

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20540234

研究課題名(和文) 老星ジェットの探査と超精密解像観測

研究課題名(英文) Surveys and high resolution imaging of jets from evolved stars

研究代表者

今井 裕 (IMAI HIROSHI)

鹿児島大学・理工学研究科(理学系)・准教授

研究者番号：70374155

研究成果の概要(和文)：「宇宙の噴水」と呼ばれる進化末期の恒星から放出される水蒸気メーザー放射を伴う高速双極ジェットが付随する天体について研究を進めた。そのうちの1天体からは二重螺旋状パターンを示すジェットを発見し、年周視差計測から距離を直接推定する事ができた。一方別の天体では、一酸化炭素輝線の高速度成分を電波スペクトルから発見し、同時に異様に小さい $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 電波強度比を確認した。これらの結果から、「宇宙の噴水」を作り出す恒星は比較的質量の大きい(2—8太陽質量)ものであり、恒星ジェットがその後形成される惑星状星雲の形状形成に大きく関わるという確証を得た。

研究成果の概要(英文)：

We have studied the “water fountain” sources that exhibit bipolar fast jets traced by water vapor maser emission and associated with evolved star. We found a “helix” pattern of jet from one the water fountains and obtained its annual parallax distance. In another source, we found high velocity components of carbon-monoxide emission and an extremely low  $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$  intensity ratio. These results suggest that the parental stars of the water fountains should be intermediate-mass (2—8 solar masses) stars and the jets should play a major role to shape planetary nebulae.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
年度			
年度			
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：電波天文学

## 科学研究費補助金研究成果報告書

## 1. 研究開始当初の背景

「宇宙の噴水」とは、水蒸気レーザー放射に高角分解能観測によって認識された、漸近巨星枝(AGB)星や後 AGB 星に付随する細く絞れた高速双極ガス流(ジェット)のことである。恒星進化末期には星表面からの激しいガス放出が見られ、中心星の周囲に急速にガス縁が発達し、それによって中心星付近の様子が覆い隠されてしまう。ただし、ガス縁の膨張速度はせいぜい 30 km/s までである。ところが、上記ジェットの速度は 100km/s を超え、従来考えられてきた星からの強烈な光・赤外線による放射圧をもってしても、その速度までの加速は説明できない。一方で、上記ガス放出の結果形成される惑星状星雲には、ジェット、殻状構造など、多彩な形状が見られる。「宇宙の噴水」は、このような形状を作り出すのに本質的な役割を果たしていると思定される。

こういう作業仮説に基づいて、そのような天体の恒星進化途上での出現時期と観測可能期間、水蒸気レーザーの観測だけでは把握できない恒星ジェットの全体像、恒星ジェットの形成機構、惑星状星雲の形状生成における役割の程度、などの解明が研究課題となる。しかし、研究開始時点では、対象天体数がたったの 9 個で極めて少なかった。新しい観測手法を用いて、自らが吐き出すガスに埋もれた星のすぐ近くに見られる恒星ジェットを見つけ出し、さらにそれらを精査する必要性があった。近年、中間・遠赤外線やミリ波・サブミリ波の観測技術が向上し、比較的遠方(>2kpc)にある「宇宙の噴水」がまとうガス縁の検出も可能になってきた。また、水レーザー源観測においてもレーザースポットの年周視差計測が可能になり、これらの天体の距離を直接推定して天体固有の物理パラメータの信頼度の高い推定を通して、「宇宙の噴水」の母星の正体(質量、進化段階)がより確度の高い推定が可能になってきた。

## 2. 研究の目的

2.1. 新たな「宇宙の噴水」天体を探索し、同種天体の同定数を大幅に増やす。赤外線データなどから色指数などに特定の特徴を持つ天体サンプルに対して水上記レーザー源を探索する。レーザー源検出率などから、宇宙の噴水が見られる期間をより高精度で推定する。色指数の特徴がやや異なる複数サンプルでその結果を比較すれば、さらに、付随する恒星の質量や進化段階の範囲が推定できるはずである。

2.2. 見つけ出した「宇宙の噴水」及びそれを取り巻くガス縁の精密撮像を行う。ジェットの広がりや膨張速度、母星がもともととつ

ている、比較的な球対称的な分布を持つガス縁に対する同様な観測パラメータを測定する。これらを複数天体で実施し結果を比較することにより、恒星ジェットの駆動機構を理解し、ジェットの形状進化を追跡できるようになる。可能であれば、水蒸気レーザー源の年周視差の計測も行う。これらのことから、恒星進化(=質量拡散)や惑星状星雲の形状形成における恒星ジェットの役割を理解できるものと期待される。

