

# 日立 32m 電波望遠鏡モニター観測によって得られた 6.7GHz メタノールメーザーの強度変動の周期解析

茨城大学大学院 安井靖亮 修士 2 年

## 研究目的

本研究は、茨城観測局日立 32m 電波望遠鏡でモニター観測している約 450 天体の 6.7GHz メタノールメーザーから、大質量星形成過程の解明の手がかりになると期待されている周期的な強度変動を示す天体を定量的に選出する解析手法の確立を目指す。

## 研究概要

大質量星形成過程の解明の指標とされている 6.7GHz メタノールメーザーの中には、強度変動を示すものが数多く報告されている (e.g., Goedhart et al. 2004)。中でも、周期的な強度変動を示す天体が特徴的である。ただし、周期強度変動が発生するメカニズムは解明されていない。現在、この周期強度変動メカニズムを説明するのに最も有力とされる理論は、Inayoshi et al. (2013) による大質量原始星の脈動不安定から予想される理論である。そこで、日立アンテナでは、この理論の観測的検証を目的の一つとしてモニター観測を実施している。表 1 に、その観測概要を示す。しかし、これまで日立アンテナ・モニター観測によって得られたデータから周期性の有無や周期の導出を行う方法は、目視などの定量的でない方法しかなかった。そこで、本研究は、日立アンテナ・モニター観測によって得られたデータから周期的な強度変動を示す 6.7GHz メタノールメーザーを定量的に選出する手法を確立することを目指している。一般的に用いられる周期解析の手法は、データとデータの間隔、すなわち観測日間隔が等間隔の場合に適用可能なものが多い。そのため、観測装置の運営上の都合や天候の影響などにより、必ずしも等間隔に観測を行えないことが多い天文観測のデータは解析することができない。そこで、本研究では、観測日間隔が不等間隔であっても周期解析が可能である Lomb-Scargle 法 (Lomb 1976, Scargle 1982, 他) を用いた。観測データを

表 1 モニター観測の概要

項目	値
アンテナ	日立 32m 電波望遠鏡
期間	第 1 期：2012/12/30 - 2014/1/10 第 2 期：2014/5/7 - 2015/8/24 第 3 期：2015/9/18 -
観測周波数帯	6664 - 6672 [MHz]
空間分解能	~ 4.6 [arcmin]
速度分解能	0.044 [km/s]
偏波	LHCP
積分時間	300 [s]
最小検出感度	~ 0.9 [Jy]

$X(t_i)$  で表すと, Lomb-Scargle 法に用いられる Lomb-Scargle ピリオドグラムは,

$$P_X(\omega) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\left[ \sum_{j=1}^{N_0} X(t_j) \cos \omega(t_j - \tau) \right]^2}{\sum_{j=1}^{N_0} \cos^2 \omega(t_j - \tau)} + \frac{\left[ \sum_{j=1}^{N_0} X(t_j) \sin \omega(t_j - \tau) \right]^2}{\sum_{j=1}^{N_0} \sin^2 \omega(t_j - \tau)} \right\}$$

ここで  $\tau$  は,

$$\tan(2\omega\tau) = \frac{\sum_{j=1}^{N_0} \sin 2\omega t_j}{\sum_{j=1}^{N_0} \cos 2\omega t_j}$$

で与えられる。本研究では, 同時に Lomb-Scargle ピリオドグラムの有意性を計るため, 統計学の仮説検定を用いて帰無仮説「観測値は正規分布する雑音のみである」の誤警報確率  $\alpha$  を求める。そのため, 観測データの (不偏) 分散,

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{N_0 - 1} \sum_{i=1}^{N_0} (X(t_i) - \bar{X})^2,$$

ここで,  $\bar{X}$  は観測データ  $X(t_i) = R(t_i)$  の平均値,

$$\bar{X} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} X(t_i),$$

を用いて,

$$P_N(\omega) = \frac{P_X(\omega)}{\sigma_0^2}$$

のように正規化した正規化 Lomb-Scargle ピリオドグラムを用いる。なお, 一つの天体につき, いずれかの速度成分が,

1. 正規化 Lomb-Scargle ピリオドグラムによって導出された最大値  $P_N(\omega_p)$  が, 誤警報確率  $\alpha \leq 0.001$  であること。
2. 条件 1. で選出された周期  $1/\omega_p$  が, 天体の全観測期間に 3 周期見られるもの。
3. オーバーサンプリングを行わない場合と, オーバーサンプリングを行う場合の両方で条件 1., 2. を満たすこと。
4. 天体自体が明るく, かつ強度変動していると思われること。

