

# NMA による低質量星形成領域の観測

大橋永芳\*・平野尚美\*・水野 亮\*\*・林 正彦\*\*\*・川辺良平\*

## 1. はじめに

系外銀河やオリオンのような大質量星形成領域と同様に、低質量星形成領域の観測も干渉計にとっては重要なテーマの一つです。低質量星形成領域では主に我々の太陽程度の質量を持った星が生まれています。太陽のような低質量星の形成は大質量星に比べるとゆっくりとしていて、だいたい数千万年かけて一人前の星となります。ですから観測される若い星の数も多く、星がどの様にして形成されるのかを統計的に調べるには大質量星よりも、むしろ低質量星の方が適しています。また最近では、惑星系の基と考えられる円盤が若い低質量星の周囲に存在することが指摘されており、注目を集めています。このように低質量星形成領域の観測は、星形成や惑星系形成にとってたいへん重要なのです。これまでに野辺山 5 素子干渉計を用いた低質量星形成領域の観測としては、L1551-IRS5, TMC1, L1527, WL16, B335,  $\rho$ -Oph East などの観測がありました。ここでは最近の観測から双極分子流天体 B335,  $\rho$ -Oph の観測と、いくつかの若い星の周囲に見られる円盤の観測を紹介します。

## 2. 双極分子流天体の観測 —B335, $\rho$ -Oph East—

まず最初に双極分子流天体の観測を二つ紹介します。双極分子流とは、星生成領域から両極方向に超音速（時には毎秒数十キロメートルから数百キロメートルにも及ぶ）で分子ガスが放出される現象です。1980 年、スネル (Snell) らによって最初の双極分子流がおうし座にある暗黒星雲 L1551 で発見されて以来、現在までに 100 個を超える双極分子流が発見されてきました。それらの多くは低温でまだ光では見えていない赤外線源に付随しており、このことから双極分子流は星生成の初期の段階に発生すると考えられています。しかしながらまだまだ謎も多く、そもそもなぜあの様な“双極構造”をしているのかについては、様々な議論がなされてきました。この問題を解決するには、分子流天体の“付け根”の部分の高い空間分解能で観測し、双極構造を作り出している様子を詳細に調べる必要があります。今回そのような観点から、B335 (Hirano *et al.* 1990) と  $\rho$ -Oph East (Mizuno *et al.* 1990 b) という二つの分子流天体が NMA を用い

て観測されました。観測した分子線は分子流の観測に最も多く用いられる、一酸化炭素 (CO) の回転遷移線 (回転量子数  $J=1-0$ ) です。

分子流天体 B335 は、孤立した暗黒雲バーナード 335 (距離約 800 光年) で発見された分子流天体です。この分子流天体の特徴は、赤外線源を中心としてたいへん美しい双極構造を持つ点です。野辺山の 45 m 鏡を用いた観測によると、赤外線源付近では非常によく収束されていて、そこからファン状に分子流が東西に吹き出している様子がよくわかります。(図 1 左; Hirano *et al.* 1988). B335 は我々に対してはほぼ“真横”を向いているために、見事な双極構造をしていると考えられます。このように真横を向いた分子流は、中心付近での双極分子流の収束の様子を調べるには格好の天体です。

NMA による観測の結果、B335 は赤外線源近傍では図 1 の右に示したような分布をしていることがわかりました。この図から明らかなように、B335 は赤外線源から 1000 AU (1 AU は太陽と地球の間の距離で  $1.5 \times 10^8$  cm) のところで既に双極構造をしています。青方偏移した速度を持つガス (c) と、赤方偏移した速度を持つガス (d) は、共に赤外線源を中心とした「リボン」の様な構造をしています。この様に見えるのは先ほども述べた様に、分子流をほぼ真横から観測しているためと考えられます。この観測から B335 の場合、双極構造は赤外線源から 1000 AU 以内で作られているものと思われます。しかしながら分子流は赤外線源の極近くでは弱くなってしまい、分子流が吹き出している様子まではわかりませんでした。さらに高い空間分解能で観測すれば、吹き出し口の極めて細い“ノズル”が見えてくるかもしれません。

