

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：12702

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25800107

研究課題名(和文)円盤上「穴」と「腕」の『周縁』から探る、惑星形成の観測的研究

研究課題名(英文)Observational Study of planet formation by exploring edge of gap and arm on protoplanetary disks

研究代表者

眞山 聡 (MAYAMA, SATOSHI)

総合研究大学院大学・学内共同利用施設等・講師

研究者番号：20553267

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：天体の多くは連星として生まれるが、連星系における惑星形成は単独星に比べてまだよく分かっていない。そこで本研究では、連星における惑星形成の理解を目指し、連星円盤の高分解能撮像観測を行った。本研究で特徴のある成果としては、顕著な非軸対称構造を持つ連星円盤偏光撮像データを取得したことである。非軸対称の起因について、電波のALMA観測データ等と比較しながら、分析を行った。これらの議論によって、連星における惑星形成過程に対する知見を得た。

研究成果の概要(英文)：Most stars form as multiples. Although the planet formation around a single star has been well proceeded, that around multiples remains many unexplained mysteries. Therefore, high resolution imaging observations of binary disks are conducted in order to gain better understanding of planet formation around multiples. As one of the unique result, polarization imaging data of binary disks with non-axisymmetric features have been obtained. By comparisons with radio data including ALMA, origin of the non-axisymmetric features are analyzed.

研究分野：数物系科学

キーワード：赤外線天文学

## 1. 研究開始当初の背景

太陽系誕生の初期状態を調べるためには、太陽とその周りの原始惑星系円盤（以後「円盤」と省略記載）の形成問題に辿り着く。円盤は惑星系形成の現場であり、円盤中の塵の集積によって微惑星ができ、合体・成長、ガスの捕獲等を経て惑星が誕生する。従って、円盤を詳細観測することにより、惑星が円盤上のどの場所でどのように誕生するのかを明らかにすることが出来る。過去の円盤観測の研究は、ほとんどが単独星を主にターゲットとしてきた。よって、単独星に付随する円盤から探る原始惑星系の多様性と進化に関しては解明が進んだ。

## 2. 研究の目的

天体の70%以上は連星系として生まれる<sup>(1,2)</sup>。従って星やその周りで生まれる惑星形成の普遍的なパラダイムを構築するためには、連星系における惑星形成過程を解明することが避けて通れない。

しかしながら、連星系における星・惑星形成は単独星に比べてまだよく分かっていない。

そこで本研究では、連星系における惑星形成の理解を将来目標に、まずは連星円盤の観測から開始する。単独星の場合、円盤は中心星に付随する星周円盤の一種類だけであるが、連星の場合、二種類の円盤が存在する。すなわち、主星と伴星にそれぞれ付随する星周円盤（主星円盤・伴星円盤と呼ぶ）と、主星・伴星全体を取り囲む周連星円盤の二種類である<sup>(3)</sup>。主星円盤・伴星円盤・周連星円盤の形状、サイズ、傾きはどの程度異なっているのか？これまでほとんど観測例のなかった連星円盤のパラメータを導出し、一つでも多くの連星円盤サンプルを増やす必要がある。

## 3. 研究の方法

近赤外線波長では $\mu\text{m}$ サイズの小さなダストの散乱光を捉え、円盤の表面で散乱された光の輝度分布を詳細に描き出す。

本研究ではすばる望遠鏡にHiCIAOと補償光学AO188を搭載させ、若い連星円盤観測を行った。近傍の星形成領域(120~145pc)にある中心天体近傍半径20AU~数100AUの惑星形成領域において、0.1秒角(~10AU)の解像度で近赤外観測を行った。

HiCIAOは、明るい中心星の周りがある、系外惑星と円盤等の暗い構造を直接検出するために開発された赤外線コロナグラフカメラであり、円盤と系外惑星の双方を検出することが可能である。補償光学と組み合わせることによって、他の地上8m以上の望遠鏡が搭載している高分解能赤外線カメラと比べても比較可能なコントラストを達成してい

