

大質量星形成領域G33.641-0.228における6.7GHzメタノールメーザのバースト的強度変動の偏波に関する研究

山口大学 M2 小島 佑太

共同研究者: 藤沢健太

2018年 12月1日 VLBI懇談会

Outline

- Introduction
- Observation & Results
- Summary & Future Works

Introduction

大質量星

大質量星とは・・・太陽質量 (1.989×10^{30} kg) の8倍以上の質量をもつ恒星

特徴 ・内部での核反応により重元素を生成

→銀河全体の金属量に大きく寄与

・進化の終末期に超新星爆発を起こす

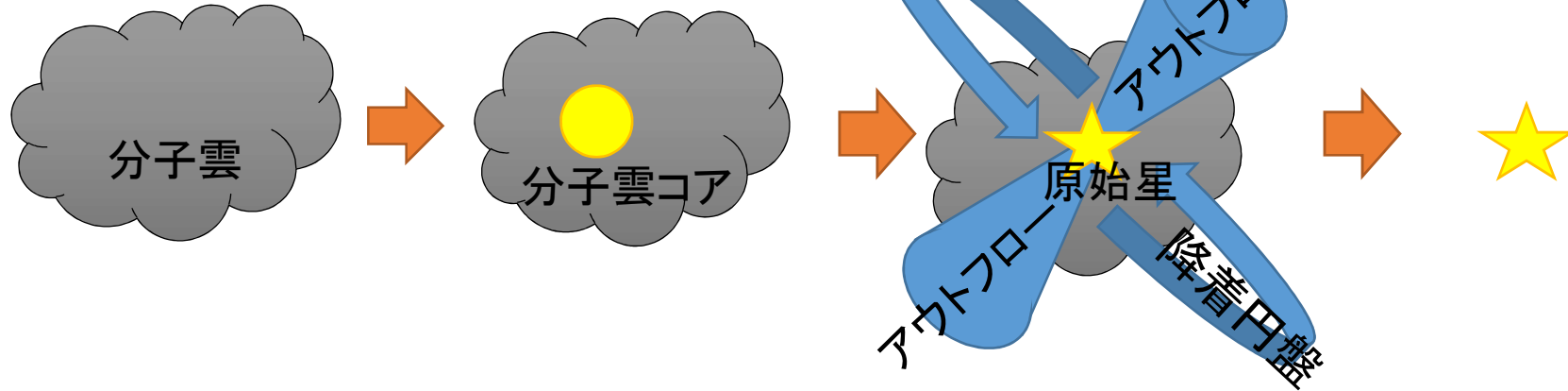
→重元素の供給 + 次の星形成を引き起こす



銀河や宇宙の進化において重要な役割を担う

恒星の形成過程

～中小質量星～



大質量星形成過程

・形成過程が未解明

- ・進化のタイムスケールが短い
- ・絶対数が少ない
- ・ダストを含む厚いガスに覆われているため、可視光での観測が困難



ガスの影響を受けない電波での観測が効果的

・小質量星と同様に降着円盤とアウトフローを伴う

円盤やアウトフローの動きを観測することで、大質量星形成過程の解明につながる？

6.7GHzメタノールメーザ

- ・メタノールメーザの中で最も強度が強い
- ・比較的安定

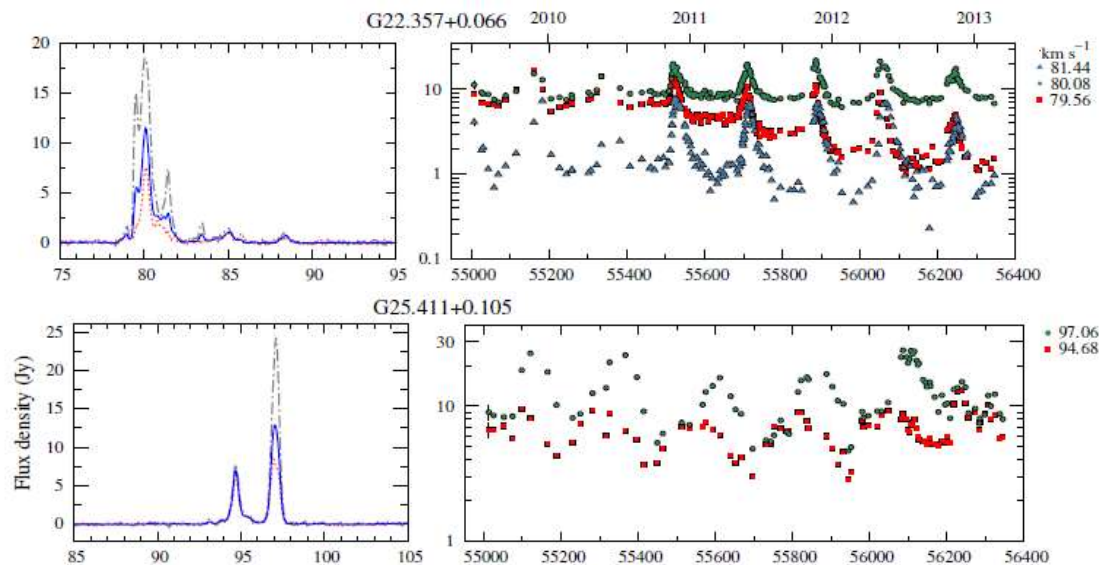


長期のモニタリングに有効

- ・大質量星形成過程の比較的若い段階に付随



大質量星形成過程の研究における重要な観測手段



周期=179日

周期=245日

Fig. 離散的な周期的強度変動を示すメーザ源(上)と正弦関数的な強度変動を示すメーザ源(下)の光度曲線 (Szymczak et al. 2017)

G33.641-0.228

赤経(J2000): 18h 53m 32.563s
赤緯(J2000): + 00d 31m 39.18s

距離: 4.0kpc
赤外線光度: $1.2 \times 10^4 L_{\odot}$
(IRASデータベースより)

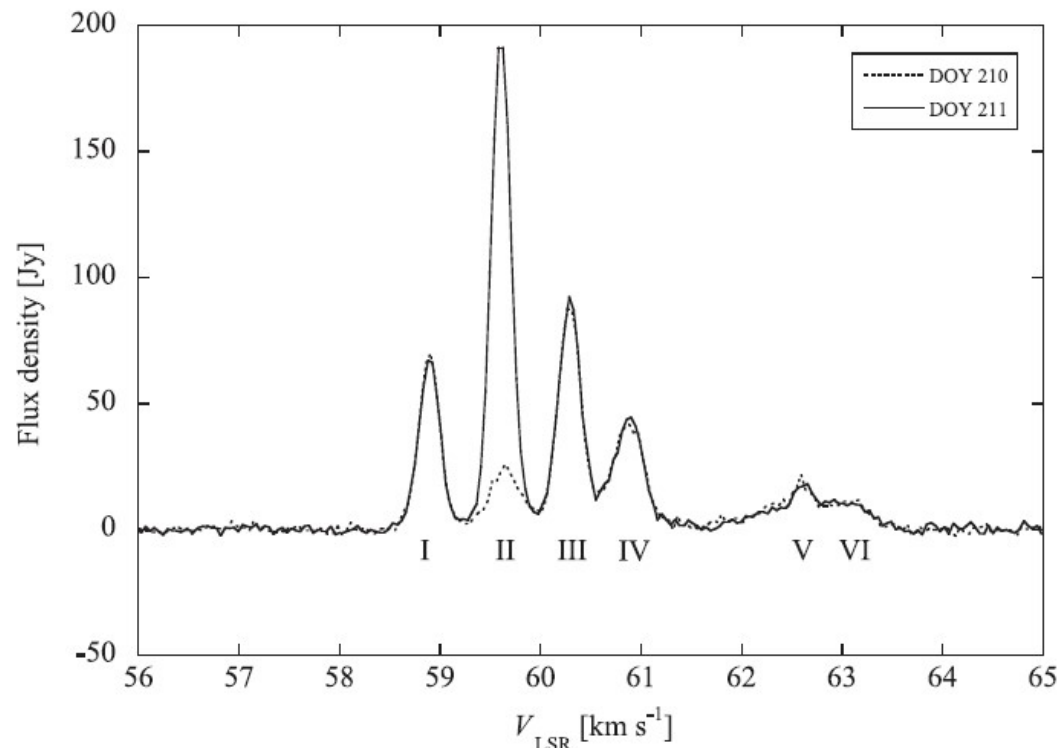


Fig.G33.641-0.228のスペクトル(2009)
(Fujisawa et al.2012)

6.7GHzメタノールメーザの
成分Ⅱのフラックス密度が一日未満で7倍以上に上昇
→時間スケール5日で減少

第Ⅱ成分のみが特徴的な強度変動を起こす！

先行研究

・杉浦結(2014年度卒業論文)、福井紀子(2015年度卒業論文)

・2014年から2015年にかけて計469日の観測を行った。

通常:1日1回
バースト時:1日複数回(最大55回)

・第II成分のみ計11回のバースト的強度変動を観測した。

・他の成分は急激な強度変動は見られなかった。

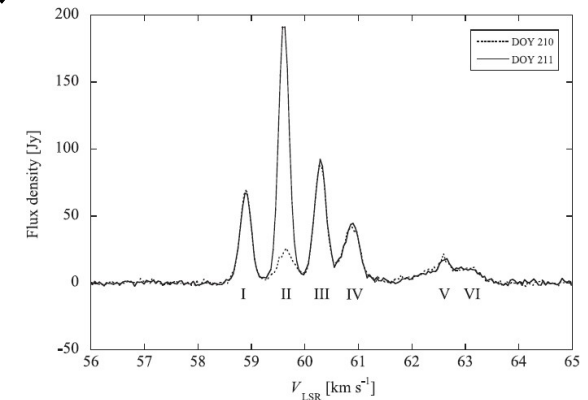


Table.観測パラメータ

システム雑音温度[K]	60 - 660
ビームサイズ [arcmin]	5
帯域幅 [MHz]	8
分光点数	8192
速度分解能 [km/s]	0.044
積分時間 [s]	180(60)
rmsノイズレベル[Jy]	1.4 ~ 6.2

