

学位論文の要旨

| | |
|--|--|
| 氏名 | 莊 思寧 Chong Sze Ning |
| 学位論文題目 | Observational Study of Morphological Changes in Medium-Mass Evolved Stars 進化末期の中質量星に見られる形状変化の観測的研究 |
| <p>中質量星とは、質量が 0.4- 8 太陽質量の主系列星である。このような星は最終的に惑星状星雲の中心星、白色矮星に進化すると考えられる。星雲に多様な構造があることは、惑星状星雲の一つの魅惑的な点である。漸近巨星枝星(AGB星)の球対称星周縁から形状が大きく異なった惑星状星雲へ変化するメカニズムを理解するために、二次元映像より惑星状星雲の本当の三次元構造を推定する必要がある。また、AGB星と惑星状星雲の間に進化移行する天体を探査すべきである。その様な天体の一つである宇宙噴水天体とは、高速運動するガスに存在する水蒸気レーザー放射で追跡できる細長く絞られたジェットを持っている AGB 星や後 AGB 星である。</p> <p>本論文は、4章で構成されている。</p> <p>第1章は関連分野の導入で、惑星状星雲と急速に進化移行する天体の先行観測研究についての概観を含んでいる。以降の章を理解するために必要な、惑星状星雲によく観測される Hα 放射と多極惑星状星雲の形成、レーザー放射、星周物質内で衝撃波の役目などを説明する基本理論も述べた。</p> <p>第2章は、一番目の主要部分、多極惑星状星雲の構造分類についての結果を説明する。本章の冒頭では従来の惑星状星雲分類方法の問題点を指摘し、その上でま</p> | |

ず「三組ローブモデル」を導入した。三組のローブの向きの組み合わせが異なる様々なモデルを用いたシミュレーションから統計的な分類結果をまとめ、実際の惑星状星雲を誤認するケースについて定量化した。観測された惑星状星雲の本当の構造は全部三組のローブがあると仮定すると、投影効果によって、その中の 49% しか正しく分類されない。四極と双極に誤認される割合はそれぞれ 46% と 5% となる。一組と二組のローブモデルについても類似した分析も行った。それらの結果からさらに多くの組のローブモデルを考えた場合に帰納することができる。モデル映像をハッブル宇宙望遠鏡のアーカイブから得られた惑星状星雲の H α 映像と比べた。また、観測装置の感度による形状分類への影響も示した。低感度の場合、ローブの一部が検出できず、閉じたローブより割れた弧状しか残されていない。それらはローブ以外の特徴として誤認されることが普遍である。

第3章は、二番目の主要部分、W43A における水蒸気メーザーについて説明する。米国 Very Long Baseline Array で 10 年以上にわたって行われた 13 回の観測で水蒸気メーザーを撮像した。15 個の宇宙噴水天体の中、W43A は十年以上観測されたたった一個の天体である。メーザースポット群の特徴ある分布パターンを分散共分散行列、位置相互相関係数などの様々な方法で分析し、星から吹き出す高速双極ガス流の物理的パラメーターを求めた。「伝統的な」歳差ジェットモデルは放出流の軸がコマ振りを伴い、ジェットの先端でメーザーが励起されると仮定する。しかし、そのモデルと一致しない弓形のパターンがある。それより、新しく提案した「空洞+ジェット」モデル（中心部に双極状の空洞があるハローが二度目の絞られた放出流に押されるもの）はそれらのパターンをより適切に説明することができる。「空洞+ジェット」モデルは、W43A だけでなく、他の宇宙噴水天体での弓形のパター

ンも再現できる。メーザー増幅に必要な柱密度の空間分布を含めて考えると、W43A の中間赤外線で見える構造を説明することができる。また、分布パターンが不連続の質量放出の歴史情報を保存することを発見した。今後 W43A の中心星の質量放出の歴史を明らかにできると考えられる。

第4章は本論文の研究結果を総括した。惑星状星雲の本当の三次元構造の再現は、形状変化に原因である物理的過程の解明への最初の一步であり、W43A についての結果は、水蒸気メーザーの観測が惑星状星雲への早期の三次元構造変化、特に双極流の研究への適用法について説明した。メーザーのサイズはミリ秒角程度なので、進化した星の星周縁の内部領域を非常に高解像度で調べる計画を提唱する。メーザーは100キロ毎秒以上の速度で動くので、何ヶ月の観測間隔で著しい運動を検出できる。高解像度と高感度の観測装置により、宇宙噴水天体が惑星状星雲の形成の謎を解く鍵となるであろう。

Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

Observational Study of Morphological Changes in Medium-Mass Evolved Stars

Name: Chong Sze Ning

Medium-mass (or intermediate-mass) stars refer to main sequence stars with masses ranging from 0.4 to 8 solar masses. These stars are believed to finally evolve into the central stars of planetary nebulae (PNe) and white dwarfs. One of the fascinating aspects of PNe is their diverse morphology. To understand the mechanisms of the morphological changes from spherical circumstellar envelopes (CSEs) of asymptotic giant branch (AGB) stars to those forming highly diversified PNe, it is necessary to investigate the true three-dimensional (3D) morphology of PNe from two-dimensional images, and the short transition phase in-between the two phases should also be explored. “Water Fountain” (WF) sources belong to transition phase objects; they are AGB or post-AGB stars with collimated jets traced by high velocity water maser emissions in their CSEs.

This thesis comprises of four chapters. The results can be divided into two major parts.

Chapter 1 is the introduction on the related fields with brief reviews of previous observational studies on PNe and the rapidly evolving transition phase objects. Basic theories necessary for understanding the next chapters were also described, including those explaining the commonly observed H-alpha emission in PNe, the formation of multipolar PNe, the maser emission and the role of shock in circumstellar materials.

The first major part of the results, about the morphological classification of multipolar PNe, is presented in Chapter 2. At the beginning of the chapter, the problems on the previous classification methods were pointed out. Then a three-lobed model was introduced. By changing the combination of the orientations of the three pairs of lobes, simulations using the model produced statistical results in classification and quantified the errors of misidentification. Assuming that all PNe observed have the true structure of three lobes, due to projection effect, only 49% of them would be correctly classified. 46% and 5% of them would be misclassified as quadrupolar and bipolar, respectively. Similar analyses for one-lobed and two-lobed models were also performed. The results can be generalized to cases with larger number of lobes. The modeled images were compared with the H-alpha images of real PNe obtained from the Hubble Space Telescope data archive. Moreover, the effects of sensitivity in observational instruments on morphological classification were demonstrated. Even with the same uniform density on the lobe surface, the resultant column density changes with the viewing angle. As a result, under low sensitivity, some parts of the lobes cannot be detected, leaving broken arcs instead of closed lobes. They may be commonly misidentified as features other than lobes.

The second major part of the results, about the water masers in W43A, is presented in Chapter 3.

Using the Very Long Baseline Array (VLBA) in the United States, water masers in W43A in thirteen epochs across about ten years were detected. Among the fifteen WFs ever discovered, W43A is the only one that has been observed for over a decade. The characteristic distribution patterns of maser features were analyzed with various tools such as variance-covariance matrix and positional cross-correlation coefficient to obtain the physical parameters of the fast bipolar gas outflow ejected from the star. The “traditional” precessing jet model assumes that the axis of the collimated outflow keeps precessing like a spinning top, and the jet excites masers at its tip. However, there are some bow-shaped patterns of maser features that do not agree with this model; instead, they are more consistent with a cavity model – a halo with a bipolar evacuated volume whose thick wall was further pushed by an inside second collimated outflow. The cavity model is able to reproduce bow-shaped patterns, not only in W43A but also other WFs. It takes column density into account, which is essential in maser amplification. It is also more closely related to the mid-infrared morphology of W43A. Moreover, the features were identified to be concentrated in six groups located at discrete distances from the geometric center. It is believed that they reveal the mass loss history of the central star of W43A.

In Chapter 4, simulation results for future observations are presented and the results of this thesis are summarized. The cavity model introduced in Chapter 3 should be tested using the newly developed instruments such as the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) with its high spatial resolution and sensitivity. The reconstruction of the true 3D structure of PNe represents the first step in the identification of the physical processes responsible for the shaping of PNe, and the results of W43A demonstrated how water maser observations could be utilized to study early 3D morphological changes in PNe. Maser sizes are of the order of milliarcseconds, suggesting an extremely high-resolution aspect to be explored for probing the inner regions of CSEs in evolved stars. They move with such high velocities over 100 km s^{-1} that observation intervals at a few months are enough to detect significant motions. With high resolving power and sensitivity of observational instruments available, it is not surprising to predict that WFs will be the key to solve the morphological formation mysteries of PNe.