

卒業論文

CORNISH H II 領域候補を対象としたメタノールメーザーサーベイ

電波天文観測研究室

11s2008h 大内 智仁

指導教員：百瀬 宗武、米倉 覚則

概要

大質量星形成段階において、超コンパクト H II 領域が形成されるよりも前の段階から 6.7GHz メタノールメーザーが生じると考えられている。そこで H II 領域に関するカタログである Co-Ordinated Radio 'N' Infrared Survey for High-mass star formation (CORNISH) から 96 天体を選出し、6.7GHz メタノールメーザーサーベイを行い、大質量星形成のどの段階にメタノールメーザーが付随しているのかを調査した結果、G019.0754-00.2874 , G019.7281-00.1135 , G020.7619-00.0646 , G020.9636-00.0744 の 4 天体は新検出であることがわかった。

メタノールメーザーは超コンパクト H II 領域が形成される以前の段階から生じ、H II 領域の成長と共に消滅することが確認できたが、メーザーの付随・未付随と H II 領域のサイズに相関関係は見られなかった。

目次

1.研究背景・目的

2.観測

3.結果

3.1 新検出とみられる天体のスペクトル図

3.2 メーザー放射が検出された天体のスペクトル図（新検出を除く）

3.3 観測天体に混入した既知のメーザー源

4.考察

5.参考文献

1. 研究背景・目的

大質量星は太陽の 8 倍程度以上の質量をもつ恒星である。大質量星は単一では形成されず、大質量の巨大分子雲の中で集団（クラスター）的に形成される。大質量星の形成については、絶対数が少ないことに加え、進化のタイムスケールが短いため、サンプルが少なく進化過程を追うのが難しい。また、太陽系近傍の巨大分子雲が少ないため空間分解能も上げにくい。このような理由で、その理解はまだ十分ではない。

そこで 6.7GHz メタノールメーザーが観測の有用なツールとして挙げられる。6.7GHz メタノールメーザーは Walsh et al.(1998)の観測により、大質量星形成において UCH II 領域（超コンパクト H II 領域、 ~ 30 [kAU]）が形成されるよりも前の段階で生じ、UCH II 領域の形成後速やかに消滅すると考えられている。メーザー源は輝度が非常に高いので、感度はそれほどよくないが超高空間分解能が得られる観測においても検出が可能である。そのため、詳細な空間分布が得られるだけでなく、時期をずらして複数回観測を行うことで、運動の解明ができる。

どの程度の H II 領域サイズでメーザーが付随するのかを知るために、本研究では H II 領域のカatalogである Co-Ordinated Radio 'N' Infrared Survey for High-mass star formation (CORNISH) database を用いて、そこにメタノールメーザーが付随しているのかを検証した。

2. 観測

本研究ではまず CORNISH survey により H II 領域と同定された天体（289 天体）から 96 天体を選び、既知のメーザー源(master cataloge)が CORNISH 天体の視直径の 2 倍の大きさ以内に存在する場合を‘既知のメーザーが付随している’とし、既知のメーザーが付随している 16 天体を除外した。次に日立局（日立 32m 電波望遠鏡）においては位置が 1 分角離れた時の振幅の減少率（約 13%）と絶対フラックス較正精度（約 10%）がほぼ等しく切り分けが困難なため、1 分角以内に複数の天体(CORNISH)が存在する場合、代表となる天体 1 ポインティングを観測することでそれらを補うことができるとし、10 天体を除外した。その結果、70 ポインティングの観測を、日立局を用いて行った。

各天体について積分時間 300 秒で on 点、off 点を観測した。この観測において検出感度は 2.0[Jy]となった。

CORNISH catalogue は北銀河面を対象とした一様・高感度で 5GHz、コンパクト電波放射源のリストである。CORNISH survey はカール・ジャンスキー超大型干渉電波望遠鏡群(Karl Jansky Very Large Array(VLA))を用いて行われた。CORNISH survey は銀河中の UCH II 領域を探るのに適したノイズレベル（ ~ 0.4 [mJy/beam]）のサーベイである。

Master catalogue はメタノールメーザー源についての論文で、ほぼ全天をカバーするよう Xu et al(2009),Caswell et al(2010),Green et al(2010),Green et al(2012),Pandian et al(2007),Pandian et al(2011)の諸論文をまとめたものである。

表 1 : 観測した CORNISH 天体のデータ (70 ポインティング)

天体名	観測名	銀経[deg]	銀緯[deg]	赤経[deg]	赤緯[deg]	視直径 [arcsec]
G010.3009-00.1477	10.31477	10.30088	-0.1477	272.23311	-20.09871	5.452
G010.3204-00.2328	10.32328	10.32038	-0.23281	272.32303	-20.12308	3.233
G010.4624+00.0343	10.40343	10.46241	0.03427	272.14759	-19.86931	5.498
G010.6234-00.3837	10.63837	10.6234	-0.38369	272.6196	-19.93031	4.638
G010.6297-00.3380	10.63380	10.62969	-0.33799	272.58012	-19.90292	3.453
G010.8519-00.4407	10.84407	10.85191	-0.4407	272.7897	-19.75779	1.825
G010.9656+00.0089	10.90089	10.96557	0.00889	272.42943	-19.44128	4.883
G011.0328+00.0274	11.00274	11.03283	0.02738	272.4473	-19.37342	1.891
G011.1104-00.3985	11.13985	11.11043	-0.39851	272.88328	-19.51157	8.355
G011.1712-00.0662	11.10662	11.17121	-0.06621	272.60463	-19.29652	10.747
G011.9446-00.0369	11.90369	11.94458	-0.03686	272.97191	-18.60485	14.64
G011.9786-00.0973	11.90973	11.97859	-0.09725	273.0449	-18.60486	1.755
G012.2081-00.1019	12.21019	12.20806	-0.10189	273.16539	-18.40592	2.841
G012.4294-00.0479	12.40479	12.4294	-0.04791	273.22738	-18.18573	2.716
G012.4317-01.1112	12.41112	12.43168	-1.1112	274.21336	-18.69117	4.398
G012.8050-00.2007	12.82007	12.805	-0.20067	273.55816	-17.92913	16.225
G012.9995-00.3583	12.93583	12.99951	-0.3583	273.80075	-17.83354	3.086
G013.2099-00.1428	13.21428	13.20989	-0.14281	273.70837	-17.54569	8.347
G013.3850+00.0684	13.30684	13.38496	0.06835	273.60252	-17.29232	19.177
G013.8726+00.2818	13.82818	13.87258	0.28179	273.6492	-16.76033	15.43
G014.1046+00.0918	14.10918	14.10457	0.09178	273.93792	-16.64754	2.86
G014.1741+00.0245	14.10245	14.17415	0.02455	274.03525	-16.61827	6.932
G014.2460-00.0728	14.20728	14.24596	-0.07284	274.15956	-16.60171	3.935
G014.4894+00.0194	14.40194	14.48936	0.01943	274.19539	-16.34357	4.628
G014.5988+00.0198	14.50198	14.59881	0.01985	274.2492	-16.24706	1.848
G014.7785-00.3328	14.73328	14.77849	-0.33278	274.66124	-16.25621	2.305
G016.1448+00.0088	16.10088	16.14482	0.00876	275.01917	-14.89054	1.597
G016.3913-00.1383	16.31383	16.39128	-0.13827	275.27294	-14.74238	11.741
G016.9445-00.0738	16.90738	16.94449	-0.07379	275.48343	-14.22393	3.458

