

# 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 100 日未満の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)

## 概要

茨城大学では、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大規模なモニター観測を行っている。特に、2015/09/18 から現在にかけては、143 天体に対し、各天体 4-5 日に 1 回という高い頻度でモニター観測を行っている。本研究では、この高頻度な観測データのうち、2016/11/23 までのデータに対して周期解析を行い、100 日未満の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 法という不等間隔な離散的データにも適用可能な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 17 天体であり、そのうち初検出は 7 天体であった。初検出の 7 天体の導出周期は  $22.0 \pm 0.1$ - $75.1 \pm 1.7$  日であり、いずれも 100 日未満の周期が検出された。よって、高頻度なモニター観測によって、短周期的な強度変動を示すメタノールメーザー源を検出することができた。

## 1. 研究背景・目的

6.7GHz メタノールメーザーは、大質量星 ( $\geq 8M_{\odot}$ ) の形成領域にのみ付随しており、その多くが進化初期の原始星段階で検出されている。そのため、いまだ謎の多い大質量星の形成過程を選択的に観測するプローブとして役立つ。

観測された 6.7GHz メタノールメーザーのうちいくつかは、周期的な強度変動を示すものが見つかっており、今までに 20 天体検出されている [3]-[8]。しかし、周期性を検出し得るほどの十分な期間と頻度で観測が行われた天体はこれまでに 6.7GHz メタノールメーザー放射が検出されている天体の数約 1000 天体に対して 20%にも満たない程度と非常に少なく、統計的な調査を行うにはサンプル数が不足している。そこで茨城大学では、周期変動天体のサンプル数を増やすことを目的として、茨城県日立市にある 32m 電波望遠鏡を用いて大規模なモニター観測を実施している。モニター観測は

2012/12/30-2014/01/10 (第 1 期)、2014/05/07-2015/08/24 (第 2 期) の期間、442 天体に対し、各天体 9-10 日に 1 回の頻度で実施された。さらに、よ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を目指して、2015/09/18 から現在(第 3 期)にかけては、観測天体数を 143 天体に絞り、観測頻度を上げて(各天体 4-5 日に 1 回)モニター観測を行っている。

本研究では、日立 32m 電波望遠鏡を用いて行われているモニター観測のうち、第 3 期の観測データを用いて周期解析を行い、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。

## 2. 観測

### 2.1. 観測概要

日立 32m 電波望遠鏡を用いたモニター観測は、2012/12/30-2014/01/10(第 1 期)

2014/05/07-2015/08/24 (第2期)、2015/09/18-現在(第3期)の3期間にわたって実施されている。このうち、本研究で対象となる第3期は、143天体に対し、各天体4-5日に1回の頻度で観測が実施されている。ただし、一部の天体は観測頻度が異なる。また、検出感度は $3\sigma \sim 0.9$  [Jy]を達成している。

## 2.2. 観測天体の選出条件

第3期の観測対象天体は、第1期と第2期の観測対象天体442天体(赤緯 $\geq -30$  [deg])から、以下の2つの条件を満たす143天体を選出した。

- (1) 変動指数 (modulation index) = 標準偏差 / 平均値  $\geq 0.30$
- (2) 信号雑音比 (signal-to-noise ratio) = 信号の最大値 / 雑音  $\geq 7$

## 3. 解析方法

本研究では、第3期の観測データに対して、Lomb-Scargle法という不等間隔な離散的データにも適用可能な周期解析方法を用いたプログラムによって周期解析を行った。解析は、2016/06/07-2016/11/23にかけて、約8日に1回(1つの天体につき観測データが2回分たまる度に行い、計17回行った。

また、以下の条件を満たすものを、周期変動天体と同定した。

- (1) fap (false-alarm probability; 誤警報確率)  $< 0.001$
- (2) 観測期間に3周期以上捉えられること
- (3) 17回の周期解析全てで上記2つの条件を満たすこと

## 4. 結果

周期解析の結果、条件を満たし、周期変動天体と同定されたのは、143天体中17天体であった。そのうち、初検出は7天体(G 0.167-0.44、G 12.90-0.26、G 19.75-0.12、G 25.82-0.17、G 32.03+0.06、G

33.86+0.01、G 35.79-0.17)で、初検出天体の導出周期は、 $22.0 \pm 0.1 - 75.1 \pm 1.7$ 日であった。初検出天体の例として、周期が $47.2 \pm 0.6$ 日と導出されたG 0.167-0.44のスペクトルと強度変動プロット、周期解析結果を以下に示す。

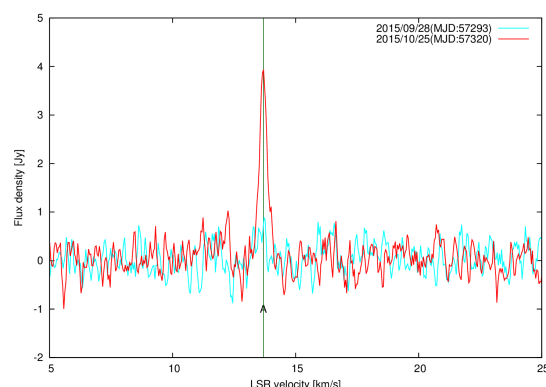


図1: G 0.167-0.44のスペクトル。縦軸はフラックス密度、横軸は視線速度を表す。また、赤線(濃線)は強度変動プロットで極大となる観測日のスペクトル、青線(薄線)はその極大の直前または直後の極小となる観測日のスペクトルを表し、縦線は周期変動成分を表す。

