

2022 年度卒業論文

高萩 32 m 電波望遠鏡による 19 GHz メタノールメーザーの観測

茨城大学理学部理学科物理学コース 4 年

17S2015L 酒勾隆行

2023 年 3 月 23 日

目次

1. イントロダクション	1
2. 観測	2
3. 解析結果	4
3.1 放射が既知の 2 天体	4
3.1.1 N6334F	4
3.1.2 W3(OH)	5
3.2 新しく観測した天体	5
3.2.1 60.56-01	6
4. 比較	6
4.1 放射が既知の 2 天体	6
4.1.1 N6334F	6
4.1.2 W3(OH)	7
4.2 新しく観測した天体	8
4.2.1 60.56-01	8
5. 考察	9
6. まとめ	9
付録 A. 19.9 GHz メタノールメーザースペクトルと 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル	10

要旨

高萩 32m 望遠鏡を用いて、放射が既知の 2 天体と茨城大学でモニター観測を行っている天体のうちランダムに選んだ 184 天体に対して 19.9 GHz メタノールメーザーの観測を行った。放射が既知の天体では、従来の観測結果と同様の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトルを検出した。本研究で新たに観測した天体でも放射が得られた。

1. イントロダクション

大質量星形成領域には Class II メタノールメーザーが付随することが多い。最も強度が強い 6.7 GHz メタノールメーザーは数多く観測が行われている。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、物理状態の特定は困難である（図 1）。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強く観測されると予想され、物理状態の特定に大きく貢献すると考えられる。19.9 GHz のメタノールメーザーの観測は、107.0, 12.1, 6.7 GHz のメタノールメーザーや OH メーザーが観測された天体の極一部に対してのみ行われた[1, 2, 3, 4]。しかし 19.9 GHz メタノールメーザーが検出された天体は 9 天体しかない。

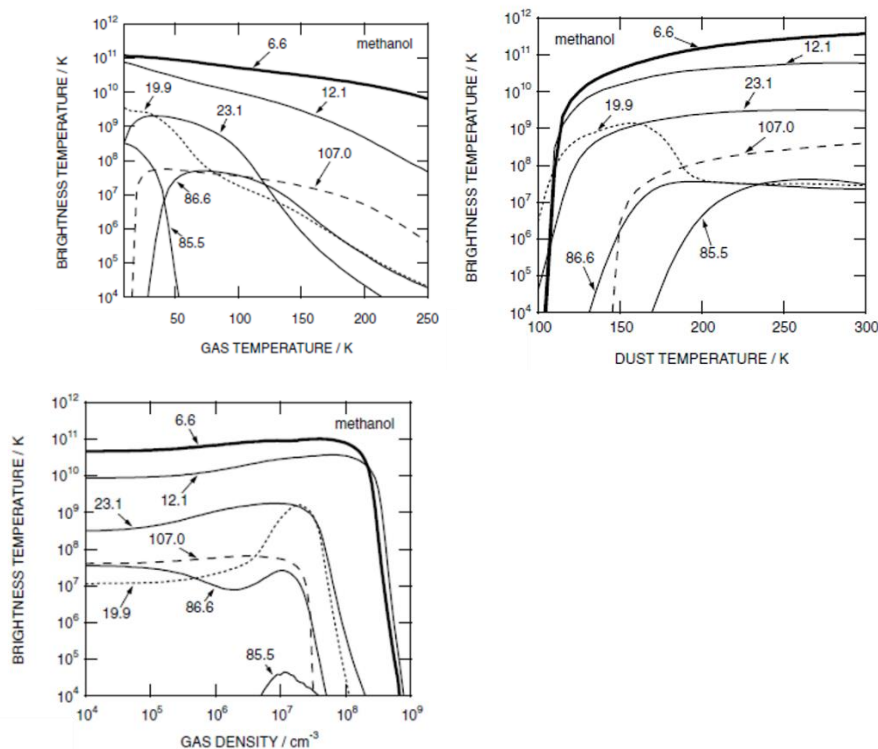


図 1： 周波数ごとの物理状態と観測されると予想される輝度温度の関係性 [1]

左上図：ガス温度、右上図：ダスト温度、下図：ガス密度

2.観測

2022 年 11 月 27 日から 12 月 15 日にかけて、高萩 32 m 電波望遠鏡を用いて観測を行った。観測天体は、放射が既知のものとして N6334F と W3(OH) の 2 つの天体と放射が未知のものとして茨城大学でモニター観測が行われている天体からランダムに選んだ 184 天体を観測した (表 2)。1 スキャンを ON 点 5 分間 OFF 点 5 分間とし、N6334F は 3 スキャン、W3(OH) は 12 スキャン、放射が未知の天体は 1 スキャンもしくは 2 スキャンを実施した(表 1)。

フラックス密度は、アンテナ温度との関係を用いて求めた。アンテナ温度 T_A^* は、

V_{on} (ON 点観測時に測定されたパワーに比例する電圧)

V_{off} (OFF 点観測時に測定されたパワーに比例する電圧)

V_R (標準黒体観測時に測定されたパワーに比例する電圧)

T_{amb} (標準黒体の温度)

より

$$T_A^* = T_{amb} * \frac{V_{on} - V_{off}}{V_R - V_{off}}$$

と求められる。また、アンテナ温度 T_A^* とフラックス密度 F には

$$F = \frac{2kT_A^*}{\eta_A * A_p} = 3.43 * \frac{T_A^*}{\eta_A}$$

が成り立つ。高萩 32m 電波望遠鏡の 22GHz における η_A を求めているため、本研究では $\eta_A = 0.3$ と仮定し、フラックス密度を求めた。

表 1 観測スケジュール

スケジュール	観測年	月日	doy	start-end	GP	観測天体数
M22331A	2022年	11月27日	331	01:42:32-09:54:32	GP3	41
M22334A	2022年	11月30日	334	05:42:00-06:05:00	W3OH	2
M22334C	2022年	11月30日	334	07:24:00-08:11:00	W3OH	4
M22334D	2022年	11月30日	334	08:54:00-10:05:00	W3OH	6
M22341A	2022年	12月7日	341	02:37:28-12:03:28	GP1	9
M22343A	2022年	12月9日	343	01:57:38-08:26:08	GP4	32
M22344A	2022年	12月10日	344	01:00:00-01:35:00	GP5	27
M22344N	2022年	12月10日	344	03:05:28-08:18:28	N6334F	3
M22345A	2022年	12月11日	345	02:21:44-11:47:44	GP1	44
M22346A	2022年	12月12日	346	02:21:44-10:12:14	GP2	40
M22347A	2022年	12月13日	347	00:39:36-08:51:36	GP3	41
M22348A	2022年	12月14日	348	01:37:58-08:06:28	GP4	32
M22349A	2022年	12月15日	349	02:45:48-07:58:48	GP5	26

表 2 放射が未知な天体の観測一覧

GP1	GP2	GP3	GP4	GP5
10.28-01	11.03+00	35.39+00	IRS16293	9.621+01
10.32-01	11.10-01	35.79-01	G351.2+0	9.986-00
10.32-02	11.49-14	36.02-02	352.6-10	10.09+07
10.35-01	11.903-0	36.10+05	359.6-02	10.20-03
10.44-00	11.904-0	36.64-02	5.618-00	12.02-00
10.47+00	11.93-01	36.70+00	C19.0-02	12.90-02
10.627-0	11.93-06	36.84-00	G10.8-20	13.17+00
10.629-0	11.99-02	36.90-04	G12.4+00	13.65-05
10.72-03	12.18-01	37.04-00	G12.4-10	14.23-05
10.82-01	12.19-00	37.38-00	G12.7-00	24.33+01
10.88+01	12.20-01	37.47-01	G13.8+00	24.50-00
10.95+00	12.26-00	37.52-01	G15.1-00	24.54+03
12.11-01	12.52+00	37.54+02	G16.2+00	24.67-01
13.69-01	12.62-00	37.60+04	G16.8+00	24.78+00
13.71-00	14.33-06	37.74-01	G16.9+00	24.93+00
14.10+00	14.39-00	37.76-01	G20.7-00	25.27-04
20.08-01	18.07+00	37.77-02	G23.2+00	25.38-01
20.24+00	18.15+00	38.03-03	G24.1+00	25.65+10
21.41-02	22.05+02	38.08-02	22.43-01	33.64-02
21.57-00	22.34-01	38.12-02	23.01-04	34.20-06
21.87+00	22.36+00	38.20-00	23.19-03	35.02+03
24.64-03	25.41+01	38.26-00	23.24-02	35.20-07
25.38+00	29.31-01	38.26-02	25.53+03	35.20-17
30.20-01	29.86-00	38.56+01	25.70+00	35.25-02
30.30+00	29.95-00	38.60-02	30.30-01	36.92+04
33.74-01	33.97-00	38.66+00	30.40-02	37.40+15
33.86+00	34.10+00	38.92-03	34.24+01	G24.5-00
41.16-02	41.34-01	39.10+04	34.39+02	
41.23-02	41.58+00	39.39-01	42.03+01	
41.27+03	41.87-01	39.54-03	42.30-03	
52.66-10	53.62+00	40.28-02	42.43-02	
52.92+04	58.75+06	40.41+07	42.70-01	
53.04+01	59.78+00	40.62-01		
53.14+00	59.84+06	40.94-00		
60.56-01	80.85+04	41.08-01		
69.52-09	81.76+05	41.12-01		
70.12+17	81.87+07	41.12-02		
71.51-03	84.95-06	50.00+05		
73.04+18	85.40-00	50.29+06		
75.76+03	G65.7-20	50.78+01		
78.10+36		52.20+07		
78.62+09				
78.89+07				
79.75+09				

3.解析結果

3.1 放射が既知の 2 天体

3.1.1 N6334F

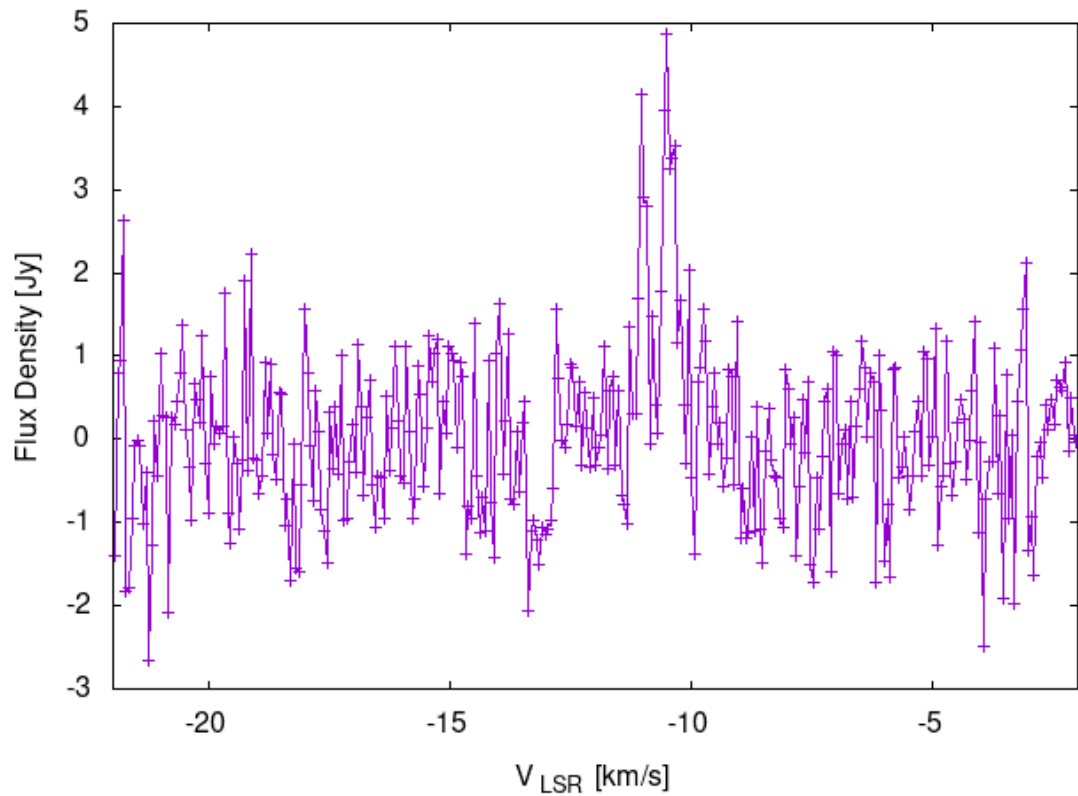


図 2： N6334F の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル

-11 km/s と -10 km/s 付近にピークが観測された。

3.1.2 W3(OH)

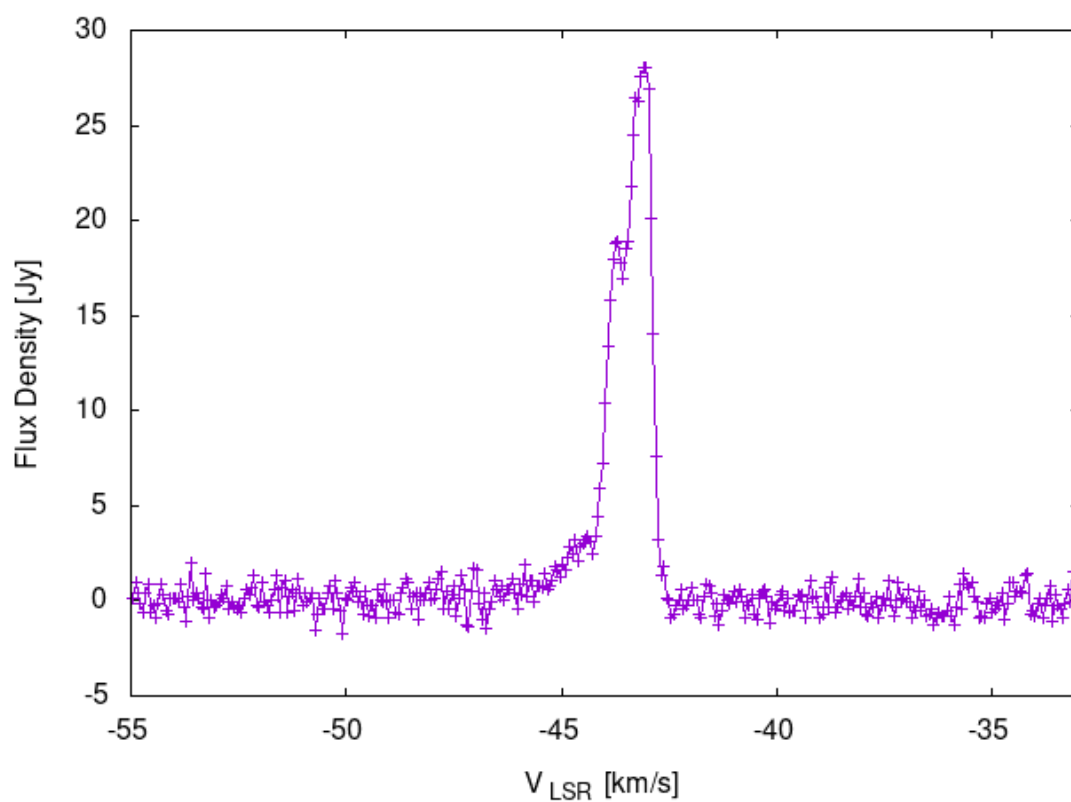


図 3： W3(OH)の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル

-44 km/s と -43 km/s 付近にピークが観測された。

3.2 新しく観測した天体

新たに 19.9 GHz メタノールメーザーと思われる放射が確認された天体だけ本文に記載し、その他の天体は付録に記載する。

3.2.1 60.56-01

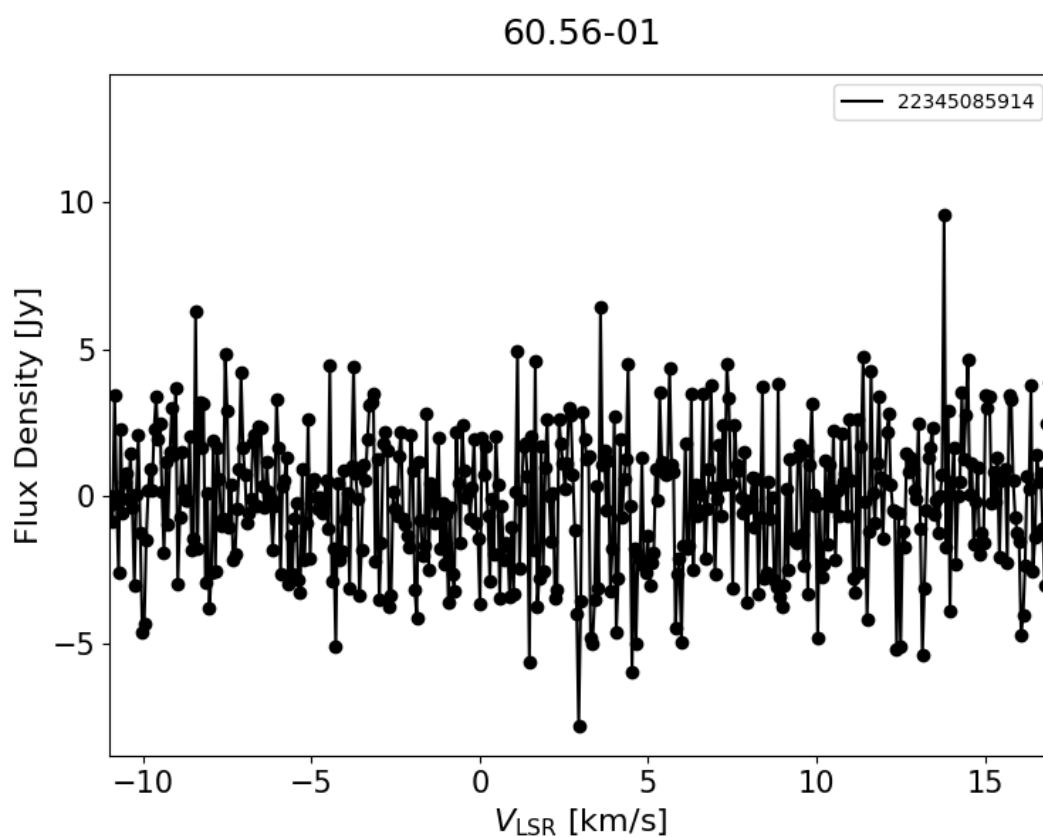


図 4： 60.56-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル

3.5 km/s で 3 sigma 、 13.5 km/s で 5 sigma 相当のピークが観測された。

4. 比較

4.1 放射が既知の 2 天体

4.1.1 N6334F

ピークは、先行研究 [2] と同じ速度範囲で確認できる。この天体は茨城大学のモニター観測では観測を行っていない。

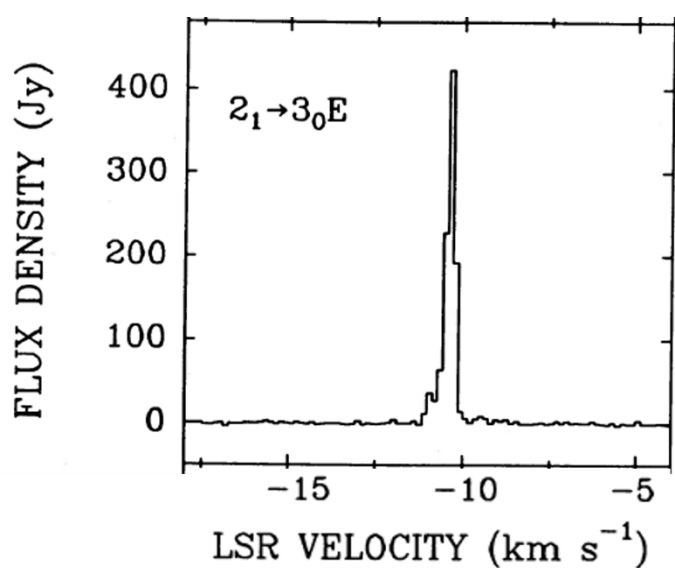


図 5： 先行研究 [2] における N6334F の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル

4.1.2 W3(OH)

ピークは、先行研究 [3] と同じ速度範囲で確認できる。茨城大学のモニター観測と比較すると、19.9 GHz メタノールメーザーが検出される速度では 6.7 GHz メタノールメーザーも検出されているが、6.7 GHz メタノールメーザーが検出されていても 19.9 GHz メタノールメーザーは検出されない速度範囲がある。

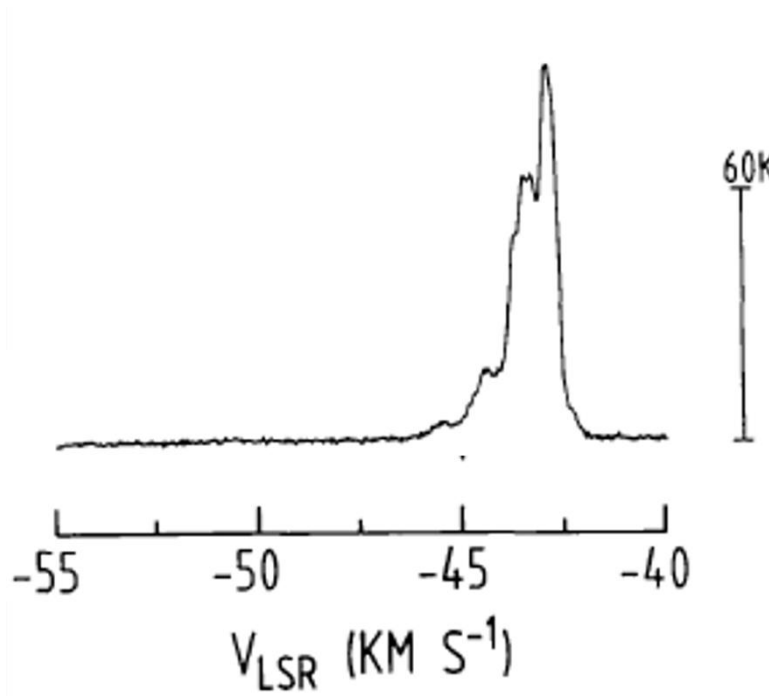


図 6： 先行研究 [3] における W3(OH) の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル

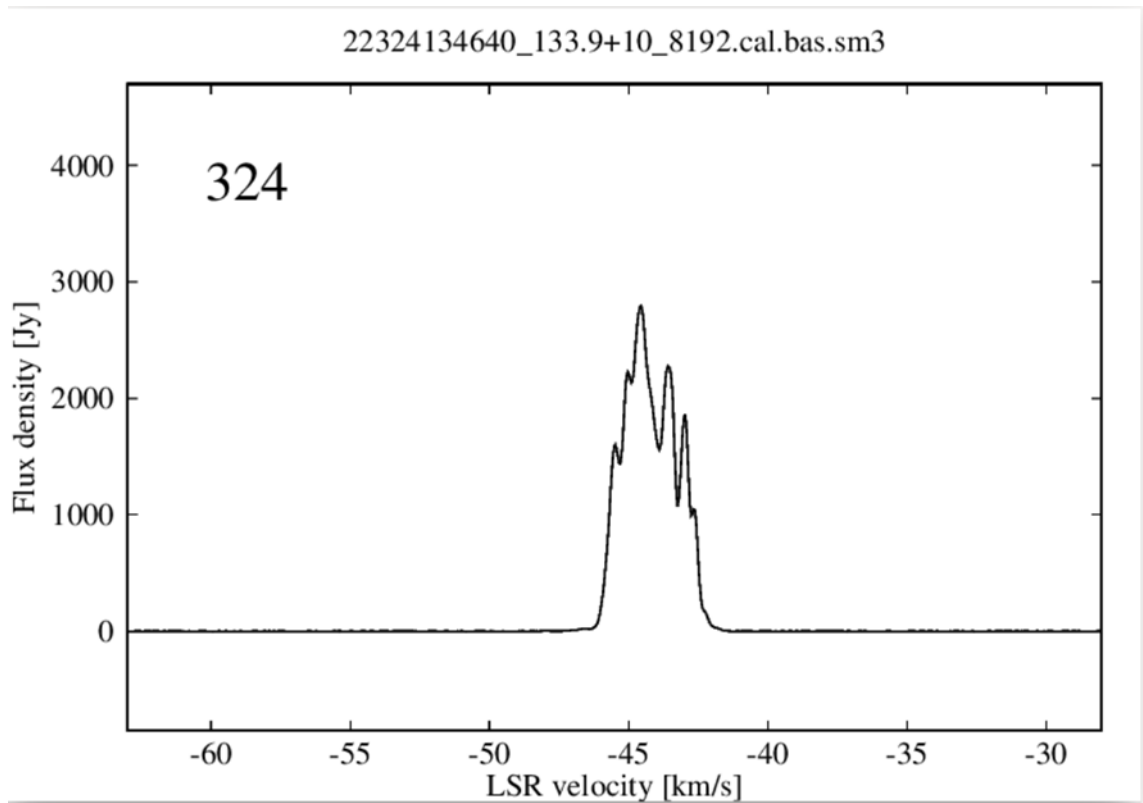


図 7： 茨城大学のモニター観測における W3(OH) の 観測コード M22324S での 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル

4.2 新しく観測した天体

4.2.1 60.56-01

19.9 GHz メタノールメーザーが検出された速度のうち、 3.5 km/s では 6.7 GHz メタノールメーザーでも同程度のフラックス密度が観測されている。一方、 13.5 km/s 付近では、 6.7 GHz メタノールメーザーは検出されていない。

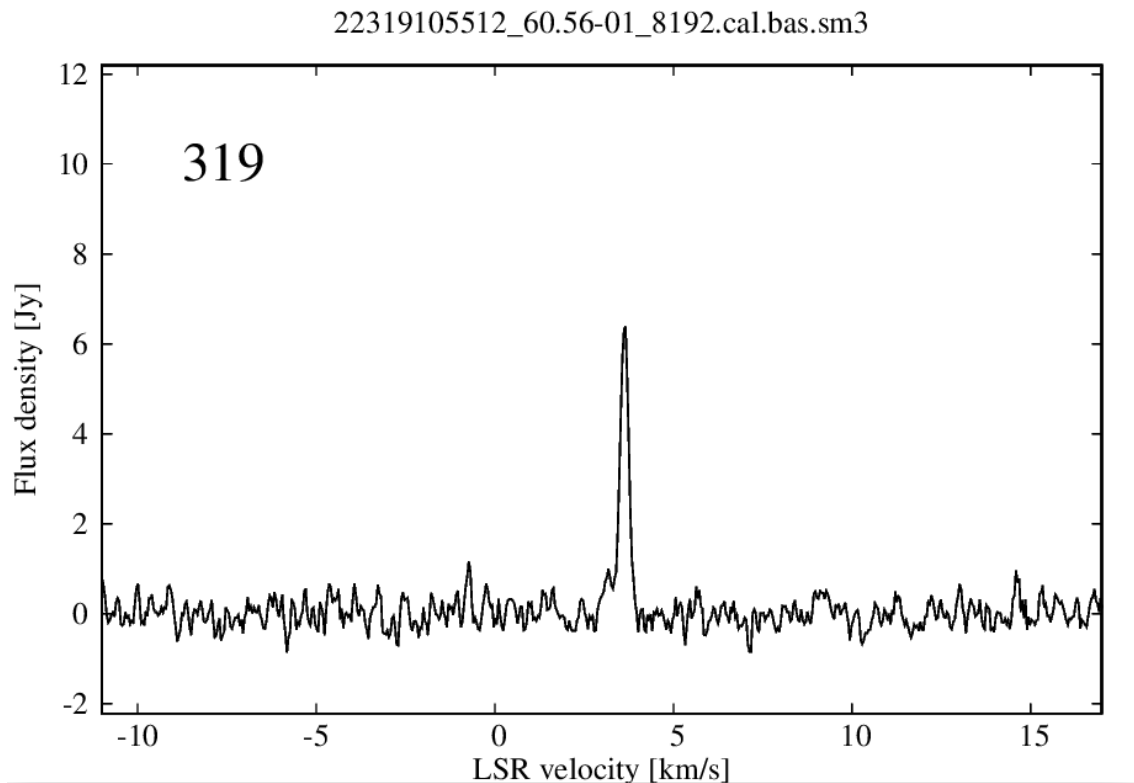


図 8： 茨城大学のモニター観測における 60.56-01 の 観測コード M22319S での 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル

5. 考察

放射が既知の天体は、先行研究と同様の速度帯で 19.9 GHz メタノールメーザーと思われる放射が検出されており、観測装置は正常に機能していることが確認できる。

本研究で新たに観測を行った天体で、19.9 GHz メタノールメーザーが検出された天体では 6.7 GHz メタノールメーザースペクトルと速度範囲が異なるピークがあった。そのため、未観測の天体に 6.7 GHz メタノールメーザースペクトルとは速度範囲が異なるピークをもつ天体が一定数存在する可能性がある。

6. まとめ

本研究における観測では、放射が強力な天体の観測は問題なく行えていた。一方、放射が未知の天体では、微弱な放射かノイズか判断のつかないものもあった。今後は天体の積分時間を増やし、ノイズの影響を抑える必要がある。また、未観測の天体に対して 19.9 GHz メタノールメーザーの観測を行っていく必要がある。

付録 A. 19.9 GHz メタノールメーザースペクトルと 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル

本研究による観測によって得られた 19.9 GHz メタノールメーザースペクトルと茨城大学のモニター観測によって得られた 6.7 GHz メタノールメーザースペクトルを、GP 順に表 2 の上の天体から順番に記載する。