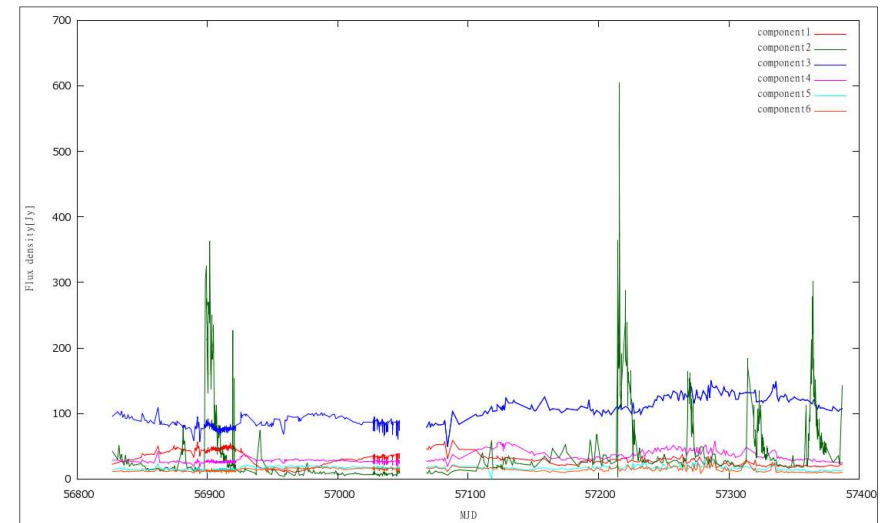


Fig.2014年、2015年の光度曲線

先行研究

・杉浦結(2014年度卒業論文)、福井紀子(2015年度卒業論文)

・2014年から2015年にかけて計469日の観測を行った。

通常:1日1回
バースト時:1日複数回(最大55回)

・第II成分のみ計11回のバースト的強度変動を観測した。

・他の成分は急激な強度変動は見られなかった。

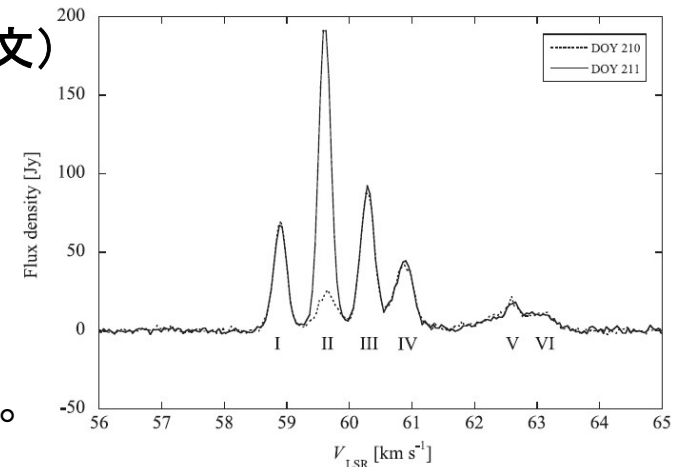


Table.観測パラメータ

システム雑音温度[K]	60 - 660
ビームサイズ [arcmin]	5
帯域幅 [MHz]	8
分光点数	8192
速度分解能 [km/s]	0.044
積分時間 [s]	180(60)
rmsノイズレベル[Jy]	1.4 ~ 6.2

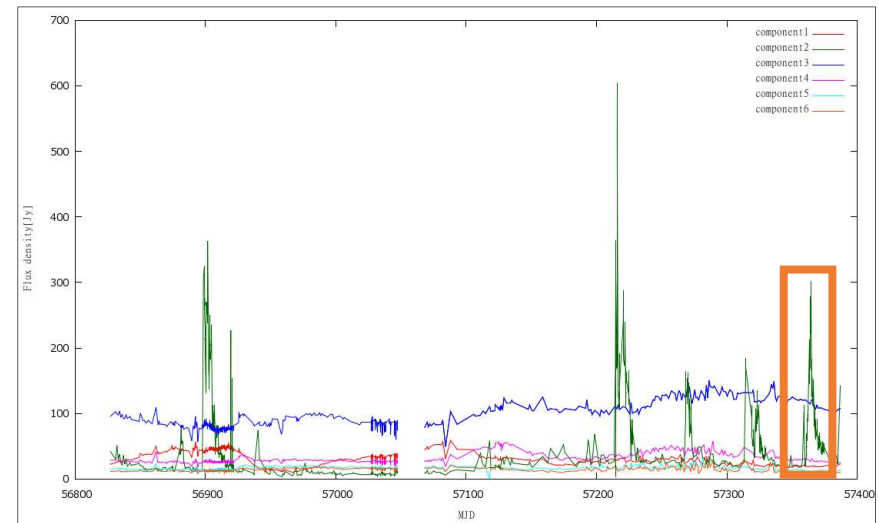
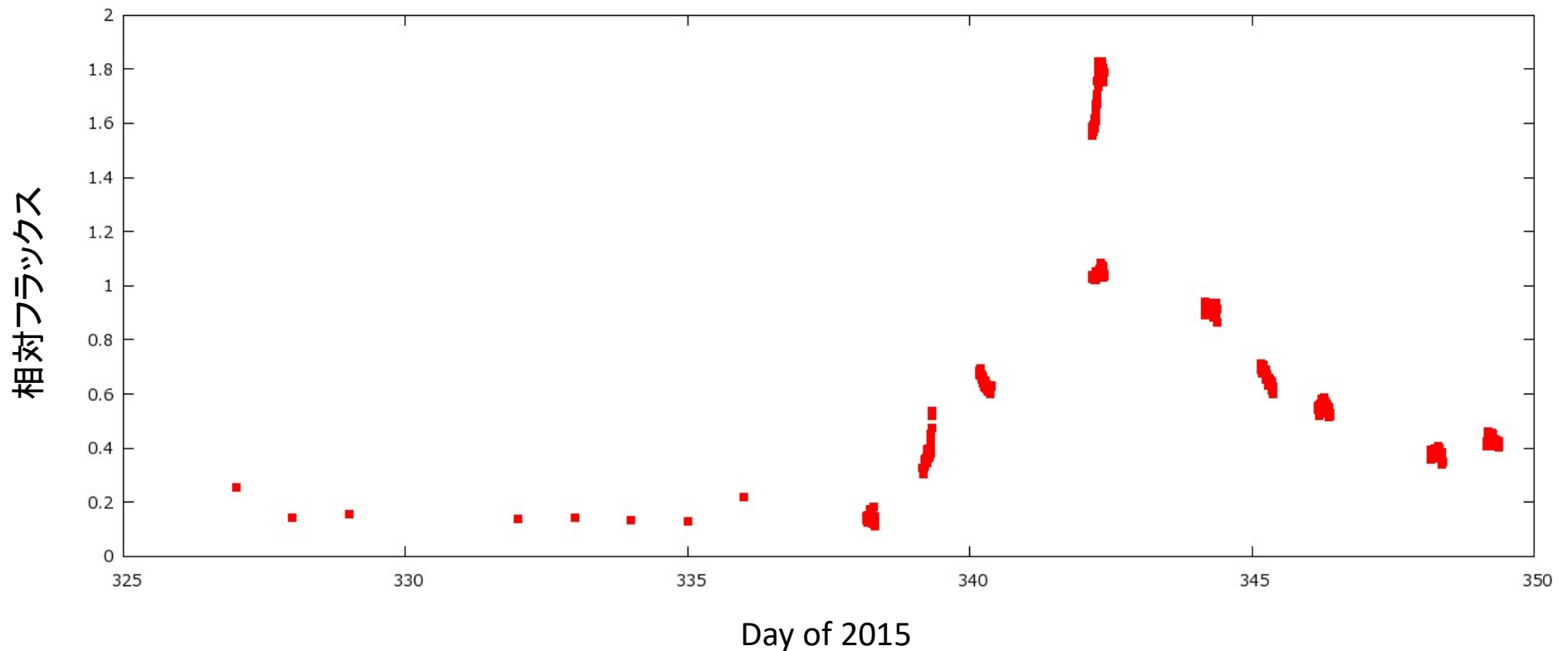


