

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22244011

研究課題名(和文) 南極から探る銀河系の星間ダストの姿

研究課題名(英文) Revealing Interstellar Dust in the Milky Way from Antarctica

研究代表者

瀬田 益道 (SETA, Masumichi)

筑波大学・数理物質系・講師

研究者番号：80358994

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,300,000円、(間接経費) 10,290,000円

研究成果の概要(和文)：銀河は赤外領域で最も明るく輝いている。その放射源は星間ダストの熱的な放射である。赤外線衛星により、星間ダストの赤外線側の観測は進展したが、サブミリ波領域の観測は少なく、ダストの熱放射の温度の決定は難しかった。ダスト温度の決定には、サブミリ波領域での観測が重要である。本研究では、地上最良のサブミリ波観測サイトである、昭和基地から約1000km離れた南極ドームふじ基地において、銀河系のダストのサブミリ波観測可能な望遠鏡の開発を行った。南極での使用に適するように、耐寒性、小消費電力化に留意した設計とし、基本性能を試験で示した。また、輸送時の振動を抑えるための、輸送機器を開発した。

研究成果の概要(英文)：It is important to observe a galaxy in sub-mm wavelength for determining temperature of the dust in the galaxy. We developed a sub-mm wavelength telescope for observation of dust emission in the Milky Way. The telescope system is designed for operation at Dome Fuji station in Antarctic plateau that is located about 1000 km away from Showa station. We demonstrated that the components of the telescope operate at low temperature expected in Antarctica.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：南極

1. 研究開始当初の背景

南極大陸沿岸の昭和基地から約 1000 km 離れたドームふじ基地は、寒冷な高地であり、地上で最良のサブミリ波から赤外線領域における観測サイトである。銀河は赤外線領域で最も明るく輝いている。その放射源は星間ダストの熱的な放射である。赤外線衛星により、星間ダストの赤外線側の観測は進展したが、サブミリ波領域の観測は少なく、ダストの熱放射の温度の決定は難しかった。ダスト温度の決定には、サブミリ波領域での観測が重要である。本研究では、南極ドームふじ基地において、銀河系のダストのサブミリ波観測可能な望遠鏡の開発を行った。

2. 研究の目的

銀河系の星間ダストの物理状態の解明を目指して、500 GHz 帯の受信機を搭載した、1.2m 望遠鏡を開発し、南極の低温(最低気温マイナス 80)で過酷な環境への適応を確認し、南極ドームふじ基地で、銀河系のダストのサーベイ観測を行う事を目的としている。なお、本研究は将来計画として予定される、ドームふじ基地への 10m 級望遠鏡の設置に対して、技術的なプロトタイプとしての役割も担っている。

3. 研究の方法

富士山望遠鏡として活躍した、1.2 m 望遠鏡をベースに、南極大陸内陸部のドームふじ基地での観測を目指した 500 GHz 帯のサブミリ波受信機を開発し、1.2 m 望遠鏡に搭載する。南極ドームふじ基地での過酷な環境に対応し、かつ、南極で要求される低い消費電力で動作するシステムに仕上がるように基本設計を行い、基本設計の妥当性を計算機によるシミュレーションを含めて検証し、実際に、実験室において、基本性能を確認した。

4. 研究成果

(1)南極用望遠鏡への基本設計

銀河系のダストのサーベイ観測を行う、南極ドームふじ基地は、沿岸の昭和基地から 1000 km 内陸に位置する、寒冷(平均気温マイナス 55)な高地(標高 3810 m)である。このような地での望遠鏡の運用には、耐寒性や低い気圧に対する対策が必要である。また輸送に関しては、ドームふじ基地は、沿岸の昭和基地からは、約 1000 km 離れており、基本的な輸送手段である、雪上車牽引の橇では、片道 3 週間を要する。経路上には、雪面の状態の悪い悪路区間(みずほ基地から中継拠点)があり、輸送時の振動対策も必要である。さらに、電力は自家発電のため、発電用の燃料輸送の制約から、望遠鏡機器の低消費電力化も不可欠となる。基本設計においては、これらの諸条件を考慮して、電子部品、駆動部の低温対策、受信機系の低消費電力化、輸送への対処の基本的な対処方法を検討した。

(2)低温対策

低温対策としては、電子部品の低温下での故障とモータ等の駆動部の駆動不良が主な問題となる。電子部品に関しては、より過酷な環境である、宇宙でも使用されている部品を使う選択肢も検討したが、コストの面で困難であった。想定される低温環境を計算機によるシミュレーションで検討した結果、断熱材を用いた保温を基本として、内部機器による発熱及びヒータを用いた積極的な加熱を行うことで、望遠鏡内部は、マイナス 10 以上に保つことは可能であり、ヒータを強化すれば、さらに高い温度でも保持が可能な見込みを得た。そこで、特殊な部品を用いることなく、電子機器を設置する環境の温度を、機器が壊れない温度に保持する設計方針とした。ただし、夏における輸送でも、輸送システムにヒーターを搭載しない場合には、マイナス 40 の環境にさらされる恐れがある。それへの対処として、保管温度を設定し、実験室において、冷凍庫に電子機器を入れ、冷凍保管を経ても、その後、常温に戻せば、機器の動作に支障が生じないことを確認した。

