

IRAS 22198+6336 における 6.7GHz メタノールメーザの短期フレア

高瀬 源大、藤沢 健太、杉山 孝一郎、下村 忠資 (山口大学)

概要

IRAS 22198+6336 は 2011 年の山口 32m 電波望遠鏡による観測で 6.7GHz メタノールメーザの短期的強度変動 (以下フレア) が観測されていた。しかし 2011 年の観測では 3 日に 2 回の間隔で観測しており、フレアの詳細な振る舞いを捉えられなかった。それを明らかにするため、2012 年観測では 9 月 27 日から 11 月 11 日までの 46 日間、山口 32m 電波望遠鏡で連続的に観測した。更にフレアを確認した期間は 1 日に複数回、密に観測しフレアの詳細を捉えた。フレアを起こした成分は 2011 年、2012 年でそれぞれ 4 つずつ、計 5 つあった。変動のタイムスケールは 3.7 – 6.1 日で、フレアは約 35 日周期で周期的に発生していた。

1 背景

1.1 6.7GHz メタノールメーザ

6.7GHz メタノールメーザは ClassII メタノールメーザに分類されており、赤外線励起である。大質量星形成領域でのみ観測されており、分子雲に隠れた中心星の変動を観測できるツールとされている。

6.7GHz メタノールメーザの特徴のひとつとして変動性が挙げられる。強度が変動している天体が複数報告されており、中には周期的変動を見せるものもある。周期的変動を起こすものの周期は約 1ヶ月 [1] から数百日 [2] と様々である。変動の原因は明らかになっていないが、多くは連星によるものと考えられている。

1.2 IRAS 22198+6336

IRAS 22198+6336 は 2011 年の観測でフレアが確認されていた天体である。しかし 2011 年の観測は 3 日に 2 回の頻度で行われており、フレアの詳細な振る舞いは捉えられなかった (図 1 参照)。逆三角形は 3σ の値で上限値)。フレアは成分 A(-16.5 km/s)、成分 B(-9.1 km/s)、成分 C(-8.4 km/s)、成分 D(-7.3 km/s) の 4 成分が確認されており、成分間で遅延があった。

IRAS 22198+6336 は Hirota et al. (2008) で距離・ボロメトリック光度・質量が求められている。それぞれ 764 ± 27 pc、 $450 L_{\odot}$ 、 $7 M_{\odot}$ であり、大質量星 ($> 8 M_{\odot}$) 形成領域以外で初めて 6.7GHz メタノールメーザが確認された例となった。

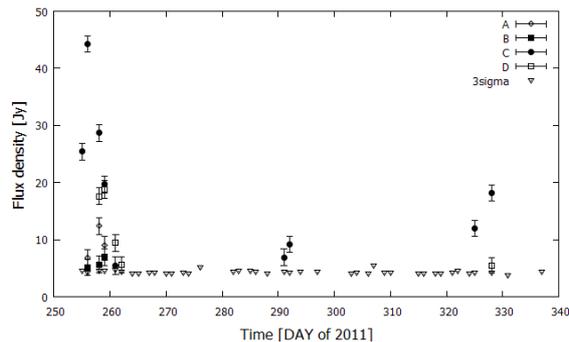


図 1: 2011 年の観測結果

2 研究目的

フレアの詳細が捉えられていなかった IRAS 22198+6336 を密に観測し、フレアの最中には 1 日に複数回観測を行うことで詳細を捉える。得られた結果から変動のタイムスケール、周期、成分間での遅延を求めてフレアの原因を考察する。

3 観測

観測は 9 月 27 日から 11 月 11 日 (DOY 271 から DOY 316) までの 46 日間、毎日行った。通常は 1 日 1 回の観測だが、フレアが確認されてからフレアがおさまるまでの期間は 1 日に複数回観測を行う方針とした。フレアは 9 月 28 日から 10 月 2 日 (DOY 272 から DOY 276)、10 月 31 日から 11 月 7 日 (DOY 305 から DOY 312) までの期間に確認された。そのため、9 月 31 日から 10 月 4 日 (DOY 274 から DOY 276)、11 月 1 日から 11 月 8 日 (DOY 306 から DOY 313) の期間は 1 日に複数回観測を行った。複数回観測を行った日は DOY 274, 275 を除いてポインティングによる変動を較正するため較正天体 CepheusA と IRAS 22198+6336 を交互に観測した。DOY 274, 275 は較正に DOY 276 に観測した CepheusA の結果を用いた。観測天体と較正天体を表 1 に、観測パラメータを表 2 に示す。