Fig.2014年、2015年の光度曲線

先行研究

- ・杉浦結(2014年度卒業論文)、福井紀子(2015年度卒業論文)
→バーストの上昇期、下降期で上昇→下降を繰り返しながら変動する

→時間スケールが0.2日程度での強度変動を確認



太陽の電波バースト

- ・磁場の再結合により爆発的なエネルギー放出

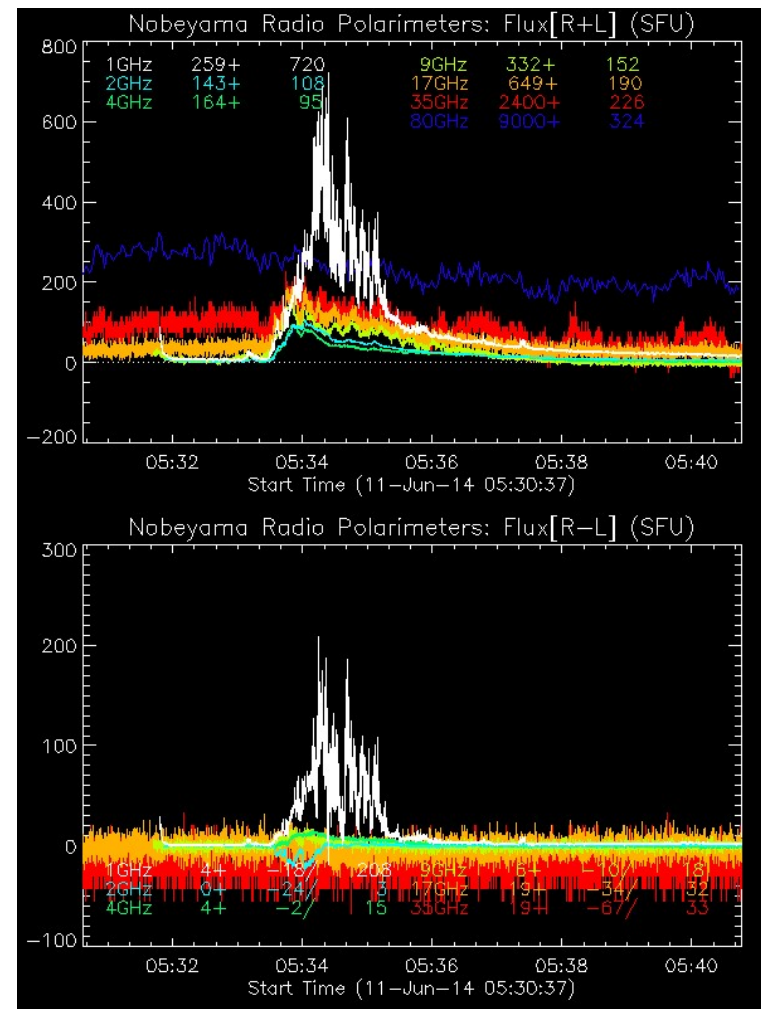
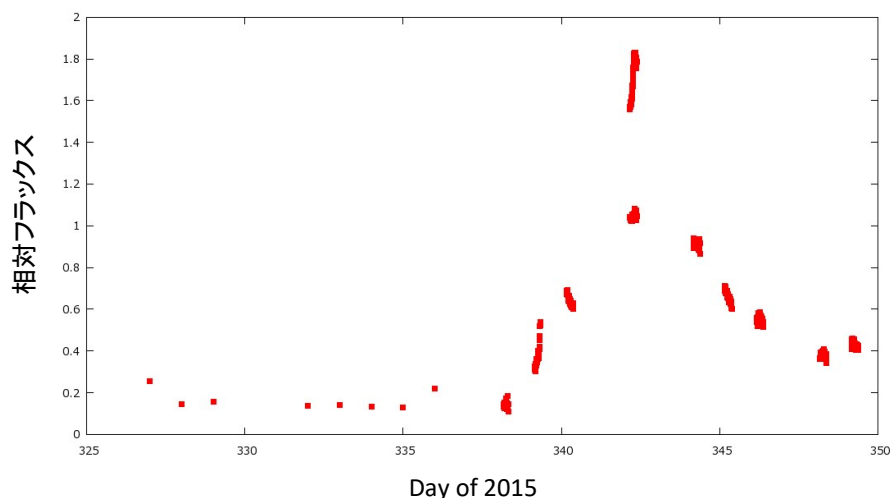
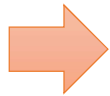


Fig.G33(左)と太陽電波(右)の光度曲線 http://solar.nro.nao.ac.jp/norp/html/event/20140611_0534/norp20140611_0534.html

- ・増光と減光の様子が非対称
- ・一日以内での細かい上昇と下降を繰り返す



G33のバースト的強度変動も磁場に関する現象である可能性??

研究背景

太陽の電波バーストは磁気リコネクションによるエネルギー放出

似た挙動を示すG33のバーストも磁場が影響している可能性？

成分Ⅱの偏波率に注目

研究目的

- ・G33.641-0.228のバースト的強度変動と偏波率の関係を調べる

最終目的

G33.641-0.228のバースト的強度変動の発生機構の解明

偏波

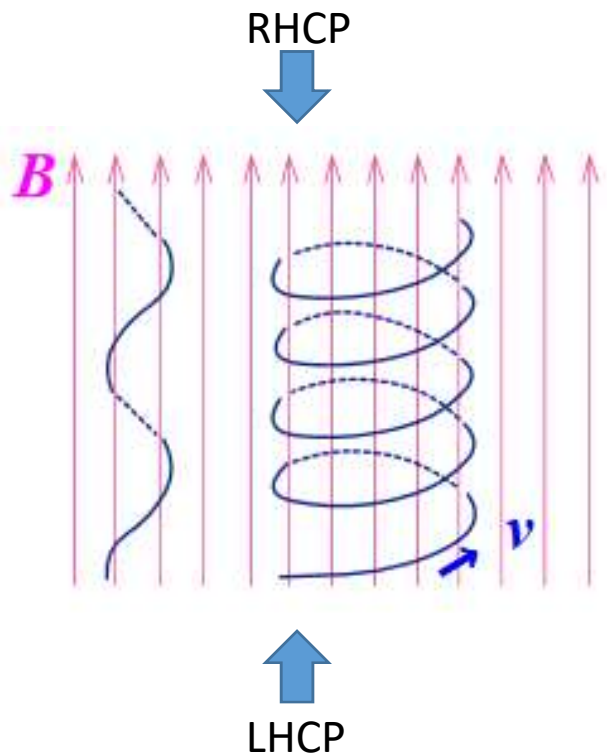


Fig. 磁場中を運動する荷電粒子

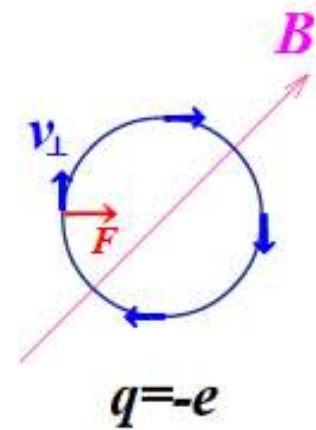


Fig. 磁場に垂直な面内での荷電粒子の運動

- ・荷電粒子が磁場中を運動すると磁場からローレンツ力を受け軌道が曲がる
→ 電波放射

磁場の向きによって左回り円偏波、右回り円偏波が発生する

偏波率:
$$P = \frac{S_L - S_R}{S_L + S_R}$$

S_L, S_R : LHCP、RHCPのフラックス

偏波率がわかると磁場がどのように向いているかがわかる!

研究背景

太陽の電波バーストは磁気リコネクションによるエネルギー放出

似た挙動を示すG33のバーストも磁場が影響している可能性？

成分Ⅱの偏波率に注目

研究目的

- ・G33.641-0.228のバースト的強度変動と偏波率の関係を調べる

最終目的

G33.641-0.228のバースト的強度変動の発生機構の解明

1. 2016年以降の観測

2. 2015年以前の観測

Observation & Results

1. 2016年以降の観測

2. 2015年以前の観測

Observation & Results

観測概要(2016)

- ・観測天体 : G33.641-0.228
- ・観測日 : 2016年8月10日~14日、26日~28日、12月4日~6日
(通算日 223 -227 , 239-241 , 339-341)
- ・使用望遠鏡 : 山口32m電波望遠鏡
- ・左右両円偏波について独立な観測

観測パラメータ

システム雑音温度[K]	60 - 660
ビームサイズ [arcmin]	5
帯域幅 [MHz]	8
分光点数	8192
速度分解能 [km/s]	0.044
積分時間 [s]	595
rmsノイズレベル[Jy]	0.5~ 5.4



Fig.山口32m電波望遠鏡
<http://www.sci.yamaguchi-u.ac.jp/sci/stafflist/fujisawa>

結果

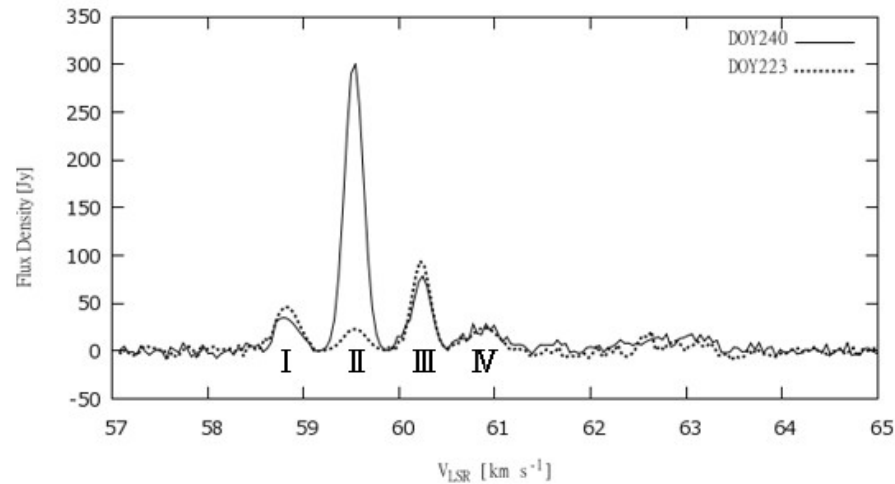


Fig.DOY223 , 240のスペクトル(2016)