駆動部に関しては、滑らかに回転させるために軸受に装填されているグリスの硬化が問題となる。グリスは国立極地研究所で開発された低温用のグリスが使用可能であるが、電子機器と同様に、モータ付近の保温とヒータによる加熱で、南極の低温下における環境でも硬化が起こらない温度に保てる見込みを計算機シミュレーションにより確認した。装置の関係で冬の期間におけるマイナス 80 の実証は行えなかったが、南極の夏の条件においては、保温とヒータ加熱により、望遠鏡の動作に問題が無いことを実証した。

低温においては、電源及び信号のケーブルも問題が生じる。ケーブル類は通常は柔軟性を有しており、配置時の接続に問題はないが、低温下においては、ケーブルが硬化してしまい、所望の形状に配線することが困難である。設置時に保温スペースを設ければ解消するが、保温スペースの建設には時間を要し、限られた設置期間を有効に使うためにも、低温下でも施行可能なケーブルの開発を試みた。ケーブル硬化の原因は、中心の金属線を覆う被覆部がガラス転移を起こすことにある。通常のゴムの場合にはマイナス 20 ぐらいが転移温度である。芯線の材質や必要電力量を検討して、作業期間である南極夏では、柔軟性が維持できるケーブルを開発した。ケーブルは実際に、低温下で柔軟性が確保されていることを実験室の試験において検証した。

(3)受信機開発

検出器部に関しては、多素子化が期待できる MKID を用いた電波カメラの開発を進めた。MKID は、超伝導素子であり、サブミリ波の入射により、素子の力学的なインダクタンスが変化することを用いて信号の検出を行う。読み出し回路が一本で済むため、ダストの姿を描く際に有利な多素子化に適した検出器で

ある。MKID 本体に加え、望遠鏡からの光学系を MKID へと結合するレンズ系の検討も進めた。多素子化のための、集光レンズの小型化、レンズ材料の最適化やコーティングによる損失の低減等を検討し、実験によりその妥当性を確認した。

冷却受信機の運用は、4 K 以下の極低温を必要とする。南極の極めて厳しい電力事情では、冷凍機の低い消費電力化も重要な課題である。熱設計を高精度して、従来より小型も冷凍機で冷却ができないかを検討した。500GHz 帯の受信機に対して、2.5 kW という低い消費電力の冷凍機を用いて、受信機の冷却を試みた。赤外線フィルターの追加、多層膜断熱材 MLI の追加、信号ケーブルの長さ、熱伝導率の大きな物質を用いた熱アンカーの材質やアンカー位置の最適化を行い、ヘテロダイン受信機としては、世界最良の低い雑音を達成しながら、4 K 以下の冷却に成功した。この受信機は、南極ドームふじ基地相当の低い気圧下(600 hPa)でも動作することを確認済みである。

(4)振動対策

想定される輸送時の振動に関しては、南極ドームふじまでの輸送路の振動を調査し、基礎的な資料として、振動スペクトルを取得した。望遠鏡の搭載機器は、強固な作りを基本とするが、特殊な振動対策は設けることはせずに、輸送箱に振動減衰機構を設けて対応することとした。減衰ダンパーの試作を行い、加振動試験を実施した。試験の結果概な減衰特性を得たが、低い周波数領域においては、改良の余地が判明したため、現在改良中である。

(5)南極での望遠鏡運用

南極ドームふじ基地における、望遠鏡の運用に関しては、昭和基地沿岸が厚い氷床で覆われるという異常な気象条件が起こり、南極輸送船新しらせが、昭和基地に2年続けて接岸できない異常事態が発生した。そのために、南極への物資の輸送が滞り、内陸部の研究は延期を余儀なくされ、ドームふじでのサブミリ波観測は、未だ実現には至っていない。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 10 件)

- (1) Sashida, T., Oka, T., Tanaka, K., Aono, K., Matusura, S., Nagai, M., Seta, M., "Kinematics of Shocked Molecular Gas Adjacent to the Supernova", *Astrophysical Journal*, 774, 10-16, 2013. 査読有り
DOI 10.1088/0004-637X/774/1/10
- (2) Ishii, S., Seta, M., Nakai, N., Miyamoto, Y., Nagai, M., Arai, H., Maezawa, H., Nagasaki, T., Miyagawa, N., Motoyama

