

平成 25 年度 (2013 年度)

卒業論文

ペルセウス腕の IRAS 点源に対する
6.7 GHz メタノールレーザー探査 II : 銀経 120 - 140 °

茨城大学 理学部 理学科 物理学コース
電波・赤外線天文観測研究室
10S2024L

永瀬 桂

指導教官
教授 百瀬 宗武
准教授 米倉 覚則

概 要

6.7 GHz メタノールメーザーは、主に大質量星形成領域で観測される輝線放射であり、その大部分が降着ガス円盤に付随することから、ガス円盤の回転や降着運動のメカニズムを解明する手がかりとして注目され多くの研究が成されている。この 6.7 GHz メタノールメーザー天体は天の川銀河面に集中して分布しており、近年でも新発見の天体が数多く報告されているため、今後も新天体は増加していくことが期待される。そこで本研究では、ペルセウス腕方向の銀経 120 - 140° に存在する IRAS 点源に対して 6.7 GHz メタノールメーザー探査を行った。

観測の結果、IRAS 00338+6312, 02455+6034, 02232+6138 の 3 天体でメーザーが検出されたが、いずれも過去に観測例が存在する天体であった。また、サイドローブによる天体の映りこみが確認され、本観測で使用した日立 32 m 電波望遠鏡のビームパターンが、過去に測定されていたものよりも広範囲にわたっている可能性を示す結果が得られた。

目次

1	序論	4
1.1	メーザー現象	4
1.2	メタノールメーザー	5
1.3	観測的特徴	6
1.4	観測目的	6
2	観測	6
2.1	観測天体の選定	6
2.2	観測パラメータ	21
2.3	観測方法	21
3	結果	21
3.1	観測結果	21
4	考察	27
4.1	検出天体	27
4.1.1	00338+6312	27
4.1.2	02455+6034	27
4.1.3	02232+6138(W3(OH))	28
4.2	サイドローブ天体	28
5	まとめ	34

1 序論

1.1 メーザー現象

通常の輝線スペクトルは分子との衝突で励起されたイオン・原子・分子が自発的に下の準位に落ちるときに電波を放出するもので、非常に微弱なものである。しかし、強い赤外線にさらされたコンパクトな高密度ガス (水素分子 10^{12} 個 / m^3) や衝撃波の通過によって圧縮された高密度ガスでは、特定の準位が選択的に励起され通常のボルツマン分布から存在確率分布が反転し、低い準位より高い準位の存在確率分布が相対的に大きくなることもある。このような反転分布の状態にある分子が、何らかのきっかけで高い準位から粒子が落ちるとそれが引き金となり、カスケード式に低い準位に遷移する誘導放射が起きて強い輝線が観測される。これがメーザー (MASER: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) と呼ばれる現象である。1965 年に HII 領域で OH メーザーが発見されてから数十年の間に、 H_2O 、 SiO 、 CH_3OH 、 H_2CO などの様々な種類のメーザーが発見されてきた。このようなメーザーは星形成領域から晩期型星まで様々な進化段階の星・領域に付随していることが多い。

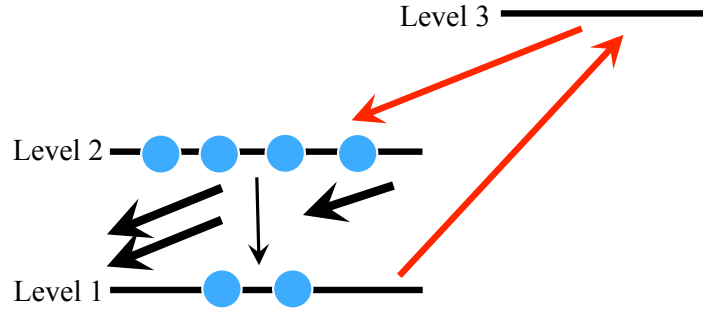


図 1: 三準位メーザーの模式図

ここでは単純な三準位メーザーを考える。2 つのエネルギー準位 1 と 2 の間の平衡式は、

$$N_2(C_{21} + M_{21} + P_{21} + A_{21}) = N_1(C_{12} + M_{12} + P_{12}) \quad (1.1)$$

で与えられる。ここで、 N_1, N_2 は各準位にある分子の数密度、 C_{ij} は衝突遷移確率、 $M_{ij} \equiv B_{ij}I\Omega_m/4\pi$ は誘導放射及び吸収の確率である。 Ω_m は増幅の種となる放射ビームの立体角を表す。 A_{21} はアインシュタインの A 係数 (自然放射係数) に、 B_{12}, B_{21} はアインシュタインの B 係数 (それぞれ誘導放射係数、吸収係数) に相当する。 P_{ij} は他のエネルギー準位 3 を介しての遷移、即ちポンプアップまたはポンプダウンを表す。メーザーが放射されるには、エネルギー準位 1 から、一旦エネルギー準位 3 になり、その分子がエネルギー準位 2 に落ちることによって、反転分布がエネルギー準位 1 とエネルギー 2 の間に生じる必要がある。ここではポンピング源が粒子の衝突であるか外部からの放射であるかは問わないこととする。 A 係数は $10^{-6} - 10^{-11}$ 程度と非常に小さいため、 n_{H_2} が大きく、温度が高く、電波強度 I が大きいというメーザー源が生成される環境において、 C, M, P に対して A は無視出来る。また、 $C_{12} = C_{21} = C$ とおける。この場合、 $M = M_{12} = M_{21}$ として、

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{P_{12} + M + C}{P_{21} + M + C} \quad (1.2)$$

と表せる。全ての効果を考慮した分布の反転は、 $P = P_{12} + P_{21}$ とおいて、

$$\Delta N = N_2 - N_1 = \frac{\Delta N_0}{1 + \frac{2(C+M)}{P}} \quad (1.3)$$

ここで、 ΔN_0 は $M = C = 0$ のときの ΔN である。更に、電波の z 方向への伝搬を考える。輻射輸送方程式を全周波数にわたり積分すると、特定の方向 (z 方向) への伝搬式は、

$$\frac{dI}{dz} = \frac{h\nu}{4\pi\Delta\nu} \{(N_2 - N_1)BI + N_2A_{21}\} \quad (1.4)$$

と表せる。この式 (1.4) に式 (1.3) を代入すると、

$$\frac{dI}{dz} = \frac{\alpha_0 I}{1 + I/I_s} + \varepsilon \quad (1.5)$$

となる。ここで、

$$\begin{aligned} \alpha_0 &\equiv \frac{h\nu B}{4\pi\Delta\nu} \frac{\Delta N_0}{1 + 2C/P} \\ I_s &= \frac{1 + 2C/P}{B\Omega_m/2\pi P} \\ \varepsilon &\equiv \frac{h\nu}{4\pi\Delta\nu} N_2 A_{21} \end{aligned}$$

である。式 (1.5) における第 1 項が反転分布状態の準位 1-2 間への入射電波 (強度) によって生じる誘導放射、即ちレーザー増幅分を表している。ただし、 α_0 は逆吸収係数であり、 I_s はレーザーが飽和する強度である。誘導放射が準位間の分布に影響を及ぼし始める放射強度、即ち $I > I_s$ の状態を“レーザーが飽和した状態”と呼ぶ。

$I < I_s$ である不飽和レーザーでは

$$I = I_0 e^{\alpha_0 z} + \frac{\varepsilon}{\alpha_0} (e^{\alpha_0 z} - 1) \quad (1.6)$$

となり、強度は $e^{\alpha_0 z}$ に比例し、見通す距離 z に伴い指数関数的に増加していくことがわかる。ここで $e^{\alpha_0 z}$ を不飽和利得と呼ぶ。このような不飽和レーザーの増幅を行う媒質は反転分布そのものであり、その準位の分布はポンピングの仕組みに固有のパラメータにより決まる。また、上記のようなレーザー強度の指数関数的な増加は誘導放射光子の雪崩的遷移によるものであり、それはひとつの種光子により生成され得る。その後、レーザー現象自身により反転分布が崩れ始めると、 $I > I_s$ の飽和したレーザー状態に突入するが、飽和状態では、

$$\frac{dI}{dz} = \alpha_0 I_s + \varepsilon = \text{const.} \quad (1.7)$$

$$I = I_0 + (\alpha_0 I_s + \varepsilon)z \quad (1.8)$$

となる。つまり、レーザー強度はほぼ $\alpha_0 I_s$ に比例し、見通す距離 z に伴い一次関数的に増加していくことがわかる。

1.2 メタノールレーザー

メタノールは、6.7 GHz 以上の周波数で多くのレーザー輝線を形成する。衝突励起、放射励起のどちらが優勢かによって、class I,II レーザーに分類され、どちらも生まれて間もない大質量星に付随する。各 class に属するメタノール遷移を表 1 に示す。

表 1: メタノールメーザーの class と周波数

class	周波数 (GHz)
I	9.9,25.0,25.8,26.8,27.4,28.1,29.6,30.3,36.1,44.1,84.5,95.2,104.3,132.9,146.6,229.8
II	<u>6.7</u> ,12.2,20.0,23.1,29.0,37.7,38.4,86.6,86.9,107.0,108.8,156.6,156.8,157.2

6.7 GHz 帯のメタノールメーザーは、12.2 GHz 帯と共に class II を代表するメーザーであり、多くのメーザー源におけるスポット群分布の様子から、その大部分が生まれたばかりの大質量星が形成する降着ガス円盤に付随するものだと示唆されている。このことから、若い大質量星へのガス降着の仕組みを解明する手がかりが得られると期待されてきた。ただし、中心星からはるか数百 AU 以上も離れたところにあるガス塊の運動を計測しただけでは、星に向かって降着していくガスの運動そのものが見られるわけではない。

1.3 観測的特徴

6.7 GHz メタノールメーザーは、多くの周波数で検出されるメタノールメーザーの中では 1 番明るく、メーザー全種の中では水メーザーに次いで 2 番目に明るいことがよく知られている。6.7 GHz 帯でメーザーが検出される前、メタノールメーザーの中で 1 番強かった 12.2 GHz 帯のメーザーよりも、典型的に 10 倍程度強いと言われている。また、このメーザーを起こしている分子ガス領域のサイズは数天文単位 ($\approx 1.5 \times 10^{11}$ m) 程度で非常にコンパクトであるため、観測される輝度温度も非常に高い。そのため高分解能な VLBI 観測に適しており、秒角スケールの空間分布を数ミリ秒角の高分解能で知ることが可能である。ただし、Minier et al. (2002)[5] の研究により、6.7 GHz 帯のメーザーと類似している 12.2 GHz 帯のメーザーのサイズが必ずしもコンパクトではなく、数天文単位にも及ぶ広がった放射も存在していることが示唆されてきている。

1.4 観測目的

ここまでで述べたように、6.7 GHz 帯メタノールメーザーの特徴はある程度の解釈が成されているものの未だに不明確な点が多く、新たな特徴や性質も示唆されてきている。また、高感度あるいは広視野なサーベイにより多くの新検出が報告されており、今後も 6.7 GHz 帯メタノールメーザー天体は増加していくものと思われる。そこで、ペルセウス腕に対するメタノールメーザー探査を行い、新検出のメーザー源の発見を目標に今回の観測を行った。

2 観測

2.1 観測天体の選定

ペルセウス腕方向に存在する IRAS (Infrared Astronomical Satellite) 点源に対してのメタノールメーザー探査を目的とするため、IRAS Point Source Catalog に対して以下の条件をもとに観測天体の選定を行った。

1. 銀経 (glon) 120 - 140°, 銀緯 (glat) -5 - +5° の範囲に存在するもの
2. 25 μm と 60 μm で検出されているもの

以上の条件に該当する全 553 天体の観測を行った。観測天体のリストを以下の表 2 に示す。表の 1 列目は IRAS Point Source Catalog での天体名、2 列目は観測時の天体の略称、3~6 列は各天体の赤経, 赤緯, 銀経, 銀緯となっている。

表 2: 観測天体

PSC NAME	略称	RA (h m s)	DEC (d m s)	glon (deg)	glat (deg)
00338+6312	00338+63	0 36 47.5	63 29 2	121.298	0.6587
02227+6127	02227+61	2 26 31.7	61 41 5	133.9562	0.8653
02230+6202	02230+62	2 26 50.8	62 15 52	133.7827	1.4198
02250+6147	02250+61	2 28 49.8	62 0 54	134.0893	1.2716
02455+6034	02455+60	2 49 23.2	60 47 1	136.8367	1.1367
02193+6129	02193+61	2 23 4.6	61 43 33	133.5589	0.7595
02204+6128	02204+61	2 24 15.2	61 42 27	133.6961	0.791
02214+6136	02214+61	2 25 13.3	61 50 18	133.7569	0.9538
02232+6138	02232+61	2 27 1	61 52 14	133.9434	1.0595
02253+6152	02253+61	2 29 7.1	62 6 5	134.089	1.3645
02261+6201	02261+62	2 29 58.4	62 14 21	134.1308	1.5293
02265+6146	02265+61	2 30 20.2	62 0 6	134.2586	1.3246
01294+6311	01294+63	1 32 50.3	63 26 33	127.5399	0.9418
01298+6439	01298+64	1 33 17.1	64 54 44	127.3515	2.4003
01301+6118	01301+61	1 33 32.2	61 33 23	127.9236	-0.9067
01302+5729	01302+57	1 33 32.2	57 44 59	128.544	-4.6624
01304+6211	01304+62	1 33 50.6	62 26 47	127.8138	-0.0226
01306+5858	01306+58	1 33 55.2	59 13 50	128.3506	-3.1935
01309+6238	01309+62	1 34 19.6	62 53 37	127.7949	0.4277
01312+6532	01312+6A	1 34 47.7	65 47 43	127.3612	3.2973
01312+6545	01312+6B	1 34 49.5	66 1 3	127.327	3.5169
01322+6250	01322+62	1 35 42.1	63 5 59	127.9141	0.657
01323+6248	01323+62	1 35 46.5	63 4 12	127.9275	0.6291
01333+6448	01333+64	1 36 51.5	65 3 55	127.6982	2.6147
01342+6358	01342+63	1 37 42.5	64 14 8	127.9348	1.8144
01344+6232	01344+62	1 37 51.9	62 47 46	128.2094	0.4012
01350+6205	01350+62	1 38 27.8	62 21 13	128.357	-0.0217
01354+6515	01354+65	1 39 1.5	65 30 55	127.8404	3.0982
01357+6205	01357+62	1 39 8.8	62 21 12	128.4349	-0.0076
01359+6404	01359+64	1 39 27.6	64 19 23	128.1059	1.9349
01364+6038	01364+60	1 39 51.6	60 54 5	128.7872	-1.4185
01373+6346	01373+63	1 40 53.3	64 1 19	128.3154	1.6683
01382+6328	01382+63	1 41 46.2	63 43 51	128.4665	1.4013
01396+6149	01396+61	1 43 5	62 4 20	128.9391	-0.1957

