

オリオン大星雲と相互作用する分子ガス

杉谷 光 司*

はじめに

オリオン大星雲は、今頃の季節の夜空の最も華やかな天体の一つである。その姿は、翼を広げた鳥のように見える。この星雲では、最近生まれたばかりの重い星によって電離されたガスが発光している。星は、星雲の中心部に見えるトラペジウム（「台形」の意）と呼ばれる4つの星々である。これらの星々は、表面温度が3-5万度と高く、多量の紫外線を放出している。紫外線は、水素ガスを電離し、オリオン大星雲の発光を支えている。

それでは、電離された水素ガスはどこから供給されたのであろうか。15年位前に、一酸化炭素（化学式 CO）の放出する回転スペクトルによってオリオン星雲の方向に巨大な水素分子ガス雲の存在することが明らかになった。オリオン大星雲の質量は、太陽の10倍にすぎないが、この分子ガスの総質量は太陽の4千倍と極めて大きく、十分オリオン大星雲の質量をまかなうことができる。

OB 星団の形成と星生成のトリガー（引き金）

星は、ガスが重力的に不安定になって収縮することによって形成される。宇宙空間を眺めわたすと、星が活発に生まれているオリオン大星雲のような場所と、分子ガスは多量に存在するにもかかわらず星の生まれている兆候の乏しい場所がある。何が、このような違いの原因となっているのだろうか。

一つの予想は、外からの作用によって星の生成が促進されるのではないかという可能性である。例えば、重力と内圧がほぼつり合いを保っているような安定な平衡にある分子ガス雲を考えてみよう。もしこの雲に、外部からさらに圧力が加われば、雲を収縮させようとする力が内圧に打ち勝って雲が不安定になり、星の生成が始まることが予想される。このような「外圧」として有望視されているのは、オリオン大星雲のような電離ガスによる圧力である。一時的に「外圧」が加わって星の生成が促進されることは「引き金」（トリガー）に例えられる。

このようなトリガーが実際に効いているかどうか調べることができるだろうか。電離ガスと相互作用しているような分子ガス雲を選び出し、その分子ガス雲の力学的な性質を調べることによって、その雲における星の生成

の可能性を解明することが期待できる。そのためには、分子ガスの質量を正しく評価すること、そして、分子ガスの「内圧」を知ることが必要である。

分子ガスの質量の尺度は、炭素 13 を含む一酸化炭素 (^{13}CO) のスペクトル強度から得られる（最も存在量の多い炭素 12 は、スペクトル線が光学的に厚いために見通しが悪く、ガスの量の尺度としては使えない）。

一方、「内圧」はどうだろうか。分子雲の収縮を妨げる力としては、乱流、熱運動、回転などが考えられる。これらの力は、ガスの運動に起因するため、分子ガスの放出するスペクトル線の幅を速度に換算することによって知ることができる。例えば、図1のスペクトルを見ると、スペクトル線の半値幅は、0.9 km/s である。このガスの温度は、約 30°K であることが CO の強度からわかっている。熱運動の大きさは、約 0.5 km/s、つまり、残りの約 0.7 km/s が乱流その他の寄与ということになる。分子雲のつり合いを考えるためには（大変大雑把に言って）、スペクトルの幅から内圧を計算し、 ^{13}CO スペクトルの積分強度から総質量を求めて自己重力を計算し、両者を比較することになる。

CO での観測

私たちは、質量を求めるのに最も適した ^{13}CO のスペクトルを用いてオリオン大星雲をすっぽり囲む領域を観測した。名古屋大学理学部 4m 望遠鏡の約 3 分角のビーム幅で、約 400 点の観測を行ない、 $1^\circ \times 30'$ の領域をカバーした。因みに、この観測に要した時間は3日間、総計 18 時間程度である。この時、0.1 km/s という速度分解能を使用して、スペクトルの線幅を十分に分解できる

