

巨大分子雲中における星形成

馬場 大介

〈名古屋大学理学部 〒464-8602 名古屋市千種区不老町〉

e-mail: baba@z.phys.nagoya-u.ac.jp

巨大分子雲とは質量が太陽の10万倍を超えるような、非常に質量の大きな水素分子ガスの集まりです。我々の銀河系に存在する星の大半は巨大分子雲中で生まれたと考えられているので、巨大分子雲中でいかに星が形成されるのかという研究は、単にそのような環境下での星形成過程を理解するだけでなく、我々の銀河系の生い立ちを知るうえでも非常に重要です。私は、IRSF/SIRIUSを用いて南天のほ座に存在する巨大分子雲を観測しています。この研究は現在進行中ですが、本稿ではその途中経過として、この領域で我々が初めて明らかにした、生まれたばかりの若い星団について紹介します。

1. 分子雲中での星形成

星は宇宙空間に漂う水素分子ガスの雲（分子雲）から生まれます。通常、分子雲は自身の質量による重力（潰れようとする力）と、分子雲中の超音速乱流等による圧力（広がろうとする力）が釣り合って存在しています。しかし、分子雲の中でも密度が非常に濃い領域では、しばしば重力が圧力を上回り、分子雲が潰れて星へと進化していきます。

太陽近傍にある代表的な星形成の起きている分子雲としては、約400光年の距離にあるおうし座分子雲、へびつかい座分子雲、カメレオン座分子雲などがあります。これら近傍の分子雲は、それぞれの（総）質量が太陽の約1万倍以下と比較的小さく、分子雲中の塵が背景の星の光を遮るために暗黒星雲として観測されます。

一方タイトルにある巨大分子雲ですが、これは先に述べた暗黒星雲とはいろいろな点で異なります。一つは質量の違いで、巨大分子雲は暗黒星雲よりも1桁以上質量が大きく、太陽の約10万倍以上あります。もう一つは太陽系からの距離で、

上記の暗黒星雲に比べるとかなり遠い位置にあります。最も近くにある巨大分子雲であるオリオン座分子雲ですら、太陽系からの距離は約1500光年もあります。さらに挙げられるのは、星形成モードの違いです。一般に、星形成モードには孤立的星形成と集団的星形成の2種類があるとされています。前者は、分子雲の至る所で星が孤立して静かに生まれている状態で、暗黒星雲ではこのモードで星形成が起きていると考えられています。後者は、分子雲中の密度が非常に高い領域において星が固まって（星団をなして）生まれている状態で、巨大分子雲ではこのモードが優勢といわれています。これらの二つのモードでは星形成効率（分子雲の全質量のうち、何%が星となるか）が異なり、前者は数%なのに対し、後者は十数～数十%といわれています。

以上述べたように、暗黒星雲と巨大分子雲の質量と星形成モード（＝星形成効率）の違いを考えると、我々の銀河系にある星の大半は、暗黒星雲でなく巨大分子雲で生まれたと考えられます。つまり、我々の銀河系を形作る星がどのようにして生まれたかを知るには、巨大分子雲中での星形成

(特に集団的星形成)に関する研究が必要不可欠だといえます。

2. ほ座の巨大分子雲

ほ座の巨大分子雲は、太陽系からの距離が約2300光年と、オリオン座分子雲よりも少し遠くにあります。巨大分子雲の中では比較的近い方です。南天の天体であるため、日本からは見ることはできません。この巨大分子雲は四つの独立な分子雲(A, B, C, D)で構成されています¹⁾。なかでも分子雲Cは、非常に密度の高いガスが大量に存在し、たいへん若い領域と言われています²⁾。このような若い巨大分子雲を全体にわたって観測することは、巨大分子雲中での星形成活動の初期段階を知るうえで非常に重要であると考えています。しかし、ほ座の分子雲に対する近赤外線での観測は、南天にあることも障害になって、これまでは興味ある領域のスポット的なものがほとんどでした。そこで、私たちはこの分子雲C全体をサーベイ観測しようと考えました。