一方、 $\rho$ -Oph East はへびつかい座 (距離約 500 光年) にある分子流天体で、名大 4 m 鏡による分子流サーベイにより発見されました (Fukui *et al.* 1986)。先ほどの B335 とは対称的に  $\rho$ -Oph East はたいへん複雑な構造をしています。その構造とは、広がった 1 対の単極分子流とコンパクトな 2 対の双極分子流から成るもので、分子流は合計五つの方向に吹き出しています (図 2a)。この特異な構造を作り出した原因として、(1). 連星系による歳差ジェット説、(2). 高密度ガスと分子流との相互作用説、の二つが検討されました (Mizuno *et al.* 1990 a)。しかしながら、単一鏡によるデータでは空間分解能の不十分さから決定的なことはわかりませんでした。

NMA による観測の結果、図 2b に示したような  $\rho$ -Oph

\* 国立天文台 Nagayoshi Ohashi, Naomi Hirano, Ryohei Kawabe, \*\* 名大理 Akira Mizuno, \*\*\* 東大理 Masahiko Hayashi: Observations of Low-mass Star Forming Regions with NMA

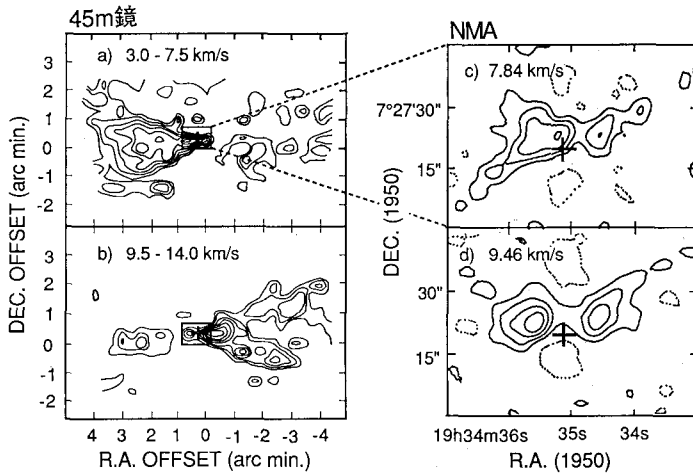


図 1 分子流天体 B335 の強度分布図. 左図に 45m 鏡により取得された青方偏移 (a), 赤方偏移 (b) したガスの分布図を, 右図に NMA により取得された青方偏移 (c), 赤方偏移 (d) したガスの分布図を示す. 図中の十字は赤外線源の位置を表す.

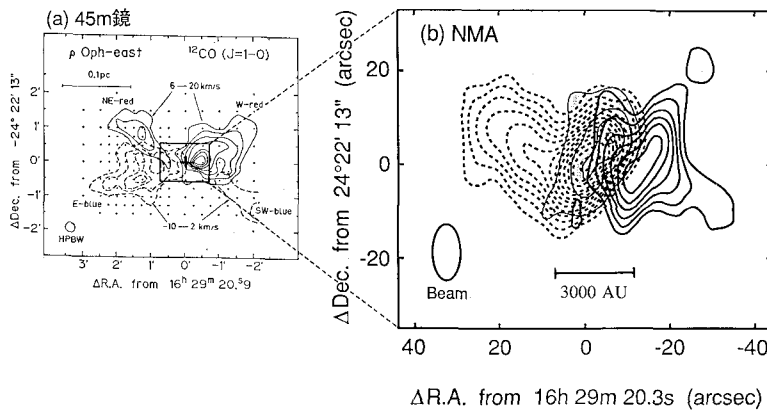


図 2 分子流天体  $\rho$ -Oph East の強度分布図. (a). 45m 鏡により取得されたコンパクトな 2 対の分子流の分布図. 図中の十字は赤外線源の位置を表す. (b). NMA により取得された赤外線源近傍の分子流の分布図. 点線と実線はそれぞれ青方偏移・赤方偏移したガスの分布を, ハッチはマンディーらによって観測された 2.7m 連続波強度分布を表す.

East の構造が明らかとなりました. 分子流の分布は赤外線源の東側に青方偏移したガス (図中点線) が, 西側に赤方遷移したガス (図中実線) が分布するという双極構造を示し, 赤外線源近傍では 45m 鏡のマップに見られたような, もう一組の双極構造は見られませんでした. どうも  $\rho$ -Oph East の特異な形状は, 1000 AU 以上のスケールで決定されていると思われます. また, マンディーら (Mundy *et al.* 1986) によって 2.7 mm 連続波で観測されたダスト円盤から, 分子流が吹き出している様子はこの天体でも観測されませんでした.

