

# 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

安井靖堯(茨城大学修士2年), 百瀬宗武, 米倉覚則, 杉山孝一郎, 齋藤悠, 永瀬桂, 佐藤宏樹

## ◆研究目的

日立32m電波望遠鏡でモニター観測している約400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抽出する解析手法の確立を目指す。

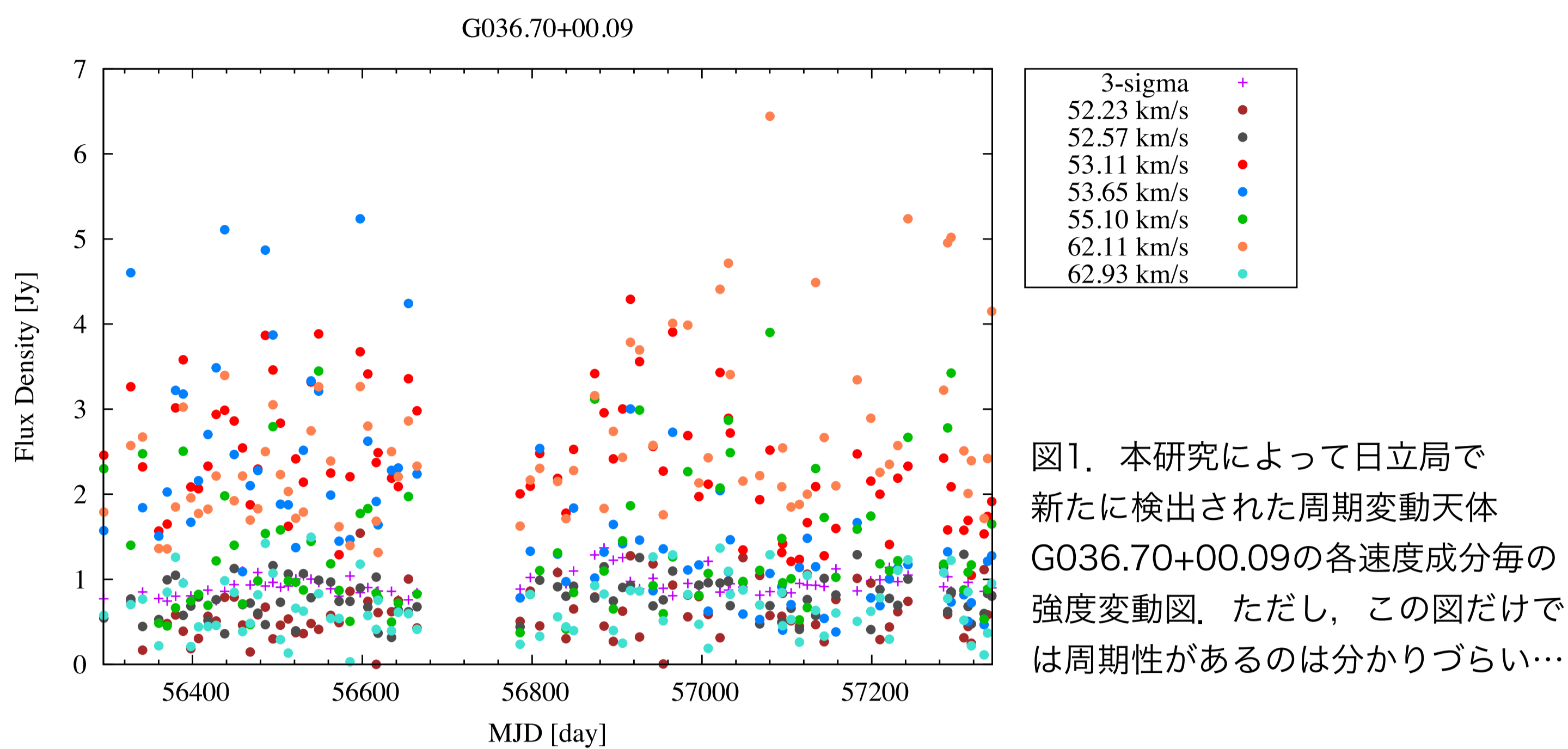


図1. 本研究によって日立局で新たに検出された周期変動天体G036.70+00.09の各速度成分毎の強度変動図。ただし、この図だけでは周期性があるのは分かりづらい...

