

オリオン座に星の生成過程を探る

小 暮 智 一*

1. オリオン座と輝線星

「天文月報」第 83 巻 9 号に立松さんらが野辺山宇宙電波観測所の 45 m 電波望遠鏡で観測したオリオン座分子雲の話を紹介しています。オリオン座には巨大な分子雲が存在し、その濃密な領域で今も活発な星形成がすすんでいるという話です。電波でみる分子雲コアや赤外線で見ると赤外線点源などは生まれたばかりの、年令でいえば 10 万年から 100 万年そこそこの、人類の誕生よりずっと若い天体です。

オリオン座の三つ星のあたりには広く OB 星が分布してオリオン OB アソシエーションと呼ばれています。これらは 1 千万年から数百万年前に誕生した大質量星の群れです。それと並んで、暗黒星雲に沿っておうし座 T 型星 (T Tau 型星) の分布も昔から知られていました。これらは若いものでは数十万年、古いもので 1 千万年といった種々の年令を持つ若い小質量星です。このような星ぼしを探し、その年令や空間分布などを調べることで、オリオン座領域の星生成の歴史をたどることが出来るわけです。オリオン座の星生成活動は千数百万年前から始まったと考えられています。銀河系の百億年の歴史からみればごく最近の事件といえましょう。オリオン座の概略は図 1 を参照して下さい。オリオン分子雲の輪郭は図の暗黒星雲の輪郭とよく似ています。

OB 星についてはオランダのブラーウ (1964) が色等級図上の星の分布から年令を推定し、このアソシエーションを天空の西北から東南にかけて 1a, 1b, 1c, 1d という 4 つのサブグループに分けました (図 1)。その後、アメリカのワーレンとヘッサー (1977) がそれぞれのサブグループについて詳しい観測を行い、これらの星々がサブグループを形成してきた経緯を統計的に調べました。それに対して T Tau 型星については主として暗黒星雲に沿って、古くはハロー (1953)、ハローとモレノ (1953) たちによって、また、最近ではパルサミアンとシャピラ (1982) によってサーベイ観測が行われ、約 700 個の T Tau 型星が検出されていました。しかし、これらの星の OB アソシエーションとの関係や、暗黒星雲外の分布などについては殆ど注意が向けられませんでした。おそらく、T Tau 型星は当然暗黒星雲と結びついているという先入観があったためでしょう。

広い領域で T Tau 型星を探すにはまず水素の H α 線を輝線として示す輝線星を探します。それには対物プリズムをつけた広視野のシュミット望遠鏡が有力な方法です。輝線星が見つかったら次にその明るさ、変光特性、分光型などによって T Tau 型の確認を行います。私たちのところでも輝線星サーベイには興味があり、インドネシアから来ていたスハルジャ・ピラミハルジャさん (現バンドン工科大ボスカ天文台) が仲野誠 (現大分大)、吉田重臣 (現木曾観測所) さんらとともに木曾観測所のシュミット望遠鏡でおおいぬ座付近の輝線星サーベイをやっていました。1985 年の暮れ、たまたま時間にゆとりができて望遠鏡をオリオン座に向けました。そして驚いたことにオリオン座の三つ星からその南北にかけてたくさん輝線星が見つかったのです。西の方にもさらに広く分布している気配です。私たちはここでオリオン座の輝線星サーベイに興味を持ち計画的に取り組んでみようということになりました。このころチリのセロトロロでシュミット観測をしていた小倉勝男さん (国学院大) がこの計画に加わり、その後、オリオン・いっかくじゅう座の分子雲サーベイに興味をもっていた岩田隆浩さん (現通信総合研鹿島宇宙通信センター) も参加し、こうして輝線星サーベイの観測が始まったのでした。