る。

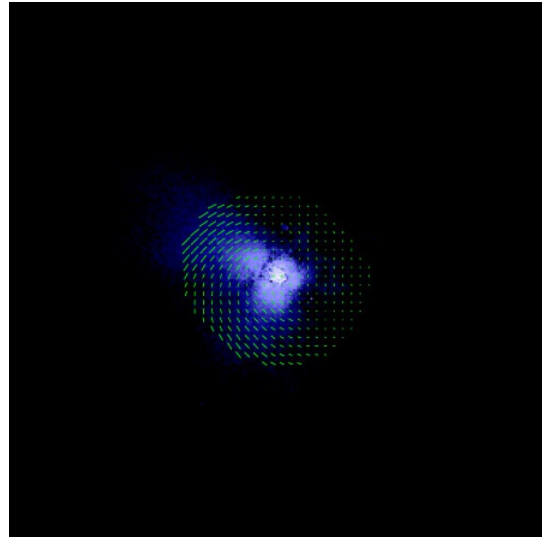


図1：すばる望遠鏡による連星 Object1 のHバンドのPI画像データ。緑色の偏光ベクトルの向きは偏光角を示す。北が上で東が左。

## 4. 研究成果

図1がすばる望遠鏡に近赤外線カメラHiCIAOと補償光学AO188を搭載させて観測した、若い連星の主星 Object1 (論文未発表データのため、本報告書では天体名を Object1 と記載) のPI画像である。観測の結果、主星及び伴星周囲にある、星周円盤撮像データが0.1秒角の解像度で取得された。主星円盤は、顕著な非対称構造を持ち、東北東に1秒、南南東に0.7秒程度、伸びていることが明らかになった。主星周囲のベクトルの垂線の向きは、ほとんどが主星を向いているが、北側及び西側の一部のベクトルは主星を完全に向いているとは言い難い結果となった。実際、伴星は主星の北北西650AUに位置しており、円盤の中でも最も伴星に近い部分であることから、円盤北側及び西側の一部は、伴星からもilluminateされているためベクトルが主星だけを向いていないと考えられる。このように、比較的遠方の伴星からilluminateされる連星円盤は、他の先行研究でも多数報告されており<sup>(4,5,6)</sup>、例えばFS Tauの場合は、2800AUも離れた伴星からFS Tau付随の円盤がilluminateされていると考えられている。また、計測したRadial Profileから、南西側円盤は、他の方位角と比較して、有意に表面輝度が小さくなっていることが分かった。過去のSMAによる880 $\mu\text{m}$ 連続波観測<sup>(7)</sup>では同位置に、「穴」が検出されていることから、近赤外で観測された南西側の表面輝度の小ささは、穴構造の存在に起因していることが示唆された。

図2が同連星の伴星 Object2 のHバンドPI画像である。伴星周囲には、比較的小さい非対称性のある星周円盤が検出された。伴星円盤は、東西方向に伸びた構造をしている。円

盤上にあるベクトルの垂線は、伴星を向いていることから、検出構造は伴星の光を illuminate しているリアルな構造であることが確認された。

本研究で得られたデータは、各天体で初となる近赤外線偏光撮像データとなった。

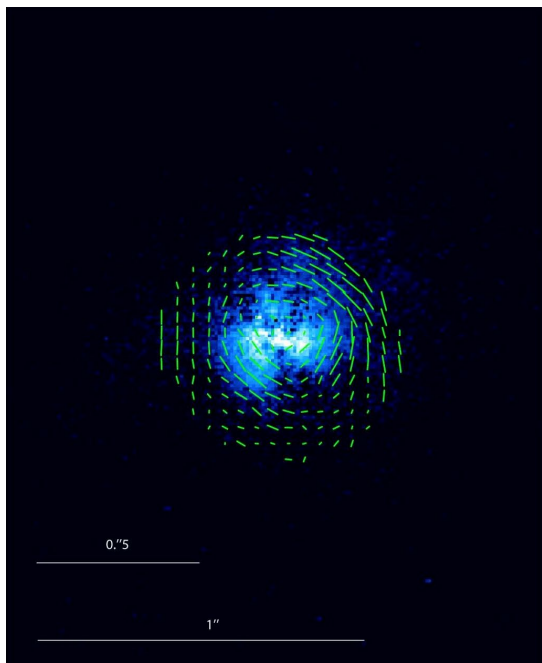


図2：すばる望遠鏡による連星 Object2 の H バンドの PI 画像データ。緑色の偏光ベクトルの向きは偏光角を示す。左下の白線が 0.5 秒と 1 秒のスケールバー。北が上で東が左。

#### 参考文献:

- (1) A. M. Ghez, et al., 1993, *AJ*, 106, 2005
- (2) Leinert, Ch., et al., 1993, *A&A*, 278, 129
- (3) Close et al. 1998, *ApJ*, 499, 883
- (4) Krist et al., 1998, *ApJ*, 501, 841
- (5) Gledhill and Scarrott 1989, *MNRAS*, 236, 139
- (6) Hioki et al., 2011, *PASJ*, 63, 543
- (7) Andrews, S. M., et al., 2010, *ApJ*, 723, 1241

#### 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 16 件)

1. Ryu, Tsuguru; Sato, Bun'ei; Kuzuhara, Masayuki, et al., "High-Contrast Imaging of Intermediate-Mass Giants with Long-Term Radial Velocity

Trends", *ApJ* in press, 2016 (査読有)  
(全著者数 65 名、掲載順 41 番目)