表 2: 觀測天体

PSC NAME	略称	RA (h m s)	DEC (d m s)	glon (deg)	glat (deg)
01401+6132	01401+6A	1 43 34.9	61 47 50	129.0515	-0.4534
01401+6148	01401+6B	1 43 36.6	62 4 3	129.0004	-0.188
01402+5833	01402+58	1 43 36.4	58 48 5	129.6568	-3.3873
01408+6321	01408+63	1 44 25.1	63 36 35	128.7787	1.3411
01420+6401	01420+64	1 45 39.6	64 16 2	128.7764	2.0125
01421+6219	01421+62	1 45 41.5	62 34 25	129.1333	0.3569
01422+6047	01422+60	1 45 41	61 2 33	129.452	-1.1407
01425+5719	01425+57	1 45 51.9	57 34 9	130.2028	-4.5321
01426+6044	01426+60	1 46 8.1	60 59 50	129.515	-1.1735
01429+6237	01429+62	1 46 28.2	62 52 8	129.1584	0.6645
01431+6232	01431+62	1 46 39.8	62 47 21	129.1969	0.5911
01435+6007	01435+60	1 47 0.4	60 22 21	129.7518	-1.7613
01436+6219	01436+62	1 47 11.7	62 34 3	129.3039	0.3876
01441+5848	01441+58	1 47 31.6	59 3 22	130.099	-3.0329
01441+6026	01441+60	1 47 37.9	60 41 52	129.7569	-1.4271
01443+6417	01443+64	1 47 55.7	64 32 54	128.9559	2.3395
01449+6354	01449+63	1 48 29.8	64 9 4	129.1028	1.9653
01454+5732	01454+57	1 48 46.9	57 47 12	130.5376	-4.2359
01476+6436	01476+64	1 51 16.9	64 51 16	129.2369	2.7178
01485+6332	01485+63	1 52 8.8	63 47 13	129.5754	1.7011
01490+6419	01490+64	1 52 41.3	64 34 32	129.448	2.4816
01504+5953	01504+59	1 53 54	60 8 22	130.6378	-1.7943
01507+6337	01507+63	1 54 22.4	63 51 50	129.7959	1.8343
01509+6423	01509+64	1 54 35.2	64 37 56	129.6325	2.5853
01509+5740	01509+57	1 54 23.7	57 55 30	131.2338	-3.9282
01511+5703	01511+57	1 54 28.7	57 17 49	131.397	-4.535
01511+6213	01511+62	1 54 43.4	62 28 25	130.1708	0.4947
01522+6611	01522+66	1 56 4.5	66 25 44	129.3404	4.3648
01524+6332	01524+63	1 56 3.5	63 47 16	129.9948	1.8058
01526+6157	01526+61	1 56 16	62 11 44	130.4128	0.2693
01531+5900	01531+59	1 56 37.6	59 15 30	131.1874	-2.5646
01536+6555	01536+6A	1 57 24.7	66 10 23	129.5351	4.1509
01536+6546	01536+6B	1 57 26.6	66 1 34	129.5756	4.0096
01537+6154	01537+61	1 57 18.2	62 9 29	130.5393	0.2633
01539+6304	01539+63	1 57 35.6	63 19 16	130.2772	1.3967
01542+6500	01542+65	1 58 1.5	65 15 25	129.8298	3.2809
01546+6048	01546+60	1 58 9.3	61 2 52	130.919	-0.7849
01546+6319	01546+63	1 58 19.5	63 33 59	130.2939	1.6549
01550+5901	01550+59	1 58 28.6	59 16 5	131.4138	-2.4952
01550+6126	01550+61	1 58 34.5	61 41 4	130.8047	-0.1568

表 2: 觀測天体

PSC NAME	略称	RA (h m s)	DEC (d m s)	glon (deg)	glat (deg)
01557+5759	01557+57	1 59 10.1	58 14 15	131.7672	-3.4675
01561+6122	01561+61	1 59 42.6	61 37 7	130.9518	-0.1854
01572+5844	01572+58	2 0 44.1	58 59 3	131.7681	-2.6935
03059+6010	03059+60	3 9 55.4	60 21 51	139.2582	1.9585
03062+6107	03062+61	3 10 18.8	61 18 57	138.8165	2.8033
03078+6046	03078+60	3 11 54.2	60 57 21	139.1655	2.5914
03096+5936	03096+59	3 13 35.8	59 48 4	139.9402	1.7093
03111+6041	03111+60	3 15 8.9	60 53 1	139.5408	2.7337
03116+6000	03116+60	3 15 40.3	60 11 29	139.9584	2.1776
03118+6144	03118+61	3 15 55.4	61 55 51	139.0698	3.6741
03118+6058	03118+60	3 15 58	61 9 13	139.4836	3.0156
03119+6025	03119+60	3 15 58.8	60 36 25	139.7725	2.5513
03134+6021	03134+60	3 17 28	60 32 20	139.9637	2.5899
03157+6110	03157+61	3 19 50.2	61 20 52	139.7748	3.4275
00206+6555	00206+65	0 23 26	66 12 6	120.1075	3.4838
00211+6549	00211+65	0 23 58.1	66 6 3	120.1505	3.3777
00216+6448	00216+64	0 24 26.8	65 4 54	120.0919	2.3589
00222+6354	00222+63	0 25 3.4	64 11 3	120.064	1.4594
00224+6421	00224+64	0 25 12.4	64 38 31	120.1268	1.9131
00227+6534	00227+65	0 25 33.9	65 51 26	120.287	3.1186
00241+6453	00241+64	0 26 56.4	65 10 29	120.3623	2.4253
00241+6515	00241+65	0 26 59.9	65 32 9	120.4027	2.7842
00243+6427	00243+64	0 27 7.8	64 44 2	120.3406	1.9845
00243+6327	00243+6A	0 27 7.6	63 44 9	120.2461	0.9909
00243+6316	00243+6B	0 27 10.5	63 33 22	120.2346	0.8115
00248+6513	00248+65	0 27 39.6	65 30 29	120.4684	2.7503
00253+6012	00253+60	0 28 8.3	60 29 25	120.0643	-2.2516
00254+6430	00254+64	0 28 19.5	64 47 8	120.4722	2.0244
00256+6511	00256+65	0 28 32.1	65 27 38	120.5546	2.6946
00257+6601	00257+66	0 28 38.2	66 18 25	120.6401	3.5368
00259+6335	00259+63	0 28 46.1	63 52 33	120.4392	1.1139
00259+6212	00259+62	0 28 48.9	62 28 36	120.3216	-0.2803
00265+6403	00265+64	0 29 22.2	64 19 47	120.5441	1.5606
00267+6511	00267+65	0 29 36.5	65 27 50	120.666	2.6884
00268+6234	00268+62	0 29 40.2	62 51 21	120.4521	0.0891
00270+6334	00270+63	0 29 53.7	63 51 2	120.5608	1.0782
00273+6437	00273+64	0 30 13.5	64 54 6	120.6836	2.1227
00275+5941	00275+59	0 30 18.9	59 58 3	120.2887	-2.7957
00277+6511	00277+65	0 30 39.6	65 28 6	120.7752	2.6837
00286+6222	00286+62	0 31 28.2	62 38 40	120.6402	-0.1382

表 2: 觀測天体

PSC NAME	略称	RA (h m s)	DEC (d m s)	glon (deg)	glat (deg)
00286+6142	00286+61	0 31 30.6	61 58 51	120.5936	-0.8002
00288+6522	00288+65	0 31 46	65 39 3	120.9039	2.8567
00289+6327	00289+63	0 31 51.5	63 43 58	120.7674	0.9435
00294+6510	00294+65	0 32 18.5	65 27 20	120.9451	2.6577
00298+6610	00298+66	0 32 45.3	66 27 7	121.0638	3.648
00299+6344	00299+63	0 32 48.1	64 1 19	120.8924	1.224
00307+6633	00307+66	0 33 42	66 49 49	121.1843	4.0188
00310+6701	00310+67	0 33 57.9	67 18 30	121.243	4.494
00315+6252	00315+62	0 34 27	63 8 40	121.0147	0.3359
00316+6140	00316+61	0 34 30.7	61 56 36	120.9428	-0.8631
00321+6559	00321+65	0 35 6.9	66 16 2	121.2877	3.4477
00322+6315	00322+63	0 35 10.9	63 31 38	121.1214	0.7128
00329+5837	00329+58	0 35 46.3	58 54 13	120.9056	-3.9065
00329+6110	00329+61	0 35 51.2	61 27 28	121.071	-1.3577
00331+6600	00331+66	0 36 4.8	66 17 26	121.3862	3.4651
00340+6251	00340+62	0 36 59.3	63 8 0	121.3003	0.3074
00342+6347	00342+63	0 37 12.9	64 4 14	121.3775	1.2418
00343+6131	00343+61	0 37 16.4	61 48 26	121.2594	-1.0185
00344+6227	00344+62	0 37 22.8	62 44 29	121.323	-0.0864
00345+6326	00345+63	0 37 30.3	63 43 11	121.3903	0.8897
00350+6354	00350+63	0 38 0.6	64 11 14	121.4704	1.3537
00351+6337	00351+63	0 38 3	63 53 55	121.4598	1.0653
00353+6249	00353+62	0 38 17.1	63 6 2	121.4449	0.2669
00361+6515	00361+65	0 39 4.4	65 32 10	121.6509	2.6953
00361+5911	00361+59	0 38 59.3	59 27 48	121.3485	-3.3702
00362+5924	00362+59	0 39 5.3	59 40 43	121.3715	-3.1555
00362+5819	00362+58	0 39 8.3	58 35 39	121.3258	-4.239
00363+6635	00363+66	0 39 18.2	66 52 26	121.7379	4.0305
00370+6512	00370+65	0 40 2.7	65 28 43	121.749	2.6331
00372+6034	00372+60	0 40 6.7	60 51 3	121.5522	-1.9906
03171+6149	03171+61	3 21 19.5	61 59 58	139.5709	4.071
03188+6236	03188+62	3 23 5.1	62 47 8	139.312	4.8411
03189+6156	03189+61	3 23 6.2	62 7 13	139.6799	4.286
02044+6031	02044+60	2 8 5	60 45 57	132.1572	-0.7257
02048+5957	02048+59	2 8 27	60 11 46	132.3671	-1.2572
02167+5926	02167+59	2 20 22.2	59 40 12	133.9499	-1.2856
02264+6034	02264+60	2 30 13.3	60 48 1	134.6929	0.2044
02316+6455	02316+64	2 35 44.9	65 8 58	133.6105	4.4632
02319+6017	02319+60	2 35 42	60 31 3	135.4211	0.1989
02324+5751	02324+57	2 36 10	58 4 34	136.433	-2.0236