2. 輝線星サーベイ

木曾観測所の 105 cm シュミット鏡は視野が $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ あります。私たちは当面の観測目標をオリオン三つ星のやや南西を中心とする 4 天域 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ (図 1) におき、1986 年の秋からはじめて 1989 年の春までに 3 年がかりの観測を終えました。そのあいだに 4° プリズムの分光乾板 (分散 700 \AA mm^{-1}) を 29 枚、直接写真 (V, B バンド) を 15 枚撮影しました。4 天域の観測にこれだけの枚数を必要としたのは木曾観測所の天候、とくにシーイングで適切なものがなかなか得られなかったこと、長時間露出 (90 分) による像の流れなどが原因です。木曾の 4° プリズムにはシーイングが良すぎると像が割れてかえって見にくくなるという問題もあります。このほか、小倉さんが CTIO のカーチスシュミット望遠鏡 (補正板 61 cm, 主鏡 91 cm, 焦点距離 213 cm) で撮影した 2 枚の分光乾板 (6° プリズム, 分光分散は 600 \AA mm^{-1}) がありました。南米のセロトロロはさすがにシーイングが良くシャープなスペクトルが写っていますが、おもしろいことに、H α 輝線の強い星はこのシャープなスペク

* Tomokazu Kogure: Star Formation Process in the Orion Region

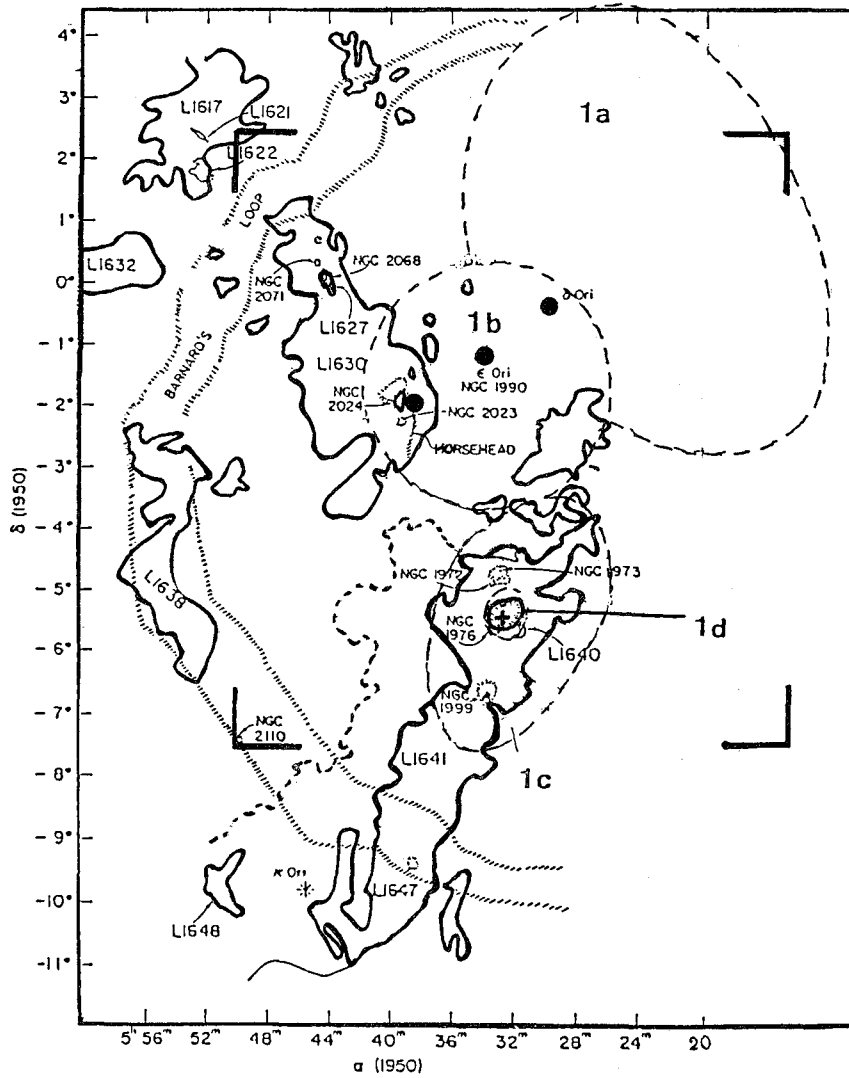


図 1 オリオン座の概要.
 主な暗黒星雲, 散光
 星雲, および, OB
 アソシエーション
 1a, 1b, 1c, 1d を示
 す. 輝線星のサー
 ベイ領域はかぎ括弧で
 示してある.

