

## I V. 宇宙観測グループ

教授	中井 直正
講師	瀬田 益道
準研究員	宮本 祐介
大学院生	11名（数理物質科学研究科後期課程3名、前期課程7名；教育研究科1名）

国土地理院つくば32m鏡の20GHz帯受信観測システムの整備を継続するとともに、オリオン分子雲や銀河面のアンモニア掃天観測など大規模な観測を継続している。また南極ドームふじ基地で南極天文学を開拓するためにプロトタイプとして30cm可搬型サブミリ波望遠鏡の開発・試験を継続し、さらに1.2mサブミリテラヘルツ望遠鏡の開発を開始した。

### 【1】国土地理院つくば32m鏡の電波望遠鏡の開発整備と観測

#### (1) 観測システムの開発整備

前年度に鳥害により多数の穴があいた雨避けカバーを7月に交換するとともに鳥避けを周囲に設置した。その結果、雨が入ることを阻止するとともに現在まで鳥害による破損は生じていない。

受信機の安定化により観測の質向上と効率化を図った。そのため、いくつかの部品を交換してある程度の安定化を図ったが、さらに詳細な調査の結果、K帯シェルターの室温の変化による信号伝送ケーブルの温度変化が伝送線路の減衰を引き起こしていることを突き止めた。その対策は次年度に実施の予定である。

7月25日に32mアンテナに大きな落雷がおき、アンテナの駆動系に大きな障害が発生した。さらにビーム伝送系にあるS/X帯とK帯の受信機を切り替える斜鏡のエンコーダが故障していることも判明した。これらの故障は9月から2011年3月25日までの間に修理されたが、結局、年度末まで観測を行うことができなかった。受信機は幸いメンテナンスのため取り外して被害はなかったが、アンテナに搭載中であれば故障した可能性がある。そのため、落雷時に故障する可能性があり且つ納期に時間がかかるKバンド冷却低雑音増幅器などいくつかの予備部品を購入した。なお、3月11日の東日本大震災では大きな被害はなかった。

#### (2) 観測

4月29日に国立天文台のVERAと測地VLBIを行い、水沢とつくばの距離を1.4mmという高い精度で決定した。これは従来のS/X帯での測地VLBI観測に比べて1.5倍～2倍の精度であり、優れた性能を実証した。また大学連携VLBI観測に参加し、5月12日と5月31日に観測を行った。前者は三鷹での手違いにより観測データは記録されなかったが、後者では電波銀河の観測に成功し、解析中である。

4月～6月中旬において銀河系の銀河面に沿って銀緯 $\pm 0.1$ 度で銀経 $-0.1$ 度～ $1.3$ 度の領域のアンモニアの(J,K)=(1,1)～(6,6)輝線および再結合線マッピングした(図1)。またオリオン分子雲とM17もアンモニアの6本の輝線、再結合線および連続波電波のマッピングを行った(図2)。

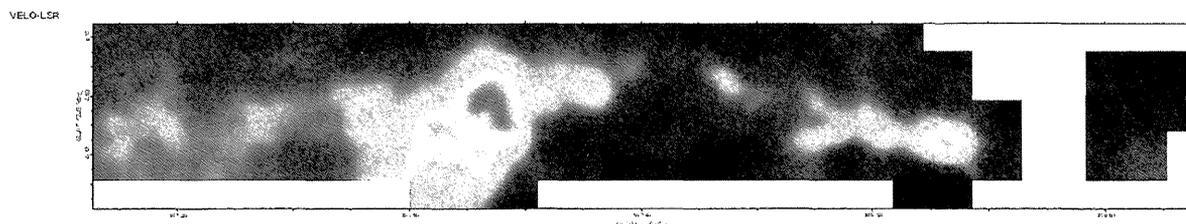


図1. 銀河系（天の川銀河）の銀河面（銀経= $-0.1^{\circ} \sim 1.3^{\circ}$ 、銀緯= $\pm 0.1^{\circ}$ ）のアンモニア  $\text{NH}_3(\text{J},\text{K})=(1,1)$  輝線の積分強度の分布。

