

24. 南極 30cm サブミリ波望遠鏡用 2 偏波広帯域受信機の開発

筑波大学数理物質系 教授 久野 成夫

概要

星形成は天文学において最も基礎的かつ重要な物理過程である。星の原材料となる分子ガスは多様な密度・温度環境にあるため、異なる分子ガストレーサーを用いた観測が必要となる。本研究は、中性炭素輝線[CI]($^3P_1-^3P_0$)（以降、[CI](1-0)）（492GHz）で、これまでの一酸化炭素分子輝線 CO($J=1-0$)では検出できず”暗黒ガス”と呼ばれている希薄な分子ガスを、また、一酸化炭素の高励起輝線 CO($J=4-3$)（461GHz）で高温高密度分子ガスを、同時に観測できる 2 偏波広帯域受信機を開発する。この受信機を、水蒸気が地上で最も少なく天文観測に最も適した南極内陸部ドームふじに設置する南極 30cm サブミリ波望遠鏡に搭載し、天の川銀河さらには大マゼラン星雲中の希薄な”暗黒ガス”と高温高密度分子ガスを観測し、それらの空間分布と運動から星形成過程を明らかにする。

背景および目的

分子ガスの観測は一般的には一酸化炭素分子輝線 CO($J=1-0$)が使われる。しかし、希薄な分子ガスでは、CO 分子が紫外線や宇宙線によって解離してしまうため、観測が困難な”暗黒ガス”が存在することがわかってきた。本研究では、”暗黒ガス”の観測に有効と考えられる中性炭素原子[CI](1-0)輝線（492 GHz）と星形成領域に付随した高温高密度ガスの観測に適した CO($J=4-3$)輝線（461 GHz）を、南極内陸部の新ドームふじに設置した 30cm 望遠鏡（図 1：Ishii et al. 2014）で観測し（銀河面 $> 1000 \text{ deg}^2$ ）、”暗黒ガス”と高温高密度ガスの銀河系内の分布・運動と存在量を明らかにする。

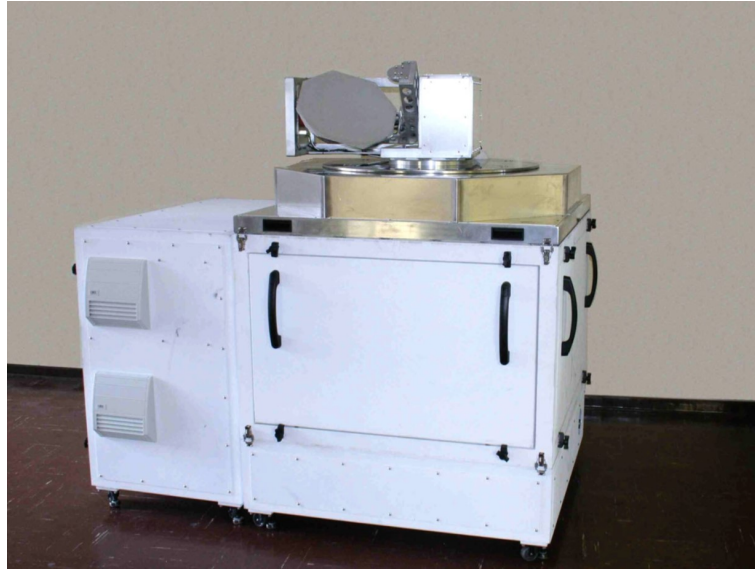


図 1. 南極 30cm サブミリ波望遠鏡

既存の CO(1-0)輝線による銀河面サーベイ観測とは同じ角分解能 ($\sim 9'$) なので直接比較が可能であり、輝線比から分子ガスの温度や密度の情報が得られる。それらの物理パラメータと銀河系の構造との比較から、銀河系における分子ガスの進化過程（希薄な分子ガス⇒分子雲⇒高密度ガス⇒星）を理解する。

30cm 望遠鏡計画は、国立極地研究所の一般観測研究として 2023 年から採択され、2029 年 3 月まで観測が実施されることが決まっている。現在の受信機は 2SB で広帯域なので 2 輝線同時観測が可能であるが、1 偏波のみ観測可能である。クライオスタット内のスペースや熱的には 2 偏波分の装置の搭載が可能な設計になっている。そこで、本申請によって 2 偏波同時に観測可能な受信機を開発し、30cm 望遠鏡の観測効率を倍にあげる。

方法

これまでの南極 30cm 望遠鏡の受信機は 1 偏波だけが観測できるものであったが、望遠鏡筐体のスペースや受信機の熱設計は 2 偏波観測が可能な設計になっているので、これをベースに新受信機を設計・製作する。ローカル信号源、低雑音アンプを購入し、国立天文台先端技術センターが ALMA バンド 8 用に開発した広帯域 SIS ミキサー（IF 帯域：8-18GHz）（Kojima et al. 2024）を 2 偏波分組み込む。国立天文台の開発した広帯域 SIS ミキサーは、ミキサーと低雑音アンプを直結したのになっており、低雑音化が期待される。実験室においてまずは SIS ミキサーの動作確認を行う。また、2 偏波化することによって受信機温度に問題が発生しないことを確認する。さらに、受信機雑音、ゲイン、周波数特性、安定度の測定を行い、期待される性能が出ていることを確認する。2 偏波化することに対応して、IF 変換装置と分光計の増設を行う（IF 用ミキサー、常温増幅器、IF 用ローカル信号源購入）。2 偏波化に対応させるために、装置制御プログラムの改修を行う。具体的には、観測装置のパラメータを指定する観測テーブル作成ツールや、中央制御プログラムと分光計制御プログラムとの通信部分の改修を行う。増設した IF 変換装置と分光計を接続し、最終的な性能評価を行う。受信機、IF 系、分光計を含めたシステム全体での線形性、安定度を評価するためにアラン分散の測定などを実施する。

