

原始星ガス円盤と双極分子流

海 部 宣 男*

1. はじめに

星間物質から、星が生まれる。このことは、1930年代からわかってはいた。しかし「星間物質」という漠とした概念が、高温プラズマ領域（バブル）——水素原子雲（HI cloud）——分子雲（暗黒星雲）の三相を主とした構造をもち、分子雲 = 暗黒星雲こそが星の母体であるという明確な認識におきかえられたのは、1970年代以降のことである。ことにミリ波帯における星間分子スペクトルと、赤外線観測の進展によって、生まれかけの星 = 原始星と、分子雲とのかかわりが深くさぐられ、星の誕生の具体的なプロセス（それは、私達の太陽系の誕生とも直接かかわるであろう——）の解明に期待がかけられた。

こうした時期に野辺山の 45 m ミリ波望遠鏡を建設するにあたり、私たちがその大きな目標の 1 つに星の誕生プロセスの解明をあげたのは、当然であろう。ことに建設最中の 1980 年、Snell が発表したおうし座の暗黒星雲 L 1551 における双極分子流の発見は、ぞくぞくするような刺激であった。これは誕生期の星が激しいガス放出を行うことを示すとともに、原始星をとりまくガス円盤の存在をも示唆するものだったからである。京都大学の林研究室・中野さんたちの理論的推定では、こうしたガス円盤は 0.1 pc のオーダーのサイズをもち、それは 45 m 鏡によってもたらされる鋭いビームによって、識別可能であると思われた。

45 m 鏡の観測が 1983 年春から本格的にスタートし、私たち野辺山宇宙電波観測所の「原始星グループ」（海部、長谷川、林、鈴木（現在 林）、他は、観測所の長期プロジェクトとしての「星の誕生プロセスの観測的解明」にいよいよとりかかった。最初の目標はオリオン KL と L 1551、ケフェウス A においた。名大、東北大などの電波グループも、それぞれにターゲットをえらんで、共同利用観測にとりくんだ。

2. L 1551 の回転ガス円盤と分子流

最初の年（1983 年春）は、45 m 鏡はまだ短ミリ波で信頼性のある観測ができず、波長 6 mm で CS（一硫化炭素）分子スペクトルによる観測を行った。CS を選んだのには、理由がある。Snell にはじまる原始星双極分子流の観測は、CO（一酸化炭素）分子スペクトルを用