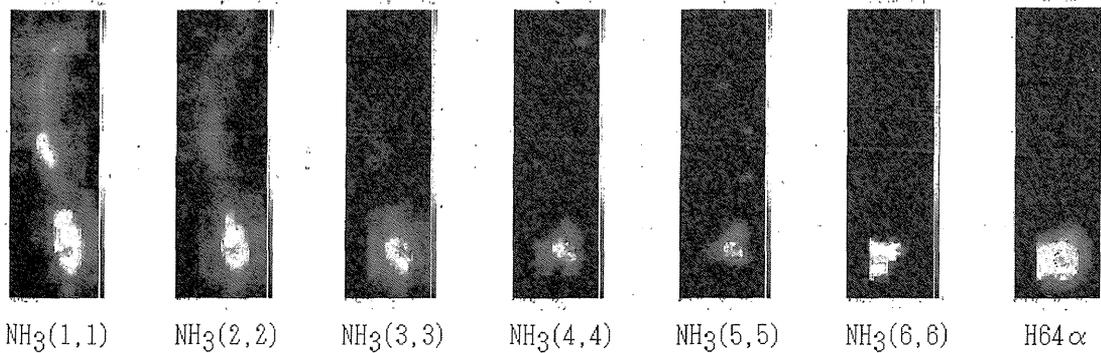


図2. オリオン分子雲のアンモニア  $\text{NH}_3(\text{J},\text{K})=(1,1) \sim (6,6)$  輝線および再結合線  $\text{H}64\alpha$  の積分強度の分布

## 【2】南極天文学の推進

30cmサブミリ波望遠鏡は、500 GHz帯での天の川の掃天観測を行う望遠鏡である。既に製作を終えているが、南極ドームふじでの観測の成功には、十分な試験観測が必要である。しかし、南極の観測サイトとしての優位性は、他の地での500GHz帯の試験観測の場所の確保の困難さを意味する。我々は、チリ北部の標高の高い砂漠地帯を有力な試験候補地として、試験場所の確保を目指した。その結果、標高4500mのパリーナコータ集落を、試験観測地に選定した。高い標高から大気500GHz帯の信号の吸収は少ないことが期待でき、アクセスや居住環境も良好である。空の条件が良い冬期（日本の夏）に30cm望遠鏡を現地に運び、評価試験を行った。

30cm望遠鏡は可搬性を特徴としている。パリーナコータ集落では4人という限られた人数で、重機を用いることなく、3日間程度の短い期間で組み立てや撤収作業ができることを実証した。また、高地では、空気が薄くなることにより、電子機器の冷却効率の低下と発電機の駆動問題が懸念されていたが、電子機器への冷媒循環装置を導入及び発電機のノズル高地仕様特殊部品への交換で、高地での動作には問題無い事を実証できた。さらに、30cm望遠鏡による500GHz帯の大気透過率の測定から、パリーナコータ集落はテラヘルツ望遠鏡の試験地として適していることを示せた。続いて、チリにおいては、本年度の目標であった、500GHz帯の天体観測を実現した。大質量星形成領域であるM17分子雲やオリオン分子雲からの500GHz帯での一酸化炭素並びに中性炭素原子の輝線観測の観測に成功した。これらの輝線は、天の川のサーベイ観測における主要なプローブであり、ドームふじで500GHz帯での天体観測が現実的となったと言える。実際の天体観測により、実験室評価では見えていなかった問題点も明らかにできた。輝線スペクトルに現れる定在波的成分による観測感度の低下、受信機の安定化の不足による観測効率の低下等、ドームふじでの運用に向けての課題が明確となった。チリでの試験観測終了後に、日本に30cm鏡を戻し、定在波並びに安定化の対策は実施済みである。電波吸収帯の配置位置の最適化、受信機バイアス供給方式の見直し等の結果、実験室レベルでは問題点の解決に成功している。次年度には、30cmを再びチリに運び、試験観測を行い、対策の有効性を実証する予定である。その後、30cm望遠鏡は、第54次南極観測隊で南極に向かうことを目指している。