表 1: 観測天体

天体名	赤経 (J2000)	赤緯 (J2000)
IRAS 22198+6336	22h 21m 22.50s	+63d 51m 13.0s
較正天体名	赤経 (J2000)	赤緯 (J2000)
CepheusA	22h56m17.904s	+62d01m49.577s

表 2: 観測パラメータ

ビームサイズ (分角)	5	速度分解能 (kms^{-1})	0.044
受信偏波	両偏波	システム雑音温度 (K)	230
帯域幅 (MHz)	8	積分時間 (分)	14
分光点数	8192	rms ノイズレベル 1σ (Jy)	~ 1.4

4 結果

静穏期のスペクトルとフレア中のスペクトルを図2に示す。フレアしている成分は成分E (-11.0 km/s)、成分B(-9.1 km/s)、成分C(-8.5 km/s)、成分D(-7.3 km/s)の4つ検出された。2011年の観測で検出した成分Aは未検出であり、成分Eは2011年の観測では未検出だったが2012年の観測で新たに検出された。

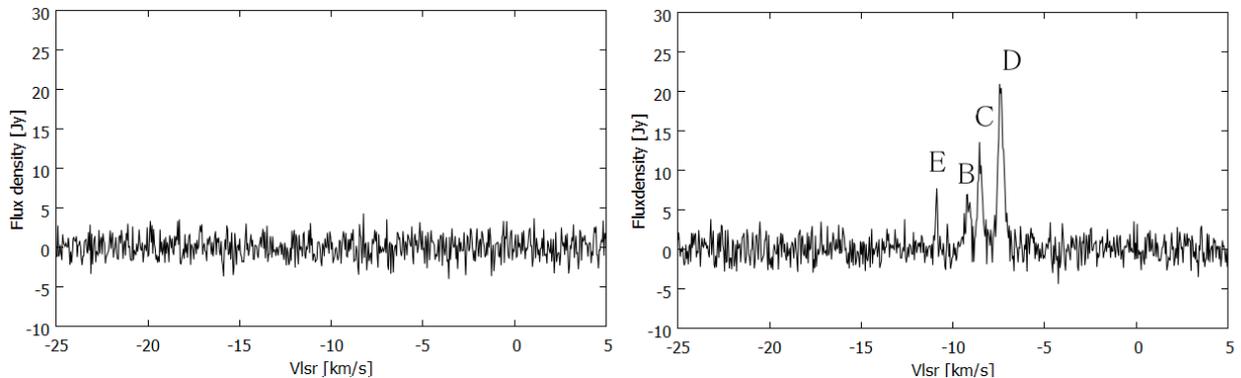


図2: (左) 静穏期 (DOY 303) のスペクトル (右) フレア中 (DOY 309) のスペクトル

2012年の観測結果を図3に示す。横軸は2012年の通算日 [DAY of 2012] で縦軸はフラックス密度 [Jy] である。フラックス密度が 3σ 以上の値を持ち、ラインに2チャンネル (=0.088 km/s) 以上の幅があるもののみをプロットしている。それ以外は成分未検出とした。図中の逆三角形の点はその観測における 3σ の値である。

