

## I V. 宇宙観測グループ

教 授 中井 直正

大学院生 2名

2004年4月1日に国立天文台野辺山宇宙電波観測所より中井直正が着任して、主として電波天文学的手法による宇宙観測を行う新しいグループが発足した。研究室のさまざまな研究教育体制の整備を行うとともに、国土地理院32m鏡の電波望遠鏡化と南極望遠鏡計画をグループの2本の柱とし、その検討や設計を開始した。またこれまでに進んでいた研究の継続として銀河の観測的研究も行った。

### 【1】国土地理院32m鏡の電波望遠鏡化

大学の近くにある国土地理院が有している口径32mのアンテナは測地VLBI(超長基線電波干渉計)に使われており、観測周波数は2GHzと8GHzである。これを国土地理院との協議により、20GHz帯受信機等を搭載して宇宙電波天文観測にも使用できるように準備を開始した。20GHz帯ホーンや切り替えミラー、受信機室などはアンテナ建設時からすでに設置されている。観測周波数は20.5–25.5GHzで中間周波数は4–7GHzであり、期待される空間分解能はHPBW $\sim$ 100"である。観測目的のスペクトル線は表のとおり。具体的な研究対象としては水メーザーやアンモニアの観測による活動的銀河中心核の研究、遠方宇宙の銀河の観測などである。将来的には連続波電波の観測を行うことも考えているが、高感度観測を行うためのビームスイッチは光学系の改造が伴うため、当面は見送る。

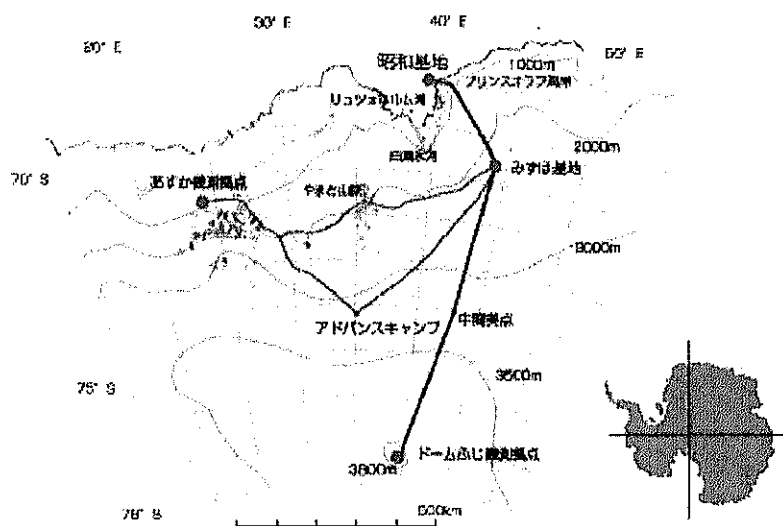
本年度に行った具体的な事項は以下のとおりである。まず受信機システムの全体設計を行い、必要部品の多くをそろえた。冷却低雑音増幅器はVERA用の設計を踏襲して製作した結果20.0–23.5GHzで雑音温度が30–35Kであり、19.5–25.0GHzで50K以下である。利得は20GHz以上の周波数で70–75dBが達成できている。これを第1中間周波数4–7GHzに変換したあと、さらに第2中間周波数2.2GHzに変換して光ファイバーを通し観測棟に伝送する。また電波分光計は情報通信研究機構の宇宙電波応用グループ(鹿嶋)の協力を得て、デジタル型分光計を開発する予定である。大気吸収も補正して正しく電波強度(アンテナ温度)を得るための強度校正装置も設計した。ステップモータによる回転チョッパ方式を採用し、ホーンの前に設置する。これらは給電部のあるところに設置予定であるが、狭いのと断熱材による覆いの取り外しが簡単ではないので、この部分の改良も必要である。これらの検討や設計は大学院生や学類4年生(卒研)とともに進めた。

これらを実現するために国土地理院並びに情報通信研究機構の宇宙電波応用グループ(鹿嶋)と研究協力の協議を行い、協定書の作成を始めた。また必要な経費を確保するため、科学研究費に申