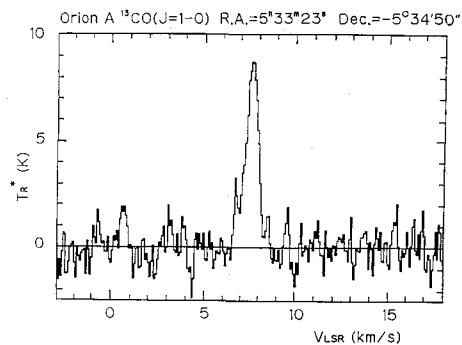


図1 4m 鏡によって得られたオリオン大星雲と相互作用する分子ガスのスペクトル。

* 名大理 Koji Sugitani: Molecular Gas Interacting with the Orion Nebula

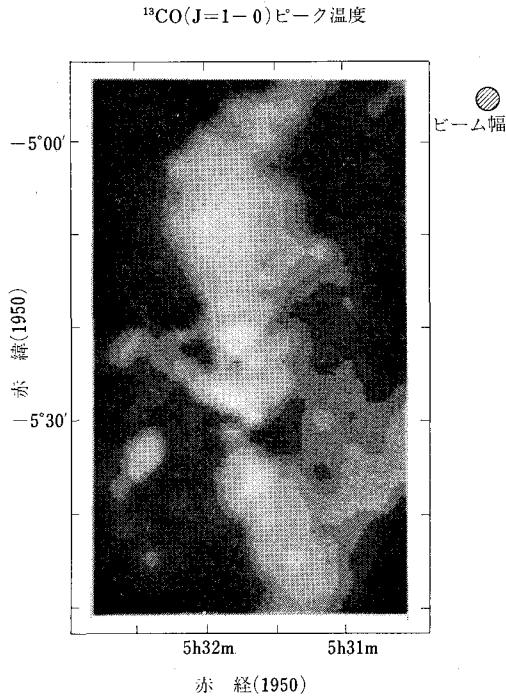


図 2 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ スペクトルのピーク温度の分布図。

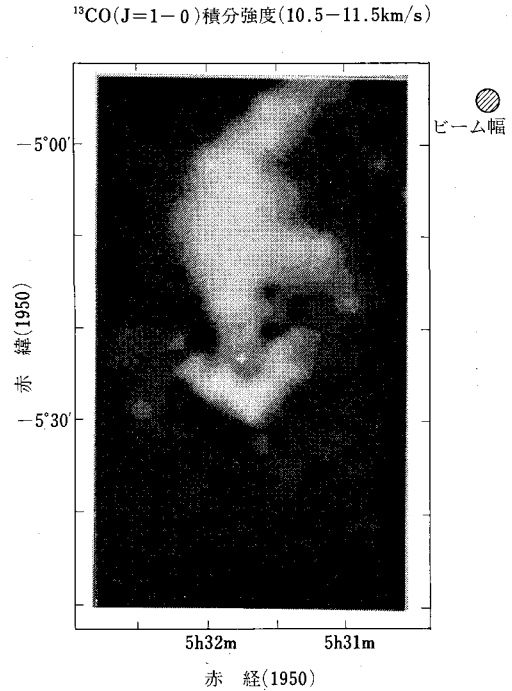


図 3 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ スペクトルの積分強度分布図。積分範囲は、視線速度 V_{LSR} が 10.5 km/s から 11.5 km/s である。

ようにした。先に述べたように、線幅の決定は内圧を正しく評価するために重要である。

結果のいくつかを、灰色濃淡表示で図 2、図 3 に示した。南北(図では上下)方向に長く伸びた分布が顕著である。最も強度の大きい領域はトラペジウム星(十印)のすぐ近くに分布している。この南北に伸びた主成分の外側に、いくつかの分子ガス雲が見える。速度を区切った分布図により、これらの成分が少なくとも、星雲の周辺で 10 個 (E1-E8, 図 4)、中心部で 4 個 (C1-C4)、合計 14 個の分離した分子雲から成っていることがわかった。図 5 に、分離した成分の 1 例を示した。

