

すばる 8.2m を用いたへび座分子雲における若い超低質量天体の探査観測

佐藤 太基 (埼玉大学大学院 教育学研究科 天文学研究室 M1)

Abstract

褐色矮星は質量が太陽の 8% 以下で中心温度があまり高くならずに水素核融合反応を起こすことが出来ない天体である。また、褐色矮星よりもさらに軽く、質量が惑星程度であるにも関わらず恒星の周りを公転せず単独で存在する惑星質量天体が存在する。褐色矮星は 1995 年、惑星質量天体は 1999 年 (Oasa et al. 1999) と、近年の観測から初めて発見され、その後ペルセウス座分子雲やオリオン座分子雲など (e.g. Oasa et al. 2008) の星形成領域で多数見つかっている。褐色矮星は現在までに 1000 天体ほど見つかっており、惑星質量天体は、たとえば S106 において約 100 天体同定されている (Oasa et al. 2006)。しかし、このような超低質量天体の形成過程についての理解はあまり進んでいない。

超低質量天体は非常に暗い天体であるが、誕生した頃には近赤外波長で比較的明るく輝くという点に着目し、我々は国立天文台すばる 8.2m 望遠鏡と MOIRCS (多天体近赤外撮像分光装置) を用いて深い近赤外 (JHKs) 測光観測を行った。観測対象は中質量星形成領域であるへび座分子雲 (赤経 18:30、赤緯 +01:15 付近。距離 ~260pc) である。へび座分子雲 (Serpens Molecular Cloud) には Herbig Ae/Be 型星があり、その近傍に Main Serpens Core と呼ばれる赤い反射星雲がある。また、サブミリ/ミリ波の観測により 2 つのコアがあることが明らかにされている (Gorlova et al. 2012)。今回は 4 領域 (8 × 7) の解析を行った結果、J バンドの 10 σ 限界等級 ~23.3 等が得られた。測光結果から二色図を作成し、検出天体のうち、赤外超過が見られる天体を YSO 候補天体と同定した。また、YSO 候補天体についての色等級図から、この領域で褐色矮星や惑星質量天体が多数誕生していることが示唆された。

1 Introduction

1.1 超低質量天体について

褐色矮星は質量が太陽の 0.08-0.013 倍であるために、水素核融合を安定して起こさない暗く低温な天体である。形成初期は重水素核融合反応と重力収縮によって輝いているが、後に重力収縮のみになり、だんだんと暗くなってしまふ。1995 年にパロマー天文台のグループがグリーゼ 229 の伴星であるグリーゼ 229B を発見し、褐色矮星であることが明らかになった (Nakajima et al. 1995)。進化が進んだ褐色矮星の表面温度は 2500K 以下であり、放射のほとんどは赤外線放射である。

惑星質量天体は質量が太陽の 0.013 倍以下の惑星質量ほどの天体であり、恒星のまわりを公転しない天体である。1999 年に初めて発見され、その後、オリオン座分子雲 (Lucas et al. 2000)、ペルセウス座分子雲、S106 (Oasa et al. 2008)、へびつかい座分子雲 (Barsony et al. 2012) などで発見されているが、形

成過程など理解が進んでいないことが多い。褐色矮星・惑星質量天体といった超低質量天体は暗く、観測が困難である。しかし、暗い超低質量天体でも、年齢が若いときには近赤外域で比較的明るく輝いている。本研究では、これらの超低質量天体についての詳細な観測から形成過程を探る。

1.2 星の進化段階について

本研究では第一段階として若い天体である YSO (Young Stellar Object) 段階にある超低質量天体探査観測を行った。

星の進化段階は大きく分けて 5 つに区分することができる。

(1) 分子雲コア (Class0)

分子雲の密度が高い部分が重力収縮し、形成される。

(2) 原始星 (ClassI)

中心星の周りにガスやダストからなるエンベロープ・ディスクを持つ。ディスクは原始惑星系円盤ともい

い、ここで惑星が形成される。

(3) 古典的 T タウリ型星 (Class II)

エンベロープが薄くなる。

(4) 弱輝線 T タウリ型星 (Class III)

ディスクが薄くなる。

(5) 主系列星

ディスクがほぼ消失する。

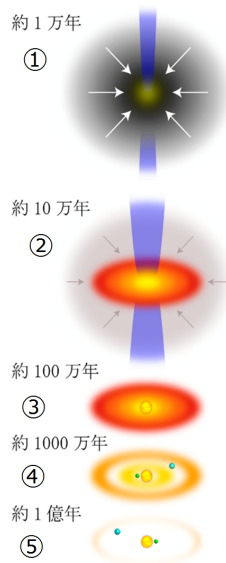


図 1: 進化段階を示した模式図

ここで、段階 (2)、(3)、(4) をまとめて YSO という。

1.3 近赤外測光観測について

本研究ではこの近赤外波長域のうち、J(1.3 μm), H(1.65 μm), K(2.2 μm) の 3 波長で測光観測を行った。近赤外波長域での観測には利点が主に二つある。1 つ目は可視光に比べて波長が長いので分子雲のガスやダストの吸収・散乱を受けにくいということである。つまり、分子雲のガスやダストによる減光が小さく、分子雲に埋もれている星の検出確率が上がる。2 つ目としては、若い超低質量天体は有効温度が 3000K 以下と低温で、輻射のピークが近赤外線にあるということである。これはウィーンの変位則 $\lambda_{\text{max}} = 3000[\mu\text{m}]/T[\text{K}]$ からわかるように、星からの放