表 2: 觀測天体

PSC NAME	略称	RA (h m s)	DEC (d m s)	glon (deg)	glat (deg)
02329+5926	02329+59	2 36 38.8	59 39 29	135.8671	-0.5451
02336+6039	02336+60	2 37 25.3	60 52 59	135.4706	0.618
02337+6029	02337+60	2 37 36	60 42 33	135.5597	0.4672
02374+6354	02374+63	2 41 26.1	64 7 29	134.5827	3.77
02407+6029	02407+60	2 44 38.7	60 42 22	136.3471	0.8174
02440+5408	02440+54	2 47 37.3	54 20 55	139.4286	-4.7592
02461+6147	02461+61	2 50 8.1	61 59 47	136.3839	2.2653
02483+5719	02483+57	2 52 6	57 31 22	138.5922	-1.6333
02524+5714	02524+57	2 56 12.8	57 26 13	139.124	-1.4587
02527+6136	02527+61	2 56 42.5	61 48 56	137.1566	2.4537
02541+6036	02541+60	2 58 6	60 48 29	137.7735	1.6398
02545+6133	02545+61	2 58 32	61 45 39	137.3731	2.5059
02568+6047	02568+60	3 0 49.7	60 59 30	137.9793	1.9581
02575+6017	02575+60	3 1 32.3	60 29 12	138.297	1.5558
02589+6130	02589+61	3 2 59.3	61 41 57	137.8667	2.7031
02593+6026	02593+60	3 3 17.9	60 38 29	138.4119	1.7956
03036+6017	03036+60	3 7 40.3	60 29 21	138.9551	1.9271
03067+6055	03067+60	3 10 49.9	61 6 23	138.977	2.6545
03119+6017	03119+60	3 15 59	60 28 33	139.8417	2.4399
00284+6518	00284+65	0 31 19.4	65 34 54	120.8528	2.7914
00321+6604	00321+66	0 35 2.2	66 21 24	121.2856	3.5375
00340+6619	00340+66	0 36 58.6	66 36 13	121.494	3.7723
00443+5944	00443+59	0 47 15	60 0 45	122.408	-2.8549
00448+6715	00448+67	0 47 54.9	67 31 59	122.5943	4.6638
00464+6430	00464+64	0 49 31.8	64 46 43	122.7285	1.9077
00468+5842	00468+58	0 49 49.5	58 59 1	122.7237	-3.8875
00484+6531	00484+65	0 51 33	65 47 58	122.9435	2.9278
00497+6357	00497+63	0 52 47	64 13 54	123.0781	1.3604
00503+6445	00503+64	0 53 24.6	65 1 48	123.1401	2.1592
00523+5905	00523+59	0 55 22.7	59 22 12	123.4347	-3.4977
00536+6026	00536+60	0 56 41.1	60 42 50	123.574	-2.1512
00570+6202	00570+62	1 0 6.5	62 19 0	123.9387	-0.5379
00578+6227	00578+62	1 0 59.2	62 43 9	124.0258	-0.1321
00582+6458	00582+64	1 1 23.7	65 14 21	123.9751	2.3877
01037+6401	01037+64	1 6 55.6	64 17 28	124.6113	1.4701
01056+6251	01056+62	1 8 48.5	63 7 19	124.8938	0.3165
01071+6551	01071+65	1 10 24.2	66 7 27	124.8524	3.3233
01093+6523	01093+65	1 12 37.7	65 38 55	125.1164	2.8669
01125+6437	01125+64	1 15 54.4	64 52 58	125.5262	2.1344
01159+6203	01159+62	1 19 15.7	62 19 12	126.1571	-0.3773

表 2: 觀測天体

PSC NAME	略称	RA (h m s)	DEC (d m s)	glon (deg)	glat (deg)
01174+6110	01174+61	1 20 44.9	61 26 18	126.4287	-1.2342
01183+6209	01183+62	1 21 40.7	62 25 29	126.4236	-0.2416
01189+6325	01189+63	1 22 18.7	63 40 55	126.3462	1.015
01215+6523	01215+65	1 24 59.4	65 38 38	126.3856	2.9976
01234+6325	01234+63	1 26 48.1	63 41 29	126.8385	1.0882
01241+6548	01241+65	1 27 37.1	66 4 32	126.594	3.4616
01260+6456	01260+64	1 29 27.5	65 11 44	126.9086	2.618
01327+6503	01327+65	1 36 16.8	65 18 38	127.5956	2.8457
01381+6617	01381+66	1 41 45.3	66 32 13	127.9196	4.1538
01448+6239	01448+62	1 48 25.6	62 54 37	129.3672	0.7529
01501+6600	01501+66	1 53 55.3	66 15 5	129.1738	4.1397
01579+6018	01579+60	2 1 30.7	60 32 50	131.4453	-1.1609
01584+6322	01584+63	2 2 5.5	63 36 30	130.6872	1.8056
02008+6324	02008+63	2 4 34.3	63 38 32	130.9428	1.9137
01574+6323	01574+63	2 1 7.9	63 37 33	130.5797	1.7939
01577+6354	01577+63	2 1 26.7	64 8 37	130.4745	2.3018
01580+5803	01580+58	2 1 27.5	58 18 8	132.0409	-3.3256
01587+6148	01587+61	2 2 24.6	62 2 47	131.1449	0.3118
02016+5802	02016+58	2 5 5.5	58 16 20	132.509	-3.2232
02047+5901	02047+59	2 8 16.3	59 15 56	132.6186	-2.1534
02054+6011	02054+60	2 9 1.3	60 25 16	132.3684	-1.0212
02064+6524	02064+65	2 10 19.7	65 38 53	130.9504	4.012
02067+6036	02067+60	2 10 20.1	60 50 13	132.3983	-0.5762
02068+5619	02068+56	2 10 15.8	56 33 30	133.6772	-4.6598
02069+6250	02069+62	2 10 39.6	63 4 54	131.759	1.5757
02071+6235	02071+62	2 10 49.4	62 49 12	131.8557	1.332
02081+6225	02081+62	2 11 49.7	62 39 40	132.0137	1.2156
02082+6026	02082+60	2 11 51.8	60 40 25	132.6256	-0.6755
02086+6355	02086+63	2 12 28.3	64 9 53	131.6201	2.6685
02087+6349	02087+63	2 12 34.8	64 3 17	131.6653	2.5677
02109+5956	02109+59	2 14 35.3	60 10 2	133.1028	-1.052
02110+6119	02110+61	2 14 42.9	61 33 37	132.677	0.2744
02112+5939	02112+59	2 14 54.3	59 53 10	133.2292	-1.3064
02113+6528	02113+65	2 15 15.6	65 42 18	131.4168	4.2237
02116+5754	02116+57	2 15 13.8	58 8 32	133.8237	-2.9465
02116+5946	02116+59	2 15 18.4	60 0 13	133.2397	-1.179
02117+6104	02117+61	2 15 26.2	61 18 27	132.8392	0.0622
02117+5559	02117+55	2 15 14.2	56 13 2	134.44	-4.7707
02125+6131	02125+61	2 16 15.6	61 45 6	132.7898	0.5144
02130+6545	02130+65	2 17 2.5	65 59 43	131.4959	4.5572

表 2: 觀測天体

PSC NAME	略称	RA (h m s)	DEC (d m s)	glon (deg)	glat (deg)
02134+6302	02134+63	2 17 14.7	63 16 22	132.4046	1.9903
02141+6110	02141+61	2 17 53	61 24 26	133.0844	0.2511
02142+6016	02142+60	2 17 56.3	60 30 42	133.3844	-0.5925
02143+5852	02143+58	2 17 57.9	59 5 51	133.8517	-1.9273
02149+6027	02149+60	2 18 40	60 40 57	133.4125	-0.402
02150+6116	02150+61	2 18 45.7	61 29 52	133.1536	0.3714
02153+5711	02153+57	2 18 53.1	57 25 13	134.5202	-3.4707
02154+6002	02154+60	2 19 9.1	60 16 31	133.6039	-0.7661
02155+6410	02155+64	2 19 23.3	64 24 40	132.2522	3.1428
02155+6202	02155+62	2 19 20	62 16 16	132.9604	1.1232
02156+6045	02156+60	2 19 21.2	60 59 45	133.3873	-0.0786
02157+6053	02157+60	2 19 24.6	61 7 15	133.3523	0.0416
02157+6355	02157+63	2 19 36	64 9 16	132.3597	2.9087
02157+5843	02157+58	2 19 21.6	58 57 38	134.0664	-1.9973
02160+6057	02160+60	2 19 47.3	61 11 24	133.3721	0.122
02167+6118	02167+61	2 20 25.5	61 32 16	133.3271	0.4753
02168+6015	02168+60	2 20 34	60 29 23	133.6967	-0.5057
02169+5645	02169+56	2 20 28.6	56 59 31	134.8675	-3.802
02171+6058	02171+60	2 20 51.4	61 12 1	133.4898	0.1751
02173+6126	02173+61	2 21 4.4	61 39 43	133.3578	0.6181
02173+6322	02173+63	2 21 12.3	63 36 17	132.7119	2.4507
02174+5655	02174+56	2 20 59.6	57 9 27	134.8775	-3.6226
02175+5845	02175+58	2 21 7.7	58 59 6	134.2729	-1.8974
02178+6038	02178+60	2 21 31.9	60 51 56	133.6805	-0.1121
02181+5738	02181+57	2 21 42.2	57 51 44	134.7268	-2.9274
02182+6047	02182+60	2 21 55.8	61 0 51	133.6752	0.0441
02185+5622	02185+56	2 22 6.8	56 36 13	135.2115	-4.0907
02186+6053	02186+60	2 22 22.2	61 7 11	133.6888	0.1617
02188+5652	02188+56	2 22 24	57 6 30	135.074	-3.6034
02192+5821	02192+58	2 22 51.1	58 35 8	134.6198	-2.1962
02196+5658	02196+56	2 23 12.5	57 11 58	135.1454	-3.4799
02215+6044	02215+60	2 25 18.7	60 57 48	134.0772	0.1394
02217+5712	02217+57	2 25 20.8	57 26 9	135.3331	-3.1573
02219+6100	02219+61	2 25 38.9	61 13 34	134.0219	0.3995
02220+6107	02220+61	2 25 47.5	61 20 47	133.9952	0.518
02232+5810	02232+58	2 26 54.2	58 23 47	135.1823	-2.1863
01166+6635	01166+66	1 20 3.7	66 51 32	125.7454	4.1437
01168+6515	01168+65	1 20 13.8	65 31 27	125.9112	2.8191
01169+6345	01169+63	1 20 19.6	64 1 25	126.0894	1.3293
01176+6710	01176+67	1 21 4	67 25 48	125.7779	4.7223

表 2: 觀測天体

PSC NAME	略称	RA (h m s)	DEC (d m s)	glon (deg)	glat (deg)
01176+6424	01176+64	1 21 2.4	64 40 19	126.0925	1.9822
01186+6634	01186+66	1 22 4.5	66 50 12	125.9449	4.1444
01192+6305	01192+63	1 22 36.4	63 21 24	126.4178	0.6962
01195+6136	01195+61	1 22 48.6	61 52 15	126.6209	-0.776
01196+6128	01196+61	1 22 56.6	61 44 38	126.6521	-0.9001
01198+6119	01198+61	1 23 7	61 35 28	126.6912	-1.049
01202+6133	01202+61	1 23 32.3	61 48 49	126.7133	-0.8222
01214+6118	01214+61	1 24 44.5	61 33 47	126.8865	-1.0527
01215+6430	01215+64	1 24 58.6	64 46 12	126.4978	2.1309
01217+6049	01217+60	1 25 1.9	61 4 38	126.9839	-1.5298
01224+6120	01224+61	1 25 44.4	61 36 6	126.9993	-0.9987
01225+5958	01225+59	1 25 47.6	60 14 1	127.1875	-2.3538
01226+6313	01226+63	1 25 57.7	63 29 26	126.7731	0.8767
01241+6123	01241+61	1 27 26.8	61 39 12	127.1931	-0.9202
01243+6212	01243+62	1 27 43.1	62 27 42	127.1116	-0.1152
01243+6151	01243+61	1 27 43.7	62 6 37	127.1621	-0.4629
01244+6145	01244+61	1 27 44.2	62 1 7	127.176	-0.5535
01245+6653	01245+66	1 28 4	67 9 25	126.4851	4.5382
01252+6311	01252+63	1 28 37.9	63 27 21	127.0732	0.8835
01261+6446	01261+64	1 29 35.6	65 2 6	126.9464	2.4612
01265+5831	01265+58	1 29 47.7	58 47 15	127.8947	-3.7141
01266+6409	01266+64	1 30 7.1	64 25 7	127.0934	1.86
01274+6410	01274+64	1 30 51	64 25 33	127.1704	1.879
01282+6254	01282+62	1 31 41	63 9 39	127.4562	0.6432
01286+6204	01286+62	1 32 0.1	62 19 42	127.6221	-0.1733
01287+6313	01287+63	1 32 9.1	63 29 7	127.4573	0.9719
00508+6238	00508+62	0 53 52	62 55 8	123.2083	0.0485
00509+6623	00509+66	0 54 7.8	66 40 13	123.199	3.7999
00510+6550	00510+65	0 54 10.6	66 6 19	123.2096	3.235
00513+6317	00513+63	0 54 26.6	63 33 22	123.2666	0.6865
00514+6516	00514+65	0 54 34.8	65 33 5	123.2575	2.6818
00516+6545	00516+65	0 54 45.3	66 2 0	123.2693	3.1639
00519+5817	00519+58	0 54 55	58 33 56	123.3867	-4.3031
00519+6535	00519+65	0 55 5.8	65 51 22	123.3066	2.987
00522+6520	00522+65	0 55 25	65 36 26	123.3431	2.7388
00524+6718	00524+67	0 55 41	67 34 30	123.3381	4.7067
00528+6126	00528+61	0 55 53.7	61 42 24	123.4601	-1.1605
00534+6031	00534+60	0 56 29.1	60 47 14	123.5481	-2.0783
00535+6532	00535+65	0 56 40.4	65 48 58	123.4687	2.9499
00535+5923	00535+59	0 56 33.2	59 39 45	123.5788	-3.2027

