

氏名	鈴木美郁
学位（専攻分野）	博士（理学）
学位記番号	総研大甲第155号
学位授与の日付	平成7年9月28日
学位授与の要件	数物科学研究科 天文科学専攻 学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	An Observational Study of Protostellar Binary IRAS 16293-2422
論文審査委員	主査 教授 観山正見 教授 石黒正人 教授 中野武宣 助教授 森田耕一郎 助教授 田中培夫（東京大学）

博士論文の要旨

Star formation is one of the most fundamental subjects should be addressed in the modern astrophysics. The study of star formation has a long history and has been successful for the case of single stellar collapse. However it is now well established that approximately two-thirds of all solar-type field stars are members of binary or multiple systems (Duquennoy and Mayor 1991). Binary star formation seems to be a natural process. Hence the primary mechanism by which they form should be identified. In order to establish the exact theory of binary star formation observational constraint is necessary. Observations using millimeter-wave Interferometer are one of the effective way to investigate the environments at small scale around protostellar binary systems, which are still embedded in molecular gas and dust. In this thesis we have made aperture synthesis observations of a candidate of protostellar binary system IRAS 16293-2422, which consists of two radio sources A and B at a separation of 840 AU (Wootten 1989) and has two pairs of molecular outflows (Mizuno et.al. 1990), and tried to get information leading to an implication for binary formation mechanism.

The aperture synthesis observations for IRAS 16293-2422 were carried out using the Nobeyama Millimeter Array (NMA) with the molecular lines of $C^{32}S$ $J=2-1$, $J=3-2$, and $C^{34}S$ $J=2-1$, and with 98 and 150 GHz continuum emissions.

We derived four features of molecular gas: (1) Rotating disk of the molecular gas just centered at source A, whose mass and size are $0.23 M_{\odot}$ and $3200 \text{ AU} \times 1300 \text{ AU}$, respectively, (2) EW elongation of molecular gas associated with source A whose mass is $0.024 M_{\odot}$, (3) Compact blue-wing component centered at source A, whose mass is $0.01 M_{\odot}$, and (4) Molecular gas closely associated with source B, whose mass is $0.05 M_{\odot}$.

From the continuum emission we derived two kind of dust environments: (1) Compact dust disks surrounding each central protostar, whose masses are $0.01 M_{\odot}$ and $0.03 M_{\odot}$, respectively. (2) Extended dust envelopes of 500 AU scale around each of source A and B, whose masses are $0.3 M_{\odot}$ and $0.5 M_{\odot}$, respectively.

In summary, the 2000 AU scale molecular envelope is more massive around source A than source B, while the 500 AU scale dust envelope has almost the same mass. The compact disk around sources A is less massive than that around source B.

These observational evidences imply that the two sources are in the different evolutionary phases. Around source A a molecular envelope still exists to fall onto a center and a central compact disk has not yet grown. Around source B the envelope begins to disappear, while the accretion disk have grown to possess a large mass. It is very probable that source A is just in an active phase of protostar deeply embedded in the dense gas envelope, considering that source A has free-free emission, H₂O masers, and shocked molecular gas (Wootten 1989; Mundy et.al. 1992). Source B might be in elder protostar phase than source A or in young T Tauri phase. An age difference between sources A and B is estimated to be 10⁴-10⁶ years.

We investigate the kinematics and dynamical instability of the molecular gas disk around source A. The rotation velocity seems to be roughly consistent with or slightly smaller than the estimated Keplerian velocity. However it is not clear whether the disk is rotationally supported or not, because of large uncertainties in the rotation velocity and the stellar mass. The disk mass of 0.53 M_⊙ (the compact dust envelope and the gas disk) is comparable to or higher than the stellar mass of 0.2- 0.5 M_⊙. This means that the disk is actually unstable.

The configuration of the binary system is estimated using the quantities obtained by our observations. The estimated configuration implies that the plane of the binary orbit and that of the disk around source A is not coplanar. Hence it is possible that the gas disk around source A may precess around the binary axis under the gravitational effect of source B. The disk precession could explain the two outflows originated from source A, which show activities related to the outflows. However, if inner portion of the disk controls the direction of the outflow, it is difficult to explain the multiple outflows by the disk precession.

Reference

- Duquennoy, A. and Mayor, M. 1991, *A&Ap*, 248, 485
Mizuno, A. et.al., 1990, *ApJ*, 356, 184
Mundy, L.G. et.al., 1992, *ApJ*, 385, 306
Wootten, A. 1989, *ApJ*, 337, 858

論文の審査結果の要旨

本論文は二重星形成途上にあると推定される天体 I R A S 1 6 2 9 3 - 2 4 2 2 を国立天文台野辺山宇宙電波観測所のミリ波干渉計によって観測し、その構造と内部運動状態を解明するとともに、二重星形成過程について考察したものである。論文は8章から構成されており、第1章では恒星形成過程の理解の現状と、I R A S 1 6 2 9 3 - 2 4 2 2 に関して以前の観測によって解っていたことについてまとめている。第2章では出願者が行った観測、第3章では出願者の観測によって得られた結果について、述べている。第4章から第7章では、この観測で得られた結果と以前の観測結果に基づき、この天体の種々の性質について考察し、最後に第8章で論文全体のまとめを行っている。

現在までの恒星形成過程の研究のほとんどは、比較的簡単な単独星の形成に関するものであった。ところが、恒星の約2/3は二重星、または多重星として存在している。そのため、恒星形成過程を解明するためには、二重星、多重星形成過程の研究が不可避である。I R A S 1 6 2 9 3 - 2 4 2 2 は天球上に射影した距離で 8 4 0 A U (1 A U は地球と太陽の距離) 離れた2つの I R A S 点源 A、B (どちらも強い遠赤外線を放射し、原始星と思われる) から構成されていることが知られていた。出願者はこの天体を野辺山ミリ波干渉計を用いて、 $C^{32}S$ 分子の $J = 2 - 1$ および $J = 3 - 2$ 輝線、 $C^{34}S$ の $J = 2 - 1$ 輝線、および塵の熱放射である周波数 9 8 G H z と 1 5 0 G H z の連続波放射で観測し、興味深い結果を得た。そのうちのいくつかは次の通りである。成分Aのまわりには、主としてCS輝線で見える半径1600AU、質量0.23 M_{\odot} (M_{\odot} は太陽の質量)の回転円盤、その内側には主として塵の熱放射で見える半径500AU、質量0.3 M_{\odot} の高密度の円盤と思われるものが存在することが解った。一方、成分Bについては塵の熱放射が顕著で、半径500AU、質量0.5 M_{\odot} の高密度の円盤があるが、CS輝線は弱いことが解った。このように成分AとBには顕著な違いが見られるが、これを単独星形成のこれまでの研究結果と比較すると、成分BはAよりもより進んだ形成段階にあると推定される。また、二重星A、Bの軌道面はAに付随した円盤面から60°以上傾いており、全体として非常に複雑な構造をしていることが解った。この研究は二重星形成現場の詳細な構造を、1例とはいえ、初めて明らかにしたもので、高く評価できる。

これらの結果から直ちに二重星形成過程について明解な結論を引き出すのは難しいが、この論文が契機となって他の二重星形成途上候補天体の観測や二重星形成過程の理論的研究が本格化することが期待できる。新しい分野に先鞭をつけた研究としても高く評価できる。

なお、本論文は共同研究の結果を記述したものであるが、研究は出願者が中心となって進められたもので、出願者の寄与が十分で、本論文が博士(理学)の学位を受けるにふさわしいものと判断し、審査員全員が合格と判定した。