

平成30年6月15日現在

機関番号：15501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17613

研究課題名(和文) ALMAによる俯瞰撮像で探る大質量原始星近傍のダイナミクス

研究課題名(英文) Studying the structure and dynamics in face-on high mass accretion systems by ALMA

研究代表者

元木 業人 (Motogi, Kazuhito)

山口大学・大学院創成科学研究科・助教(テニュアトラック)

研究者番号：10722803

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では大質量原始星周囲の円盤を真上から見込むフェイスオン天体の探査とその詳細観測を目指した研究を行った。まず豪州の電波干渉計ATCAを用いた観測を行い、10天体の候補のうち5天体がフェイスオン天体の候補であることを発見した。次に最も有力な候補であったG353に対してALMAによる高分解能撮像観測(50ミリ秒角)を実施し、半径250AU程度の非常にコンパクトなフェイスオン円盤を分解撮像することに成功した。円盤の面密度分布には大きな偏りがあり、周囲の分子エンベロープから流れ込むガスによって円盤に質量が蓄積され、自己重力不安定を起こしている可能性が示唆された。このような例は世界で初めてである。

研究成果の概要(英文)：This research intend to search and resolve the face-on high mass protostars, that are suitable target for direct imaging of the innermost accretion disk. We first detected five candidate of such face-on object by using the ATCA. We, next, performed a pilot-imaging observation using the ALMA long baseline towards the high mass protostellar object G353.273+0.641, which is the best candidate of a face-on object found in our ATCA survey. We successfully resolved compact accretion disk of 250 AU radius. This is the first spatially resolved view of the high mass accretion system in nearly face-on geometry. The disk showed highly anisotropic distribution of a surface density. Such a structure probably reflects the gravitational instability caused by mass accumulation via accretion flow from a surrounding molecular envelope found by CH3OH lines. This is the first detection of such a highly self-gravitating disk system in high mass star-formation.

研究分野：電波天文学

キーワード：大質量星形成 電波干渉計 ジェット/アウトフロー 降着円盤

1. 研究開始当初の背景

太陽質量の10倍を超える星は大質量星と呼ばれ、熱核融合や超新星爆発を通じて重元素の合成を行うことから、宇宙における物質進化の要である。一方で大質量星は太陽程度の星に比べて数が少なく、形成領域が地球から遠いこともあり、その詳細な形成過程は未だ明らかになっていない。

この10年で大質量原始星周囲に降着円盤らしき構造が多数発見されてきた。このことは太陽のような軽い星と同様なプロセスで大質量星が作られることを示唆している。一方で発見された天体はすべからず円盤を真横から見る「エッジオン天体」である。このような天体では高密度な円盤やそれを取り囲むガスが遮蔽体となって星近傍領域を包み隠してしまうため、中心付近で一体何が起きているのかを判別できないという問題がある。

2. 研究の目的

本研究では円盤を真正面から見込む「フェイスオン天体」を探索し、大質量原始星の近傍でどのようにガスが星へと降着するのかを明らかにすることを目的とする。

特に円盤構造を俯瞰的に撮像することで図1に示すような物理状態の違いを視覚的に明らかにすることができる。これにより円盤の力学的安定度、角運動量輸送、連星系への質量分配などといった詳細な降着過程の理解が初めて得られると期待される。

3. 研究の方法

本研究では Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) を中心とした高分解能な電波干渉系観測によってフェイスオン天体を探索し、俯瞰撮像によって降着円盤の物理状態を調査した。具体的には下記の2段階に分けて研究を進めた

(1) ATCA を用いた多天体観測プロジェクト

未発見のフェイスオン天体の探索を行うため、豪州の電波干渉計 ATCA を用いて高速水メーザー天体群に対し、多波長イメージング観測を行った。これはフェイスオン天体の証拠となる視線に沿った原始星ジェットを探すプロジェクトであり、合計 230 時間をかけて観測を行った。

(2) ALMA を用いた円盤観測

上記プロジェクトによって発見されたフェイスオン天体の最有力候補 G353.27+0.641 (以下 G353) に対して、ALMA 長基線による超高分解能観測を実施し、星近傍 100 AU (AU: 天文単位) スケールでの構造を世界で初めて俯瞰的に撮像した。

また当初の予定ではすばる望遠鏡を用いた赤外線観測を行う予定であったが、天候の都合などにより観測が中止となったため赤外線衛星のデータを用いて中心星光度などの導出を行った。