大星雲を取り囲む分子雲

光で見たオリオン大星雲の分布を ^{13}CO の分布と比べてわかることは、分子ガスが星雲の外側をとりまくように分布していることである。このことは特に星雲の東側に分布する 4 つの成分 (E2, E5, E8, E3) によってはっきりわかる。また、西側では光のフィラメント状に南北に伸びた成分にそって、分子ガスが存在している。これらの分子ガスは、大星雲に接していると考えられる。

大星雲中の電離ガスの温度は 8000°K もある。したがって内部の圧力も高く、妨げるものがなければ、どんどん膨張していくものと考えてよい。分子ガスが星雲のふちにそって分布していることは、星雲の形状が分子ガス

の存在によって決められたことを示唆している。実際、トラペジウム星団は、星雲の北の端に位置しており、星雲は南西側には伸びて分布し、境界をはっきりしないのに対して、北東側には明瞭な境界を伴ってせき止められた形になっている。

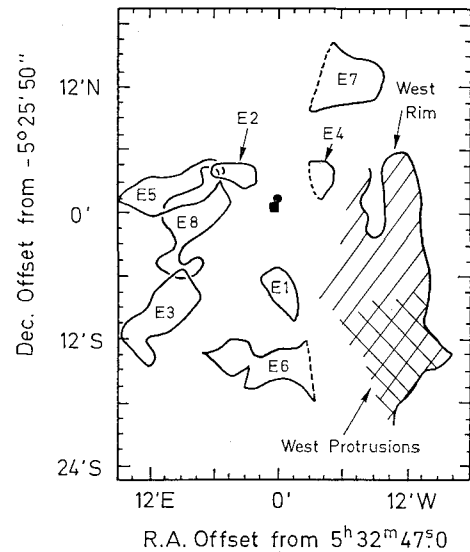


図 4 この観測で明らかになったオリオン大星雲の周囲に広がる各成分の分布を模式的に示した。●: KL/BN, ■: トラペジウム。

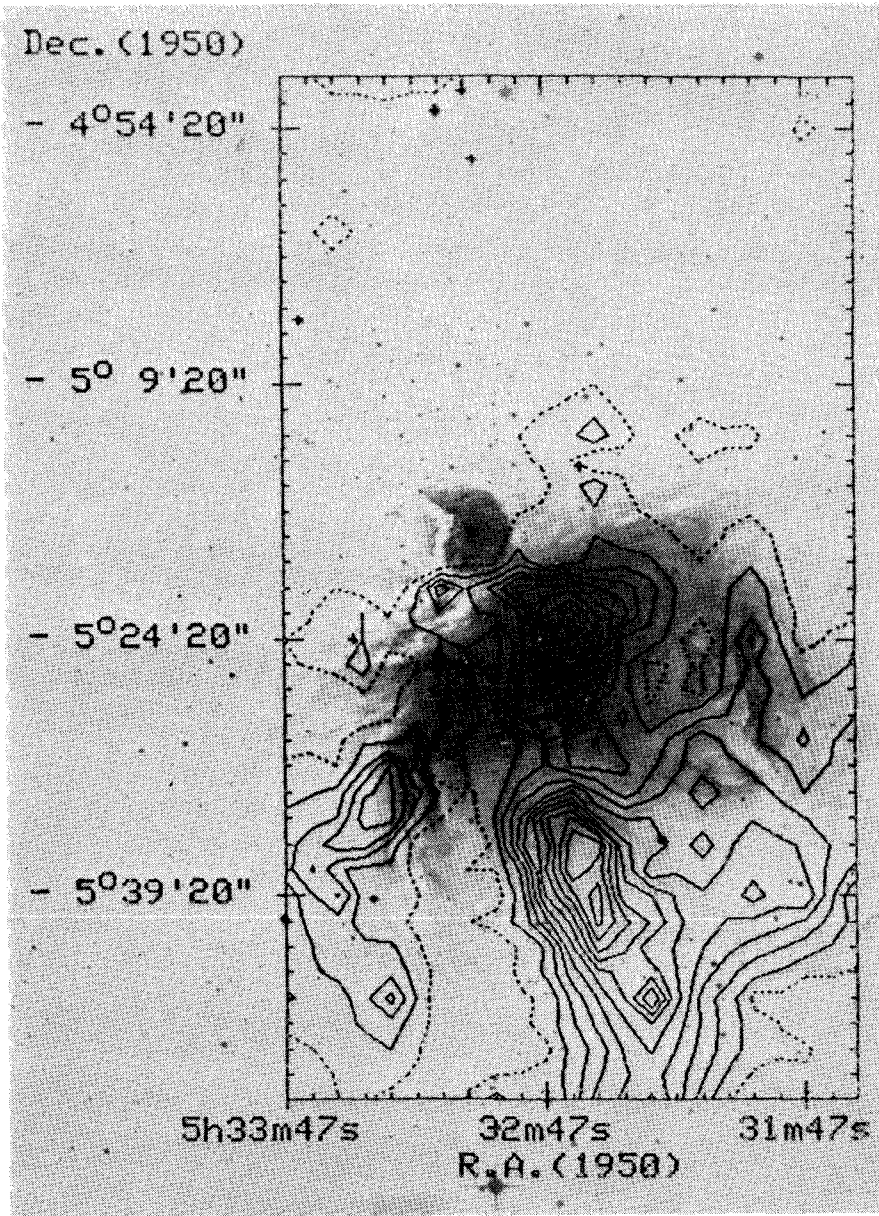


図5 ^{13}CO ($J=1-0$) スペクトルの積分強度分布図 ($V_{\text{LSR}}=7.5\text{ km/s}-8.5\text{ km/s}$) を、木曾観測所で得られた H_α の写真に重なせてある。