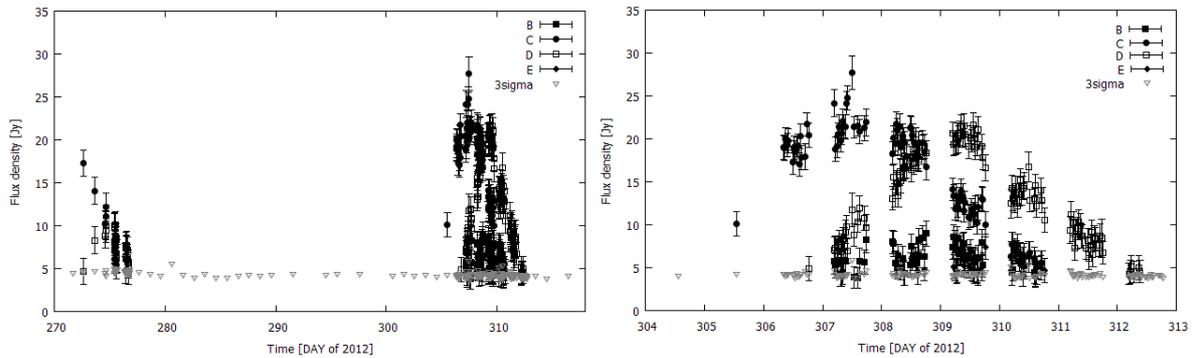


図3: 2012年の観測結果 (左) 観測期間全体 (右) DOY 304-313 のみ

フレア中の光度曲線は対称性があったため、1回目、2回目のフレアで、成分ごとに以下の式4-1で定義したガウス関数を最小二乗法を用いてフィッティングを行った。

$$G(x) = A \exp\left(-\frac{(x-B)^2}{2C^2}\right) \quad (4-1)$$

ここで、 A はガウス関数の最大値を表し、 B はガウス関数の軸の位置を表し、 C はガウス関数の幅を表す。 C と半値全幅の関係は $FWHM = 2\sqrt{2\ln 2}C$ である。ここでは $FWHM$ をフレアのタイムスケールと定義する。

DOY 272-276に確認された1度目のフレアの結果を図4と図5、表3に示す。1度目のフレアでは成分C(-8.5km/s)と成分D(-7.3km/s)が検出された。図4の白抜き丸で示している通算日271.4の点は検出限界以下だったが、ガウシアンフィッティングするため $3\sigma = 4.44$ [Jy] の値をプロットした。実線はフィッティングしたガウス関数を表す。DOY 305-312に確認された2度目のフレアの結果を図6から図9、表4に示す。2度目のフレアでは成分B(-9.1km/s)、成分C(-8.5km/s)、成分D(-7.3km/s)、成分E (-11.0km/s)が検出された。

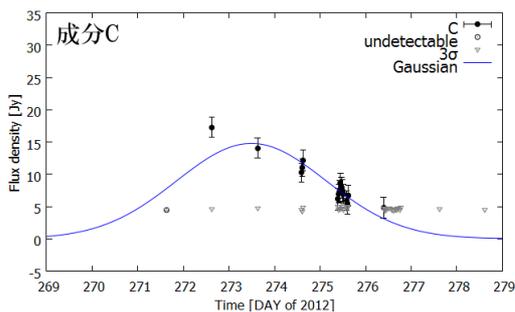


図4: 成分Cの1度目のフレア

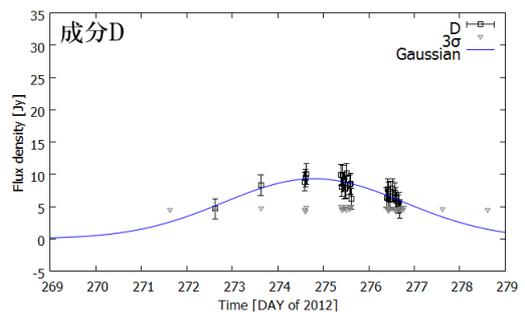


図5: 成分Dの1度目のフレア

表 3: 1 度目のフレアのパラメータ

	A [Jy]	B [day]	C [day]	time scale [day]
成分 C	14.8 ± 1.2	273.49 ± 0.15	1.64 ± 0.16	3.86 ± 0.38
成分 D	9.3 ± 0.3	274.80 ± 0.12	1.98 ± 0.20	4.66 ± 0.47