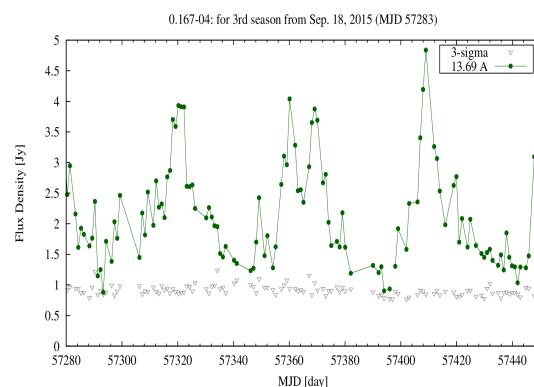


図2: G 0.167-0.44の強度変動プロット。縦軸はフラックス密度、横軸は観測日を表す。

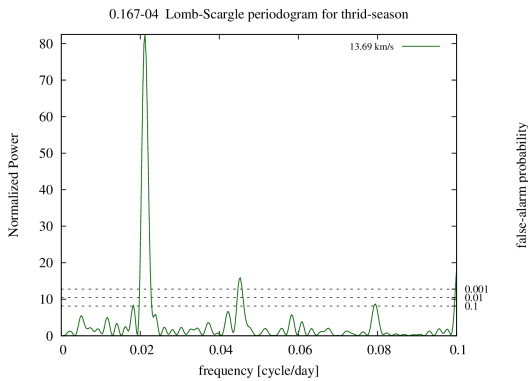


図 3: G 0.167-0.44 の周期解析結果。左の縦軸は正規化されたパワー、右の縦軸は誤警報確率、横軸は周波数を表す。

## 5. 考察

今回、周期性が検出された 17 天体のうち、初検出の 7 天体以外は、既知の周期とほぼ同等の周期が導出された。よって、今回用いた周期解析プログラムの妥当性が確かめられた。

また、周期が既知の天体と、第 1 期・第 2 期の観測データの解析で周期性が検出された天体、今回の第 3 期の観測データの解析で周期性が初検出された天体について、周期のヒストグラムを描くと以下ようになる。

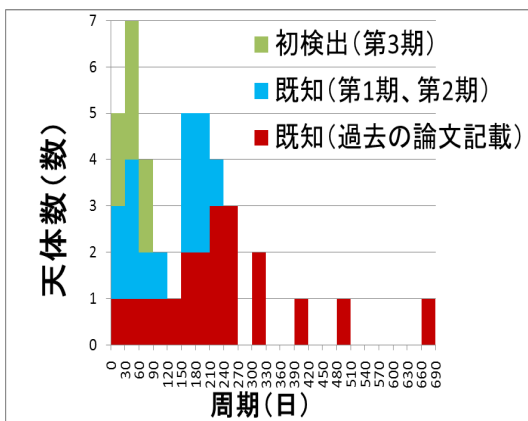


図 4: 周期のヒストグラム

この図から明らかに、第 3 期の観測データの解析により、短周期サイド(約 100 日未満)の

天体数が増加していることがわかる。よって、第 3 期の高頻度なモニター観測により、短周期的な強度変動天体を検出できるようになったと言える。

また、長周期サイド(約 100 日以上)は、第 3 期の観測データの解析では検出されていないことがわかる。これは、今回用いた観測データで、観測期間は最大で 432 日であるため、周期変動天体の同定条件(2)を満たすには、導出周期が 144 日未満でなければならないからである。

## 6. 今後の展望

モニター観測を継続し、今度はモニター観測開始当初 2012/12/30 からのデータに対して周期解析を行うことで、500 日以上長周期変動天体の初検出、そして統計調査を狙いたい。

また、今回は周期変動天体の同定条件(3)を課したが、17 回の解析全てではなくとも 1 回以上、条件(1)と(2)を満たす天体がいくつかあった。そのような天体を周期変動天体の候補とし、なぜ条件を満たした時と満たさなかった時があったのか、考察を進めたい。

さらに、今回は約 8 日に 1 回周期解析を行ったが、より詳細に周期性を調べるために、データを 1 日ずつ増やして周期解析を行いたい。

## 参考文献

- [1] 安井靖堯, 2015 年度, 茨城大学大学院理工学研究科 修士論文
- [2] 杉山孝一郎 他, 2015, 『天文学会 2015 年秋季年会』, P135a
- [3] Goedhart, S., et al. 2004, MNRAS, 335, 553
- [4] Fujisawa, K., et al. 2014, PASJ, 66, 78
- [5] Szymczak, M., et al. 2014, MNRAS, 439, 407
- [6] Szymczak, M., et al. 2015, MNRAS, 448, 2284
- [7] Maswanganye, et al. 2015, MNRAS, 446, 2730
- [8] Maswanganye, et al. 2016, MNRAS, 456, 4335