

日立32m電波望遠鏡による6.7GHzメタノールメーザーのモニター観測データを用いた突発的強度変動天体の探査

青木 健悟 米倉 覚則 齋藤 悠 百瀬 宗武 (茨城大学) 杉山 孝一郎 (国立天文台)

概要

大質量星形成領域周辺から検出される6.7GHzメタノールメーザーはこれまでの長期モニター観測の結果、特徴的な強度変動を示すことが明らかになってきた。Fujisawa et al.(2012)によると、G33.64-0.23に付随する6.7GHzメタノールメーザーのモニター観測により突発的強度変動(以下フレア現象と称す)を捉えた。フレア現象を示す天体はG33.64-0.23以外に報告例がなく統計的研究を行うにはサンプル数が足りない状況にある。我々は日立市に位置する電波望遠鏡を用いて6.7GHzメタノールメーザーが付随する複数の天体をモニター観測している。そこで、G33.64-0.23以外のフレア現象を示す天体の検出を目的として様々な解析を試しこれらの天体を探査した。解析は1日当たりの強度変化率を数値計算して閾値を超えた場合に検出するという方法でおこなった。3種類の計算方法で解析した結果、合計39天体を検出した。しかし、今回検出した天体の多数は低頻度で観測しており増光度を正しく導出していない可能性がある。2017年11月21日から現在にかけて高萩市に位置する32m電波望遠鏡でこれらの天体を高頻度で観測しており、今後この観測結果を用いて増光度の検証をおこなう予定である。また現在、強度変化率の対数値のヒストグラムを用いた解析方法によりフレア現象の検出を試している。

研究背景・目的

大質量星形成領域周辺から検出される6.7GHzメタノールメーザーはこれまでの長期モニター観測の結果、特徴的な強度変動を示すことが明らかになってきた。Fujisawa et al.(2012)ではG33.64-0.23に付随する6.7GHzメタノールメーザーのモニター観測の結果、フレア現象を示すことが判明した(図1, 図2)。

フレア現象を示す天体はG33.64-0.23以外に報告例がなく統計的研究を行うにはサンプル数が足りない状況にある。

我々は日立市に位置する電波望遠鏡を用いて6.7GHzメタノールメーザーが付随する複数の天体をモニター観測している。そこで、G33.64-0.23以外のフレア現象を示す天体の検出を目的としてこれらの天体を探査した。

