

巨大分子雲の寿命は何が決めるのか

福井 康雄*・高羽 浩*

問題の発端

私達の銀河系の中に、巨大な分子ガスのかたまりがゴロゴロしていることは、1970年代中頃に広く知られるようになった。一つのかたまりは、低温（ $\sim 10\text{K}$ ）で大質量（1万-100万太陽質量）であり、さしわたし30-300光年に及ぶ。質量が大きいことは、分子雲自身の重力が強いことを意味するし、温度が低いことは、重力に対抗する反発力の弱いことを意味する。実際、計算してみるとこれらの巨大分子雲は、100万年位でどンドン重力収縮して星になってしまうことが予想される。

ここで、一つ困った事が出てきた。この調子で巨大分子雲から星が生まれたとすると、星が出来すぎてしまうのである。計算の結果を見ると、一年あたり太陽の30倍のガスが星になってしまうはずである。一方、光学観測から求められる星の生成率はその1/10でしかない。一体何が違っているのだろうか。

遅らされた分子雲の収縮

何年間かの論争を経て、巨大分子雲の収縮が何らかのメカニズムで100万年よりもはるかにゆっくり起こっているらしいことがわかってきた。

一つの強い証拠は、若い星団とその母体となった分子雲が共存している場合があり、その星団の年齢が100万年よりも1桁長いことがわかったことである。例えば、一角獣座の散開星団 NGC 2264 は、最も詳しく調べられている例であり、分子雲の寿命が1000年以上あることを裏付けている。

また、銀河系全体の規模でみると、巨大分子雲もまた、渦巻き状の腕に分布しており、腕の幅は1000万年位の寿命に相当することもわかった。

それでは、巨大分子雲の収縮を遅らせているのは何か？

双極分子流天体の発見

巨大分子雲の収縮を妨げるメカニズムとして、現在最も有望視されているのは、双極流天体である。双極流は、若い恒星周辺の分子ガスが10-100 km/s の高速度に加速され、しかも対状のジェットの様を示す現象である。1980年、米国のスネル (R. Snell) 他によって最初の例がおうし座に発見されて以来、既に100個近い例が見出

されている。高速で運動している分子ガスの質量は1太陽質量前後であり、運動量としてこれまで知られていたものよりもはるかに大きい。運動量の代表的な値は、太陽光度の10分の1程度と推定される。

双極分子流によって放出される運動量が巨大分子雲を重力に対抗して支えるのに効いているのではないかと、いう指摘は、1982年、スコビル (N. Scovill) 他、バリャー (J. Bally) などによってなされた。もし、それが正しければ巨大分子雲の寿命の問題は、解決の糸口が得られるかもしれない。

無バイアスサーベイの必要性

双極分子流天体によって放出される全運動量を知るにはどうすればよいだろうか。そのために必要なのは、特定の巨大分子雲について、くまなく双極分子流天体をさがし出すことである。前に100個近い双極分子流天体が見つかっていると書いたが、その殆んど全ては、赤外線天体やTタウリ型星などの「指標」について双極分子流を捜して見つけられたものである。例えば、分子雲の中に奥深くうずもれている場合や、赤外線天体の光度が暗い場合などは、このような「指標」がなく、多数の双極分子流天体が未だ発見されずにいる可能性がある。

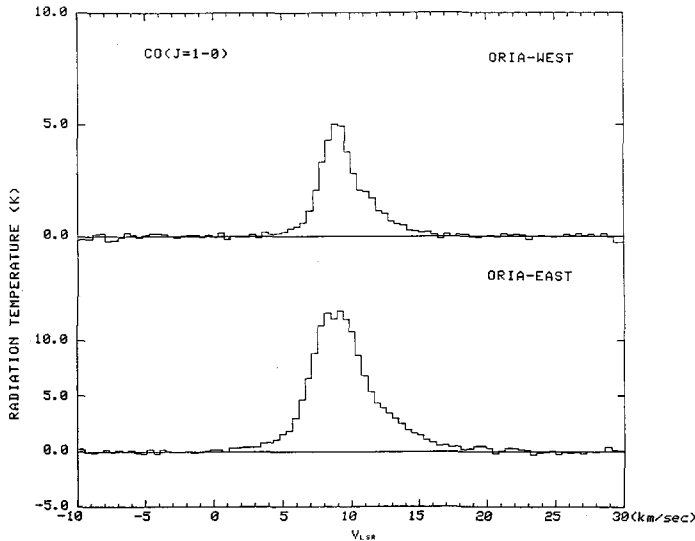
名大 4m 電波望遠鏡による双極分子流捜し

巨大分子雲は、天空に広く分布している。太陽系に比較的近いものは、角度にして1度-10度にわたって分布している。従って、一つの巨大分子雲をくまなくサーベイするには、多数の観測点を観測しなくてはならない。例えば、5平方度の広がりをもつ巨大分子雲をサーベイするとしよう。2分角おきに観測するとすると、1平方度あたり900点、5平方度で4500点の観測を行なわねばならない。電波望遠鏡の視野は口径に反比例するから、小口径の望遠鏡がこのような観測には向いており、2-3分角の角分解能があれば個々の双極分子流を十分にとらえることができる。10分角程度の角分解能では、1-2分角の広がりしかない分子流を見つけることは困難である。このような理由で、約3分角の視野を持つ名大理学部4m電波望遠鏡は分子流捜しに適しており、私たちはこの望遠鏡を用いて分子流天体捜しを行なっている。

7つの双極分子流天体の発見

1985年1月から1986年5月までの4m鏡による観測

* 名大理 Yasuo Fukui, Hiroshi Takaba: What Determines the Age of a Giant Molecular Cloud?



◀ 図 1 4 m 鏡で発見した双極分子流天体 ORIA-West, ORIA-East の 2 例の一酸化炭素スペクトル

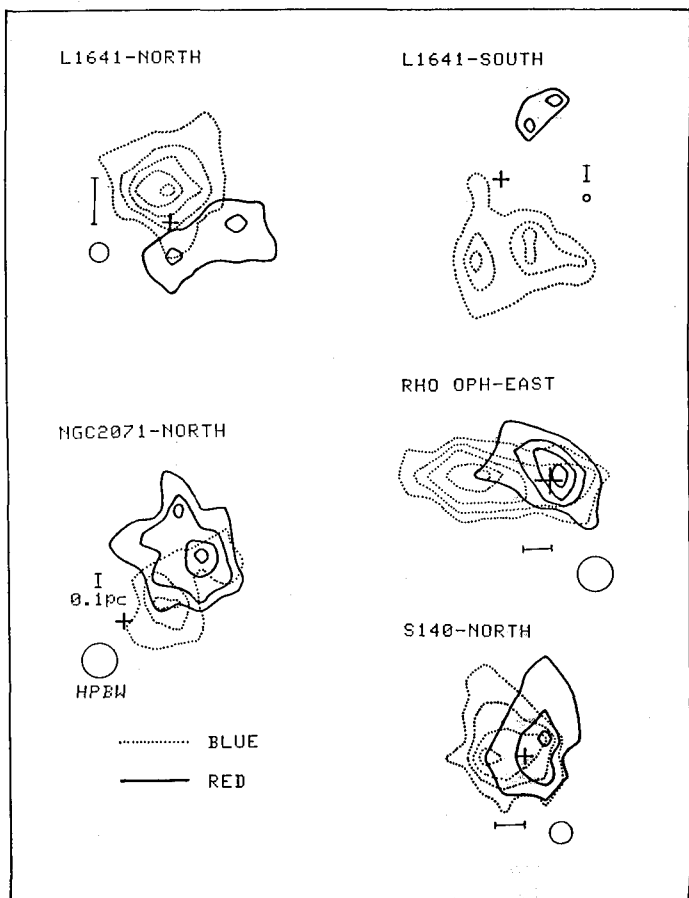
▼ 図 2 4 m 鏡で発見した双極分子流天体 (5 例) の一酸化炭素スペクトル積分強度地図 (..... は青方偏移, — は赤方偏移を示す) NGC 2071-North, ρ Oph-East の 2 例は 4 m 鏡で, その他は 45 m 鏡でマッピングしたものである。

で、約 5 万点の観測データが得られ、7 個の双極分子流天体が新たに発見された。観測された領域は、代表的な星の生成領域として知られるオリオン座、へびつかい座、ペルセウス座などであり、立体角にして約 50 平方度に相当する。新たに発見された分子流天体の一酸化炭素スペクトル (回転量子数 $J=1 \rightarrow 0$, 波長 2.6 ミリメートル) を二例、図 1 に示した。富士山型のスノをひいた形をしていることがわかる。「スノ」は、速度にして 15-20 km/s に及んでおり、超音波の分子ガスの運動の存在が分かる。中心部 (視線速度約 10 km/s) に盛り上がったピークは、速度幅 2-3 km/s の巨大分子雲本体の分子ガスを示している。青方偏移した成分と赤方偏移した成分の空間的な分布を図 2 に示した。この図は、残りの 5 個の新しい双極分子流天体についてのものであり、両方の成分が殆んどの場合について赤外線源 (+印) をはさんで分布していることがわかる。

これらの分子流天体は、比較的光度の低い 40-400 太陽光度の赤外線天体を伴っており、質量の小さい恒星 (1-3 太陽質量) に関係しているものと思われる。

オリオン座南部の巨大分子雲と双極分子流

太陽系に近い (約 1500 光年) オリオン座南部の巨大分子雲に注目しよう。図 3 にこの分子雲の大体の分布を示した。この図のコントラストは、一酸化炭素 (^{13}CO) の積分強度を示しており、分子雲の外側の輪郭



と置いていただければよい。オリオン大星雲は Dec = $-5^{\circ}30'$ に中心を持つ。

表紙には、同じ ^{13}CO の積分強度を更に詳しく濃淡で

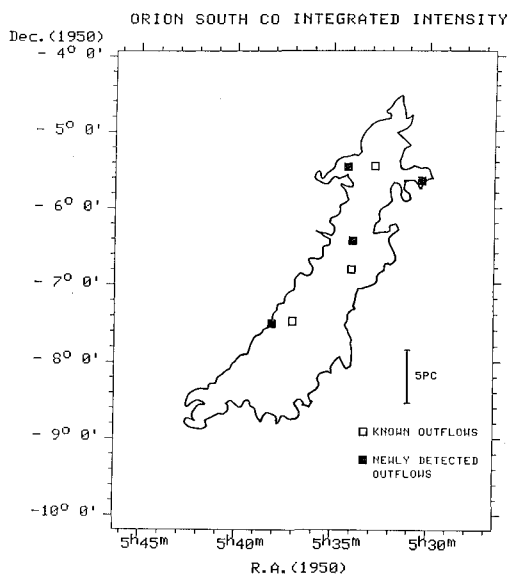


図3 オリオン領域における双極分子流天体の分布図 (□……既知の天体, ■……4 m 鏡で発見された天体) 輪郭は一酸化炭素 (^{13}CO) の分布を示す。

示した。分子ガスが細長いフィラメント状に分布していることがわかる。表紙に赤丸で示したのは、見かけ上温度の低い赤外線天体で赤外線天文衛星 (アイラス) によって検出されたものである。これらの赤外線天体は、7-700 太陽光度の赤外線天体であり、うち 10 個あまりは京都大学上松赤外線観測所で佐藤修二氏らによって 2 ミクロンで検出されたものと一致しているが、光学的な対応天体は確認されていない。これらの赤外線天体の分布が分子雲の分布とよく一致していることは、これらの天体のごく最近、恐らく数 100 万年以内に生まれた若い星々であることを物語っている。分子雲のフィラメントは、幅 3-6 光年と細く、星は分子ガスの濃い部分で生まれている。これらの天体の温度が見かけ上低く見えているのは、多量の塵を含む分子ガスの衣をまとっているためであろう。

再び、図 3 に戻ろう。以前の観測によってこの領域には三つの分子流天体を含む部分のあることが知られていた。図 3 には、これらの三つは白い四角で位置を示してある。北から、クライマン・ロウ天体、反射星雲 NGC 1999 等 (2-3 個の分子流天体を含む)、ハロー 4-255 である。一方、今回発見された分子流天体はこの分子雲中には 4 個あり、黒い四角で示した。観測は、赤外線線の分布とは無関係にくまなく行なったが、その結果発見された分子流天体は全て赤外線天体を伴っていることがわかった。分子流天体は、この種のサーベイによって 50%-100% 増える可能性がある。しかし、桁違いに多くなる

ことはなさそうである。従って、銀河系内での分子流天体の発生頻度は、1 平方キロパーセクあたり、1000 年に 1 個位の割合で生まれていると推定される。この発生率は、太陽程度の質量の恒星の発生率にほぼ等しい。

分子流天体の放出する運動量

さて、分子流天体が実際に巨大分子雲を支えることができるかどうか知るために、まず放出された運動量を推定しよう。この種の推定は、いくつかの曖昧さを伴うのが常であるが、その要因の一つは、三次元的な分子流の流れが分からない点にある。図 1 の CO スペクトルを見ると、高速度ガスは、相対速度が低くなると量が増えていることがわかる。極端に速度の速いガスは量も少ない。観測される相対速度は、あくまでも視線方向への射影影であるから、実際の速度の下限しか与えない。高速度ガスの分布は一般には図 2 に示したように完全な軸対称性を示さないから、速度の分布も色々な乱れていると考えるのが自然であり、個々の分子流天体についてその分布を明らかにすることは、殆ど原理的に不可能である。

そこでここでは安全な上限と下限を求めて、運動量の範囲をしぼることにしよう。この方法は、最近、米国のマルグリスとラダ (1985 年) によって整理されたものである。まず、上限は、相対速度の最大値で全てのガスが運動していると仮定して求められる。一方、下限は、観測される相対速度が実際に分子ガスの運動速度であるとして求められる。このようにして求められる運動量は、多少のばらつきはあるものの、約 30 倍位の違いがある。やや乱暴だが、最大値のうち、6 分の 1 位が運動量の実際の値としてもっともらしいと思われる。このやり方でオリオン南部の巨大分子雲中の分子流の運動量を見積ると、平均して一個あたり 0.2 太陽光度に相当することがわかる。分子流天体の総数は約 10 個見つまっているから (NGC 1999 領域には 2, 3 個がある)、この分子雲全体では $2L_{\odot}$ 程度の運動量が開放されている計算になる。

巨大分子雲の寿命

図 3 に示したコントラ内に含まれる分子ガスの総質量は 2 万太陽質量にあたる。分子ガスは 2-3 km/s の乱流運動を示しており、この乱流は、分子雲の重力とほぼ釣り合って分子雲を平衡状態に保つ働きをしている。そこで問題は、この乱流を生じるのに双極分子流天体の放出する運動量がどの位有効か、を評価することになる。

乱流の全エネルギーは、 10^{49} erg あるので、先ほど求めた運動量 2 太陽光度の供給が定常的にあれば、500 万年あれば乱流のエネルギーをまかなえることになる。巨大分子雲の自由落下時間は約 100 万年であるので、ここに求めた時間尺度 500 万年は自由落下時間よりも長い。

一方、乱流運動は自由落下時間の約7倍位になることを、最近米国のフランコとコックス (Franco, J., Cox, D. P., 1983) は示しており、彼らの議論が正しければ、上の時間尺度で十分乱流を保つことができることになる。もちろんここでは、分子流の運動量は全て乱流に転換できるものと仮定しているが、この仮定についても今後の詳しい吟味が必要である。

無バイアスサーベイによって、巨大分子雲に対する運動量の注入量についてかなり良い評価が可能となってきた。その結果明らかになった事は、確かに相当量の運動量が巨大分子雲に注入されており、結論的ではないにしても、その運動量が巨大分子雲の支持に重要な役割りを果たしている可能性がますます強くなったと言える。今後、乱流の発生と減衰のプロセスの解明によって、巨大分子雲の寿命という永年の問題が解かれていくことが期

待される。このためにはもちろん、理論的な検討だけでなく、観測的にも個々の場合を詳しく調べることによって、いくつかの鍵となる問題を解くことが必要である。発生したエネルギー・運動量がどのように周囲の分子ガスに伝わるか、また、分子流の駆動が恒星風のなガスによってなされているのか否か、などが課題となる。更に、分子流天体を完全に捜索した巨大分子雲のサンプルを増加させることもまた重要であり、今後、名大4m鏡等による観測データの蓄積が待たれる。

この研究は、文部省科学研究費補助金 (No. 56420004, 57420003, 58420004, 58840004, 59420002, 60302014) の援助によって行なわれている。また、名大4m電波望遠鏡によるサーベイ観測には、以下の諸氏が参加している——河鱈公昭, 小川英夫, 杉谷光司, 立松健一, 岩田隆浩, 水野亮, 森口博文, 野澤悟徳。

天文・天体物理若手夏の学校

第16回天文・天体物理若手夏の学校は、1986年7月29日～8月1日に長野県飯山市瑞徳北竜湖の文化北竜湖山荘にて宇宙線夏の学校と合同で開催されました。今回の担当は名古屋大学理学部でした。天文・天体物理から125人、宇宙線から25人の参加がありました。この夏の学校では、初めて宇宙線と本格的な合同分科会を行ない、広い視野に立った意見交換ができました。また、全体企画、各分科会ともに盛況のうちに終了しました。プログラムの概要は、以下の通りです。

*全体企画

テーマ: 「天文学と生化学の接点」

講師: 原田 馨, 斎藤修二, 坂田 朗, 中野武宣の各氏

7月31日 (午後) 宇宙分子 (斎藤氏)

宇宙塵 (坂田氏)

8月1日 (午後) 原始惑星 (中野氏)

化学進化 (原田氏)

*合同分科会

7月30日 (午前・午後) 「ニュートリノ天文学」

*分科会

7月30日 (午前) 銀河中心核, 星間物質 I

(午後) 観測機器, 天文学と社会

7月31日 (午前) 星間物質 II, 恒星・太陽

8月1日 (午前) 高エネルギー, 「H と Q」

なお、収録を希望される方は、事務局 (紀伊) までご連絡下さい。夏の学校をご支援下さった方々にこの場をお借りして御礼を申し上げます。

次回は、京都大学理学部宇宙物理が担当します。

(杉谷光司, 紀伊恒男)

<連絡先>

〒464 名古屋市千種区不老町

名古屋大学理学部物理学教室 U 研内

夏の学校事務局

(052) 781-5111 内線 6656



写真は杉並区立科学教育センター

★営業 ASIBO 品目★ 天体望遠鏡と双眼鏡 ドームの設計と施工

▶主なドーム納入先▶

東京大学宇宙航空研究所/東京大学教養学部/東京芸芸大学/埼玉大学/福島大学/川崎市青少年科学館/杉並区立科学教育センター/駿台学園高校 (北軽井沢)/船橋市立高校/高知学園/土佐市公民館/刈谷市中央児童館等の他、日本全国に100余基の実績。

ASTRO 光学工業株式会社

東京都豊島区池袋本町2-38-15 ☎03(985)1321