G017.1141-00.1124	17.11124	17.11407	-0.11236	275.60081	-14.09242	2.835
G017.5549+00.1654	17.51654	17.55493	0.16536	275.56158	-13.57277	2.208
G017.9850+00.1266	17.91266	17.98501	0.12662	275.80424	-13.21118	3.558
G018.1460-00.2839	18.12839	18.14602	-0.2839	276.2532	-13.25764	23.421
G018.3024-00.3910	18.33910	18.30241	-0.39103	276.42626	-13.17194	14.634
G018.4433-00.0056	18.40056	18.44328	-0.00558	276.14443	-12.86818	2.411
G018.6654+00.0294	18.60294	18.66539	0.02935	276.21925	-12.65552	1.742
G018.6738-00.2363	18.62363	18.67381	-0.23633	276.46428	-12.77242	11.662
G018.7106+00.0002	18.70002	18.71061	0.00022	276.26724	-12.62916	2.042
G018.7612+00.2630	18.72630	18.76118	0.26298	276.05359	-12.46157	1.79
G018.8250-00.4675	18.84675	18.82499	-0.46749	276.74605	-12.74616	2.527
G019.0035+00.1280	19.01280	19.00347	0.12803	276.29172	-12.31051	2.751
G019.0754-00.2874	19.02874	19.07543	-0.28737	276.7018	-12.44112	8.489
G019.4752+00.1728	19.41728	19.47525	0.17281	276.47628	-11.87262	3.743
G019.4912+00.1352	19.41352	19.49123	0.13518	276.51801	-11.87644	11.924
G019.6062-00.9018	19.69018	19.60616	-0.90175	277.51157	-12.2561	8.863
G019.6090-00.2313	19.62313	19.60899	-0.23126	276.90585	-11.94221	3.84
G019.6781-00.1318	19.61318	19.67806	-0.1318	276.84798	-11.83372	13.197
G019.7281-00.1135	19.71135	19.72806	-0.11354	276.85563	-11.78231	3.364
G019.7407+00.2821	19.72821	19.74069	0.28206	276.50635	-11.58644	17.955
G020.0720-00.1421	20.01421	20.07196	-0.14208	277.04491	-11.49079	5.386
G020.3633-00.0136	20.30136	20.36326	-0.01355	277.06668	-11.17339	2.926
G020.4319+00.3572	20.43572	20.43189	0.35715	276.76499	-10.94012	1.641
G020.7619-00.0646	20.70646	20.7619	-0.06464	277.30151	-10.844	2.463
G020.9636-00.0744	20.90744	20.96361	-0.07435	277.40552	-10.66981	2.486
G021.3571-00.1766	21.31766	21.35708	-0.17658	277.6831	-10.36851	1.912
G021.3855-00.2541	21.32541	21.38554	-0.25408	277.76635	-10.37924	2.22
G021.4257-00.5417	21.45417	21.42574	-0.54167	278.04392	-10.47616	10.22
G021.6034-00.1685	21.61685	21.60344	-0.16854	277.79167	-10.14628	3.742
G021.8751+00.0075	21.80075	21.87515	0.00752	277.76035	-9.82522	11.479
G023.1974-00.0006	23.10006	23.19742	-0.00059	278.38714	-8.65511	2.277
G023.2654+00.0765	23.20765	23.26542	0.07647	278.34964	-8.55957	4.585
G023.4553-00.2010	23.42010	23.45526	-0.20096	278.68716	-8.51864	1.714
G023.7074+00.1646	23.71646	23.70741	0.16463	278.47385	-8.12761	30.158
G023.8618-00.1250	23.81250	23.86176	-0.12501	278.80812	-8.12308	4.048
G023.8985+00.0647	23.80647	23.89848	0.06474	278.65513	-8.00286	4.104

G023.9564+00.1493	23.91430	23.95642	0.14928	278.60501	-7.91273	13.142
G024.1839+00.1199	24.11199	24.18394	0.11994	278.73838	-7.72405	1.686
G024.4721+00.4877	24.44877	24.47206	0.48774	278.54304	-7.2989	3.863
G024.4921-00.0386	24.40386	24.49208	-0.03857	279.02371	-7.52313	4.437
G024.5065-00.2224	24.52224	24.50653	-0.22238	279.19503	-7.59474	6.188

天体名：CORNISH survey により H II 領域と同定された天体。

観測名：各天体の‘銀経の小数第一位まで’と‘銀緯の小数第一位から第四位まで’をつなげたもの。

視直径：CORNISH 天体の H II 領域の両端 2 点の見かけの角度

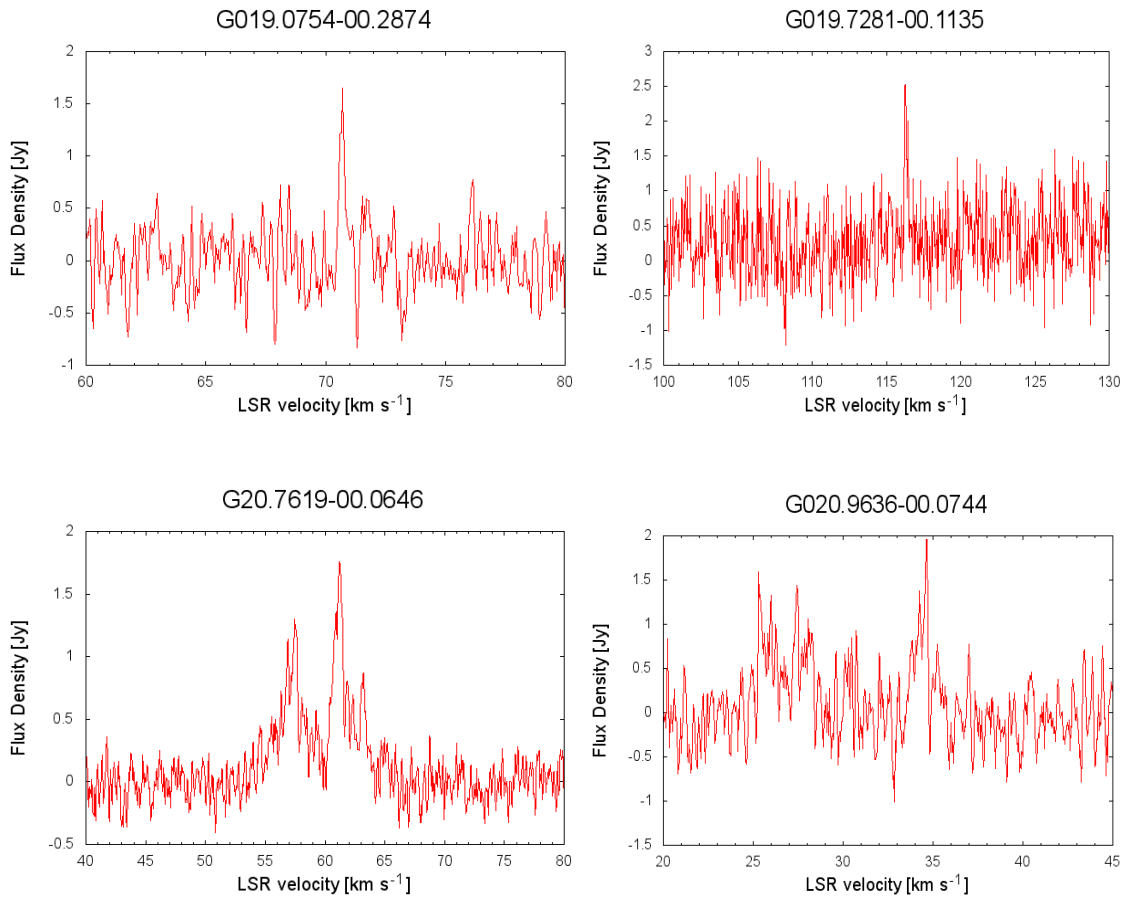
3.結果

観測した 70 ポインティングの内、35 ポインティングからメーザー放射を検出した。検出されたスペクトルを解析した結果、新検出とみられるものが 4 ポインティングあった。それ以外は 1 分角以上離れた位置に存在するメタノールメーザー源から混入したものであった。

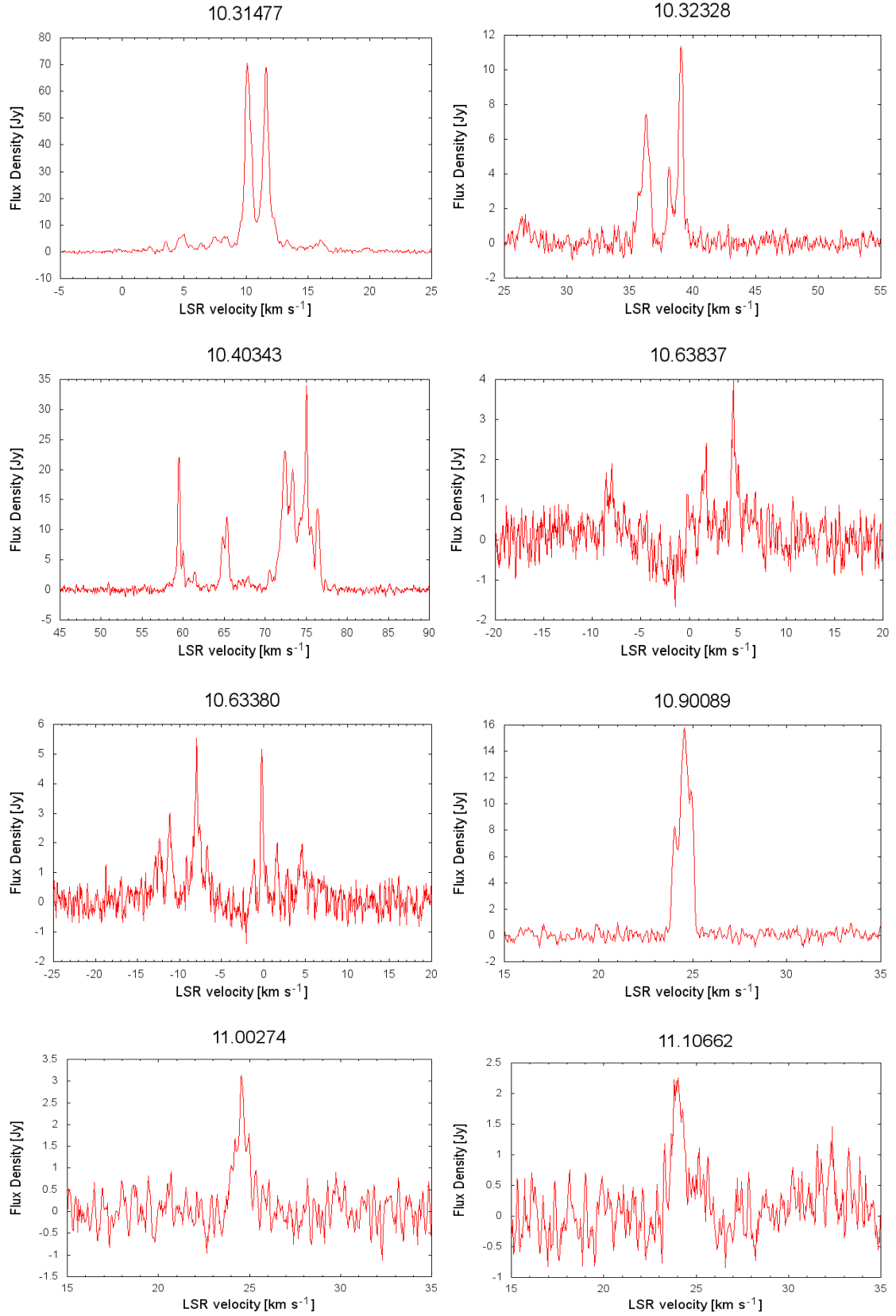
本研究ではノイズレベル（標準偏差）を 1σ とし、ピークのフラックス密度が 5σ 以上ならば‘検出’、 3σ - 5σ ならば‘マージナルディテクション’とした。その結果、‘検出’は 30 天体、‘マージナルディテクション’は 5 天体だった。