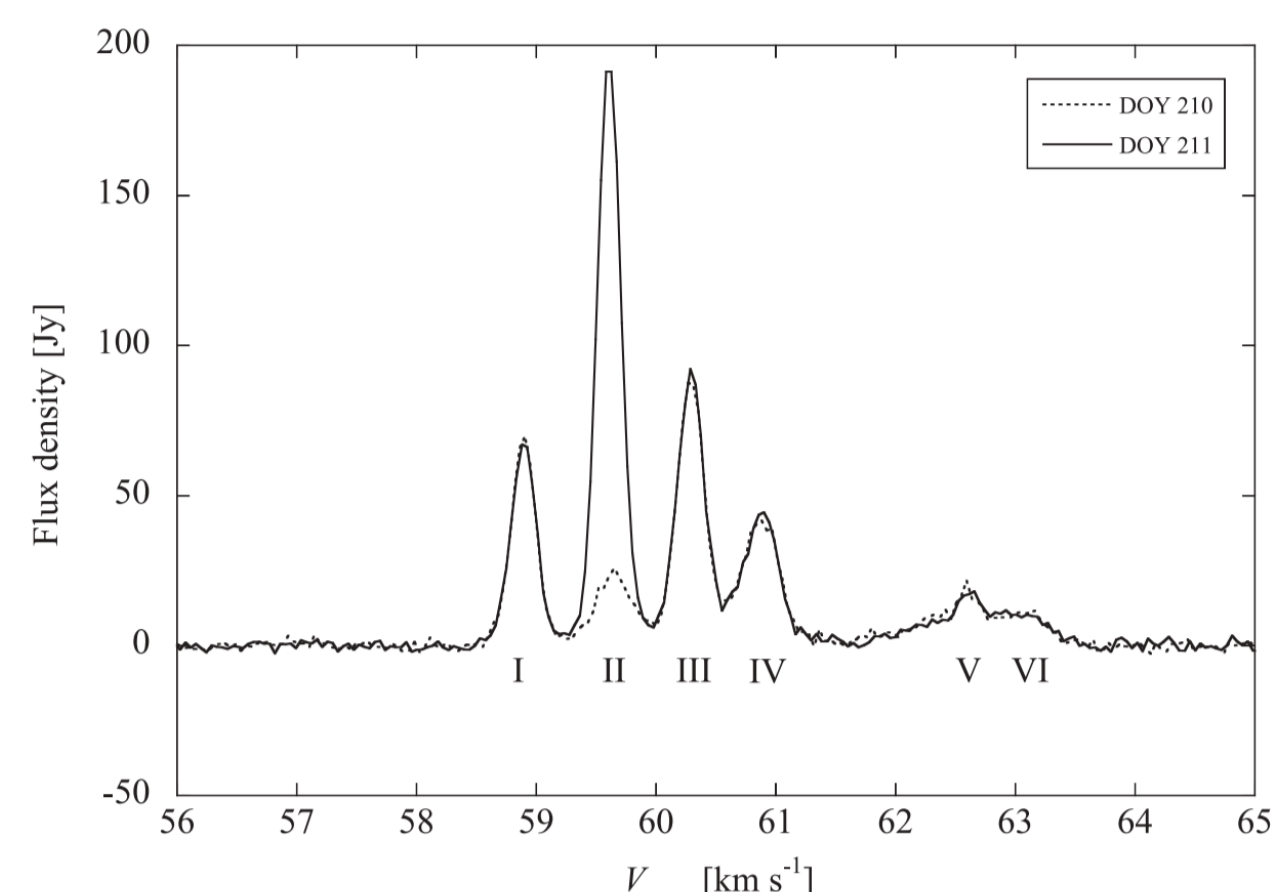


図1 山口32m電波望遠鏡による観測で取得されたG33.46-0.23に付随する6.7GHzメタノールメーザーの静穏時(点線)とフレア時(実線)のスペクトル。6つの放射成分(I~VI)が同定されている。

