ＩＶ．宇宙観測グループ

教　　授　　中井 直正
講　　師　　瀬田 益道
準研究員　　山内　彩
大学院生　　９名（数理物質科学研究科後期課程２名、前期課程７名）

研究室が発足して３年目に入り、４月１日には講師、瀬田益道が着任した。国土地理院 32m 鏡の 20GHz 帯電波望遠鏡化は進展し、受信機等を搭載して初めて天体からの電波を受信した。また南極ドームふじ基地において初めてサイト調査を行い 220GHz ラジオメータによる大気の透過率の測定を実施した。これは南極天文学推進の大きな一歩である。また平行して銀河の観測的研究も継続した。

【１】国土地理院 32m 鏡の電波望遠鏡

開発していた各種装置がほぼ立ち上がり、望遠鏡に搭載して天体からの電波を受信した。

受信機系は冷却増幅部と中間周波数部が出来上がり、前者は K 帯受信機室内に設置し、後者は K 帯シェルター内に設置した。冷却増幅器は HEMT アンプ（雑音温度 30~40 K）を用いて 20 K 冷却（実際は 10 K 程度）している。観測周波数 21~25 GHz、第一中間周波数 4~8 GHz であり、受信機雑音温度 Trx = 50~60 K を達成した。また望遠鏡搭載後の大気込みシステム雑音温度は１月の快晴時に Tsys = 70~80 K であった。

電波分光計はアキリス社のフーリエ変換型デジタル分光計を採用し、8 ビット、周波数帯域幅 1 GHz、分光点数 16384 点、周波数間隔 61 kHz（観測周波数 23 GHz で速度間隔 0.80 km/s）である。これをパソコンで制御し且つデータ取得を行った。

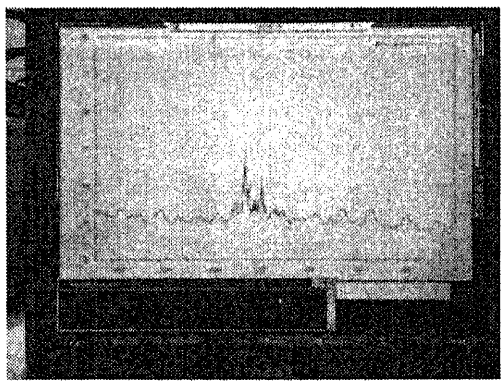
天体電波の強度較正は固定ホーンの上に回転式の強度較正装置を設置し、パソコンで制御することによって実施した。またその温度は常時モニターし、パソコンに取り込んでアンテア温度を得るのに使われている。

アンテナ、強度較正装置、受信機のローカル発信器、ステップ減衰器、電波分光計は単一鏡観測用の制御システムとして１台のパソコンで制御される。

以上の装置を全て 32 m 鏡に搭載し、2006 年 12 月 29 日に W49N の水メーザーを受け、天体からの電波の初受信に成功した（図１、図２）。その後 Orion-A の水メーザーや 3C273 等の連続波電波を観測してアンテナの性能測定を行った。　図１→

表１．32m 鏡のアンテナ性能（22.3 GHz）

HPBW	
AZ	96 ±18
EL	101 ±13
Aperture efficiency（η_a）	0.34±0.11
Main beam efficiency（η_{mb}）	0.39±0.09
η_0	0.731±0.004
鏡面精度（mm）	0.93±0.01



但し、副鏡の位置の最適化は行っていない。

一方、大きな問題点として、スペクトル中に熱雑音に比べて数十倍～100 倍にも達する非常に大きな周期的雑音がホーンより上部に起因して発生しており、単一鏡のスペクトル線観測が困難であ

る（図３）。フィドームや副鏡、副鏡ステイ等での反射による定在波ではないかと推測され、その原因除去が必要である。但し、VLBI 観測には大きな支障は出ないと思われる。今後はこの雑音を除去した後、副鏡の最適位置の決定、全天での指向性誤差の測定、受信機の改良、VLBI システムの整備等を行い、実際の天文観測に入る予定である。