### 3. 若い星の周りの円盤の観測

次に若い星の周囲にあるダスト円盤の観測を紹介します. 私たちの太陽系がどの様にできたのかという問題は, 天体物理学にとってたいへん重要な問題です. 私たちの住む太陽系のような惑星系は, 「原始惑星系星雲」というガスと塵 (固体微粒子) から成る円盤状の雲からできたと考えられています. このような考えは, 1970 年代に林 忠四郎を中心とする京都大学のグループによって提案されました. ところが当時の観測技術では, この

ような原始惑星系星雲の存在を確認することは事実上不可能でした. ところが最近になって観測技術が大幅に向上し, 星形成の研究が盛んに行われるようになると, 生まれたばかりの若い星の周りには物質が円盤状に分布していることが, 少しずつわかってきました. いくつかの若い天体では原始惑星系星雲と考えられるダスト円盤の存在も指摘されています.

カリフォルニア大学パークレー校のフランク・シュエ達のシナリオ (例えば Shu, Adams, and Lizano 1987) によると, 太陽程度の質量を持った星は数太陽質量の「分子雲コア」と呼ばれるガスの塊が, 収縮することによって形成されます. この時ガスは球状に収縮するのではなく, 円盤状に収縮し, その中心で星の卵である「原始星」が形成されると考えられています. やがて周囲のガスは散逸し, 生まれたばかりの星はここで初めて光で見える星, 「おうし座 T 型星」となります. おうし座 T 型星の周囲にはほとんど物質は残っていないのですが, その近傍約 100 AU (=太陽と地球の間の距離 100 倍) 以内には, 原始星期の円盤の残骸が存在しているとシュエ達は主張しています. これが原始惑星系星雲です.

現在ではこの原始惑星系星雲から、惑星系ができると考えられています。しかし、このような原始惑星系星雲がいつ、どのようにして形成されるのかは全くわかっていませんでした。そこで地球から約 500 光年の距離にあるおうし座星形成領域中の若い天体について、原始惑星系星雲らしい円盤が存在するかどうかを確かめるために、円盤の構成要素である塵と分子ガスの分布を詳しく観測しました (Ohashi *et al.* 1990)。塵の分布はそれから放射されている波長 3 ミリの連続波を、またガスの分布については、硫化炭素分子ガス (CS) から放射される波長 3 ミリの回転遷移線 (回転量子数  $J=2-1$ ) を観測することによって調べました。先ほどもふれたように原始惑星系星雲と考えられる円盤はたいへん小さくて、おうし座の距離でもたった 1" 角の広がりしかありません。ですから私たちは高い角分解能で観測できる装置として NMA を用いました。

観測は約半年間でまだ光で見えない原始星 6 つ、光で見えたばかりのおうし座 T 型星 5 つについて行いました。約半年間で 11 天体ものサーベイを行うことのできた最大の理由は、外国の干渉計にはない素子数の多さでしょう。1 天体当たり 2 から 5 回の観測を行い、基線長は 20 メートルから最大約 300 メートルにわたりました。その結果、2"6 から 8"8 (おうし座分子雲の距離で約 360 AU から 1200 AU に相当) の空間分解能を得ることができました。観測した 3 ミリ波長帯は大気窓に当たり、そこでのシステム雑音温度は大気込みで約 150 K (DSB) と低く、その結果、約 4 mJy/Beam (3 ミリ連続波、バンド幅=約 300 MHz)、70 から 120 mJy/Beam (CS ガス、速度分解能=約 1 km s<sup>-1</sup>) の検出限界を達成することができました。

観測の結果、原始星の周囲には広く (1500 AU から 2000 AU) 分子ガスが存在していましたが (図 3)、原始惑星系星雲のような小さくて重たい円盤はまだ存在していませんでした。一方、おうし座 T 型星の周囲には広く分布する分子ガスは観測されませんでした、その中心部には小さくて干渉計でも分解できないような塵から放射された強い連続波源があることがわかりました (図 4)。波長 3 mm では塵から放射された連続波の強度は、塵の量に比例すると考えられていますから、おうし座 T 型星は大量の塵に覆われていることとなります。大量の塵に覆われている星は、その放った光が塵によって吸収されてしまうので光では見えない筈です。それにも関わらずおうし座 T 型星が光で見えていることから、この分解できない連続波源は半径数百 AU 以下の円盤であると考えられます。

