

## 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 永井 誠

大学院生 14名（数理物質科学研究科後期課程6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に初めて行って直接に現地調査を行うとともに、30cm可搬型サブミリ波望遠鏡の開発・試験を継続した。さらに将来の南極大型望遠鏡に向けての技術開発を行っている。共同利用の望遠鏡を用いた観測も積極的に実施した。

### 【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

20GHz帯受信機システムのうち、偏波計と冷却増幅部は左右両円偏波を観測できるように整備されているが、周波数変換部とそれ以降は一偏波のみのシステム構成であった。そこで中間周波数部とデジタル電波分光計を1系統増やし左右両円偏波を同時観測可能にするとともにシステムの安定性も図った。これにより、左右両円偏波を同じ周波数で観測する場合は感度を1.4倍に向上させることができ、独立の周波数で観測する場合は観測周波数帯を2倍（最大4GHz）にすることができるようになった。

月のマッピング観測から22.1GHz（波長1.36cm）における前方散乱能率 $\eta_{\text{fss}}$ を測定し、月齢を考慮した月の輝度温度を用いて $\eta_{\text{fss}}=0.884\pm 0.005$ という値を得た。また上弦、満月、下弦の月のマッピングから輝度温度分布の位相変化の測定も行った。

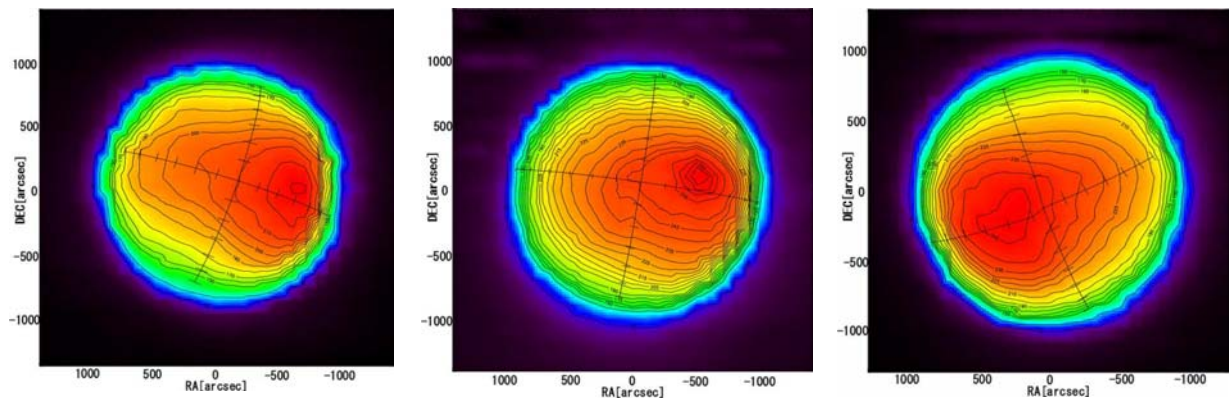


図1. 月の輝度分布。上弦の月（左）、満月（中）、下弦の月（右）

2008年度に23GHz帯（波長1.3cm）のビームパターンを測定した結果、感度の中心最大値に対して最大18%という大きなサイドローブが存在した。その原因を調べるために8.38GHz（7.78–8.98GHz）でビームパターンを測定したところ、図2のような結果が得られた。ビームサイズの大きさは $\text{HPBW}(\text{AZ})=242''\pm 14''$ 、 $\text{HPBW}(\text{EL})=242''\pm 5''$ であった。サイドローブの値は最大3%（–15dB）でそれほど大きくはなく、サイドローブが4角（すみ）に出ているので副鏡を支えている支持柱（ステー）が原因の可能性が高い。22.1GHzのビームパターンは8.38GHzのものと同様

の場所に出ているので同じ原因であり、波長が短いので大きく出ている可能性が高いが、サイドローブの上下の大きさの非対称性が大きいので、照度分布にも非対称性があるかもしれない(但し、主ビームは概ね点対称である)。

2009年4月17日に鹿島34mアンテナとVLBI実験を行い、有意にフリンジを検出した。また2010年3月18日には国立天文台VERAと測地VLBI実験を実施してフリンジを検出するとともに、つくば32m電波望遠鏡の左偏波の方向(受信機)を決定した。これらによって、K帯におけるVLBI観測のシステムが可能となった。