30cm望遠鏡に続くドームふじでの観測計画として、1.2m鏡サブミリ波望遠鏡の開発を進めている。主鏡は、富士山望遠鏡として活躍した鏡を再利用するが、南極ドームふじ特有の環境への対応が重要な開発課題となっている。ドームふじでは低温下（最低気温マイナス80度C）の運用を強

いられる。そのため、実験室に低温冷凍庫を整備し、低温下でモータ駆動試験や、放射冷却による鏡面の結露防止の基礎実験を進めた。また、サブミリ波を超えてテラヘルツ帯での観測にも耐える鏡面精度を有するかを評価する基礎実験もおこなった。次年度は、これらの基礎実験を進めると同時に、試験結果を反映した 1.2m 鏡の詳細設計、続いて製作へと進む予定である。

### 【3】銀河の観測的研究

活動的銀河中心核 (AGN) において水メーザーの超長基線電波干渉法 (VLBI) でメーザー円盤が検出されているものについて、その銀河回転曲線からメーザー円盤の質量と中心にあるブラックホールの質量を分離する新しい手法を考案し、いくつかの AGN においてメーザー円盤と分離してブラックホール単独の質量を決定した (査読論文 2)。

活動的銀河中心核 (AGN) で水メーザーが検出されているメーザースペクトルと硬 X 線スペクトルや吸収量との間に強い相関があることを明らかにした。

AGN である NGC5495 の中心核からの水メーザーのスペクトルの速度変化をモニターし、その変化率 (加速度) とメーザースペクトルからこの銀河の中心にあるブラックホールの質量を推定した。

野辺山 45m 電波望遠鏡および IRAM30m 電波望遠鏡を用いて赤方偏移  $z=0.405\sim 1.802$  にある電波銀河の CO および  $\text{HCO}^+$  の吸収線の上限值を得た (査読論文 3)。

我々の銀河系 (天の川銀河) において超長基線電波干渉法 (VLBI) を用いた視差法により距離が正確に求められた晩期型星を用いて銀河回転曲線を求めたところ、銀河系中心から太陽系までの距離を超えたところでも銀河回転はほぼ一定の速度であることがわかった。

#### <論 文>

(査読論文)

1. Kikuchi, K., Nishibori, T., Ochiai, S., Ozeki, H., Irimajiri, Y., Kasai, Y., Koike, M., Manabe, T., Mizukoshi, K., Murayama, Y., Nagahama, T., Sano, T., Sato, R., Seta, M., Takahashi, C., Takayanagi, M., Masuko, H., Inatani, J., Suzuki, M., Shiotani, M., “Overview and early results of the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES)”, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 115, 12 (2010).
2. Huré, J.-M., Hersant, F., Surville, C., Nakai, N., Jacq, T., “AGN disks and black holes on the weighting scales”, *Astronomy and Astrophysics* 530, 145 (2011).
3. Curran, S.J., Whiting, M.T., Combes, F., Kuno, N., Francis, P., Nakai, N., Webb, J.K., Murphy, M.T., Wiklind, T. “On the absence of molecular absorption in high redshift millimetre-band searches”, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, in press (2011).

(国際研究会集録等)

1. Maezawa, H., Yamakura, T., Koyama, T., Yamamoto, S., Shiba, S., Shiino, T., Sakai, N., Nakai, N., Seta, M., Mizuno, A., Nagahama, T., Fukui, Y., Irimajiri, Y., Sekine, N., Hosako, I. “Development of a 1.9 THz Band Hot-Electron Bolometer Heterodyne Receiver with a Quantum Cascade Laser”, Twenty-First International Symposium on Space Terahertz Technology, held March 23-25, 2010 at Oxford University's Said Business Center and the STFC Rutherford Appleton Laboratory, Oxford, UK. National Radio Astronomy

Observatory (NRAO), p.444-449 (2010).