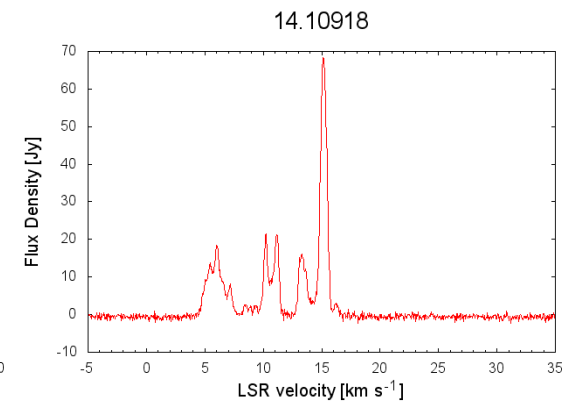
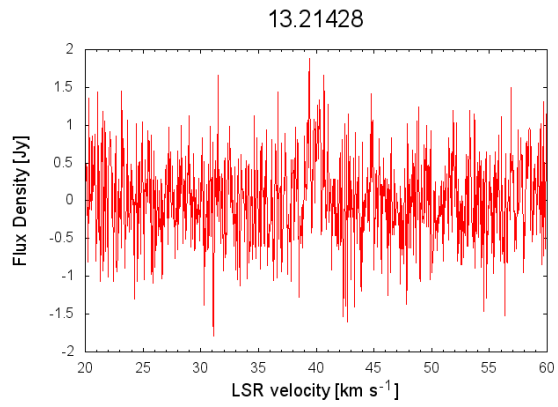
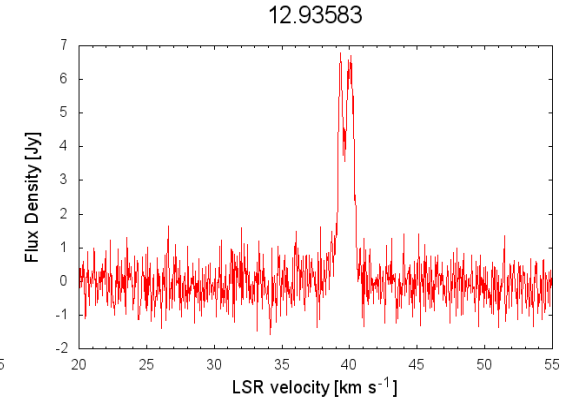
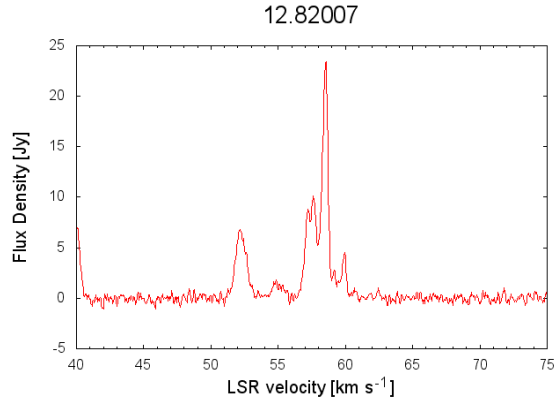
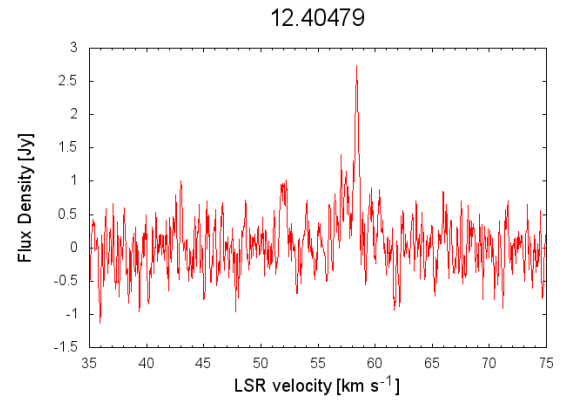
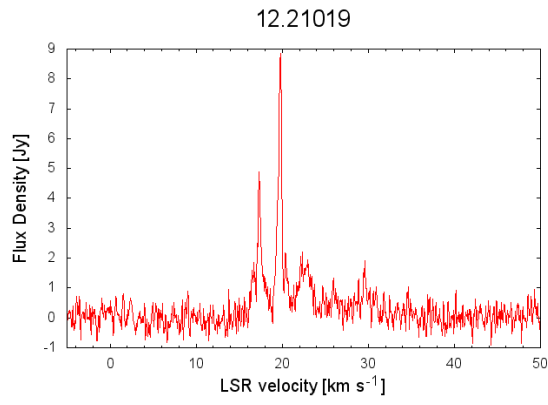
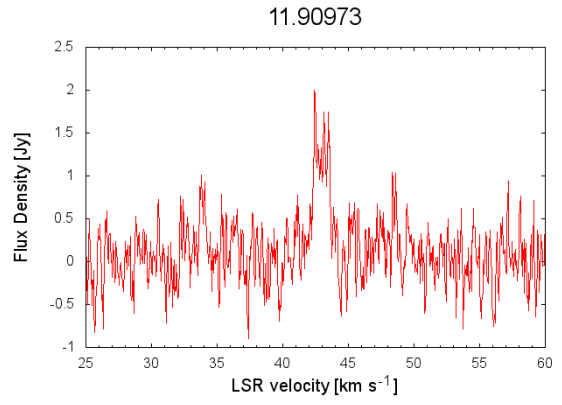
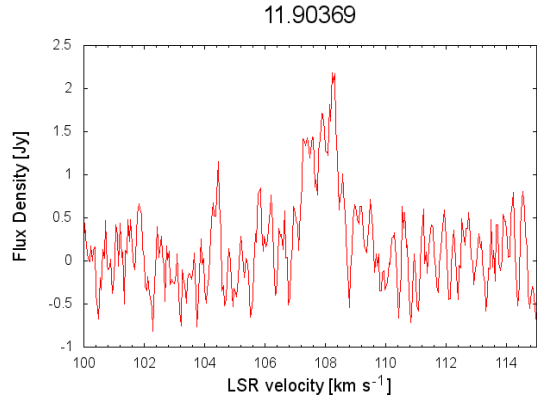
新検出とみられる天体のうち、G020.7619-00.0646 は検出感度が 3.6σ でマージナルディテクションだったため、追観測を行った。追観測は検出感度を上げるために 5 分積分を複数回（今回は 3 回）行った。それにより得られたデータを平均化することで検出感度 12.5σ を得ることができた。

