

学位論文

オリオン座／一角獣座領域の  
分子流探査

(1989年)

名古屋大学理学部

岩田隆浩

図・本館

主  
論  
文

オリオン座/一角獣座領域の  
分子流探査

名古屋大学図書	
和	1030327

名古屋大学理学部  
岩田隆浩

報告番号	甲第	2134	号
------	----	------	---

# 目次

	頁
要旨	3
1. はじめに	6
1-1. 原始星の研究の概略	6
1-2. 原始星進化の観測と理論	9
(1) 原始星のモデルの例	9
(2) 分子流天体	11
(3) アイラス点源	13
1-3. 分子流の探査	15
(1) これまでの分子流探査の経緯	15
(2) オリオン座／一角獣座領域の観測	16
2. アイラス点源サンプルの選定	18
3. 観測とデータ解析	21
3-1. 観測	21
(1) 観測の概要	21
(2) 名大4メートル鏡を用いた観測	21
(3) 野辺山45メートル鏡を用いた観測	22
(4) MWO 4.9メートル鏡を用いた観測	23
3-2. データの整約	25
(1) NRO/MWOデータの整約	25
(2) アイラス点源の検索	26
3-3. 物理量の評価	27

4 . 結果	31
4 - 1 . 分子雲の掃天観測	31
(1) オリオン座北部分子雲の掃天観測	31
(2) 一角獣座 R 2 分子雲の掃天観測	32
4 - 2 . 分子流探査	33
(1) 無バイアス掃天観測による分子流探査	33
(2) 低温アイラス点源の分子流探査	33
4 - 3 . 分子流天体の特徴	35
(1) 分子流と分子雲	35
(2) 分子流の物理諸量	35
(3) アイラス点源の特徴	36
5 . 考察	39
5 - 1 . 分子流を伴うアイラス点源の特性	39
(1) 年齢の評価	39
(2) HR 図上での進化的位置付け	40
5 - 2 . 分子流が検出されないアイラス点源	43
6 . まとめ ～原始星進化のシナリオ～	48
謝辞	50
引用文献	51
補筆	56
物理量の計算方法	
表と図	

# 要 旨

分子流天体は、原始星（＝生まれたばかりの若い恒星）の周囲の活動的なエネルギー放出現象であると考えられ、星の進化を説明する上で注目されている。一方、原始星は、周囲を覆う厚いダストのため、アイラス（Infrared Astronomical Satellite）による全天の赤外線探査で、低温の赤外線点源（低温アイラス点源）として検出されていると考えられる。従って、分子流天体とアイラス点源との関係を統計的に調べることは、原始星の進化を理解する上で重要な手掛かりになる。そこで本研究では、活動的な星生成領域として知られているオリオン座／一角獣座領域の分子雲を、ミリ波分子スペクトルを用いた観測を行って、分子流天体を完全に検出することを試みた。この目的のため、まず、オリオン座北部／南部、一角獣座R2分子雲の各領域の合計20平方度については、名大4メートル鏡を用いて、分子雲のほぼ全領域について分子流を隈なく探査した（無バイアス掃天探査）。これによって単一領域の巨大分子雲中の分子流の完全なサンプルを得ることをめざした。次いで、オリオン座／一角獣座領域の600平方度のアイラス点源の中から、原始星の候補と考えられる低温アイラス点源を選出して、これら全部について分子流探査を行った（低温アイラス点源探査）。これによって、低温アイラス点源と分子流天体の関係を、統計的に明らかにすることをめざした。さらに発見された分子流天体について、アイラス点源のスペクトルの特徴を調べ、これらと原始星のモデルとを比較することによって、原始星の進化を統計的に説明することを試みた。

分子流の低温アイラス点源探査では、まずオリオン座／一角獣座領域の原始星の候補と考えられる低温アイラス点源を選出した。こうして選出された低温アイラス点源について、野辺山45メートル鏡ならびにMWO 4.9メートル鏡を用いて分子流探査を行った。

これらの観測の結果、オリオン座／一角獣座領域では、合計22個

の分子流天体を新たに発見し、この領域の分子流天体の数は、合計35個になった。これによって、単一領域の巨大分子雲中の分子流天体について統計的な議論を行う上で意味のある完全なサンプルが、はじめて得られた。これらの分子流の多くは、分子雲中の最も高密度であると考えられる、分子柱密度が  $5 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  以上の領域に位置している。また、分子流天体を伴うアイラス点源のスペクトルを、二色図 (12, 25, 60  $\mu\text{m}$  の各 flux density から決められる色温度の相関図) の上で調べてみると、これらのうちの25  $\mu\text{m}$  と60  $\mu\text{m}$  で有意に検出されている点源31個は、全て相対的に低い色温度を持つことがわかる。

分子流天体を伴うアイラス点源をHR図 (赤外線光度と色温度を用いて推定したダストの温度の相関図) の上で調べた結果、これらのアイラス点源は、低温 (< 160 K) かつ相対的に大きな光度 (>  $10 L_{\odot}$ ) を持つことがわかる。とりわけ、オリオン座南部分子雲・オリオン座北部分子雲の2領域では、ダストの温度が160 K以下かつ光度が  $10 L_{\odot}$  以上のアイラス点源において、分子流の検出率は70-80%に達し、これは本研究以前の分子流探査による検出率 (30%程度以下) と比べて非常に高い。この結果から、分子流天体は低温のダストに覆われた原始星に付随していることが、はじめて統計的に示されたといえる。次に、分子流を伴うアイラス点源がHR図上で占める範囲と Stahler, Shu, and Taam (1980) によって示された原始星モデルによる、原始星表面からの輻射のHR図上での進化の径路とを比較した。その結果、分子流は原始星の初期の段階、すなわち原始星コアへの質量降着が生じてから  $10^4 - 10^5$  年程度の原始星とよい対応が見られ、これらの分子流について推定した年齢 ( $2 \times 10^4 - 2 \times 10^5$  年) と同程度である。このことは、分子流の発生の時期が、原始星への質量降着の開始時期とほぼ一致していることを示しており、分子流の加速・収束の機構が、質量降着と密接に関係していることが示唆される。

本研究では、初めて野辺山4.5メートル鏡とMWO 4.9メートル鏡の分子スペクトルデータを大量に処理する必要が生じた。また、初めて広域のCO分子スペクトルデータと大量のアイラス点源との比較を行う必要が生じた。このため、これらの処理を効率よく行うために、名古屋大学大型計算機センターにおけるデータ変換・処理システムを開発した。これによって、これらの分子スペクトルならびにアイラス点源のデータと名大4メートル鏡のデータとの比較を行うなどの、総合的なデータ整約が可能になった。

分子流天体は、低密度のガスが高速で噴出している現象である。従って、分子流からの微弱な電波を検出し、その質量・エネルギーなどの物理諸量をよい精度で評価することは困難である。とりわけ本研究以前の研究における計算の方法では、例えば、分子流の低速成分の質量の見積りが過大であり、その結果エネルギーの見積りも過大になる等の問題があることが明らかになった。本研究では、これらの物理諸量をより正確に推定するために、今までの計算の方法を見直し、新しい方法を用いて分子流天体の物理諸量を再評価した。



# 第 1 章 はじめに

## 1 - 1 . 原始星の研究の概要

星生成の機構を解明することは、現在の宇宙物理学の最も重要な課題の一つである。星は星間ガス雲中で誕生し、やがて安定した主系列星になる。この、星が形成される途上の段階を、「原始星」と呼ぶ（図 1 - 1）。

これまでの研究から、原始星の進化は図 1 - 2 に示すように、動的な質量降着が起きる「原始星コア形成期」と「星間ガス降着期」、および準静的な重力収縮が起きる「前主系列期」の 3 段階に分けられる（例 Shu, Adams, and Lizano 1987）。原始星の生成は、星間ガス雲中で重力エネルギーと内部エネルギーの釣り合いが破れ、自己重力によって収縮することによって始まる。こうして星間ガスの内部に高密度の「原始星コア」が形成される（原始星コア形成期）。原始星コアには、周囲の星間ガスの動的な質量降着が引き続いて起きる（星間ガス降着期）。やがて周囲の星間ガスが散逸すると質量降着は止み、原始星コアは準静的に重力収縮する（前主系列期）。やがて原始星コアの中心部では、水素燃焼反応を引き起こすのに十分な温度となる。この後重力収縮が止んで、原始星は主系列星になる。

原始星の進化の各段階の中で、理論と観測の両方の面で研究が最も進んでいるのは、前主系列期についての研究である。前主系列期の原始星（前主系列星）が、重力エネルギーを輻射のエネルギーとして放出する過程は、HR 図（Hertzsprung-Russell diagram : 星の温度と光度の相関図）上で、理論的に研究されている。前主系列星は、図 1 - 3 で示すように、はじめ対流による温度平衡のもとで収縮しながら光度が下がり、（林トラック : Hayashi, Hoshi, and Sugimoto 1962）、次いで対流が止んだ放射平衡のもとで温度が上

昇する（ヘニエイトラック：Henyey, Lelevier, and Levee 1955）。一方、Tタウリ型星は、高密度の星間ガスの近傍にある強い輝線スペクトルを持つ特異な星であるが、Cohen and Kuhi (1979) は、これらの観測結果をHR図上で調べた結果、前主系列星に対応していることを明らかにした（図1-4）。

これに対して、原始星の前期である動的進化段階の原始星については、1980年頃までに得られていた知見は極めて少なかった。これは、この段階の原始星は周囲が厚いダスト（星間塵）に覆われており、可視光によってその内部を観測することがほとんど不可能であったことによる。このため、原始星の周囲の高密度の星間ガスの様子を示すミリ波や、原始星を覆っているダストの様子を示す遠赤外線観測手段が確立する以前には、原始星前期の天体現象について、理論と観測との対比を行うことが不可能であった。

ミリ波の観測においては、1970年に発見された、一酸化炭素分子（CO）の回転遷移  $J=1-0$  による波長 2.6 mm の分子線スペクトル（CO ( $J=1-0$ ) 分子スペクトル）は、星生成の母体となる密度が  $10^3 \text{ cm}^{-3}$  程度の星間ガス（分子雲）を、はじめて有効に捉えることのできる手段となった。この分子線を用いて、1980年代にはいって、分子流（1-2節(2)）という特異な現象が発見された。分子流は、星生成領域において一般的に存在する活動的なエネルギー放出現象であり、星生成を理解する上で重要な鍵となることが予想された。

一方遠赤外線観測においては、アイラス（Infrared Astronomical Satellite）による赤外線源の全天探査（1-2節(3)）がなされた。アイラスによる探査で検出された25万個の赤外線点源（アイラス点源）の中には、多くの原始星が含まれることが予想された。

一方理論的な研究では、Stahler, Shu, and Taam (1980) によって、原始星の新しいモデル（SSTモデル：1-2節(1)）が提唱された。彼等がこのモデルを用いて計算した、原始星初期のHR図上での振舞いは、後にアイラス点源の正体を知る上で有効な手掛かりとなった。

本研究では、このようにようやく研究が始まった「原始星前期」に焦点を当てて、原始星に伴った天体现象の観測と、原始星の理論との対比を試みた。この目的のため、まずオリオン座／一角獣座領域の分子雲の観測を行って、単一領域中の分子流天体の完全なサンプルを得ることを計画した。次いでアイラス点源や原始星のモデルとの比較によって、原始星前期を統計的に解明することを計画した。

## 1 - 2 . 原始星の進化の観測と理論

### (1) 原始星のモデルの例

図 1 - 5 は、様々な質量の全主系列星の進化過程を H R 図上に示したものである (Iben and Talbot 1966)。この図から、星の光度は質量に大きく依存していることがわかる。例えば  $1 M_{\odot}$  の原始星の林トラック→ヘニエイトトラックの光度は、約  $100 L_{\odot} \rightarrow 1 L_{\odot}$  であるのに対して、 $9 M_{\odot}$  の大質量星の場合は、約  $3000 L_{\odot}$  程度である。従って光度に関してのみを考慮すれば、大質量の原始星を観測的に理解することは、中小質量の原始星よりも、はるかに容易であるかのようである。しかしながら実際には以下の理由から、原始星の進化の理解には、中小質量の原始星の研究がより重要である。

図 1 - 5 は、各々の質量の原始星の進化のタイムスケールも示されている。例えば  $1 M_{\odot}$  の星が主系列に到達するのに要する時間は  $3 \times 10^7$  年であるのに対して、 $9 M_{\odot}$  の大質量星では、 $10^5$  年と非常に短くなることがわかる。一方、星の生成率の質量依存性 (initial mass function) の研究から、 $3 M_{\odot}$  以上の大質量星の生成率は、 $0.1 - 1 M_{\odot}$  の星の生成率の約 50 分の 1 にすぎない (Miller and Scalo 1979)。これらの結果は、実際の大質量の原始星の存在数が、中小質量の原始星の場合と比べてかなり小さいことを、理論的に予測している。

Stahler, Shu, and Taam (1980) (以下 S S T) は、最終段階で  $1 M_{\odot}$  になる原始星の動的な星間ガス降着期のモデルを考えた (S S T モデル)。彼等はそれ以前の研究をもとに、コアの質量  $M(\text{core}) = 0.01 M_{\odot}$  , 半径  $R(\text{core}) = 3.45 R_{\odot}$  を初期値に選んでいる。図 1 - 6 は、S S T モデルによる原始星の概念図である。原始星は、中心部に半径  $\sim 10^{11} \text{cm}$  の静水圧平行にある原始星コアを持ち、原始星のコアの表面 (光球) は、数千度の黒体輻射によって可視光を発している。光球の外側では、周囲のダストが放射によって破壊され、半径  $\sim 10^{13} \text{cm}$  のダストが空洞の部分 "opacity gap" を形成す

る。その外側は、半径 $\sim 10^{14}$ cmのダスト・シェルが取り囲み、ダスト・シェルは内側で吸収した可視光によって暖められ、外側に遠赤外線を放射する。

SSTはこのモデルを仮定して、原始星コアの質量が $M(\text{core}) = 1 M_{\odot}$ に成長するまでの進化を追った。ここで質量降着率 $\dot{M}$ は、星間ガスの音速 $a_{\tau}$ 、重力定数 $G$ を用いて次式で与えられる。

$$\dot{M} \sim \frac{a_{\tau}^3}{G}$$

$a_{\tau}$ は暗黒星雲中の分子雲コアの分子スペクトルの観測から、0.3 km/s程度と求められる。従って、 $\dot{M}$ は $10^{-5} M_{\odot} / \text{年}$ 程度である。この時、原始星コアが $1 M_{\odot}$ に成長するのに要する時間は、 $M(\text{core}) / \dot{M} \sim 10^5$ 年である。

図1-7は、SSTモデルにおける原始星の構造の時間変化を示した図である。この図では、質量降着が続いているにもかかわらず、原始星の3つの部分には位置的な変化は見られない。また、原始星の年齢 $t = 3.6 \times 10^4$ 年で原始星コアの中で対流が発生して、原始星コア中で急激に広がっていることがわかる。

図1-8は、原始星からの輻射のHR図である。左側の径路は、原始星コアからの輻射の進化のトラックであり、右側の径路は、ダスト・シェルからの輻射の進化のトラックである。原始星コアをダスト・シェルが覆っている間は、原始星コアからの可視光を直接観測することはできず、ダスト・シェルからの遠赤外線のみが観測される。この遠赤外線光度 $L(\text{IR})$ は、次式によって近似的に与えられる。

$$L(\text{IR}) \sim L(\text{acc}) = \frac{G M(\text{core}) \dot{M}}{R(\text{core})}$$

$$\sim 10^2 \frac{M(\text{core})}{1 M_{\odot}} \frac{R(\text{core})}{1 L_{\odot}} \frac{\dot{M}}{10^{-5} M_{\odot} / \text{年}}$$

この式で  $M(\text{core}) = \dot{M} \times t$  であり、 $\dot{M}$  と  $R(\text{core})$  はほぼ一定であることから、 $L(\text{IR})$  はほぼ時間に比例して上昇する。こうしてダスト・シェルからの遠赤外線光度は、原始星の年齢が  $10^4$  年  $\rightarrow$   $10^5$  年の期間に、約  $10 \rightarrow 100 L_{\odot}$  になる。

## (2) 分子流天体

分子流天体は、星生成領域に存在する超音速 ( $10-100 \text{ km/s}$ ) の質量放出現象であり、その存在は理論的にはまったく予想されていなかった。この現象は最初1975年に、大質量星生成が起きている天体として知られるオリオン座KL天体 (Ori-KL) に発見された (Zuckerman, Kuiper, and Kuiper 1976; Kwan and Scoville 1976)。この後しばらくは、この天体に特有の現象であると考えられていた。ところがその後1980年になると、おうし座の暗黒星雲中の赤外線星 L1551-IRS5 (Snell, Loren, and Plambeck 1980) に発見されて以来、星生成領域で数多く発見された (Lada 1985)。こうして分子流天体は星生成領域では一般的に存在することが明らかになり、星生成との関連が注目されるようになった。

### < 分子流天体の観測的特徴 >

図1-9は、L1551分子流天体の方向の2点AおよびBで観測された  $^{12}\text{C O}$  ( $J=1-0$ ) 分子スペクトルである (Snell, Loren, and Plambeck 1980)。図の縦軸はL1551領域の分子雲の、局所標準静止

(local standard of rest) 系に対する視線方向の速度 (以下 LSR 速度)  $V_{\text{LSR}} = 7 \text{ km/s}$  に対する相対速度である。相対速度  $= 0 \text{ km/s}$  付近の分子スペクトルのピークが、分子雲全体からの放射である。これに対して、図中 A では相対速度のプラス側に、また B ではマイナス側に、緩やかな裾野が伸びている (各々の灰色で示した部分)。このスペクトルはウィング成分と呼ばれ、A では視線方向について最大  $15 \text{ km/s}$  で遠ざかる分子流が、また B では最大  $18 \text{ km/s}$  で近づく分子流が存在することを示す。各々を、分子流の赤方偏移成分ならびに青方偏移成分と呼ぶ。この分子流の速度は、分子雲中の音速 ( $\sim 0.3 \text{ km/s}$ ) よりはるかに速く、また、分子雲を重力で支えることのできる速度の数十倍の大きさである。一方図 1-10 は、L1551 分子流天体の  $^{12}\text{C O}$  分子スペクトルのウィング成分の空間分布図である。分子流の赤方偏移成分と青方偏移成分が、赤外線星の両側に分布していることがわかる。以上の観測結果から、Snell, Loren, and Plambeck (1980) は、図 1-11 に示すモデルを提唱した。図では、質量降着が起きている円盤状の分子雲の高密度領域 (降着円盤) を伴う赤外線星から 2 方向へ、速度  $100 \text{ km/s}$  以上の恒星風と速度  $15 \text{ km/s}$  の分子流が噴出している。

#### < 分子流の加速・収束のモデル >

分子流天体が発見されて以降、その加速ならびに収束の機構については、様々なモデルが提唱されてきた。その代表的なものとして、中心に位置する赤外線星 (中心星) の周囲の、質量降着の起きている円盤状の高密度コア (降着円盤) の存在を预言した、「星風モデル」と「MHD (magneto-hydro dynamics) モデル」がある。

「星風モデル」(Königl 1982 等) では、中心星からの等方的な恒星風が、周囲の降着円盤によって収束されるとしている。しかしながら、中心星からの運動量の供給率は分子流の加速を行うのに十分ではないことが、観測的に示されており (Bally and Lada 1983)、 「星風モデル」を用いた解釈を困難にしている。

一方「MHDモデル」(Pudritz and Norman 1983, 1986; Uchida and Shibata 1985等)では、降着円盤の回転によって降着円盤を貫く磁力線が回転して、その結果回転軸方向に分子流が生じるとしている。このモデルによれば、回転しながら収縮する降着円盤は、分子流を介して各運動量を解放することができ、高速回転する原始星が知られていないことを説明できる。Uchida et al.(1987)は、L1551分子流天体において、分子流が回転する円盤状分子雲コアと同じ方向に回転していることを示し、「磁気圧風モデル」を観測的に裏付けできると考えた。

現在までに、これらのモデルを直接説明し得る十分な観測的証拠は発見されていない。それにもかかわらず分子流は、

(1) 分子流は、降着物質の重力エネルギーの解放によって、引き起こされる現象である。

(2) 回転しながら収縮する原始星が、各運動量を放出する有効な手段と考えられる。

という2点から、原始星の物理状態を理解する上で重要な現象であると考えられている。

### (3) アイラス点源

アイラス (赤外線天文衛星: Infrared Astronomical Satellite) は、1982年米国から打ち上げられた赤外線全天探査用の人工衛星である。この衛星による探査は、12, 25, 60, 100  $\mu$ mの各波長帯で行われ、約2"のビームサイズで、掃天領域は全天の96%に及んだ。この結果、合計25万個の赤外線点源が検出された (IRAS 1984)。

本節(1)で述べたように、原始星は主に遠赤外線を放射していると考えられ、 $0.1 \rightarrow 1 M_{\odot}$ に成長する間の光度は、 $10 \rightarrow 100 L_{\odot}$ である。一方アイラス点源の検出限界は、例えば距離500pcのオリオン座領域の場合は、約 $1 L_{\odot}$ である。従って、多くの原始星はアイラス点源として検出されていると考えられる。

星生成は、分子雲の中でも特に高密度の領域(分子雲コア)で起



きていると考えられる。Beichman et al. (1986)は、Myers, Linke, and Benson (1983)が CO, NH (アンモニア)等の分子線を用いて発見した分子雲コアについて、アイラス点源との比較を行った。彼等によると、おうし座ならびにへびつかい座の暗黒星雲中の95個の分子雲コアの中に47個のアイラス点源が位置している。これらについて光学天体との対応を比較した結果、15個はTタウリ型星として見えていて、5個は反射星雲として見えていた。残り27個については対応する光学天体はなかった。

また彼等は、これらの天体のアイラス点源のスペクトルの特徴を調べるため、12, 26, 60  $\mu\text{m}$ の flux density による色温度の相関図 (二色図) をつくった (図1-12)。その結果、Tタウリ型星は主に図中の枠で示した、

$$\log [F(12) / F(25)] = 0.0 \sim -0.5$$

かつ

$$\log [F(25) / F(60)] = 0.3 \sim -0.4$$

の範囲にあることが示された。ここで  $F(12)$ ,  $F(25)$ ,  $F(60)$ は、それぞれ12  $\mu\text{m}$ , 25  $\mu\text{m}$ , 60  $\mu\text{m}$ の各波長帯の flux density である。一方光学天体のない点源では、色温度がより低くなっていることが明らかになった。彼等のサンプルでは、12  $\mu\text{m}$ と25  $\mu\text{m}$ の2波長から決まる色温度は、光学天体があるアイラス点源では  $240 \pm 10\text{K}$ 、ない点源では  $190 \pm 10\text{K}$ である。また、分子雲コアの中心からの距離との関係を調べた結果、光学天体のない点源は、よりコアの中心近くに位置していることがわかった。彼等のサンプルでは、NH<sub>3</sub> コアからの距離は、光学天体があるアイラス点源では  $0.19 \pm 0.04\text{pc}$ 、ない点源では  $0.09 \pm 0.01\text{pc}$ である。以上の結果から、彼等は光学天体のない色温度の低いアイラス点源は、分子雲コアの中心近くで生成されたばかりの、Tタウリ型星よりも進化段階が早い、低温の「原始星」であると結論した。

### 1 - 3 . 分子流の探査

#### (1) これまでの分子流探査の経緯

分子流天体は、発見されて間もないころは、若い恒星に関連した現象として観測的に捉えることができた、高光度の赤外線星、Tタウリ型星、HH天体 (Herbig Haro object) において検出された。従って分子流の探査は、専らこれらの天体の存在が知られていた領域に限られていた (例 Bally and Lada 1983; Edwards and Snell 1983, 1984; Leveault 1985, 1988)。このため、原始星の候補のサンプルとしては、比較的光度の大きい天体や、既に光を放出している、即ち進化が進んでいる天体に限られ、中低質量の原始星進化の初期を理解するためには不適當であった。

1984年にアイラス点源のカタログ (IRAS 1984)が発表されると、従来観測された光学天体や高光度赤外線天体に関わらない、均一な条件による赤外線星 (アイラス点源) の情報がはじめて得られた。そこで、アイラス点源のデータを基にした分子流探査が行われ始めた。主な研究として、分子雲コア中のアイラス点源についての探査 (Myers et al. 1988), 100 $\mu$ mで高光度のアイラス点源についての探査 (Snell et al. 1988), 暗黒星雲中のアイラス点源についての探査 (Schwartz, Gee, and Huang 1988) 等がある。

もう一つの新しい分子流探査の方法として、ある分子雲について、光学或いは赤外線天体などに関わりなく、全体を限なく観測 (掃天観測) して、その結果を用いて分子雲中の分子雲を完全に検出する方法で、「無バイアス掃天観測」と呼ぶ。この方法は、分子雲中の星生成を完全に理解するためには、最も適している。しかし同時に、観測には多大な時間を要するため、適切なビームサイズによる効率的な観測を行う必要がある。これまでには、名大4メートル鏡の2'.7のビームによる、オリオン座南部分子雲の約13平方度の探査 (Fukui et al. 1986)と、MWO 4.9メートル鏡の2'.3のビームによる、一角獣座OB1分子雲の約1.6平方度の探査 (Margulis and

Lada 1986)の2例が報告されているのみである。この他に広範囲な分子雲の観測としては、コロンビア大学 1.2メートル鏡による、銀河面に沿った $\pm 20^\circ$ の約7700平方度の掃天観測 (Dame et al. 1987等)が知られている。しかしながらこの掃天観測でのビームサイズは $8'.7$ であり、典型的な分子流天体のサイズ $0'.5 \sim 5'$ と比較して大きすぎるため、分子流の探査には不適當であった。

以上の研究では、各々4~7個の分子流天体が発見されている。しかし、これらの観測領域は多岐にわたり、単一の領域に注目した場合は、原始星の進化を完全に理解するには不十分なサンプルであった。

## (2) オリオン座／一角獣座領域領域のこれまで観測

オリオン座／一角獣座領域は、太陽系からの距離が400-1400pcの位置にいくつかの巨大分子雲があり、その中で活動的な星生成が起きている領域として知られている。例えばその代表が、オリオン大星雲 (M42, NGC1976)である。この中には、トラペジウムと呼ばれる生成されたばかりの大質量星があり、周囲のガスを輝かせている (Ori-KL天体)。また、ここに発見された Ori-KL 分子流天体は、全天で最も活動的な分子流の一つとして知られている (例 Lada 1985)。

図1-13は、オリオン座／一角獣座領域について、コロンビア大学 1.2メートル鏡による掃天観測 (コロンビア掃天観測)の結果得られた $^{12}\text{CO}$  (J=1-0)分子スペクトルの強度分布図である。オリオン座の領域は、はじめ Kutner et al. (1977)によって、巨大分子雲が存在することが明らかになった。この巨大分子雲の距離は約460pcで、オリオン大星雲を含むオリオン座南部分子雲と、馬頭星雲を含むオリオン座北部分子雲とから構成される。その後のコロンビア掃天観測では、各々の分子雲の全質量は、 $1.0 \times 10^5 M_\odot$ ならびに  $0.8 \times 10^5 M_\odot$ と見積もられた (Maddalena et al. 1986)。また図1-13中の一角獣座R2分子雲は、距離約950pcに位置し、

Loren (1977)らによって構造が明らかにされた。オリオン座／一角獣座領域には、この他に、オリオン座南部フィラメント（距離約1100pc）や一角獣座S 2 8 7分子雲（距離約1400pc）等の分子雲が分布している（Maddalena and Thaddeus 1985）。

これらの領域のうちオリオン座南部分子雲については、1984-1985年に約13平方度の領域の無バイアス掃天観測を行った（Fukui et al. 1986）。その結果、新たに6個の分子流天体を発見し、この巨大分子雲中の分子流天体は合計10個になった（Fukui 1988）。これらの分子流天体のうち、Ori-KL分子流天体を除いた9天体には、アイラス点源が位置している。これらのアイラス点源の中で、赤外線強度のデータの質が悪い3天体を除いた6天体について、二色図上でその性質を調べた（図1-14：Fukui 1988）。この図のサンプルは、オリオン座南部分子雲中の、低温（ $\log [F(12) / F(25)] \leq -0.5$ ）のアイラス点源14個と、Tタウリ型星タイプの色温度（Beichman et al. 1986）を持つアイラス点源16個である。図中で●印で示した、分子流を伴うアイラス点源は全て、

$$\log [F(12) / F(25)] \leq -0.5$$

かつ

$$\log [F(25) / F(60)] \leq -0.3$$

の範囲にある。この図を Beichman et al. (1986) の二色図（図1-12）と比較すると、分子流を伴ったアイラス点源が占める範囲は、彼等が「原始星」と考えている、低温のアイラス点源が二色図上で占める位置に相当している。我々はこの結果から、分子流が原始星に伴った現象であることを示す観測的な証拠が得られたと考えた。

以上の結果を基に、本研究では分子雲中の分子流についての統計的により完全なサンプルを得るために、オリオン座／一角獣座領域のより広範な領域である、600平方度の領域についての分子流を隈なく探査することを試みた。

## 第 2 章 アイラス点源のサンプル

本研究では、アイラス点源の中から「原始星の候補」を選定し、これらについて分子流の探査を行った。本章では、原始星の候補を選定する際に用いた条件について述べる。

分子流探査の対象とした領域は、オリオン座／一角獣座領域の図 1-13 に示した枠内の約 600 平方度の範囲である。この中には約 5400 個のアイラス点源が検出されており、これらの中から以下に述べる方法を用いて原始星の候補を選んだ。

### < アイラス点源の色温度 >

原始星は、1-2 節で述べたように  $12\mu\text{m}$  と  $25\mu\text{m}$  から決まる色温度が低いことが示唆される。そこで原始星の候補となるアイラス点源を、次の 2 つのタイプに分けて考えた。まず、色温度が最も低い「低温アイラス点源」であり、次に Beichman et al. (1986) によって、T タウリ型星によく見られるスペクトルを持つことを指摘された、「T タウリ型アイラス点源」である。

色温度が最も低い「低温アイラス点源」は、アイラス点源の二色図の中で、オリオン座南部巨大分子雲の分子流探査の結果をもとに、以下のように定義した。

$$\log [F(12) / F(25)] \leq -0.4$$

また、「T タウリ型アイラス点源」は、Beichman et al. (1986) をもとに、以下のように定義した。

$$\log [F(12) / F(25)] \leq 0.0$$

かつ

$$\log [F(25) / F(60)] \geq -0.5$$

#### <アイラス点源の "quallity">

アイラス点源カタログには、各波長帯における flux density の S/N 比に応じて、各々 3 を最良として 1 から 3 までの 3 段階の "quallity" の表示がある。観測値が検出限界以下の場合は 1 となり、flux density は上限値を与える。

アイラス点源の近傍に広がった赤外線源が重なっている場合、アイラス点源の flux density の S/N 比は悪くなり、色温度の正確な評価を行うのは困難になる。そのため、このような "質の悪い" アイラス点源は原始星の候補から取り除く必要がある。本研究では、二色図の評価において重要な  $25\mu\text{m}$  と  $60\mu\text{m}$  を含む 3 波長帯で、"quallity" が 2 以上の点源を選んだ。

#### <既知のカタログによる同定>

アイラス点源は既知のカタログとの比較が行われ、その中で対応天体のあるものについては、その同定がなされている。

系外銀河や惑星状星雲の中には、「低温アイラス点源」や「T タウリ型アイラス点源」の条件を満たすスペクトルを持つ天体があることが知られている (Emerson 1987)。このため、カタログによる同定の有無を調べ、系外銀河や惑星状星雲に同定されているものは取り除く。

#### <アイラス点源の "correlation" 係数>

アイラス点源カタログでは、完全な点源を 100% として、完全な点源からのずれの大きさを示す、"correlation" 係数の表示がある。

系外銀河や惑星状星雲は、カタログに同定されているもの以外にも、未知のものが数多くあり (例 Wolstencroft et al. 1985)、"correlation" 係数が小さい "広がり" を持つ点源として検出される。また、複数の赤外線点源が密に集中している領域や、広がった赤外線源が重なっている領域でも、"correlation" 係数は小さくな

る。本研究では、各波長帯の検出器の特性を考慮して、12, 25, 60  $\mu\text{m}$ で各々の "correlation" 係数が93, 97, 95%以上の点源を選び、それ以外の "広がり" を持つ天体を取り除いた。

この数値を選定は原因

## 第 3 章 観測とデータ解析

### 3 - 1 . 観測

#### (1) 観測の概要

本研究における観測については、つぎの 3 段階の手順で進められた。まず、1985年12月 - 1987年5月の期間に、名大4メートル鏡を用いて、オリオン座北部分子雲 / 一角獣座 R 2 分子雲の無バイアス分子スペクトル掃天観測を行い、これらの領域の分子流天体を限なく探査した。この中で見つけ出された分子流の候補については、1985年12月 - 1987年5月の期間に、名大4メートル鏡、野辺山45メートル鏡、ならびに M W O 4.9メートル鏡を用いて、分子流探査を行った。続いて、オリオン座 / 一角獣座領域のアイラス点源の中から原始星の候補を選出し、1987年12月 - 1988年3月の期間に、野辺山45メートル鏡ならびに M W O 4.9メートル鏡を用いて、分子流探査を行った。探査の結果発見された分子流天体については、精度のよい物理諸量の評価を行うために、マッピングを行った。次に、各望遠鏡毎の観測の諸元を記す。

#### (2) 名大4メートル鏡を用いた観測

名大4メートル鏡（名古屋大学理学部4メートル短ミリ波望遠鏡）は、空間分解能は約  $2'.7$  ( $\nu = 115$  GHz)、主ビーム効率 は約  $0.7$  ( $\nu = 115$  GHz) である (Kawabata et al. 1985)。ポインティング較正は、光学望遠鏡を設置した恒星の観測と、太陽の5点観測を用いて行い、精度は約  $20''$  以内である。受信器は、15K 冷却ショットキ・ミキサ受信器を用い、システム雑音温度（大気込み）は通常  $700 - 900$  K (SSB) である。分光計は、1600ch音響光学型分光計を用



い、周波数帯域44 MHz, 周波数分解能40 kHz (速度分解能 $\sim 0.1$  km/s;  $\nu = 115$  GHz)である (Takano et al. 1983)。アンテナ温度の較正は、チョッパ・ホイール法 (Kutner and Ulich 1981)を用いた。オリオンKL天体を $^{12}\text{CO}$  (J=1-0) において $T_{\text{R}}^* = 80\text{K}$ 、 $^{13}\text{CO}$  (J=1-0) において $T_{\text{R}}^* = 10\text{K}$ として、絶対強度への較正を行った。

名大4メートル鏡を用いた分子雲の無バイアス掃天観測は、 $^{12}\text{CO}$  (J=1-0),  $^{13}\text{CO}$  (J=1-0) の各分子スペクトルを用いて行った。オリオン座北部分子雲については、1985年12月-1987年5月に、 $^{12}\text{CO}$  (J=1-0) 分子スペクトルを用いて、2-4'グリッドで約1700点 (約6.5平方度)、 $^{13}\text{CO}$  (J=1-0) 分子スペクトルを用いて、4'グリッドで約1900点 (約8.5平方度) をマッピングした。また、一角獣座R2分子雲については、1986年12月-1987年5月に、 $^{12}\text{CO}$  (J=1-0) 分子スペクトルを用いて、4'グリッドで約800点 (約3.5平方度)、 $^{13}\text{CO}$  (J=1-0) 分子スペクトルを用いて、4'グリッドで約500点 (約2平方度) をマッピングした。以上の観測は全て周波数スイッチング法を用いて行い、各観測点の典型的な積分時間は1-3分、データのrms雑音温度は $^{12}\text{CO}$ では1chあたり $\Delta T_{\text{rms}} = 0.8-1.0\text{K}$ 、 $^{13}\text{CO}$ では $\Delta T_{\text{rms}} = 0.6-0.8\text{K}$ である。

名大4メートル鏡を用いた分子流探査は、合計7領域について行った。いずれの領域も1.5-2'グリッドでアイラス点源の周囲をマッピングした。観測は全てポジション・スイッチング法を用いて行い、1観測点あたりの典型的な積分時間は30-90分、雑音温度は $\Delta T_{\text{rms}} = 0.2-0.3\text{K}$ である。

### (3) 野辺山45メートル鏡を用いた観測

野辺山45メートル鏡 (東京大学東京天文台野辺山宇宙電波観測所: 現 国立天文台野辺山電波天文台の45メートル宇宙電波望遠鏡) は、空間分解能は約 $17''$  ( $\nu = 115\text{GHz}$ )、主ビーム効率 は約0.45 ( $\nu = 115\text{GHz}$ ) である。ポインティング較正は、約2時間毎に

Ori-A, 又は IRC-10151の SiO( $J=1-0$ ,  $v=1$ 又は $v=2$ )メーザ源の5点観測を用いて行い、精度は約 $5''$ 以内である。受信器は、冷却ショットキ・ミクサ受信器を用い、システム雑音温度(大気込み)は通常 $600-800$  K (SSB)である。分光計は、2048ch音響光学型分光計を用い、周波数帯域 $40$  MHz, 周波数分解能 $37$  kHz (速度分解能 $\sim 0.1$  km/s;  $\nu = 115$  GHz)である。アンテナ温度の較正は、チョップ・ホイール法 (Kutner and Ulich 1981)を用いた。オリオンKL天体を $^{12}\text{CO}$  ( $J=1-0$ ) において $T_{\text{R}}^* = 80$  K、 $^{13}\text{CO}$  ( $J=1-0$ ) において $T_{\text{R}}^* = 10$  Kとして、絶対強度への較正を行った。

野辺山4.5メートル鏡を用いた分子流探査ならびにマッピングは、合計46領域について行った。これまでに知られている分子流天体の典型的なサイズは $0.1-2$  pcであり、オリオン座/一角獣座領域(距離 $500-1500$  pc)の場合、見かけの広がりは $1-10'$ 程度となる。赤外線点源(アイラス点源)に分子流が付随しているならば、点源の周囲 $1-数分角$ の範囲に、分子流の特徴である、ウィング成分を持った $^{12}\text{CO}$ 分子スペクトルが検出されることが期待される。数多くのサンプルの中から分子流を探査するための効率のよい方法として、まず点源の周囲を $1'$ グリッドで $5-9$ 点の観測を行った。次いでこの結果をもとに、分子流が伸びている方向へ観測点を伸ばした。また、分子流が小さい場合には、アイラス点源の周囲を $15''-30''$ グリッドでマッピングした。観測は全てポジション・スイッチング法を用いて行い、1観測点あたりの典型的な積分時間は $2-5$ 分、データのrms雑音温度は $\Delta T_{\text{rms}} = 0.3-0.5$  Kである。