の全て満たすものを新検出の周期変動天体と判断する。解析の結果, これらの条件を全て満たす天体を表 2 に載せる。(この結果は, 選出条件を一部変更したことからポスターの内容と異なる部分がある。) 参考例として, G 036.70+00.09 の正規化 Lomb-Scargle ピリオドグラムのスペクトル (図 1) と周期変動成分の強度変動図 (図 2) を示す。

表 2 新検出の周期強度変動天体

天体名	観測期間	通算日数 [day]	データ数 $N_0$	視線速度 $V_{lsr}$ [km/s]	周期 $T$ [day]
G 004.43+00.13	2013/01/02 - 2016/01/02	1096	76	0.91	365.05
G 006.18-00.35	2013/01/02 - 2015/12/28	1091	90	-35.69	181.67
G 014.23-00.50	2013/01/04 - 2016/01/02	1094	470	25.30	23.96
G 024.14+00.00	2012/12/30 - 2015/12/29	1095	85	19.28	186.21
G 026.52-00.26	2013/01/01 - 2016/01/03	1095	91	109.58	178.94
G 030.40-00.29	2013/01/04 - 2015/12/29	1090	87	105.03	223.39
G 033.64-00.21	2013/01/06 - 2016/01/03	1093	468	58.94	189.94
G 034.39+00.24	2013/01/06 - 2015/12/31	1090	105	60.46	29.33
G 036.70+00.09	2013/01/02 - 2016/01/03	1097	92	53.11	53.46
				53.65	53.14
				55.09	53.46
				62.10	53.46
G 037.47-00.11	2013/01/07 - 2015/12/31	1089	85	54.51	68.54
G 174.19-00.09	2012/12/30 - 2016/01/03	1100	510	2.04	46.81

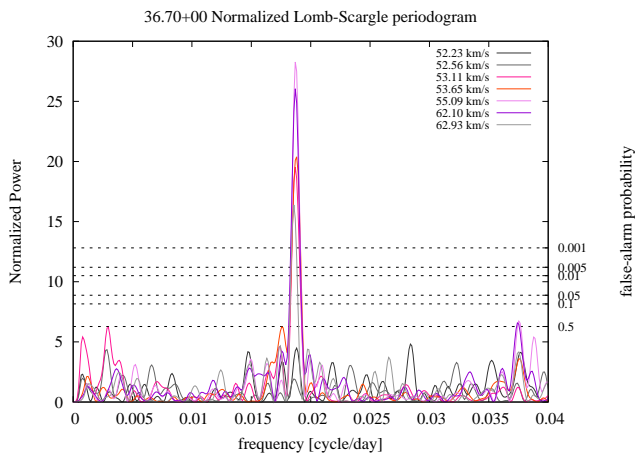


図 1 G 036.70+00.09 の正規化 Lomb-Scargle ピリオドグラムのスペクトル

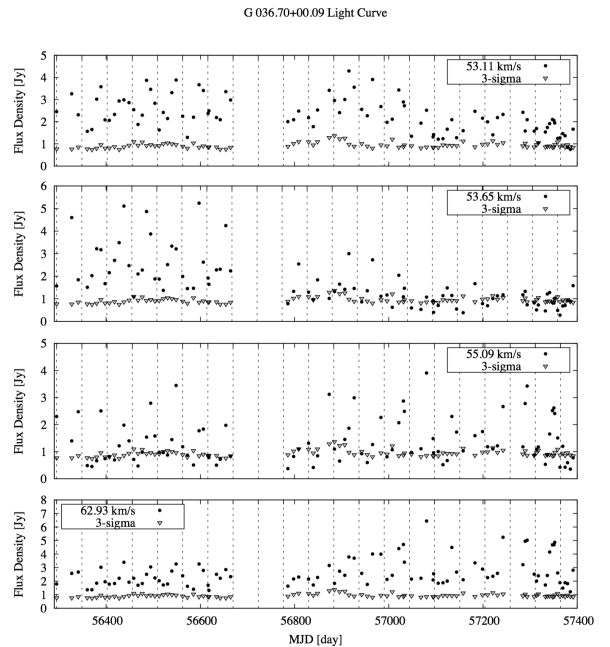


図 2 G 036.70+00.09 の強度変動時系列