

SIRIUS による大質量星形成領域の観測: W3 Main と NGC 7538

オジャ デベンドラ

〈タタ・インスティテュート, インド〉

e-mail: ojha@tifr.res.in

田村元秀

〈国立天文台光赤外研究部 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: hide@optik.mtk.nao.ac.jp

SIRIUS による大質量星形成領域の近赤外線 (J, H, Ks 3バンド) 観測を報告する。観測した領域は W3 Main と NGC 7538 である。星形成領域の赤外線観測としては深くて高い解像度の撮像データにより、若い天体に付随した多様な赤外星雲の詳細と新たな多数の若い天体の存在が明らかになった。これらの領域では大質量星に伴って多くの低質量前主系列星が集団で生まれている。検出した天体を近赤外線のカラーに基づいて分類したところ、若い天体 (YSO) の候補がグループ別に集団を形成していることが判明した。特に、原始星クラスの YSO は専ら濃い分子雲に分布し、T タウリ型星クラスの進化した YSO は可視光の HII 領域中やその周辺部に分布している様子を鳥瞰図のように描くことができた。NGC 7538 におけるその分布は、連鎖的星形成の良い証拠と考えられる。

1. イントロダクション

SIRIUS は、星形成領域の若い星 (YSO) の検出にとって非常に強力な武器となる。YSO は、それを生み出した分子雲中に埋もれていたり、それを取り囲む星周構造 (原始惑星系円盤やエンベロープ) により減光を受けていたりする。したがって、可視光より長波長の赤外線観測が有利となる (波長 2 ミクロンの減光は、等級単位で波長 0.6 ミクロンの減光の 1/10)。また、その有効温度は年取った恒星より低温であり、エネルギー分布のピークが長波長側に寄るため (ウィーンの法則)、YSO の検出には赤外線が有効である。後述するように、JHKs の 3 色同時観測は、YSO 候補を効率良く検出できるだけでなく、その分類まで可能

にする。

近年、低質量星形成領域である太陽系近傍の分子雲 (おうし座、へびつかい座、カメレオン座など) の赤外線観測は飛躍的に進んだが、大質量星形成領域の詳しい観測は、最も近傍の例であるオリオン領域に集中していた。銀河系を構成する星ぼしの大部分は大質量星形成領域において集団で生まれた星が散逸したものと考えられている。しかしながら、大質量星形成領域は一般に遠方 (>1 kpc) で、かつ、若い天体が密集しているために、高解像度で高感度の観測が求められる。私たちは二つの有名な大質量星形成領域を選び、SIRIUS の高効率とハワイの高シーイング条件を活かした赤外線観測を行った。なお、大質量星形成領域の観測については、馬場大介さんの稿も参照されたい。

2. W3 Main と NGC 7538

W3 Main は、ペルセウス腕の太陽からの距離 1.83 kpc に位置する巨大分子雲中にある。分子雲の南側には、同じく有名な W3 (OH) がある。W3 Main の中心には赤外線源 IRS 5 があり、それを取り囲むように HII 領域、コンパクト HII 領域、メーザ源、X 線源などが集中している。IRS 4 と IRS 5 にガスと塵の集中が見られ、その質量は 2,000 太陽質量にも達する。

NGC 7538 星形成領域は、カシオペア OB2 アソシエーションの一部であり、距離は 2.8 kpc、可視光で顕著な HII 領域が NGC 7538 に対応する。赤外線源として IRS 1-11 などいくつかの明るい YSO の存在が知られていた。IRS 1-3 は領域の中心に位置し、ウルトラコンパクト HII 領域である NGC 7538 A & B に対応する。IRS 1-3 を含む領域の遠赤外光度は 2.5×10^5 太陽光度にも及ぶ。IRS 4-8 は北西領域に、IRS 9 は南東に位置する。高密度ガスや塵は IRS 1 と、その南側にある IRS 11 を中心に分布している。IRS 1 や IRS 9 には一酸化炭素ガスのアウトフローや赤外反射星雲が付随し、非常に若い天体であることがわかる。

