

二つの星生成領域

長谷川 辰彦*

私達が 45 m 望遠鏡により観測をおこなった分子雲を二例紹介する。B 335 暗黒雲と NGC 7538 分子雲、それぞれ分子雲としては小さい方と大きい方の典型である。なお、以下で私達とは、私を含めた東北大学の電波観測グループのことである。

1. B 335

B 335 は小さな孤立した暗黒雲である ($\alpha_{1950}=19^{\text{h}}34^{\text{m}}34^{\text{s}}$, $\delta_{1950}=+7^{\circ}27'00''$)。パロマ写真星図上では 1 cm に満たない星のない白いはんだ点として認められる。そのサイズは、およそ $3' \times 4'$ 、距離は 400 pc あるいは 250 pc とされる。CO 観測から求められた全体の質量は $22 M_{\odot}$ (400 pc 仮定) である。このように小さな暗黒雲であるにもかかわらず、これまでに十数種の分子が B 335 において検出されており、高密度の領域 (中心核とも呼ぶ) が存在することは容易に推測できた。にもかかわらずその中心核のはっきりした位置とサイズは明らかではなかった。これは、B 335 があまりにも小さかったからである。これに加えて、これはそれ程本質的ではないが、高密度の暗黒雲は CO ($J=1-0$)、CS ($J=1-0$)、 HCO^+ ($J=1-0$) といった観測の容易な分子線に対して光学的厚み、 τ 、が非常に大きい。B 335 の場合、 ^{18}CO ($J=1-0$) に対しても $\tau \gg 1$ である。いかに良い角分解能であっても $\tau > 1$ の分子線により観測をしたのでは中心部は見えない (ただしガス運動が大きければ話は別)。始めにあげた $22 M_{\odot}$ という値も ^{12}CO 、 ^{18}CO 観測をもとにしているから全面的に信用する訳にはいかない。

私達は、B 335 の中心域を、まずシアノアセチレン (HC_3N) という分子の $J=5-4$ (45.49 GHz) と $J=4-3$ (36.39 GHz) の二つの回転遷移で観測することにした。この分子の輝線であれば τ は小さく、中心部まで観測できるはずである。また 45 m 望遠鏡の 45 GHz と 36 GHz での角分解能は、それぞれ $36''$ と $45''$ である。観測は第一期と第二期の共同利用にわたったが、輝線が弱いこともあって、容易という訳ではなかった。それでも、まず一ヶ所だけ強い輝線の出ている所をみつけ、次いでその周囲を観測した結果、図 1 の HC_3N ($J=5-4$) 積分強度の分布図を得た。図にあるように、 HC_3N 領域はわずか $60''$ 程のサイズである。位置は B

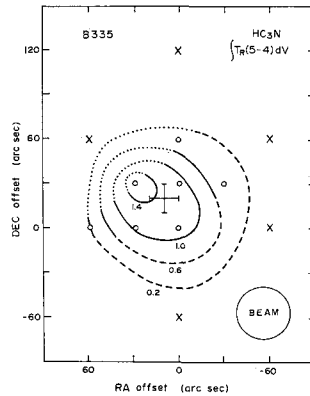


図 1 HC_3N ($J=5-4$) 積分強度分布。大きい十字印は遠赤外線源。

335 の大体中央である。これが高密度中心核であることを確かめるために、私達は $J=5-4$ と $J=4-3$ の二つの輝線の強度比からこの領域の水素分子密度を求めた。これは、密度が高ければ $J=5-4$ 輝線が $J=4-3$ 輝線より強く、逆に密度が低ければその逆になることを利用したものである。この結果、この HC_3N 領域の平均水素分子密度は $5 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ とわかった。B 335 全体としての平均密度は高く見積っても $1 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 程度であるから、私達の検出した HC_3N 領域は高密度中心核と考えてよい。この中心核のガスの質量は $1.6 M_{\odot}$ となる (距離 400 pc 仮定)。密度の割には全体に対する質量の比率は小さい。この領域は、後で述べる双極ガス流の存在を除けば、全体としては静かな領域である。観測された HC_3N 輝線幅はわずか $0.4 \sim 0.6 \text{ km s}^{-1}$ で、回転運動や収縮・膨張、あるいは激しい乱流のような運動の徴候はほとんど見られない。

私達は B 335 の中心部から表面までの密度の分布をさらに詳しく調べることにし、第三期共同利用では CS 分子の回転遷移 $J=2-1$ での観測をおこなった。図 2 は得られたプロファイルの一部で、図 1 のほぼ中央を北から南へと観測したものを上から順に並べてある。プロファイルの中央に谷があるのがおわかりいただけると思う。これは吸収によるものである。CS ($2-1$) 遷移は (他の分子や原子も同様だが) 水素分子密度が高いほど強い輝線を放射する訳だが、高密度領域から放射された電波が低密度領域 (にある CS 分子の存在する領域) を通るときには吸収が起こる。図 2 のプロファイルは高密度中心核とその外側との密度の違いを示しているのである。ただしこのようなプロファイルも速度分解能が良くなければ得られない。同じ B 335 の観測でも、高密度