表 2: 觀測天体

PSC NAME	略称	RA (h m s)	DEC (d m s)	glon (deg)	glat (deg)
00546+5808	00546+58	0 57 41	58 24 16	123.7523	-4.4573
00549+6233	00549+62	0 58 2.5	62 49 32	123.6859	-0.0365
00553+6514	00553+65	0 58 28.3	65 30 47	123.6614	2.6514
00554+6524	00554+65	0 58 39	65 40 42	123.6752	2.8171
00556+6048	00556+60	0 58 40.1	61 4 44	123.8065	-1.7805
00560+6037	00560+60	0 59 4.1	60 53 32	123.8603	-1.9658
00562+6223	00562+62	0 59 20.9	62 39 22	123.8402	-0.2015
00564+6042	00564+60	0 59 29.4	60 59 2	123.9088	-1.8725
00571+6050	00571+60	1 0 14.9	61 6 11	123.9965	-1.7503
00578+6233	00578+62	1 0 55.8	62 49 28	124.0155	-0.0271
00580+6238	00580+62	1 1 8.3	62 54 37	124.0361	0.0595
00589+5743	00589+57	1 1 59	57 59 50	124.3337	-4.8457
00592+6530	00592+65	1 2 24.6	65 46 35	124.0584	2.9287
00592+6413	00592+64	1 2 24	64 29 24	124.1122	1.6434
00593+5836	00593+58	1 2 26	58 52 13	124.356	-3.971
00596+6135	00596+61	1 2 43.2	61 51 39	124.2619	-0.9816
00599+6243	00599+62	1 3 4.7	62 59 37	124.253	0.1518
01001+6249	01001+62	1 3 15.5	63 5 11	124.269	0.2454
01004+6031	01004+60	1 3 30.8	60 48 2	124.4051	-2.0367
01005+6048	01005+6A	1 3 37.2	61 4 26	124.4052	-1.7628
01005+5838	01005+58	1 3 36.9	58 54 31	124.507	-3.9257
01005+6042	01005+6B	1 3 41.5	60 58 37	124.4185	-1.8593
01006+6402	01006+64	1 3 47.3	64 18 12	124.2706	1.4638
01014+6106	01014+61	1 4 36.2	61 22 42	124.5085	-1.4529
01022+6542	01022+65	1 5 27.3	65 58 57	124.3597	3.1498
01023+6426	01023+64	1 5 30.8	64 42 58	124.4348	1.8856
01026+6541	01026+65	1 5 52.2	65 58 2	124.4026	3.1367
01031+6531	01031+65	1 6 24.9	65 47 59	124.4679	2.9728
01032+6502	01032+65	1 6 30.6	65 18 44	124.5063	2.4867
01036+5924	01036+59	1 6 45.4	59 40 29	124.8675	-3.1394
01037+6504	01037+65	1 6 59.7	65 20 53	124.5546	2.5255
01040+5918	01040+59	1 7 6.9	59 34 17	124.9189	-3.2397
01041+5828	01041+58	1 7 11.4	58 44 43	124.9791	-4.0637
01045+6505	01045+65	1 7 50.7	65 21 21	124.6428	2.5388
01046+5832	01046+58	1 7 43.3	58 48 13	125.0444	-4.0011
01051+6319	01051+63	1 8 19.5	63 35 8	124.8089	0.7754
01053+6506	01053+65	1 8 34.5	65 22 53	124.717	2.5693
01054+5922	01054+59	1 8 31.4	59 38 47	125.0923	-3.1535
01055+5822	01055+58	1 8 38	58 38 42	125.1732	-4.1517
01056+6217	01056+62	1 8 49.5	62 33 14	124.934	-0.2501

表 2: 觀測天体

PSC NAME	略称	RA (h m s)	DEC (d m s)	glon (deg)	glat (deg)
01057+6235	01057+62	1 8 58.5	62 51 14	124.9308	0.0503
01059+6222	01059+62	1 9 5.1	62 38 29	124.9579	-0.1609
01059+6043	01059+60	1 9 3.4	60 59 30	125.0675	-1.807
01065+6209	01065+62	1 9 42.4	62 25 8	125.0448	-0.3778
01065+6452	01065+64	1 9 48.4	65 8 24	124.8623	2.3372
01073+6341	01073+63	1 10 35.3	63 57 53	125.0317	1.1711
01075+6318	01075+63	1 10 49.2	63 34 5	125.087	0.7774
01077+6223	01077+62	1 10 56.7	62 39 13	125.1701	-0.1331
01078+6525	01078+65	1 11 9.9	65 41 20	124.9627	2.8951
01095+6252	01095+62	1 12 46.9	63 8 4	125.3406	0.3627
01097+6154	01097+61	1 12 58.8	62 10 39	125.4428	-0.5892
01098+6430	01098+64	1 13 10.3	64 46 49	125.2456	2.0064
01102+6153	01102+61	1 13 30.1	62 9 24	125.5052	-0.6047
01105+6241	01105+62	1 13 45.1	62 57 40	125.4646	0.1991
01107+6433	01107+64	1 14 0	64 48 58	125.3305	2.0497
01108+6059	01108+6A	1 13 59.5	61 15 1	125.6414	-1.5026
01108+6037	01108+6B	1 14 2.1	60 53 17	125.6783	-1.863
01118+6623	01118+66	1 15 11.5	66 39 50	125.2861	3.9008
01123+6430	01123+64	1 15 40.8	64 46 46	125.512	2.0293
01129+6352	01129+63	1 16 13.3	64 8 28	125.6308	1.3995
01129+6405	01129+64	1 16 17.9	64 21 35	125.6182	1.6179
01133+6434	01133+64	1 16 37.4	64 50 39	125.6058	2.1033
01134+6429	01134+64	1 16 48.1	64 45 37	125.633	2.0216
01140+6054	01140+60	1 17 15.1	61 10 9	126.04	-1.5467
01142+6306	01142+63	1 17 33.4	63 22 2	125.8542	0.644
01144+6658	01144+66	1 17 51.6	67 13 52	125.4915	4.4909
01145+5902	01145+59	1 17 41.2	59 18 21	126.282	-3.3949
01145+6411	01145+64	1 17 51.8	64 27 4	125.7773	1.7256
01150+5732	01150+57	1 18 13.7	57 48 8	126.5079	-4.8832
01153+6146	01153+61	1 18 33.2	62 2 28	126.1045	-0.6634
01156+6237	01156+62	1 18 53.3	62 52 53	126.0542	0.1761
01160+6529	01160+65	1 19 26.8	65 45 44	125.8047	3.0469
00375+6637	00375+66	0 40 34.9	66 53 36	121.8644	4.0443
00379+6248	00379+62	0 40 53.6	63 4 53	121.7387	0.2342
00385+6648	00385+66	0 41 32.4	67 4 57	121.966	4.2293
00385+5948	00385+59	0 41 27.9	60 4 42	121.6871	-2.7693
00399+6103	00399+61	0 42 54.9	61 19 36	121.9094	-1.5282
00403+6138	00403+61	0 43 18.3	61 54 39	121.9745	-0.9456
00408+5933	00408+59	0 43 44.1	59 50 16	121.9632	-3.0194
00412+6638	00412+66	0 44 15.2	66 54 41	122.2259	4.0495

表 2: 觀測天体

PSC NAME	略称	RA (h m s)	DEC (d m s)	glon (deg)	glat (deg)
00418+6306	00418+63	0 44 50	63 22 49	122.1921	0.5181
00422+6131	00422+61	0 45 9.9	61 47 57	122.1908	-1.0635
00423+6431	00423+64	0 45 21.7	64 47 51	122.2848	1.9334
00424+5813	00424+58	0 45 18.8	58 30 10	122.1297	-4.3594
00426+6140	00426+61	0 45 38.6	61 56 56	122.2507	-0.915
00428+6213	00428+62	0 45 51.9	62 29 56	122.2886	-0.3658
00440+6303	00440+63	0 47 0.1	63 19 40	122.4342	0.4605
00442+6148	00442+61	0 47 16.3	62 4 59	122.4443	-0.7847
00448+6127	00448+61	0 47 50	61 43 33	122.5049	-1.143
00449+6500	00449+65	0 48 0.5	65 17 14	122.5732	2.4181
00452+6242	00452+62	0 48 13	62 59 16	122.5662	0.1185
00453+6414	00453+64	0 48 23.5	64 30 38	122.604	1.6409
00455+6137	00455+6A	0 48 33.1	61 53 38	122.592	-0.9759
00455+6148	00455+6B	0 48 33.9	62 4 22	122.5956	-0.797
00456+6505	00456+65	0 48 43.6	65 21 48	122.649	2.4931
00458+6508	00458+65	0 48 57.2	65 24 22	122.6731	2.5356
00461+6137	00461+61	0 49 6.4	61 53 36	122.6573	-0.977
00461+6439	00461+64	0 49 10.7	64 56 18	122.6924	2.0678
00461+6253	00461+62	0 49 12	63 9 23	122.6792	0.2859
00468+6527	00468+6A	0 49 55.8	65 43 39	122.7768	2.8562
00468+6508	00468+6B	0 49 58	65 25 2	122.7788	2.5459
00470+6448	00470+6A	0 50 5.9	65 4 19	122.7907	2.2008
00470+6429	00470+6B	0 50 6.3	64 45 35	122.7897	1.8886
00470+6130	00470+61	0 50 4	61 47 5	122.7698	-1.0866
00474+6246	00474+62	0 50 25.6	63 3 5	122.8174	0.18
00481+6421	00481+64	0 51 15.2	64 37 36	122.9121	1.7551
00482+6132	00482+61	0 51 16.4	61 48 19	122.9124	-1.0663
00484+6238	00484+62	0 51 26	62 55 12	122.9315	0.0484
00487+6200	00487+62	0 51 47.7	62 16 38	122.9734	-0.5944
00493+5927	00493+59	0 52 20.3	59 43 31	123.0456	-3.1461
00495+6548	00495+65	0 52 40.8	66 5 4	123.058	3.2131
00498+6529	00498+65	0 53 0.5	65 45 34	123.0933	2.8882
00500+6145	00500+61	0 53 7.1	62 1 33	123.129	-0.8453
02469+5646	02469+56	2 50 37.6	56 58 57	138.6543	-2.2057
02469+5946	02469+59	2 50 47.2	59 58 47	137.3462	0.4911
02470+5541	02470+5A	2 50 42.6	55 53 45	139.1464	-3.175
02470+5536	02470+5B	2 50 45.3	55 48 58	139.1876	-3.2437
02473+5738	02473+57	2 51 3.8	57 51 18	138.3201	-1.3976
02473+6313	02473+63	2 51 23	63 25 38	135.8772	3.6112
02475+6051	02475+60	2 51 26.9	61 3 21	136.9413	1.4915

表 2: 觀測天体

PSC NAME	略称	RA (h m s)	DEC (d m s)	glon (deg)	glat (deg)
02475+6156	02475+61	2 51 33.7	62 9 18	136.4634	2.4816
02476+5529	02476+55	2 51 15.6	55 41 59	139.303	-3.3163
02477+5946	02477+59	2 51 34.4	59 59 20	137.4303	0.543
02484+6022	02484+60	2 52 18.7	60 34 59	137.2467	1.1153
02495+6043	02495+60	2 53 27.8	60 55 58	137.2148	1.4911
02495+6414	02495+64	2 53 41.4	64 27 3	135.6423	4.6394
02497+6217	02497+62	2 53 44.4	62 29 25	136.5388	2.8947
02497+6018	02497+60	2 53 39.6	60 30 17	137.4299	1.12
02499+5752	02499+57	2 53 43.6	58 5 7	138.5325	-1.0335
02503+6025	02503+60	2 54 13.6	60 37 37	137.4365	1.2606
02510+5759	02510+57	2 54 52.1	58 12 9	138.6135	-0.8606
02511+6023	02511+60	2 55 3	60 35 44	137.5407	1.2788
02514+5936	02514+59	2 55 17.9	59 49 6	137.9239	0.6017
02522+6407	02522+64	2 56 24.8	64 19 57	135.9591	4.6691
02526+6041	02526+60	2 56 37.7	60 54 1	137.5719	1.6379
02530+6003	02530+60	2 56 56.2	60 15 50	137.9002	1.0914
02531+5721	02531+57	2 56 52.5	57 33 22	139.1478	-1.3119
02531+6032	02531+6A	2 57 4	60 44 22	137.6937	1.5203
02531+6013	02531+6B	2 57 3.4	60 25 37	137.8376	1.2429
02533+6026	02533+60	2 57 17.9	60 38 24	137.7651	1.4452
02535+5555	02535+55	2 57 15.1	56 7 17	139.8596	-2.559
02541+6100	02541+61	2 58 5.1	61 12 35	137.584	1.994
02541+6208	02541+62	2 58 13.7	62 20 31	137.0688	3.0025
02543+6214	02543+62	2 58 25.8	62 26 8	137.0456	3.0963
02544+6230	02544+62	2 58 32.1	62 42 22	136.9291	3.3408
02546+6214	02546+62	2 58 40.1	62 26 57	137.0636	3.121
02547+6042	02547+60	2 58 39.6	60 54 33	137.7864	1.7608
02551+5634	02551+56	2 58 55.9	56 46 46	139.757	-1.8688
02559+6047	02559+60	2 59 56.2	60 59 42	137.8828	1.9097
02570+6028	02570+60	3 1 0.7	60 40 20	138.1514	1.6881
02572+6006	02572+60	3 1 11.7	60 18 9	138.3477	1.3738
02577+6029	02577+60	3 1 43.7	60 41 17	138.2208	1.7438
02581+6021	02581+60	3 2 3.8	60 32 56	138.3238	1.6415
02585+6030	02585+60	3 2 30.1	60 42 35	138.2936	1.8083
02593+6016	02593+60	3 3 17.9	60 27 52	138.4977	1.6409
02598+6008	02598+60	3 3 50.3	60 20 14	138.618	1.5619
03031+5825	03031+58	3 7 0	58 37 21	139.81	0.2655
03035+5819	03035+58	3 7 25.6	58 30 52	139.9119	0.1995
03035+6323	03035+63	3 7 44.1	63 34 33	137.4174	4.6051
03037+6318	03037+63	3 7 54.9	63 29 37	137.4761	4.5441