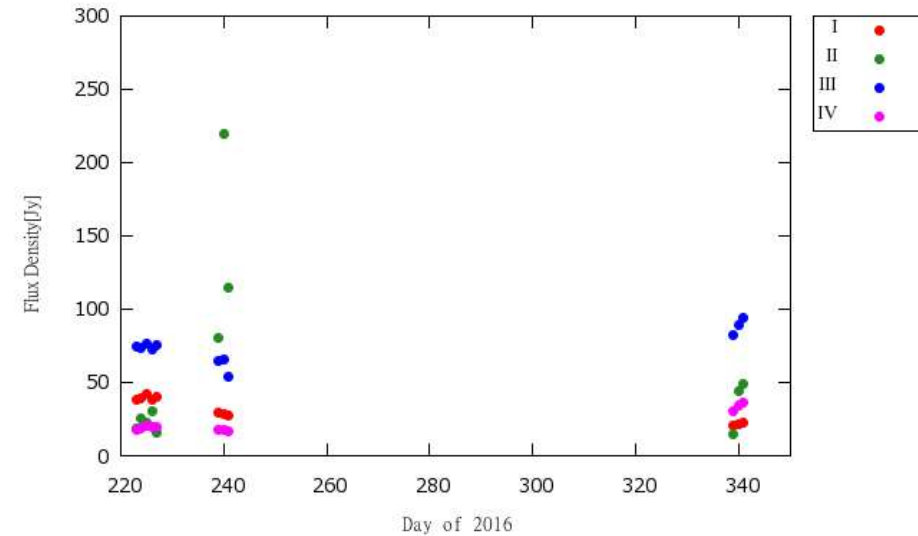


Fig.2016年の観測における光度曲線

- ・平穏期とバースト時で成分 II のフラックス密度が10倍(30Jyから298Jy)に上昇した。
- ・成分 I 、成分 III、成分IVはバースト的強度変動を示さなかった。

偏波率の解析

$$\gamma_c = \frac{F_{\text{II}L}/F_{\text{III}L} - F_{\text{II}R}/F_{\text{III}R}}{F_{\text{II}L}/F_{\text{III}L} + F_{\text{II}R}/F_{\text{III}R}}$$

γ_c : 偏波率

$F_{\text{II}R}$: RHCPの成分Ⅱのフラックス密度

$F_{\text{III}R}$: RHCPの成分Ⅲのフラックス密度

$F_{\text{II}L}$: LHCPの成分Ⅱのフラックス密度

$F_{\text{III}L}$: LHCPの成分Ⅲのフラックス密度

ポインティング、 T_{sys} 、大気のゆらぎなどの影響をなくすために、それぞれの成分を第Ⅲ成分で規格化して偏波率を計算した。

※成分Ⅲが有意に強度変動をしていない
有意に偏波をしていないと仮定する

結果

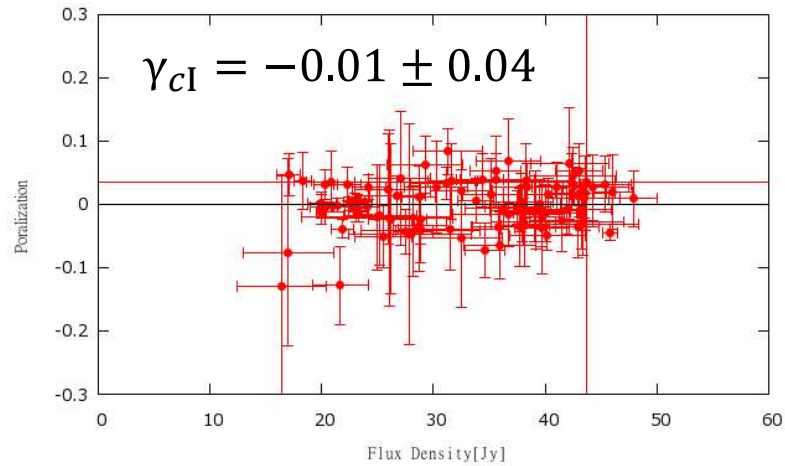


Fig.成分 I のフラックス密度と偏波率

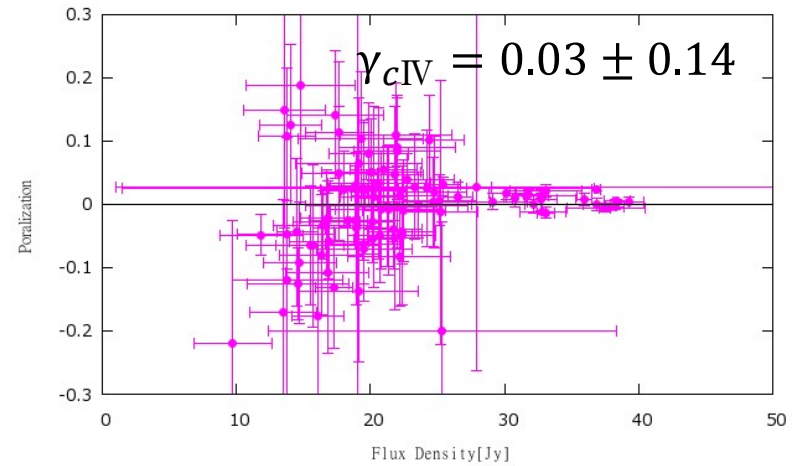


Fig.成分IVのフラックス密度と偏波率

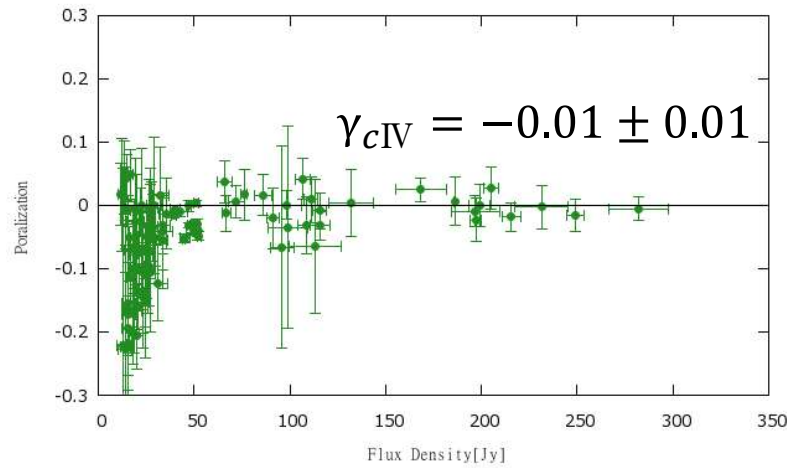


Fig.成分 II のフラックス密度と偏波率

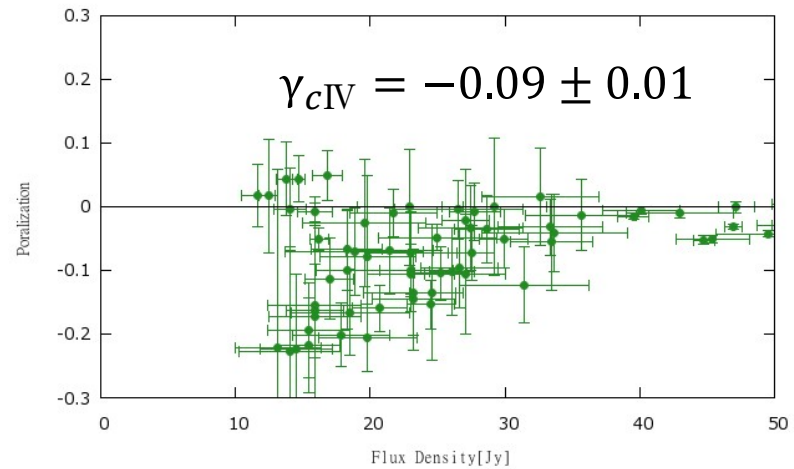


Fig.成分 II のフラックス密度と偏波率(<50Jy)

観測概要(2017以降)

- ・観測天体 : G33.641-0.228
 - ・観測日 : 2017年11月25日～
(通算日 329～)
 - ・使用望遠鏡 : 山口34m電波望遠鏡(2017)
山口32m電波望遠鏡
 - ・左右両円偏波について独立な観測
- 観測パラメータ**

システム雑音温度[K]	～250K
ビームサイズ [arcmin]	5
帯域幅 [MHz]	8
分光点数	8192
速度分解能 [km/s]	0.044
積分時間 [s]	180
rmsノイズレベル[Jy]	～ 5.0