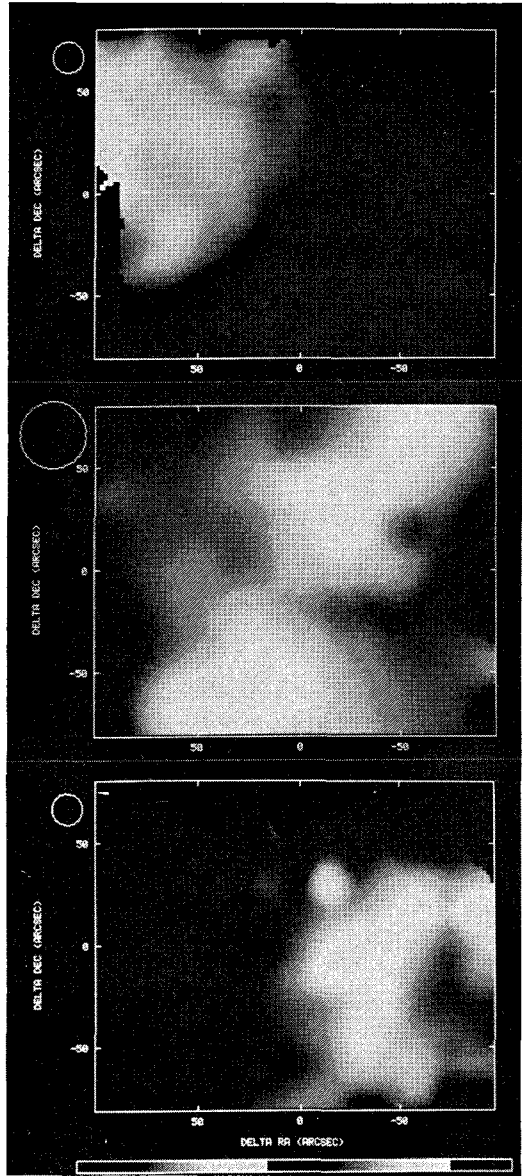


図 1 L 1551 の回転ガス円盤と分子流。
中央 (b) は CS スペクトルによる回転ガス円盤（ほぼ横からみたところ）。視線速度は $+6 \sim +8 \text{ km s}^{-1}$ 。上 (a)、下 (c) は CO スペクトルによる分子流で、視線速度はそれぞれ $+9 \text{ km s}^{-1}$ 、 $+3 \text{ km s}^{-1}$ であり、円盤から垂直に両側へ流れだす双極流を示している。
原始星 IRS-5 はそれぞれのワクの中央にある。左上すみの丸印は、ビームのサイズ（分解能）をあらわしている。ワク大きさは、実距離で $0.12 \times 0.16 \text{ pc}$ 。

* 東京天文台 Norio Kaifu: Molecular Disks and Bipolar Outflows around the Young Stellar Objects

いて行われ、それまでに多数の存在が確認されていた。CO スペクトルは、比較的希薄で、温度が高めのガスの観測にむいている。しかし我々がねらったのは、濃くて、おそらく冷いコンパクトなコア成分の検出であり、CS スペクトルはこの目的に非常によく合っている。

この観測で私達は、L 1551 の双極分子流の中心に、原始星 IRS-5 をとりまいて回転するガス円盤を発見した。オリオン KL でも、巨大な回転ガス円盤を見出している（本特集長谷川（哲夫）による記事参照）。ついで 1984 年春には、性能アップした 45 m 鏡による CO スペクトル（波長 2.6 mm）観測で、分子流の根元の構造をくわしくしらべた。これらの結果を、図 1 および図 2 に示した（表紙カラー写真も参照）。

図 1 の中央 (b) が、CS スペクトルで観測された回転ガス円盤で、中央に赤外線で見える原始星がある。図 2 はこれを南北にきった方向に沿う位置・速度図で、円盤が北から南へいくにつれ速度がマイナスにずれていく様子がよくわかる。一方図の上 (a), 下 (c) に示したのは、それぞれ円盤に対してプラス、マイナスの速度をもつ CO 分子ガスの分布で、円盤からその面に垂直に流

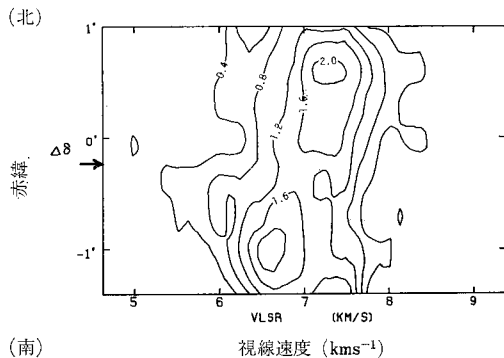


図 2 L 1551 ガス回転の回転を示す位置・速度図。北 (上) から南 (下) への線に沿うもので、矢印が原始星 IRS-5 の位置。

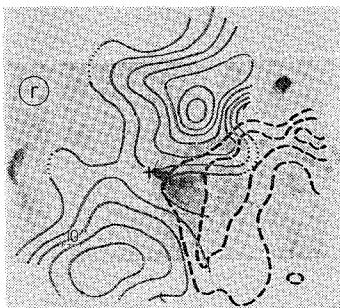


図 3 L 1551 の回転ガス円盤 (実線) とマイナス速度分子流 (破線) を、赤色光の写真 (ネガ) に重ねたもの。+ 印が IRS-5. IRS-5 からは、細い光のジェットが出ている。分子流と淡い散乱光との一致に注意。