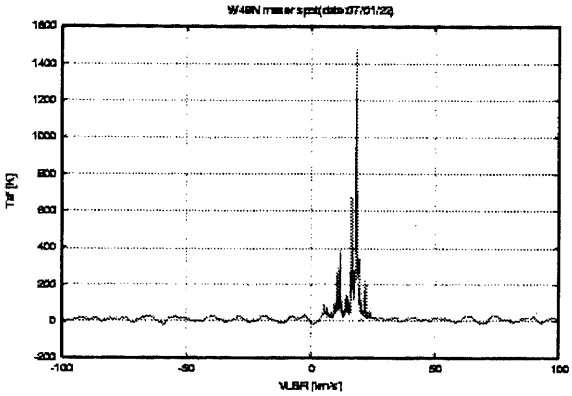


図２．１月の W49N の水メーザースペクトル

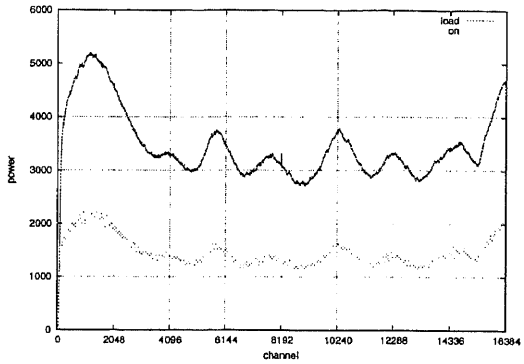


図３．強度較正装置を入れたとき（上）と、はずして空を見たとき（下）のスペクトル。下のスペクトルに細かい周期的雑音が見られる。

【２】南極望遠鏡計画

初めて南極ドームふじ基地での現地サイト調査を実施した。ALMA のためのチリのサイト調査に使用していたティッピングラジオメータを国立天文台から拝借し東京大学河野氏の協力も得てミクサー等の交換や耐寒耐震仕様等を施した上で、第４８次南極観測隊の雪氷グループ（本山秀明、等）にラジオメータとそれによる観測を委託して 220GHz 帯における大気透過率を測定した。ラジオメータは 2006 年 10 月 12 日に成田から航空機にて南アフリカのケープタウンに送られ（13 日着）、11 月 8 日にケープタウンから空路で南極大陸沿岸のロシアのノボラザレフスカヤ基地に送られた（9 日着）。12 月 3 日にノボラザレフスカヤ基地から小型機で標高 3000m の中継点まで空輸した。翌 4 日に雪上車でドームふじ基地に向かい、12 日に到着した。ラジオメータをいろいろ調整ののち 12 月 18 日から 2007 年 1 月 14 日まで大気透過率を測定した。18 日に雪上車で昭和基地に向けて輸送し、2 月 2 日に観測船「しらせ」に積み込まれて、4 月 14 日に太井埠頭着、15 日に極地研究所に戻った。