Fig.山口34m電波望遠鏡

スペクトル比較

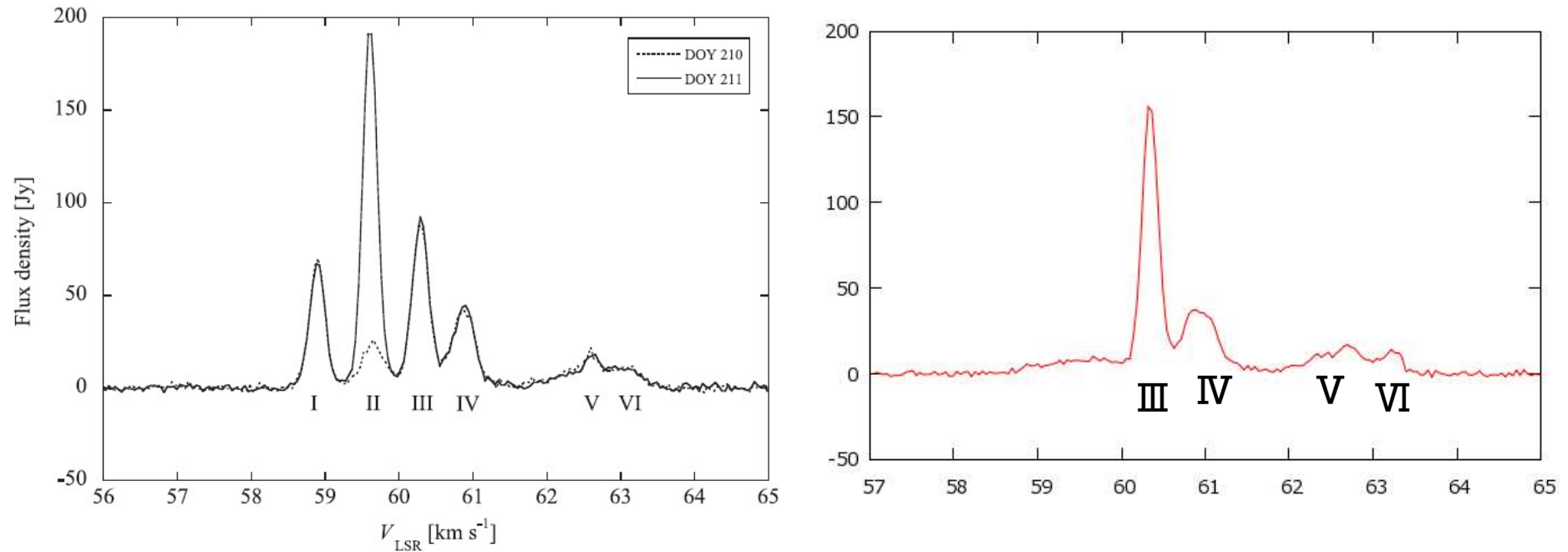


Fig. 2009年(左)と2017年(右)のスペクトル

・バースト的強度変動は確認できなかった。

・第 I 成分, 第 II 成分が消失

→VLBI観測で空間分布を取得

1. 2016年以降の観測

2. 2015年以前の観測

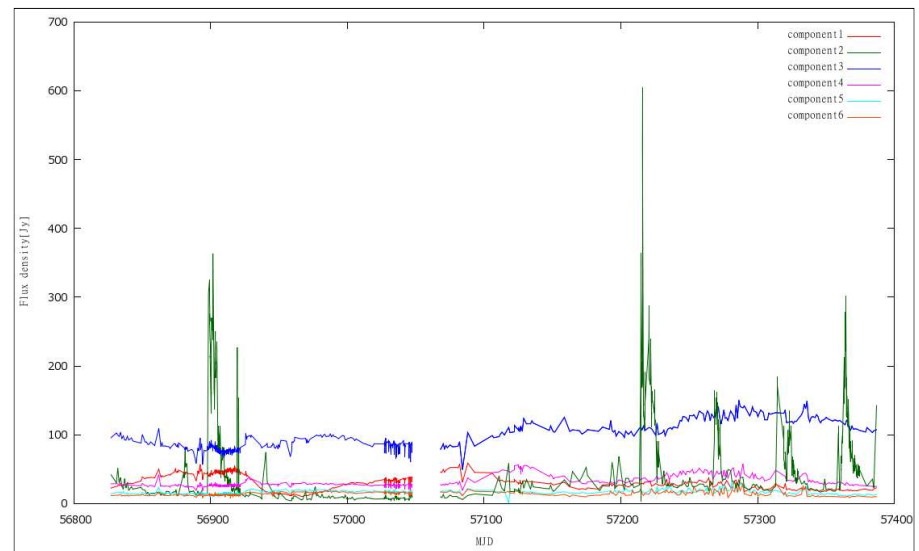
Observation & Results

観測概要(2014～2015)

- ・観測天体: G33.641-0.228
- ・観測日: 2014年2月15日～2015年12月31日(計469日分)
- ・使用望遠鏡: 山口32m電波望遠鏡
- ・左右両円偏波について独立な観測

観測パラメータ

システム雑音温度[K]	40 - 410
ビームサイズ [arcmin]	5
帯域幅 [MHz]	8
分光点数	8192
速度分解能 [km/s]	0.044
積分時間 [s](平穏時)	180
積分時間[s](バースト時)	60
rmsノイズレベル[Jy]	0.5～ 5.4



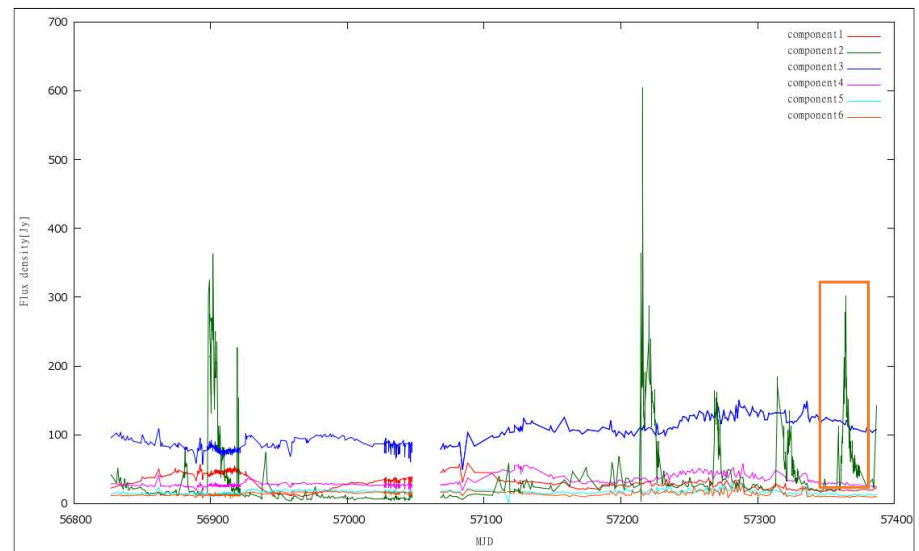
光度曲線

観測概要(2014～2015)

- ・観測天体: G33.641-0.228
- ・観測日: 2014年2月15日～2015年12月31日(計469日分)
- ・使用望遠鏡: 山口32m電波望遠鏡
- ・左右両円偏波について独立な観測

観測パラメータ

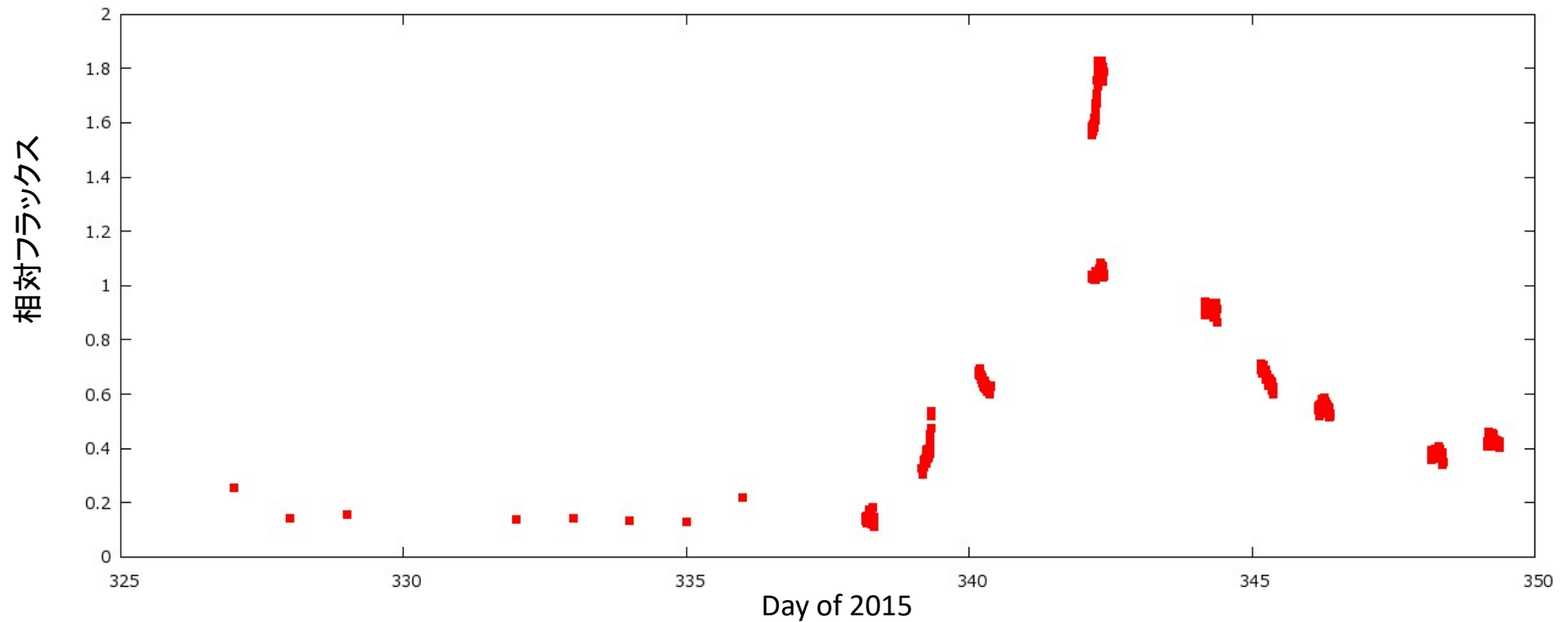
システム雑音温度[K]	40 - 410
ビームサイズ [arcmin]	5
帯域幅 [MHz]	8
分光点数	8192
速度分解能 [km/s]	0.044
積分時間 [s](平穏時)	180
積分時間[s](バースト時)	60
rmsノイズレベル[Jy]	0.5～ 5.4