さて、原始星とおうし座 T 型星との間の観測結果の違いは何を意味するのでしょうか。その答は物質の分布の

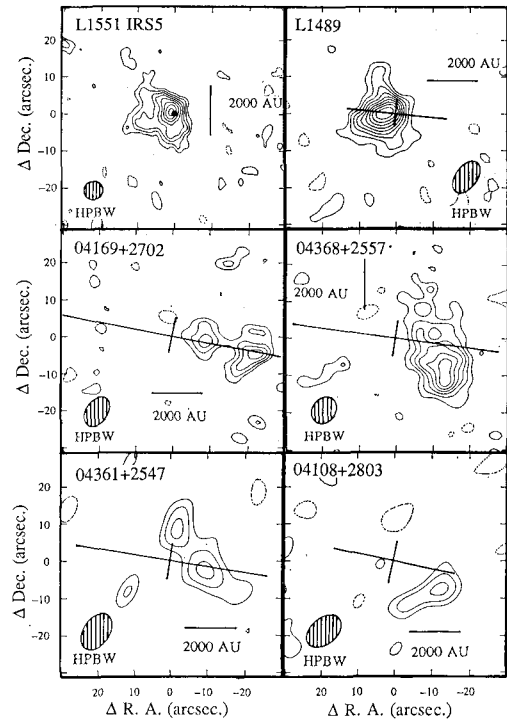


図 3 NMA により取得された原始星周囲の CS ガスの分布図。図中の黒丸、十字は中心星の位置を表す。

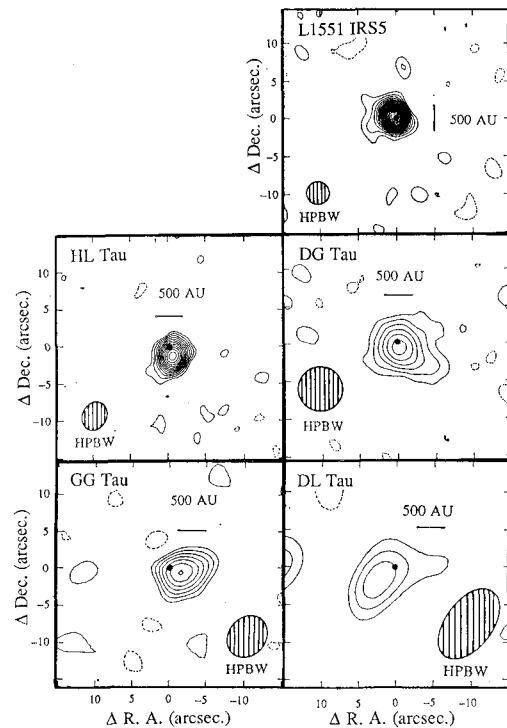


図 4 NMA により取得されたおうし座 T 型星周囲の塵の分布図。図中の黒丸は中心星の位置を表す。

違いです。つまり、原始星の周囲の物質は広がっているのに対して、おうし座T型星周辺の物質は中心に集中しているのです。

観測された連続波の強度から物質の量を推定すると、おうし座T型星の近傍には、 $10^{-2}$  から  $10^{-1}$  太陽質量の物質が集中しています。これに対して、原始星では塵からの連続波が検出されなかったことから、その周辺約500 AU 以内には  $1.5 \times 10^{-2}$  太陽質量以下の物質しか存在しないことになります。例えば、密度分布が中心からの距離の $-2$ 乗に比例し、質量が1太陽質量、半径が1万AUの典型的な広がった分子雲コアの中心に原始星があったとすると、500 AU 以内の物質の量は  $2.5 \times 10^{-2}$  太陽質量となり、先ほど求めた上限値と比較的よく一致します。

