

# G9.62+0.20 におけるメタノールレーザーの 周期的強度変動要因の研究

茨城大学 修士 1 年次  
佐藤宏樹

## 概要

周期的な強度変動を示す 6.7 GHz メタノールレーザー放射源の付随する天体, G9.62+0.20 から 3 つの周期的強度変動成分を日立 32m 電波望遠鏡で新たに検出した。周期的強度変動を示す速度成分の相関を取ると, フレアの位相差に最大で 32 日の差が生じていることが分かる。しかしこれは速度成分毎の強度の上昇傾向, 下降傾向の違いを考慮していない。今後はフレア形状の差異の原因について理論的な考察を行う。さらに, 新検出成分の空間分布取得のために VLBI 観測を行うつもりである。

## 1 研究背景

研究対象としている天体, G9.62+0.20 は 4 つの HII 領域を持つ (Garay et al. 1993), 太陽から 5.2 kpc の距離にある (Sanna et al. 2009) 大質量星形成領域である。本天体の南東寄りの HII 領域に付随するメタノールレーザーが周期的強度変動を示す。単一鏡で 10 年に渡るモニター観測の結果, 複数のスペクトル成分の強度変動周期が 244.4 日で, その周期を持つ成分の変動の位相差が最大で 8 日とされる (Goedhart et al. 2014)。変間欠的な増光が周期的に繰り返される傾向があるので, メーザースポットの励起源となる中心星の脈動や視線をダストが通過するといった要因は考えにくく, 連星系が変動の要因を生み出しているとするのが適切である (van der Walt et al. 2009)。強度変動の仕組みは Colliding Wind Binary (CWB) モデル (van der Walt 2011) で良く説明される。各速度成分の強度ピークの時刻には差があり, 最大で 8 日である (Goedhart et al. 2014)。それらの周期的な強度変動を示すメタノール

レーザー源の分布は約 100 ミリ秒角の範囲に収まる (Sanna et al. 2015) とされる。100 ミリ秒角は 5.2 kpc 先では 520 au に相当するが, 密度などの状態が同じレーザーガス雲が励起源を中心に同心球殻上に分布していてレーザーの発生が同時である場合, 強度ピークの時間差は光の経路差によると考えられる。強度ピークの最大の時間差は 8 日なので, メーザー源同士の視線方向の距離はおおよそ 1400 au となる。連星の周囲に球殻上に広がる HII 領域表面の自由-自由放射を種光子とするためにレーザーの周期的強度変動が起こるとする CWB モデル (van der Walt. 2011) を考えた場合, 横の広がりに対して視線方向の広がりが大きすぎると問題が生じる。

## 2 観測結果・解析

日立 32m 電波望遠鏡 (以下日立局) 観測パラメータは表 1 に示す。日立局ではアンテナの強度校正天体として本天体をほぼ毎日観測していて, 14 のスペクトル成分を検出し

表 1 日立局観測パラメータ。

受信周波数 [MHz]	6668.518
システム雑音温度 (典型値) [K]	30
半値全幅 [arcmin]	5
チャンネル数	8192
帯域幅 [MHz]	8
ノイズレベル ( $1\sigma$ ) [Jy]	$\sim 0.3$

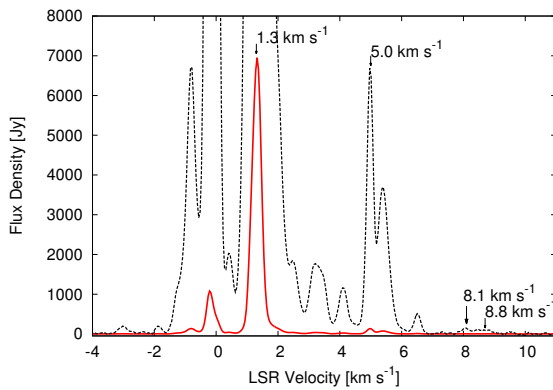


図 1 日立局観測スペクトル。実線は実際のスペクトル、破線はその 50 倍。速度を示した右の 3 つの成分が新検出である。

ている (図 1)。このうち大きな強度変動を示す 3 成分が新検出であると判明した。

2012/12/31 から 2015/10/21 に観測した計 664 のサンプルを用いて、最も明るい速度成分と 3 つの新検出成分について Lomb-Scargle periodogram(Scargle 1982) と、間欠的かつ昇降が非対称な周期的変動を示す光度曲線を関数で近似する (David et al. 1996) 2 つの方法を用いて周期を求めた。それらの結果をまとめると  $241 \pm 15$  日となる。新検出成分の光度曲線に 241 日周期の線を充てたものが図 2 である。次に各速度成分の光度曲線の相関係数を求めた。その結果を表 2 に示す。新検出成分の相関解析で得られた位相差では、 $1.3 \text{ km s}^{-1}$  を基準に最大で 24 日の遅れが存在する。既知の位相差を含めると成分間で最大 32 日の時間差となる。

表 2 各速度成分間の相関が極大となる時間差。上段: Goedhart et al.(2014) で示された相関。下段: 最も強い成分と新検出成分の相関。

速度成分 [ $\text{km s}^{-1}$ ]	時間差 [days]
1.3 vs 1.8	+8
1.3 vs 2.2	-1
1.3 vs 3.0	-3
1.3 vs 5.0	-7
1.3 vs 8.1	-24
1.3 vs 8.8	-22
5.0 vs 8.1	-14
5.0 vs 8.8	-14
8.1 vs 8.7	+1

