2016/12/26 ~12/28 2016年度 VLBI懇談会シンポジウム @山口大学



01-1

日立32-m 電波望遠鏡を用いた 長期的かつ高頻度な 6.7 GHz メタノール・メーザーモニター観測 杉山 孝一郎 (茨城大学 宇宙科学教育研究センター)

共同研究者:米倉覚則,齋藤悠,佐藤宏樹,宮本祐輔,青木健悟,山口貴大,会川航平,大島 理穂,齋藤偉,水野友雄,百瀬宗武(茨城大学),元木業人,藤沢健太(山口大学),本間希樹, 内山瑞穂,松本尚子,蜂須賀一也(国立天文台)

日立32-m モニタープロジェクト: 概要 P24: *倉ポスター (茨大)

- ターゲット: 計 442 個の 6.7 GHz メタノールメーザー天体
 Dec. > -30 deg の天体全てをカタログから抜粋(2012/12 時点)
- ・ 観測期間,及び各天体辺りのデータ取得頻度(運用は毎日)
 第1期: 2012/12/30 ~ 2014/01/10, 9-10日に1度
 - 第2期: 2014/05/07 ~ 2015/08/24, 9-10日に1度
 - 第3期: 2015/09/18 ~ 継続中, <u>4-5日に1度</u>(143天体に厳選)

P01: 山口ポスター(茨大)

【個別の周期天体】

O1-7,8: 宮本,佐藤(宏)口頭(茨大)

- 研究目的: メタノールメーザーの強度変動を統一的に理解
 - 周期的な強度変動の統計調査、及び大質量星研究へのアプローチ
 - 突発的な強度変動の統計調査,及び大質量星研究へのアプローチ

O1-2: 青木口頭(茨大)

茨城 (日立・高萩)32-m電波望遠鏡 (茨城大学,宇宙科学教)

1. 研究背景

日立32-mを用いた長期・高頻度モニタープロジェクト

メタノールメーザーに見られる周期的強度変動

- 個々の大質量星形成:
 円盤からの質量降着 (e.g., Hirota+14)
- 大質量原始星の進化は?:
 原始星表面に降り積もる質量降着率
 が決め手となる (Hosokawa & Omukai 09)
- しかし…, 原始星の空間スケールは
 < 0.1 au ☞ 直接撮像不可能…
- 大質量星周囲で、メタノールメーザーの周期的な強度変動が発見される
 - 既知: 20天体 (e.g., Goedhart+ 04)
 - 周期:~30-670日
 - 変動パターン:連続的/間欠的
 - 複数成分間で<mark>同期</mark>した変動

大質量原始星近傍 (~0.1-1 au)の 天体現象に起因している可能性を示唆

~500日,連続的 -90.8 km/s -91.5 km/s -91.5 km/s 51500 52000 52500 53000 53500 54000

↑: 周期変動を示すメタノールメーザー天体, G 331.13-00.24 (Goedhart+ 07), ↓: G 009.62+00.20 E (Goedhart+ 14).

~250日,間欠的 1.25 km/s 1.25 km/s 1.25 km/s 1.64 km/s 51500 52000 52500 53000 53500 54000 54500 55000 MJD [days]

周期変動を引き起こすメカニズム候補

• 定量的な理論モデル

- 原始星の脈動不安定(Inayoshi+13)
 - ZAMS直前の $\sim 10^3$ yrs
 - 高降着率下で成長: ≧ 10⁻³ Mo/yr
 - κ機構に従い, 連続的なパターンを示す
- Colliding wind binary (van der Walt 11)
- 連星系円盤を通じたスパイラルショックの周期的生成(Parfenov & Sobolev 14)





脈動不安定から予言される Period-Luminosity (P-L) relation



脈動不安定から予言される Period-Luminosity (P-L) relation



P-L relation: 既知の周期天体から検証



P-L relation: 観測的検証における課題



日立32-mを用いた長期・高頻度モニタープロジェクト

2. モニター観測

日立32-m 長期・高頻度モニタープロジェクト: 観測パラメータ

- ターゲット: 計 442 個の 6.7 GHz メタノールメーザー天体
 Dec. > -30 deg の天体全てをカタログから抜粋(2012/12 時点)
- 日立32-m 電波望遠鏡を用いて、2012/12/30 から開始 P01:山口ポスター(茨大)

第1期 & 第2期	第3期(143天体)
日立(茨城)32-m,4	.6 arcmin @ 6.7GHz
2012/12/30 ~ 2014/01/10 2014/05/07 ~ 2015/08/24	2015/09/18~継続中
<mark>9-10</mark> 日/各天体	<mark>4-5</mark> 日/各天体
6664 - 6	672 MHz
8,192 (2,097,152 ch	annels からバインド)
0.044	km s ⁻¹
~0	.9 Jy
	第1期&第2期 日立(茨城)32-m,4 2012/12/30 ~ 2014/01/10 2014/05/07 ~ 2015/08/24 9-10 日/各天体 6664 - 6 8,192 (2,097,152 ch 0.044 ~0