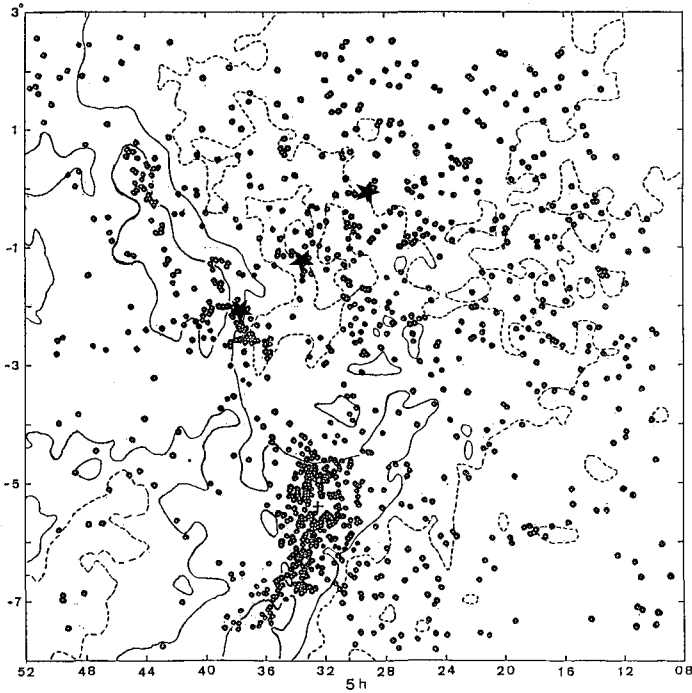
トルの方が検出しやすいのに対し, 輝線の弱い星ではかえってシーイングの悪い木曾の乾板の方が見つけやすいという傾向があります.

輝線星の検出はルーペによる丹念な眼視検査でおこないました. 増感したコダックの 103aE 乾板に RG 610 のフィルターをつけ, 波長領域を狭く (6200~6800 Å) してたくさんの星のスペクトルが重ならないようにしてあります. スペクトルは幅付けしてありませんので, 輝線を検出するには細心の注意とある程度の慣れが必要です. この点でスハルジャさんはその天性を発揮し, 私たちが見落としていた沢山の輝線星を見つけてくれました. これらの検出された輝線星は直接写真像の上で同定を行い, その位置 (α, δ) と明るさ (V 等級) の測定を実施しました. その結果, 4 天域全体で 1099 個の輝線天体が検出されましたが, そのうち 688 個はこれまでのカタ

ログにない新しい天体です. 輝線天体の中には 2 個の輝線銀河と 10 数個の星雲状天体が含まれていますが大部分は星です. 図 2 に検出された輝線天体の分布状態を示しました. それに重ねて富田良雄さん (京大理) が大宇陀観測所のシュミット観測に基づいて作成した星間吸収量の分布を比較のために示しました. 吸収量の多いところは暗黒星雲となりますがその輪郭は図 1 を参考にして下さい. また, これと比較するためにワーレンとヘッサーによる OB 星の分布とサブグループ 1a, 1b, 1c, 1d の境界を図 3 に示しました.

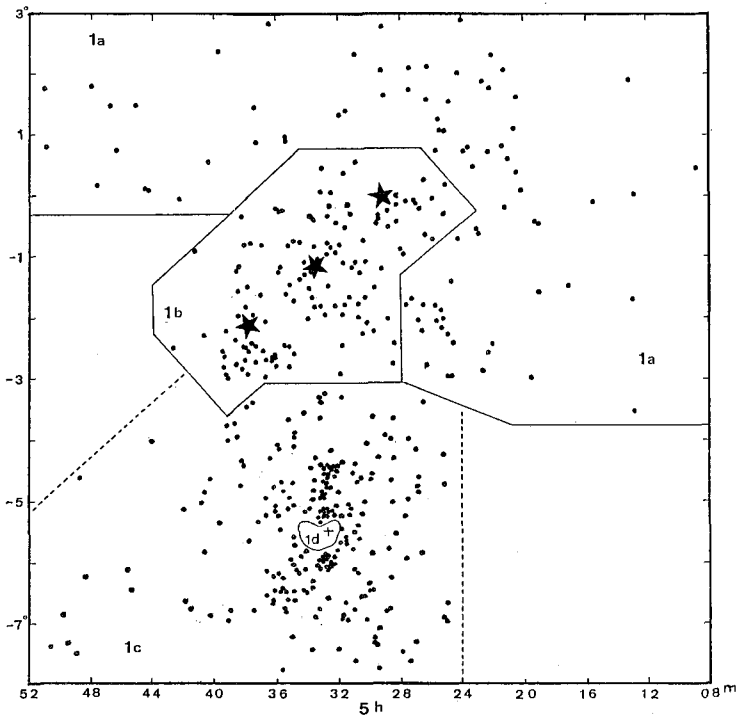
私たちのサーベイから得られた輝線星について主な結果を OB 星の分布と比較しながらまとめてみましょう.