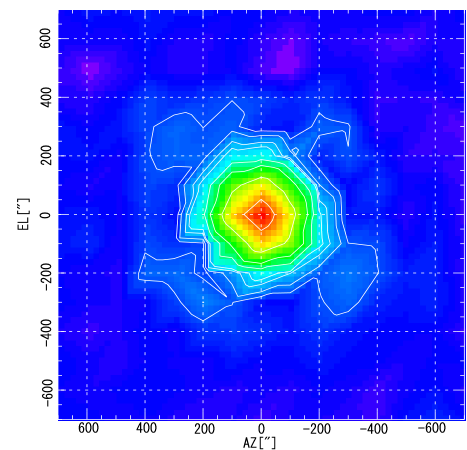


図2. 8.38 GHzにおけるビームパターン。等強度線は最大値に対して0.03, 0.05, 0.08, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.8である。

## (2) 観測

オリオン分子雲(OMC1)全面と銀河面の銀緯0~1度におけるアンモニアの(J,K)=(1,1)-(6,6)輝線の大規模な掃天観測を継続している。また、電離領域W3の再結合線の観測や大質量形成領域W49や銀河NGC3079の中心部のアンモニア観測なども行った。

## 【2】南極天文学の推進

南極大陸内陸部の高原地帯のドームふじ基地への天文台の開設を目指す研究を進めている。本年度の第52次南極観測隊に瀬田が同行し、観測船「しらせ」への物資の積み込み、「しらせ」から南極内陸部の出発拠点S16への物資の輸送、S16からドームふじ基地までの1000kmの雪上車走行の全行程の調査を行った。また、ドームふじ基地では、大気透過率測定、水蒸気量測定、全天カメラ撮影を行った。220GHzのラジオメータによる大気透過率の測定では、行程の都合上、2010年1月17日から21日の5日間という限られた測定ではあったが、220GHzでの光学的厚みは $\tau=0.056$ であり、第48次隊に委託実施して得ていた非常に良好な空( $\tau=0.045$ )を改めて確認した。南極の夏期は、大気の状態としては最悪期にあたるが、ドームふじ基地の夏期に得た大気透過率の値は、これまで地上最良と考えられていた、チリ北部の砂漠地帯の冬期の最良期に匹敵する値である。ドームふじの冬期には、大気透過の低下が期待できるので、ドームふじ基地は地上最良のサブミリ波観測サイトと言える。南極天文学は、国立極地研究所の来年度から始まる長期計画(第VIII期;2010~2015年度)の研究テーマに採択されている。ドームふじの更新計画や、新型橇や雪上車の開発が始動している。南極天文学を行う環境は整いつつある。ただし、新たな越冬基地が完成する(2015年度予定)までは、ドームふじ基地の運用は夏期間に限定される。雪上車による輸送では、往復に約40日を要するので、観測期間は2週間程度しか確保できない。航空機の活用で、観測期間の拡大を探る必要がある。

2012年からの南極ドームふじ基地での運用を目指して開発を進めている30cmサブミリ波望遠鏡を、南米チリ北部の砂漠地帯に運び試験観測を行った。試験地の標高は4500mであり、南極ドームふじ基地(標高3810m)の気圧換算標高(4300m)に近い値である。高地では、酸素が少ないために、人力での組み立てには懸念があったが、重機を用いることなく、4人での組み立てに問題がないことを確認した。また、30cm望遠鏡で用いているデジタル分光計は元々は空冷方式であったため、空気の薄い高地では冷却効率が低下しオーバーヒートによる動作不良の懸念があった。今回、冷媒循環機構を採用することで、4500mの高地での動作に問題がないことが確認できた。しかしながら、天体からの500GHz帯の信号を受ける前に、発電機が故障し、天体観測には至らなかった。望遠鏡システムを筑波大に戻した後に、次年度に向けた対策と改良を施した。動作不良を起こ

した発電機はノズルの交換で高地での運用が可能になる見込みである。また、電源周りの接地状態を見直したことで、実験室測定では受信機の安定性を向上させた。来年度は、再度チリ北部の砂漠地帯に 30cm サブミリ波望遠鏡を運び、星間物質の主要なプローブである CO 及び[CI]輝線を用いて天の川の掃天観測を行う予定である。



図 3. 南極ドームふじに設置した 220GHz ラジオメータ

将来計画の南極 10m 級テラヘルツ望遠鏡に搭載する観測装置として、超伝導検出器を用いたサブミリ波カメラの開発を進めている。

650 GHz 帯で実現された超伝導トンネル接合(STJ)を用いたフォトン検出器(Ariyoshi+06)の評価を行った。その結果、超伝導転移時に残留磁場が存在すると局所的に超伝導が破壊され感度低下を招くことが分かった。対策として、磁性体シールド内で超伝導転移を行うことでトンネル接合間の漏れ電流を一桁減少させることに成功した。