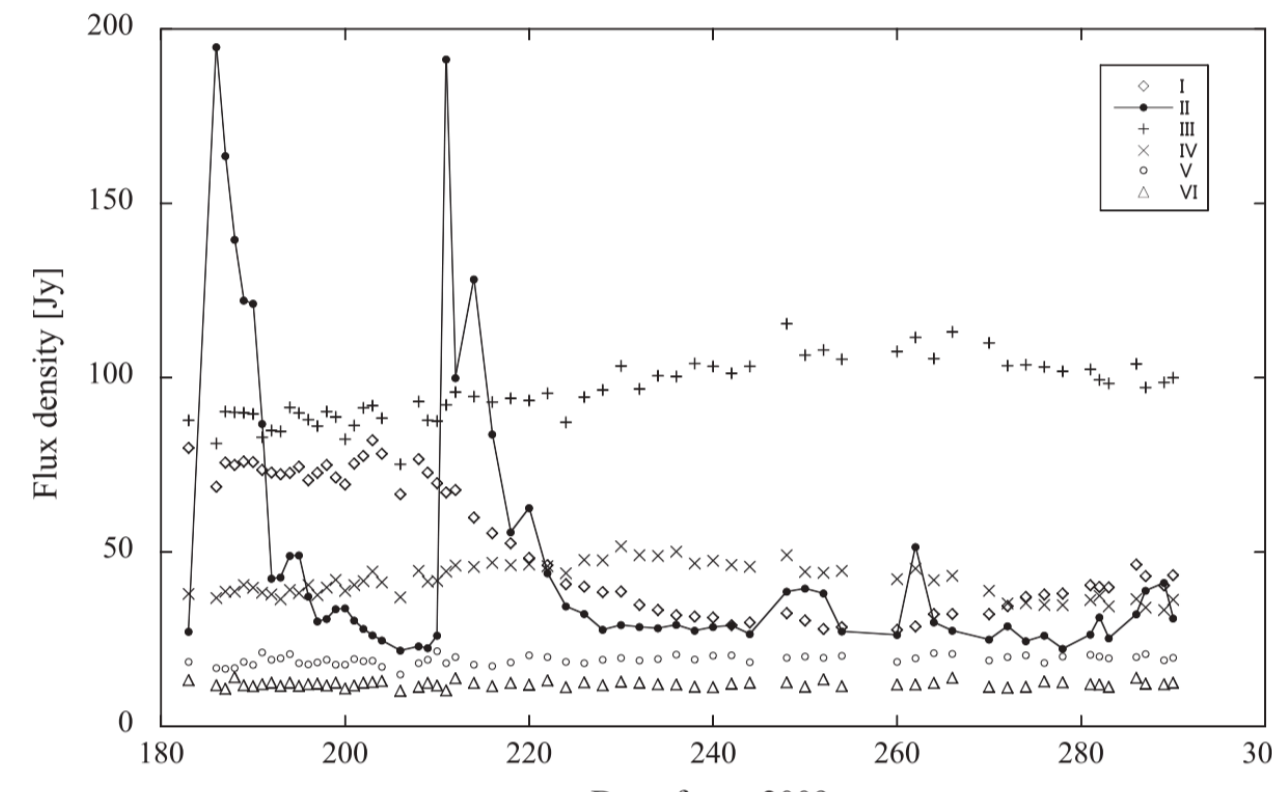


図2 G33.46-0.23の各成分(I~VI)の時系列強度変動の様子。成分IIのみモニター期間中に2回の大きな変動を示した。1回目は3日間で静穏時の約7倍、2回目は1日間で静穏時の約7倍に増光している。