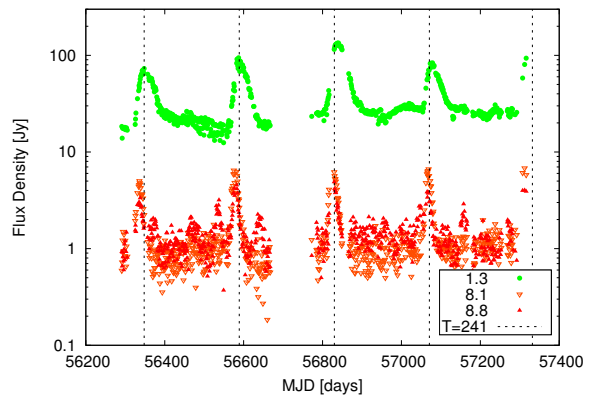


図 2 新検出成分の光度曲線。縦の破線は 2013 年 4 月 22 日のフレアピークから 241 日周期で引いている。

### 3 考察・課題

新検出成分について変動周期およびフレアの開始が、既知成分のそれに近いので新検出のメーザースポットは対象天体に近傍に存在し、かつ既知のメーザースポットと同じ励起源に付随すると考えられる。そのため、メーザースポットの励起源であり周期的変動の原因でもある連星から各メーザースポットが同心球殻面上に分布していると仮定して議論を進める。相関解析によるピークの時間差が

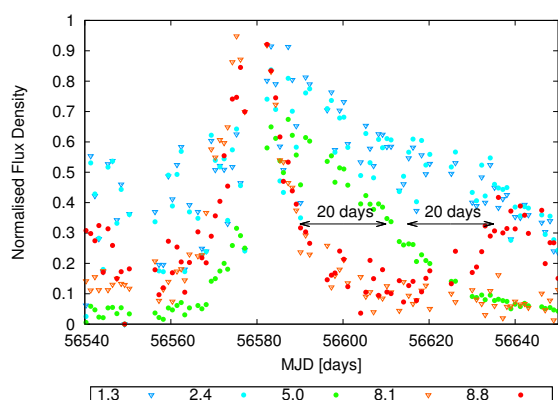


図3 強度を規格化した速度成分5つのフレアの光度曲線（2014年のフレア）

光の経路差によるものであるとすると、既知の周期的変動成分は視線方向と垂直な向きに500 au程度しか離れていないにも関わらず、日立局で新検出した速度成分のメーザースポットを含めると視線方向に5000 auも広がっていることになる。これでは各メーザースポットが中心星から等距離にあるとする仮定と矛盾する。この矛盾の原因は相関解析において暗黙のうちに「フレアの形状は同一であり位相差がピークの時間差」としていたことではないかと考えた。相関係数の性質上フレア形状を考慮できていないのである。実際に各速度成分の光度曲線を規格化して重ねてみるとピークの日付にそこまでの時間差がない一方で、フレア期間の変動傾向は速度成分毎に大きく異なり、強度ピークからの減衰時間の差が顕著に現れている（図3参照）。減衰の時間差の要因としてメーザースポットの光学的厚みなどの違いが考えられる。変動傾向の違いとメーザースポットの物理量の違いを結びつける理論的な考察が今後の課題となる。

#### 4 今後の展望

新検出成分は変動傾向を比較するのに良い変動を示しているが空間分布は不明なため、

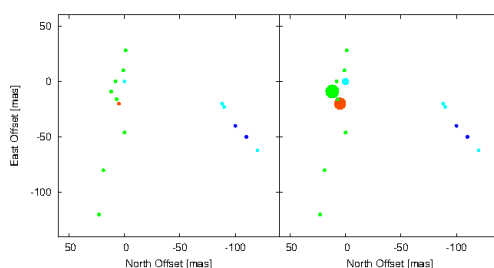


図4 VLBIの2エポック観測想像図。メーザー強度を点の大きさで表し、左が第1エポックで右が第2エポックとしたとき、第2エポックでサイズが大きくなっている点が周期変動成分であると言える。

その物理的状態のほとんどを仮定することになる。メーザースポット間の距離や電波連続波強度ピークに対する位置など、フレア形状の差が生じる原因の考察に必要な空間分布を取得するためにVLBI観測を行うつもりでいる。その際、強度変動の周期性を利用してフレア前・フレアピークに合わせた最低2回の観測を行うことで、近い速度成分が密集する領域でも周期的強度変動成分の分布を決定できる。

#### 参考文献

- [1] David, P., Etoke, S., & Le Squeren, A. M. 1996, A&A
- [2] Garay, G., Rodríguez, L. F., Moran, J. M., & Churchwell, E. 1993, ApJ 418,368
- [3] Goedhart, S., Maswanganye, J. P., Gaylard M. J., & van der Walt, D. J. 2014, MNRAS 437,1808
- [4] Scargle, J. D. 1982, ApJ 263,835
- [5] Sanna, A., Reid, M. J., Moscadelli, L., et al. 2009, ApJ 706,464
- [6] Sanna, A., Menten, K. M., Carrasco-González, C. et al. 2015, ApJL 804,L2
- [7] van der Walt, D. J., Goedhart, S., & Gaylard, M. J. 2009, MNRAS, 398,961
- [8] van der Walt, D. J. 2011, ApJ 141,152