光学系には、集積度に優れた平面アンテナと誘電体レンズを用いた光学系を採用している。レンズ材料には高誘電率・低誘電損失な物質を選ぶ必要があるため、実際にレンズを使用する極低温化で実験を行い我々の目的には高純度シリコン結晶が適していることを明らかにした。また、高いビーム質を保持しつつ集積度を上げる設計も行った。

### 【3】銀河の観測的研究

距離約 79Mpc にある円盤銀河 IC1481 の活動的銀河中心核(AGN)から出ている超強力水メーザーを VLBA で観測した結果、半径が  $r=2.8-14.0$  pc、厚さが  $2H=1.5-4.1$  pc、回転速度が  $V_{rot}=124-168$  km/s、速度分散が  $\Delta V=31$  km/s である分子ガス円盤を発見した。この円盤の回転曲線は式  $V_{rot} \propto r^{-(0.19 \pm 0.04)}$  で表わされ、中心から離れるほどケプラー回転よりも有意にゆっくりと速度が減少している。この回転曲線を円盤の質量と中心にあるブラックホールの質量によるものとするモデルで計算すると、それぞれの質量は  $M_{disk}=(4.3 \pm 0.3) \times 10^7 M_{\odot}$  と  $M_{BH} < 10^7 M_{\odot}$  となり、円盤の質量だけで説明できるとともにブラックホールの質量の上限値を与えることができた。これらの結果を論文 (Mamyoda et al. 2009) として出版した。

Radio-Loud で Broad Absorption Line を持つ 22 個の (BAL) Quasar の 8.4 GHz での国内 VLBI 観測を行い、20 個で検出して、論文 (Doi et al. 2009) として出版した。

### < 論文 >

(査読論文)

1. Tanaka, K., Oka, T., Nagai, M., Kamegai, K.

“A Large Expanding Molecular Arc in the Sagittarius B1 Complex”

*Publ. of Astron. Soc. Japan*, 61, 461-469 (2009)

2. Mamyoda,K., Nakai,N., Yamauchi,A., Diamond,P., Hure,J.-M.  
 “Detection of a Sub-Keplerian Water Maser Disk at the Active Galactic Nucleus of the Galaxy IC 1481”  
*Publ. of Astron. Soc. Japan*, 61, 1143-1151 (2009)
3. Doi,A., Kawaguchi,N., Kono,Y., Oyama,T., Fujisawa,K., Takaba,H., Sudou,H., Wakamatsu, K., Yamauchi,A., Murata,Y., Mochizuki,N., Wajima,K., Omodaka,T., Nagayama,T., Nakai,N., Sorai,K., Kawai,E., Sekido,M., Koyama,Y., the VLBI group at Geographical Survey Institute Asano,S., Uose,H.  
 “VLBI Detections of Parsec-Scale Nonthermal Jets in Radio-Loud Broad Absorption Line Quasars”  
*Publ. of Astron. Soc. Japan*, 61, 1289-1398 (2009)
4. Ishii,S., Seta,M., Nakai,N., Nagai,N., Miyagawa,N., Yamauchi,A., Motoyama,M., Taguchi, M., “Site testing at Dome Fuji for submillimeter and terahertz astronomy: 220 GHz atmospheric transparency”  
*Polar Science*, 3, 213-221 (2010)

(国際研究会集録等)

1. Nakamura,K., Namikawa,D., Kamenno,S., Sawada-Satoh,S., Yoshikawa,R., Nakai,N., Satoh, N. 2009  
 “Approaching Micro-Arcsecond Resolution with VSOP-2” Astrophysics and Technologies ASP Conference Series, Vol. 402, proceedings of the conference held 3-7 December 2007 at ISAS/JAXA, Sagami-hara, Kanagawa, Japan, Edited by Hagiwara,Y., Fomalont,E., Tsuboi, M., and Murata,Y., p. 116.
2. Matsuo,H., Arai,T., Nitta,T., Kosaka,A. 2009  
 “Far-Infrared Spectroscopic Imaging of Interstellar Material around Eta Carinae” , ASP Conference Series , Vol.418 , pp451-454.
3. Matsuo,H., Hibi,Y., Suzuki,T., Naruse,M., Noguchi,T., Sekimoto,Y., Uzawa,Y., Nagata,H., Ikeda,H., Ariyoshi,S., Otani,C., Nitta,T., Yao,Q., Fujiwara,M. 2009  
 “Superconducting THz Camera with GaAs-JFET Cryogenic Readout Electronics”  
 proceedings of the LTD13, pp393-396.