結果

3種類の計算方法による解析で検出した天体数を以下に示す。ただし、それぞれの丸数字は表3の計算方法と対応している。

- ① → 39天体
- ② → 3天体
- ③ → 3天体

①で検出された天体のうちG35.20-0.74の時系列強度変動図とスペクトルを図5, 図6に示す。

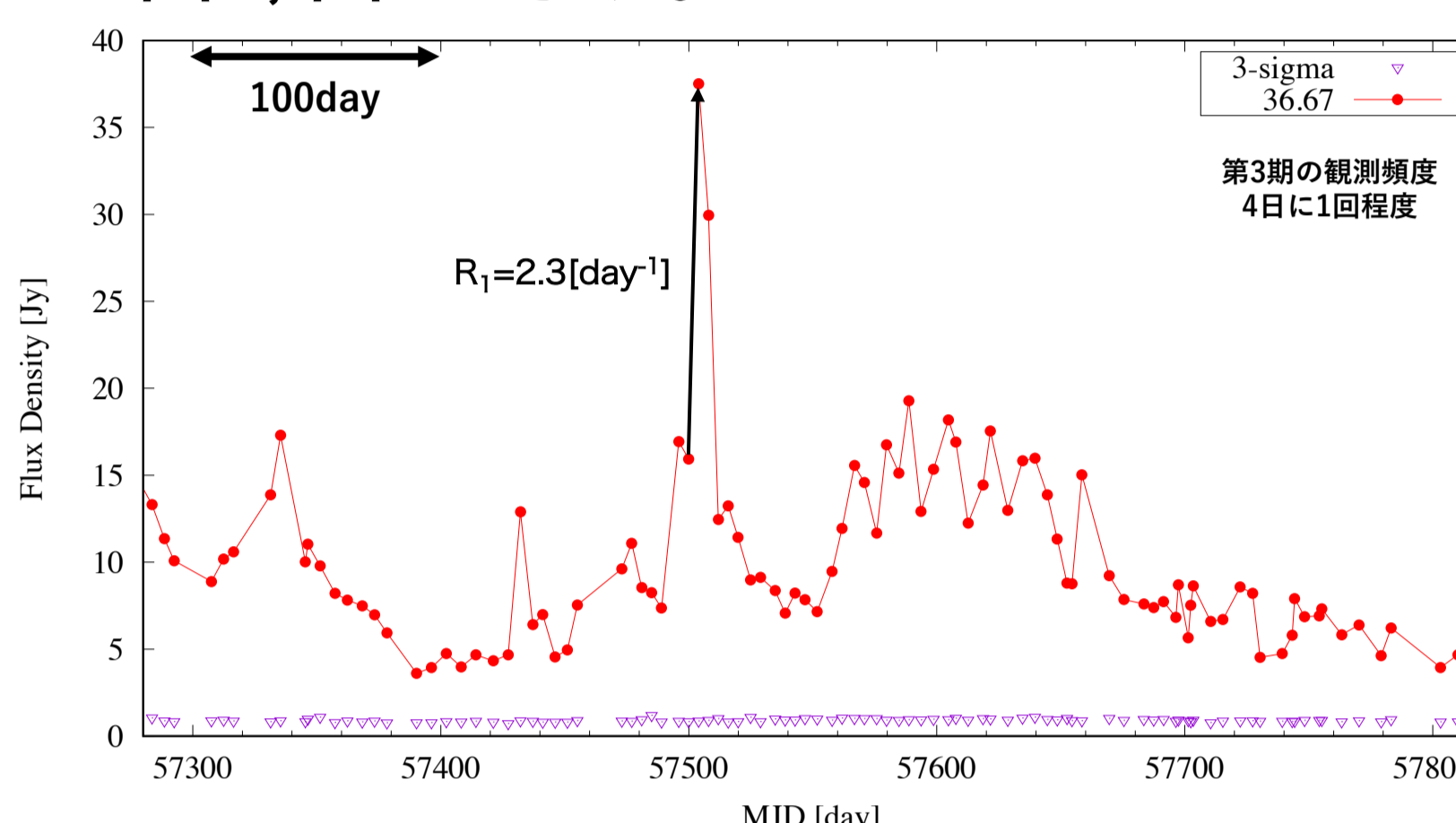


図5 G35.20-0.74に付随するVlsr=36.67km/sの放射成分の時系列強度変動の様子(第3期で取得したデータの一部を拡大)。図中の矢印の始点と終点にある点で強度変化率を計算した結果検出。