表 2: 觀測天体

PSC NAME	略称	RA (h m s)	DEC (d m s)	glon (deg)	glat (deg)
03042+5850	03042+58	3 8 10.5	59 2 8	139.736	0.6994
03045+6336	03045+63	3 8 43.7	63 47 49	137.4015	4.8515
03047+6211	03047+62	3 8 54.2	62 23 5	138.1317	3.6414
03058+5941	03058+59	3 9 46.3	59 52 53	139.4861	1.5326
02236+6027	02236+60	2 27 24.2	60 40 48	134.4166	-0.034
02237+6210	02237+62	2 27 33.4	62 23 57	133.811	1.5753
02238+5938	02238+59	2 27 31.4	59 51 36	134.7273	-0.7928
02240+5829	02240+58	2 27 42.3	58 42 57	135.1642	-1.8507
02242+5652	02242+56	2 27 48.8	57 5 51	135.7665	-3.3529
02244+6035	02244+60	2 28 10.4	60 49 17	134.453	0.132
02245+5823	02245+58	2 28 12.6	58 37 5	135.2608	-1.9178
02245+6115	02245+61	2 28 21.5	61 28 29	134.2353	0.7485
02250+6039	02250+60	2 28 50	60 52 45	134.5065	0.2152
02259+6044	02259+60	2 29 41.8	60 57 29	134.5752	0.3272
02260+6131	02260+61	2 29 49.7	61 45 3	134.2961	1.0696
02266+6025	02266+60	2 30 25.8	60 38 43	134.7743	0.0699
02272+6302	02272+6A	2 31 8.9	63 15 58	133.8722	2.5323
02272+6327	02272+6B	2 31 12.7	63 40 17	133.7262	2.9104
02277+5846	02277+58	2 31 25	58 59 47	135.5064	-1.4126
02289+6006	02289+60	2 32 44.4	60 19 27	135.1588	-0.1204
02293+5748	02293+57	2 33 0.1	58 2 3	136.063	-2.2247
02294+6411	02294+64	2 33 24	64 24 57	133.6648	3.6901
02296+6145	02296+61	2 33 27.4	61 58 21	134.6088	1.436
02297+6351	02297+63	2 33 45.4	64 4 49	133.8299	3.3952
02308+6048	02308+60	2 34 37.4	61 1 18	135.1038	0.6121
02309+6034	02309+6A	2 34 45.1	60 47 48	135.2053	0.4109
02309+6002	02309+6B	2 34 44	60 16 3	135.4084	-0.0777
02310+6133	02310+61	2 34 52.1	61 46 47	134.8369	1.3224
02318+6106	02318+61	2 35 37.4	61 19 37	135.0961	0.9404
02321+6312	02321+63	2 36 6.7	63 25 8	134.328	2.8871
02326+6056	02326+60	2 36 25.5	61 9 44	135.2493	0.8266
02327+6135	02327+61	2 36 34.2	61 49 1	135.0072	1.4354
02327+6019	02327+60	2 36 33.5	60 32 10	135.5109	0.2576
02331+6023	02331+60	2 36 55.4	60 36 58	135.5204	0.3488
02333+5930	02333+59	2 37 6	59 43 34	135.8927	-0.46
02335+6110	02335+61	2 37 21.7	61 23 32	135.2617	1.0824
02339+6048	02339+60	2 37 48	61 1 27	135.4566	0.7657
02341+6200	02341+62	2 38 4	62 13 34	135.006	1.8806
02344+6109	02344+61	2 38 18.6	61 22 26	135.3733	1.1108
02347+5649	02347+56	2 38 25.3	57 2 44	137.1203	-2.8495

表 2: 觀測天体

PSC NAME	略称	RA (h m s)	DEC (d m s)	glon (deg)	glat (deg)
02348+6130	02348+61	2 38 45.6	61 43 15	135.2832	1.4503
02351+5630	02351+56	2 38 47.8	56 43 9	137.2985	-3.1279
02360+5922	02360+59	2 39 50	59 35 47	136.2611	-0.4404
02363+5946	02363+59	2 40 7.9	59 59 51	136.1325	-0.0585
02365+6120	02365+61	2 40 24.5	61 33 16	135.5298	1.3772
02366+5558	02366+55	2 40 13.3	56 11 38	137.6919	-3.5284
02366+5845	02366+58	2 40 24.6	58 58 34	136.5805	-0.9774
02367+6023	02367+60	2 40 36.2	60 36 33	135.9368	0.5238
02369+6219	02369+62	2 40 53.9	62 31 53	135.1828	2.2926
02376+6030	02376+60	2 41 28.9	60 43 25	135.9881	0.6722
02379+5724	02379+57	2 41 36.2	57 37 37	137.2764	-2.1438
02381+5923	02381+59	2 41 54.7	59 36 11	136.4983	-0.3267
02383+6241	02383+62	2 42 20.2	62 53 51	135.1822	2.6941
02390+6033	02390+60	2 42 54.9	60 46 34	136.1257	0.7923
02394+6155	02394+61	2 43 20.1	62 8 14	135.6037	2.0505
02395+6244	02395+62	2 43 28.7	62 57 5	135.278	2.7971
02401+5923	02401+59	2 43 55.8	59 36 24	136.7289	-0.2174
02407+6047	02407+60	2 44 37.8	60 59 53	136.222	1.0813
02408+5458	02408+54	2 44 25.2	55 11 15	138.6499	-4.1985
02409+6007	02409+60	2 44 44.3	60 20 36	136.5107	0.4934
02413+6037	02413+60	2 45 12.5	60 49 44	136.3574	0.9579
02416+6014	02416+60	2 45 27.2	60 27 12	136.5438	0.6306
02421+6233	02421+62	2 46 7.5	62 46 29	135.6267	2.7646
02425+6000	02425+60	2 46 20.5	60 13 10	136.743	0.4657
02427+6247	02427+62	2 46 43.9	63 0 34	135.5885	3.0064
02433+6345	02433+63	2 47 24.7	63 58 14	135.242	3.9063
02434+6018	02434+60	2 47 15.9	60 30 44	136.7205	0.7793
02437+6145	02437+61	2 47 40.4	61 58 26	136.1335	2.1189
02437+5754	02437+57	2 47 29	58 7 31	137.7752	-1.3625
02439+6025	02439+6A	2 47 50.3	60 38 6	136.7309	0.9202
02439+6051	02439+6B	2 47 52	61 3 40	136.5496	1.3059
02445+6042	02445+60	2 48 25.2	60 55 3	136.6723	1.2056
02455+5808	02455+58	2 49 21	58 21 17	137.8965	-1.0489
02457+6425	02457+64	2 49 54.4	64 37 41	135.198	4.6159
02459+6029	02459+60	2 49 47.6	60 42 7	136.9172	1.085
02460+5929	02460+59	2 49 53.1	59 41 35	137.371	0.1838
02462+6212	02462+62	2 50 14.4	62 25 15	136.2074	2.6515
02466+5538	02466+55	2 50 17.5	55 51 6	139.1134	-3.2404
02467+5432	02467+54	2 50 24.6	54 45 19	139.6143	-4.2165

2.2 観測パラメータ

観測は日立 32 m 電波望遠鏡を用い、2013 年 12 月 12 日から 2014 年 1 月 10 日の間、1 日おきに観測した。観測パラメータを表 3 に示す。

表 3: 観測パラメータ

口径	32 m
観測周波数	6.668 GHz
ビームサイズ	5 分角
システム雑音温度	25 - 35 K
観測帯域	8 MHz
分光点数	8192 点
速度分解能	0.044 km/s
積分時間	5 分
rms ノイズレベル	0.15 K

2.3 観測方法

観測を行うにあたり、まず天体の情報(天体名、座標等)が書かれているリスト source.sch を用意し、PC-SCHED というスケジュール作成ソフトを用いて DRG ファイルを作成する。DRG ファイルは観測の基本となるスケジュールファイルのことである。このファイルの作成時に、各天体の観測時間(開始と終了)を指定する。今回の観測では積分時間を 5 分とした。次に出力された DRG ファイルを drgconv-ibaraki という変換ソフトを用いて 2 種類の skd ファイルへ変換する。ここで出力されたファイルは、アンテナ制御のための*a.skd ファイル、分光計制御のための*o.skd ファイルである。ON-OFF 観測を行うため、この*o.skd ファイルを修正し OFF 点の座標を ON 点から赤経方向に +60 arcmin の位置に設定した。

観測時には、大学内のパソコンから望遠鏡が設置されている国立天文台ネットワークへ VPN 接続を確立した後、ssh を用いてアンテナ制御用のパソコンに入り、*a.skd ファイルをロードしアンテナ制御を実行する。さらに VNC(Virtual Network Computing) Viewer4 を用いてデータ取得用のパソコンに入り、*o.skd ファイルをロードし分光計制御を実行する。これにより観測から FFT の実行、baseline fitting まだが完了する。その後、Tr* scale スペクトルを作成し eps ファイルに保存する。データ処理が完了したら rawdat ディレクトリを削除して 1 日の観測が終了となる。

3 結果

3.1 観測結果

観測の結果、全 553 天体のうち 12 天体でメタノールメーザー放射が検出された。検出された 12 天体について、peak 強度、peak 速度を以下の表 4 に示す。太字で示した 3 天体以外は、後述(4.2 節)のサイドローブ天体であると考えられる。また、各天体のスペクトル図を図 2 ~ 図 13 に示す。縦軸がフラックス密度 (Jy)、横軸が視線速度 V_{lsr} (km/s) となっている。

表 4: スペクトルが検出された天体

PSC NAME	略称	peak 強度 (Jy)	peak 速度 (km/s)
00338+6312	00338+63	6.45	-24.26
02455+6034	02455+60	7.07	-44.91
02232+6138	02232+61	2711.55	-44.53
02227+6127	02227+61	11.19	-44.60
02230+6202	02230+62	5.22	-44.26
02250+6147	02250+61	4.22	-44.49
02193+6129	02193+61	3.36	-44.72
02204+6128	02204+61	4.47	-44.74
02214+6136	02214+61	34.83	-44.57
02253+6152	02253+61	4.50	-44.17
02261+6201	02261+62	2.88	-45.20
02265+6146	02265+61	7.34	-44.53

(太字の天体が検出天体、それ以外はサイドローブ天体。)