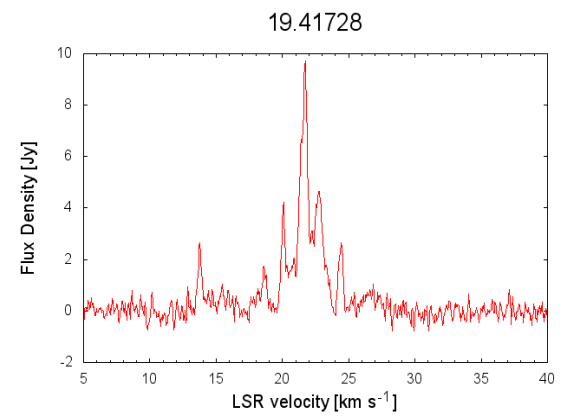
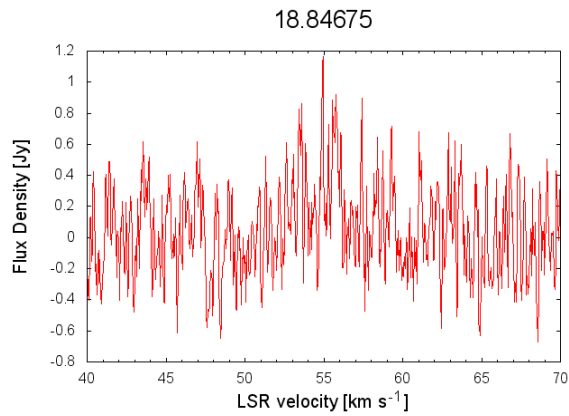
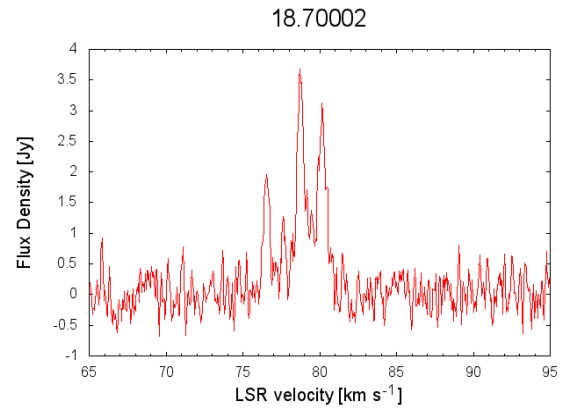
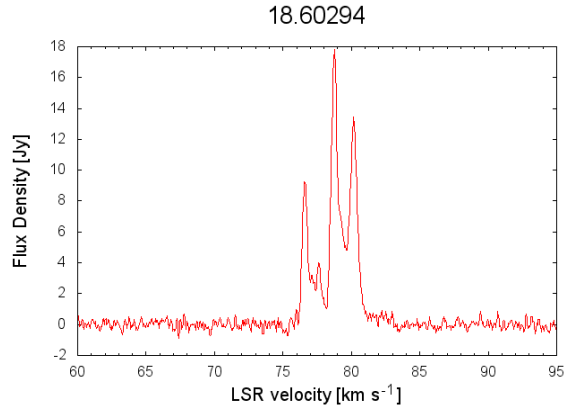
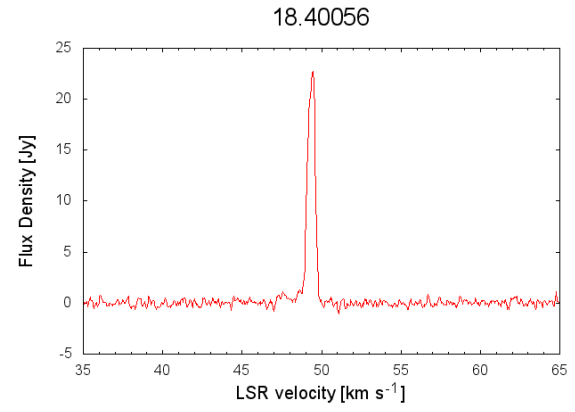
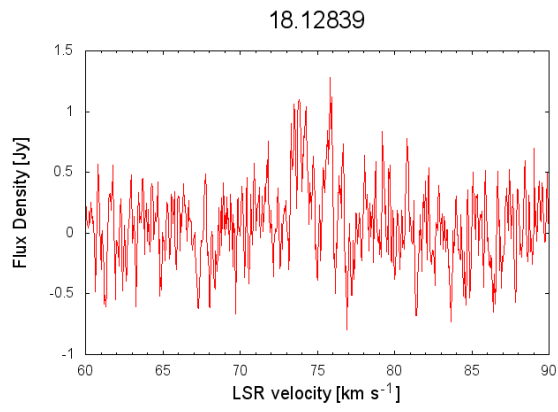
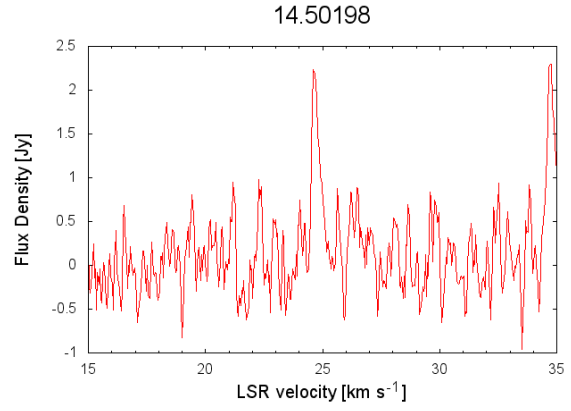
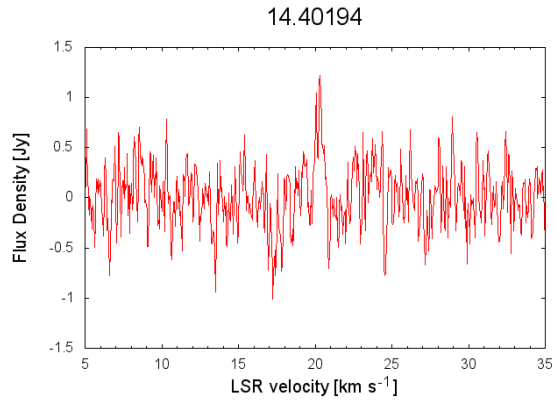
3.1 新検出とみられる天体のスペクトル図

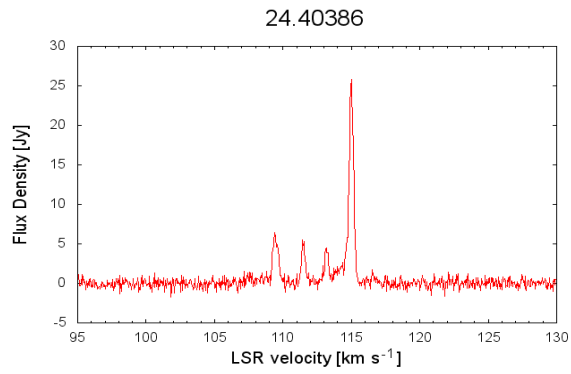
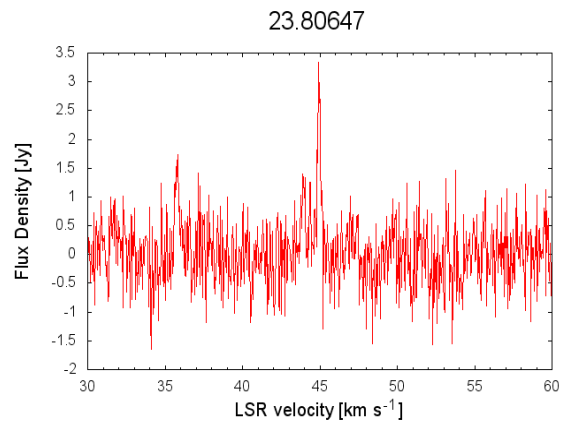
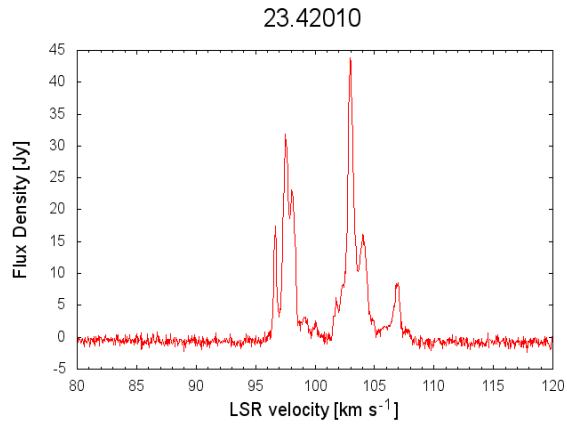
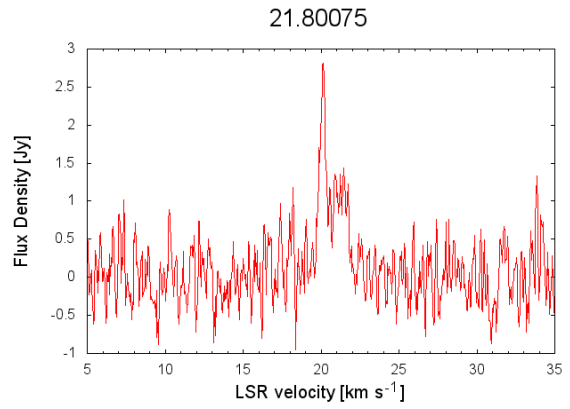
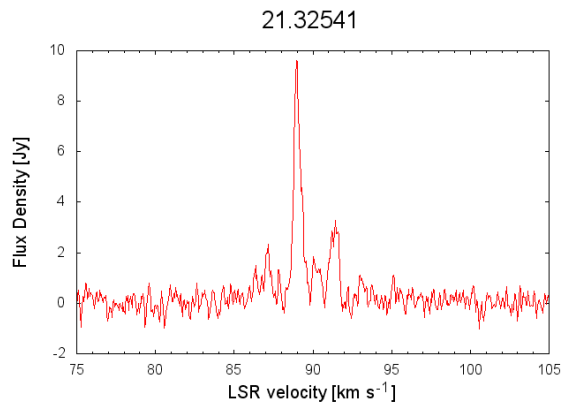
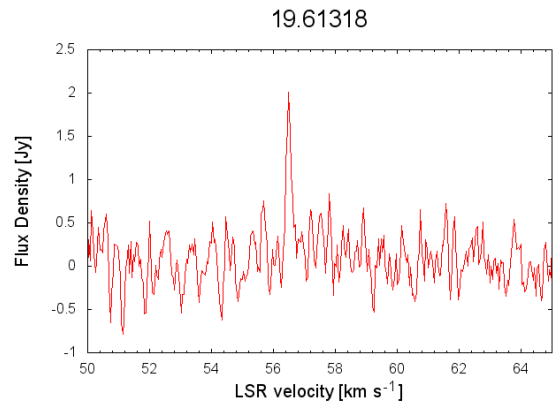
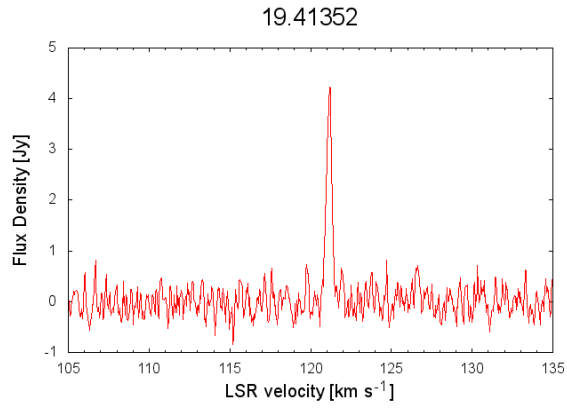