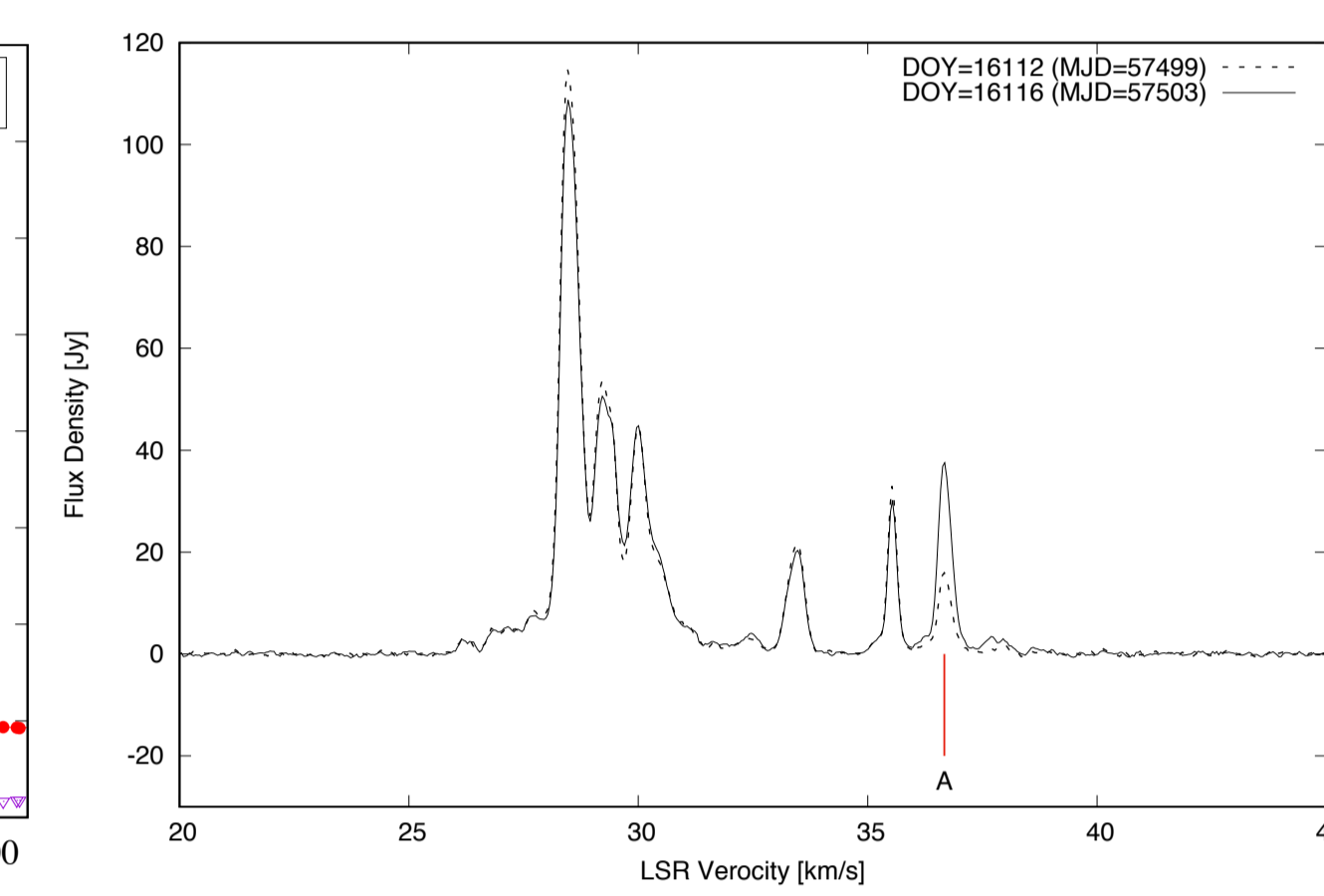


図6 G35.20-0.74に付随するVlsr=36.67km/sの放射成分の静穏時(点線)と極大時(実線)のスペクトル。

観測概要

我々は2012年12月から現在にかけて日立市に位置する32m電波望遠鏡を用いて合計442天体のモニター観測を実施している。表1, 表2に本観測の概要と使用している望遠鏡の観測パラメータをそれぞれ示す。

表1 日立局を用いたモニター観測概要。

対象天体	メタノールメーザー母カタログに載っている約1200天体のうち 赤緯 ≥ -30 度 に位置する 計442 天体
観測期間	第1期: 2012/12/30 - 2014/01/10 第2期: 2014/05/07 - 2015/08/08 第3期: 2015/09/18 - 2017/03/07 第4期: 2017/06/14 - 現在
観測頻度	第1期, 第2期: 10日に1回程度 第3期, 第4期: 4日に1回程度 ※一部、観測頻度が異なる天体あり



図3 日立市に位置する32m電波望遠鏡(日立局)。

表2 日立局の観測パラメータ。

アンテナ口径	32 m
ビームサイズ	4.6 arcmin
観測周波数	6664 - 6672 MHz
分光点数	8192 点
速度分解能	0.044 km/s
積分時間	300 sec/source
検出感度(3 σ)	0.9 Jy 程度

解析手法

天体に付随する放射成分ごとのフラックス密度をまとめた時系列データを用いて解析をおこなった。2012年12月から2017年9月までに取得したデータを扱った。各天体・各放射成分の強度変化率を3種類の方法で計算し、閾値を設定してフレア現象を示す天体の検出を試みた。閾値は任意に "2.0[day⁻¹]" に設定した。

