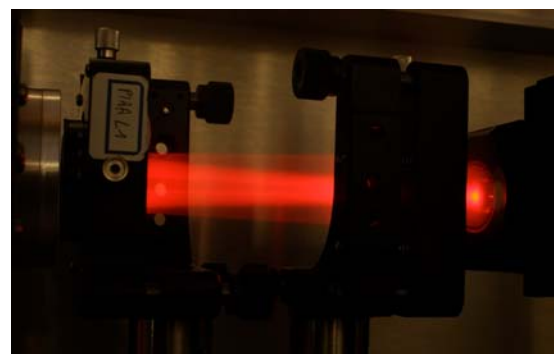


図5、PIAA コロナグラフを可視光で試験しているところ。

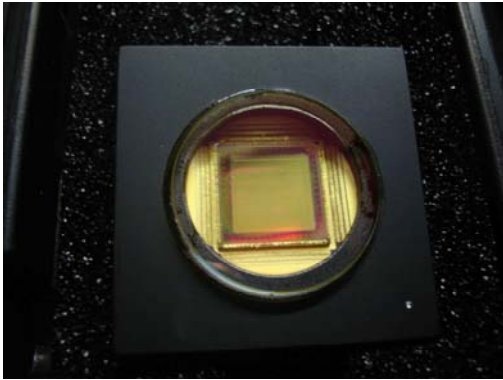


図 6、1024 素子 MEMS 可変形鏡

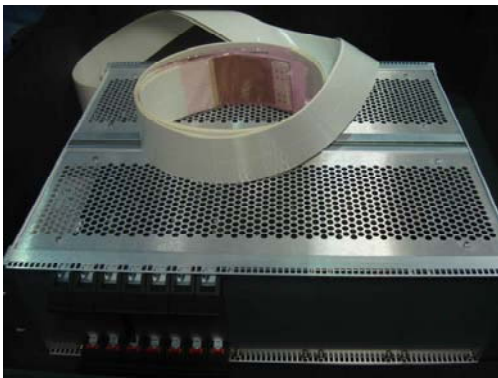


図 7、1024 素子 MEMS 可変形鏡制御回路

平成 20 年度にはこれら光学素子を組み上げて全体としての試験を行った。その詳細な結果は論文に投稿中である (Lozi, Martinache, Guyon 2009) が、光のロスのない光学系のために、極めて高い性能のコロナグラフの性能が実証された。また、視野中心から離れた天体からの星像の性能の測定も行い、シミュレーションと実験値の良い一致が見られた。図 8 は、PIAA コロナグラフとスパイダー除去の効果を示したもので、(上) 元の瞳像で、スパイダーによる影、瞳面での明るさは一様、(中) PIAA によって光のロス無に、周辺の明るさを落としたもの、(下)、スパイダー除去光学系を挿入したもの、と顕著な効果があることがわかる。

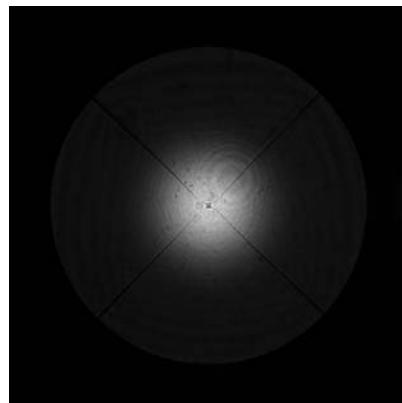
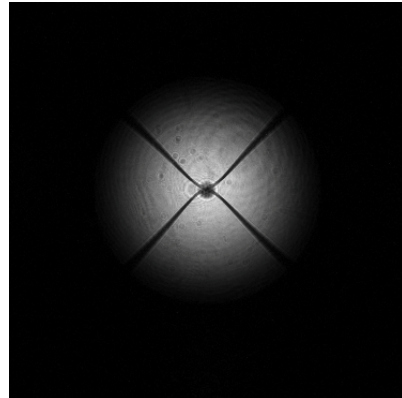
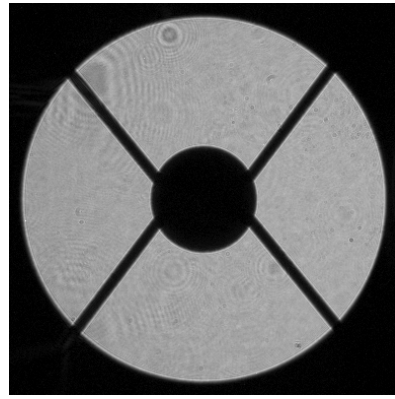