分子ガスが星雲の膨脹によって掃き集められたものだろうか。これは、中々難しい問題で、時間をさかのぼらなくては答えることができない。私たちはむしろ、星雲が生まれる以前に分布していた分子ガスの形が強く残っているのではないかと予想している。実際、星雲とはなれたところに突き出している E7 のような成分もあり、元々の分子ガスの分布はかなり複雑なものだったことを示唆しているからである。

トラペジウムのまわりの小さな空洞

この観測で明らかになったもう一つの新しい事実は、トラペジウム星の周囲を取り巻く、分子ガスの空洞が存在することである。この「空洞」の壁は、図3の“V”の字型の分子ガス分布に現われている。トラペジウム星は、この「空洞」のほぼ中央に位置しており、その半径約2光年はオリオン星雲全体の広がり約10光年よりもずっと小さい。この「空洞」の内側では、大星雲は最も

強く輝やいており、最も濃密な電離ガスが分布している。したがって、トラペジウム星のすぐ近く約2光年の範囲には密度の高い電離ガスがあり、そのすぐ外側を、 ^{18}CO で見える分子ガスの壁が取り巻いていると考えられる。この「空洞」は、しかし、必ずしも対称な球状にはなっていない。なぜならば、トラペジウム星を含む光学天体がほとんど減光を受けずに光で見えているように、太陽系の方向には「空洞」の壁は存在せず開放された形になっていると考えられるからである。前節で述べた星雲の大きな広がりには、「空洞」の「破れ」から電離ガスが流出して広がった結果生まれたのだろう。このようなモデルは、シャンパンがピンの口から吹き出すのに似ているので、シャンパンモデルとも呼ばれ、この観測の結果をよく説明する。