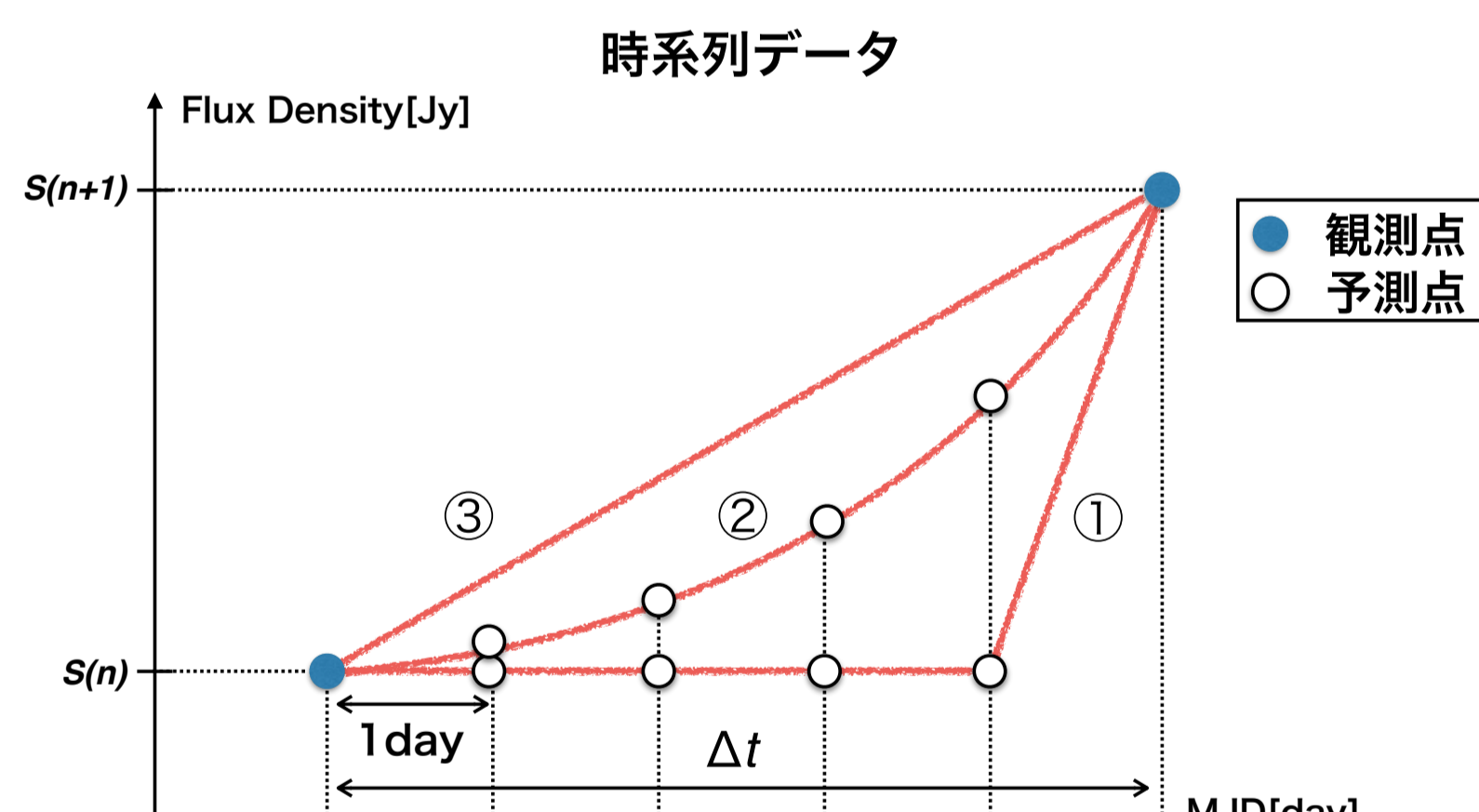


図4 青丸で示した2つの隣り合う観測データに対する強度変化率の計算方法を視覚的に表現した図。白丸はそれぞれの計算方法で仮定をおいた際に予想される変動パターン。

表3 強度変化率を計算する3種類の方法

計算式	考え方
① $R_1 \equiv \frac{S(n+1)}{S(n)} [\text{day}^{-1}]$	$t(n+1)$ の1日前まで $S(n)$ 、1日で $S(n) \rightarrow S(n+1)$ 増光したと仮定した場合の1日あたりの変化率。
② $R_2 \equiv \left(\frac{S(n+1)}{S(n)}\right)^{\frac{1}{\Delta t}} [\text{day}^{-1}]$	Δt 日かけて毎日一定の割合で $S(n) \rightarrow S(n+1)$ 増光したと仮定した場合の1日あたりの変化率。
③ $R_3 \equiv \frac{S(n+1)/S(n)}{\Delta t} [\text{day}^{-1}]$	$S(n) \rightarrow S(n+1)$ の変化率を Δt で割って平均化した場合の1日あたりの変化率。