3. JHKs 撮像と赤外星雲

観測は、ハワイ大学の 2.2 m 望遠鏡に SIRIUS を取り付けて行った^{1),2)}。初観測時に得られたデータであり、SIRIUS^{3),4)} はファーストライトからサイエンスを生み出す装置であったことがわかる。観測領域は約 48 平方分で、 10σ の限界等級は J バンドで 19 等、H バンドで 18 等、Ks バンドで 17 等である。自然シーイングながらも星像サイズは W3 Main が $1''.2$ 、NGC 7538 は $0''.6$ にも達した。本赤外線観測は、従来のこれらの領域の観測中、最も深く、かつ、高解像度である。ギャラリー (NGC753 と W3 Main) に JHKs バンドの 3 色合成画像を示す。多彩なカラーを示すいくつかの星雲の存在と、同じく、多様なカラーを示す多数の

点状の天体の存在が見て取れる。ギャラリーにこれまで知られている天体との対応を記した。

まず M3 Main の画像中の星雲に着目しよう。図下方 (南側) に見られる明るい星の周りの白い星雲は可視光の HII 領域である (W3 H, J, K)。図中央上に見られる赤っぽく広がった星雲はコンパクト HII 領域に対応する (W3 A, B, D)。サイズの小さなウルトラコンパクト HII 領域 (W3 C, E, F) も見えている。全体に薄く見える星雲はリアルで、それらを隠すように暗黒星雲が点在する。左下にはジェット状星雲も見られる。真っ赤な赤外線源 IRS 4 と IRS 5 も点状ではなく広がっている。

多彩な星雲の存在では NGC7538 も負けてはいない。図中央にあるのが IRS 1-3 に付随した赤外星雲、左下には実に見事な形状を示す赤外星雲 IRS 9 が存在する。以前の赤外偏光観測から、これらは反射星雲であることがわかっていたが⁵⁾、このような複雑な形態と色の変化がわかったのは、これが初めてである。これらの赤外星雲はアウトフローと密接な関係があるが、その詳細は本稿では割愛する。

4. YSO とその分布

本観測では、従来知られていない多数の点状天体が見つかった。点状天体の多くはこれらの星形成領域に付随した YSO と考えられるが、限界等級が深いため、背景の恒星が紛れ込んでいる可能性も否定できない。SIRIUS の JHKs 3 バンド同時観測によって、個々の天体の JHKs バンドそれぞれの明るさが求められ、そのカラー (J-H および H-Ks) も決定できる。YSO は、誕生の際に周りに多量のガスと塵が取り巻いた円盤やエンベロープを伴っており、その量・形態に応じて異なった程度の赤外カラーを示す。これを利用して、検出した近赤外線源を四つに分類した: (1) T タウリ型星と似たような JHKs カラーを示す YSO 候補, (2) T タウリ型星よりも大きな (赤い)

JHKs カラーを示す YSO 候補, (3) 非常に大きな H-Ks カラーを示す YSO 候補, (4) JHKs カラーが通常の星とあまり変わらない非 YSO 候補. この分類では 1-3 を YSO 候補天体と考えている. (1) は低質量星の T タウリ型星 (Class II 天体) に対応し, (2) は同じく原始星 (Class I 天体) に対応する. (3) は分子雲に深く埋もれた YSO である可能性が高い. 厳密には, (4) の中でも YSO は存在するが, JHKs カラーだけでは見分けることができない. この結果, W3 Main では約 200 個の YSO 候補が, NGC 7538 では約 330 個の YSO 候補が見つかった.

これらの YSO の空間分布を調べると非常に面白いことが判明した (図 1 下段). 特に, NGC 7538 では, これら 3 種類の YSO 候補の空間分布がくっきりと分かれる: Class II 類似天体は図中右上 (北西) の光で見える HII 領域に集まり, Class I 類似天体は HII 領域と図中右側 (西側) の分子雲との境界に分布する. 赤い ($H-K_s > 2$) 天体は予想どおり図中下側 (南側) の濃い分子雲の近くに集中している. 一方, W3 Main では, Class II 類似天体はコンパクトな HII 領域の周りに集中する傾向があるが,それほど顕著ではない. しかし, 赤い ($H-K_s > 2$) 天体は IRS 5 の周りに集中している.

これらの YSO の正体は何なのか? いくつかの YSO 候補天体は OB 型星の大質量星に対応する大きな赤外線光度ももっているが, そのほとんど (80-90%) は, 3 太陽質量以下の低質量星である (年齢を百万年と仮定した場合). 我々の観測で最も軽い YSO は 0.1 太陽質量に対応している. つまり, これらの大質量星形成領域の若い星のポピュレーションは実は低質量の前主系列星が占めているのである.

