星形成ゼミ

岩崎一成 (国立天文台)

31. Shadowing and multiple rings in the protoplanetary disk of HD 139614,
    Muro-Arena, G. A. et al.
32. SUBARU Near-Infrared Imaging Polarimetry of Misaligned Disks Around SR24 Hierarchical Triple System
    Mayama, S. et al.
33. Flyby-induced misalignments in planet-hosting discs
    Nealon, R. et al.
34. The Gemini Planet Imager Exoplanet Survey: Dynamical Mass of the Exoplanet Pictoris b from Combined Direct Imaging and Astrometry
    Nielsen, E. L. et al.
35. The jet/counterjet symmetry of the HH 212 outflow
    Noriega-Crespo, A. et al.
36. Kinematic study of the molecular gas associated with two cometary globules in Sh2-236
    Ortega, M. E. et al.
37. The density gradient inside molecular-gas clumps as a booster of their star formation activity
    Parmentier, G.
38. **Resolving the FU Ori System with ALMA: Interacting Twin Disks?**
    Perez, S. et al.
39. **A Survey for High-Mass Eclipsing Binaries**
    Pozo Nunez, F. et al.
40. The young stellar content of the giant HII regions M8, G333.6−0.2, and NGC6357 with VLT/KMOS
    Ramirez-Tannus, M. C. et al.

Shadowing and multiple rings in the protoplanetary disk of HD 139614 ⋆

G. A. Muro-Arena[1], M. Benisty[2,3], C. Ginski[1], C. Dominik[1], S. Facchini[4], M. Villenave[2,5], R. van Boekel[6], G. Chauvin[2,3], A. Garufi[7], T. Henning[6], M. Janson[8], M. Keppler[6], A. Matter[9], F. Ménard[2], T. Stolker[10], A. Zurlo[11,12,13], P. Blanchard[13], D. Maurel[2], O. Moeller-Nilsson[6], C. Petit[14], A. Roux[2], A. Sevin[15], and F. Wildi[16]

ALMAによるダスト連続波観測によって，リング・ギャップ構造のある円盤がみつかってきた(e.g., Huang+2018a, Long+2018, Andrews+2018)

相補的な観測手法として，散乱光の観測がある。
- 中心星からの光が円盤表面で散乱された光を観測する。
- 影の出来具合をみると，円盤表面の構造を制限できる。

今回着目する天体 HD139614
- 距離：135pc
- 中心星：1.5Msun，15.6Myr，伴星は見つかっていない。
- SEDで中間赤外にくぼみがある。→ 内側領域でダストが欠乏？
- Inner diskがVLTIで近・中間赤外で分解され，SEDとvisibilityから、2.5auから6auの間にギャップがあることが推察される。

VLTのSpectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet REsearch (SPHERE)で散乱光を観測した。