図 8、PIAA コロナグラフ、スパイダー除去光学系の効果。

全体の光学系を組み立てた状態を図 9 に示す。これは軽量化光学ベンチに取り付けられ、ほとんどの光学系は電動ステージに取り付けることにより、これを使用する場合、しない場合の切り替えが容易にできるようになっている。現在 2010 年の観測を目指して、HiCIAO への取り付け台を製作中である。



図 9、コロナグラフィック究極補償光学系の全体

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① “Coronagraphic Low Order Wavefront Sensor: Principle and Application to a Phase-Induced Amplitude Coronagraph”, Guyon, O., Matsuo, T., Angel, R., ApJ, 693, pp 75-84 (2009)、査読あり
- ② “Improving the Sensitivity of Astronomical Curvature Wavefront Sensor Using Dual-Stroke Curvature”, Guyon, O., Blain, C., Takami, H., Yayano, Y., Hattori, M., Watanabe, M., PASP, 120, pp 655-664 (2008)、査読あり
- ③ “HiCIAO: the Subaru Telescope’s new high-contrast coronagraphic imager for adaptive optics”, Hodapp, Klaus W.; Suzuki, Ryuji; Tamura, Motohide; Abe, Lyu; Suto, Hiroshi; Kandori, Ryo; Morino, Junichi; Nishimura, Tetsuo; Takami, Hideki; Guyon, Olivier; and 13 coauthors, Proceedings of SPIE, 7014, 701419-12

(2008) 査読無し

- ④ “Pupil mapping Exoplanet Coronagraphic Observer (PECO)” Guyon, Olivier; Angel, James R. P.; Backman, Dana; Belikov, Ruslan; Gavel, Donald; Giveon, Amir; Greene, Thomas; Kasdin, Jeremy; Kasting, James; Levine, Marie; and 14 coauthors, Proceedings of SPIE, 7010, 70101Y-9 (2008) 査読無し
- ⑤ “Ultra-high-sensitivity wavefront sensing for extreme-AO” Guyon, Olivier, Proceedings of SPIE, 7015, 7010151K-10 (2008) 査読無し

[学会発表] (計 3 件)

- ① “Coronagraphy review”, Guyon, Olivier, 2nd Subaru International Conference “Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity”, Kona, HI, USA (March 11, 2009)
- ② “Adaptive Optics System Design”, Guyon, Olivier, Center for Adaptive Optics (CfAO) summer school, UC Santa Cruz, CA, USA (Aug 7, 2008)
- ③ Keynote talk: “Adaptive optics techniques, technology developments and future needs for extra-solar planet detection”, Guyon, Olivier, Optics and Photonics Conference, SPIE, San Diego, CA, USA (Aug 28, 2007)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

ギュヨン オリビエ (GUYON OLIVIER)  
 国立天文台・ハワイ観測所・RCUH 職員  
 研究者番号：90399288

(2) 研究分担者

(平成19年度)

高見 英樹 (TAKAMI HIDEKI)

国立天文台・ハワイ観測所・教授

研究者番号：00274055

(3) 連携研究者

(平成20年度)

高見 英樹 (TAKAMI HIDEKI)

国立天文台・ハワイ観測所・教授

研究者番号：00274055