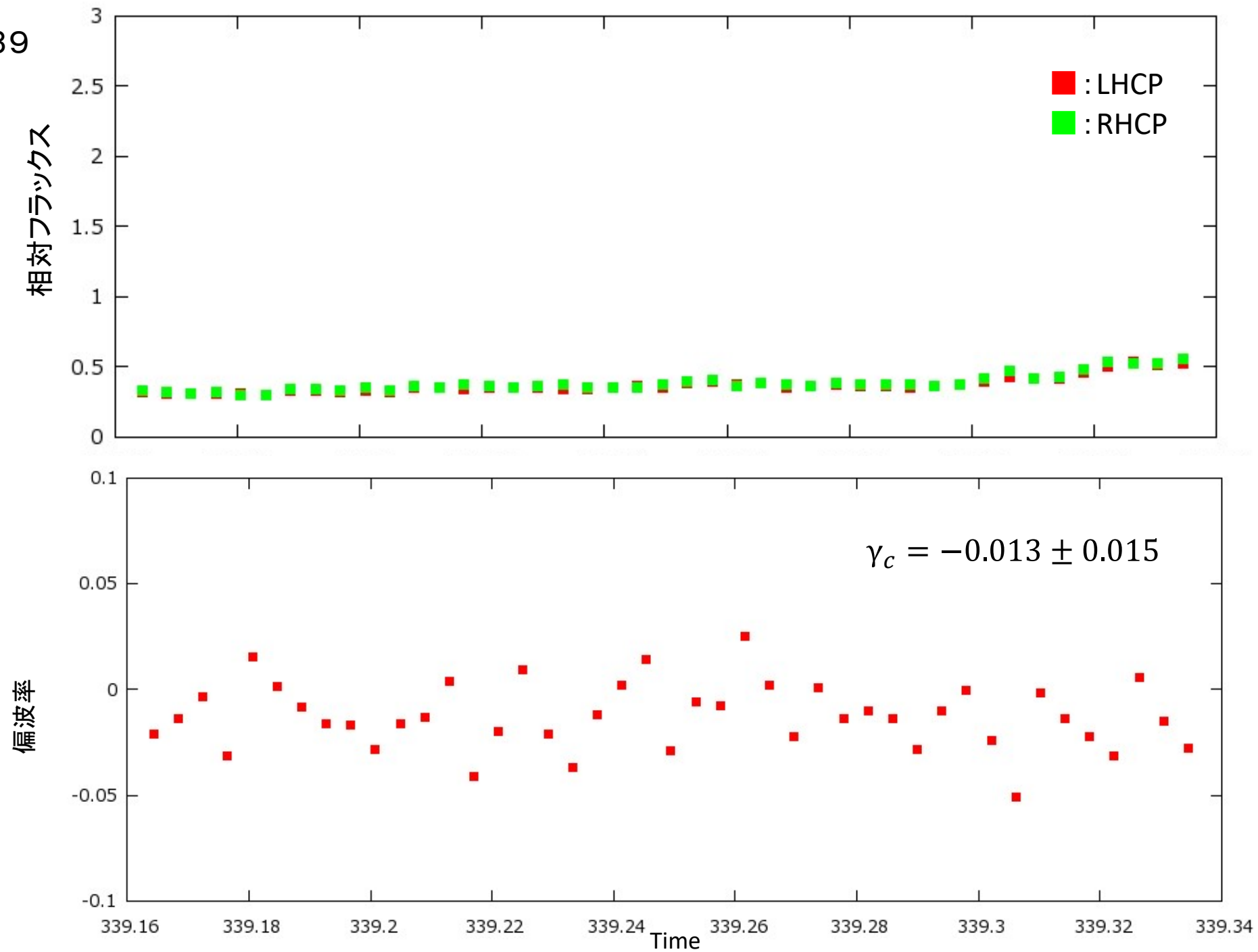
光度曲線

観測概要(2014～2015)

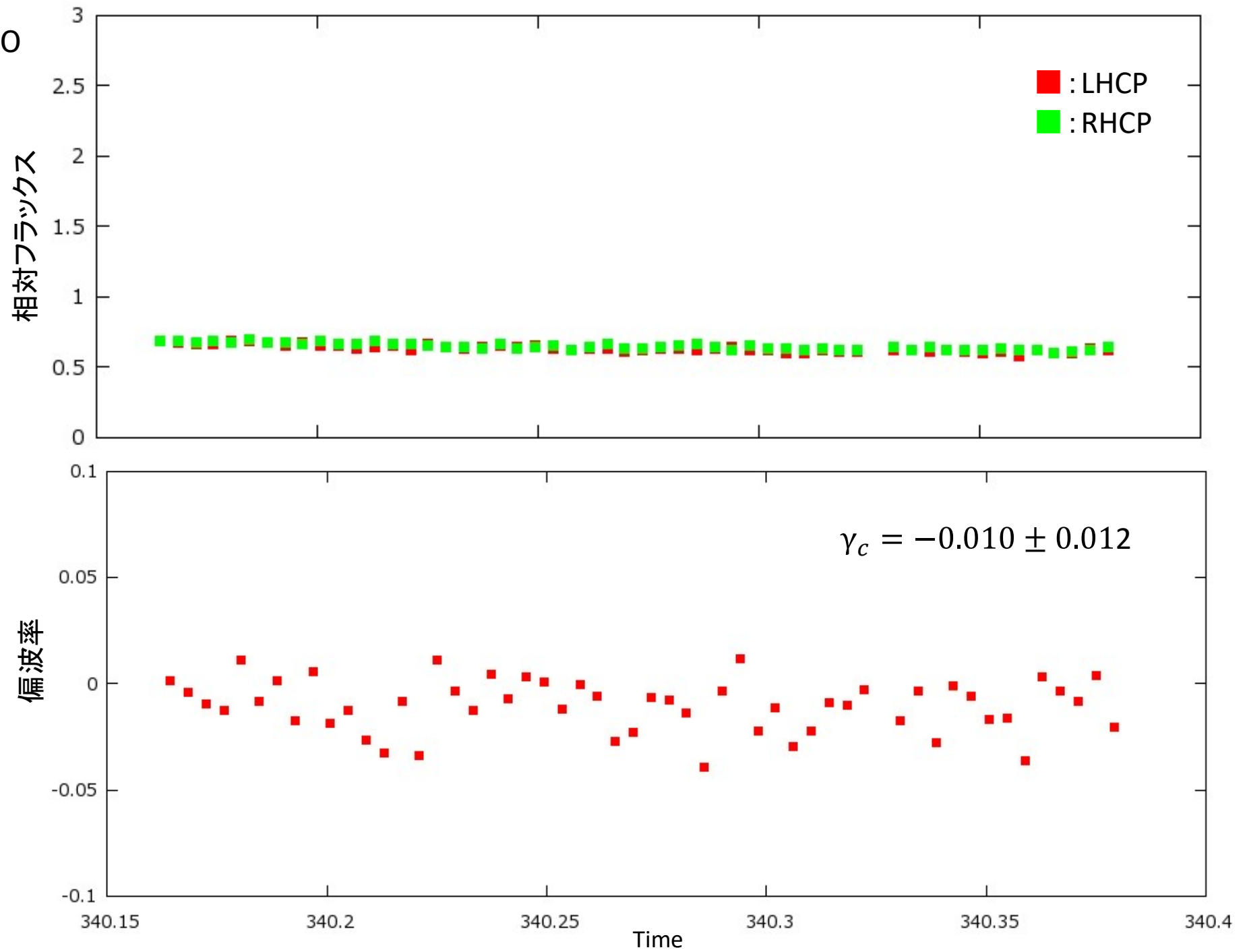
- ・観測天体: G33.641-0.228
- ・観測日: 2014年2月15日～2015年12月31日(計400日分)
- ・使用望遠鏡: 山口32m電波望遠鏡
- ・左右両円偏波について独立な観測