観測予定のスペクトル線		
	Line	Frequency
水メーザー	H <sub>2</sub> O	22.235 GHz (V=0km/s) ~20.5 (V=+25400km/s)
アンモニア	NH <sub>3</sub> (1,1)	23.69 ~ (z=0.155)
	(2,2)	23.72
	(3,3)	23.87 ~ (z=0.164)
	(4,4)	24.14
	(5,5)	24.53
	(6,6)	25.05
アルコール	CH <sub>3</sub> OH	23.12 et al.
高赤方偏移分子線	CO (1-0)	115.27 (z=3.5~4.6)
	(2-1)	230.54 (z=8.0~10.2)
	HCN, CS, H <sub>2</sub> O thermal	48.99, 88.63 et al. 183.31 (z=6.2~7.9)

請するとともに、いくつかの外部資金を獲得した。

## 【2】南極望遠鏡計画



南極大陸内陸部の高原地帯は地上で最もミリ波～赤外線領域の天文観測に適した場所である。そこに筑波大学独自の口径10mクラスの高精度アンテナを設置して天文観測を行う計画を開始した。場所は南極の昭和基地から約1000km内陸側にあるドームふじ基地であり（南緯77°）、地理的標高は3810m、気圧換算の標高は4200～4300mである。ここは日本の極地研究所が持つ基地で、南極にある基地としては最も高いところ

にある（南極の高原地帯で最も高いのは地理的標高が4100mである）。極地研究所の測定データによると、気温は平均が-54℃、最低が-80℃、最高が-20℃という極低温であり、そのため大気中の水蒸気は少ない。年間を通して高気圧のもとにあるので晴天率も高く、年間降水量はわずか数ミリメートルである。風はかなり特殊で、高原地帯なので5-8m/sの風速はかなりあるが、10mを超える風は非常に少なく、20m/sを超えることは年間を通してほとんど無い。平均風速は5.8m/sで、ハワイ・マウナケア山頂やチリのALMAサイトよりも弱い。このような風は望遠鏡やドームを設計する上で興味深いものである。

物資の輸送は、南極観測船「しらせ」で行う。11月中旬に日本を出港し、オーストラリアのフリーマントルを経由して12月中旬に昭和基地に到着する。「しらせ」の物資搭載量は1100トンであるがその6割は燃料である。「しらせ」から昭和基地に物資を下ろすのはヘリコプターによるが現在のものは可能積載量が約2トンで安全を見て実際は1トン程度である。昭和基地からドームふじ基地まではみずほ基地を経由して雪上車で約3週間かかる。人間は通常はオーストラリアのフリーマントルまでは航空機で飛び、そこから「しらせ」に乗り込んで昭和基地まで行く。しかし昨年度からはドームふじ基地に行く場合は、南アフリカのケープタウンから沿岸部にあるロシアのノボラザレフスカヤ基地まで大型機で飛び、そこからドームふじ基地までロシアの小型機（バスラーターボ：最大人員45名、最大貨物積載量6トン）をチャーターして直接に行くことができる。軽量の精密機器もこの飛行機輸送が可能と考えられる。なお、極地研究所は同程度の新たな南極観測船の建設とヘリコプターの製造を計画している。観測船の積載量は「しらせ」と同程度であるが、ヘリコプターの搭載量は倍以上となる予定なので、望遠鏡の部品の最大重量を大きくすることができる。

ドームふじ基地のある場所は数百mの陸地の上に3000m以上の雪が積もったところなので、望遠鏡を置く場合にはアンテナ基礎が大きな問題になると考えられる。通常の陸地のように望遠鏡を設置すると吹き溜まりとなって雪に埋もれてしまうので（実際、ドームふじ基地の居住用の建物は完全に埋もれている）、高床式にする必要がある。その場合でもアンテナ基礎の不等沈下がアンテナの指向性に大きな影響を与えてしまう。100m下には硬い氷の層があるが、パイルをそこまで深く打ち込むには専用の重機が必要で大変である。雪の上に鉄板を並べて、その上に杭で基礎を作り沈んだ場合にはジャッキアップできるようにすることになる。それでも不等沈下は起きるが、傾き