観測結果

- 0.12”にリング状の構造があ
- 外側に３つのarc状の構造がる。
- コロナグラフなしの画像をると，内側円盤からの散乱成分が見える。

これらの複雑な構造は，同一面状にある円盤では説明できい

考えるモデル

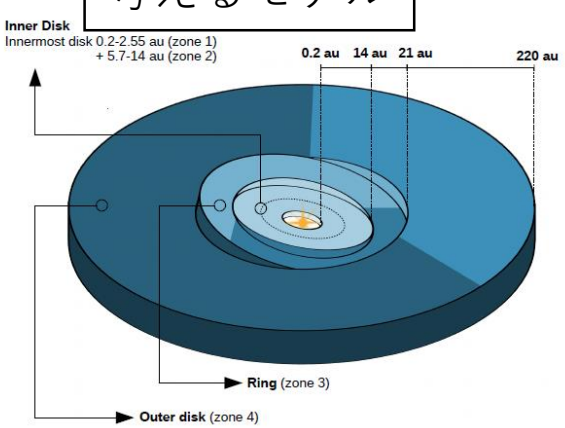
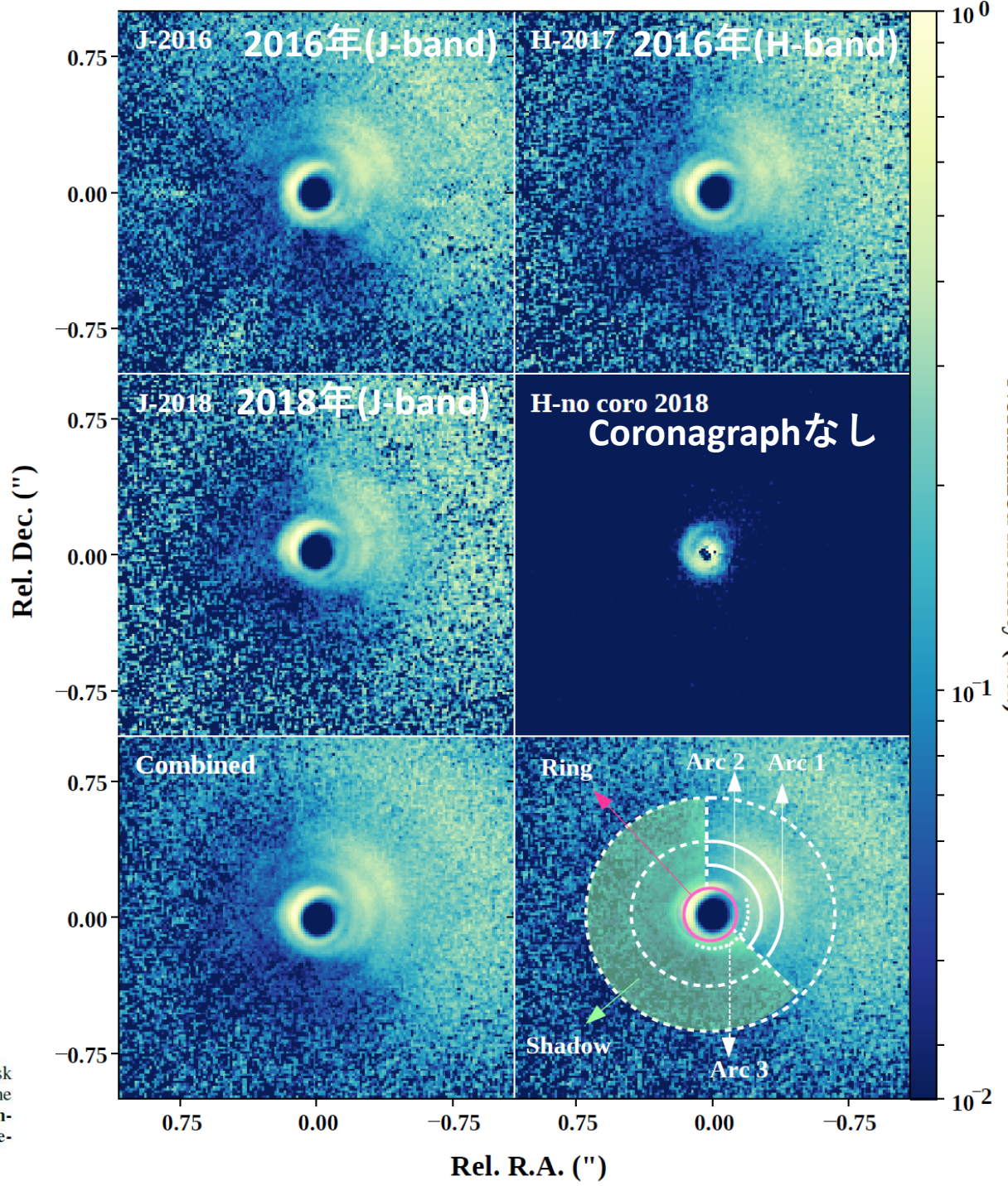
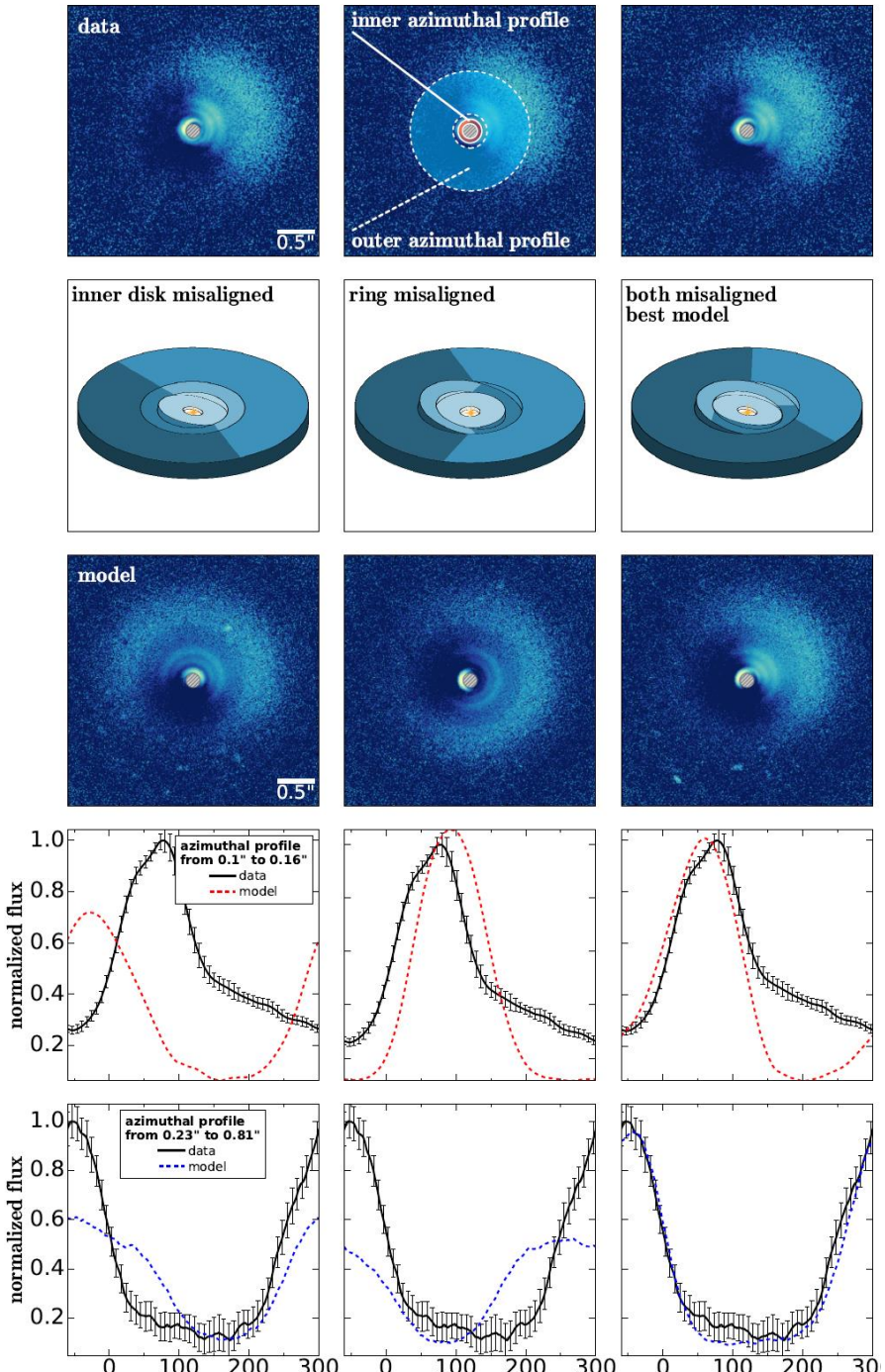
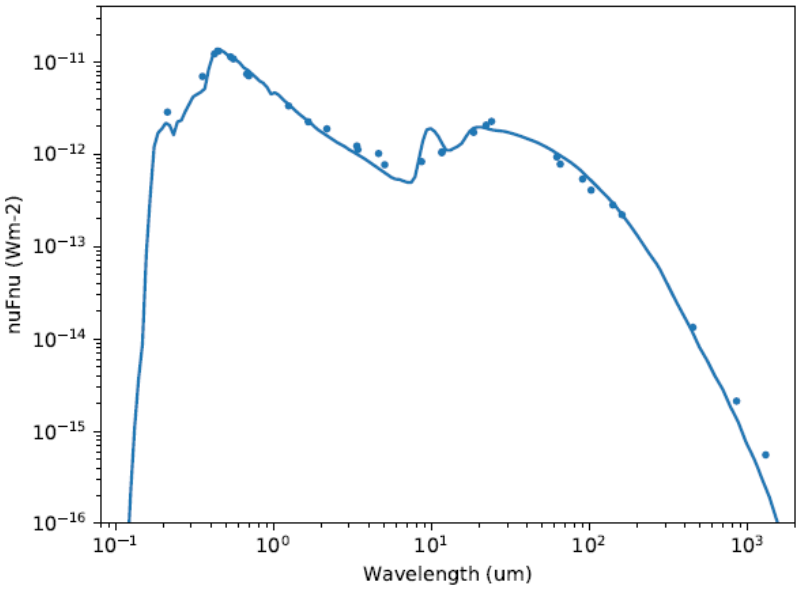


