

氏 名 眞山 聡

学位 (専攻分野) 博士 (理学)

学位記番号 総研大甲第 1124 号

学位授与の日付 平成 20 年 3 月 19 日

学位授与の要件 物理科学研究科 天文科学専攻  
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 High-Resolution Near-Infrared Imaging of  
Circumstellar Structures around Young Low-Mass  
Stars

論文審査委員	主査	教授	佐々木 晶
		准教授	臼田 知史
		教授	立松 健一
		教授	花輪 知幸 (千葉大学)
		教授	山下 卓也 (広島大学)
		教授	長谷川 哲夫 (国立天文台)

## 論文内容の要旨

若い星の周りには、星形成の過程において角運動量の保存や磁場の効果で生じた円盤状構造、すなわち、原始惑星系円盤がとりまいている。その名のとおり、原始惑星系円盤は惑星系形成の母体と考えられている。惑星を生み出す元となる若い星に付随する星周環境の初期条件を解明することは、惑星系の多様性、さらには太陽系形成の理解につながる。

若い天体の星周構造を議論してきた過去の研究においては、天体のエネルギー分布 (SED - Spectral Energy Distribution) が慣習的に用いられてきた。これらの研究では、SED を再現するように星周構造のモデルを構築するというのが一般的な手法であったが、最近の研究で分かってきたような、複雑で多様な星周構造を精密に再現するにあたって、以下二点の問題に直面している。

① SED では、平らなレコード板のような円盤や、球対称形状のエンベロープなど単純な構造を持つ天体を議論することは比較的容易である。一方最近では、フレア円盤や互いに相互作用のある多重星システムなど、複雑な形態を有する星周構造が議論され始めている。しかし、SED から得られる情報だけでは、そのような複雑な星周構造の形態の違いまでを詳細にトレースして議論することは出来ず、場合によっては同じ進化クラスに分類されてしまうという問題点があり、本来の構造を精密に再現出来ているとは言えない。

② SED によるクラス分類は、SED の傾きで分類しただけであり、必ずしも進化段階の分類とは合致していない。特に、あるクラスと次のクラスの間位置する天体を、精密に再現出来ていない。

このようにSED 手法による若い星の星周構造の研究には限界がある。しかし、すばる望遠鏡のような巨大望遠鏡と補償光学の出現により、高解像度、高感度、かつ、高コントラストでの「直接」撮像が実現出来るようになった。そこで我々は、SED 手法では明らかにならなかった星周構造の形態的解明を狙い、直接撮像観測を行った。特に以下二つの観測候補天体選定条件に基づいた直接撮像は、上で述べた二つの問題点を乗り越える突破口となるであろう。

問題①の解決策：SED だけでは複雑な構造を精密に反映できないのであれば、とりわけ複雑な構造を持つと考えられる天体は、直接撮像によって「直接構造を見る」必要がある。

このために最適と考えられる天体候補の一つは、T Tauri である。T Tauri は元来T Tauri 型星の典型と考えられたクラスII 天体であった。しかし今までの多くの研究によって、T Tauri には赤外伴星や多重円盤構造の存在が示唆され、実際はクラスII という分類だけでは、説明不十分な複雑なシステムであることが分かってきた。以上のような理由から、我々はこの多重星T Tauri に着目し、その星周構造の解明にアプローチした。

また、相互作用のある若い連星系円盤システムは、それ独自の複雑性もさることながら、若い星の多くが連星を成していることから考慮しても重要な観測対象である。主星円盤への物質供給システムの解明や連星の近接遭遇による円盤形態の変貌は、SED から判別するのは困難であり、直接撮像によって実証することが必要である。このような観点から、我々は多重円盤システム(クラスII 天体)の代表の一つと考えられるSR24 を観測した。

限界②の解決策：SED を用いた議論では、あるクラスと次のクラスの間位置する天体に関しては、その構造を精密に反映出来ていないことから、直接撮像によってその形態を詳細に観測し、星周構造散逸の現場を視覚化する必要がある。そのために我々はクラスI からクラスII への遷移段階にあると考えられている天体RN091 を観測した。

