

1.85m ミリ波サブミリ波電波望遠鏡の開発

西村 淳

大阪府立大学大学院理学系研究科物理科学専攻 宇宙物理学研究室 M2

概要

ミリ波・サブミリ波帯における分子雲の広域サーベイ観測を目的として口径 1.85m の電波望遠鏡を開発している。本望遠鏡の特徴は、一酸化炭素分子の異なる 3 つの回転輝線(12CO, 13CO, C18O [J=2-1]) を同時に観測することで分子雲の物理状態を精度良く決定する、電波透過膜のドームで覆うことで日光や風による主鏡等の変形による各種誤差の低減を図る、OTF(On the Fly) によるスキャン観測に対応した制御システムを開発し、小口径の主鏡と相まって効率良く広域を探索する事が可能、などが上げられる。現在は望遠鏡の開発はほぼ完了し、観測サイトである野辺山に移設後、運用開始に向けて性能の評価を行っている。本講演では望遠鏡の構成と、計画の進捗について報告する。

1. はじめに

星間物質の分布と物理状態の理解は、星形成や銀河の進化を解明する上で必要不可欠となる。電波、赤外線、X 線、ガンマ線など様々な波長帯にて数分～十分角程度の分解能にてサーベイが実施され、原子ガスやダストについての広域な観測データが得られてきた。一方、分子ガスについてはこれらと比較すべき広域かつ高分解能で高品質のデータの整備が急務といえる。これまで主に一酸化炭素の回転遷移スペクトル J=1-0 について世界中で精細に調べられてきた。更に J=2-1 について観測を行うことで分子ガスについてのより正確な理解を目的に、新たな電波望遠鏡の開発を大阪府立大学が中心となり東京学芸大学、東京大学、国立天文台野辺山宇宙電波観測所の協力のもと進めている (図 1,2)。



図 1: 野辺山に設置された 1.85m 望遠鏡の外観。左のコンテナ内に制御機器はインストールされている

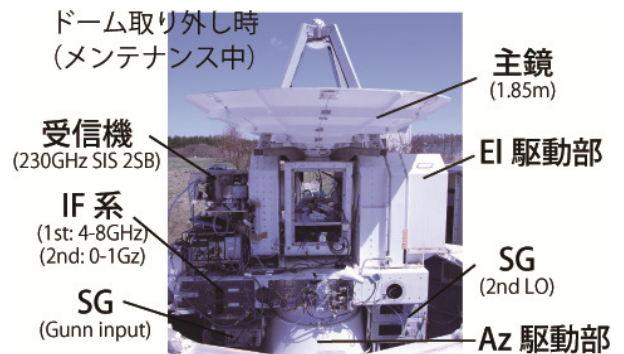


図 2: ドームを外した望遠鏡の様子。

2. 望遠鏡の構成

1.85m 電波望遠鏡の諸元を表 1 に上げる。その主な特徴としては、直径 1.85m の主鏡による広い観測視野体を同時に受信できる IF システム、低雑音な 2SB SIS 受信機、主鏡の熱や風による変形などを防ぐドームがあげられる。以下、各々の部分についてとりあげていく。

主鏡

主鏡はアルミの鋳物を削りだした 1 枚鏡である。製作後、3 次元測定を行った結果、表面精度は $19\mu\text{m(r.m.s.)}$ の結果が得られ、使用周波数帯で十分な精度を確認した (図 3)。主鏡の構造は、有限要素法解析(ANSYS を仕様)を用いて傾きや温度変化による変形が抑えられるように設計している。

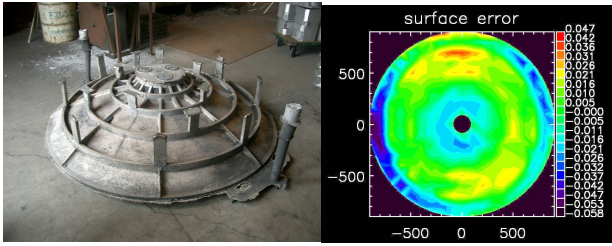


図 3: 製作した主鏡 (左) と、表面精度の計測結果 (右)

光学系

光学系はカセグレン・ナスミス方式であり、受信機は望遠鏡に搭載後固定される (図 4)。第 3 鏡にはビームスイッチ用の回転チョッパーが搭載されている。ドームに起因する定在波を除去するために定在波除去装置を搭載している。