* 東北大理 Tatsuhiko Hasegawa: Two Starforming Regions

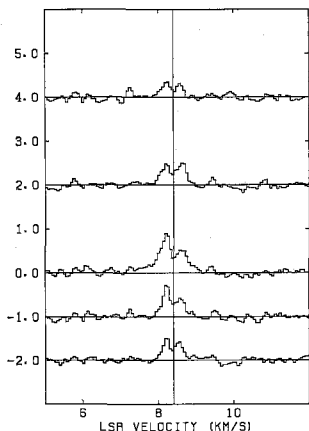


図 2 CS (2-1) のプロフィール。図 1 の RA offset 20" の所を北から南に観測したもの。

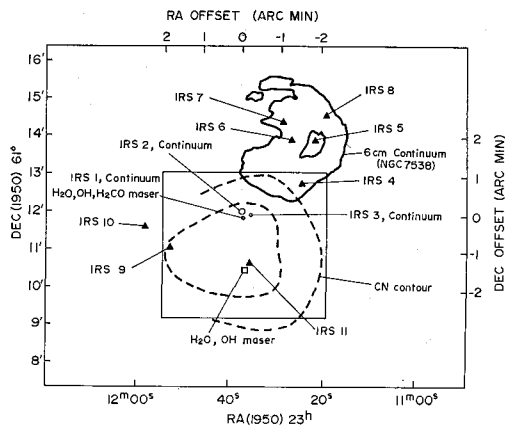


図 3 NGC 7538 分子雲の星生成領域。

領域からはずれた所を観測すると吸収のない（低密度領域からの）弱い CS (2-1) 輝線が検出される。CS (2-1) 観測にかかる低密度領域は南北 200" 以上、東西 160" 以上の広がりをもっている。現在図 2 に示したデータの解析（密度を数値として出す作業）を行なっているが、これが終了すれば中心から外側へ向かって密度が下がっていく様子が明らかになるはずである。

ところで私達の観測・解析作業と相前後して B 335 に関する新事実が報告されている。一つは遠赤外線源の発見、今一つは双極ガス流の存在の確認である。これ等の位置関係をみてみると、遠赤外線源は私達の検出した中心核の中央（図の十字印）にあり、双極ガス流は赤外線源を中心にして東西方向にほぼ対称的に存在する。つまり高密度中心核の内部で星が生まれたばかりであり、この星に起因する双極ガス流は中心核を貫き外部に流れ出している訳である。ガスの視線速度は中心核領域から出た所で $\pm 3 \sim 5 \text{ km s}^{-1}$ その広がりには東西 8', 南北 1', また遠赤外線源は質量 $2 M_{\odot}$ 以下の星である。

B 335 は星生成領域としては、最小規模の部類に属する。ただし、(1) 孤立した領域で一個だけ星が形成されているという点と、(2) 星生成過程が非常に単純な形であらわれているという点からいうと大変珍しい領域である。

2. NGC 7538 分子雲

NGC 7538 領域は典型的な水素電離領域・巨大分子雲複合領域である。その質量は全体で $10^5 \sim 10^6 M_{\odot}$ にも及ぶ。水素電離領域と分子雲の接する所には赤外線源、レーザー源、高密度電離領域が発見されており、質量の大きな O 型、B 型の星の生成活動が今も活発である。ペルセウス方向にあって、距離は 2.7 kpc とされる。

この種の巨大分子雲については、1970 年代の電波観測から、およその描像は得られている。それは、「巨大分

子雲のどこかで星生成が始まり、星生成領域が——ちょうどタバコがゆっくり燃えるように——分子雲の中を進んでいく」というものである。ところが、なぜそうなるかという説明は必ずしも充分なされてはいないのである。水素電離領域が膨張し分子雲を圧縮するという説が出たが話はそう単純ではない。NGC 7538 分子雲もその単純でない例である。確かに水素電離領域に接して星生成領域があるのだが（図 3 参照）、この活動的な領域は、圧縮によりできた面というよりは、高密度（約 10^4 cm^{-3} ）で大質量（約 $2 \times 10^3 M_{\odot}$ ）のガス塊という表現がふさわしい領域なのである。そしてこのガス塊（これを高密度コア領域と通称する）の中に、あるいは単独で、あるいは 2 つ 3 つかたまって、赤外線源が存在しているのである。NGC 7538 領域の場合、水素電離領域と星生成領域とを結ぶ軸が視線と直交しているため上のような状況がよくわかる。ではこの高密度コアの内部はどうなっているのか？