H., Sekimoto, Y., Bronfman, L., "Development of a Transportable Telescope for Galactic Survey at 500 GHz in Antarctica", *IEEE Transaction on Terahertz Science and Technology*, 3, 15-24, 2013. 査読有り
DOI 10.1109/TTHZ.2012.2235912

- (3) Nitta, T., Naruse, M., Sekimoto, Y., Mitsui, K., Okada, N., Karatsu, K., Sekine, M., Matsuo, H., Noguchi, T., Uzawa, Y., Seta, M., Nakai, N., "Beam Pattern Measurements of Millimeter-wave Microwave Kinetic Inductance Detector Camera with Direct Machined Silicon Lens Array", *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 3, 56-62, 2013. 査読有り
DOI 10.1109/TTHZ.2012.2235123
- (4) Salak, D., Nakai, N., Miyamoto, Y., Yamauchi, A., "Large-Field CO(J=1-0) Observations of the Starburst Galaxy M82", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 3, 66(1-15), 2013. 査読有り
DOI 10.1093/pasj/65.3.66
- (5) Seta, M., Nakai, N., Ishii, S., Nagai, M., Miyamoto, Y., Ichikawa, T., Nagasaki, T., Motoyama H., "Dome Fuji in Antarctica as a Site for Infrared and Terahertz Astronomy", *Astrophysics from Antarctica*, IAU symp. 288, 251-255, 2013. 査読無し
DOI 10.1017/S1743921312016961

[学会発表](計 24 件)

- (1) 新田冬夢, 関本裕太郎, 都築俊宏, 唐津謙一, 三ツ井健司, 岡田則夫, 野口卓, 関口繁之, 関根正和, 岡田隆, Shibo Shu, 成瀬雅人, 今田大皓, 瀬田益道, 中井直正, 「南極 10 m テラヘルツ望遠鏡搭載用 850 GHz 帯超伝導カメラの基本設計」, 日本天文学会 2014 年春季年会, 国際基督教大学, 東京, 2014 年 3 月 20 日.
- (2) 長崎岳人, 瀬田益道, 中井直正, 永井誠, 石井峻, 土井畑幸一郎, 「南極用小型冷却受信機熱設計の高精度検証」, 日本天文学会 2013 年秋季年会, 東北大学, 宮城県, 2013 年 9 月 10 日.
- (3) 瀬田益道, 中井直正, 永井誠, 石井峻, 宮本祐介, 今田大皓, 新田冬夢, 菅谷元典, 小野寺唯, 長崎岳人, 荒井均, 関本裕太郎, 野口卓, 南極天文コンソーシアム, 「南極 10m テラヘルツ望遠鏡計画」, 日本天文学会 2013 年秋季年会, 東北大学, 宮城県, 2013 年 9 月 10 日.
- (4) 香川博之, 岡本竜平, 金高義, 石沢賢

二,市川隆,沖田博文,瀬田益道,中井直正,「南極天文観測のための物資輸送橋の振動測定」,日本天文学会2013年秋季年会,東北大学,宮城県,2013年9月11日.

(5)齋藤浩太,瀬田益道,永井誠,宮本祐介,石井峻,中井直正,長崎岳人,今田大皓,土井畑幸一,ほか宇宙観測グループ,「南極サブミリ波望遠鏡の電気系統の設計と評価試験」,日本天文学会春季年会,埼玉大学,埼玉県,2013年3月22日.

(6)新田冬夢,関本裕太郎,唐津謙一,三ツ井健司,岡田則夫,松尾宏,野口卓,成瀬雅人,関口繁之,関根正和,瀬田益道,中井直正,「AI膜超伝導共振器を用いた1000素子ミリ波カメラの開発」,日本天文学会春季年会,埼玉大学,埼玉県,2013年3月22日.

(7)大倉裕樹,瀬田益道,宮本祐介,石井峻,中井直正,荒井均,扇野光俊,長崎岳人,Dragan SALAK,二本松佳樹,他宇宙観測グループ,「南極サブミリ波望遠鏡の低温対策」,日本天文学会春季年会,龍谷大学,京都,2012年3月22日.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.px.tsukuba.ac.jp/home/astro/nakai/www0/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

瀬田 益道(Seta Masumichi)
筑波大学・数理物質系・講師
研究者番号:80358994

(2)研究分担者

中井 直正(Nakai Naomasa)
筑波大学・数理物質系・教授
研究者番号:80192665

(3)連携研究者

永井 誠(Nagai Makoto)
筑波大学・数理物質系・助教
研究者番号:50522877

関本 裕太郎(Sekimoto Yutaro)
国立天文台・先端技術センター・准教授
研究者番号:70262152