10.28-01

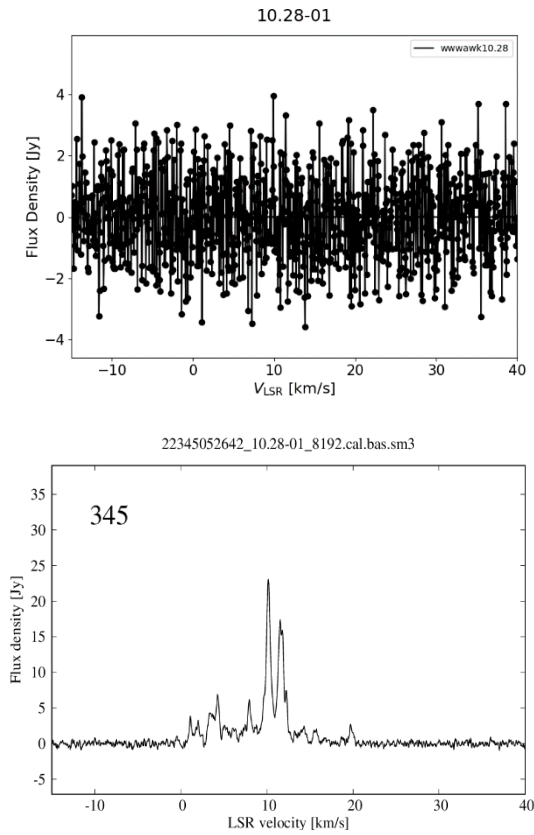


図 A.1:10.28-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

10.32-01

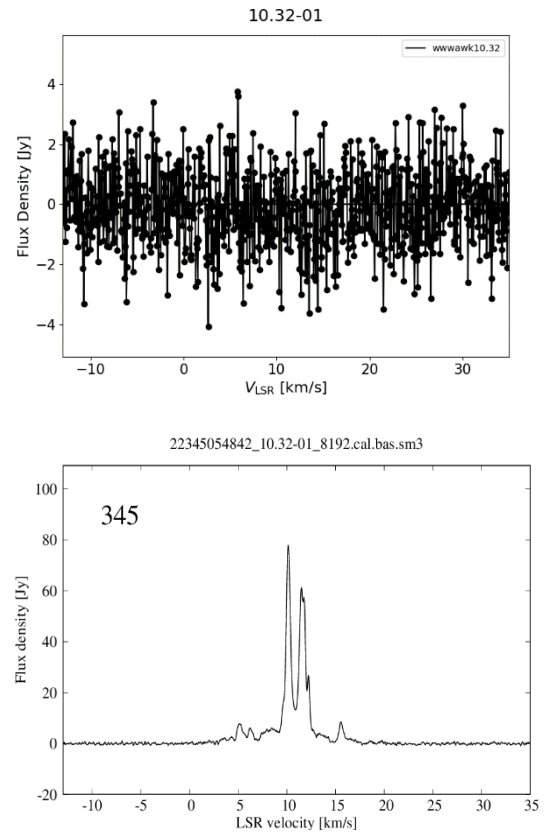


図 A.2:10.32-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

10.32-02

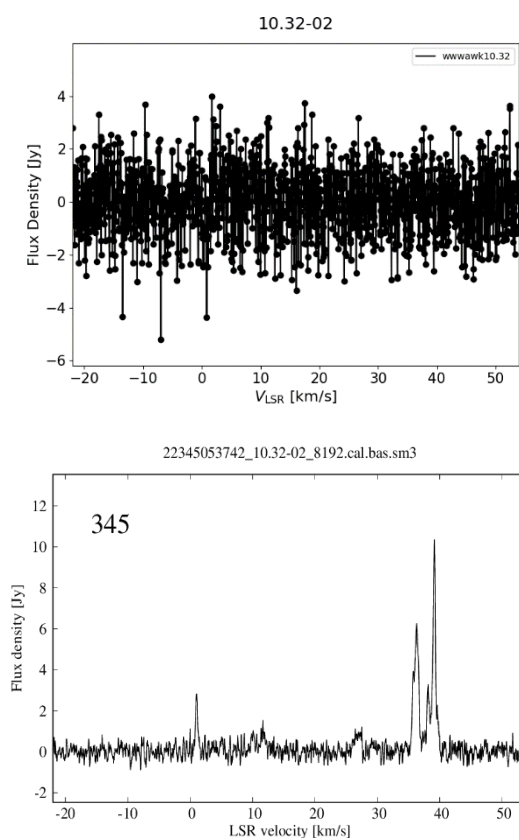


図 A.3:10.32-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

10.35-01

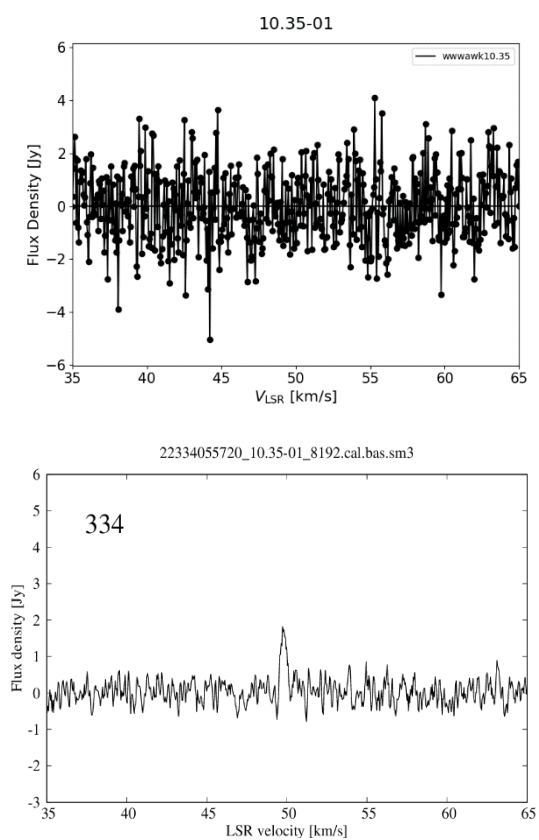


図 A.4:10.35-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

10.44-00

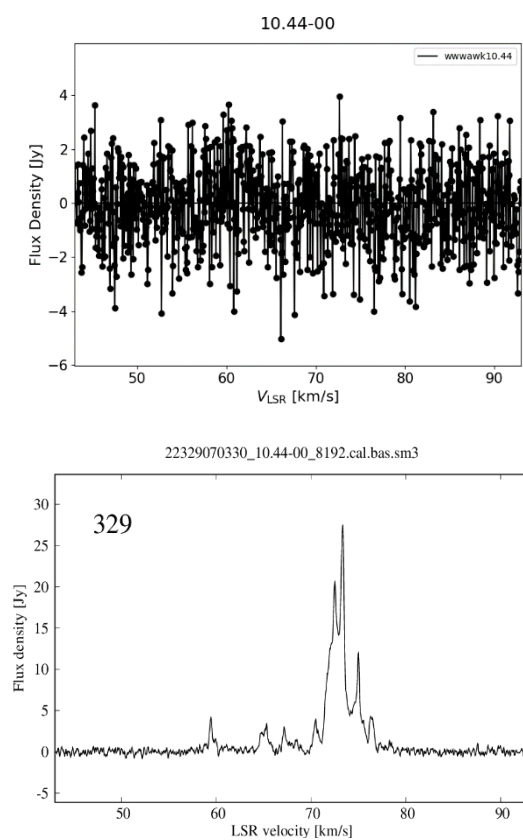


図 A.5:10.44-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

10.47+00

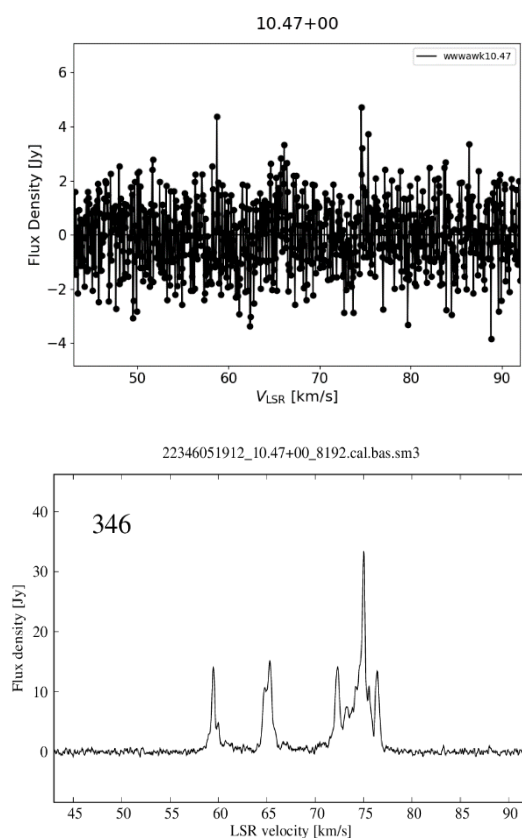


図 A.6:10.47+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

10.627-0

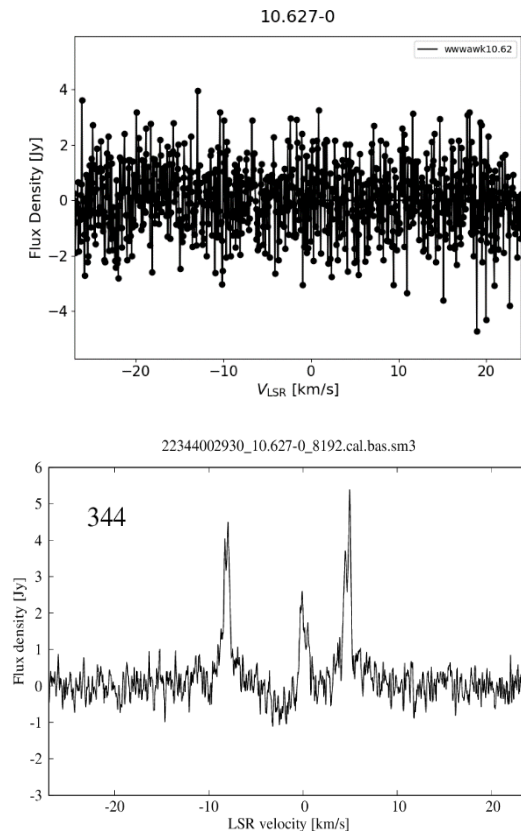


図 A.7:10.627-0 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

10.629-0

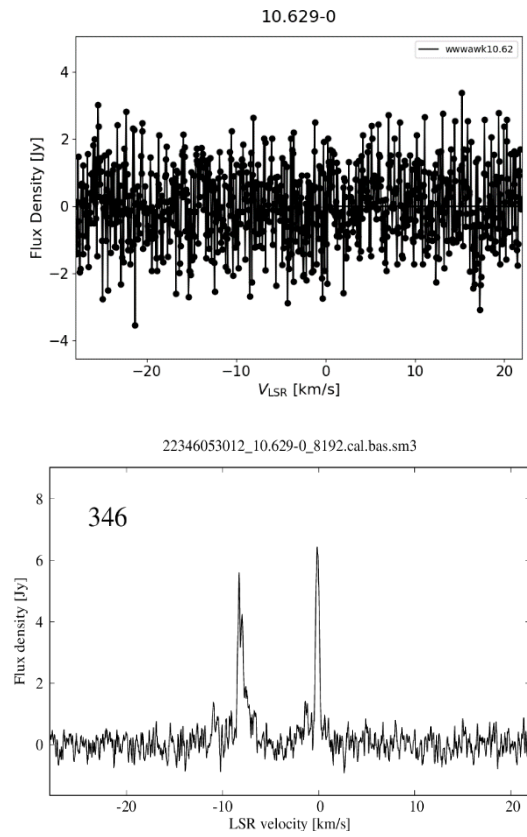


図 A.8:10.629-0 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

10.72-03

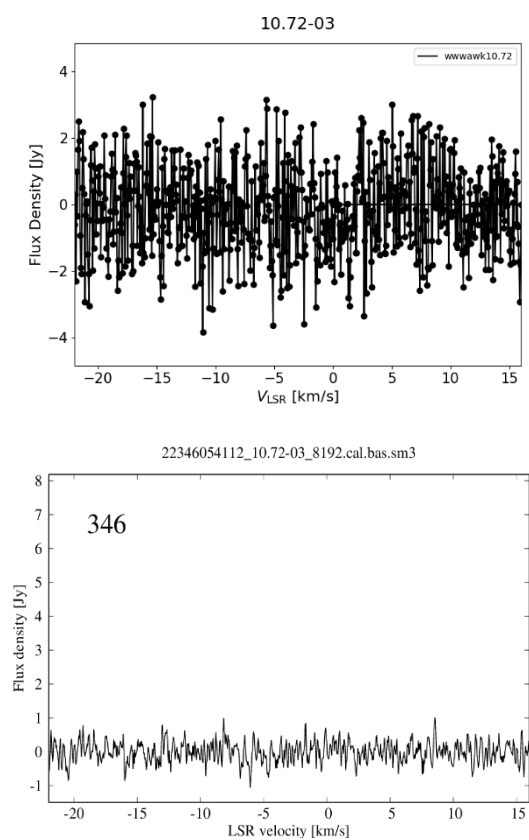


図 A.9:10.72-03 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

10.82-01

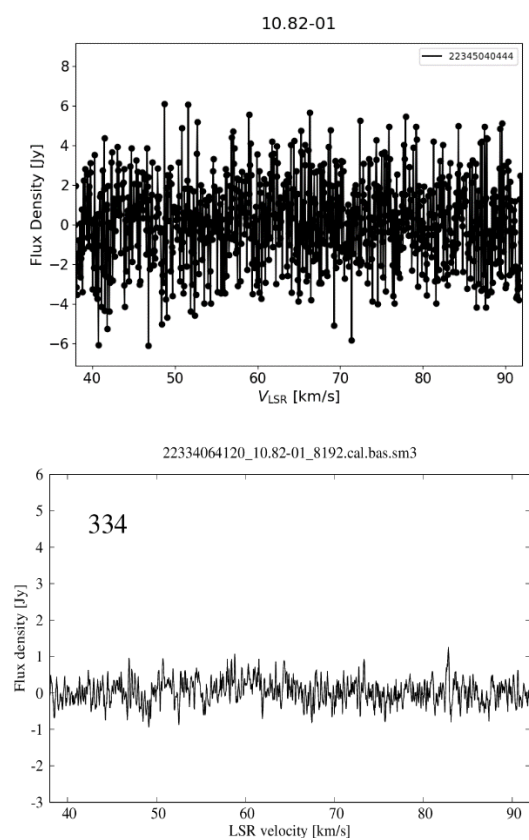


図 A.10:10.82-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

10.88+01

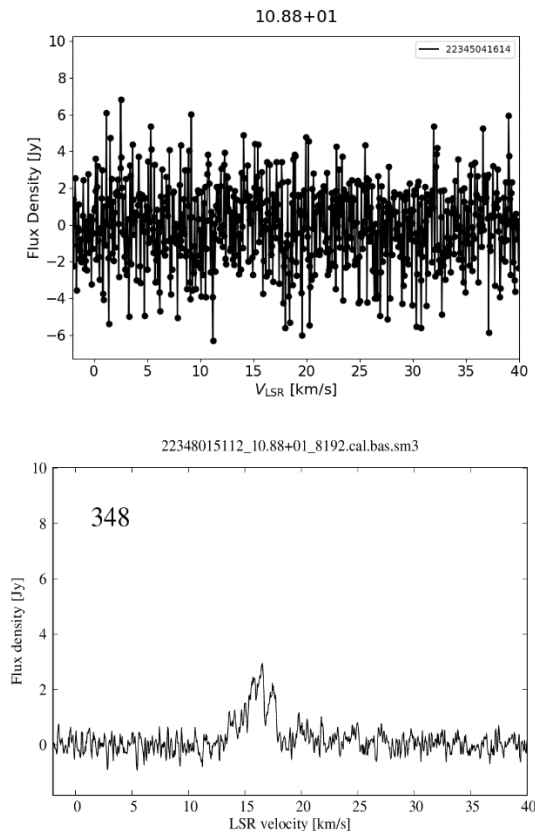


図 A.11:10.88+01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

10.95+00

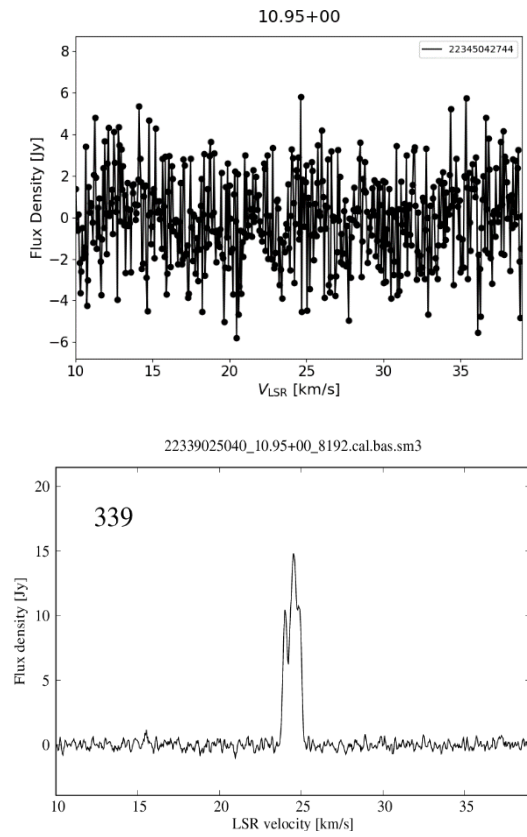


図 A.12:10.95+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

12.11-01

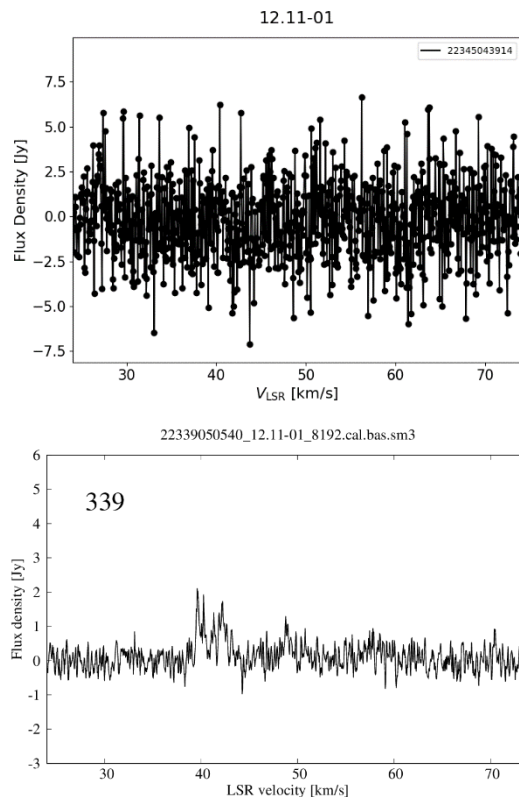


図 A.13:12.11-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

13.69-01

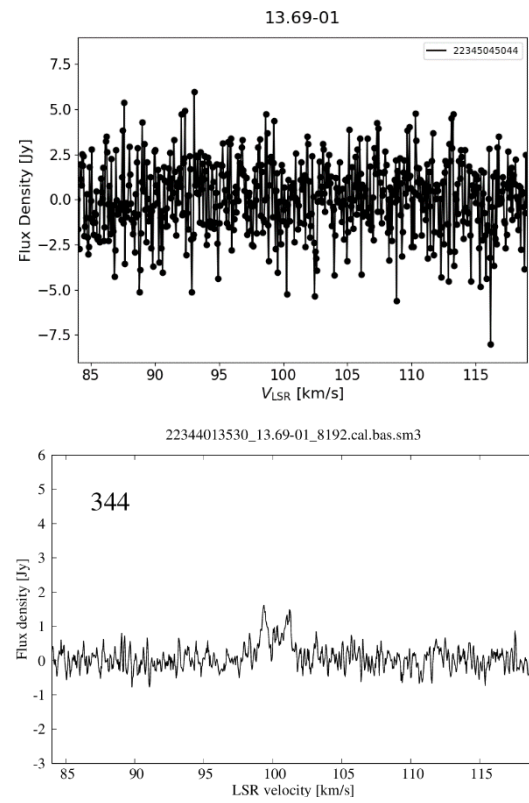


図 A.14:13.69-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

13.71-00

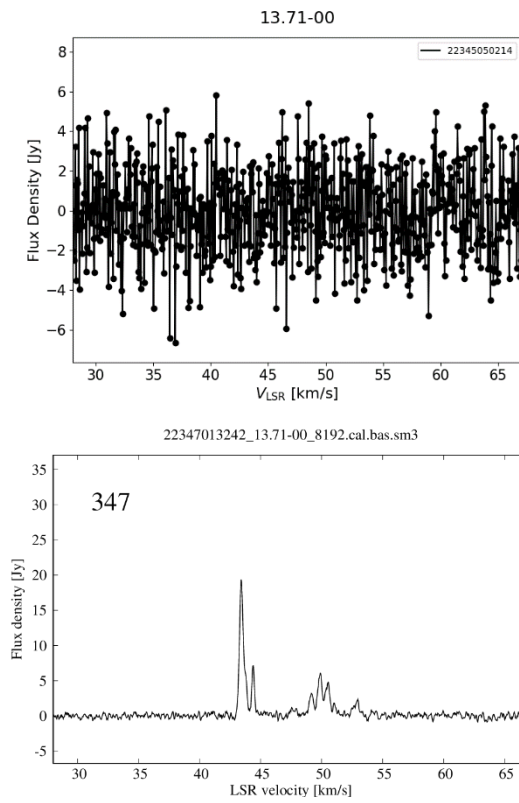


図 A.15:13.71-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

14.10+00

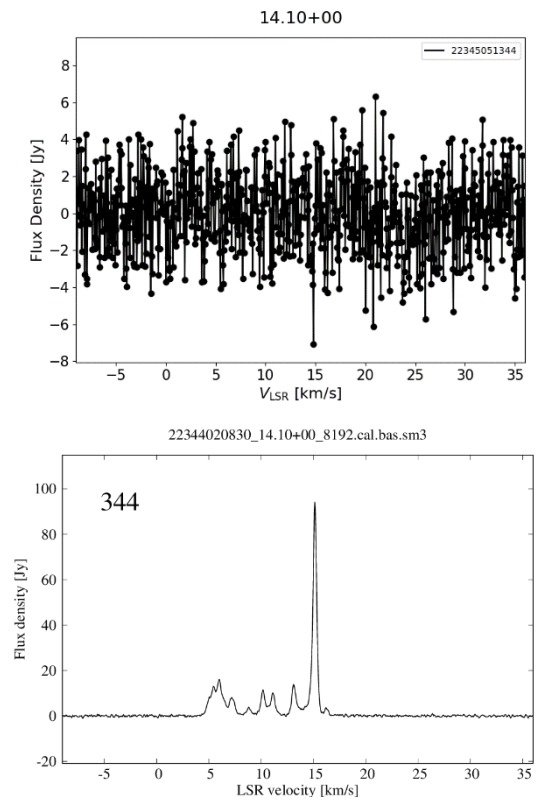


図 A.16:14.10+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

20.08-01

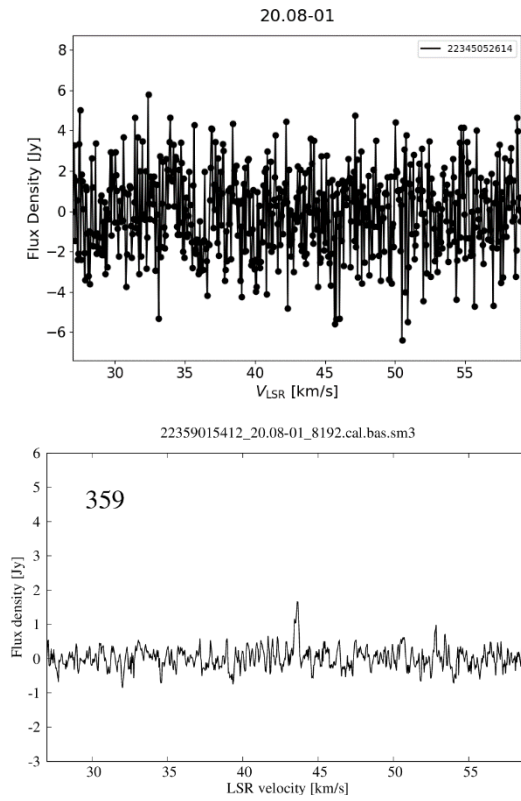


図 A.17:20.08-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

20.24+00

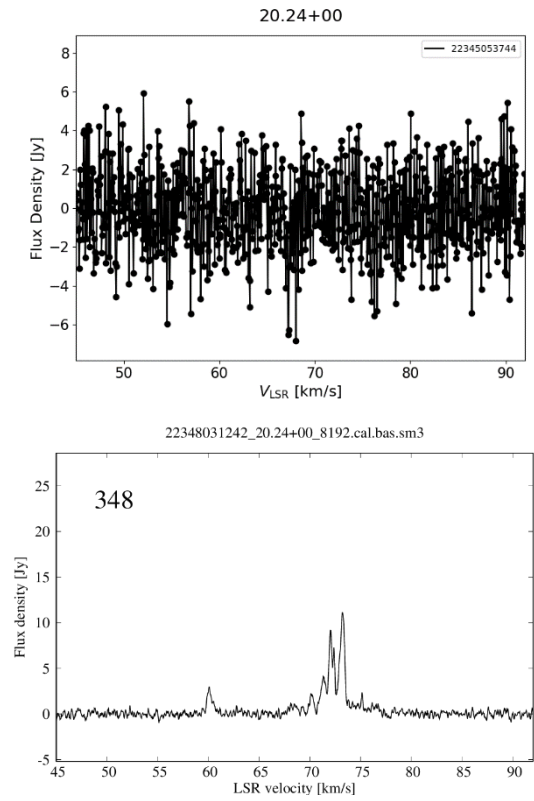


図 A.18:20.24+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

21.41-02

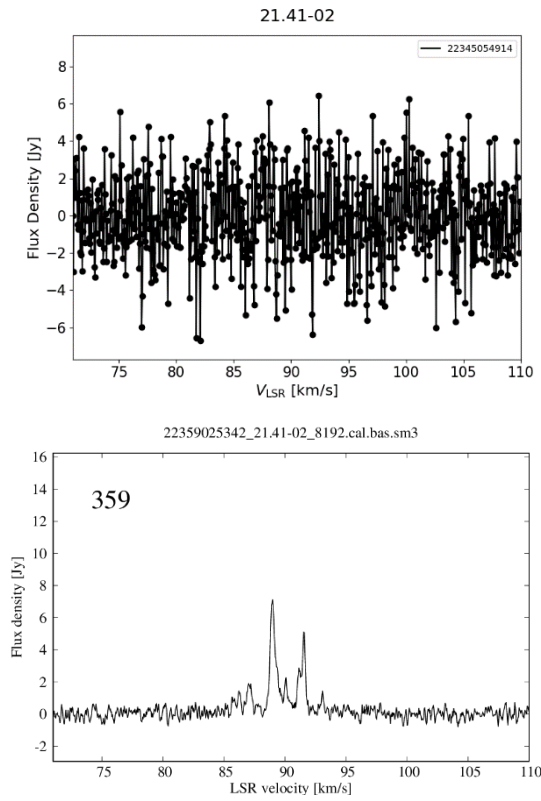


図 A.19:21.41-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

21.57-00

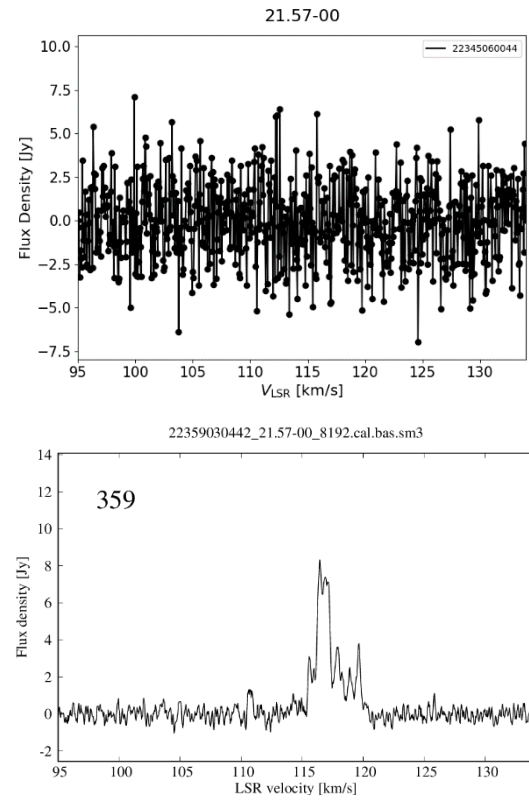


図 A.20:21.57-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

21.87+00

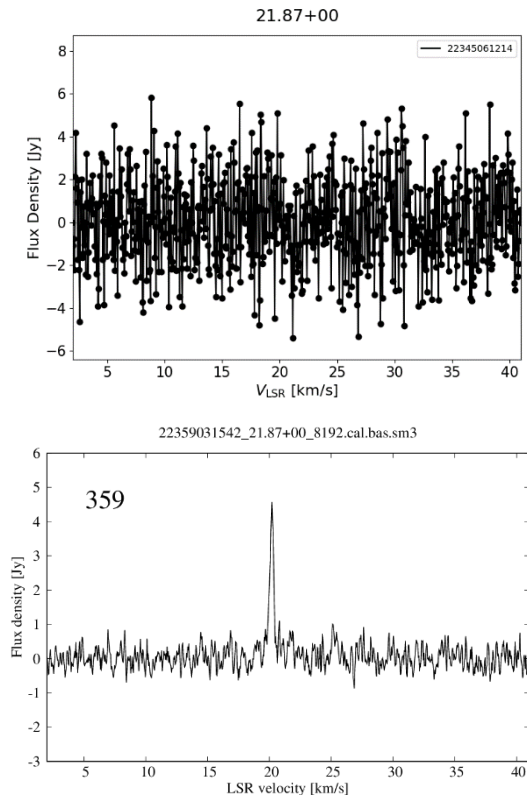


図 A.21:21.87+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

24.64-03

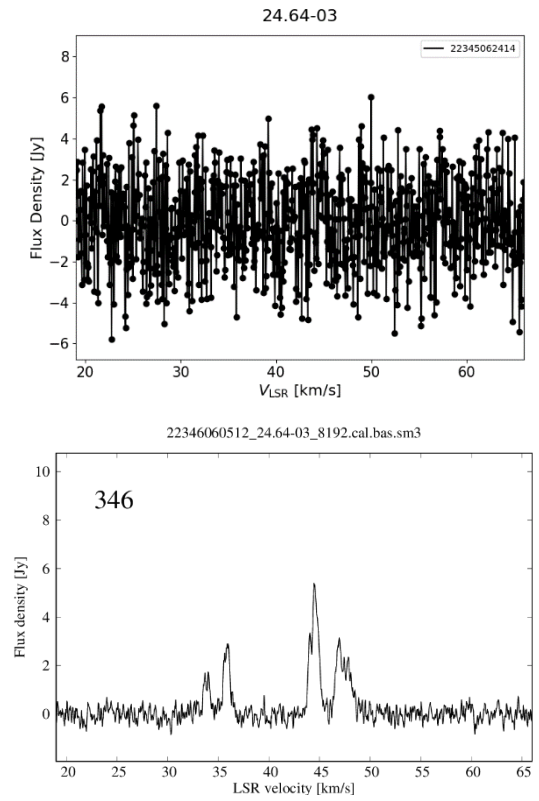


図 A.22:24.64-03 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

25.38+00

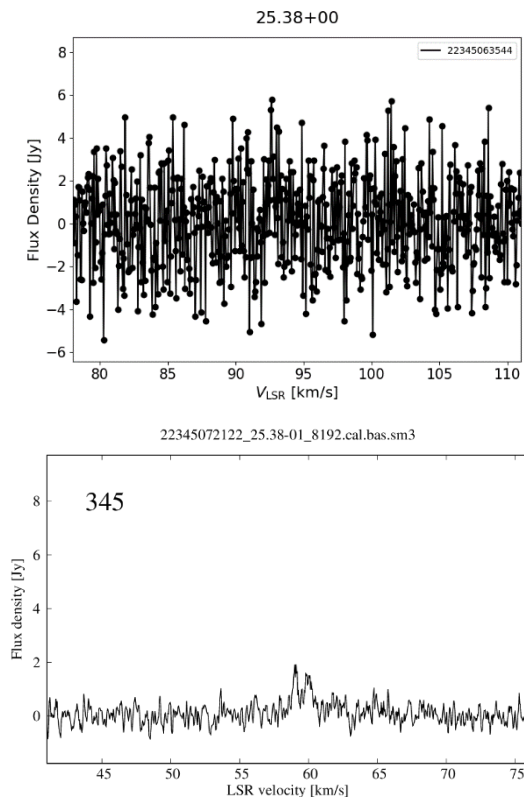


図 A.23:25.38+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

30.20-01

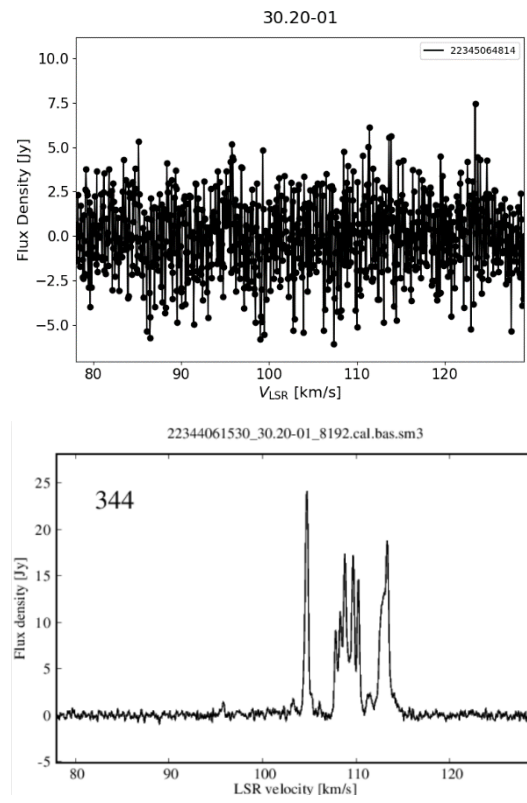


図 A.24:30.20-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

30.30+00

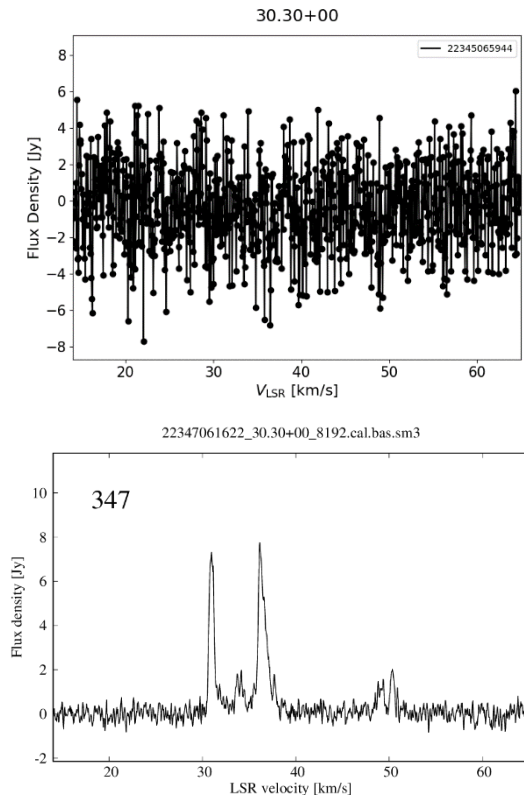


図 A.25:30.30+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

33.74-01

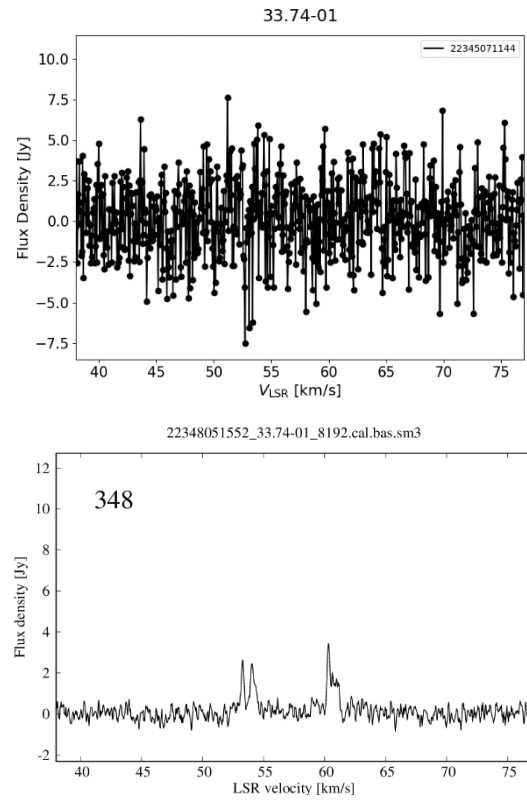


図 A.26:33.74-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

33.86+00

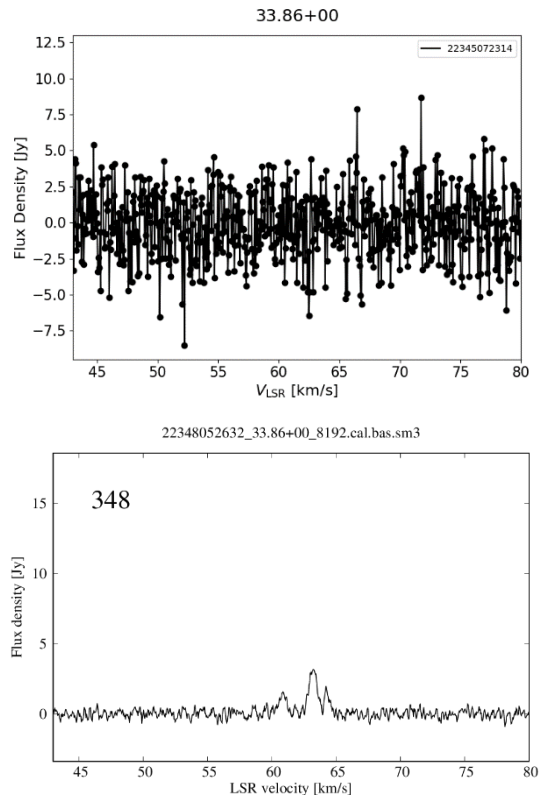


図 A.27:33.86+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

41.16-02

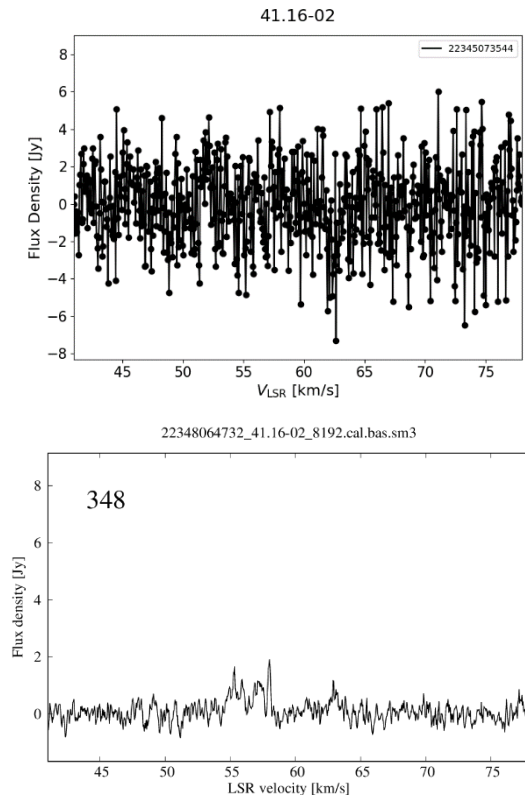