339

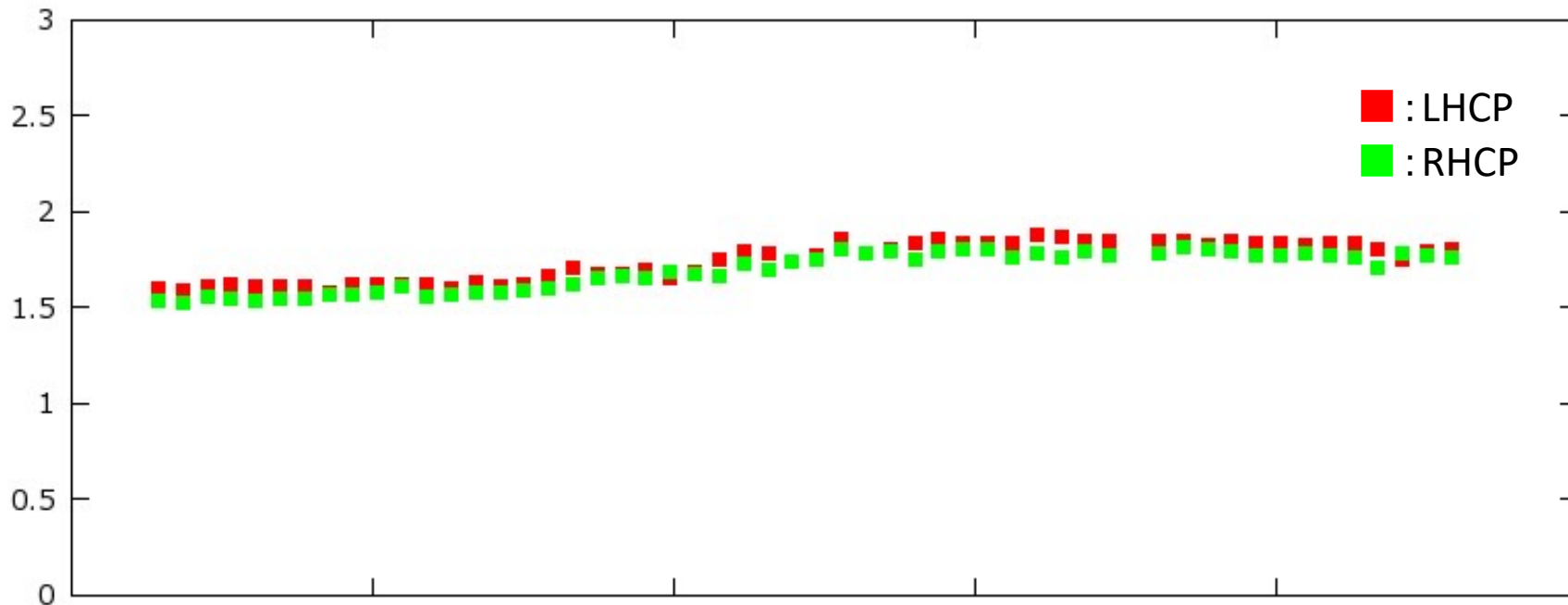


340

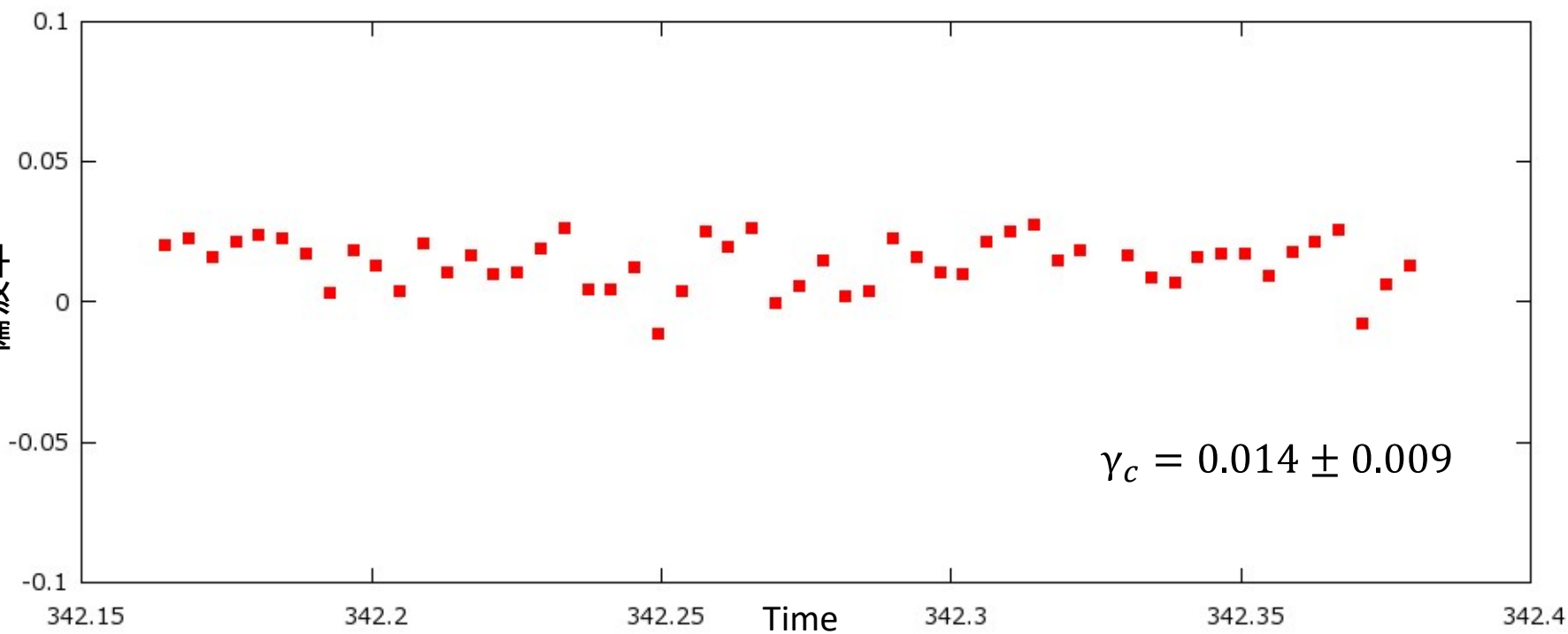


342

相対フラックス

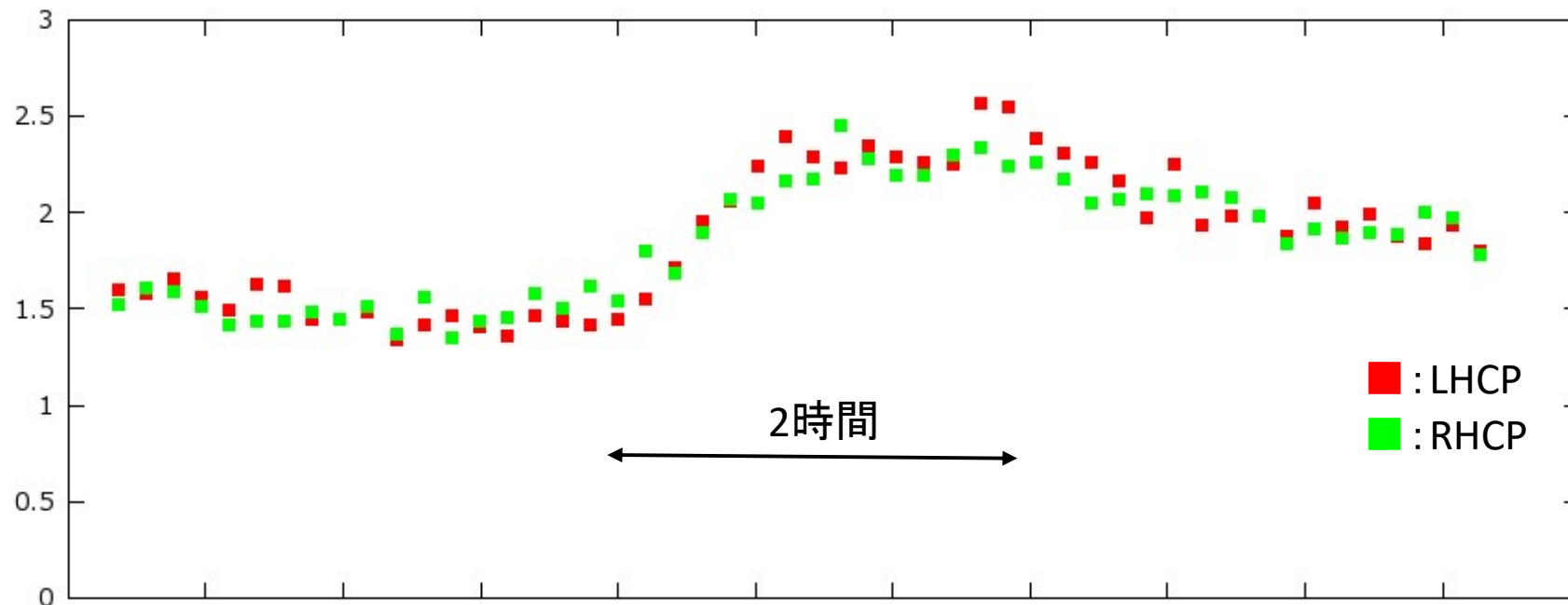


偏波率

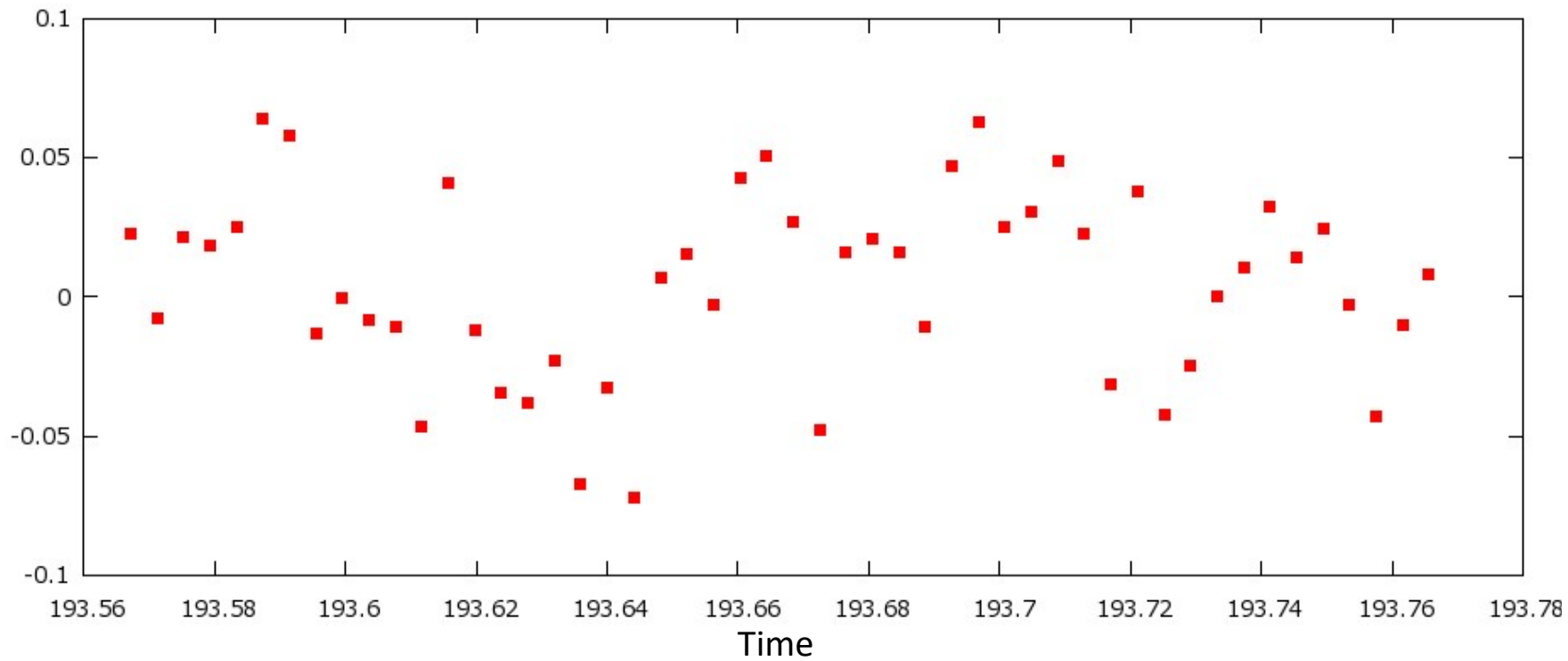


193

相対フラックス

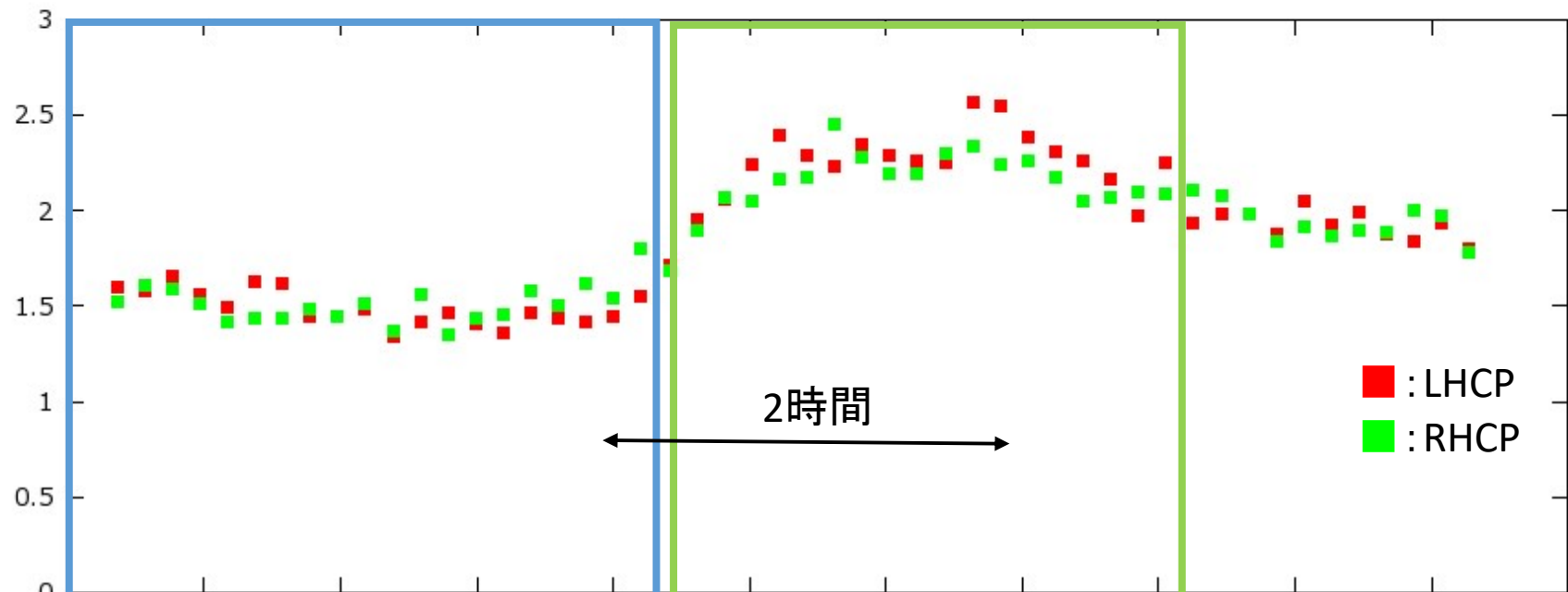


偏波率

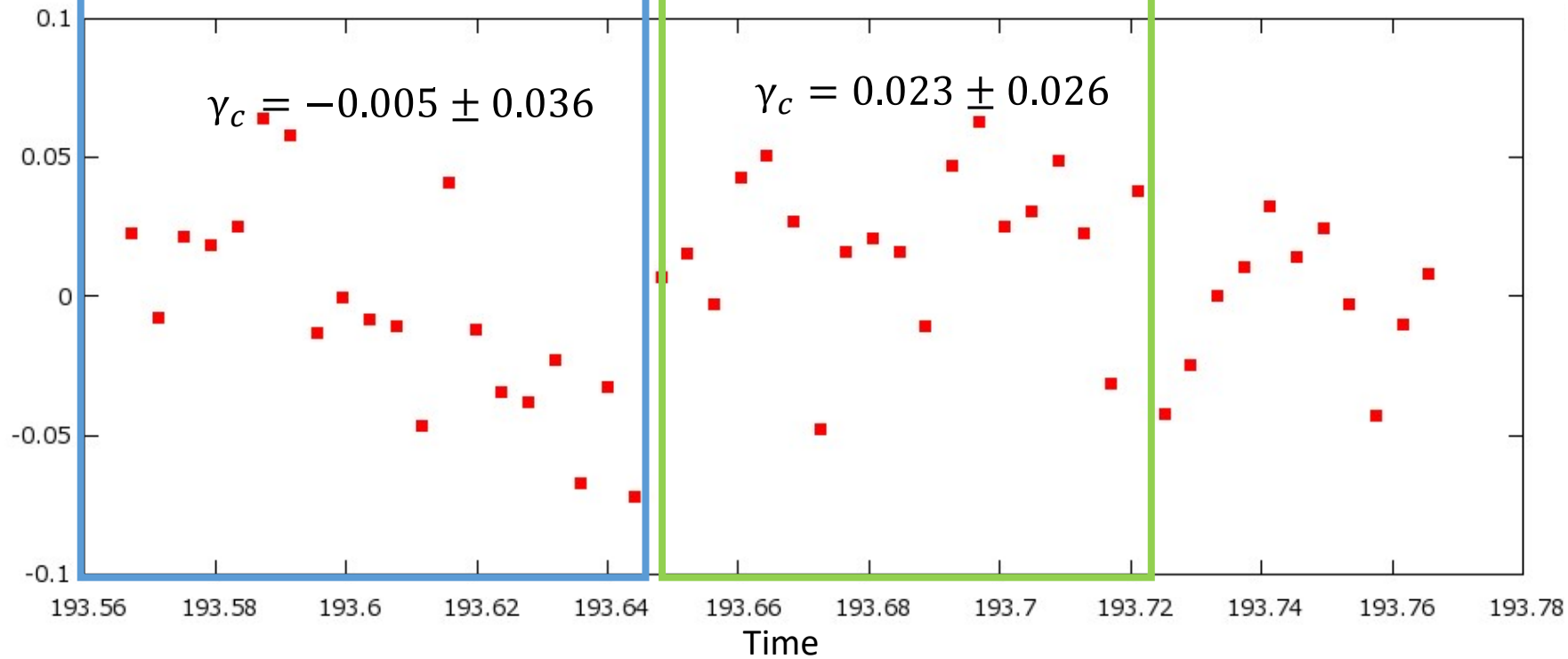


193

相対フラックス

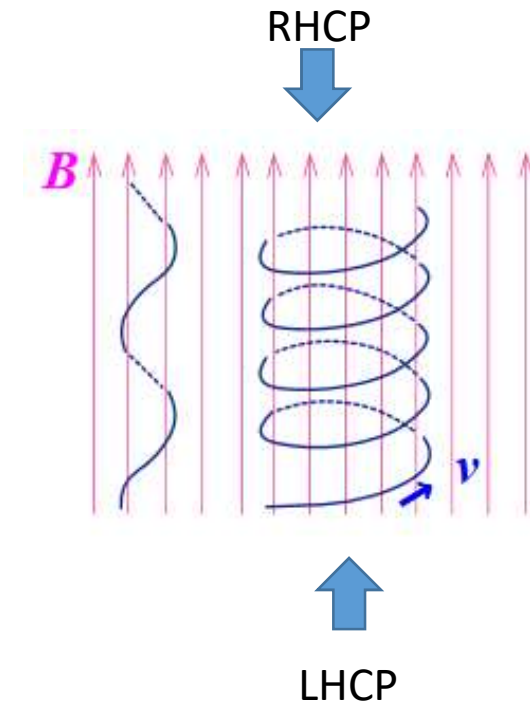


偏波率



第Ⅱ成分の偏波率について

- 平穏時(< 50Jy)
偏波率 $\gamma_{cⅡ} = -0.09 \pm 0.01$ ←RHCPが卓越
- バースト中
減光時(DOY 340)
偏波率 $\gamma_{cⅡ} = -0.10 \pm 0.12$
増光時
偏波率 $\gamma_{cⅡ} = 0.014 \pm 0.009$ ←LHCPが卓越



磁場の向きが反転することが強度変動の原因??

2時間で磁場の向きが変動しているとすると、スポットサイズは、

$$\frac{3.0 \times 10^8 \times 2 \times 3600}{1.5 \times 10^{11}} = 14.4[\text{AU}]$$