れだす双極分子流の根元の様子を示している。その根の形がまるく、中央の円盤の両側のへこみにちょうどフィットすることに注目されたい。

図 3 は、円盤と、マイナス速度の（つまり、私達に近づく運動をしている）分子流の分布を赤色光の写真（ネガ）に重ねたもので、両者がフィットする様子に加え、分子流の形が光で見える淡い散乱光（反射星雲）に一致することがわかる。これについては、後で述べる。図 4 は、L 1551 領域の全体図を示す。ガス円盤が双極分子流に垂直なこと、磁場の方向が分子流に平行なことが特色である。

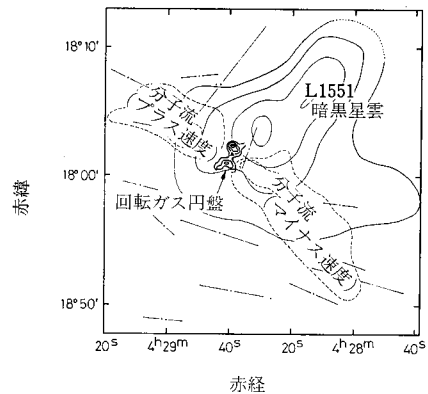


図 4 L 1551 の暗黒星雲 (実線), 双極分子流 (破線), 回転ガス円盤 (太線) と原始星 (三角印). 直線は、星で測った磁場の方向である。

3. 一角獣座 R (NGC 2261) とガス円盤のモデル

NGC 2261 はコーン星雲とよばれ、その三角形の頂点に変光星 R Mon (一角獣座 R) をいただき、奇妙な反射星雲として注目されていた。この周囲を Canto たちが CO で観測し、円盤と思われる構造を見出していた。

図 5 は、45 m 鏡による CO スペクトルの高分解能観測の結果である。左 (a) が円盤成分であるが、密度は小さく、CS では見えない。L 1551 の場合と同様に、原始星 (R Mon) のある中心がうすくなっている、東西にピークをもつ構造をしている。上下のへこみ、特に上 (北) の深い凹みが注意をひく。中央 (b) は円盤に対しマイナス速度をもつ分子流で、見事に左のガス円盤の凹みにはまりこんでいるばかりでなく、右 (c) に示した光の写真の、NGC 2261 ときれいに重なるのである。これには示していないが、プラスの速度をもつ分子流は、円盤の下側にやはりきれいに分布しており、R Mon が小規模ながら双極分子流をもつ Canto らの見解が確認された。

L 1551 を含め、以上の 2 例にみられる、ガス円盤の

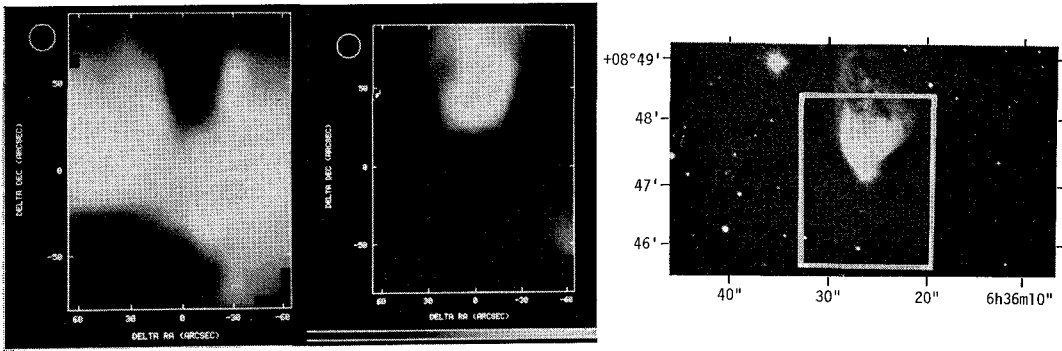


図 5 R Mon のガス円盤と分子流。
 左 (a) は CO スペクトルでみた円盤 (中心に原始星 R Mon がある), 中央 (b) は円盤に対してマイナスの視線速度の分子流, 右 (c) は光の写真 (反写星雲 NGC 2261). ワクはすべて同じ領域を示している. 円盤の凹部, 分子流, 反射星雲の一致に注意.