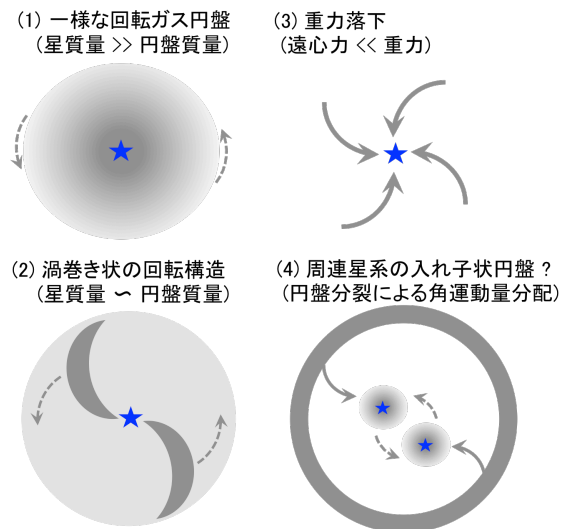


図1: 俯瞰撮像に見る円盤の多様性

4. 研究成果

(1) ATCA による多天体観測

合計 10 天体の候補天体のうち 5 天体で水メーザーの速度と検出された分子ガスアウトフローの最大速度に相関があることが確認された(図2)。これらの5天体は水メーザーの位置が原始星と一致しており、若くてコンパクトなアウトフローが視線方向に沿って存在していると推定されることから、フェイスオン天体の候補だと考えられる (Motogi et al. in prep)。

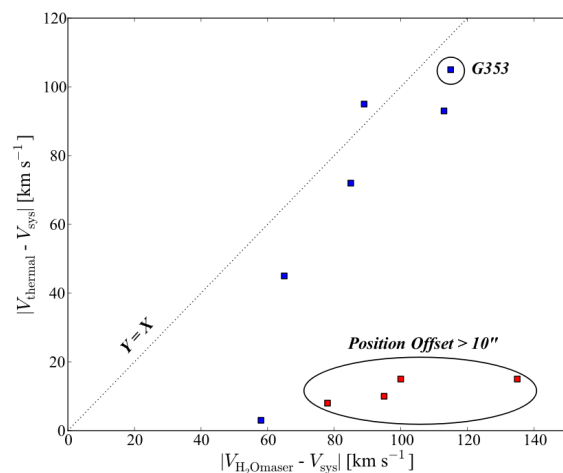


図2: 水メーザーと分子アウトフローの最大速度

(2) ALMA によるフェイスオン円盤の初撮像

ALMA cycle4 において空間分解能 50 ミリ秒角の超高分解能観測を行ったところ、極めて非対称なダスト円盤が検出された。図3は検出された円盤の電波画像である。ここでは非対称性を強調するために中心星付近の高濃度成分は差し引いてある。

円盤の半径は 250 AU 程度であり、これま

で、大質量原始星周囲で観測された円盤の中で最もコンパクトなものの一つである。このような星近傍をフェイスオンで捉えたのは世界で初めてであり、査読論文への投稿準備中である (Motogi et al. in prep)。

図 3 からわかるように円盤内に最大 2 倍程度の輝度の偏りがあることが明らかになった。円盤自体はほぼ円形に近いため、これは物理温度の差ではなく面密度比、すなわち質量分布の偏りによるものと推定される。

典型的な星間ダストパラメータを仮定して得られる円盤質量は最大で数太陽質量であり、赤外線光度から予想される中心質量 (10 太陽質量) に対して無視できない。このことから円盤が極めて自己重力的で不安定であることが明らかになった。

このことから質量分布の偏りが自己重力不安定によって生じていると推定される (図 1 の (2) に相当するケース)。このような重たい円盤は低質量星を含めても前例がなく、世界で初めての発見である。

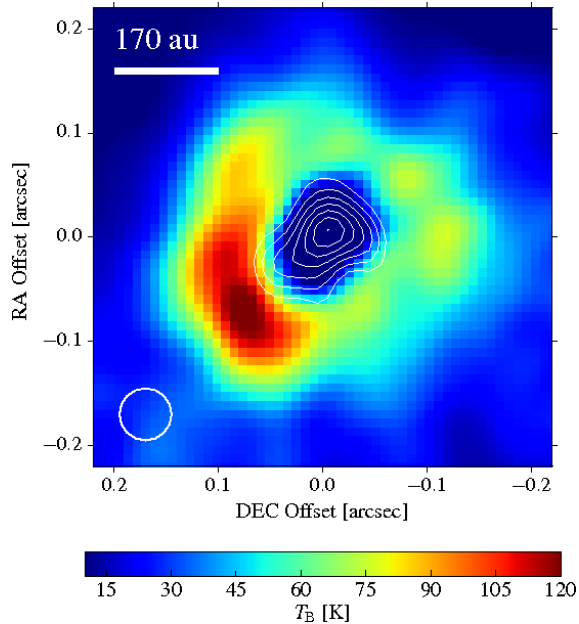


図 3: G353 周囲のダスト円盤

(3) ダスト円盤に流れ込む降着流の発見

ALMA 観測によるもう一つの成果として、ダスト円盤の外側に円盤へと流れ込む降着流が検出された。図 4 はダスト円盤 (等高線) 周囲のメタノール分子輝線の分布である。同輝線の速度場を解析したところ、フレア角一定の分厚いエンベロープに沿ってガスが膠着していることが明らかになった (図 5)。

