

苦小牧-VERA-ALMA: 大質量原始星研究10年の歩み

元木業人、新沼浩太郎、藤沢健太 (山口大学)、徂徠和夫 (北海道大学)、Andrew, J. Walsh (Curtin Univ)、廣田朋也、本間希樹、杉山孝一郎、蜂須賀一也 (NAOJ)、米倉覚則 (茨城大学)、高桑繁久 (鹿児島大学)、松下聡樹 (ASIAA)、田中圭 (大阪大学/NAOJ)、町田正博 (九州大学)

1. 大質量原始星 G353.273+0.641

OG353.273+0.641 (以下G353) は NGC6357 (距離 1.7 kpc, Motogi et al. 2016) の北東側に位置するフィラメント内 (図1) で形成中の大質量原始星であり、光度から現在の質量はおおよそ $10 M_{\text{sun}}$ 程度と見積もられている (Motogi et al. 2017)。中間-遠赤外において比較的フラットな SED の形状を示すことから、視線方向に沿った原始星アウトフローを持つ Face-on 天体であることが予想される (e.g., Zhang & Tan 2011)

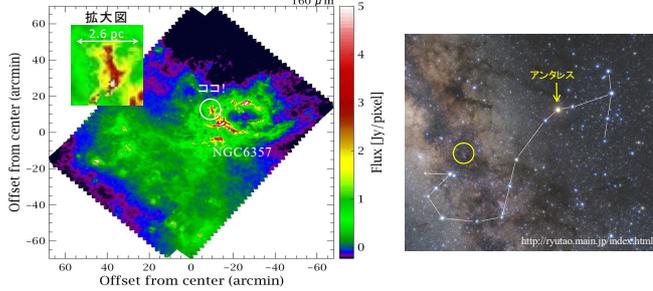


図1: 左: Herschel FIR (160 μm) image. 右: ささり座周辺の可視光写真

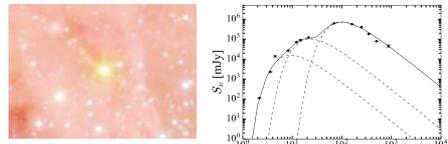


図2: 左: Spitzer IRAC/MIPSによる3色合成画像。右: 赤外線/電波のアーカイブデータから作成したSED (2MASS, GLIMPSE, MSX, Hi-GAL, ATLASGAL, Motogi et al. 2017)

3. VERAによるVLBIモニター(2008 – 2012)

○苦小牧11mでのモニターと並行し、2008から2012年度にかけて2ビーム位相補償によるVLBIモニター観測を行なった (Motogi et al. 2011, 2016)。観測は全15回実施され、観測間隔は45 – 90日であり4回のフレアについて空間分解に成功した。その結果以下のことが判明した。

- (1) 東西方向の双極ジェットによって励起
- (2) ジェットの見込み角はほぼ視線に沿う (8 deg)
- (3) 各フレア時のメーザー分布は全く異なる

予想①を検証!!

間欠的なジェット衝撃波の伝播によってフレアと再帰的加速が起こっていることが明らかになった。また年周視差計測にも成功し、天体距離が従来用いられている1.7 kpcであることを直接検証できた (Motogi et al. 2016)。

予想②: ジェットの根元にFace-onの円盤が存在?

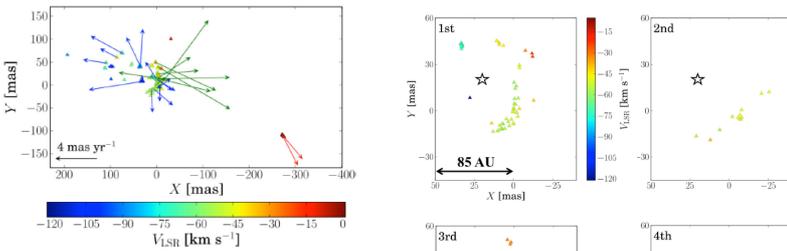


図4: 左: VERAによって得られた水メーザーの空間分布と内部固有運動。青と赤の矢印は見込み角が視線から25 deg以内、緑は25 deg以上の場合の固有運動ベクトルである。右: 4回のメーザーフレア期間の空間分布。星はATCAによって得られたcm波連続波(電波ジェット)の強度ピーク位置を示す。

5. ALMA長基線による降着円盤観測(2017 – 2019)

○山口大学に戻った2017年にはいよいよALMA Cycle 4による観測時間を得た。これによりVLBIスケールの降着円盤を直接真上から空間分解することに成功した (Motogi et al. 2019)。主な発見としては、

- (1) 降着円盤はほぼFace-onであり、非対称な面密度分布を持つ
- (2) 円盤質量は最大で中心星の20-70%におよび自己重力的である
- (3) Toomre's Q値が小さく、重力不安定が円盤構造に強く影響している