Fig. 4. Sketch of our model, showing the various regions of the disk misaligned with respect to each other. The darker regions on each zone represent the shadowed regions. **Zones 1 and 2 have the same alignment in our model, and are therefore shown here jointly as the region labeled Inner Disk.**





モデルフィッテイング

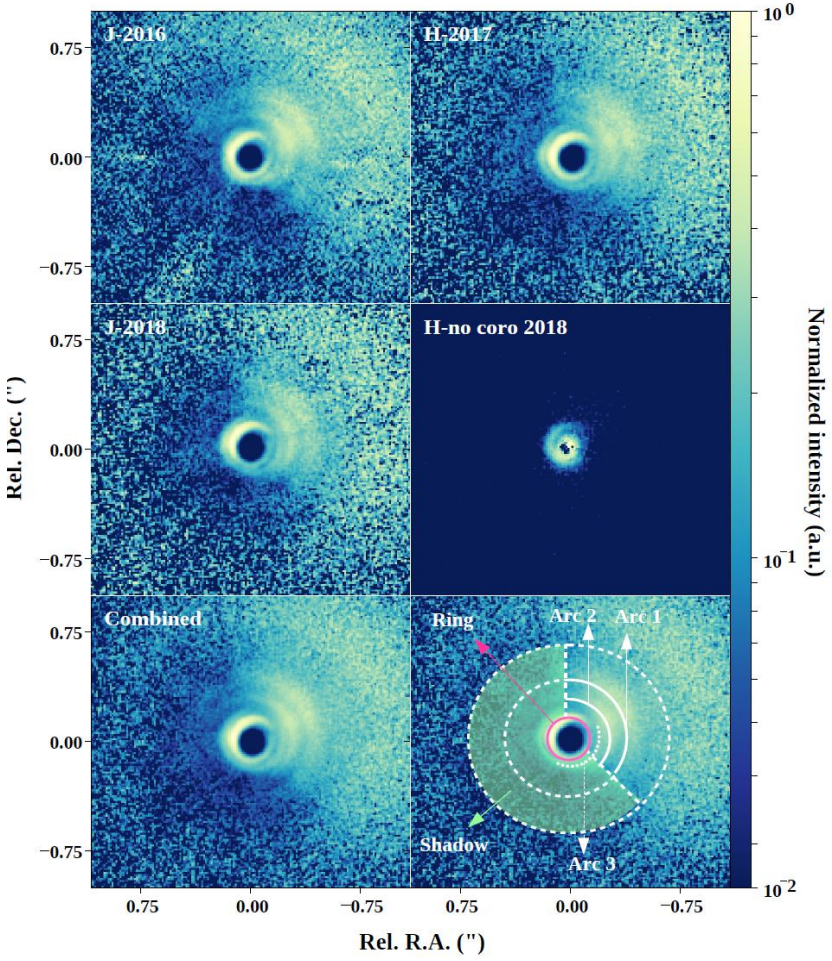


- 180度を超える影は，一つの傾いたリングでは説明できない
- **二つのring状の円盤が外側円盤に対して互いに4度傾いた構造で観測を説明できる。**
- **流束の方位角依存性もよく再現できる。**
- **SEDもよく合っている**