## ◆6.7GHzメタノールメーザー

- ・大質量星(>8M $\odot$ )形成領域のみに付随しており、多くは原始星段階に検出されている
- ・中心星により暖められたダスト(~150K)からの赤外線放射で励起(Cragg+ 2005)
- ・周期的な強度変動を示すものが見つまっている(Goedhart+2003)
- ・同一天体内で複数の速度成分で変動が同期している  
→強度変動の起因は励起源の変動とみられる

### ■周期変動機構の候補

- ・Stellar Pulsation Instability(Inayoshi+2013)
- 大質量原始星の半径が最大の際に脈動不安定帯が存在
- 脈動周期と光度に正の相関

メタノールメーザー：~900  
周期変動天体：17天体  
(周期：~30 - ~670日)

理論の実証にはサンプル数が少ない  
→観測的実証のためにモニター観測(@日立32m)の実施

## ◆日立32m電波望遠鏡モニター観測

モニター対象天体：403天体

観測概要	
アンテナ	日立 32-m
期間	第1期 2012/12/-30 - 2014/1/10 第2期 2014/5/7 -
頻度	9 - 10日に1度
空間分解能	4.6 arcmin
周波数	6664 - 6672 MHz
偏波	LHCP
速度分解能	0.044 km/s
積分時間	300 sec/source
検出感度	-0.9 Jy

研究動機

周期変動天体を定量的に決定する方法がない

問題点

観測日間隔が不等間隔であるため通常のピリオドグラム(パワースペクトルの推定)では周期を導出できない

## ◆Lomb-Scargleピリオドグラム

不等間隔のサンプリングでもピリオドグラム $P(\omega)$ を計算可能

$$P(\omega) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\left[ \sum_j y_j \cos \omega(t_j - \tau) \right]^2}{\sum_j \cos^2 \omega(t_j - \tau)} + \frac{\left[ \sum_j y_j \sin \omega(t_j - \tau) \right]^2}{\sum_j \sin^2 \omega(t_j - \tau)} \right\} \quad \tan(2\omega\tau) = \frac{\sum_j \sin 2\omega t_j}{\sum_j \cos 2\omega t_j}$$

$y_j$ : 観測値(フラックス密度)  $t_j$ : 観測日  $\omega$ : 周期の逆数[cycle/day]

- ・  $A \sin \omega t + B \cos \omega t$  への最小二乗フィットと等価(Lomb 1976)
- ・  $\tau$  の設定によって時間依存性がなくなる(時系列の定常性を保つ)
- ・ 観測値がガウシアン雑音であった場合、指数分布をとる

本研究ではNumerical Recipes in C(Press+)を参考に $P(\omega)$ を観測値の分散 $\sigma^2$ で正規化したものを利用する

## ◆ピリオドグラムのピークの有意水準

「ピリオドグラムにピークがある=周期がある」とは限らないので、ピークの信頼性を測る有意水準が必要である

### ■誤警報確率(false alarm probability)

帰無仮説「観測値が雑音のみである」を棄却するのではなく採択してしまう確率 → 確率の低いほど信頼性が大きい

$$\text{False-alarm probability} : \Pr\{> z\} \equiv 1 - (1 - e^{-z})^M$$

$z$ : ピリオドグラムの値  $M$ : 計算に用いる(=出力される)周波数の数

My Work

モニター観測(@日立)の天体データでピリオドグラム $P(\omega)$ と誤警報確率を計算する

## ◆結果

### 周期変動天体の選出条件

- ・ False-alarm Prob. < 0.001
- ・ モニター期間に3周期以上観測されている

新検出：14天体  
既知：11天体

表. 新検出された周期変動天体

天体名	周期[日]
G014.23-00.50	23.7
G034.39+00.24	29.5
G034.40+00.01	31.7
G174.19-00.09	45.5
G036.70+00.09	53.4
G037.47-00.11	67.9
G028.02-00.44	111.5
G108.75-00.96	164.2
G111.53+00.76	171.9
G026.52-00.26	172.2
G006.18-00.35	180.5
G024.14+00.00	188.9
G033.64-00.21	200.8
G030.40-00.29	220.1

