

野辺山ミリ波干渉計でみた大質量星形成領域

村田 泰宏*・林 正彦*

野辺山ミリ波干渉計を用いて行われた大質量星形成領域の観測を見てみると、Orion-KL (村田), NGC 2071 IRS (川辺・北村), GL490 (川辺), G10.6 (面高), S140 (林正), S106 (林左), Sgr B2 (宮脇), W51 (春日), GGD27 (山下), W49 (長谷川), W3 (小林), NGC 7538 (赤羽・亀谷) などの代表的天体について、CO や CS などの分子輝線や、free-free やダストによる連続波の観測がなされている。ここでは、Orion-KL 領域を中心に、野辺山 5 素子干渉計によってどんなことが分かってきたのかを見ることにする。

1. 大質量星形成の問題

大質量星 ($\geq 5-10 M_{\odot}$) の形成過程は、小質量星 ($\leq 1 M_{\odot}$) の形成ほど明らかになってはいない。小質量星は暗黒星雲などの $10^3 M_{\odot}$ 程度の分子雲でも形成され、太陽系から比較的近い (0.1-1 kpc) ところにも多くの形成領域がある。また、進化のタイムスケールが長いため、各進化段階にあるサンプルの数も多く、1980 年代には重要な統計的な研究がいくつも行われてきた。今では小質量星の形成の研究は、観測からふんだんに得られる情報と理論をもとに、星形成のプロセスをかなり実証できるレベルになってきている。

それなら大質量星も同じようにと考えたいところであるが、そう簡単には行かない。大質量星を作るためには、ふつうの環境では得られないような大きな質量降着率が必要であり、このような特殊な環境を得るためには、収縮を誘引する現象 (トリガー) が必要だと考えられている。このトリガーとして考えられる現象には、磁場、超新星爆発、H II 領域、銀河回転などさまざまである。また、さらに厄介なことに、大質量星は主系列にいたるまでのタイムスケールが短く、星生成初期にみられる多くの現象が重なって発現するために、進化を追うのがむずかしい。大質量星形成の研究は、まだプリミティブな段階にある。

このような環境の違いを見だし、なぜ大質量星ができたかを明らかにするには、統計的な手段は数が少なすぎてむずかしく、むしろ、これらの領域で起きている現象を、ひとつひとつ丁寧に調べていく必要がある。野辺山ミリ波干渉計は、良質のイメージを高い角分解能で得

られるため、個々の天体を細かく調べるのに適した装置である。

2. Orion-KL の構造

Orion-KL は、ミリ波から赤外線 の波長域の連続波、および分子輝線で最も明るく見える M42 H II 領域 (オリオン大星雲) に付随した星形成領域で、BN (Becklin-Neugebauer) 天体や IRc2 などの大質量の原始星が存在する。距離は約 500 pc ($1' = 0.15$ pc) と大質量星の中では近く、この領域全体からの光度は $10^5 L_{\odot}$ 以上とずばぬけて明るい。BN 天体は約 $10^4 L_{\odot}$ の明るさで、質量は約 $20 M_{\odot}$ である。IRc2 はさらに大きな光度 ($10^{4-5} L_{\odot}$) を持ち、その質量も $20-30 M_{\odot}$ と推定される。この領域では南東と北西方向に吹き出している分子双極流が発見されており、その中心は IRc2 である。さらに、双極流と垂直方向に直径 0.2 pc の微分回転する分子ガスディスクが発見されている。また、分子双極流の広がりには約 0.7 pc くらいで、その速度は 100 km s^{-1} を越えており、分子流の広がりや速度からその年齢は約 1000 年と推定されている。

