

G014.23-00.50 に付随する 6.7 GHz メタノールメーザーの高頻度モニター観測

永瀬桂、安井靖亮、杉山孝一郎、米倉覚則、百瀬宗武 (茨城大学)

Abstract

我々は、周期的かつ突発的な強度変動(=周期的バースト)を示す 6.7 GHz メタノールメーザー天体 G014.23-00.50 に対し、2014年5月から日立 32 m 電波望遠鏡を使用して高頻度なモニター観測を行ってきた。本ポスターではモニター観測の結果、および導出された変動周期とバースト時のエネルギー必要量について報告する。

観測は茨城大学が運用する日立 32 m 電波望遠鏡を使用し、2014年5月から現在まで1日1回の頻度でモニターした。観測の結果、対象天体の強度変動の周期はこれまで 6.7 GHz メタノールメーザーで確認されている周期の中で最も短い 24 日であると導出された。更に、2015年8月以降のバースト発生予想日の前後において、より高頻度な日に複数回の観測を行った所、強度上昇時のタイムスケールが1日以下(21時間程度)である事が判明した。6.7 GHz メタノールメーザーの典型的な磁場強度(10-100 mG)を仮定すると、この時間幅から予想されるバースト時のエネルギー必要量は磁気リコネクションによるエネルギーの解放で説明できる。

Introduction

6.7 GHzメタノールメーザーは大質量星形成領域のみで検出され、その多くが原始星段階で出現している。そのため、可視光では観測が非常に困難な大質量原始星を選択的に研究する上での良い探針となる。また、6.7 GHz メタノールメーザーは、これまでに単調増減や、周期的な変動、バースト現象などの傾向を持つ強度変動が確認されてきた[1][2]。6.7 GHz メタノールメーザーはダストからの赤外線再放射により励起されるため、この強度変動が中心星およびその周囲のダストの変光に起因していると考えられている。従って本メーザーの強度変動をモニターする事で、大質量原始星やその周囲の変動現象を明らかにする事ができると期待される。

6.7 GHz メタノールメーザーの周期変動天体は、これまでに 17 天体発見されている。この周期天体のサンプル数増加のため日立局では2012年12月から2014年1月にかけて、9-10日の頻度で441天体に対するモニター観測を行った。本研究では、このモニター観測で新たに発見された周期的なバースト現象という特徴的な変動傾向を示す G014.23-00.50 に注目している。周期的なバースト天体として過去に報告されている天体は1例のみ[3]である。

Target

○ G014.23-00.50

G14.225-0.506 (dark cloud) の近傍に存在。(図1)

表1. G014.23 の座標 [4] と距離 ($V_{lsr} = 25.3$ km/s から導いた kinematic distance.)

	R.A. (J2000)	Dec. (J2000)	Distance [kpc]
G014.23-00.50	18 ^h 18 ^m 12.59 ^s	-16 ^d 49 ^m 22.8 ^s	11.4 or 4.93

○ G014.23 に付随する 6.7 GHz メタノールメーザー

Green et al.(2010)

2007年8月から2009年3月までに5回観測され、2度検出されたが、別の観測日にはスペクトル成分が消失していることが確認されていた。

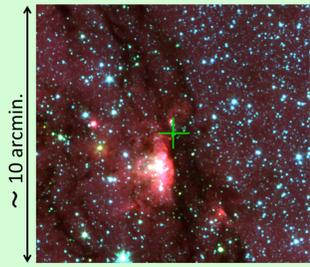


図1. G14.225-0.506 の三色合成画像。G014.23 は中心付近に位置。IRAC 3.6/4.5/8.0 μ m (blue/green/red)

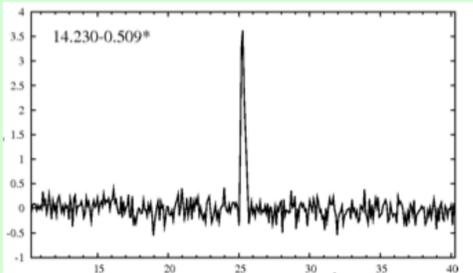


図2. 2007年8月に取得されたスペクトル (Green+ 2010)。

表2. 各観測日での観測結果。(P): Parkes (A): ATCA

検出	非検出
2007年 8月 (P)	2008年 3月 (P)
2009年 1月 (A)	2008年 8月 (A)
	2009年 3月 (P)

・日立 32 m 電波望遠鏡でのモニター観測 (2012-2014年)

2012年12月30日から2014年1月10日にかけて、日立 32 m 電波望遠鏡を使用したモニター観測を実施した。観測頻度は9-10日に1回で、G014.23 の周期的なバーストが検出された。このモニター観測により推定された G014.23 の変動周期は165日であり、Green+(2010) での観測結果とも概ね一致している。