図 A.28:41.16-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

41.23-02

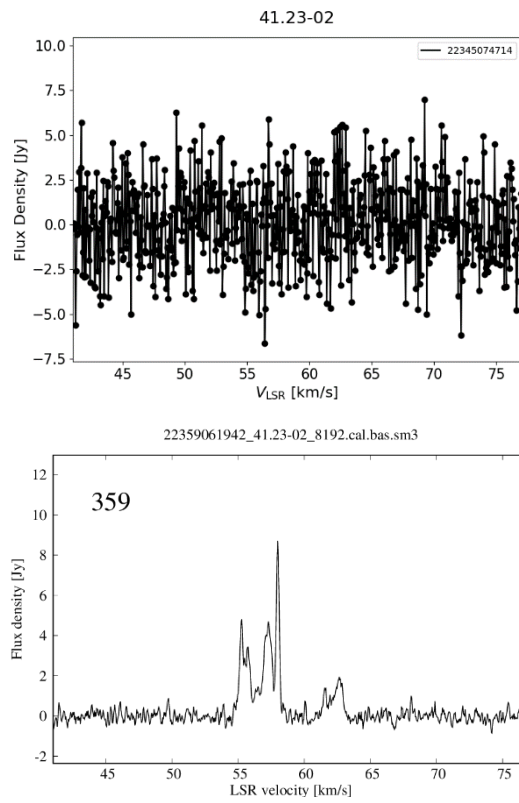


図 A.29:41.23-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

41.27+03

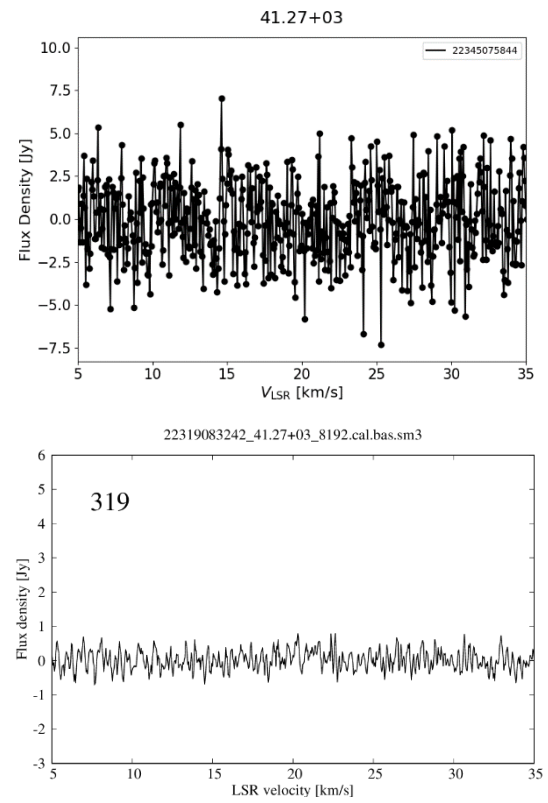


図 A.30:41.27+03 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

52.66-10

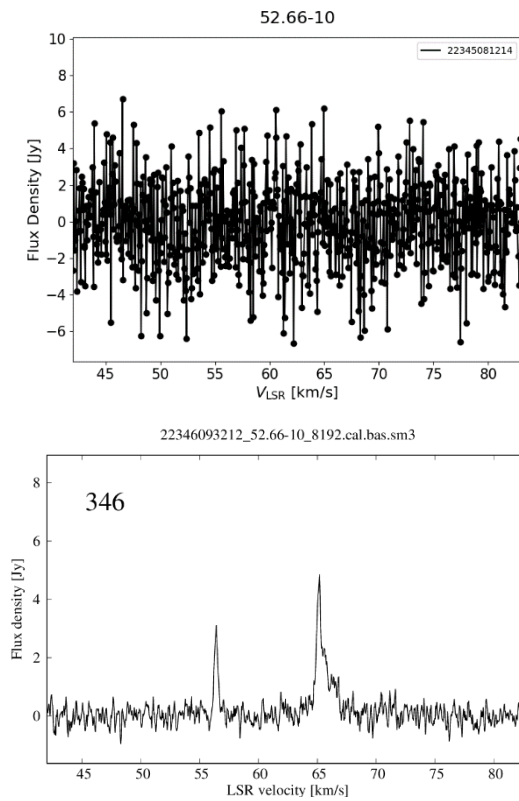


図 A.31:52.66-10 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

52.92+04

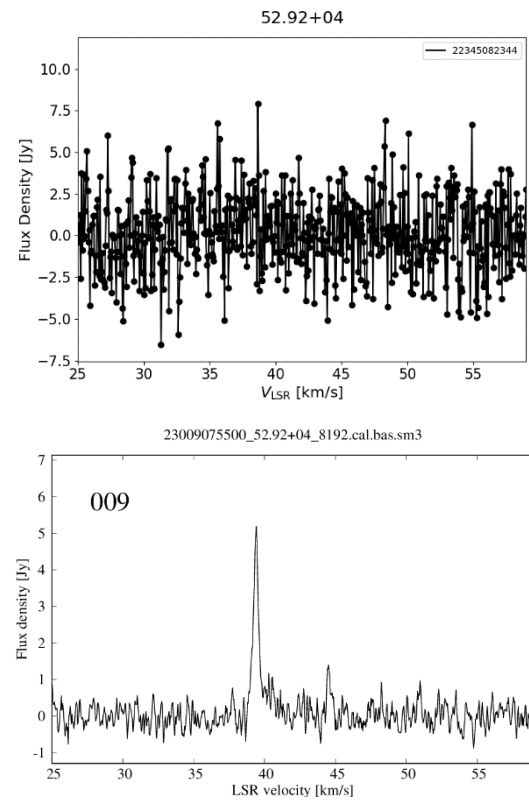


図 A.32:52.92+04 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

53.04+01

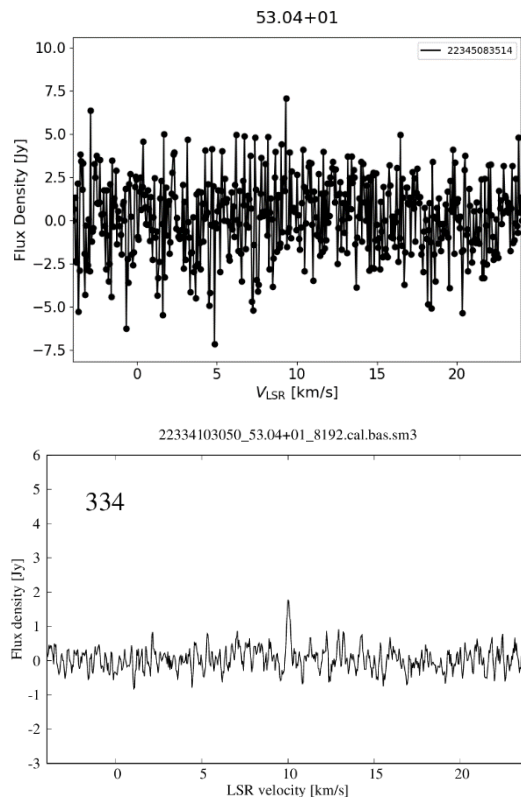


図 A.33:53.04+01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

53.14+00

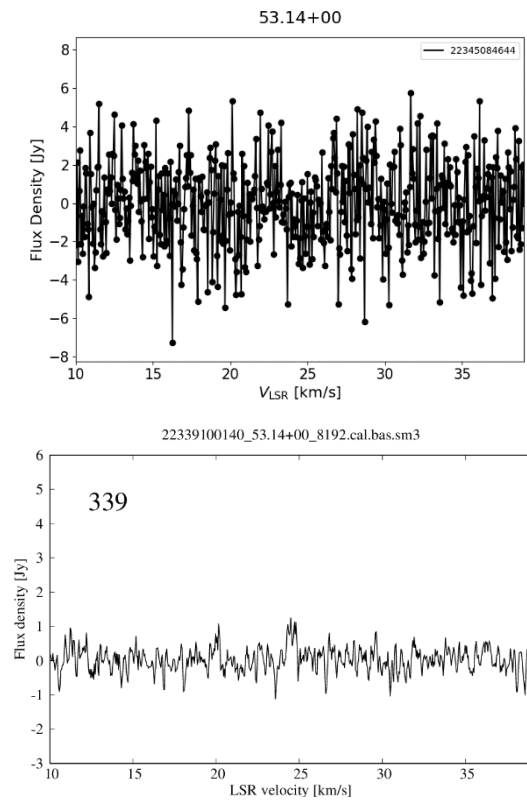


図 A.34:53.14+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

60.56-01

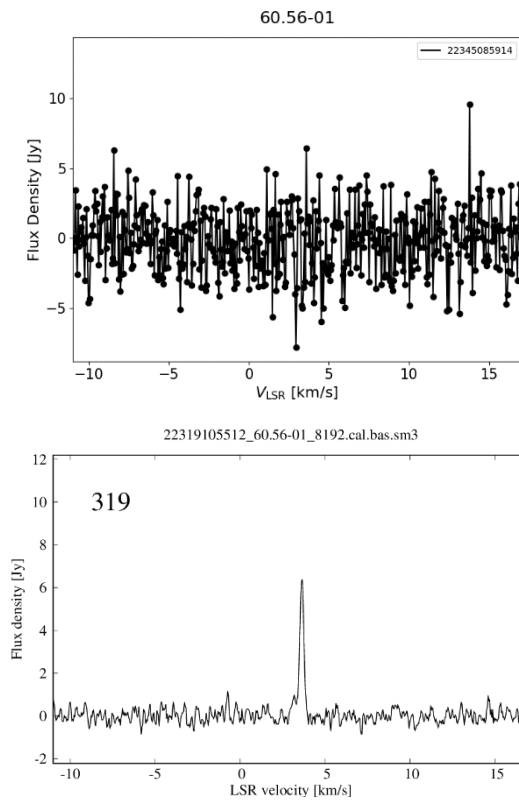


図 A.35:60.56-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

69.52-09

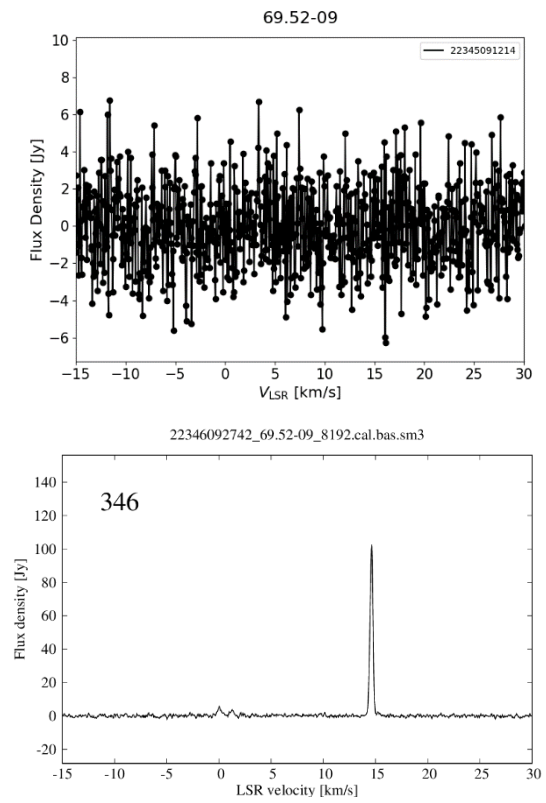


図 A.36:69.52-09 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

70.12+17

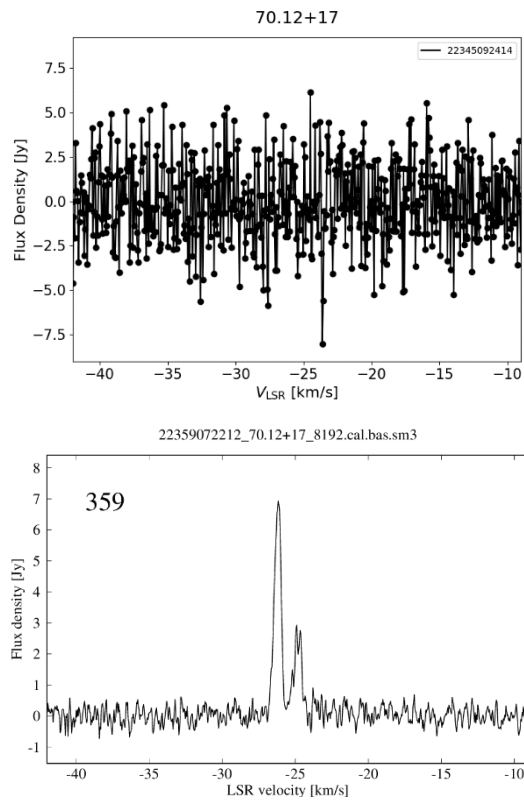


図 A.37:70.12+17 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

71.51-03

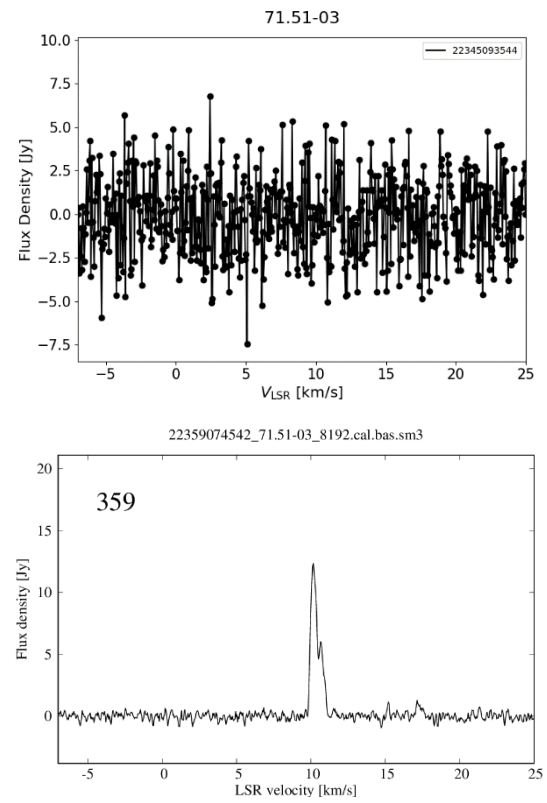


図 A.38:71.51-03 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

73.04+18

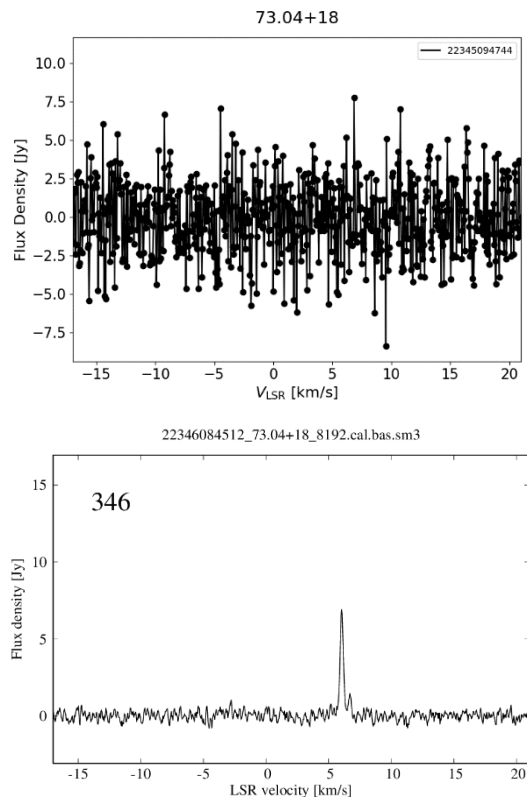


図 A.39:73.04+18 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

75.76+03

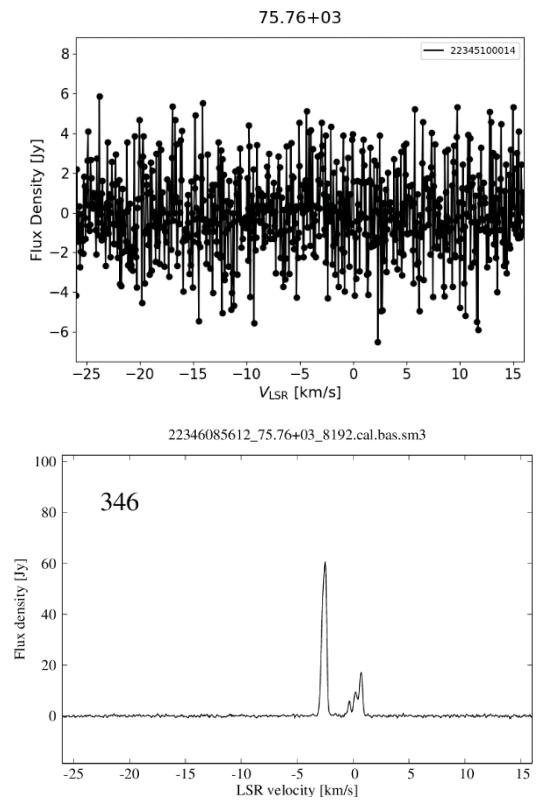


図 A.40:75.76+03 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

78.10+36

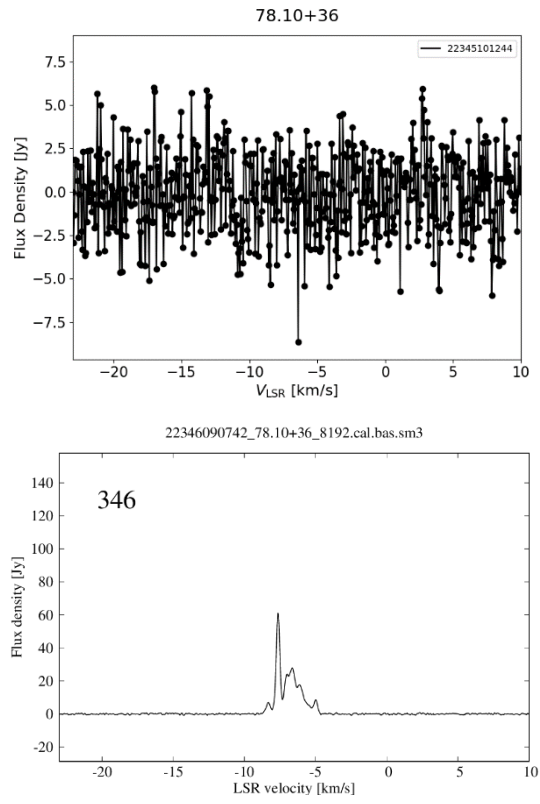


図 A.41:78.10+36 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

78.62+09

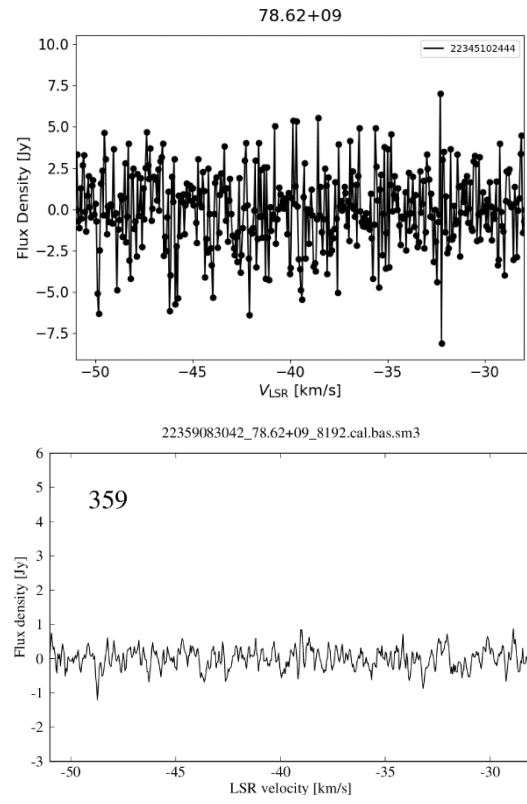


図 A.42:78.62+09 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

78.89+07

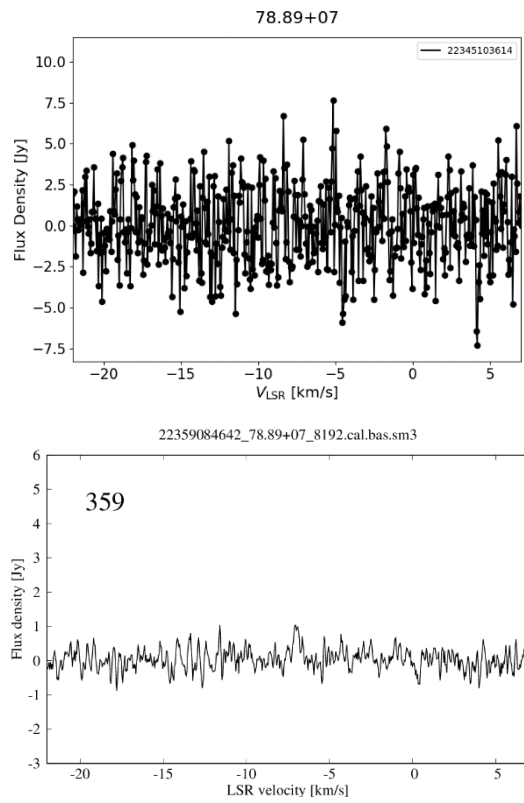


図 A.43:78.89+07 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

79.75+09

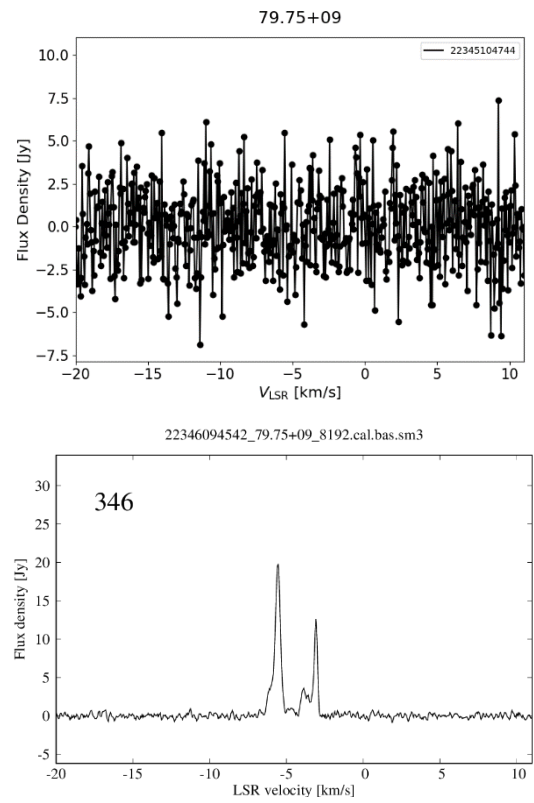


図 A.44:79.75+09 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

11.03+00

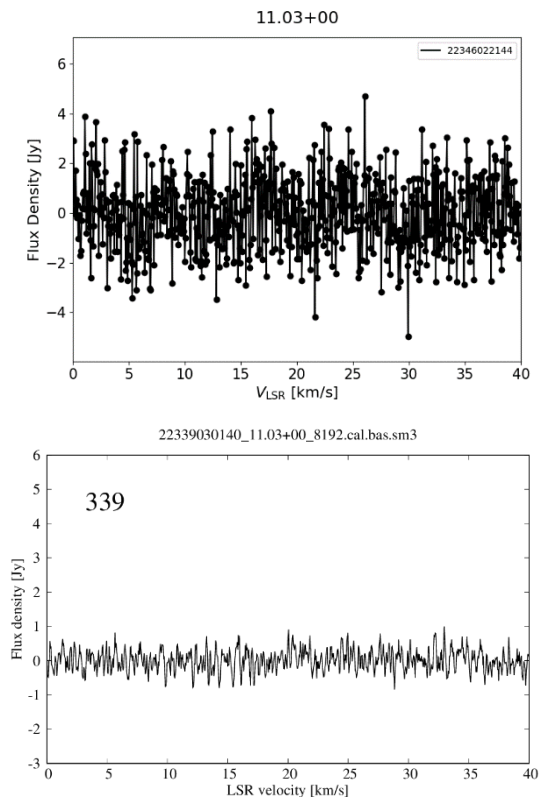


図 A.45:11.03+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

11.10-01

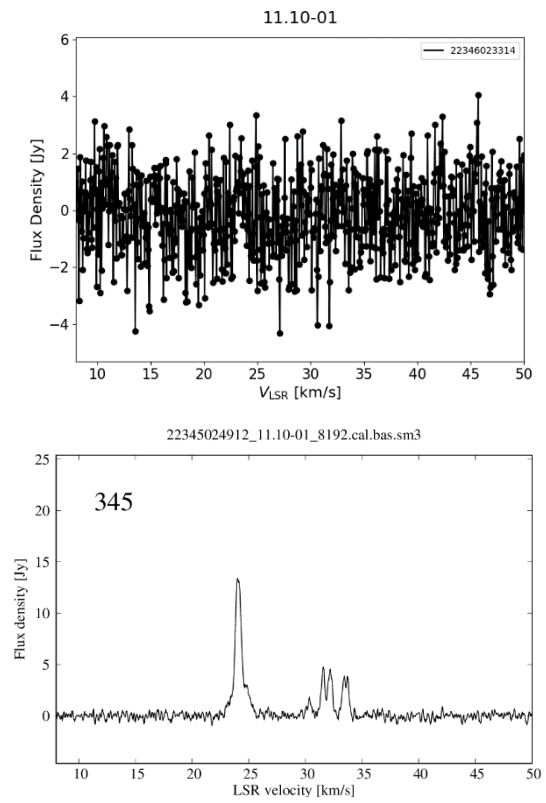


図 A.46:11.10-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

11.49-14

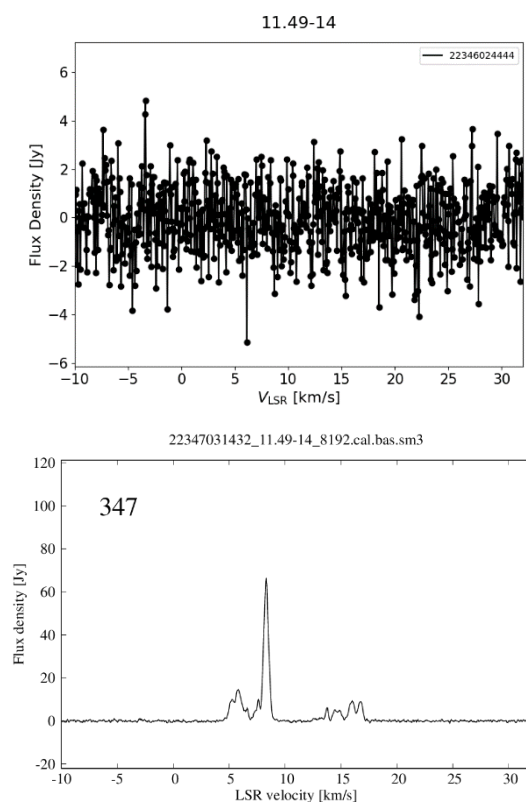


図 A.47:11.49-14 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

11.903-0

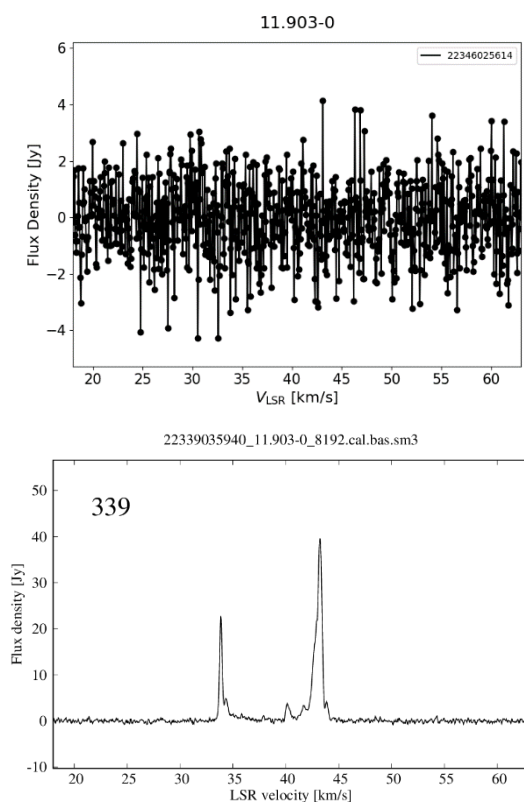


図 A.48:11.903-0 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

11.904-0

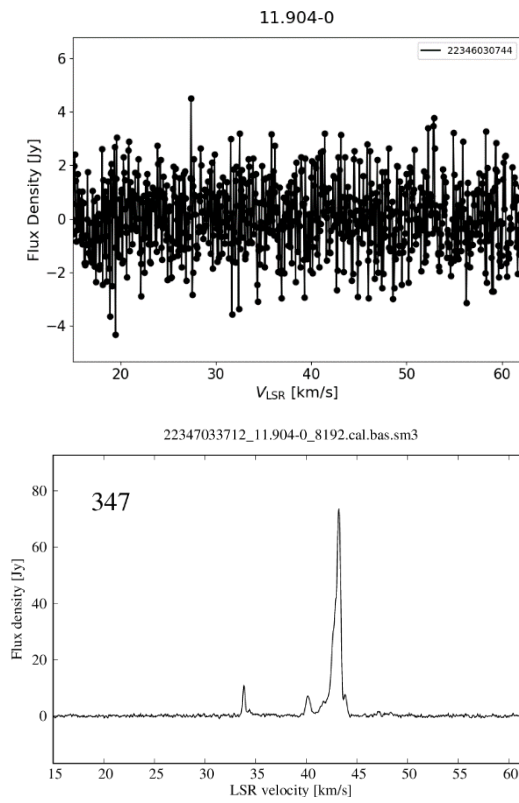


図 A.49:11.904-0 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

11.93-01

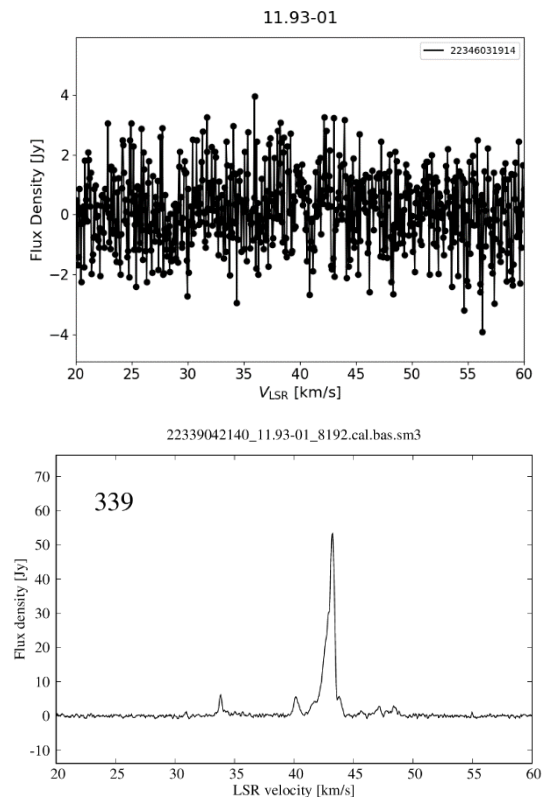


図 A.50:11.93-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

11.93-06

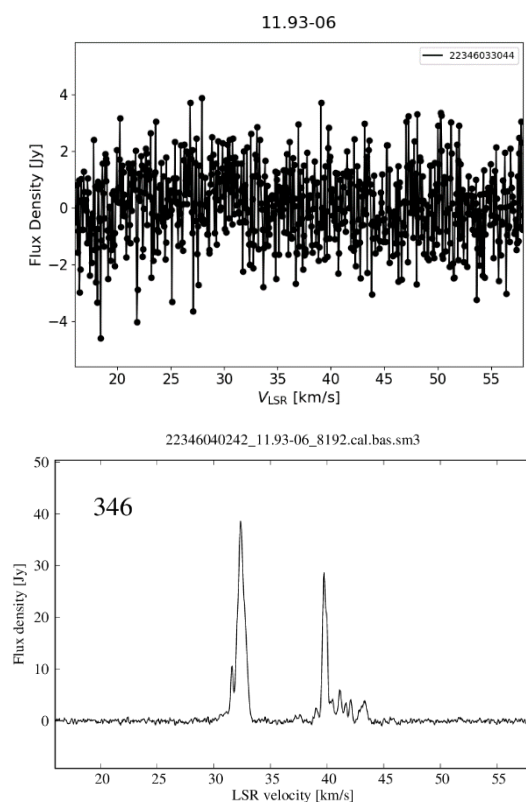


図 A.51:11.93-06 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

11.99-02

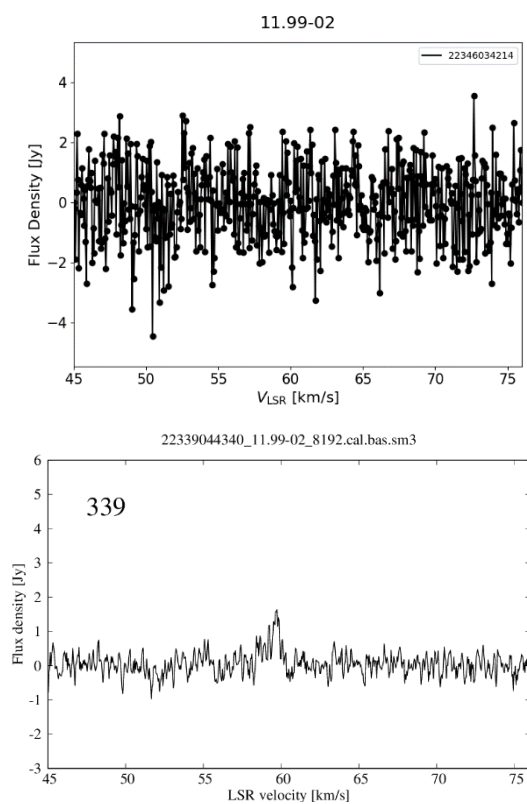


図 A.52:11.99-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

12.18-01

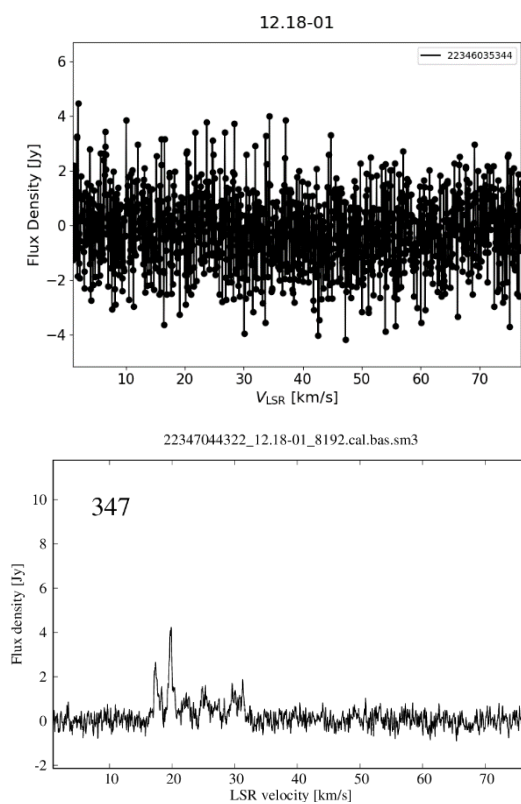


図 A.53:12.18-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

12.19-00

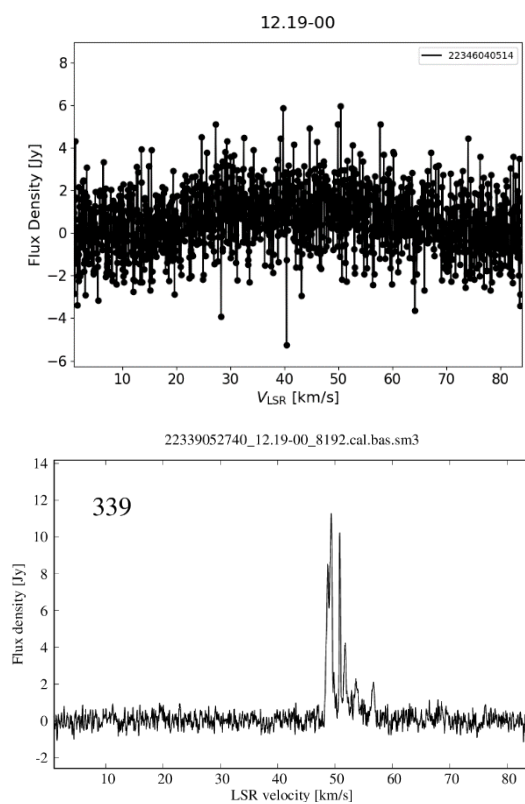


図 A.54:12.19-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

12.20-01