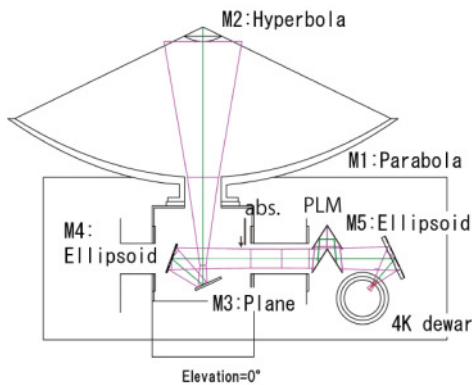


図 4: 1.85m 望遠鏡の光学系設計

定在波除去装置

定在波除去装置 (Path Length Modulator:PLM) は 4 枚の平面鏡を 2 枚ずつくの字型に平行に設置し、片方の平面鏡を平行に振動させて用いる (図 5)。一度の分光積分時間内に行路長を 1 波長以上変化させることで生じている定在波を掻き消す。これによりドームに起因すると思われるベースバンドのうねりが改善された。

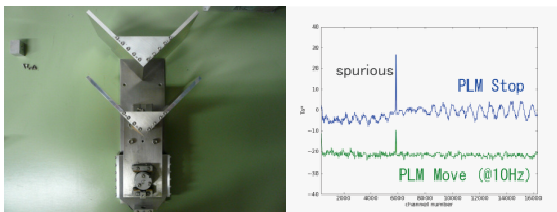


図 5: 定在波除去装置の外観 (左) と、その効果 (右)

表 1: 1.85m 電波望遠鏡諸元

望遠鏡全般	観測周波数帯	230GHz	
	分解能	2.7"	
	受信機タイプ	SIS 2SB 1pol	
	観測対象	^{12}CO , ^{13}CO , $\text{C}^{18}\text{O} J=2-1$ (同時観測)	
光学系	主鏡	直径	1850 mm
		表面精度	19 μm (r.m.s.)
		製作方法	鋳物切削
	素材	Aluminum (AC4C)	
対応周波数帯	100 - 350 GHz		
光学系タイプ	Cassegrain-Nasmyth		
ドーム	内径	2.92 m	
	素材	Gore-Tex (RA7956)	
受信機	受信機タイプ	SIS 2SB	
	受信偏波	直線方偏波	
	対応周波数帯	230 GHz	
分光計	タイプ	Realtime FFT (Acqiris AC240)	
	サンプリング	2 Gsps	
	分光帯域	0 - 1 GHz	
	分光点数	16384 点	
	線形性	-35 dBm ~ 10 dBm ($\pm 1\%$)	
駆動部	モーター	サーボモーター (パルス制御)	
	方式	経緯台方式	
	ポインティング精度	$\sim 5''$	
制御ソフトウェア	C言語, Python		

受信機

受信機 (図 6) はヘテロダイン方式で超伝導 SIS ミキサを 2SB 構成にしており、基準信号には Gunn 発信器を用いている。図 7 に受信機の性能評価の結果を示す。左が 2つのミキサそれぞれの DSB、右が 2SB 時の USB, LSB の結果である。雑音温度は 2SB でおおむね 100K 未満を達成している。

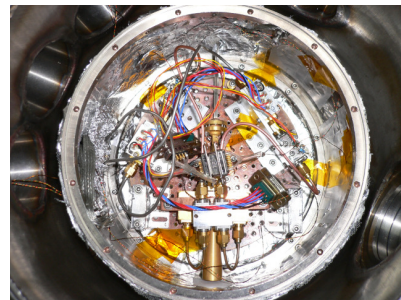


図 6: 受信機デューワの内部

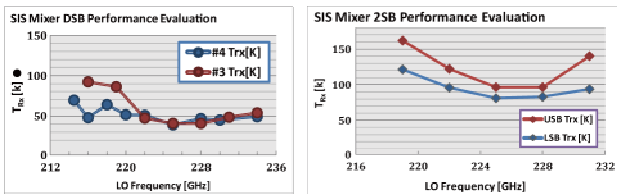


図 7: 受信機のパフォーマンス。DSB (左)、2SB (右)

中間周波数回路

受信機から 12CO が USB 側に 13CO、C180 が LSB 側にそれぞれ出力される (図 8)。それぞれの信号は 200MHz の帯域を確保しながら 0-1GHz 帯にダウンコンバートされて一つの分光計に入力される。

分光計

分光計には Acqiris 社の AC240 デジタル分光計を用いている。これは 2Gsp/s の A/D で検知し、内蔵の FPGA でリアルタイムに FFT を行う。分光計部分は PCI ボードとして実装されており、接続された Linux から制御を行っている。

システムからの出力

上の図は、分光計出力を示している。観測する CO の 3 つの輝線がそれぞれのバンドに割り当てられている。下の図はチョッパーホイールを施しただけのスペクトルデータを示す。左のバンドから 12CO, 13CO, C180 がそれぞれ受かっているのが分かる (図 9)。