この領域を CS (1-0) の分子線で $5'' \times 8''$ の分解能で観測した結果が図 1 である。BN と原始星である IRc2

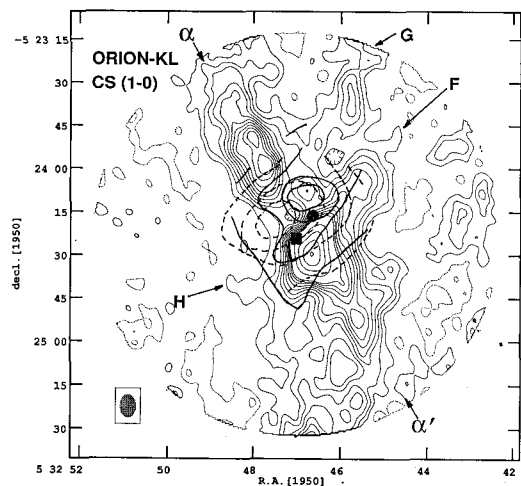


図 1 Orion-KL CS(1-0) の $V_{\text{LSR}} = 5.5-12.2 \text{ km s}^{-1}$ でのマップ。コントアレベルは輝度温度で 5K までは 0.5K おき、それ以上は 2.5K おき。■は IRc2 を、●は BN を示す。太線と実線は、Erickson *et al.* (1982) による双極分子流のマップでそれぞれ青方変移、赤方変移しているガスの分布を示す。

* 東大理 Yasuhiro Murata, Masahiko Hayashi: Massive Star Forming Regions Observed with Nobeyama Millimeter Array

の位置を●印と■印で示している。また, Erickson *et al.* (1982, *Ap. J. Lett.*, **261**, L103) によって観測された CO(3-2) による分子双極流の分布も重ねて示す。太線は我々に向かって流れている高速ガスの分布, 破線は遠ざかっていくガスの分布を示している。図1で南西から北東の方向に伸びる細長い構造が回転ガスディスクに相当する。われわれの観測からは, Orion-KL のガスディスクは直径 0.3 pc に対して見かけの厚さは約 0.05 pc であることがわかった。さらに, 図1に F, G, H で示したような, ディスクに垂直に伸びる構造も発見された。

このディスクの速度構造を調べるためにディスク (図1: $\alpha-\alpha'$) に沿って作った位置速度図を図2に示す。このディスクの回転がケプラー運動に従っているとしたときの, 中心質量 50, 100, 150 M_{\odot} での回転曲線も図2に示す。中心部で高速回転成分が見えないのは, 中心部が空洞構造をしていることを示している。ディスクの回転曲線から, 中心部にある質量は 50-100 M_{\odot} 程度であることがわかった。この値は, (BN, IRc2 の質量)+(星間塵の放射から求めた中心部のガスの質量)とほぼ等しい。

この中心領域のガス成分は, 原始星の近くにあり高速流の圧力を受け高密度になっている。したがって, そこからさらに星が生まれる可能性がある。われわれは, 波長 3 mm の連続波でもにも塵からの放射を $2'' \times 3''$ の角分解能で観測を行い, その結果, 数個の小さなガスの塊 (クランプ) を見つけた (グラフィ写真 2-①; Murata *et al.* 1990, *IAU Symp.*, No. **147**, in press). それぞれの質量は数 M_{\odot} 以下で, これらのクランプは大質量星にはならないだろうが, 太陽程度の星となることは考えられる。

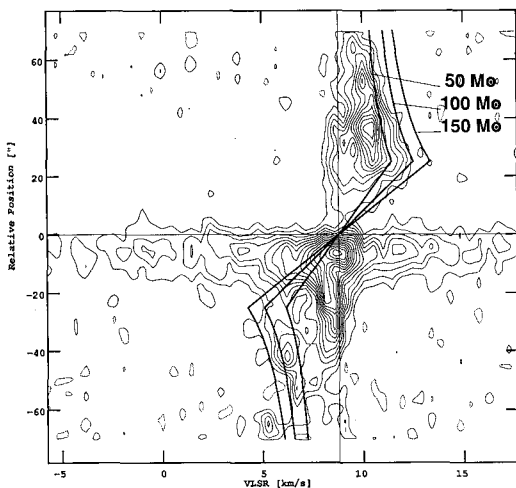


図2 図1で $\alpha-\alpha'$ に沿った位置速度図。マップ上の曲線はケプラー運動を仮定したときの回転曲線で, 中心質量, 50, 100, 150 M_{\odot} に対応。コンタレベルは輝度温度で 3 K おき。