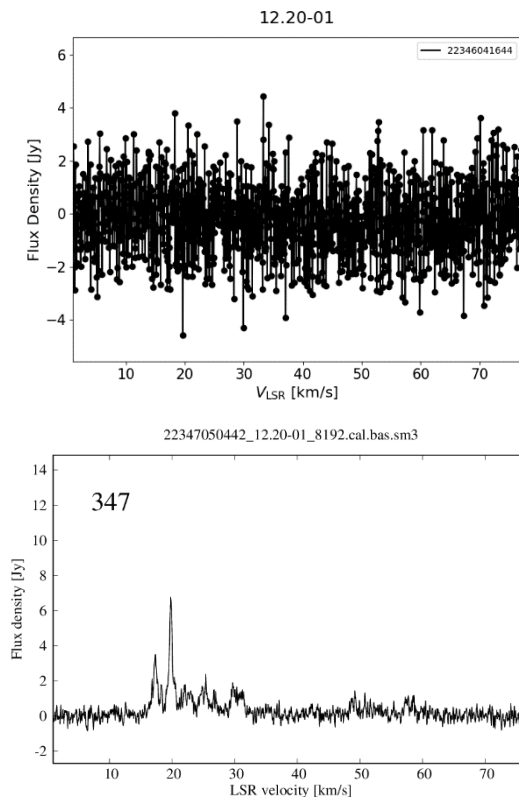


図 A.55:12.20-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

12.26-00

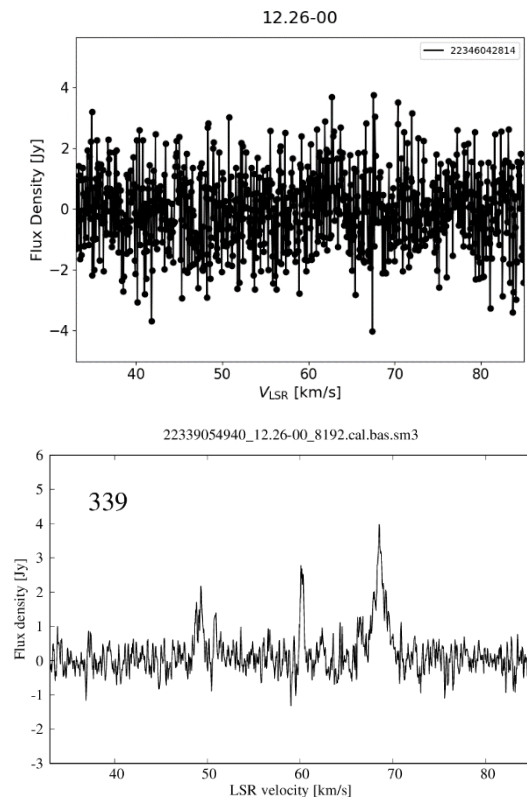


図 A.56:12.26-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

12.52+00

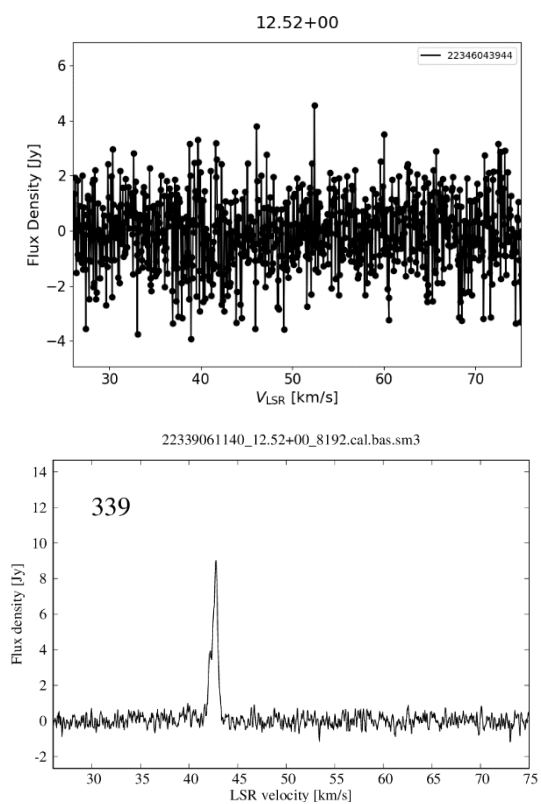


図 A.57:12.52+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

12.62-00

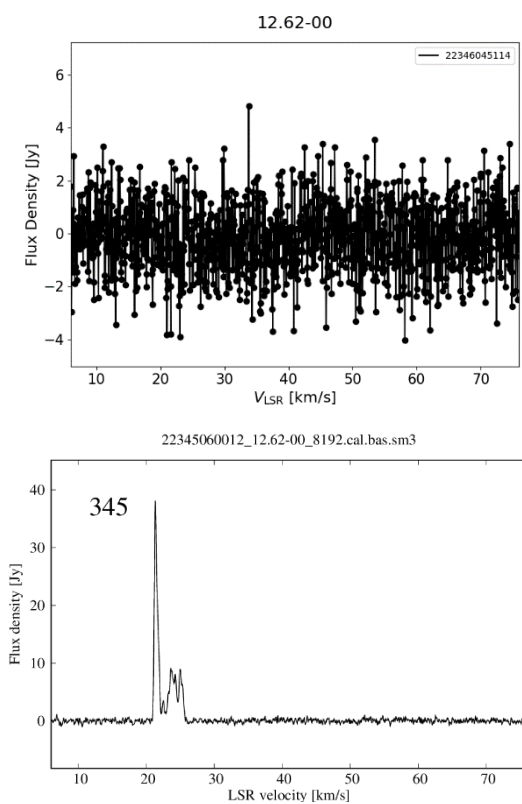


図 A.58:12.62-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

14.33-06

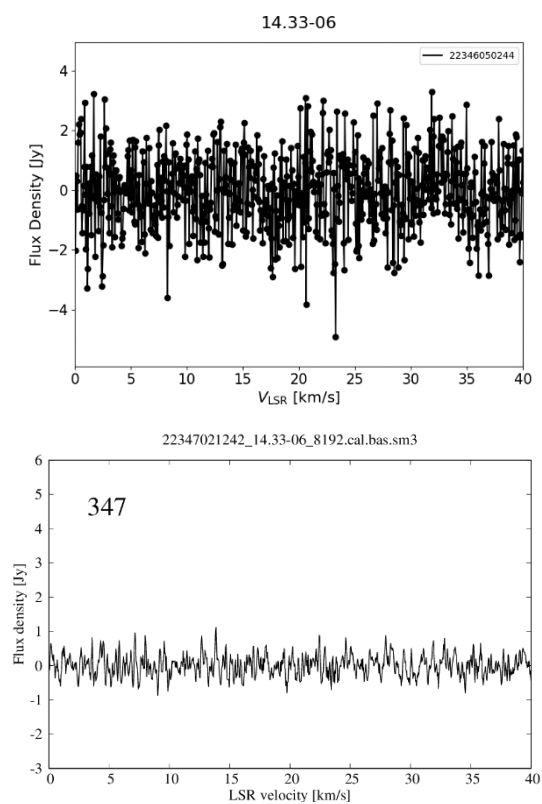


図 A.59:14.33-06 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

14.39-00

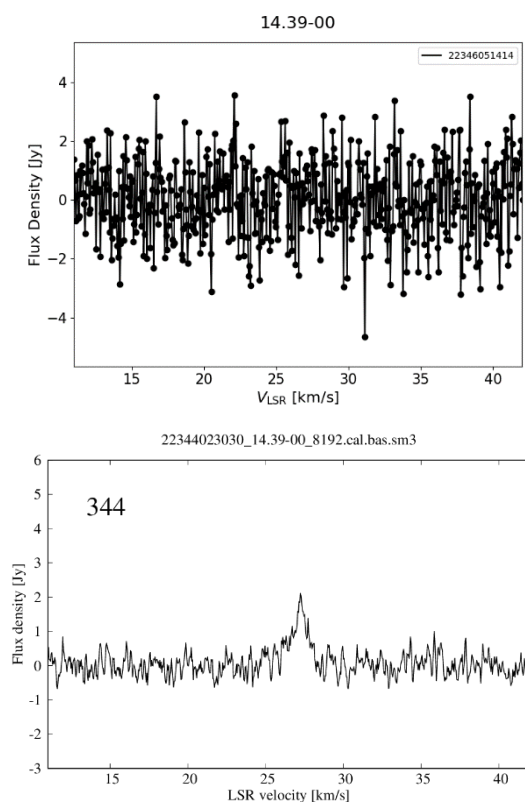


図 A.60:14.39-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

18.07+00

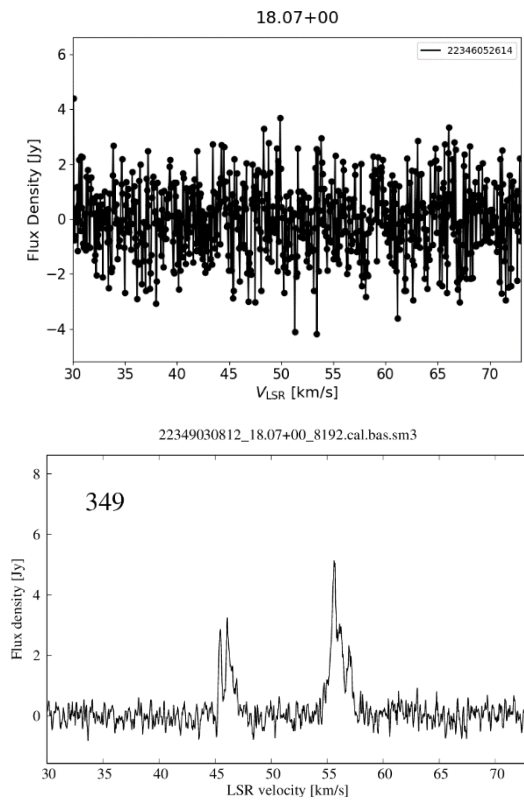


図 A.61:18.07+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

18.15+00

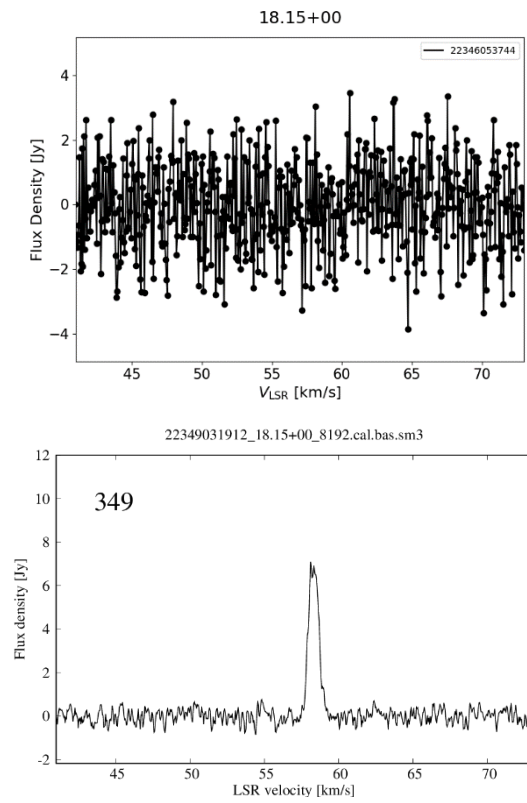


図 A.62:18.15+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

22.05+02

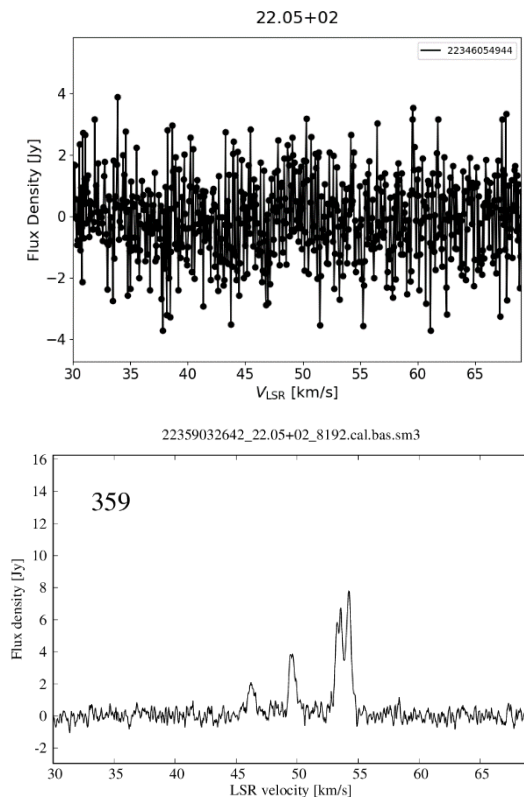


図 A.63:22.05+02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

22.34-01

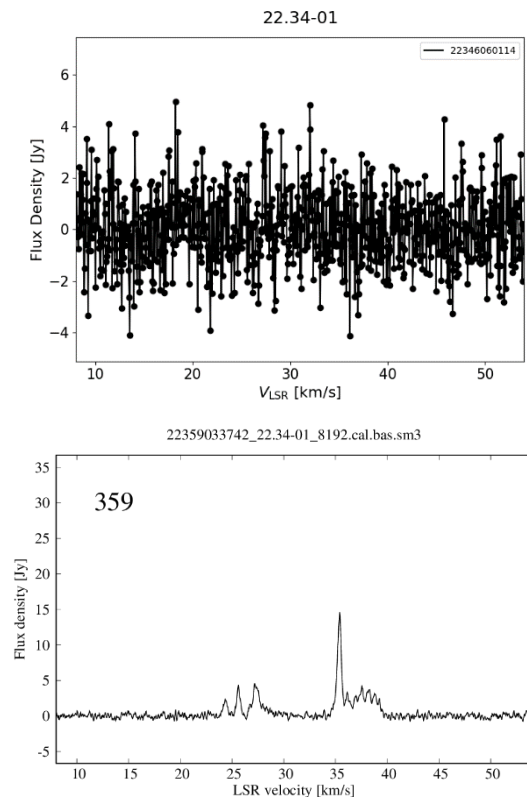


図 A.64:22.34-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

22.36+00

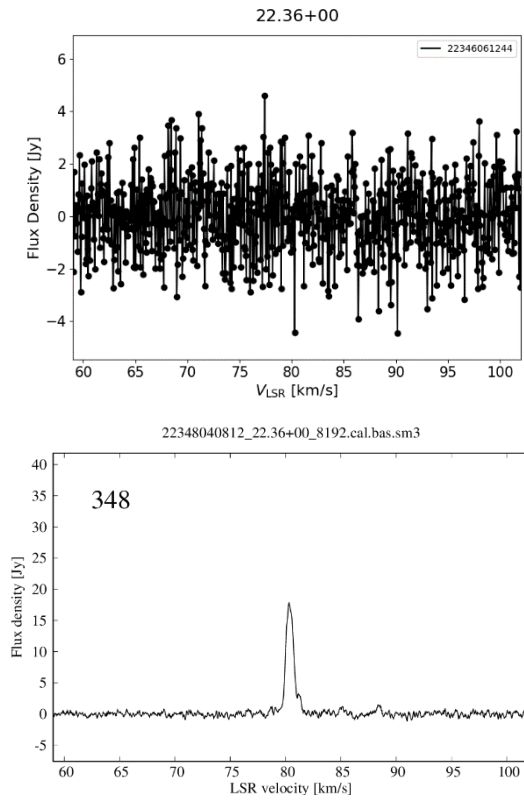


図 A.65:22.36+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

25.41+01

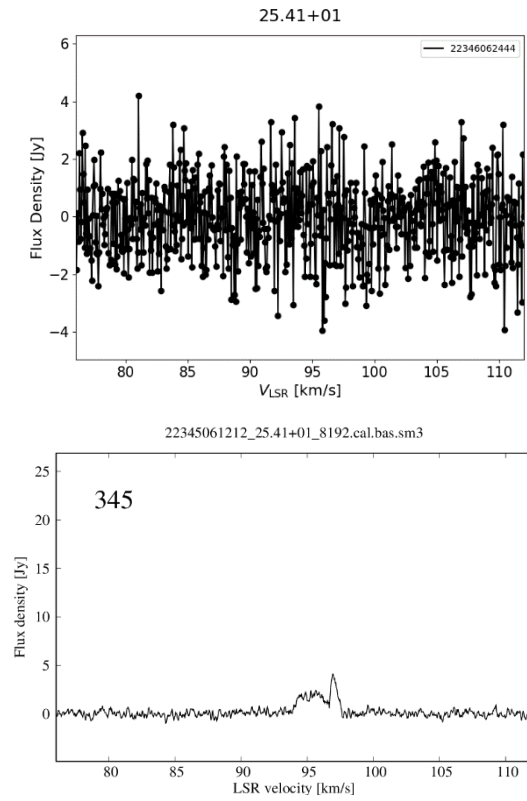


図 A.66:25.41+01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

29.31-01

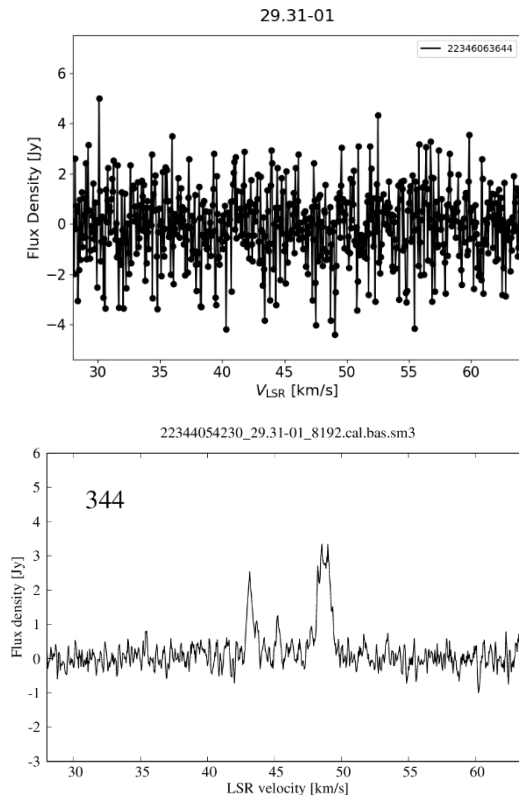


図 A.67:29.31-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

29.86-00

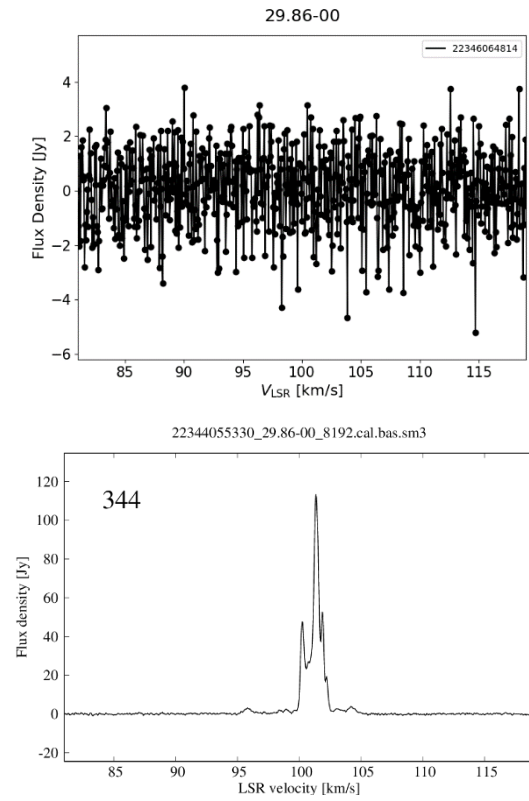


図 A.68:29.86-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

29.95-00

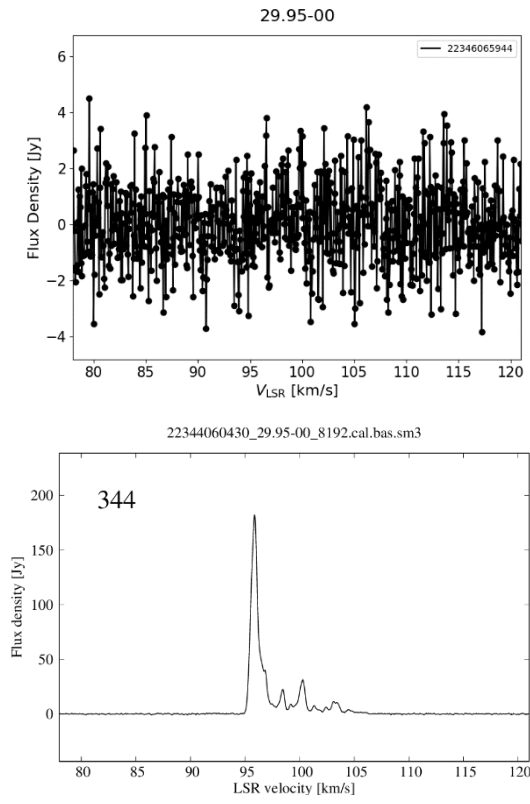


図 A.69:29.95-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

33.97-00

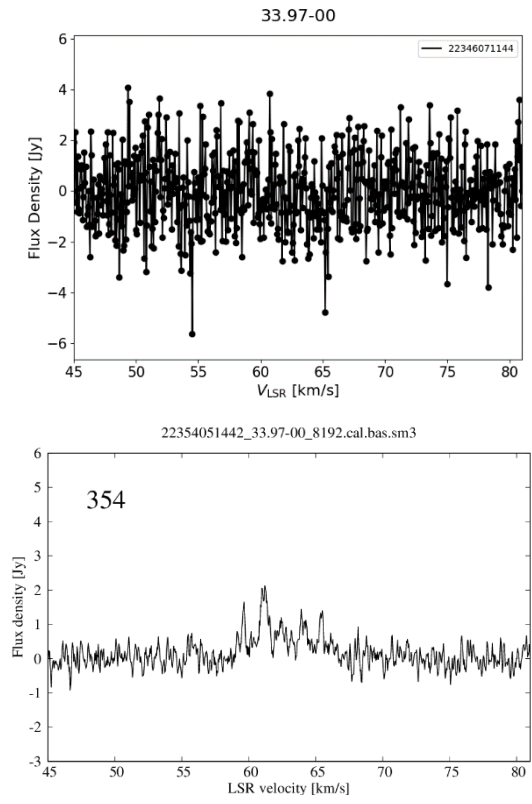


図 A.70:33.97-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

34.10+00

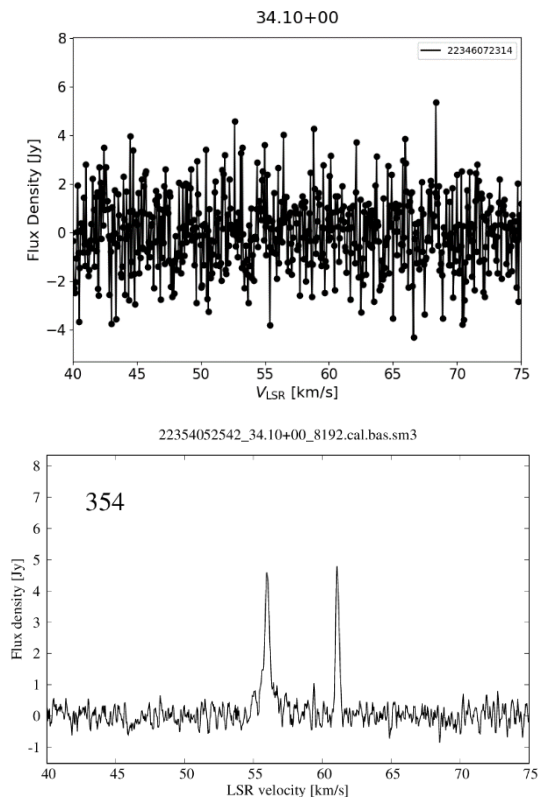


図 A.71:34.10+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

41.34-01

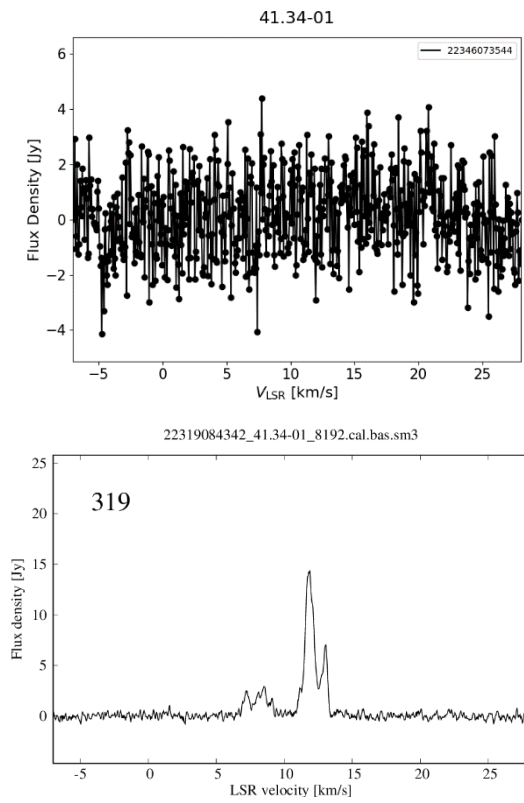


図 A.72:41.34-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

41.58+00

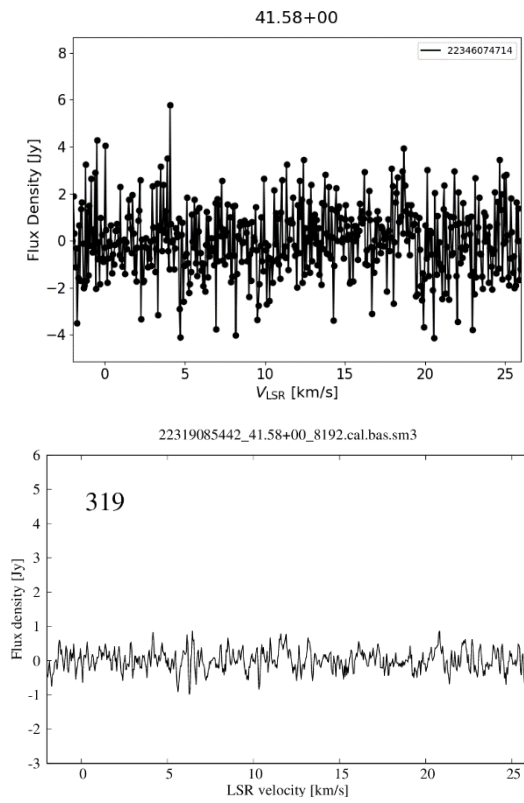


図 A.73:41.58+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

41.87-01

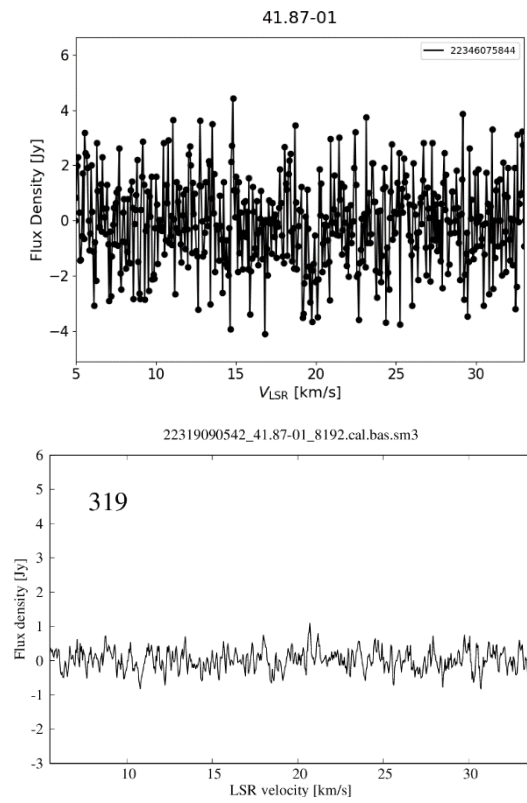


図 A.74:41.87-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

53.62+00

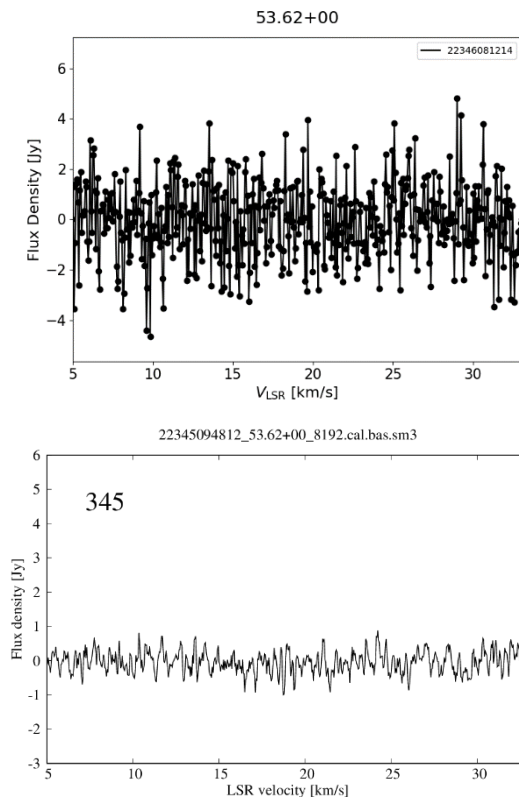


図 A.75:53.62+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

58.75+06

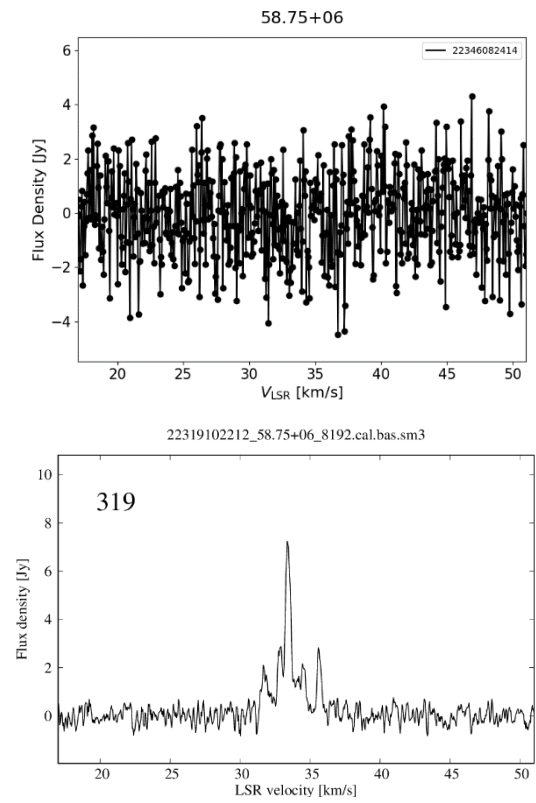


図 A.76:58.75+06 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

59.78+00

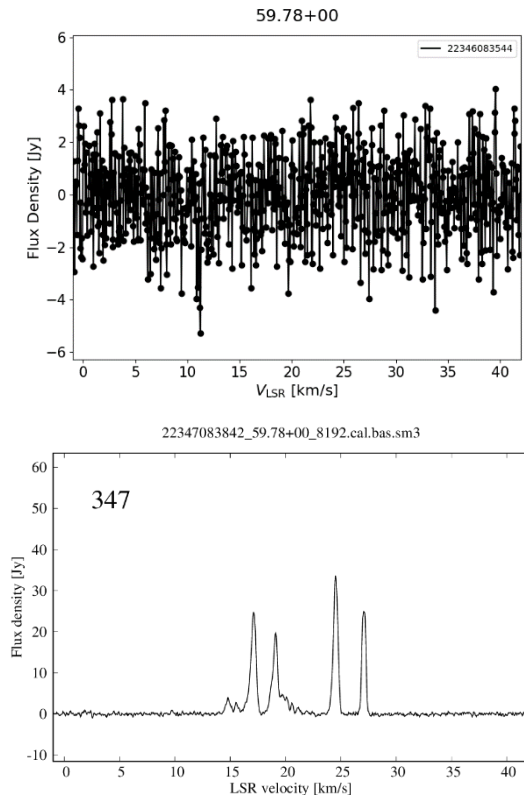


図 A.77:59.78+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

59.84+06

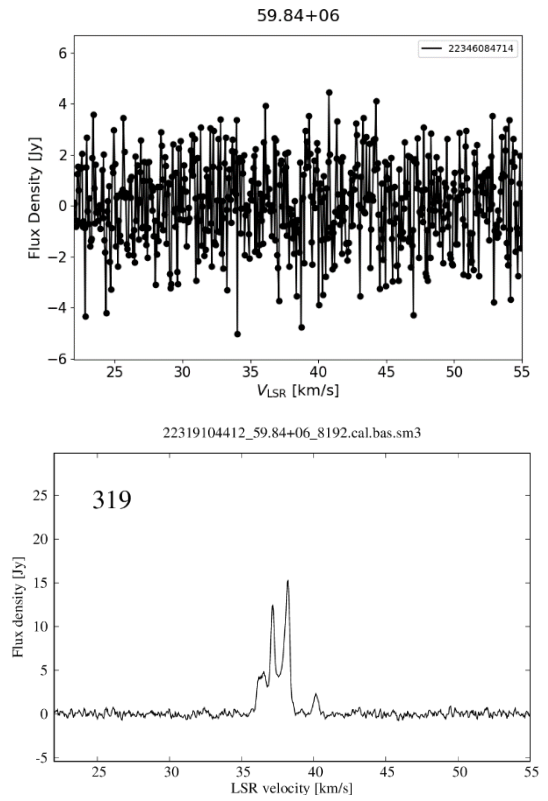


図 A.78:59.84+06 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

80.85+04

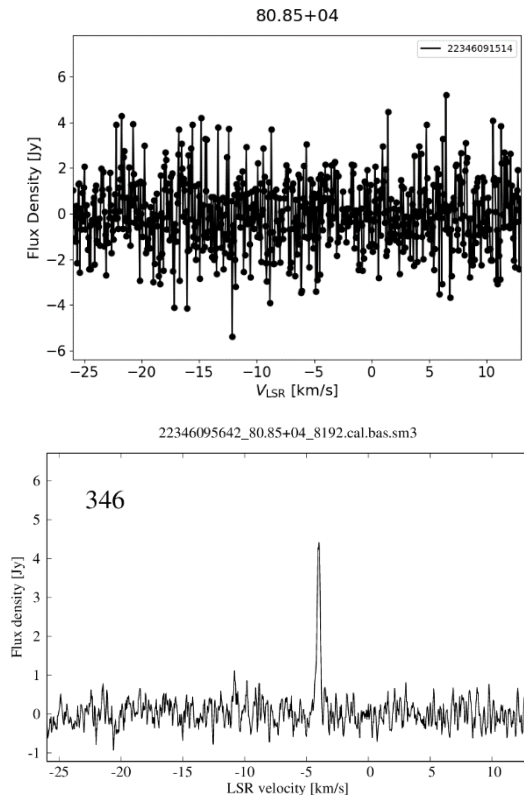


図 A.79:80.85+04 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

81.76+05

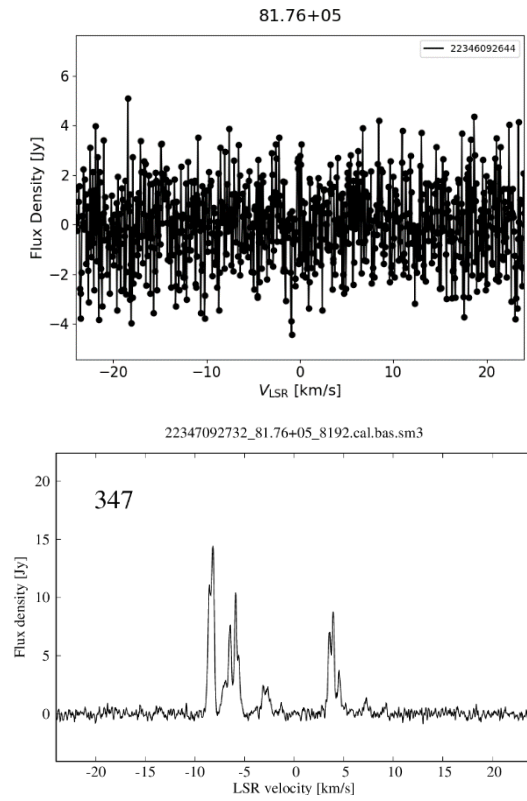


図 A.80:81.76+05 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

81.87+07

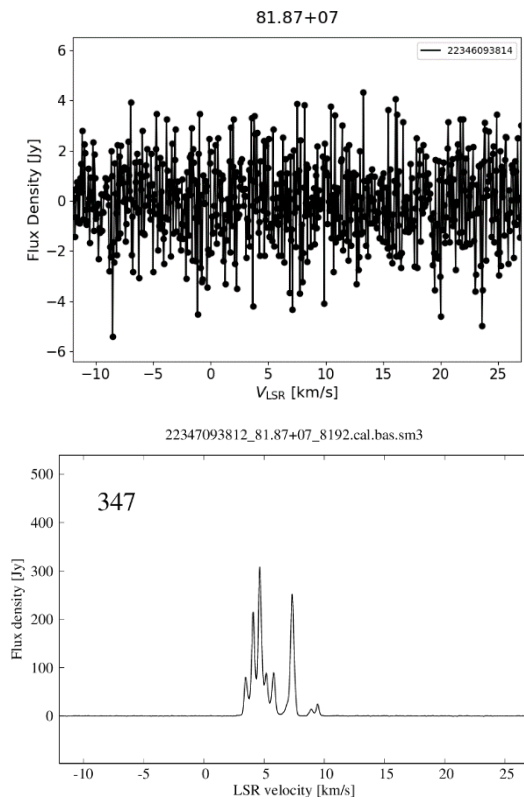


図 A.81:81.87+07 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

84.95-06

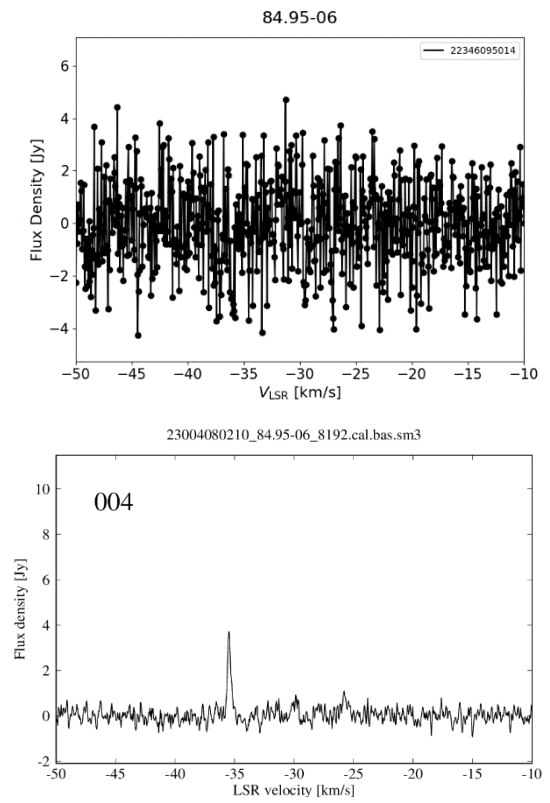