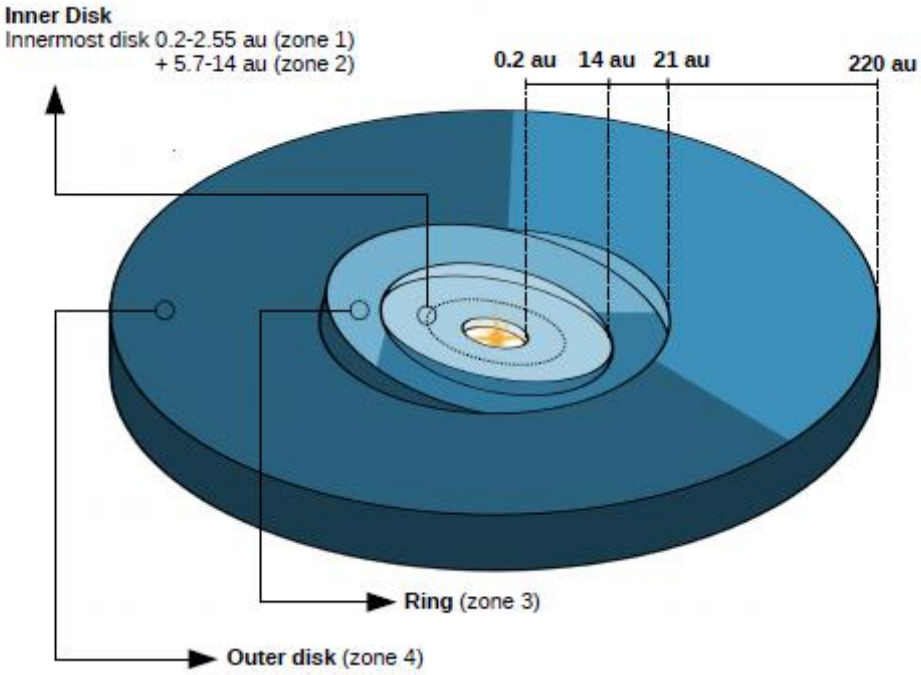
Shadowing and multiple rings in the protoplanetary disk of HD 139614 ⋆

G. A. Muro-Arena[1], M. Benisty[2,3], C. Ginski[1], C. Dominik[1], S. Facchini[4], M. Villenave[2,5], R. van Boekel[6], G. Chauvin[2,3], A. Garufi[7], T. Henning[6], M. Janson[8], M. Keppler[6], A. Matter[9], F. Ménard[2], T. Stolker[10], A. Zurlo[11,12,13], P. Blanchard[13], D. Maurel[2], O. Moeller-Nilsson[6], C. Petit[14], A. Roux[2], A. Sevin[15], and F. Wildi[16]

SPHERE/VLT scattered light of HD139614



Scattered lightのshadowing から円盤の形態がわかる



Multiple inclined disk?

Misalignment

- 傾いていると考えられる円盤はこれまでも結構観測されているらしい。
  (e.g., Marino+2015, Benisty+2017, Stolker+2016, Pinilla+2015, Benisty+2018, Casassus+2018)
- 円盤にmassiveなinclined伴星がいるとmisalignementが生じる (e.g., Facchini+2013)
  - HD14527には伴星が見つかっているが，その他の同様な天体では見つかっていない。
  - 今回の天体の傾きは小さいので，小質量惑星で説明できるかもしれない。
  - ALMAを使って赤道面の構造を 調べることが必要

RESOLVING THE FU ORI SYSTEM WITH ALMA: INTERACTING TWIN DISKS?

SEBASTIÁN PÉREZ,[1,2] ANTONIO HALES,[3,4] HAUYU BAOBAB LIU,[5] ZHAOHUAN ZHU,[6] SIMON CASASSUS,[2] JONATHAN WILLIAMS,[7] ALICE ZURLO,[8,9] NICOLÁS CUELLO,[10,11] LUCAS CIEZA,[8] AND DAVID PRINCIPE[12]

オリオン座FU星

- 輝度が数桁オーダーで変動する低質量の前主系列星
- 1937年に突然明るくなった。
- 似たような星をオリオン座FU型星と呼ぶ

輝度変動の原因

<u>円盤構造の変化による質量降着率の変動</u>

- 重力不安定性によるクランプ形成。クランプは円盤との重力相互作用で内側に落下 (e.g., Vorobyov & Basu 2010)
- 磁気回転不安定性 (e.g., Armitage et al. 2001)