(1) 検出された輝線星の限界等級は $V=17.5$ 等級でバルサミヤン・ジャビラと同程度の深いサーベイになっています. 明るさの分布を見ると 15 等級あたりにピ



▲
図 2 検出された輝線星の分布と星間吸収量のマップ。星間吸収量は $A_V=0.5$ (波線), 1.0, 2.0 (実線) で示す。また, オリオン三つ星を星印, オリオン星雲を+印で示した。

▲
図 3 OB 星の分布とアソシエーションのサブグループ 1a, 1b, 1c, 1d の境界 (ワレンとヘッサー 1977 により) を示す。ただし, 1d 領域は輪郭だけ示してある。



ークを持ち, 大部分は 14~16 等の範囲に入っています。これは太陽近傍の T Tau 型星をオリオンの距離においたときの明るさの分布とよく似ており, これらの輝線星が T Tau 型星であることを示唆しております。一方, ワレンとヘッサーによる OB 星を見ると $V=8$ 等級に

ピークを持ち, 輝線星とは明らかに別の分布となっております。この OB 星との等級の差も T Tau 型星であることの根拠の一つと考えられます。

(2) 輝線星の空間分布は予想されたようにオリオン A, B と呼ばれる暗黒星雲に沿って高い表面密度になっ

ています。この領域ではこれまでのサーベイでも多数の輝線星が検出されておりますが、それらは必ずしも私たちの輝線星とは一致していません。これまでの輝線星のなかにも今回輝線を示さなかったものがたくさんあります。その理由は恐らく $H\alpha$ 輝線強度の時間変動にあるのでしょう。次にもっとも顕著なサーベイ結果といえば輝線星の分布が暗黒星雲の西側へ大きく広がっている点です。暗黒星雲から離れた領域でも平均 1 平方度あたり 9 個の輝線星が分布していますが、良くみると一様ではなく、ところどころに緩やかな集まりを示します。図 3 と比較すると OB の分布とは一致していないこともわかります。たとえばオリオン星雲の西、図の右下の領域と三つ星の東側に OB 星の欠けた領域が輝線星の広い分布に較べて目立ちます。また、オリオン星雲 (図の+印) を中心としてオリオン A には OB 星と輝線星が高い密度で共存するのに対し、オリオン B の暗黒星雲帯では輝線星の顕著な集中にたいして OB 星の欠如が目立ちます。馬頭星雲のあたりと三つ星付近では両者が共通の集中を示しています。これらは局地的な分布模様ですが、全体的にみると OB 星に較べて輝線星の方が空間的に広く分布しています。輝線星を小質量の T Tau 型星と見ればこの傾向はラーソン (1982) が指摘した“星生成領域では重い星が中心部に集まる”という傾向とあっています。それに関連して星形成過程については IMF (初期質量関数 = 星が誕生したときの星の質量の分布状態) という、まだ解決していない問題がありますが、オリオン座の重い星 (OB 星) と軽い星 (T Tau 型星) の分布と形成年代の研究は IMF の問題に一つのヒントを与えるものと期待されます。