#### (4) MWO 4.9メートル鏡を用いた観測

米国テキサス大学のミリ波観測所(MWO)4.9メートル電波望遠鏡は、空間分解能は約 $1'.3$ ( $\nu = 230$  GHz)、主ビーム効率(約 $0.9$ ( $\nu = 230$  GHz))である。ポインティング較正は、約5時間毎に木星の十字スキャンを用いて行い、精度は約 $0'.2$ 以内である。受信器は、

20 K 冷却ショットキ・ミキサ受信器を用い、システム雑音温度（大気込み）は通常1100-1400 K（SSB）である。分光計は、256 chフィルターバンク分光計を用い、周波数分解能 250 kHz（速度分解能 $\sim$ 0.3 km/s； $\nu = 230$  GHz）である。

MWO 4.9メートル鏡を用いた分子流探査ならびにマッピングは、合計60領域について行った。野辺山45メートル鏡を用いた分子流探査の場合と同様に、まず点源の周囲を1'グリッドで5-9点の観測を行った。次いでこの結果をもとに、分子流が伸びている方向へ観測点を伸ばした。観測は全てポジション・スイッチング法を用いて行い、1観測点あたりの典型的な積分時間は5-15分、雑音温度は $\Delta T_{rms} = 0.2-0.4$  Kである。

### 3-2. データの整約

#### (1) NRO/MWOデータの整約

名大4メートル鏡の観測結果と、他の電波望遠鏡の観測結果を比較することは、ある星間現象をさまざまな空間分解能で観測するための有効な手段である。このような比較を効果的に行うと同時に、他の電波望遠鏡のデータ整約をスムーズに行うために、他の電波望遠鏡で取得した分子スペクトルデータを、名大4メートル鏡のデータ処理システムを用いて解析する方法を開発した。以下では、本研究で観測に用いた名大4メートル鏡、野辺山45メートル鏡、MWO 4.9メートル鏡で分子スペクトルデータを、各々4 mデータ、NROデータ、ならびにMWOデータと呼ぶ。

図3-1に、NROデータについての、取得から解析に至るまでのデータの流れ図を示す。各々のデータは、各観測所の計算機からMT（磁気テープ）を介して名古屋大学大型計算機センターのM380のMSS（マストレージファイル）ディスクにロードされる。データはM380中の分子スペクトルデータ処理システムを用いて処理される。また、名大4メートル鏡の分子スペクトルデータ処理システムを用いる場合には、MT又はフロッピディスクに再ダンプされて、ミニコンピュータNOVA/MVシステムにロードされる。

分子スペクトルデータは、一般にヘッダ部分とスペクトルデータ部分からなる。ヘッダ部分は、天体名、座標、観測した日時、分光計の諸元など、観測に関する様々な情報が書き込まれた部分である。又、スペクトルデータ部分は、分光計の各チャンネルにおける測定値が書き込まれた部分である。これらの2つの部分の形式は、各々の電波望遠鏡の分子スペクトルデータで異なるため、同一のデータ処理システムで解析するためには、データ形式の変換が必要である。

分子スペクトルデータの解析は、一時処理と二次処理に大別される。一時処理は、取得した個々の分子スペクトルデータを、ベース

ライン・フィッティング等の最適化を行う処理過程である。二次処理は、最適化された分子スペクトルデータを用いて、二次元の電波強度分布図などのマップ化を行う過程である。以上の行程の具体的な操作方法については、補筆1-(1), (2)に詳しく記す。

## (2) アイラス点源の検索

アイラス点源 (IRAS 1984)は磁気テープ (MT) に収められたデータベースとして入手することができる。これをもとにして、アイラス点源に関するデータを処理し、さらに分子スペクトルデータと比較するための検索・処理システムを開発した。この検索・処理の流れ図は図3-2に示す。

アイラス点源のデータベースから、座標, データの "quality", 同定されたカタログの種類などのクライテリアを用いて検索を行い、必要な条件を満たす点源を自動選出する。こうして切り出されたデータは、必要な情報とともに新しいファイルに格納される。このファイルはMT又はフロッピディスクを用いて、分子線スペクトルのデータ処理システムのあるNOVA/MVシステムに移すことができる。

### 3 - 3 . 物理量の評価

C O 分子スペクトルの観測から分子雲の全分子質量を評価する方法として、一般に局所熱平衡 (local thermal equilibrium) を仮定する方法 (LTE 法) 等が用いられる。ところで分子流は、分子雲と比べて低密度のガスが高速で噴出している現象である。このため、分子流の質量を正確に見積り、それから運動エネルギーなどの物理諸量を評価することは、極めて重要であるにもかかわらず、これまであまり精度のよい方法はとられてこなかった。本研究では、以前の研究よりさらに進んだ、より正確な方法を試みた。以下にこの方法の特徴を記す。また、計算の方法については補筆 1 に記す。

#### < 分子流の光学的深さ >

分子流の質量を推定するためには、光学的に薄い (optically thin) 分子スペクトルを用いて、スペクトルのウィング成分の光学的深さ (optical depth) を求めることが必要である。観測される分子流天体のウィング成分の  $^{12}\text{C O}$  と  $^{13}\text{C O}$  の各分子スペクトルの強度比は 10-20 程度であり (例 Snell et al. 1984)、地球上の  $^{12}\text{C}$  と  $^{13}\text{C}$  の存在比である 89 よりも小さい。これは一般に、 $^{12}\text{C O}$  が光学的に厚く (optically thick)、一方  $^{13}\text{C O}$  が光学的に薄いことによって引き起こされる。このような場合は、分子流の質量は、 $^{13}\text{C O}$  の光学的深さを用いて推定する方法がとられる。

ところで、分子流は星間分子ガスと比べると一般に希薄であるために、 $^{13}\text{C O}$  のウィング成分は非常に微弱である。このため本研究以前には、分子流天体の中のある一点 (例えば赤外線天体の方向) のみについて  $^{13}\text{C O}$  の観測を行い、その結果から分子流天体全体の物理量を推定する方法がとられてきた。その一方で、分子流天体はビーム幅よりも大きい構造を持っていることが知られているために、上の方法では、分子流天体全体の物理量を正しく評価するためには不十分である。このため本研究では、分子流天体をできる限り

$^{13}\text{C O}$ でマッピングして、分子流天体全体の質量分布をより正確に反映するデータを取得し、得られた分子スペクトルについて、マッピングした範囲で平均をとった。

#### < 分子流の質量 >

分子流の全分子質量は、前に求めたある速度成分についての分子柱密度を、分子流の空間的拡がりと速度的拡がりの全体に積分することによって推定できる。ところで実際の観測では、 $^{12}\text{C O}$ のマッピングは分子流天体の全空間に及んでいるのに対して、 $^{13}\text{C O}$ のマッピングは限られた数点であることが多い。このため、分子柱密度と $^{12}\text{C O}$ ウィング成分の放射温度との間により相関があるとの仮定の下に、apparent emitting area:  $A_{e\omega}$ を、Margulis and Lada (1985)の方法を用いて次式で定義する。

$$A_{e\omega} = A \frac{T(\text{all } ^{12}\text{C O observed points})}{T(\text{all } ^{13}\text{C O observed points})}$$

ここでAは分子流の見かけの面積、またTは各々の分子スペクトルでマッピングを行った全範囲についての $^{12}\text{C O}$ ウィングの積分した放射温度の平均である。

#### < 分子流の力学的諸性質 >

分子流天体の質量ならびにサイズから、分子流の力学的諸性質を評価することができる。しかしながら、観測から得られる速度の情報は視線方向についてのみであるために、これらの物理量を正確に求めるのは困難である。本研究ではより正しい評価を行うために、まず次の2つの方法で物理量を計算した。

第一の方法では、分子流天体の観測された最大相対速度 $V_{\text{MAX}}$ よりも小さい速度を持つ成分は、実際には速度 $V_{\text{MAX}}$ を持ちながら、分子

流の飛び出す方向が視線方向に対してある傾きがあることによって、視線方向への投射効果で  $V_{MAX}$  よりも小さい値で観測されることを仮定している。この仮定の下では、分子流の運動量  $P$ 、運動エネルギー  $E$ 、動的光度 (mechanical luminosity)  $L_m$  はそれぞれ次式で与えられる。

$$P = M V_{MAX}$$

$$E = M V_{MAX}^2 / 2$$

$$L_m = M V_{MAX}^3 / 2 R$$

ここで  $R$  は分子流天体のサイズである。この方法は、これらの物理諸量に対する投射効果による上限値を与える。

第二の方法では、分子流は視線方向に対して傾きはなく、観測される相対速度が実際の分子流の速度であることを仮定している。この仮定の下では、分子流の運動量  $P$ 、運動エネルギー  $E$ 、動的光度 (mechanical luminosity)  $L_m$  はそれぞれ次式で与えられる (Margulis and Lada 1985)。

$$P = \sum_j M_j v$$

$$E = \sum_j M_j v^2 / 2$$

$$L_m = \sum_j M_j v^3 / 2 R$$

ここで  $M_j$  は、分子流の相対速度  $v$  を持つ成分の全分子質量である。この方法は、これらの物理諸量に対する投射効果による下限値を与



その相乗平均?

える。

次に、2つの方法で計算した物理諸量の上限値と下限値から、実際の値に近い値を得るために、それぞれについて上限値と下限値の相乗平均をとる。本研究以前の研究では、このように2つの方法を用いて、それぞれの方法から得られた物理量を用いて分子流の運動学的な議論を行うことはなされなかった。このためこれまでの議論は、しばし分子流の物理諸量を課題評価または過小評価してきた可能性が大きい。

## § 4 . 結果

### 4 - 1 . 分子雲の掃天観測

#### (1) オリオン座北部分子雲の掃天観測

図 4 - 1 にオリオン座北部分子雲の  $^{12}\text{CO}$  (J=1-0) 分子スペクトルの強度分布図、図 4 - 2 に同じ領域の  $^{13}\text{CO}$  (J=1-0) 分子スペクトルの強度分布図を示す。図 4 - 2 より、この領域の分子雲は、南側と北側の 2 つの成分に分けられる。

南側の成分は、反射星雲 NGC2023, NGC2024 や馬頭星雲などが付随した、活動的な星生成領域として知られている。この領域の CO 強度のピークは、NGC2023 並びに NGC2024 付近にある。この各々のピーク付近に、既知の分子流天体 NGC2023, NGC2024 が位置している。LTE 法 (補筆) を用いて求めた全質量は、 $3.6 \times 10^4 M_{\odot}$  である。

北側の成分は、反射星雲 NGC2068 (M78 星雲) 及び NGC2071 が付随する星生成領域として知られている。この領域の CO 強度のピークは、NGC2068, NGC2024 付近と、NGC2071 の北側約 20' の領域 (NGC 2071-north) にある。NGC2068 領域には、既知の分子流天体 HH26 IR, HH24, NGC2068  $\text{H}_2\text{O}$  の 3 天体が、また NGC2071 領域には分子流天体 NGC2071 が位置している。LTE 法による全質量は、 $2.2 \times 10^4 M_{\odot}$  である。

$^{12}\text{CO}$  の観測によって、合計 3 領域でウィング成分を持つと考えられる分子スペクトルが検出された。これらはいずれもアイラス点源の近傍であり、分子流天体の候補であることが示唆された。これらのアイラス点源は、NGC2024 領域の 05405-0117, NGC2071 領域の 05450+0019, NGC2071-north 領域の 05451+0037 の 3 天体である。

## (2) 一角獣座 R 2 分子雲の掃天観測

図 4 - 3 に一角獣座 R 2 分子雲の  $^{12}\text{C O}$  ( $J=1-0$ ) 分子スペクトルの強度分布図、図 4 - 4 に同じ領域の  $^{13}\text{C O}$  ( $J=1-0$ ) 分子スペクトルの強度分布図を示す。図 4 - 3 より、分子雲は、西側の大きな成分と、東側の孤立した 2 つの成分の、合計 3 成分に分けられる。

西側の成分は、反射星雲 NGC2170 が付随した星生成領域が知られている。図 4 - 4 の  $^{13}\text{C O}$  の強度分布から、この領域が、さらに小さいコア状の成分から構成されていることが示唆される。最も強いピーク付近には、既知の分子流天体 Mon R2 が位置している。この領域の LTE 法による質量は、 $1.9 \times 10^4 M_{\odot}$  と求められる。

東側の成分には、反射星雲 NGC2185 の付随する領域と、その東側のコア (Mon R2-east 領域) がある。このうち、NGC2185 領域の CO ピーク付近には、既知の分子流天体 GGD12-15 が位置している。LTE 法による質量は、 $0.4 \times 10^4 M_{\odot}$  である。

$^{12}\text{C O}$  の観測によって、2 領域でウィング成分を持つと考えられる分子スペクトルが検出された。これらはどちらもアイラス点源の近傍であり、分子流天体の候補であることが示唆された。これらのアイラス点源は、NGC2170 領域の 06055-0653 と、Mon R2-east 領域の 06103-0612 である。

## 4 - 2 . 分子流探査

### (1) 無バイアス掃天観測による分子流探査

分子雲の無バイアス掃天観測によって見つけ出された分子流天体の候補5領域と、オリオン座南部分子雲ならびに一角獣座S287分子雲の中の分子流天体の候補各1領域の、合計7領域について、名大4メートル鏡を用いて分子流探査を行った。その結果、アイラス点源 05451+0037 の方向に、分子流天体 NGC2071-northを発見した (Iwata, Fukui, and Ogawa 1988)。図4-5は、この天体の2つの方向の $^{12}\text{CO}$ ならびに $^{13}\text{CO}$ 分子スペクトルである。また図4-6は、分子スペクトルの電波強度分布を示す。次いで他の6領域について、野辺山45メートル鏡を用いて分子流探査を行った。その結果、アイラス点源 05403-0818 の方向に、分子流天体 L1641-south2を発見した。さらに残り5領域をMWO 4.9メートル鏡を用いて探査した結果、アイラス点源 06103-0612, ならびに 06567-0355 の方向に、各々分子流天体 Mon R2-eastと BIP14を発見した。以上の分子流天体については、野辺山45メートル鏡を用いて詳細なマッピングを行った。今回観測を行った、典型的な天体の、 $^{12}\text{CO}$ 分子スペクトルならびにウィング成分の分布図は、図4-6, 4-7に示す。

### (2) 低温アイラス点源の分子流探査

オリオン座/一角獣座領域の分子流探査の対象とした領域は、図1-13に示す枠内約600平方度である。この中の約5400個のアイラス点源のうち、2章に示した条件によって選定された「低温アイラス点源」は、図4-9に+印で示した83個である。この中には、前節の無バイアス掃天探査の際探査した点源7個と、本研究以前のオリオン座南部分子雲の分子流探査ならびに他の観測によって発見

された分子流天体14個が含まれる。これらのアイラス点源21個を除いた62個の「低温アイラス点源」が、本探査の対象である。

野辺山4.5メートル鏡を用いた探査では、これらの点源の中で、まず  $\log [F(12)/F(25)] \leq -0.5$  を満たす37点源について探査を行った。この結果、5個の分子流天体 L1634, Ori-I-2, L1594, L1617, S287-A を発見した。次いで、MWO 4.9メートル鏡を用いた探査では、残った32点源と、 $\log [F(12)/F(25)] = -0.5 \sim -0.4$  を満たす25点源を探査した結果、8個の分子流天体 L1641-south3, L1641-south4, L1598-NW, BFS56, CMa-west, S287-B, S287-C, L1654 を発見した。この探査結果を、表4-2に示す。また各々の分子流天体の、 $^{12}\text{C O}$ 分子スペクトルならびにウィング成分の分布図は、図4-7, 4-8に示す。

#### 4 - 3 . 分子流天体の特徴

##### (1) 分子流天体と分子雲

本研究による分子流探査の結果発見された分子流天体は、合計17個である。これによって、オリオン座／一角獣座領域の分子流天体は、本研究以前のオリオン座南部分子雲における探査ならびに他の観測による発見を含めて、合計35個になった。これらを領域別に見ると、オリオン座南部分子雲に12個、オリオン座北部分子雲に7個、一角獣座R2分子雲に3個、ならびに一角獣座S287分子雲に5個である。また、これらの他に合計8個が、それぞれ孤立した分子雲中に1 - 2個位置している。

4領域の分子雲中の分子流天体について、名大4メートル鏡による $^{13}\text{C O}$ の強度分布図と比較すると、いずれの分子流天体も、 $^{13}\text{C O}$ の強度が比較的強い領域に分布していることが示される(図5-1)。これらの領域は、いずれも分子柱密度が $5 \times 10^{21} \text{cm}^{-2}$ 以上であり、分子雲中の高密度領域であると考えられる。

1988年の時点で検出され報告されている分子流天体は、全天に125個ある(表4-3)。これらのうち、約3割がオリオン座／一角獣座領域に存在していることになり、分子流天体の個数からも、これらの領域が活動的な星生成領域であることが示されたことになる。

##### (2) 分子流の物理諸量

今回発見した17個の分子流天体は、それぞれの分布図から、いずれもアイラス点源が分子流天体の中心星であると考えられる。従って、各々のアイラス点源からの広がりをもって、分子流のサイズを決定した。さらに3-3節で記述した方法を用いて、各天体についての物理諸量を評価した。また、本研究以前にオリオン座南部分子

雲の分子流探査で発見された6天体についても、各々の物理諸量を、本研究による方法を用いて再評価した。これらの結果を表4-4, 4-5に示した。但し表4-4において注で示した天体については、分子流の速度について、各引用文献における、分子流の青方偏移成分と赤方成分のそれぞれの速度の平均を用いた。

### (3) アイラス点源の特徴

低温アイラス点源での探査を行った結果、65個の点源の中から13個の分子流天体を発見した。これによって、オリオン座／一角獣座領域の低温アイラス点源83個のうち、分子流を伴う点源は合計31個となり、本研究の選定条件を用いた場合の分子流天体の検出率は、37%となった。これらの分子流天体が付随したアイラス点源の特性は、表4-2に示される。

一方、オリオン座／一角獣座領域の合計35個の分子流天体のうち、1天体にはアイラス点源がなく、また3天体にはアイラス点源はあるが「低温アイラス点源」の条件を満たしていない。このうち Ori-KL は、赤外線点源の存在は知られている (Downes et al. 1981) が、アイラス点源としてカタログされていない。これは、近傍に強い H II 領域が位置しており、赤外線源が密集しているために、アイラスによって点源として検出されなかったと考えられる。ほかの3天体も、全て広がった赤外線源中に位置し、NGC1999 と Ori A-east は  $60\mu\text{m}$  が有意に検出されてなく、また OMC-2 は  $12\mu\text{m}$  のみで検出されている。これらのうち NGC1999 と Ori A-east は、 $12\mu\text{m}$  と  $25\mu\text{m}$  から決められる色温度は比較的低い (表4-2)。

図4-10は、オリオン座／一角獣座領域の低温アイラス点源の二色図である。分子流が検出された点源は○印で示す。図中の

$$\log [F(12) / F(25)] \leq -0.4$$

かつ

$$\log [F(25) / F(60)] \leq -0.2$$

の領域では、分子流天体を伴う点源が  $31/79 = 39\%$  を占めるとが示されている。図 4-11 は、同じサンプルの、 $12\mu\text{m}$  と  $25\mu\text{m}$  の色温度についての個数分布図である。分子流を伴う点源は、 $-1.2$  以下で  $6/7 = 86\%$ 、 $-1.2 \sim -0.8$  で  $7/15 = 47\%$ 、 $-0.8 \sim -0.6$  で  $8/19 = 42\%$ 、 $-0.6 \sim -0.4$  で  $10/42 = 24\%$  であり、より低温のアイラス点源ほど分子流の検出率が高いという傾向が見られる。

図 4-12(a) は、分子雲の各領域についての距離が比較的良好に推定されている、オリオン座南部/北部、一角獣座 R 2 分子雲各分子雲中の低温アイラス点源と T タウリ型アイラス点源との HR 図である。■印は分子流を伴う低温アイラス点源、□印は分子流が検出されていない低温アイラス点源、○印は T タウリ型アイラス点源を示す。但しオリオン座北部分子雲については、暗黒星雲 L1617, B35 各領域を含む。

分子流が検出されたアイラス点源は、ほぼ

$$T(\text{dust}) \leq 160 \text{ K}$$

かつ

$$L(\text{IRAS}) \geq 10 L_{\odot}$$

という性質で特徴づけられる。この範囲のアイラス点源における分子流の検出率は、 $23/43 = 53\%$  であり、過半数を占めている。このことから、分子流をともなうアイラス点源は、相対的に低温かつ高光度という性質で特徴づけられることが示される。

図 4-12(b), (c) は、オリオン座南部分子雲ならびにオリオン座北部分子雲中の点源についての HR 図である。ここで約  $160\text{K}$  以下かつ約  $10L_{\odot}$  以上という性質を持ったアイラス点源について、分子流の検出率を調べると、(b) では  $8/10 = 80\%$ 、(c) では  $11/15 = 73\%$  となる。この検出率の値は、本研究以前の分子流探査における



検出率が30%程度以下であったことと比較して、非常に高いものであり、分子流を伴うアイラス点源の性質をよく表わしていると考えることができる。

分子流が検出されたアイラス点源の光度は、(b)のオリオン座南部分子雲では、 $10-300 L_{\odot}$ であり、一方(c)のオリオン座北部分子雲では、 $10-2万 L_{\odot}$ である。また、 $10 L_{\odot}$ 以下のアイラス点源は、(b)のオリオン座南部分子雲の中に、より多く位置している。これらの2つの領域の距離はほぼ等しいことから、オリオン座南部分子雲においては、相対的に低質量の星が多く検出されていることが示唆される。これらの図は、サンプルの領域を限定したことにより、領域毎の特性や距離の違いによる検出限界などの、条件の差異が除外されたと考えらる。従って図4-12(a)と比べて、分子流を伴うアイラス点源の特徴が、より明確に表わされていると考えられる。

## 第 5 章 考察

### (1) 年齢の評価

図 5 - 1 は、オリオン座南部巨大分子雲の一部の  $^{13}\text{C O}$  強度分布図である。低温アイラス点源のうち、分子流を伴う点源 6 個を ■ 印、伴わない点源を ▣ 印で示す。分子流の位置する方向は、いずれも  $^{13}\text{C O}$  強度の強い領域であり、分子流が分子雲の中でも特に高密度の領域に位置していることを示唆している。

オリオン座南部巨大分子雲の  $^{13}\text{C O}$  の速度幅は約 2 km/s であり、これより分子雲の乱流運動は 2 km/s 程度であると推定される。また分子雲の高密度の領域はフィラメント状の構造を持ち (L1641 南部フィラメント)、その幅は約 2 pc である。今、分子流を伴う天体 (アイラス点源) が高密度領域で誕生し、分子雲の乱流程度の速度で運動したと仮定すれば、このアイラス点源の年齢の上限を以下のように見積もることができる。

$$\begin{aligned} \text{年齢} &\leq \frac{\text{分子雲の幅}}{\text{乱流運動の速度}} \\ &\sim \frac{2 \text{ pc}}{2 \text{ km/s}} \sim 10^6 \text{ 年} \end{aligned}$$

これによって、これらの分子流を伴うアイラス点源は、分子雲の高密度の領域で誕生してから、 $10^6$  年が経ていないことが示唆される。一方、これらの分子流の年齢は、 $2.5 \times 10^4 - 1.1 \times 10^5$  年と推定され (表 4 - 3)、 $10^6$  年よりも若いことが示される。

## (2) H R 図上での進化的位置づけ

図 4 - 9 に示したとおり、分子流を伴うアイラス点源の特徴は、低温かつ高光度という点にある。この結果について、原始星の S S T モデル (Stahler, Shu and Taam 1980) による H R 図 (図 1 - 8) と比較したものが図 5 - 2 である。図の右側の径路は、ダスト・シェルからの放射の進化のトラックを、また左側の径路は、原始星コアからの放射の進化のトラックを示している。また図中の右側の 2 つの枠は、それぞれ分子流を伴うアイラス点源と、「Tタウリ型アイラス点源」(2 - 1 節) が、H R 図上で占める範囲を示している。また左側の枠は、Cohen and Kuhi (1979) らによる Tタウリ型星が占める範囲を示してある。以上に示したトラックと範囲との対比から、以下のことが明らかである。

(1) 分子流を伴うアイラス点源の H R 図上の位置は、原始星の誕生 (S S T モデルにおける初期状態、即ち  $M(\text{core}) = 0.01 M_{\odot}$  において質量降着が始まった時点とする) 後  $10^4 - 10^5$  年の、原始星のダスト・シェルからの放射と、よい対応が見られる。

(2) Tタウリ型星タイプのアイラス点源の H R 図上の位置は、分子流を伴うアイラス点源と比べて、低温かつ高光度の位置にある。また、Tタウリ型星と比べて、光度はほぼ同じで、温度は 1 桁以上低い。

(3) Tタウリ型星の H R 図上の位置は、進化が進みダスト・シェルからの放射がなくなった段階の、原始星コアからの放射と、よい対応が見られる。

原始星のダスト・シェルからの放射の進化に注目すると、(1) の結果は、原始星は誕生後  $10^4 - 10^5$  年の段階には、分子流を伴っていることを示している。一方、これらの分子流の年齢は、 $(0.2 - 2) \times 10^5$  年と推定されている (表 4 - 4)。これより、分子流が発生

した年代を推定すると、ほぼ原始星が誕生した頃と一致することが示唆される。原始星の質量降着期の初期に分子流が発生している可能性があることを示したことは、分子流の加速・収束の機構が質量降着と密接に関係していることを示唆している。

原始星コアからの輻射は、原始星の進化に伴って光度が減少している。これに対してダスト・シェルからの輻射も同様な進化のトラックを辿ると考えると、(2)の結果から、Tタウリ型アイラス点源は、前主系列期に到達した原始星の周囲のダスト・シェルからの輻射であることが考えられる。即ちアイラス点源は、

(1) 分子流を伴う「低温アイラス点源」

↓

(2) 「Tタウリ型アイラス点源」

という向きに進化していることを示唆している。

分子流が原始星に付随した現象であることは、本研究以前から指摘されてきた(例 Lada 1985)が、それらの観測的な根拠はいずれも、分子流が若い恒星特有の現象(赤外線星, Tタウリ型星, HH天体など)の近傍に発見されてきたという、状況証拠を拠りどころとしていた。これに対して本研究では、はじめて原始星の理論的なモデルと、統計的に意味のある観測結果との対比によって、分子流と原始星の関係を具体的に裏付けることができた。

## 5 - 2 . 分子流天体が検出されないアイラス点源

これまでの低温アイラス点源の分子流探査の結果、分子流の検出率は37%であり、残りの63%の低温アイラス点源には、分子流は検出されなかった。これに対して図4-12(b), (c)に示した、オリオン座南部/北部各分子雲の領域毎のアイラス点源のHR図では、

$$T(\text{dust}) \geq 160 \text{ K}$$

かつ

$$L(\text{IRAS}) \geq 10 L_{\odot}$$

の範囲において、分子流の検出率は各々80%, 73%とかなり高くなっている。このことは、

(1) HR図は、二色図と比較してよりよく、分子流を伴うアイラス点源の特性を表わしている。

(2) 各々の領域では、アイラス点源の特性に差異がある。

という、2つの理由によって説明できる。

今回の分子流探査では、分子流についての図4-11のHR図を用いた統計的な議論が重要である。そこで、これまでに分子流が検出されていない20-30%のアイラス点源について、その意味を考察することによって、サンプルの完全性を吟味する必要がある。

分子流が検出されていない残り20-30%のアイラス点源については、以下の可能性が考えられる。

(1) 系外銀河など原始星以外の天体であるが、遠赤外線の特徴が原始星と類似した特徴を持つために、原始星の候補の中に混入した。

(2) 分子流を伴った原始星であるが、これまでの探査では見落とされてきた。

(3) 分子流を伴っていない原始星である。

まず、(1)の可能性について考える。これらの分子流を伴わない点源の多くは、分子雲の比較的高密度の領域に位置していることから、星生成に関連した天体である可能性は大きいと考えられる。このことを厳密に確認するためには、各々のアイラス点源についてのより詳細な観測が必要である。

続いて、(2)と(3)の可能性について考察する。

#### <分子流の「見落とし」>

分子流が、これまでの探査で見落とされてきた理由として、以下の可能性が考えられる。

(1) 分子流による分子スペクトルのウィング成分の強度が、これまでの探査の検出限界以下であるために、分子流を検出できなかった。

(2) 分子流が放出される速度そのものが小さい。または、よく収束された分子流が、視線方向にほぼ垂直に放出されている。これらの場合、分子流の相対速度の成分が分子雲の乱流運動と比べて小さくなり、分子流の検出は困難である。

(3) 分子流の相対速度の視線成分と同じ速度成分を持つ、別の分子雲が重なっているために、分子流の検出が困難である。

まず、(1)の可能性に関して、今回の分子流探査の検出限界を推定する。分子流の観測的な検出限界は、 $^{12}\text{C O}$ 分子スペクトルのウィング成分の検出限界によって決まる。また、分子流における励起温度や光学的深さが、分子流毎にほぼ一定であると仮定すれば、ウィング成分の積分強度と質量とは、概ね比例の関係にある。従って、ウィング成分の検出限界を下げれば、より小質量の分子流を検出することが可能になる。本研究で観測して、より正確な物理量を評価した分子流の中で、比較的質量の小さい天体の例として、分子流天体の質量は約 $0.1 M_{\odot}$ であり、その動的光度は、 $\sim 0.003 L_{\odot}$ であ

る。このことから、質量が $0.1 M_{\odot}$ 程度以下の分子流があるとすれば、それらについては見落とししている可能性がある。

次に、(2)の可能性を考える。 $^{12}\text{C O}$ 分子スペクトルの観測から知ることでできる分子流の速度は、視線方向の速度成分についてのみである。従って、多くの分子流は極めてよく収束されているので、視線方向に垂直な軸を持った分子流の検出は困難である。例えば、オリオン座分子雲の $^{12}\text{C O}$ 分子スペクトルの典型的な速度幅は $5 \text{ km/s}$ 程度であり、分子流として検出されるには、分子流の相対速度は $5 \text{ km/s}$ 程度以上の視線速度成分を持つことが必要である。ここで、速度が $10 \text{ km/s}$ 、開口角が $30^\circ$ の分子流を仮定すると、オリオン座分子雲で分子流として検出されるには、分子流の軸と視線方向のなす角が $75^\circ$ 以下であることが必要である。即ち、この角度が $75^\circ - 90^\circ$ の分子流（確率的には約25%）は、検出不可能である。分子流が検出されていないアイラス点源は20-30%なので、この可能性だけでも検出できない理由の説明が可能である。

(3)の可能性が考えられるアイラス点源は、 $^{13}\text{C O}$ 分子スペクトルが複数の速度成分を持つことを利用して推測することができる。特に、オリオン座北部分子雲のNGC2024領域は、 $^{13}\text{C O}$ 分子スペクトルを用いた掃天観測から、LSR速度が $9 \text{ km/s}$ の分子雲と $3 \text{ km/s}$ の分子雲が重なっていると考えられ、この領域にあるアイラス点源において、ウィング成分を検出することは困難である。例えばこの領域に位置するIRAS05405-0117は、 $^{12}\text{C O}$ 分子スペクトルは2つの速度成分が重なっており、このLSR速度を持つウィング成分の検出は困難であることが明らかである。

以上の考察から、オリオン座南部/北部各分子雲中のサンプルについては、「見落とし」の可能性を考慮すれば、分子流の検出率はほぼ100%になる可能性がある。

### < 分子流を伴わない原始星 >

これまでの分子流探査で分子流が検出されなかったアイラス点源が、「見落とし」の可能性を考慮してもなお、分子流を伴っていない原始星であるとするれば、以下の解釈が考えられる。

- (1) 進化の全段階を通じて分子流を伴わない原始星である。
- (2) 分子流が発生する段階に達していない原始星である。
- (3) かつては分子流を伴ったが、進化が進んで分子流が消滅してしまった原始星である。

(1) の解釈を分子流の加速・収束の機構から可能かどうかを考察する。星生成の段階で、回転しながら収縮する降着円盤が角運動量を放出するための、何らかの機構が必要である。例えば磁気圧風モデル (1 - 3 節) によれば、分子流が、角運動量を放出する役割を請け負っていると考えられる。この時、分子流を伴わない原始星があるとすれば、降着円盤の収縮とともに、角運動量は著しく増大することになる。現在のところ、このような高速回転する原始星の存在は知られていない。このことから、(1) の解釈は不自然さを伴うと考えられる。

Tタウリ型星の年齢は $10^7$ 年程度であるのに対して、分子流の寿命は、これまでに知られている分子流からは、上限が $10^6$ 年程度であると考えられる (Lada 1985 等)。このため、図 5 - 2 に示される原始星のダスト・シェルからの輻射の進化のトラックに、天体毎に差異があるとすれば、分子流を伴わないアイラス点源は、(2)、(3) のように進化の段階が異なっていると解釈ができる。(2) と (3) の解釈の相違は、両者の存在確率の比較から推定できる。図 5 - 2 から、年齢が $10^4 - 10^5$ 年の原始星の多くは既に分子流を伴っていることから、原始星が誕生してから分子流を伴うまでの時間は、上限が $10^5$ 年程度であると考えられる。従って、原始星の誕生から分子流の発生までの時間と、分子流の消滅後原始星がTタウリ型星



になるまでの時間では、後者が 100 倍程度長いいため、存在確率も 100 倍程度大いと考えられる。このことから、分子流を伴わないア  
イラス点源の多くは、分子流がすでに消滅した天体であると示唆さ  
れる。

## 第 6 章 ま と め

### ～ 原始星進化のシナリオ～

これまでに述べてきた観測ならびに考察の結果から、SSTモデルに基づいた質量  $1 M_{\odot}$  程度の星が、HR図上で示される星生成のシナリオとして、次の3段階が考えられる。

#### (1) 原始星コア形成期 = ?

分子雲コア中の質量降着の発生によって形成された、最初の原始星コア (SSTモデルの初期状態、即ち  $M(\text{core}) = 0.01 M_{\odot}$  の原始星コア) は、降着する物質の動的エネルギーによって、ダスト・シエルの表面から  $1 L_{\odot}$  程度の遠赤外線を放射する。但し、この段階を直接示す観測的証拠はなく、原始星コアが“いつ”“どのように”形成されるかは今後解明すべき問題である。

#### (2) 質量降着期 = 分子流天体

ダスト・シエルからの遠赤外線光度は、原始星コアの形成から  $10^4$  年で約  $10 L_{\odot}$ 、 $10^5$  年で約  $100 M_{\odot}$  にまで上昇する。この年齢  $10^4 \sim 10^5$  年の原始星では、等方的に降着する物質から得る動的エネルギーの一部を、双極方向に放出する現象が生じる。この現象が分子流であり、その動的光度 (mechanical luminosity) は  $10^{-3} \sim 10 L_{\odot}$  程度で、一般に原始星の放出する遠赤外線光度の  $100 \sim 1000$  分の1である。分子流の発生によって、原始星はエネルギーの放出と同時に角運動量を放出し、収縮に伴う高速回転は起きないと考えられる。

#### (3) 前主系列期 = Tタウリ型星

星間ガスの散逸によって質量降着が停止した原始星では、準静的な重力収縮が起きる。この時原始星コアの放射光度は下がり、HR

図上の林トラックを下降する。この時ダスト・シェルからの放射も下降し、アイラスでは  $160 \sim 300 \text{ K}$  のダストからの  $1 \sim 10 L_{\odot}$  の放射として観測される。この頃ダストシェルは次第に剥ぎ取られ、原始星コアからの可視光が直接外部へ放出され始める。この後原始星コア表面の温度は上昇し（ヘニエイトラック）、主系列星が誕生する。

## 謝 辞

本論文の執筆にあたりましては、河鱒公昭教授，福井康雄助教授，小川英夫助手には多大なる御指導を賜りました。また、観測，データ処理，ならびにプログラム開発におきましては、名古屋市立大学・杉谷光司氏，郵政省通信総合研究所・高羽 浩氏，ならびに水野 亮氏をはじめA研の諸氏には、いたるところで御助言をいただいで参りました。ここに深く感謝の意を表します。

## 引用文献

- Arquilla, R. and Kwok, S. 1987, *Astr. Astrophys.*, 173, 271.
- Bally, J. and Lada, C. J. 1983, *Astrophys. J.*, 265, 824.
- Beichman, C. A., Myers, P. C., Emerson, J. P., Harris, S., Mathieu, R., Benson, P. J., and Jennings, R. E. 1986, *Astrophys. J.*, 307, 337.
- Casoli, F., Combes, F., and Gerin, M. 1985, in *Nearby Molecular Clouds*, ed. Serra (Springer-Verlag), p.136.
- Casoli, F., Dupraz, C., Gerin, M., Combes, F., and Boulanger, F. 1986, *Astr. Astrophys.*, 169, 281.
- Clark, F. O. 1986, *Astr. Astrophys. (Letters)*, 164, L19.
- Cohen, M. and Kuhl, L. V. 1979, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 41, 743.
- Dame, T. M., Ungerechts, H., Cohen, R. S., de Geus, E. J., Grenier, I. A., May, J., Murphy, D. C., Nyman, L. -A., and Thaddeus, P. 1987, *Astrophys. J.*, 322, 706.
- Dent, W. R. F., Little, L. T., Kaifu, N., Ohishi, M., and Suzuki, S. 1985, *Astr. Astrophys.*, 146, 375.
- Dickman, R. L. 1978, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 37, 407.
- Downes, D., Genzel, R., Becklin, E. E., and Wynn-Williams, C. G. 1981, *Astrophys. J.*, 244, 869.
- Edwards, S. and Snell, R. L. 1983, *Astrophys. J.*, 270, 605.
- Edwards, S. and Snell, R. L. 1984, *Astrophys. J.*, 281, 237.
- Emerson, J. P. 1987, in *IAU Symposium 115, Star-forming Regions*, ed. M. Peinbert and J. Jugaku (Dordrecht: Reidel), P.19.
- Fischer, J., Sanders, D. B., Simon, M., and Solomon, P. M. 1985, *Astrophys. J.*,

293, 508.

Fukui, Y. 1988, *Vistas in Astronomy*, 31, 217.

Fukui, Y., Sugitani, K., Takaba, H., Iwata, T., Mizuno, A., Ogawa, H., and Kawabata, K. 1986, *Astrophys. J. (Lett.)*, 311, L85.

Fukui, Y., Takaba, H., Iwata, T., and Mizuno, A. 1988, *Astrophys. J. (Lett.)*, 325, L13.

Goldsmith, P. F., Langer, W. D., and Wilson, R. W. 1986, *Astrophys. J. (Letters)*, 303, L11.

Harvey, P. M., and Forveille, T. 1988, *Astr. Astrophys. (Letters)*, 197, L19.

林忠四郎、早川幸男 編 (1973) 、岩波講座 現代物理学の基礎 1 2 宇宙物理学

Hayashi, C., Hoshi, R., and Sugimoto, D. 1962, *Progr. Theore. Phys. Suppl.* No.22.

Henvey, L. G., Lelevier, R., and Levee, R. D. 1955, *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 67, 154.

Heyer, M. H., Snell, R. L., Goldsmith, P. F., and Myers, P. C. 1987, *Astrophys. J.*, 321, 370.

Hilton, J., White, G. J., Cronin, N. J., and Rainey, R. 1986, *Astr. Astrophys.*, 154, 274.

Iben, I. Jr. and Talbot, R. J. 1966, *Astrophys. J.*, 144, 968.

IRAS Catalogs and Atlases, Explanatory Supplement. 1984, ed. C. A. Beichman, G. Neugebauer, H. J. Habing, P. E. Clegg, and T. J. Chester (Washington, D. C.: US Government Printing Office).

Iwata, T., Fukui, Y., and Ogawa, H. 1988, *Astrophys. J.*, 325, 372.

Kawabata, K., Ogawa, H., Fukui, Y., Takano, T., Fujimoto, Y., Kawabe, R., Sugitani, K., and Takaba, H. 1985, *Astron. Astrophys.*, 151, 1.

- Königl, A. 1982, *Astrophys. J.*, 261, 115.
- Kutner, M. L., Tucker, K. D., Chin, G., and Thaddeus, P. 1977, *Astrophys. J.*, 215, 521.
- Kutner, M. L. and Ulich, B. L. 1981, *Astrophys. J.*, 250, 341.
- Kwan, J. and Scoville, N. 1976, *Astrophys. J. (Lett.)*, 210, L39.
- Lada, C. J. 1985, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 23, 267.
- Levreault, R. M. 1985, Ph. D. thesis, University of Texas at Austin.
- Levreault, R. M. 1988, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 67, 283.
- Loren, R. B. 1977, *Astrophys. J.*, 215, 129.
- Maddalena, R. J., Morris, M., Moscowitz, J., and Thaddeus, P. 1986, *Astrophys. J.*, 303, 375.
- Maddalena, R. J. and Thaddeus, P. 1985, *Astrophys. J.*, 294, 231.
- Margulis, M. and Lada, C. J. 1985, *Astrophys. J.*, 299, 925.
- Margulis, M. and Lada, C. J. 1986, *Astrophys. J. (Lett.)*, 309, L87.
- Margulis, M., Lada, C. J., and Snell, R. L. 1988, *Astrophys. J.*, 333, 316.
- Miller, G. E. and Scalo, J. M. 1979, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 41, 513.
- Myers, P. C., Heyer, M., Snell, R. L., and Goldsmith, P. F. 1988, *Astrophys. J.*, 324, 907.
- Myers, P. C., Linke, R. A., and Benson, P. J. 1983, *Astrophys. J.*, 264, 517.
- Nakano, M. and Yoshida, S. 1986, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 38, 531.
- Parker, N. D., Padman, R., Scott, P. F., and Hills, R. E. 1988, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, 234, 67p.
- Phillips J. P., White, G. J., Rainey, R., Avery, L. W., Richardson, K. J., Griffin, M. J., Cronin, N. J., Monteiro, T., and Hilton, J. 1988, *Astr.*

- Astrophys., 190, 289.
- Pudritz, R. E. and Norman, C. A. 1983, *Astrophys. J.*, 274, 677.
- Pudritz, R. E. and Norman, C. A. 1986, *Astrophys. J.*, 301, 571.
- Sanders D. B., and Willner, S. P. 1985, *Astrophys. J.*, 293, L39.
- Schwartz, P. R., Gee, G., and Huang, Y. -L. 1988, *Astrophys. J.*, 327, 350.
- Scoville, N. Z., Sargent, A. I., Sanders, D. B., Claussen, M. J., Masson, C. R.,  
Lo, K. Y., and Phillips, T. G. 1986, *Astrophys. J.*, 303, 416.
- Shu, F. H., Adams, F. C., and Lizano, S. 1987, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 25,  
23.
- Snell, R. L., Huang, Y. -L., Dickman, R. L., and Claussen, M. J. 1988,  
*Astrophys. J.*, 325, 853.
- Snell, R. L., Loren, R. B., and Plambeck, R. L. 1980, *Astrophys. J. (Lett.)*, 239,  
L17.
- Snell, R. L., Scoville, N. Z., Sanders, D. B., and Erickson, N. R. 1984,  
*Astrophys. J.*, 284, 176.
- Stahler, S. W., Shu, F. H., and Taam, R. E. 1980, *Astrophys. J.*, 241, 637.
- 高羽 浩 (1987)、名古屋大学 学位論文
- Takano, T., Ogawa, H., Kato, T., Fujimoto, M., Fujimoto, Y., Fukui, Y.,  
Hayashi, Y., Kawabata, K., Kawabe, R., and Sofue, R. 1983, *Publ. Astron.  
Soc. Japan.*, 35, 323.
- Terebey, S., Vogel, S. N., and Myers, P. C. 1988, in *Galactic and Extragalactic  
Star Formation*, ed. R. E. Pudritz and M. Fich (Kluwer Academic Publishers)  
, p.297.
- Uchida, Y., Kaifu, N., Shibata, K., Hayashi, S. S., Hasegawa, T., and  
Hamatake, H. 1987, *Publ. Astron. Soc. Japan.*, 39, 907.



- Uchida, Y. and Shibata, K. 1985, Publ. Astron. Soc. Japan., 37, 515.
- Walker, C. K., Lada, C. J., Young, E. T., and Margulis, M. 1988, Astrophys. J., 332, 335.
- Wolstencroft, R. D., Clowes, R. G., Kalafi, M., Leggett, S. K., MacGillivray, H. T., and Savage, A. 1985, in Light on Dark Matter, ed. E. P. Israel (Dordrecht: Reidel), p.425.
- Winnewisser, G. 1988, Astrophys. Lett. and Communications, 26, 227.
- Wootten, A. and Loren, R. B. 1987, Astrophys. J., 317, 220.
- Zuckerman, B., Kuiper, T. B. H., and Kuiper, E. N. R. 1976, Astrophys. J. (Lett.), 209, L137.

# 補筆 物理量の計算方法

## < 分子流のサイズと速度 >

分子流のサイズは、ウィング成分の分布図において、中心星と中心星から最も離れた等高線までの距離  $R_{MAX}$  で定義する。観測される  $R_{MAX}$  は、視線に垂直な面に対して投射された像から決められる量であるため、実際の分子流のサイズの下限值を与える。

分子流の速度は、観測された分子スペクトルにおいて、分子雲の平均的な LSR速度に対する相対速度の最大値  $V_{MAX}$  で定義する。観測される LSR速度は、LSR速度の視線成分であるため、 $V_{MAX}$  は実際の分子流の速度の下限值を与える。

分子流の年齢（動的タイムスケール） $\tau$  は、

$$\tau = \frac{R_{MAX}}{V_{MAX}}$$

で与える。

## < 分子流の光学的深さ >

ある相対視線速度  $v$  での  $^{13}\text{CO}$  の光学的深さ  $\tau_v$  は、 $^{12}\text{CO}$  と  $^{13}\text{CO}$  の各分子スペクトルで、励起温度と“ビーム対天体”カップリング効率がそれぞれ等しければ、次式から求められる。

$$\frac{T_v(^{12}\text{CO})}{T_v(^{13}\text{CO})} = \frac{1 - \exp[-\tau_v(^{12}\text{CO})]}{1 - \exp[-\tau_v(^{13}\text{CO})]}$$

ここで  $T_v$  は相対速度  $v$  における分子スペクトルの放射温度 (radiat

ion temperature)である。 $^{12}\text{CO}$ と $^{13}\text{CO}$ の存在比が地球上の値に等しいと仮定すると、 $\tau_{\nu}(^{12}\text{CO}) = 89\tau_{\nu}(^{13}\text{CO})$ と置ける。

<分子流の柱密度>

分子流の $^{13}\text{CO}$ 分子の柱密度は、局所熱平衡 (local thermal equilibrium : LTE) を仮定すれば、次式で与えられる。

$$N_{\nu}(^{13}\text{CO}) \quad (\text{cm}^{-2} \text{ km}^{-1} \text{ s})$$

$$= \frac{2.41 \times 10^{14} (T_{\text{ex}} + 0.91) \tau_{\nu}(^{13}\text{CO})}{1 - \exp[-h\nu/kT_{\text{ex}}]}$$

ここで $T_{\text{ex}}$ はCO分子の励起温度であり、これは分子流と周囲の分子雲とではほぼ等しいと仮定すると、 $^{12}\text{CO}$ 分子スペクトルの放射温度のピーク値 $T(\text{peak})$ を用いて、次式で与えられる。

$$T_{\text{ex}} = \frac{h\nu}{k} \frac{1}{\ln\{1 + h\nu/k[T(\text{peak}) + J(2.7 \text{ K})]\}}$$

但し、

$$J(T) = \frac{h\nu}{k} \frac{1}{\exp(h\nu/kT)}$$

次いで、水素( $\text{H}_2$ )分子と $^{13}\text{CO}$ 分子の存在比を $5 \times 10^5$ であると仮定する (Dickman 1978) と水素分子の柱密度は次式により与えられる。

$$N_{\nu}(\text{H}_2) = 5 \times 10^5 N_{\nu}({}^{13}\text{CO})$$

< 分子流の質量 >

Apparent emitting area:  $A_{e\nu}$  を次式で定義する。

$$A_{e\nu} = A \frac{T(\text{all } {}^{12}\text{CO observed points})}{T(\text{all } {}^{13}\text{CO observed points})}$$

ここで  $A$  は分子流の見かけの面積、また  $T$  は各々の分子スペクトルでマッピングを行った全範囲についての  ${}^{12}\text{CO}$  ウィングの積分した放射温度の平均である。Apparent emitting areaを用いて、分子流の全質量は次式で与えられる。

$$M (M_{\odot}) = 1.52 \times 10^{-28} \sum_{\nu} N_{\nu}(\text{H}_2) A_{e\nu} f_{\nu}$$

但し  $N_{\nu}$  は  $\text{cm}^{-2}$ 、 $A_{e\nu}$  は  $\text{pc}^2$  で与える。ここで  $f_{\nu}$  は相対速度  $v$  での filling factor で、次式で与えられる。

$$f_{\nu} = \frac{T({}^{12}\text{CO})}{[J(T_{\text{ex}}) - J(2.7 \text{ K})] [1 - \exp(-\tau_{\nu})]}$$

< 分子流の力学的諸性質 >

分子流の運動量，運動エネルギー，動的光度 (mechanical luminosity) は、まず投射効果を考慮した最大値と最小値を、以下の方法で求める。

投射効果による最大値は、分子流天体の観測された最大相対速度  $V_{\text{max}}$  よりも小さい速度を持つ成分は、実際には速度  $V_{\text{max}}$  を持ちながら、

分子流の飛び出す方向が視線方向に対してある傾きがあることによつて、視線方向への投射効果で  $V_{MAX}$  よりも小さい値で観測されることを仮定する。この仮定の下で、分子流の運動量  $P_{MAX}$ 、運動エネルギー  $E_{MAX}$ 、運動学的光度 (mechanical luminosity)  $L_{MMAX}$  はそれぞれ次式で与える。

$$P_{MAX} = M V_{MAX}$$

$$E_{MAX} = M V_{MAX}^2 / 2$$

$$L_{MMAX} = M V_{MAX}^3 / 2 R$$

ここで  $R$  は分子流天体のサイズである。

投射効果による最小値は、分子流は視線方向に対して傾きはなく、観測される速度が実際の分子流の速度であることを仮定する。この仮定の下で、分子流の運動量  $P_{MIN}$ 、運動エネルギー  $E_{MIN}$ 、運動学的光度 (mechanical luminosity)  $L_{MMIN}$  はそれぞれ次式で与える。

$$P_{MIN} = \sum_j M_j v$$

$$E_{MIN} = \sum_j M_j v^2 / 2$$

$$L_{MMIN} = \sum_j M_j v^3 / 2 R$$

ここで  $M_j$  は、分子流の速度  $v$  を持つ成分の全分子質量である。

次に、2つの方法で計算した物理諸量の上限値と下限値から、実際の値に近い値を得るために、それぞれについて上限値と下限値の相乗平均をとる。

表 4 - 1. オリオン座／一角獣座 R 2 領域の分子雲の特性

Physical Parameters of the Molecular Clouds			
Region	Component	LTE Mass ( $M_{\odot}$ )	Kinetic Energy (erg)
Orion-North	NGC2023/2024	$3.6 \times 10^4$	$1.4 \times 10^{48}$
	NGC2068/2071	$2.2 \times 10^4$	$0.9 \times 10^{48}$
Monoceros R2	NGC2170	$1.9 \times 10^4$	$0.3 \times 10^{48} \text{ (1)}$
	NGC2185	$0.4 \times 10^4$	----
	Mon R2-east	190	----

(注 1) 一角獣座 R 2 分子雲全領域の合計

表4-2. オリオン座/一角獣座領域の低温アイラス点源のカタログ

Catalogue of the Cold IRAS Point Sources in Orion-Monoceros Region							
No.	IRAS No.	Flux Density (Jy)				Luminosity ( $L_{\odot}$ )	CO Outflow
		$12\mu\text{m}$	$25\mu\text{m}$	$60\mu\text{m}$	$100\mu\text{m}$		
1.	05155+0707	0.4	7.5	44	90	43	n.d. <sup>a</sup>
2.	05173-0555	< 0.25	3.0	27	60	26	L1634
3.	05289-0430	0.89	3.1	7.5	16	9.4	n.d.
4.	05302-0537	4.3	19	55	82	55	Ori A-west
5.	05311-0631	1.0	3.4	5.5	18	9.6	n.d.
6.	05319-0542	0.96	2.6	35	67	32	n.d.
7.	05327-0529	3.4	370	4800	< 25	3100	n.d.
8.	05327-0457	18	47	1800	4000	1700	n.d.
9.	05329-0628	0.73	8.5	32	95	42	n.d.
10.	05338-0624	0.58	16	210	490	210	L1641-north
11.	05355-0146	0.42	1.4	13	41	12	Ori-I-2
12.	05357-0710	0.39	1.1	4.2	< 130	3.5	n.d.
13.	05357-0526	0.75	2.2	1.6	< 38	3.0	n.d.
14.	05363-0702	0.53	4.9	23	< 58	17	L1641-center
15.	05365-0718	0.79	3.8	9.9	< 18	8.8	n.d.
16.	05369-0728	0.82	4.2	67	140	62	Haro 4-255
17.	05375-0731	< 0.25	8.9	160	270	130	L1641-south3
18.	05378-0750	0.88	3.8	11	11	9.5	n.d.
19.	05380-0728	28	90	190	230	200	L1641-south1
20.	05384-0808	< 0.4	1.0	16	39	17	L1641-south4
21.	05387-0924	0.83	3.2	20	29	17	n.d.
22.	05391-0805	0.77	2.3	5.9	< 20	5.6	n.d.
23.	05391-0217	16	93	1400	2500	1200	NGC2023
24.	05391-0836	0.46	1.8	5.2	< 38	4.6	n.d.
25.	05392-0809	0.41	1.5	1.3	< 16	2.1	n.d.
26.	05393-0156	280	4700	7900	35000	15000	NGC2024/Ori-B
27.	05399-1001	1.6	4.1	11	< 29	10	n.d.
28.	05400-0800	0.28	0.75	1.6	9.0	3.7	n.d.
29.	05403-1026	0.53	1.5	1.8	< 4.5	2.5	n.d.
30.	05403-0818	0.90	4.2	14	16	12	L1641-south2
31.	05404-0220	1.2	3.2	47	110	48	n.d.

(continued)

No.	IRAS No.	Flux Density (Jy)				Luminosity ( $L_{\odot}$ )	CO Outflow
		$12\mu\text{m}$	$25\mu\text{m}$	$60\mu\text{m}$	$100\mu\text{m}$		
32.	05405-0117	0.42	1.6	3.6	19	7.7	n.d.
33.	05417+0907	0.34	2.9	25	74	30	L1594/B35
34.	05435-0015	1.9	5.2	21	68	30	HH26 IR
35.	05435-0011	2.1	9.2	28	< 31	24	HH24
36.	05437-0001	8.2	24	230	500	230	NGC2068 H <sub>2</sub> O ?
37.	05445+0020	37	210	660	< 950	550	NGC2071
38.	05450+0019	0.81	8.9	50	100	49	n.d.
39.	05451+0037	3.7	13	28	39	36	NGC2071-north
40.	05487+0255	0.35	1.7	15	38	16	n.d.
41.	05491+0247	0.34	6.8	44	71	370	L1617
42.	05494+0820	< 0.25	0.73	8.6	16	7.8	L1598-NW
43.	05496+0812	< 0.41	3.3	22	39	19	L1598
44.	05564-1329	0.67	2.2	6.5	13	7.5	n.d.
45.	05581-1026	0.32	1.6	3.9	4.4	3.6	n.d.
46.	05598-0906	1.5	5.9	19	30	19	n.d.
47.	06010-0943	1.8	5.1	95	230	410	n.d.
48.	06046-0603	< 0.26	2.2	15	28	58	n.d.
49.	06047-0546	< 0.25	1.7	4.9	3.9	15	n.d.
50.	06047-1117	0.44	1.4	6.0	11	26	n.d.
51.	06049-0541	0.39	1.8	4.5	< 9.5	17	n.d.
52.	06050-0509	< 0.40	1.5	4.1	10	21	n.d.
53.	06053-0622	470	4100	13000	20000	52000	Mon R2
54.	06055-0653	0.54	2.1	3.7	4.5	18	n.d.
55.	06057-0923	< 0.25	0.77	3.0	6.4	13	n.d.
56.	06059-0632	0.41	4.5	9.3	6.3	32	n.d.
57.	06070-0619	3.0	15	180	310	650	n.d.
58.	06084-0611	27	600	3600	4800	12000	GGD 12-15
59.	06103-0612	4.0	21	70	120	300	Mon R2-east
60.	06114-0919	0.53	1.5	2.7	< 10	13	n.d.
61.	06216-1044	0.36	1.0	2.5	3.9	71	n.d.
62.	06249-1007	11	56	110	150	680	n.d.
63.	06253-1002	1.0	3.5	7.8	< 11	44	n.d.
64.	06314-0841	< 0.25	0.67	4.1	6.9	20	n.d.



---

(continued)

---

No.	IRAS No.	Flux Density (Jy)				Luminosity ( $L_{\odot}$ )	CO Outflow
		$12\mu\text{m}$	$25\mu\text{m}$	$60\mu\text{m}$	$100\mu\text{m}$		
65.	06412-0105	14	160	610	530	4000	n.d.
66.	06453-0209	1.1	6.1	22	36	200	n.d.
67.	06471-0329	1.8	6.5	16	23	160	n.d.
68.	06547-1012	0.75	4.4	19	47	130	n.d.
69.	06548-0815	4.6	12	44	< 130	41	n.d.
70.	06561-0137	0.41	1.1	3.9	8.0	210	n.d.
71.	06562-0337	11	46	69	100	800	n.d.
72.	06567-0347	3.1	8.8	22	< 30	200	n.d.
73.	06567-0350	4.8	15	56	< 780	430	BFS 56
74.	06567-0355	19	320	860	780	6300	BIP 14
75.	06568-1154	0.64	1.8	5.0	< 13	27	CMa-west
76.	06571-0441	1.5	7.5	36	< 74	250	S287-B
77.	06571-0436	3.6	9.8	25	< 49	220	S287-C
78.	06572-0742	18	140	420	470	2000	L1654
79.	06579-0432	0.64	4.2	23	46	210	S287-A
80.	07017-1114	12	35	260	< 470	1110	n.d.
81.	07024-1102	1.0	6.5	50	220	460	n.d.
82.	07025-1204	0.30	1.4	9.9	33	76	n.d.
83.	07028-1100	1.9	6.4	35	120	290	n.d.

---

Not Cold IRAS, with Outflow

---

.	05329-0512	23	< 54	< 640	< 23	57	OMC-2
.	05339-0644	1.3	5.4	< 75	190	20	NGC1999
.	05341-0530	3.7	7.6	< 120	650	210	Ori A-east

---

<sup>a</sup> n.d.=not detected.

表 4 - 3. これまでに構造が明らかにされた全分子流天体のカタログ

Catalogue of CO Outflow Sources of Which Structures are Appeared							
No.	Object	R.A. (1950)	Decl. (1950)	d (kpc)	Outflow Structure	IRAS No.	Ref.
1.	LKH $\alpha$ 198	00h 08min 47.9s	58° 33' 09"	1.0	bipolar	00087+5833	1
2.	<u>NGC281-west</u>	00 49 27.8	56 17 28	2.1	bipolar	00494+5617	2
3.	<u>NGC281-east</u>	00 51 18.0	56 17 07	2.1	bipolar	00512+5617	2
4.	01133+6434	01 13 18.2	64 34 50	3.0	bipolar	01133+6434	3
5.	S187-IRS	01 19 58	61 33 08	2.0	bipolar	01202+6133?	1, 4
6.	W3-IRS5	02 21 55.4	61 52 34	2.3	bipolar	02219+6152	1
7.	AFGL4029	02 57 35.6	60 17 22	2.2	bipolar	02575+6017	5
8.	AFGL437	03 03 33.2	58 19 21	2.0	bipolar	03035+5819	1
9.	RN013	03 22 04.7	30 35 49	0.2	blue?	03220+3035	1
10.	AFGL490	03 23 39.1	58 36 33	0.9	bipolar	03236+5836	1
11.	RN015 FIR	03 24 34.9	30 02 36	0.35	bipolar	03245+3002	1
12.	NGC1333 IRS1	03 25 33.6	31 03 14	0.35	bipolar	03255+3103	6
13.	HH7-11 SSV13	03 25 57.9	31 05 50	0.35	bipolar	03259+3105	1
14.	B5 IRS3	03 43 56.5	32 33 55	0.35	red	03439+3233	7
15.	L1489	04 01 40.6	26 10 48	0.14	bipolar	04016+2610	8
16.	T Tau	04 19 02.4	19 25 00	0.14	bipolar	04190+1925	1
17.	ZZ Tau	04 27 50.6	24 35 24	0.14	red	04278+2435	9
18.	L1551-IRS5	04 28 43.8	18 01 51	0.12	bipolar	04287+1801	1
19.	HL/XZ Tau	04 28 44.8	18 07 34	0.12	blue	04287+1807	1
20.	L1535	04 32 31.6	24 02 08	0.14	red	04325+2402	9
21.	IC2087	04 36 54.6	25 39 17	0.14	red	04369+2539	9
22.	<u>L1634</u>	05 17 21.9	-05 55 05	0.5	bipolar	05173-0555	2
23.	AFGL5142	05 27 27.6	33 45 37	1.8	bipolar	05274+3345	5
24.	RN043 S	05 29 32.7	12 47 33	0.5	bipolar	05295+1247	1
25.	<u>Ori A-west</u>	05 30 14.5	-05 37 52	0.5	bipolar	05302-0537	10
26.	Orion A	05 32 47	-05 24 14	0.5	bipolar	(no)	1
27.	OMC-2	05 32 59.6	-05 11 32	0.5	bipolar	05329-0512	11
28.	<u>L1641-north</u>	05 33 52.7	-06 24 02	0.5	bipolar	05338-0624	10, 12
29.	NGC1999	05 33 59.4	-06 44 45	0.5	red	05339-0644	1
30.	<u>Ori A-east</u>	05 34 11.0	-05 30 03	0.5	red	05341-0530	10
31.	AFGL5157	05 34 32.6	31 57 40	1.8	bipolar	05345+3157	5
32.	<u>Ori-I-2 IR</u>	05 35 33.2	-01 46 50	0.4	bipolar	05355-0146	2

(continued)

No.	Object	R. A. (1950)			Decl. (1950)			d (kpc)	Outflow Structure	IRAS No.	Ref.
33.	<u>L1641-center</u>	05	36	20.9	-07	02	43	0.5	blue	05363-0702	2
34.	Haro 4-255	05	36	56.4	-07	28	14	0.5	bipolar	05369-0728	1
35.	GGD 4	05	37	21.3	23	49	22	1.0	bipolar	05373+2349	13
36.	S235 B	05	37	31	35	39	55	1.8	bipolar	05375+3540?	1, 14
37.	<u>L1641-south3</u>	05	37	31.1	-07	31	59	0.5	bipolar	05375-0731	2
38.	<u>L1641-south1</u>	05	38	02.7	-07	28	59	0.5	bipolar	05380-0728	10
39.	<u>L1641-south4</u>	05	38	24.6	-08	08	20	0.5	bipolar	05384-0808	2
40.	NGC2024/Ori-B	05	39	18.0	-01	56	42	0.5	bipolar	05393-0156	1, 15
41.	<u>L1641-south2</u>	05	40	23.2	-08	18	26	0.5	bipolar	05403-0818	2
42.	<u>L1594/B35</u>	05	41	45.3	09	07	40	0.5	bipolar	05417+0907	2, 8
43.	HH26 IR	05	43	31.1	-00	15	28	0.5	bipolar	05435-0015	1
44.	HH24	05	43	34.2	-00	11	08	0.5	bipolar	05435-0011	1
45.	NGC2068 H <sub>2</sub> O	05	43	44.1	-00	01	23	0.5	bipolar	05437-0001?	1
46.	NGC2071	05	44	30.3	00	20	42	0.5	bipolar	05445+0020	1
47.	<u>NGC2071-north</u>	05	45	07.8	00	37	41	0.5	bipolar	05451+0037	10, 16
48.	<u>L1617</u>	05	49	09.1	02	47	48	0.5	bipolar	05491+0247	2
49.	<u>L1598-NW</u>	05	49	27.9	08	20	48	0.9	bipolar	05494+0820	2
50.	L1598	05	49	39.1	08	12	55	0.9	bipolar	05496+0812	17
51.	HD250550	05	59	07	16	13	06	1.0	red	(no)	1
52.	Mon R2	06	05	20.4	-06	22	31	0.8	bipolar	06053-0622	1
53.	AFGL6366-S	06	05	40.9	21	31	32	1.5	bipolar	06056+2131	5
54.	AFGL5180	06	05	53.9	21	38	57	1.5	blue	06058+2138	5
55.	GGD 12-15	06	08	24.5	-06	11	12	1.0	bipolar	06084-0611	1
56.	<u>Mon R2-east</u>	06	10	21.8	-06	12	28	0.95	bipolar	06103-0612	2
57.	AFGL961	06	31	59.0	04	15	09	1.6	bipolar	06319+0415	1
58.	Mon OB1-H	06	38	11.9	10	39	41	0.76	bipolar	06381+1039	18
59.	Mon OB1-D	06	38	17.8	09	39	03	0.76	bipolar	06382+0939	18
60.	Mon OB1-I	06	38	19	10	52	39	0.76	bipolar	(no)	18
61.	NGC2264	06	38	26.2	09	32	25	0.76	red	06384+0932	1
62.	Mon OB1-G	06	38	27	09	58	28	0.76	bipolar	06384+0958?	18
63.	<u>BFS 56</u>	06	56	45.1	-03	50	41	1.4	bipolar	06567-0350	2
64.	<u>BIP 14</u>	06	56	46.5	-03	55	28	1.4	bipolar	06567-0355	2
65.	<u>CMa-west</u>	06	56	52.9	-11	54	46	1.1	bipolar	06568-1154	2
66.	<u>S287-B</u>	06	57	06.4	-04	41	48	1.4	bipolar	06571-0441	2

(continued)

No.	Object	R. A. (1950)			Decl. (1950)			d (kpc)	Outflow Structure	IRAS No.	Ref.
67.	<u>S287-C</u>	06	57	08.2	-04	36	10	1.4	bipolar	06571-0436	2
68.	<u>L1654</u>	06	57	16.8	-07	42	16	1.1	bipolar	06572-0742	2
69.	<u>S287-A</u>	06	57	54.5	-04	32	22	1.4	bipolar	06579-0432	2
70.	L1660	07	18	00.9	-23	56	42	1.0	bipolar	07180-2356	17
71.	<u><math>\rho</math> Oph-south</u>	16	28	53.6	-24	50	06	0.16	blue	16288-2450	2
72.	<u><math>\rho</math> Oph-east</u>	16	29	20.9	-24	22	13	0.16	bipolar	16293-2422	10, 19, 1
73.	RN091/L43	16	31	37.7	-15	40	52	0.16	bipolar	16316-1540	1, 8
74.	L100	17	13	03.9	-20	53	39	0.23	bipolar	17130-2053	21
75.	NGC6334	17	16	35.1	-35	54	48	1.7	blue	17165-3554	1, 11
76.	W28-A2	17	57	28.5	-24	03	59	3.0	bipolar	17574-2403	22
77.	M8 E	18	01	49.7	-24	26	56	1.5	bipolar	18018-2426	1
78.	L483	18	14	50.6	-04	40	49	0.25	bipolar	18148-0440	21
79.	L379 IRS3	18	26	32.9	-15	17	51	0.2	bipolar	18265-1517	23
80.	L379 IRS2	18	27	43.4	-15	16	45	2.0	bipolar	18277-1516	17
81.	S68/Serpens	18	27	50.0	01	11	37	0.5	bipolar	18278+0111	1
82.	G35.2-0.74	18	55	41.2	01	36	28	2.0	bipolar	18556+0136	6, 24
83.	R CrA	18	58	31.6	-37	01	30	0.7	bipolar	18585-3701	1
84.	W49	19	07	51.7	09	01	11	14	bipolar	19078+0901	25
85.	L723	19	15	41.3	19	06	47	0.30	bipolar	19156+1906	1
86.	AS353	19	18	08.8	10	56	10	0.20	bipolar	19181+1056	1
87.	L778	19	24	26.4	23	52	37	0.25	bipolar	19244+2352	7
88.	B335	19	34	35.4	07	27	24	0.40	bipolar	19345+0727	1
89.	S88-B	19	44	41.4	25	05	17	2.0	bipolar	19446+2505	1, 6
90.	K3-50	19	59	50.0	33	24	20	9.0	bipolar	19598+3324	6
91.	AFGL2591	20	27	35.2	40	01	09	1.2	bipolar	20275+4001	1
92.	W75-N	20	36	51.1	42	27	20	2.0	bipolar	(no)	11
93.	DR21	20	37	13	42	08	50	2.0	blue	(no)	1, 11
94.	PV Cep	20	45	23.6	67	46	36	0.5	bipolar	20453+6746	1
95.	V1057 Cyg	20	57	06.2	44	03	47	0.7	blue?	(no)	1
96.	L1228	20	58	14.5	77	24	05	0.15	bipolar	20582+7724	26
97.	V1331 Cyg	20	59	32.3	50	09	53	0.7	red?	20595+5009	1
98.	L988-a	21	00	44.9	49	51	13	0.7	bipolar	21007+4951	27
99.	L988-e	21	02	19.6	50	02	40	0.7	bipolar	21023+5002	27
100.	L988-f	21	02	24.5	49	55	50	0.7	bipolar	21024+4955	27

(continued)

No.	Object	R. A. (1950)			Decl. (1950)			d (kpc)	Outflow Structure	IRAS No.	Ref.
101.	L1172	21	01	44.9	67	42	32	0.44	bipolar	21017+6742	8
102.	<u>IC1396-west</u>	21	24	38.7	57	43	14	0.75	bipolar	21246+5743	2
103.	V645 Cyg	21	38	11.3	50	00	45	6.0	bipolar	21381+5000	1
104.	<u>IC1396-north</u>	21	39	10.3	58	02	29	0.75	bipolar	21391+5802	2
105.	NGC7129	21	41	52	65	49	50	1.0	bipolar	(no)	1
106.	LKH $\alpha$ 234	21	41	53.2	65	52	42	1.0	red	21418+6552	1
107.	<u>IC1396-east</u>	21	44	30.8	57	12	29	0.75	red	21445+5712	2
108.	EL 1-12	21	45	26.8	47	18	08	0.9	red	21454+4718	1
109.	BD+46°3471	21	50	39.4	46	59	42	0.9	bipolar?	21506+4659	1
110.	S140	22	17	41.1	63	03	41	1.0	bipolar	22176+6303	1
111.	<u>S140-north</u>	22	17	51.1	63	17	50	0.89	bipolar	22178+6313	10
112.	<u>L1204-A</u>	22	19	50.7	63	36	33	0.89	bipolar	22198+6336	2
113.	<u>L1204-B</u>	22	19	55.7	63	22	12	0.89	blue	22199+6322	2
114.	<u>L1221</u>	22	26	37.2	68	45	52	0.2	bipolar	22266+6845	2
115.	<u>L1203</u>	22	26	46.7	62	44	22	0.89	bipolar	22267+6244	2
116.	<u>L1206</u>	22	27	12.2	63	58	21	0.89	blue	22272+6358	2
117.	<u>L1251-A</u>	22	34	22.0	75	01	32	0.2	bipolar	22343+7501	2, 17
118.	<u>L1251-B</u>	22	37	40.8	74	55	50	0.2	bipolar	22376+7455	2
119.	<u>L1211</u>	22	45	23.3	61	46	07	0.75	bipolar	22453+6146	2
120.	Cep A	22	54	20.2	61	45	55	0.7	bipolar	22543+6145	1
121.	<u>Cep E</u>	23	01	10.1	61	26	16	0.75	bipolar	23011+6126	2
122.	<u>Cep C</u>	23	03	45.6	62	13	49	0.75	bipolar	23037+6123	2
123.	NGC7538 IRS1	23	11	36.9	61	11	57	2.8	bipolar	23116+6111	1
124.	MWC1080	23	15	14.6	60	34	21	2.5	bipolar	23152+6034	1
125.	L1262	23	23	47.9	74	01	03	0.2	bipolar	23238+7401	21, 28

REFERENCES.-

- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| (1) Lada 1985, and references there in. | (2) This work.                       |
| (3) Arquilla and Kwok 1987.             | (4) Casoli, Combes, and Gerin 1985.  |
| (5) Snell et al. 1988.                  | (6) Phillips et al. 1988.            |
| (7) Goldsmith, Langer, and Wilson 1986. | (8) Myers et al. 1988.               |
| (9) Heyer et al. 1987.                  | (10) Fukui et al. 1986.              |
| (11) Fischer et al. 1985.               | (12) Fukui et al. 1988.              |
| (13) Casoli et al. 1986.                | (14) Nakano and Yoshida 1986.        |
| (15) Sanders and Willner 1985.          | (16) Iwata, Fukui, and Ogawa 1988.   |
| (17) Schwartz, Gee, and Huang 1988.     | (18) Margulis, Lada, and Snell 1988. |
| (19) Wootten and Loren 1987.            | (20) Walker et al. 1988.             |
| (21) Parker et al. 1988.                | (22) Harvey and Forveille 1988.      |
| (23) Hilton et al. 1986.                | (24) Dent et al. 1985.               |
| (25) Scoville et al. 1986.              | (26) Winnewisser 1988.               |
| (27) Clark 1986.                        | (28) Terebey, Vogel, and Myers 1988. |

NOTICE.- Underline indicates the outflow found in the Nagoya CO survey.

表 4-4. オリオン座／一角獣座領域の全分子流天体の特性  
 —— サイズ, 速度, 年齢

Physical Parameters of the Outflow Sources in Orion-Monoceros					
No.	Object	$R_{\max}$ (pc)	$V_{\max}$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	Age ( $10^5$ yr)	Ref.
1.	L1634	0.3	5	0.6	1
2.	Ori A-west	1.6	13	1.2	1
3.	Orion A	0.04	63.5 <sup>a</sup>	0.006	2
4.	OMC-2	0.2	6.5 <sup>a</sup>	0.4	3
5.	L1641-north	0.2	14	0.14	4
6.	NGC1999	0.5	13 <sup>a</sup>	0.4	5
7.	Ori A-east	0.8	9.5	0.8	1
8.	Ori-I-2 IR	0.17	4	0.4	1
9.	L1641-center	0.8	7	1.1	1
10.	Haro 4-255	0.7	13 <sup>a</sup>	0.5	5
11.	L1641-south3	0.6	23	0.25	1
12.	L1641-south1	1.0	14	0.7	1
13.	L1641-south4	0.8	8	1.0	1
14.	NGC2023	---	6.5 <sup>a</sup>	---	2
15.	NGC2024/Ori-B	0.57	40	0.14	6
16.	L1641-south2	0.6	25	0.25	1
17.	L1594/B35	0.4	6	0.7	1
18.	HH26 IR	0.46	15 <sup>a</sup>	0.3	2
19.	HH24	0.36	7.5 <sup>a</sup>	0.5	2
20.	NGC2068 H <sub>2</sub> O	0.6	7	0.9	7
21.	NGC2071	0.41	37.5 <sup>a</sup>	0.11	2
22.	NGC2071-north	1.5	9	1.7	8
23.	L1617	0.25	6	0.4	1
24.	L1598-NW	0.3	7	0.4	1
25.	L1598	1.5	7 <sup>a</sup>	0.22	9

---

(continued)

---

No.	Object	$R_{\text{MAX}}$ (pc)	$V_{\text{MAX}}$ (km s <sup>-1</sup> )	Age (10 <sup>5</sup> yr)	Ref.
26.	Mon R2	2.1	15.5 <sup>a</sup>	1.4	2
27.	GGD 12-15	0.87	12.5 <sup>a</sup>	0.7	2
28.	Mon R2-east	> 0.9	7	> 1.3	1
29.	BFS 56	0.8	9	0.9	1
30.	BIP 14	1.3	9	1.4	1
31.	CMa-west	1.3	4.5	0.3	1
32.	S287-B	2.1	8	2.5	1
33.	S287-C	1.0	7	1.4	1
34.	L1654	1.9	5	4	1
35.	S287-A	1.6	6	2.5	1

---

<sup>a</sup> The averaged relative velocity of blue-shifted wing and red-shifted wing.

REFERENCES.-

- |                                    |                                   |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| (1) This work.                     | (2) Lada 1985.                    |
| (3) Fischer et al. 1985.           | (4) Fukui et al. 1988.            |
| (5) Levreault 1985.                | (6) Sanders and Willer 1985.      |
| (7) Edwards and Snell 1988.        | (8) Iwata, Fukui, and Ogawa 1988. |
| (9) Schwartz, Gee, and Huang 1988. |                                   |



表 4 - 5 . オリオン座南部分子雲中の分子流の特性  
 —— 質量ならびに力学的諸特性

Mass and Energetics of the outflowsources in Orion-South Cloud					
No.	Object	Mass ( $M_{\odot}$ )	Momentum ( $M_{\odot} \text{ km s}^{-1}$ )	Kinetic Energy ( $10^{44} \text{ erg}$ )	Mechanical Luminosity ( $L_{\odot}$ )
1.	Ori A-west	16	54	19	0.037
2.	L1641-north	1.6	9.3	5.7	0.15
3.	Ori A-east	21	98	47	0.24
4.	L1641-center	2.6	6.9	1.9	0.0056
5.	L1641-south1	1.4	6.3	3.0	0.013
6.	L1641-south3	0.35	2.4	1.7	0.017
7.	L1641-south2	0.8	5.5	3.7	0.037

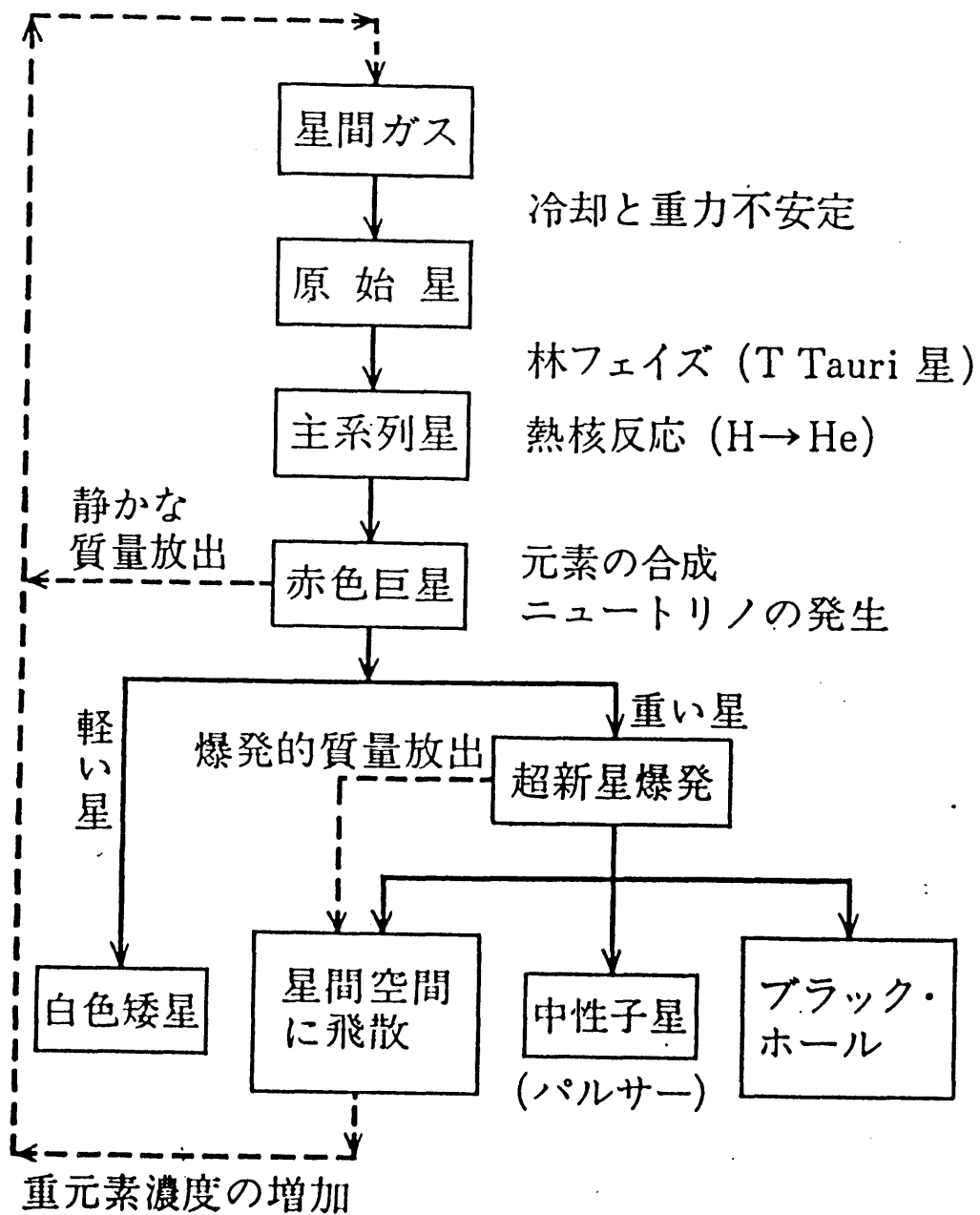


図1-1. 星の進化の流れ図 (林 他 1973)。本研究では、星間ガスから原始星が誕生して、主系列星に至る段階を調べた。

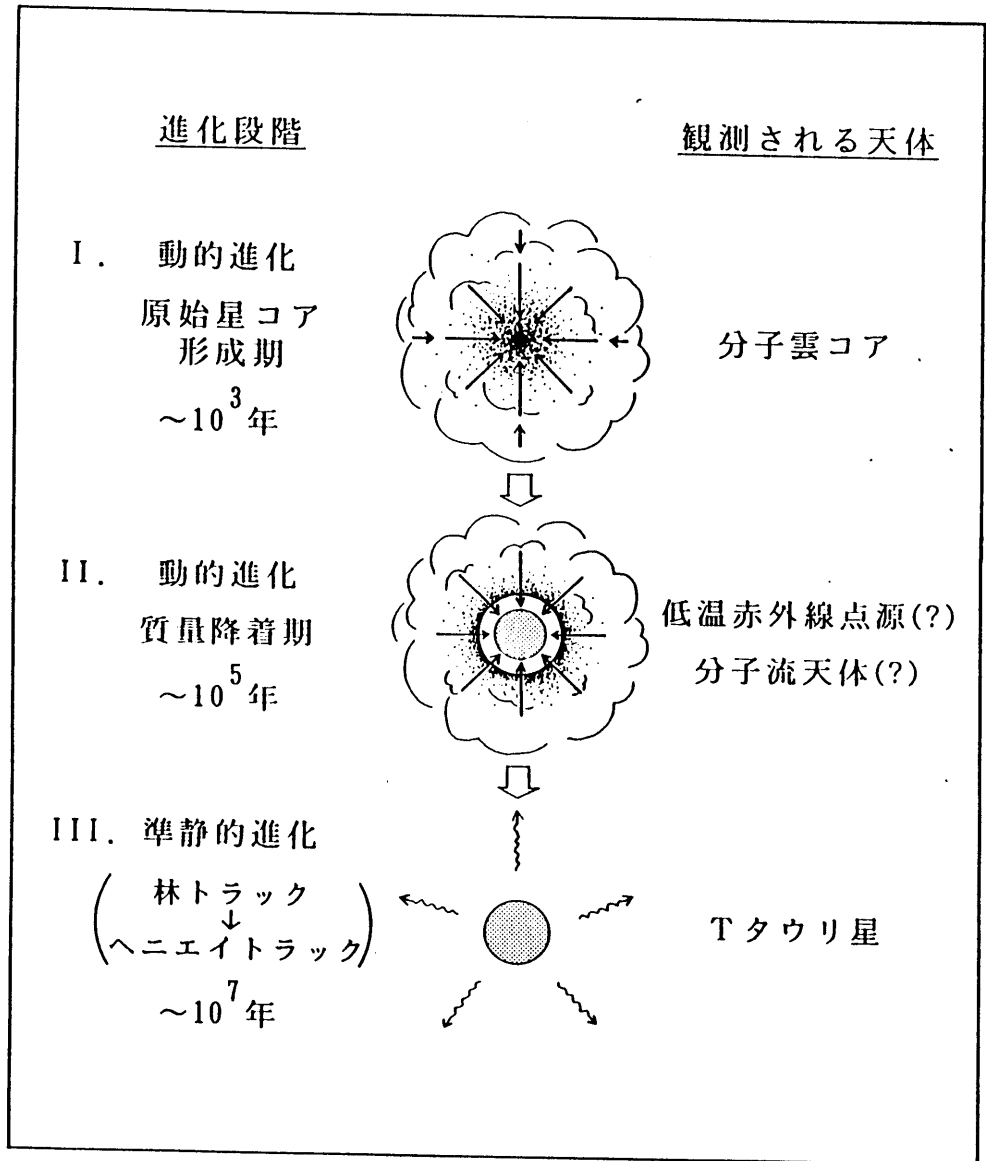


図1-2. 原始星段階にある小質量星の進化の模式図。図の左側に進化の3段階を、右側にそれぞれの段階において観測される天体を示す。

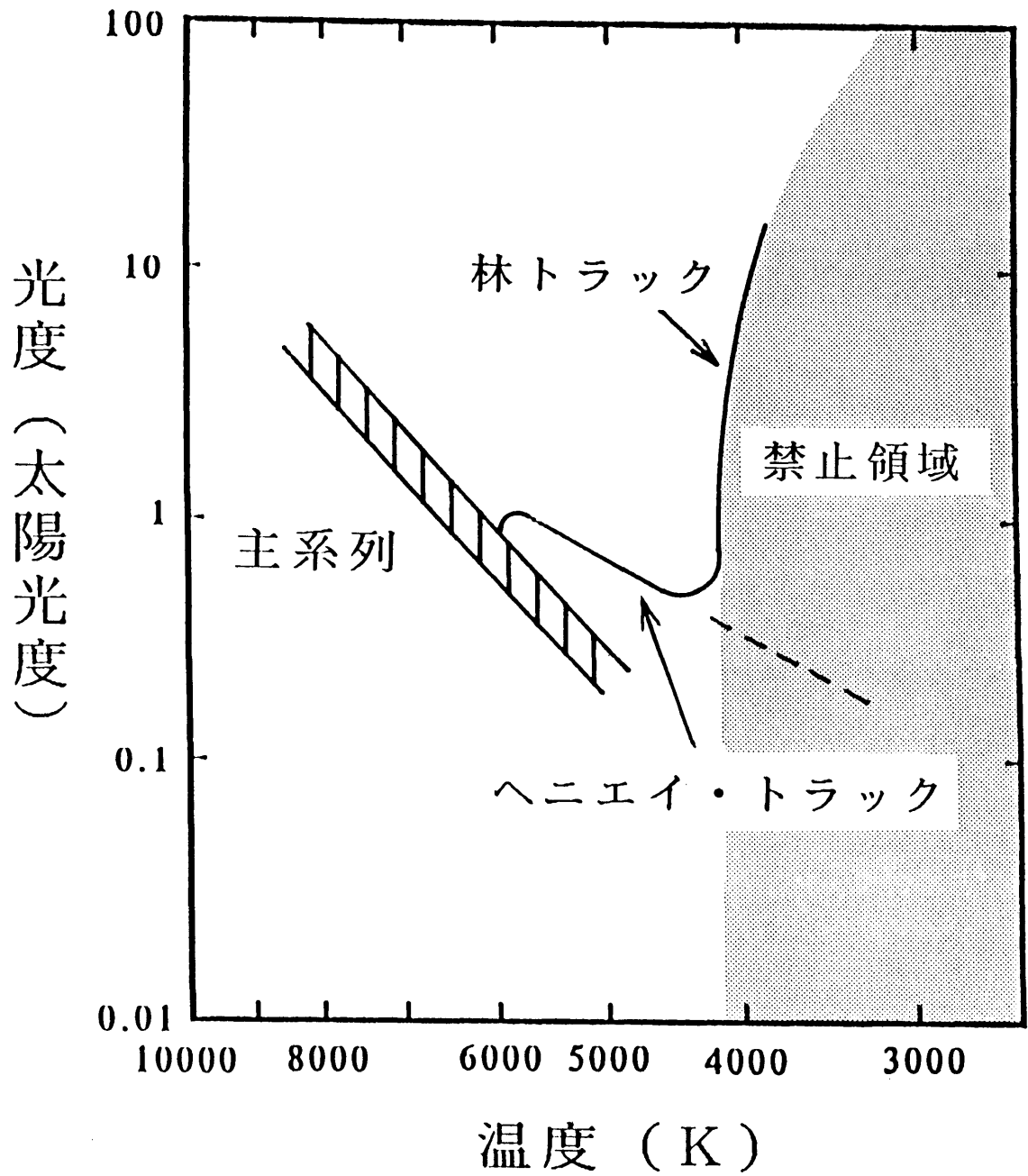


図1-3. 前主系列から主系列に至るまでの、原始星のHR図上の進化の径路を示す。横軸は星の表面の有効温度、縦軸は星の光度を示す。

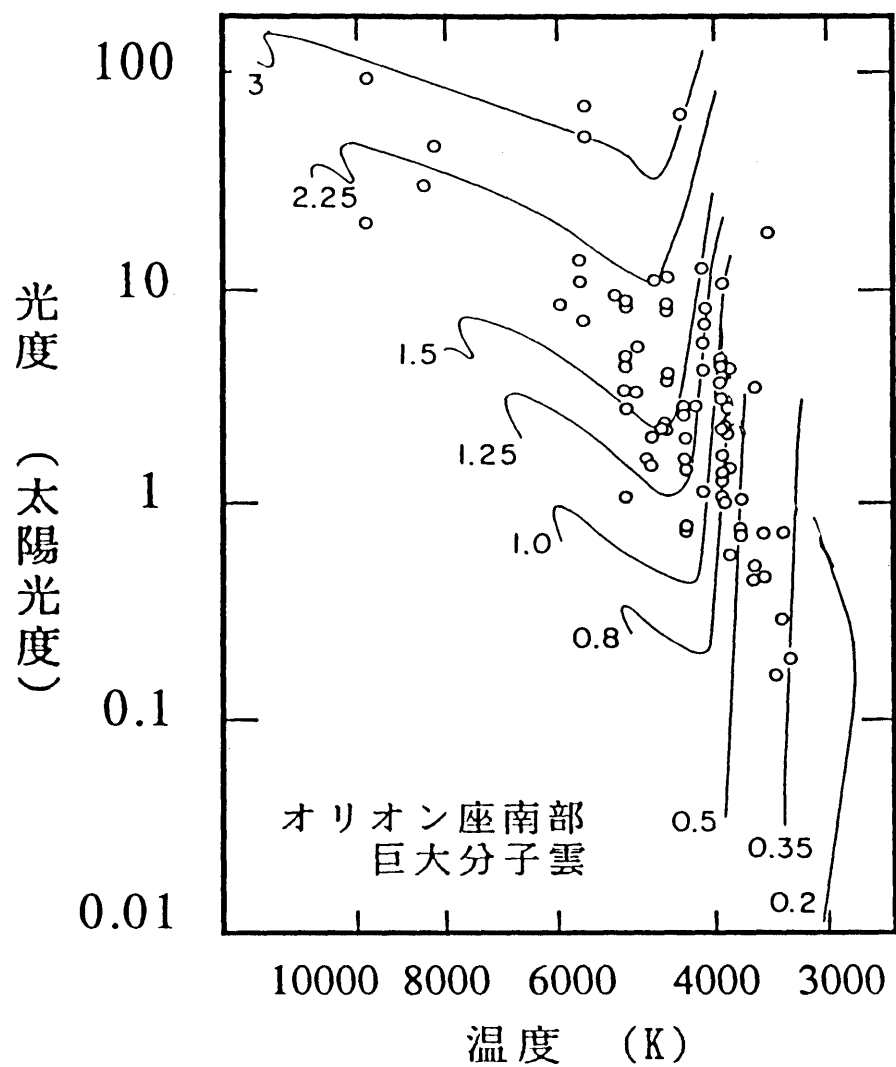


図1-4. オリオン座南部分子雲中のTタウリ型星についてのHR図 (Cohen and Kuhi 1979)。図中の実線は、各々 0.1-3  $M_{\odot}$  の星の進化の径路を示す。

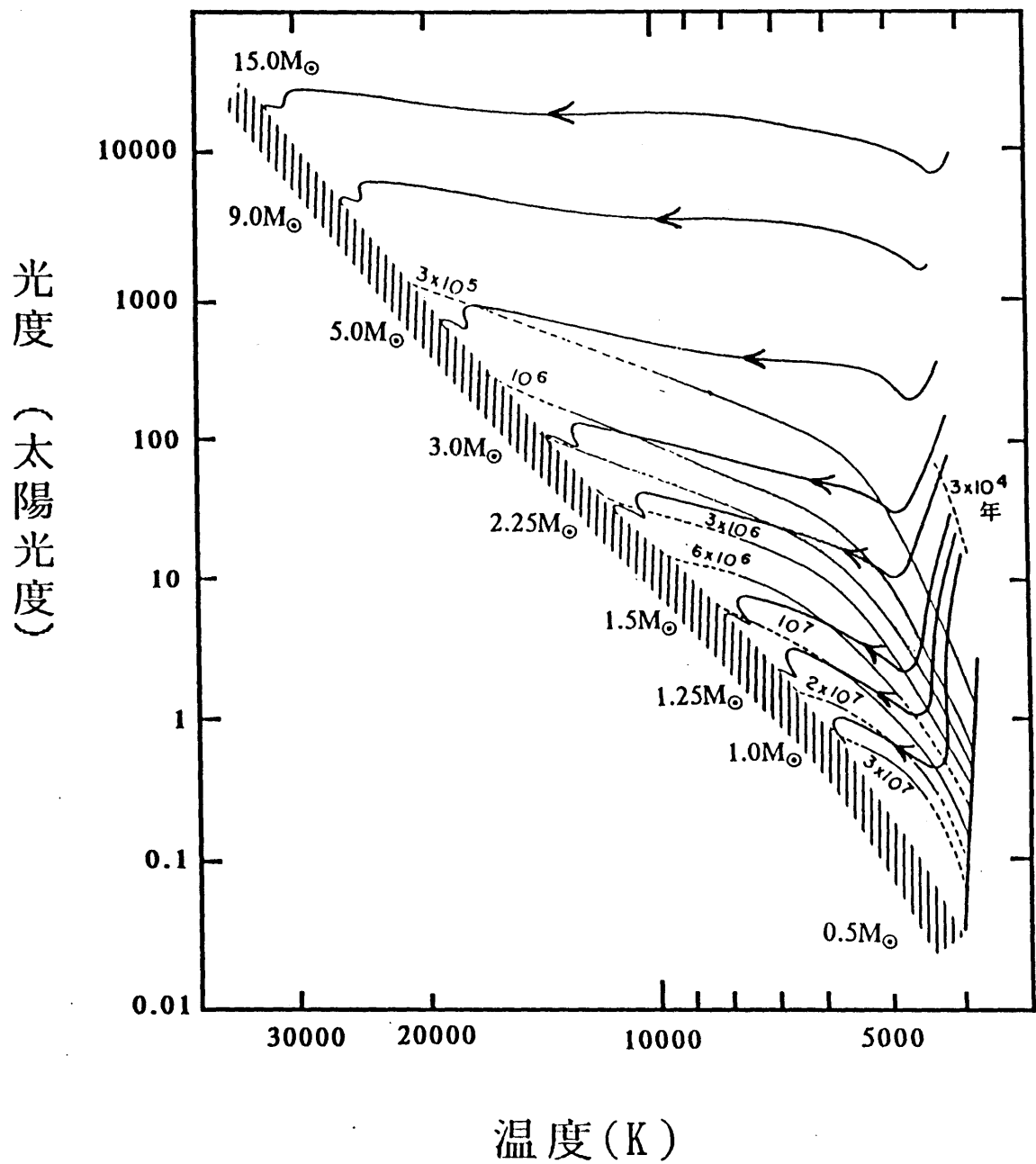


図1-5. HR図上での、0.5 - 5 M<sub>⊙</sub> の星の進化の経路と進化に要する時間。

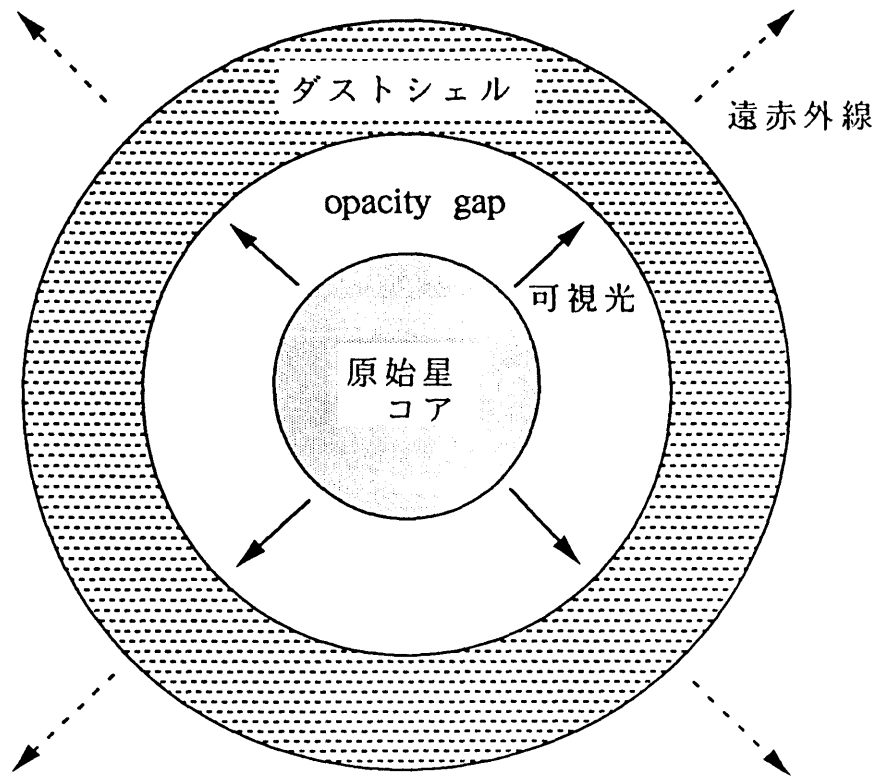


図1-6. 質量降着期にある原始星の、Stahler, Shu, and Taam (1980) によるモデル (SSTモデル)。

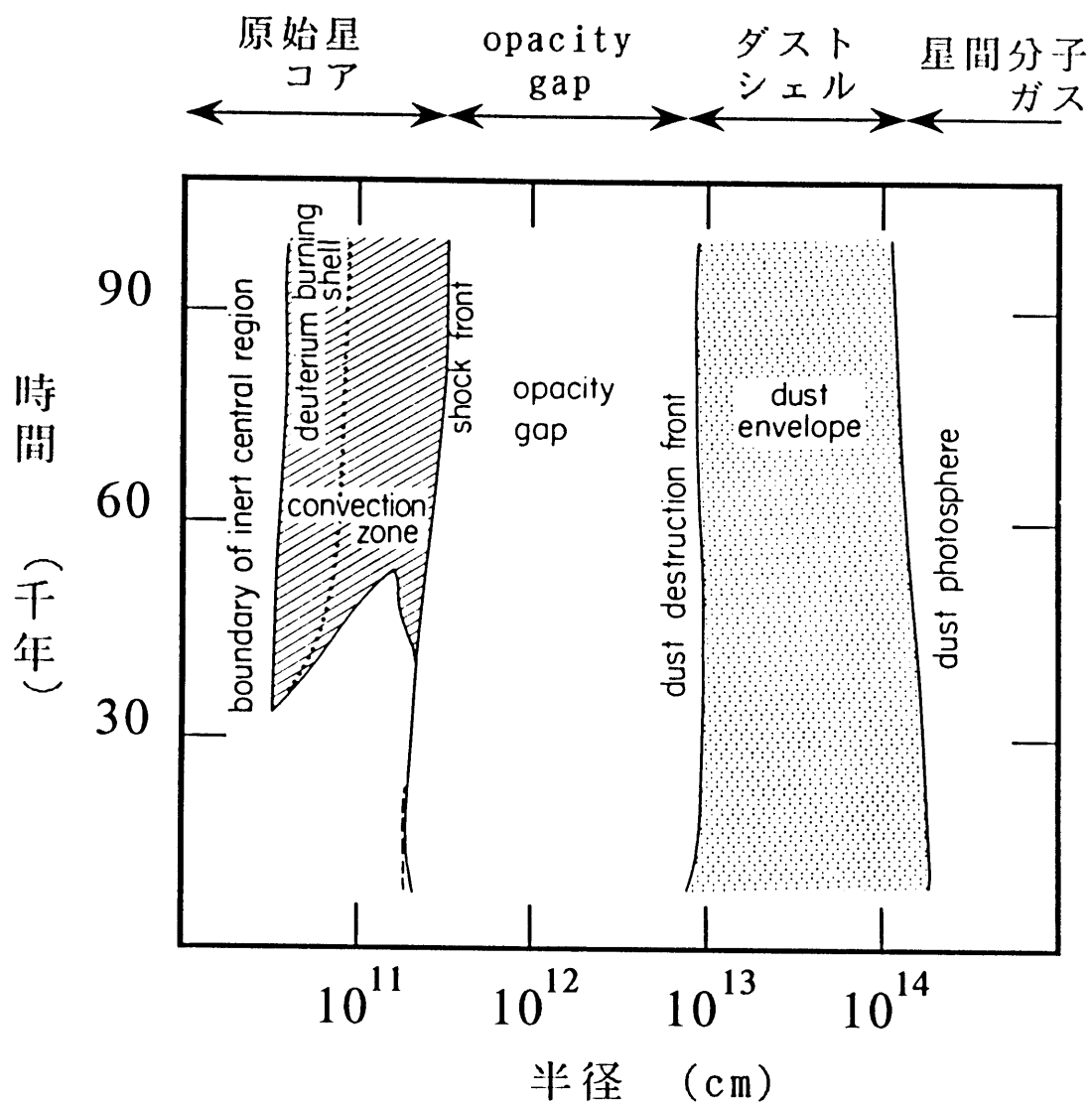


図1-7. SSTモデルによる原始星の3つの部分の時間変化の図 (Stahler, Shu, and Taam 1980)。横軸は原始星の中心からの距離、縦軸は原始星の誕生からの時間を示す。また、斜線部分は原始星コア中の対流域である。



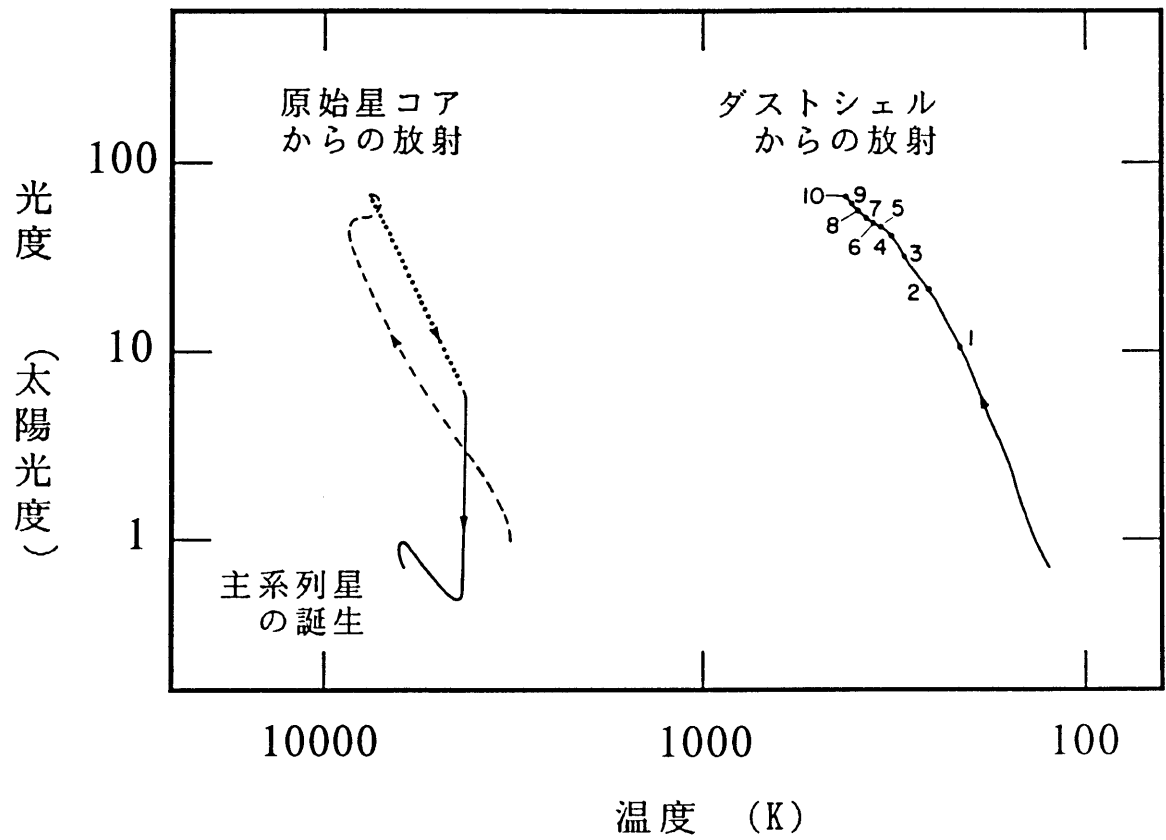


図1-8. SSTモデルによる原始星の、原始星コア(左側)ならびにダスト・シェル(右側)からの輻射の、HR図上における進化の経路を示す(Stahler, Shu, and Taam 1980)。

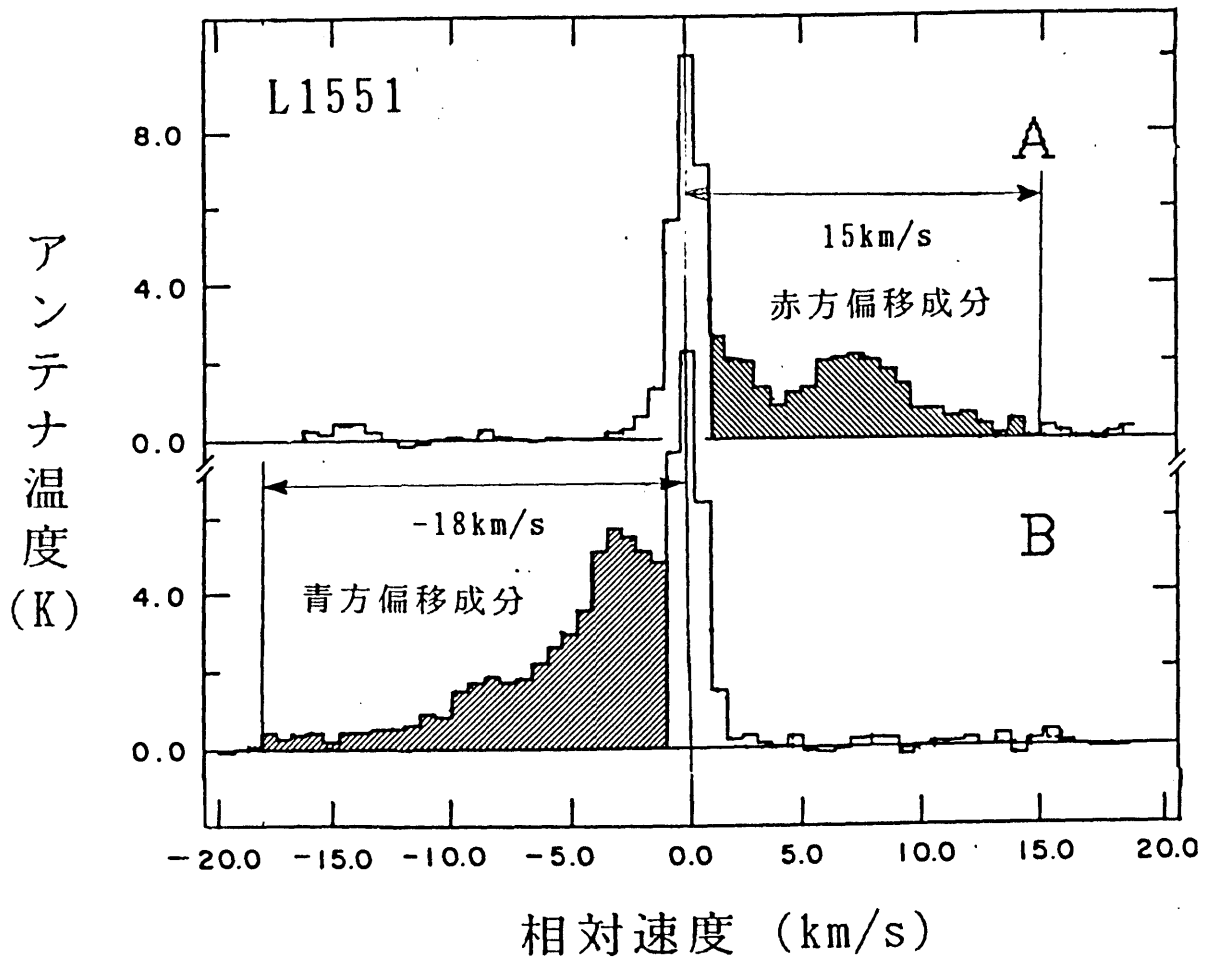


図1-9. 分子流天体 L1551 IRS5 における  $^{12}\text{CO}$  スペクトル図 (Snell, Loren, and Plambeck 1980)。斜線部分は、分子スペクトルのウィング成分を示す。

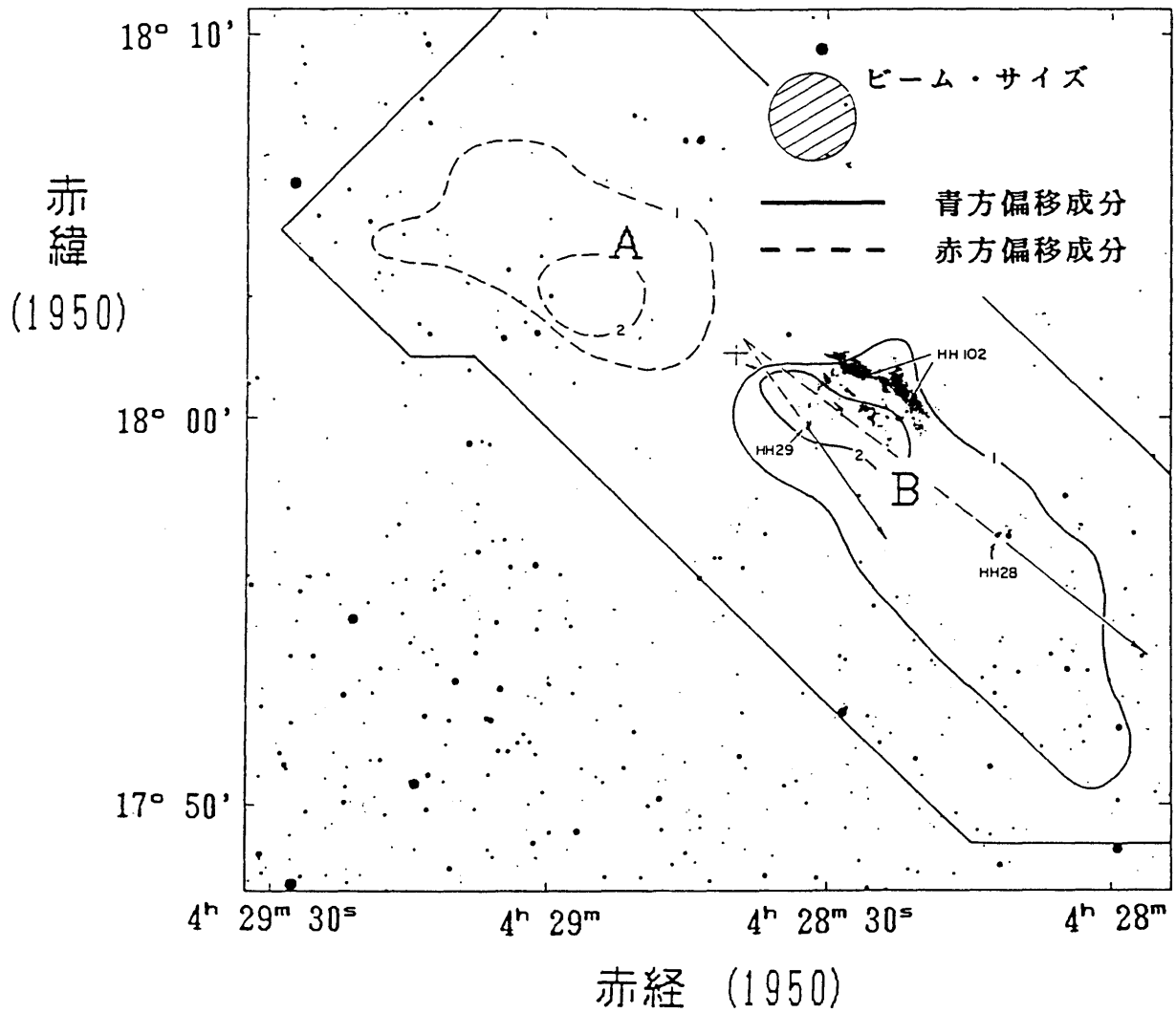


図1-10. 分子流天体 L1551 IRS5 における $^{12}\text{CO}$ スペクトルの強度分布図 (Snell, Loren, and Plambeck 1980)。前図の A ならびに B の分子スペクトルの位置を、図中に示す。

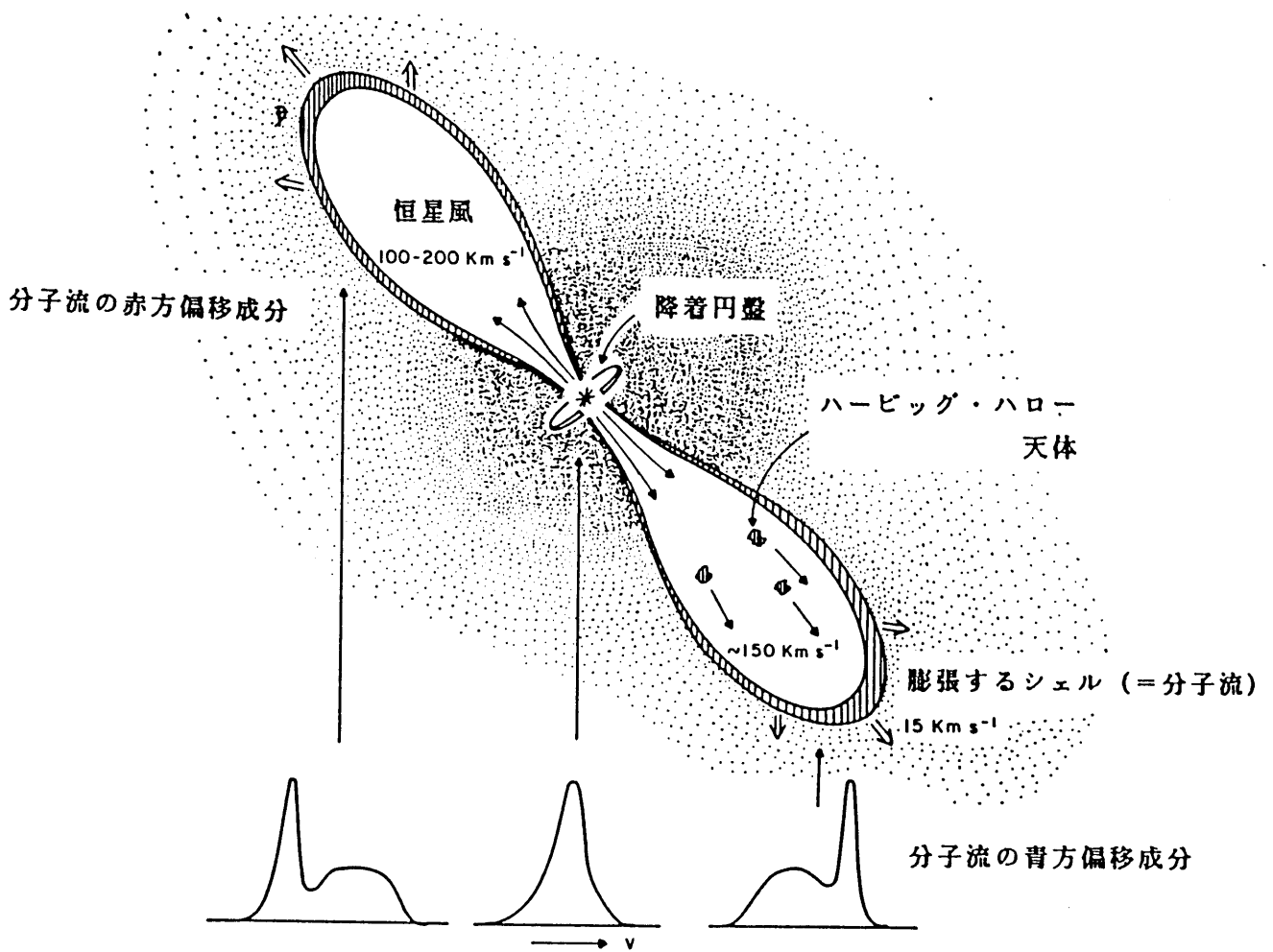


図1-11. 分子流天体 L1551 IRS5 における分子流の模式図 (Snell, Loren, and Plambeck 1980)。下側に、図中の矢印の方向から観測される分子スペクトルを示してある。

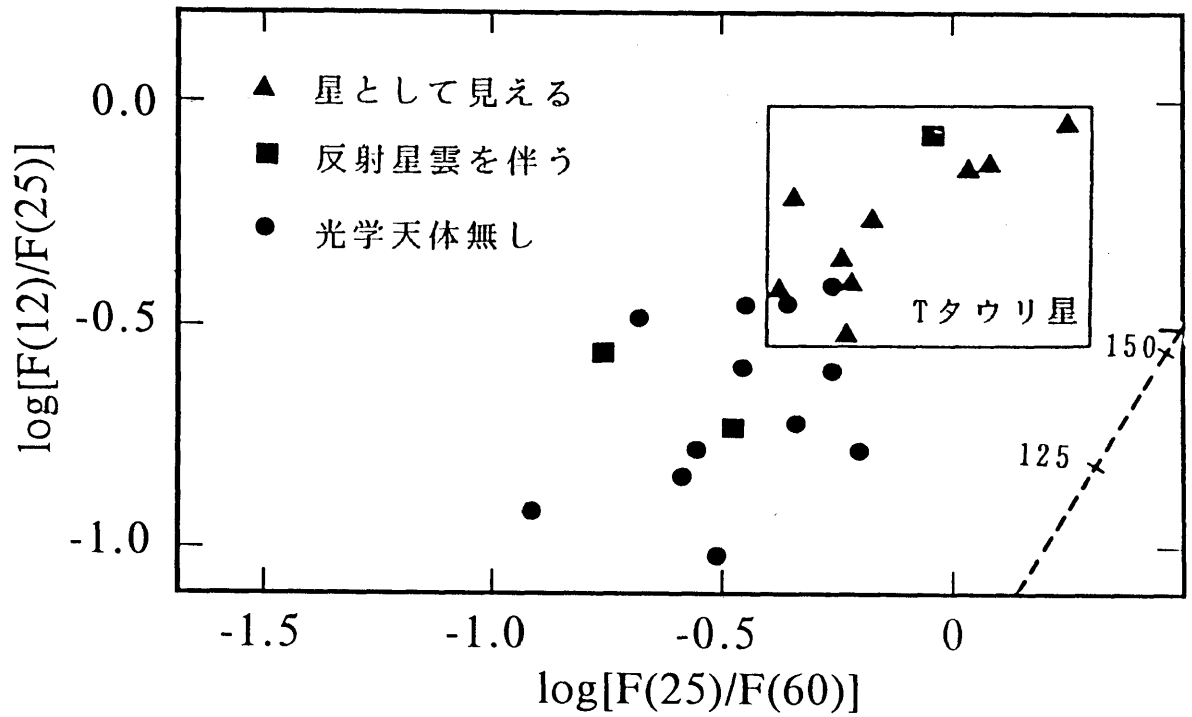
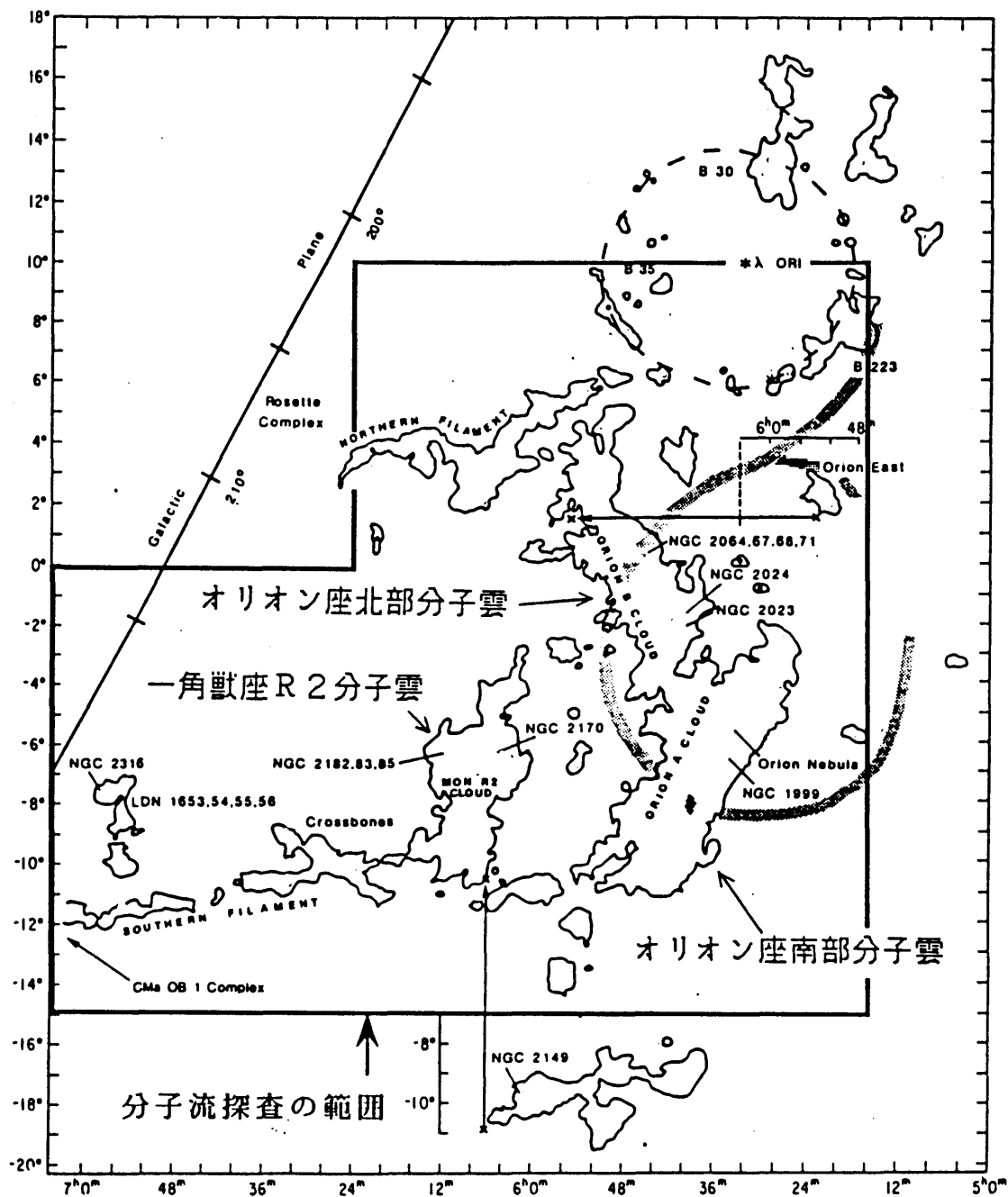


図1-12. Beichman et al. (1986)による、分子雲コア中のアイラス点源についての、12, 25, 60  $\mu$ mの色温度の相関図（二色図）。▲印は星として見える点源，■印は反射星雲を伴う点源，●印は光学天体のない点源を示す。また、図中の枠は、Tタウリ型星の占める領域である。

赤緯  
(1950)



赤経 (1950)

図1-13. オリオン座/一角獣座領域のコロンビア探査による  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}$  分子スペクトル電波強度図 (Maddalena et al. 1986)。電波強度の積分範囲は、LSR速度  $-10-20$  km/s、コントラ・レベルは、 $1.28$  K km/sである。図中の枠は、本研究で分子流探査を行った範囲を示す。

オリオン座巨大分子雲

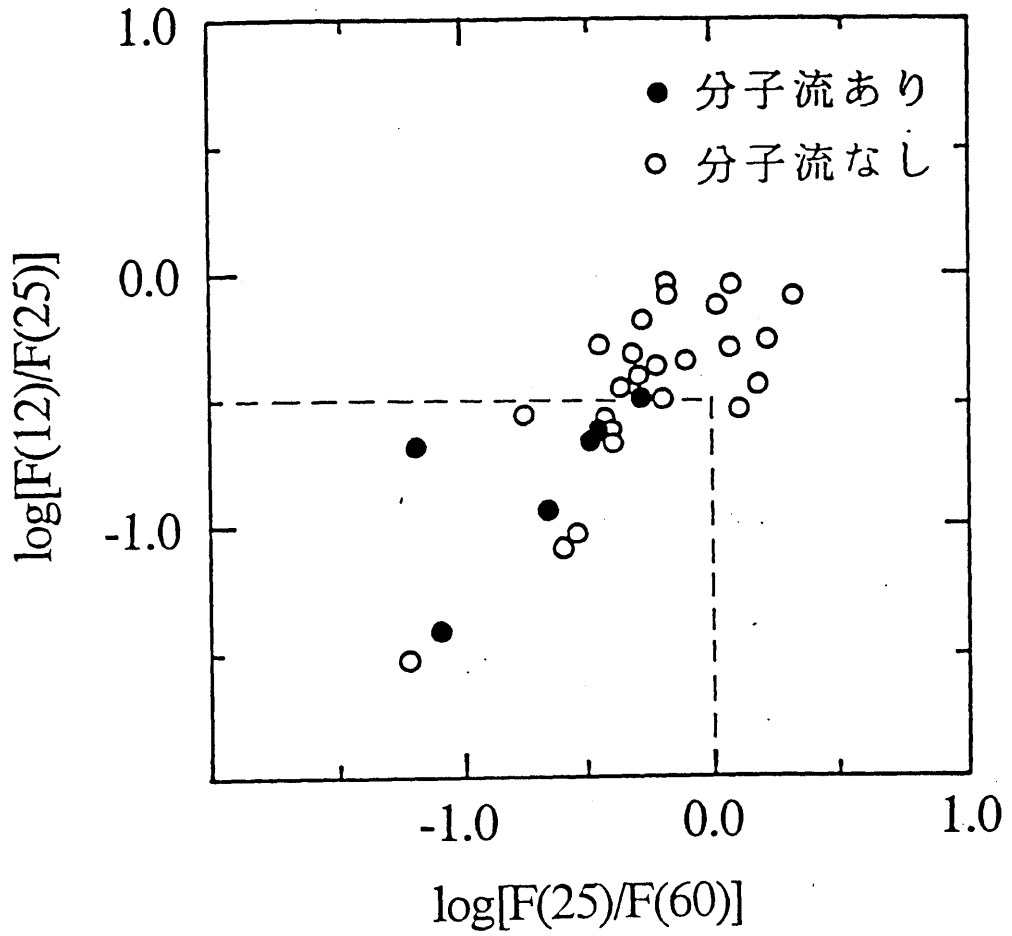
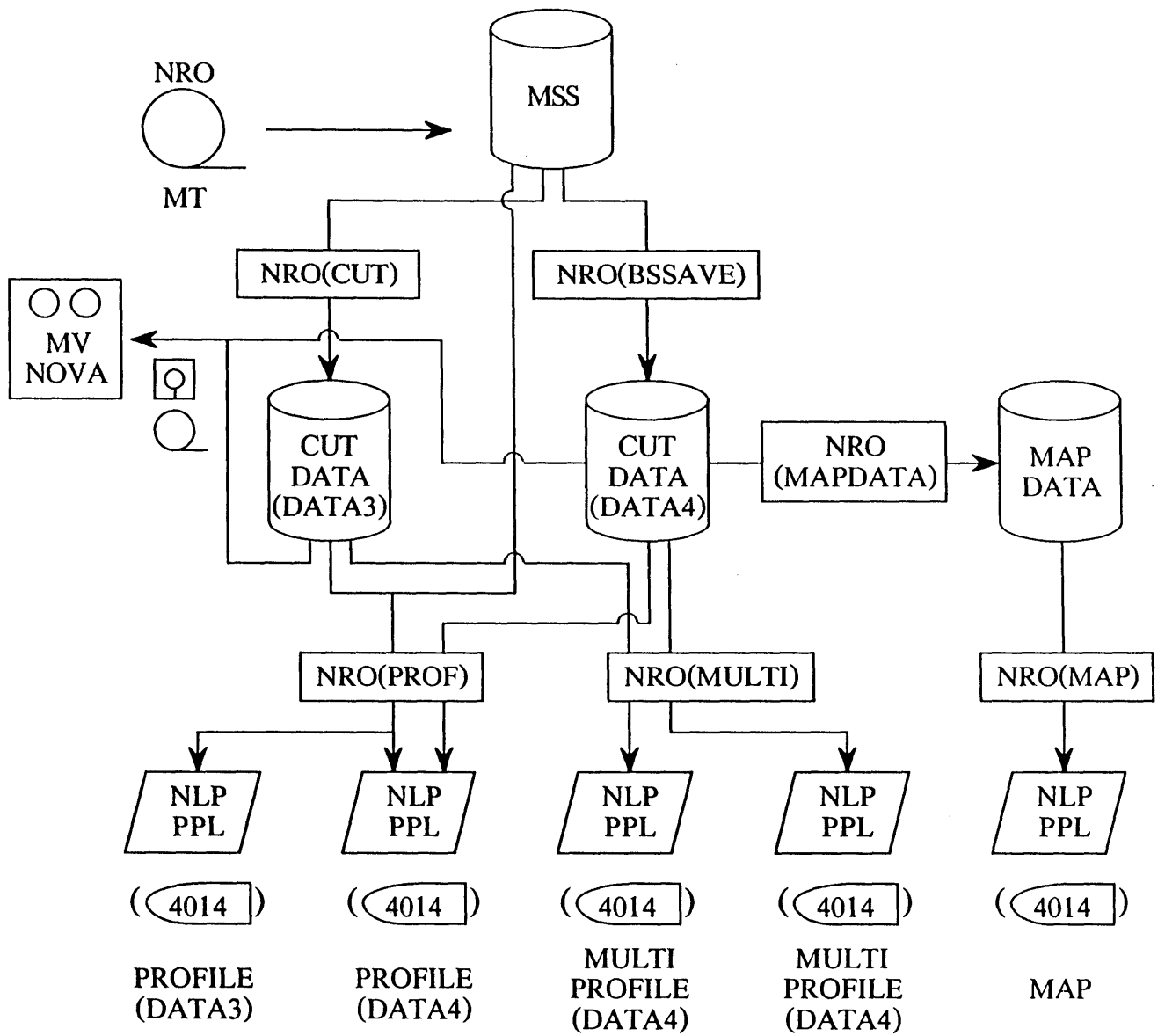


図1-14. オリオン座巨大分子雲分子雲中の、原始星の候補であるアイラス点源の二色図。●印は分子流を伴う点源、○印は分子流を伴わない点源を示す。

# NROデータ 処理システム



(NLP = 日本語ラインプリンタ      PPL= 静電プリンタ・プロッタ)

図3-1. NROデータ 整約システムの流れ図。



IRAS データ 処理システム

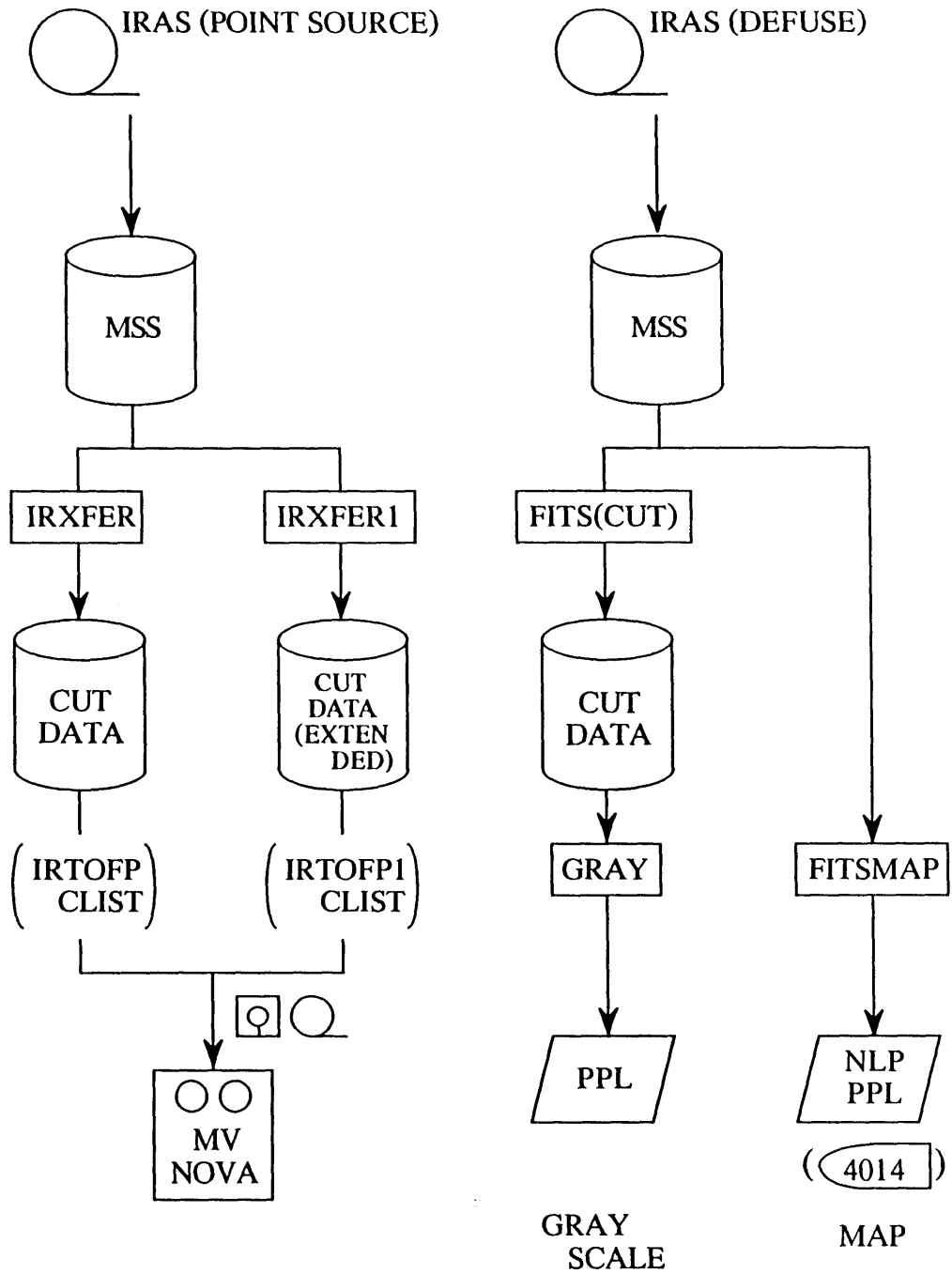


図 3-2. アイラス点源処理システムの流れ図。

b. (degree)

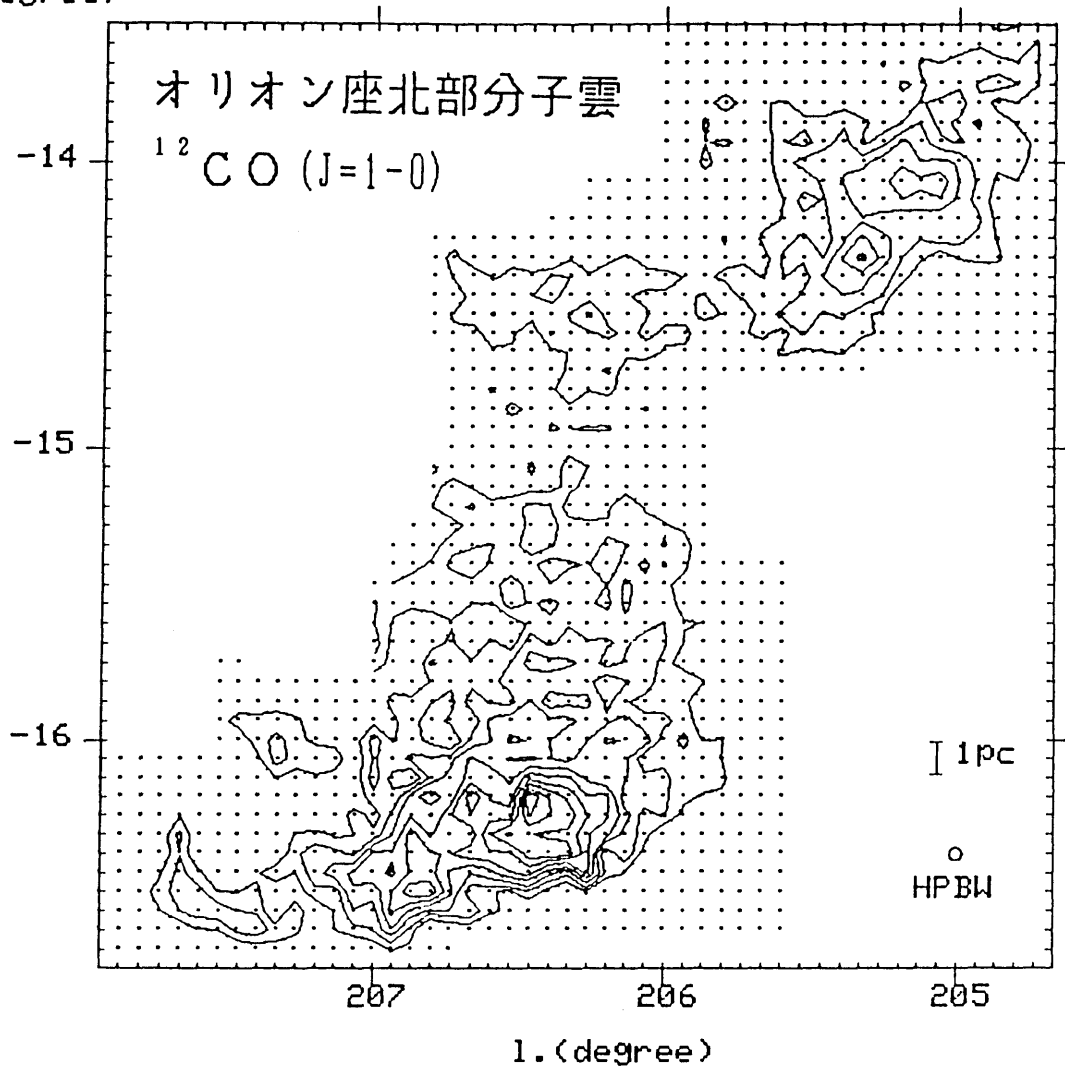


図4-1. オリオン座北部分子雲の $^{12}\text{CO}$ 分子スペクトル電波強度分布図。電波強度の積分範囲は、LSR速度3-15km/s、コントラストレベルは、12 K km/sから12 K km/s毎である。図中の・印は観測点を示す。

b. (degree)

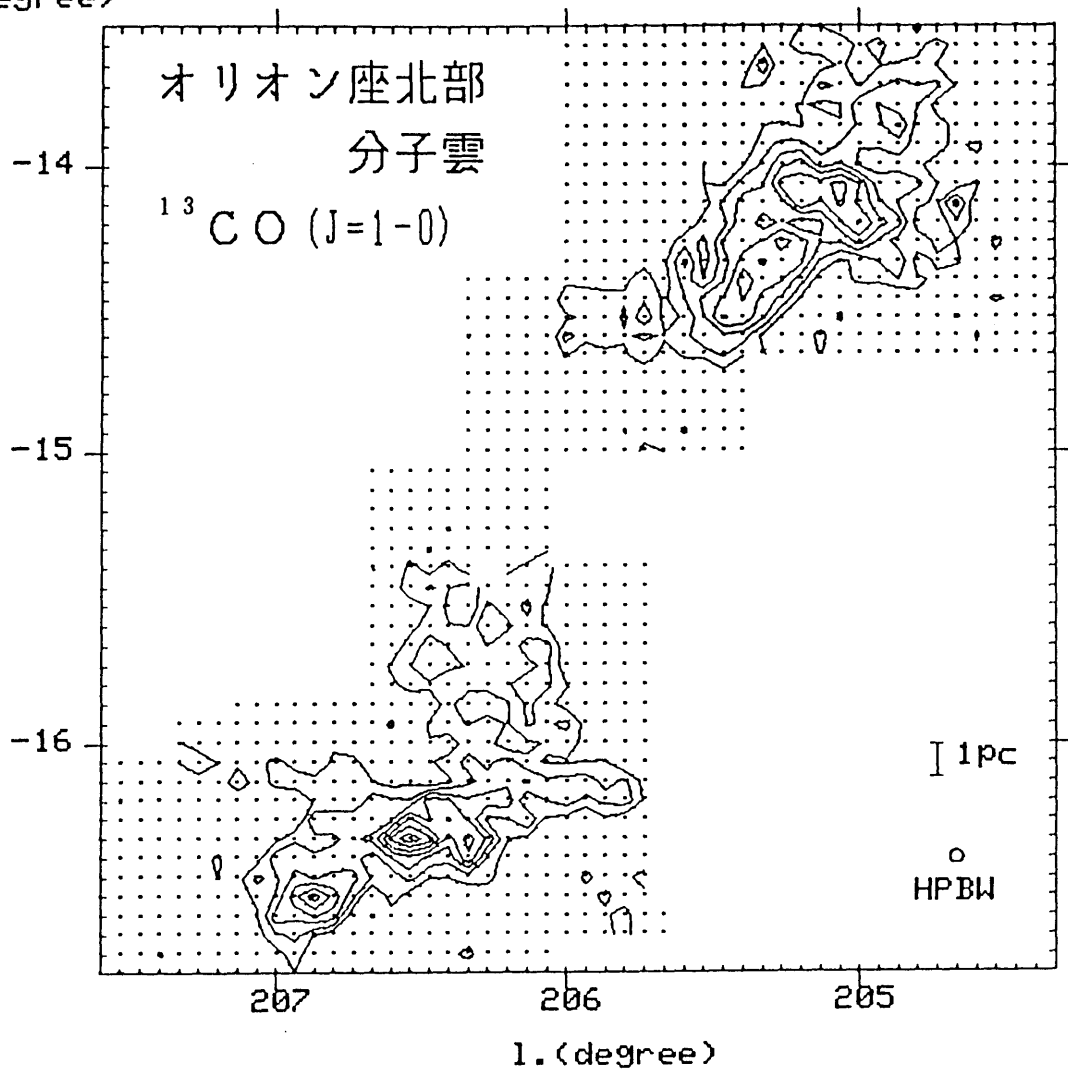


図4-2. オリオン座北部分子雲の $^{13}\text{CO}$ 分子スペクトル電波強度分布図。電波強度の積分範囲は、LSR速度7-13km/s、コントラ・レベルは、3.5K km/sから3.5K km/s毎である。図中の・印は観測点を示す。

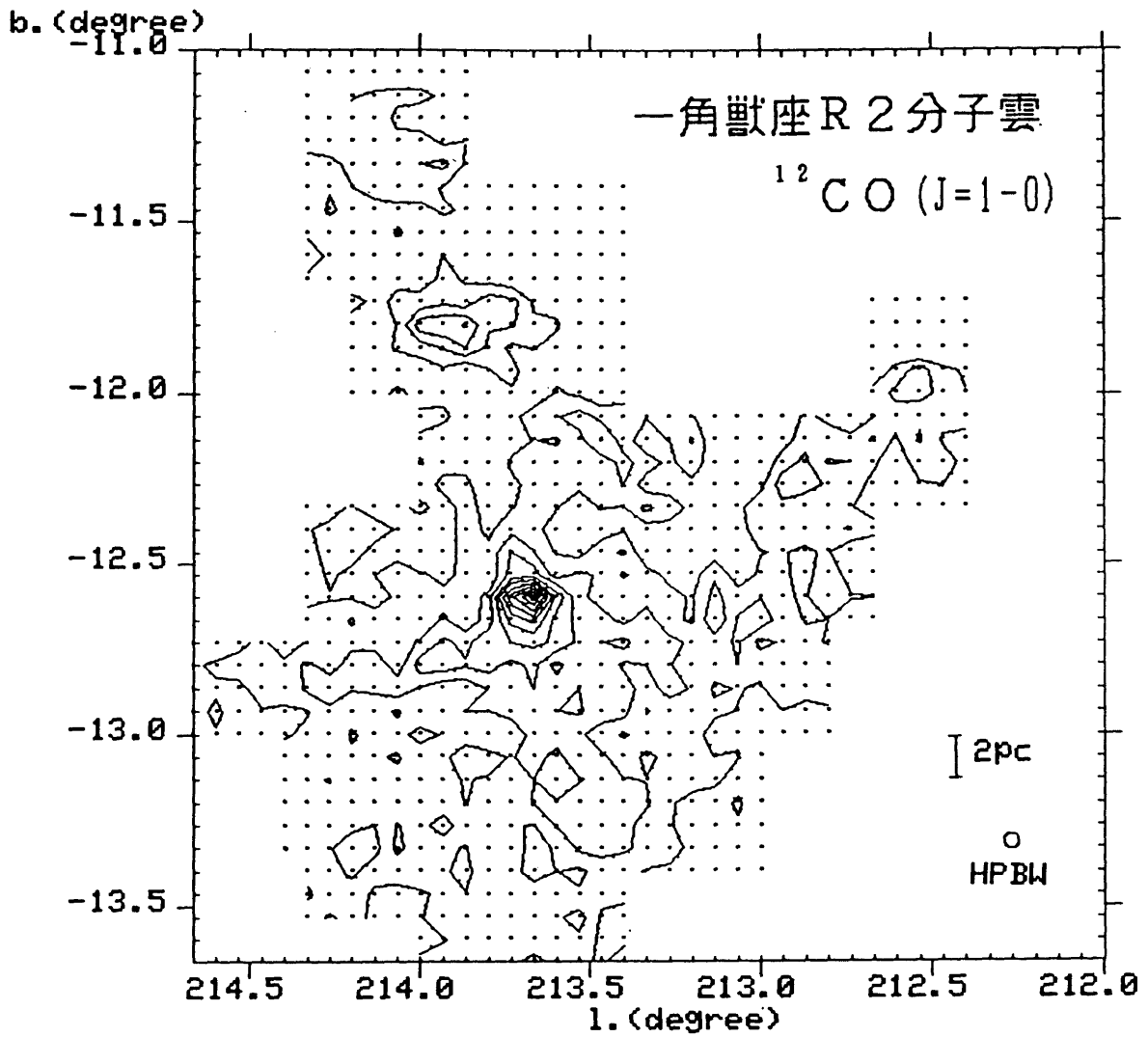


図 4 - 3. 一角獣座 R 2 分子雲の $^{12}\text{CO}$ 分子スペクトル電波強度分布図。電波強度の積分範囲は、LSR速度 3 - 18km/s、コントラスト・レベルは、7 K km/sから 7 K km/s毎である。図中の・印は観測点を示す。

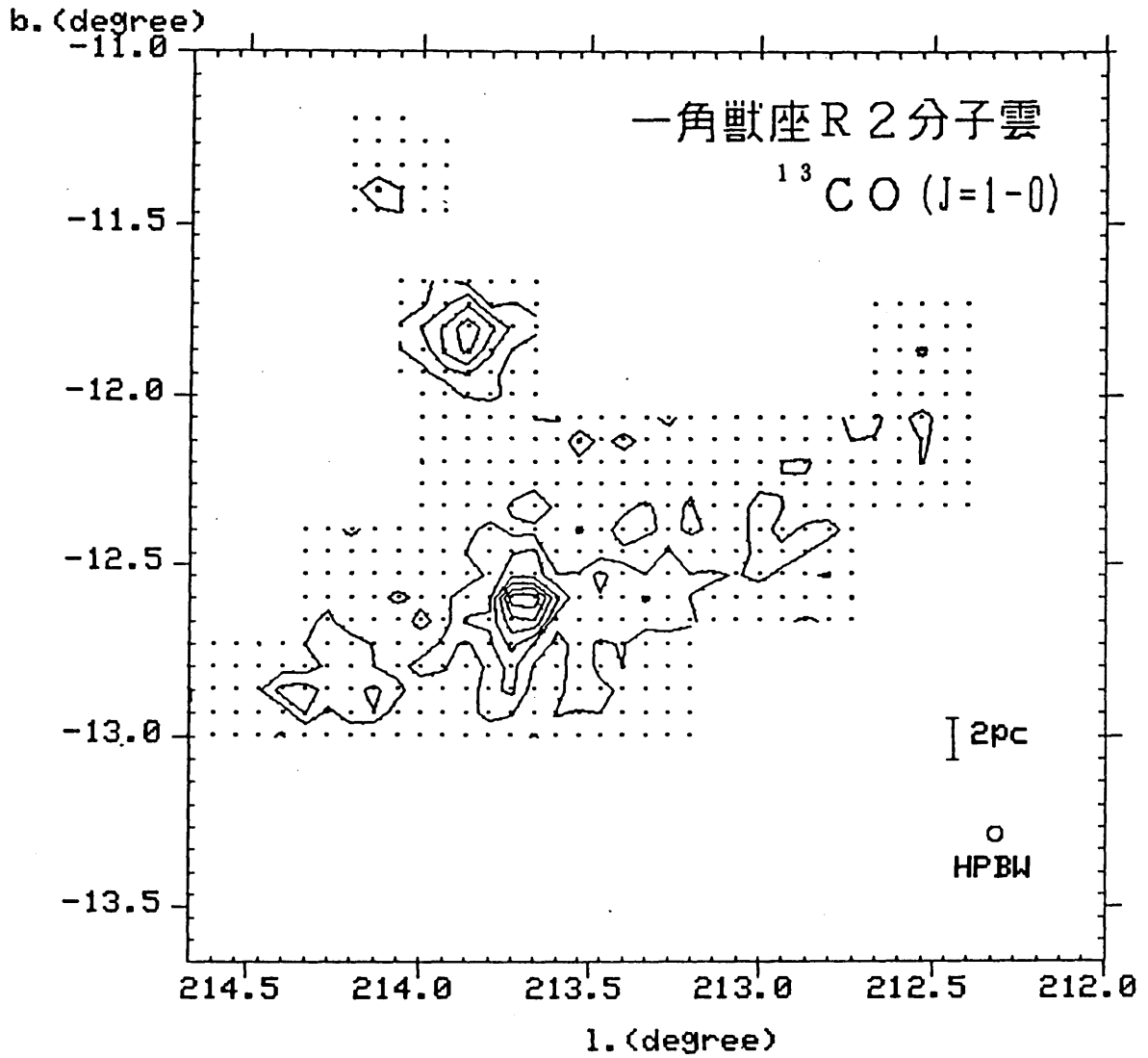


図4-4. 一角獣座R2分子雲の $^{13}\text{CO}$ 分子スペクトル電波強度分布図。電波強度の積分範囲は、LSR速度7-13km/s、コントラストレベルは、2.5K km/sから2.5K km/s毎である。図中の・印は観測点を示す。

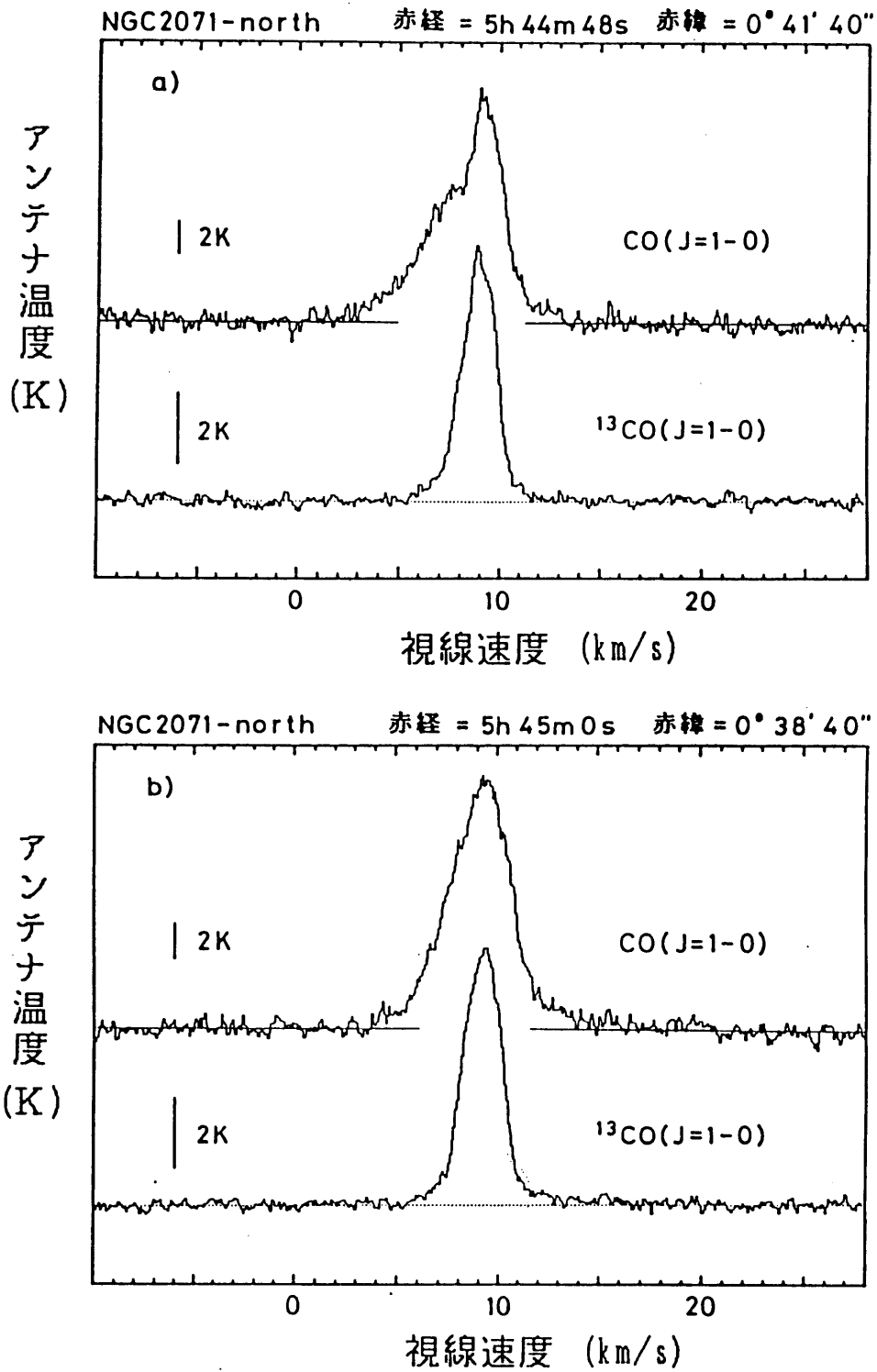


図 4 - 5. 分子流天体 NGC2071-north の 2 方向の <sup>12</sup>C O ならびに <sup>13</sup>C O 分子スペクトルの図。縦軸の放射温度  $T_{R}^*$  の目盛は、図中の棒で示す。

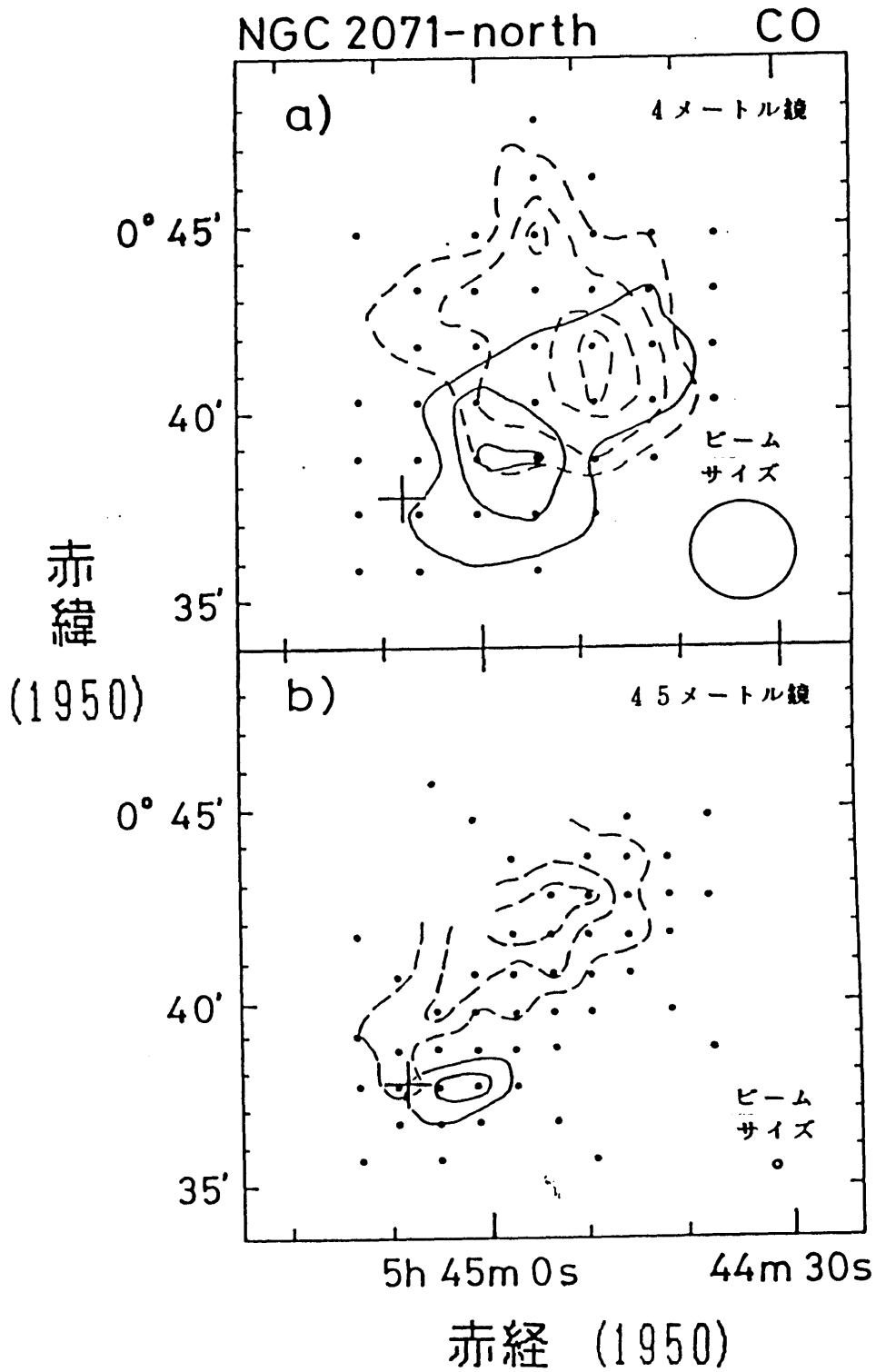


図4-6. 分子流天体 NGC2071-northの $^{12}\text{CO}$ 分子スペクトル電波強度分布図。(a)は名大4メートル鏡、(b)は野辺山45メートル鏡による結果である。点線は、LSR速度0.5-5.5km/sのウィングの青方遷移成分の分布、実線は、LSR速度12-17km/sのウィングの赤方遷移成分の分布を示す。コントラ・レベルは、(a)は1 K km/s から1 K km/s 毎、(b)は2.4 K km/sから2.4 K km/s 毎である。

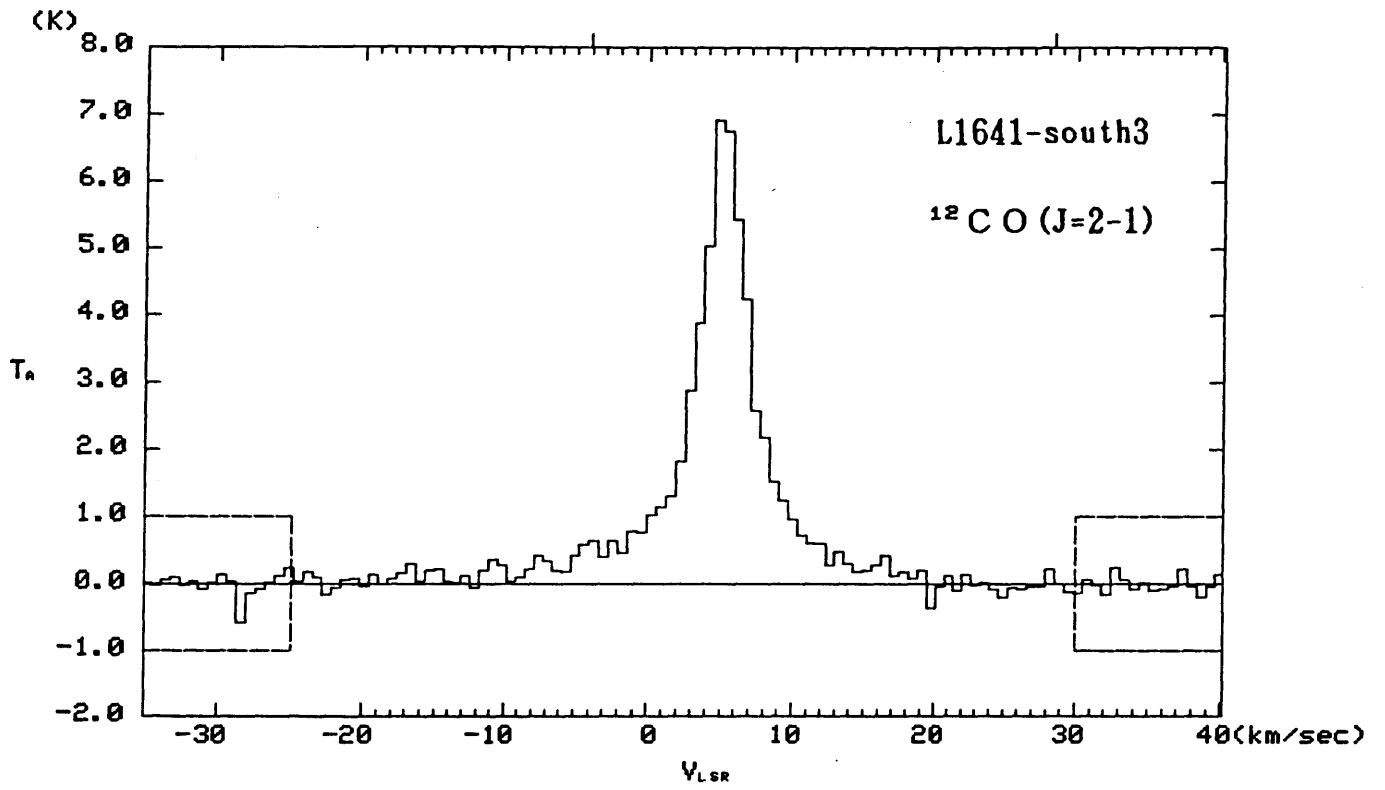
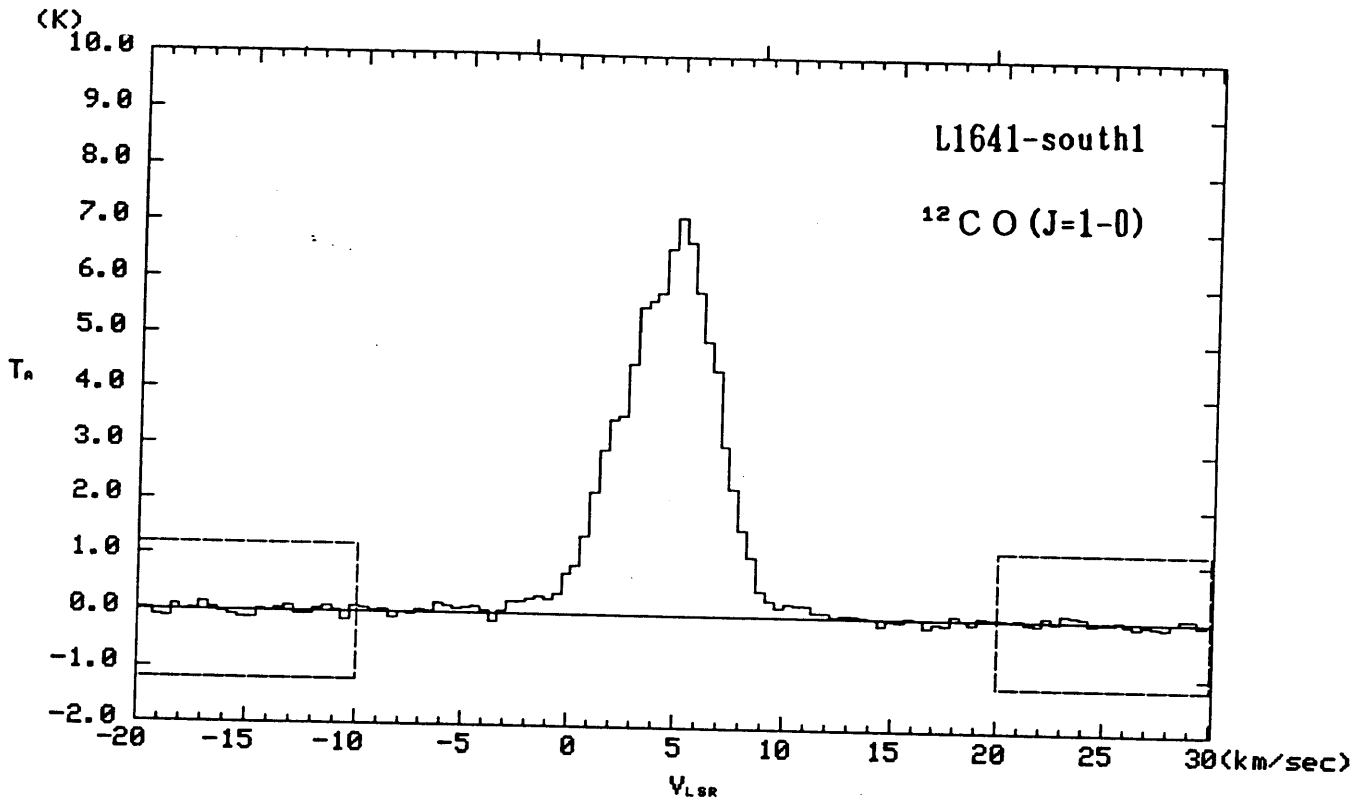


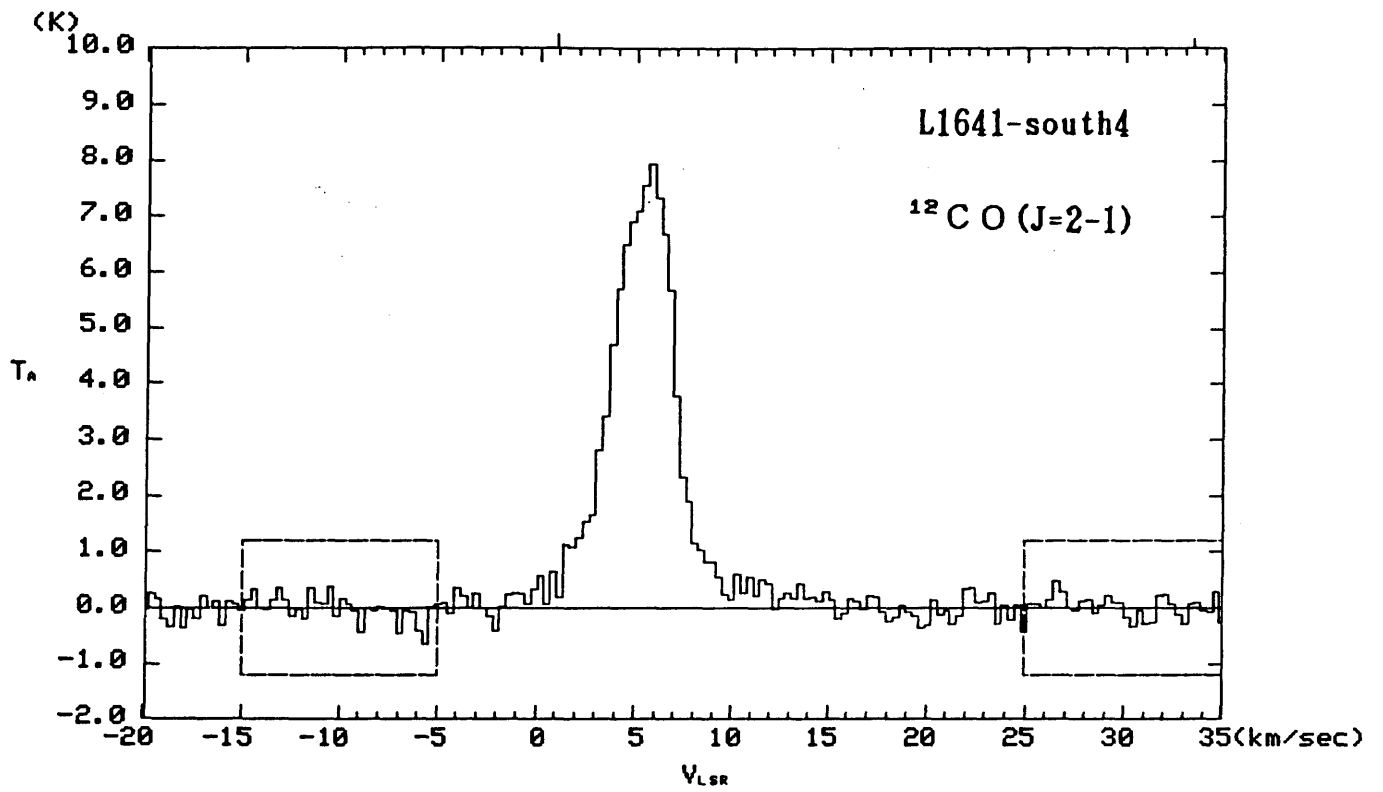
図4-7. 新たに発見された分子流天体の分子スペクトル図。

a. L1641-south3

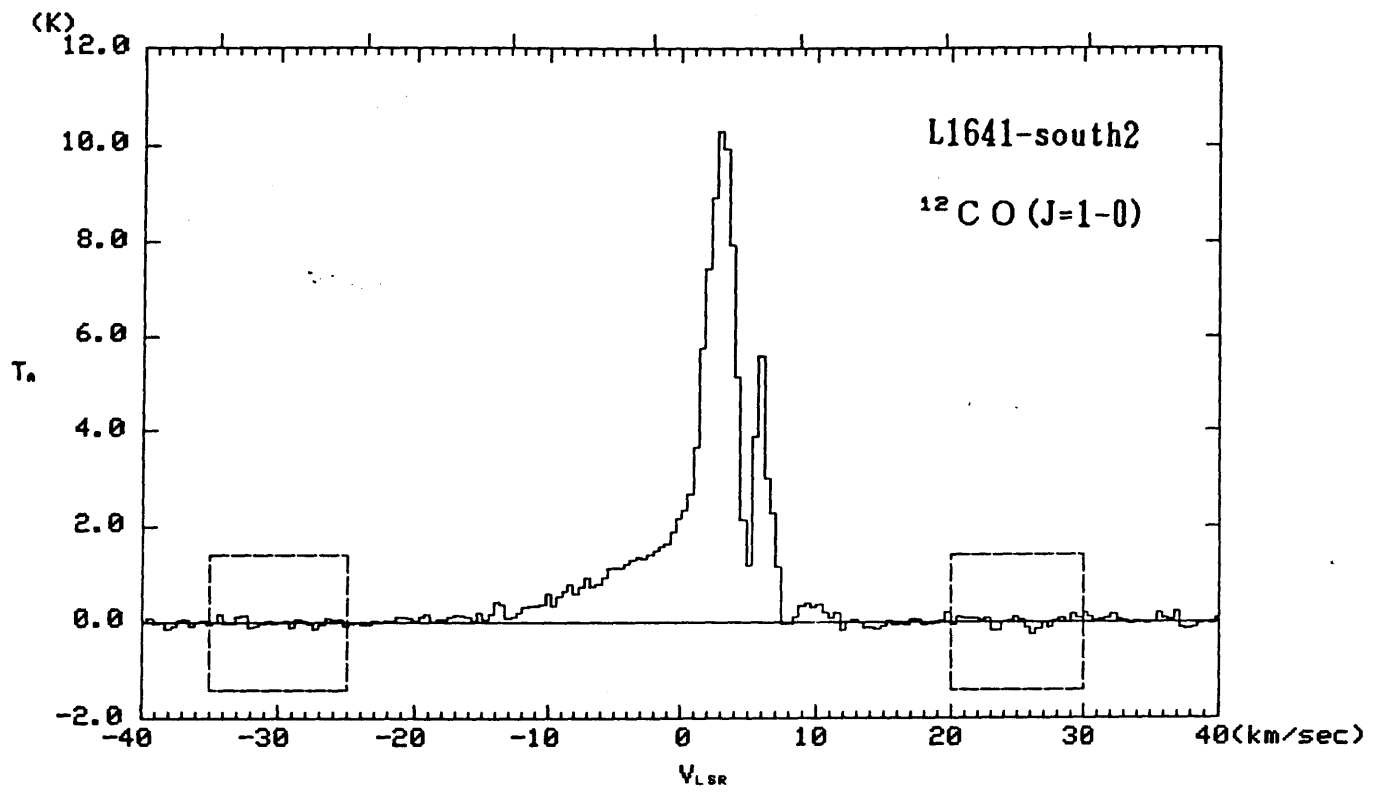




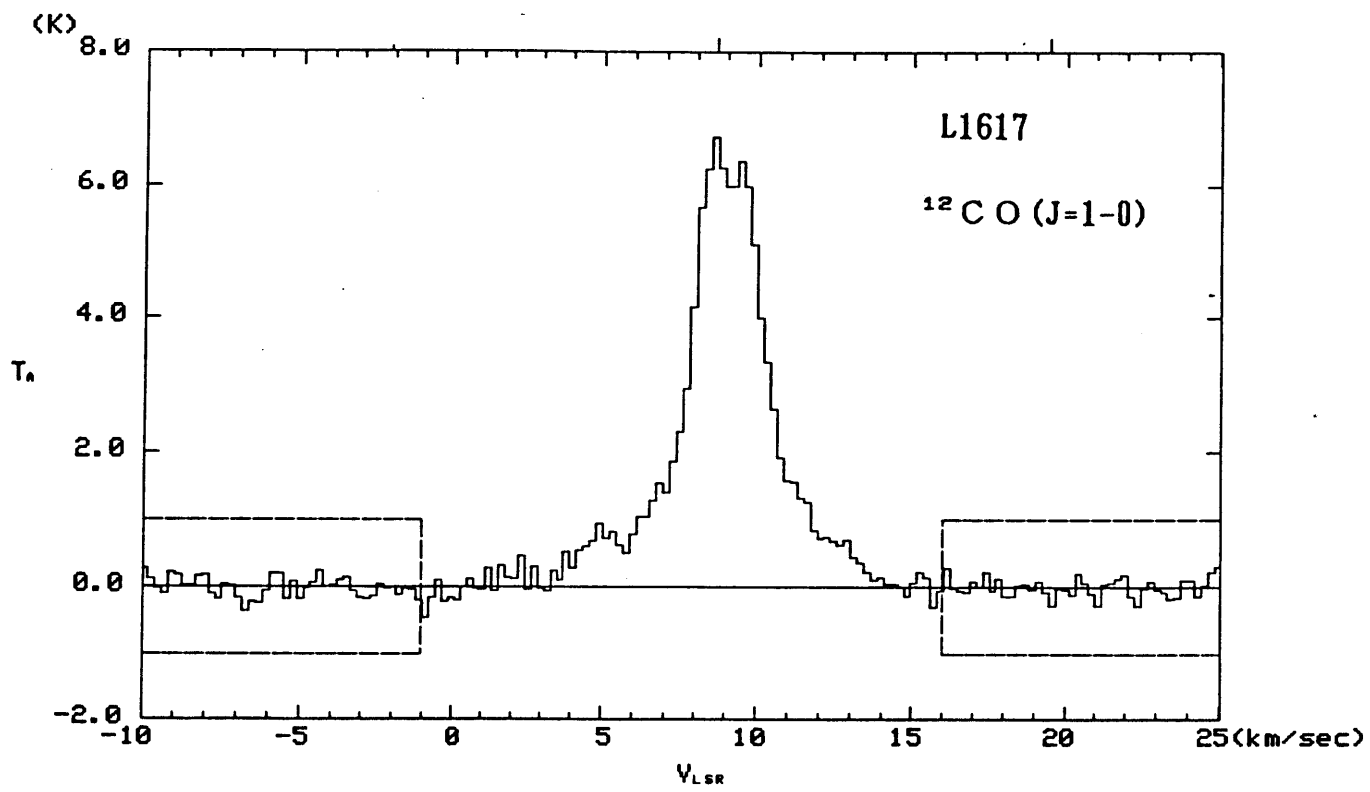
b. L1641-south1



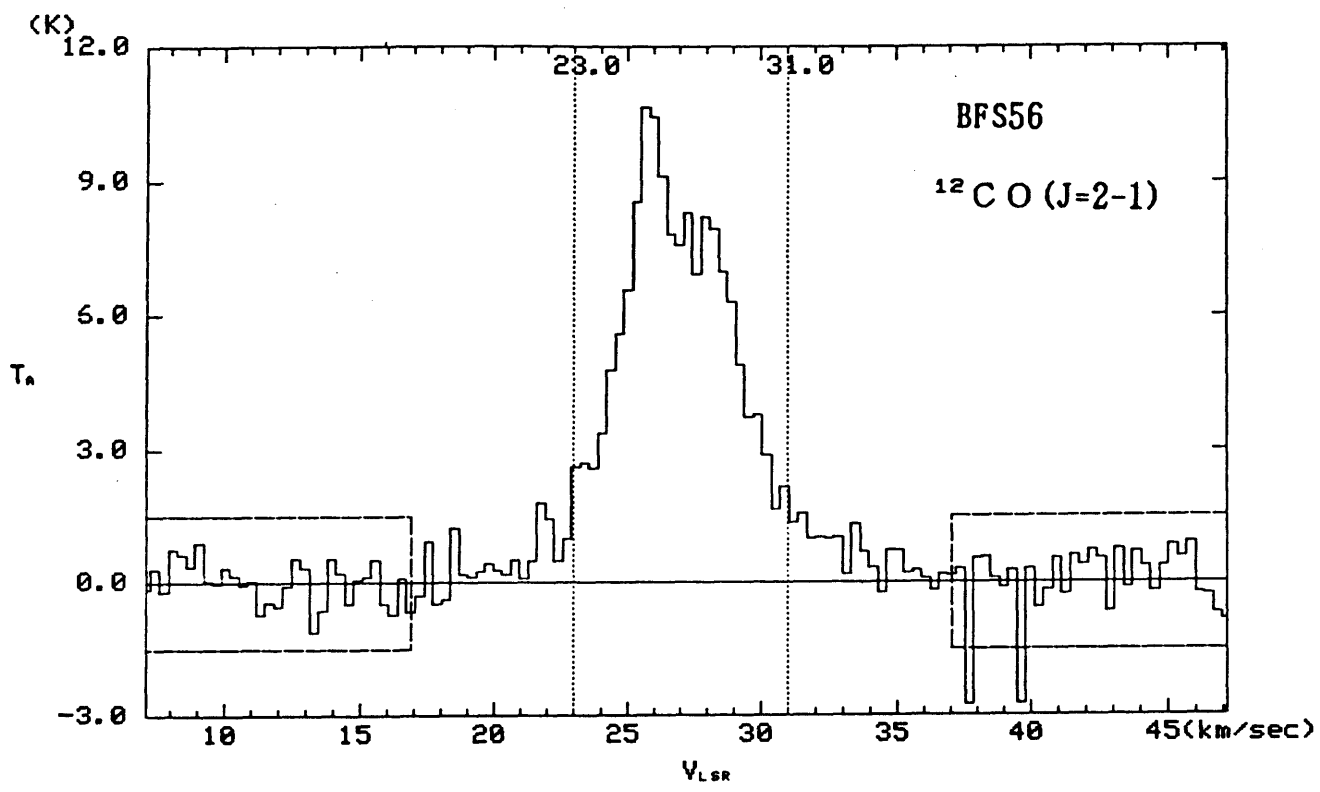
c. L1641-south4



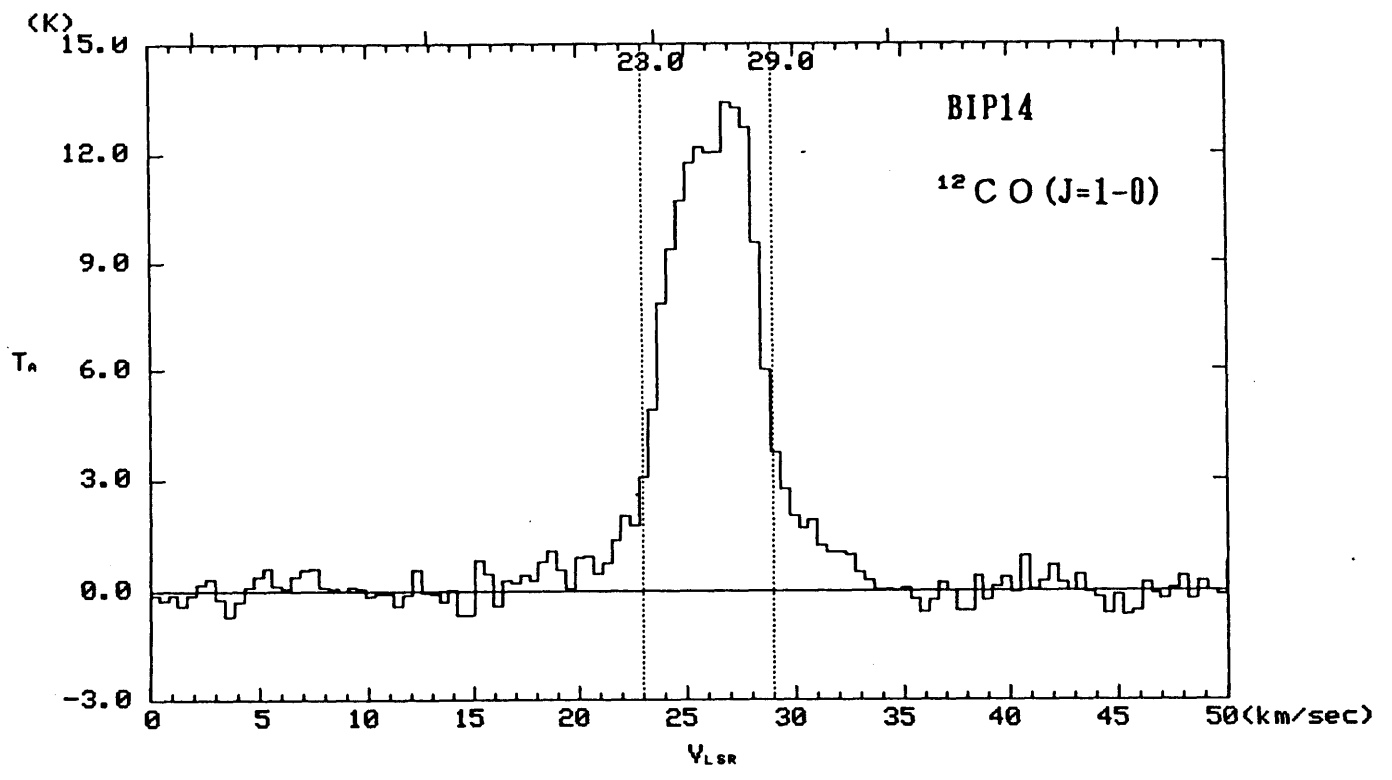
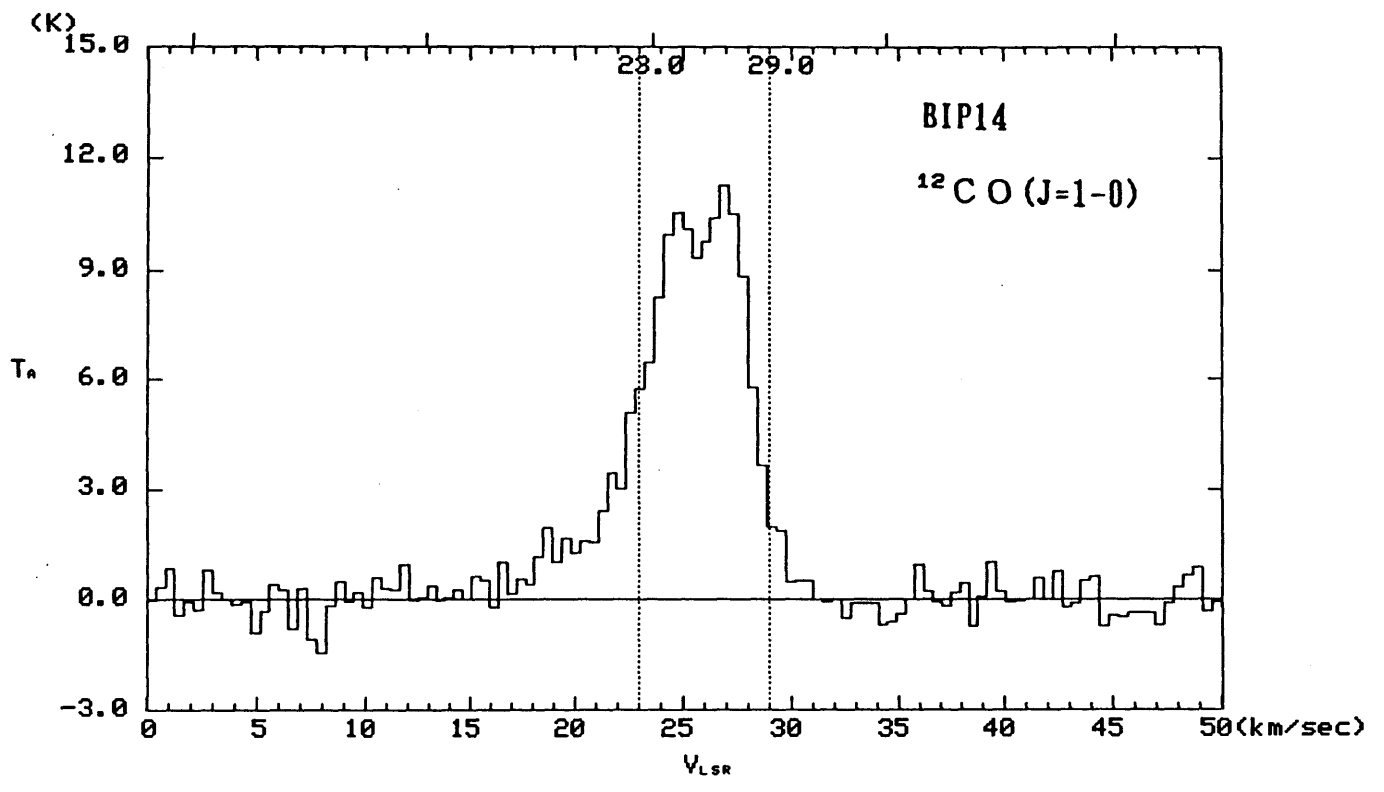
d. L1641-south2



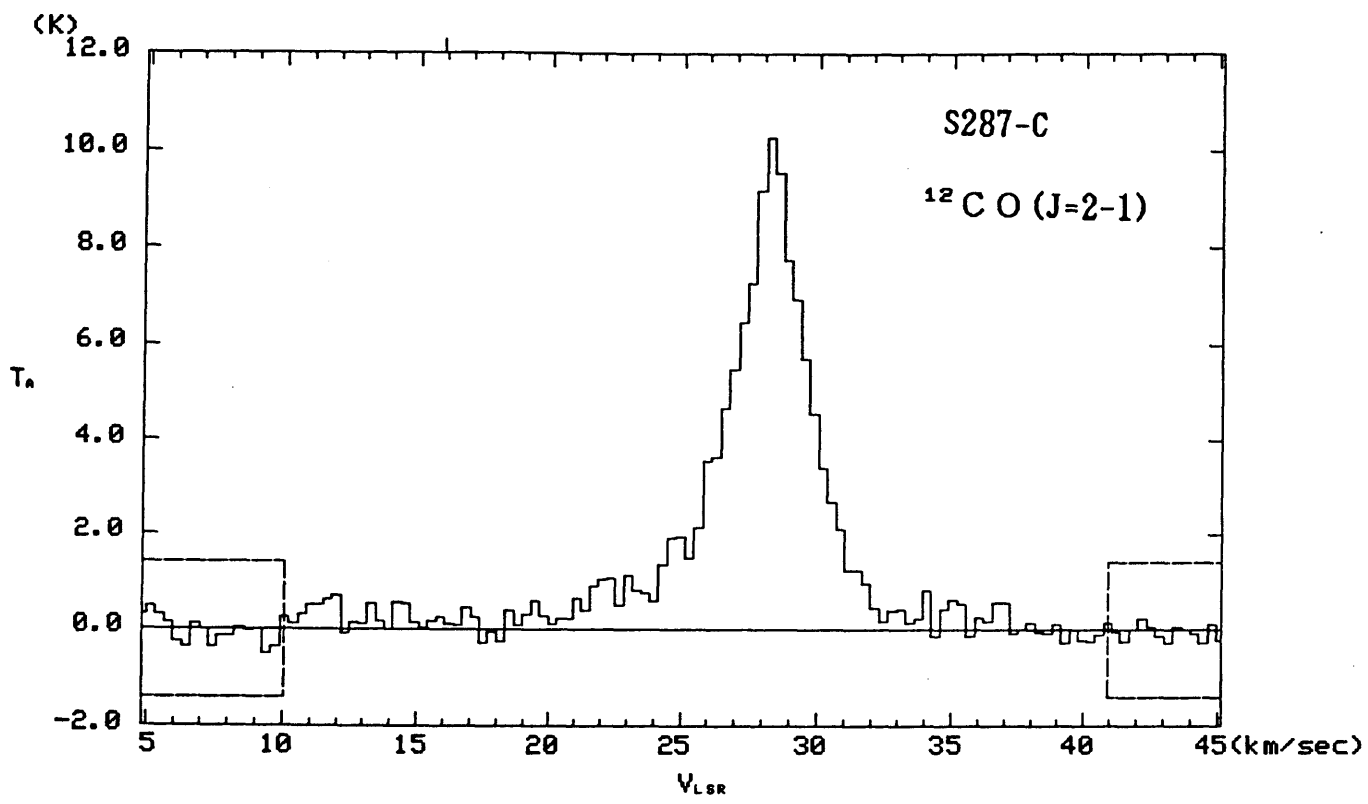
e. L1617



f. BFS56



g. BIP14



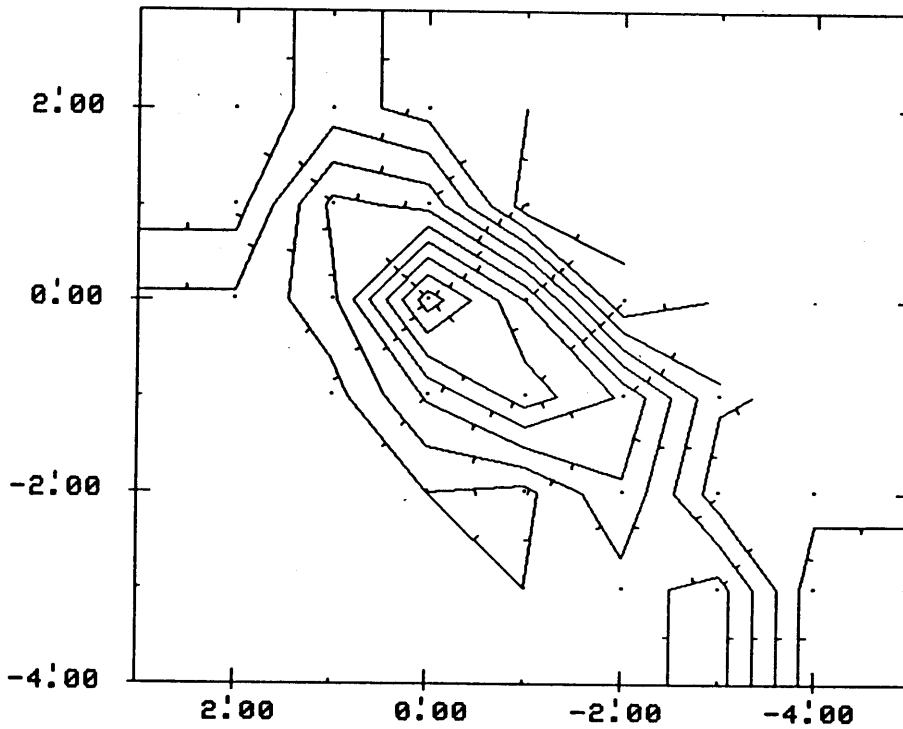
h. S287-C

L1641-south3  $^{12}\text{CO} (J=2-1)$

Center position  
R.A. = 5h37m31.0s  
Dec. = -7°31'59"  
Contour level  
Min. = 1.40 (K km/s)  
Step = .70 (K km/s)

Integrated Intensity (K km/s)  
-18.00 --> 2.00 km/s

$\Delta$  Dec.

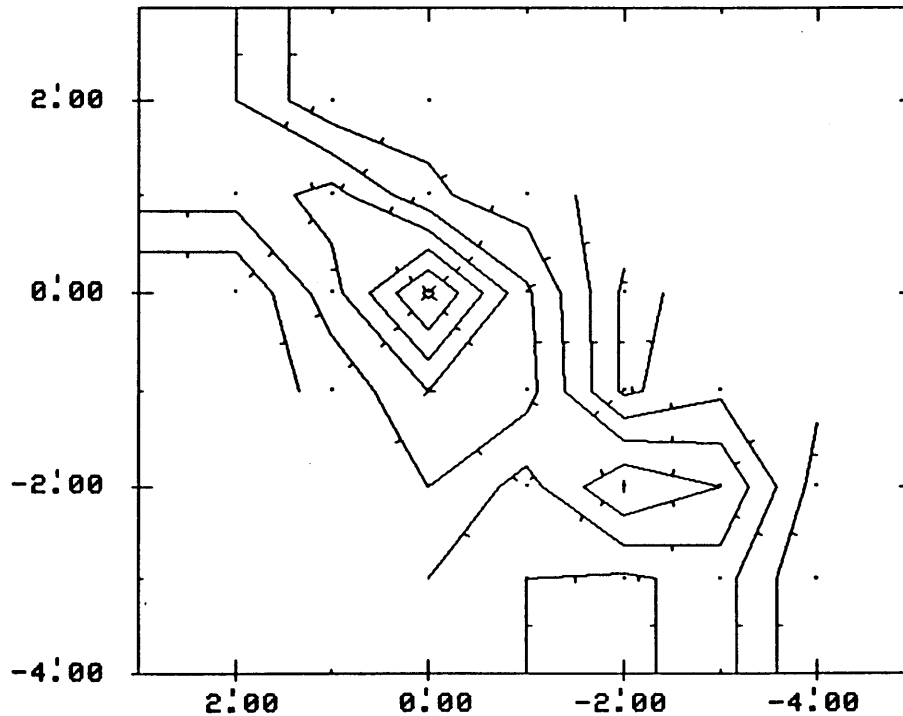


$\Delta$  R.A.

9.00 --> 17.00 km/s

Min. = .50 (K km/s)  
Step = .50 (K km/s)

$\Delta$  Dec.



$\Delta$  R.A.

図4-8. 新たに発見された分子流天体の電波強度分布図。

a. L1641-south3

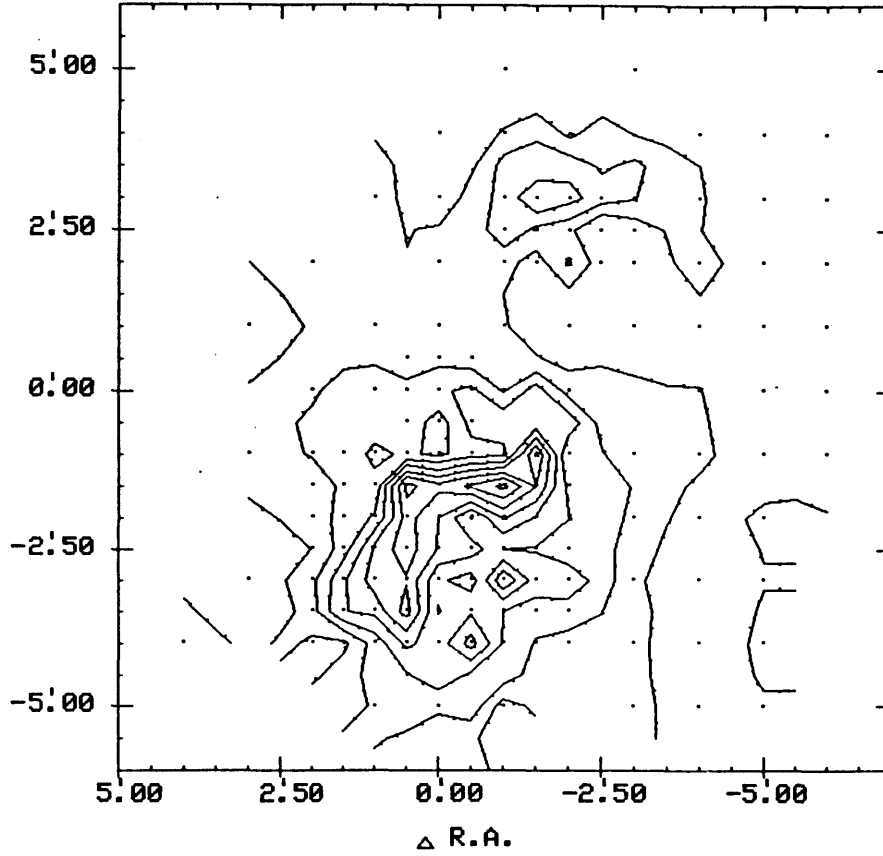


L1641-south1  $^{12}\text{C O (J=1-0)}$

Integrated Intensity (K km/s)  
-10.00 --> 2.00 km/s

Center position  
R.A. = 5h38m 2.7s  
Dec. = -7°28'59"

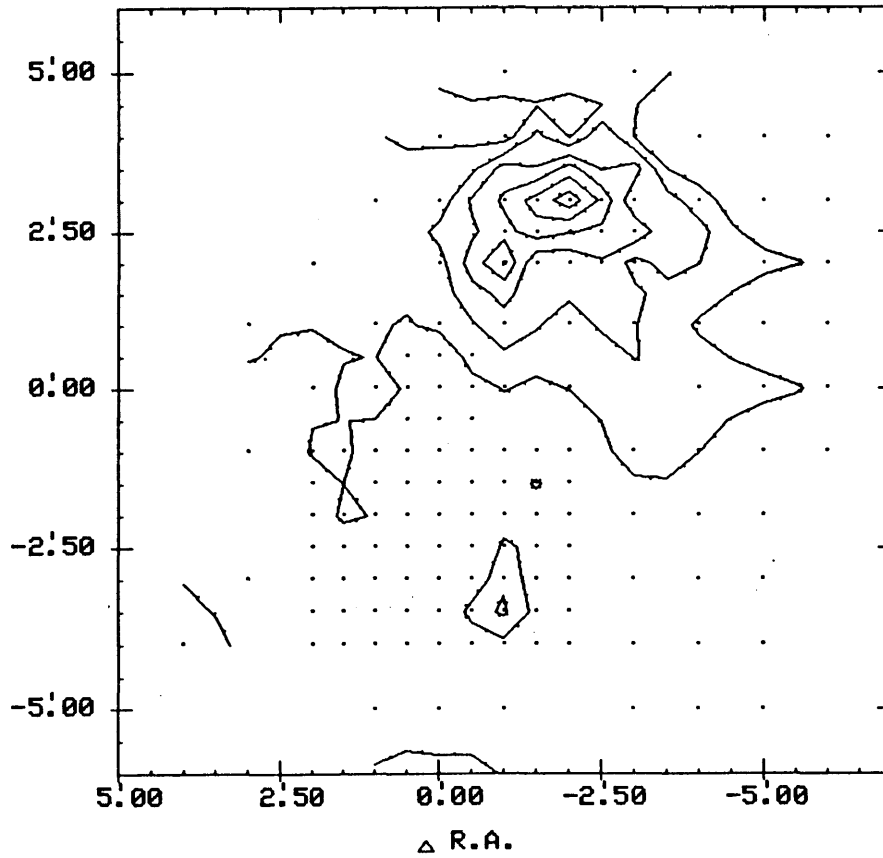
Δ Dec.



Contour level  
Min. = 2.00 (K km/s)  
Step = 2.00 (K km/s)

8.00 --> 20.00 km/s

Δ Dec.



Min. = 2.00 (K km/s)  
Step = 2.00 (K km/s)

b. L1641-south1

L1641-south4  $^{12}\text{C O (J=2-1)}$

Integrated Intensity (K km/s)

-2.50 --> 2.50 km/s

Center position

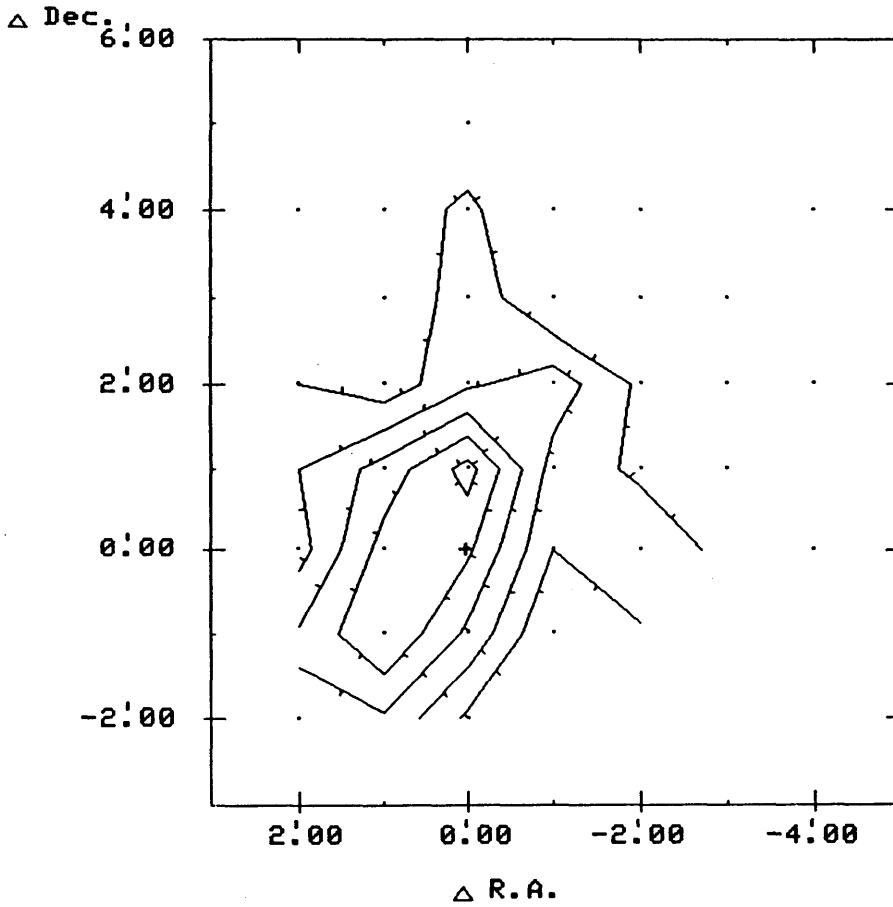
R.A. = 5h38m24.6s

Dec. = -8° 8'19"

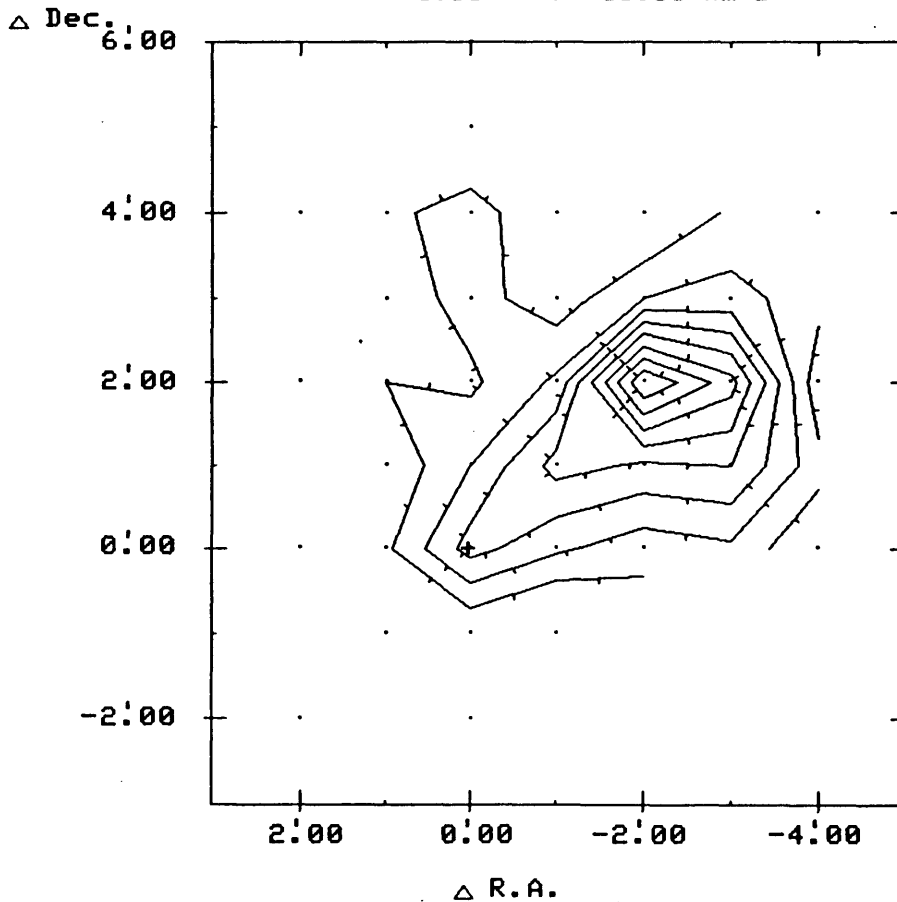
Contour level

Min. = .50(K km/s)

Step = .50(K km/s)



8.50 --> 13.50 km/s



Min. = .50(K km/s)

Step = .50(K km/s)

L1641-south2  $^{12}\text{C O (J=1-0)}$

Integrated Intensity (K km/s)

-15.00 --> 1.00 km/s

Center position

R.A. = 5h40m23.3s

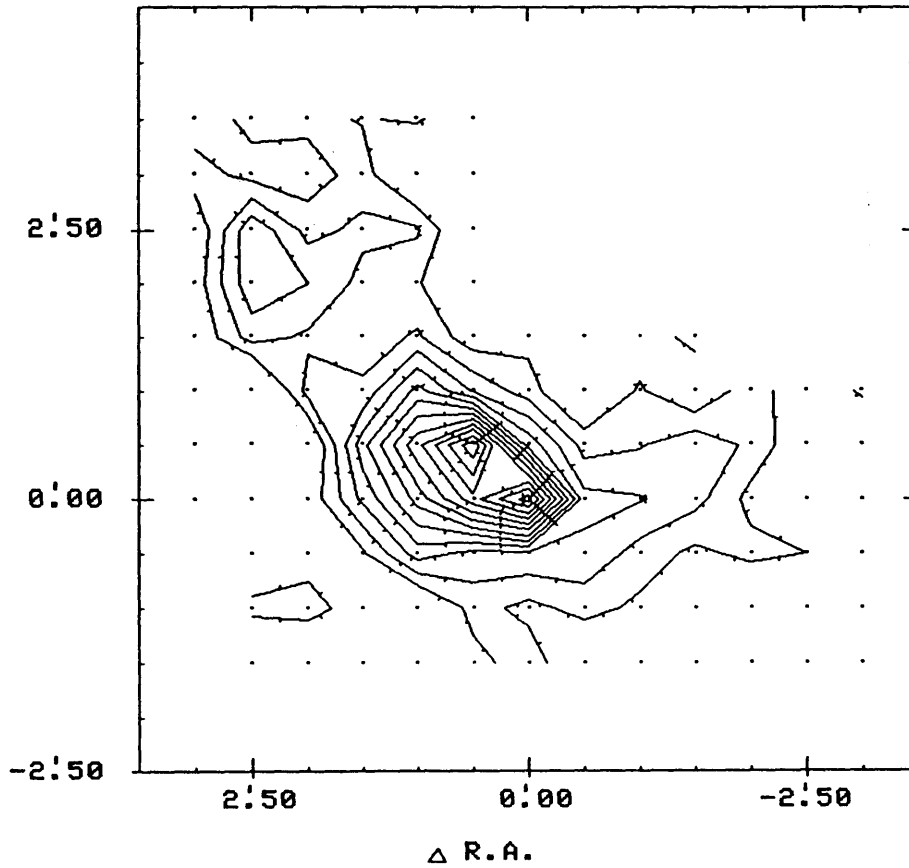
Dec. = -8°18'26"

Contour level

Min. = 1.20(K km/s)

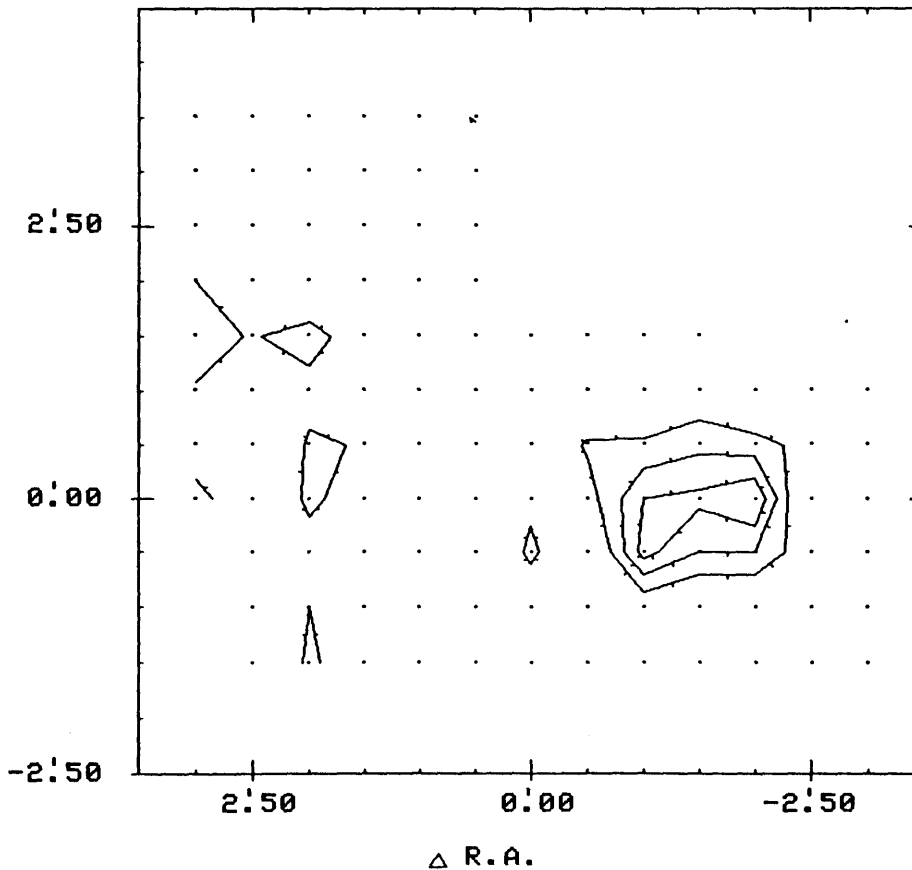
Step = 1.20(K km/s)

Δ Dec.



Δ Dec.

9.00 --> 15.00 km/s



Min. = .80(K km/s)

Step = .80(K km/s)

d. L1641-south2

L1617  $^{12}\text{CO} (J=1-0)$

Integrated Intensity (K km/s)

2.00 --> 7.00 km/s

Center position

R.A. = 5h49m 9.1s

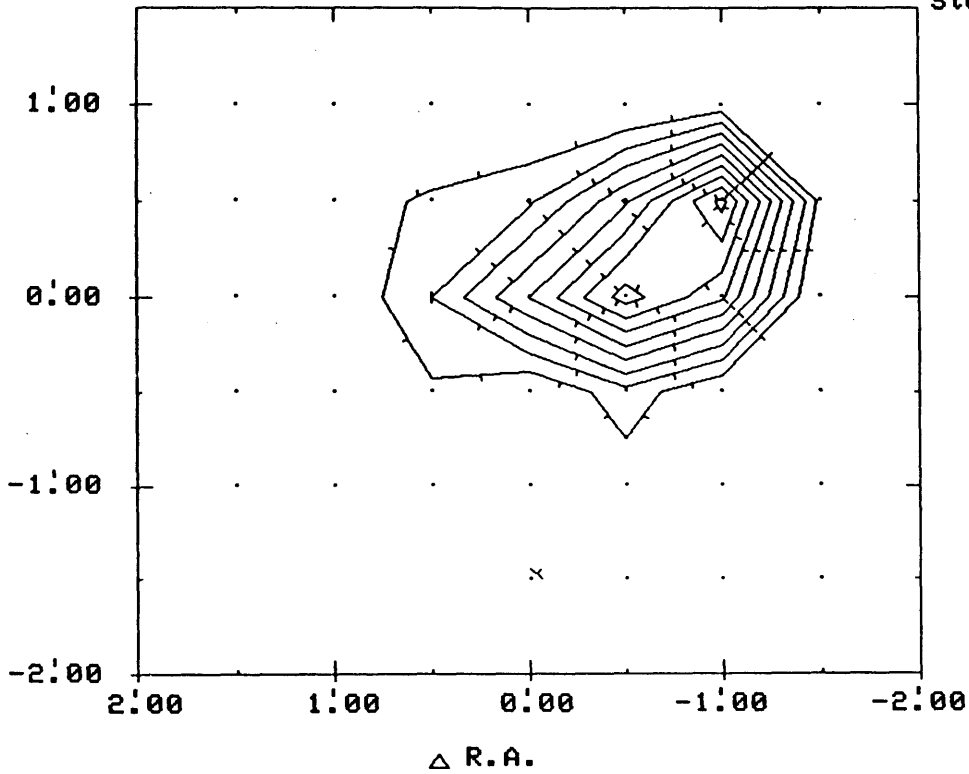
Dec. = + 2°47'48"

Contour level

Min. = .70 (K km/s)

Step = .60 (K km/s)

Δ Dec.

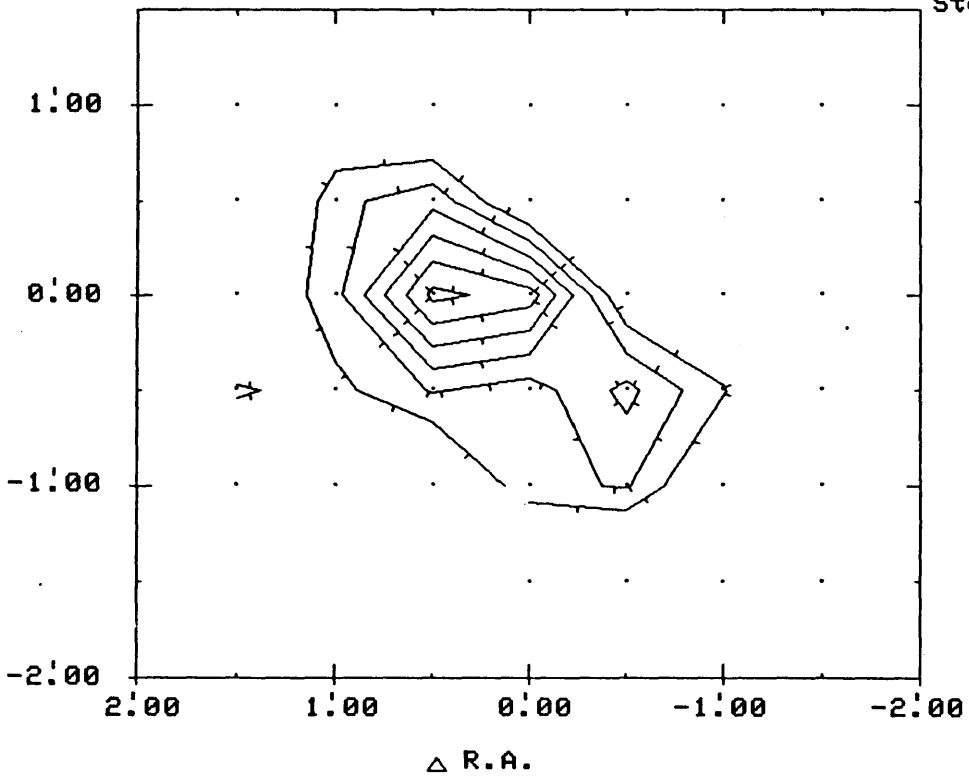


Δ Dec.

10.50 --> 14.00 km/s

Min. = .75 (K km/s)

Step = .50 (K km/s)



Δ R.A.

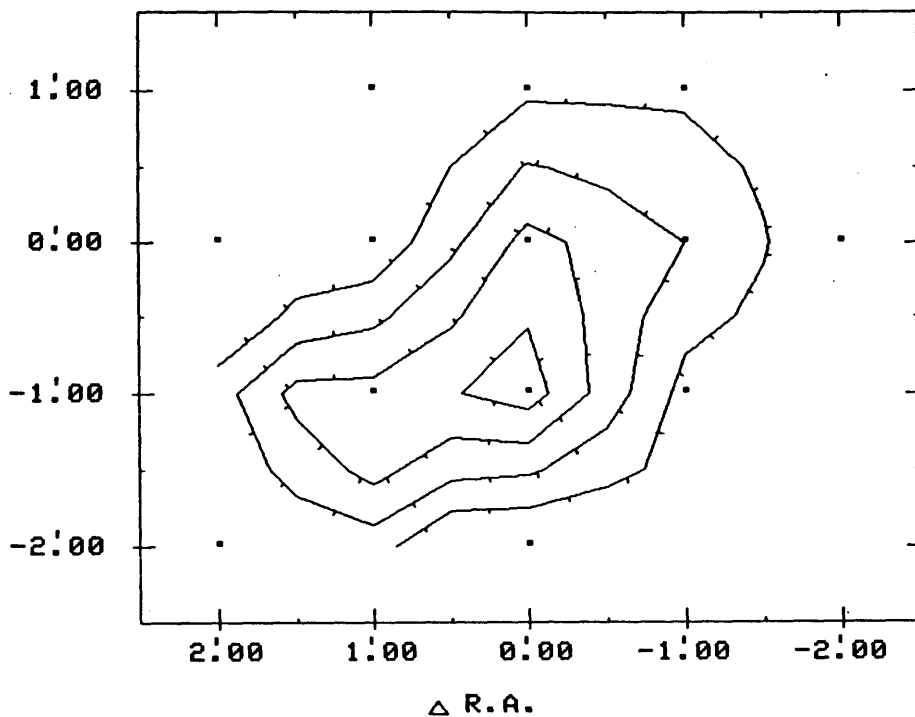
e. L1617

BFS56  $^{12}\text{C O (J=2-1)}$

Integrated Intensity (K km/s)  
20.00 --> 23.00 km/s

Center position  
R.A. = 6h56m45.0s  
Dec. = -3°50'41"  
Contour level  
Min. = .80 (K km/s)  
Step = .60 (K km/s)

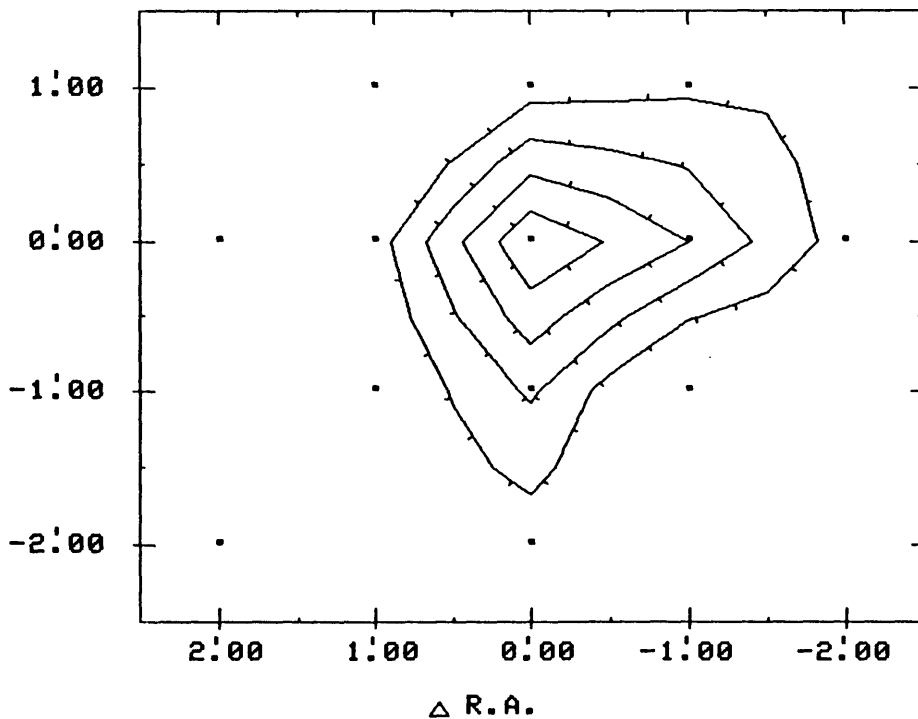
$\Delta$  Dec.



31.00 --> 36.00 km/s

Min. = .90 (K km/s)  
Step = .70 (K km/s)

$\Delta$  Dec.



f. BFS56

BIP14  $^{12}\text{CO}$  (J=1-0)

Integrated Intensity (K km/s)

18.00 --> 24.00 km/s

Center position

R.A. = 6h56m46.5s

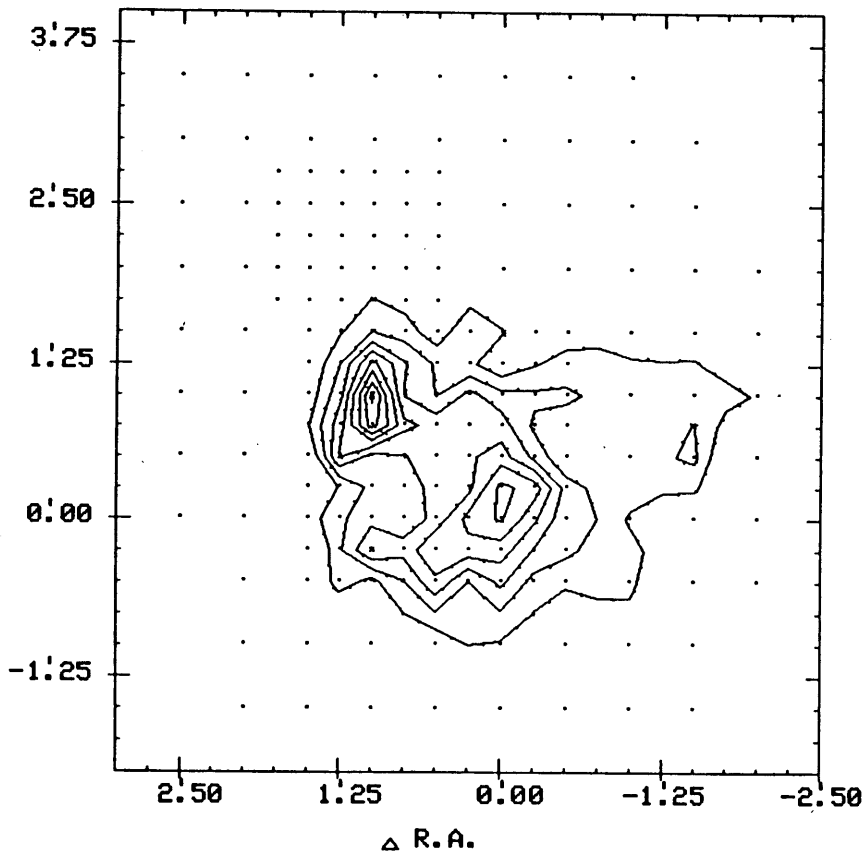
Dec. = -3°55'28"

Contour level

Min. = 5.20 (K km/s)

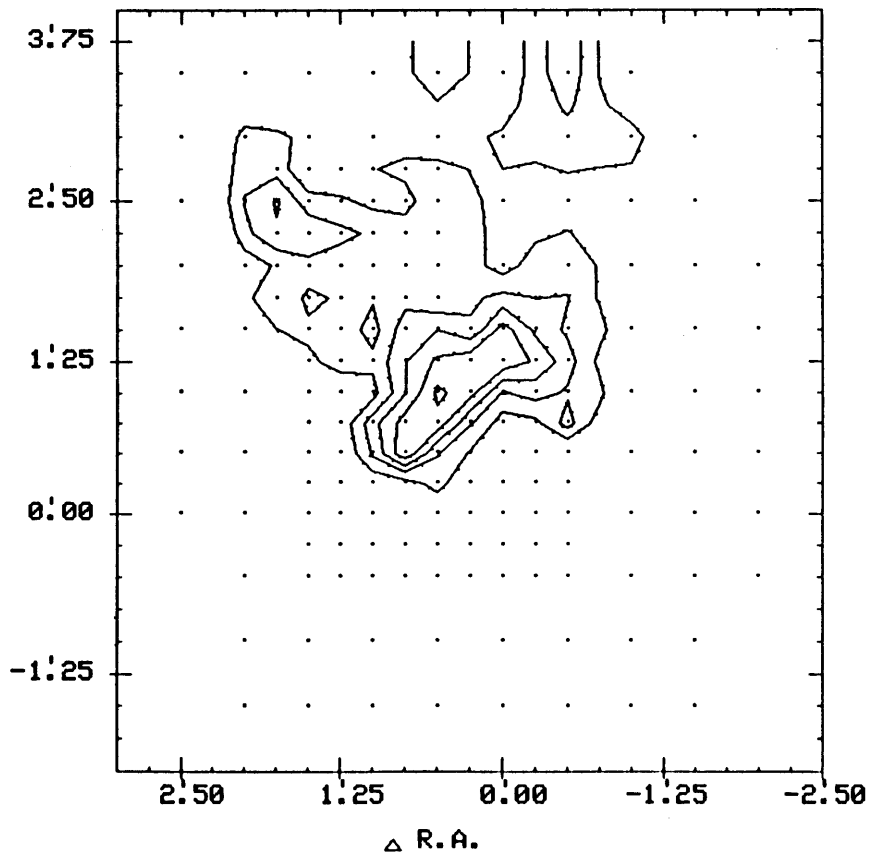
Step = 2.00 (K km/s)

Δ Dec.



28.00 --> 34.00 km/s

Δ Dec.



Min. = 7.40 (K km/s)

Step = 2.00 (K km/s)

S287-C  $^{12}\text{CO} (J=2-1)$

Integrated Intensity (K km/s)

20.00 --> 25.00 km/s

Center position

R.A. = 6h57m 8.2s

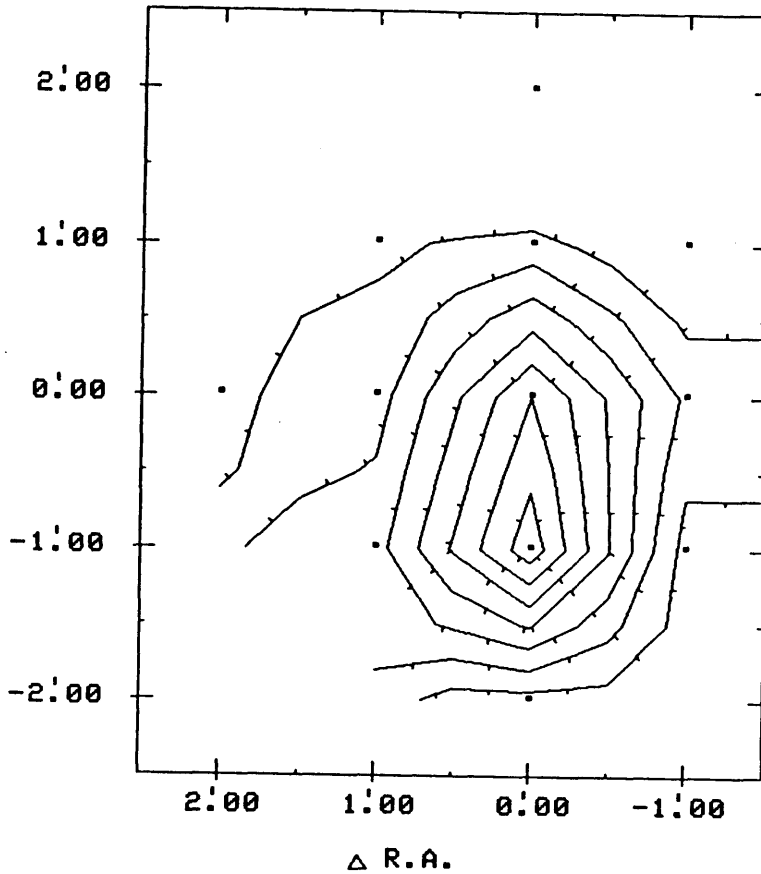
Dec. = -4°36'10"

Contour level

Min. = .80 (K km/s)

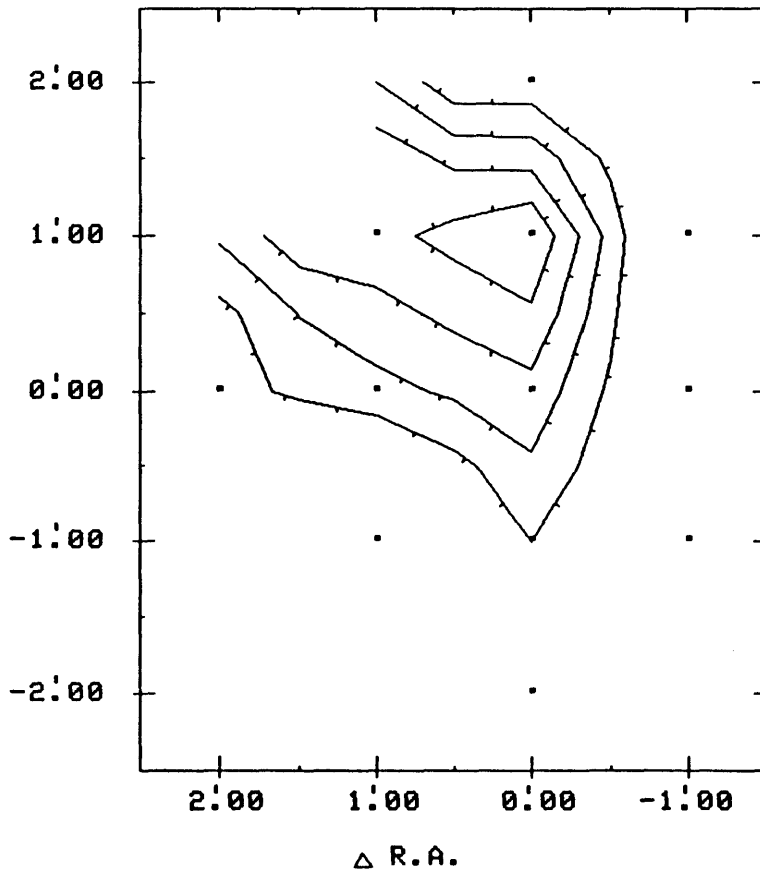
Step = .50 (K km/s)

$\Delta$  Dec.



31.00 --> 34.00 km/s

$\Delta$  Dec.



Min. = .70 (K km/s)

Step = .30 (K km/s)

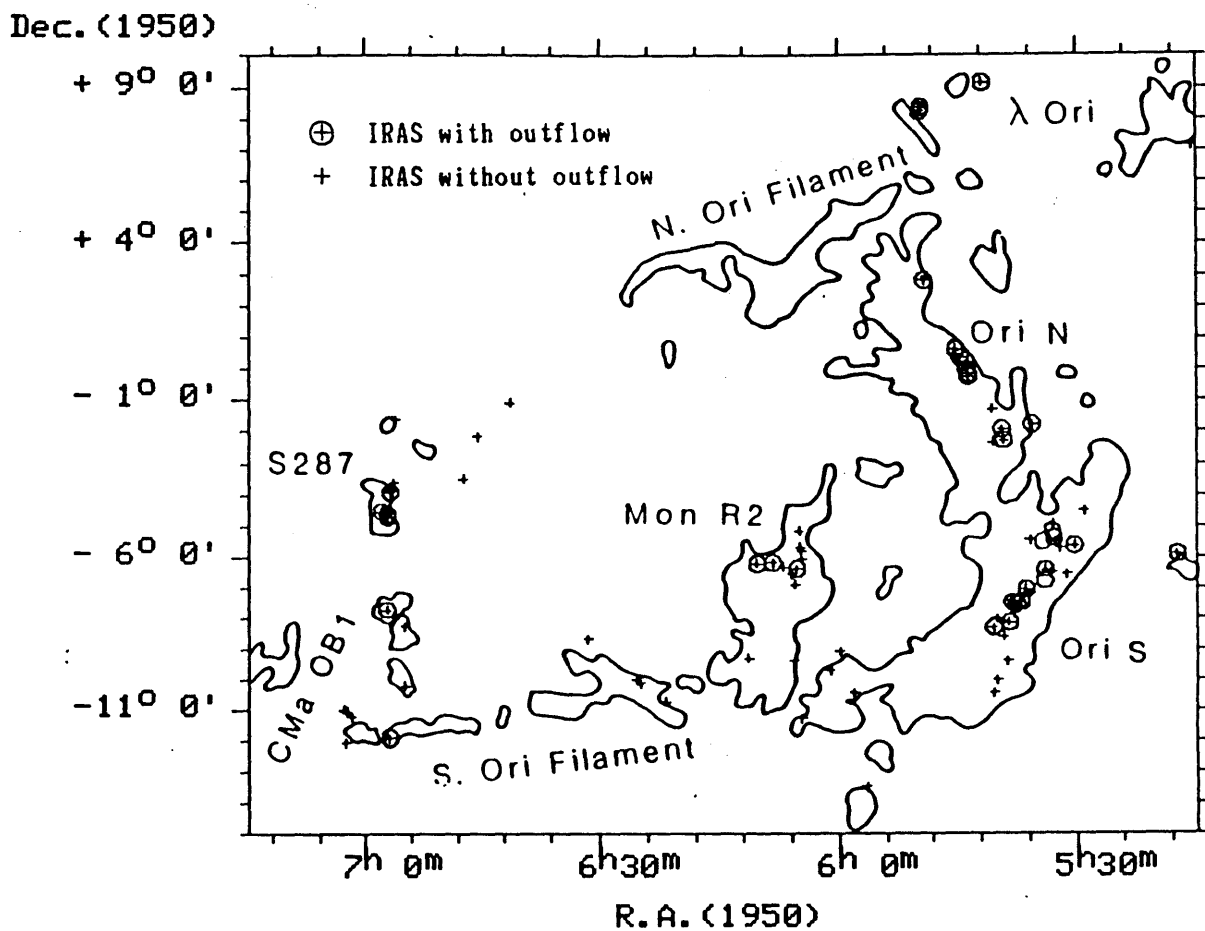
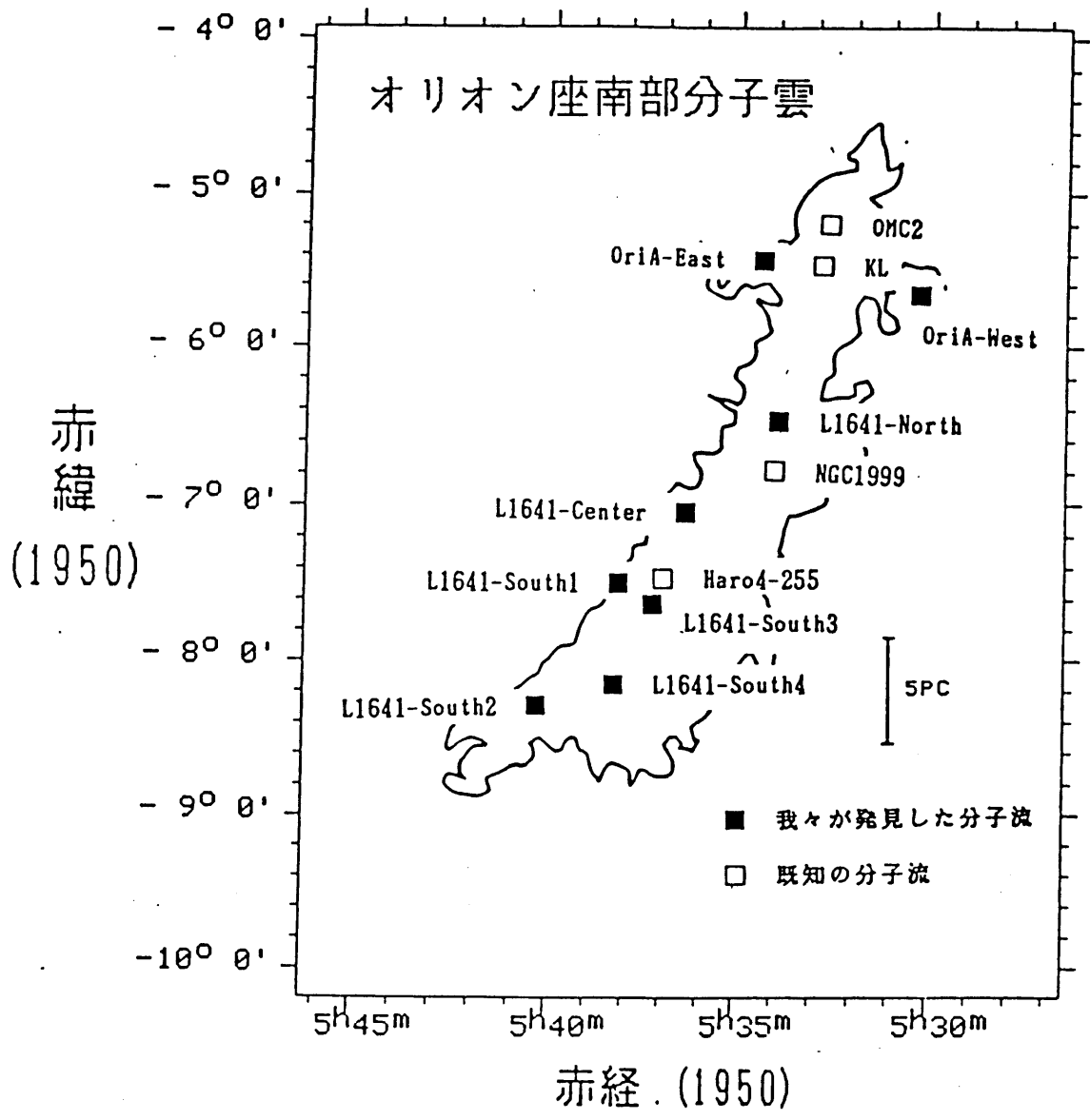


図4-9. オリオン座／一角獣座各領域分子雲との分子流天体の分布図。

- a. オリオン座／一角獣座全領域。低温アイラス点源を+印で示し、これらのうち分子流が検出された点源を○印で示す。コントアは、コロンビア探査による $^{12}\text{C}\text{O}$ 分子スペクトルの電波強度を示す。





b. オリオン座南部分子雲。本研究を含め、名大4メートル鏡を用いた分子流探査で発見された分子流を■印で示し、それ以外の分子流を□印でしめす。コントアは、名大4メートル鏡による<sup>12</sup>C O分子スペクトルの電波強度である。

になるまでの時間では、後者が 100 倍程度長いいため、存在確率も 100 倍程度大いと考えられる。このことから、分子流を伴わないア  
イラス点源の多くは、分子流がすでに消滅した天体であると示唆さ  
れる。

LOG[F<sub>v</sub>(12)/F<sub>v</sub>(25)]

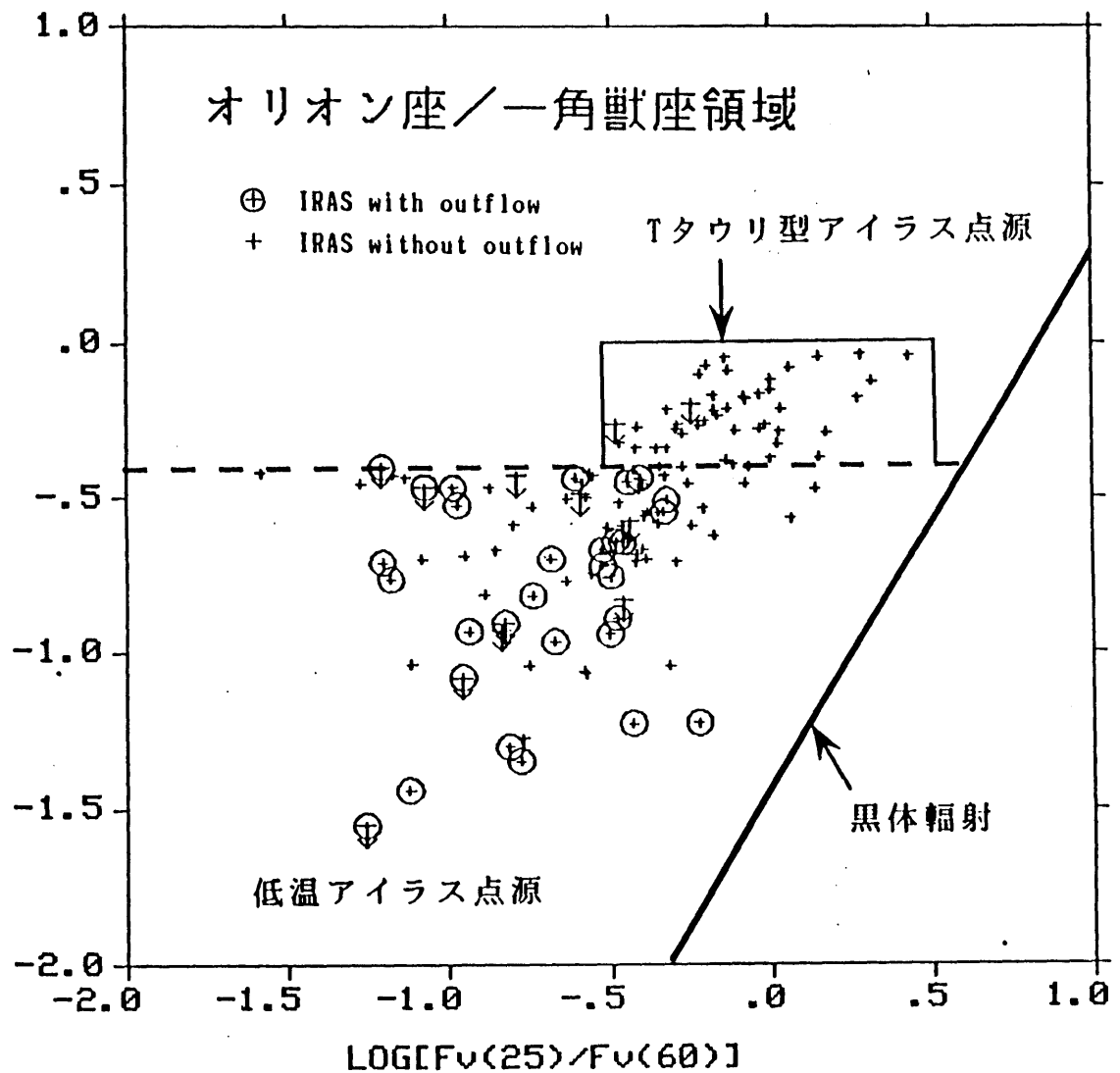


図4-10. オリオン座／一角獣座領域の、低温アイラス点源と、Tタウリ型アイラス点源についての二色図。それぞれの二色図中の位置を示してある。低温アイラス点源のうち、分子流を伴う点源を○印で示す。

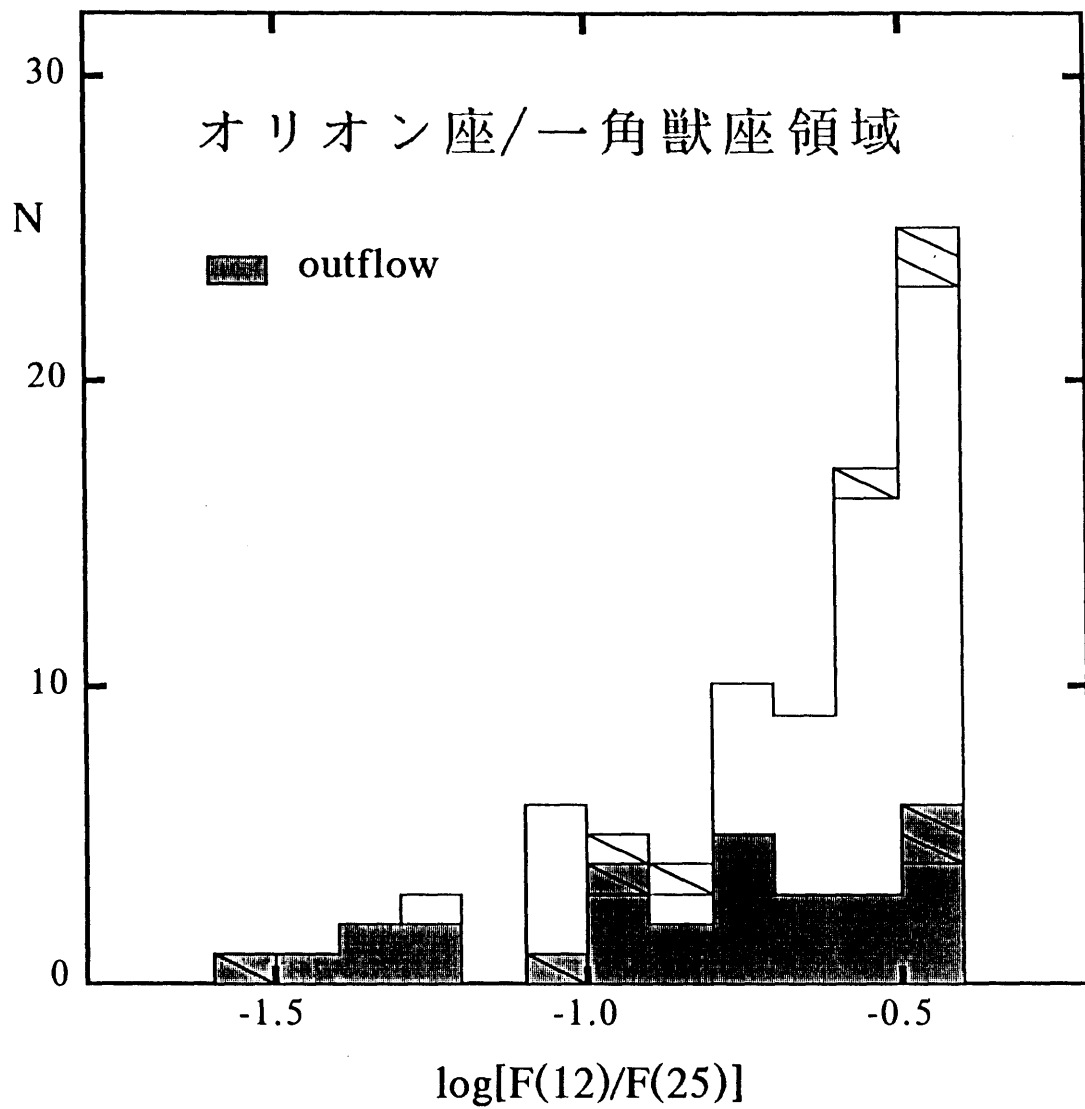


図4-11. オリオン座/一角獣座領域の、低温アイラス点源の  $12\mu\text{m}$  と  $25\mu\text{m}$  から決まる色温度についての個数分布の図。斜線は、求められた色温度が上限値であることを示す。また灰色の部分は、分子流を伴う点源を示す。

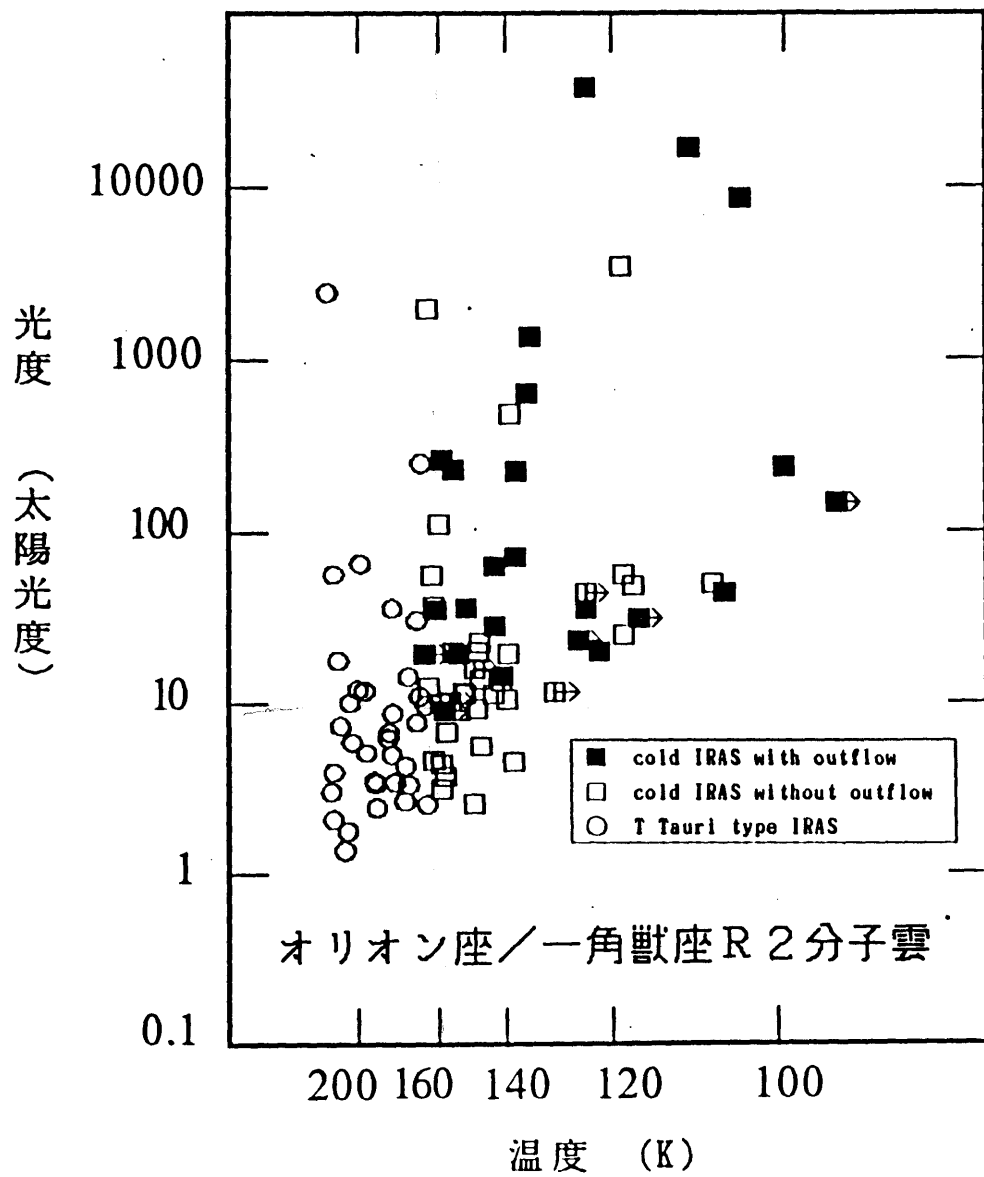
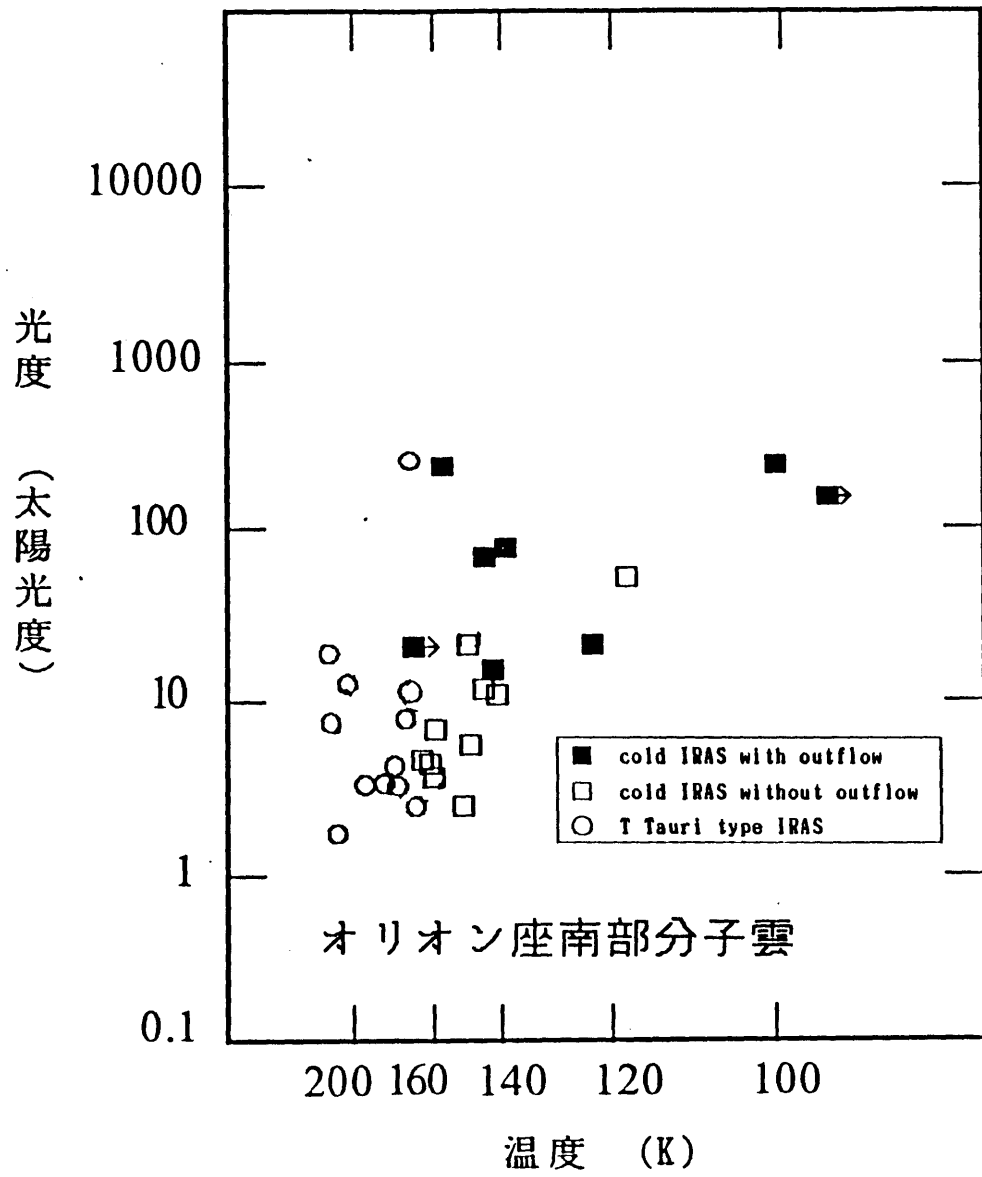
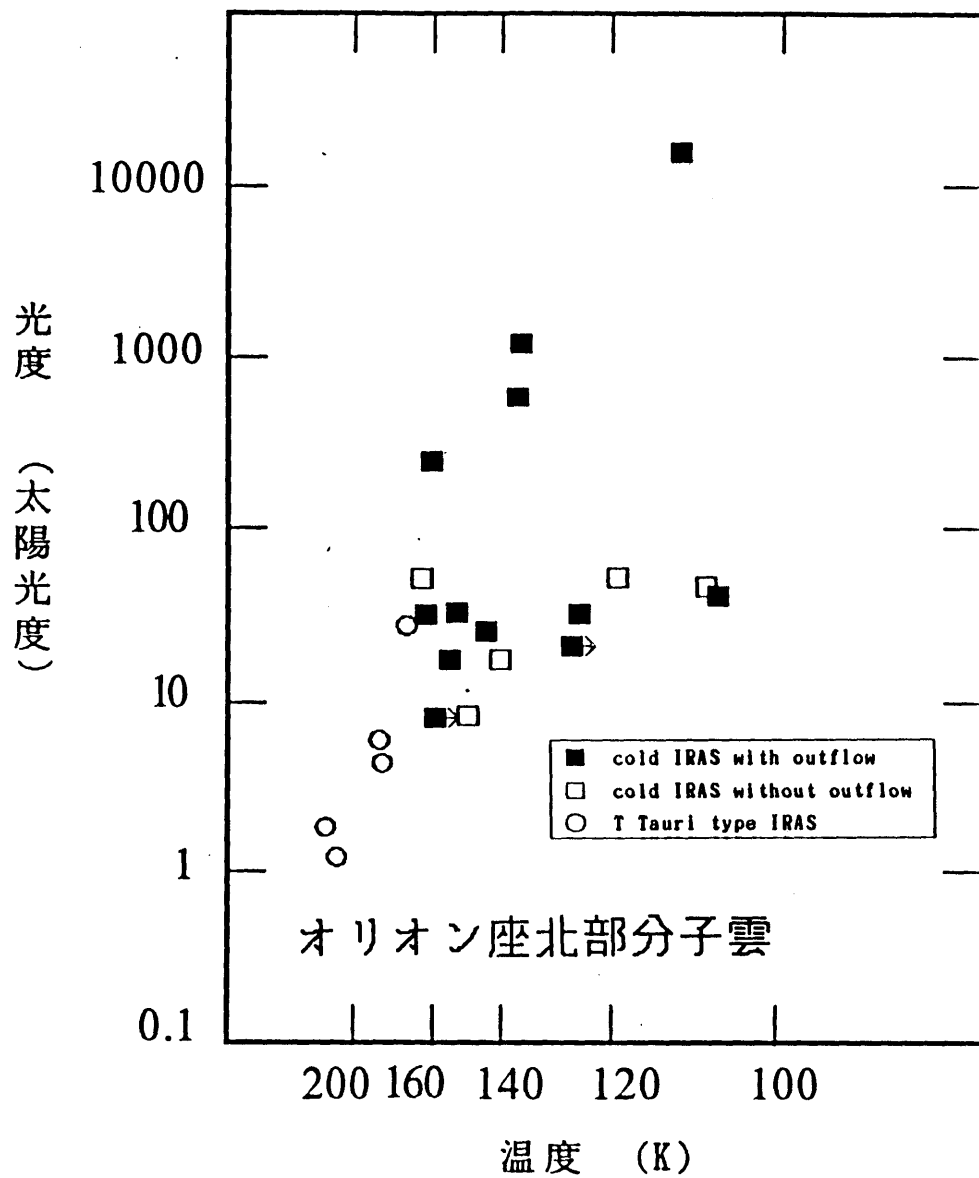


図4-12. 各領域の低温アイラス点源ならびにTタウリ型アイラス点源についてのHR図。各図とも、分子流を伴う低温アイラス点源を■印、分子流を伴わない低温アイラス点源を□印、Tタウリ型アイラス点源を○印で示す。  
 a. オリオン座/一角獣座 R 2 領域。



b.オリオン座南部分子雲。



c. オリオン座北部分子雲。但し L1617領域ならびに B35 領域を含む。

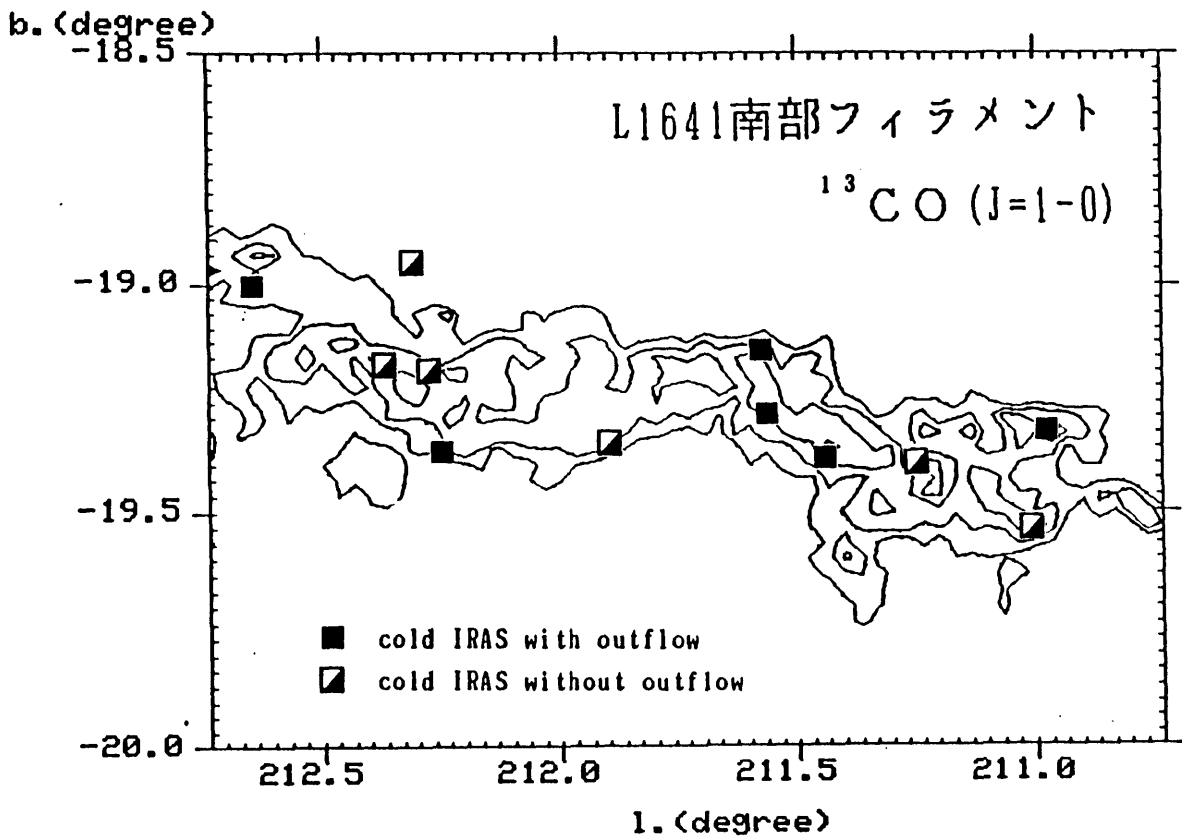


図5-1. オリオン座 L1641南部フィラメントにおける低温ア\_IRAS点源の分布図。■印は分子流を伴う点源、▣印は分子流を伴わない点源を示す。コントアは $^{13}\text{CO}$ 分子スペクトル電波強度分布を表わし、積分範囲はLSR速度3-6 km/s、コントア・レベルは 4.5 K km/s から 1.5 K km/s 毎である。



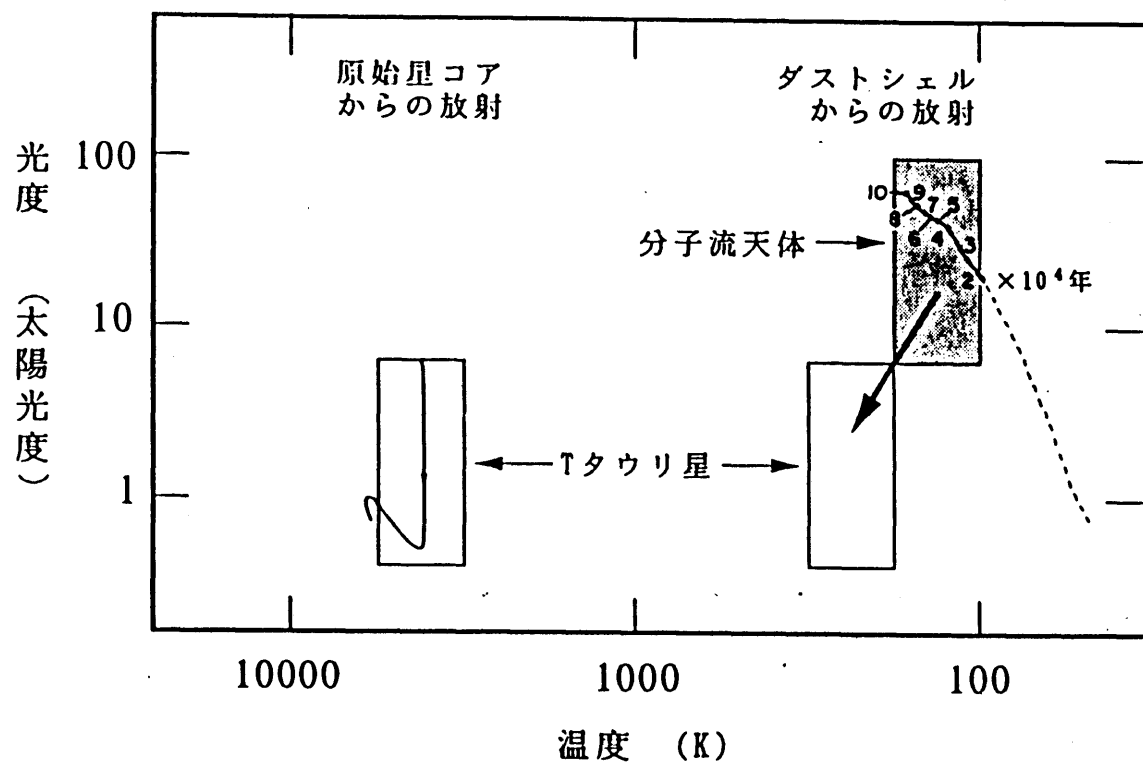


図5-2. HR図における、原始星進化のシナリオの概念図。図中の枠は分子流天体を伴うアイラス点源, Tタウリ型アイラス点源, ならびにTタウリ型星(Cohen and Kuhl 1979)の占める位置を示す。また図中の径路は、図1-8のSSTモデルによる原始星のからの輻射の進化の径路を示す。ダスト・シェルからの輻射は、図中の太い矢印で示す方向に進化すると考えられる。