図 5 において紫と青の曲線はエンベロープに沿った降着流のモデルを表しており、観測された速度場をよく再現している。一方黒の曲線は薄いエンベロープ中を落下する降着のモデルである。

このように大質量星近傍ではっきりと回転降着運動を検出した例はこれまでになく、や

はり世界初の結果である。

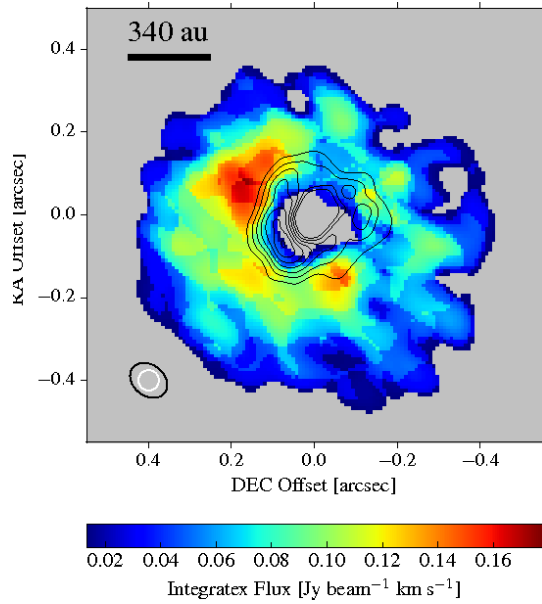


図 4: メタノール輝線で検出された降着流

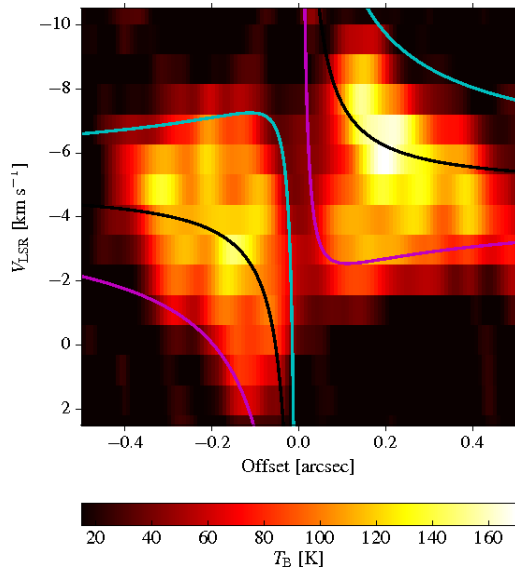


図 5: 図 4 の南北方向に沿った速度場

これらの結果から降着円盤へとガスが活発に流れ込むことで円盤が過剰に重くなり、重力不安定を起こしていることが予想される。

今後は ALMA によるパイロット観測を多天体へと拡張し、大質量原始星周囲の円盤についてより一般的な性質を明らかにする予定である。

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 Motogi Kazuhito, Hirota Tomoya, Sorai Kazuo, Yonekura Yoshinori, Sugiyama Koichiro, Honma Mareki, Niinuma Kotaro, Hachisuka Kazuya, Fujisawa Kenta, Walsh Andrew J., A Face-on Accretion System in High-mass Star Formation: Possible Dusty Infall Streams within 100 AU, *ApJ*, 849, 2017, 1-13, 査読あり
DOI:10.3847/1538-4357/aa8d75
- ② Hirota Tomoya, Machida Masahiro N., Matsushita Yuko, Motogi Kazuhito, Matsumoto Naoko, Kim Mi Kyoung, Burns Ross A, Honma Mareki, Disk-driven rotating bipolar outflow in Orion Source I, *Nature Astronomy*, 1, 2017, 1-5, 査読あり
DOI:10.1038/s41550-017-0146
- ③ Burns R. A., Handa T., Imai H., Nagayama T., Omodaka T., Hirota T., Motogi K., van Langevelde H. J., Baan W. A., Trigonometric distance and proper motions of H₂O maser bowshocks in AFGL 5142, *MNRAS*, 467, 2017, 2367-2376, 査読あり DOI:10.1093/mnras/stx216
- ④ Hirota, Tomoya; Machida, Masahiro N.; Matsushita, Yuko; Motogi, Kazuhito; Matsumoto, Naoko; Kim, Mi Kyoung; Burns, Ross A.; Honma, Mareki, *ApJ*, 833, 2016, 1-4, 査読あり
DOI: 10.3847/1538-4357/833/2/238
- ⑤ R. A. Burns, T. Handa, T. Hirota, K. Motogi, H. Imai and T. Omodaka, Molecular jet emission and a spectroscopic survey of S235AB, *A&A*, 586, 2016, 1-6, 査読あり
DOI: 10.1051/0004-6361/201527233