杉山孝一郎氏(茨城大学)作成

### Lomb-Scargleピリオドグラムのスペクトル

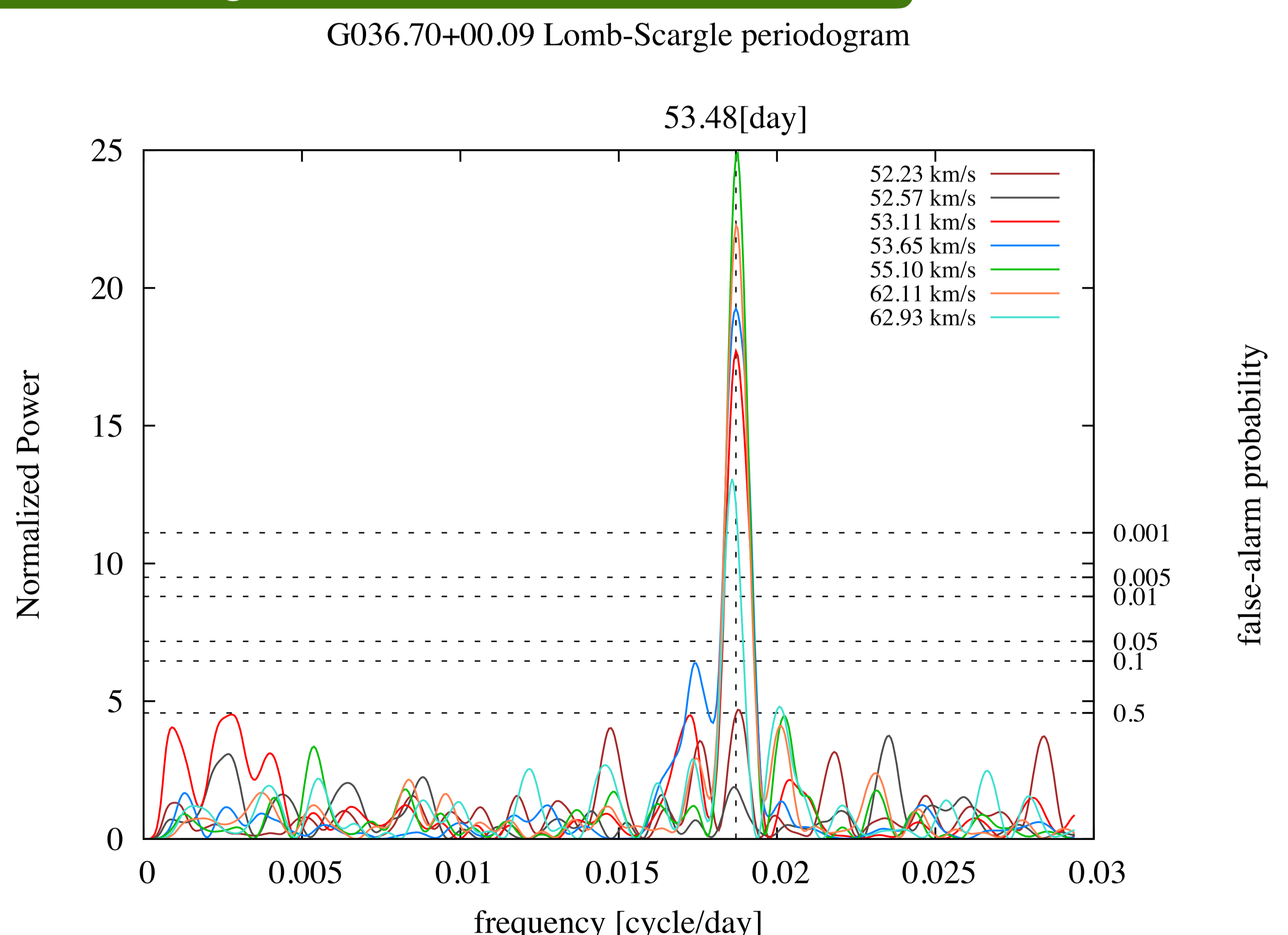


図2. 新検出周期変動天体G036.70+00.09の各速度成分毎のLSピリオドグラムのスペクトル。図1では分かりづらかった周期性が一目瞭然である。

### グラフの見方

- ① 際立ったピークが誤警報確率0.001以下である
- ② ピークのあるx軸の値の逆数を読み取り周期とする

### 今後の課題

- 有意水準(誤警報確率)の性質の定量的な評価
- 導出周期の誤差の評価
- 周期変動機構の解明にフィードバック

### Reference

Scargle 1982, Ap.J.263,853  
Lomb 1976, Ap&SS, 39,447  
Press et al. Numerical Recipes  
Goedhart et al. 2003, MNRAS,339,L33  
Inayoshi et al. 2013, ApJ, 769,L20  
Cragg et al. 2005, MNRAS,360,533