

## 6.7 GHz メタノールレーザーの周期的な強度変動性の探査モニター

杉山 孝一郎、藤沢 健太、下村 忠資 (山口大学)、面高俊宏 (鹿児島大学)  
他山口大学研究室メンバー

### 概要

我々は山口 32-m 電波望遠鏡を用いて、6.7 GHz メタノールレーザーに見られる周期的な強度変動の要因解明を目指しモニター観測を開始した。本モニター観測は、本年 9 月 12 日から開始しており、本講演では 11 月 6 日までの約 2ヶ月間、毎日モニター観測した結果を紹介する。観測対象 5 天体の内、Mon R2, G12.89+0.49 の 2 天体からは現時点ですでに 30 日程度の周期的強度変動が検出され (Mon R2 の周期変動は初)、さらに Cep A を加えた 3 天体からは、各スペクトル成分間で同期した強度変動が検出された。同期した変動成分間には、最大で 8 日の位相遅延が見られたが、これはレーザースポットの空間分布上の拡がり起因する light travel time で説明可能である。周期的な強度変動自体の要因は、現在鹿児島大学 1-m 光赤外望遠鏡を用いた近赤外線との同時モニター観測により解明を目指して継続中である。

### 1 研究背景

6.7 GHz メタノールレーザーは大質量星形成領域のみに付随しており、その大部分が進化初期の原始星段階で検出されている。そのため、可視光では観測困難な大質量原始星周囲の観測に非常に役立つ。本レーザーは様々な傾向の強度変動を示すことが良く知られているが、中でも周期的な強度変動は大質量星周囲では世界初の検出として報告された<sup>1)-3)</sup>。その周期は 30-504 日と幅広く、またその周期変動傾向も、連続的なものと間欠的なものとに分類されるが、1 天体を除いて、その周期変動が 1 つの天体からの全スペクトル成分間で同期していた。

この同期した周期強度変動の要因として、(1) 連星系<sup>4)</sup>、(2) 中心星の脈動変<sup>5)</sup>、(3) 周期的なガス降着<sup>6)</sup>、(4) 種光子の周期的変動<sup>7)</sup>、が考えられている。しかし、どの説が正しいかは未だ明らかになっていない。

周期的な強度変動が全スペクトル成分間で同期していることから、星周囲の大局的な現象に起因していることは明らかである。そこで、星の変光に起因しているかどうかを直接的に検証することを目指し、原始星周囲のダストに起因する赤外線放射との同時モニター観測を行った。赤外線とメタノールレーザーの同時モニターは前例がない。本講演では、山口 32-m 電波望遠鏡を用いた 6.7 GHz メタノールレーザーモニター観測の途中経過のみを紹介する。

### 2 観測

山口 32-m を用いたモニター観測は、本年 9 月 12 日から 12 月 5 日まで 1-3 日間隔で行われた。今回は、11 月 6 日までの約 2ヶ月間で得られた強度変動の結果を紹介する。観測対象は、表 1 に示す 5 天体である。形成されるビームは  $\sim 5'$  であり、1 天体辺り 14 分の積分時間を設定した。スペクトルは観測帯域 4 MHz を 16384 点分光し、その後 4 ch バインドを行うことで速度分解能  $0.044 \text{ km s}^{-1}$  を達成している。それぞれの観測 rms ノイズは典型的に  $1\sigma \sim 1.4 \text{ Jy}$  であった。

表 1: 観測天体

Source	RA(J2000) (h m s)	Dec(J2000) ( $^{\circ}$ ' ")	過去に 強度変動は?
Mon R2	06 07 47.85	-06 22 55.2	初
G12.89+0.49	18 11 51.40	-17 31 29.6	3
G12.91-0.26	18 14 39.53	-17 52 00.0	1
G35.20-1.74	19 01 45.54	+01 13 32.5	1
Cep A	22 56 17.90	+62 01 49.6	2

Ref. - (1) Goedhart et al. 2004; (2) Sugiyama et al. 2008a; (3) Goedhart et al. 2009.

### 3 結果・考察

今回の単一鏡モニター観測の結果を最後のページの図 1 に示す。左から順に、(a) 各天体のスペクトル (フラックス密度の最大と最小を示す観測日のもの)、(b) 各スペクトル成分の強度変動、(c) 変動成分同士の相互相関関数、を表している。本観測にお

表 2: 評価パラメータ

Source	変動係数 $m_{\text{index}}$	変動周期 (days)	位相遅延 $\tau$ (days)	空間スケール (光日)	Ref.
Mon R2	0.05-0.10	25-30	<1	~0.8	2,3
G12.89+0.49	0.08-0.35	28-30	1-2	~2-23	1
Cep A	0.04-0.18	>60?	2-8	~8	4,5

Column 6: 空間スケールのリファレンス. Ref. – (1) Walsh et al. 1998; (2) Minier et al. 2000; (3) Sugiyama et al. 2008b; (4) Sugiyama et al. 2008a; (5) Torstenson et al. 2011.