→ 現在までのところFuori型星の円盤にクランプやスパイラル構造は見つかっていない

(e.g., V883 Ori, Cieza+2016)

<u>多体の相互作用による質量降着率の変動</u>

- 連星間の相互作用 (e.g., Bonnell & Bastien 1992)
- star-disk fliby (e.g., Pfalzner 2008)
- Disk-disk 相互作用 (e.g., Munoz et al. 2015)

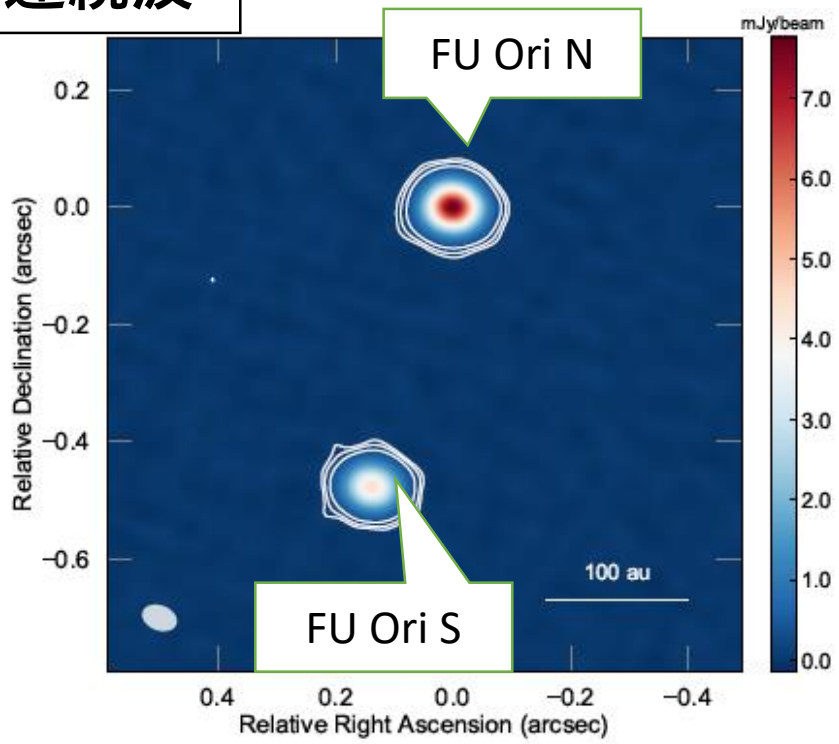
ちなみにFU Oriは連星系

- ALMA Early Science obs. (Hales+2015)
  - 連星がコンパクトな連続放射に囲まれている
- JVLA (Liu+2017)
  - 二つの円盤を分離したが、それぞれの円盤は分解できない

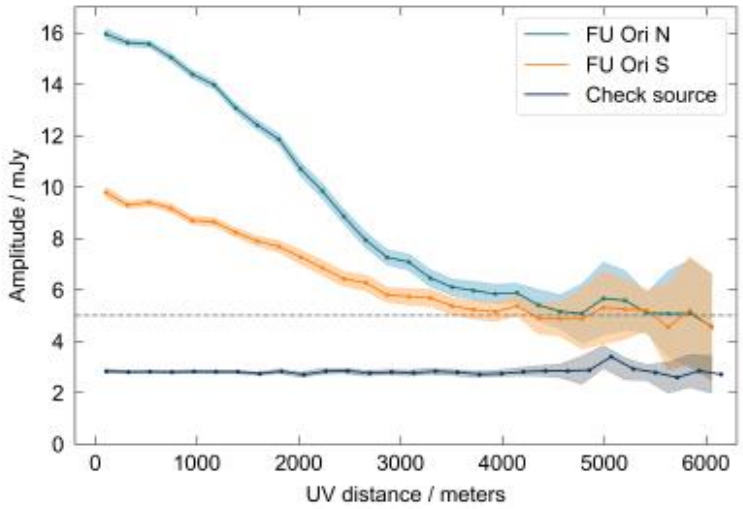
→ ALMA observation

ALMA Cycle 4 observation (~0”.05 , 21 au at 1.3mm)