## 3. 研究の方法

上記 2.1. については国内外の大型電波望遠鏡を使って、候補天体について水蒸気レーザー源の探索を進める。また、既知の「宇宙の噴水」天体については、サブミリ波電波望遠鏡を使って一酸化炭素輝線の探索を行い、この天体の全貌を明らかにするためのデータを取得する。本研究では、主に後者について研究を進めた。観測装置としては、国立天文台の Atacama Submillimeter Telescope Experiment (ASTE) 望遠鏡を使った。前者についても、研究期間末期に観測提案が採択され、引き続き継続する予定である。

上記 2.2. については、超長輝線電波干渉計(VLBI)を使って水蒸気レーザー源の撮像を行う。また同様に、レーザー源の年周視差を計測する。このような計測では、銀河系内でのレーザー源の軌道の推定も可能となる。観測装置としてはそれぞれ米国 Very Long Baseline Array (VLBA) と天文広域精測望遠鏡(VERA)を用いた。

## 4. 研究成果

4.1. 一酸化炭素( $J=3-2$ )輝線の探索を実施し、11 天体中 2 天体から検出できた。うち 1 天体では、速度幅 200km/s にも及ぶ高速度成分も検出でき、また同じ天体で、異様に小さい  $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$  電波強度比を確認した。光学的厚みによる強度比の異常も考えられるが、中質量星(太陽質量の 4-7 倍程度)内部の核融合反応(hot-bottom burning)とその生成物の浮上によってもたらされると考えられる。現在その再認観測が認められ、速やかに最終結論を得る予定である。さらに、強度の時間変化も検出されたが、これが本物かについては、さらなる継続観測による検証が必要である。

4.2. 別の宇宙の噴水天体で VLBI 観測を継続的に実施し、水蒸気レーザー源群の空間分布と三次元速度分布を明らかにした。その結果、二重螺旋状パターンを示すジェットの存在が示唆された。移動する 1 つの星から断続的にジェットが形成され、そのジェットの軸が歳差を持つことによってこのような

パターンが形成されたと想定される。ジェットの歳差運動と断続的ジェット状ガス放出が2例以上で確認されたことになり、これらが「宇宙の噴水」を特徴付ける本質的しくみであると期待される。

4.3. 上記宇宙の噴水天体も含めて3つの水蒸気メーザー源について年周視差計測に成功し、そこから距離を直接推定する事ができた。また同時に、銀河系内での運動について情報を得た。これらの天体は銀河系回転にほぼ従った運動をしているものの、回転曲線から推定される銀河回転速度から30 km/s程度外れている。これらの星々はバルジにあるような低質量でランダムな運動をしているような星々でも、若い大質量星のように銀河回転曲線に良く沿った速度を持って銀河円運動をしているような星々でもない、中間程度の質量を持つ星々であることが間接的に伺えた。VLBI データ解析の過程で、自動データ処理スクリプトの開発が進み、現在 wiki ページを通して公開している。

これらの成果から得られた知見は以下のようにまとめることができる。

(a) 「宇宙の噴水」天体の母胎と成っている老星は比較的質量の大きい(4—8 太陽質量)のものでありまた、その内部で特有の元素合成を行っている。

(b) 激しい質量放出が数10年の時間スケールで断続的に行われている。

(c) ジェットそのものが星表面から大量の物質を周辺にまき散らし、惑星状星雲の形状の基本的構造を形成している。

現在、アタカマ大型ミリ波サブミリ波電波干渉計(ALMA)による熱的放射電波の高精度撮像の計画を立てている。同様な恒星末期進化の研究者やALMAユーザーに対する情報は新、情報交換を通して、10年前ほど存在が確認された「宇宙の噴水」と呼ばれる天体が、天文学/天体物理学に広く認知されるようになった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

① Imai, H., Tafoya, D., Hirota, T., Honma, M., Miyaji, T., “Annual Parallax Distance and Kinematical Property of H<sub>2</sub>O Masers in IRAS 19312+1950”, Publ. Astron. Soc. Japan, 63, No.1, 81—87 (2011) [査読有り](#)