の変化がゆっくりとしているならばアンテナ制御用のソフトウェアで補正をかけることができる。基礎設置法の開発が重要課題である。またアンテナ自身の軽量化も必須である。

ドームふじ基地には現在、重機として2トンクレーンしかない。アンテナの組み立て特に副鏡の吊り上げにはもっと大きなクレーンが必要である。また重量物の輸送は昭和基地から雪上車にそりを牽引して行うしかないが、途中はふきだまりでこぼこが激しい。振動と衝撃を緩和する輸送法の工夫が必要である。

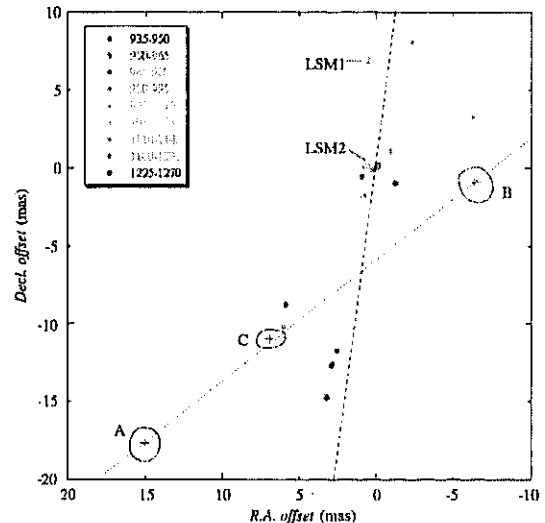
南極望遠鏡の建設や運用には極地研究所の協力が必須であり、筑波大学着任以前の2004年1月から相談をしている。本年度も担当研究者や設営担当の方と継続して協議を行い、2005年10月頃に極地研究所にサイト調査等の研究計画を申請し、2年後の2007年11月に南極に出発してドームふじ基地で越冬による調査を行う方向で検討している。

### 【3】銀河の観測的研究

#### (1) 水メーザー観測による活動的銀河中心核の研究

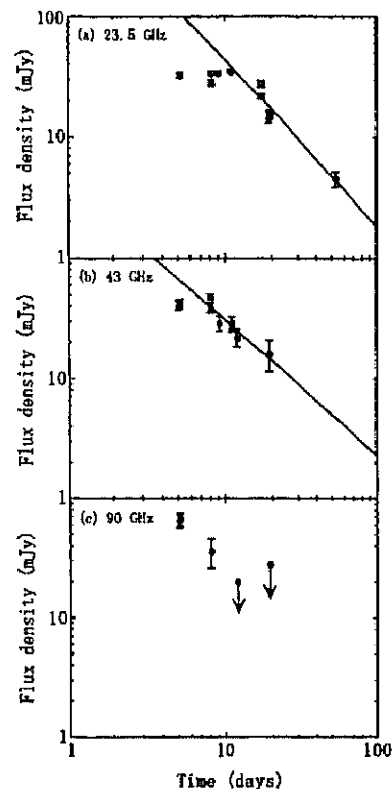
2型セイファートやLINERなどの中心から出ている超強力な水メーザー（メガメーザー）を超長基線干渉計（VLBI）で観測することは、活動的銀河中心核（AGN）の分子ガスの分布と運動を $0.001''$ より高い角分解能で直接に測定することができる唯一の手段である。この角分解能は10Mpcの距離で0.05pcの距離に相当し、ブラックホール周囲の降着円盤の外縁を直接に見ることができる。AGNからの水メーザーはこれまでに40個以上見つかったが、その中でNGC 3079は3番目に明るい。過去に2グループがVLBAで観測し、水メーザー円盤／トーラスの証拠を見つけているが、その円盤の向きや厚みなどの構造が全く矛盾したものであった。その主たる原因はこの銀河の水メーザーのスペクトルでは青方偏移成分だけが検出されており、そのVLBI観測だけでは円盤の向きの決定に不確実性が生じるためである。しかし我々は国立天文台野辺山45m電波望遠鏡により新たに赤方偏移成分を発見し、そのVLBA観測から、円盤の構造を明確に決定することができた。その結果、 $PA=-8^\circ$ に沿って半径が $r=0.4-1.2pc$ 、厚みが0.3pcの水メーザー円盤を決定することができた。また回転速度は100-200km/sであり、中心天体の質量は $M\sim 10^6 M_\odot$ であった。また我々はAGNの水メーザー円盤の厚みとスペクトルには良い相関があって2種類に分類できると考えているが、この銀河の水メーザー円盤はそれを支持するものである。（査読論文3）。