図 A.82:84.95-06 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

85.40-00

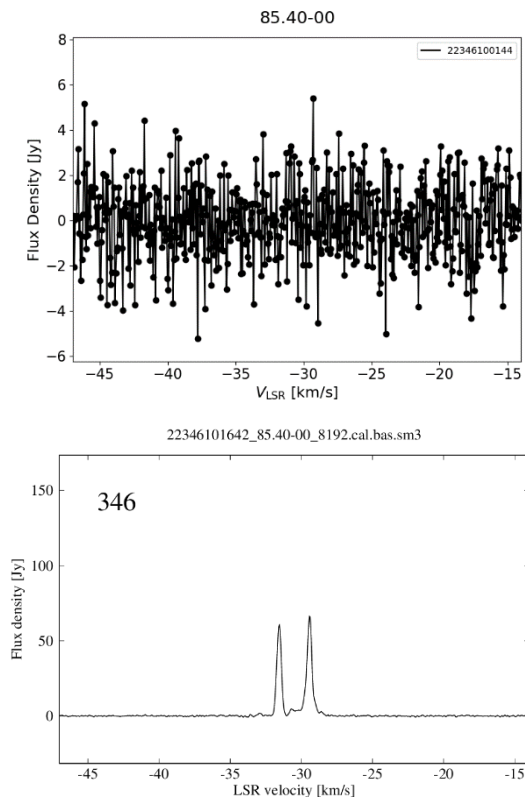


図 A.83:85.40-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

G65.7-20

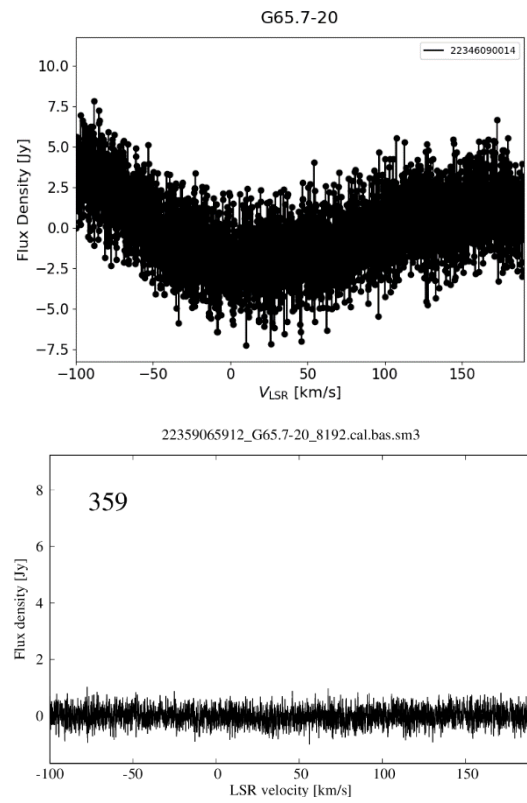


図 A.84:G65.7-20 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

35.39+00

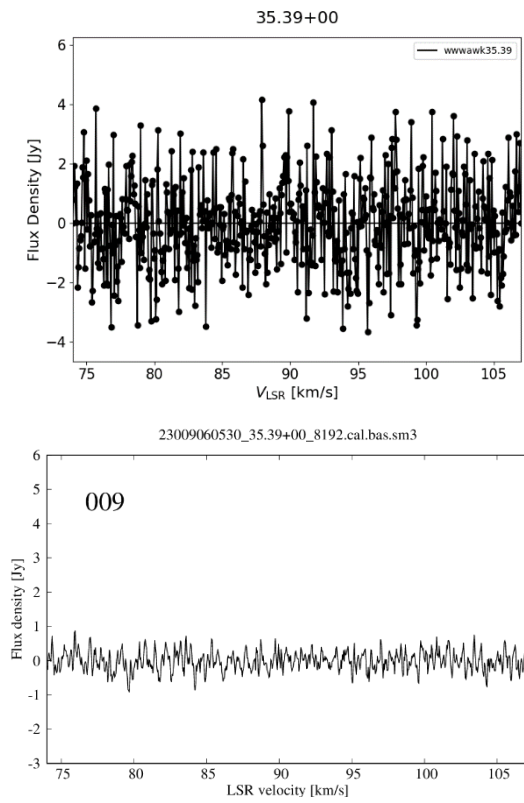


図 A.85:35.39+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

35.79-01

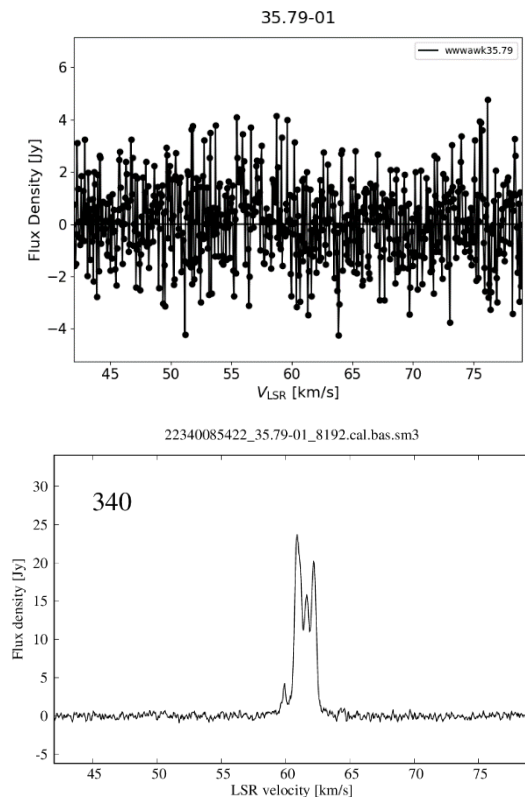


図 A.86:35.79-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

36.02-02

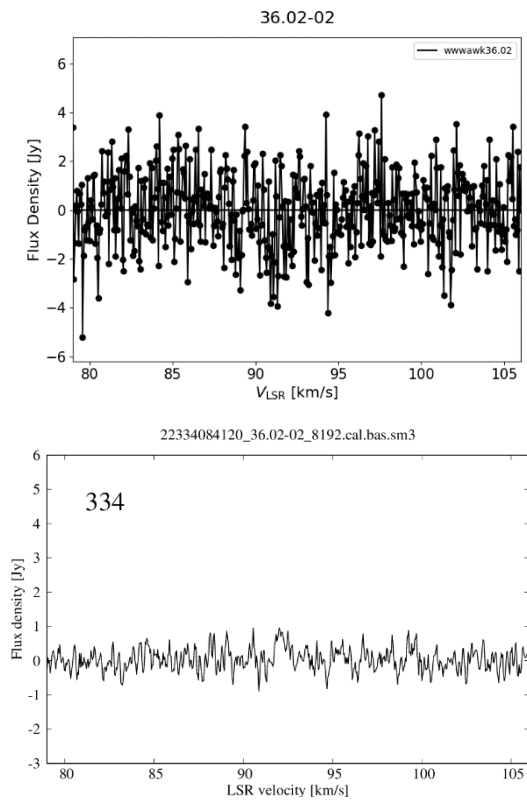


図 A.87:36.02-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

36.10+05

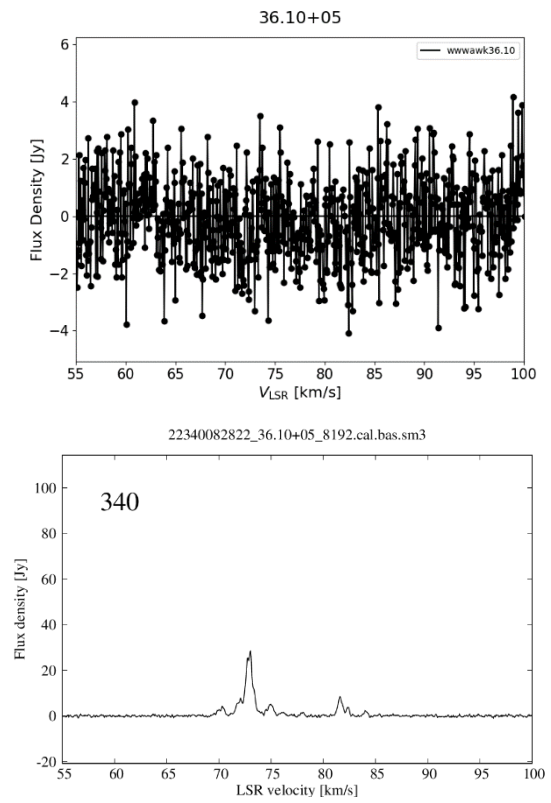


図 A.88:36.10+05 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

36.64-02

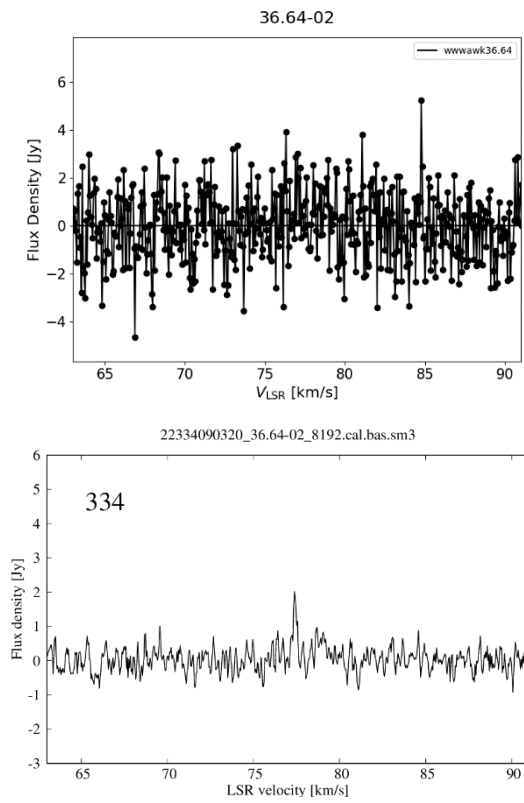


図 A.89:36.64-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

36.70+00

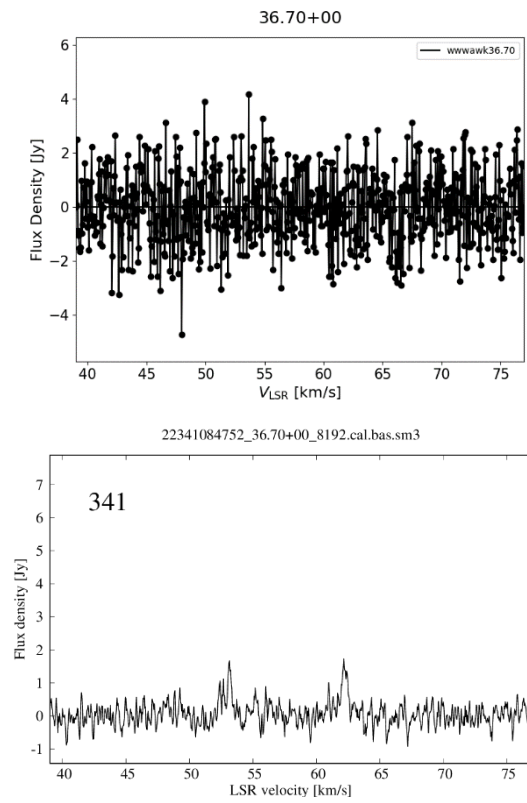


図 A.90:36.70+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

36.84-00

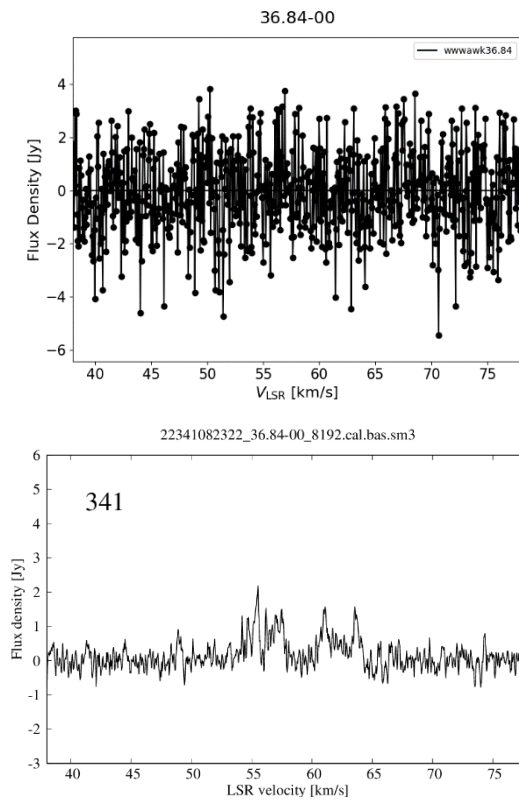


図 A.91:36.84-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

36.90-04

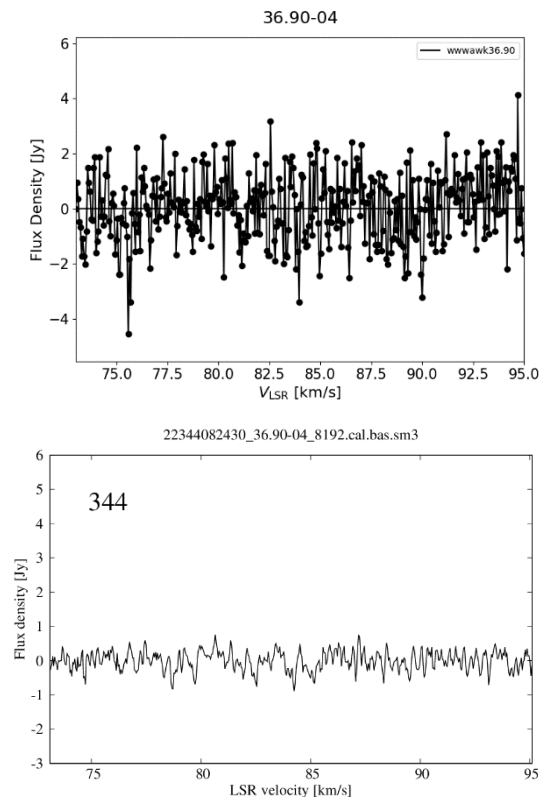


図 A.92:36.90-04 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

37.04-00

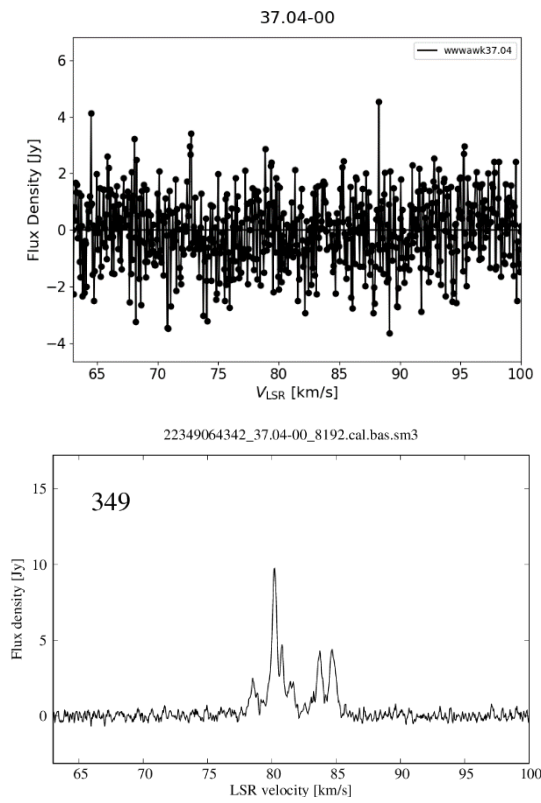


図 A.93:37.04-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

37.38-00

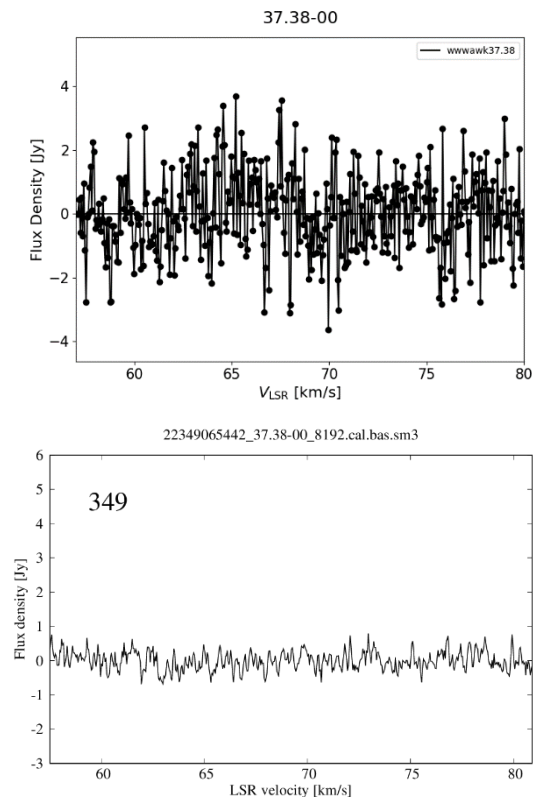


図 A.94:37.38-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

37.47-01

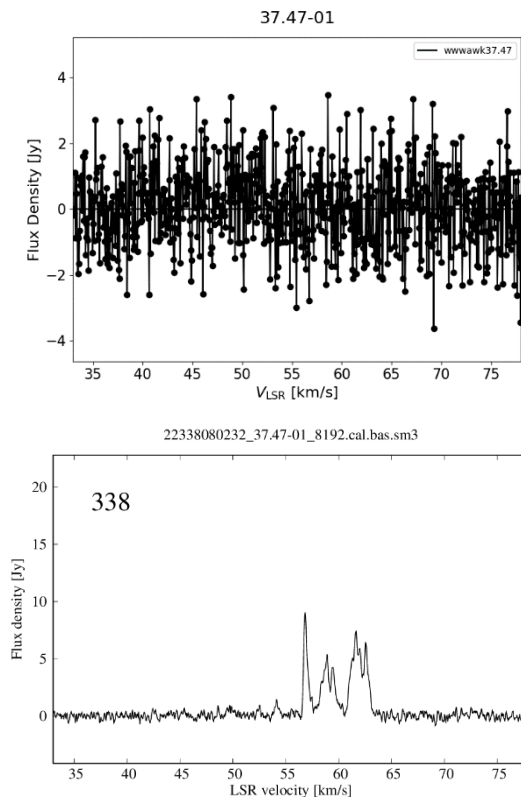


図 A.95:37.47-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

37.52-01

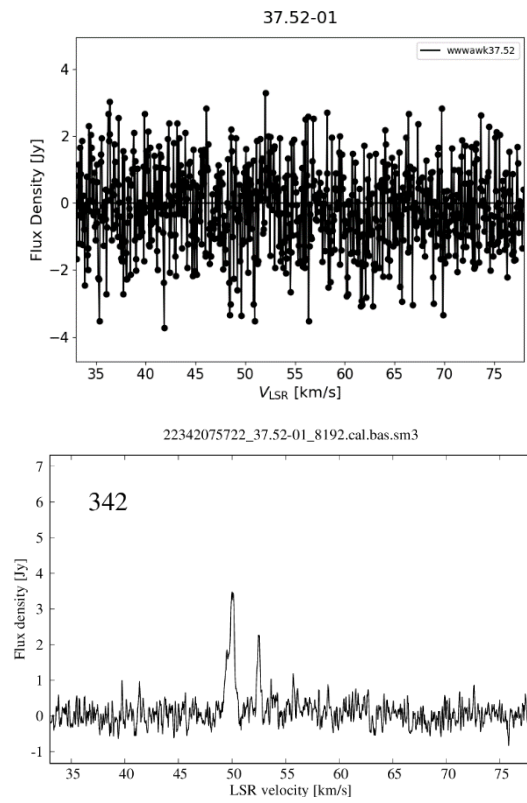


図 A.96:37.52-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

37.54+02

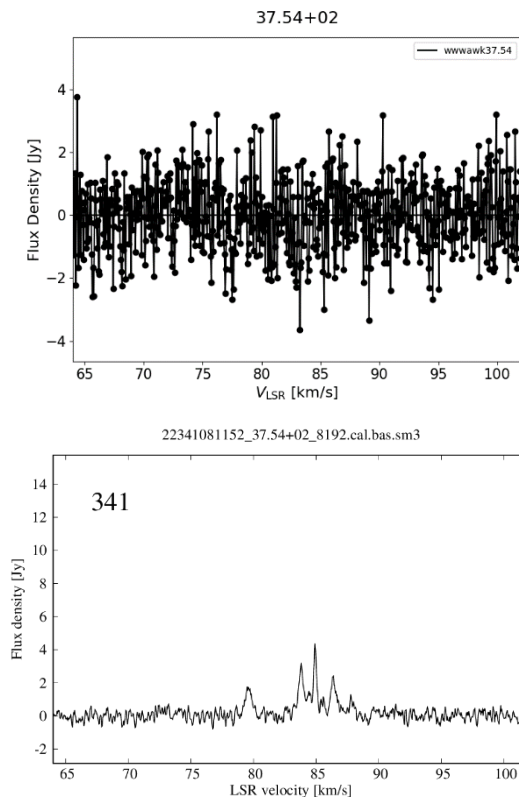


図 A.97:37.54+02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

37.60+04

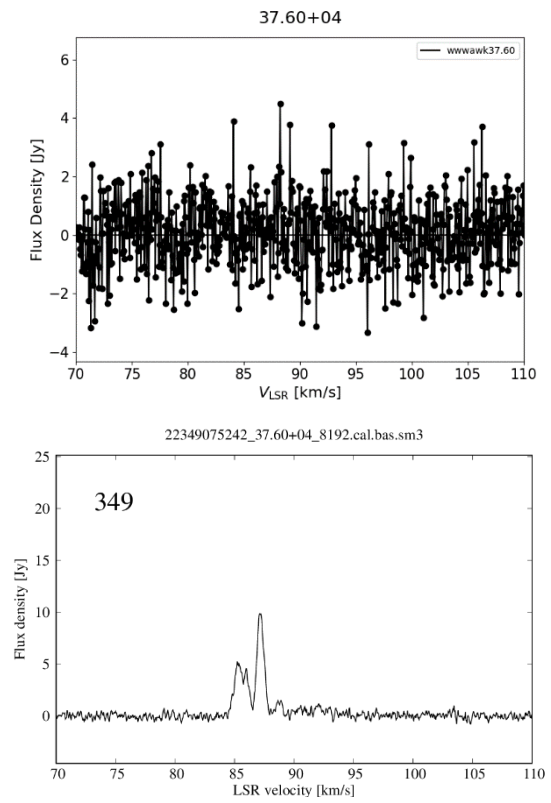


図 A.98:37.60+04 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

37.74-01

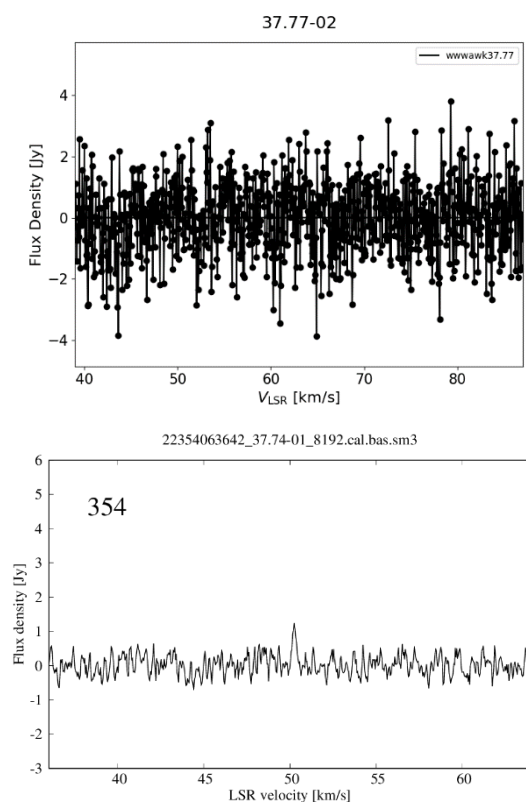


図 A.99:37.74-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

37.76-01

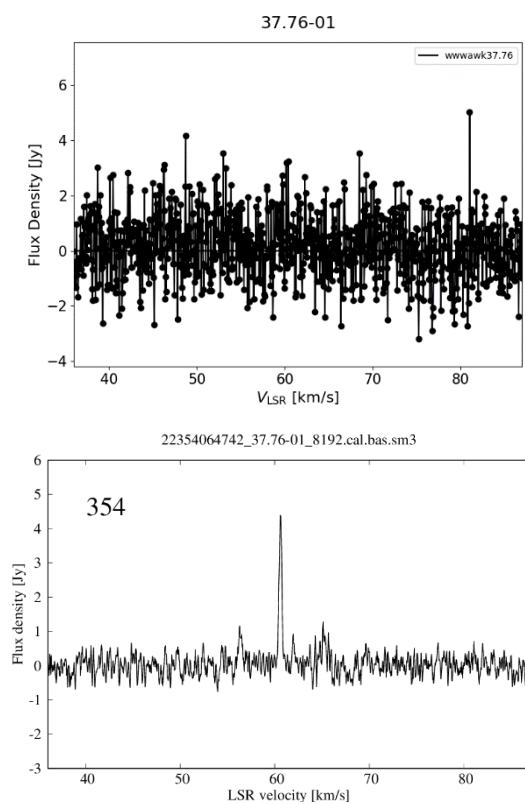


図 A.100:37.76-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

37.77-02

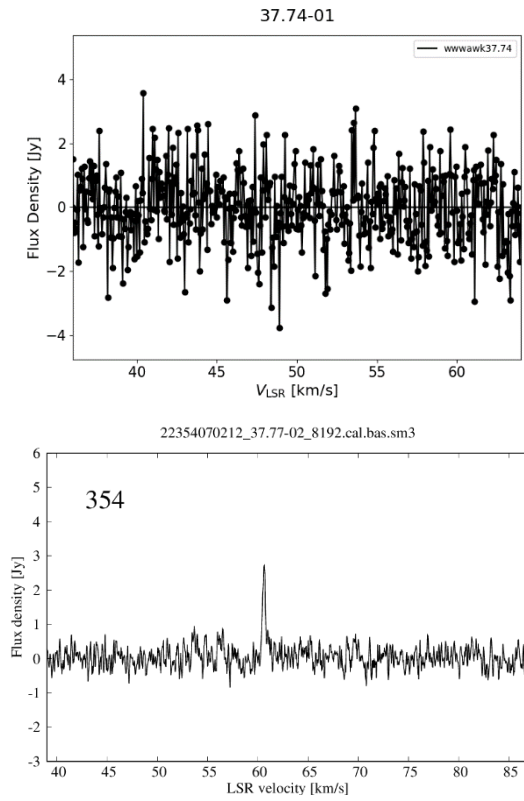


図 A.101:37.77-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

38.03-03

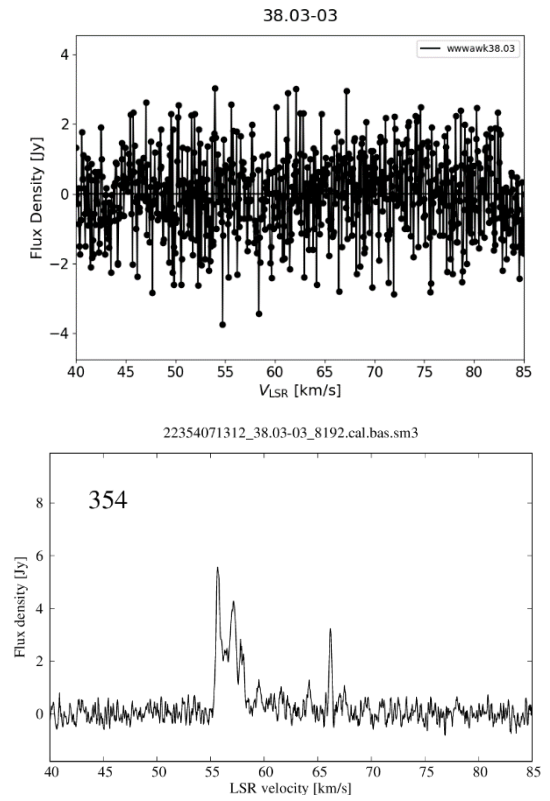


図 A.102:38.03-03 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

38.08-02

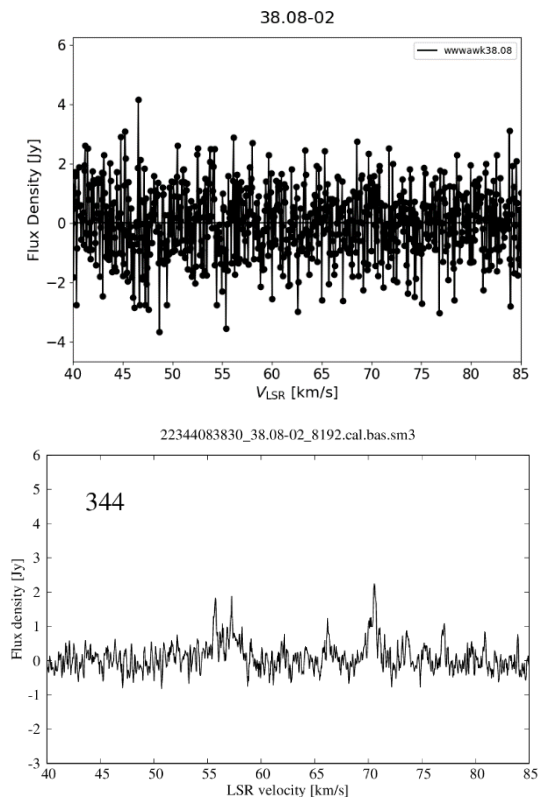


図 A.103:38.08-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

38.12-02

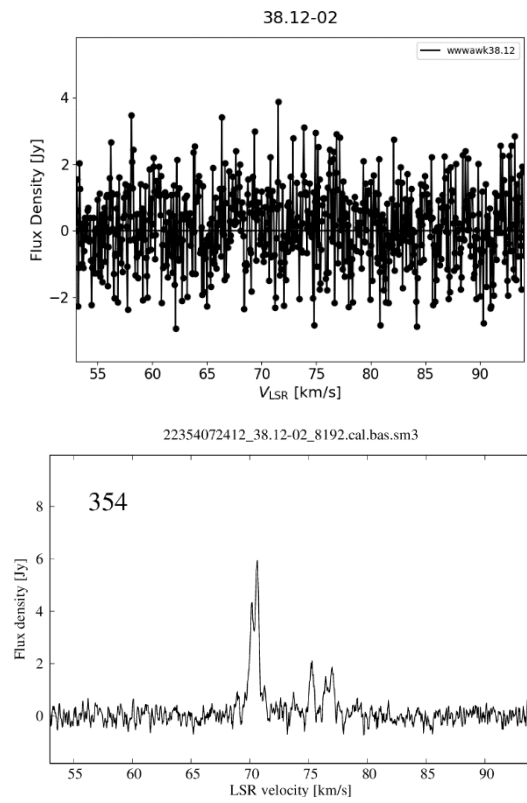


図 A.104:38.12-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

38.20-00

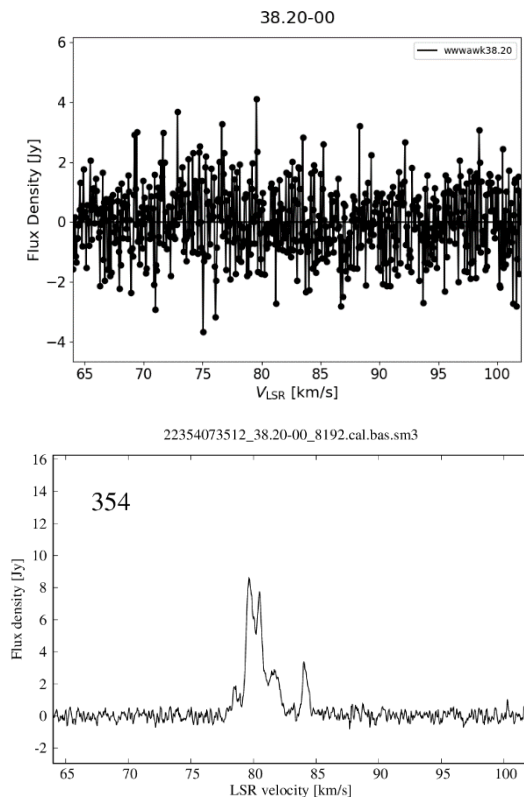


図 A.105:38.20-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

38.26-00

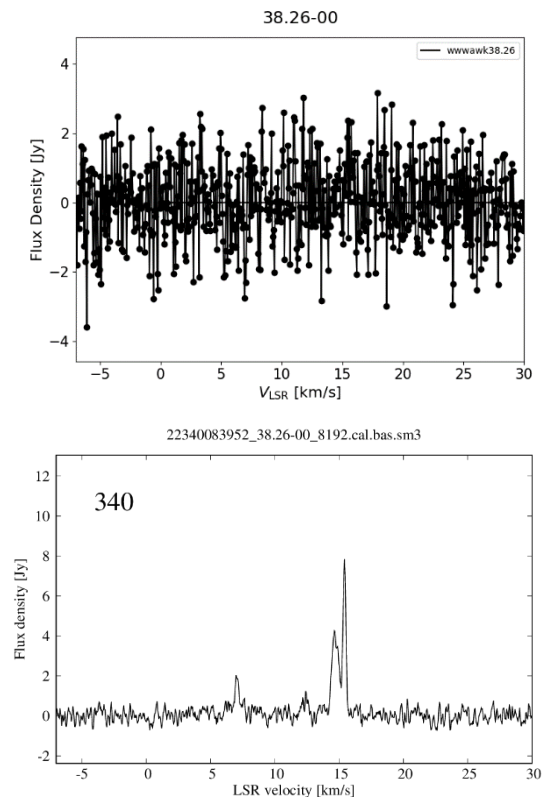


図 A.106:38.26-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

38.26-02

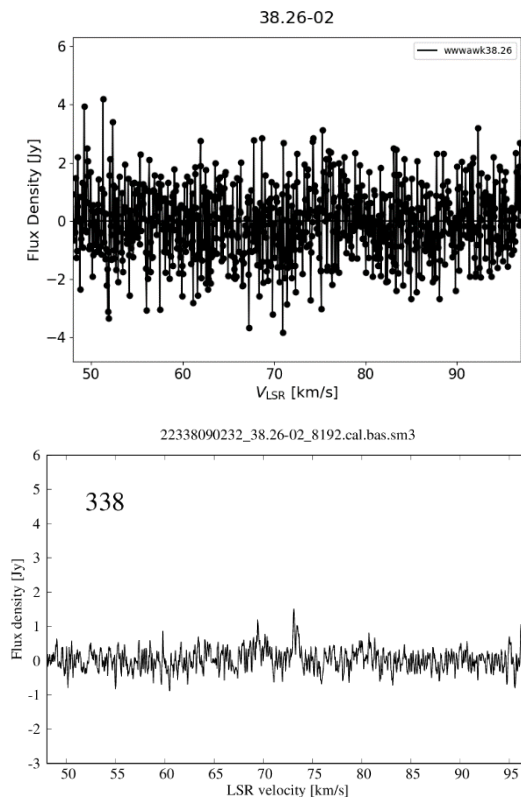


図 A.107:38.26-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

38.56+01

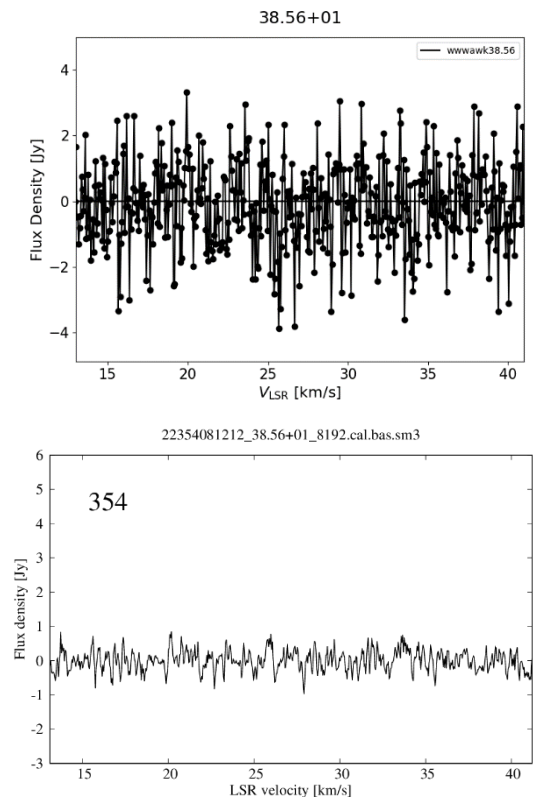


図 A.108:38.56+01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

38.60-02

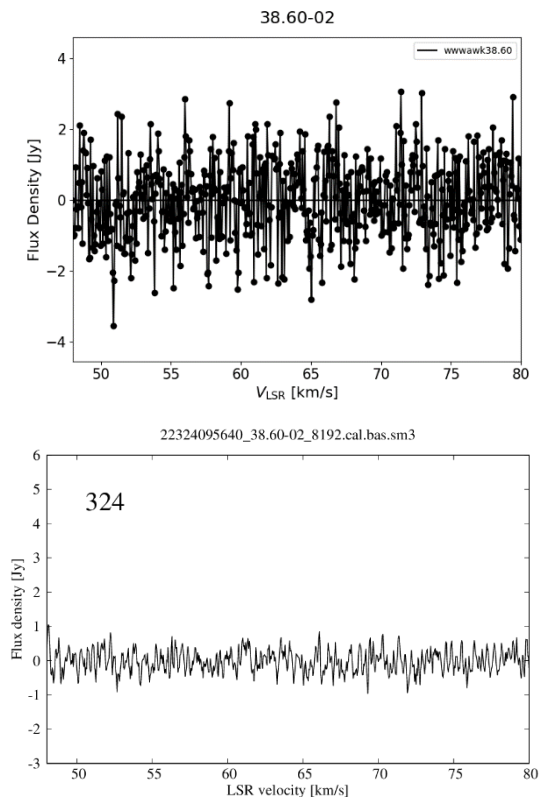