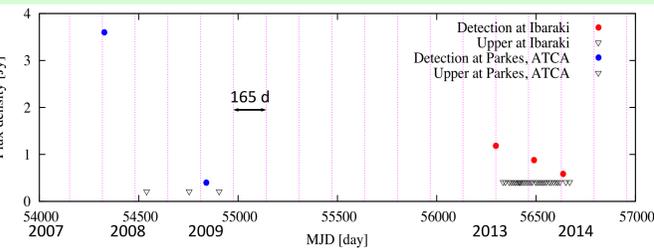


図3. Green+(2010) と日立でのそれぞれの各観測日の強度プロット。(青: Green, 赤: 日立, ∇ : 検出限界) 周期165日の間隔を縦線で示している。

- ・周期性の有無、及び変動周期の正確な導出。
- ・より短いタイムスケールの変動の可能性もある。
- ・バーストの立ち上がりを捉える。

より高頻度なモニター観測を実施。

Observation

観測は日立 32 m 電波望遠鏡を使用し、2014年5月7日から現在まで1日に1回の頻度で行った。但し、観測間隔が1日以上空いた時もある(最大17日)。本ポスターでは 2014/05/07-2015/10/31(MJD 56785-57326) の観測データを使用している。



図4. 日立32-m電波望遠鏡。

表3. 高頻度モニター観測の観測諸元。

望遠鏡	日立 32 m 電波望遠鏡
観測頻度	1日に1回
ビームサイズ	4.6 arcmin
周波数	6664 - 6672 MHz
分光点数	8192
速度分解能	0.044 km s ⁻¹
積分時間	5 min.
rms (1 σ)	~ 0.3 Jy

Conclusion

2014年5月から日立 32 m 電波望遠鏡を用いて G014.23-00.50 に対するモニター観測を行った。観測の結果、 $V_{lsr} = 25.3$ km/s の成分が24日周期のバースト現象を起こしている事が判明した。更に、1日に複数回の連続観測を行ったところ、バーストの立ち上がりの瞬間を捉える事に成功し、強度上昇のタイムスケールからバーストのエネルギー必要量を導出した。このエネルギー量は磁気リコネクションによる磁場のエネルギー解放で説明可能である。

今後の課題としては、(1)周期変動を引き起こすメカニズムについての議論、(2)VLBI観測によるバースト時の空間分布の取得(JVNで観測予定)、(3)バースト以外の成分が真に G014.23 の放射であるのかを決定(近傍天体との切り分け by 9点十字スキャン)、の3点が挙げられる。

Reference

- [1] Goedhart, S., Gaylard, M. J., van der Walt, D. J., 2004, MNRAS, 355, 553 [2] Fujisawa, K., et al. 2012, PASJ, 64, 17 [3] Fujisawa, K., et al. 2014, PASJ, 66, 78 [4] Green, J. A., et al. 2010, MNRAS, 409, 913 [5] Cragg, D. M., Sobolev, A. M., Godfrey P. D., 2005, MNRAS, 360, 533 [6] Shirley, Y. L., et al. 2013, ApJS, 209, 2

Results

観測の結果、541日の観測期間で16回のバースト現象を検出した(>3 σ となったもの)。バースト成分が出現している期間は1-4日の幅があり、またバーストによる強度上昇は最大で >7.5倍、最小で >1.1倍であった。図5は G014.23 のスペクトルの一例で、前日には非検出だった成分が1日後に突然出現している。更に、バースト成分以外に $V_{lsr} = 21 \sim 25$ km/s の範囲に新たな成分が検出された(図6)。これらの成分は以下に示す特定の期間(MJD 56788-56924)のみ検出されており、過去の観測でも検出はされていない。

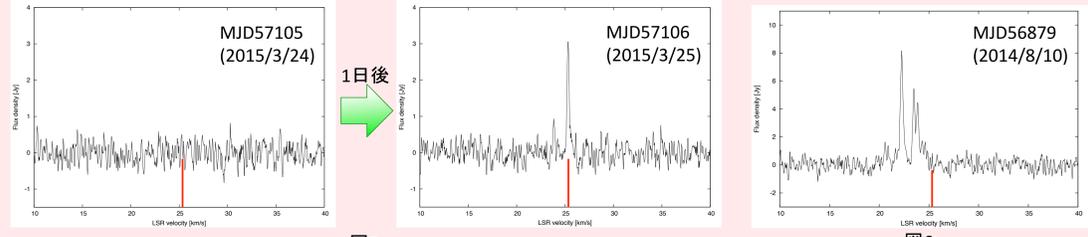


図5. G014.23 のスペクトル。 $V_{lsr} = 25.3$ km/s の位置を赤線で示している。

図6. バースト成分以外のスペクトル。複数の成分が検出された。

○強度変動プロット

観測期間中の全てのデータを平均化して得られた G014.23 のスペクトルを図7に示す。このスペクトルで同定された視線速度の成分に対し、ピークの強度が 3 σ を超えたものをそれぞれの観測日に対してプロットした(図8)。バースト成分とそれ以外の成分に変動の相関は見られない。