メガメーザーを出しているAGNの母体銀河の多くは渦巻銀河であるが、いくつかは楕円銀河からも出ている。その水メーザーは非常に特徴的で銀河のシステム速度（銀河中心速度）から赤方偏移側にあたかもCOのような熱的輻射輻射かのような幅の広いスペクトルを示す。その正体はよくわかっていない。我々はその中でも最も強い水メーザーを出すNGC 1052を野辺山45m電波望遠鏡で長時間観測を行い、幅の広いメーザー成分のほかに比較的狭い成分も新たに検出し、その強度が時間変化していることを明らかにした。（査読論文4）。その構造を明らかにするためVLBAで観測することを計画している。

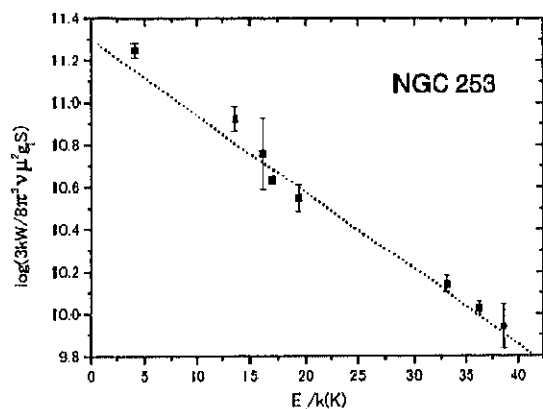


## (2) ガンマ線バーストの電波観測

遠方宇宙で発生するガンマ線バーストは極超新星の爆発に伴うものであるということがしだいに明らかになってきているが、未だにその正体はよくわかっていない。それはガンマ線では位置の決定精度が低く、またバーストの継続時間が短いため、光学観測などでも位置決定が容易ではないために他波長での追観測が困難だったからである。しかし最近のガンマ線バースト観測専用衛星の活躍や光学観測の迅速な実施などによって、序々に追観測が可能となってきた。2003年に爆発したガンマ線バースト GRB 030329 は  $z=0.168$  と比較的近くにあつて非常に明るかったため、その位置は速やかに特定された。そこで我々の野辺山 45m 鏡によって 23.5GHz、43GHz、及び 90GHz の連続波電波を、野辺山ミリ波干渉計によって 93GHz と 141GHz の連続波電波を観測し、その強度変化とスペクトル変化を測定した。その結果、フラックス密度が時間とともに急激に減少することとスペクトルの変化を認め、ガンマ線バーストの火の玉モデルによく合致することを示した。(査読論文 1、5)。



## (3) Cyclic-C<sub>3</sub>H<sub>2</sub> を用いた銀河の物理状態の測定



近傍銀河の中でも最も活発な星形成を示す NGC 353 と M82 の中心部において野辺山 45m 鏡と IRAM30m 鏡を用いて Cyclic-C<sub>3</sub>H<sub>2</sub> の 83–218GHz にある 5 本の線スペクトルを検出した。その強度から、LTE を仮定して、分子ガスの回転温度をそれぞれの銀河で  $10.8 \pm 2.4K$  と  $11.5 \pm 3.0K$  と決定することができた。これはアンモニアで求められた回転温度  $\sim 60K$  と比べて有意に低い温度である。この違いは 2 つの分子の生成機構の違いに基づくものと推測される。また観測した強度からそれぞれの Cyclic-C<sub>3</sub>H<sub>2</sub> の柱密度を  $N(\text{NGC}253)=(2.7 \pm 1.1) \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 、 $N(\text{M}82)=(1.9 \pm 0.9) \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  と求めた。(査読論文 2)。