3.2 メーザー放射が検出された天体のスペクトル図（新検出を除く）









3.3 観測天体にサイドローブから混入した既知のメーザー源

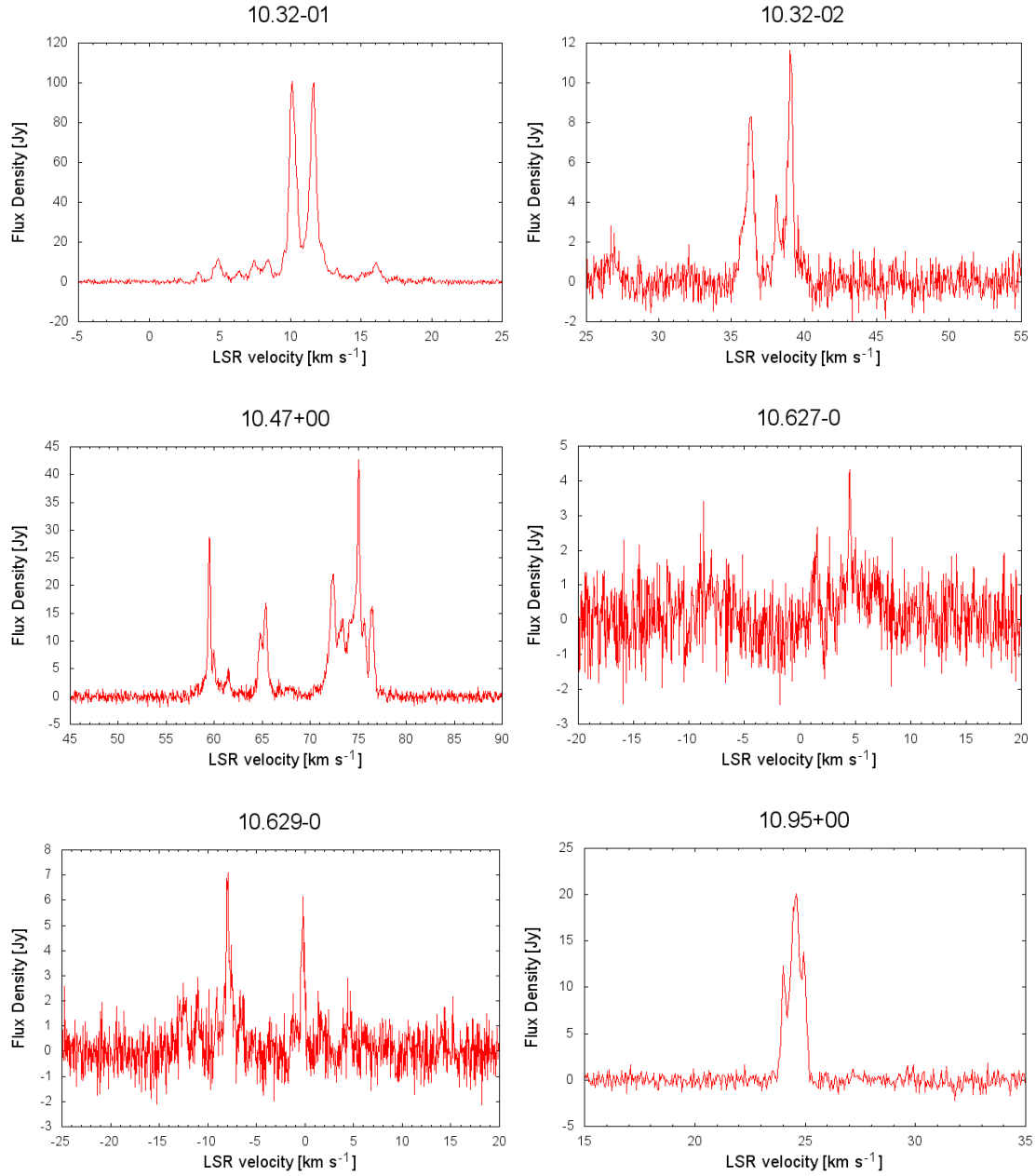
メーザー放射が検出された天体名と、それぞれに混入した既知のメーザー源を表 2 にまとめた。

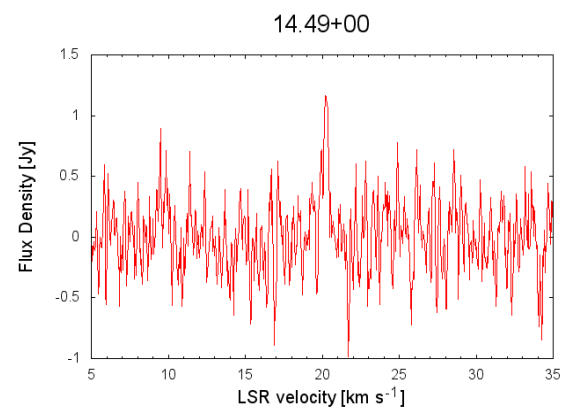
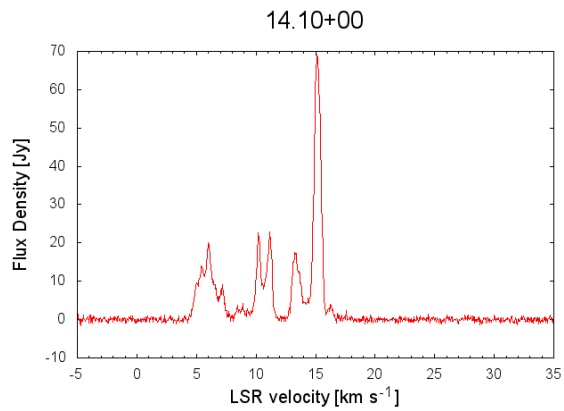
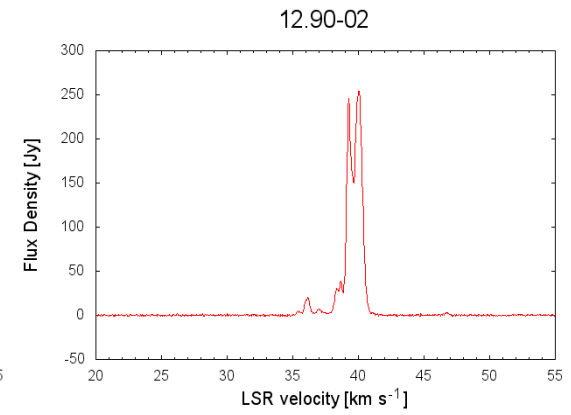
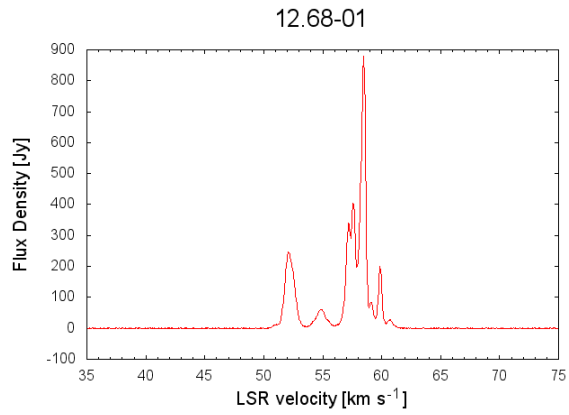
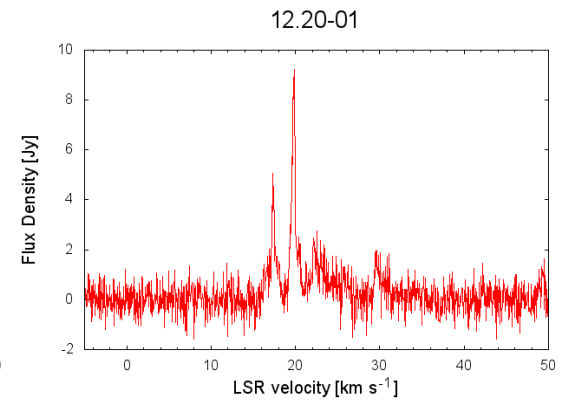
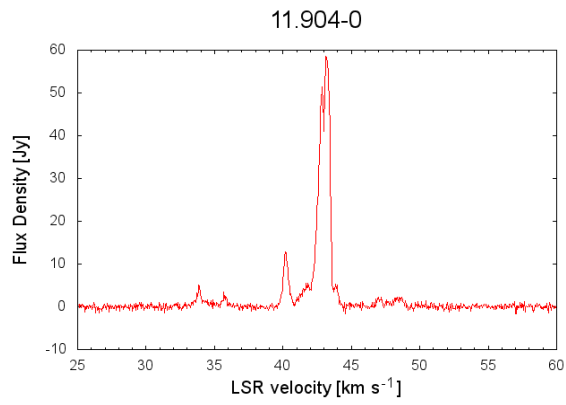
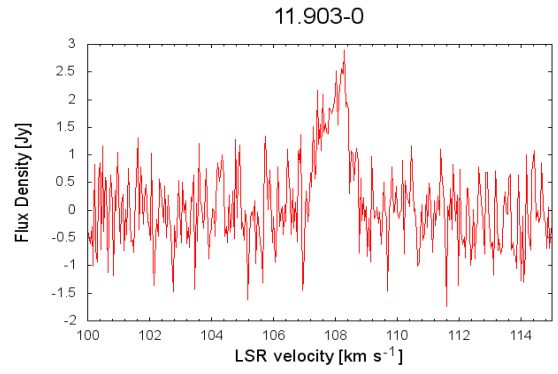
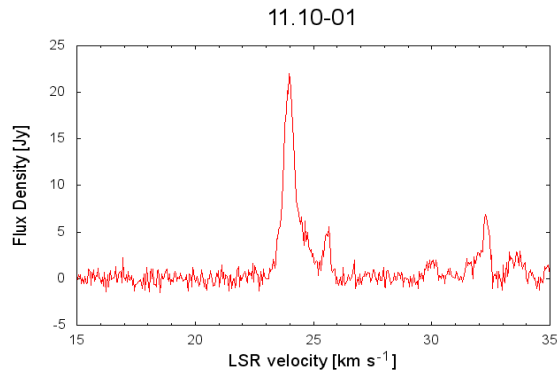
表 2：混入した既知のメーザー源と master catalogue の object code