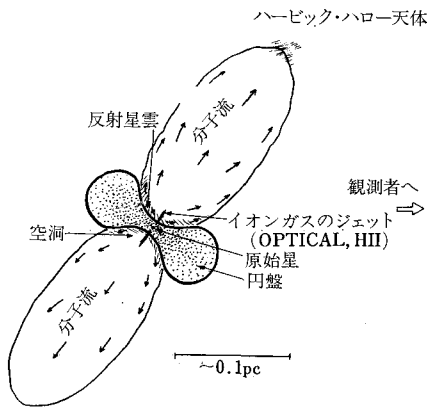


図 6 原始星ガス円盤, 分子流, 反射星雲のモデル. 観測者からは, 傾いた円盤の「空洞」内が光でもすけて見え, 反射星雲が観測される.

両側のへこみと分子流の根元の形のフィット, それにマイナス速度の分子流と光でみえる反射星雲との合致から, 私たちは次のような原子星ガス円盤の立体的イメージを得ることができた (図 6). すなわち, ガス円盤 (直径は 0.1 pc 程度) は中心が凹んでうすくなった, クッションのような形をしており (ドーナツのように穴があいていることは少ないことが, 他の証拠から言える), その中心で星が生まれる. これが, 赤外線観測される原始星である. 原始星は, 大規模にガスをふきだし, これが何等かの機構で円盤の上下に吹きだし, しぼられた双極流となって, 1 pc 以上にわたって流れだす. 分子の流れの速度は最初 $1\sim 2\text{ km s}^{-1}$ とおそいが次第に加速されて $10\sim 20\text{ km s}^{-1}$ 以上の速度に達することが, Snell や私たちの観測からわかっている. 円盤の両軸方向はもととうすいか, あるいは流れでふきとばされて, 空洞 (cavity) 状となり, この中が流れだす希薄な分子流でみ

たされている. 分子流は, 空洞の壁に沿って流れだしているようにもみえる. 円盤が私達 (観測者) に対して少し傾いていると, 私達に近い側の空洞は透けて見え, その中の分子流 (私達に近づいてくる = マイナス速度) と, 分子流や空洞のカベのチリの粒で散乱された原始星の光が, じかにみえることになる. すなわち, 反射星雲は, 円盤の空洞にはまりこんだ分子流の根元そのものに他ならない. 一方, 反対側の空洞すなわちプラス速度の分子流側の散乱光は, チリを多量に含むガス円盤自体にじゃまされて, 光では観測できないのである.

4. 原始星円盤と星の形成

ここに述べた以外にも, 45 m 鏡を用いて, ケフェウス A, G 35.2N, S 106, NGC 2071, GL 490 でガス円盤と思われるものが, また S 140, G 35.2N, HL Tau, などでは双極分子流が, 野辺山, 名大, ケント大 (英) などのグループによって発見されている. また, L 1551, L 723, GL 490 などにおける双極分子流の構造の詳しい研究にもいくつかのグループが着手しつつあり, 今後の著しい進展が期待されている.

原始星ガス円盤がなぜできるか, 星の形成における役割はどうか. 野辺山における観測開始以来, 京大林研究室をはじめ多くの理論グループとのディスカッションがくりかえされた. 中野さん, 成田さん, 観山さんらによれば, 中央の凹んだガス円盤は磁場, 重力, 回転でたやすくでき, 中心に星ができるらしい. 内田さん, 柴田さんたちによれば, 磁場をもつ収縮・回転ガス円盤は, 双極分子流を加速できるらしい. 少なくともこれまでの観測をまとめてみると, 次のようなことがいえる.

