

卒業論文

IRAS 22198+6336 における
6.7 GHz メタノールメーザー円偏波率の
高頻度観測データの解析

2020 年度

(令和 2 年度)

茨城大学理学部理学科

物理学コース

17S2025A

田中美帆

概要

6.7 GHz メタノールメーザーの多くは大質量星形成領域で発生するが、未だ発生機構は不明な点が多い。先行研究から磁場との関連が示されたため、本研究では、6.7 GHz メタノールメーザー源が付随している IRAS 22198+6336 に対して高萩 32 m 電波望遠鏡を用いた高頻度観測を行い、バースト期間の円偏波率の時間変動を調べた。今回の観測では観測上のトラブルにより、予定していた短い時間スケールでの強度較正ができなかったが、いくつかの速度成分では円偏波の時間変動の兆候が見られるという結果になった。

目次

1. 序論	3
1—1. 背景	3
1—2. 先行研究	3
2. 観測	6
2—1. IRAS 22198+6336	6
2—2. 観測諸元	6
2—3. 観測方法	8
3. 解析	9
3—1. 補正	9
3—2. 解析方法	10
4. 結果	11
5. 考察	17
謝辞	18
参考文献	19
付録	20

1. 序論

1-1. 背景

IRAS 22198+6336 (以降 IRAS 22198) には 6.7 GHz メタノールメーザー源が付随しており、それは周期的に強度変動している。6.7 GHz メタノールメーザーの多くは大質量星形成領域で放射されるものである。しかし、大質量星の数が少ないことや運動の観測が困難であることなどにより、大質量星の形成過程については未だに十分には解明されていない。よってメタノールメーザーの発生機構について調べることは大質量星形成過程の解明のために重要なことである。

メーザーのような電波には右回りと左回りの成分があり、その強度が同じ場合は無円偏波となる。しかし、磁場中を通ると2つの成分が相対的に強まったり弱くなったりして円偏波率の変動が見られることが分かっている。そしてメタノールメーザーの周期変動の原因の一つとして磁場が関係していると予測されている。そこで周期変動する 6.7 GHz メタノールメーザー源であり、現在観測されている 6.7 GHz メタノールメーザー源で唯一の中質量星である IRAS 22198 で円偏波率を測定し、その時間変動を調べた。

1-2. 先行研究

6.7 GHz メタノールメーザーの円偏波率の変動に関する先行研究があるのでここに示す。

藤沢 (2016)

大質量星形成領域 G33.641-0.228 の 6.7 GHz メタノールメーザーでは、バースト的な強度変動を示す速度成分のうち一つの成分の円偏波率の絶対値が3時間という短時間で10 %から5 %へと半減していることが分かった (図 1-2-1 右図 青色で示された速度成分)。他成分が-3 %から3 %程度の間で変化しているため、有意な変化だと考えられる。このような短時間で強度・円偏波率変動する性質を持つ放射として太陽フレアで観測されるシンクロトロン放射があり、太陽フレアと似た現象が大質量星形成領域で起きている可能性が考えられる。また、円偏波率の時間変動は、強度変動とは相関を示していない。

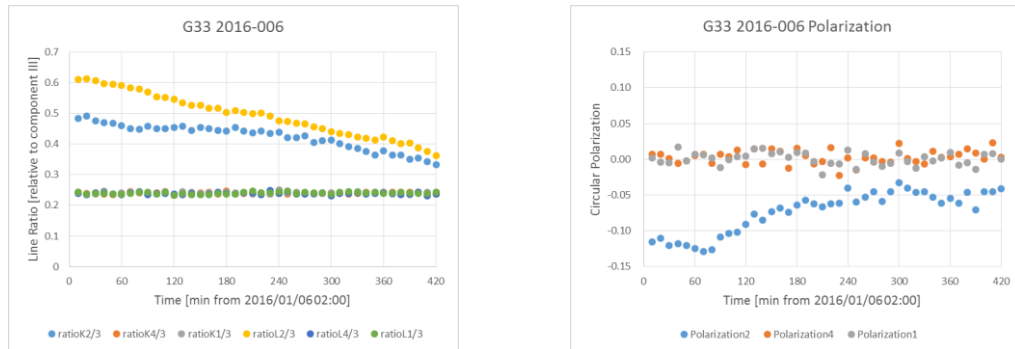


図 1-2-1 G33.641-0.228 の強度および円偏波率の時間変動プロット（藤沢 2016）。左図が各速度成分のフラックス密度の時間変動プロット。右図が左図期間の円偏波率の時間変動プロット。

平原（2018）

茨城大学が管理、運用している日立 32 m 電波望遠鏡での観測点のうち 417 点においての受信機のゲイン変動の較正、円偏波率の解析を行ったところ、円偏波率変動している可能性がある速度成分が見つかった。また、フラックス密度が大きくなるにつれて、円偏波率が平均値に収束していくこと、収束していくデータ分布に対して、円偏波率の絶対値が変化する方向へ明らかに外れるデータ点（図 1-2-2 下図 70 Jy あたりのデータ点）があることが分かった。円偏波率変動する速度成分を持つ天体は G14.230-0.509、G33.64-0.21、IRAS 22198 である。