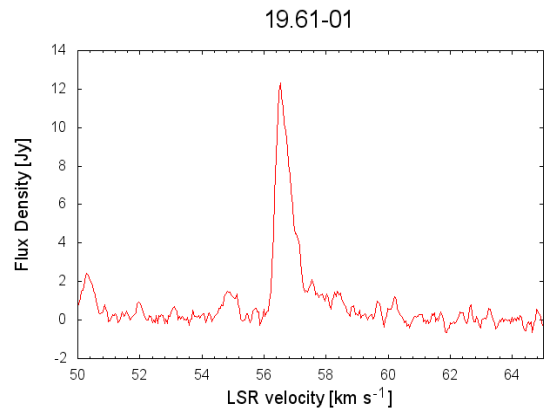
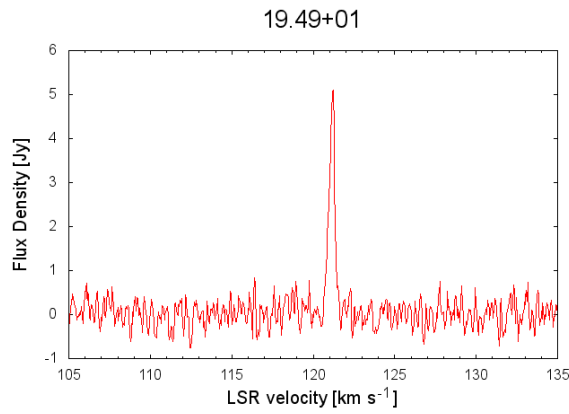
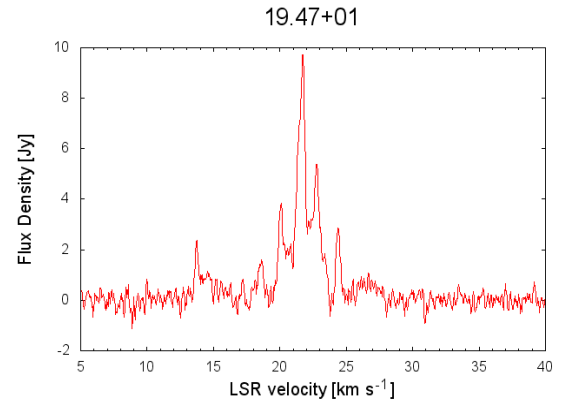
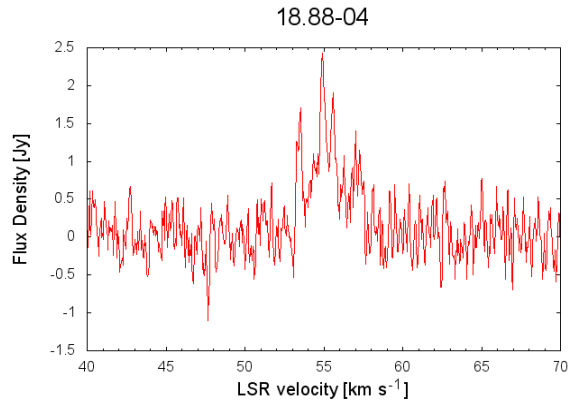
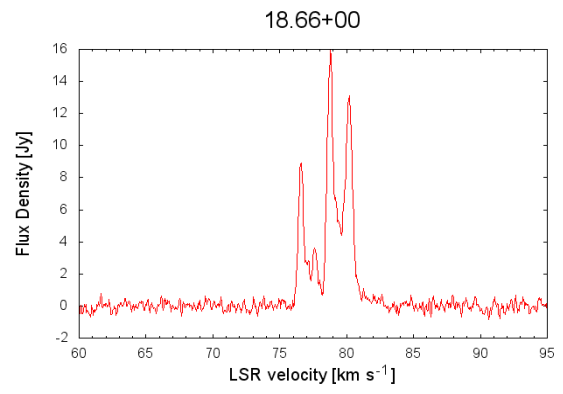
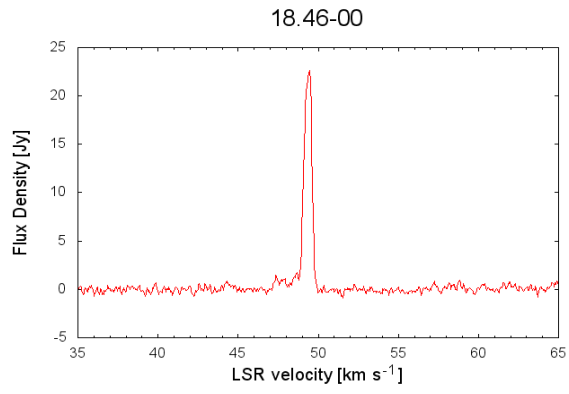
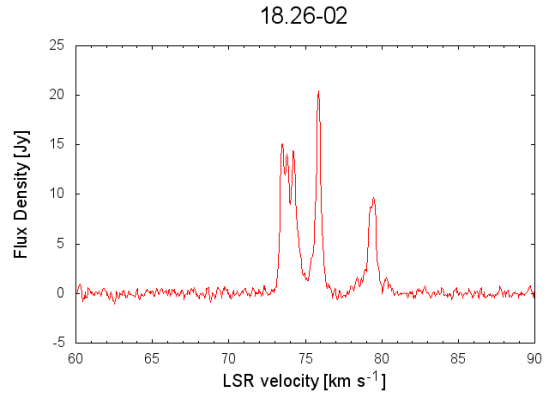
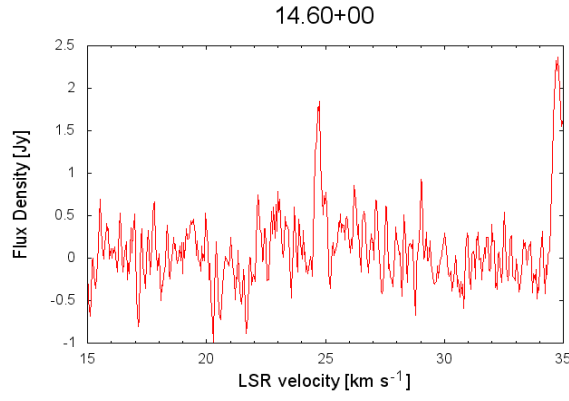
天体名	観測名	混入した既知のメーザー源
G010.3009-00.1477	10.31477	10.32-01
G010.3204-00.2328	10.32328	10.32-02
G010.4624+00.0343	10.40343	10.47+00
G010.6234-00.3837	10.63837	10.627-0
G010.6297-00.3380	10.63380	10.629-0
G010.9656+00.0089	10.90089	10.95+00
G011.0328+00.0274	11.00274	10.95+00
G011.1712-00.0662	11.10662	11.10-01
G011.9446-00.0369	11.90369	11.903-0
G011.9786-00.0973	11.90973	11.904-0
G012.2081-00.1019	12.21019	12.20-01
G012.4294-00.0479	12.40479	12.68-01
G012.8050-00.2007	12.82007	12.68-01
G012.9995-00.3583	12.93583	12.90-02
G013.2099-00.1428	13.21428	12.90-02
G014.1046+00.0918	14.10918	14.10+00
G014.4894+00.0194	14.40194	14.49+00
G014.5988+00.0198	14.50198	14.60+00
G018.1460-00.2839	18.12839	18.26-02
G018.4433-00.0056	18.40056	18.46-00
G018.6654+00.0294	18.60294	18.66+00
G018.7106+00.0002	18.70002	18.66+00
G018.8250-00.4675	18.84675	18.88-04
G019.4752+00.1728	19.41728	19.47+01
G019.4912+00.1352	19.41352	19.49+01
G019.6781-00.1318	19.61318	19.61-01
G021.3855-00.2541	21.32541	21.41-02
G021.8751+00.0075	21.80075	21.87+00
G023.4553-00.2010	23.42010	23.43-01