射を黒体放射とみなすと有効温度 3000K の輻射が最大になる波長は近赤外域となる。以上のことから YSO 段階にある超低質量天体の探査には近赤外線観測が最適であると考えられる。

2 Observations

へび座分子雲 (Serpens Molecular Cloud) は、距離:260pc 赤経 18:30 赤緯 +01:15 付近で中質量星形成領域として知られている領域である。年齢が 1000 万年未満の前主系列星である Herbig Ae/Be 型星があり、その天体の北に 1° の所に Main Serpens Core と呼ばれる、赤い反射星雲である Serpens Reflection Nebula がある。サブミリ、ミリ波の探査によって 2 つのコアがあることが明らかにされている。(Gorlova et al.2012)

観測条件

日時: 2007 年 6 月 8 日

場所: ハワイ島、マウナケア山頂 (4205m)

望遠鏡: 国立天文台すばる望遠鏡 8.2m

装置: MOIRCS

観測波長: J(1.26 μm), H(1.64 μm), Ks(2.15 μm)

シーイング: 0.39 -0.43

積分時間: 1 領域、1 波長あたり 540s-1155s

3 Reduction

解析は IRAF(Imaging Reduction and Analysis Facility) を用いて行った。

3.1 一次処理

一次処理としてまずダーク引き、フラット処理を行った。近赤外域では空の明るさなどの成分が画像上に付加されていてしまっているため、その成分を取り除く必要がある。そこで、フラット補正まで終えた画像に対し、近傍領域を撮像した画像から作成したスカイ画像を引くことで空の成分を取り除いた。また、MOIRCS で取得された画像は光学系の歪みなどの影響で画像がゆがんだものになってしまっている。これを解消するために歪み補正を行った。

3.2 重ね合わせ

S/N をあげるために一次処理を終えた画像を重ね合わせた。今回の観測ではディザリングを行っているため、ディザリングで生じたずれを補正してから重ね合わせを行った。

3.3 測光

I 測光には aperture 測光と PSF 測光がある。aperture 測光とは、aperture 範囲内にあるフラックスの総和を等級に換算する測光方法である。また、PSF 測光とは星のプロファイルをガウシアン関数などでフィッティングして、等級に変換する測光方法である。本研究では多数の天体が画像上に混み合って存在していたため、PSF 測光を用いた。測光後に 2MASS による等級補正を行った。

4 Results

4.1. 限界等級

10 (0.1 等) の限界等級は J:23.2-23.3 等、H:22.4-22.5 等、Ks:21.4-21.8 等となった。また、3 バンドで同定した天体数は領域 1 で 1622 天体、領域 2 で 688 天体となった。

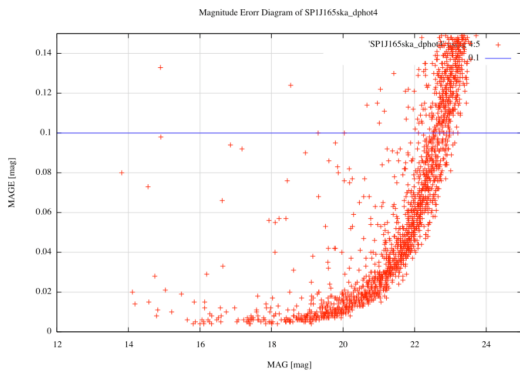


図 2: 等級 - 測光誤差の図。縦軸に等級誤差、横軸に測光等級とし、10 (0.1 等) の限界等級を求めた。

4.2. 二色図

YSO は天体の周りにディスクやエンベロープを持

つ。ディスクやエンベロープに含まれるダストが天体からの光を吸収し、より長波長で再放射するため YSO では星周物質による赤外超過が見られる。この赤外超過は J、H、Ks バンドの内、Ks バンドで強く表れてくる。そこで、縦軸に J-H、横軸に H-Ks を取った二色図を作成し、赤外超過の見られる YSO を同定した。