いて、強度変動検出の有無を評価するために以下の変動係数  $m_{\text{index}}$  を導入した：

$$m_{\text{index}} = \sigma_{\text{maser}} \div m_{\text{average}} \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_{\text{maser}}$ ,  $m_{\text{average}}$  はそれぞれメーザーのフラックス密度の標準偏差、平均値に相当する。評価の結果、Mon R2, G12.89+0.49, Cep A の 3 天体で、 $m_{\text{index}} > 0.10$  の変動成分が検出された (表 2 参照)。本講演では、上記の 3 天体を“強度変動が検出された天体”として扱う。

強度変動が検出された 3 天体に関して、さらに以下のような相互相関関数  $C(\tau)$  を導入することで、各スペクトル成分間同士における強度変動の同期性の有無を調査した。

$$C(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t)y(t+\tau)dt \quad (2)$$

ここで、 $\tau$  は各スペクトル成分間における強度変動の位相遅延 (タイムラグ) を表している。評価の結果、Mon R2, G12.89+0.49 からはクリアな変動周期が検出され、それぞれ 25-30 日程度の周期であった。G12.89+0.49 からのメタノールメーザーの周期的強度変動は Goedhart et al. (2009) で既に報告されているが、Mon R2 の周期的強度変動は初検出である。それぞれの天体における、各成分間同士の位相遅延  $\tau$  は最大で 2 日程度であり、非常に良く同期していることも分かった。

一方で、Cep A に対しても 2-8 日で各成分間における強度変動の同期が検出され、Sugiyama et al. (2008b) で既に検出されているような“逆相関な同期”も確認された。しかしながら、Cep A メタノールメーザーの強度変動に周期性があるかどうかは 11 月 6 日までのモニター結果からは判断出来なかった。周期性の有無は今後の継続したモニターで明らかにする必要がある。

ここで、今回 3 天体から検出された位相遅延  $\tau$  を考察する。それぞれの天体における 6.7 GHz メタノールメーザースポットの空間分布の広がりと比較するため、Mon R2, Cep A は VLBI 観測の結果を、G12.89+0.49 は結合素子型干渉計観測 (by ATCA) の結果を引用した。表 2 に示すように、Mon R2,

Cep A の 2 天体は、どちらも強度変動の位相遅延  $\tau$  と、スポット同士の空間的広がりが良く一致していた。これより、スペクトル成分間に見られる強度変動の位相遅延  $\tau$  は、奥行き方向の空間的な広がり起因する light travel time の違いで説明可能であると言える。一方で、G12.89+0.49 の場合、1 箇所に集合しているメーザースポットの空間的広がりは最大で 2 光日程度であり、検出された強度変動の位相遅延  $\tau$  と良く一致しているが、23 光日離れた位置に存在するメーザースポットとも位相遅延  $\tau < 2$  で良く一致していることには疑問が残る。これは、VLBI 観測による高精度な相対位置精度を有するメーザースポットの空間分布を得ることで再検討が必要である。2011 年 10 月末に行った East Asian VLBI Network を用いた 6.7 GHz メタノールメーザー VLBI 観測セッションにて G12.89+0.49 も観測しているため、近日中に該当する VLBI イメージを得ることが出来るはずである。

## 4 今後の展望

- 今回検出された 6.7 GHz メタノールメーザーの周期的強度変動の要因解明
  - 鹿児島 1-m 光赤外望遠鏡を用いて行った同時モニターの近赤外線データの解析
- ⇒ メタノールメーザー強度変動との相関性の有無の調査

### < 参考文献 >

- 1) Goedhart, S., et al. 2003, MNRAS, 339, L33
- 2) Goedhart, S., et al. 2004, MNRAS, 355, 553
- 3) Goedhart, S., et al. 2009, MNRAS, 398, 995
- 4) Goedhart, S., et al. 2005, MNRAS, 356, 839
- 5) Sugiyama, K., et al. 2008a, PASJ, 60, 1001
- 6) Araya, E. D., et al. 2010, ApJ, 717, L133
- 7) van der Walt, D. J. 2011, AJ, 141, 152
- 8) Walsh, A. J., et al. 1998, MNRAS, 301, 640
- 9) Minier, V., et al. 2000, A&A, 362, 1093
- 10) Sugiyama, K., et al. 2008b, PASJ, 60, 23
- 11) Torstenson, K. J. E., et al. 2011, A&A, 526, 38