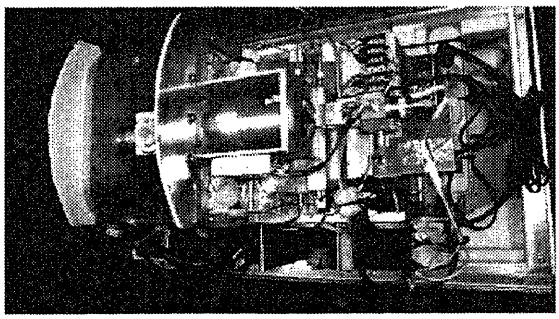


図１．ラジオメータ内部

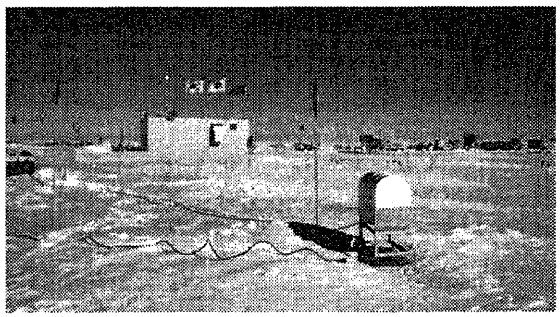


図２．ドームふじ基地での測定（手前ラジオメータ）

約１ヶ月の測定の結果、220GHz での大気の透過率を求めることができた。この期間は現地での

夏で太陽は沈まない状態であった。大気の光学的厚みは $\tau = 0.031 \sim 0.071$ であり、平均は

$$\tau = 0.046 \pm 0.006$$

であった。チリの ALMA サイトと比較して、低いレベルで非常に安定しており、τ(220GHz)<0.06 [τ(820GHz)~τ(670GHz)~τ(495GHz) < 1 に相当]である割合が 97%であった（ALMA サイトの同時期では 34%)。これからドームふじ基地は夏季でもサブミリ波の観測に非常に適していることがわかった。今後は現地の冬季での測定とフーリエ分光器による～2 THz までの測定が望まれる。

国内においては、2006 年 10 月 12 日に文部科学省の担当課において南極での天文学推進の説明を行った。また 2007 年 4 月 20 日に国立極地研究所において、極地研究所、筑波大学、東北大学、国立天文台の関係研究者による南極天文学推進検討会を開催し、ドームふじ基地でのサイト調査の結果報告と今後の進め方について協議した。また天文学会等各種研究会において研究発表を行った。

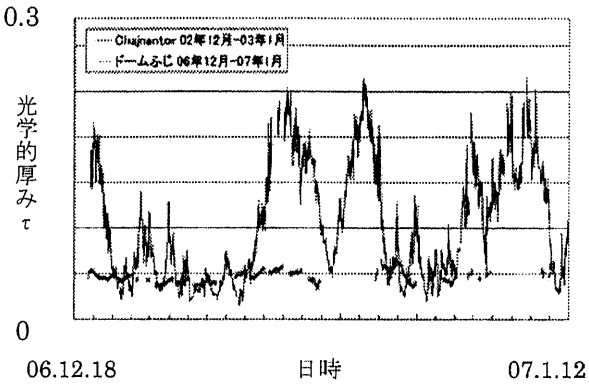


図３．220GHz での大気の光学的厚みの時間変化（上：チリの ALMA サイト、下：ドームふじ基地）

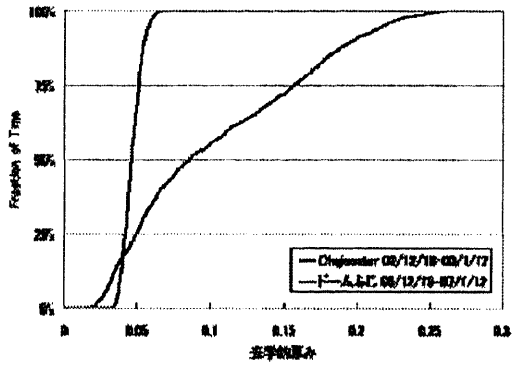
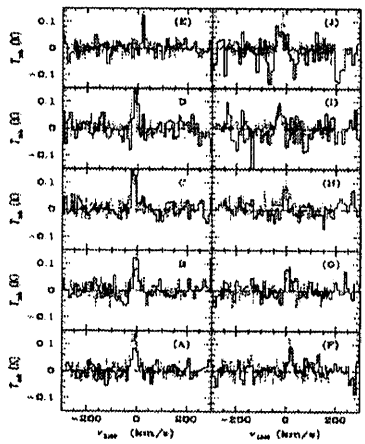


図４．220GHz での大気の光学的厚みの頻度分布（右：チリの ALMA サイト、左：ドームふじ基地）

【３】銀河の観測的研究

（１）典型的渦巻銀河 M81 の CO（査読論文１）

距離約 3 Mpcという近傍にあってきれいな２本腕を持つ渦巻銀河M81 の渦状腕部分を国立天文台野辺山 45m電波望遠鏡と米国オーエンスバレー電波観測所（OVRO）の電波干渉計で一酸化炭素COの観測を行った。その結果、中性水素原子HIガスの強度の強いところで検出され（右図)、その他の領域では非常に弱かった。これはたぶん、全ガス密度（HI+H_2）の高い領域で外からの紫外線や宇宙線をさえぎり又ダストの量が多いために分子ガスが多く生成されたためであろうと考えられる。