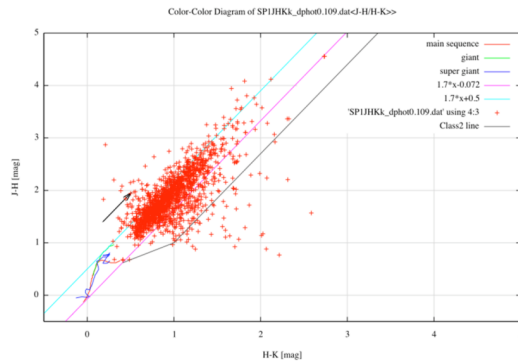


図 3: 領域 1 での二色図。赤化を受けていない主系列星や巨星は上の二色図上で赤、青、緑の曲線状にプロットされる。分子雲中のガスやダストの影響でより長波長側の光が通過しやすい。そのために本来よりも長波長側の光が強くなり二色図上で表した矢印の赤化方向にプロットされる。一方、YSO は星周物質による赤外超過が見られる。よって YSO は二色図上でより H - Ks が大きい右側にプロットされることになる。原始星 (ClassI) と古典的 T タウリ型星 (ClassII) とでは古典的 T タウリ型星に比べ、原始星の方がより星周物質が多いので、二色図上ではより右にプロットされる。また、弱輝線 T タウリ型星 (ClassIII) では星周物質も質量降着により少なくなり、赤外超過が見れないため二色図で区別することが出来ない。

この二色図を作成した結果、領域 1 で ClassI57 天体、ClassII195 天体、領域 2 で ClassI71 天体、ClassII109 天体を、赤外超過を示す YSO と同定することが出来た。

5 Discussion

二色図から、領域 1 は JHKs で 1622 天体中、ClassI57 天体、ClassII195 天体が同定され、領域 2 は JHKs で 688 天体中し、ClassI71 天体、ClassII109 天体が同定された。領域ごとの YSO 天体の比率を求めると、領域 1 では 15.3 %、領域 2 では 25.1 % となった。このことから、領域 1 よりも領域 2 で星形成が盛んに行われていることがうかがえる。また、ClassI 天体の比率を求めると、領域 1 で 3.5 %、領域 2 で 10.3 % となり、領域 2 の方がより若い天体が誕生していることがうかがえる。

また、カメレオン座 I (約 30 %) ペルセウス座分子雲 (約 58 %) S106 (約 52 %) (Oasa et al.2008) といった他領域と YSO の比率を比較するとへび座分子雲の YSO の比率が低いことがわかる。このことから、へび座分子雲では穏やかな星形成をしているということがわかる。限界等級が深いため、分子雲内部の天体以外にも背景星が多く混入し、YSO の割合が小さくなった可能性も考えられる。

縦軸に J バンドの絶対等級、横軸に J-H の色指数を取り、二色図により YSO 候補となった天体について、天体までの距離 (~260pc)、年齢 (~1Myr) を仮定し、色等級図を作成した。絶対等級が暗くなるほど T タウリ型星、褐色矮星、惑星質量天体と質量が軽くなる。年齢を 1Myr とすると 2 領域で褐色矮星候補 29 天体、惑星質量候補 358 天体を同定することが出来た。

6 Conclusion

へび座分子雲における超質量天体である褐色矮星、惑星質量天体の形成過程を探るために、すばる望遠鏡/MOIRCS を用いた深い近赤外測光観測 (J~23.3 等) を行った。JHKs 二色図から、2 領域で 432 天体の YSO 候補が同定された。他領域との比較により、へび座分子雲は穏やかな星形成が起こっている可能性が考えられる。YSO 候補天体について年齢と距離を仮定し、色等級図を作成したところ、2 領域で多数の褐色矮星、惑星質量天体を同定することができた。

Acknowledgement

データ提供から方向性のアドバイスなど研究全体において様々なご指導をしてくださった大朝由美子先生、すばる望遠鏡での観測のサポートをくださった国立天文台 すばる観測所サポートアストロノマーの田中壱様、春の学校で解析方法をご指導してくださった国立天文台の日下部展彦様、日ごろから研究やそれ以外の面でも支えてくださった研究室の皆様と心より感謝申し上げます。また、共に励まし合った同期の皆様、本当にありがとうございました。

Reference

- (1)Oasa, Yumiko; Tamura, Motohide; Sunada, Kazuyoshi; Sugitani, Koji.2008,AJ,136,1372O
- (2)Oasa, Yumiko; Tamura, Motohide; Nakajima, Yasushi; Itoh, Yoichi; Maihara, Toshinori; Iwamuro, Fumihiko; Motohara, Kentaro; (3)Hayashi, Saeko S.; Hayashi, Masahiko; Kaifu, Norio,2006AJ,131,1608O
- (4)Oasa, Yumiko; Tamura, Motohide; Sugitani, Koji,1999ApJ,526,336O
- (5)Gorlova, Nadya; Steinhauer, Aaron; Lada, Elizabeth,2010ApJ,716,634G
- (6)Barsony, Mary; Haisch, Karl E.; Marsh, Kenneth A.; McCarthy, Chris,2012ApJ,751,22B
- (7)Lucas, P. W.; Roche, P. F.2000MNRAS.314.858L
- (8)The Formation of Stars Steven W. Stahler Francesco Palla
- (9) 宇宙科学入門 第 2 版 尾崎洋二 東京大学出版会
- (10) すばる望遠鏡 <http://subarutelescope.org>
- (11)<http://www.naoj.org/Observing/Instruments/MOIRCS/>