われわれの観測により, 回転ディスクが中心部に空洞構造を持ち, ここに高速分子流がちょうどはまるようにして存在していることがわかった。これは, 高速分子流が中心部の高密度ガスをかき分け, 吹き飛ばしてこのような構造ができたと考えられる。また, ディスクに垂直方向に伸びた構造, 特に F, G はちょうど高速分子流の両わきに位置する。この構造は, Orion-KL のまわりの低密度 ($\sim 10^{2-3} \text{ cm}^{-3}$) のガスが, 双極流によって, かき分けられ, 圧縮されてきた高密度の壁 (高密度シェル) をみていると考えられる。同様に IRc2 からの高速ガス流によって作られたと考えられるフィラメント構造も野辺山の干渉計を用いてアンモニア分子で発見されている (Murata *et al.* 1990, *Ap. J.*, **359**, 125)。

3. OMC-1 の構造

Orion-KL 領域は, OMC-1 (オリオン分子雲-1) と呼ばれる南北に走る分子雲のほぼ中心にあり, その OMC-1 は, Orion-A 分子雲の一部である。(このあたりの分子雲の構造については, 立松ら (1990, *天文月報*, **83**, 261) を参照のこと。われわれはその中で, M42 H II 領域に付随する OMC-1 について干渉計による多視野観測を行った。

Orion-KL は, もちろん, OMC-1 のなかでもっとも明るい星形成領域であるが, ほかに, OMC-1 に星形成領域が見ついている。たとえば, この Orion-KL の $1'5$ 南には, Keene *et al.* (1982, *A p. J. Lett.*, **251**, L11) によって遠赤外線 ($\lambda=400 \mu\text{m}$) を放射している広がった天体が見ついている。この領域では, BN や IRc2 などのような赤外線星は見つかっていないが, 遠赤外線の放射は中心にある原始星によって暖められたまわりの星間塵を見ていると考えられている。また最近, 非常に細長く伸びた高速分子流も見つかっておりこの領域でも星形成が起こっている可能性が高い。

われわれは, 野辺山ミリ波干渉計を用いて高密度領域 ($\geq 10^{4-5} \text{ cm}^{-3}$) のプローブである CS(1-0) 輝線により OMC-1 を観測した。1つの視野の大きさは $140''$ で, 合計6視野を合成し, $8' \times 3'$ の領域のマップを得た (グラフィ写真 2-②)。このマップの空間分解能は $10'' \times 8'5$ である。

このマップより, (1) 非常に細長い, “ひも” 状の構造が, 何本も見られ, 一番長いものは, 観測領域をこえており, $8'$ 以上に渡って伸びているのに対して, その太さは, 約 $20''-40''$ であり, 幅と長さの比は 12 以上である。(2) また西側の2本 (D, E) は, アンモニア分子で発見された Orion-KL IRc2 からの高速流で作られたフィラメントに対応している。(3) 一番太い “ひも” の中には, いくつかのかたまりが存在する。図4に A, B, C と

して示した。Bについては、一見、2つにわかれてみえるが、これは前述の Orion-KL のディスクに対応した一体の構造である。A, B, C は、1.5-2.0 の間隔で並んでおり、“ひも”が等間隔で分裂している、ということがわかった。

一般に(1)で述べたような細長い構造は重力的に不安定で、その太さの数倍の長さで分裂することが知られており (Larson 1985, *M.N.*, **214**, 397), (3)で述べた分裂のスケールにはほぼ一致する。ただし、A, B, C のあたりはちょうど M42 H II 領域に付随している部分で、分子雲の分裂には、重力不安定性だけでなく、Elmegreen and Lada (1977, *Ap. J.*, **214**, 725) が述べているような、H II 領域からの衝撃波の影響もあると考えられる。このように作られた A, B, C のクランプが M42 の OB 型星の次の世代の星になると予想される。