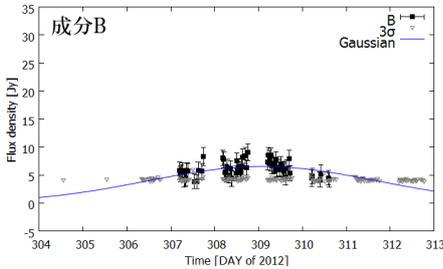


図 6: 成分 B のフレア

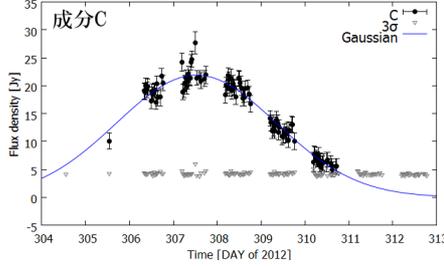


図 7: 成分 C の 2 度目のフレア

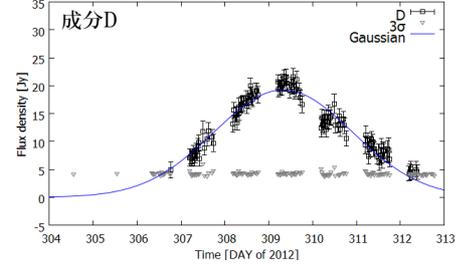


図 8: 成分 D の 2 度目のフレア

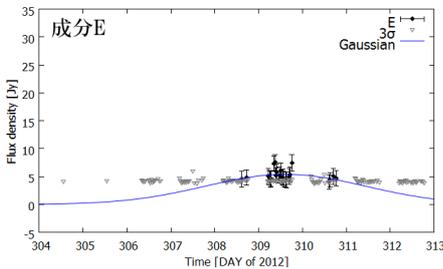


図 9: 成分 E のフレア

表 4: 2 度目のフレアのパラメータ

	A [Jy]	B [day]	C [day]	time scale [day]
成分 B	6.5 ± 0.2	309.09 ± 0.19	2.61 ± 0.34	6.15
成分 C	21.9 ± 1.2	307.53 ± 0.04	1.83 ± 0.04	4.31
成分 D	19.2 ± 0.2	309.33 ± 0.02	1.58 ± 0.03	3.72
成分 E	5.4 ± 0.2	309.61 ± 0.29	1.82 ± 0.63	4.29

5 考察

IRAS 22198+6336 の変動のタイムスケールは 3.7 – 6.1 日である。特記すべきこととして、フレアは約 35 日周期で起こっていた。2011 年の 3 回目に起こったフレアと 2012 年の 2 回目に起こったフレアの間には 11 回フレアが起こっていたとすると、より正確な周期 34.5 日が求められ、2 年間にわたって正確な周期性が維持されていた。フレアの変動は複数のスペクトル成分間で同期し、1.5 – 2 日の遅延があった。このことからフレアしている領域のサイズは最低でも 200 – 400 AU 以上であり、フレアが局所的な変動ではなく中心星の変動による本質的なものだと考えられる。

フレアの周期性を説明できるモデルとして有力なものに CWB(collision-wind binary) モデル [4] と脈動モデル [5] がある。CWB モデルは連星の運動によってフレアが起きるというモデルである。仮に IRAS 22198+6336 が連星系を成すとし、伴星の質量を $1M_{\odot}$ とすると連星軌道の長半径は 0.41 AU となる。これは十分有り得る値であるため、CWB モデルで IRAS 22198+6336 のフレアを説明しうる。脈動モデルは中心星が周期的に大きさを変動させること（脈動）によってフレアが起きるというモデルである。このモデルでは周期と光度が一对一で関係しており、34.5 日周期で計算すると光度は $1.4 \times 10^4 L_{\odot}$ となり、Hirota et al.(2008) で報告されている $450L_{\odot}$ と大きな違いが出る。したがって脈動モデルで IRAS 22198+6336 のフレアを説明するのは難しい。ただしこれは計算の前提としている仮定によって 1 – 2 桁変動しうるため、このモデルを否定はできない。

参考文献

- [1] Goedhart, S., Langa, M. C., Gaylard, M. J., van der Walt, D. J. 2009, mnras, 398, 995
- [2] Goedhart, S., Gaylard, M. J., van der Walt, D. J. 2003, mnras, 339, L33
- [3] Hirota, T., Ando, K., Bushimata, T., et al. 2008, pasj, 60, 961
- [4] van der Walt, D. J. 2011, aj, 141, 152
- [5] Inayoshi, K., Sugiyama, K., Hosokawa, T., Motogi, K., and Tanaka, K. 2013, in prep.