連続波



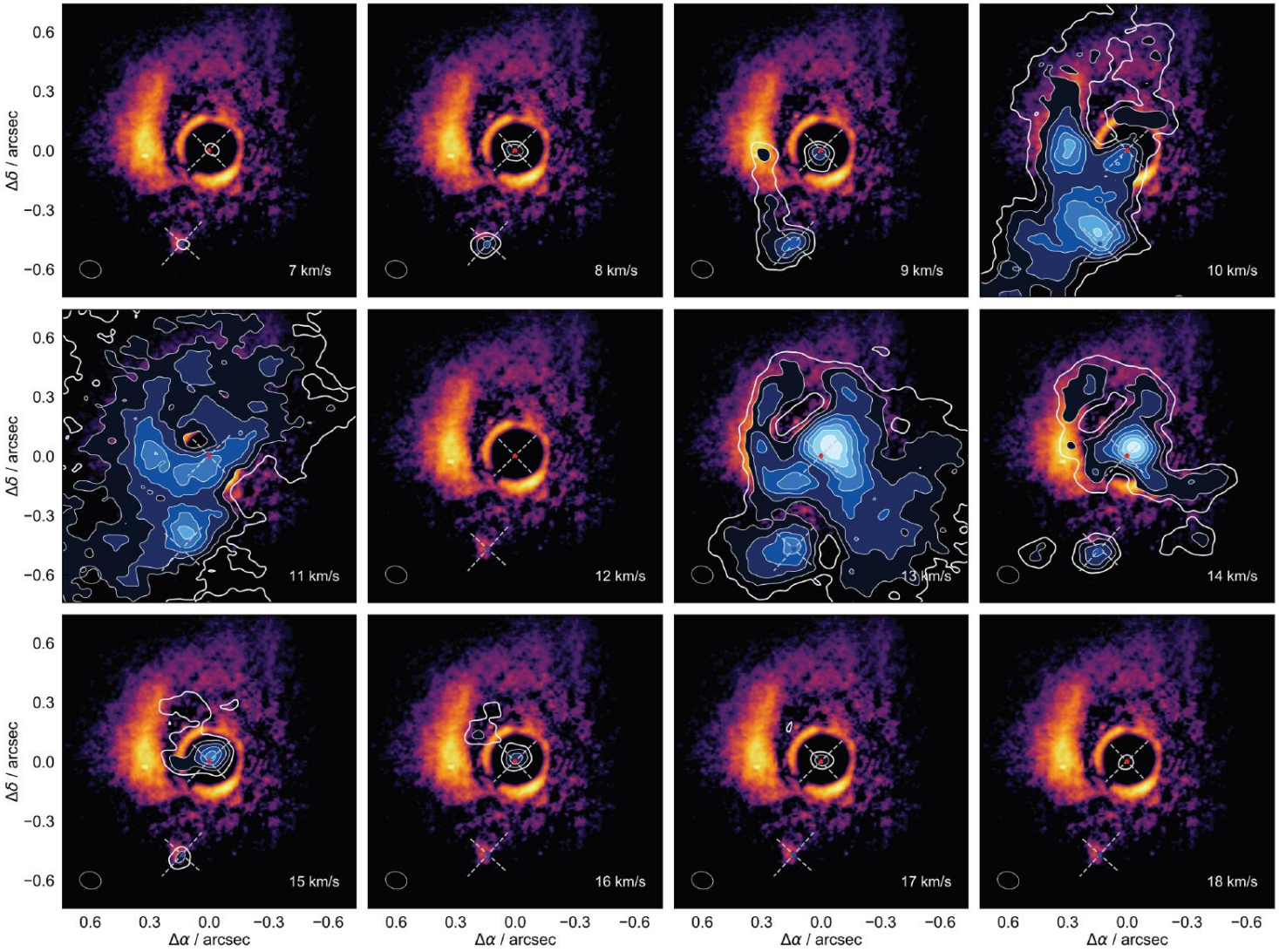
visibility



円盤からのダスト連続波の輻射輸送モデリング

- ベイズ統計を使って、５つのパラメータを制限
  - パラメータ：円盤質量，円盤サイズ，面密度のベキ，100auでのスケールハイトフレアーの度合い
  - inclinationは画像の形から決める ~ 35°
- 結果
  - 光学的に厚い
  - 円盤半径はともに~ 11 au
  - FU Ori Nの円盤質量は$22 \pm 2\ M_{\oplus}$, FU Ori Sの円盤質量は$8.8 \pm 1.4\ M_{\oplus}$

CO輝線 チャネルマップ



- FU Ori Nの円盤は回転している兆候が見える。
  - 南東が青方偏移で、北西が赤方偏移 (システム速度は11.4km/s)
  - 青方偏移成分のピークと赤方偏移成分のピークは連続波の長軸に沿っている
- FU Ori Sに付随するCO輝線は弱い
- チャネルマップは非等方で特徴的な延びた構造が見える
  - 11km/sにアーク上の構造。（反射光でもアークに見える Takami+2018)

まとめ

- ダスト円盤は、ともに同じ方向を向いている。
  - 同じ面内にあるとすると仮定すると、250 au離れている
- CO輝線のチャネルマップから，FU Ori Nの周囲の円盤には回転の兆候がみえる。FU Ori Sの円盤も弱いが兆候が見える。
- 非対称でゆがんだ速度構造
  - 重力不安定性 ← 円盤質量が小さいので効かない？
  - disk-disk相互作用 or cloudlet captureを有力視

A Survey for High-Mass Eclipsing Binaries

F. Pozo Nuñez[1,2⋆], R. Chini[1,3], A. Barr Domínguez[4], Ch. Fein[1], M. Hackstein[1], Pietrzyński, Grzegorz[2], and M. Murphy[5]

星の連星(多重星)率

- Solar-type star ~ 58 % (Fuhrmann+2017)
- A-type star 68.9 ± 7 % (De Rosa+ 2014)
- O-type star 50% から80%以上 (e.g., Chini+2012)

