

平成 22 年 5 月 25 日現在

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2007～2009

課題番号：19204016

研究課題名（和文）南極天文学を切り開くサブミリ波サーベイ望遠鏡の開発

研究課題名（英文）Development of Sub-mm Telescope for Opening Astronomy at Antarctica

研究代表者

瀬田 益道 (SETA MASUMICHI)

筑波大学・大学院数理物質科学研究科・講師

研究者番号：80358994

研究成果の概要（和文）：

近年の技術発展でサブミリ波からテラヘルツ帯での天体観測が現実的となった。ところが、この帯域は大気の吸収が強く観測可能な地は限られていた。我々は寒冷な高地である、南極大陸内陸部に着目してきた。サイト調査として、南極ドームふじで 220 GHz の大気透過率を測定したところ、地上最良と思われ大型干渉計 ALMA の建設の進むチリ北部の砂漠地帯よりも優れていることを示した。ドームふじでの天体観測用に 30cm 望遠鏡を開発した。500 GHz 受信機を搭載し、天の川の一酸化炭素及び炭素原子の観測を行う。実験室での評価試験を経て、スイスアルプス及び南米のチリで試験観測を行った。

研究成果の概要（英文）：

We evaluated atmospheric transparency at Dome Fuji. It is superior to Atacama desert in Chile. We developed a 30cm sub-mm telescope that will be used in Dome Fuji in Antarctica. It is equipped with a heterodyne 500 GHz receiver for observation of Milky Way in CO and CI lines.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	20,400,000	6,120,000	26,520,000
2008 年度	9,100,000	2,730,000	11,830,000
2009 年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
年度			
年度			
総計	35,200,000	10,560,000	45,760,000

研究分野：電波天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：サブミリ波 南極

## 1. 研究開始当初の背景

サブミリ波からテラヘルツ帯域の検出器機は長年、技術的な空白地帯であったが、近年の技

術発展により、この帯域での天体観測が現実的となった。この波長域の天体観測により、「銀河形成」や「星形成」の解明が進むと期待され

ているが、これらの波長域では大気吸収が強く、観測サイトが限られていた。ハワイのマウナケア山頂やチリ北部の砂漠地帯が観測サイトとして開拓されてきたが、十分な観測条件は得られていない。我々は、低温で乾燥した高地である南極大陸内陸部の高原地帯に着目した。

## 2. 研究の目的

日本は、南極大陸内陸の高原地帯にドームふじ基地を保有している。ドームふじは低温(最低気温 $-80^{\circ}\text{C}$ )で標高が高い(中緯度帯での気圧換算標高 4300 m)ため、サブミリ波を吸収する大気中の酸素と水蒸気が少なく、地上で最も天文観測に適した場所と考えられる。そこで、ドームふじの天体観測サイトとしてのサイト調査を行い、銀河面のサーベイ観測を行うための、広視野高感度サブミリ波電波望遠鏡を開発することを研究の目的とした。

## 3. 研究の方法

南極天文学の実現を目指して、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において天体観測サイト調査を行った。調査項目としては、他のサイトでの調査データの蓄積があり、比較が容易な 220 GHz における大気透過率の測定、輸送路の振動条件等の測定を行った。また、ドームふじでの運用を目指した可搬型 30cm サブミリ波望遠鏡を開発し、実験室による評価試験、試験観測を経て、南極で天体観測に備えた。

## 4. 研究成果

ドームふじの天体観測サイトとしての有用性を示すために、ラジオメータにより、220 GHz 帯の大気透過率を測定した。測定期間は条件が悪い夏にも関わらず、大気透過率は予想と変わらず良好 ( $\tau_{220} = 0.045$ ) で、安定 ( $\sigma = 0.007$ ) していることを示した(図 1)。これまで地上で最高とされ、国際協力により大型干渉計 ALMA の建設が進む、チリ北部の砂漠地帯と比べても、チリの最良期の冬と同等であることが分かった。ドームふじの冬は、気温の低下で透過率がさらに向上するため、地上で最良の観測サイトと言える。