図 A.109:38.60-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

38.66+00

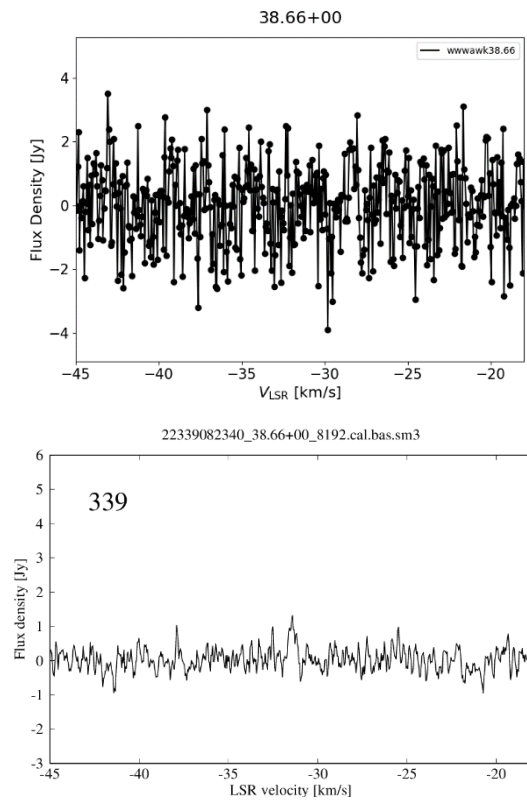


図 A.110:38.66+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

38.92-03

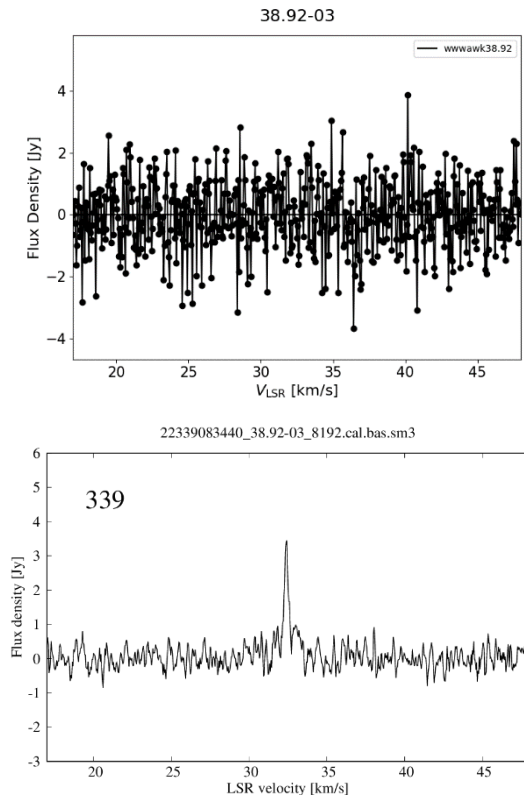


図 A.111:38.92-03 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

39.10+04

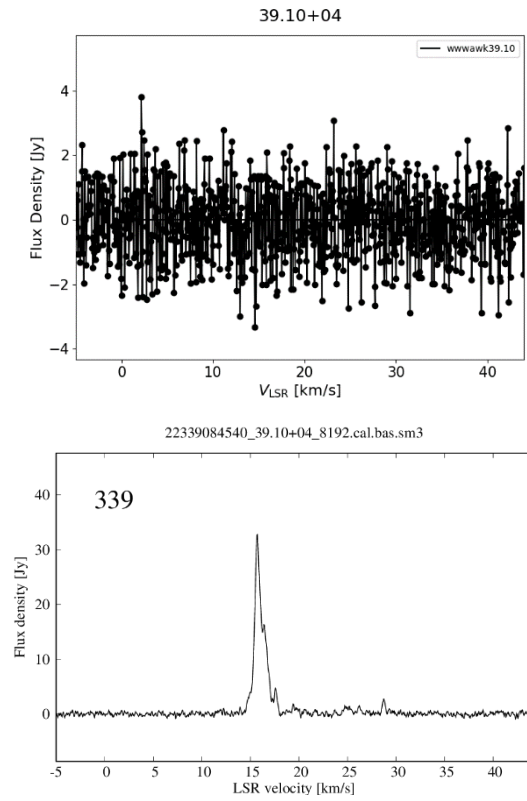


図 A.112:39.10+04 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

39.39-01

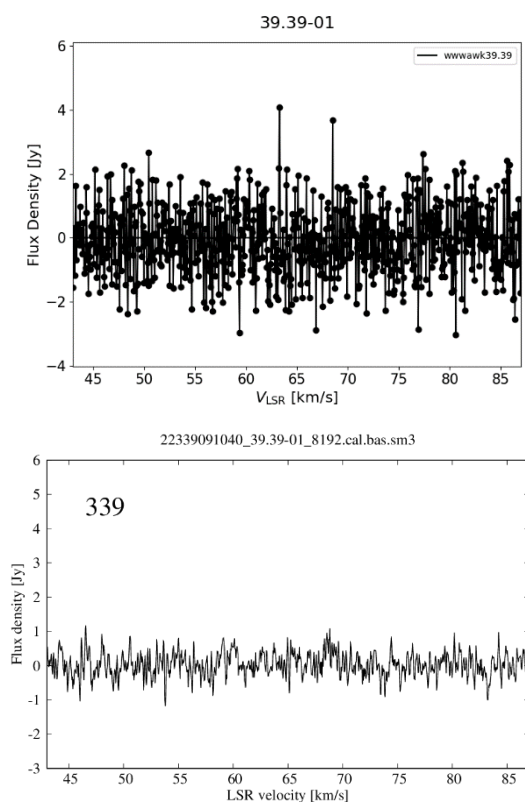


図 A.113:39.39-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

39.54-03

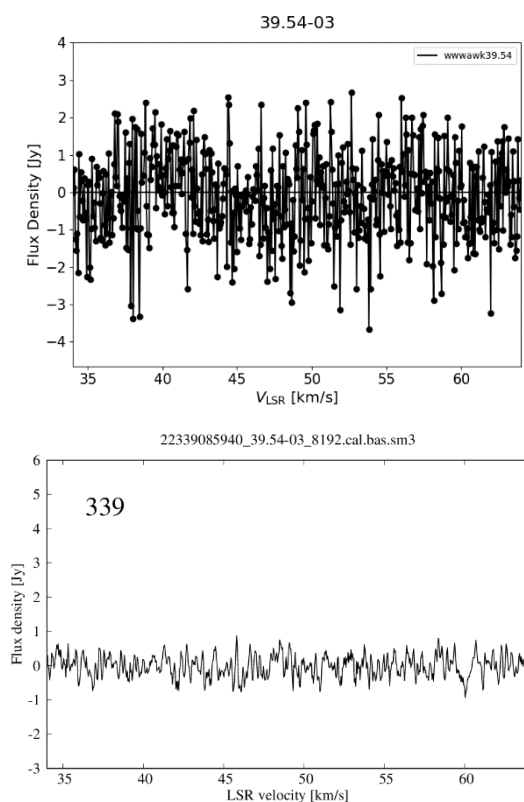


図 A.114:39.54-03 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

40.28-02

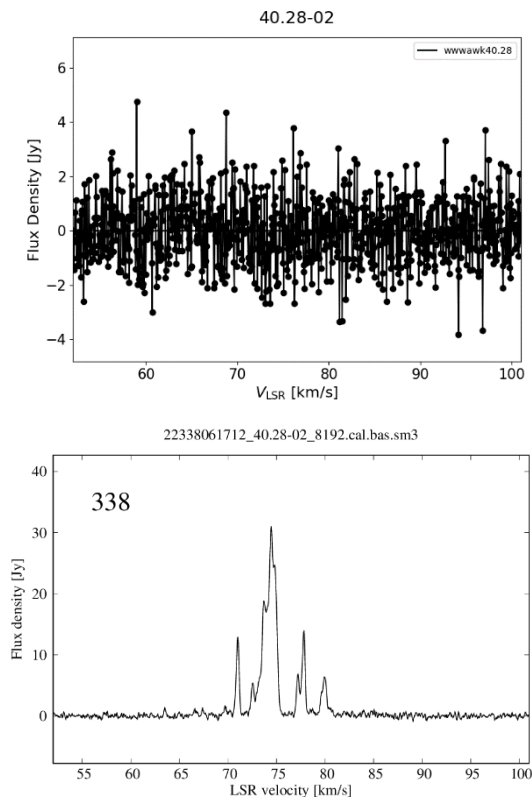


図 A.115:40.28-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

40.41+07

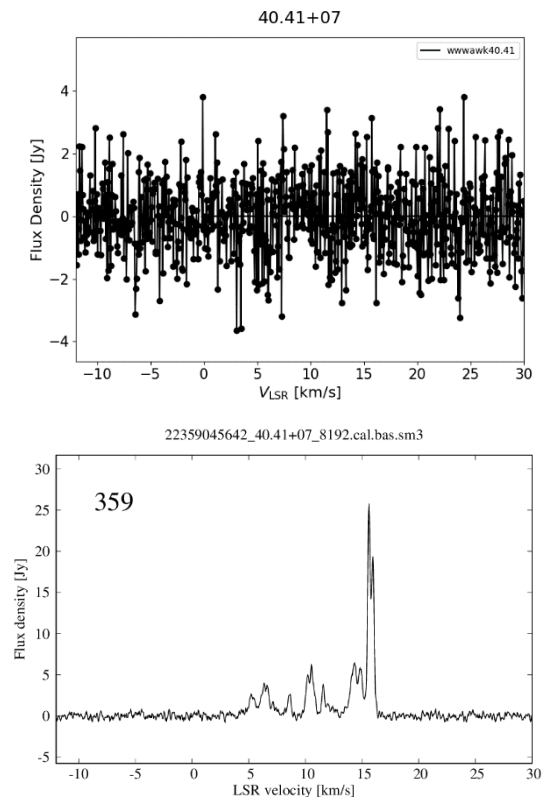


図 A.116:40.41+07 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

40.62-01

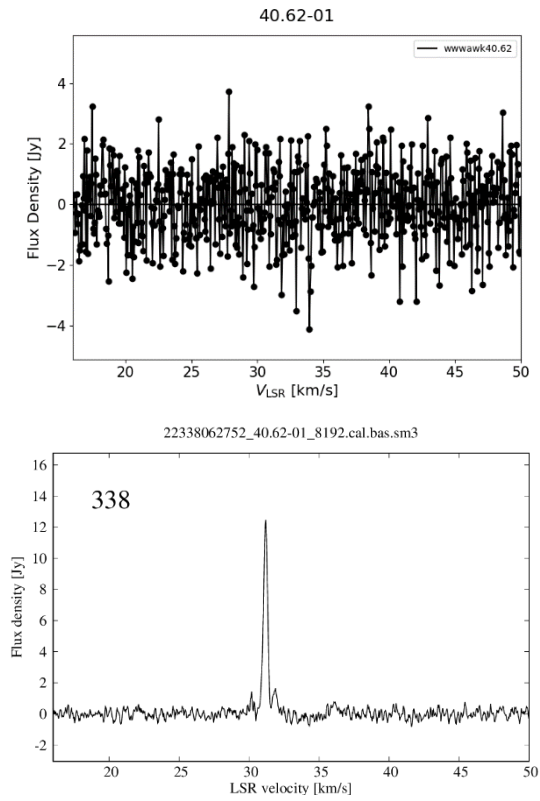


図 A.117:40.62-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

40.94-00

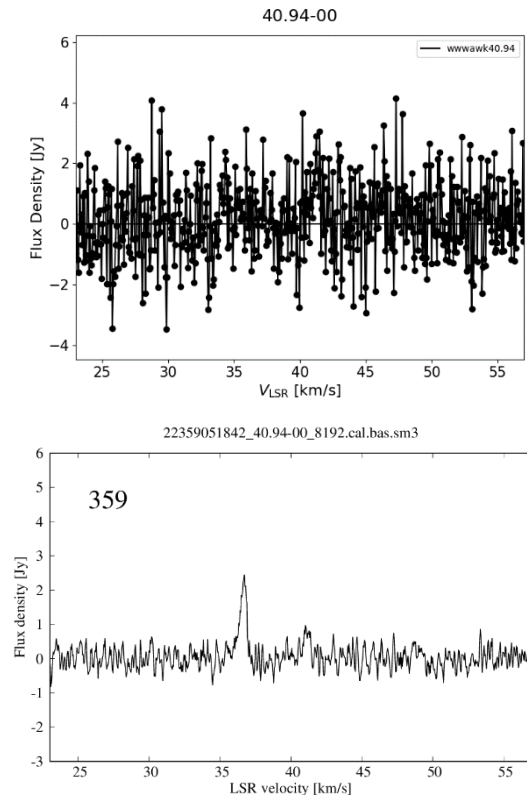


図 A.118:40.94-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

41.08-01

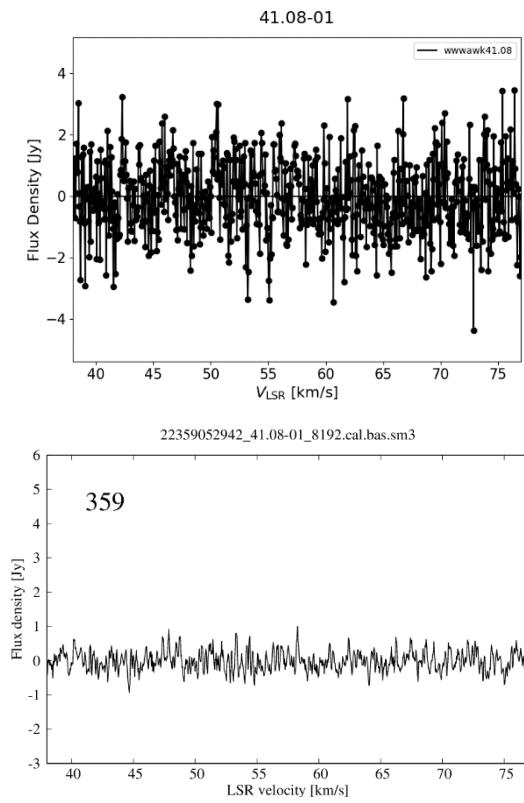


図 A.119:41.08-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

41.12-01

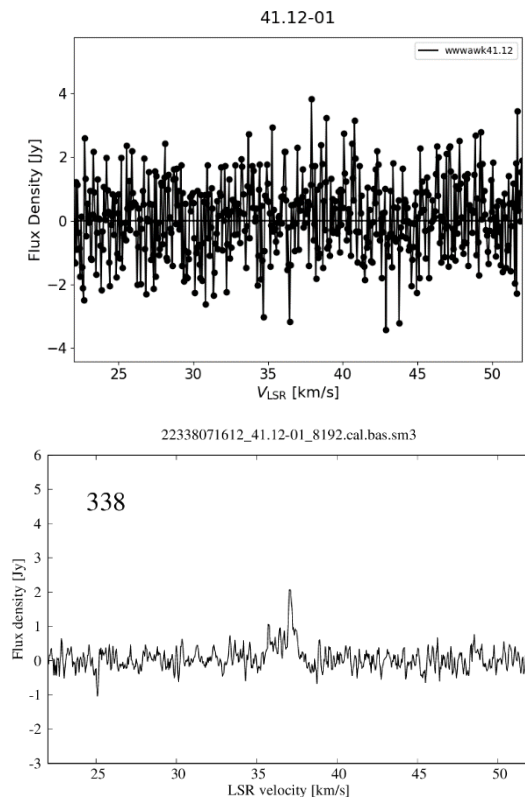


図 A.120:41.12-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

41.12-02

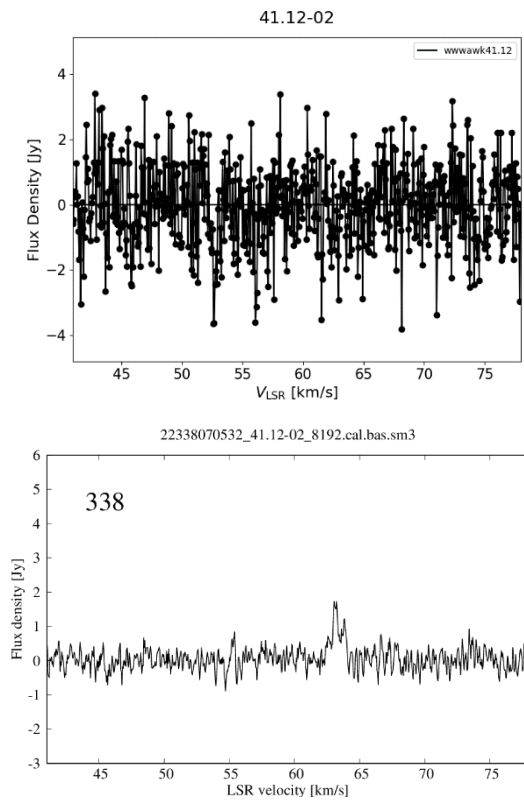


図 A.121:41.12-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

50.00+05

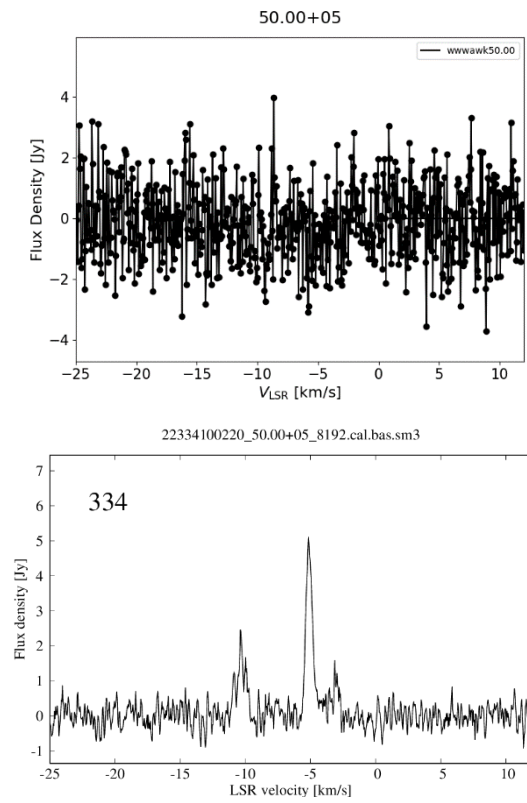


図 A.122:50.00+05 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

50.29+06

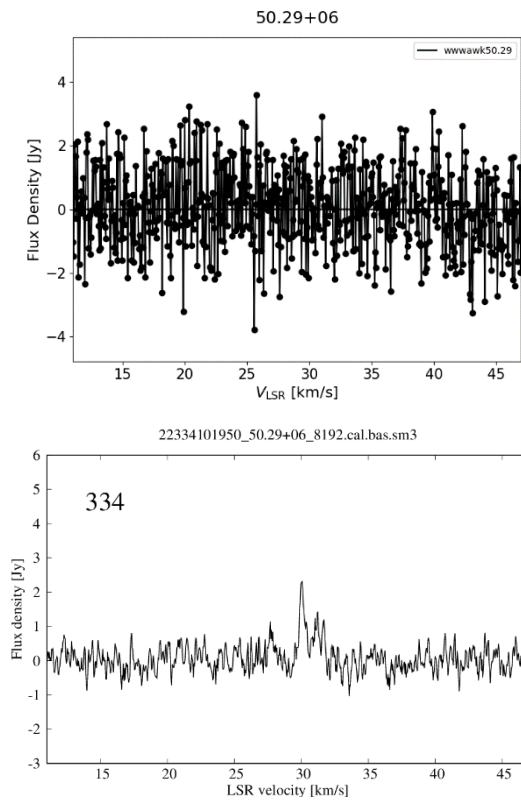


図 A.123:50.29+06 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

50.78+01

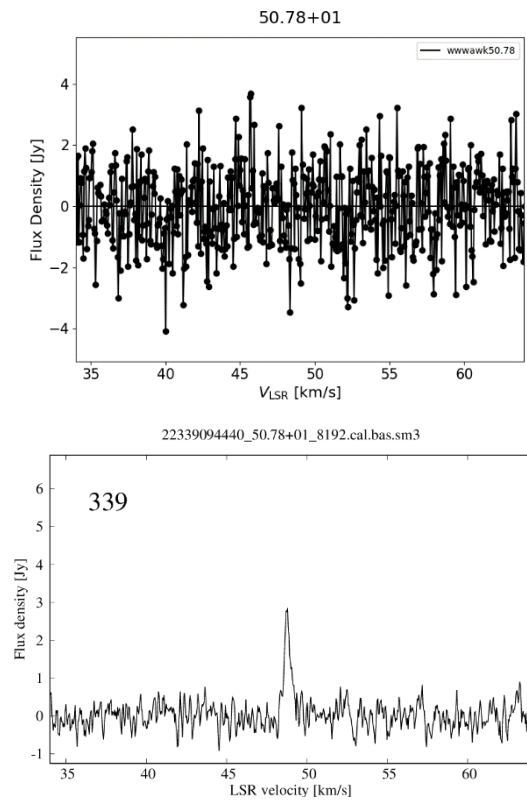


図 A.124:50.78+01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

52.20+07

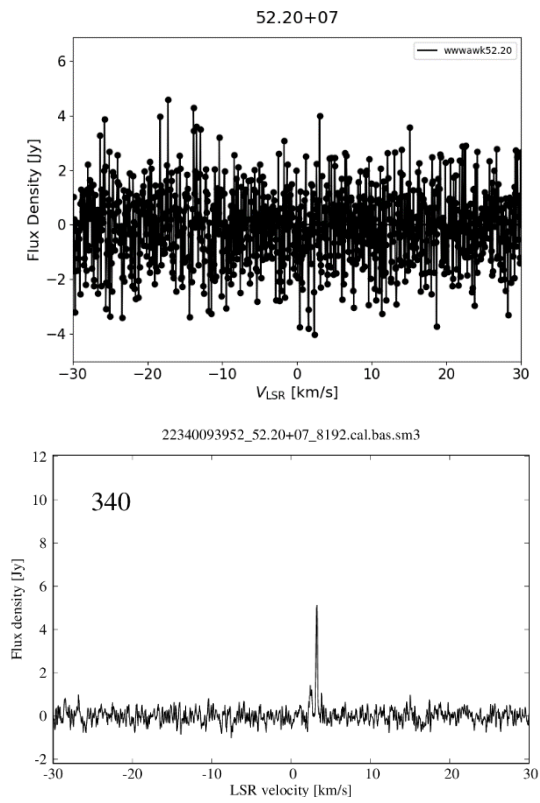


図 A.125:52.20+07 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

IRS16293

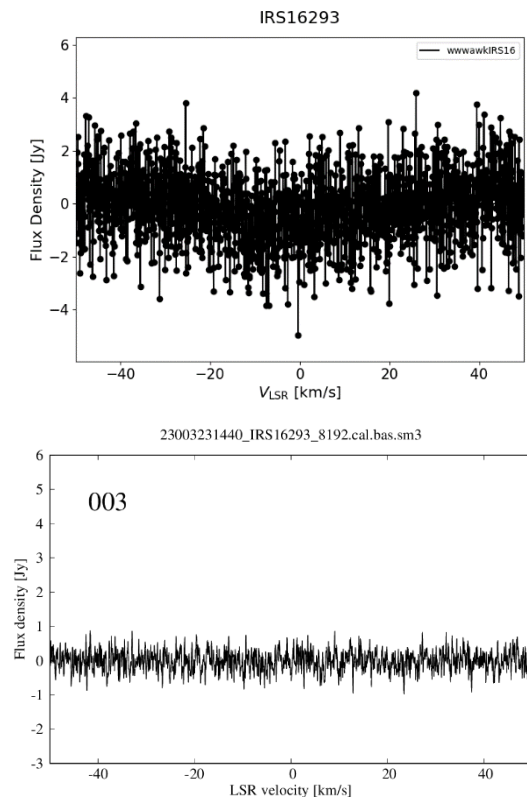


図 A.126:IRS16293 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

G351.2+0

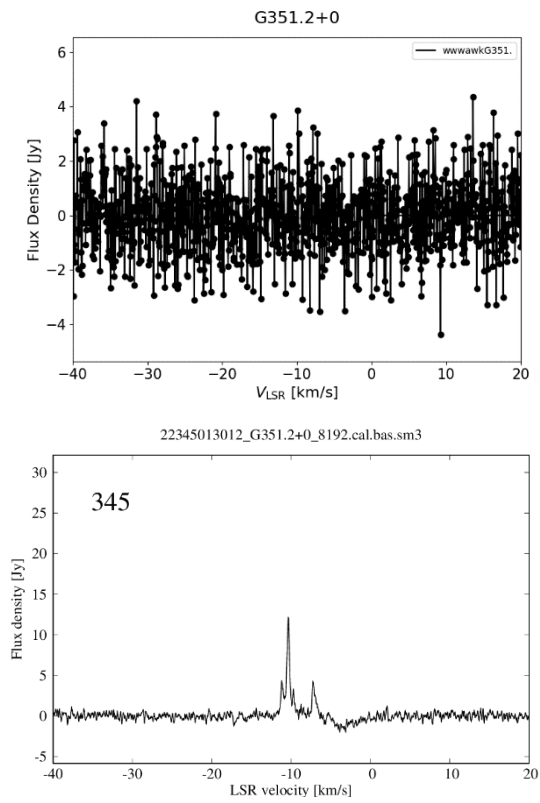


図 A.127:G351.2+0 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

352.6-10

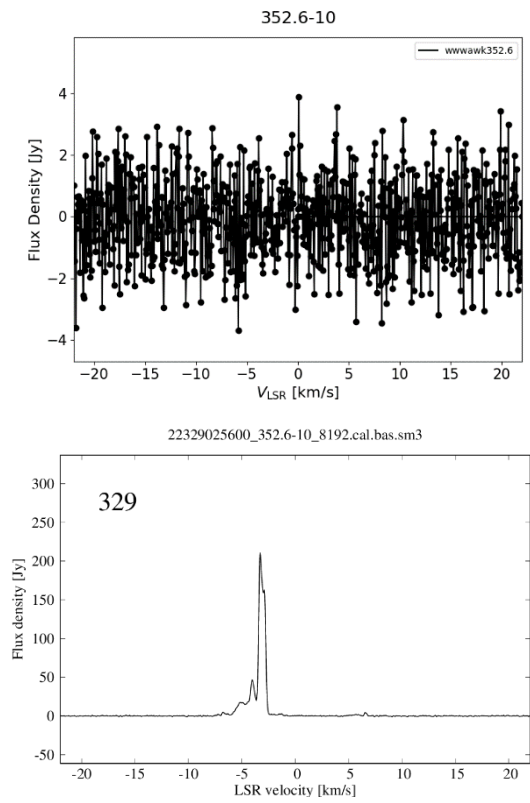


図 A.128:352.6-10 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

359.6-02

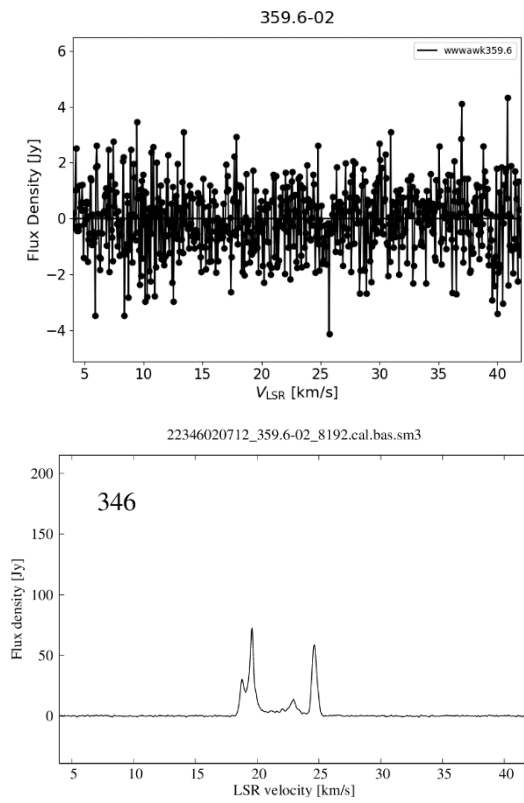


図 A.129:359.6-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

5.618-00

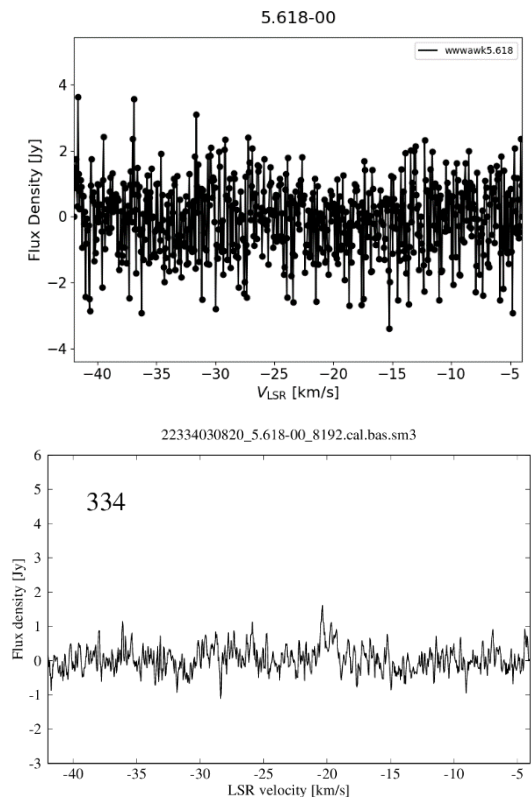


図 A.130:5.618-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

C19.0-02

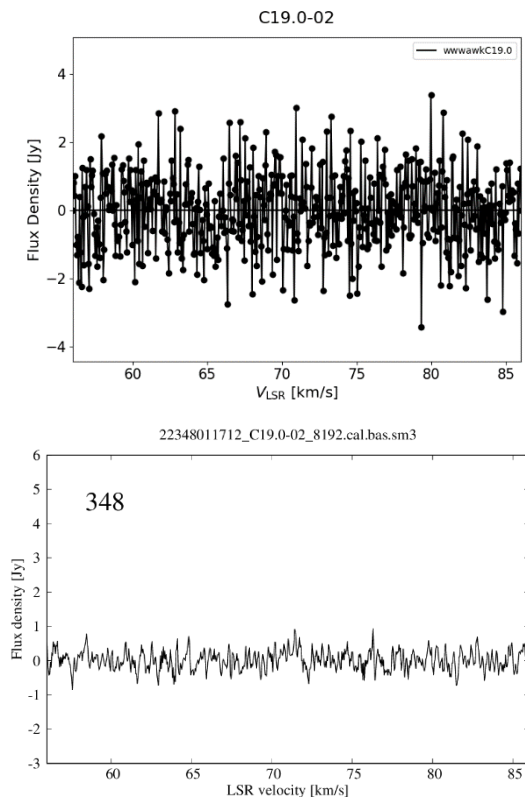


図 A.131:C19.0-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

G10.8-20

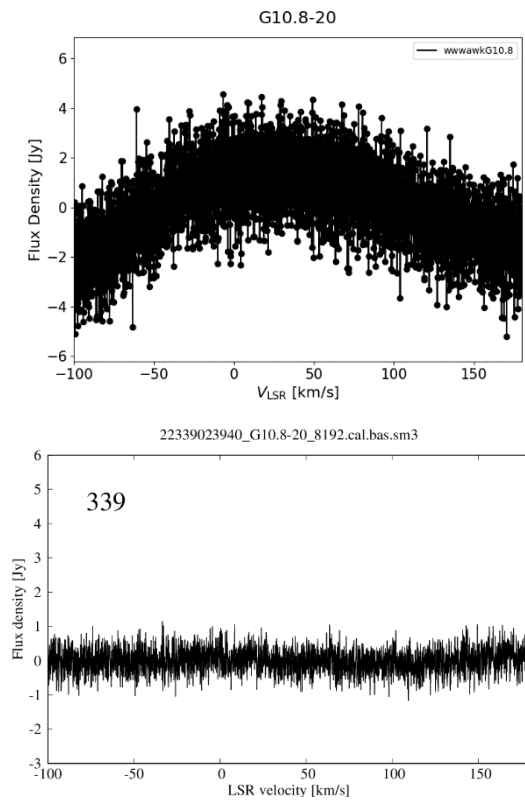


図 A.132:G10.8-20 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

G12.4+00

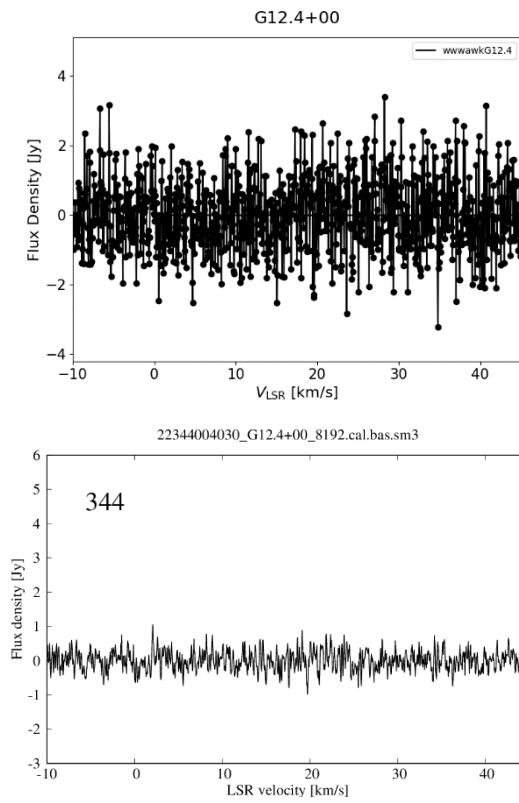


図 A.133:G12.4+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

G12.4-10

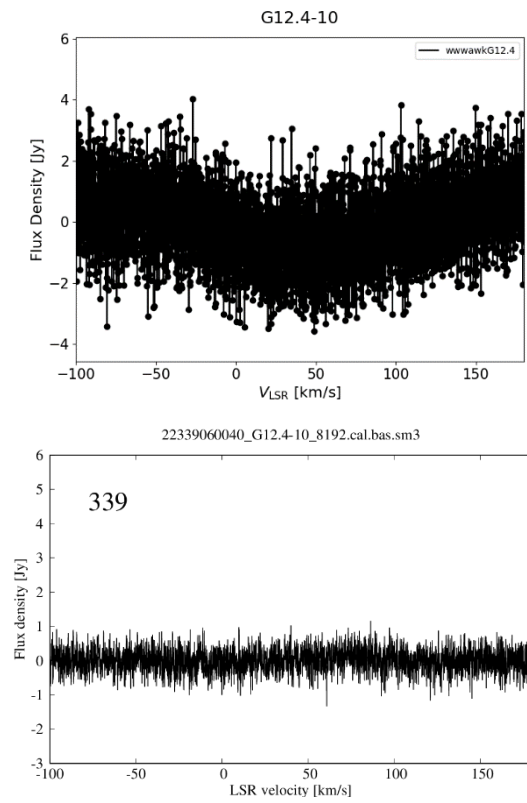


図 A.134:G12.4-10 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

G12.7-00

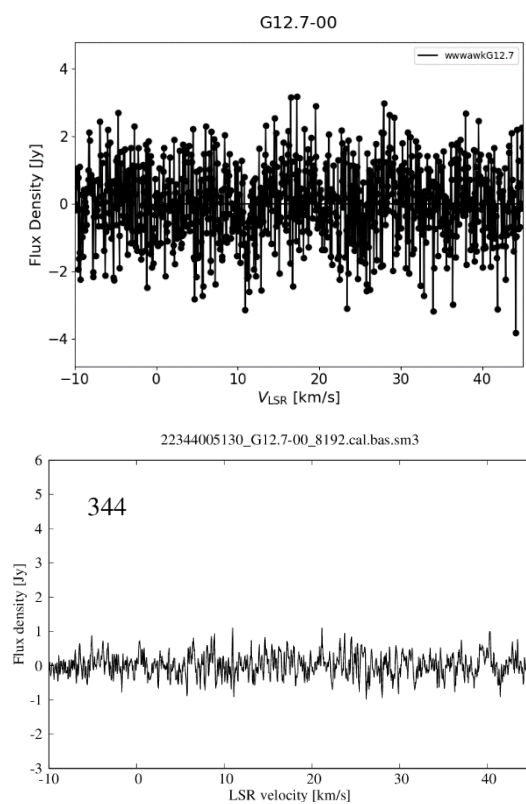


図 A.135:G12.7-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

G13.8+00