（２）乙女座銀河団中の銀河におけるガスの環境効果（査読論文２）

乙女座銀河団中の渦巻銀河NGC4254, NGC4402, NGC4569, NGC4579 及びNGC4654 の各銀河において銀河全面のCOを国立天文台野辺山 45m電波望遠鏡でマッピングした。空間分解能は 15 である。この結果から、各銀河の単位面積当たりの分子ガスの面密度の原子ガス（HI）の面密度に対する比f_{mol}の分布を調べた結果、銀河団の中心付近にある銀河ではf_{mol}が非常に小さいのに対して銀河団の外側にある銀河ではf_{mol}が比較的大きいことがわかった。これは銀河団内のガスの中を銀河が動いているのでその動圧によってガス密度の低い原子ガスが剥ぎ取られ、しかし密度の高い分子ガスは銀河内に残るためであろうと考えられる。

（３）野辺山 45m 電波望遠鏡による渦巻銀河 40 個の CO 全面分布図の作成（査読論文３）

銀河の中で星は分子ガスから誕生するので、銀河の中で星がどのように生まれるかということを調べるためには銀河全体の分子ガスの分布を知る必要がある。しかし銀河は遠くにあるために CO 輝線の強度は弱く、銀河全面の CO をマッピングするには膨大な時間がかかる。そのためこれまでに銀河全面の CO 分布が求められているのは数個にしかすぎない。野辺山 45m 電波望遠鏡は天空の 25 点を同時に観測できるマルチビーム受信機 BEARS を開発し、それをもちいて近傍の渦巻銀河 40 個の全面の CO 分布を得た。単一鏡でこれほど大規模なデータが得られたのは初めてである。このデータは論文として出版されるとともに世界に公開されるので、銀河における分子ガスの分布と星形成の研究に大いに寄与するものと期待される。この結果は 2007 年 2 月 25 日に記者発表された。