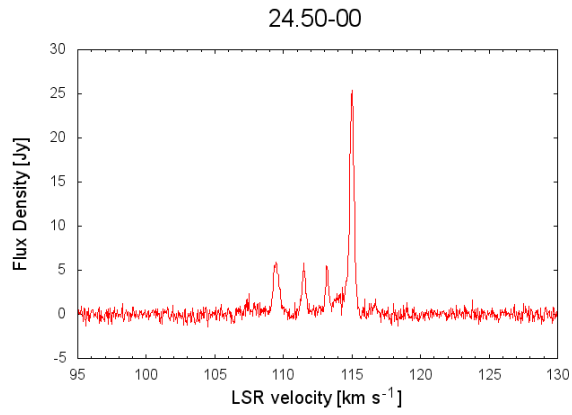
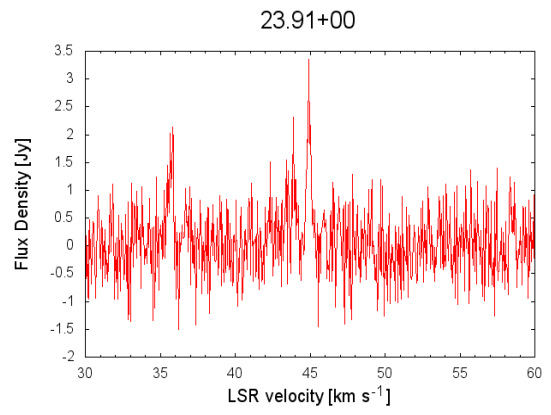
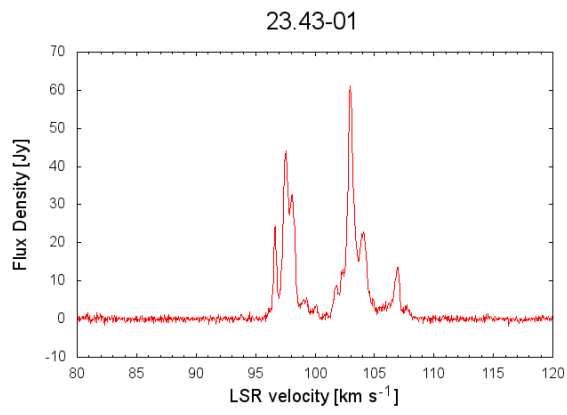
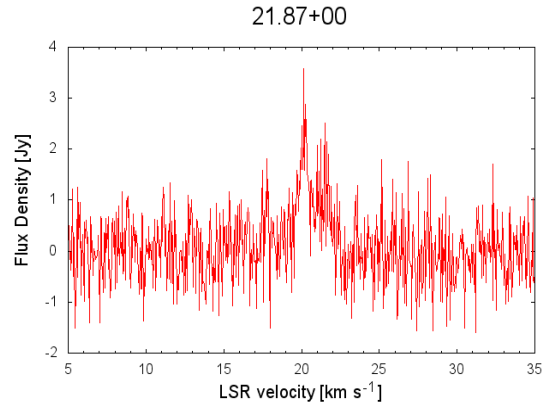
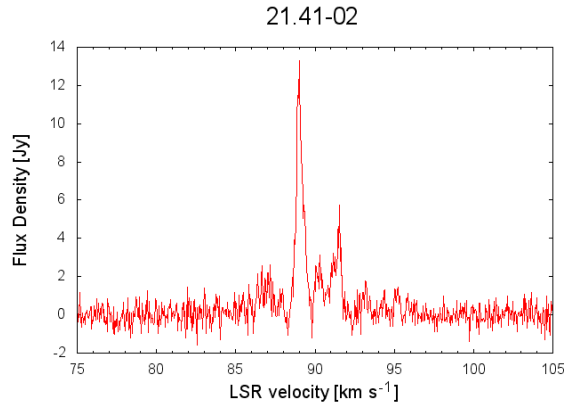
G023.8985+00.0647	23.80647	23.91+00
G024.4921-00.0386	24.40386	24.50-00

- ・ サイドローブから混入した既知のメーザー源のスペクトルを以下に示す。









4. 考察

本研究で CORNISH database から選んだ 96 天体のうち、メーザーに付随しているものは既知のメーザーが付随している 16 天体と新検出のメーザーが付随している 5 天体（4 ポインティング）であった（付随率~21.8%）。

また 96 天体について、Red MSX Source (RMS) survey database を用いて H II 領域のサイズを検証した。CORNISH と RMS の離角（offset）が 60[arcsec]以内で、H II 領域の分類（classification）が同じ場合、CORNISH の H II 領域サイズを RMS の H II 領域のサイズと同じとみなした。RMS との比較で H II 領域サイズが判明しなかった天体の内、メーザーに付随しているものは、Green et al.(2011)よりサイズを見積もった。その結果、H II 領域サイズが判明したのは、メーザーが付随しているものが 16 天体、未付随のものが 44 天体であった。

H II 領域サイズの平均は、メーザーが付随しているものが 50.8[kAU]、付随していないものは 46.1[kAU]だった。H II 領域サイズ 10[kAU]ごとの天体数（図 1）はメーザーが付随している天体も未付随の天体も超コンパクト(約 30[kAU])なものが多く、それ以上のサイズになると数が減っている。累積度数グラフ（図 2）を見てもメーザーが付随している H II 領域サイズと未付随のものでは大きな差は見られず、H II 領域サイズが約 50[kAU]までに多く存在している。

過去の観測結果から示唆されているとおり、UCH II 領域が形成されるよりも前の段階（極超コンパクト H II 領域(~10[kAU])) からメーザーが生じ、H II 領域の成長と共に消滅する傾向にあることが確認できた。しかしメーザーの付随・未付随と H II 領域サイズには相関関係はないと考えられる。

今後はマージナルディテクションだった天体について、5 分積分を複数回行い、検出感度をあげ、新検出の天体に関しては 9 点法を用いて正確な天体の位置を特定することになる。

表 3：メーザーが付随している CORNISH 天体の H II 領域サイズ

天体名	分類	視線速度[km/s]	H II 領域サイズ[kAU]
G010.4724+00.0275	UCHII	66.7	19.2898
G010.9584+00.0221	UCHII	21.4	30.1537
G011.9032-00.1407	UCHII	34.1	41.3832
G011.9039-00.1411	UCHII	42.6	7.38
G011.9368-00.6158	UCHII	37	22.3668
G012.1988-00.0345	UCHII	50.9	32.124
G017.0299-00.0696	UCHII	92.3	25.7904
G018.4614-00.0038	UCHII	52.2	33.3839
G018.8338-00.3002	UCHII	42.7	84.6468
G019.0754-00.2874	UCHII	65.5	38.2005
G019.6087-00.2351	UCHII	40.7	165.1608
G019.7281-00.1135	UCHII	60.2	13.7924
G019.7549-00.1282	UCHII	120.6	15.8692
G020.0789-00.1383	HII-Region	41.2	247.7412
G020.0809-00.1362	UCHII	41.2	37.5102
G020.7619-00.0646	UCHII	56.9	29.0634
G024.7889+00.0824	Dark HII-Region	112.4	20.4384