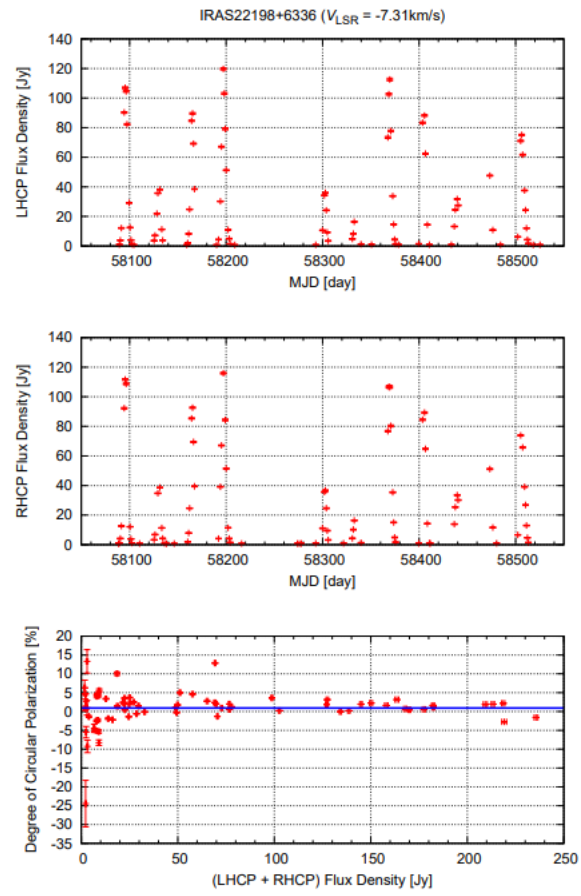


図 1-2-2 IRAS 22198 の -7.31 km/s 成分の LHCP フラックス密度、RHCP フラックス密度の時間変動プロットおよび円偏波率のプロット (平原 2018)。

2. 観測

2－1. IRAS 22198+6336

本研究で観測した IRAS 22198 は暗黒星雲 L1204G 中に位置しており、系の視線速度は $V=-11$ km/s である (Tafalla et al. 1993)。光度と質量は 370 太陽光度、5 太陽質量と求められている (Sánchez-Monge et al. 2010)。これまでの研究で以下のことが知られている (Fujisawa et al. 2014)。

- (1) 中質量星形成領域に付随すること
- (2) 非常に激しいバーストを起こすこと
- (3) バーストの上昇と下降の様子は対称的であること
- (4) 視線速度成分によりバーストの開始と終了時期が異なり、時間変動の様子も違うこと
- (5) 周期的にバーストを起こし、その周期は 34.6 日であること

2－2. 観測諸元

本研究では、IRAS 22198 に付随するメーザーがバースト時に円偏波率の変動も合わせて示すかを探ることを目的に、予想されたバースト期間に合わせて集中的な高頻度モニター観測を実施した。観測に用いたアンテナは大学が管理、運用している高萩 32 m 電波望遠鏡である。表 2-2-1 に高萩 32 m 電波望遠鏡の観測諸元を記す。

表 2-2-1 高萩 32 m 電波望遠鏡の観測諸元。

観測アンテナ	高萩 32 m 電波望遠鏡
観測周波数	6.664--6.672 GHz
分光点数	8192 点 (速度分解能 0.132 km/s)
観測偏波	左円偏波 (LHCP) 右円偏波 (RHCP)
検出感度 (ノイズ 3σ)	0.9 Jy

IRAS 22198 は茨城大学が行っているモニター観測にて毎日観測されている。本研究の観測期間はモニター観測にて取得された全データを用いてバーストの周期と期間を改めて求め直し、2020/09 以降に予測されるバースト期間を予測して決定した。使用したモニター観測の実施期間は表 2-2-2 の通りである。データを扱う時、ピークの前後 5 日間が観測されていないものは正確さに欠けるため除外した。表 2-2-3 に実施した高頻度観測の期間を記す。また、アンテナ保守作業のため第 1 期間 2020/10/5--2020/10/7 までは観測不可であった。

表 2-2-2 使用したモニター観測の IRAS 22198 の観測期間。

第 1 期	2012/12/30-- 2014/01/10
第 2 期	2014/05/09--2017/03/06
第 3 期	2017/06/14--2018/04/15
第 4 期	2018/06/04--2020/08/09

表 2-2-3 高頻度観測を行った期間。

第 1 期間	2020/10/2 (MJD = 59124)--2020/10/4 (MJD = 59126) 2020/10/8 (MJD = 59130)、2020/10/9 (MJD = 59131)
第 2 期間	2020/11/2 (MJD = 59155)-- 2020/11/13 (MJD = 59166)

本研究で観測した速度成分を表 2-2-4 にまとめた。小さいものから第 1 速度成分、第 2 速度成分、などと名前を付けた。

表 2-2-4 観測した視線速度成分。

第 1 速度成分 (V1)	-16.7 km/s
第 2 速度成分 (V2)	-16.2 km/s
第 3 速度成分 (V3)	-15.5 km/s
第 4 速度成分 (V4)	-11.0 km/s
第 5 速度成分 (V5)	-9.16 km/s
第 6 速度成分 (V6)	-8.68 km/s
第 7 速度成分 (V7)	-7.36 km/s

2 – 3. 観測方法

本研究の高頻度観測では方位角が一定ではないため、指向誤差、開口能率の補正のために較正天体が必要である。そのために 1 日の強度変動が小さく、IRAS 22198 と 5 度の離角（赤経方向に 35 分、赤緯方向に 1 度 49 分）に位置する Cepheus A（以降 Cep A）を較正天体として選出した。IRAS 22198 は 10 分ごとに 1 度観測し、間隔を空け Cep A も観測を行った。Cep A は十字観測、IRAS 22198 は ON 点 OFF 点観測である。表 2-2-3 の観測期間中、観測できる位置に天体があるときは常に追跡し、観測データを集めた。

3. 解析

3-1. 補正

Cep A を用いた補正を行おうとした。しかし IRAS 22198 と Cep A の1日の強度変化の様子を比較すると図 3-1-1 のように1日の終わり頃に Cep A の強度が急激に減少する一方、IRAS 22198 の強度ではそのような傾向が見られなかった。このことは、Cep A の観測時のみに何らかの観測上のトラブルが起きていたことを示唆する。したがって、今回の解析では Cep A の観測結果を用いた補正は行えず、本研究では短い時間スケールでの強度が補正されていないデータを用いることになった。

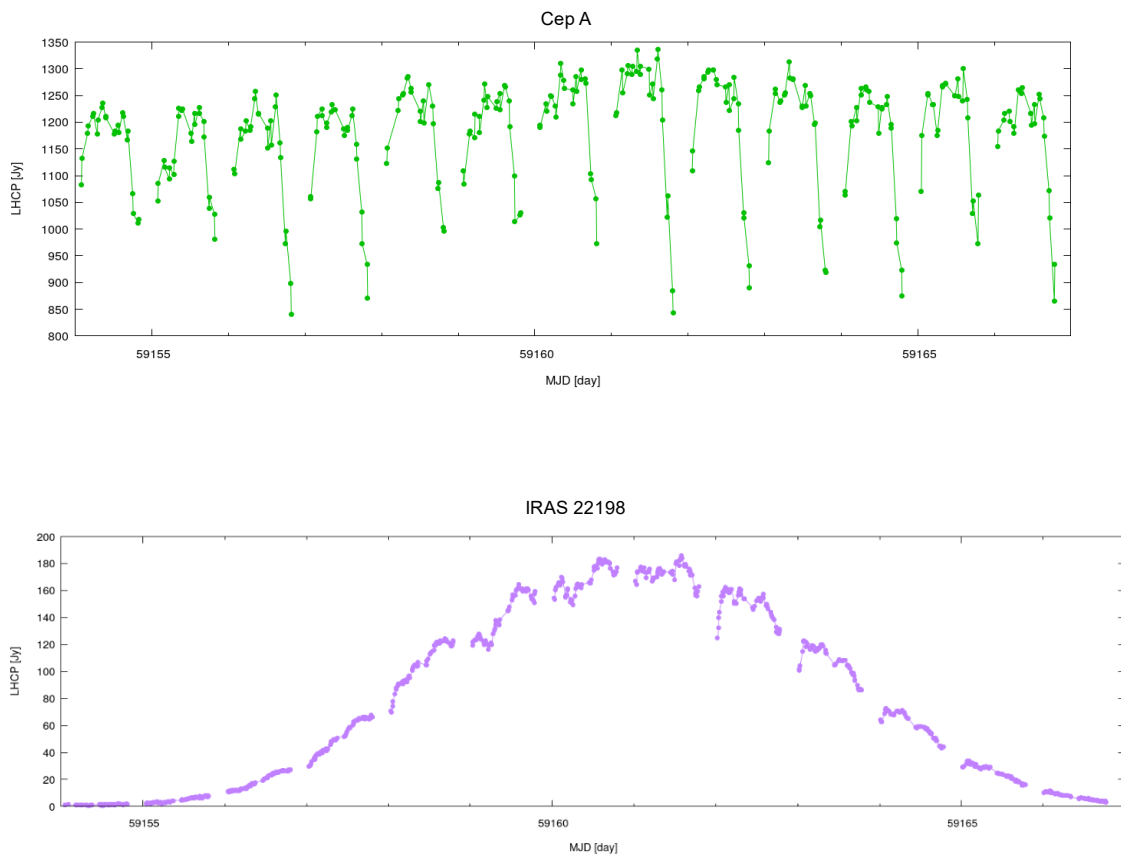


図 3-1-1 Cep A と IRAS 22198 の最も強度が強い速度成分の時間変動プロット。1回の観測スケジュールごとに線で結んだ。

3 - 2. 解析方法

表 2-2-3 に示した期間の観測データに対して、ノイズレベルの rms を 1σ として 3σ 以下のものを除いた全データの強度の時間変動プロットを gnuplot で作成した。そして同期間の LHCP フラックス密度、RHCP フラックス密度から円偏波率を導出した。円偏波率は以下の式で導出する。

$$(\text{円偏波率}) = \frac{F_v^{(R)} - F_v^{(L)}}{F_v^{(R)} + F_v^{(L)}} \times 100$$

ここで $F_v^{(L)}$ は LHCP フラックス密度、 $F_v^{(R)}$ は RHCP フラックス密度である。次にフラックス密度が最も大きい第 7 速度成分は偏波をしていないと仮定し、第 7 速度成分の円偏波率の平均値を全速度成分の円偏波率から引いたものの時間変動プロットを作成した。円偏波率の検出感度向上のため、フラックス密度の 6 時間ごとの平均値でも円偏波率を求め、同図にプロットした。

4. 結果

観測で得られた各速度成分の全視線速度成分フラックス密度の時間変動プロットを図 4-1、4-2 に示す。第 1 期間は観測開始が遅かったため、また期間の途中で観測できない日があったため、強度変動を示す期間全体を捉えられなかった。

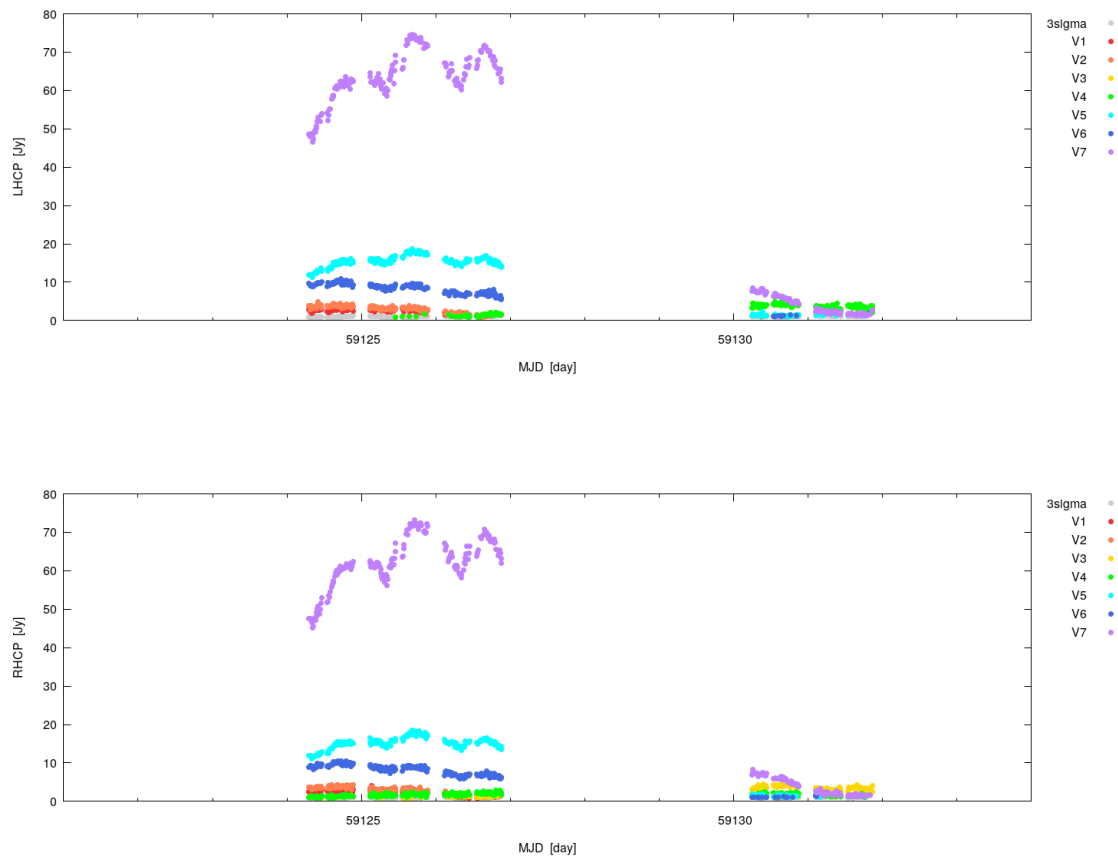


図 4-1 上図が第 1 期間の LHCP フラックス密度、下図が同期間の RHCP フラックス密度の時間変動プロット。バーストの途中から、かつ途中 3 日間のデータを取得できない観測となってしまった。

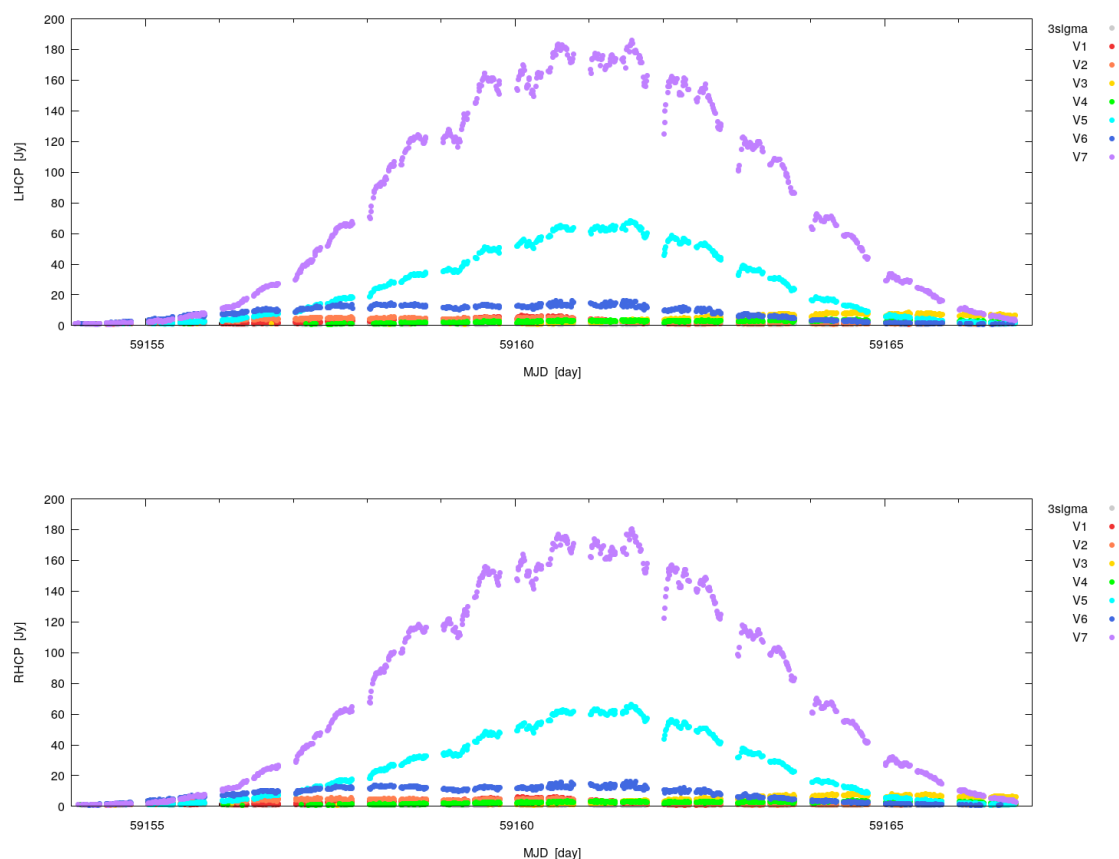
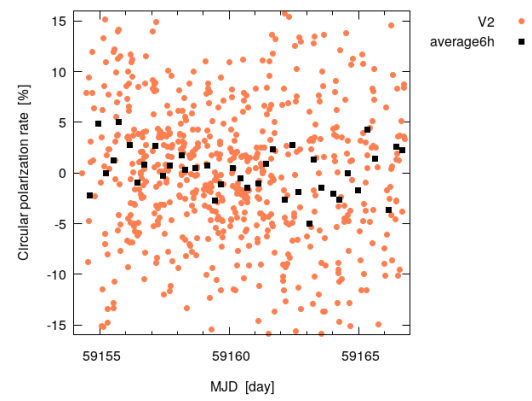
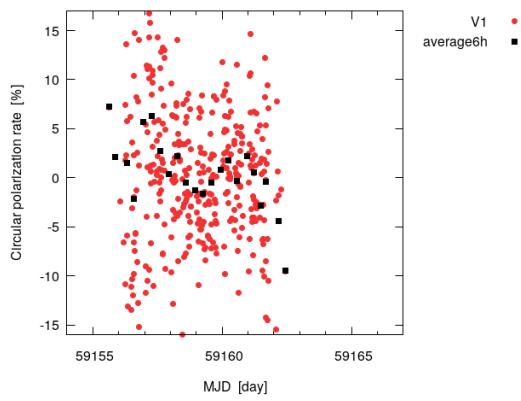
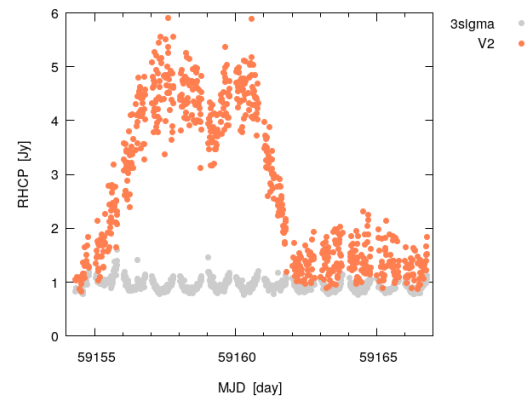
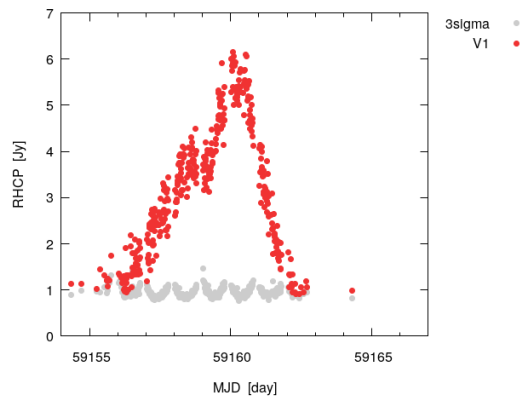
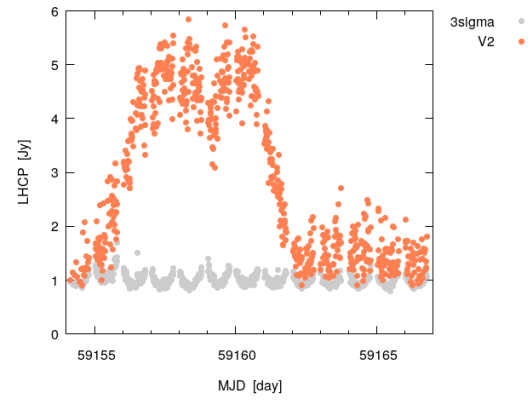
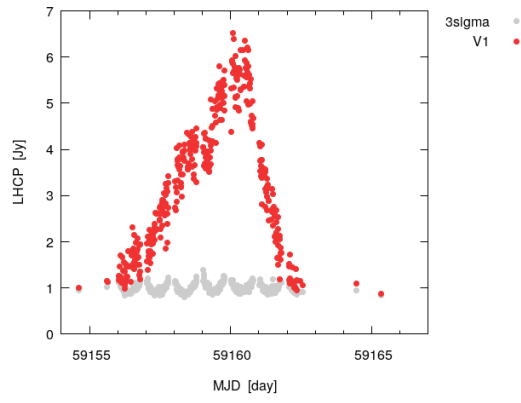
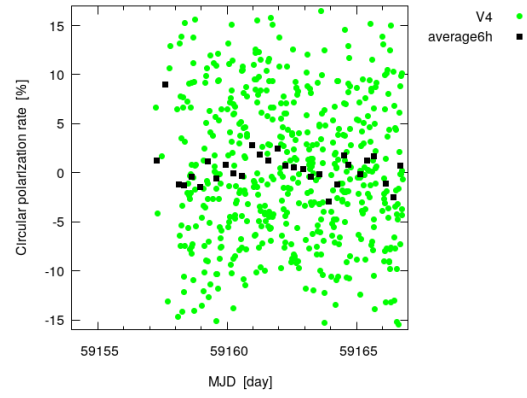
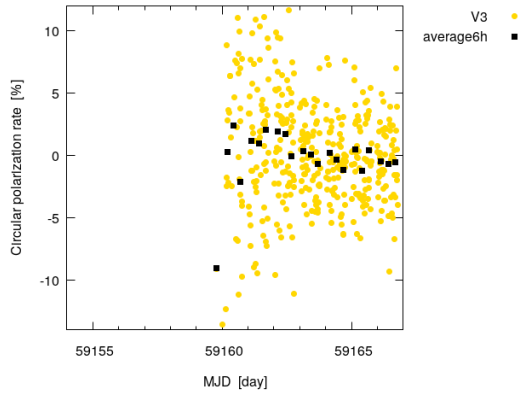
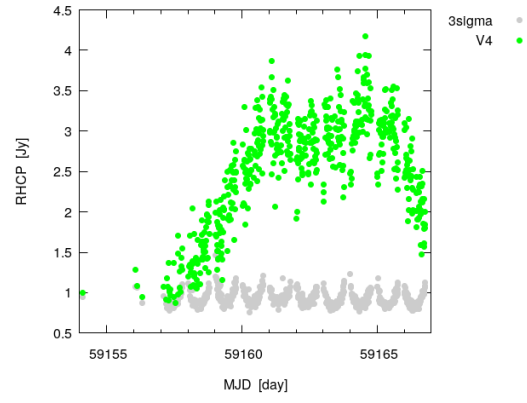
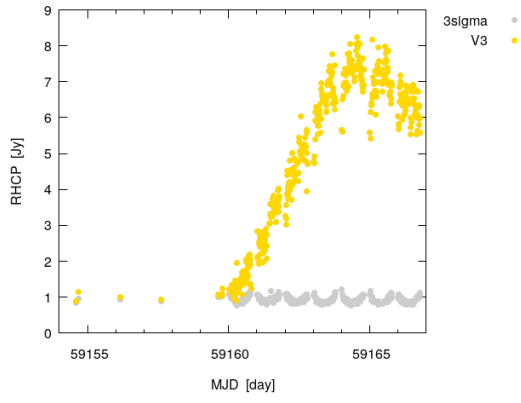
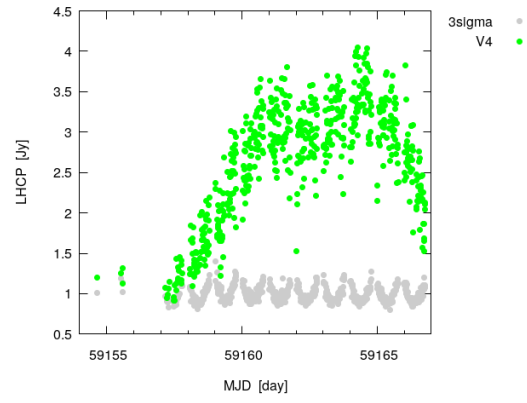
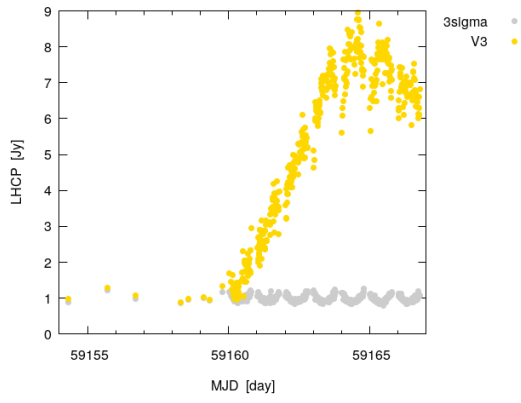
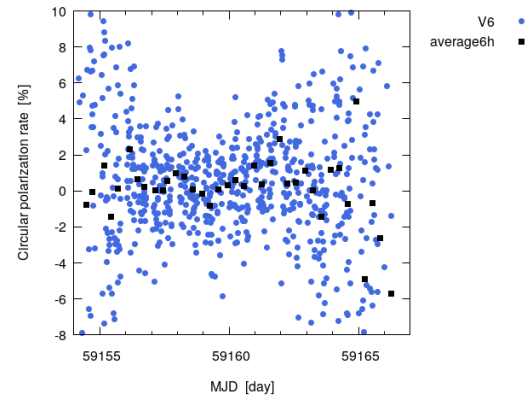
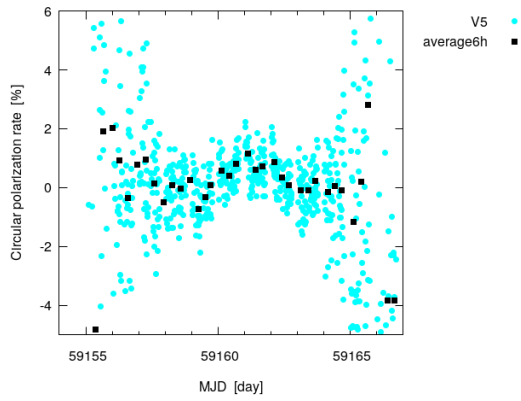
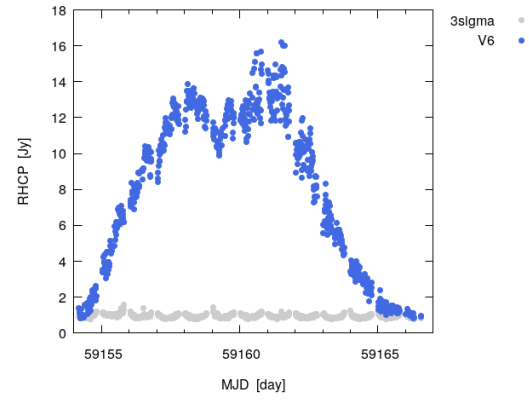
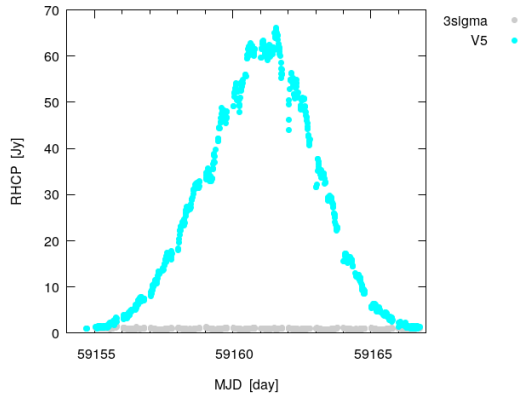
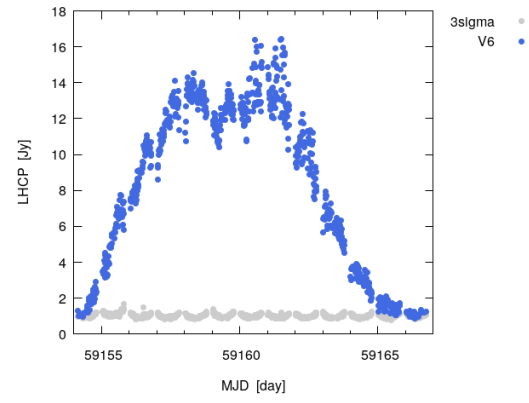
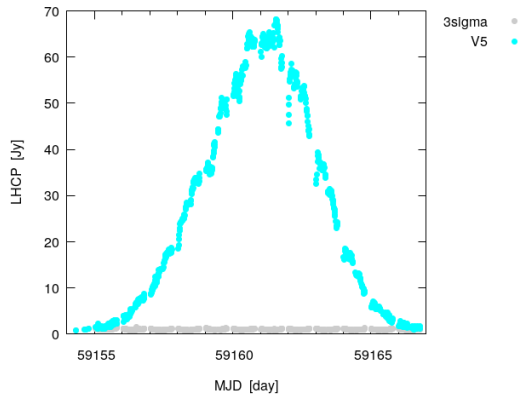


図 4-2 上図が第 2 期間の LHCP フラックス密度、下図が同期間の RHCP フラックス密度の時間変動プロット。おおよその速度成分でバースト期間を捉えられた。

第 1 期間は強度変動を示す期間全体を捉えられなかったため、以下に第 2 期間の各速度成分の解析結果を拡大して示す。それぞれ上段が LHCP フラックス密度、中段が RHCP フラックス密度、下段が円偏波率の時間変動プロットである。







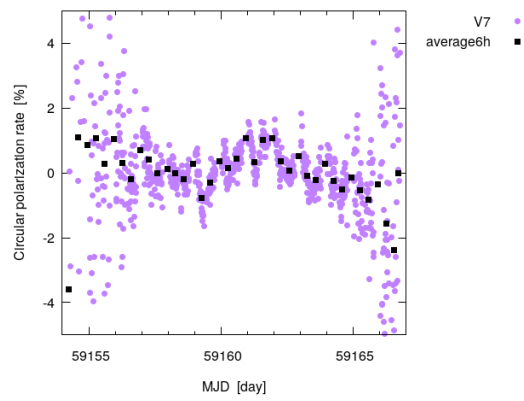
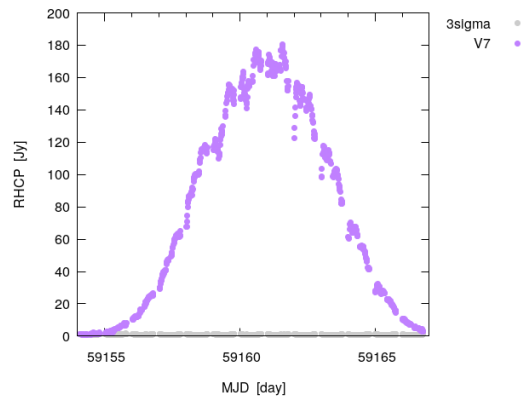
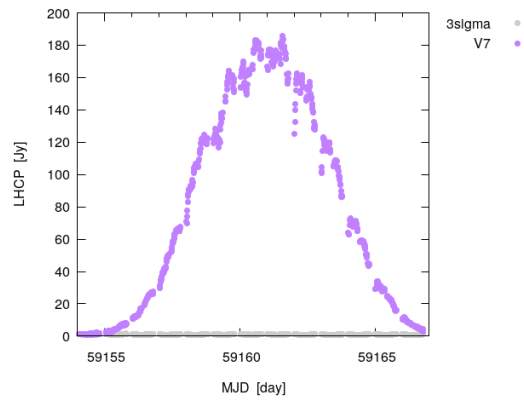


図 4-3 各速度成分の強度と円偏波率の時間変動プロット。灰色のプロットは検出感度である。各円偏波率のグラフ中の黒点は、フラックス密度を 6 時間ごと平均した後に求めた円偏波率である。

5. 考察

今回の観測では、特に第 5 から第 7 の速度成分で円偏波率の時間変動が見られた。そして異なる速度成分でも相関して時間変動しているように見える。しかし先行研究のように明確な正の方向や負の方向への変動は見られなかった。フラックス密度が大きいほど円偏波率ほど分散が小さいことが分かった。今回は補正が行えなかったのでアンテナ起因による円偏波率の変動を、天体起因の円偏波率の変動と誤って解釈している可能性がある。

謝辞

わたしが本研究を終えることができたのも多くの人に助けられたからです。

特に担当指導教諭である米倉覚則教授には、大変お世話になりました。卒業研究発表会のポスター作製の際には直前まで何度も修正やご助言をしてくださり、そのおかげで研究結果に対する誤った認識を正すことができました。他にも研究指針や進め方などを教えてくださり、多くの点でお力添えを頂きました。ゼミでは百瀬宗武教授に指導して頂き、電波天文学の基礎を学ぶことができました。平原慶裕先輩は、研究を進める上で分からないことを質問すると、自分の研究があるにも拘らず快く懇切丁寧に答えてくださいました。ポストドクターの田辺義浩さんには発表の練習に付き合ってください、発表会当日には自信を持つことができました。研究室の先輩方は温かく迎えてくださり、同期の4年生にも恵まれ、とても充実した研究室での生活、大学生活を送ることができました。

研究に関わってくださった全ての皆様に深く感謝いたします。ありがとうございました。

参考文献

- [1] 岩井一正, 『電波で見る太陽の磁力線』, 天文月報, 2014 年 8 月
https://www.asj.or.jp/geppou/archive_open/2014_107_08/107_414.pdf (2021/03/11 閲覧)
- [2] 藤沢健太, 『大質量星形成領域 G33.641-0.228 の 6.7 GHz メタノール・メーザが示す円偏波とその短時間変動』, 茨城大学重点研究会:「偏波・偏光観測によるサイエンス」2016 年 1 月 26 日ポスター発表資料, 2016
- [3] 平原慶裕, 『6.7 GHz メタノールメーザの円偏波率変動の研究』, 茨城大学 理学部理学科 学際理学コース 学士卒業論文, 2018
- [4] Tafalla, M., Bachiller, R., & Martin-Pintado, J. 『Dense Cores in L1204/S140: Star Formation and Velocity Shifts』, ApJ, 403, 175, 1993
- [5] Sànchez-Monge, A., Palau, A., Estalella, R., et al. 『IRAS 22198+6336: Discovery of an Intermediate-mass Hot Core』, ApJL, 721, L107, 2010
- [6] Fujisawa et al., 『Periodic flare of the 6.7-GHz methanol maser in IRAS 22198+6336』, Publ. Astron. Soc. Japan, 66, 78, 2014

付録

Cep A による補正はうまくいかなかったが、付録として行った結果をここに示す。

補正の方法としては、Cep A の補正値をまず求める。Cep A の一番強い強度の速度成分で全期間分の平均値をとり、それを Cep A の基準値とすると補正値 $a(t)$ は以下の式で導出できる。

$$a(t) = \frac{\langle F_v \rangle}{F_v(t)}$$

ここで $\langle F_v \rangle$ は全期間分の平均値（基準値）、 $F_v(t)$ は各観測点のフラックス密度である。この補正値を Cep A の全観測点で求め、時間変動プロットを作成し、時間に依存する関数として各観測点の間を線形補間する。IRAS 22198 のほうが Cep A の赤経よりも 35 分程早いことを考慮して、同じ赤経での補正値を IRAS 22198 の観測したフラックス密度にかけて補正を行う。第 2 期間の補正前と補正後の結果を図 A-1、A-2 に示す。1 日の終わり頃に補正値が大きくなりすぎていることが分かる。

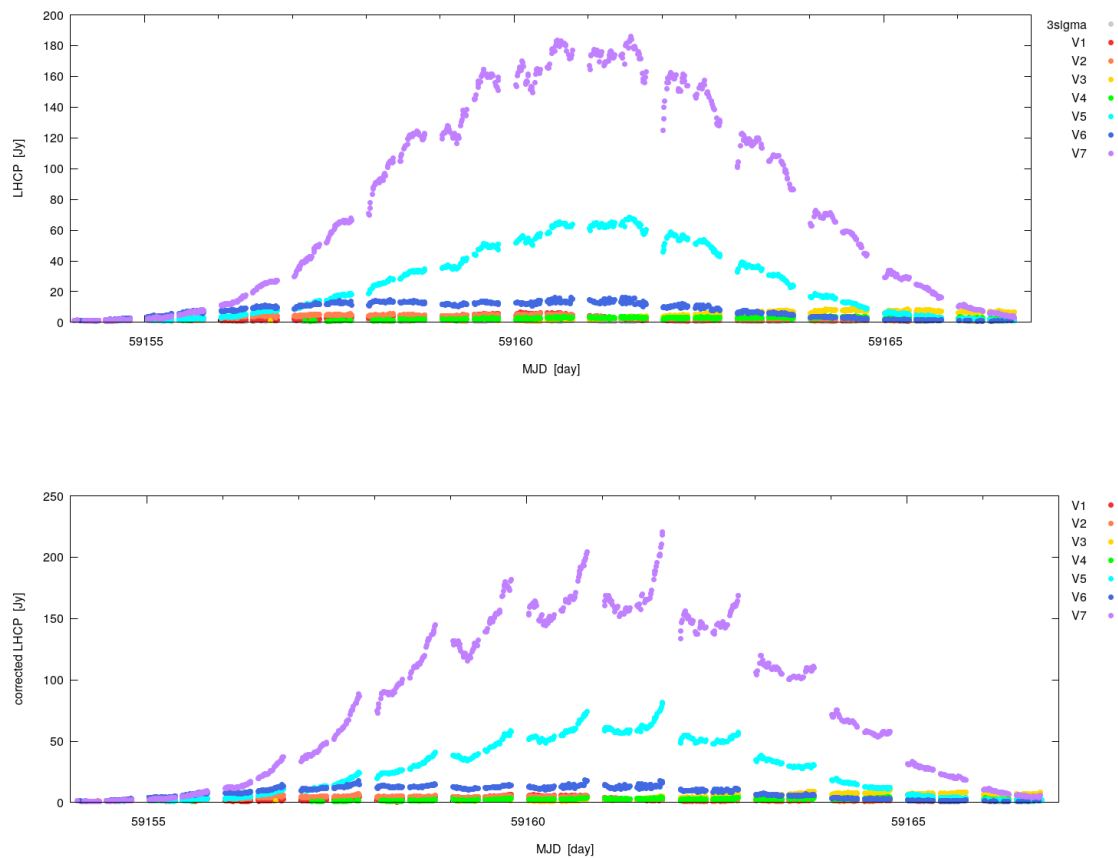


図 A-1 LHCP フラックス密度の補正前後の時間変動プロット。上図が補正前、下図が補正後である。

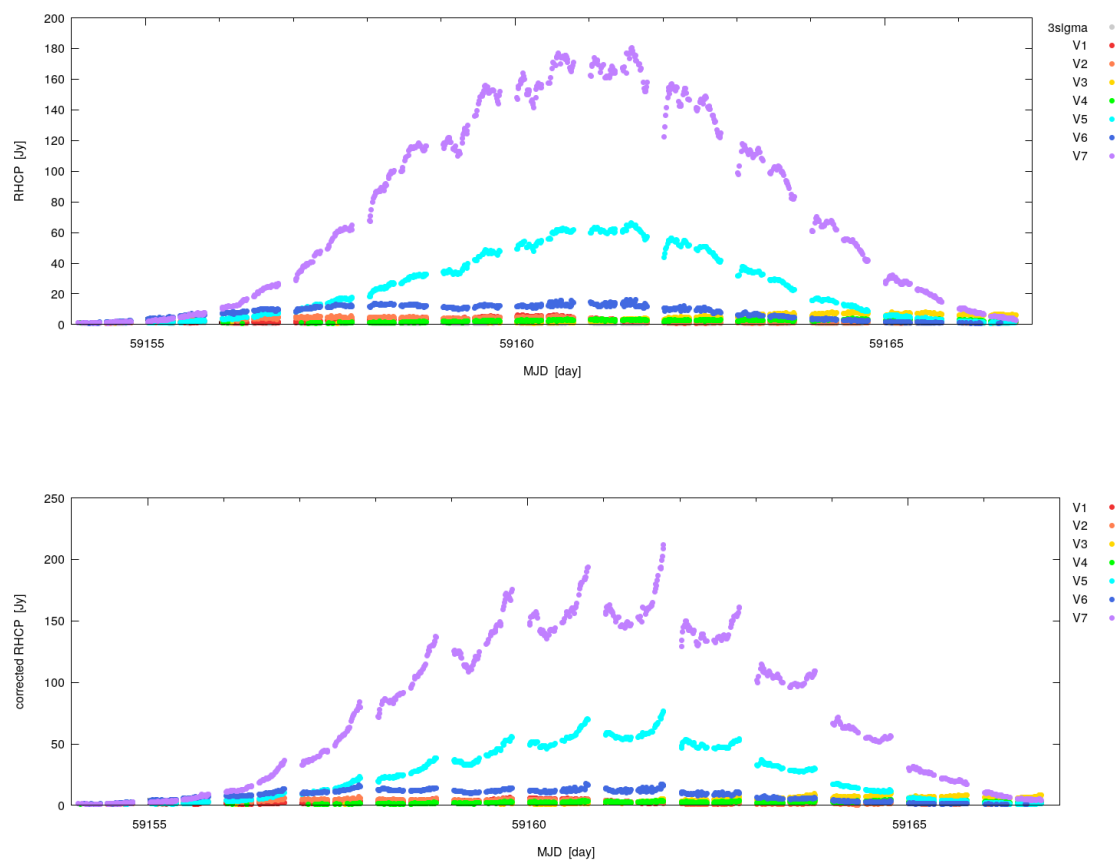


図 A-2 RHCP フラックス密度の補正前後の時間変動プロット。