結果とまとめ

受信機の 2 偏波化に関して、国立天文台先端技術センターから提供してもらった ALMA バンド 8 用広帯域 SIS ミキサーを組み込むために、デュワー内で冷凍機に設置する治具の改修、導波管及びケーブル類の交換、デュワー内シールドの改修などを行った。望遠鏡の筐体部は、受信機の 2 偏波化に伴い改修を行い、南極での厳しい環境下での作業を簡単化するため受信機を簡単に精度よく設置できる方法を取り入れた。2 偏波化しても受信機

が問題なく冷却できることが確認できた。性能に関しては、ダブルサイドバンドでは、目標とする受信機雑音温度を達成することができた。しかし、最初の測定では2SBでの受信機雑音温度に関して目標とする性能が得られなかった。原因を調べていった結果、2つの導波管の位相差があるために性能が出ていない可能性が高いことが分かったため、位相がそろった導波管に交換をした。現在、2SBでの性能評価を継続している。

2偏波化に対応させるためにIF変換装置と分光計の増設を行った。線形性、安定度の評価を実験室で行い、仕様を満たしていることが確認できた。2偏波化に応じて、装置制御およびデータ取得に関するプログラムの改修を行い、正常に動作することを確認することができた。以上のように、受信機以外の望遠鏡本体としては、2偏波同時観測の準備が完了し、2026年1月に砕氷船「しらせ」によって昭和基地へ輸送された。

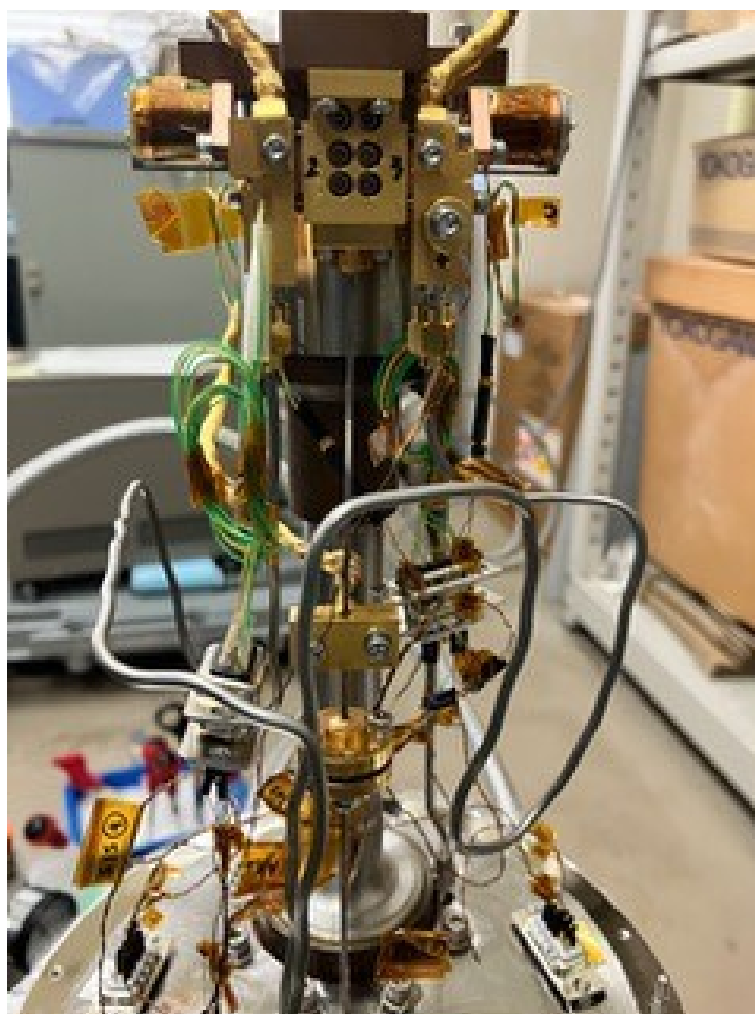


図 2. 2 偏波 2SB 受信機の内部

今後の展望

2偏波化された受信機の実験室での性能評価を引き続き行う。2026年12月には航空機によって南極沿岸部に輸送し望遠鏡本体と共に雪上車によって南極内陸部ドームふじまで輸送され、現地での望遠鏡立ち上げおよび本観測がスタートする予定である。観測は2029年2月まで行う予定である。

(完)

引用文献

- 1) Ishii, S., Seta, M., Nagasaki, T., Nakai, N., Nagai, M., Miyamoto, Y., Imada, H., Doihata, K., Saito, K., Sekimoto, Y., 2014, Proc. SPIE Vol.9145, 914535
- 2) Kojima, T., Minamidani, T., Sakai, R., Imada, H., Kaneko, K., Masui, S., Uemizu, K., Makise, K., Miyachi, A., Ezaki, S., Tamura, T., Ishii, S., Hatsukade, B., 2024, SPIE Proc. Vol.13102, 131020K