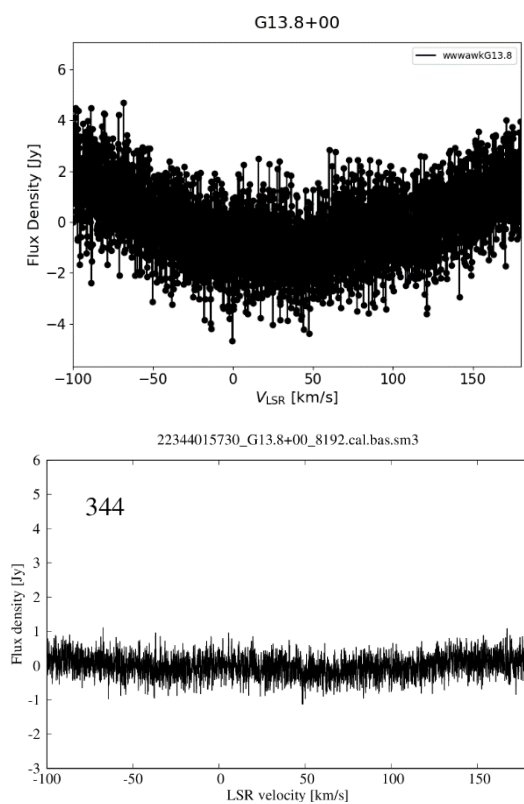


図 A.136:G13.8+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

G15.1-00

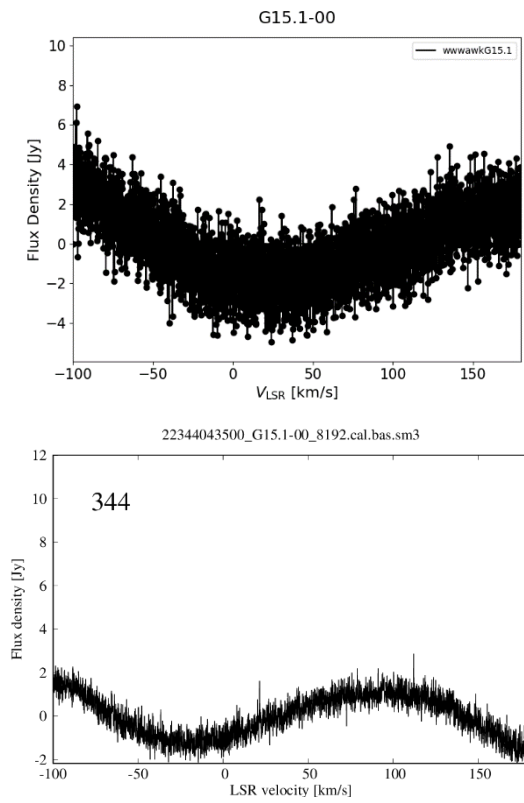


図 A.137:G15.1-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

G16.2+00

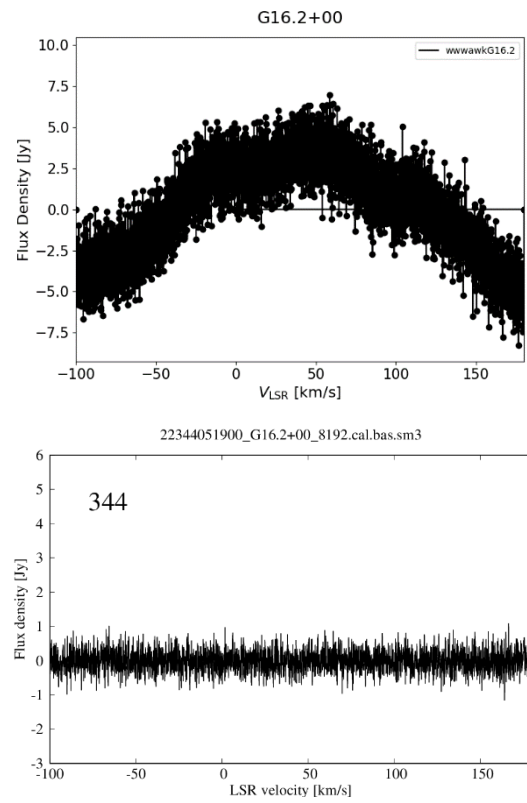


図 A.138:G16.2+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

G16.8+00

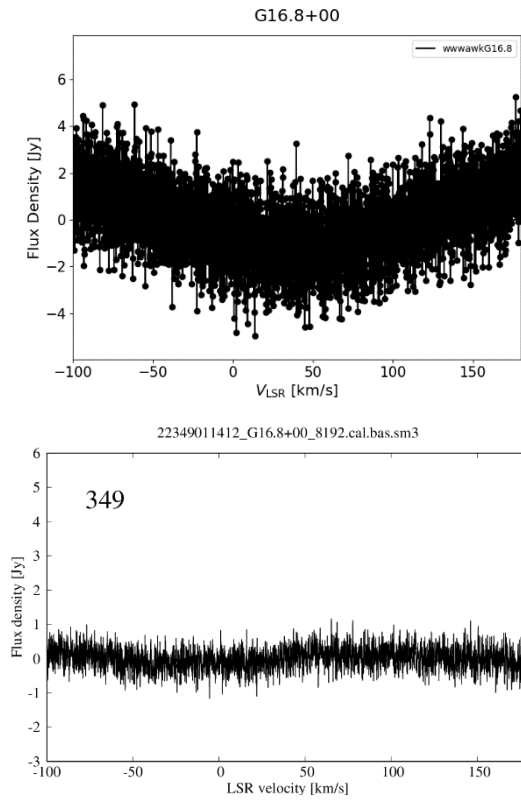


図 A.139:G16.8+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

G16.9+00

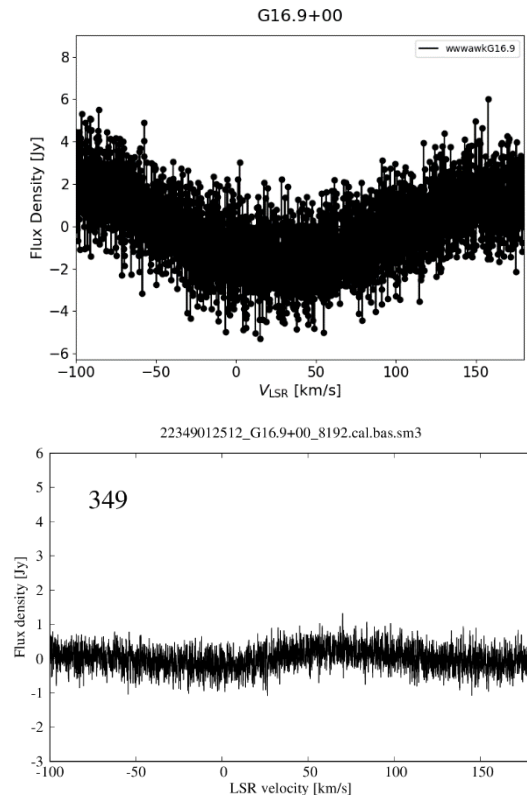


図 A.140:G16.9+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

G20.7-00

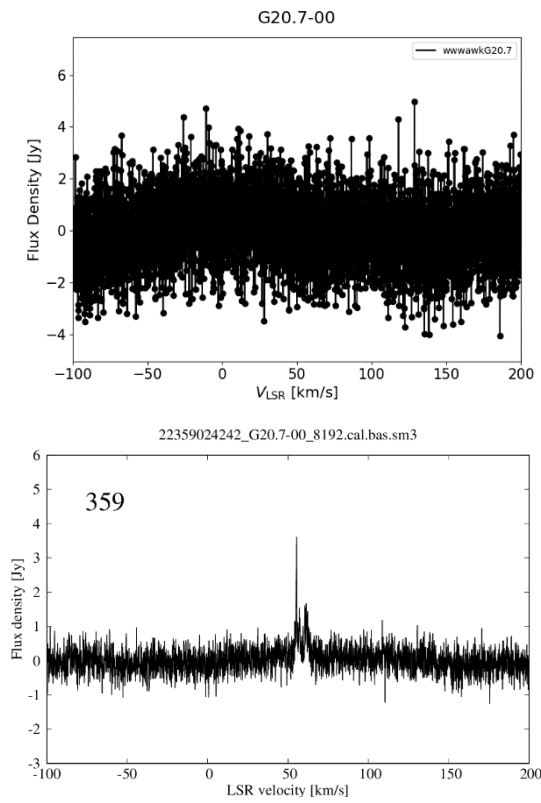


図 A.141:G20.7-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

G23.2+00

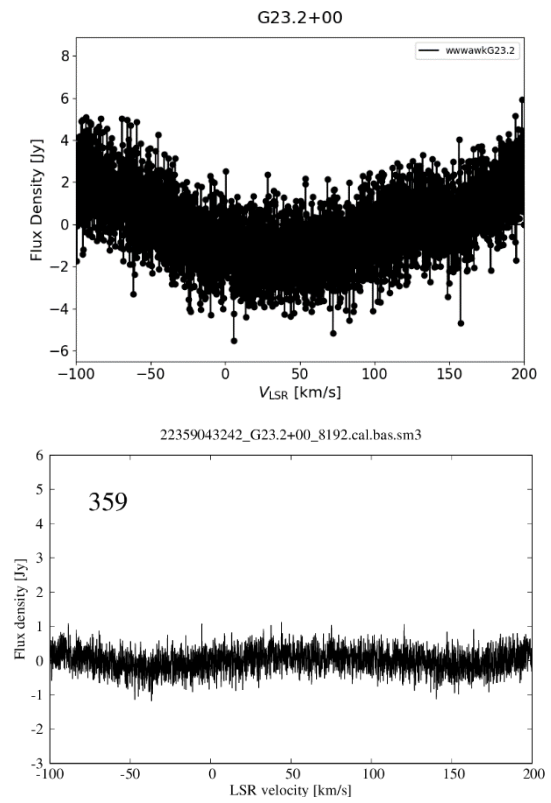


図 A.142:G23.2+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

G24.1+00

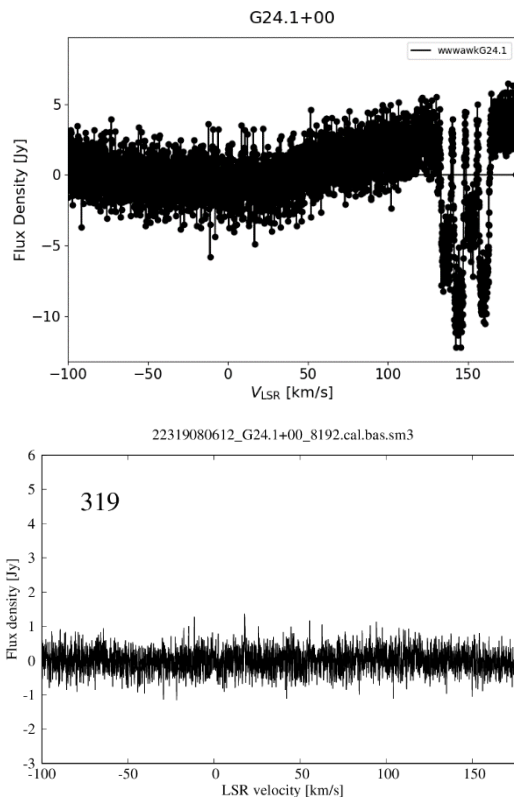


図 A.143:G24.1+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

22.43-01

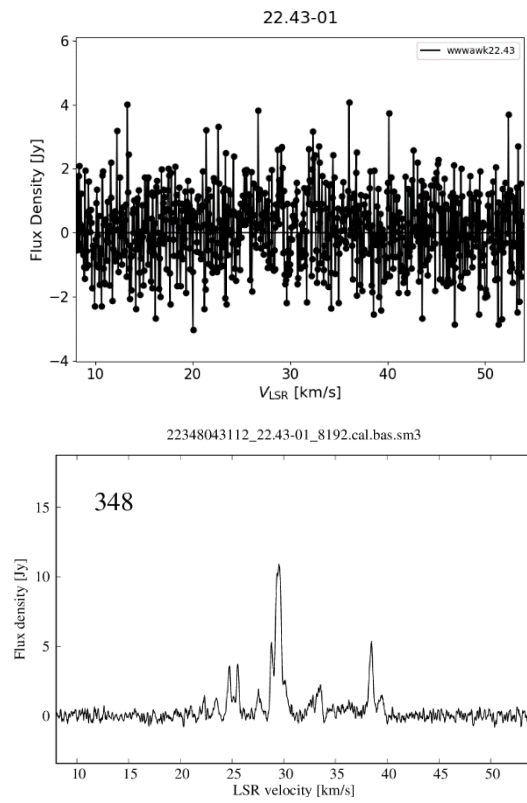


図 A.144:22.43-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

23.01-04

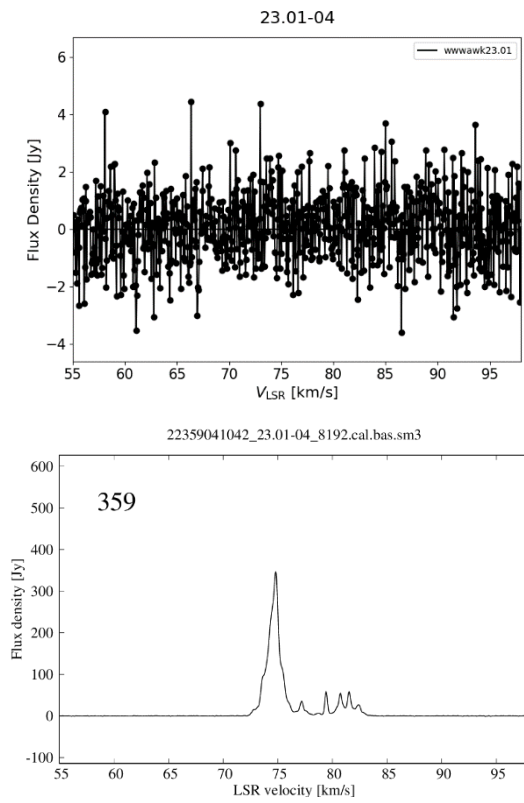


図 A.145:23.01-04 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

23.19-03

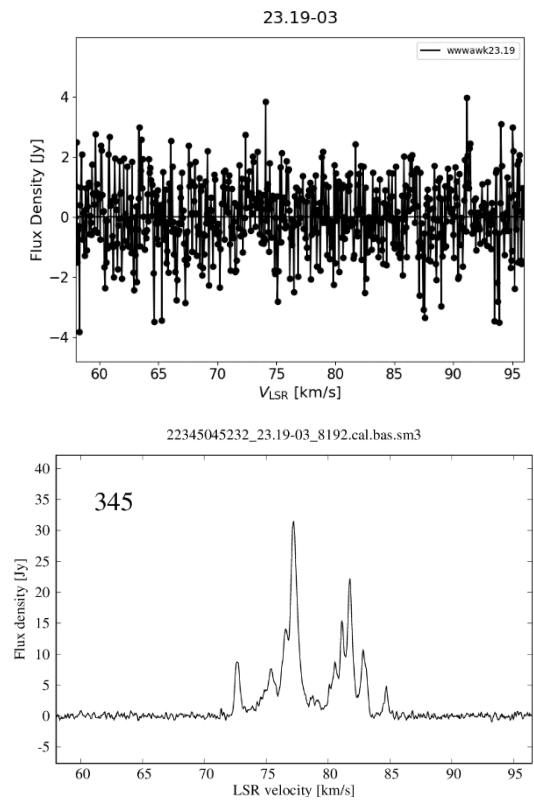


図 A.146:23.19-03 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

23.24-02

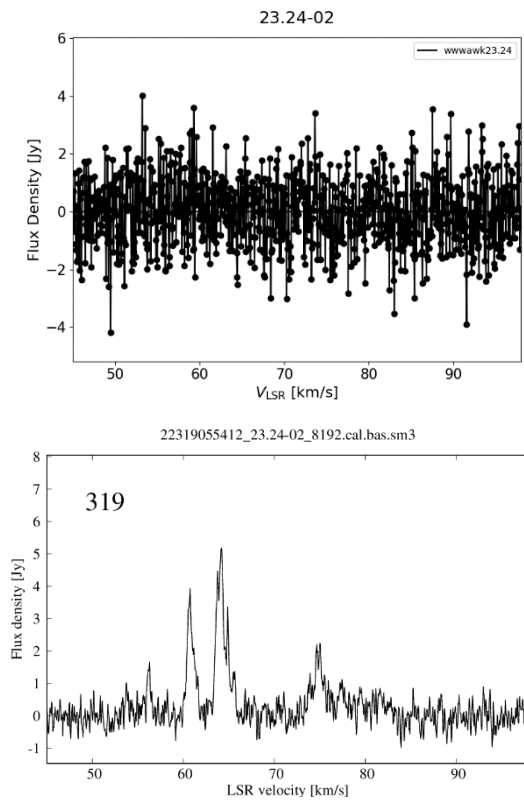


図 A.147:23.24-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

25.53+03

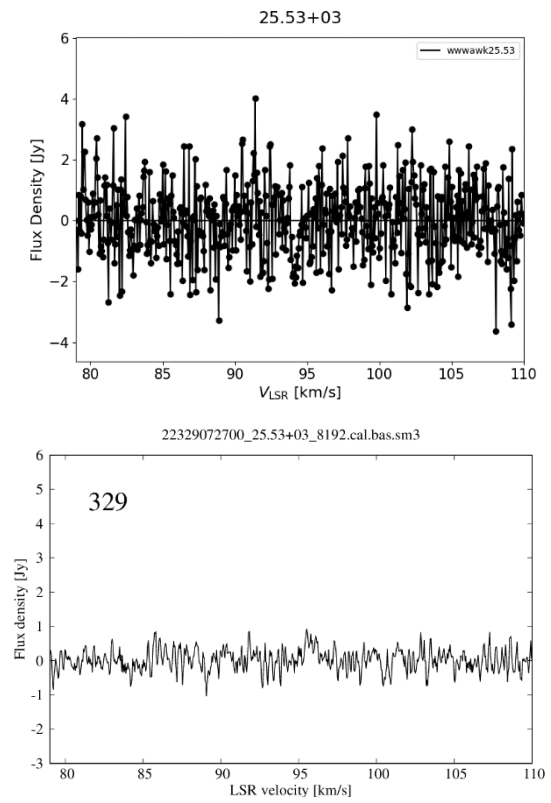


図 A.148:25.53+03 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

25.70+00

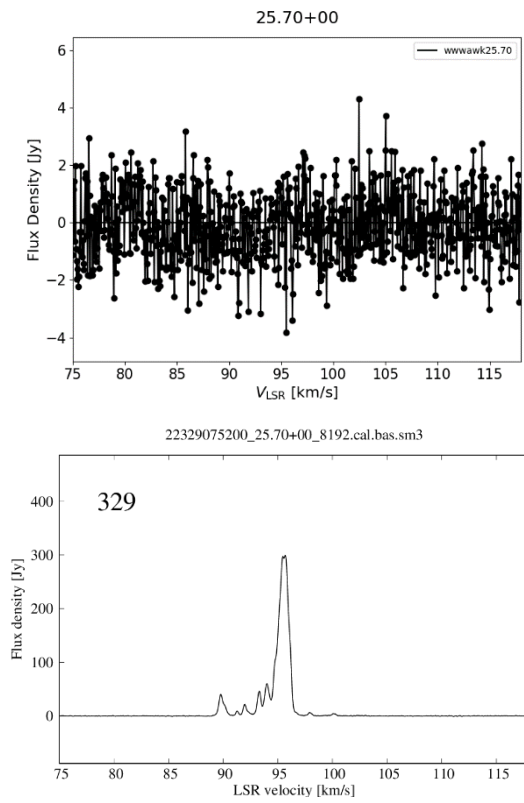


図 A.149:25.70+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

30.30-01

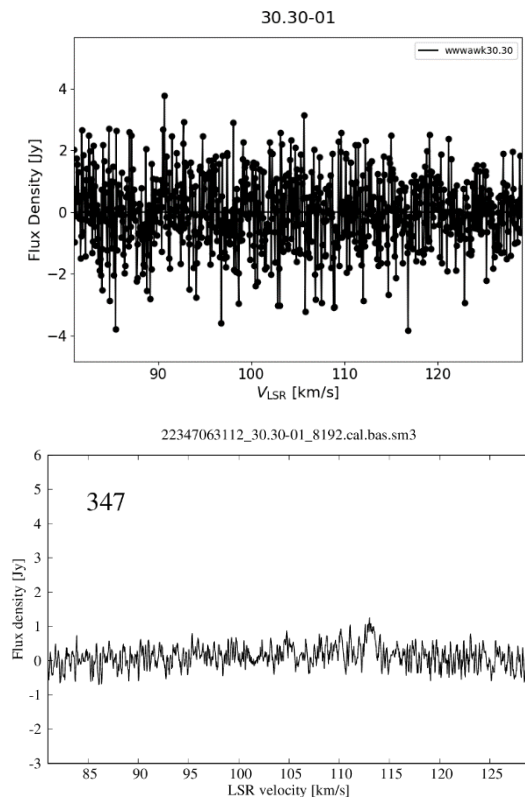


図 A.150:30.30-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

30.40-02

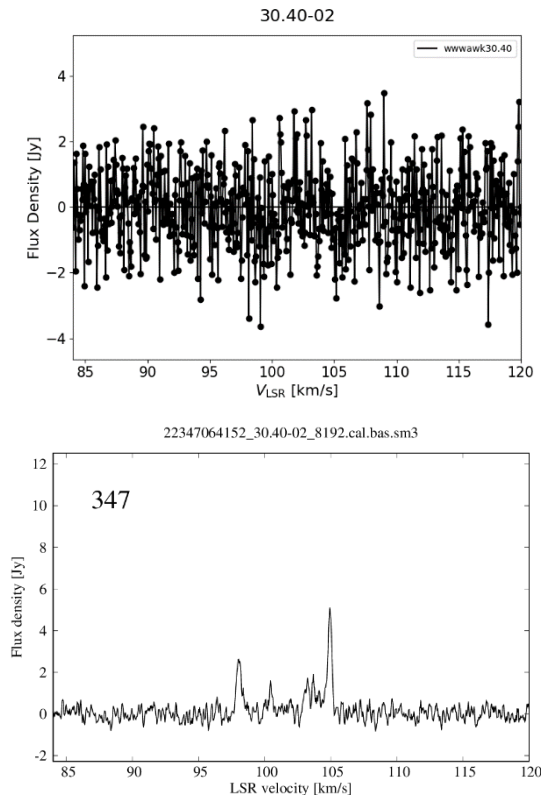


図 A.151:30.40-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

34.24+01

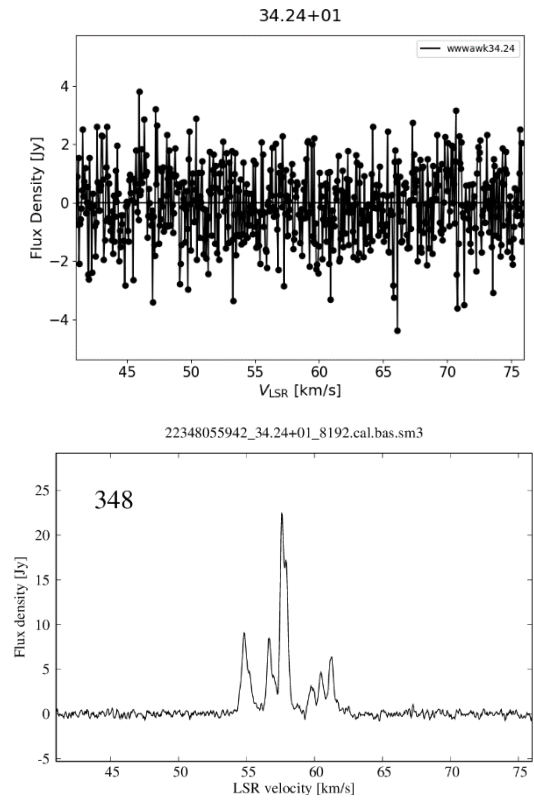


図 A.152:34.24+01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

34.39+02

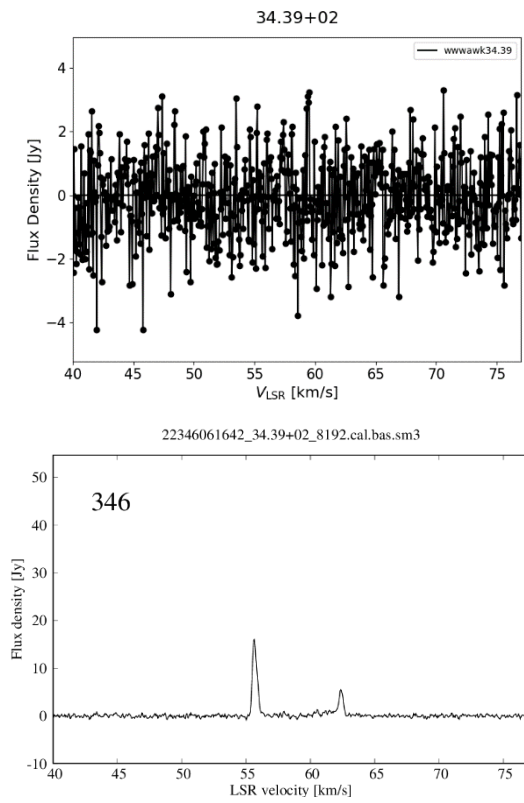


図 A.153:34.39+02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

42.03+01

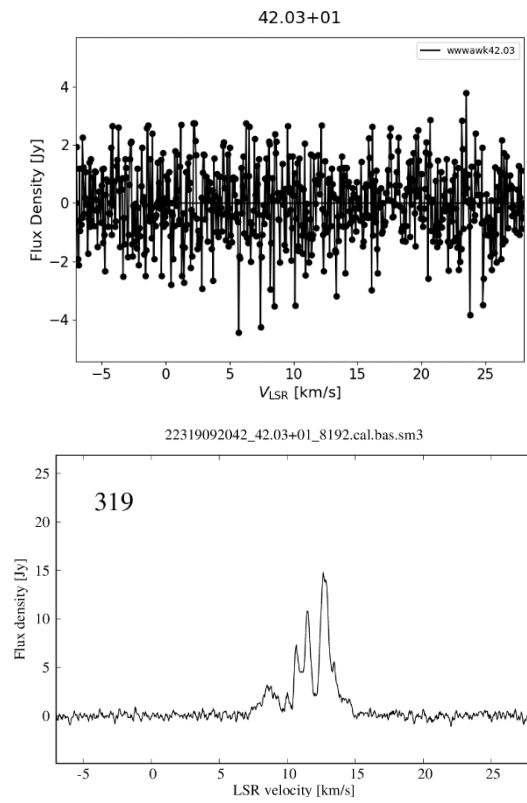


図 A.154:42.03+01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

42.30-03

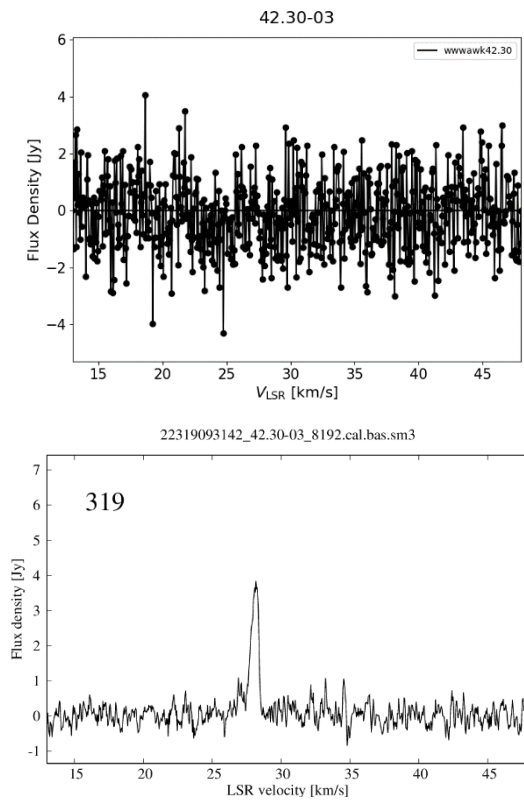


図 A.155:42.30-03 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

42.43-02

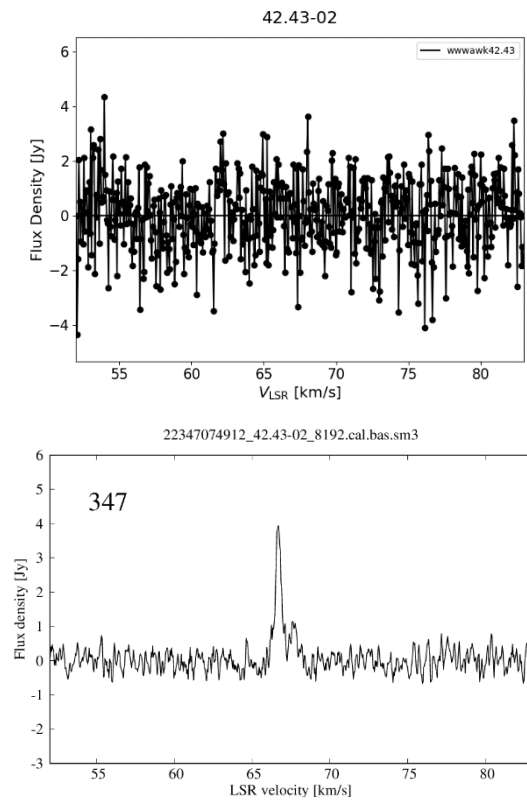


図 A.156:42.43-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

42.70-01

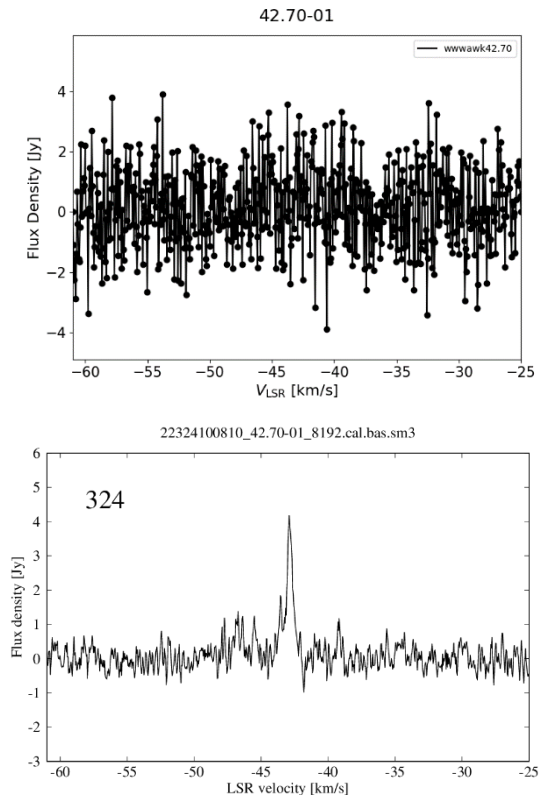


図 A.157:42.70-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

9.621+01

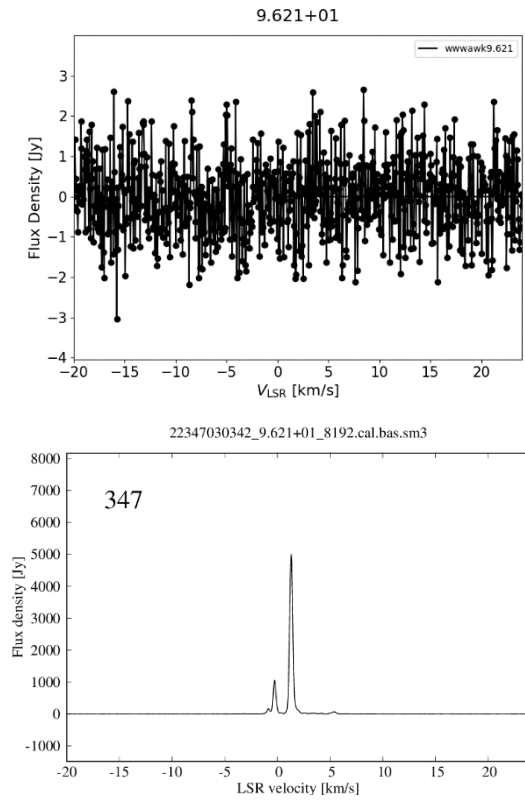


図 A.158:9.621+01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

9.986-00

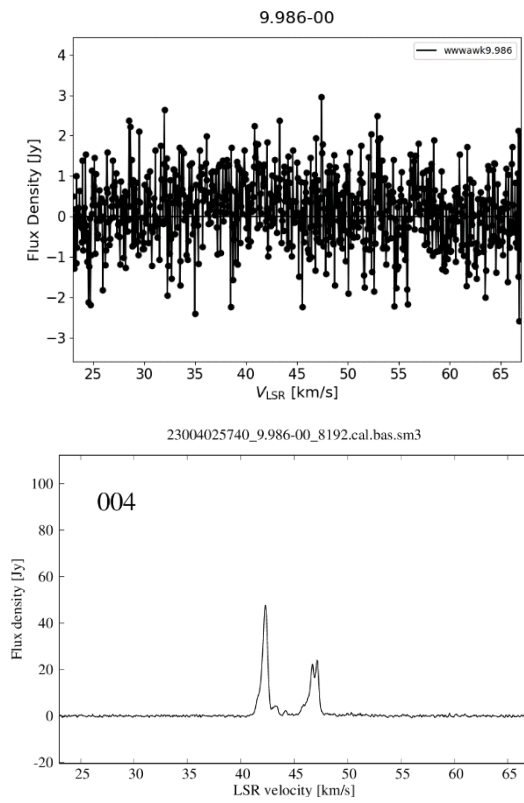


図 A.159:9.986-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

10.09+07

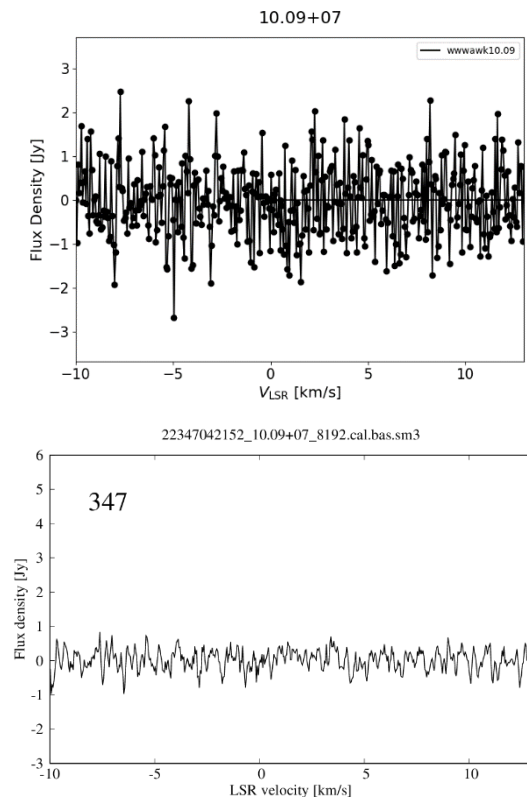


図 A.160:10.09+07 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

10.20-03

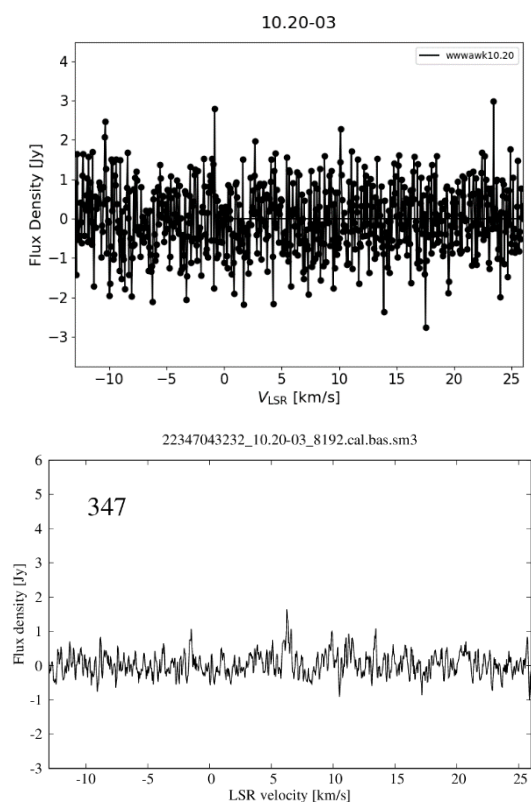


図 A.161:10.20-03 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

12.02-00

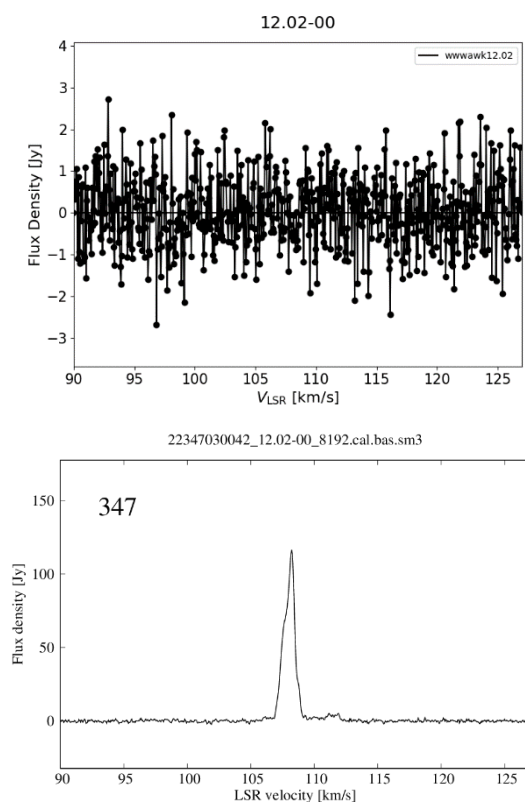


図 A.162:12.02-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

12.90-02

