

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	14名（数理物質科学研究科後期課程5名、前期課程9名）
卒研究生	6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。共同利用の望遠鏡を用いて銀河の観測的研究も行った。

【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帯観測システムの右円偏波中間周波数部において0-1GHzに周波数変換を行う第2局部発振器を位相誤差の少ない高精度発振器に交換してVLBI左右円偏波同時観測を可能とした。また右円偏波用に広帯域デジタル分光計を追加してアンモニア(J,K)=(6,6)まで左右円偏波で同時観測可能とした。

無停電電源装置（ノイズカットUPS）と過大電流遮断器（ノイズカットトランス）を設置して落雷対策を行った。

受信機出力のゲイン変動の原因を調査し、同軸ケーブルの温度変化に起因することを明らかにした。そこで当該ケーブルを断熱材でおおうことにより温度変化を減らし、ゲイン変動を大幅に減らして観測効率を向上させた。

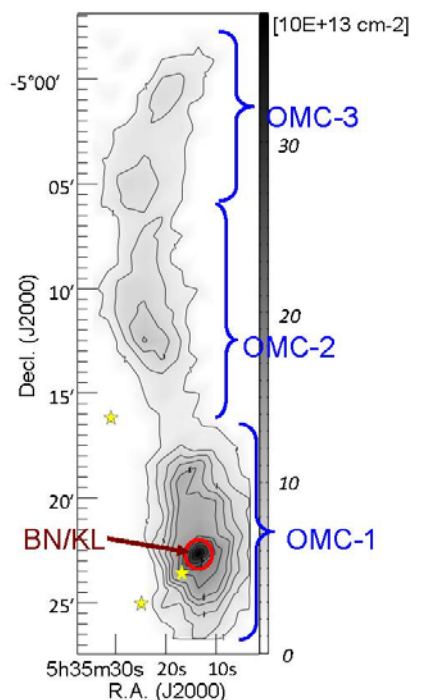
アンテナを目的天体の方向に正確に向けるため、アンテナの指向誤差を計算によって自動的に求めるシステムを製作し指向誤差測定の精度向上と効率化を図った。

10月頃からアンテナの利得が大幅に低下していることが明らかになり、観測が不可能となった。国土地理院やメーカーとその原因を追究したところ、副鏡を支えている支持構造（足）4本のうち1本に非常に大きな亀裂と対角側の1本に小さな亀裂が入っていることがわかり、アンテナを傾けるに従って支持構造が変形して副鏡の位置が適性な位置から大きくずれるためであるとわかった。そこで3月に支持機構に補修を行って副鏡を正常に位置に固定したところ利得はほぼ元に戻った。

(2) 観測

オリオン分子雲のアンモニアのNH₃ (J,K)=(1,1)-(6,6)輝線の掃天観測が終了した。これらの輝線強度比から星形成の母体である分子雲の励起温度、

図1. オリオン分子雲のパラアンモニアの柱密度



柱密度、オルソ・パラ比、アンモニア分子が生成されたときの過去の温度などの分布を初めて求めることができた(図1)。その結果、励起温度(現在の温度)は分子雲の外縁で高く、外にある高質量高温星からの輻射で温められていることが非常にきれいな結果として得られた。一方、オルソ・パラ比から導出されたアンモニア分子が生成されたときの過去の温度の分布は反対で、分子雲の内部の方が高く、また全体にわたって励起温度(現在の温度)よりも低いことが世界で初めて明らかになった。この結果は、オリオン分子雲で現在存在している星はこの領域で初めて形成された星であり、それ以前には星形成はおきていなかったという星形成史を初めて示した。この結果は画期的であり、大学院後期課程の院生の博士論文として非常に高く評価され、研究科長賞を得ることとなった。現在、査読論文として投稿しつつある。

天の川の銀河面のアンモニアの NH_3 (J,K)=(1,1)-(6,6)輝線の掃天観測は引き続き継続中である。

【2】南極天文学の推進

(1) 南極望遠鏡の開発

南極大陸内陸部の高原地帯ドームふじ基地でのサブミリ・テラヘルツ波観測を目指して、30cm望遠鏡及び1.2m望遠鏡の開発を行っている。プロトタイプとなる30cm可搬型望遠鏡は、天の川を一酸化炭素 CO (J=4-3)及び中性炭素原子 CI 輝線を用いて掃天観測を行う望遠鏡である。これまでの試験観測で問題となっていた定在波や発電機システムの不具合を解消した後、チリ北部の砂漠地帯のパリナコッタ村でオリオン分子雲の観測を実施した。悪天候やポインティングシステムで問題が生じ、実観測時間は十分には得られなかったが、オリオン分子雲の広域観測に成功した。また、南極での低温下での運用に向けたケーブルや電子機器の低温試験を実験室で行い、ヒータの増強、断熱材配置の最適化、硬化の小さいケーブルへの交換により、南極夏期のマイナス40℃での運用の目処が立った。さらに、国立天文台の協力を受け、大型干渉計ALMAで開発された、超伝導ミキサの供給を受け、受信機の更新を行った。伝送光学系の鏡の枚数の削減やミキサー性能の向上により、ポインティング性能や望遠鏡観測感度の向上が期待できる。