大質量になるほど連星率が高くなる。

連星の形成メカニズムに迫るには，主星-伴星質量比と軌道間隔の分布が有用な情報となる。

Spectroscopic surveyとinterfermetric surveyがかなり進展しているが，inclinationが分からないという欠点がある。

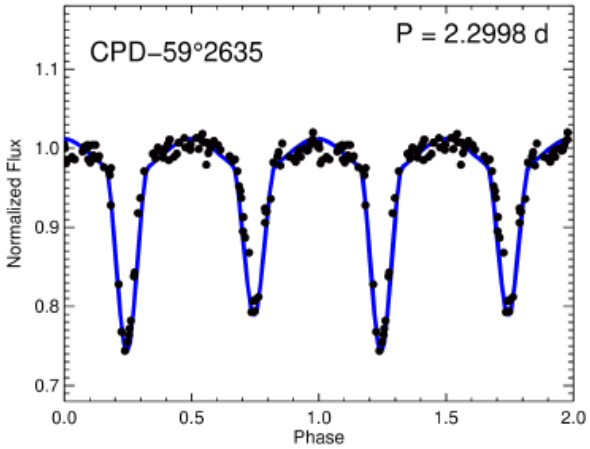
→今回は食連星の測光観測に注目。

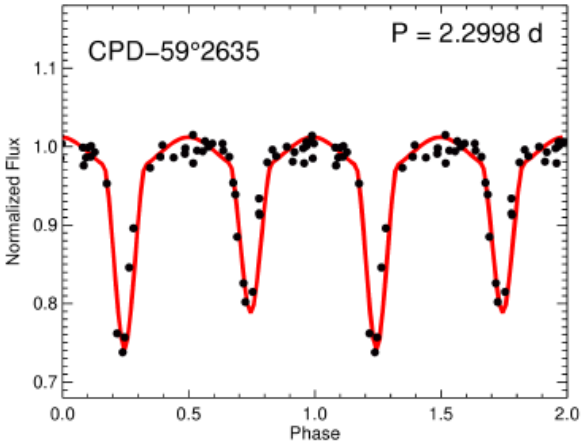
これまでの観測では18個の大質量食連星しか見つかっていない。

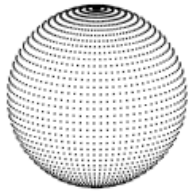
→ **473個のOBと大雑把に分類されたlong-term photometric Bochum Galactic Disk Survey (GDS)から，OB型星を抜き出して，さらに光度曲線から食連星を選定する。**

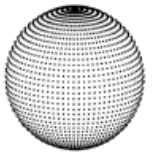
光度曲線の例

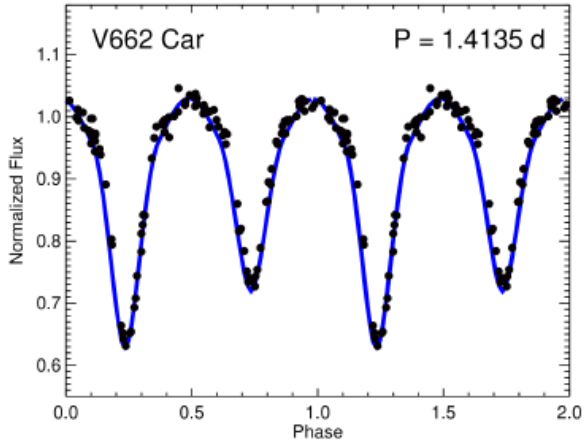
- **26個の食連星の光度曲線はfittingが可能**
  - 15個の連星については周期は求まるが，光度曲線の品質が悪くfittingはできない
  - **12個の系はdetached, 14個の系はsemi-detached, 7個の系はnear-contact**
- **連星は円軌道で，軌道周期と自転周期が同期していると仮定する。**
  - 近接している場合は妥当