(3) 輝線星と暗黒星雲および分子雲との関係を見ると確かにオリオン A, B の領域で輝線星の密度が高く両者に関係の深いことがわかります。暗黒物質の濃いところに暗黒星雲、散光星雲が存在し、そこに輝線星も高い密度で分布しますが、詳しくみると輝線星の分布の中心線は分子雲のいちばん濃密な尾根の線とは一致していません。輝線星の分布がやや西に片寄っているのです。輝線星が西の方に広く広がるのに対し、暗黒星雲物質はむしろ東側に広がっています。そこには恐らく両者の成因の差があるのでしょう。そのさい、輝線星を T Tau 型星とすれば、通常は暗黒星雲/分子雲の内部または近傍に存在するはずの T Tau 型星がなぜ星雲から離れた場所に、しかもかなり大量に存在するのか、その理由を考える必要があります。いくつかの可能性があげられます。

a. 暗黒星雲帯で誕生した T Tau 型星が自由な固有運動によって星雲帯からにじみでた、b. T Tau 型星を生みだした星間雲はその後この領域から拡散して消えてしまった、c. OB 型星が誕生したためもとの星間雲は OB

星の星風によって吹き飛ばされてしまった、などが考えられます。もし a でであるとすれば、なぜ、輝線星は西側優先でにじみでたかの説明が困難でしょう。b, c の可能性が高いように思われますが、一部に考えられているような超新星爆発の影響という可能性もあり、詳しいことは今後の課題といて良いでしょう。

(4) 連続光に対する $H\alpha$ 輝線強度を私たちは眼視検査によって 5 (非常に強い)、4 (強い)、3 (普通)、2 (弱い)、1 (非常に弱い) という 5 段階に分けて評価しました。これは初期のハロー (1653) 以来の慣例となっているものですが、初めの頃はハローやそのほかの人たちと評価があわないのではないかと心配に思っていました。しかし、共通の星について比較したところ、予想以上に評価が揃っているのに安心し、また、それによって輝線強度変化もかなり追跡することが出来るようになりました。私たちの観測でも三つ星をふくむ領域で 2 年を隔てた観測例がありますが、その間にも輝線の強さがおおきく変わった例もあります。こうした資料から輝線の強度変化の時間スケールは 2 ~ 3 年ではないかと推定されました。一方、輝線星の輝線強度の場所による違いを調べたところ、一般的な傾向としては、暗黒星雲に近い星ほど輝線強度が高く、星雲から離れるにしたがって強度が低くなることがわかりました。オルターら (1988) やストロームら (1989) による最近の観測では T Tau 型星は前主系列の若い段階ほど輝線強度が強く、進化が進んで主系列に近づくにつれて弱くなる傾向が指摘されています。この傾向によると、オリオン領域でも現在の暗黒星雲帯から離れた輝線星ほど年令が古く、暗黒星雲内部の輝線星がもっとも若いということになります。これは分子雲コアや赤外線線の分布などとも話があってもっともらしく思われますが例外も多く単純ではありません。

3. 分光追跡観測

輝線星サーベイの結果について前節でいろいろな議論を致しましたが、その前提に輝線星が T Tau 型星であるという仮定がありました。この仮定を確かめるために私たちは Mt. Stromlo 天文台で分光追跡観測を実施しました。第 1 回目は 1988 年の 1 月に小倉さんと二人でオーストラリアに出かけ、オリオン座三つ星周辺のサンプル星について観測を行いました。ここでは 188 cm 反射鏡のカセグレン分光器に CCD を組み込んだフォトンカウンティングアレーが取り付けられており、分解能が $6 \text{ \AA}/\text{pix}$ 程度の低分散スペクトルであれば 15 等級の星を 30 分くらいの積分時間で観測することが出来ます。私たちは 4 夜の期間中に 34 星のスペクトルを得ることが出来ました。これらの星について分光分類と $H\alpha$, $H\beta$ 輝

線強度の測定を行いました。その結果、分光型は大部分が G 型より晩期で特に K 型に集中しています。低分散分光なので光度階級の判定は無理ですがオリオン座までの距離を 1500 光年とすると V 等級と分光型を用いて HR 図を書き、主系列星の位置を書き入れることが出来ます。図 4 はこうして作成した HR 図です。図中白丸がわれわれの輝線星で、黒丸は同じ領域 (アソシエーション 1b) の OB 星の分布を表します。この HR 図上の分布からこれらの輝線星は大部分が主系列星より上にあり T Tau 型星の分布する領域に入ります。また、H α 線強度も輝線等価幅が 50~200 Å に達するものが多く、これも T Tau 型星の輝線特性とよく一致します。こうした観測結果から輝線星の大部分は T Tau 型星であると結論されました。HR 図上で分布する領域がかなり広いことから、その年齢には大きな開きがあることもあわせて推定されます。