3. 分子雲Cに対する近赤外線サーベイ

分子雲中に埋もれた若い星の観測には、しばし

ば近赤外線を用います。可視光でなく、近赤外線を用いて分子雲中を観測するメリットは、主に二つあります。

1) 星間塵による減光を受けにくい。

分子雲の中には、大きさが $0.1\mu\text{m}$ 程度の塵が存在します。この塵が、分子雲の背景ないし内部の星からの光を吸収、散乱するために、星から我々に届く光の量が減少します。そのため、星の明るさが暗くなります(減光)。光がどれだけ減光を受けるかは、波長によって異なります。一般に、同じ量の塵を通過する場合でも、波長の長い光ほど減光を受けにくくなります。夕方に沈みかけの太陽が赤いのもこれが原因で、青い(波長の短い)光の方が赤い(波長の長い)光より多く減光を受けるため、赤い光の方が多く我々に届きあのように見えます。つまり、分子雲内部の観測には、我々の目に見える光よりも波長の長い近赤外線を用いた方が、それだけ分子雲の奥まで見通すことが可能なため有利になります。

2) 若い星の観測に有利

星の色(最も明るい光の波長)は、恒星表面の温度によって異なります。表面温度が高い星ほど青く(短波長側で明るい)、低い星ほど赤く(長波長側で明るい)になります。我々の太陽の表面温度

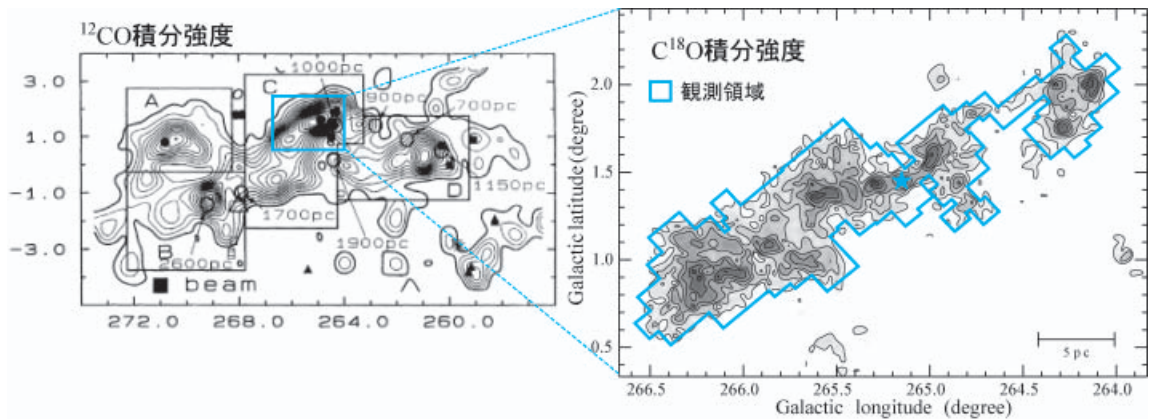


図1 観測領域のマップ。

左: ほ座の巨大分子雲全体の ^{12}CO 輝線の積分強度図¹⁾。A-Dの4領域に分けられる。右: 分子雲Cの C^{18}O 輝線の積分強度図²⁾。星印の位置に星団がある。

は約 6,000°C で、光の波長で約 $0.5\mu\text{m}$ (黄色に相当) 付近で最も明るくなります。生まれたばかりの星の表面温度はこれよりももっと低く、一番明るい波長が可視光でなく近赤外線になります。

また、若い星はその進化過程において星の周囲にガス (+塵) の円盤を形成し、星の周囲の物質はこの円盤を介して星へと降り積もります。このとき、星へと降り積もる物質の重力エネルギーの解放と星自体からの輻射により星周円盤は暖められ、星に近い部分は近赤外線で輝きます。

以上のように、生まれたばかりの星は可視光よりも近赤外線で見えるので、近赤外線を用いての観測が有利になります。

観測は IRSF/SIRIUS を用いて、2002 年 2 月、2003 年 2-3 月、2004 年 1-2 月に行いました。一視野のサイズが約 $7'.7 \times 7'.7$ なので、観測視野数は 113 視野で、観測面積の合計は約 1.5 平方度になります (図 1 参照)。我々の観測は、Ks バンドの限界等級が約 17 等、検出器一素子あたりの空間サイズが $0''.45$ と、全天を J, H, Ks バンドで

サーベイした 2MASS に比べ、限界等級で約 2 等深く、分解能で約 4 倍高くなっています。この角度分解能と限界等級で、巨大分子雲を広くサーベイした例はほかにありません。本稿では、このサーベイの成果の一つである、ほ座分子雲 C に存在する若い星団 (図 2 参照) について述べます³⁾。

4. RCW 36 に存在する若い星団

この星団のある領域は、可視光では RCW 36 と呼ばれる星雲 (電離水素領域) がぼやっと光るのが見えるにすぎず、これまではあまり注目されていませんでした。2003 年にほかの研究グループが近赤外線でのこの領域を観測し、星団が埋もれていることは明らかになりました。しかし、彼らの観測は見ている範囲が狭いため、彼らはこの星団を小さな星団と考えそれほど注意を払っていませんでした⁴⁾。我々の観測は幸いにして視野が広く、この星団の全体をカバーすることが可能であったので、この星団が非常に大規模で注目に値するとの認識を得ることができました。