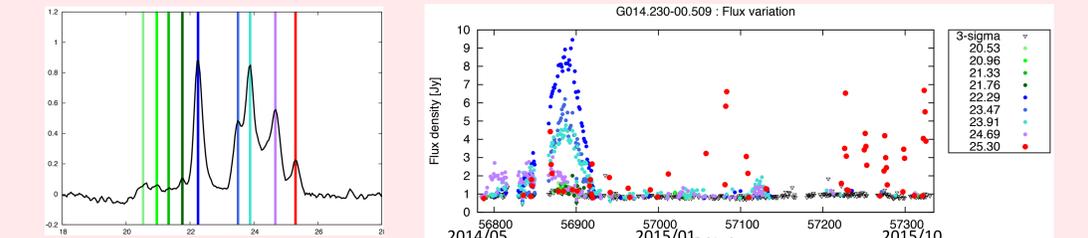


図7. 平均化スペクトル。同定された視線速度の位置に線を引いてある。

図8. 全成分の強度変動プロット(点の色と図8の縦線の色が対応)。

図9 はバースト成分のみの強度をプロットしたものである。2014年1月の時点での推定周期 165 日より短い間隔の変動が確認された。

図9. バースト成分のみの強度変動プロット。165日の間にバースト成分が複数回出現している。

Discussion

○バースト周期

Lomb-Scargle 法 (不等間隔な離散データに適用可能な周期解析法: 茨城大学 安井氏ポスター参照) を使用してバースト周期を計算したところ、これまでに 6.7 GHz メタノールメーザーで報告されている周期の中では最も短い ~24 日と導出された(図10)。この周期での予想日に実際にバースト成分が検出された日の割合は 76% 程であるが、バースト時の強度が検出感度以下であるために検出できなかったバースト現象が存在する可能性もある。

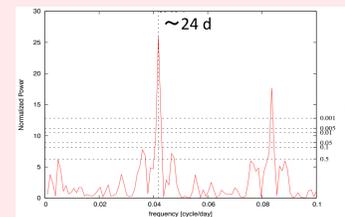


図10. L-S 法により得られたパワースペクトル。False-alarm probability: 周期の信頼性を表す指標。

○バーストのエネルギー

高頻度モニターによりバースト時の強度上昇のタイムスケールが1日以内である事が判明し、バーストの立ち上がりからピーク到達までの変動を捉えるため、我々は2015年8月以降のバースト予想日の前後数日間において、更に高頻度な日に複数回の観測を行った。この観測によりバーストの立ち上がりを捉える事に成功した。

表4. 観測の概要。

1-2 日目	3 日目以降
・ポインティング校正天体と交互に観測	・G014.23のみ観測
・約 30 分間隔でモニター	・約 10 分間隔で7時間

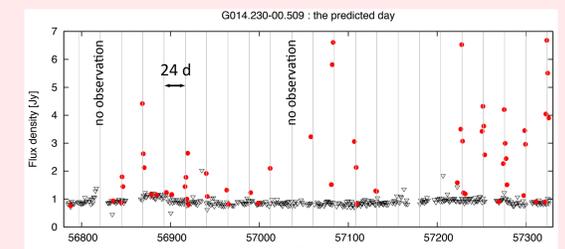


図11. 周期23.9日を強度変動プロットに合わせて表示したもの。

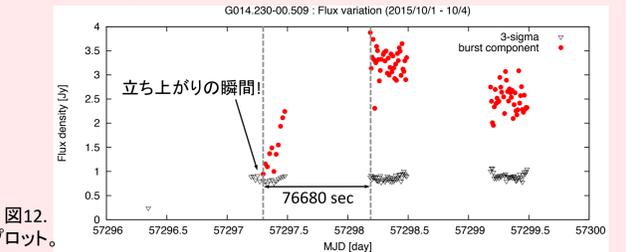


図12. バーストの立ち上がりを捉えた際の強度変動プロット。

図13の結果から、バースト成分出現から翌日の観測開始までをバースト時の強度上昇にかかる時間として、バーストに必要なエネルギー量を計算した。使用したパラメータは表5の通り。

メーザーガス雲の運動に伴って時間 t の間にエネルギーが注入される領域のサイズ L は $V \cdot t = 4.6 \times 10^{10}$ cm と予想される。Cragg+(2005) より、強度の増加のためにダストの温度が 100 K 上昇したとすると、この領域が球状である場合の必要なエネルギー量 E は、 $E = 1.5 \times 10^{19}$ J と計算できる。

エネルギー源の候補の1つとしては、磁気リコネクションによるエネルギー解放が考えられる。メタノールメーザーの磁場の典型値(10-100mG)を用いてガス球に蓄えられるエネルギーを計算すると、10 mG の時に 2.0×10^{21} J となりエネルギーの必要量を満たせる。

表5. 計算に使用した諸量。

上昇にかかる時間 t	76680 sec
系の視線速度 V_{sys}	19.3 km/s (N_2H^+ 3-2 [6])
ガス雲の速度 $V (= V_{burst} - V_{sys})$	6 km/s
ダストの個数密度 n_{H_2}	10^8 cm ⁻³
水素分子の比熱 c_{H_2}	10^4 J/K \cdot kg