茨城 (日立・高萩)32-m電波望遠鏡 (茨城大学,宇宙科学教育研究センター HP より拝借)

日立32-mを用いた長期・高頻度モニタープロジェクト 3. 結果(2016/12/07 時点)

定量的な周期解析:例)G036.70+00.09

- Lomb-Scargle法を用いた周期解析 (Lomb+76; Scargle+82)
 - 不等間隔な離散データに適用可能
 - 2015年度茨大修士課程修了の安井
 氏が日立用にチューニングしたプロ
 グラムを使用
- 周期変動天体の選出条件
 - False-alarm probability (FaP) $< 10^{-4}$
 - 検出信号の信頼度 99.99%に相当
 - モニター期間において、3周期以上 捉えることが可能な周期
 - 例)第1期~第3期の期間は~1400日のため、最大で450日程度の周期まで導出可能



新検出された周期変動天体

- 計 42 天体から周期変動
 の検出に成功
 - 既知: 11 天体
 - 日立: 31 天体
 - 第1-3期: 19天体
 - 第3期: 12天体

P01:山口ポスター(茨大)

- 周期: 22 409日

 第1-3期: 24-409日
 - 第1 0<u>第</u>1 21 1031 - 第3期: 22-132日



既知+新検出の周期ヒストグラム



日立32-mを用いた長期・高頻度モニタープロジェクト



4-1. 検出率と出現期間

日立32-mを用いた長期・高頻度モニタープロジェクト

周期変動の検出率と出現期間

- 検出率
 - **第1−3期**: ~10 % (42/442)
 - 第3期: ~8 % (12/143)
- 出現期間:~1,600-2,000 年
 - 6.7 GHz メーザー放射の 出現期間:~20,000年 (van der Walt 05)
 - <u>脈動期間 ~1,000年</u>と <u>factor 2 程度で一致</u>

P-L relation の観測的検証へ活用可 能な周期天体の母サンプルに!



日立32-mを用いた長期・高頻度モニタープロジェクト

4-2. P-L relation 検証への適用

変動パターンで分類した周期ヒストグラム



ー部の成分のみ周期変動を示す天体からの, 脈動起因天体の選出



- 一 付随する原始星を切り分け可能な場合、"脈動起因"と判定
- ☞ 追加可能な 3天体の選出に成功

East-Asian VLBI Network を用いた観測に より得られたVLBIマップ (Fujisawa + 14)。 本天体は、空間的に数1000 au分離した、 "ペア形状に分類。

天体光度導出の高精度化



- 天体距離の同定 (e.g., Honma+ 12; Reid+ 14; Green+ 11)
 - 年周視差距離 or 銀河中心: 2天体
 - 運動学的距離: 7天体(HI自己吸収法による near/far 区別有り)

暫定版 P-L relation



暫定版 P-L relation





- ・ 年周視差による天体距離の高精度な計測

 - 2天体を既にVERA(17A)へ観測提案中(PI: 杉山)
- Herschel データの, 他エリアに位置する天体への適用
 - Molinari+ (2016) を元にした、他エリアの周期天体に対する Herschelデータ解析の実施(co-PI:内山と連携可能)
- VLBIマップの比較による、スポットベースでの周期変動
 成分、及び空間スケールの同定 01-8: 佐藤(宏)ロ頭(茨大)
 大学連携VLBIへ大規模に観測提案中(PI: 米倉(茨大))

日立32-mを用いた長期・高頻度モニタープロジェクト

5. まとめ

まとめ

- 日立(茨城)32-m電波望遠鏡を用いた、6.7 GHz メタノールメーザーの長期・高頻度なモニターを、2012/12/30 から実施・継続中
 - ターゲット: $Dec > -30^{\circ}$ を満たす 442天体(第3期は 143天体を厳選)
 - 観測期間・データ取得頻度: 第1・2期 9-10日 & 第3期 4-5日に1度/各天体
 - 研究目的: <u>メタノールメーザー強度変動の統一的な理解</u>
- 結果•経過,及び P-L relation の観測的検証
 - 42天体から周期的な強度変動を検出(内,31天体が新検出)
 - 周期変動の検出率~10%,出現期間~2,000年(脈動期間とコンパラ)
 - 【連続的パターン 20天体】+ 【一部変動の内の3天体】 = 23天体 を脈動不安定起因の周期天体 として推定
 - Herschelデータを用いた検証を試みるも、モデル依存に伴う天体距離の不定性の大きさを再認識...
 - <u>年周視差による距離の高精度な計測</u>が急務!