分子ガスは力学的につり合っているか？

^{18}CO の観測結果は、オリオン大星雲と接して分布している分子ガスの存在を明らかにした。これらの成分のほとんどは、電離ガスの表面にそうように延びて分布しており、電離ガスの圧力を受けている。そこで、電離ガスの圧力と ^{18}CO の観測から求められる分子ガス自身の重力の和を、 ^{18}CO のスペクトル線幅から求められる内圧と比較して、各々の成分の力学的なつり合いを調べることしよう。

14個の分子雲片の代表的なサイズは3光年、質量は100 M_{\odot} 程度であり、速度幅は0.9 km/s から3.0 km/s にわたっている。一方、電離ガスは、温度が8000K、密度が $10^2\text{--}10^3\text{ cm}^{-3}$ と考えられる。各成分毎に、〈つり合いを保つために許される最大の外圧〉と、〈電離ガスによる外圧〉を比較したのが図6である。〈つり合いを保つために許される最大の外圧〉とは、成分のサイズと内圧の比で決まる量であり、この値よりも外圧が大きいつり合いが破れて分子雲は収縮することになる。観測から求められる物理量には、ある不確かさが伴う。例えば、水素分子と炭素の組成比には2倍程度のあいまいさがどうしてもつきまとうので、その他の誤差も考慮に入れて4倍程度のずれまでは、つり合い条件を満たせるものとみなすことしよう。図6に、E3と名付けた成分がきわだって不安定になりやすいことがわかるが、他の成分はおおむねつり合いにあると見なしてよいと思われる。

オリオン大星雲は星の生成をトリガーできるか？

この観測によって、オリオン大星雲と相互作用している分子雲がもれなくピックアップされ、それらの力学的な安定度を調べることができた。その結果、ほとんどの分子雲の内圧は、収縮させる力に抗して十分雲を安定に

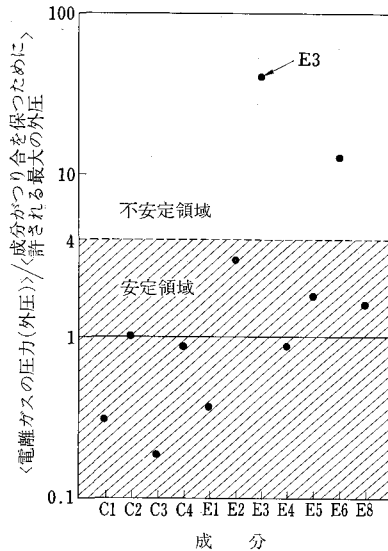


図6 電離ガスの圧力(外圧)と各成分がつり合いを保つために許される最大の外圧との比。各成分は、比が1以下の場合につり合いの条件を満たすことになる。ここでは、観測の誤差等を因数4以内として、比が4以下の場合につり合いの条件を満たすものとする。E3が最も不安定となりやすい。

保つことができることがわかった。ここでは考慮しなかった磁場の影響が効いているとすると、ますます分子雲は安定化されることになる。理論によって予想されるような電離ガスによる星の生成のトリガーは、少なくとも現在の時点では有効ではないと考えられる。オリオン大星雲の年齢は大変若く10万年程度と見つめられている。今後の星雲の膨脹によってさらに各成分の質量が増大するか、あるいは、内圧の原因となっている乱流などが減少するなどして、将来、重力的に不安定になる可能性はあるだろうか。今回の観測が、分子ガスの質量をもれなく検出していることを考えると、今後の膨脹で各成分の質量が大きく変化するとは考えられない。内圧の減少は、取り扱いの難しい問題であり、今後の課題である。

この解析から導かれる一つの重要な帰結は、電離ガスの膨脹が予想に反して星の生成のトリガーとしてあまり効率がよくないと考えられる点である。各分子雲片は比較的小きな質量しかもたず、しかも、細くのびているので、星が生まれるとしても中小質量の星であろう。他のよい効率のよいトリガーが、トラペジウムなどの大質量星の生成には必要と思われる。

☆ ☆ ☆