以上のような観点から我々はクラスI/II の低質量三天体T Tauri, SR24, RN091 の直接撮像観測を行った。すばる望遠鏡を用いた近赤外多色観測によって、0.1 秒の分解能を達成し、各天体を取り囲む複雑な星周構造が明らかになった。本観測によって得られた上記三天体に関する主な新しい結果は以下の通りである。

#### RN091

本観測で初めて明らかになった点で最も重要なことは、「RN091 は、SED ではクラスI と II の間に位置しているが、実際に観測から、散逸過程での複雑なダスト分布が捉えられ、エンベロープがアウトフローによって破壊されている現場を視覚的に実証した。」という点である。アウトフローによって破壊されたエンベロープ残骸は、数10AU 程度のサイズで円盤の外縁に不規則に分布していた。また、RN091 は300AU スケールの円盤と1600AU スケールの破壊されたエンベロープに囲まれていることが明確になった。さらに、アウトフローの根元を分解した本観測によって、本天体は中心近傍と遠方においてアウトフロー方向が変化する天体であることが示唆された。アウトフローが周辺物質との衝突、もしくは歳差運動によって、中心近傍から遠方に遠ざかるにつれてその方向を変えていっていることが予想される。

#### T Tauri

我々はまず、分離角わずか0.09"の伴星T Tau Sa-Sb を分解し、クラスI 天体T Tau Sa とクラスII 天体T Tau Sb が重力的に束縛されていることを確認した。この伴星は1 年前に比べ2 等も暗くなっていたが、伴星それぞれの赤外線光度曲線を描いた本研究により、その変光は主にSa の変光によりもたらされていることが明らかになった。また、カラーの時間変動を追った本研究により、今回のような「大規模」な変光の場合は、減光以外に質量降着率の変動が支配的な原因であるということが示唆された。さらに、T Tauri 三重星は非球対称形状エンベロープに取り囲まれていることが本観測で初めて明らかになった。このエンベロープは、主星を中心に方位角45 度方向に伸びており、長軸/短軸の比が1.5 である、350AU スケールの構造であることが分かった。このエンベロープの存在は本天体がSED から示されているクラスII という進化段階よりも、もう少し若い段階である可能性を示唆している。

#### SR24

若い天体では初めて、主星と伴星双方に付随する二つの星周円盤を赤外域で検出した。主星に付随する北東方向に伸びる半径420AU の傾いた星周円盤は、そのサイズと方向が電波連続波で分解された円盤と良く一致していた。さらに本観測は、主星円盤から800AU 北側に存在する伴星円盤へと繋がる腕状構造と、主星から南に伸びる腕状構造を初めて検出した。連星系形成シミュレーションとの比較によって、これら二本の腕状構造は、連星系

における物質貯留層からのガスの流れであると解釈された。一般的に主星の質量降着率は伴星の質量降着率よりも大きい。しかしながら、主星円盤へ優先的に物質が外部から輸送されることを明らかにした本研究は、質量降着率の大きい主星円盤が質量降着率の小さい伴星円盤よりも長生き出来るメカニズムを観測的に実証した。

以上のように、我々はクラスI, II の低質量三天体に焦点を当て、これら、SED を用いたモデルでは精密に再現出来なかった、複雑なシステムを有する天体の形態的研究を行った。その過程で、RN091 に付随するエンベロープの破壊現場やT Tauri 三重星を取り囲む複雑な構造の幾何学情報、そしてSR24 の主星円盤に物質を優先的に輸送する供給路などを初めて検出し、詳細な議論を行うことが出来た。すなわち、SED による間接的観測から示唆されてきたシンプルな描像より、ずっと複雑な星周構造が実際に存在することを実証した。今後、サブミリ波波長でも、本観測と同程度の解像度 ( $0.1''$ ) を切る分解能を持つALMA 干渉計が出現し、星周構造の複雑な形態だけでなくその運動も深く議論されていくことになると見込まれるが、本研究がその序章となることが期待される。