1.2m望遠鏡は、天の川及び近傍銀河の CO (4-3)、 CI 及び連続波のダスト放射を用いての観測を目指した望遠鏡である(図2)。30cm望遠鏡に続き、10m級望遠鏡設置を視野に入れて、南極での実運用の経験を蓄積することも目的に開発している。主鏡鏡面精度、駆動モータの低温下での運用、伝送光学系、強度校正装置、昼間のポインティングシステム等に関して、基礎実験と設計を実施した。



図2. 1.2-m望遠鏡

(2) 超伝導電波カメラの開発

南極ドームふじ基地に建設を計画しているサブミリ波望遠鏡へ搭載する超伝導ミリ波サブミリ波カメラの開発を行っている。ミリ波サブミリ波カメラは、平面アンテナと高純度多結晶シリコンレンズを1素子1レンズで結合する光学系を採用している。検出器にはアルミニウムを用いたMKID (Microwave Kinetic Inductance Detector)を使用する。超伝導転移温度である1 K以下での実験が必要となるため、 ^3He 吸着型冷凍機を使用した冷却システムを整備し、ビームパターン(カメラの感度分布)測定のための入射窓を開けた状態で最低到達温度300 mK、持続時間約8時間を達成した。

国立天文台先端技術センターのMEショップにて製作した高純度多結晶シリコンレンズアレイと平面アンテナを結合したMKIDアレイを組み合わせて220 GHz帯9素子カメラを開発し、220 GHz帯のビームパターン測定を行った。結果、3 dBビーム幅は約20度であり、実験とシミュレーションがよく一致することを確かめた。また、100素子へ拡張するため100素子シリコンレンズアレイ

を開発し、440GHz帯100素子カメラの検出器評価も行った。

【3】銀河の観測的研究

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 HCO⁺の吸収線の上限值を得た（査読論文 1）。

野辺山 45m 電波望遠鏡で観測した棒渦巻銀河 Maffei 2 の一酸化炭素 CO(J=1-0)のマッピング観測のデータを解析して棒状構造における分子ガスと星形成の関係を明らかにした（査読論文 2）。棒状部分では CO 強度が強いにもかかわらず星形成があまり起きていないことが前から問題になっておりその原因がはっきりしていなかった。本研究で、棒状部分にある分子ガスは速度分散が大きく分子雲が重力的に収縮状態にないことと CO 強度から H₂ 分子の量への換算係数がこの領域では小さいこと（分子ガスの量を過大に見積もっていたこと）が原因であることがわかった。

2型セイファート/LINER である棒渦巻銀河 IC2560 の水メーザーのシステム速度成分の速度を野辺山 45m 電波望遠鏡でモニターしたところ $\langle a \rangle = +2.57 \pm 0.04$ km/s/yr の変化（加速度）が観測された。またこの水メーザーの空間分布を米国 VLBA で測定し、水メーザー円盤がケプラー回転していると仮定し、上記 45m 電波望遠鏡の結果と組み合わせて解析したところ、この銀河の中心にある水メーザー円盤の半径が $r=0.087\text{-}0.335$ pc、厚みが $2H<0.025$ pc であり、中心に太陽の 350 万倍の質量の巨大質量ブラックホールがあることがわかった（図 3）。またこの銀河までの距離が $31+12\text{-}14$ Mpc と求めた（査読論文 3）。