大気透過率の測定に加え、ドームふじまでの輸送路の振動条件を加速度計により測定した。大きな加速は、荷物の積み降ろし時に発生するが、ドームふじへの輸送途上にある、みずほ基地から中継地点までの間の振動が大きな事が判明した。従来からこの地域は、サスツルギ帯として、雪面が悪いこと知られていたが、加速度計のデータにより改めて確認した。ただし、サスツルギ帯を通過したラジオメータは日本へ戻った後も異常なく正常動作したことから、適切な緩衝材の採用で、精密機器の輸送は可能であると言える。

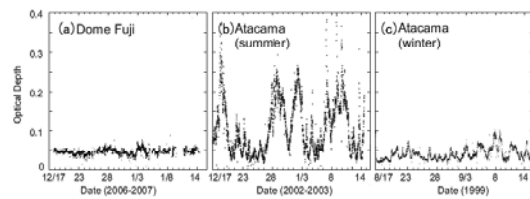


図1 ドームふじにおける220GHzの大気透過率(横軸の測定日に対する縦軸の光学的厚みの値が小さいほど良好)

サイト調査の次のステップとして、30 cm 可搬型サブミリ波望遠鏡を開発した。30 cm 鏡は、500GHz の超伝導受信機を搭載し、星間物質の主要なプローブである、一酸化炭素分子( $\text{CO } J=4-3$ , 460 GHz)と炭素原子( $[\text{C I}] \ ^3P_1-3P_0$ , 492GHz)を観測する。オフセットカセグレン型の30 cm アンテナは、既存のサーベイデータを活用できるように 9 分角の空間分解能を持つ。輝線強度比から星間物質の物理量(温度や密度)を導出する。伝送光学系では、将来の高周波数観測の際にも伝送光学系の更新を不要とする、周波数の依存性が少ない光学パラメータを定めた。受信機には、高い観測感度を実現するために、超伝導素子(SIS)を採用し、超伝導素子の動作に必要な 4 K の冷却は、小型軽量の 4 K 機械式冷凍機で行う。実験室の評価試験では、等価熱雑音換算で 200 K 以下を実現した。また、冷凍機も含め、全ての機器は 60 kg 以下に分割できるようなシステムに仕上げた。南極ドームふじ基地では人力により組み立て可能である。受信機

のバックエンドには、小型のデジタル分光計を採用したが、従来品には、気圧低下で空冷効率の低下し高地では使えないという問題があった。そこで、冷媒循環システムを考案し導入した。

製作した 30 cm サブミリ波望遠鏡は、筑波大学構内にて試験の後、スイスアルプスのユングフラウヨッホ及びチリ北部の砂漠地帯に移設して、性能評価試験を行った。現地では、少数の人間により人力で組み立てが可能な事を実証した。また、寒冷(-20℃)な環境や高地(4500m)でも、望遠鏡の動作には問題が無いこと、高い標高の地においても水冷機構の採用で懸念されていたデジタル分光計の動作に問題が無いことを確認した。今後は、さらなる試験観測を経て、2010 年からのドームふじでの運用を予定している。

#### 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 4 件)

- (1) Ishi, S., Seta, M., Nakai, N., Nagai, S., Miyagawa, N., Yamauchi, A., Motoyama, H., Taguchi, M., “Site Testing at Dome Fuji for Submillimeter and Terahertz Astronomy : 220-GHz Atmospheric Transparency”, *Polar Sciences*, 3, 213, 査読有, 2010.
- (2) Sorai, K., Asao, H., Nishitani, H., Hosaka, K., Watanabe, Y., Miwa, S., Ohishi, Y., Motogi, T., Awano, J., Sumida, S., Fukya, Y., Uchida, R., Kaneko, N., Fujimoto, M., Koyama, Y., Kimura, M., Nakai, N., Large-Scale NH<sup>3</sup> Observations toward the Galactic Star-Forming Regions I. W51 Molecular Cloud Complex, *Publ. Astron. Soc. Japan* 60, 6, 285, 査読有, 2008.
- (3) Kuno, N., Sato, N., Nakanishi, H., Hirota, A., Tosaki, T., Y., Shioya, Sorai, K., Nakai, N., Nishiyama, K., Vila-Vilaro, B., “Nobeyama CO Atlas of Nearby Spiral Galaxies: Distribution of Molecular Gas in Barred and Nonbarred Spiral Galaxies”, *Publ.*

*Astron. Soc. Japan*, 59, 117, 査読有, 2007.