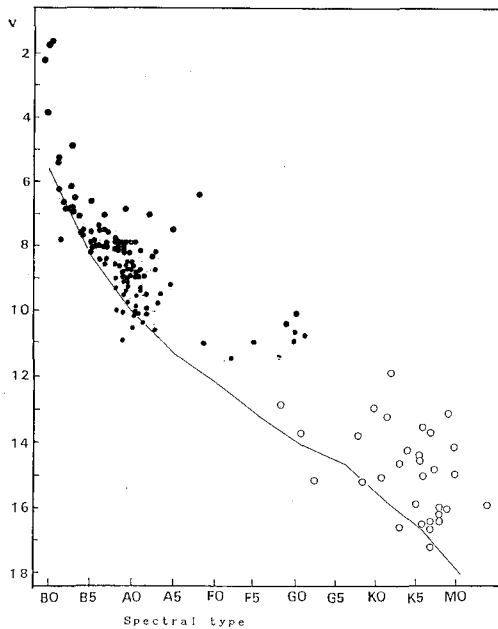


図 4 オリオン座三つ星周辺 (アソシエーション 1b 領域) の輝線星と OB 星の HR 図。白丸が輝線星、黒丸が OB 星をあらわす。実線はオリオン座星形成領域の距離を 1500 光年、星間吸収を 1.0 等としたときの主系列を示す。

4. オリオン座領域の星生成活動

輝線星サーベイによってオリオン座 OB アソシエーション領域にアソシエーションを越えた広い範囲に T Tau 型星が分布することが判りました。どこまで広く分布するのか私たちのサーベイした 4 天域ではまだ十分ではありません。輝線星サーベイをより広い天域に広げる観測や、分光追跡観測の蓄積も重要です。

一方、OB 星の生成過程についても話は単純ではないようです。ワーレンとヘッサー (1977) はアソシエーションに属する 526 個の OB 星を同定しサブグループごとに丹念に分布特性などを調べましたが、そのデータを用いてサブグループごとの HR 図を作成するといくつかの傾向が現れてきます。まず、主系列星の青側への伸びから年齢を推定すると殆ど差は出て来ません。しかし、主系列への星の集中度、低温度側への分布の広がりなどからは平均として 1a→1b→1c→1d へと年齢の若くなるのが推定できます。一方、星の平均の明るさが 1a から 1d へと順に暗くなるという点ではむしろ 1a がもっとも若く見えます。これらを総合すると OB 星の形成過程について次のようなシナリオが浮かんで来ます。オリオンアソシエーション領域に、千数百万年前に巨大分子雲が現れ、星形成活動が始まった。その活動はアソシエーション全域においてほぼ同時期に最初の OB 星を生み出したが、数百万年後にサブグループ 1a でもっとも早く形成活動は終了し、1b がそれに続いた。しかし 1c、1d では現在もその活動が続いていて、とくに 1d では最近の活動が著しい。この過程で活動期の変遷とともに生成される星の平均の質量が次第に低下した。

このシナリオではまだ小質量の T Tau 型星がどのように形成されたか、OB 星形成との関係についても、また分子雲や IRAS 天体の分布との関係についても肝心の話は組み込まれていません。今回の輝線星サーベイでひとつ意外に見えたのは輝線星の IRAS 天体への同定の比率の低さです。これは暗黒星雲帯を離れた T Tau 型星では実際に星周圏ダストが少ないためなのか、あるいはオリオンまでの距離が大きいため IRAS 衛星のサーベイが及ばないためなのか、検討を要します。また、ひろく輝線星について近赤外での測光観測をおこなって、星の光度 (L) と有効温度 (T_e) をみちびき (L, T_e) 図上で個々の星の年齢を推定することも重要です。それによっても IMF が時間的に、或いは場所的に変動したものかどうかについても解明の糸口がつかめるかも知れません。しかし、まだ、輝線星のサーベイも分光追跡観測も終わっていません。観測領域をさらに広げる必要があります。現在計画中のこれらの観測が進展したときにはオリオン領域の大小質量星を含む全体的な星形成過程の様子がもう少しはっきりするでしょう。それによって上に述べたシナリオはさらに詳しくなり、もっとリアルな物語への進展があると期待されます。