4. その他の大質量星形成領域

a) NGC 2071

Orion-KL 領域と同様、オリオン座巨大分子雲を母分子雲としている天体に、NGC 2071 がある。中心には3つの赤外線天体があり約 $10^3 L_{\odot}$ の明るさがある。そのなかでもっとも明るい IRS1 は $500-700 L_{\odot}$ の光度を持ち、その質量は $5 M_{\odot}$ と推定される。NGC 2071 も他の星形成領域と同様に分子双極流とガス円盤を持っている。ただし、Orion-KL 領域と比べるとその分子流はかなり発達しており、その年齢は 10^4 年くらいである。川辺、北村らは、この領域を CS(1-0, 2-1) および連続波で観測を行い、分子ガスディスクが中心星から 1000 AU のところまで続いており、中心に膨張ガスリングがあることを見い出した。また、分子双極流の回りのシェル構造を含む広い領域 (2 視野) の観測から、分子双極流を囲むクランプ的な高密度シェル構造を見いだした。これは中心星からの強い恒星風で形成されたものであると考えられる (グラフィア写真 2-③)。

b) S140

S140 分子雲はセフェウス座方向の距離 900 pc にあり、光度 $10^4 L_{\odot}$ の星 (B 型星) がいくつもできつつある領域である。他の領域と同じく高速度 (30 km s^{-1}) の分子流が見られるが、この分子流の双極性がはっきりとしていなかったために、双極流が pole-on で見えているものと考えられている。われわれは、野辺山ミリ波干渉計を用いて CS(1-0) でこの領域を観測した。その結果、(グラフィア写真 2-④) に示したように、中心の赤外線源クラスターを中心にリング状になっていることが分かった。リングの北側は、CS(1-0) の強度が弱くなっており、ここが欠損しているように見える。このリング内には、CO で見える双極分子流がビタリと納まり、またリ

ングの北側の欠損部分をちょうど突き抜けるように、分子流の青方偏成分が北へと伸びている。このようなことから、CO(1-0) で見えるリングは、中心の赤外線クラスターを作った分子雲コアの中に、中心星からの分子流の影響を受けて作られた、キャビティの壁の部分を見ているものと考えられる。

c) GGD27 IRS

GGD27 IRS は、太陽系からの距離が 1.7 kpc のところにあり中心に赤外線天体を持っている反射星雲である。この天体を 45 m 鏡で観測した結果、山下らによって分子ガスディスクと双極分子流が発見された。さらに山下らは、この領域を CO(1-0) と 2.6 mm 連続波で野辺山の干渉計で約 $4''$ の空間分解能で観測を行い、3つの星間ダスト放射のピークを発見した (Yamashita *et al.* 1991, *Ap. J.*, submitted)。それぞれのピークは、星形成の場であると考えられるが、山下らは、ウルトラコンパクト H II 領域、赤外線源、分子流の分布とこれらのピークとの分布を調べ、これらのダストのピークがそれぞれ進化の程度の違う星形成領域であることを示した。

d) G10.6-0.4

G10.6-0.4 は、H II 領域 W31 の中にある大質量星形成領域である。面高らはこの領域を 45 m 鏡で観測した結果、この領域にコアがあり、その密度は 10^6 cm^{-3} 以上で、大きさ、質量はそれぞれ $40''$, $3.5 \times 10^4 M_{\odot}$ であることを示した。さらに、干渉計で CS(1-0) 輝線及び 49 GHz の連続波で観測を行った。その結果、 $3 \text{ km s}^{-1} \text{ pc}^{-1}$ でゆっくり回転する広がったガスのなかに3つのクランプ構造があることがわかった。これらのクランプ間の速度勾配は $28 \text{ km s}^{-1} \text{ pc}^{-1}$ で、回転速度がクランプで回りのガスより早くなっている。この速度差は、分子ガスがクランプに収縮する際に、角運動量の保存による、クランプのスピンアップを見ていると考えられる。