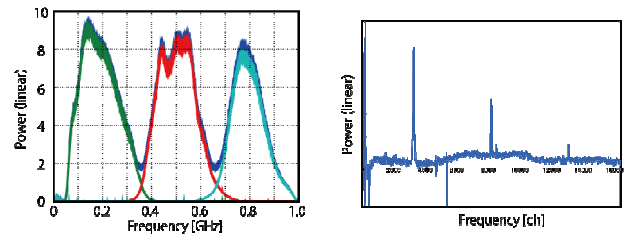


図 9: (左) 分光計に入力されるスペクトル。左から、緑:12CO, 赤:13CO, 水色:C180 のバンドとなる (右) チョッパーホイールを行った生スペクトル

3. 計画の進捗

1.85m 望遠鏡は 2007 年 5 月に大阪にて太陽連続波の受信に成功した。その後、同年 12 月に野辺山へと移設した。2009 年 5 月には OrionKL の分光観測に成功した (図 10)。

この際、受信機系の不備により得られたスペクトルは 12CO のみであった。また駆動部系の開発が追いつかず、OTF 観測は出来なかった。またこのとき、ドームに起因すると見られるベースバンドのうねりが見られた。その後、引き続き開発を行い、同年 9 月には完成した受信機系、駆動システム、定在波除去装置を組み込み、3 輝線同時に OTF 観測を行うことに成功した。また同時にベースバンドのうねりが低減されていることを確認した (図 11,12)。

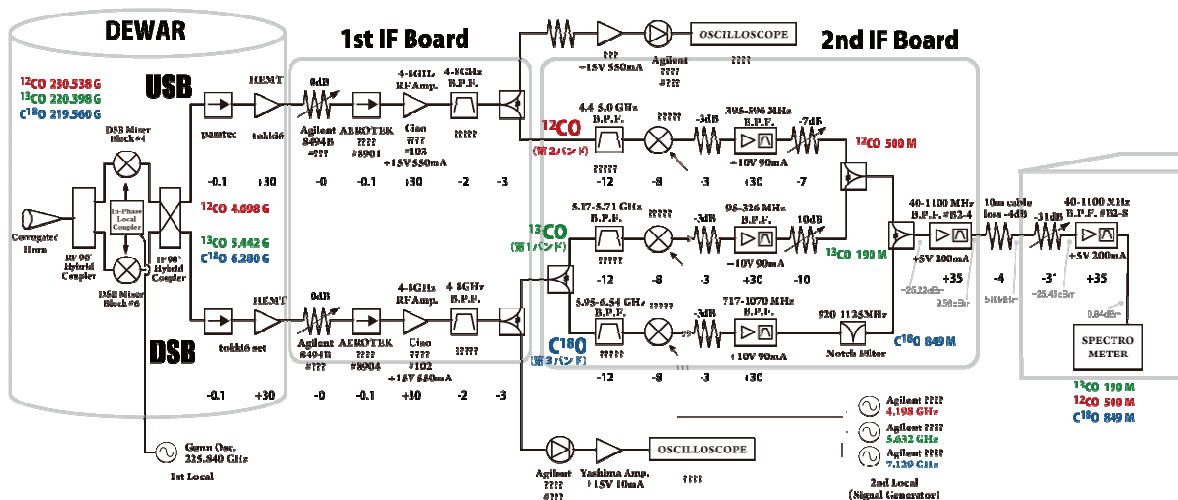


図 8: 分光受信機回路のブロックダイアグラム

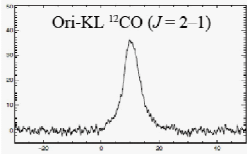


図 9:ファーストライト

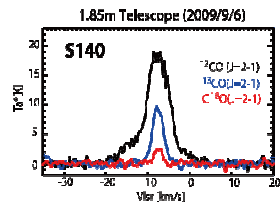


図 10: 3 輝線同時観測の結果

2009 年秋から 2010 年春にかけて望遠鏡の性能評価を行った。簡単な解析の結果、特に問題は見あたっていない。現在、詳細な解析を行っている。
 今後、2010 年秋より運用開始を予定している。また、受信機の更なる高感度化を目指して現在 OMT(Ortomode Transducer) の開発と、この OMT を

用いた 2 偏波受信機の検討・開発を並行して進めている。来年度の搭載を目指しており、これにより受信機感度が約 2 倍に引き上げられる予定である。

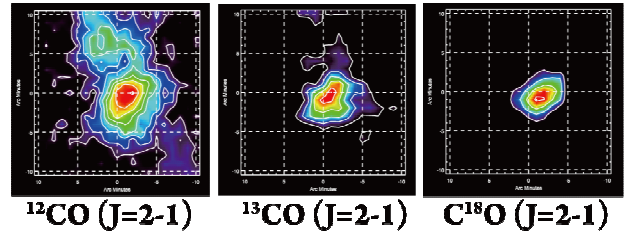


図 11: 3 輝線同時にスキャン観測して得られたマップ