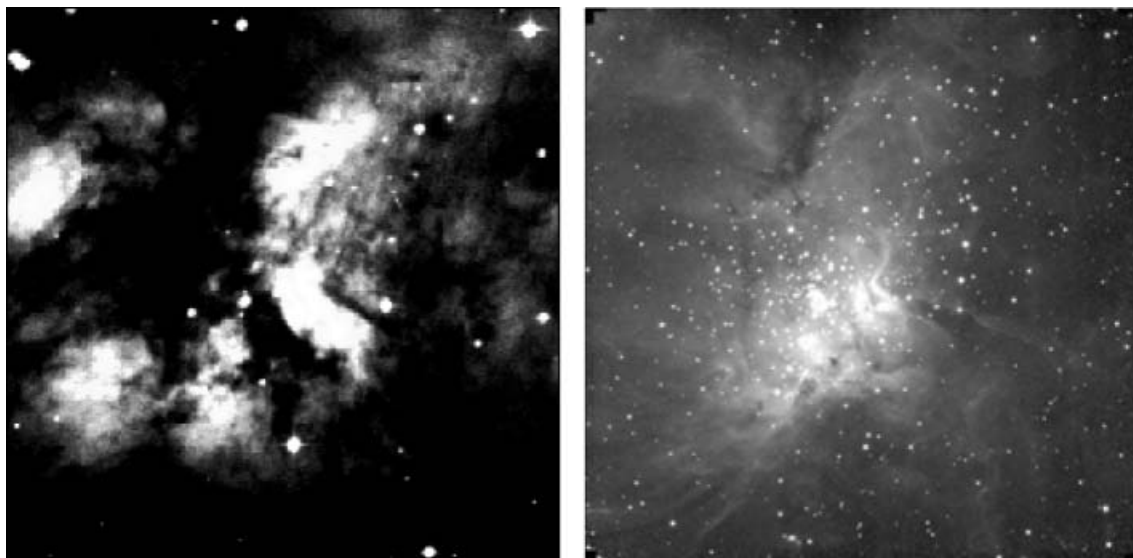


図 2 ほ座分子雲 C に存在する星団の画像。視野は約 $8' \times 8'$

左: Digitized Sky Survey (© AAO・AURA) による可視光画像 (波長約 $0.6\mu\text{m}$)。ぼんやり光っている星雲が RCW 36 と呼ばれる電離水素領域。右: IRSF/SIRIUS による近赤外画像 (波長約 $2.12\mu\text{m}$; 3 色合成図はギャラリー参照)。

この星団は約 350 個の生まれたばかりの星を含み、星団中心に多くの星がひしめいていることが、我々の観測で初めて明らかになりました。星団中心の星の密度は、3000 光年以内の距離では最も高密度な若い星団であるとされる、オリオン大星雲に次ぐ密度でした。太陽系から距離が近いので、星団が作られる過程を研究するうえでの貴重なサンプルになると考えています。

5. 質量による星団内での住み分け

解析を進めたところ、この星団では、質量の大きな星ほど星団の中心に集中するという、星の質量による星団内での位置の住み分けが起きていることが明らかになりました。図 3 はそれを示したもので、左から順に、 K_s バンドで 12 等よりも明るい星、12–14 等、14 等より暗い星の空間分布です。質量の大きい星ほど明るいので、左から順に質量が大きな星、中くらいの星、小さい星の空間分布と言えます。この図から明らかに、質量の大きな星が星団の中心部にみに集中しているのに対し、質量の小さな星はより外側に広がっているのが分かります。

それではなぜこのような住み分けが起こるのでしょうか？ その原因としては、(1) 力学進化、(2) 生まれつき、という二つの可能性が考えられ

ます。

(1) は、星団内の個々の星がもつ運動エネルギーは、星団ができたばかりの頃はばらばらですが、時間が経つに従って星と星の間で力学相互作用による運動エネルギーの受け渡しが行われ、最終的には星団内のすべての星でほぼ等しい値になった結果と考えられます。同じ運動エネルギーであれば、軽い星ほど速度が速くなるので、星団が散らばっていく過程を考えたときに、軽い星ほど早く散らばります (=より外側に分布)。ただし、この過程によって質量の住み分けが起こるには、星団内の星と星の間で運動エネルギーの受け渡しを十分に行うだけの時間が必要です⁵⁾。プレアデスのような散開星団は、この過程によって質量の住み分けが起きていると考えられます⁶⁾。