2. Momose, Munetake; Morita, Ayaka; Fukagawa, Misato, et al., "Detailed structure of the outer disk around HD 169142 with polarized light in H-band", *PASJ*, 67, 83, 2015 (査読有) (全著者数 62 名、掲載順 17 番目)
3. Rich, Evan A.; Wisniewski, John P.; Mayama, Satoshi, et al. "Near-IR Polarized Scattered Light Imagery of the DoAr 28 Transitional Disk", *AJ*, 150, 86, 2015 (査読有) (全著者数 55 名、掲載順 3 番目)
4. de Leon, Jerome; Takami, Michihiro; Karr, Jennifer L., et al. "Near-IR High-resolution Imaging Polarimetry of the SU Aur Disk: Clues for Tidal Tails?", *ApJ*, 806, L10, 2015 (査読有) (全著者数 56 名、掲載順 7 番目)
5. Katherine B. Follette, Carol A. Grady, Jeremy R. Swearingen, et al., "SEEDS Adaptive Optics Imaging of the Asymmetric Transition Disk Oph IRS 48 in Scattered Light", *ApJ*, AAS, 798, 132, 2015 (査読有) (全著者数 63 名、掲載順 11 番目)
6. E. Akiyama, T. Muto, N. Kusakabe, A. et al., "Discovery of a Disk Gap Candidate at 20 AU in TW Hydrae", *ApJ*, AAS, 802, 17, 2015 (査読有) (全著者数 57 名、掲載順 17 番目)
7. J. Hashimoto, T. Tsukagoshi, J. M. Brown, et al., "The Structure of Pre-transitional Protoplanetary Disks. II. Azimuthal Asymmetries, Different Radial Distributions of Large and Small Dust Grains in PDS 70", *ApJ*, AAS, 799, 43, 2015 (査読有) (全著者数 57 名、掲載順 35 番目)

8. Yoichi Itoh, Yumiko Oasa, Tomoyuki Kudo, et al., "Near-infrared polarimetry of the GG Tauri A binary system", *Research in Astronomy and Astrophysics*, 14, 1438, 2015 (査読有) (全著者数 50 名、掲載順 46 番目)
9. Michihiro Takami, Yasuhiro Hasegawa, Takayuki Muto, et al. "Surface Geometry of Protoplanetary Disks Inferred From Near-Infrared Imaging Polarimetry", *ApJ, AAS*, 795, 71, 2014 (査読有) (全著者数 61 名、掲載順 14 番目)
10. Koyamatsu, S., Takakuwa, S., Hayashi, M., Mayama, S., Ohashi, N. "The Disappearing Envelope around the Transitional Class I Object L43", *ApJ, AAS*, 789, 95, 2014 (査読有) (全著者数 5 名、掲載順 4 番目)
11. Tsukagoshi, Takashi; Momose, Munetake; Hashimoto, Jun; et al. "High-Resolution Submillimeter and Near-Infrared Studies of the Transition Disk around Sz 91", *ApJ, AAS*, 783, 90, 2014 (査読有) (全著者数 58 名、掲載順 36 番目)
12. Kuzuhara, M.; Tamura, M.; Kudo, T.; et al. "Direct Imaging of a Cold Jovian Exoplanet in Orbit around the Sun-like Star GJ 504", *ApJ*, 774, 11, 2013 (査読有) (全著者数 57 名、掲載順 39 番目)
13. Takami, Michihiro; Karr, Jennifer L.; Hashimoto, Jun, et al. "High-contrast Near-infrared Imaging Polarimetry of the Protoplanetary Disk around RY TAU", *ApJ, AAS*, 772, 145, 2013 (査読有) (全著者数 53 名、掲載順 15 番目)
14. Grady, C. A.; Muto, T.; Hashimoto, J., et al. "Spiral Arms in the Asymmetrically Illuminated Disk of MWC 758 and Constraints on Giant Planets", *ApJ, AAS*, 762, 48, 2013 (査読有) (全著者数 74 名、掲載順 55 番目)
15. Thalmann, C.; Janson, M.; Buenzli, E., et al. "Imaging Discovery of the Debris Disk Around HIP 79977", *ApJ, AAS*, 763L, 29, 2013 (査読有) (全著者数 50 名、掲載順 34 番目)
16. Follette, Katherine B.; Tamura, Motohide; Hashimoto, Jun et al. "Mapping H-band Scattered Light Emission in the Mysterious SR21 Transitional Disk", *ApJ, AAS*, 767, 10, 2013 (査読有) (全著者数 53 名、掲載順 11 番目)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

眞山 聡 (MAYAMA, Satoshi)  
 総合研究大学院大学・学内共同利用施設等・講師  
 研究者番号：20553267

##### (2) 研究分担者

該当なし

##### (3) 連携研究者

該当なし