考察

今回の解析方法には以下の以下に挙げた2つの問題点がある。

- 観測頻度が低いことに起因して増光度を正確に導出できていない可能性がある
 - ①は $t(n+1)$ の前日まで強度が一定である保証はなく増光度を過大評価
 - ②, ③は $t(n)$ から増光が始まっている保証はなく増光度を過小評価

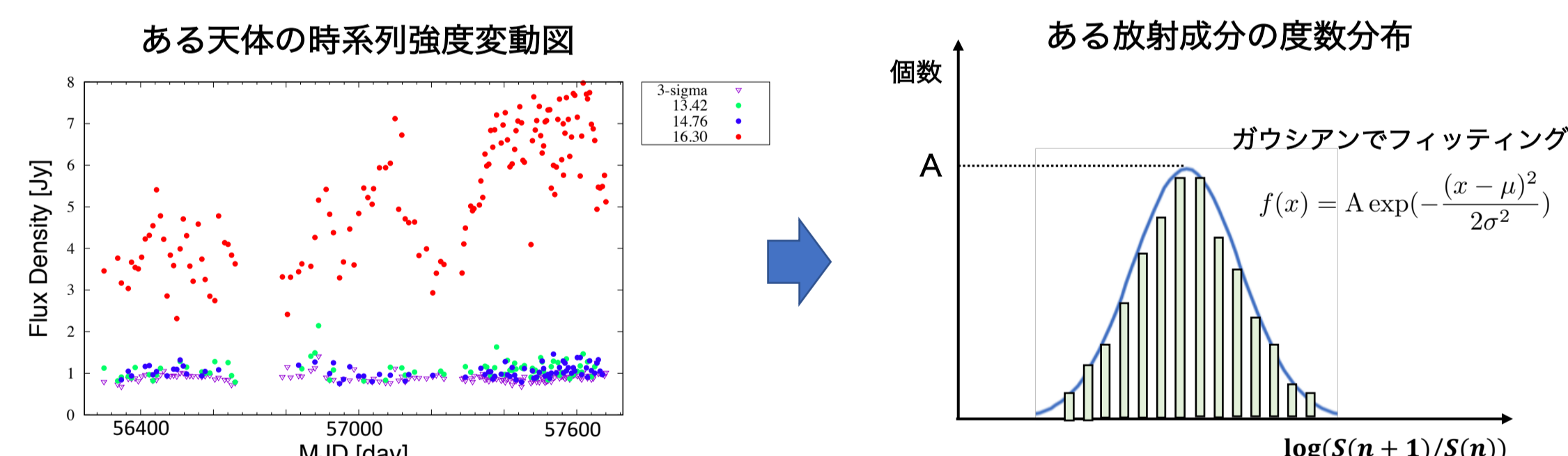
今後、高萩局による高頻度観測データを用いて増光度の検証をおこなう

- 閾値 "2.0" には任意性があり、検出された変動がフレアであるという根拠が薄い

強度変化率の対数値の頻度分布を作成し、ガウシアンフィッティングの結果得られる標準偏差を基準にフレア現象の検出を試みる

今後の展望

天体の放射強度の変動がランダムであるとするれば、時系列で隣り合うデータの強度比の対数値は "0" 付近を中心とした正規分布に従うはずである。



- 強度変化率の対数値のヒストグラムを作成しガウシアンでフィッティング
- 確率が極めて低い位置に分布を示す天体を有意な変動があったとみて選出し今後高頻度観測を実施していく予定