表 4：メーザーが付随していない CORNISH 天体の H II 領域サイズ

天体名	分類	視線速度[km/s]	H II 領域サイズ[kAU]
G010.4624+00.0343	HII-Region	68.9	47.2828
G010.4736+00.0274	UCHII	66.7	17.4408
G010.6218-00.3848	UCHII	-2.5	11.2308
G010.6223-00.3788	UCHII	-2.5	28.2142
G010.6234-00.3837	UCHII	-2.5	22.7262
G010.6240-00.3813	UCHII	-2.5	10.2067
G010.6297-00.3380	UCHII	-4.5	16.9197
G010.9656+00.0089	UCHII	19.2	12.6958
G011.1104-00.3985	UCHII	-1.1	40.9395
G011.1712-00.0662	UCHII	22.5	146.1592
G011.9446-00.0369	UCHII	39.1	183
G012.4317-01.1112	UCHII	39.7	17.1522
G012.8050-00.2007	UCHII	36.5	38.94

G012.8131-00.1976	UCHII	36.5	13.0344
G014.4894+00.0194	HII-Region	22.9	11.57
G014.5988+00.0198	UCHII	26.6	5.1744
G014.7785-00.3328	UCHII	33.2	30.1955
G016.1448+00.0088	UCHII	44.8	19.8028
G016.9445-00.0738	UCHII	-4.2	57.057
G017.1141-00.1124	UCHII	93.1	30.051
G018.1460-00.2839	UCHII	56.8	96.0261
G018.3024-00.3910	UCHII	32.8	40.9752
G018.6654+00.0294	UCHII	81.1	19.162
G018.6738-00.2363	HII-Region		52.479(※)
G018.7106+00.0002	UCHII	28.3	5.105
G018.7612+00.2630	UCHII	21.2	24.881
G018.8250-00.4675	UCHII	63.2	11.3715
G019.0767-00.2882	UCHII	65.5	11.3715
G019.4912+00.1352	HII-Region	23.1	163.3588
G019.6062-00.9018	HII-Region	34.4	24.8164
G019.6090-00.2313	UCHII	40.7	48.384
G020.0720-00.1421	UCHII	42.4	67.325
G020.0797-00.1337	UCHII	41.2	27.3168
G020.4319+00.3572	HII-Region	-10.4	27.5688
G021.3571-00.1766	UCHII	91.2	20.076
G021.3855-00.2541	UCHII	91.7	23.31
G021.8751+00.0075	UCHII	22.8	156.1144
G023.2654+00.0765	UCHII	77.6	21.091
G023.7074+00.1646	HII-Region	113	232.2166
G023.7110+00.1705	UCHII	113	36.113
G023.8985+00.0647	UCHII	39.2	51.3
G023.9564+00.1493	UCHII	79.5	60.4532
G024.1839+00.1199	UCHII	113.5	12.9822
G024.5065-00.2224	UCHII	99	33.4152

(※) distances taken from the literature, Kerton et al. 2013

図 1：H II 領域サイズごとの天体数

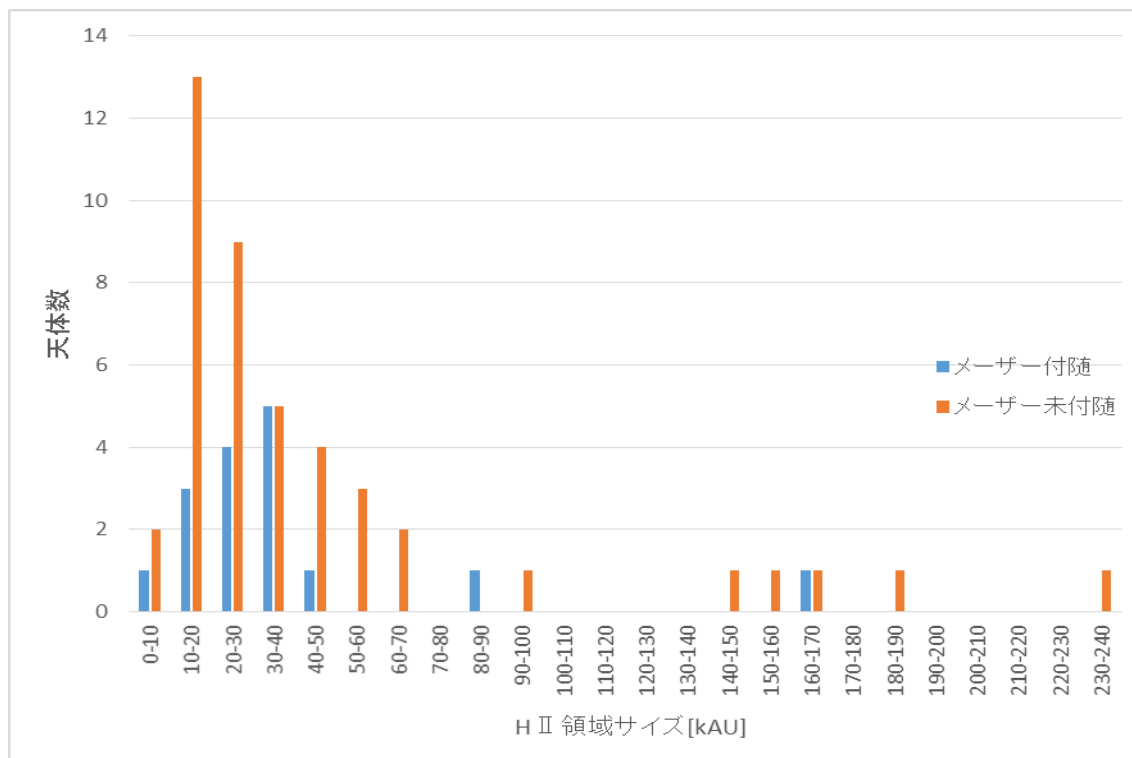
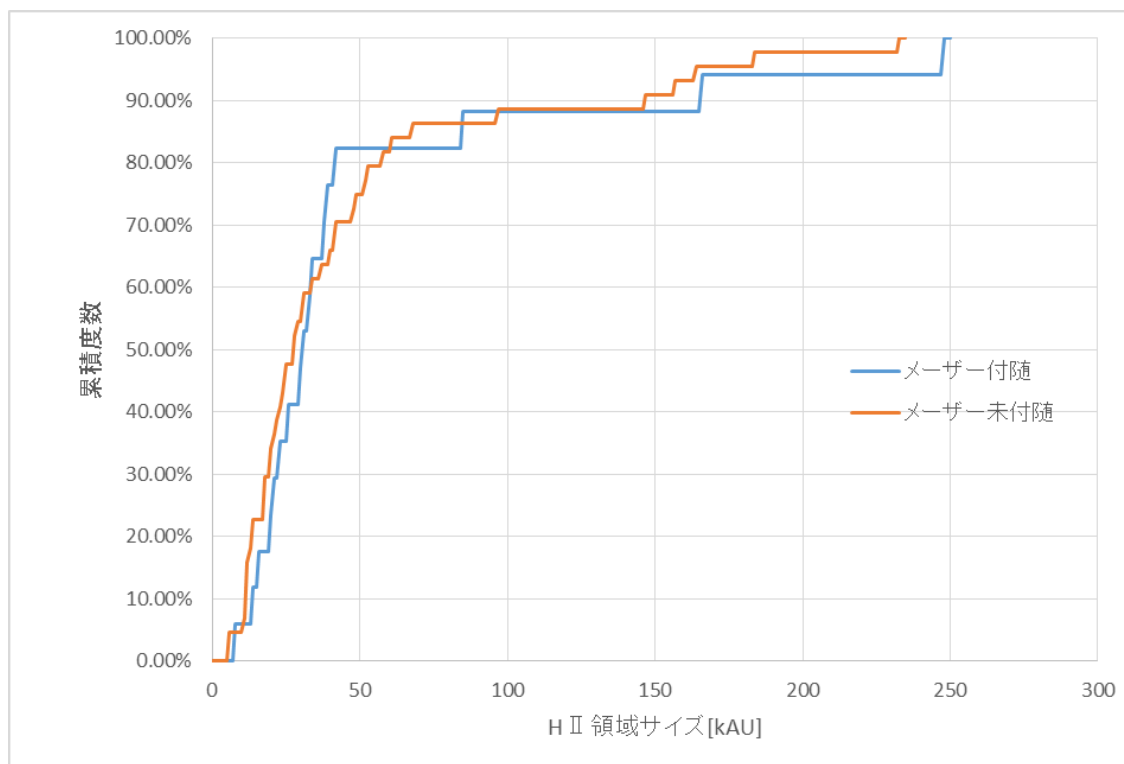


図 2：メーザーが付随している天体と未付随の天体に関する、H II 領域サイズの累積度数グラフ



5.参考文献

- [1] Walsh, A. J.; Burton, M. G.; Hyland, A. R.; Robinson, G 1998, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 301, Issue 3, pp. 640-698
- [2] Green, J. A.; McClure-Griffiths, N. M 2011, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 417, Issue 4, pp. 2500-2553
- [3] 福井康雄・犬塚修一郎・大西利和・中井直正・舞原俊憲・水野亮, “シリーズ現代の天文学 第6巻 星間物質と星形成”, 日本評論社, 2008