[学会発表] (計 12 件)

- ① Kazuhito Motogi, Andrew J. Walsh; Mareki Honma; Tomoya Hirota; Koichiro Sugiyama; Satoki Matsushita; Kazuya Hachisuka; Takashi Shimonishi; Shigehisa Takakuwa; Kazuo Sorai; Yoshinori Yonekura, The first ALMA view of a face-on accretion system in high mass star-formation, High Mass Star-Formation Workshop 2018(国際学会), 2018年
- ② 元木業人、青木貴弘、小倉達也、金澤翔、藤澤健太、新沼浩太郎、米倉覚則、岳藤一宏、関戸衛, JVN 大口径少数基線による大規模電波源探査の現状, 茨城大学重点研究 研究会:「高萩・日立 32m 電波望遠鏡によるサイエンス」(招待講演),

2018 年

- ③ 元木業人、小倉達也、青木貴弘、新沼浩太郎、藤沢健太、米倉覚則、関戸衛、岳藤一宏, JVN 大規模電波源探査に向けた感度測定試験観測, 日本天文学会 2018 春季年会, 2018 年
- ④ K. Motogi A. J. Walsh, K. Niinuma, K. Fujisawa, T. Hirota, K. Sugiyama, K. Hachisuka, M. Honma, K. Sorai, Y. Yonekura, A Face-on Accretion System in High Mass Star-Formation: Possible Dusty Infall Streams within 100 Astronomical Unit, *IAU Symposium 336, Astrophysical Masers: Unlocking the Mysteries of the Universe(国際学会)*, 2017 年
- ⑤ 元木業人、新沼浩太郎、青木貴弘、藤沢健太(山口大学)、米倉覚則(茨城大学)、杉山孝一郎 (NAOJ), 短基線 VLBI を用いた大質量原始星候補天体周囲の非定常電離ガス探査とモニター観測, 日本天文学会 2017 秋季年会, 2017 年
- ⑥ Kazuhito Motogi, Naoko Matsumoto, Tomoya Hirota, Koichiro Sugiyama, Kazuya Hachisuka, James Owake Chibueze, KaVA open-use monitoring of the extremely high-velocity water maser jet in G357.967-0.163, 2017, *Asia-Pacific Regional IAU Meeting(国際学会)*, 2017 年
- ⑦ 元木業人、松本尚子、廣田朋也、杉山孝一郎、蜂須賀一也、Chibueze, O. James, KaVA による大質量原始星候補天体 G357.967-0.163 に付随する水メーザージェットの長期 VLBI モニター観測, 2017 年日本天文学会春季年会, 2017 年
- ⑧ 元木業人、Andrew, J. Walsh、本間希樹、廣田朋也、新沼浩太郎、蜂須賀一也、徂徠和夫、杉山孝一郎、米倉覚則、大質量原始星候補天体周囲の階層的降着構造に対する N₂H⁺ 輝線観測、日本天文学会 2016 年春季年会、2016 年
- ⑨ 元木業人、本間希樹、廣田朋也、新沼浩太郎、蜂須賀一也、藤沢健太、徂徠和夫、杉山孝一郎、米倉覚則、Andrew, J. Walsh, Multi-scale view of the face-on accretion system around a high mass young stellar object, 研究会:星形成の諸階層 - 銀河から惑星まで -, 2015 年
- ⑩ 元木業人、本間希樹、廣田朋也、新沼浩太郎、蜂須賀一也、藤沢健太、徂徠和夫、杉山孝一郎、米倉覚則、Andrew, J. Walsh,

VLA による G353. 273+0. 641 周囲の階層的降着構造の発見, 日本天文学会 2015 年秋季年会, 2015 年

(4) 研究協力者 ()

⑪ 元木業人、本間希樹、廣田朋也、新沼浩太郎、蜂須賀一也、藤沢健太、徂徠 和夫、杉山孝一郎、米倉覚則、Andrew, J. Walsh, Multi-scale view of the face-on accretion system around G353. 273+0. 641, High Mass Star Formation Workshop(国際学会), 2015 年

⑫ 元木業人, 星形成における降着構造観測の現状, 降着円盤大研究会 2015(招待講演), 2015 年

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

元木 業人 (Motogi Kazuhito)
山口大学 大学院創成科学研究科 助教
研究者番号 : 10722803

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :