

卒業論文

茨城大学理学部理学科物理学コース
20s2032T 村田千和

2024 年 2 月 27 日

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	電波天文学とは	1
1.2	VLBI とは	1
1.3	メーザーとは	2
1.4	メタノールメーザーとは	2
1.5	大質量星とは	2
1.6	モニター観測とは	3
第 2 章	つぎに	4
2.1	研究背景	4
2.2	先行研究	5
2.2.1	NGC	6
	NGC6334	6
2.2.2	W3(OH)	7
第 3 章	観測	8
3.1	観測概要	8
3.1.1	観測諸元	8
3.1.2	解析方法	9
3.2	放射検出の定義	10
第 4 章	解析結果	11
4.1	19.9 GHz メタノールメーザー放射の検出天体数	11
4.2	先行研究との比較	12
4.3	モニター観測との比較	15
4.4	強度変動の原因調査のための追観測	16

第 5 章	考察	18
第 6 章	今後の展望	19
付録 A	観測スケジュール	21
付録 B	3 sigma スペクトル	51
付録 C	python コード	82
参考文献		89

概要

この研究は大質量星形成過程の解明に近づくために行った。大質量星とは、太陽と同程度の質量を持つ星を中小質量星と呼ぶのに対して、太陽より 8 倍以上重い星のことである。メタノールメーザーは大質量星形成領域でのみ検出されるため、大質量星形成過程の解明に有効である。6.7 GHz メタノールメーザーは、広い範囲の物理状態 (ガス温度・ダスト温度・ガス密度) で強く観測されると予想されるため物理状態の特定は困難である。一方、19.9 GHz のメタノールメーザーはより狭い範囲の物理状態で観測されると予想され、この観測が物理状態の特定に大きく貢献すると考えた。高萩 32m 電波望遠鏡で、2023 年 12 月 21 日から 2024 年 1 月 29 日まで観測を行ったところ、3 sigma 以上の放射は 246 天体検出された。5 sigma 以上の放射は 3 天体検出された。

第 1 章

はじめに

1.1 電波天文学とは

電波天文学とは、電磁波を使って観測する天文学の一分野である。その中でも波長の長く、エネルギーの低い電波を使う。可視光など他波長では見えないものを見ることが出来る。通常は昼に天体観測は出来ないが、電波では観測することが出来る。波長が長いので、ガスに混じって大量にある星間微粒子による吸収を受けず、天の川銀河や系外銀河の奥まで見渡すことが出来る。また、電氣的に干渉技術が容易である。このように多くの利点がある。[1]

1.2 VLBI とは

VLBI とは、Very Long Baseline Interferometer の略。日本語訳だと超長基線電波干渉計。電波干渉計のうち、100 km を越えるような、地理的に遠く離れているアンテナ同士を結合して基線を構成するものをいう。結合型の電波干渉計では、1つの標準周波数源からの基準信号を使って素子アンテナで受信した信号を、常設の専用線によって伝送し実時間で相互相関を調べるのに対し、超長基線干渉計では各アンテナ設置場所で受信信号波形を記録し、記録を1ヶ所に集めた後に再生して相関器で相互相関を調べる。全素子アンテナに共通する標準周波数源を参照することができないので、各アンテナ局に水素メーザー原子時計など周波数安定度が十分に高い周波数基準を用意し、アンテナが受信する電場信号を時刻情報とともに媒体に記録することで、素子アンテナ間の可干渉性を維持する。媒体には永らく磁気テープが用いられていたが、近年では固定ディスクに記録するシステムも実用化されている。予め協定を結んだ電波望遠鏡を必要に応じて組織化して超長

基線干渉計とすることが多いが、VERA や VLBA などのように超長基線干渉計専用のアンテナ群もある。信号を記録する部分で、媒体へのデータ書き込み速度などの制限により、観測帯域幅が大きく制限されることが多い。これを乗り越えるために、高速光ファイバー網を用いて遠隔地同士を直接結合し、事実上、結合型電波望遠鏡にしてしまう試みもなされた。[2]

1.3 メーザーとは

メーザーとは Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation(誘導放出によるマイクロ波増幅) のことである。これをマイクロ波 (Microwave) の代りに光 (Light) にすると、レーザー (LASER) となる。分子雲の分子ガスが高密度の状態になって、分子同士が衝突したり、星などから強い放射を受けたりすると、いくつかの種類の分子が電波を出しやすい状態 (励起状態) になることがある。そこへ外から電波が入ると、刺激を受けた分子が電波を放出する。放出された電波はまた次の分子に刺激をあたえて電波を放出させ、次から次へと電波が増えていき、そのガス雲を出るときには、入ってきた電波の強さは高い倍率で増幅される。こうして、「明るい」天体ができる。このようにして増幅された電波は、波の揃った強力な電波となる。これがメーザーである。メーザーは、分子の種類によって増幅できる電波の波長が違う。水蒸気なら 1.348cm、水酸基なら 17.98cm と決まっている。このため、メーザーはスペクトル線として観測される。[2]

1.4 メタノールメーザーとは

メタノールメーザーとは、メタノール分子 CH_3OH が励起されてメーザー作用を起こすメーザー源。メタノールメーザーは星形成領域でのみ発見され、明るさでは H_2O (水)メーザーに次いで 2 番目である。メタノールメーザーには 2 つのクラスがある。衝突によって励起されるクラス I と、赤外線によって励起されるクラス II。最も重要なクラス I メーザーの周波数は 44.1 GHz であり、最も重要なクラス II メーザーの周波数は 6.7 GHz。6.7 GHz class II メタノールメーザーは大質量星形成領域でのみ検出される。[2]

1.5 大質量星とは

大質量星とは、8 太陽質量未満の星を中小質量星というのに対して、太陽より 8 倍以上重い星のことである。一般に、中小質量星形成領域に比べ、大質量星形成領域は地球から

の距離が遠く、進化の進み具合が速いことから、観測が難しいという問題点がある。そのため、大質量星の誕生メカニズムについて未解明な点が多く残っている。観測を困難にさせるもう一つの要因として、大質量星は集団的に星が誕生している領域内で生まれる傾向にあるということが挙げられる。最近の研究では、太陽もこのような集団的に星が誕生している領域の中で生まれたという証拠が見つかってきている。[3]

1.6 モニター観測とは

モニター観測とは、国立天文台が高萩市・日立市に所有し、茨城大学が運用する口径 32 m の電波望遠鏡を用いる観測のことである。6.7 GHz メタノールメーザーと、12 GHz メタノールメーザーの観測をしている。6.7 GHz メタノールメーザーは 10 年以上継続、12 GHz メタノールメーザーは昨年からは毎日実施している。450 天体を 10 日に 1 回観測、変動の兆候が見られる 150 天体を 5 日に 1 回観測の 2 パターンのハイブリッドで行っている。

第 2 章

つぎに

2.1 研究背景

メタノールメーザーは大質量星形成領域でのみ検出されるため、大質量星形成過程の解明に有効である。6.7GHz メタノールメーザーでは数多くの観測が行われており、1000 天体以上が検出されている (例えば [4][5][6][7][8])。6.7GHz メタノールメーザーは、広い範囲の物理状態 (ガス温度・ダスト温度・ガス密度) で強く観測されると予想されるため物理状態の特定は困難である。一方、19.9GHz のメタノールメーザーはより狭い範囲の物理状態で観測されると予想され (図 2.1,2.2,2.3)、この観測が物理状態の特定に大きく貢献すると考えられる。

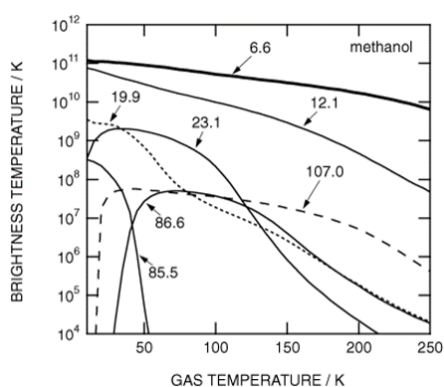


図 2.1: ガス温度

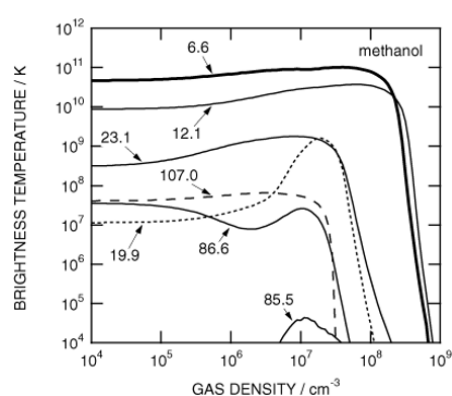


図 2.2: ガス密度

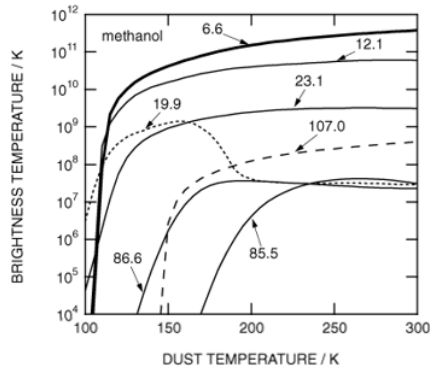


図 2.3: ダスト温度

2.2 先行研究

19.9GHz のメタノールメーザーの大部分の観測は十分にされておらず、検出された天体は 9 天体しかない。しかしそのうち大部南半球の天体であり、日本からは観測できない。(図 2.4,2.5[9][10])

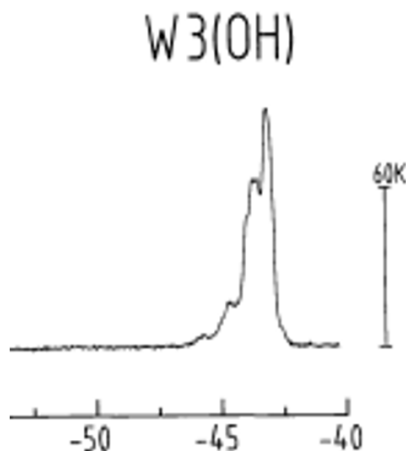


図 2.4: 133.9+10 先行研究

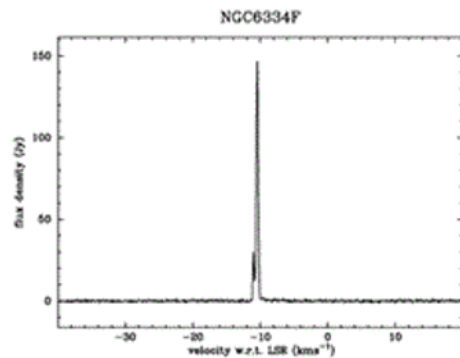


図 2.5: NGC6334F 先行研究

昨年の卒業生である酒匂氏は、放射が既知の 2 天体 (NGC6334F、133.9+10) と茨城大学で日立 32 m 電波望遠鏡を用いた 6.7GHz メタノールメーザーのモニター観測を行っている 434 天体のうちランダムに選んだ 184 天体に対して 1 天体あたり 5 分の積分時間の観測を行った。その結果、既知の 2 天体は先行研究と同じ速度範囲でメタノールメーザー放射が検出された。

2.2.1 NGC

デンマーク生まれでアイルランドで活動した天文学者ドライヤー (John Dreyer) が 1888 年に発表した、星団、星雲、銀河など、見かけの様子が単独の恒星とは異なる天体の天球上での位置と様相を示したカタログ。NGC は、このカタログの正式タイトルである New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars (「星雲と星団の新一般カタログ」) の頭文字三つからとった略称であるが、略称の方が広く一般的に使われている。

NGC カタログには 7840 個の天体が掲載されており、1860 年分点での赤経順に番号が付されている。メシエカタログと同様、NGC カタログに掲載されている天体は、NGC に続けて掲載番号を付し、NGC 224 などと呼ぶ。

スレンティック (Jack Sulentic) とティフト (William Tifft) は、パロマーチャートおよび特別に南天を撮影した写真上で、NGC カタログに記載された 7840 個の NGC 天体を精査して、1973 年に改訂 NGC カタログ (The Revised New General Catalogue of Nonstellar Astronomical Objects:RNGC) を出版した。精査の結果、NGC 天体のいくつかは複数の天体からなることが分かった。彼らは、これらを NGC 番号に続くアルファベットで表記し、それぞれの天体の原記述に加えて新たな記述を加え、誤りを訂正し、さらにパロマーチャート上の座標を加えた。複数天体を分離した結果 RNGC カタログには 8,167 天体が含まれるが、IC カタログ掲載の天体は含まない。これらの天体は RNGC の後ろに番号を付けて呼ばれるが、RNGC 番号は基本的に NGC 番号と同じである。[2]

NGC6334

NGC 6334 は、さそり座の方向約 5500 光年の距離に位置する、直径約 50 光年の星雲である。その形から、国内では「目出金星雲」と呼ばれるが、猫の肉球にも見えることから、英語では「Cat's Paw Nebula (猫の手星雲)」と呼ばれている。ちりとガスが複雑に入り組んでおり、多数の大質量星が生まれているが、ちりに隠されてその姿を見ることはできない。

NGC 6334 は、天の川銀河の中でもっとも星形成が活発な領域のひとつで、数万個ほどの星が存在すると考えられている。年齢が数百万歳と非常に若く質量が太陽の 10 倍ほどの青く輝く星が、ちりの奥深くに隠されている。

この星雲でとくに目を引くのは、右下に見える泡状の赤い構造である。これは、一生の終わりに近い星が大量に放出した物質か、またはすでに爆発した星の残骸ではないかと考えられている。[11]



図 2.6: NGC6334 [12]

2.2.2 W3(OH)

W3(OH) は銀河系外域に位置する、星形成の活発な領域である。茨城大学では 133.9+10 という名前で観測しているが、この天体は W3(OH) に存在している。

W3 はカシオペア座の方向にあり、太陽系から約 6,700 光年 (2.04×10^3 pc, Hachisuka et al. 2006) の距離に位置している。W3 という名称は Westerhout の電波源カタログ 3 番という意味で、光学領域ではいわゆる (発光) 星雲として見える。これは、電離水素 (HII) 領域が輝いて見えるためである。電離水素領域とは、紫外線によって分子雲が電離され形成されたもので、強い電波も放射している。紫外線の放射源は、電離水素領域の中心にある大質量星や大質量星を含む星の集団 (星団)。W3 領域には 3 つの活発な星形成領域 (W3 Main, W3 (OH), AFGL 333) が存在しており、これらは W4 領域の電離水素領域の端に位置している。[13]

第 3 章

観測

3.1 観測概要

現在、茨城大学で 6.7GHz と 12.2GHz メタノールメーザーの同時モニター観測を行っている 434 天体を、高萩 32m 電波望遠鏡の 19.9GHz メタノールメーザーで観測した。434 天体を 9 日間に分けて実施した。その内、放射が既知の 133.9+10、NGC6334F は毎日のスケジュールで観測した。今回の発表では 9 日間の観測を 1 セットとして、3 セット分のデータを解析に用いた。つまり、133.9+10 と NGC6334F は 27 データ、その他の天体は 3 データある。天体の観測開始時刻、観測終了時刻、観測順番等の観測スケジュールは付録 A に掲載する。

3.1.1 観測諸元

観測諸元を表 2.1 に示す。

- 帯域幅
- 分光点数
- 速度範囲 $\text{帯域幅} / \text{観測周波数} \times \text{光速}$
- 周波数分解能 $\text{帯域幅} / \text{分光点数}$
- 速度分解能 $\text{速度範囲} / \text{分光点数}$
- Flux 密度の校正法 Flux 密度をどのようにして真の Flux 密度に校正したか

観測日	2023 年 12 月 21 日から 2024 年 1 月 29 日まで	
観測時刻	2023/12/21 時点で 03:19:00-21:14:50(UT)(1 日目のスケジュール) から 03:17:50-15:33:40(UT)(9 日目のスケジュール) まで	
観測周波数範囲	19.951-19.983GHz	
帯域幅	32MHz	
分光点数	8192 点	
速度範囲	480.47 km/s	
周波数分解能	3.91kHz 程度	
速度分解能	0.0587 km/s	
積分時間	ON 点 5 分、OFF 点 5 分	
典型的な T_{sys} *	約 1.4×10^2	
典型的な τ	約 0.066	
ノイズレベルの典型値	11.52Jy	
Flux 密度の較正法	仰角に依らず開口能率 = 30 % (EL 依存性なし) を仮定	

表 3.1: 観測諸元

3.1.2 解析方法

Chopper-Wheel 法によるアンテナ温度の導出、ドップラー補正による周波数から V_{lsr} 速度への変換、Flux 密度の校正、baseline の除去は、観測終了後自動で行われる。その後の解析を python を用いて行った。コードの一部を付録 C に掲載する。

v_2 と v_3 の間が、6.7 GHz のメーザー放射が見られる速度範囲。 v_1 と v_2 の間および、 v_3 と v_4 の間の 2 つが、baseline の速度範囲。baseline の速度範囲は、baseline fit を行う場合や、ノイズレベルを求める場合に使う。 v_1 から v_4 の範囲でスペクトルを作成した。これを図解したものを図 3.1 に示す。

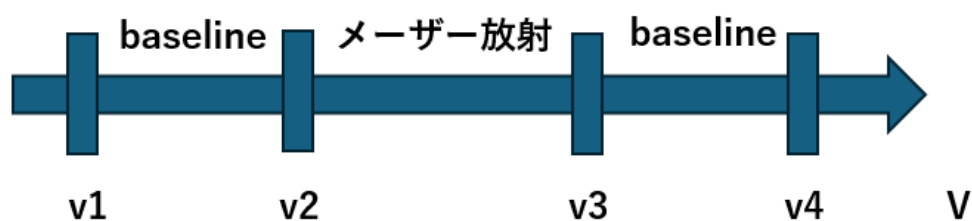


図 3.1: v_1, v_2, v_3, v_4 の関係

3.2 放射検出の定義

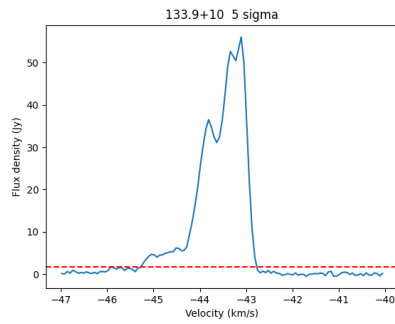
[h] 観測されたスペクトルの各チャンネルの強度がランダムなノイズである場合、標準正規分布に従う。標準正規分布で、1 sigma より大きい値を持つ確率は、15%、3 sigma より大きい値を持つ確率は、0.1%、5 sigma より大きい値を持つ確率は、 2.75×10^{-7} %。つまり、ノイズが 3 sigma よりも大きい値を持つ確率は 0.1% なので、3 sigma よりも大きい値が検出された場合、それがノイズである可能性は非常に低い (0.1%)。そのためそれはノイズではなくて、真の放射であると考え事ができる。今回は、3 sigma 以上の放射を暫定的な検出、5 sigma 以上の放射を検出とみなす。

第 4 章

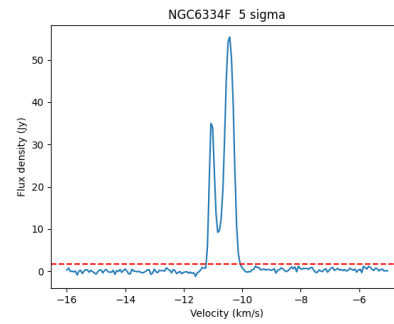
解析結果

4.1 19.9 GHz メタノールメーザー放射の検出天体数

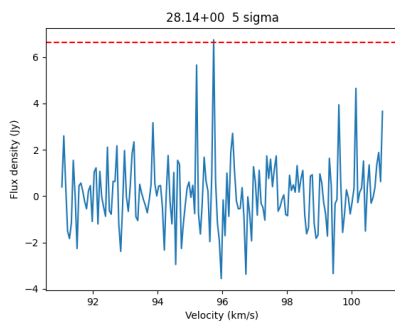
3 sigma 以上の放射は 246 天体検出された。5 sigma 以上の放射は先行研究で既知の 2 天体 (NGC6334F、133.9+10) に加えて、28.14+00 が検出された。3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射のスペクトルは付録 B に掲載している。5 sigma 以上の放射が検出された天体のスペクトルを以下に示す。また、5 sigma の位置に点線を引いている。



(a) 133.9+10



(b) NGC6334F

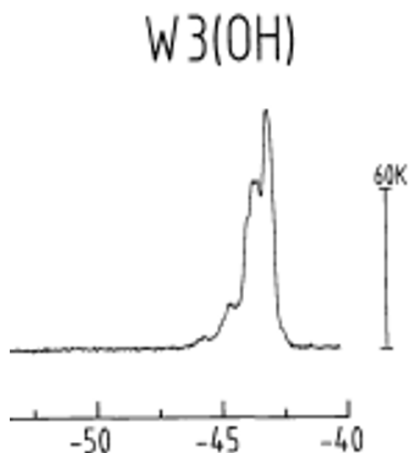


(c) 28.14+00

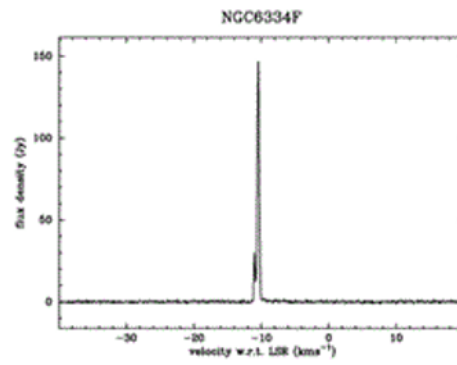
図 4.1: 5 sigma 以上の放射が見られた天体のスペクトル

4.2 先行研究との比較

133.9+10 と NGC6334F の 2 天体を強度、スペクトルの形、放射速度範囲を比較する。

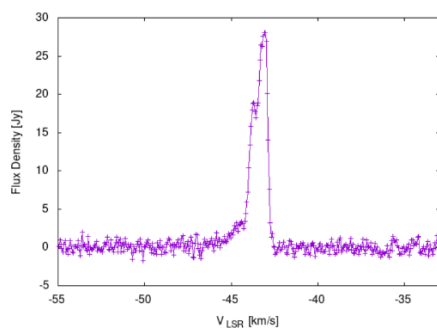


(a) 133.9+10

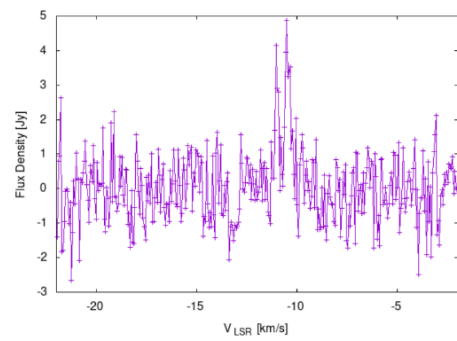


(b) NGC6334F

图 4.2: 先行研究

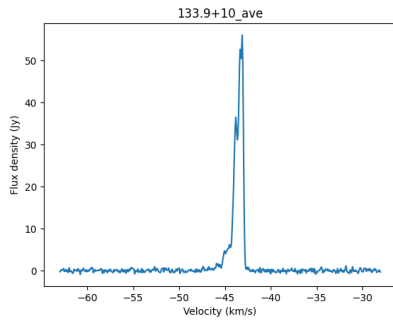


(a) 133.9+10

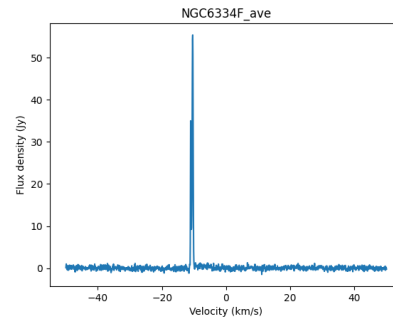


(b) NGC6334F

图 4.3: 酒匂氏先行研究

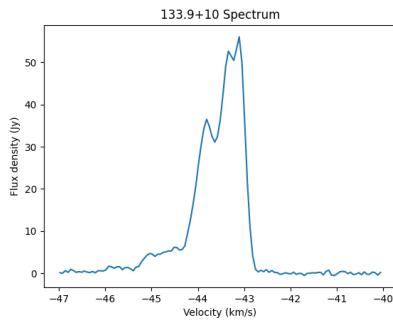


(a) 133.9+10

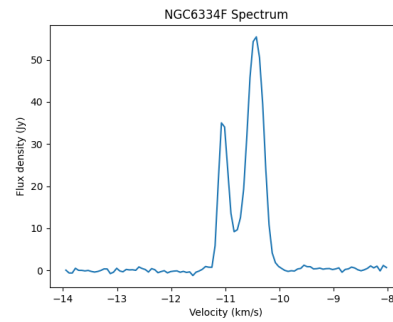


(b) NGC6334F

図 4.4: スペクトルの平均



(a) 133.9+10

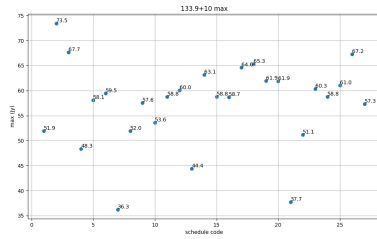


(b) NGC6334F

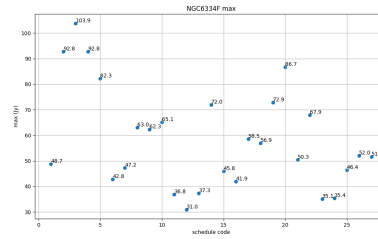
図 4.5: スペクトルの平均。速度範囲を拡大したもの。

133.9+10 と NGC6334F は先行研究と比較して、速度とスペクトルの形が概ね同じになった (図 3.1,3.2,3.3,3.4)。NGC6334F は、peak が2つあり、速度が大きい方が強い。W3OH は、peak が3つあり、速度が大きいほど強い。また、速度が小さい側に裾を引いている。

ただ、強度は異なる。133.9+10 と NGC6334F はアンテナの指向誤差が同じになる様に毎日同じ Az,El で観測しているにもかかわらず、強度が変化していた。



(a) 133.9+10



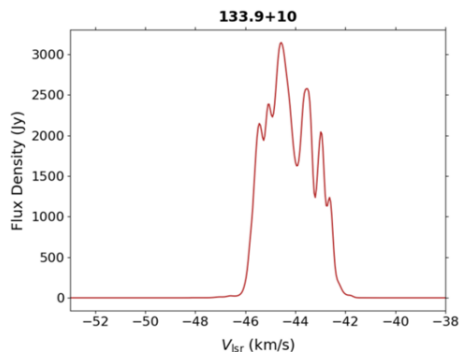
(b) NGC6334F

図 4.6: 毎日の観測で得られた強度

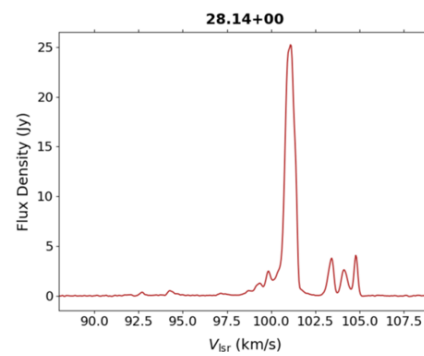
133.9+10 は強度が 36.3Jy から 73.5Jy、NGC6334F は 31.0Jy から 103.9Jy の範囲で変化していた (図 3.5,3.6)。133.9+10 の強度の平均値は 57.4Jy、標準偏差は 8.5Jy。NGC6334F の強度の平均値は 58.5Jy、標準偏差は 19.9Jy。強度変動の原因については、4.4 で考察する。

4.3 モニター観測との比較

19.9 GHz で放射が検出された 133.9+10 と 28.14+00 をモニター観測で実施している、6.7 GHz メタノールメーザーと 12.2 GHz メタノールメーザーのスペクトルと比較する。NGC6334F はモニター観測を実施していないので、ここでは比較しない。

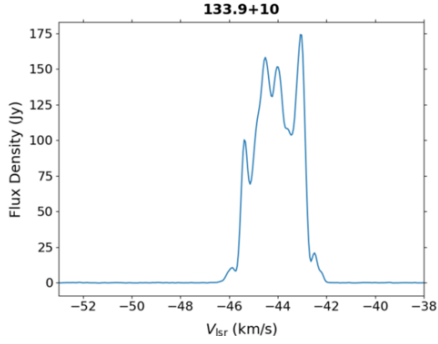


(a) 133.9+10

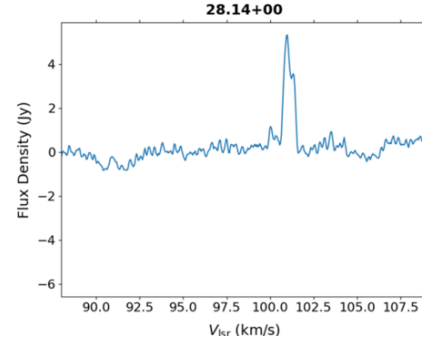


(b) 28.14+00

図 4.7: 6.7 GHz メタノールメーザーのスペクトル

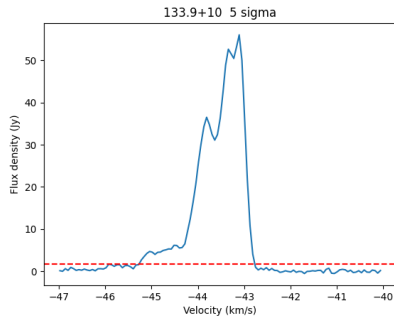


(a) 133.9+10

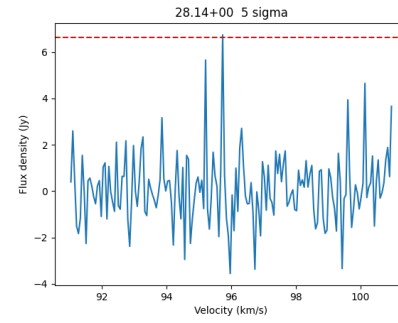


(b) 28.14+00

図 4.8: 12.2 GHz メタノールメーザーのスペクトル



(a) 133.9+10



(b) 28.14+00

図 4.9: 19.9 GHz メタノールメーザーのスペクトル

133.9+10 は放射速度範囲はどの周波数でも一致しているしかし、強度は周波数で大きく異なった。各周波数と強度の比は、6.7 GHz/19.9 GHz は約 50 倍、12.2 GHz/19.9 GHz は約 3 倍となる。28.14+00 は 6.7 GHz と 12.2 GHz の放射速度範囲は一致しているが、19.9 GHz は放射速度範囲が 5km/s 程小さかった。

4.4 強度変動の原因調査のための追観測

時間変化するものと時間変化しないものの両方の指向性のズレがある事を理解した上で、中心1点のみの観測を続ける観測を 133.9+10 に対して 2024 年 2 月 8 日の 2 時から 18 時に行った。時間変化しない指向性のズレ、および、時間変化する指向性のズレのうちで温度や日照に起因するものは、az や el に対してなめらかに変化する（特定の方向で、突然ズレが大きくなるという事はない）ので、この観測で得られた強度が時間とともにな

めらかに変化している場合、それは天体の真の強度が変動しているとは言い切れない。

一方で、この観測で得られた強度が時間とともに急激に変化している場合、真の強度が変化している、もしくは時間変化する指向性のズレの影響である（風の影響）と解釈できる。

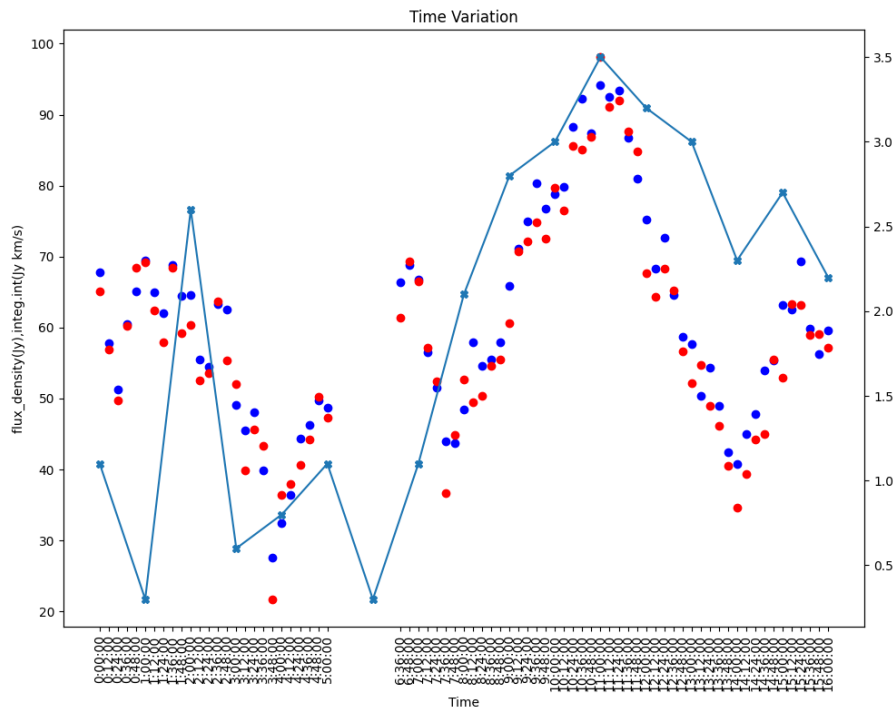


図 4.10: 時間変化

上図は青が flux density、赤が integrated intensity である。観測で得られた強度が時間とともに急激に変化している。観測当日 (2/8) の日立市の天気は、強度変化と風速の変化の相関関係はなかった。以上のことから、133 は真の強度が変化していると考える。また、高萩市の過去の天気情報がないため、隣接する市の日立市の天気データを用いて比較した。

第 5 章

考察

既知の 2 天体は先行研究と同じ速度帯で 19.9 GHz メタノールメーザーが検出された。このことから、観測装置は正常に機能していると考えることができる。その他の天体は 3 sigma 以上 5 sigma 未満だと 243 天体検出されたが、いずれも微弱なものだった。これは図 2 から 19.9 GHz メタノールメーザーは検出されにくいことが裏付けられた。検出された天体の物理状態は、図 2.1,2.2,2.3 において brightness temperature が最大値の 1/10 以上の値を取る範囲と考え、ガス温度が 0 – 50 K、ダスト温度が 110 – 180 K、ガス密度が $10^7 - 10^8 \text{ cm}^{-3}$ であると予想される。

また、今回は 6.7 GHz メタノールメーザーの放射が見られる速度範囲で解析を行ったが、6.7 GHz メタノールメーザーとは放射される速度範囲が違う可能性がある。

第 6 章

今後の展望

NGC6334F と 133.9+10 は日によって強度が変化している。指向性のズレには、毎日変わらないもの（アンテナが垂直に立っていない、Az 軸と El 軸が直交していない、など）と時間変化するもの（風、アンテナ鏡面の温度、日照の影響など）がある。今後は、アンテナの指向性のズレが変化する（ただし、下記 1 セットの観測時間内には変化しないと仮定）事を補正するための観測を行う。この観測によって、指向性がズレていない方向の強度を求める。

今回は 6.7 GHz メタノールメーザーで検出される速度範囲と同じ範囲で 19.9 GHz の放射が見られるか調査したが、違う速度範囲でも調査を行うと新たに検出される天体が得られるかもしれない。

また、3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が検出された 243 天体を再観測する。積分時間を増やせばノイズレベルは小さくなる。これらの天体をピックアップして観測時間を長くすれば、新たに検出される天体があるかもしれない。

今回新たに検出が確認された天体は百瀬研の星周物質の SED(スペクトルエネルギー分布) 関連の研究と比較すると詳しい物理状態を把握することができ、大質量星形成過程の解明に近づくだろう。

謝辞

本研究を進めるにあたり米倉教授には、指導教員として終始熱心なご指導を頂きました。アンテナの仕組み、使い方、研究の進め方を丁寧に教えていただき心から感謝いたします。百瀬教授には、ゼミナールの際に電波天文学の基礎を教えていただきました。質問に丁寧に答えていただきありがとうございます。また、博士課程の折原さんにはデータを解析するにあたって python のコードを書く際に大変お世話になりました。お礼申し上げます。最後に、電波観測研究室の皆様には、本論文の執筆にあたり多くのご助言、激励を頂きました。皆さんがいなければ卒業研究は完成することは出来ませんでした。本当にありがとうございました。

付録 A

観測スケジュール

表 A.1: 1 日目

天体	観測開始終了時刻
35.02+03	23305032430
30.82+02	23305033100
30.82+02	23305033630
30.82-00	23305034200
30.82-00	23305034730
30.76-00	23305035300
30.76-00	23305035830
30.70-00	23305040400
30.70-00	23305040930
30.59-01	23305041500
30.59-01	23305042030
30.53+00	23305042600
30.53+00	23305043130
28.86+00	23305043720
28.86+00	23305044250
28.83-02	23305044820
28.83-02	23305045350
351.7-05	23305050720

351.7-05	23305051250
NGC6334F	23305052020
NGC6334F	23305052550
358.9+01	23305053230
358.9+01	23305053800
0.167-04	23305054330
0.167-04	23305054900
0.645-00	23305055430
0.645-00	23305060000
2.521-02	23305060630
2.521-02	23305061200
3.502-02	23305061730
3.502-02	23305062300
6.539-01	23305063130
6.539-01	23305063700
8.139+02	23305064630
8.139+02	23305065200
10.09+07	23305070130
10.09+07	23305070700
10.627-0	23305071230
10.627-0	23305071800
11.49-14	23305072340
11.49-14	23305072910
12.18-01	23305073500
12.18-01	23305074030
12.88+04	23305074600
12.88+04	23305075130
14.23-05	23305075700
14.23-05	23305080230
14.99-01	23305080800
14.99-01	23305081330

16.58-00	23305081900
16.58-00	23305082430
17.63+01	23305083000
17.63+01	23305083530
18.66+00	23305084100
18.66+00	23305084630
19.26+03	23305085200
19.26+03	23305085730
29.31-01	23305090700
29.31-01	23305091230
30.59-00	23305091800
30.59-00	23305092330
30.96-01	23305092900
30.96-01	23305093430
32.03+00	23305094000
32.03+00	23305094530
33.64-02	23305095110
33.64-02	23305095640
34.78-13	23305100210
34.78-13	23305100740
35.59+00	23305101710
35.59+00	23305102240
36.92+04	23305102820
36.92+04	23305103350
37.74-01	23305103920
37.74-01	23305104450
40.28-02	23305105050
40.28-02	23305105720
44.64-05	23305110420
44.64-05	23305110950
46.07+02	23305111530

46.07+02	23305112100
49.41+03	23305112730
49.41+03	23305113300
52.20+07	23305113930
52.20+07	23305114500
59.84+06	23305115230
59.84+06	23305115800
78.62+09	23305120730
78.62+09	23305121300
90.90+15	23305122230
90.90+15	23305122800
110.2+26	23305124230
110.2+26	23305124800
IRS22198	23305125730
IRS22198	23305130300
189.4-01	23305140650
189.4-01	23305141220
108.7-09	23305151250
108.7-09	23305152340
133.9+10	23305153500
133.9+10	23305154030
HH4TAURU	23305182900
HH4TAURU	23305183430
213.7-12	23305190400
213.7-12	23305190930
173.4+24	23305193400
173.4+24	23305193930
NGC2071A	23305195900
NGC2071A	23305200430
203.3+20	23305201320
203.3+20	23305201850

188.7+10	23305203050
188.7+10	23305203620
209.0-19	23305204830
209.0-19	23305205400
192.6-00	23305210930
192.6-00	23305211500

表 A.2: 2 日目

天体	観測開始終了時刻
49.35+04	23305030710
49.35+04	23305031240
34.10+00	23305032240
34.10+00	23305032810
27.78+00	23305033520
27.78+00	23305034050
23.19-03	23305034730
23.19-03	23305035300
19.24+02	23305035940
19.24+02	23305040510
18.34+17	23305041110
18.34+17	23305041640
16.86-21	23305042300
16.86-21	23305042830
15.66-04	23305043440
15.66-04	23305044010
13.17+00	23305044620
13.17+00	23305045150
14.45-01	23305045720
14.45-01	23305050250
12.11-01	23305050850

12.11-01	23305051420
NGC6334F	23305052350
NGC6334F	23305052920
358.8-00	23305053600
358.8-00	23305054130
0.409-05	23305054700
0.409-05	23305055230
0.836+01	23305055810
0.836+01	23305060340
1.719-00	23305060910
1.719-00	23305061450
2.591-00	23305062020
2.591-00	23305062550
7.632-01	23305063220
7.632-01	23305063750
9.621+01	23305064340
9.621+01	23305064910
10.35-01	23305065440
10.35-01	23305070010
10.47+00	23305070550
10.47+00	23305071120
10.95+00	23305071650
10.95+00	23305072220
11.03+00	23305072750
11.03+00	23305073320
12.02-00	23305073850
12.02-00	23305074420
12.62-00	23305074950
12.62-00	23305075520
13.71-00	23305080050
13.71-00	23305080620

14.60+00	23305081200
14.60+00	23305081730
16.83+00	23305082310
16.83+00	23305082840
18.26-02	23305083410
18.26-02	23305083940
19.00-00	23305084510
19.00-00	23305085040
22.43-01	23305085650
22.43-01	23305090220
23.01-04	23305090750
23.01-04	23305091320
23.80+04	23305091950
23.80+04	23305092520
25.41+01	23305093050
25.41+01	23305093620
27.78-02	23305094200
27.78-02	23305094730
30.30-01	23305095310
30.30-01	23305095840
31.41+03	23305100420
31.41+03	23305100950
33.97-00	23305101540
33.97-00	23305102110
35.79-01	23305102650
35.79-01	23305103220
38.92-03	23305103810
38.92-03	23305104340
41.58+00	23305104930
41.58+00	23305105500
43.80-01	23305110040

43.80-01	23305110610
49.03-10	23305112210
49.03-10	23305112740
50.00+05	23305113340
50.00+05	23305113910
133.9+10	23305152930
133.9+10	23305153510

表 A.3: 3 日目

天体	観測開始終了時刻
42.03+01	23305031130
42.03+01	23305031700
36.90-04	23305032350
36.90-04	23305032920
36.84-00	23305033450
36.84-00	23305034020
36.70+00	23305034550
36.70+00	23305035120
G24.1+00	23305040020
G24.1+00	23305040550
G20.7-00	23305041210
G20.7-00	23305041740
G15.1-00	23305042430
G15.1-00	23305043000
G12.7-00	23305043610
G12.7-00	23305044140
352.6-10	23305045210
352.6-10	23305045740
359.6-02	23305050420
359.6-02	23305050950

NGC6334F	23305052150
NGC6334F	23305052720
358.9+00	23305053400
358.9+00	23305053930
0.315-02	23305054500
0.315-02	23305055030
0.673-00	23305055600
0.673-00	23305060130
2.536+01	23305060730
2.536+01	23305061300
3.910+00	23305061830
3.910+00	23305062400
5.657+04	23305063000
5.657+04	23305063530
6.588-01	23305064100
6.588-01	23305064630
8.683-03	23305065210
8.683-03	23305065740
10.28-01	23305070320
10.28-01	23305070850
10.72-03	23305071420
10.72-03	23305071950
11.904-0	23305072520
11.904-0	23305073050
12.20-01	23305073620
12.20-01	23305074150
12.90-02	23305074720
12.90-02	23305075250
14.39-00	23305075830
14.39-00	23305080400
15.09+01	23305080930

15.09+01	23305081500
16.66-03	23305082030
16.66-03	23305082600
18.07+00	23305083140
18.07+00	23305083710
18.83-03	23305084240
18.83-03	23305084810
21.57-00	23305085400
21.57-00	23305085940
22.36+00	23305090510
22.36+00	23305091040
23.70-01	23305091610
23.70-01	23305092140
25.27-04	23305092710
25.27-04	23305093240
27.36-01	23305093830
27.36-01	23305094400
29.86-00	23305094940
29.86-00	23305095510
31.28+00	23305100050
31.28+00	23305100620
33.13-00	23305101200
33.13-00	23305101730
35.20-07	23305102310
35.20-07	23305102840
37.77-02	23305103430
37.77-02	23305104000
40.62-01	23305104550
40.62-01	23305105120
42.43-02	23305105700
42.43-02	23305110230

45.57-01	23305110820
45.57-01	23305111350
48.89-01	23305111940
48.89-01	23305112510
50.78+01	23305113050
50.78+01	23305113620
52.92+04	23305114210
52.92+04	23305114740
59.78+00	23305115420
59.78+00	23305115950
69.52-09	23305120710
69.52-09	23305121240
78.10+36	23305122100
78.10+36	23305122630
79.75+09	23305123230
79.75+09	23305123800
80.85+04	23305124330
80.85+04	23305124900
81.76+05	23305125430
81.76+05	23305130000
84.95-06	23305130600
84.95-06	23305131130
G110.4+1	23305132400
G110.4+1	23305132930
121.2+06	23305133840
121.2+06	23305134420
123.0-63	23305135120
123.0-63	23305135700
133.9+10	23305152900
133.9+10	23305153450
136.8+11	23305154050

136.8+11	23305154630
----------	-------------

表 A.4: 4 日目

天体	観測開始終了時刻
46.12+03	23305030230
46.12+03	23305030800
37.40+15	23305031600
37.40+15	23305032130
37.60+04	23305032700
37.60+04	23305033230
34.20-06	23305033850
34.20-06	23305034420
G23.2+00	23305035300
G23.2+00	23305035830
G16.8+00	23305040550
G16.8+00	23305041120
G16.2+00	23305041650
G16.2+00	23305042220
G13.8+00	23305042830
G13.8+00	23305043400
G12.4-10	23305043940
G12.4-10	23305044510
353.4-03	23305045440
353.4-03	23305050010
0.092+06	23305050640
0.092+06	23305051210
NGC6334F	23305052240
NGC6334F	23305052810
359.8-00	23305053510
359.8-00	23305054040

0.546-08	23305054610
0.546-08	23305055140
3.312-03	23305055730
3.312-03	23305060300
4.866-01	23305060840
4.866-01	23305061410
5.885-03	23305061940
5.885-03	23305062510
8.832-00	23305063110
8.832-00	23305063640
8.872-04	23305064210
8.872-04	23305064740
10.32-01	23305065320
10.32-01	23305065850
10.82-01	23305070430
10.82-01	23305071000
11.10-01	23305071530
11.10-01	23305072100
11.93-01	23305072630
11.93-01	23305073200
11.93-06	23305073730
11.93-06	23305074300
12.26-00	23305074840
12.26-00	23305075410
13.65-05	23305075940
13.65-05	23305080510
14.52+01	23305081050
14.52+01	23305081620
16.11-03	23305082150
16.11-03	23305082720
17.02-24	23305083300

17.02-24	23305083830
18.87+00	23305084440
18.87+00	23305085010
20.24+00	23305085540
20.24+00	23305090220
21.87+00	23305090750
21.87+00	23305091320
23.66-01	23305091900
23.66-01	23305092430
25.38-01	23305093010
25.38-01	23305093540
27.28+01	23305094120
27.28+01	23305094650
29.95-00	23305095240
29.95-00	23305095810
32.80+01	23305100400
32.80+01	23305100930
33.74-01	23305101500
33.74-01	23305102030
35.20-17	23305102610
35.20-17	23305103140
38.03-03	23305103750
38.03-03	23305104320
40.94-00	23305104910
40.94-00	23305105440
42.70-01	23305110020
42.70-01	23305110550
45.44+00	23305111140
45.44+00	23305111710
48.90-02	23305112310
48.90-02	23305112840

53.04+01	23305113440
53.04+01	23305114010
53.14+00	23305114540
53.14+00	23305115110
70.12+17	23305115950
70.12+17	23305120520
71.51-03	23305121100
71.51-03	23305121630
73.04+18	23305122240
73.04+18	23305122810
75.76+03	23305123400
75.76+03	23305123930
81.87+07	23305124610
81.87+07	23305125140
V1318CYG	23305125810
V1318CYG	23305130340
173.6+28	23305140430
173.6+28	23305141000
173.7+23	23305141530
173.7+23	23305142100
183.3-05	23305142930
183.3-05	23305143500
133.9+10	23305154140
133.9+10	23305154720
189.0+07	23305165630
189.0+07	23305170200
189.7+03	23305170800
189.7+03	23305171340

表 A.5: 5 日目

天体	観測開始時刻
40.41+07	23305031400
40.41+07	23305031930
30.78+02	23305032740
30.78+02	23305033310
IRS16293	23305035100
IRS16293	23305035630
G24.5-00	23305041050
G24.5-00	23305041620
C19.0-02	23305042340
C19.0-02	23305042910
G16.9+00	23305043530
G16.9+00	23305044100
G12.4+00	23305044720
G12.4+00	23305045250
G353.2+0	23305050220
G353.2+0	23305050750
NGC6334F	23305052520
NGC6334F	23305053050
354.6+04	23305053640
354.6+04	23305054210
359.9-04	23305054830
359.9-04	23305055400
359.9+01	23305055940
359.9+01	23305060510
0.376+00	23305061040
0.376+00	23305061610
7.166+01	23305062300
7.166+01	23305062830
7.601-01	23305063400
7.601-01	23305063930

9.215-02	23305064510
9.215-02	23305065040
9.986-00	23305065610
9.986-00	23305070140
10.32-02	23305070710
10.32-02	23305071240
10.44-00	23305071820
10.44-00	23305072350
10.88+01	23305072920
10.88+01	23305073450
11.99-02	23305074020
11.99-02	23305074550
12.52+00	23305075130
12.52+00	23305075700
13.69-01	23305080230
13.69-01	23305080800
14.49+00	23305081330
14.49+00	23305081900
16.30-01	23305082440
16.30-01	23305083010
18.15+00	23305083550
18.15+00	23305084120
18.88-04	23305084700
18.88-04	23305085230
20.08-01	23305085810
20.08-01	23305090340
22.05+02	23305090920
22.05+02	23305091450
23.39+01	23305092020
23.39+01	23305092550
25.38+00	23305093130

25.38+00	23305093700
27.21+02	23305094240
27.21+02	23305094810
30.20-01	23305095400
30.20-01	23305095930
31.16+00	23305100510
31.16+00	23305101040
33.86+00	23305101630
33.86+00	23305102200
35.25-02	23305102730
35.25-02	23305103310
37.76-01	23305103900
37.76-01	23305104430
41.08-01	23305105020
41.08-01	23305105550
43.04-04	23305110130
43.04-04	23305110700
45.47+00	23305111250
45.47+00	23305111820
48.99-03	23305112420
48.99-03	23305112950
53.62+00	23305113600
53.62+00	23305114130
G65.7-20	23305114930
G65.7-20	23305115510
133.9+10	23305153210
133.9+10	23305153750

表 A.6: 6 日目

天体	観測開始終了時刻
----	----------

49.35+04	23305030710
49.35+04	23305031240
34.10+00	23305032240
34.10+00	23305032810
27.78+00	23305033520
27.78+00	23305034050
23.19-03	23305034730
23.19-03	23305035300
19.24+02	23305035940
19.24+02	23305040510
18.34+17	23305041110
18.34+17	23305041640
16.86-21	23305042300
16.86-21	23305042830
15.66-04	23305043440
15.66-04	23305044010
13.17+00	23305044620
13.17+00	23305045150
14.45-01	23305045720
14.45-01	23305050250
12.11-01	23305050850
12.11-01	23305051420
NGC6334F	23305052350
NGC6334F	23305052920
358.8-00	23305053600
358.8-00	23305054130
0.409-05	23305054700
0.409-05	23305055230
0.836+01	23305055810
0.836+01	23305060340
1.719-00	23305060910

1.719-00	23305061450
2.591-00	23305062020
2.591-00	23305062550
7.632-01	23305063220
7.632-01	23305063750
9.621+01	23305064340
9.621+01	23305064910
10.35-01	23305065440
10.35-01	23305070010
10.47+00	23305070550
10.47+00	23305071120
10.95+00	23305071650
10.95+00	23305072220
11.03+00	23305072750
11.03+00	23305073320
12.02-00	23305073850
12.02-00	23305074420
12.62-00	23305074950
12.62-00	23305075520
13.71-00	23305080050
13.71-00	23305080620
14.60+00	23305081200
14.60+00	23305081730
16.83+00	23305082310
16.83+00	23305082840
18.26-02	23305083410
18.26-02	23305083940
19.00-00	23305084510
19.00-00	23305085040
22.43-01	23305085650
22.43-01	23305090220

23.01-04	23305090750
23.01-04	23305091320
23.80+04	23305091950
23.80+04	23305092520
25.41+01	23305093050
25.41+01	23305093620
27.78-02	23305094200
27.78-02	23305094730
30.30-01	23305095310
30.30-01	23305095840
31.41+03	23305100420
31.41+03	23305100950
33.97-00	23305101540
33.97-00	23305102110
35.79-01	23305102650
35.79-01	23305103220
38.92-03	23305103810
38.92-03	23305104340
41.58+00	23305104930
41.58+00	23305105500
43.80-01	23305110040
43.80-01	23305110610
49.03-10	23305112210
49.03-10	23305112740
50.00+05	23305113340
50.00+05	23305113910
133.9+10	23305152930
133.9+10	23305153510

表 A.7: 7 日目

天体	観測開始終了時刻
45.49+01	23305030910
45.49+01	23305031450
32.97+00	23305032350
32.97+00	23305032920
25.65+10	23305033700
25.65+10	23305034230
23.48+00	23305034830
23.48+00	23305035400
19.75-01	23305040030
19.75-01	23305040600
19.70-02	23305041130
19.70-02	23305041700
19.66+01	23305042230
19.66+01	23305042800
19.61+00	23305043330
19.61+00	23305043900
19.61-01	23305044430
19.61-01	23305045000
19.60-02	23305045530
19.60-02	23305050100
0.475-00	23305051030
0.475-00	23305051600
NGC6334F	23305052310
NGC6334F	23305052840
358.9-00	23305053520
358.9-00	23305054050
1.008-02	23305054630
1.008-02	23305055200
1.329+01	23305055730
1.329+01	23305060300

2.615+01	23305060830
2.615+01	23305061400
3.442-03	23305061930
3.442-03	23305062500
6.368-00	23305063100
6.368-00	23305063630
12.68-01	23305064310
12.68-01	23305064840
12.77+01	23305065420
12.77+01	23305065950
14.10+00	23305070520
14.10+00	23305071050
14.63-05	23305071620
14.63-05	23305072150
15.60-02	23305072720
15.60-02	23305073250
16.85+06	23305073830
16.85+06	23305074400
17.02-00	23305074930
17.02-00	23305075500
18.44+00	23305080030
18.44+00	23305080600
18.46-00	23305081130
18.46-00	23305081700
19.36-00	23305082230
19.36-00	23305082800
19.47+01	23305083330
19.47+01	23305083900
19.49+01	23305084430
19.49+01	23305085000
23.24-02	23305085610

23.24-02	23305090140
23.32-02	23305090710
23.32-02	23305091240
23.43-01	23305091810
23.43-01	23305092340
25.53+03	23305092930
25.53+03	23305093500
27.86-02	23305094040
27.86-02	23305094610
30.30+00	23305095150
30.30+00	23305095720
30.98-00	23305100250
30.98-00	23305100820
33.09-00	23305101400
33.09-00	23305101930
35.40+00	23305102510
35.40+00	23305103040
37.52-01	23305103620
37.52-01	23305104150
41.12-01	23305104750
41.12-01	23305105320
43.08-00	23305105900
43.08-00	23305110430
45.47+01	23305111020
45.47+01	23305111550
49.47-03	23305112150
49.47-03	23305112720
49.60-02	23305113250
49.60-02	23305113820
133.9+10	23305153010
133.9+10	23305153550

表 A.8: 8 日目

天体	観測開始終了時刻
44.31+00	23305030940
44.31+00	23305031510
34.39+02	23305032330
34.39+02	23305032900
28.82+04	23305033600
28.82+04	23305034130
28.81+03	23305034700
28.81+03	23305035230
28.69+04	23305035800
28.69+04	23305040330
28.39+00	23305040900
28.39+00	23305041430
28.28-03	23305042000
28.28-03	23305042530
28.20-00	23305043100
28.20-00	23305043630
28.14+00	23305044200
28.14+00	23305044730
26.65+00	23305045330
26.65+00	23305045900
0.496+01	23305051030
0.496+01	23305051600
NGC6334F	23305052310
NGC6334F	23305052840
359.4-04	23305053530
359.4-04	23305054100
1.147-01	23305054640
1.147-01	23305055210
2.143+00	23305055740

2.143+00	23305060310
2.703+00	23305060840
2.703+00	23305061410
6.189-03	23305062010
6.189-03	23305062540
6.610-00	23305063120
6.610-00	23305063650
19.88-05	23305064510
19.88-05	23305065040
23.91+00	23305065650
23.91+00	23305070220
23.98-00	23305070750
23.98-00	23305071320
24.14+00	23305071900
24.14+00	23305072430
24.33+01	23305073020
24.33+01	23305073540
24.50-00	23305074210
24.50-00	23305074740
24.54+03	23305075320
24.54+03	23305075850
24.64-03	23305080420
24.64-03	23305080950
24.67-01	23305081530
24.67-01	23305082100
24.78+00	23305082640
24.78+00	23305083210
24.93+00	23305083740
24.93+00	23305084310
25.70+00	23305084840
25.70+00	23305085410

25.82-01	23305085940
25.82-01	23305090510
26.52-02	23305091040
26.52-02	23305091610
26.59-00	23305092140
26.59-00	23305092710
26.60-02	23305093240
26.60-02	23305093810
28.02-04	23305094340
28.02-04	23305094910
30.40-02	23305095450
30.40-02	23305100020
31.58+00	23305100600
31.58+00	23305101130
34.24+01	23305101720
34.24+01	23305102250
36.02-02	23305102820
36.02-02	23305103350
38.08-02	23305103930
38.08-02	23305104500
41.12-02	23305105050
41.12-02	23305105620
43.15+00	23305110200
43.15+00	23305110730
45.81-03	23305111320
45.81-03	23305111850
49.49-03	23305112450
49.49-03	23305113020
49.62-03	23305113550
49.62-03	23305114120
133.9+10	23305153200

133.9+10	23305153740
----------	-------------

表 A.9: 9 日目

天体	観測開始終了時刻
37.04-00	23305031750
37.04-00	23305032320
37.38-00	23305032850
37.38-00	23305033420
38.12-02	23305033950
38.12-02	23305034520
38.20-00	23305035050
38.20-00	23305035620
41.87-01	23305040230
41.87-01	23305040800
43.17-00	23305041330
43.17-00	23305041900
43.87-07	23305042430
43.87-07	23305043000
41.34-01	23305043630
41.34-01	23305044200
41.27+03	23305044740
41.27+03	23305045310
41.23-02	23305045840
41.23-02	23305050410
NGC6334F	23305052150
NGC6334F	23305052720
3.253+00	23305053500
3.253+00	23305054030
4.393+00	23305054600
4.393+00	23305055130

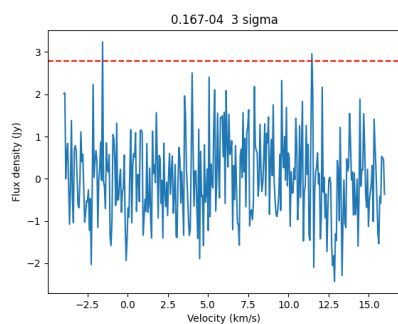
4.434+01	23305055700
4.434+01	23305060230
G357.9-0	23305060920
G357.9-0	23305061450
4.569-00	23305062130
4.569-00	23305062700
6.881+00	23305063250
6.881+00	23305063820
G10.8-20	23305064430
G10.8-20	23305065000
4.586+00	23305065650
4.586+00	23305070220
4.676+02	23305070750
4.676+02	23305071320
5.618-00	23305071850
5.618-00	23305072420
38.26-00	23305093540
38.26-00	23305094110
38.26-02	23305094640
38.26-02	23305095210
38.56+01	23305095750
38.56+01	23305100320
38.60-02	23305100850
38.60-02	23305101420
38.66+00	23305101950
38.66+00	23305102520
39.10+04	23305103100
39.10+04	23305103630
39.39-01	23305104150
39.39-01	23305104720
41.16-02	23305105300

41.16-02	23305105830
133.9+10	23305152800
133.9+10	23305153340

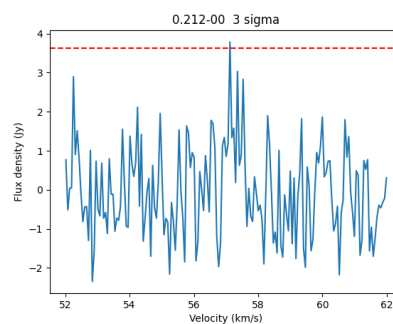
付録 B

3 sigma スペクトル

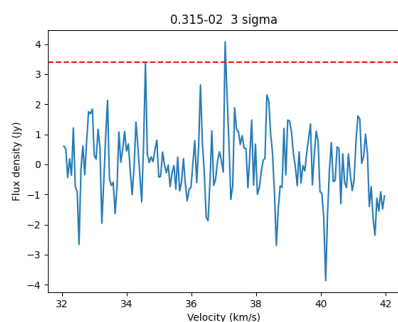
3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトルを以下に示す。flux density が 3 sigma の位置に点線を引いている。



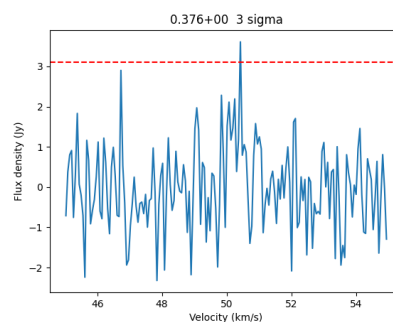
(a) 0.167-04



(b) 0.212-00

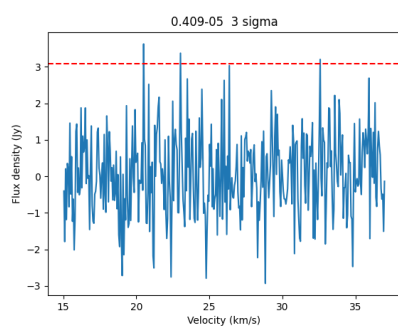


(c) 0.315-02

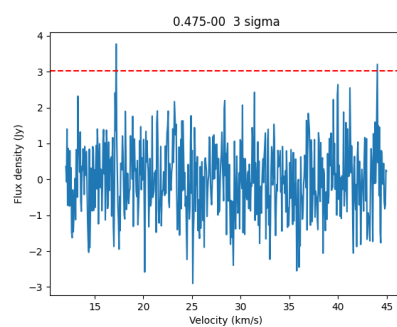


(d) 0.376+00

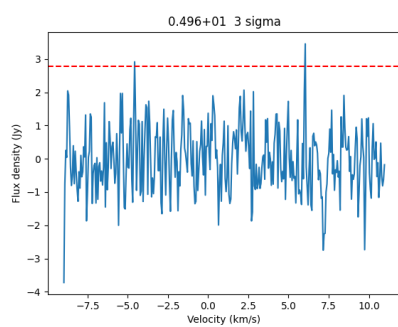
図 B.1: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 1)



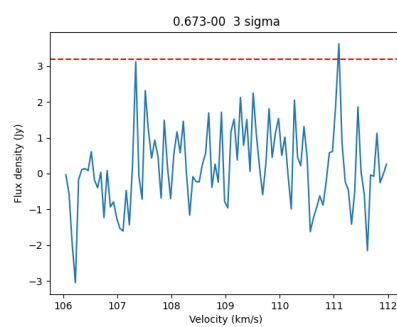
(a) 0.409-05



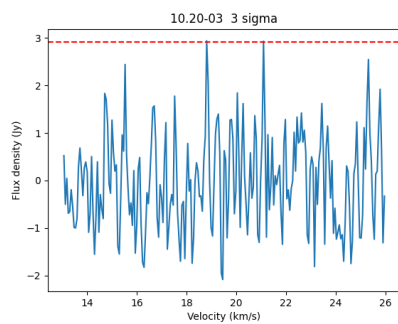
(b) 0.475-00



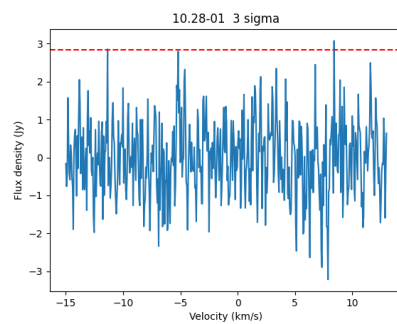
(c) 0.496+01



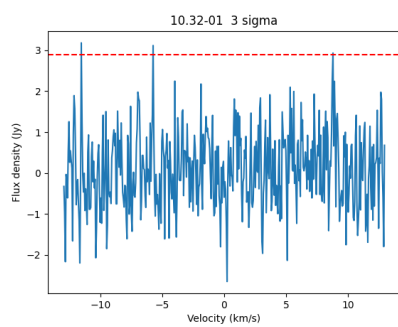
(d) 0.673-00



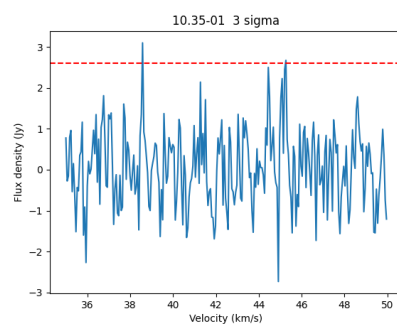
(e) 10.20-03



(f) 10.28-01

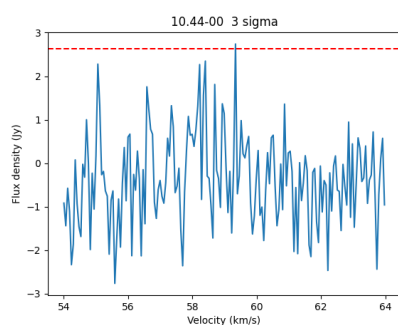


(g) 10.32-01

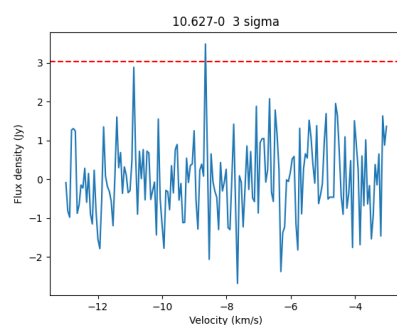


(h) 10.35-01

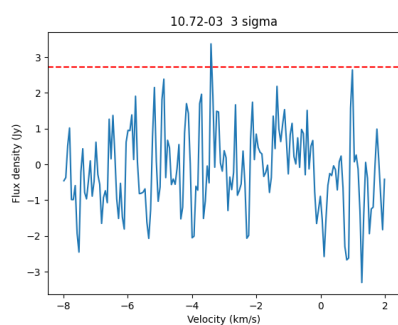
図 B.2: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 2)



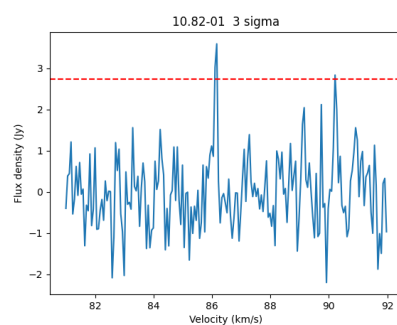
(a) 10.44-00



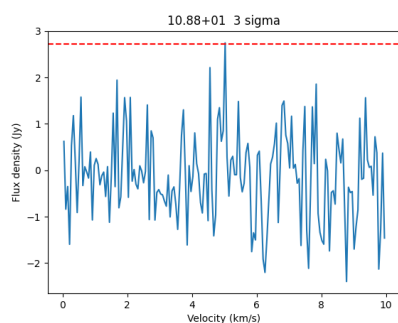
(b) 10.627-0



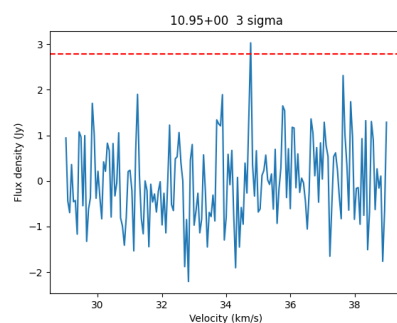
(c) 10.72-03



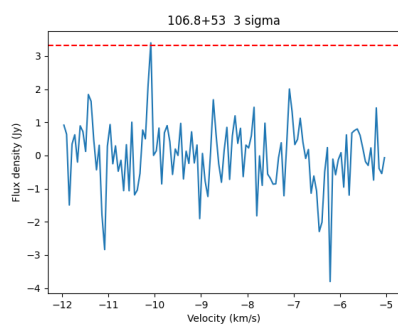
(d) 10.82-01



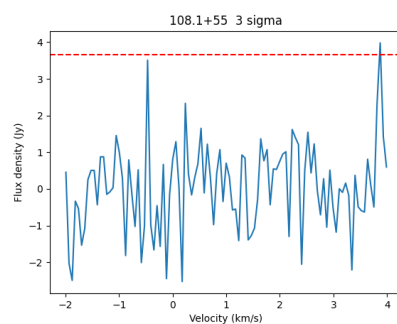
(e) 10.88+01



(f) 10.95+00

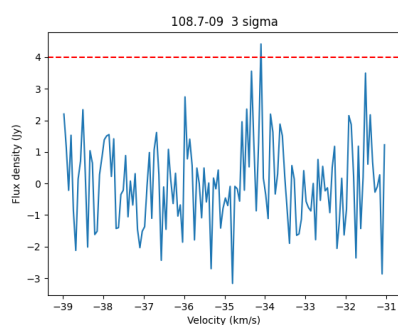


(g) 106.8+53

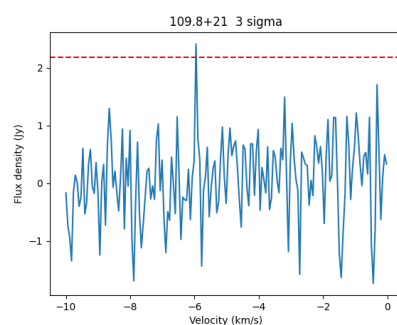


(h) 108.1+55

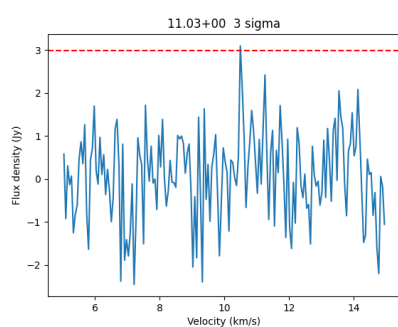
図 B.3: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 3)



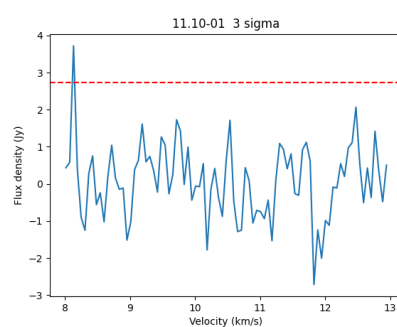
(a) 108.7-09



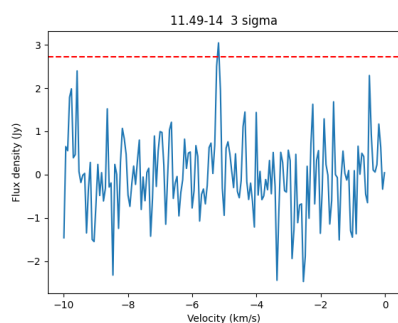
(b) 109.8+21



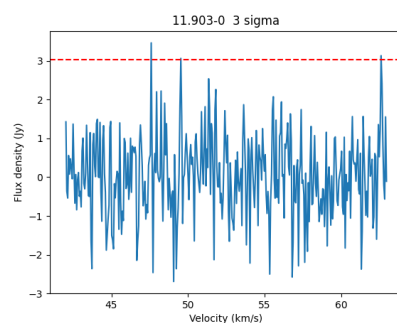
(c) 11.03+00



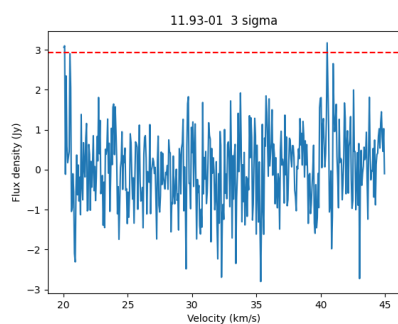
(d) 11.10-01



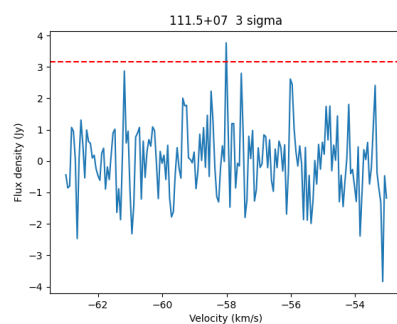
(e) 11.49-14



(f) 11.903-0

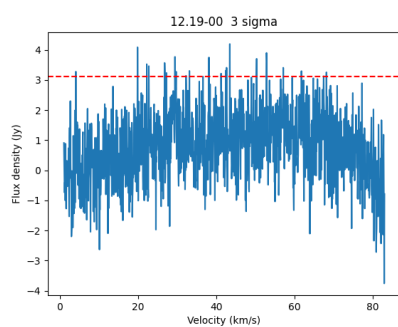


(g) 11.93-01

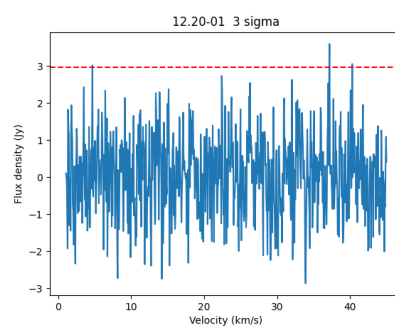


(h) 111.5+07

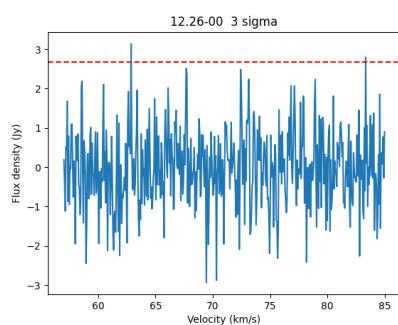
図 B.4: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 4)



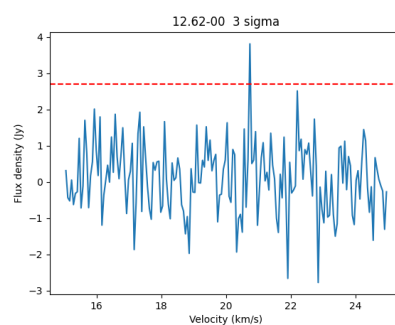
(a) 12.19-00



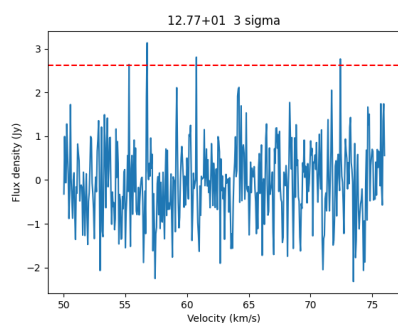
(b) 12.20-01



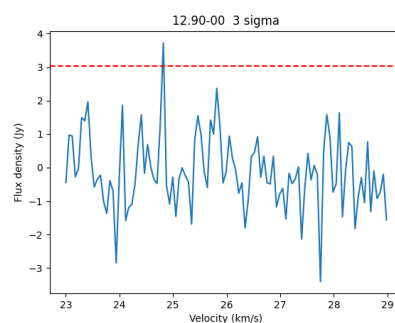
(c) 12.26-00



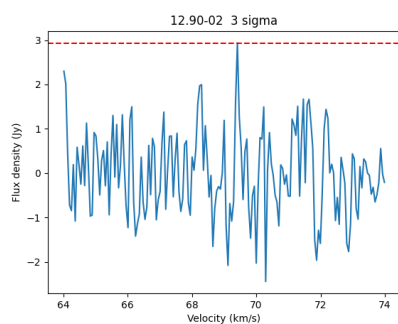
(d) 12.62-00



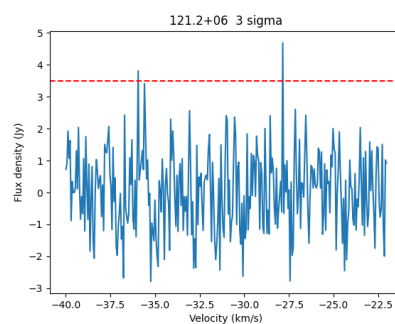
(e) 12.77+01



(f) 12.90-00

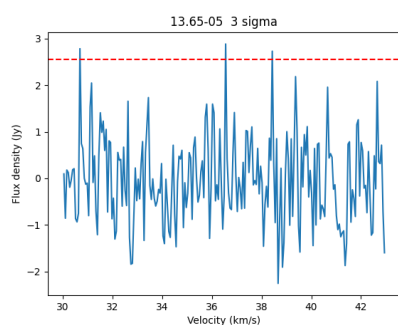


(g) 12.90-02

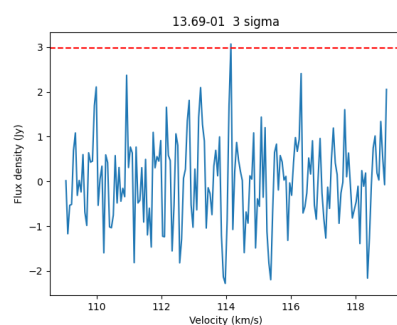


(h) 121.2+06

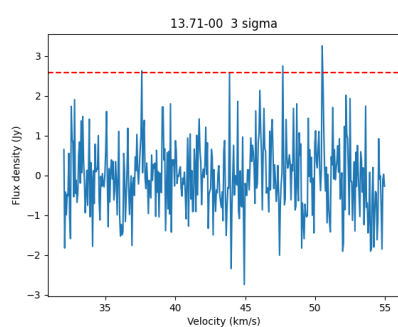
図 B.5: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 5)



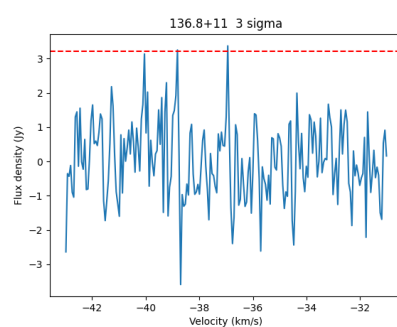
(a) 13.65-05



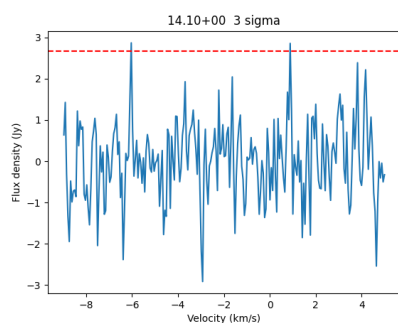
(b) 13.69-01



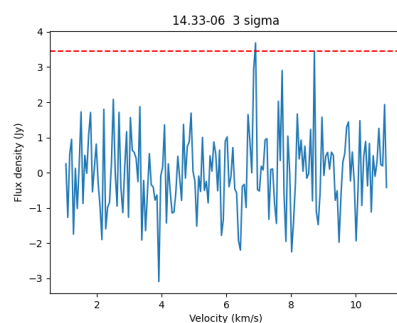
(c) 13.71-00



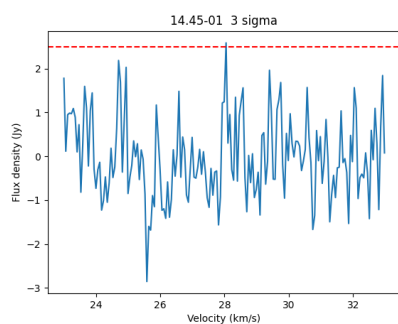
(d) 136.8+11



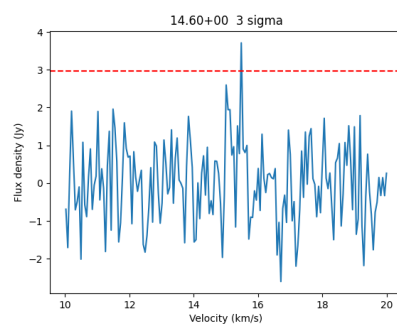
(e) 14.10+00



(f) 14.33-06

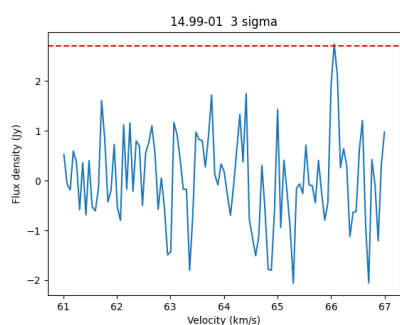


(g) 14.45-01

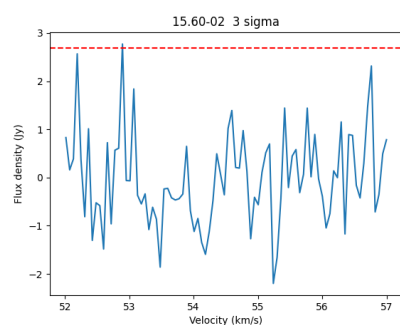


(h) 14.60+00

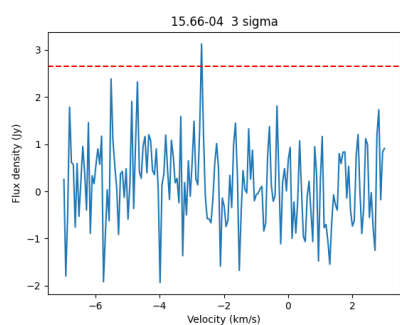
図 B.6: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 6)



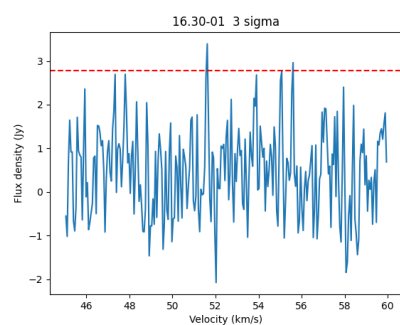
(a) 14.99-01



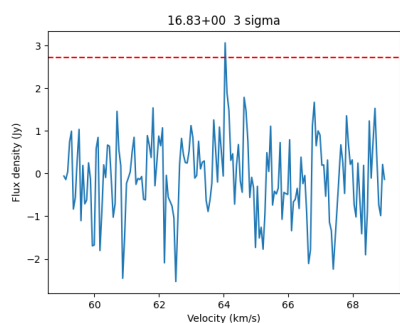
(b) 15.60-02



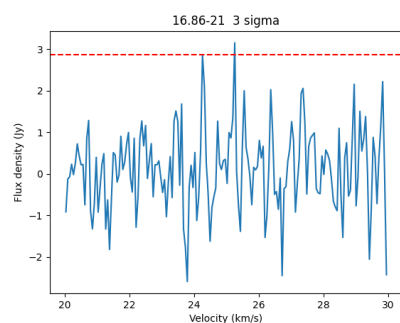
(c) 15.66-04



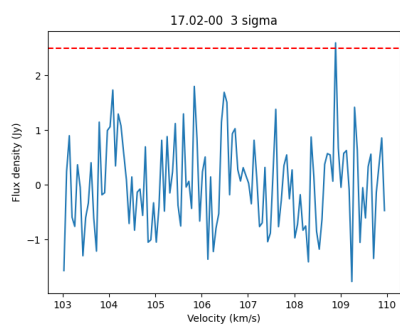
(d) 16.30-01



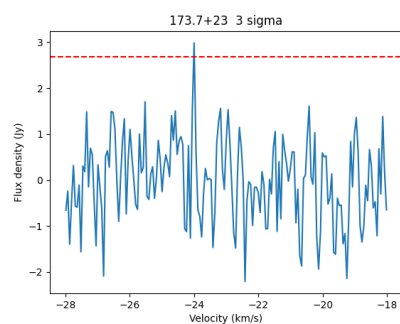
(e) 16.83+00



(f) 16.86-21

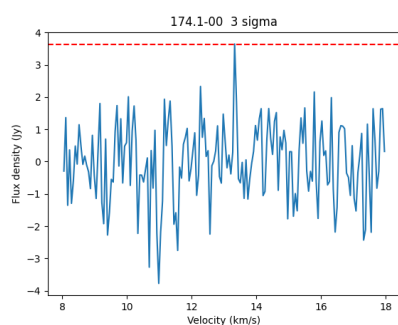


(g) 17.02-00

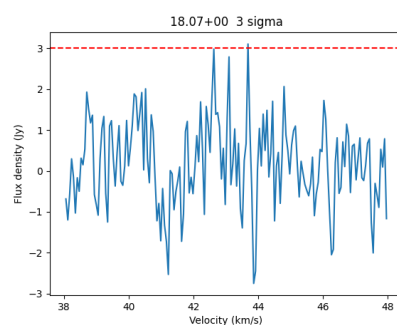


(h) 173.7+23

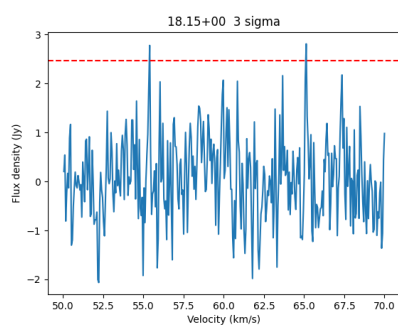
図 B.7: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 7)



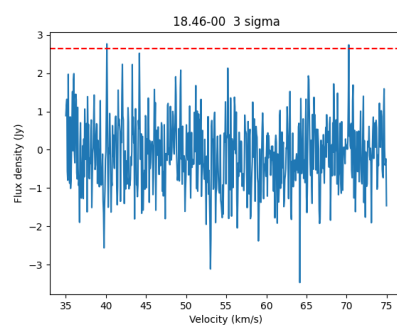
(a) 174.1-00



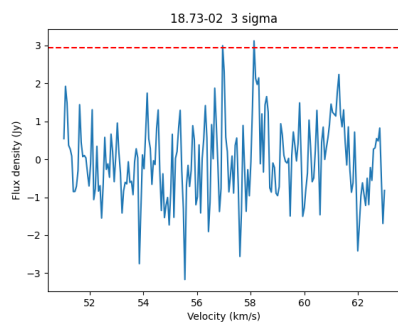
(b) 18.07+00



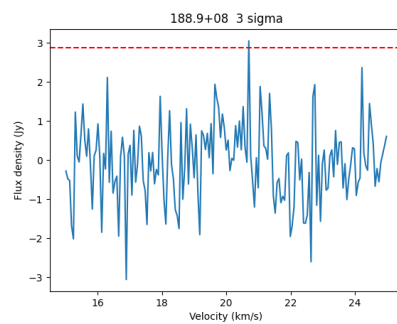
(c) 18.15+00



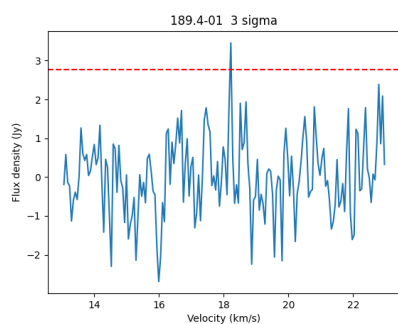
(d) 18.46-00



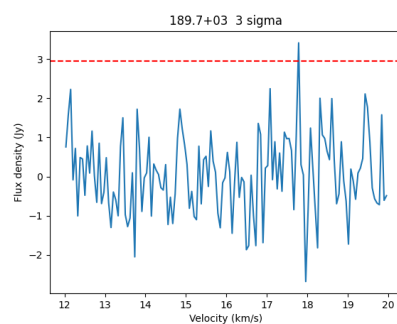
(e) 18.73-02



(f) 188.9+08

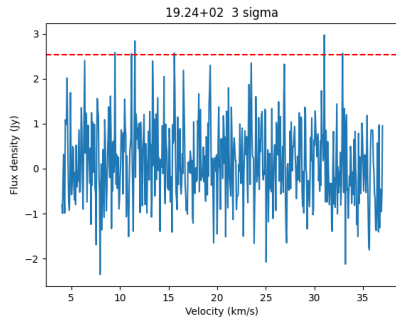


(g) 189.4-01

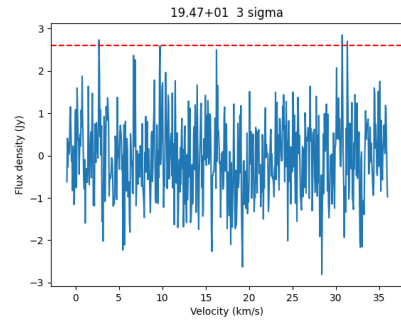


(h) 189.7+03

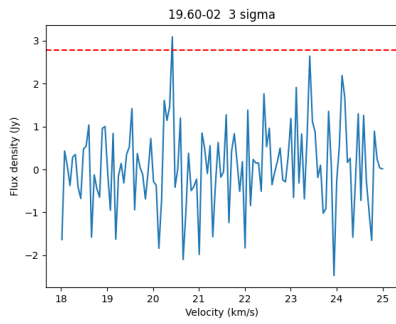
図 B.8: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 8)



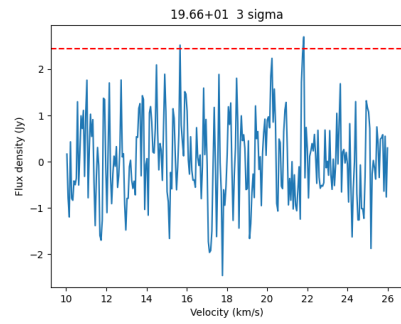
(a) 19.24+02



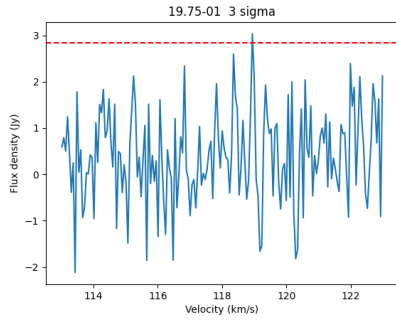
(b) 19.47+01



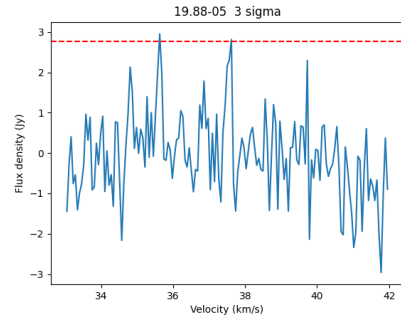
(c) 19.60-02



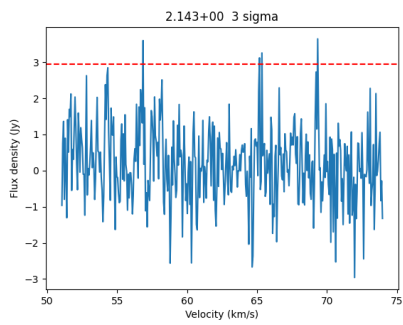
(d) 19.66+01



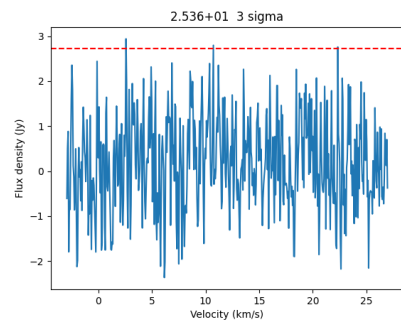
(e) 19.75-01



(f) 19.88-05

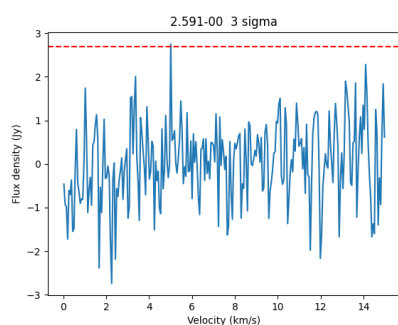


(g) 2.143+00

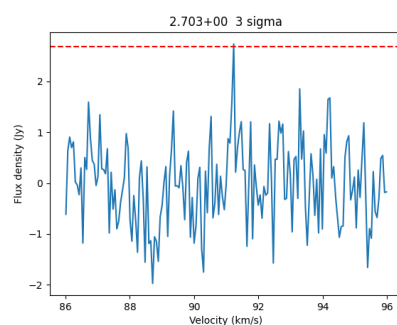


(h) 2.536+01

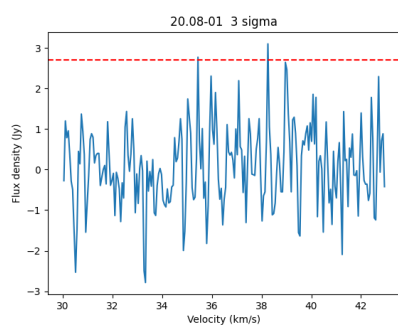
図 B.9: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 9)



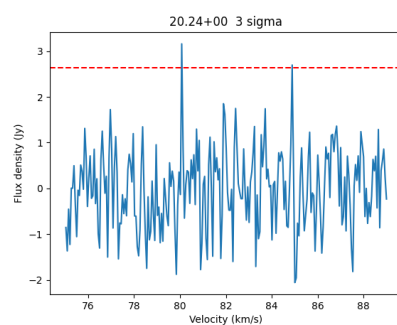
(a) 2.591-00



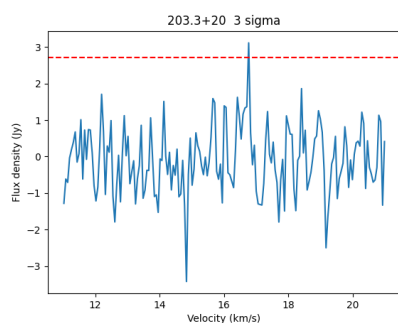
(b) 2.703+00



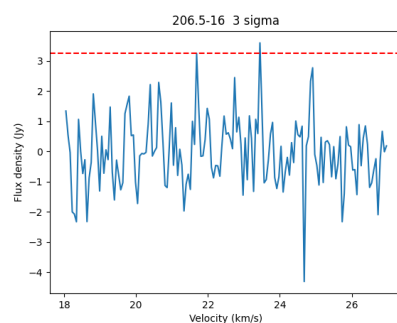
(c) 20.08-01



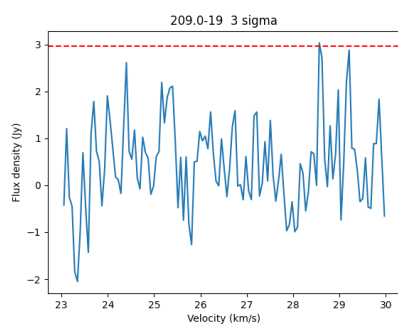
(d) 20.24+00



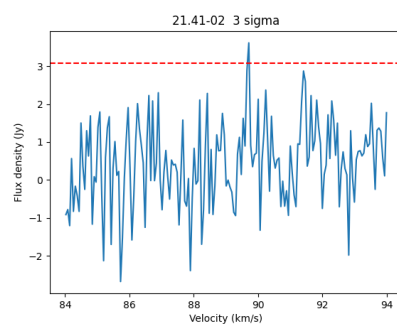
(e) 203.3+20



(f) 206.5-16

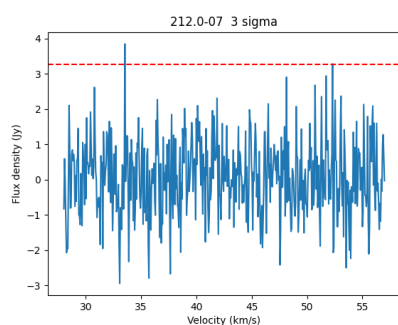


(g) 209.0-19

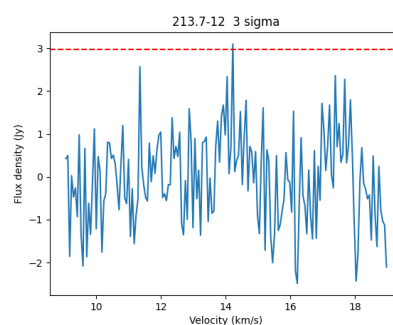


(h) 21.41-02

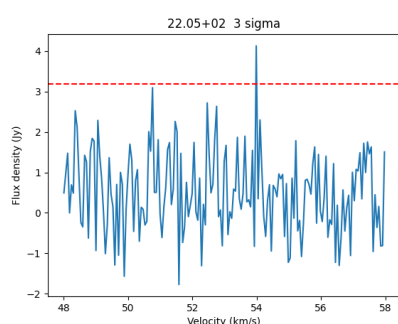
図 B.10: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 10)



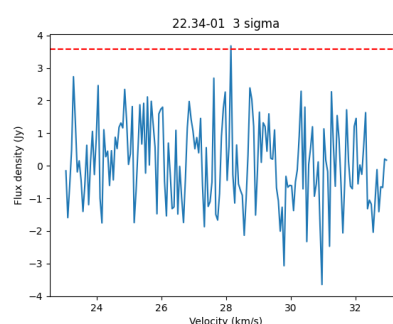
(a) 212.0-07



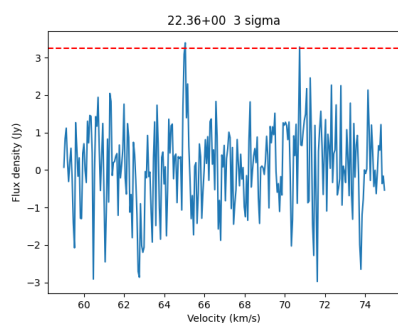
(b) 213.7-12



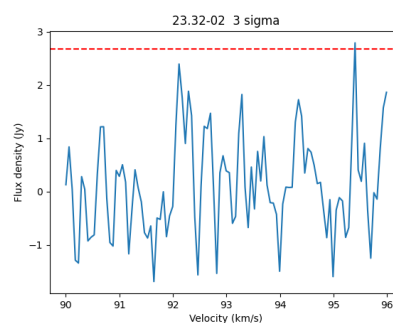
(c) 22.05+02



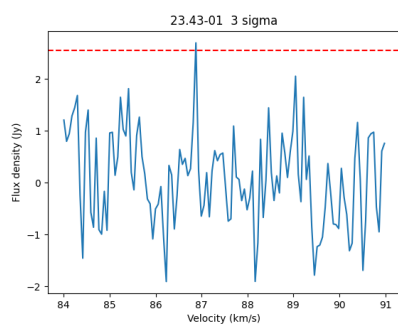
(d) 22.34-01



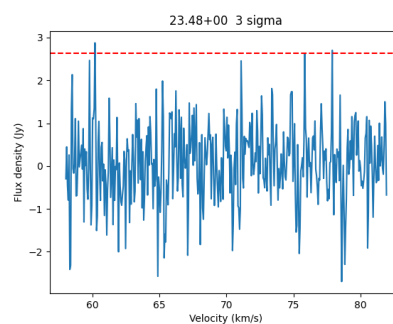
(e) 22.36+00



(f) 23.32-02

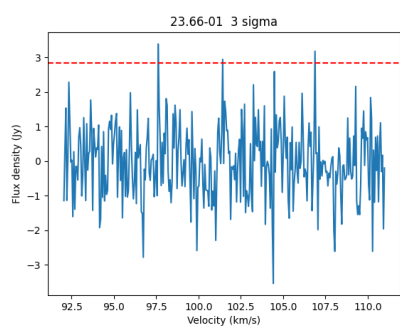


(g) 23.43-01

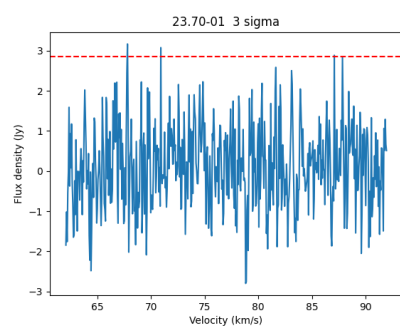


(h) 23.48+00

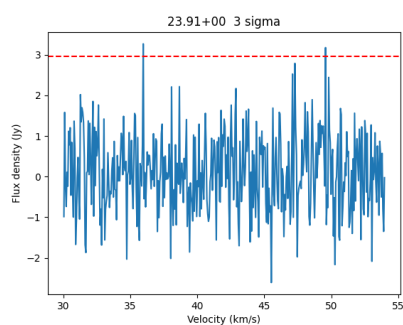
図 B.11: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 11)



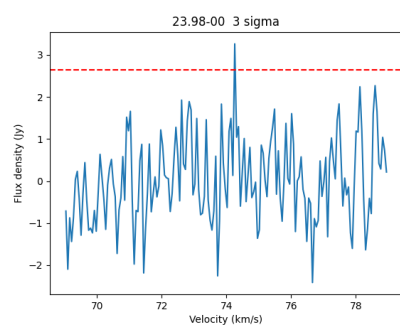
(a) 23.66-01



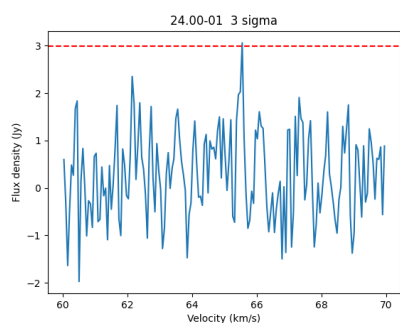
(b) 23.70-01



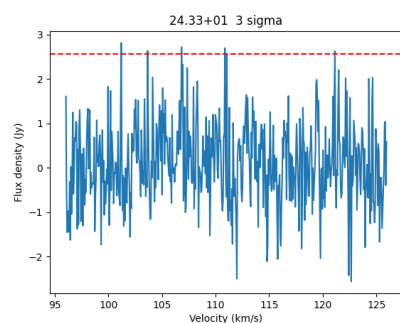
(c) 23.91+00



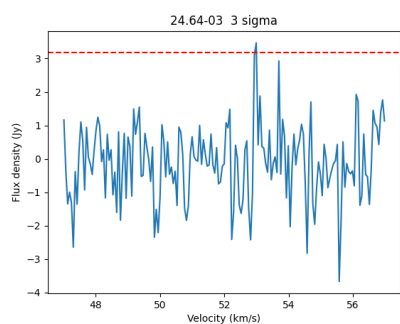
(d) 23.98-00



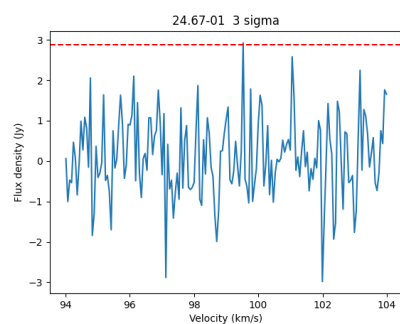
(e) 24.00-01



(f) 24.33+01

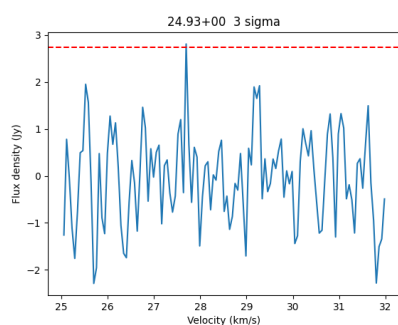


(g) 24.64-03

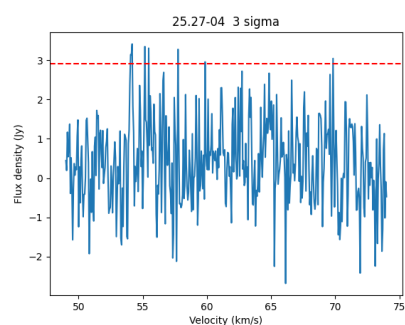


(h) 24.67-01

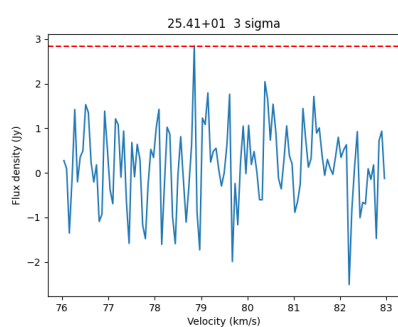
図 B.12: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 12)



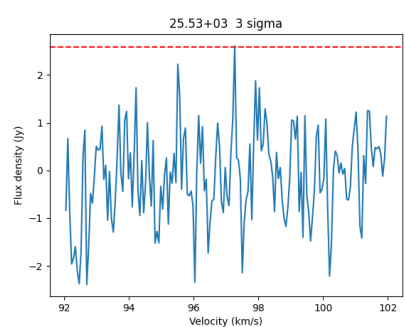
(a) 24.93+00



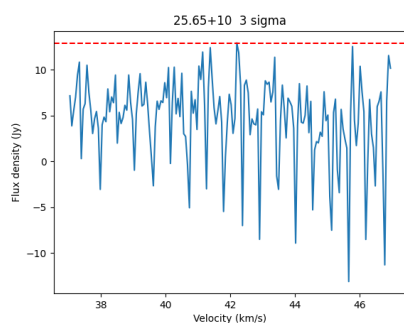
(b) 25.27-04



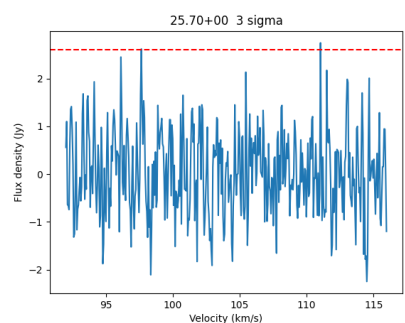
(c) 25.41+01



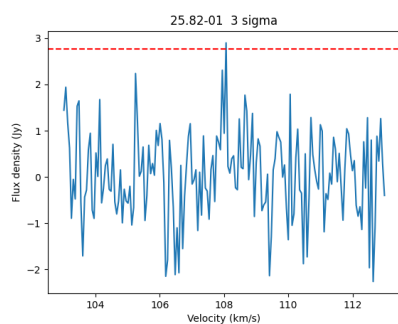
(d) 25.53+03



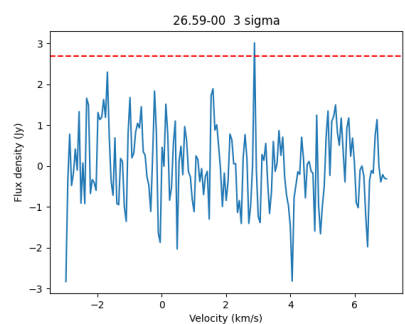
(e) 25.65+10



(f) 25.70+00

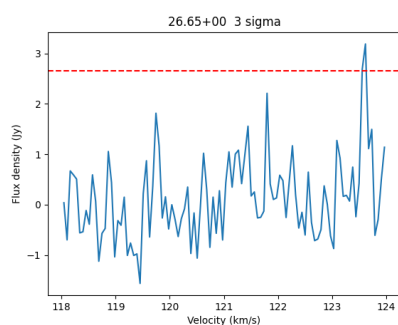


(g) 25.82-01

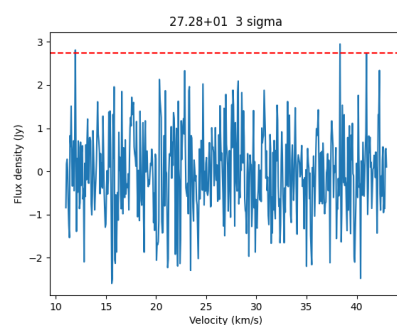


(h) 26.59-00

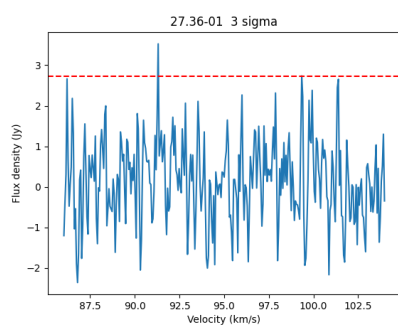
図 B.13: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 13)



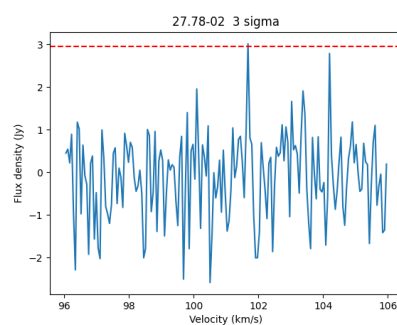
(a) 26.65+00



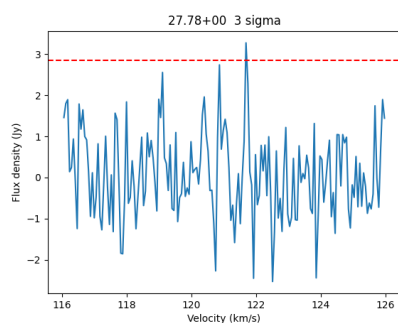
(b) 27.28+01



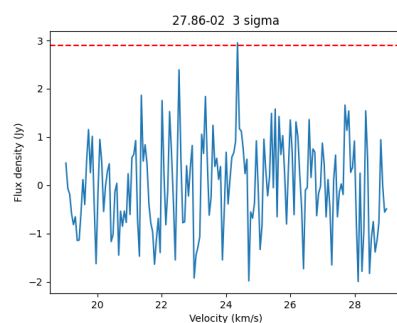
(c) 27.36-01



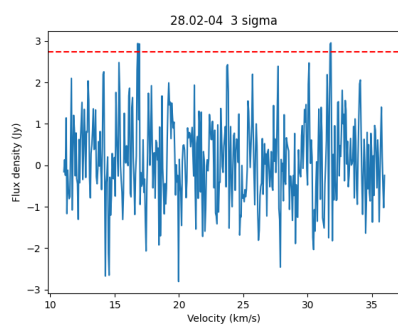
(d) 27.78-02



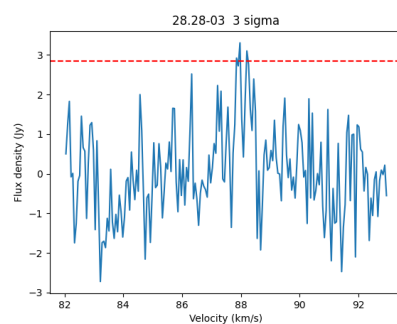
(e) 27.78+00



(f) 27.86-02

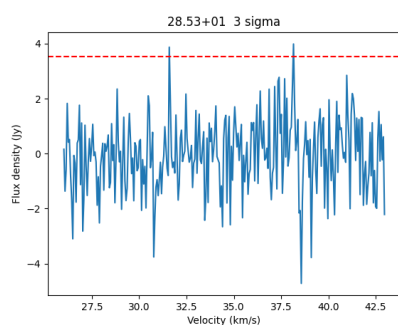


(g) 28.02-04

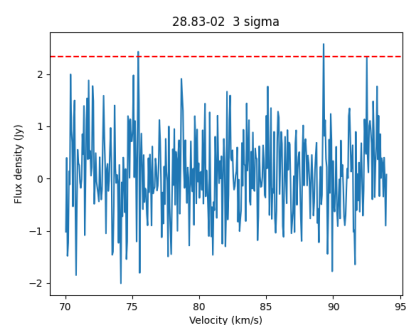


(h) 28.28-03

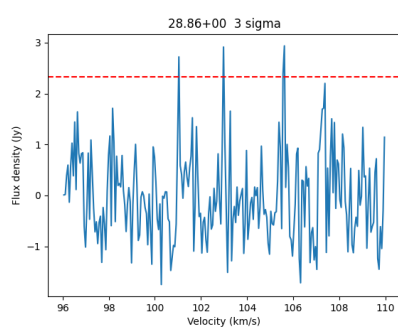
図 B.14: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 14)



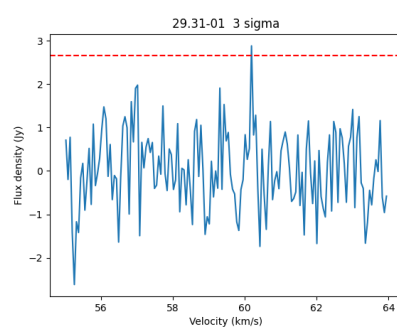
(a) 28.53+01



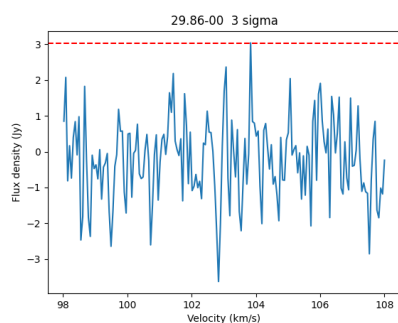
(b) 28.83-02



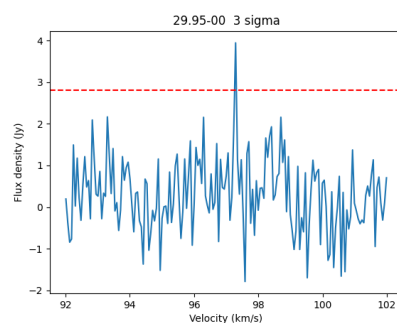
(c) 28.86+00



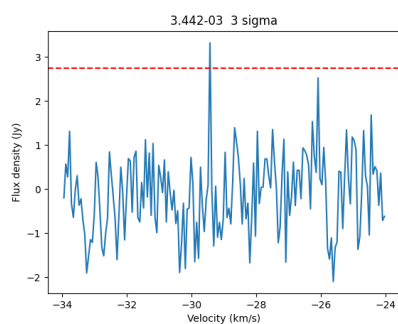
(d) 29.31-01



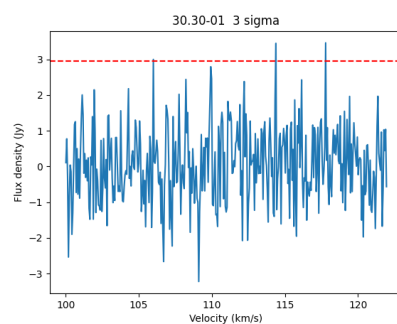
(e) 29.86-00



(f) 29.95-00

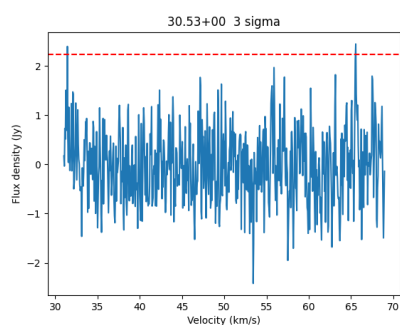


(g) 3.442-03

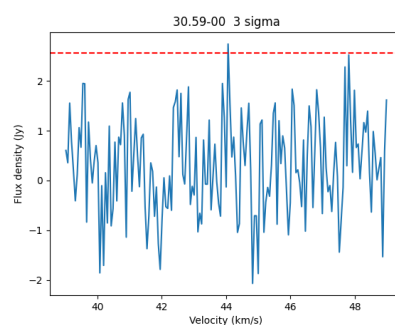


(h) 30.30-01

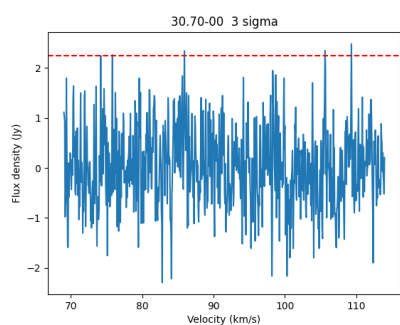
図 B.15: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 15)



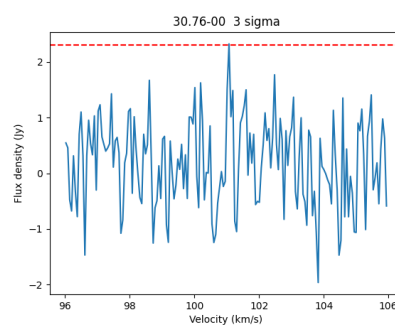
(a) 30.53+00



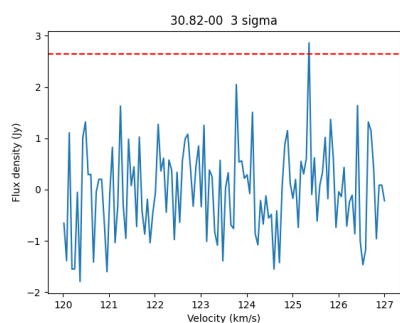
(b) 30.59-00



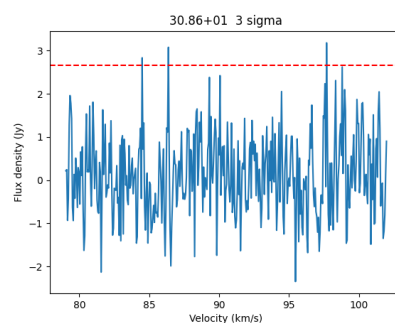
(c) 30.70-00



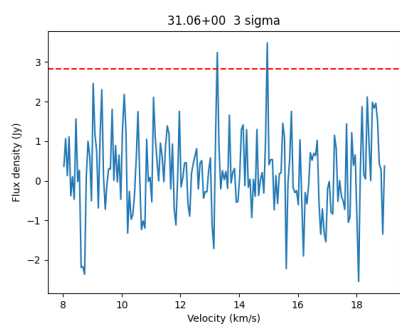
(d) 30.76-00



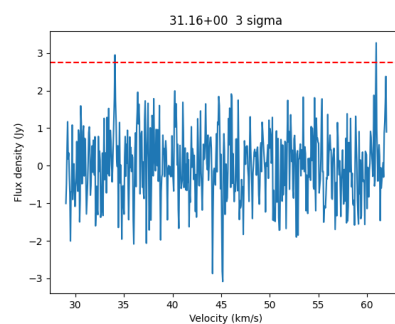
(e) 30.82-00



(f) 30.86+01

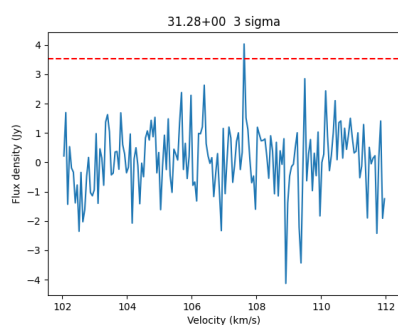


(g) 31.06+00

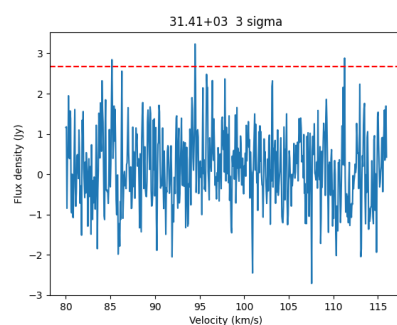


(h) 31.16+00

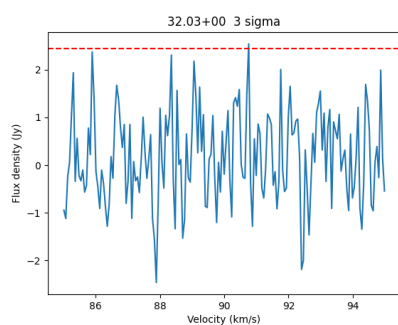
図 B.16: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 16)



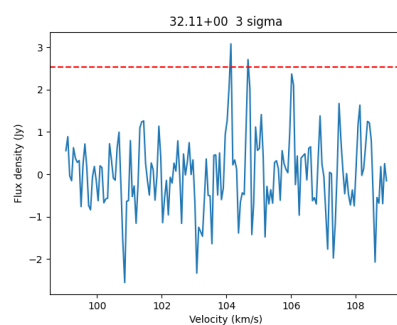
(a) 31.28+00



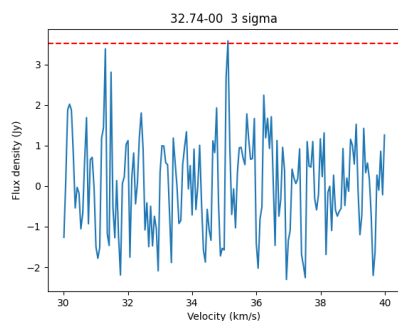
(b) 31.41+03



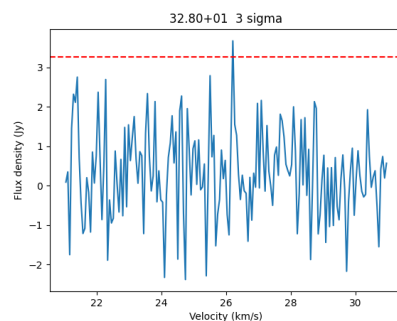
(c) 32.03+00



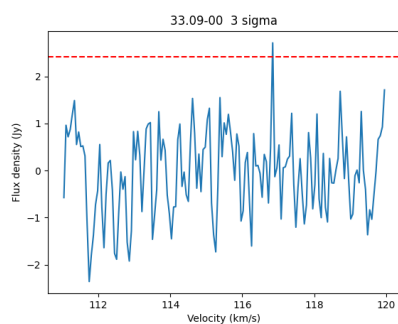
(d) 32.11+00



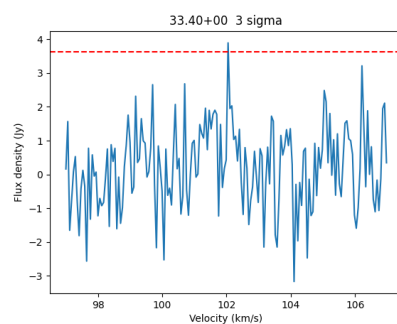
(e) 32.74-00



(f) 32.80+01

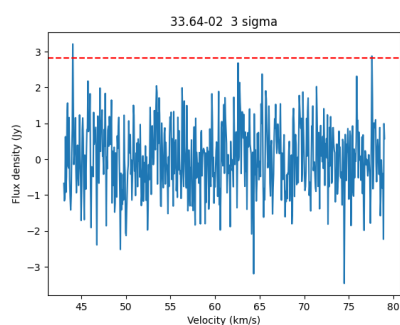


(g) 33.09-00

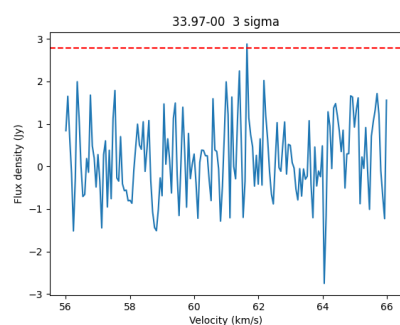


(h) 33.40+00

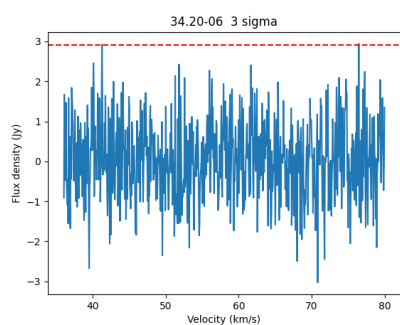
図 B.17: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 17)



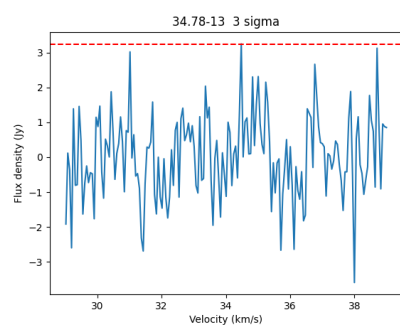
(a) 33.64-02



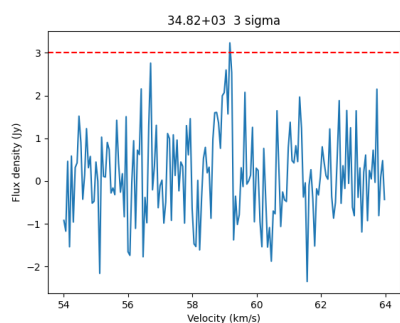
(b) 33.97-00



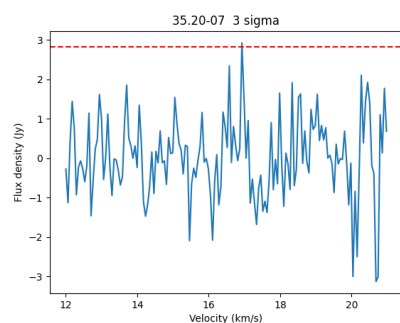
(c) 34.20-06



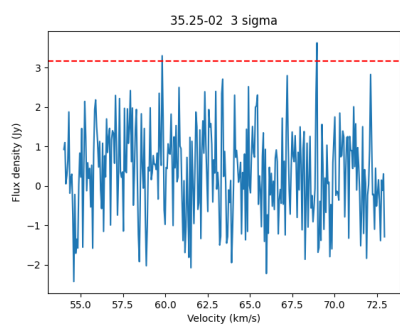
(d) 34.78-13



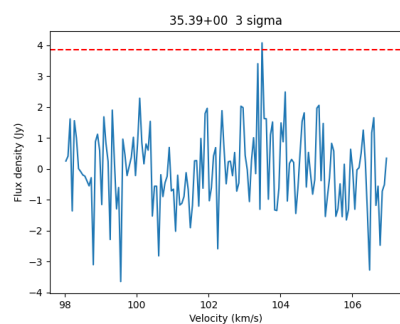
(e) 34.82+03



(f) 35.20-07

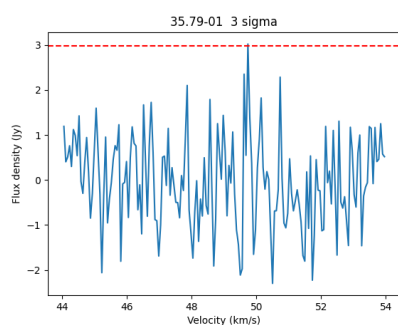


(g) 35.25-02

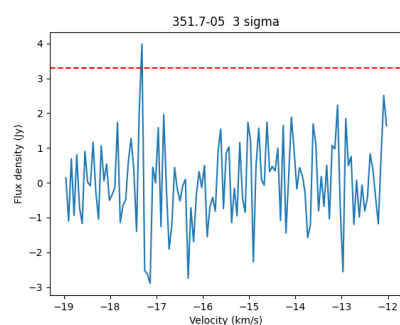


(h) 35.39+00

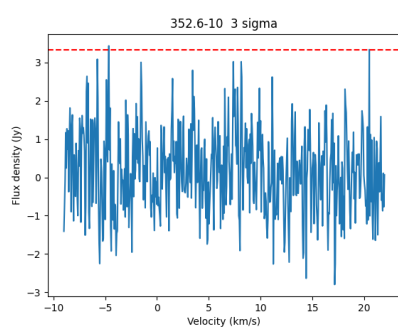
図 B.18: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 18)



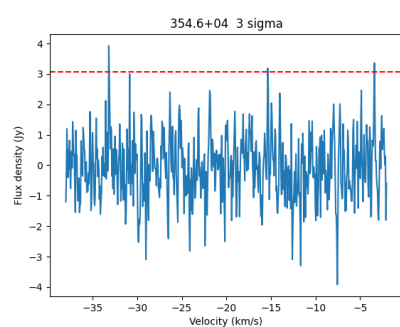
(a) 35.79-01



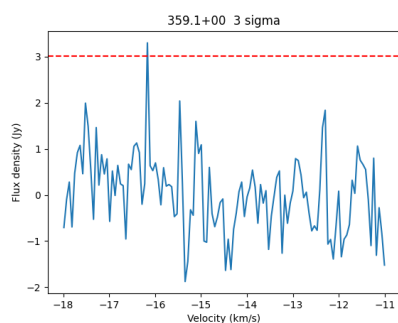
(b) 351.7-05



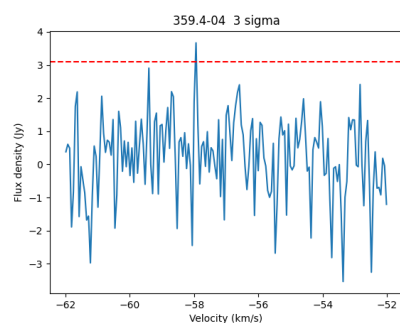
(c) 352.6-10



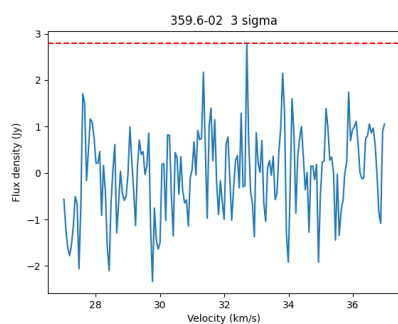
(d) 354.6+04



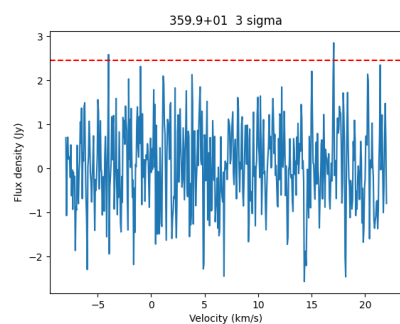
(e) 359.1+00



(f) 359.4-04

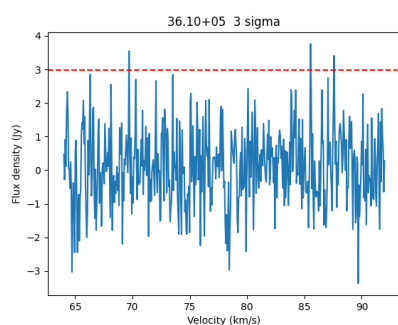


(g) 359.6-02

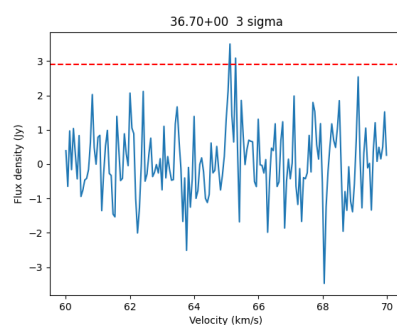


(h) 359.9+01

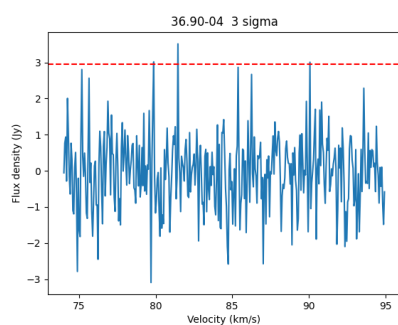
図 B.19: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 19)



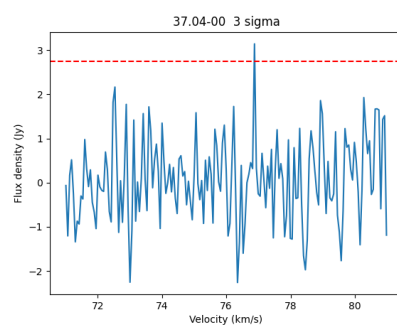
(a) 36.10+05



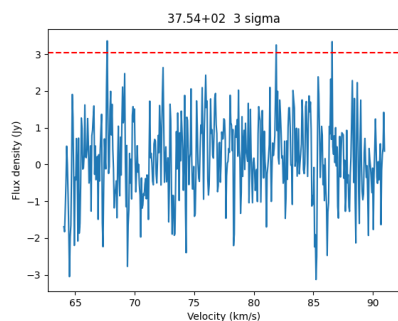
(b) 36.70+00



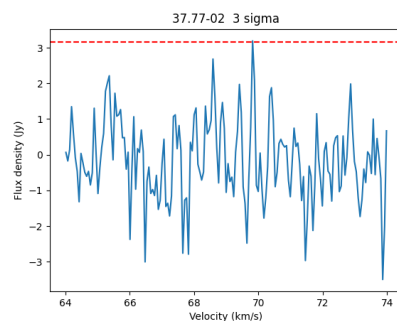
(c) 36.90-04



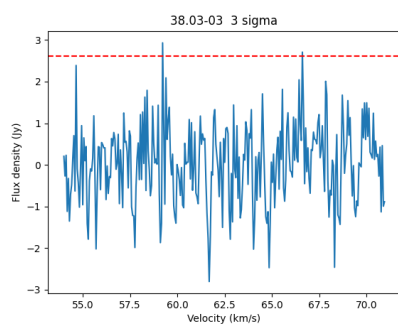
(d) 37.04-00



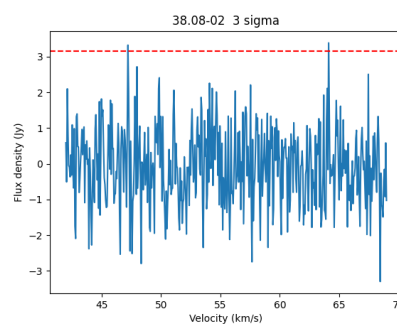
(e) 37.54+02



(f) 37.77-02

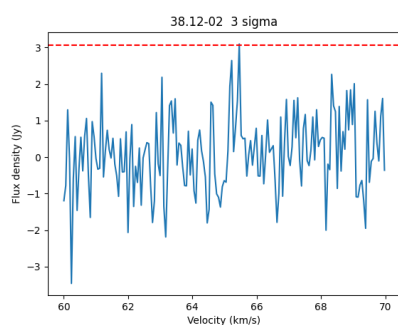


(g) 38.03-03

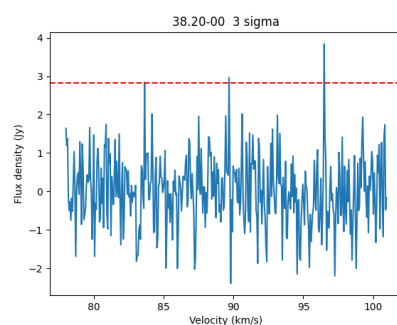


(h) 38.08-02

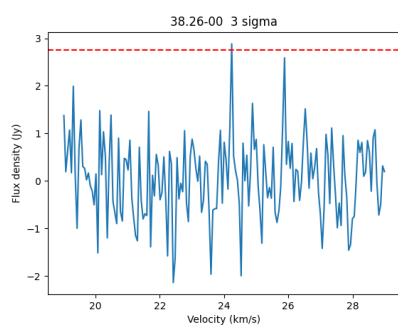
図 B.20: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 20)



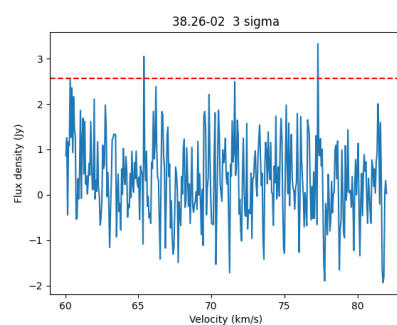
(a) 38.12-02



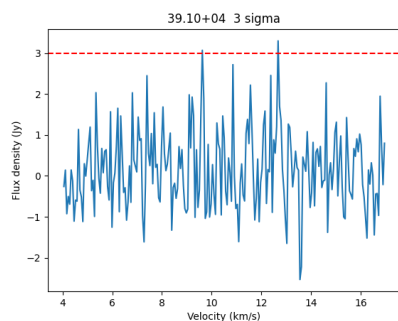
(b) 38.20-00



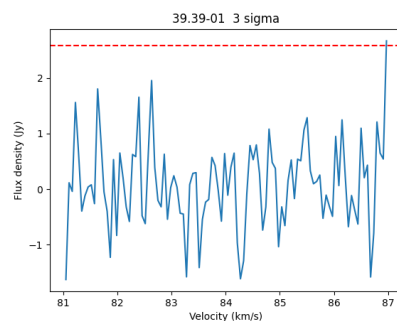
(c) 38.26-00



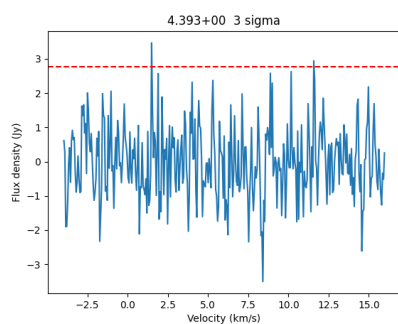
(d) 38.26-02



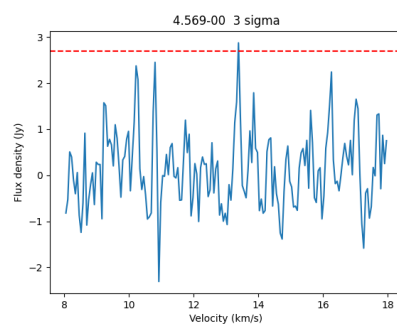
(e) 39.10+04



(f) 39.39-01

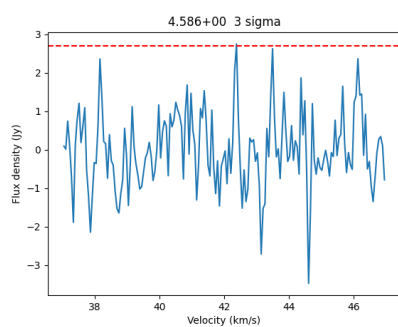


(g) 4.393+00

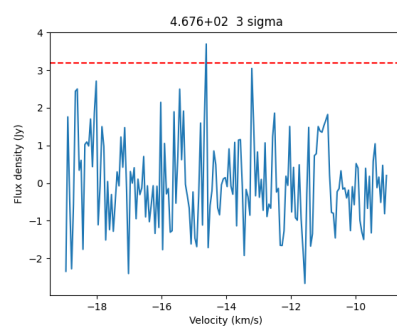


(h) 4.569-00

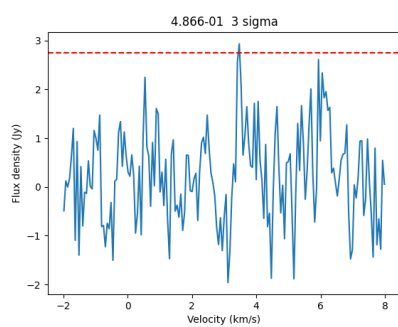
図 B.21: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 21)