個々の天体の詳細は今後の (近赤外) 分光を待たねばならない. ここに挙げた YSO 候補天体のフォローアップは, 視野・個数・明るさの点で, 次世代の多天体分光器 (MOIRCS や FMOS) にとって格好の観測対象である. YSO 赤外線分光分類学の本格的到来を期待したい.

5. 星形成活動

W3 Main には, コンパクト・ウルトラコンパクト HII 領域が存在するが, これらは最近生まれた OB 型星によって電離されたものである. 実際, 我々の近赤外線観測から, B 型星と低質量が生まれていることがわかった. この領域には W3, W4, W5 という巨大な HII 領域があるが, W3 の東側にある W4 が最初に生まれ, W3 の形成をトリガーしたと考えられている. オリオンや M17 と比べると⁹⁾, W3 は全領域に影響を与えるような O 型星が存在しないことが特徴と言えよう.

NGC 7538 では, 進化段階の異なる構造が, 北西から南東に向けてきれいに並んでいる. 第一段階が, 可視光の HII 領域に (紫色に見えている) 対応する北西の領域である. 我々は, ここに可視光で見える O 型星の他に数多くの Class II あるいは Class I 類似天体を検出した. 第二段階が, 中心部分に見られる IRS 1-3 とそれに付随した赤外星雲の領域で, 新しい OB 型星の誕生領域である. ここでは星形成活動がまだ盛んで, ウルトラコンパクト HII 領域や赤い YSO が集中している. 第三段階が, その南側の領域である. ここでは赤い天体の集中 (IRS 11 など) が見られるが, HII 領域などは発達していない. 実は, この領域には濃い分子雲が存在しており, これから大規模な星形成が起こる場所だと考えられる^{*1}. その東側には見事な形状を示す赤外反射星雲 IRS 9 が

^{*1} IRS 1-3 と IRS 11 の領域では, サブミリ波の熱放射の偏光を利用して磁場構造がマッピングされている (Momose, Tamura, Kameya, et al., 2001, ApJ 555, 855). IRS 11 領域では非常にスムーズな, IRS 1-3 領域では乱れた磁場が見られる. この結果は, 大質量星の誕生によって磁場が乱される前後の状態と考えると, ここで紹介した星形成シナリオと矛盾しない.

見られるが、これは散発的な星形成かあるいは第三段階の一部に対応するものであろう。すなわち、北西から南東あるいは南に向かうほど星形成の若い段階にあるのである。これは連鎖的星形成⁸⁾の好例と考えられるので、今後の詳細な観測が待たれる。

本稿の研究は日本学術振興会外国人招へい研究者(長期)事業の助成を受けて行われました。また、望遠鏡・装置開発に携われた皆さんに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Ojha D. K., et al., 2004, ApJ 608, 797
- 2) Ojha D. K., et al., 2004, ApJ 616, 1042
- 3) Nagashima C., et al., 1999, Proc. Star Formation 1999, 397
- 4) Nagayama T., et al., 2003, Proc. SPIE 4841, 459
- 5) Tamura M., et al., 1991, ApJ 378, 611
- 6) O'Dell C. R., 2001, ARAA 39, 99
- 7) Jiang Z., et al., 2002, ApJ 577, 245
- 8) Elmegreen B. G., Lada C. J., 1977, ApJ 214, 725

SIRIUS Observations of Massive Star Forming Region: W3 Main and NGC 7538 **Devendra K. OJHA**

Tata Institute of Fundamental Research, Homi Bhabha Road, Colaba, Mumbai-400 005, India

Motohide TAMURA

National Astronomical Observatory, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

Abstract: We report near-infrared (JHKs-band simultaneous) observations of two massive star forming regions (SFRs), W3 Main and NGC 7538 regions. A number of new YSO candidates are found and infrared nebulae associated with YSOs are detected; some show intricate color variations and morphology. A several hundreds of low-mass YSOs are formed with the formation of massive YSOs. Based on NIR-color classification, we found that each group of these YSOs shows clearly separate spatial distributions; Class I-like protostars distribute toward the dense cloud regions and Class II-like YSOs around or in optical (diffuse) HII regions. The distribution in NGC 7538 is most likely to be a signature of sequential star formation process.