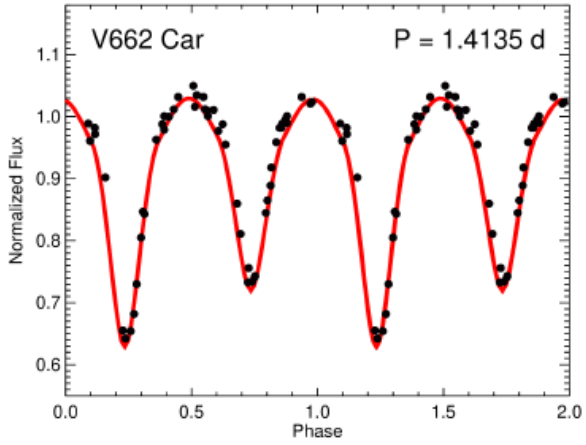


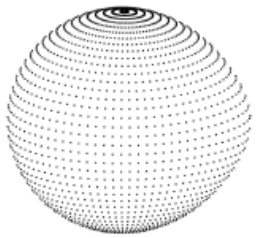


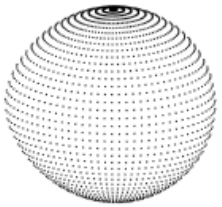






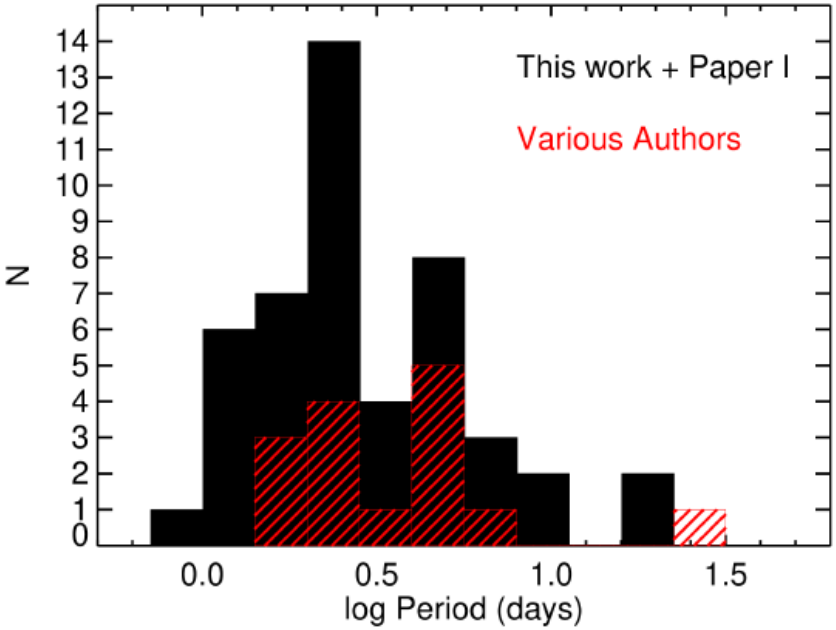






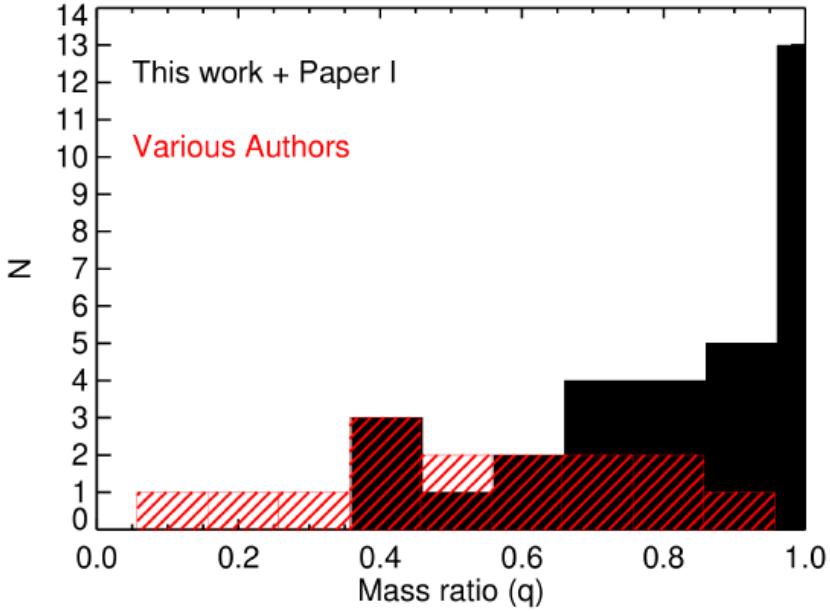
結果

軌道周期の頻度分布



- 10 dayより長い周期をもつ連星はたった２つ
- 殆どは短周期連星
- Bimordal分布にもなんとなく見える

質量比の頻度分布



- 平均はq=0.8で，かなり同じ質量に偏っている。伴星が大きいほど見えやすいのでバイアスもある
- 一方で昔のデータはフラット。理由は言及無し

→ 等質量連星が多いのは，潮汐捕獲よりも星形成時での連星形成を支持

SUBARU Near-Infrared Imaging Polarimetry of Misaligned Disks Around SR24 Hierarchical Triple System

Satoshi Mayama[1], Sebastián Pérez[2], Nobuhiko Kusakabe[3,4], Takayuki Muto[5], Takashi Tsukagoshi[4], et

The SR24 multi-star system hosts both circumprimary and circumsecondary disks, which are strongly misaligned from each other. The circumsecondary disk is circumbinary in nature. Interestingly, both disks are interacting, and they possibly rotate in opposite directions. To investigate the nature of this unique twin disk system, we present 0.″1 resolution near-infrared polarized intensity images of the circumstellar structures around SR24, obtained with HiCIAO mounted on the Subaru 8.2 m telescope. Both the circumprimary disk and the circumsecondary disk are resolved and have elongated features. While the position angle of the major axis and radius of the NIR polarization disk around SR24S are 55° and 137 au, respectively, those around SR24N are 110° and 34 au, respectively. As an overall morphology, the circumprimary disk around SR24S shows strong asymmetry, whereas the circumsecondary disk around SR24N shows relatively strong symmetry. Our NIR observations confirm the previous claim that the circumprimary and circumsecondary disks are misaligned from each other. Both the circumprimary and circumsecondary disks show similar structures in ^{12}CO observations in terms of its size and elongation direction. This consistency is because both NIR and ^{12}CO are tracing surface layers of the flared disks. As the radius of the polarization disk around SR24N is roughly consistent with the size of the outer Roche lobe, it is natural to interpret the polarization disk around SR24N as a circumbinary disk surrounding the SR24Nb-Nc system.

SB24は階層的な三重星

- 周主星円盤と周伴星円盤があり,
  周伴星円盤の中には連星がある(つまり周伴星円盤は周連星円盤)。

すばるを使って近赤外偏光観測を二つの円盤についておこなった。

周主星円盤と周伴星円盤は互いに傾いていて，12CO観測と似たような構造であった(ともに円盤表面を見ている)。