2. M. Seta, "Site Testing at Dome Fuji as a New Site for Astronomical Observatory", 4th Open Science Conference, Scientific Committee on Antarctic Research, Hotel Panamericano Buenos Aires, Argentina, Aug. 2010.
3. M. Seta, "Radio Astronomy at Dome Fuji in Antarctica", The 11th Workshop on Submillimeter-Wave Receiver Technologies in Eastern Asia, Nagoya Univ., Nov. 2010.
4. T. Nitta, N. Nakai, M. Seta, M. Naruse, Y. Sekimoto, H. Matsuo, T. Noguchi, Y. Uzawa, N. Okada, K. Mitsu, "Development of Silicon Lens Array For Submillimeter Camera and Design of Broadband Antireflective Structure", The 11th Workshop on Submillimeter-Wave Receiver Technologies in Eastern Asia, Nagoya Univ., Nov. 2010.
5. T. Nagasaki, "30cm Submillimeter Wave Telescope for Astronomy at Antarctica", The 11th Workshop on Submillimeter-Wave Receiver Technologies in Eastern Asia, Nagoya Univ., Nov. 2010.

#### <学会発表>

1. 中井直正、間明田好一、山内彩  
「水メーザー観測によるブラックホール質量とバルジ関係」  
日本天文学会 (2011年3月18日、筑波大学)
2. 石井峻、瀬田益道、中井直正、宮本祐介、永井誠、他 32m 望遠鏡グループ  
「つくば 32m 電波望遠鏡による M17 領域のアンモニア輝線観測」  
日本天文学会 (2011年3月18日、筑波大学)
3. 吉田一樹、中井直正、石原裕子、山内彩、吉田正樹、北本俊二、前田良和、深沢泰司  
「水メーザーと X 線でさぐる活動的銀河中心核のガス円盤構造」  
日本天文学会 (2011年3月17日、筑波大学)
4. 新田冬夢、成瀬雅人、関本裕太郎、松尾宏、野口卓、鶴澤佳徳、岡田則夫、三ツ井健司、瀬田益道、中井直正  
「超伝導共振器を用いたサブミリ波カメラ用シリコンレンズアレイの開発」  
日本天文学会 (2011年3月17日、筑波大学)
5. 長崎岳人、石井峻、瀬田益道、中井直正、宮本祐介、荒井均、扇野光俊、大倉裕樹、Dragan Salak、二本松佳樹、永井誠、前澤裕之  
「南極 30cm サブミリ波望遠鏡の開発 IV」  
日本天文学会 (2011年3月17日、筑波大学)
6. 宮本祐介、中井直正、久野成夫  
「渦巻銀河 M51 の分子ガスの運動と分布」  
日本天文学会 (2010年9月24日、金沢大学)
7. 瀬田益道、石井峻、長崎岳人、宮本祐介、中井直正、本山秀明、南極天文コンソーシアム  
「南極ドームふじ基地の天体観測サイト調査」  
日本天文学会 (2010年9月23日、金沢大学)
8. 成瀬雅人、関本裕太郎、新田冬夢、野口卓、鶴澤佳徳  
「超伝導共振器を用いたサブミリ波帯検出器アレイの開発」  
日本天文学会 (2010年9月24日、金沢大学)
9. 荒井均、粉川慶太、瀬田益道、宮本祐介、扇野光俊、二本松佳樹、石井峻、中井直正、他宇宙観測グループ、栗原忍、他宇宙測地グループ

「国土地理院つくば 32m 電波望遠鏡の左右両円偏波受信観測システムの開発」

日本天文学会（2010年9月24日、金沢大学）

10. 岡 朋治、指田朝郎、田中邦彦、松村真司、青野和也、瀬田益道、永井 誠、亀谷和久（JAXA/ISAS）

「超新星残骸 W44 が星間雲に与えた力学的エネルギー総量の評価」

日本天文学会（2010年9月22日、金沢大学）

## <学位論文>

（博士論文）数理物質科学研究科・物理学専攻

1. 石井峻

「Development of the Transportable Telescope for Submillimeter-Wave Astronomy in Antarctica」(南極におけるサブミリ波天文学のための可搬型望遠鏡の開発)

