

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)

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

観測対象天体 G014.23-00.50 (以下、G014.23) は、暗黒星雲 G014.225-00.506 の近傍に存在し、その力学的距離は 11.4 or 4.93 kpc と求められている。

G014.23 に付随するメタノールメーザーの観測例として、Green et al. (2010) では 2007 年 8 月から 2009 年 3 月までに G014.23 に対する観測を計 5 回行っている。2007 年 8 月の観測で視線速度 $V_{\text{LSR}} = 25.3\text{km/s}$ の位置にスペクトルが初検出されて以降、2009 年 1 月に再度検出されたが、他の 3 回の観測日ではスペクトルが完全に消失しており、G014.23 の 6.7 GHz メタノールメーザーが強度変動していることが確認されていた。

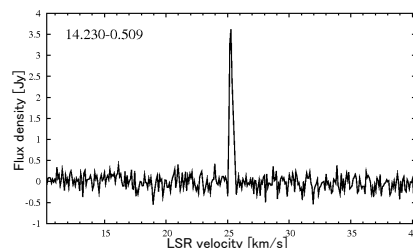


図 1: 2007 年 8 月に取得されたスペクトル [4]。

表 1: Green et al. (2010) での観測結果

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

(P : Parkes 64-m , A : ATCA)

また、冒頭でも触れた通り 2012 年 12 月 30 日から 2014 年 1 月 10 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現象が検出された。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 2)。

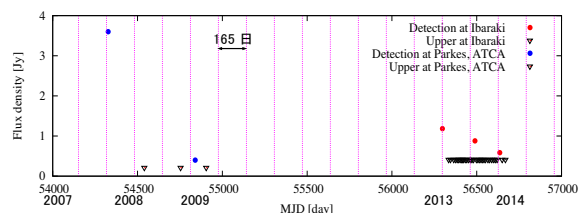


図 2: 日立と Green+(2010) でのそれぞれの観測日の強度プロット。(赤:日立、青:Green+(2010)、赤線の間隔 = 165 日)

これまでの観測結果から、

- ・ 周期性の有無、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。
- ・ バーストの立ち上がりを捉える。

の3つに焦点を当て、高頻度モニター観測を行った。

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)。今回の報告では2014/05/07-2015/10/31(MJD 56785-57326)の観測データを使用している。

表 2: 観測パラメータ

口径	32 m
観測周波数	6664 - 6672 MHz
ビームサイズ	4.6 arcmin
観測帯域	8 MHz
分光点数	2,097,152
バンド後の点数	8,192
速度分解能	0.044 km s ⁻¹
積分時間	5 min
rms (1 σ)	~ 0.3 Jy

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($> 3\sigma$)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3a,b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 $V_{\text{lsr}} = 21 \sim 25 \text{ km/s}$ の範囲に新たな成分が検出された(図3c)。これらの成分は以下の強度変動プロットで示す特定の期間(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。

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 3σ 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4)。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5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。

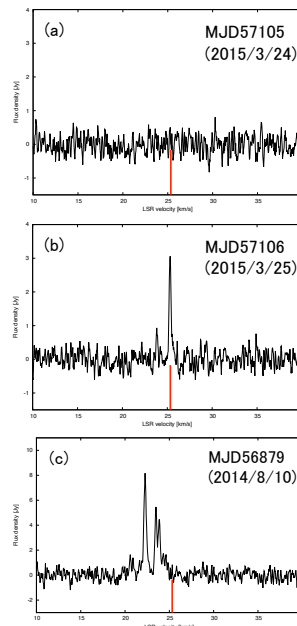


図 3: G014.23 のスペクトル。(a) 非検出 (b) バースト成分のみ出現 (c) 新検出成分。バースト成分の視線速度 $V_{\text{lsr}} = 25.3 \text{ km s}^{-1}$ の位置を赤線で示してある。

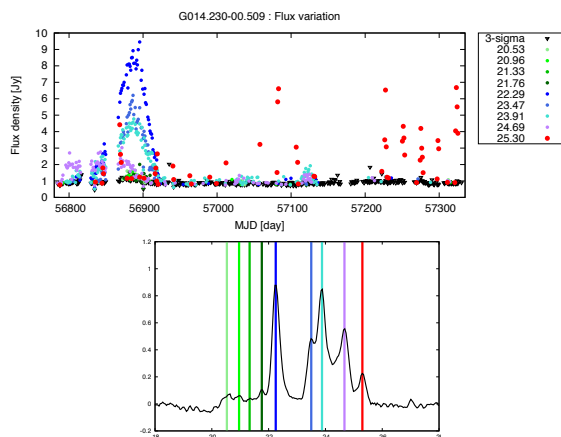


図 4: 成分の強度変動プロット。下段のスペクトルに示した縦線の色と、上段の点の色が対応

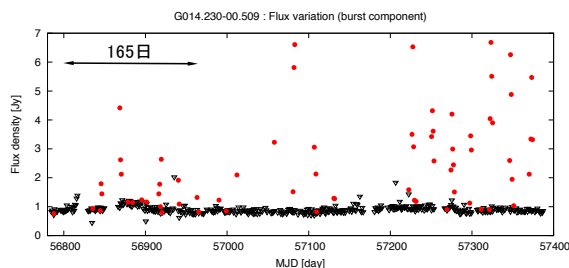


図 5: バースト成分のみの強度変動プロット。

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。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。

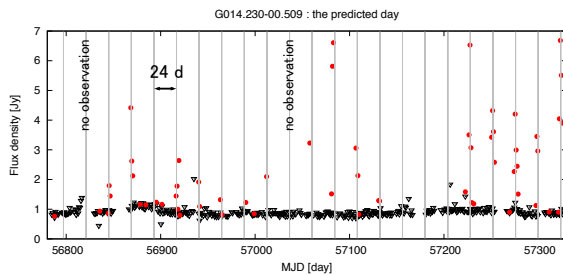


図 6: 周期 23.9 日間隔で縦線を表示したバースト成分の強度変動プロット。

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 1 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。

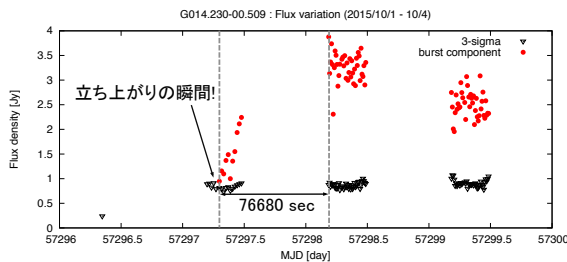


図 7: 立ち上がりを捉えた際の変動プロット。

図 7 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 3 の通り。

表 3: エネルギーの導出に用いた値。

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^+ [6])
ガス雲の速度 V	6 km/s
ダストの個数密度	$10^8 / \text{cm}^3$
水素分子の比熱	$10^4 \text{ J/K} \cdot \text{kg}$

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 $V \cdot t = 4.6 \times 10^{10} \text{ cm}$ 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に必要なエネルギー量 E は、 $E = 1.5 \times 10^{19} \text{ J}$ 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 (10-100 mG) 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 $2.0 \times 10^{21} \text{ J}$ となりエネルギーの必要量を満たせる。

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、 $V_{\text{lsr}} = 25.3 \text{ km/s}$ 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