逆に、原始星周辺では物質は広がっていて、その中心部が分子ガスで観測されたと思われる。原始星が半径1万AUの分子雲コアに埋もれていることを考えると、この解釈はたいへん自然なものです。これに対しておうし座T型星では、分子雲コアの大部分は散逸してしまっているために、広がった分子ガスは検出されなかったと考えられます。ただし上で述べたように、おうし座T型星の中心部に小さくて重たい円盤があるのならばその中にある分子ガスが検出されても構いません。これが検出されなかった理由としては、(1). 円盤内には分子ガスが少ない、(2). 円盤内のガスの分布が小さすぎて観測できない、の二つが考えられます。現在のところどちらともいい難いのですが、仮に二番目の理由が正しいとすると、円盤内のガスは半径約70 AU 以下の広がりしかないこととなります。

このように原始星とおうし座T型星の間には、その周囲の物質の分布の仕方に大きな違いがあることがわかりました。このことから、惑星を作るのに必要な十分小さくて重たい原始惑星系星雲は原始星の時期にはまだ存在せず、原始星後期からおうし座T型星の時期にかけて形成されることが明らかとなりました。今後さらに高い角分解能で観測し、まだ分解されていない原始惑星系星雲の姿を明らかにすることが課題です。

#### 4. さいごに

干渉計によって得られた低質量星形成領域の絵は、系外銀河や大質量星形成領域に比べると、単純で一見つまらないように思えますが、そこから導き出される天体物理学的情報は計り知れません。特に、原始星における質量降着の検出や惑星系形成、或いは分子雲の分裂に関する研究などにとっては、今後益々干渉計による高い空間分解能の観測が必要となってくるでしょう。しかし一方で、暗黒星雲の弱い電波にも十分応えられるような感度

の良い受信機の開発が今後のNMAによる低質量星形成領域観測の鍵となることも間違いありません。ともあれ、これからもNMAによって描き出す低質量星形成の姿にどうぞご期待ください。

#### 参考文献

- Fukui, Y., Sugitani, K., Takaba, H., Iwata, T., Mizuno, A., Ogawa, H., and Kawabata, K. 1986, *Ap. J. (Letter)*, **311**, L85.
- Hirano, N., Kameya, O., Nakayama, M., and Takakubo, K. 1989, *Ap. J. (Letter)*, **327**, L69.
- Hirano, N., Kameya, O., Kasuga, T., Hasegawa, T., Hayashi, S. S., and Umemoto, T. 1990, presented 7th Manchester Astronomical Conference on *Molecular Clouds*.
- Mizuno, A., Fukui, Y., Iwata, T., and Takano, T. 1990a, *Ap. J.*, **356**, 184.
- Mizuno, A., Nozawa, S., Iwata, T., and Fukui, Y. 1990b, presented at the IAU symp. No. 147 on *Fragmentation of Molecular Clouds and Star Formation*.
- Mundy, L. G., Wilking, B. A., and Myers, S. T. 1986, *Ap. J. (Letter)*, **311**, L75.
- Ohashi, N., Kawabe, R., Hayashi, M., and Ishiguro, M. 1990, presented at the IAU symp. No. 147 on *Fragmentation of Molecular Clouds and Star Formation*.
- Shu, F. H., Adams, F. C., and Lizano, S. 1987, *Ann. Rev. Astr. Ap.*, **25**, 23.
- Snell, R. L., Loren, R. B., and Plambeck, R. L. 1980, *Ap. J. (Letter)*, **239**, L17.

#### 学会だより

##### 日本学術会議第15期会員候補者選考に関する公示

日本天文学会選挙管理委員会は、平成3年(1991)7月に改選される標記の会員候補者(第4部・天文学)の選挙を行います。

この選挙は、日本天文学会・日本学術会議会員候補者推薦内規(以下内規という)の規定に基づいて行うもので、下記の通り公示する。

#### 記

1. 選挙権を有するものは、平成2年12月1日における特別会員である。(内規第4条、内規注)
2. 被選挙権者は、日本学術会議法により、①日本国籍を有するもの。②会員在任期間が通算9年未満のものである。(内規第5条)
3. 上記有権者には、12月中旬に有権者名簿、投票用紙および投票用封筒を送付する。
4. 投票期間は、平成2年12月19日～平成3年1月16日とする。
5. 投票は単記・無記名とする。(内規第7条)
6. 選出された候補者名は、平成3年4月20日発行の天文月報5月号に発表する。
7. 投票の詳細については、投票用紙の発送に際して、これを通知する。

以上

1990年12月19日

日本天文学会選挙管理委員会