

日立32m電波望遠鏡を用いた6.7GHzメタノールメーザー源の高頻度モニター観測による短周期強度変動天体の探査

山口貴大*、米倉覚則*、杉山孝一郎†、齋藤悠*、百瀬宗武*

*茨城大学 †国立天文台

概要

茨城大学では、周期的な強度変動を示す6.7GHzメタノールメーザー源のサンプル数を増やすため、日立32m電波望遠鏡を用いて6.7GHzメタノールメーザー源の大規模なモニター観測を行っている。特に、2015/09/18-2017/03/07にかけては、143天体に対し、各天体4日-5日に1回という高頻度なモニター観測を行った。本研究では、この高頻度な観測データに対して周期解析を行い、短周期的な強度変動を示すメタノールメーザー源の検出を目指した。周期解析には、Lomb-Scargle法と呼ばれる不等間隔な離散的データに対する周期解析方法を用いたプログラム（茨城大学 安井氏 2015年度修士論文 [1]）を使用した。解析の結果、周期性が検出されたのは**143天体中39天体**であり、そのうち新検出は**20天体**であった。新検出の20天体の導出周期は**14.9 ± 0.1日 - 163.9 ± 13.7日**であり、短周期的な強度変動を示すメタノールメーザー源の検出に成功した。

研究背景・目的

◆ 6.7GHzメタノールメーザー

- 大質量星 (> 8 M_☉) 形成領域を選択的に観測するプローブとして有用
 - 周期的な強度変動を示すものが見つかっている
- ➡ 大質量原始星ごく近傍の天体変動現象に起因

◆ 脈動不安定モデル [2]

- 周期的な強度変動を説明するモデルの1つ
- 周期変動の要因：原始星の脈動に伴う光度の周期変動
- 周期：数10日 - 数100日
- 変動のパターン：連続的
- 原始星の脈動周期と光度との間に一定の相関関係（周期-光度関係）があることを理論的に予言
- ➡ 観測的な検証が必要

◆ 周期変動観測の現状

- 十分な観測が行われておらず、サンプル数が少ない

6.7GHzメタノールメーザー源の母数：約1000天体以上

- 十分な期間 & 十分な頻度での観測例：約200天体以下
- 見つかった周期変動天体：20天体 [3]-[11]



図1：日立32m電波望遠鏡

◆ モニター観測

- 周期変動天体のサンプル数を増やすため、日立32m電波望遠鏡を用いて6.7GHzメタノールメーザー源のモニター観測を実施
- 2012/12/30から現在にかけて、大きく4つの期間に分けて実施
- 2015/09/18-2017/03/07（第3期）は、143天体に対し、各天体4日-5日に1回という高頻度なモニター観測を実施

➡ 高頻度な観測データに対して周期解析を行い、短周期的な強度変動を示すメタノールメーザー源の検出を目指す

観測

表1：観測概要

望遠鏡	日立32m電波望遠鏡
観測期間	2015/09/18 - 2017/03/07（第3期）
観測頻度	4日 - 5日に1回
空間分解能	4.6 arcmin
周波数	6664 - 6672 MHz
分光点数	8192 点
速度分解能	0.044 km/s
積分時間	300 秒
検出感度 (3σ)	~ 0.9 Jy

結果

◆ 検出天体

- 選出条件を満たし、周期性が検出されたのは、143天体中39天体

第3期観測天体：143天体



- 39天体のうち、新検出は20天体
- ➡ 導出周期：14.9日 - 163.9日

表2：新検出天体一覧

天体名	導出周期 [日]	天体名	導出周期 [日]
G 0.167-0.44	47.6 ± 1.1	G 32.03+0.06	57.0 ± 1.6
G 5.900-0.43	133.1 ± 8.9	G 32.11+0.09	56.1 ± 1.5
G 10.88+0.12	106.7 ± 5.6	G 33.86+0.01	73.5 ± 2.6
G 12.90-0.26	25.4 ± 0.3	G 35.79-0.17	33.4 ± 0.5
G 14.33-0.63	71.1 ± 2.5	G 49.60-0.25	106.7 ± 5.6
G 19.75-0.12	21.9 ± 0.2	G 52.66-1.09	14.9 ± 0.1
G 24.54+0.32	163.9 ± 13.7	G 81.76+0.59	163.9 ± 13.7
G 24.64-0.33	15.2 ± 0.1	G 123.0-6.31	163.9 ± 13.7
G 24.93+0.08	133.9 ± 8.9	G 183.3-0.59	64.6 ± 2.0
G 25.82-0.17	71.0 ± 2.4	G 192.6-0.05	118.6 ± 7.0

解析方法

◆ Lomb-Scargle法

- 不等間隔な離散的データに対しても適用可能な周期解析方法
- この方法で周期が導出できるよう、日立データ用に作成されたC言語プログラムを使用 [1]
- 解析の結果得られる図の例

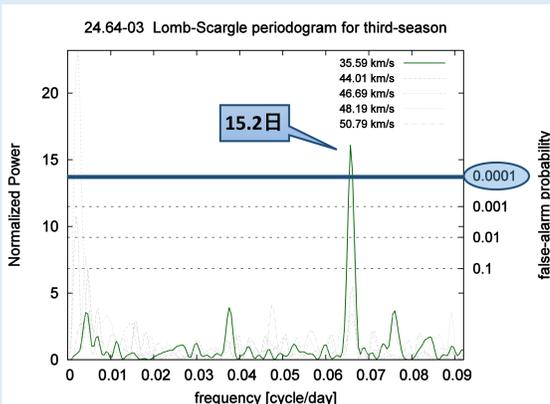


図2：G 24.64-0.33のLomb-Scargleピリオドグラムのスペクトル（左の縦軸は正規化パワー、右の縦軸は誤警報確率、横軸は周期の逆数に相当する周波数。周期変動成分のみ色を付けて表示。）