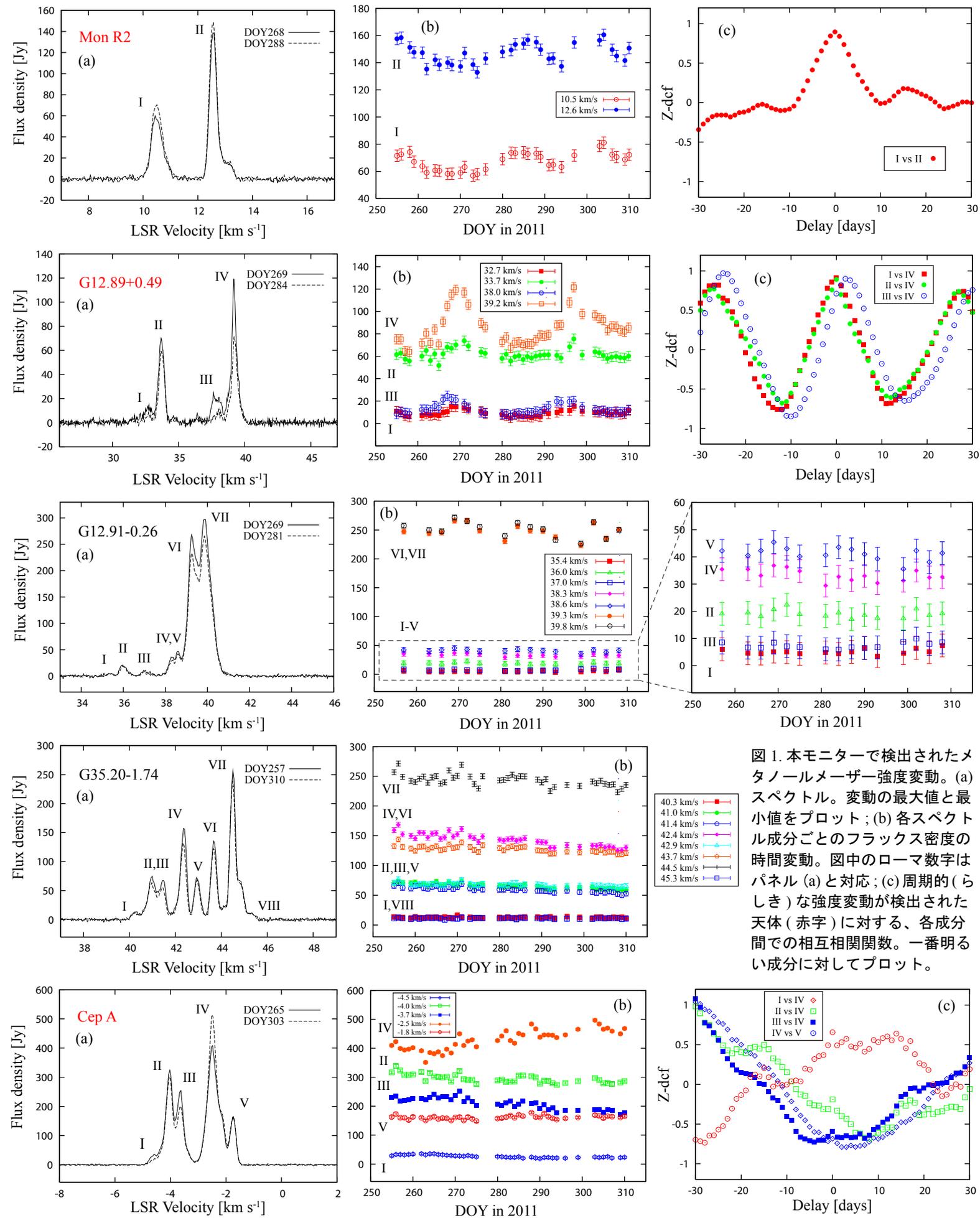


図 1. 本モニターで検出されたメタノールレーザー強度変動。(a) スペクトル。変動の最大値と最小値をプロット；(b) 各スペクトル成分ごとのフラックス密度の時間変動。図中のローマ数字はパネル (a) と対応；(c) 周期的（らしき）強度変動が検出された天体（赤字）に対する、各成分間での相互相関関数。一番明るい成分に対してプロット。