[学会発表] (計 15 件)

- (1) 荒井均、瀬田益道、中井直正、萩原健三郎、宮本祐介、永井誠、石井峻、広帯域デジタル電波分光 AC240 の水冷機構の開発と性能評価、日本天文学会秋期年会、山口大学、2009 年 9 月 16 日.
- (2) 石井峻、瀬田益道、永井誠、中井直正、宮本祐介、荒井均、前橋秀紀、石崎剛史、中野将義、長崎岳人、前澤裕之、南極天文コンソーシアム : 南極 30cm 望遠鏡の開発、日本天文学会秋期年会、山口大学、2009 年 9 月 16 日.
- (3) 中井直正、瀬田益道、田口真、南極ドームふじ基地における電波天文観測日本地球惑星科学連合2008年大会、幕張メッセ、2008年5月29日.
- (4) 瀬田益道、中井直正、田口真、南極天文開拓のための可搬型30cmサブミリ波望遠鏡の開発、日本地球惑星科学連合2008年大会、幕張メッセ、2008年5月29日.
- (5) 石井峻、宮川直己、瀬田益道、小出祐輔、宮本祐介、萩原健三郎、山内彩、中井直正、前澤裕之 : 南極 30cm サブミリ波望遠鏡の開発、日本天文学会春季年会、国立オリンピック記念青少年総合センター、2008 年 3 月 25 日.
- (6) 山倉鉄也、中井直正、瀬田益道、前澤裕之、芝洋一、新保謙、山本智、準光学型ホットエレクトロンボロメーターの開発、日本天文学会春季年会、国立オリンピック記念青少年総合センター、2008 年 3 月 25 日.
- (7) 石井峻、永井里、瀬田益道、中井直正、本山秀明、田口真、南極天文コンソーシアム、南極ドームふじ基地における 220GHz 帯大気透過率の測定、日本天文学会秋季年会、岐阜大学、2007 年 9 月 28 日.
- (8) 瀬田益道、石井峻、宮川直己、小出祐輔、宮本祐介、萩原健三郎、山内彩、中井直正、南極天文コンソーシアム、南極 30cm 望遠鏡による 500GHz 帯の銀河面サーベイ計画、

2007 年日本天文学会秋季年会、岐阜大学、  
2007 年 9 月 27 日.

- (9) 宮川直己、瀬田益道、石井峻、小出祐輔、  
宮本祐介、萩原健三郎、山内彩、中井直正、  
前澤裕之、南極天文コンソーシアム、南極  
30cm サブミリ波望遠鏡の開発、2007 年日本  
天文学会秋季年会、岐阜大学、2007 年 9 月  
27 日.

[図書] (計 2 件)

- (1) 中井直正、坪井昌人、福井康雄編、日本  
評論社、宇宙の観測 II-電波天文学、352、  
2009.  
(2) 福井康雄、犬塚修一郎、大西利和、中井  
直正、舞原俊憲、水野亮編、日本評論社、  
星間物質と星形成、336、2008.

[その他]

ホームページ等

[http://www.px.tsukuba.ac.jp/home/astro/  
nakai/www0/index.html](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・大学院数理物質科学研究科・講師  
研究者番号:80358994

### (2) 研究分担者

中井 直正 (Nakai Naomasa)  
筑波大学・大学院数理物質科学研究科・教授  
研究者番号:80192665  
(H19→H20:連携研究者)  
山内 彩 (Yamauchi Aya)  
筑波大学・大学院数理物質科学研究科・  
準研究員  
研究者番号:70431674  
(H19→H20:連携研究者)