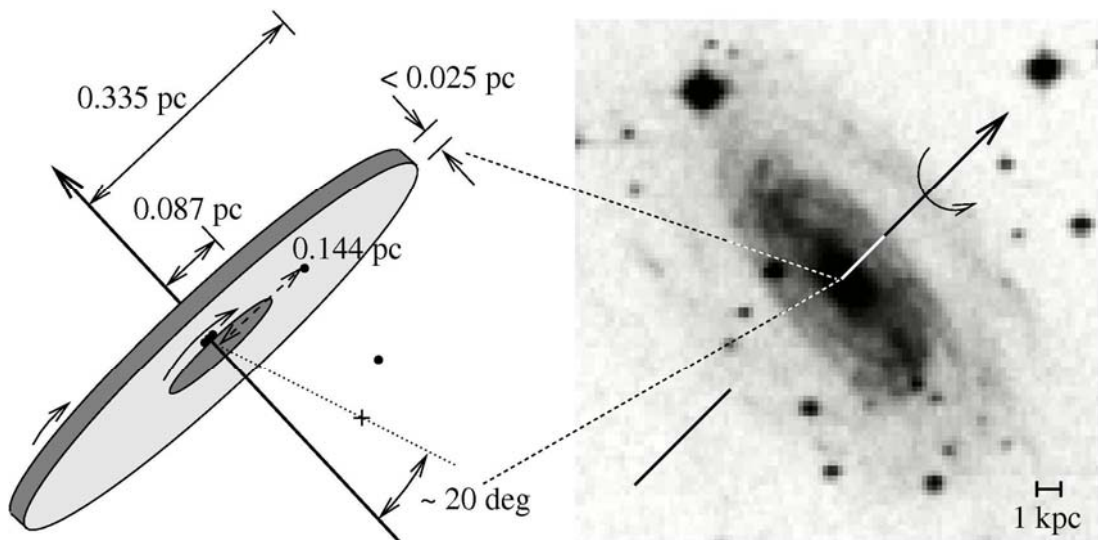


図 3. (左) 棒渦巻銀河 IC2560 の中心核に見つかった水メーザー円盤。(右) IC2560 全体の光学写真。

< 論 文 >

(査読論文)

1. 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, 416, 2143-2153 (2011).
2. Sorai, K., Kuno, K., Nishiyama, K., Watanabe, Y., Matsui, H., Habe, A., Hirota, A, Ishihara,

- Y., Nakai, N., “Properties of Molecular Gas in the Bar of Maffei 2”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 64, No.3, in press.
3. Yamauchi, Y., Nakai, N., Ishihara, Y., Diamond, P., Sato, N., “Water-Vapor Maser Disk at the Nucleus of the Seyfert 2 Galaxy IC 2560 and its Distance”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 64, accepted.

(国際研究集会集録等)

1. Davies, R.L., Gallagher, J.S., Combes, F., Courteau, S.J., Dekel, A., Franx, M.J., Jog, C.J., Jogee, S., Nakai, N., Rubio, M., Tacconi, L.J., Terlevich, E., “Commission 28: Galaxies”, Transaction IAU, Vol. 7, Issue T28, p. 255-259.

<学会発表>

1. 瀬田益道、宮本祐介、中井直正、萩原健三郎、善甫啓一、堀江雅明、秋山大樹、高柳星佳、榎原崇雄、Dragan SALAK、32m 鏡運用チーム
「つくば 32m 鏡による近傍銀河のアンモニア分子輝線観測」
日本天文学会 (2012 年 3 月 22 日、龍谷大学)
2. Dragan SALAK、中井直正、宮本祐介、山内彩、鶴剛
「The large-scale features of the molecular gas in M82」
日本天文学会 (2012 年 3 月 22 日、龍谷大学)
3. 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 (2012 年 3 月 20 日、龍谷大学)
4. 扇野光俊、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 電波望遠鏡によるオリオン分子雲の観測」
日本天文学会 (2011 年 9 月 22 日、鹿児島大学)
5. Dragan SALAK、中井直正、宮本祐介、山内彩、鶴剛
「Large-field CO (J=1-0) observations of the starburst galaxy M82」
日本天文学会 (2011 年 9 月 20 日、鹿児島大学)
6. 今田大皓、宮田隆志、酒向重行、中村友彦、浅野健太郎、内山瑞穂、左近樹、尾中敬、和田武彦、中川貴雄
「シリコンの 30 μ m 帯における反射防止用モスアイの開発」
日本天文学会 (2011 年 9 月 20 日、鹿児島大学)
7. 二本松佳樹、増田浩和、宮本祐介、瀬田益道、中井直正、石井峻、荒井均、扇野光俊、寺部佑基、他宇宙観測グループ、栗原忍、他宇宙測地グループ
「同軸ケーブル伝送特性と 20GHz 帯受信機の安定性」
日本天文学会 (2011 年 9 月 20 日、鹿児島大学)
8. 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、二本松佳樹、Dragan SALAK、関本裕太郎、永井誠、前澤裕之
「南極 30cm 望遠鏡用新小型 500GHz 帯受信機系の開発」
日本天文学会 (2011 年 9 月 20 日、鹿児島大学)
9. 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、唐津謙一、関根正和、瀬田益道、中井直正