2019年度にもさらなる高分解能 (~20 mas) なALMA観測が続いており、より詳細な円盤の物理状態/渦状腕の有無など今後検証が進むと期待される。

一方、苦小牧とVERAによるメーザー観測から得られた天体構造の予言はほぼ的中しており、VLBIの高い分解能をうまく生かすことができればALMA時代においても有効な準備研究の手段となりうることは明らかである。

2. 北海道大学苦小牧11m望遠鏡によるメーザーモニター観測(2008–2014)

○G353に付随する22 GHz 水メーザーに対して2008から2014年度に渡り苦小牧11m望遠鏡を用いた長期モニター観測を行った。メーザーの視線速度は母体雲 (-5 km s^{-1}) に比べて極端に青方偏移しており ($-120 - -50 \text{ km s}^{-1}$)、視線に沿ったジェットへの付随が予想された。

また北国から南天を臨む困難 (~仰角 10 - 13 deg, 2.5 hour/day) にめげずモニターを継続した結果、都合4回のフレア現象を捉えることに成功した (Motogi et al. 2011)。フレアは間欠的であり再帰的かつ長期の加速が起こっていることも判明した (Motogi et al. 2016)。

予想①: 視線に沿ったEpisodicな原始星ジェット?

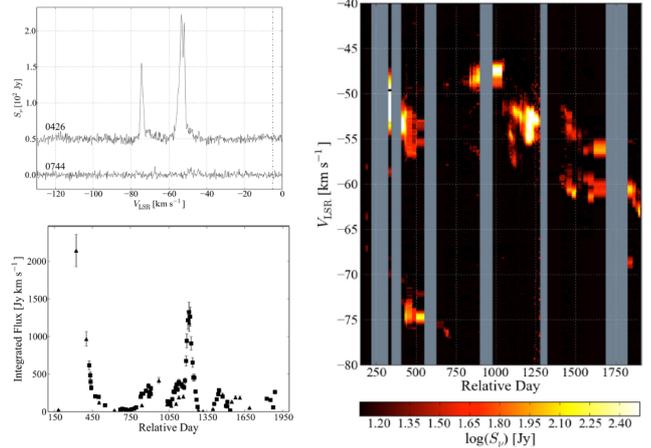


図3: 左上: フレア期と静穏期の水メーザースペクトル。左下: -50 km s^{-1} 成分のライトカーブ。右: メーザー成分の連続的加速を捉えたダイナミックスペクトル (Motogi et al. 2016)。

4. 共同利用望遠鏡によるフォローアップ観測 (PD時代2012 – 2016)

OPDとなった2012年以降 (山口大学 → 水沢VLBI観測所) は、メーザー観測にから予想されたジェット/円盤の存在を確認すべく、各種共同利用望遠鏡 (NRO, ATCA, SMA, J-VLA) を用いたフォローアップ観測を行なった。4年に渡る観測により、メーザーと星周構造の関係が一つ一つ明らかになっていった。

- (1) 電波/分子ジェットの検出 (Motogi et al. 2013)
- (2) Face-on infall systemの発見 (Motogi et al. 2017)

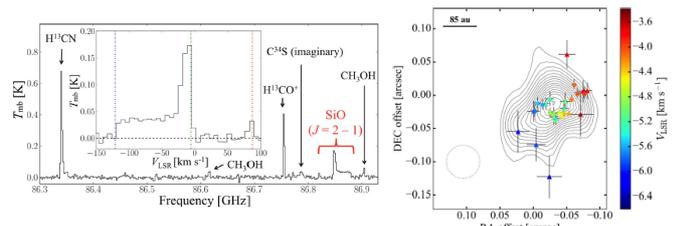


図5: 左: NROによって検出されたSiO ($J=2-1$) ジェットのスペクトル。極めて幅広く、メーザー同様の青方偏移卓越が確認された。右: 7mm連続波によって検出された高温ダスト放射 (J-VLA) と、スパイラル分布を示す6.7 GHzメタノールメーザー (ATCA)。Motogi et al. (2017) では同メタノールメーザーの運動がフレアした円盤表面を回転降着する力学モデルで説明できることを発見した。

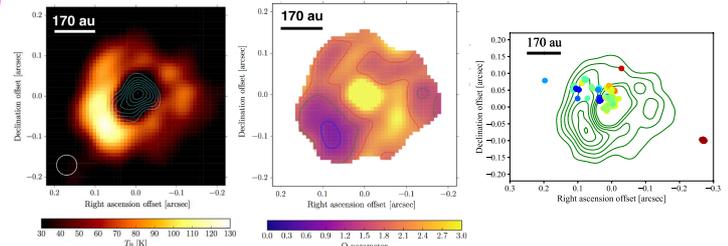


図6: 左: ALMA Cycle 4によって得られたFace-on円盤の画像 (2 mm連続波)。中心付近の高温成分は差し引きしており、等高線はJ-VLAによる7 mm連続波である。中: Toomre's Q値の分布。円盤構造にそって渦状腕状に低いQ値の領域が分布している。右: VERAによる水メーザーの分布と円盤の比較。