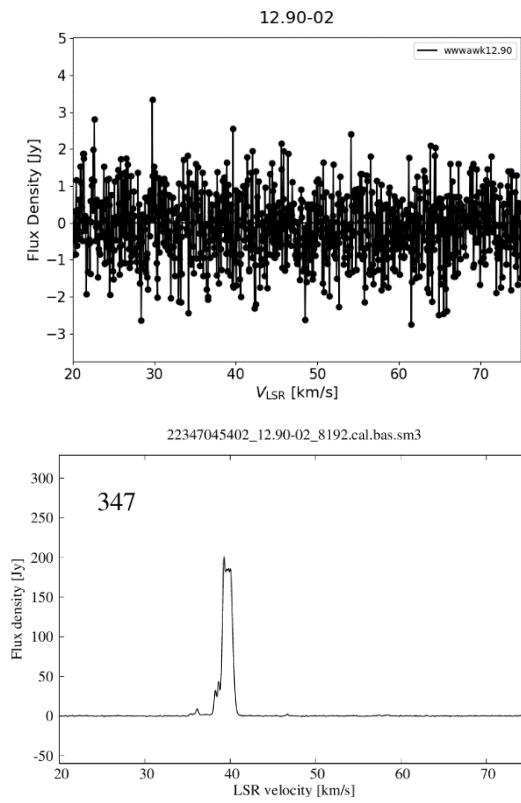


図 A.163:12.90-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

13.17+00

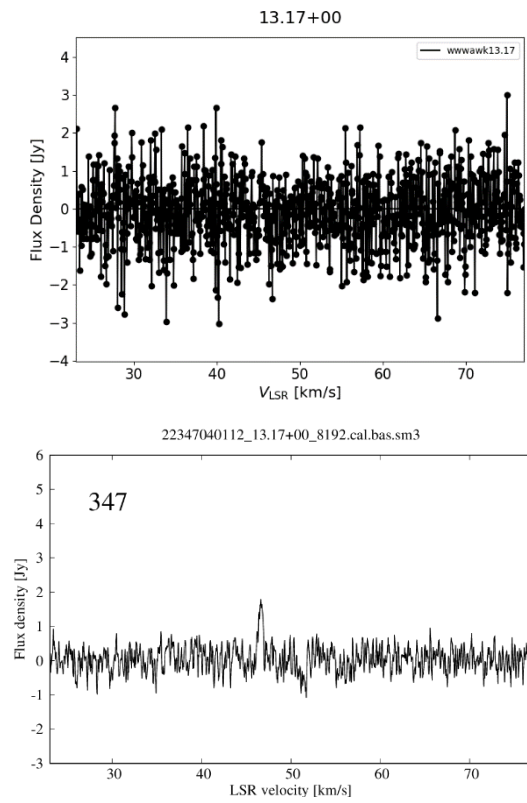


図 A.164:13.17+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

13.65-05

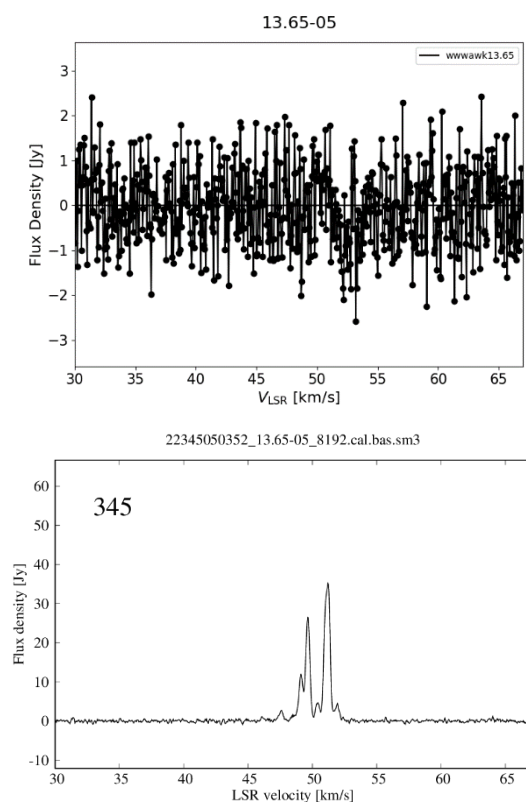


図 A.165:13.65-05 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

14.23-05

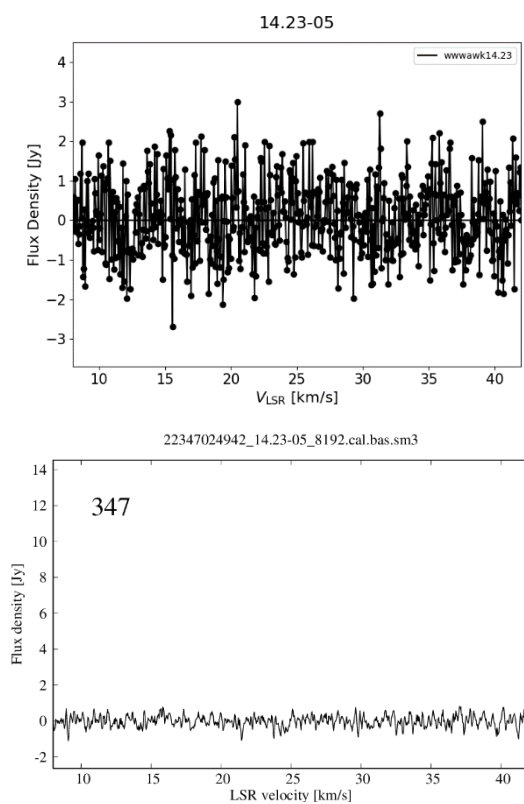


図 A.166:14.23-05 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

24.33+01

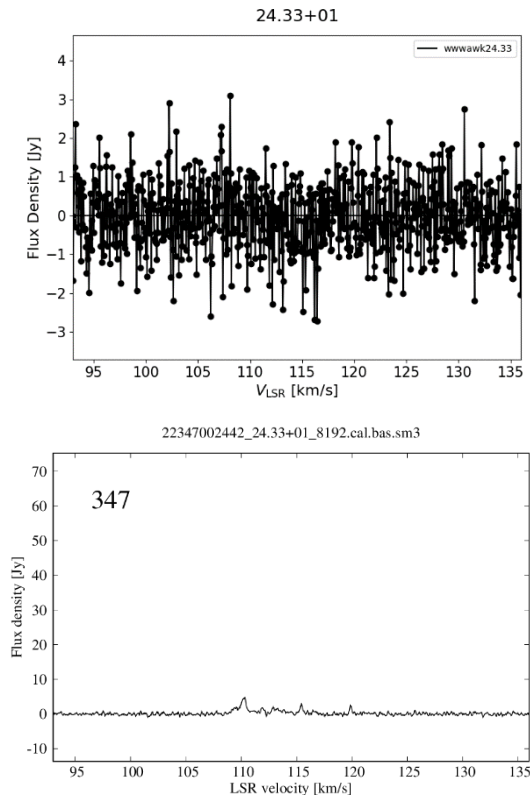


図 A.167:24.33+01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

24.50-00

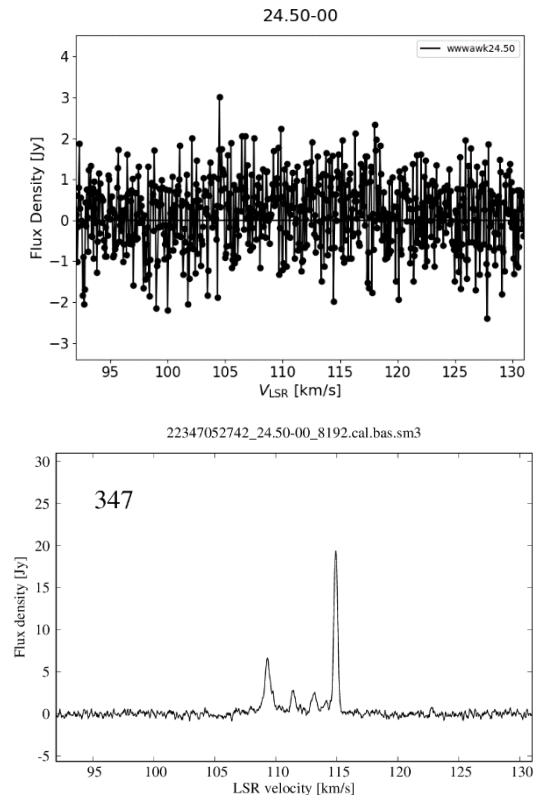


図 A.168:24.50-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

24.54+03

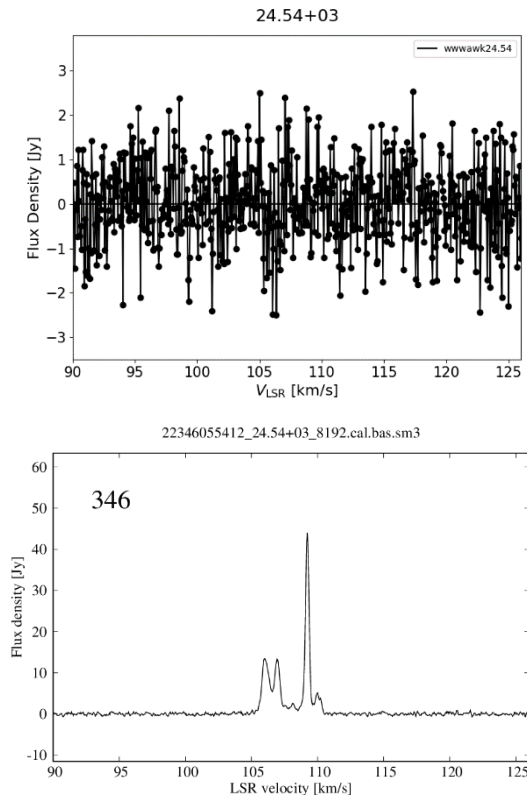


図 A.169:24.54+03 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

24.67-01

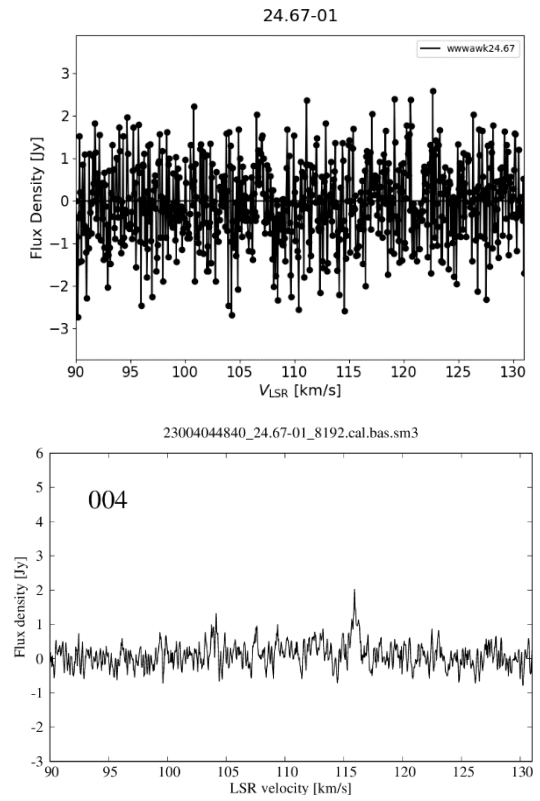


図 A.170:24.67-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

24.78+00

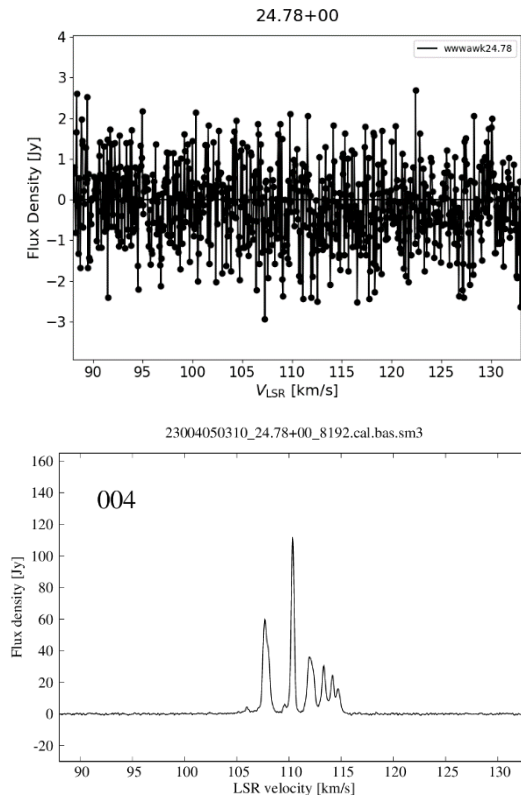


図 A.171:24.78+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

24.93+00

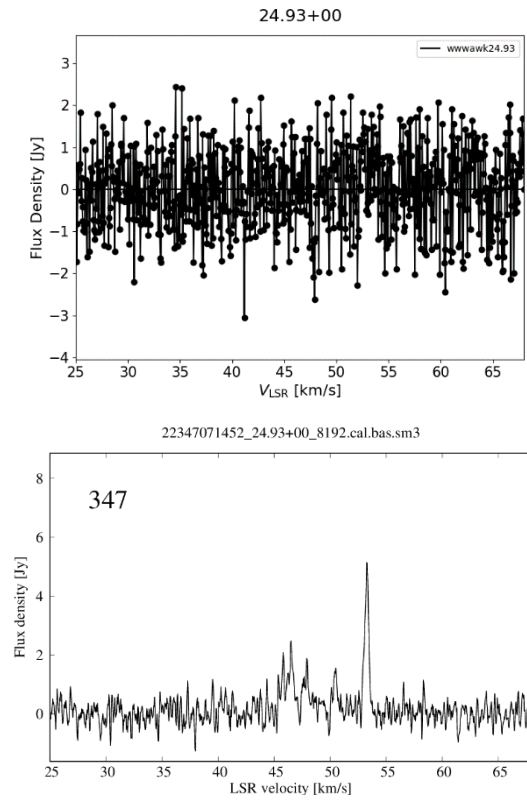


図 A.172:24.93+00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

25.27-04

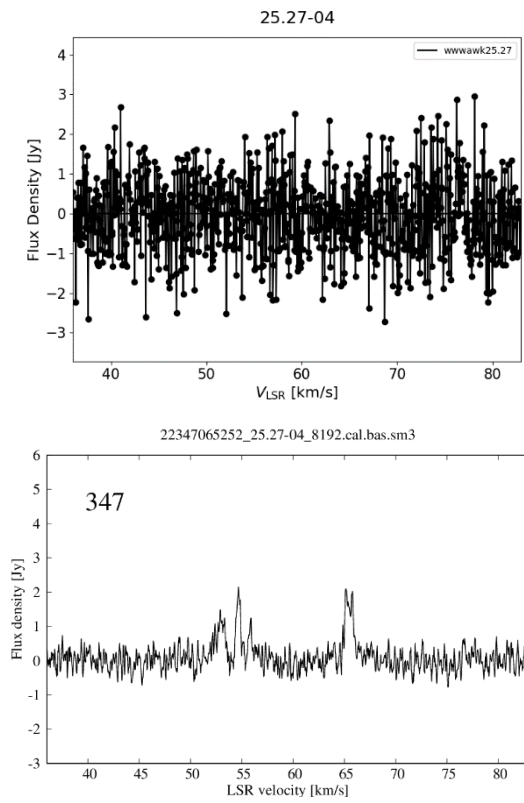


図 A.173:25.27-04 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

25.38-01

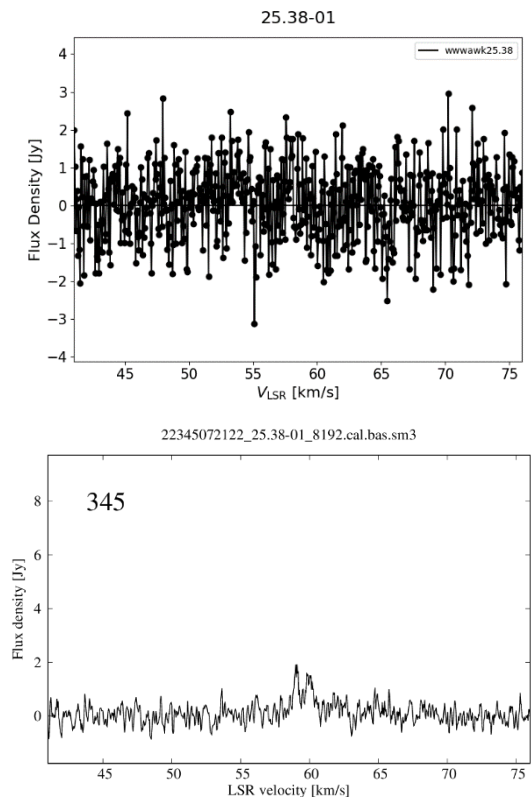


図 A.174:25.38-01 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

25.65+10

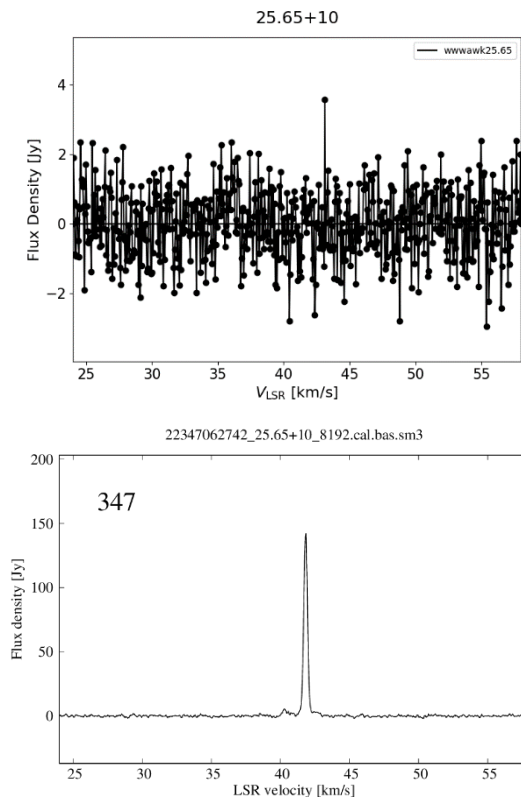


図 A.175:25.65+10 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

33.64-02

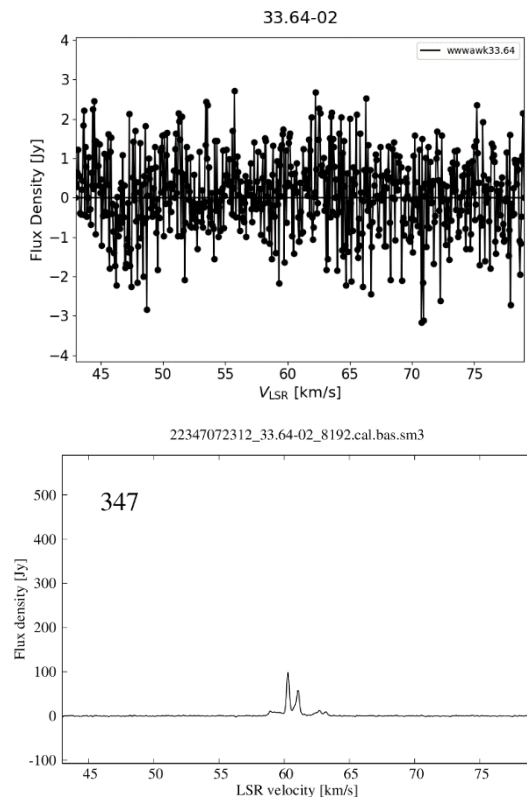


図 A.176:33.64-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

34.20-06

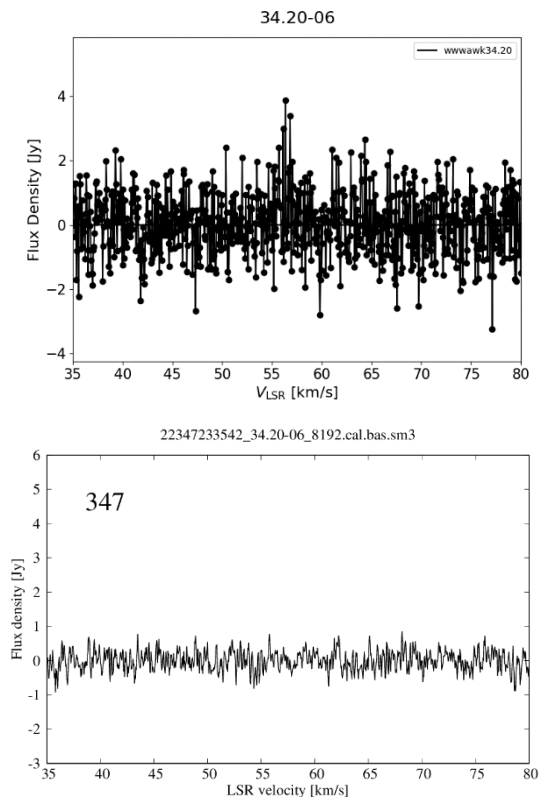


図 A.177:34.20-06 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

35.02+03

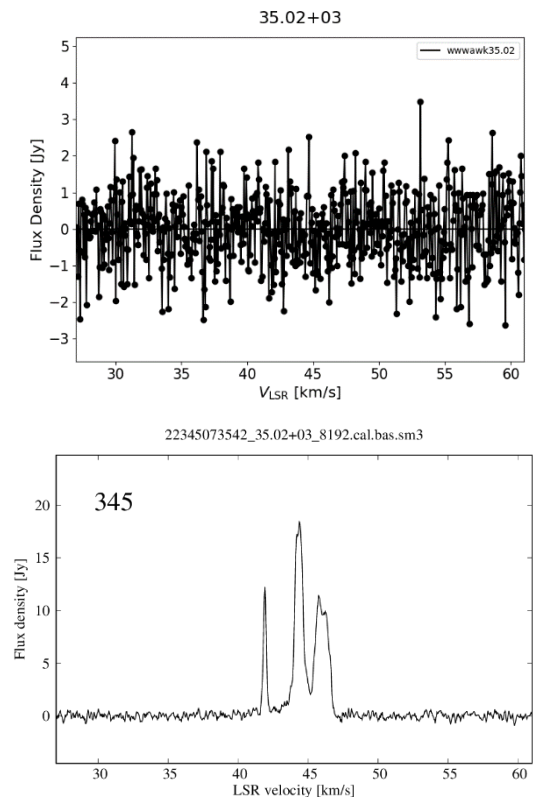


図 A.178:35.02+03 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

35.20-07

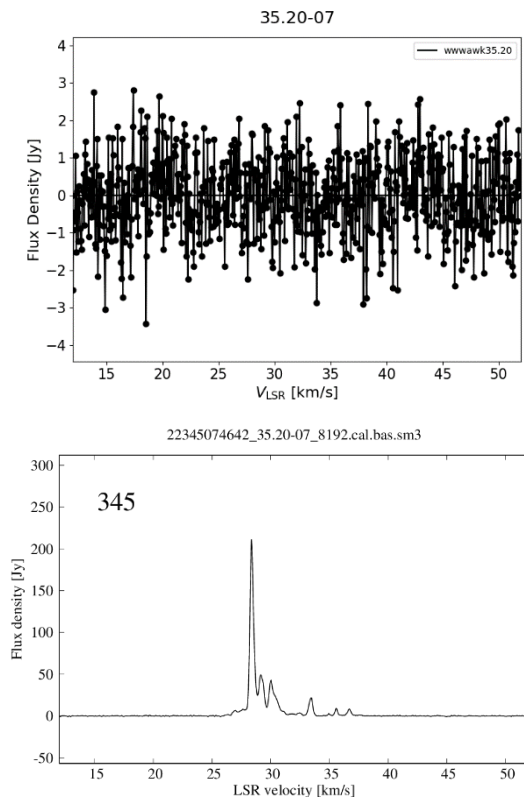


図 A.179:35.20-07 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

35.20-17

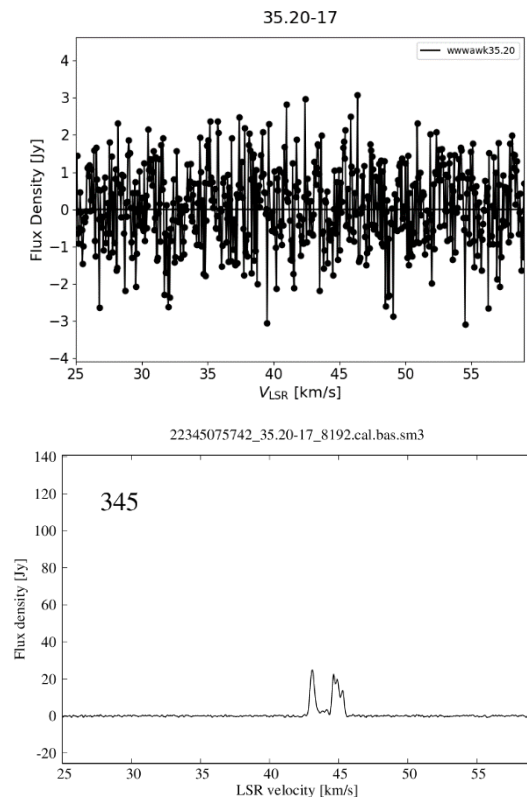


図 A.180:35.20-17 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

35.25-02

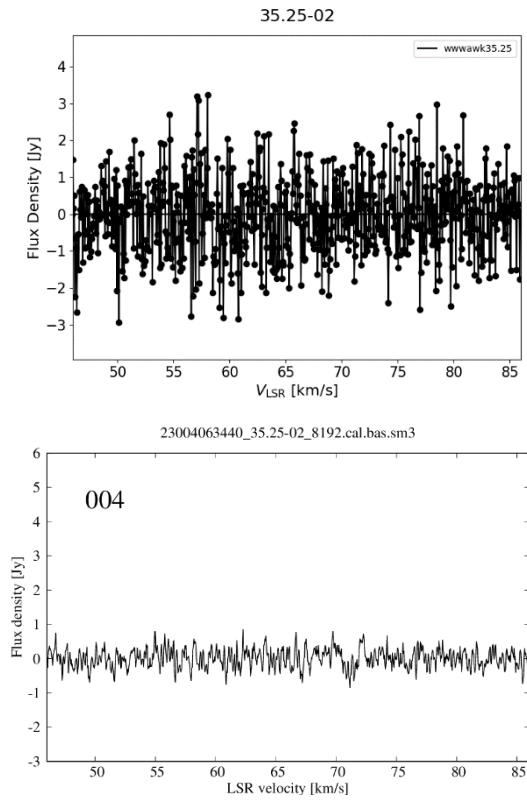


図 A.181:35.25-02 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

36.92+04

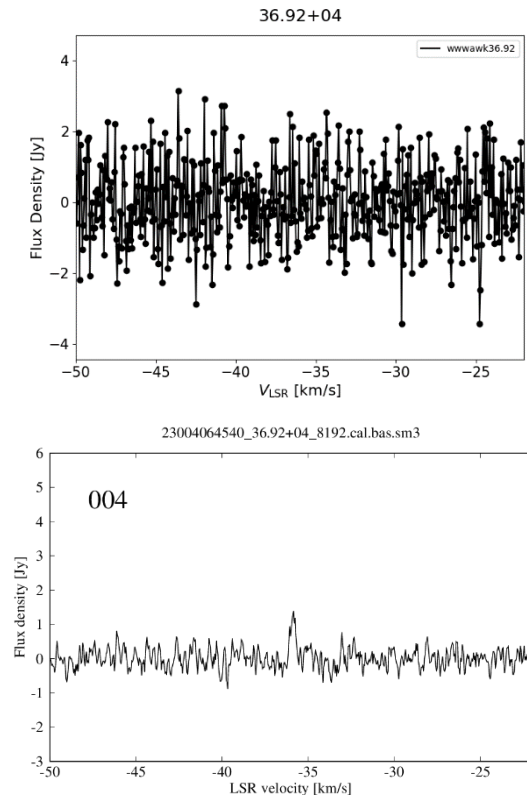


図 A.182:36.92+04 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル（上図）と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル（下図）

37.40+15

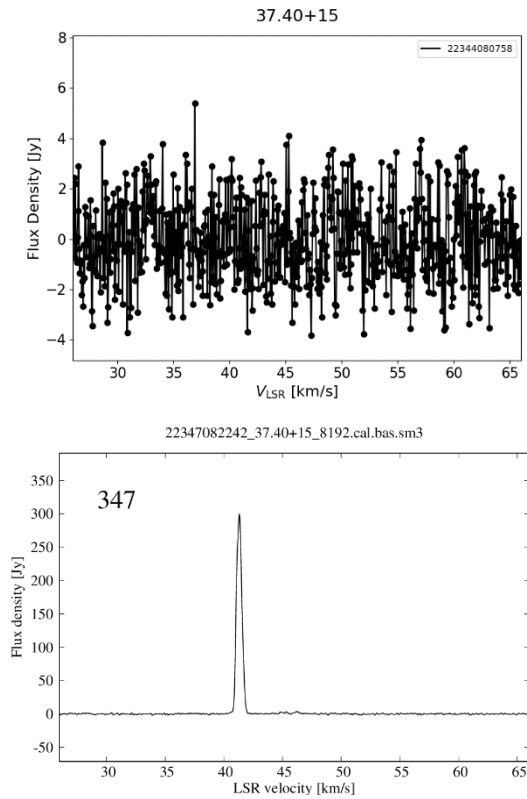


図 A.183:37.40+15 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)

参考文献

[1]Ellingsen, S. P., et al., "Discovery of new 19.9-GHz methanol masers in star-forming regions", 2004, M.N.R.A.S, 354, 401-413

[2]Menten, K.A. & Barlta, W., "Observations of various methanol maser transitionstoward the NGC 6334 region", 1989, A.J., 341, 839-846

[3]Wilson, T.L., et al., "The discovery of a new masering transition of interstellar methanol", 1985, A&A, 147, L19-L22

[4]Krishnan, V., et al., "The first high-resolution observations of 19.9-GHz methanol masers", 2013, M.N.R.A.S, 433, 3346-3363

G24.5-00

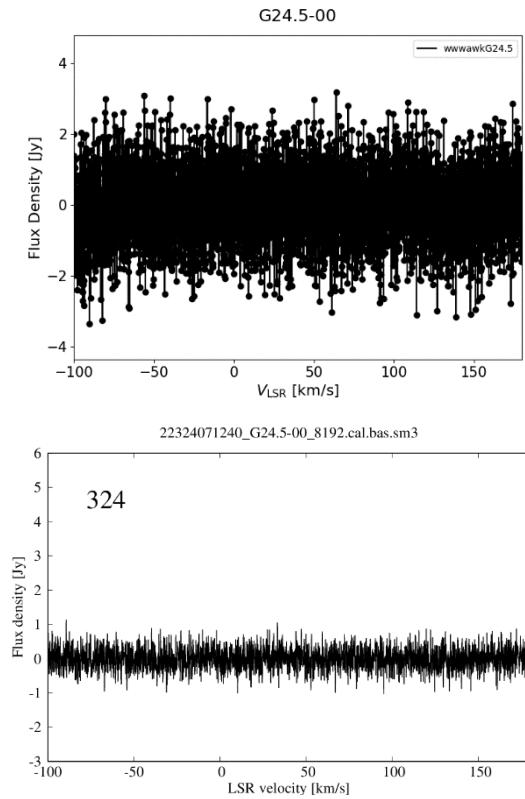


図 A.184:G24.5-00 の 19.9 GHz メタノールメーザースペクトル (上図) と 6.7 GHz メタノールメーザースペクトル (下図)