「超伝導共振器を用いたミリ波帯アレイ型検出器の評価」

日本天文学会（2011年9月20日、鹿児島大学）

10. 寺部佑基、森正夫

「惑星状星雲の衝撃波模型」

日本天文学会（2011年9月20日、鹿児島大学）

11. 指田朝郎、岡朋治、田中邦彦、松村真司、西川綾乃、瀬田益道、永井誠

「 HCO^+ J=1-0, CO J=3-2 輝線による W44 超新星残骸の膨張運動の解析」

日本天文学会（2011年9月22日、鹿児島大学）

12. 市川隆、中井直正、高遠徳尚、沖田博文、本山秀明、南極天文コンソーシアム

「南極天文台の進捗状況」

日本天文学会（2011年9月22日、鹿児島大学）

13. 高遠徳尚、沖田博文、市川隆、第53・52次南極観測隊ドームふじチーム、他南極天文コンソーシアム

「南極大陸での可降水量調査」

日本天文学会（2011年9月22日、鹿児島大学）

14. 唐津謙一、成瀬雅人、新田冬夢、関根正和、関本裕太郎、野口卓、鶴澤佳徳、松尾宏、木内等

「宇宙背景放射偏光観測のための多素子超伝導共振器カメラの開発と実験室での実証試験」

日本物理学会（2012年3月25日、関西学院大学）

15. 成瀬雅人、関本裕太郎、宮地晃平、鶴澤佳徳、新田冬夢、唐津謙一、関根正和、野口卓

「高品質 Al 膜を用いたミリ波超伝導共振器カメラの開発」

応用物理学会（2012年3月17日、早稲田大学）

16. 関本裕太郎、成瀬雅人、新田冬夢、唐津謙一、日比康詞、関根正和、松尾宏、野口卓、鶴澤佳徳

「MKID-ミリ波サブミリ波検出器で拓く宇宙観測」

応用物理学会（2011年8月29日、山形大学）

17. 成瀬雅人、関本裕太郎、宮地晃平、鶴澤佳徳、新田冬夢、野口卓

「エピタキシャル Al 膜を用いた Kinetic Inductance Detectors の作成と雑音特性評価」

応用物理学会（2011年8月31日、山形大学）

<学位論文>

（博士論文）

数理物質科学研究科・物理学専攻

1. 扇野光俊

「Study of Interstellar Ammonia and Star Formation in the Orion Molecular Clouds」

（オリオン分子雲のアンモニアと星形成に関する研究）

（修士論文）

数理物質科学研究科・物理学専攻

1. 大倉裕樹

「南極テラヘルツ望遠鏡駆動部の低温対策」

2. 寺部佑基

「つくば 32m 電波望遠鏡におけるポインティングシステムの開発」

3. 二瓶亮太

- 「2 重量子井戸構造を用いた遠赤外線検出器の開発」
4. 二本松佳樹
「つくば 32m 電波望遠鏡受信機の安定化と大質量星形成領域 W51 のアンモニア輝線観測」

(卒業論文)

理工学群・物理学類

1. 鈴木康右
「南極電波望遠鏡用の傾斜計の性能評価」
2. 川崎将平
「南極 30cm 可搬型サブミリ波望遠鏡の日中における光学ポインティング法の開発」
3. 北川和
「大質量形成領域 M17 における電離ガスの解析」
4. 菅谷元典
「南極 1.2m 電波望遠鏡受信機中間周波数部の開発」
5. 菅原寿元
「南極 1.2m 電波望遠鏡における強度校正装置の設計」
6. 藤田真司
「つくば 32m 電波望遠鏡による銀河系中心部のアンモニア輝線の解析」

<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 410 万円）（4/5 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 1550 万円）（2/4 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 34 万 9 千円）
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 1446 万 2 千円）（2/3 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）（2/6 年）
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、高遠徳尚、他
「南極からの赤外線・テラヘルツ天文学の開発」
（交付額 719 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 598 万 4 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 210 万円) (2/2 年)

<共同研究・受託研究>

1. 「大学間連携 V L B I 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 (2011 年 4 月 1 日～2012 年 3 月 31 日)

<受賞>

1. 日本天文学会欧文研究報告論文賞 (2012 年 3 月 20 日)
Kuno, Nario; Sato, Naoko; Nakanishi, Hiroyuki; Hirota, Akihiko; Tosaki, Tomoka;
Shioya, Yasuhiro; Sorai, Kazuo; Nakai, Naomasa; Nishiyama, Kota; Vila-Vilaro, Baltasar,
“Nobeyama CO Atlas of Nearby Spiral Galaxies: Distribution of Molecular Gas in
Barred and Nonbarred Spiral Galaxies”, PASJ, Vol. 59, pp.117-166 (2007)
2. 筑波大学大学院数理物質科学研究科 2011 年度優秀論文賞 (後期課程) (2012 年 3 月 23 日)
扇野光俊、「Study of Interstellar Ammonia and Star Formation in the Orion Molecular
Clouds」(オリオン分子雲のアンモニアと星形成に関する研究)