#### <学会発表>

1. 新田冬夢、鈴木仁研、松尾宏、有吉誠一郎、大谷知行  
 「SIS フォトン検出器への磁束トラップの影響の検討」  
 日本応用物理学会 (2009年9月8日)
2. 永井誠、荒井均、瀬田益道、中井直正、ほか 32m グループ  
 「つくば 32m 電波望遠鏡を用いた銀河系中心領域アンモニア輝線観測」  
 日本天文学会 (2009年9月14日)
3. 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計 AC240 の水冷機構の開発と性能評価」  
 日本天文学会 (2009年9月14日)
4. 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(名古屋大学)、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 III」

日本天文学会 (2009 年 9 月 14 日)

5. 鈴木仁研、野口卓、松尾宏、関本裕太郎、鵜澤佳徳、日比康詞、成瀬雅人、新田冬夢、遠藤光  
「サブミリ波 1000 画素 SIS カメラの開発 - SIS フォトン検出器の超高感度化への展望 -」  
日本天文学会 (2009 年 9 月 14 日)
6. 松尾宏、日比康詞、鈴木仁研、関本裕太郎、野口卓、鵜澤佳徳、成瀬雅人、新田冬夢、永田洋久、池田博一、有吉誠一郎、大谷知行、Qi-jin Yao、藤原幹夫  
「超伝導サブミリ波カメラの大規模アレイ化へ向けて」  
日本天文学会 (2009 年 9 月 16 日)

## <学位論文>

(博士論文) 数理物質科学研究科・物理学専攻

1. 間明田好一  
「Study of the Water-Vapor Maser Disk at the Active Galactic Nucleus of IC1481」(IC1481 の活動的銀河中心核における水蒸気メーザー円盤の研究)
2. 宮本祐介  
「Kinematics and Distribution of Molecular Gas in the Spiral Galaxy M51」(渦巻銀河 M51 の分子ガスの運動と分布)
3. 山倉鉄矢  
「Development of THz band quasi-optical Hot-Electron Bolometer Mixer employing superconducting NbTiN microbridge」(NbTiN 超伝導細線を用いたテラヘルツ帯準光学ホットエレクトロンボロメータミキサの開発)

(修士論文) 数理物質科学研究科・物理学専攻

1. 秋山大樹  
「つくば 32m 電波望遠鏡による系外銀河中心部のアンモニア観測」
2. 粉川慶太  
「つくば 32m 電波望遠鏡の 20GHz 帯における両偏波観測用受信機の開発」
3. 野々川博晃  
「つくば 32m 電波望遠鏡による電離領域 W49N の観測的研究」
4. 前橋秀紀  
「南極 30 cm 可搬型サブミリ波望遠鏡の電波ポインティングシステムの開発」

(卒業論文)

1. 大倉裕樹  
「つくば 32m 電波望遠鏡の 8GHz 帯におけるアンテナ性能測定と連続波観測」
2. 二本松佳樹  
「つくば 32m 電波望遠鏡による月の 22GHz 連続波観測」
3. 蓮田由衣  
「渦巻銀河 M51 における一酸化炭素分子と水素分子の強度相関関係の研究」
4. 福岡翔太  
「大質量星形成領域 W3 の再結合線観測」

## <外部資金>

(学 外)

1. 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、山内彩  
「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」  
（交付額 570 万円）（3/3 年）
2. 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、山内彩  
「天の川のアンモニア掃天観測」  
（交付額 450 万円）（2/5 年）
3. 国立極地研究所共同研究：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大気構造の研究」  
（交付額 9 万 9 千円）（3/3 年）
4. 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）、瀬田益道、他  
「南極からの天文学」  
（交付額 780 万円）（1/3 年）
5. 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 385 万 8 千円）（1/1 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（2009 年 4 月 1 日～2010 年 3 月 31 日）

## <受 賞>

1. 筑波大学大学院数理物質科学研究科 2009 年度優秀論文賞（前期課程）、粉川慶太  
「つくば 32m 電波望遠鏡の 20GHz 帯における両偏波観測用受信機の開発」