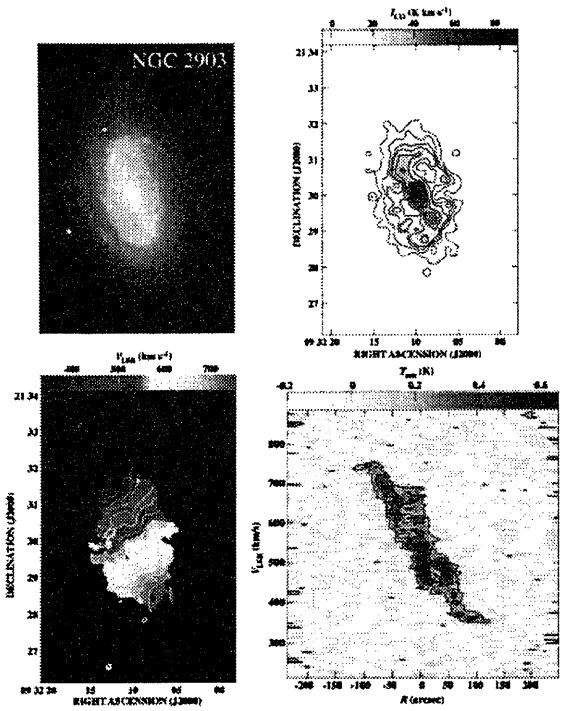


図１．NGC2903 の CO 分布

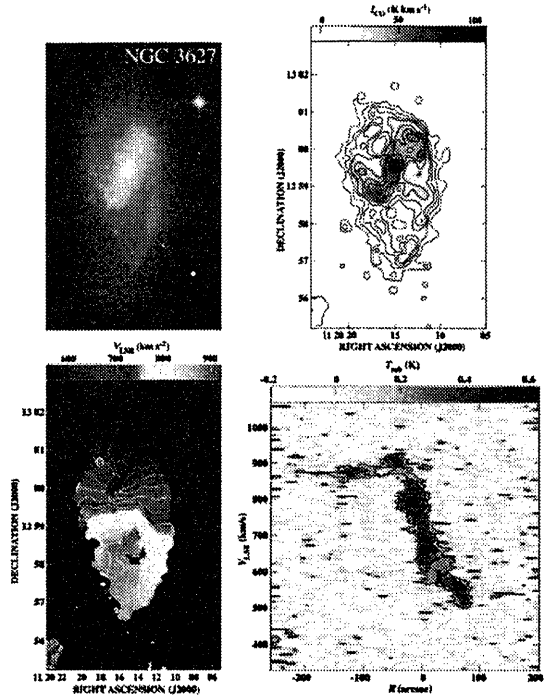


図２．NGC3627 の CO 分布

<論　文>

（査読論文）

１．Knapen,J.H., Allen,R.J., Heaton,H.I., Kuno,N., Nakai,N.
"CO emission from candidate photo-dissociation regions in M81
Astronomy and Astrophysics, 455, 897-902 (2006)

２．Nakanishi,H., Kuno,N., Sofue,Y., Sato,N., Nakai,N., Shioya,Y., Tosaki,T., Onodera,S., Sorai,K., Egusa,F., Hirota,A.
"Environmental Effects on Gaseous Disks of the Virgo Spiral Galaxies"
Astrophysical Journal, 651, 804-810 (2006)

３．Kuno,N., Sato,N., Nakanishi,H., Hirota,A., Tosaki,T., Shioya,Y., 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. of Astron. Soc. Japan, 59, 117-166 (2007)

(国際研究会集録等)

1. Kuno,N., Sato,N., Nakanishi,H., Hirota,A., Tosaki,T., Shioya,Y., Sorai,K., Nakai,N., Nishiyama,K., Vila-Vilaró,B.
"Distribution of Molecular Gas in Barred Spiral Galaxies", in Galaxy Evolution Across the Hubble Time, Edited by F. Combes and J. Palous, Proceedings of the International Astronomical Union 2, IAU Symposium #235 (Cambridge University Press, Cambridge), p.116-116.

(国際研究会発表)

1. Nakai,N.
"Probing Active Galactic Nuclei with Water-Vapor Masers", Symposium on Mapping the Galaxy and Nearby Galaxies, June 26-30, 2006 (Ishigaki, Okinawa, Japan)
2. Yamauchi,A., Nakai,N., Ishihara,Y., Diamond,P., Sato,N.
"Water-Vapor Maser Disk at the Nucleus of the Seyfert 2 IC 2560 , Symposium on Mapping the Galaxy and Nearby Galaxies, June 26-30, 2006 (Ishigaki, Okinawa, Japan)
3. Yamauchi,A., Nakai,N., Ishihara,Y., Diamond,P., Sato,N.
"Water-Vapor Maser Disk at the Nucleus of the Seyfert 2 IC 2560 , IAU Symposium 242 Astrophysical masers and their environments, March 12-16, 2007 (Alice Springs, Australia)
4. Kameno,S., Nakamura,K., Sawada-Satoh,S., Yoshikawa,R., Nakai,N., Sato, N.
"Scanning accreting matters in the central sub-pc region of NGC 1052 ,
Black Holes: From Stars to Galaxies - Across the Range of Masses, International Astronomical Union. Symposium no. 238, held 21-25 August, 2006 in Prague, Czech Republic, S238, #114
5. Kuno,N.; Sato,N.; Nakanishi,H.; Hirota A.; Tosaki,T.; Shioya,Y.; Sorai,K.; Nakai,N.; Nishiyama, K.; Vila-Vilaro, B.
"Distribution of Molecular Gas in Barred Spiral Galaxies"
Galaxy Evolution Across the Hubble Time, International Astronomical Union. Symposium No. 235, held 14-17 August, 2006 in Prague, Czech Republic, S235, #238
6. Ishi,S., Miyagawa,N., Seta,M., Nakai,N., Motoyama,H, Taguchi,M,
"Preliminary Results of Site Testing for THz observation at Dome Fuji in Antarctica", 7th workshop on Submillimeter-Wave Technologies in Eastern Asia, January 17-19, 2007 (Osaka Prefecture University, Osaka, Japan)

<学位論文>

(修士論文)