→VLBI観測を実施

観測概要

観測日	2018年11月23日
観測局	VERA4局、日立、山口32m
観測周波数	6.7GHz
帯域幅	4MHz
分光点数	4096点
ターゲット天体	G33.641-0.228
較正天体	G9.62 J1733-1304 J1824+0119

観測にご協力いただいた皆様、ありがとうございました。

Summary

- ・本研究では、G33.641-0.228のバースト的強度変動と磁場の関係を明らかにすることを目的とした。
- ・通算日223-227、239-241、339-341の計11日間で観測を行った。
- ・通算日 239-241では、第Ⅱ成分のみフラックス密度が平穏時の10倍を示すバースト的強度変動を確認した。
- ・各成分の偏波率を調べたところ、成分Ⅰ、成分Ⅳには有意な偏波は見られなかった。成分Ⅱは、バースト時には有意な偏波は見られなかったが、平穏時には偏波率が負になることが分かった。
- ・2015年度の観測結果より、強度変動と偏波率の関係を調べると、増光時には偏波率が正の値を示していることが分かり、磁場の向きが変動している可能性が示唆される。2時間のタイムスケールでの変動を仮定すると、変動を起こすメーザのスポットサイズが14.4 AUと推測される。
- ・メーザのスポットサイズの同定と、強度が低下した成分のスポットを同定するため、VLBI観測を行った。