（修士論文）数理物質科学研究科・物理学専攻

1. 長崎岳人

「南極サブミリ波望遠鏡用サイドバンド分離型受信機系の開発」

2. 新田 冬夢

「南極サブミリ波望遠鏡搭載用超伝導カメラ光学系の開発」

3. SALAK Dragan

「A Study of the CO (J=1-0) Emission from the Starburst Galaxy M82」

(爆発的星形成銀河M82からのCO (J=1-0)輝線の研究)

（修士論文）教育研究科・教科教育専攻・理科教育コース

1. 吉田一樹

「Study on the Disk Structure of Active Galactic Nuclei Using Water-Vapor Maser and X-ray Emission」

（卒業論文）

1. 増田浩和

「つくば 32m 電波望遠鏡の 20GHz 帯受信機の安定化」

2. 鍋倉修英

「銀河系の回転曲線と質量分布」

3. 青木すみれ

「つくば 32m 電波望遠鏡の指向補正用器差パラメータの決定」

4. 刈田弘樹

「水メーザー観測による銀河 NGC5495 中心核のブラックホールの質量測定」

5. 齋藤浩太

「広域電波観測のための On The Fly マッピング法の開発」

6. 土井畑幸一郎

「南極 1.2m 電波望遠鏡のアンテナ系の開発」

## <外部資金>

1. 科学研究費補助金（基盤研究 A）：中井直正（研究代表者）、瀬田益道

- 「天の川のアンモニア掃天観測」  
(交付額 450 万円) (3/5 年)
2. 科学研究費補助金 (基盤研究 A) : 瀬田益道 (研究代表者)、中井直正  
「南極から探る銀河系の星間ダストの姿」  
(交付額 900 万円) (1/4 年)
  3. 日本学術振興会「研究成果の社会還元・普及事業 (ひらめき・ときめきサイエンス)」 : 中井直正 (実施代表者)、瀬田益道、宮本祐介  
(交付額 22 万円)
  4. 日本学術振興会「頭脳循環を活性化する若手研究者海外派遣プログラム」 : 中井直正 (主担当研究者)、瀬田益道  
「世界最高望遠鏡群を用いた宇宙観測」  
(交付額 170 万 5 千円) (1/3 年)
  5. 国立極地研究所平成 22 年度研究プロジェクト : 中井直正 (研究代表者)、瀬田益道、他  
「ドームふじ基地における赤外線・テラヘルツ天文学の開拓」  
(交付額 270 万円)
  6. 国立極地研究所南極観測事業費 (一般研究観測) : 中井直正 (研究代表者)、市川隆、瀬田益道、高速徳尚、他  
「南極からの赤外線・テラヘルツ天文学の開発」  
(交付額 702 万円) (2/3 年)
  7. 自然科学研究機構国立天文台 : 中井直正 (研究代表者)  
「大学間連携 VLBI 観測事業に係る研究—高精度 VLBI 観測による銀河系の構造及び進化の解明」  
(交付額 717 万 8 千円)
  8. 三菱財団助成 : 中井直正  
「南極サブミリテラヘルツ望遠鏡の開発」  
(交付額 490 万円) (1/2 年)

#### <共同研究・受託研究>

1. 「大学間連携 VLBI 観測事業に係る研究」  
大学共同利用機関法人自然科学研究機構 (2010 年 4 月 1 日~2011 年 3 月 31 日)

#### <受賞>

1. 筑波大学大学院数理物質科学研究科 2010 年度優秀論文賞 (後期課程)、石井峻  
「Development of the Transportable Telescope for Submillimeter-Wave Astronomy in Antarctica」(南極におけるサブミリ波天文学のための可搬型望遠鏡の開発)