45 m 望遠鏡によるこのコア領域の観測は第一期共同利用期間におこなわれた。観測した分子線は CS ($J=1-0$)、 $C^{34}S$ ($J=1-0$)、 CH_3OH ($J_K=1_0-0_0$ A, E) である。観測された CS ($1-0$) の線幅（半値全幅）は大体 5 km s^{-1} で、従ってこの程度の内部運動がコア内全域にわたって存在する。この遷移に対するコア領域の光学的厚み、 τ は $3 \sim 5$ 程度あり、この輝線の強度からは物質分布はよくわからない。しかし $C^{34}S$ ($1-0$) ならば $\tau < 1$ で輝線強度は分子の（従ってガスの）柱密度を反映する。図 4 がその分布図で、二つの山があらわれていることがわかる。つまり、二つのガス塊がコア内に存在する。また、これ等が赤外線源と一致していないこともわかる。 CH_3OH の強度分布も図 4 と同様である。この星生成領域（コア）の平均水素分子密度は、解析の結果 $1.5 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 、また、その質量は $5 \times 10^3 M_{\odot}$ と出た。

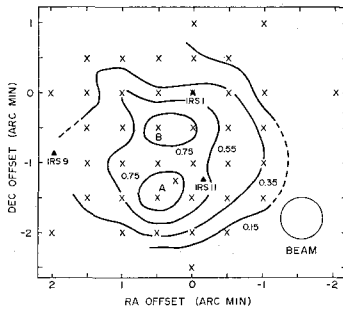


図4 C¹⁸S (1-0) 強度分布.

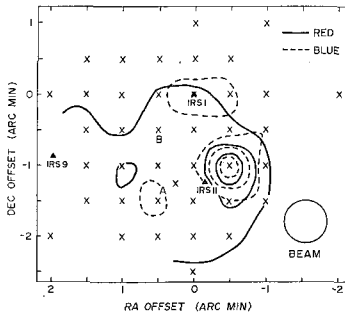


図5 CS (1-0) でみられる高速度成分の分布図. Blue (---) は手前向き, Red (—) は向こう向きの成分. 両者とも 4~10 km s⁻¹ の速さである.

ところで, CS (1-0) は τ が大きく, 内部は観測できないと書いたが, コア領域の大部分のガスに対して高速度 (線幅以上) で運動しているガスは, プロファイルのスノの所にあらわれてくるので, これは観測することができる. NGC 7538 コア領域の観測ではこうした高速度成分

が各所で検出された. その相対視線速度は $\pm 10 \sim 20$ km s⁻¹ にもなる. 図5はコアに対して手前向き (点線) と向こう向き (実線) の運動をする成分の分布図である. IRS 11 の北西, 及び IRS 1 や A とある点のあたりで手前向きと向こう向きのガス運動がある (この他, 領域全体にわたって向こう向きの成分が存在する). こうして, 3ヶ所あまりの対称なガス運動 (これはもはや高速ガス流と呼ぶ方がふさわしい) が存在することが判明した. このような高速ガス流が内部に存在すれば, それまわりのガスにぶつかり, 圧迫し, かきまわすはずだから, このコア領域内が静穏であろうはずがない. CS (1-0) の輝線幅 5 km s⁻¹ は, こうした状況の反映なのである. それではこの高速ガス流がどうして生じるのかということ, これは他の星生成領域に見られる双極ガス流と同様, 生まれたばかりの星の活動によるものだろう. IRS 1 のまわりにある高速ガス流は双極ガス流である. IRS 11 の場合は, IRS 11 自身あるいは未発見の星が, そして点 A の付近は, やはり未発見の星が, 高速流を生み出していると私達は考えている. 図2の話の所で赤外線源とコア内の2つの小さなガス塊が重ならないと述べたが, これは高速ガス流によって圧迫されて密度が高くなったのか, 又はもうすこししたら星が内部に形成されるような領域なのだろう.

以上, 私達の観測した分子雲——星生成領域について述べた. 二つの領域の相違点は当然あるが, 共通する点 (コアの存在, その中での星生成, 双極流あるいはガス流) もあることに気付いた方もいらっしゃると思う.

お知らせ

1. 昭和60年度(第2回)井上學術賞候補者募集について

上記について井上科学振興財団より本会あて下記要項で推薦依頼がありました. 希望者は庶務理事までご連絡下さい. (学会締切りは9月5日(木))

記

1. 候補者の対象

自然科学の基礎的研究で業績が特に顕著なもの. ただし, 研究者の年齢が昭和60年9月20日現在で満50歳未満のものに限る.

2. 学術賞

本賞及び副賞200万円. 受賞者は, 原則として1件について一人とします. 特に複数であることを必

要とするときは, それらの研究者の寄与が同等であることを示して下さい.

3. 推薦締切期日

昭和60年9月20日(木)

4. 学術賞の贈呈

昭和61年2月4日(火)の予定

2. 特別会員佐藤明達氏より, このたび100万円の御寄付がありました. 使途については特別会計のうちで内地留学奨学金を主とし, 該当者のないときは学術交流費に用いることも可というものです. 春の年会時の評議員会で受け入れを決め, 理事長より御礼を申し述べました. 蛇足ですが, 佐藤さんは京大宇宙物理の御出身で大阪の電気科学館に勤めておられ, '天界'その他に健筆をふるっておられます.

(庶務理事)