② Tafoya, D., Imai, H., Gómez, Y., Torrelles, J. M., Patel, N. A., Anglada, G., Miranda, L. F., Honma, M., Hirota, T., Miyaji, T., “Measurement of the Distance and Proper Motions of the H<sub>2</sub>O Masers in the Young Planetary Nebula K 3–35”, Publ. Astron. Soc. Japan, 63, No. 1, 71—80 (2011) [査読有り](#)

③ Nakashima, J., Deguchi, S., Imai, H., Kembal, A., Lewis, B.M., “Maser Properties of the Enigmatic IRAS Source 19312+1950”, Astrophys. J., 728, 76–89 (2011) [査読有り](#)

④ Imai, H., Nakashima, J., Deguchi, S., Yamauchi A., Nakagawa, A., Nagayama, T., “Japanese VLBI Network Mapping of SiO  $v=3$   $J=1-0$  Maser Emission in W Hydrae”, Publ. Astron. Soc. Japan, 62, No.2, 431—439 (2010) [査読有り](#)

⑤ Imai, H., He, J.-H., Nakashima, J., Ukita, N., Deguchi, S., Koning, N., “CO  $J=3-2$  Emission from the “Water Fountain” Sources IRAS 16342-3814 and IRAS 18286-0959”, Publ. Astron. Soc. Japan, 61, No.6, 1365—1372 (2009) [査読有り](#)

⑥ He, J.-H., Imai, H., Hasegawa, T.I., Campbell, S.W., Nakashima, J., “First detection of CO lines in a water fountain star”, Astron. Astrophys., 488, L21-L24 (2008) [査読有り](#)

[学会発表] (計 8 件)

① Hiroshi Imai, “VLBI Mapping of Multiple Maser Lines with the East Asia VLBI Network” Asian-Pacific Radio Science Conference 2010, 2010年9月 富山

② 今井 裕, VERA プロジェクトチーム “惑星状星雲 K3-35 に付随する水メーザー

源の年周視差計測”，  
日本天文学会春季年会，2010年3月 広島

③今井裕、出口修至、中川亜紀治、永山匠、  
山内 彩，“一酸化珪素メーザー  $v=3 J=1-0$   
輝線の VLBI による初撮像”，日本天文学会  
秋季年会，2009年9月 山口

④今井 裕、Jin-Hua He、中島淳一、出口修  
至，“「宇宙の噴水」天体からの  $CO J=3-2$   
輝線の検出”，日本天文学会秋季年会，  
2008年9月 岡山

⑤Hiroshi Imai

“OH maser envelopes of the ‘water  
fountain’ sources”，9th European VLBI  
Network Symposium，2008年9月 イタリア・  
ボローニャ

[その他]

ホームページ等

[http://milkyway.sci.kagoshima-u.ac.jp/  
~imai](http://milkyway.sci.kagoshima-u.ac.jp/~imai)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今井 裕 (IMAI HIROSHI)  
鹿児島大学・理工学研究科 (理学系)・  
准教授 研究者番号：70374155

(2) 研究分担者

出口 修至 (DEGUCHI SHUJI)  
国立天文台・野辺山宇宙電波観測所・  
准教授 研究者番号：20197825

(3) 連携研究者

- ・廣田 朋也 (HIROTA TOMOYA)  
国立天文台・水沢 VLBI 観測所・助教  
研究者番号：10325764
- ・本間 希樹 (HONMA MAREKI)  
国立天文台・水沢 VLBI 観測所・准教授  
研究者番号：20332166
- ・中川亜紀治 (NAKAGAWA AKIHARU)  
鹿児島大学・理工学研究科 (理学系)・  
助教 研究者番号：60535631

(4) 研究協力者

- ・中島淳一 (NAKASHIMA JUN-ICHI)  
香港大学・理学部・助理教授
- ・Kwok, Sun 港大学・理学部・教授
- ・ He, Jin-Hua  
雲南天文台 (中国)・研究員
- ・Diamond, Philip J.  
Commonwealth Scientific and Industrial  
Research Organisation  
(オーストラリア)・教授

- ・浮田 信治 (UKITA NOBUHARU)  
国立天文台・光赤外研究部・准教授
- ・酒井 剛 (SAKAI TSUYOSHI)  
東京大学・天文教育研究センター・  
プロジェクト助教
- ・Tafoya, Daniel  
鹿児島大学・大学院理工学研究科・  
日本学術振興会外国人研究員