e) Sgr B2, W51

今までの星形成領域と比較すると、距離が遠いところには、銀河系内でも 1, 2 を争う激しさで星形成の起きている領域がある。Sgr-B2 や W51 は、そのような領域で、H II 領域からの明るい cm 波の連続波と明るい分子輝線が見られる。分子雲の質量は $10^6 M_{\odot}$ 以上である。このような爆発的に星形成の起こる領域では、短時間 ($\sim 10^5$ 年) で燃料になる分子ガスが尽きてしまい、燃料を補給して星形成が続くのか、それとも、持続しないで消える運命にあるのかが問題の1つとなっている。この、補給機構があるかどうか調べるのに分子輝線観測は有用である。宮脇ら、春日らは、それぞれ Sgr-B2, W51 について野辺山干渉計を用いて、連続波、および CS(1-0) の分子線の観測を同時に行い、中心部およびその回りのガスの分布、運動を調べた。W51 で得られた H II 領域

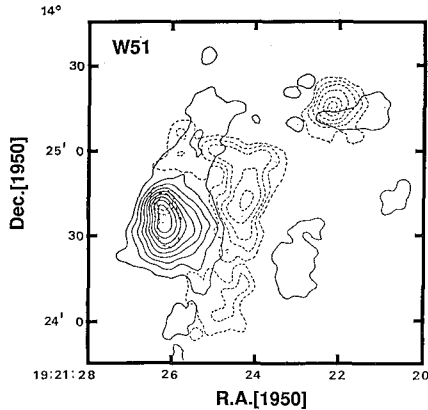


図 7 W51 の 49 GHz 連続波 (破線), 及び, CS(1-0) マップ ($V_{LSR} = 53.3 - 61.0 \text{ km s}^{-1}$). 空間分解能は 4''.8.

(点線) と分子ガス (実線) の分布を図 7 に示す. 上記の問題に関しては現在解析中である.

謝 辞: この記事を書くにあたって, 川辺氏, 面高氏, 宮脇氏, 山下氏, 小林氏, 春日氏, 亀谷氏のご協力をいただきました. ありがとうございます.

日本学術会議だより

№.19 より抜粋

第15期日本学術会議会員選出のための登録学術団体の概況

本会議では, 現在第15期 (平成3年7月22日~平成6年7月21日) 会員 (定員 210 人) 選出のための手続きが進められているが, 先般6月末日を締切期限として, 学術研究団体からの登録申請が受け付けられた. その後日本学術会議会員推薦管理会で審査が行われ, 結果は次のとおりであった.

学術研究団体の登録申請の審査結果

申請団体数…………… 952団体

登録団体数…………… 915団体

※日本学術会議会員推薦管理会が登録した915団体名は, 日本学術会議月報平成2年12月号に掲載されるので, 御参照願いたい.

☆ ☆

☆

☆ ☆

●天体観測基礎知識

アストロノミー

Linda J. Kelsey
Darrel B. Hoff 著
John S. Neff

磯部 秀三 訳
平山 智啓

●定価2000円(税込)

誠文堂新光社 東京都千代田区神田錦町1-5
電話 03 (292) 1221

この本はアメリカの大学の教養課程の天文学の本です。この章を読み終ると、なにがわかるか、なにができるようになるか、その方法は……? むずかしい数式などほとんど使わずに、天文学、天体観測に必要な基礎知識がわかりやすくのべられています。

●おもな内容●

夜空へ望遠鏡を向ける

実視観測と星数計測

観測実習①月:②惑星:③太陽:④星・星団・星雲

望遠鏡の視野…他

天文学の基礎

天球:天文学で使う座標

天球:太陽と恒星の日周運動

天球:惑星の出と入の時…他

太陽系

エクスポローラー35号とケプラーの法則

地球の質量

月の地形と山の高さ…他

太陽と恒星

太陽の自転

スペクトルの分類

プレヤデス:写真測光・色等級・距離・質量

恒星の固有運動…他

銀河系と宇宙

銀河系:星の分布・球状星団の分布

銀河の距離とハッブルの法則

おとめ座銀河団

クエサーの絶対等級