## <論文>

(査読論文)

1. Kuno, N., Sato, N., Nakanishi, H., Yamauchi, A., Nakai, N., and Kawai, N.  
Radio Observations of the Afterglow of GRB 030329  
Publ. of Astron. Soc. Japan, 56, L1-L4 (2004)
2. Oike, T., Kawaguchi, K., Takano, S., and Nakai, N.  
Observations of Cyclopropenylidene (Cyclic-C<sub>3</sub>H<sub>2</sub>) in the External Galaxies NGC 253 and

M 82

Publ. of Astron. Soc. Japan, 56, 431-438 (2004)

3. Yamauchi, A., Nakai, N., Sato, N., and Diamond, P.  
Water-Vapor Maser Disk at the Nucleus of the Seyfert 2 Galaxy NGC 3079  
Publ. of Astron. Soc. Japan, 56, 605-619 (2004)
4. Kameno, S., Nakai, N., Sawada-Satoh, S., Sato, N., and Haba, A.  
Emergence of a Narrow H<sub>2</sub>O Maser Feature in NGC 1052  
Astrophysical Journal, 620, 145-150 (2005)
5. Kohno, K., Tosaki, T., Okuda, T., Nakanishi, K., Kamazaki, T., Muraoka, K., Onodera, S., Sofue, Y., Okumura, S. K., Kuno, N., Nakai, N., Ohta, K., Ishizuki, S., Kawabe, R., and Kawai, N.  
Nobeyama Millimeter Array Observations of GRB 030329: a Decay of Afterglow with Bumps and Molecular Gas in the Host Galaxy Water-Vapor Maser Disk at the Nucleus of the Seyfert 2 Galaxy NGC 3079  
Publ. of Astron. Soc. Japan, 57, 147-153 (2005)

(国際研究会集録等)

1. Nakanishi, H., Kuno, N., Sofue, Y., Sato, N., Nakai, N., Shioya, Y., Tosaki, T., Onodera, S., Sorai, K., Egusa, F., and Hirota, A.  
Environmental effects on gaseous disks of Virgo spiral galaxies  
In Proceedings of the dusty and molecular universe: a prelude to Herschel and ALMA, 27-29 October 2004, Paris, France. Ed. by A. Wilson. ESA SP-577, Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, ISBN 92-9092-855-7, 2005, p. 301 - 302

<学位論文>

(卒業論文)

1. 五木田 光信  
「渦状銀河 M82 における分子ガスの分布と星形成」
2. 班目 弾  
「天体位置変換計算ソフトウェアの開発」
3. 宮本 祐介  
「国土地理院 32m 電波望遠鏡中間周波数変換部の設計」
4. 堀江 雅明  
「国土地理院 32m 電波望遠鏡用の強度校正装置の開発」

5. 渡邊 明音

「渦巻銀河 NGC4321 における分子ガスの分布と運動」

<非常勤講師>

1. 中井直正 「宇宙物質学特論 I」 茨城大学理学部自然機能学科  
2004年6月23日～7月21日

<外部資金>

(学 内)

1. 学内プロジェクト研究 助成研究 (A) : 中井直正 (研究代表者)  
「水メーザーの観測による銀河中心巨大ブラックホールの研究」 (研究経費 660万円)

(学 外)

1. 国立天文台大学支援経費 : 中井直正 (研究代表者)  
「20GHz 帯受信観測システムの開発による超高光度赤外線銀河のアンモニア吸収線の観測」  
(研究経費 300万円)

<社会活動・広報活動>

(講 演)

1. 中井直正 「ブラックホールと銀河」  
松本中日文化センター (カルチャーセンター、一般向) 6月26日 長野県松本市