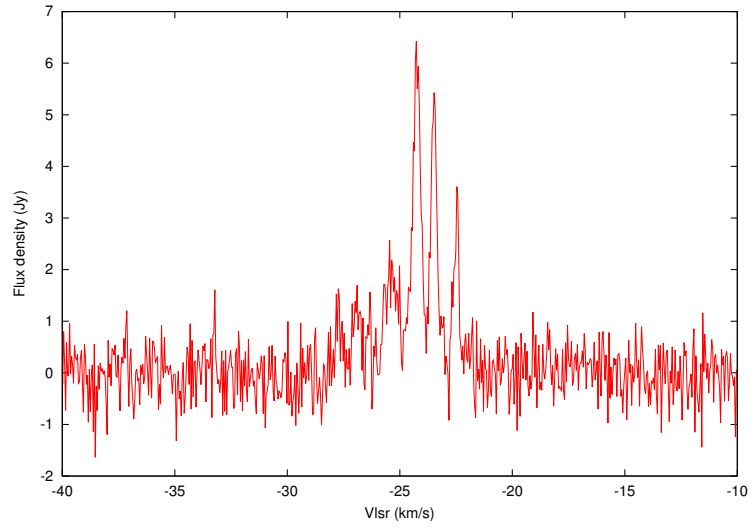


図 2: 00338+63

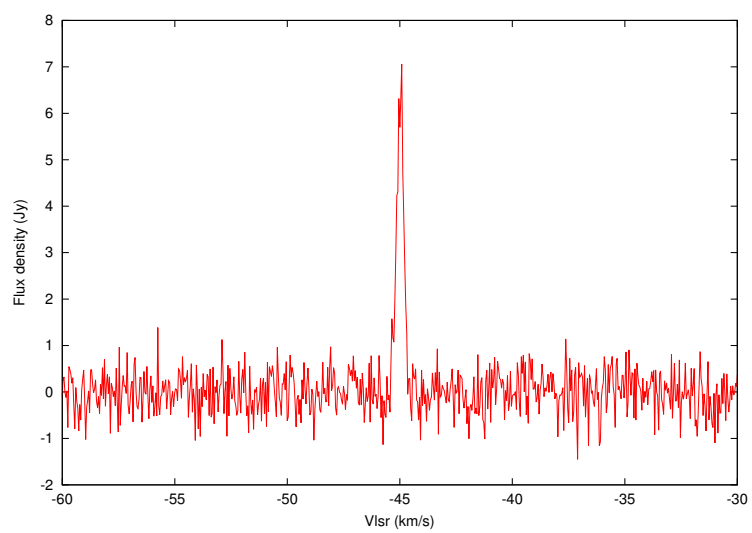


图 3: 02455+60

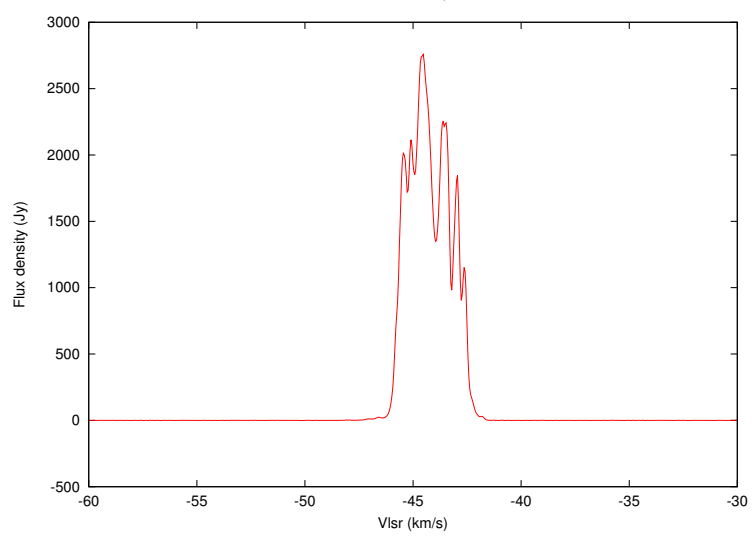


图 4: 02232+61

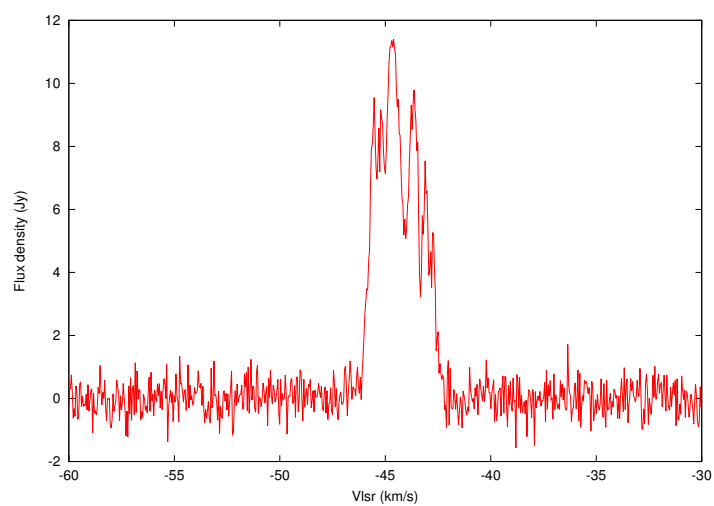


图 5: 02227+61

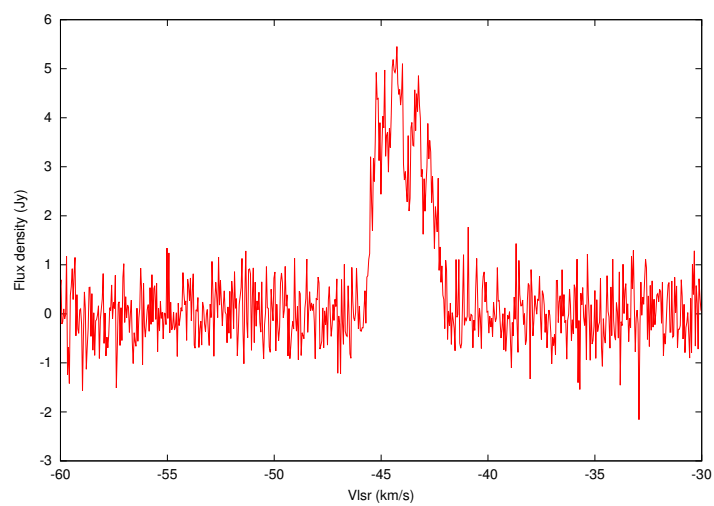


图 6: 02230+62

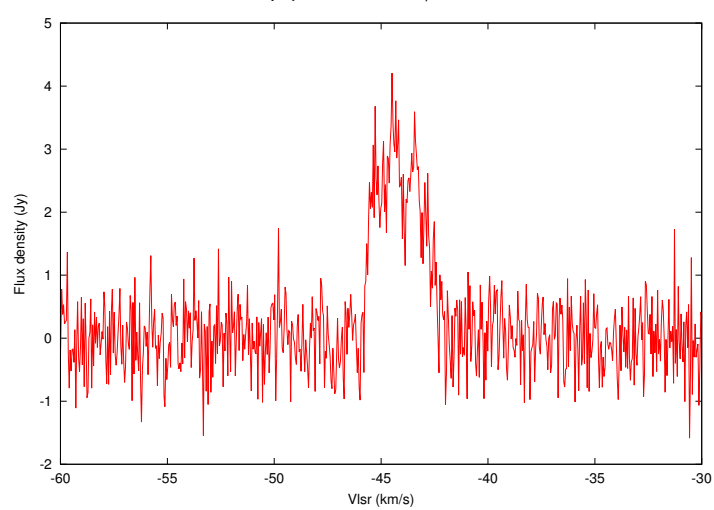
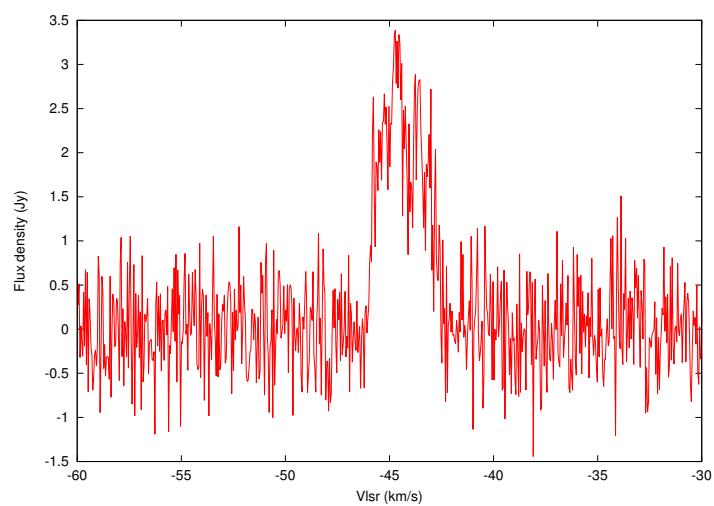
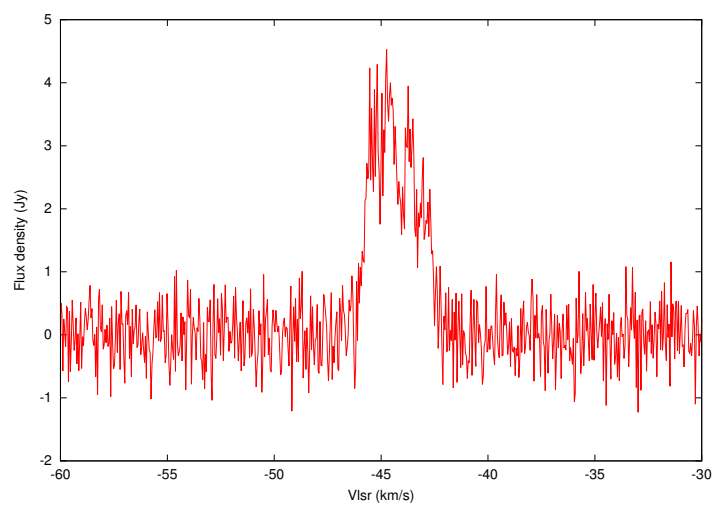


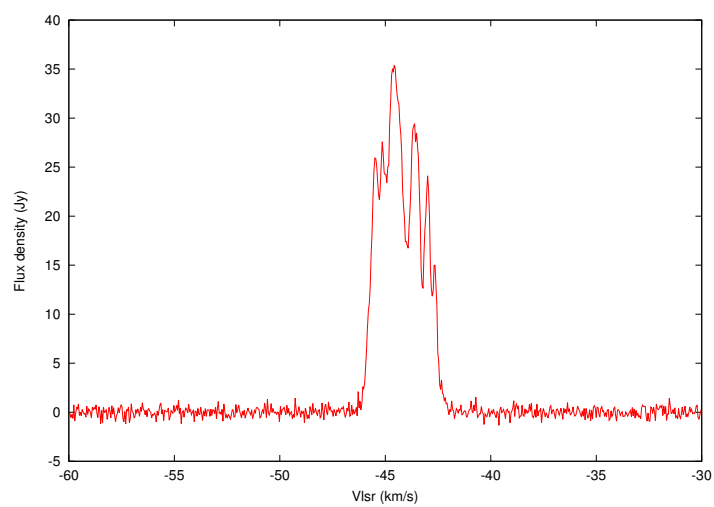
图 7: 02250+61



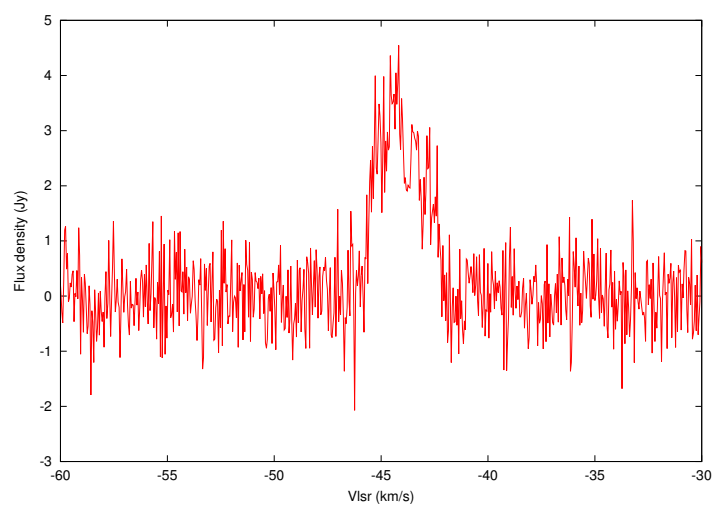
☒ 8: 02193+61



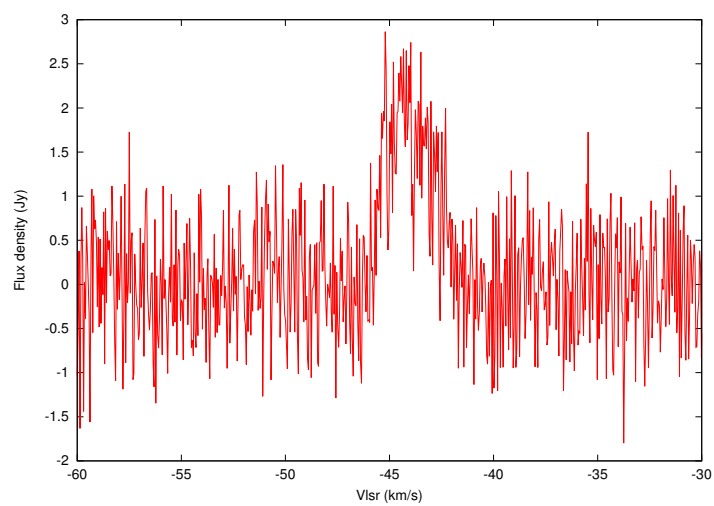
☒ 9: 02204+61



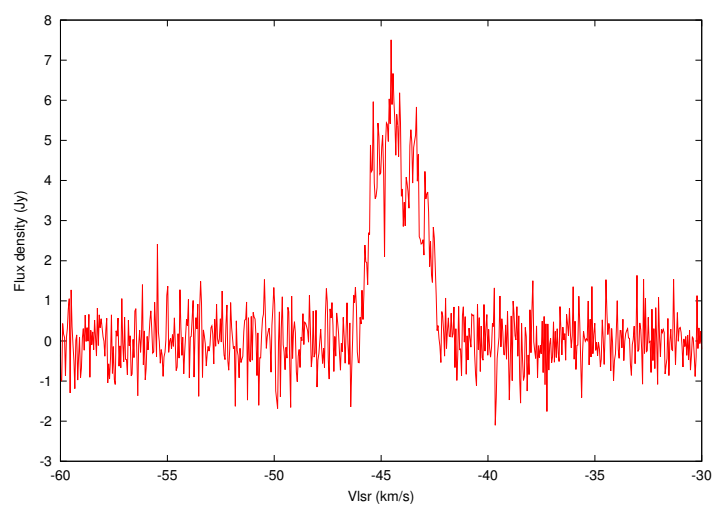
☒ 10: 02214+61



☒ 11: 02253+61



☒ 12: 02261+62



☒ 13: 02265+61

4 考察

4.1 検出天体

今回検出された3天体(表4の太字で示したもの)は過去に観測例[3]があり新発見の天体等は見つからなかった。以下では、本観測と過去の観測例を比較してみる。

4.1.1 00338+6312

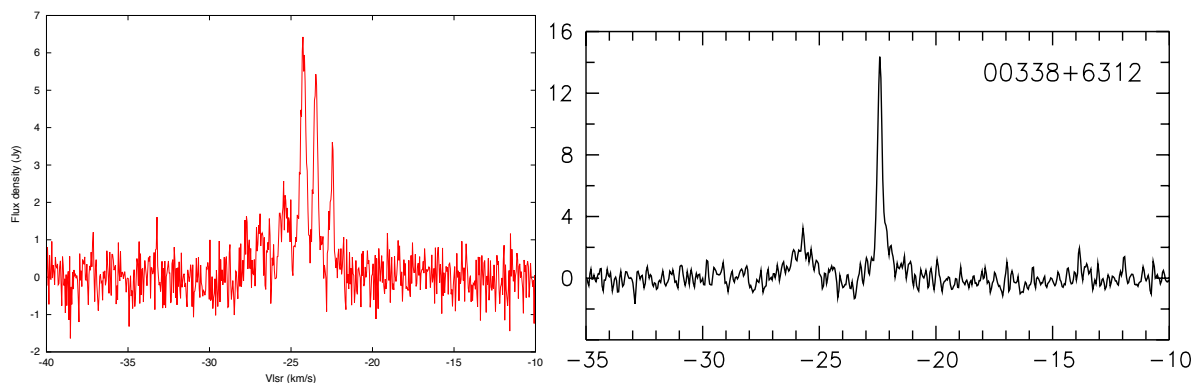


図 14: 左:本観測, 右:Szymczak et al.2000

本観測でのピークのフラックス密度は 6.45 Jy、2000 年の観測では 14 Jy で観測されていた。2000 年の観測ではピークの速度が -22.4 km/s であったが、本観測では -24.26 km/s で最も強い輝線が検出され、その他の速度成分も増えていることが確認された。