数理物質科学研究科・物理学専攻

1．堀江雅明
「つくば 32m 電波望遠鏡の強度較正装置の開発とアンモニア観測による近傍銀河中心部の研究」

2．宮本祐介
「つくば 32m 電波望遠鏡 20GH z 帯受信機の開発と銀河系分子雲のアンモニア観測」

3．山倉鉄矢
「NbTiN を超伝導細線に用いたホットエレクトロンボロメータミキサーの開発」

（卒業論文）

1．石塚洋行
「渦状腕の解析による銀河のパターン速度と星形成の研究」

2．大城　航
「CO J=1-0 と J=2-1 の解析による銀河の一酸化炭素分子の物理状態の研究」

3．助田悠紀
「国土地理院つくば 32m 鏡の実効雑音の解析」

4．塚原隆平
「渦巻銀河 M81 におけるガスの軌道運動の研究」

5．永井　里
「南極ドームふじ基地における大気の 220GHz 透過率の測定」

6．丸山理樹
「国土地理院つくば 32m アンテナの性能評価」

＜学会発表＞

1．高野秀路、中西康一郎、中井直正、鷹野敏明
「Detection of ammonia in the ultraluminous infrared galaxy Mrk 231」
日本天文学会秋季年会（2006 年 9 月 20 日）

2．間明田好一、中井直正
「水メーザーの観測による活動銀河 IC1481 の準ケプラー回転円盤の検出」
日本天文学会秋季年会（2006 年 9 月 19 日）

3．山内彩、中井直正、石原裕子、P.Diamond、佐藤奈穂子
「Seyfert 2 型銀河 IC2560 の水メーザー円盤」
日本天文学会秋季年会（2006 年 9 月 19 日）

4．中村佳代子、亀野誠二、澤田-佐藤聡子、吉川亮、中井直正、佐藤奈穂子
「多周波電波観測で探る活動的銀河 NGC1052 のプラズマトーラスの構造」
日本天文学会秋季年会（2006 年 9 月 19 日）

5．萩原健三郎、中井直正、近藤哲郎、木村守考
「汎用計算機を用いた広帯域ソフトウェア電波分光計の開発」
日本天文学会秋季年会（2006 年 9 月 21 日）

6．徂徠和夫、久野成夫、中井直正、河野孝太郎、廣田晶彦、渡邉祥正、松井秀徳、羽部朝男
「棒渦巻銀河 Maffei 2 のバーにおける高密度分子ガスと星形成」
日本天文学会春季年会（2007 年 3 月 30 日）

7．中井直正、瀬田益道、山内彩、宮本祐介、石井峻、小出祐輔、宮川直己、他
「南極テラヘルツ望遠鏡計画」
日本天文学会春季年会（2007年3月30日）
8．前澤裕之、水野亮、長濱智生、山本智、新保謙、芝祥一、森田将、山倉鉄矢、中井直正
「2THz帯HEBミクサ素子の開発」
日本天文学会春季年会（2007年3月30日）

＜受賞等＞

1．山倉鉄矢
筑波大学大学院数理物質科学研究科修士優秀論文表彰

＜外部資金＞

（学　内）

1．物理学系若手奨励研究プロジェクト：山内彩（研究代表者）
「アンモニア吸収線の観測による活動的銀河中心核の研究」
（交付額20万8850円）（1／1年）
2．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」
（交付額40万円）（3／3年）
3．学内プロジェクト研究（特別助成研究）：瀬田益道（研究代表者）、中井直正、山内彩
「南極天文学開拓に向けてのサーベイ望遠鏡の開発」
（交付額578万3000円）（1／3年）

（学　外）

1．科学研究費補助金（基盤研究B）：中井直正（研究代表者）
「水メーザーの観測によるセイファート銀河の統一モデルの再考」
（交付額 100万円）（2／3年）
2．科学研究費補助金（萌芽研究）：中井直正（研究代表者）
「ソフトウェアー電波分光計の開拓」
（交付額 50万円）（2／2年）
3．独立行政法人情報通信研究機構受託研究：中井直正（研究代表者）
「サブミリ波帯における大気透過率測定の検討」
（交付額 224万2500円、内間接経費19万5000円）（1／1年）
4．自然科学研究機構国立天文台平成18年度共同開発研究：
瀬田益道（研究代表者）、中井直正、山内彩
「南極THz望遠鏡搭載プロトタイプ搭載用高感度受信機の開発」
（交付額 250万円）（1／1年）