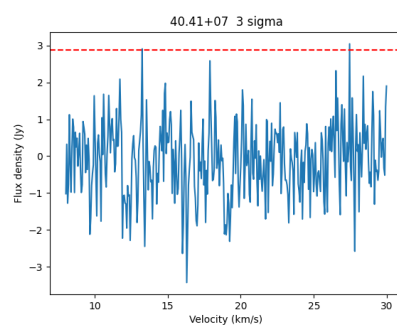
(a) 4.586+00



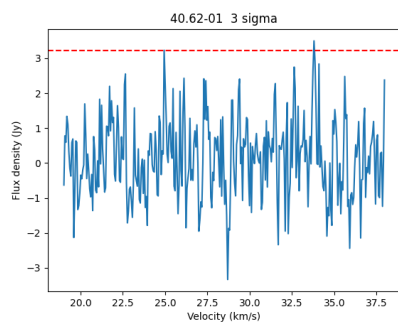
(b) 4.676+02



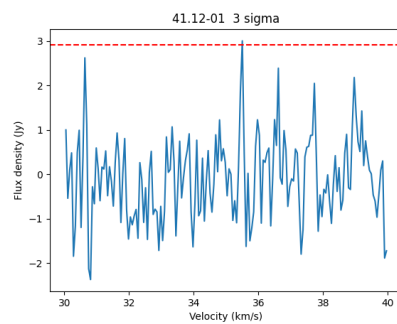
(c) 4.866-01



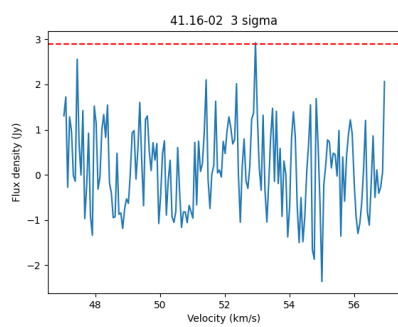
(d) 40.41+07



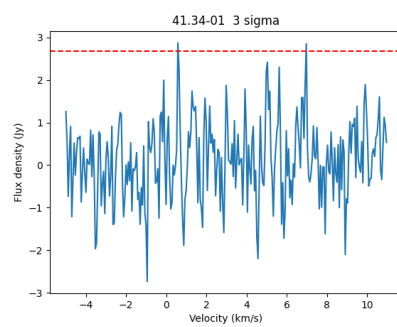
(e) 40.62-01



(f) 41.12-01

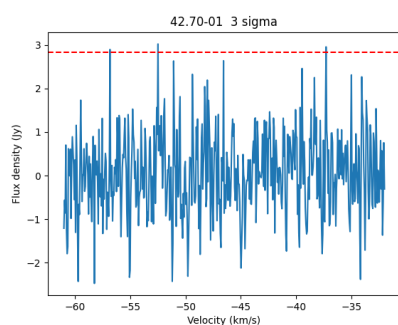


(g) 41.16-02

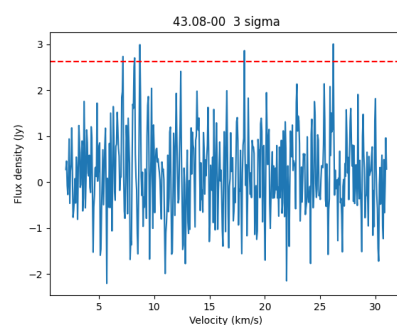


(h) 41.34-01

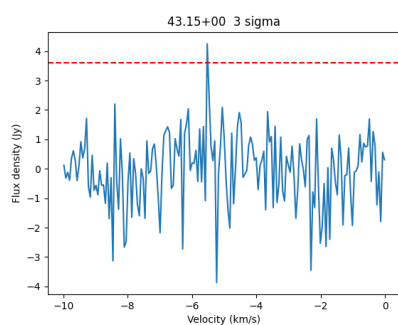
図 B.22: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 22)



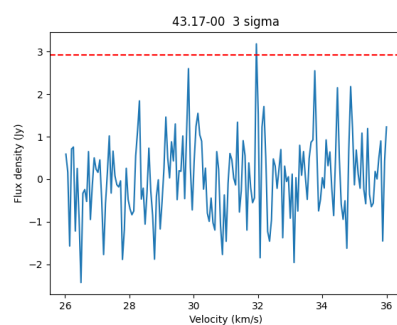
(a) 42.70-01



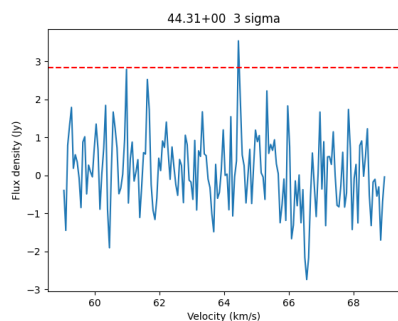
(b) 43.08-00



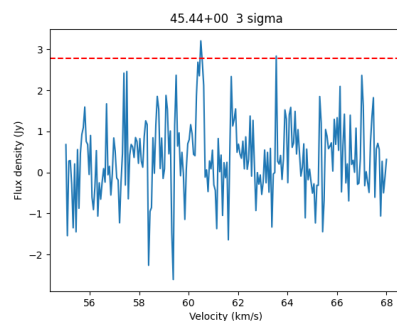
(c) 43.15+00



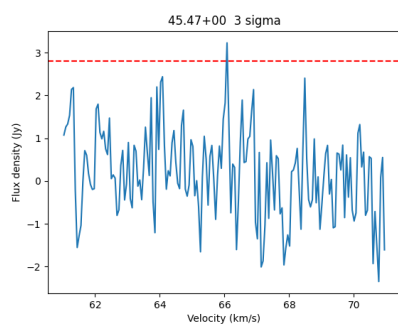
(d) 43.17-00



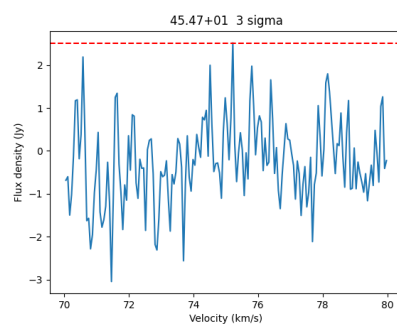
(e) 44.31+00



(f) 45.44+00

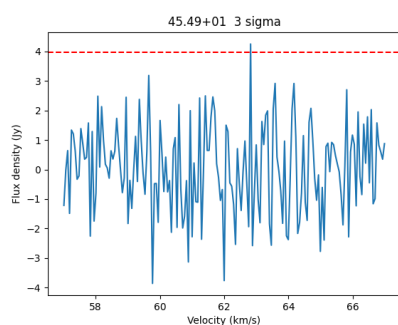


(g) 45.47+00

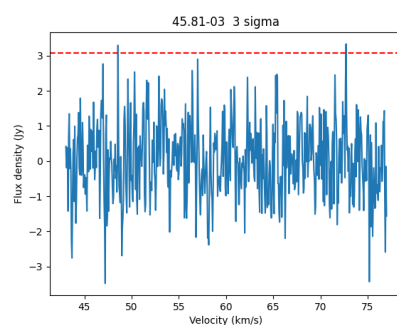


(h) 45.47+01

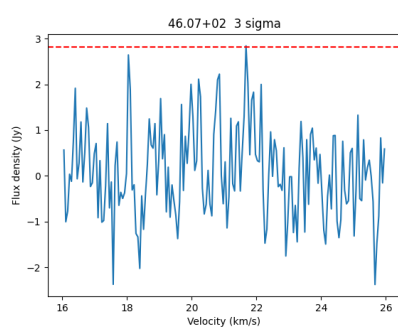
図 B.23: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 23)



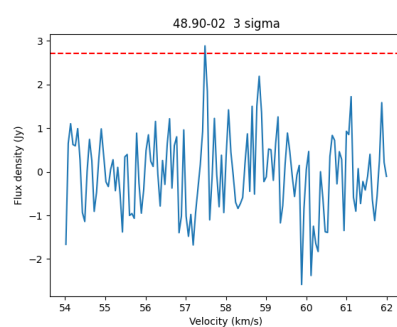
(a) 45.49+01



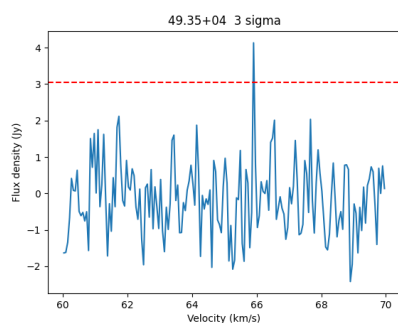
(b) 45.81-03



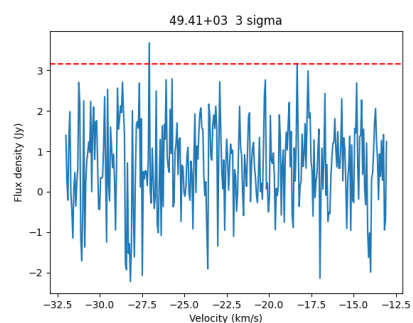
(c) 46.07+02



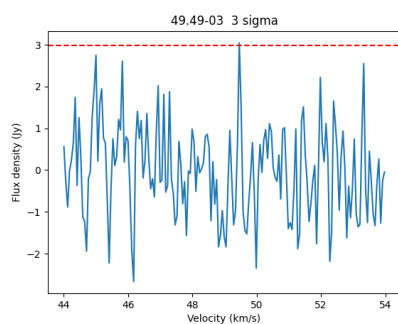
(d) 48.90-02



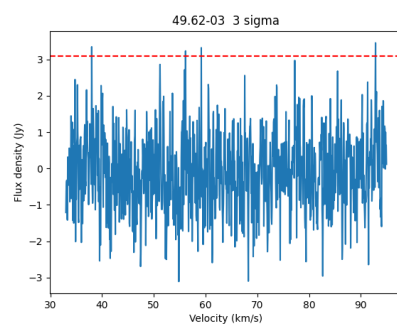
(e) 49.35+04



(f) 49.41+03

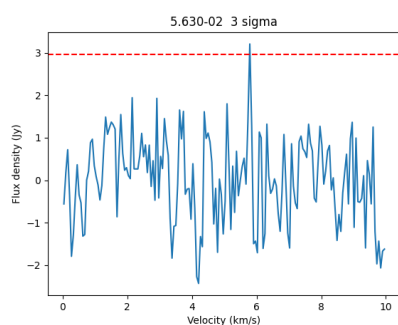


(g) 49.49-03

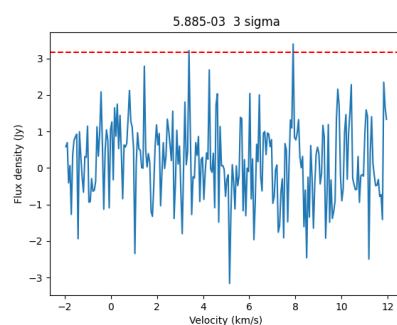


(h) 49.62-03

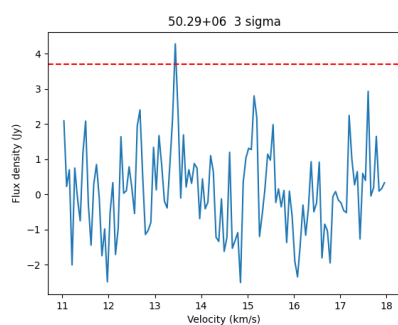
図 B.24: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 24)



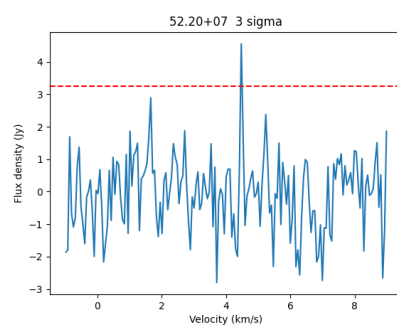
(a) 5.630-02



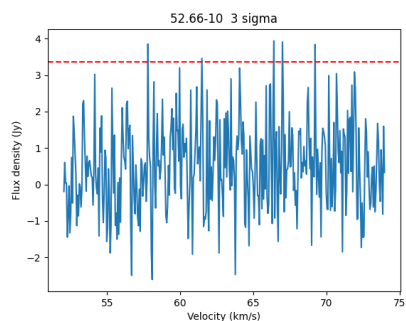
(b) 5.885-03



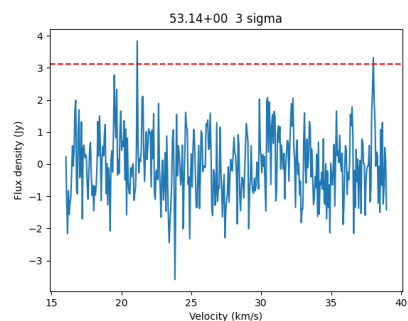
(c) 50.29+06



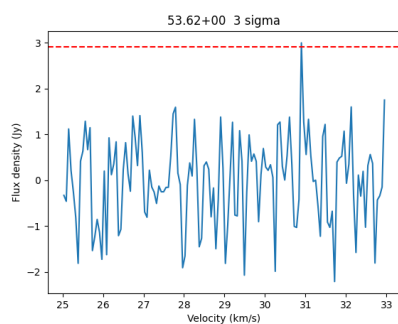
(d) 52.20+07



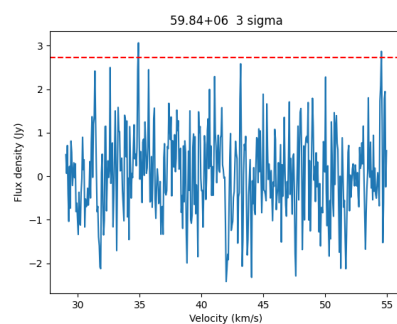
(e) 52.66-10



(f) 53.14+00

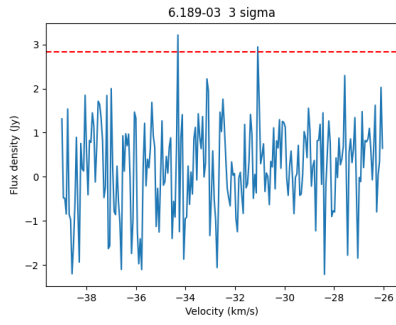


(g) 53.62+00

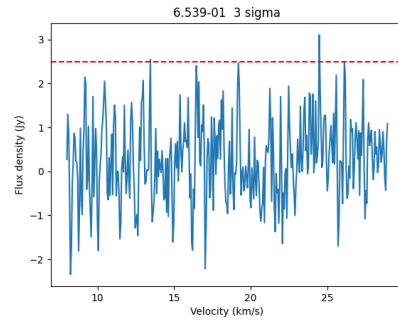


(h) 59.84+06

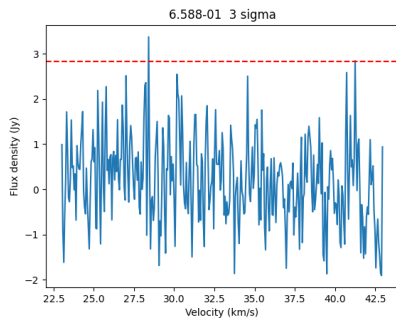
図 B.25: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 25)



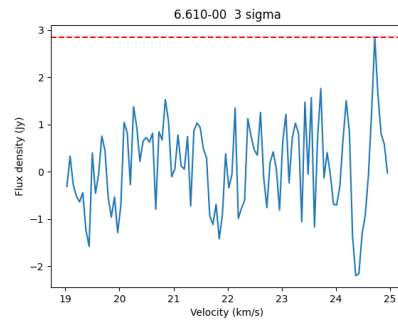
(a) 6.189-03



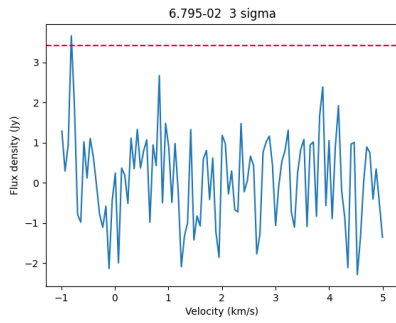
(b) 6.539-01



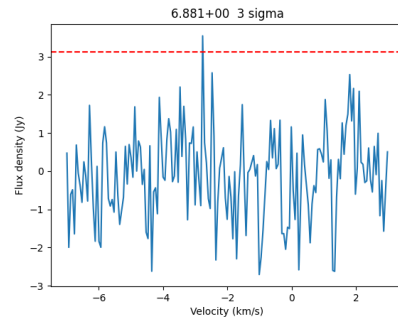
(c) 6.588-01



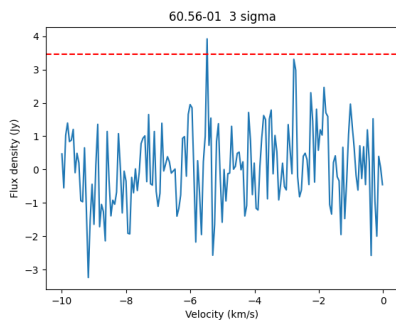
(d) 6.610-00



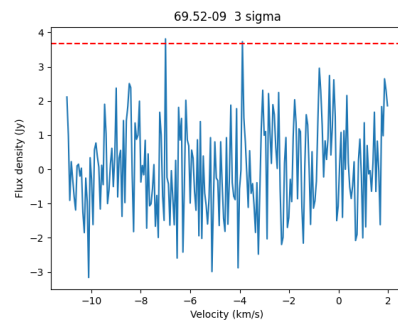
(e) 6.795-02



(f) 6.881+00

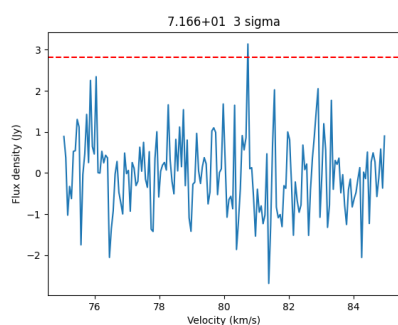


(g) 60.56-01

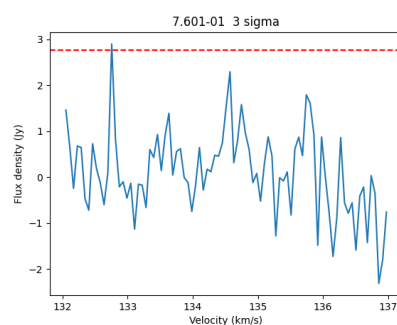


(h) 69.52-09

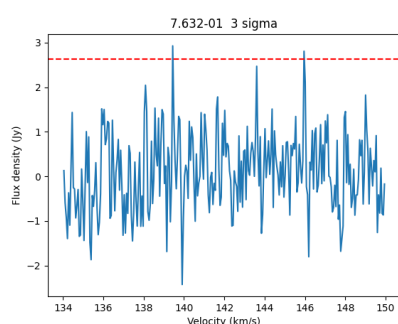
図 B.26: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 26)



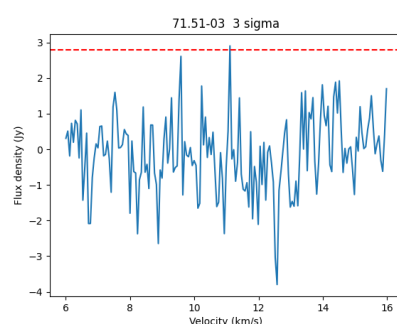
(a) 7.166+01



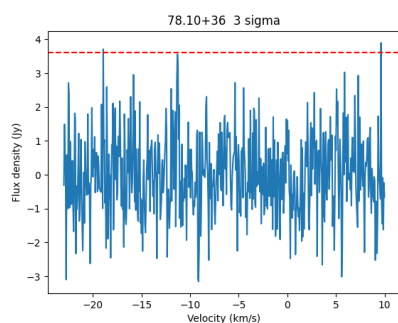
(b) 7.601-01



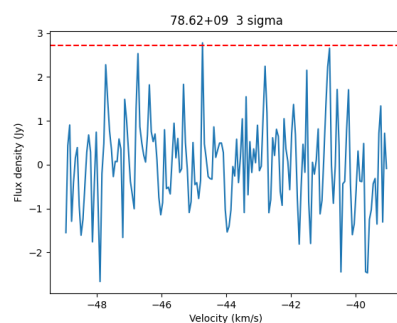
(c) 7.632-01



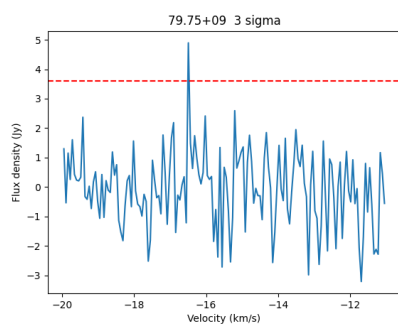
(d) 71.51-03



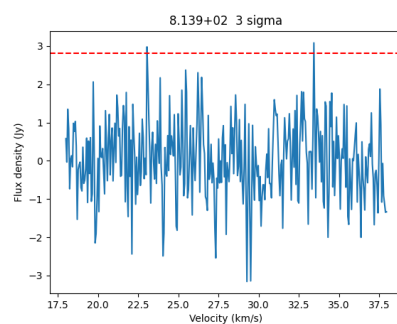
(e) 78.10+36



(f) 78.62+09

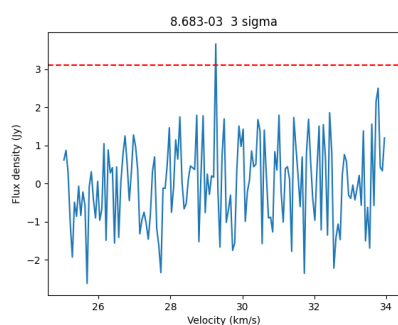


(g) 79.75+09

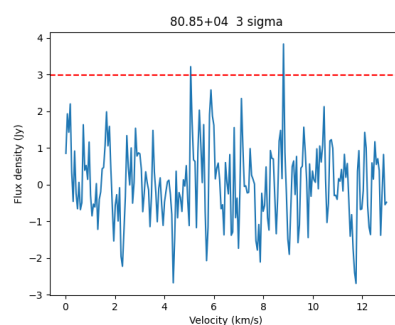


(h) 8.139+02

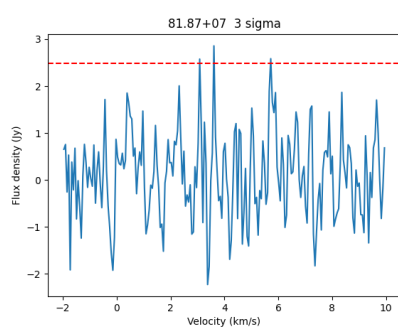
図 B.27: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 27)