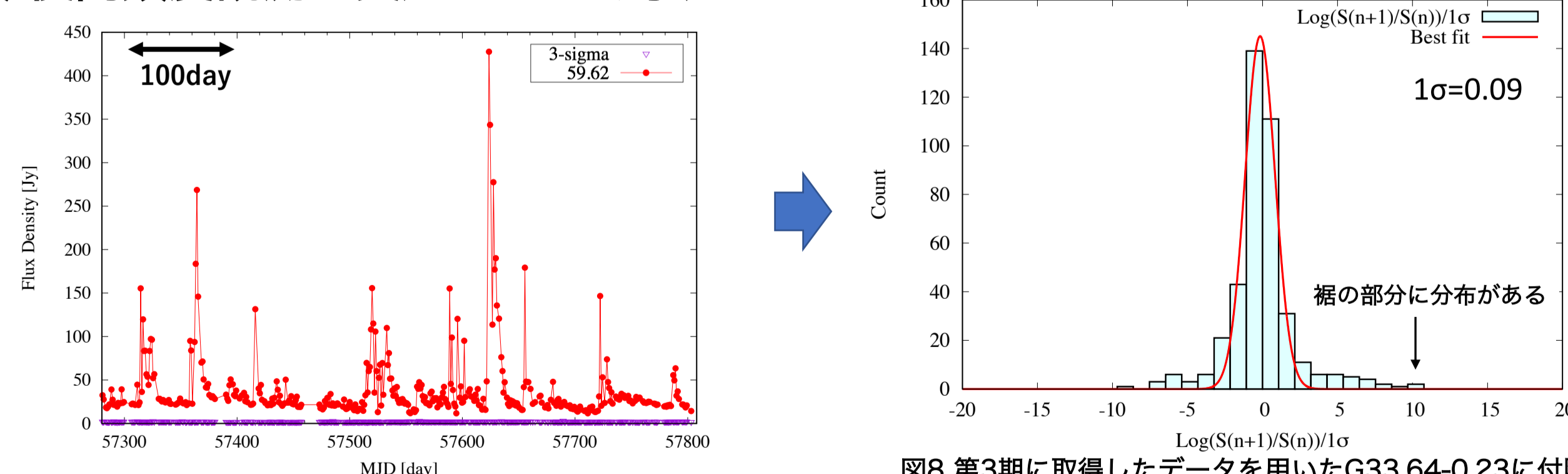


図8 第3期に取得したデータを用いたG33.64-0.23に付随するVlsr=59.62km/sの放射成分の強度変化率のヒストグラム及びフィッティング関数。横軸は標準偏差で規格化してある。

まとめ

2012年12月から2017年9月までに取得したすべてのデータを用いてフレア現象の検出を目的とした数値計算による解析をおこなった。

- ✓ 3種類の方法で強度変化率を計算。
- ✓ 閾値を "2.0" と設定してフレア現象の検出を試みた。

問題点

- 観測頻度が低いことに起因して増光度を正確に導出できていない可能性がある。
- 閾値 "2.0" には任意性があり、検出された変動がフレアであるという根拠が薄い。

今後の展望

- ✓ 今回検出した天体のうち観測頻度が低い天体に関しては、高萩局による高頻度観測データを用いて増光度の検証をおこなう。
- ✓ 強度変化率の対数値のヒストグラムを用いてフレア現象の解析をおこなう。

参考文献

- [1] Fujisawa, K., et al, 2012, PASJ, 64, 16 [3] 石井翔太, 2015, 茨城大学大学院理工学研究科修士論文
[2] Fujisawa, K., et al, 2014, PASJ, 66, 109