## 論文の審査結果の要旨

星形成段階においては、集積するガスが作り出す円盤状の星周構造が形成されて、惑星形成の母体となると考えられている。これまで若い天体の星周構造の研究では、円盤状の構造は観測されているが、一般的には、天体の放射のスペクトルエネルギー分布 (SED) を再現するようにモデルを構築することが行われていた。対称性の良い円盤構造や球対称のエンベロープ構造を議論することは、この手法でできるが、多重星などの複雑な星周構造の形態は、直接撮像が行われないと本来の構造を導きだすことはできない。また、スペクトルエネルギー分布から予測される進化段階の分類 (クラス I, II, III) が、本当に様々な星周構造を持つ天体の進化に適用できるかは確証が無かった。

出願者は、クラス I/II の 3 つの低質量天体 (RN091, T Tau, SR24) の直接撮像を、すばる望遠鏡を用いた近赤外多色観測によって行った。星周構造に含まれる細かい塵は、中心星からの光を反射してわずかに輝く。コロナグラフ撮像装置 (CIAO) を使い、中心星の光を隠して、天体を取り囲む複雑な星周構造を、最高 0.1 秒の分解能 (大気による星像の乱れを補正する波面補償光学装置 A0 を使用した場合) で観測を行った。その結果、下記の新しい結論を得た。RN091, T Tau は、1.25 ミクロン (J バンド)、1.65 ミクロン (H バンド)、2.2 ミクロン (K バンド) の 3 波長で、SR24 は、波長 1.65 ミクロン (H バンド) で観測を行った。

### (1) RN091

この天体は、SED による分類では、古典的 T Tauri 段階であるクラス II に分類されるが、活発な分子流の存在から、その前の若い原始星段階であるという可能性が指摘されていた。出願者は赤外域の高分解能観測から、半径 300 AU (天文単位) の円盤状の星周構造とその周囲の非対称のエンベロープに分かれること。円盤の外側に数 10 AU スケールで分布している不規則構造が、アウトフローによって破壊されたエンベロープの残骸であると解釈できることを明らかにした。

### (2) T Tau

T Tau は、代表的な若い天体であるが、3 重星であることが明らかになっている。出願者は、それ自身が連星系である、伴星 T Tau S を、Sa と Sb に分離して、両者が重力的に束縛されていることを確認した。さらに、それぞれの赤外線光度曲線から、この伴星の変光は T Tau Sa によるものであることを明らかにした。これは星周円盤の質量降着率の変動が原因として考えられる。また、全域をとりまく非対称な構造の存在を認め、T Tau 3 重星全体をつつむエンベロープによるものであることを明らかにした。

### (3) SR24

出願者は、SR24 の赤外域詳細撮像から、若い天体でははじめて、主星と伴星の両方に星周構造があることを発見した。主星周囲の構造の、サイズ・方向は、電波観測で推定された円

盤構造と一致している。主星の北側にある伴星周囲から主星周囲へと連続するブリッジ型の構造と、主星から南に伸びるテール型構造が検出された。このような詳細構造が明らかになったのは、初めてである。数値計算との比較より、この構造は、連星系の周囲からのガスの流れに対応すると考えられる。伴星よりも主星周囲への優先的な質量供給が行われていると解釈できる。

出願者の博士論文に示された、この結果は、出願者の観測データ処理、研究推進の能力と、結果の解釈のための高度で広範な基礎知識の具備を示している。出願者は、単純な円盤モデルでは説明できない複雑な構造が若い星の周囲に存在することを示した。この論文は、星周構造の研究に新たな知見を与えるものであり、非常に重要なオリジナリティの高いものであると判定された。これにより、審査委員会は、6名の全員一致で本論文が博士論文として十分な価値を有し、合格であると判定した。