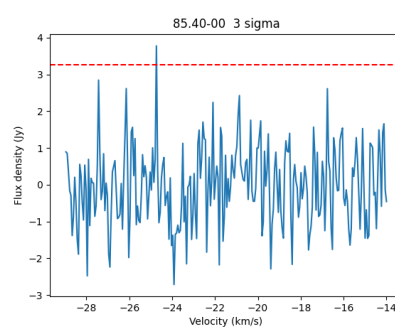
(a) 8.683-03



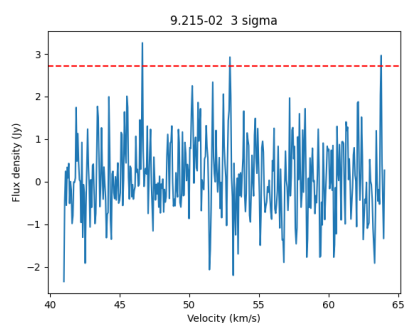
(b) 80.85+04



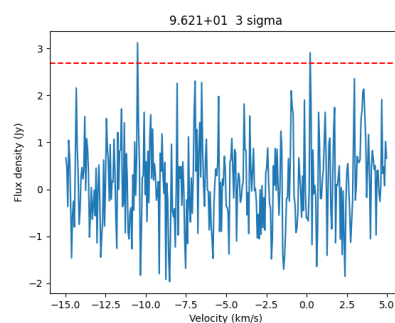
(c) 81.87+07



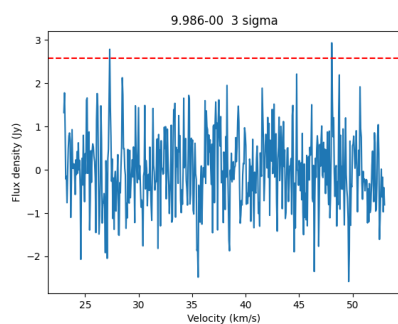
(d) 85.40-00



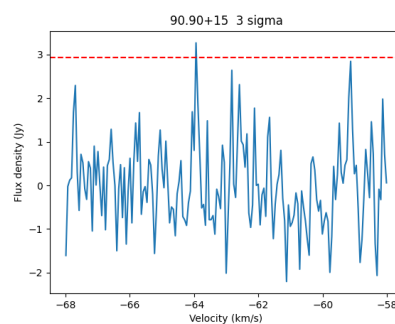
(e) 9.215-02



(f) 9.621+01

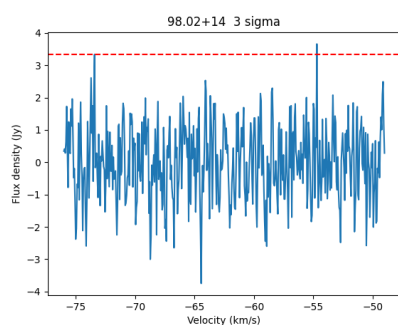


(g) 9.986-00

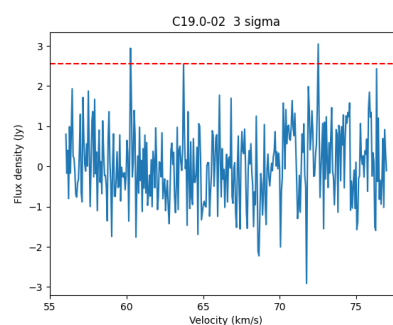


(h) 90.90+15

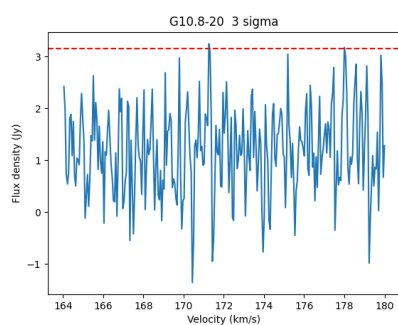
図 B.28: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 28)



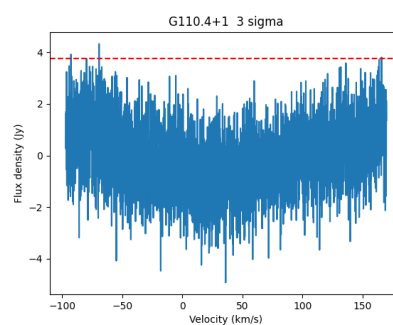
(a) 98.02+14



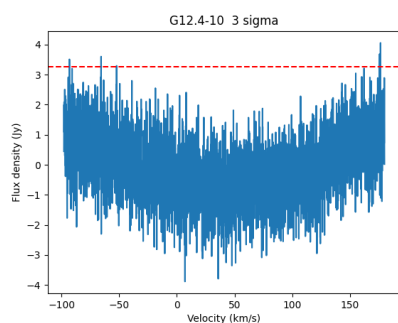
(b) C19.0-02



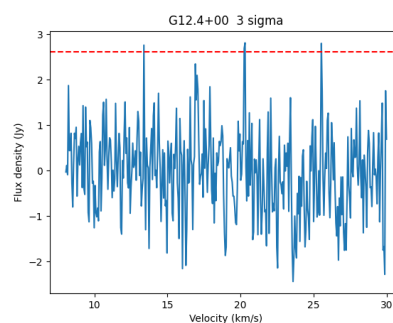
(c) G10.8-20



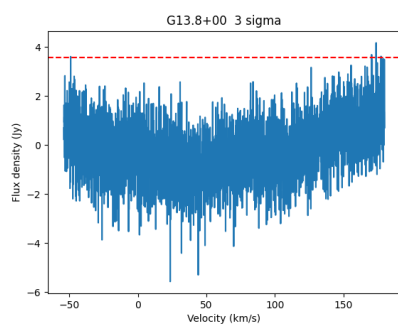
(d) G110.4+1



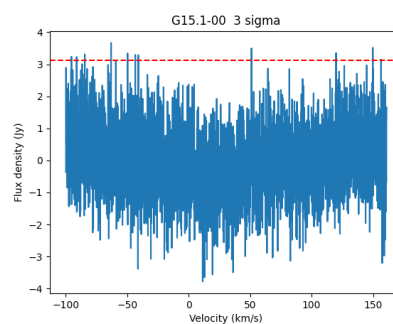
(e) G12.4-10



(f) G12.4+00

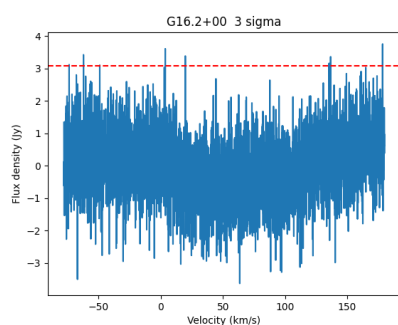


(g) G13.8+00

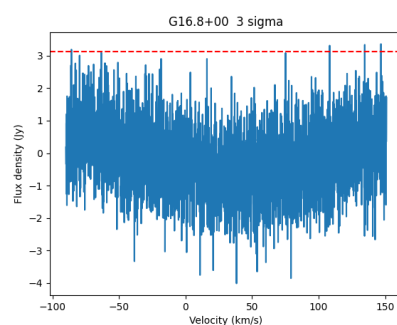


(h) G15.1-00

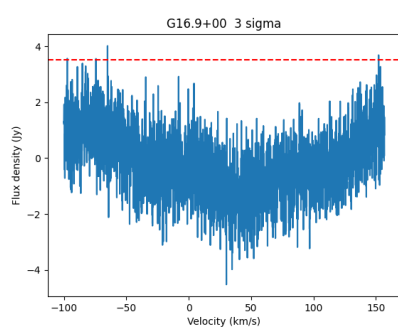
図 B.29: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 29)



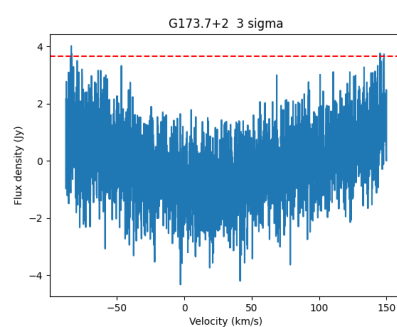
(a) G16.2+00



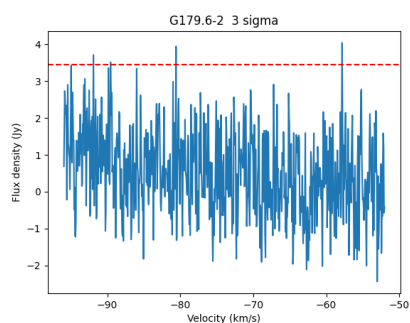
(b) G16.8+00



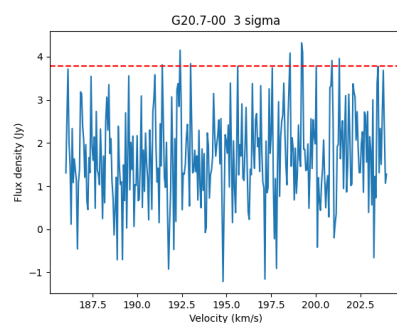
(c) G16.9+00



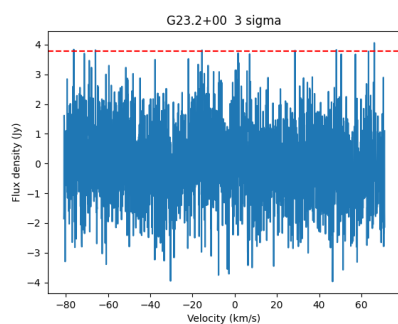
(d) G173.7+2



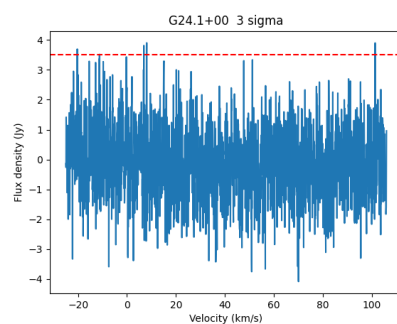
(e) G179.6-2



(f) G20.7-00

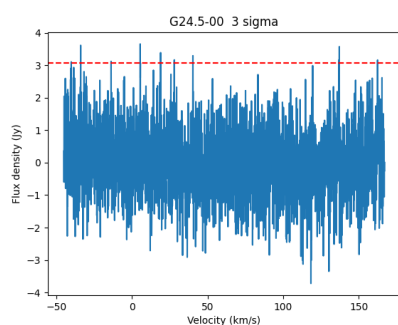


(g) G23.2+00

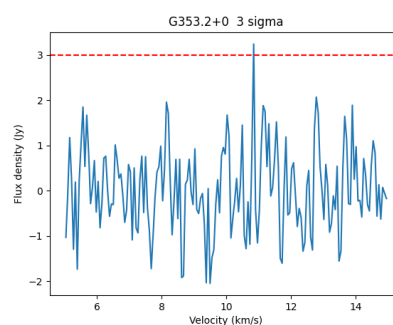


(h) G24.1+00

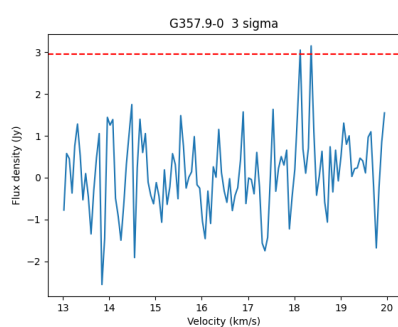
図 B.30: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 30)



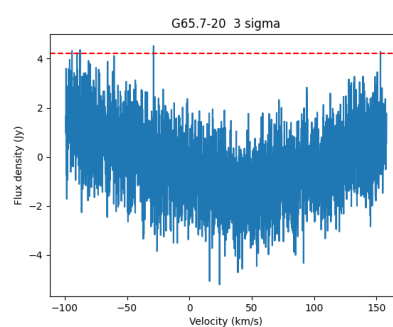
(a) G24.5-00



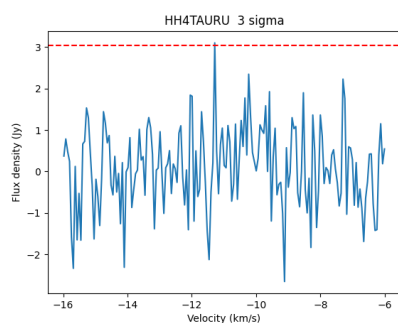
(b) G353.2+0



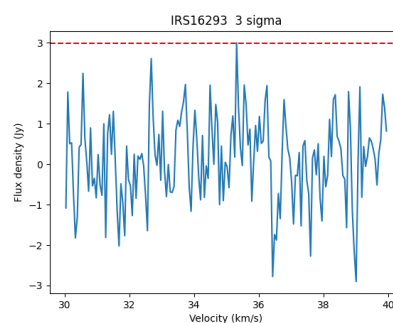
(c) G357.9-0



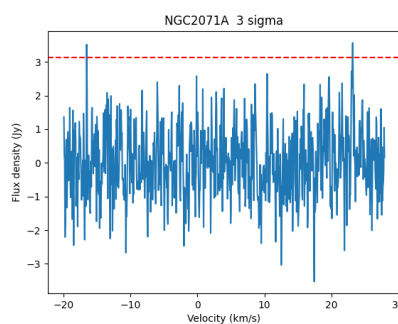
(d) G65.7-20



(e) HH4TAURU



(f) IRS16293



(g) NGC2071A

図 B.31: 3 sigma 以上 5 sigma 未満の放射が見られたスペクトル (ページ 31)

付録 C

python コード

解析に用いたコードを以下に示す。

Listing C.1: スペクトル作成

```
1 import os
2 import numpy as np
3 import re
4 import matplotlib.pyplot as plt
5
6 dir_path = "/content/drive/MyDrive/date_o/B24029A/base/"
7
8 files_file = [
9     f for f in os.listdir(dir_path) if os.path.isfile(os.path.join(
10         dir_path, f))
11 ]
12
13 for f in files_file:
14     #print(f)
15     # ファイルのパス BAS
16     bas_file_path = dir_path+f
17
18     # ファイルをで読み込む BASnumpy
19     data = np.loadtxt(bas_file_path)
20     vel=data[:,1]
21     flux=data[:,2]
```

```

22
23 # 数値を格納するリスト
24 numbers = []
25
26 # テキストファイルを開いて読み込む
27 with open(bas_file_path, 'r') as file:
28     # 行ごとに処理
29     for line_number, line in enumerate(file, start=1):
30         # 指定された行番号に含まれる場合
31         if line_number == 2:
32             # 正規表現を使用して数値を抽出する例
33             extracted_numbers = re.findall(r'-?\d+\.\d+', line)
34
35             # 数値が見つかった場合、リストに追加
36             if extracted_numbers:
37                 numbers.extend(map(float, extracted_numbers))
38
39 start=numbers[0]
40 end=numbers[3]
41 if start<end:
42     use=(vel>start)*(vel<end)
43 else:
44     use=(vel>end)*(vel<start)
45 #print(f,start,end)
46 #print(np.sum(use),f)
47
48
49 fy=flux[use]*3.43
50
51 plt.plot(vel[use],fy)
52 plt.xlabel('Velocity (km/s)')
53 plt.ylabel('Flux density (Jy)')
54 plt.title(f)
55 plt.savefig("/content/drive/MyDrive/dataimage/B24029Ai/"+f+'.png')
56 plt.close()

```

Listing C.2: winteg というソフトを用いて天体のデータを平均化する

```

1 import os
2 import re

```

```

3 import numpy as np
4
5 sourcelist = os.listdir('/home/murata/Desktop/grouped_data_ba/')
6 li = '/home/murata/Desktop/grouped_data_ba/'
7 oneepochsource = []
8
9 for source in sourcelist:
10     listname=li+source+'/' +source+'_list'
11     outfilename=li+'/' +source+'_ave'+'.bas'
12
13     os.system('ls ' +li+source+'/*.bas > ' +listname)
14
15     filelist = np.loadtxt(li+source+'/' +source+'_list',dtype = "
        unicode")
16     #print(source,filelist,type(filelist))
17     #print(len(filelist))
18
19     if type(filelist.tolist())==str:
20         oneepochsource.append(source)
21     else:
22
23         # 数値を格納するリスト
24         numbers = []
25
26         # テキストファイルを開いて読み込む
27         with open(filelist[0], 'r') as file:
28             # 行ごとに処理
29             for line_number, line in enumerate(file, start=1):
30                 # 指定された行番号に含まれる場合
31                 if line_number ==2:
32                     # 正規表現を使用して数値を抽出する例
33                     extracted_numbers = re.findall(r'-?\d+\.\d+', line
34
35
36                     # 数値が見つかった場合、リストに追加
37                     if extracted_numbers:
38                         numbers.extend(map(float, extracted_numbers))

```

```

39         v1=numbers[0]
40         v2=numbers[1]
41         v3=numbers[2]
42         v4=numbers[3]
43
44         !winteg $listname $outfilename $v1 $v2 $v3 $v4

```

Listing C.3: 平均化したデータをスペクトルにする

```

1  import os
2  import numpy as np
3  import re
4  import matplotlib.pyplot as plt
5
6  dir_path = "/home/murata/Desktop/grouped_data_ba/00ave_data/"
7
8  files_file = [
9      f for f in os.listdir(dir_path) if os.path.isfile(os.path.join(
10         dir_path, f))
11 ]
12
13 for f in files_file:
14     #print(f)
15     # ファイルのパス BAS
16     bas_file_path = dir_path+f
17
18     # ファイルをで読み込む BASnumpy
19     data = np.loadtxt(bas_file_path)
20     vel=data[:,1]
21     flux=data[:,2]
22
23     # 数値を格納するリスト
24     numbers = []
25
26     # テキストファイルを開いて読み込む
27     with open(bas_file_path, 'r') as file:
28         # 行ごとに処理

```

```

29     for line_number, line in enumerate(file, start=1):
30         # 指定された行番号に含まれる場合
31         if line_number == 3:
32             # 正規表現を使用して数値を抽出する例
33             extracted_numbers = re.findall(r'-?\d+\.\d+', line)
34
35             # 数値が見つかった場合、リストに追加
36             if extracted_numbers:
37                 numbers.extend(map(float, extracted_numbers))
38     start=numbers[0]
39     end=numbers[3]
40     if start<end:
41         use=(vel>start)*(vel<end)
42     else:
43         use=(vel>end)*(vel<start)
44     #print(f,start,end)
45     #print(np.sum(use),f)
46
47     fy=flux[use]*3.43
48
49     plt.plot(vel[use],fy)
50     plt.xlabel('Velocity (km/s)')
51     plt.ylabel('Flux density (Jy)')
52     plt.title(f)
53     plt.savefig("/home/murata/Desktop/"+f+'.png')
54     plt.close()

```

Listing C.4: 3-sigma 以上の放射がある天体を抽出する

```

1 import numpy as np
2 import pandas as pd
3 import os
4 import re
5 import pickle
6 from tqdm.notebook import trange,tqdm
7 from numba import jit
8
9 def read_csv_and_process(file_path, output_file):

```

```

10     data = pd.read_csv(file_path, header=None)
11
12     with open(output_file, 'w') as file:
13         file.write("")
14     flux_dic = {}
15     for index, row in tqdm(data.iterrows(), total=len(data), desc='
        Processing Files'):
16         file_path = row[0]
17         sigma1 = row[1]
18         sigma = float(sigma1)*3.43
19         flux_dic = process_file(file_path, sigma, output_file,flux_dic)
20     with open(output_file, 'wb') as file:
21         pickle.dump(flux_dic,file)
22
23 def process_file(file_path, sigma, output_file,flux_dic):
24     data_sec = pd.read_csv(file_path, header=None, comment='#', sep='\
        s+')
25
26     vel = np.array(data_sec[1])
27     value = np.array(data_sec[2])
28     flux_density = value * 3.43
29     sigma3 = float(sigma) * 3.0
30
31     numbers = extract_numbers_from_text(file_path)
32
33     start=numbers[0]
34     end=numbers[3]
35
36     if start<end:
37         use=(vel>start)*(vel<end)
38     else:
39         use=(vel>end)*(vel<start)
40
41     vel_1_4 = vel[use]
42     flux_density_1_4 = flux_density[use]
43
44     housya3 = flux_density_1_4 > sigma3
45

```

```

46     if not np.any(housya3):
47         print(f"Skipped: {file_path} (housya3 data is empty)")
48         return flux_dic
49
50     source = os.path.basename(file_path).split('_',1)[0]
51     flux_dic[source] = {'path':file_path,'v1':numbers[0],'v4':numbers
        [3],'sigma':sigma,'vel':vel_1_4[housya3],'flux_density':
        flux_density_1_4[housya3]}
52     return flux_dic
53
54 def extract_numbers_from_text(file_path):
55     numbers = []
56
57     with open(file_path, 'r') as file:
58         for line_number, line in enumerate(file, start=1):
59             if line_number == 3:
60                 extracted_numbers = re.findall(r'-?\d+\.\d+', line)
61
62                 if extracted_numbers:
63                     numbers.extend(map(float, extracted_numbers))
64
65     return numbers
66
67
68 if __name__ == "__main__":
69     file_path = "/home/murata/Desktop/date_o/output2.txt"
70     output_file = "/home/murata/Desktop/date_o/hennsa.pkl"
71
72     read_csv_and_process(file_path, output_file)

```

参考文献

- [1] Modern Astronomy Series 現代の天文学 16 宇宙の観測 ii ー電波天文学
- [2] <https://astro-dic.jp/> 天文学辞典
- [3] <https://www.nro.nao.ac.jp/> 国立天文台 野辺山宇宙電波観測所
- [4] Caswell et al. MNRAS 1029, 60 (2010)
- [5] Green et al. MNRAS, 913, 35 (2010)
- [6] Caswell et al. MNRAS, 1964, 95 (2011)
- [7] Green et al. MNRAS, 3108, 25 (2012)
- [8] Breen et al. MNRAS, 4109, 36 (2015)
- [9] Ellingsen, S. P., et al., "Discovery of new 19.9-GHz methanol masers in star-forming regions" (2004)
- [10] Wilson, T. L., Walmsley, C. M., Menten, K. M., & Hermsen, W." The discovery of a new masering transition of interstellar methanol" .Menten, K. M.& Batrla, W
- [11] <https://www.astroarts.co.jp/news/2010/01/25ngc6334/index-j.shtml>
- [12] ESO
- [13] https://mmatsuo0-nro-school.readthedocs.io/en/latest/downloads/source2018W3_v2.pdf