＜共同研究・受託研究＞

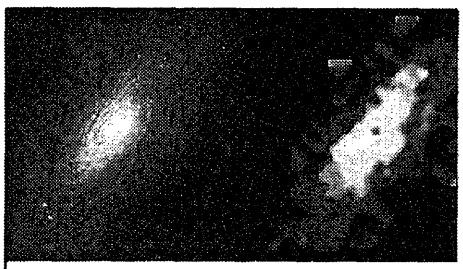
1．「サブミリ波帯における大気透過率測定の検討」受託研究実施契約書
　　独立行政法人情報通信研究機構（2006年12月15日～2007年3月30日）
2．「南極THz望遠鏡搭載プロトタイプ搭載用高感度受信機の開発」共同研究契約書
　　大学共同利用機関法人自然科学研究機構（2006年12月1日～2007年3月31日）

＜社会活動・広報活動＞

（一般向講演）

1．２００６年１０月７日（土）：つくばエクスポセンター
　　“まなびピアいばらき２００６”
　　中井 直正；「銀河にひそむ巨大ブラックホール」
2．２００６年１１月１９日（土）：大阪市立科学館
　　“アンデスの巨大電波望遠鏡でさぐる宇宙”講演会；
　　中井 直正；「銀河にひそむモンスターたち」
3．２００７年２月１４日（水）：富山県南砺市城端伝統芸能会館じょうはな座
　　天文宇宙の講演会
　　中井 直正；「銀河にひそむモンスターたち」

（新聞発表）
1．２００７年２月２５日、朝日新聞、読売新聞、毎日新聞（東京版３月１日）、日本経済新聞、茨城新聞、科学新聞、他
　　「銀河４０個の電波写真完成



星の「素」とらえた　国立天文台が観測
ガス分布

星の「素」になるガスが、銀河の中で分布している様子をとらえたデータベースを国立天文台が作り、26日にウェブサイトで公開した。

星は、宇宙空間にあるガスの塊が収縮してできると考えられている。ガスの分布がわかれば、星の形成を知るのに役立つが、目に見える光（可視光）では観測できないので、電波望遠鏡による観測が行われている。

国立天文台の研究グループは、ガスの分布を示す一酸化炭素（CO）分子の濃度を観測する直径45㍍の電波望遠鏡（長野県南牧村）の受信装置を改良。これまでの25倍の効率で観測できるようにした。01年から観測を始め、約8千万光年以内にある40の渦巻き銀河のデータを集めた。

研究に携わった中井直正・筑波大教授は「今後も観測を続け、100カ所ほどに増やしたい」としている。

約52000万光年離れた銀河M88。電波写真（右）ではCOの分布がわかる＝国立天文台提供

（朝日新聞）

渦巻き銀河「NGC5055銀河」の光学画像（上）と電波望遠鏡画像（下）＝国立天文台提供

40の銀河を電波観測
国立天文台と筑波大

地球から約八千万光年までの範囲にある四十の渦巻き銀河を、電波望遠鏡で観測した画像のデータベースを、国立天文台や筑波大などの研究グループが作成し、二十五日、インターネットに公開した。

電波観測は、可視光では見えない「分子ガス」と呼ばれる星の材料の分布が分かるため、星の形成や銀河の進化を知る上で重要な手がかりが得られる。渦巻き銀河は分子ガスが豊富で、格好の研究材料となる。

研究グループは、国立天文台野辺山宇宙電波観測所（長野県南牧村）の直径四十五㍍の電波望遠鏡に、分子ガスが出す弱い電波を広範囲で効率よく観測できる特殊な受信機を装着。銀河一つにつき五～六年かかっていた観測が数十時間で実施可能になり、多くの銀河のデータが集められるようになった。

同天文台の久野成夫主任研究員は「一つの大口径電波望遠鏡が銀河の分子ガスを高感度、高分解能で観測したデータベースとしては、世界最大の収録数だ」としている。

データベースは同観測所のホームページで閲覧できる。アドレスはhttp://www.nro.nao.ac.jp/Misc/gallery.html

（茨城新聞）