(2) の生まれつき質量の住み分けが起こる原因は、未だ観測的には明らかになっておらず、いくつかのモデルが提案されている段階です。例として、分子雲の中にある星の種に、周囲のガスが降り積もる過程に原因があるという考え方があります。個々の星の種は元の質量は同じですが、星団内の場所によって降り積もるガスの量が異なる(星団中心ほど多くのガスが降り積もる)ので、最終的に星団中心にあった星の種の方が、外側に比べて重くなります⁷⁾。ほかには、中心部で大質量

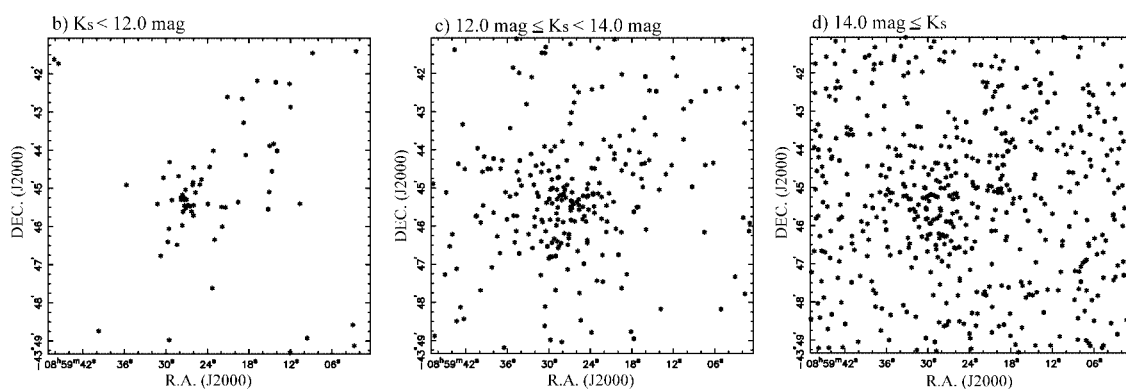


図 3 星の明るさ(質量)による星団内での空間分布。

(左): K_s バンドで 12 等より明るい星。(中): K_s バンドで 12 等から 14 等の星。(右): K_s バンドで 14 等より暗い星。

星が生まれた結果, 周囲の分子ガスにおいてより小質量の星のトリガー形成が短時間のうちに起こったという考え方もあります.

まだ分子雲中に埋もれている若い星団の年齢は, 典型的には (1) の過程によって質量の住み分けが起きるのに必要な時間よりも若いことが知られています. そのため, 若い星団で質量の住み分けが起きている場合は, (2) の生まれつきが原因であると従来では考えられていました. ではこの星団の場合はどうでしょうか?

この星団の年齢は, 解析の結果およそ 200–300 万年であることが分かりました. 一方, (1) の力学進化に必要な時間は, 星団のサイズと含まれる星の数によって決まり⁵⁾, この星団においては星団年齢とほぼ同程度でした. 力学進化によって質量の住み分けが起きると元の星の分布情報が失われるので, この星団でも生まれつき質量の住み分けが起きていた可能性はもちろん否定できません. しかし我々の観測は, このような若い星団においても, 力学進化によって質量の住み分けが起きうる可能性を初めて示唆しました.

参考文献

1) Murpy D. C., May J., 1991, A&A 247, 202

- 2) Yamaguchi N., et al., 1999, PASJ 51, 775
- 3) Baba D., et al., 2004, ApJ 614, 818
- 4) Massi F., Lorenzetti D., Giannini T., 2003, A&A 399, 147
- 5) Bonnell I. A., Davies M. B., 1998, MNRAS 295, 691
- 6) Pinfield D. J., Jameson R. F., Hodgkin S. T., 1998, MNRAS 299, 955
- 7) Bonnell I. A., Bate M. R., Zinnecker H., 1998, MNRAS 298, 93

Star Formation in the Giant Molecular Cloud

Daisuke BABA

*Department of Physics, Nagoya University,
Chikusa-ku, Nagoya 464-8602, Japan*

Abstract: Since most of the stars in the galaxy are considered to be formed in giant molecular clouds, studying star formation in those clouds is very important not only to recognize itself but also to investigate the galaxy formation and its evolution. We have carried out a deep near-infrared survey toward the C cloud of Vela Molecular Ridge which is located in southern hemisphere. In this article, I present a detailed study of an embedded cluster in this cloud as a preliminary result of the survey.