4.1.2 02455+6034

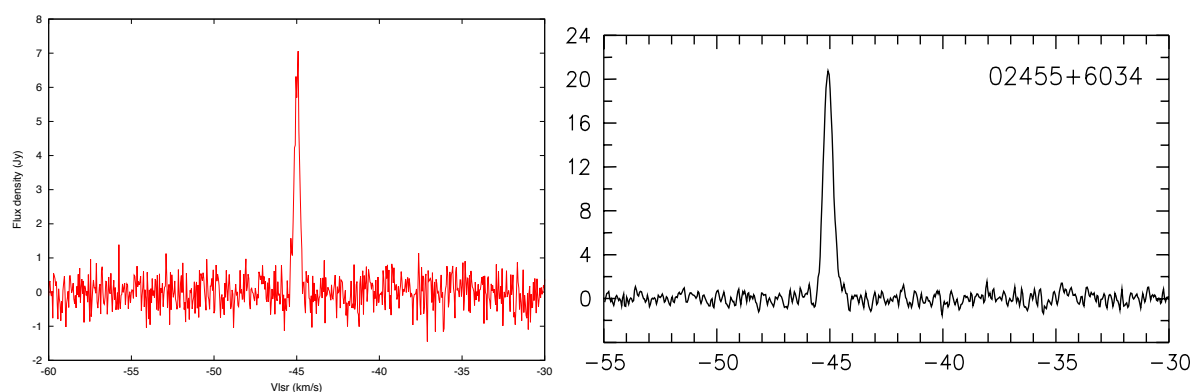


図 15: 左:本観測, 右:Szymczak et al.2000

本観測でのピークのフラックス密度は 7.07 Jy、2000 年の観測では 21 Jy で観測されていた。強度の変動以外に目立った変化は見られなかった。

4.1.3 02232+6138(W3(OH))

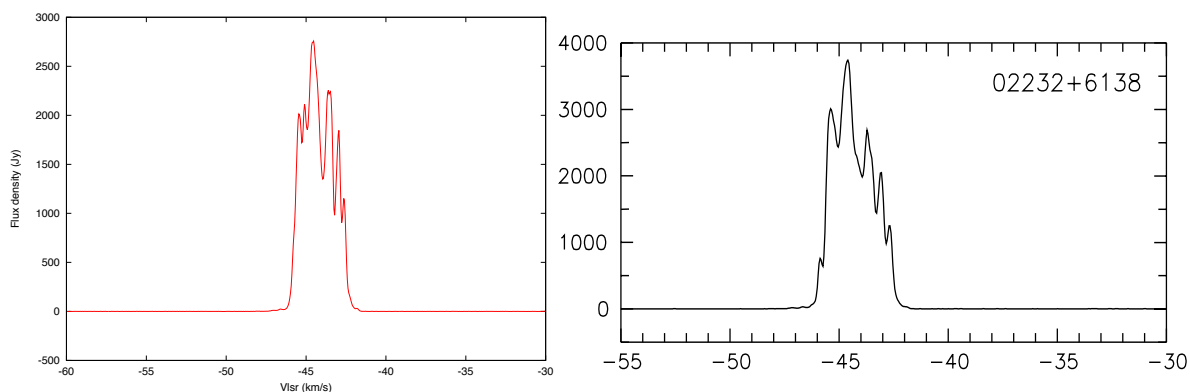


図 16: 左:本観測, 右:Szymczak et al.2000

本観測でのピークのフラックス密度は 2711.55 Jy、2000 年の観測では 3741 Jy で観測されていた。ピークの強度は弱まっているが、-46 km/s 付近の速度成分が 2000 年では 1000 Jy 以下だったのに対し、今回は 2000 Jy ほどになっていた。

4.2 サイドローブ天体

表 4 に示した 12 天体のうち、4 ～ 12 行目の 9 天体は 3 行目の 02232+6138 のスペクトルと形状が類似していることから、この天体がサイドローブに映り込んだものだと考えられる。各天体と 02232+6138 のスペクトルの形状を比較するため、02232+6138 のスペクトルの表示倍率を変更し、各天体のスペクトルと重ねて表示したものを図 17 ～ 25 に示す。