◆ 周期変動天体の選出条件

- 以下の条件を満たす天体を周期変動天体として選出

- 誤警報確率 (false-alarm probability ; fap) < 0.0001
- 導出された周期が観測期間に3周期以上含まれる

➡ 導出可能周期：10日 - 179日

◆ 新検出天体の例

- 新検出天体のうち、例としてG 32.03+0.06を紹介

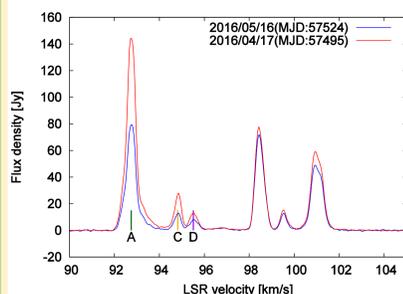


図3：G 32.03+0.06のスペクトル（縦軸はフラックス密度、横軸は視線速度。また、赤線は成分Aについて強度変動プロットの極大となる観測日のスペクトルを表し、青線はその極大の直後の極小となる観測日のスペクトルを表す。さらに、縦線は周期変動成分を表す。）

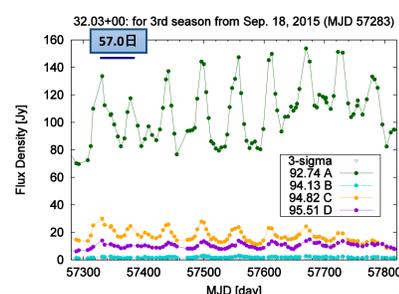


図4：G 32.03+0.06の強度変動プロット（縦軸はフラックス密度、横軸は観測日。周期変動成分のみ表示。）

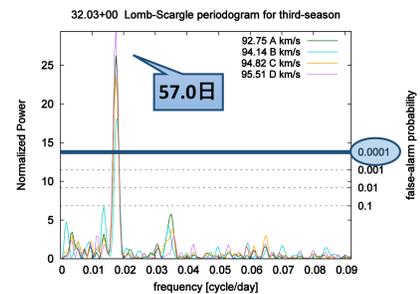


図5：G 32.03+0.06のLomb-Scargleピリオドグラムのスペクトル（左の縦軸は正規化パワー、右の縦軸は誤警報確率、横軸は周波数。周期変動成分のみ表示。）

◆ 周期の分布

- 本解析によって短周期サイドの天体数が増加

➡ 短周期的な強度変動を示すメタノールメーザー源の検出に成功

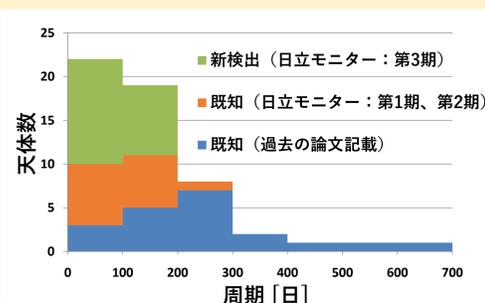


図6：周期の分布（周期：0日 - 700日）

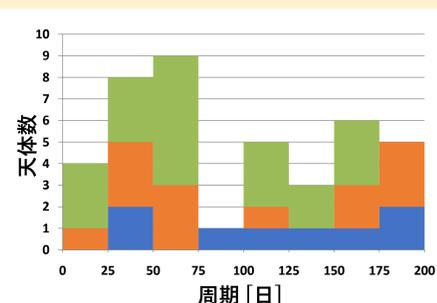


図7：周期の分布（周期：0日 - 200日）

今後の展望

◆ 周期-光度関係の観測的検証に向けて

- 本解析での新検出天体について、以下を調査

- 連続的変動パターンを示す天体の選出
 - 2種類の変動パターン（連続的・間欠的）に分類
 - 脈動変動モデルが適用可能な、連続的変動パターンを示す天体を選出

- 光度の導出：フラックスと距離の情報が必要
 - フラックス：IRASカタログを調査
 - 距離：過去の観測で距離の同定が行われているかどうか、論文を調査

参考文献

- [1] 安井靖亮, 2015年度, 茨城大学大学院理工学研究科 修士論文
- [2] Inayoshi, K., et al. 2013, ApJ, 769, 20
- [3] Araya, E.D., et al. 2010, ApJ, 717, 133
- [4] Fujisawa, K., et al. 2014, PASJ, 66, 78
- [5] Goedhart, S., et al. 2004, MNRAS, 355, 553
- [6] Goedhart, S., et al. 2009, MNRAS, 398, 995
- [7] Goedhart, S., et al. 2014, MNRAS, 437, 1808
- [8] Maswanganye, J.P., et al. 2015, MNRAS, 446, 2730
- [9] Maswanganye, J.P., et al. 2016, MNRAS, 456, 4335
- [10] Szymczak, M., et al. 2014, MNRAS, 439, 407
- [11] Szymczak, M., et al. 2015, MNRAS, 448, 2284