- ① ガス円盤は星の形成の初期においてかなり一般的に存在する. むしろ, まずガス円盤ができ, 星がその中心に生まれると考えられる.
- ② ガス円盤および原始星

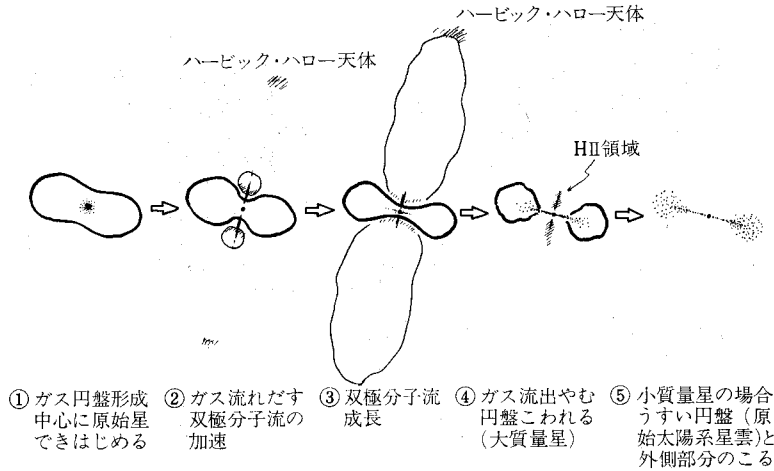


図7 星の誕生のプロセスの模式図。

に集中する重力エネルギーが、双極分子流を生みだす。
 ③ L1551のように小さな(1~2M_☉)原始星の場合、
 ガス円盤のうすくなった中心部は、太陽系を生みだす
 「原始太陽系星雲」となる可能性が高い。
 図7に、こうした点をおりこんだ星の形成のプロセス
 のイメージを描いてみた。双極分子流という、以前には

考えられもしなかった星の誕生期の大あばれが見出され
 たことがきっかけとなって、星の形成について、ひいて
 は太陽系の誕生についての理解がこのように進んだ。だ
 が、まだそのすじみちには不明な点も多い。円盤の観測
 をより広く、よりくわしくつづけていく先に、どのよう
 な展開が待っているか、楽しみである。

天体観測雑誌

天文ガイド

9月号 定価420円 8月5日発売

生活環境や機械、ハレー彗星のことなどの報告・第1回
ソヴィエトの口径6mの大望遠鏡

今年の新製品を1つづつ細かく紹介
'85望遠鏡フェア

さあ、君も一緒に出かけよう！編集部協賛の
ハレー彗星観測ツアー

天文工作=カスタム・クラフト
天体専用カメラの製作

●新しい望遠鏡光学系 ● 9月の星空
 ●天文学とコンピュータ…など情報満載

夏休みは、学生さんたちにとって、絶好の天体観測シーズンです。いろいろな天体現象もたくさんあります。本誌を読んで、正確な最新情報をつかんで出かけましょう。

誠文堂新光社

天文ガイド8月号臨時増刊

STAR WATCHING

●ハレー彗星特別企画●

★ハレー彗星はどのくらいの明るさに？
 ★第1次接近観測ガイド★この夏ハレーを見る訓練★彗星の尾の予報★1910年の接近時の写真集★彗星観察用星図およびデータ★ジョット・ハレー彗星探査機…ほか

〈その他の主な記事〉●M天体 Photo Album
 ●天体写真冷却カメラ ●天体望遠鏡販売専門店ガイド ●夏の星雲・星団を楽しむ…ほか

7月7日発売！ 定価580円

切りぬく本 **ハレー彗星観測ガイド**

●日本で南半球で使える早座早見 ●ハレー彗星日程カレンダー ●15cmドブソニアン望遠鏡製作用型紙 ●簡易赤道儀製作用型紙…ほか

企画・構成：藤井 旭・7月下旬刊・予定価690円

誠文堂新光社 東京都千代田区神田錦町1-5
 電03(292)1221 振替東京7-128