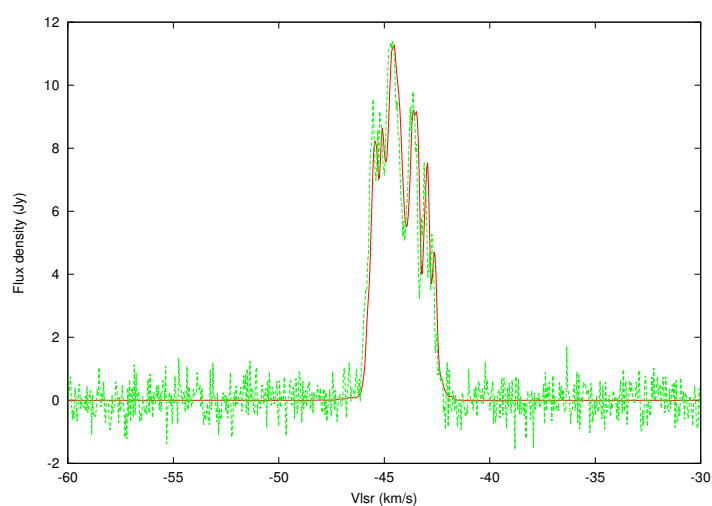


図 17: 赤:02232+6138 緑:02227+6127

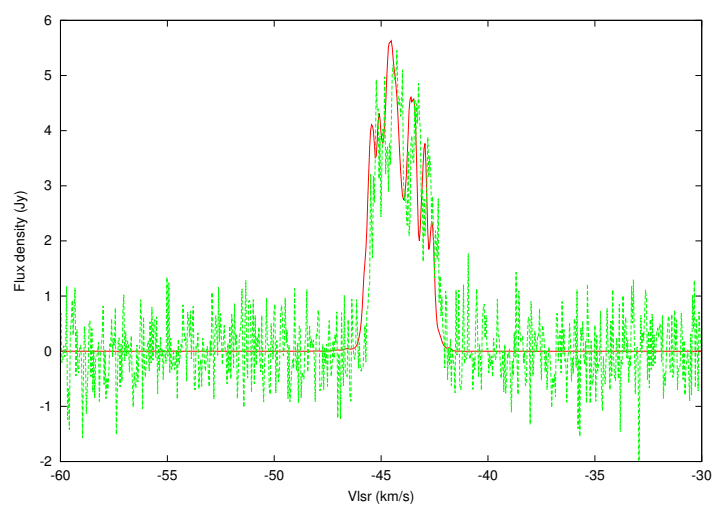


図 18: 赤:02232+6138 緑:02230+6202

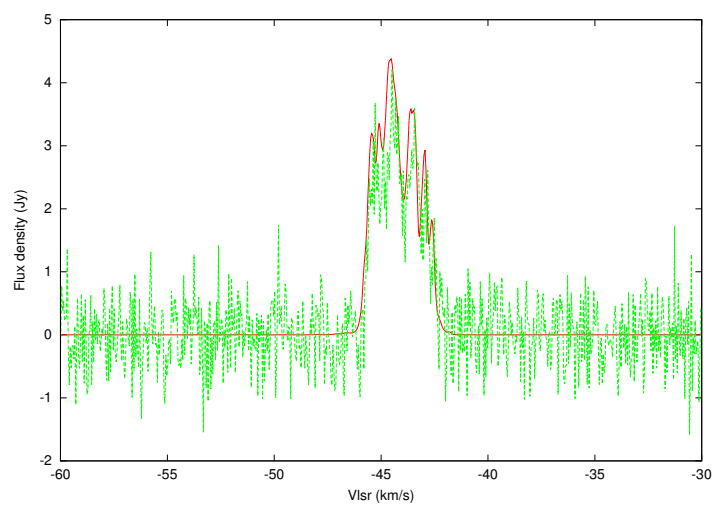


図 19: 赤:02232+6138 緑:02250+6147

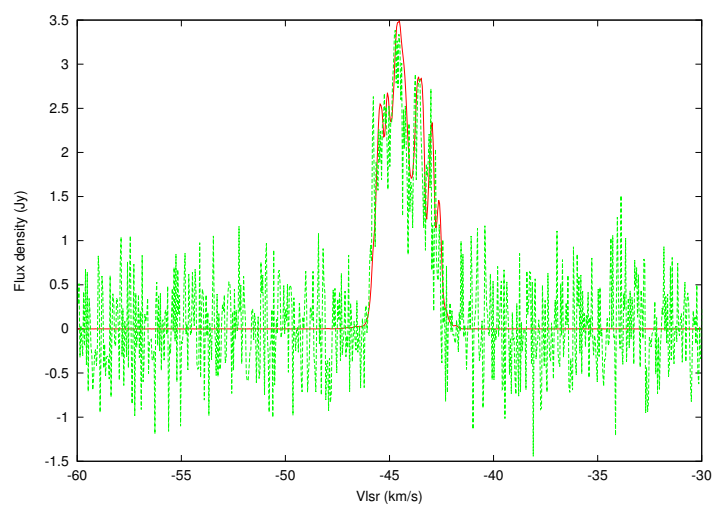


図 20: 赤:02232+6138 緑:02193+6129

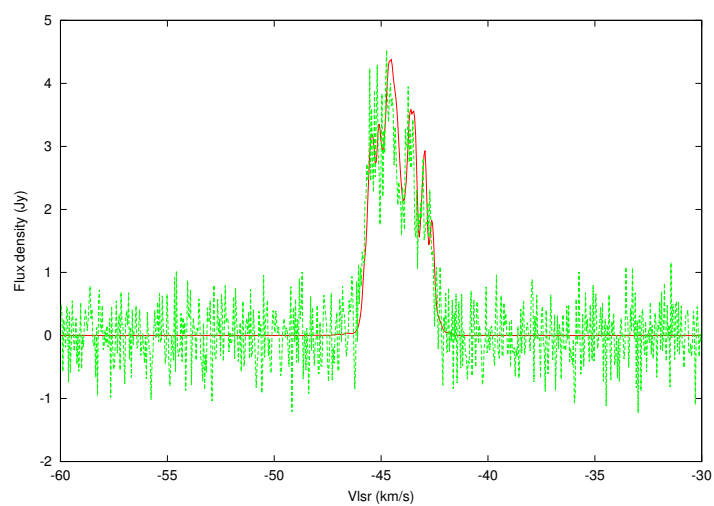


図 21: 赤:02232+6138 緑:02204+6128

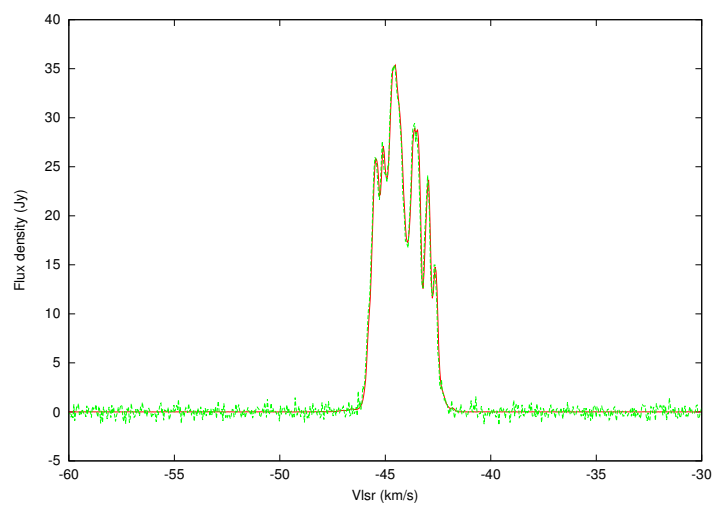


図 22: 赤:02232+6138 緑:02214+6136

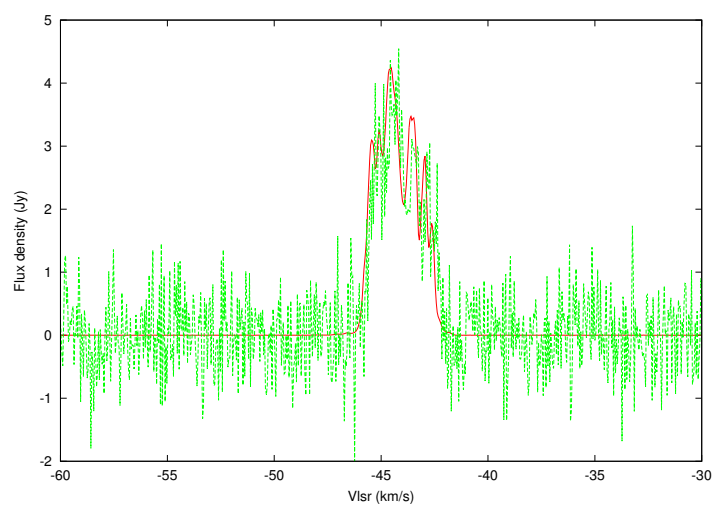


図 23: 赤:02232+6138 緑:02253+6152

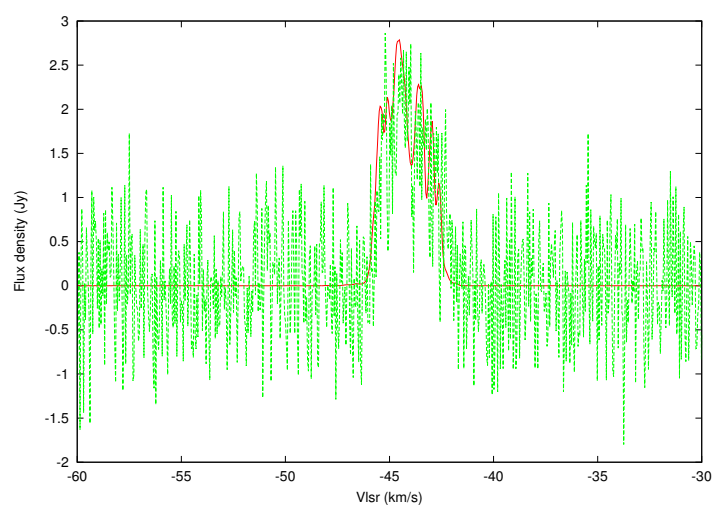


図 24: 赤:02232+6138 緑:02261+6201

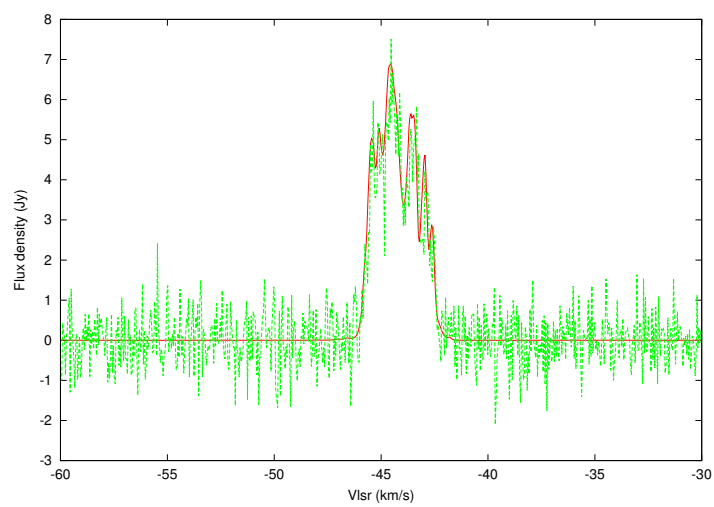


図 25: 赤:02232+6138 緑:02265+6146

ここで、アンテナパターンが半値幅 5 arcmin のガウシアンビームであると仮定し、それぞれの天体の観測強度と各離角で期待される強度について計算し比較した。計算結果を表 5 に示す。表の 2,3 列目は 02232+6138 との銀経、銀緯の差、4 列目は各天体と 02232+6138 との離角が何分角であるかを示してある。また、5 列目は実際の観測で得られた強度、6 列目は離角で期待される強度、7 列目は 02232+6138 と各天体との強度比である。この結果を見ると、離角から推測される強度より実際の観測強度は強くなっており、離角 12' 付近と 24' 付近にピークがあるように見える。栗橋 [6] によれば日立アンテナの 6.7 GHz 帯でのビームパターン (図 26) は、ビーム中心からの距離 8' のところに第一サイドローブがあることが分かっており、第一サイドローブは主ビームのピーク強度に対して約 3% 程度である。このことから、離角 10 ~ 15' 付近の天体はサイドローブの影響により強度が強く検出されたものだと考えられる。

離角が 20' 以上の天体については、日立局のメタノールメーザーモニタ観測において強度が ~ 5000 Jy の非常に強い天体 09.621+0.196 (図 27) が観測されており、この天体の近傍で離角 25.7' の天体 09.986-0.028 (図 28) と離角 34.1' の天体 09.215-0.202 (図 29) が観測されている。これらの天体の強度比は、

- 09.986-0.028 (離角 25.7') : ~ 0.01 %
- 09.215-0.202 (離角 34.1') : ~ 0.06 %

となっており、日立アンテナのビームパターンは 30' 以上までサイドローブの影響があることが伺える。今回観測した 02232+6138 の強度も約 2700 Jy ほどの強い強度で観測されているため、サイドローブの影響が広範囲にわたっており、観測強度が大きくなったのではないかと考えられる。

表 5: サイドローブ天体の強度

天体名	Δglon (deg)	Δglat (deg)	離角 (arcmin)	観測強度 (Jy)	離角での強度 (Jy)	強度比 (%)
02232+6138				2711.55		
02227+6127	-0.01280	0.1942	11.68	11.19	7.337×10^{-4}	0.4129
02230+6202	0.1607	-0.3603	23.67	5.22	2.776×10^{-25}	0.1927
02250+6147	-0.1459	-0.2121	15.45	4.22	8.711×10^{-09}	0.1557
02193+6129	0.3845	0.3	29.26	3.36	1.545×10^{-39}	0.1237
02204+6128	0.2473	0.2685	21.90	4.47	2.121×10^{-21}	0.1647
02214+6136	0.1865	0.1057	12.86	34.83	2.906×10^{-06}	1.285
02253+6152	-0.1456	-0.305	20.28	4.50	4.221×10^{-17}	0.1661
02261+6201	-0.1874	-0.4698	30.35	2.88	1.174×10^{-42}	0.1063
02265+6146	-0.3152	-0.2651	24.72	7.34	1.027×10^{-27}	0.2707

2,3,4 列目は 02232+6138 との銀経、銀緯の差と離角。

6 列目は離角で期待される強度、7 列目は 02232+6138 との強度比。

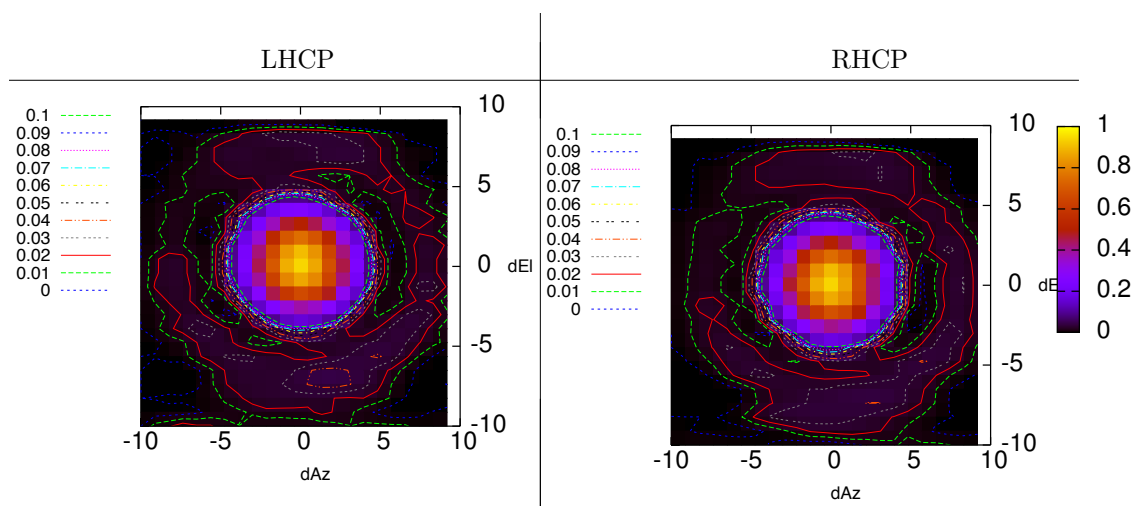


図 26: 日立アンテナのビームパターン@ EL=40° (栗橋 [6] より引用)

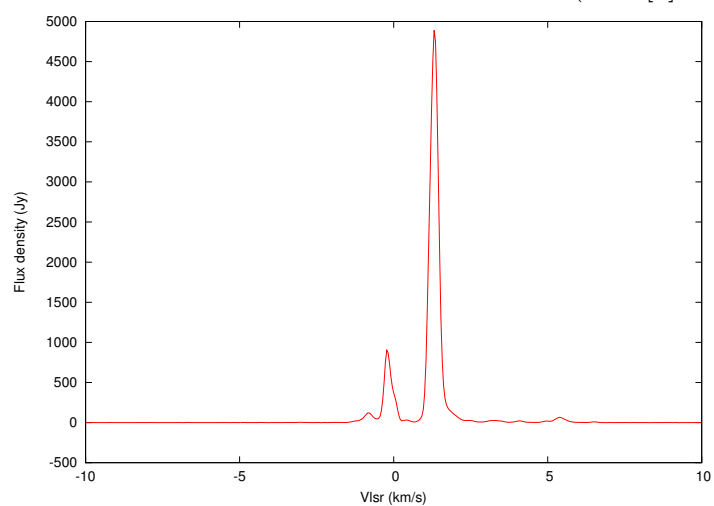


図 27: 09.621+0.196

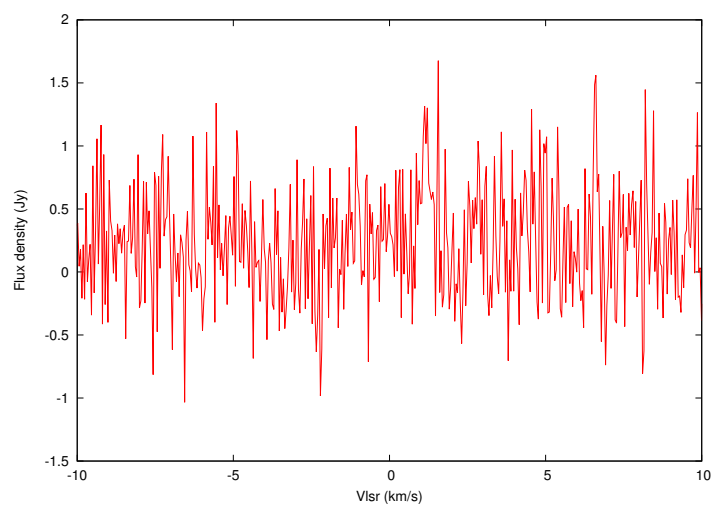


図 28: 09.986+0.028

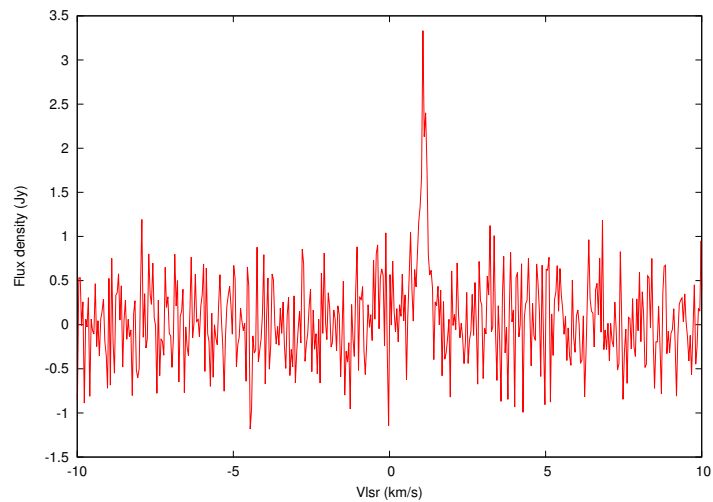


図 29: 09.215+0.202

5 まとめ

赤外線天文衛星 IRAS による IRAS Point Source Catalog の天体に対し、ペルセウス腕方向の銀経 $120\text{--}140^\circ$ に存在する 553 天体について 6.7 GHz 帯メタノールメーザー探査を行った。観測は日立 32m 電波望遠鏡を用い、2013 年 12 月 12 日から 2014 年 1 月 10 日の間、1 日おきに行った。

観測の結果、全 553 天体のうち検出された天体は 3 天体あり、いずれも過去に観測例がある天体であった。その他にもサイドローブ天体が 9 天体観測され、この結果は日立アンテナのビームパターンがこれまで測定されていたものよりも広範囲にわたることを示唆するものであった。より広い範囲でのビームパターンの測定が今後の課題である。

謝辞

本研究を進める上で多くの方々の協力を頂いたので、僭越ながらここで感謝の意を表します。指導教官である百瀬宗武教授には、物理学、天文学の基礎からご指導いただきました。米倉覚則教授、研究員の古川尚子さんには、観測についての指導やアドバイス等、様々な場面で大変お世話になりました。心から感謝しております。

参考文献

- [1] Y. Xu, et al. 2009, Absolute positions of 6.7-GHz methanol masers, *A&A*, 507, 1117
- [2] T. M. Dame, D. Hartmann, and P. Thaddeus, 2001, THE MILKY WAY IN MOLECULAR CLOUDS: A NEW COMPLETE CO SURVEY, *ApJ*, 547, 792
- [3] M. Szymczak, G. Hrynek, and A. J. Kus, 2000, A survey of the 6.7 GHz methanol maser emission from IRAS sources, *A&A*, 143, 269
- [4] J. D. Pandian, P. F. Goldsmith, and A. A. Deshpande, 2007, THE ARECIBO METHANOL MASER GALACTIC PLANE SURVEY. I. DATA, *ApJ*, 656, 255
- [5] V. Minier, R. S. Booth, and J. E. Conway, 2002, VLBI observations of 6.7 and 12.2 GHz methanol masers toward high mass star-forming regions. III. The milliarcsecond structures of masing regions, *A&A*, 383, 614
- [6] 栗橋 潤, 2011, 茨城大学大学院修士論文
- [7] 青木 望, 2009, 山口大学卒業論文