

日本天文学会早川幸男基金渡航報告書

2019年9月10日採択

申請者氏名	崔仁士 (会員番号 6772)
連絡先住所	〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1 国立天文台
所属機関	東京大学/国立天文台ハワイ観測所
職あるいは学年	D2
任期(再任昇格条件)	
渡航目的	研究集会でのポスター発表, 及び, 口頭発表
講演・観測・研究題目	『ALMA Observations of the Class I Protostar L1489 IRS: Warped Disk Structure』, 『Transition from a Quiescent Core to a Dynamical Envelope around the protostar L1489 IRS』
渡航先(期間)	台湾 (2019年11月4日~11月8日)

早川基金からの援助を得て、台湾の中央研究院で開かれた国際研究会 Science with the Submillimeter Array: Present and Future, 及び, JCMT Users Meeting (以下, それぞれ SMA Workshop, JCMT UM と記す) にてそれぞれポスター発表, 及び, 口頭発表を行ったのでその内容と成果を報告する。共同研究者は大橋永芳 (国立天文台ハワイ観測所) 教授, 松本倫明 (法政大学) 教授, 麻生有佑 (台湾中央研究院) 博士, Anaëlle Maury (CEA Saclay, France) 教授らである。今回の渡航で申請者が研究発表を行った二つの研究会はハワイのマウナケア山に設置されている電波干渉計 SMA と単一鏡型電波望遠鏡 JCMT のこれまでの成果の報告と, それらを踏まえた今後の科学的戦略を議論するものである。取り扱われる分野は, 遠方宇宙や活動銀河核なども含み多岐に渡っているが, 申請者の研究分野である星形成の分野でも多くの発表があった。また, 発表内容は, SMA と JCMT の観測に限らず, それら望遠鏡とのシナジーという観点で, 他の望遠鏡を用いた観測結果を聞くこともできた。

今回の研究会で, 申請者は原始星周囲における原始惑星系円盤の形成・成長の物理過程の解明を目指して行った, 二つの観測的研究について発表を行った。SMA Workshop では, 『ALMA Observations of the Class I Protostar L1489 IRS: Warped Disk Structure』というタイトルでポスター発表を行った (以下, 研究1 とする)。原始星周囲の環境は大きく三つの構造, (1) ~ 100 au の大きさでケプラー回転をする円盤, (2) ~ 1,000 au の大きさで回転と落下運動を示すエンベロープ, (3) ~ 0.1 pc の大きさで剛体回転に近い回転を示す分子雲コア (以下, コアとする) に分けられる。これまで, 電波干渉計を用いた分子輝線の観測からガスの運動を調べ, 力学的に円盤とエンベロープを切り分ける手法で, 十数の原始星周囲でケプラー円盤の存在が確認されてきた。しかし, 空間分解能の不足から, 円盤の詳細な構造までは未だ明らかにされてこなかった。そこで, 研究1 では太陽系近傍に位置する原始星 L1489 IRS に対して行われた, 大型電波干渉計 ALMA を用いた高空間分解能観測 (~ 40 au) をもとに, L1489 IRS 周囲の円盤の詳細な構造を調べた。C¹⁸O J=2-1 分子輝線での観測から, 北東から南西にかけて伸びる円盤状の構造と, その構造が回転している様子が捉えられた。さらに, 半径 ~ 200-300 au でその構造

の伸びる向きが 15° 程度変化していることがわかった。位置速度図を用いて、半径ごとに回転速度を測り、その半径依存性を調べたところ、半径 ~ 600 au まで回転速度はおよそ $v_{\text{rot}} \propto r^{-0.5}$ (ケプラー回転) に従う一方で、それより外側では回転速度はおよそ $v_{\text{rot}} \propto r^{-1}$ (角運動量を保存しながらの回転) に従うことがわかった。これらの事実から、L1489 IRS は半径 ~ 600 au の歪んだ円盤をもち、その外側は角運動量を保存しながら落下するエンベロープに覆われていることが示唆される。実際に、半径 ~ 200 - 300 au で円盤面の向きが変わる歪み円盤モデルを作成し、観測結果との比較を行うことで、歪み円盤モデルが観測結果をよく説明することを示した。さらに共同研究者である松本教授の協力のもと簡単な数値計算を行い、このような歪み円盤は途中で回転軸の向きが変化するエンベロープからの質量降着によって形成されることを示した。JCMT UM では、『Transition from a Quiescent Core to a Dynamical Envelope around the protostar L1489 IRS』というタイトルで口頭発表を行った。上に述べたように、円盤とエンベロープの切り分けから円盤の存在が確認されてきたが、エンベロープとコアを切り分けた例は未だほとんど存在しない。そこで、申請者は研究1を受けて、L1489 IRS に対してエンベロープとコアの切り分けを行うことを目指した。L1489 IRS 周囲の $\sim 1,000$ - $10,000$ au スケールのガスの運動を調べるために、単一鏡型電波望遠鏡 IRAM 30m を用いた ~ 0.1 pc \times 0.1 pc 領域をカバーする C^{18}O J=2-1 分子輝線でのマッピング観測 (空間分解能 $\sim 1,600$ au) を行った。観測の結果、原始星周囲の半径 $\sim 2,000$ au の比較的コンパクトな領域にガスが集中していることがわかった。また、その領域の外側での C^{18}O ガスの速度分散 ~ 0.2 km/s と比べて、領域内では速度分散が ~ 0.7 km/s と大きいことがわかった。この事実は、半径 $\sim 2,000$ au より外側ではガスが静的である一方で、内側ではガスは動的であることを示唆している。さらに、原始星を中心に差し渡し $8,000$ au で、円盤面とおおよそ同じ向きに回転による速度勾配が見られた。位置速度図を用いて半径ごとに回転速度を測り、回転速度の半径依存性を調べたところ、半径 $\sim 2,400$ au より内側では回転速度はおよそ $v_{\text{rot}} \propto r^{-1}$ に従う一方で、外側では $v_{\text{rot}} \propto r^{0.2}$ に従うことがわかった。このことは、半径 $\sim 2,400$ au が落下エンベロープと剛体回転に近い回転を示すコアの境界であることを示唆している。

ポスター発表では、自ら積極的に人に声をかけ多くの人に自身の研究を紹介することができた。また、そのうち3,4人の分野の近い人とは研究内容についてよく議論をすることができた。円盤の歪みの原因を探るためにメーザーの観測から円盤の歳差運動を測る手法など、新しい観測の提案を得ることもできた。口頭発表では、質疑応答で質問を受けることができたことから、自分たちの研究をよく宣伝できたと思う。また、のちに質問をした研究者と個別に話をすることができ、連続波の輝度分布からダストの密度分布を導出し、その半径依存性を調べることで、分子輝線の解析とは独立にエンベロープとコアの境を調べ、今回の発表内容の結果と比較する、というアイデアをもらうこともできた。また、他者の発表では積極的に質問を行えた。質問をする人が比較的固定化されていたことや、日本からの参加者が少なかったこともあり、日本からの学生として存在感を示せたと思う。台湾、韓国、中国、ベトナム等からの研究者ともよく交流することができ、研究会参加の一つの目的であった、アジア圏の研究者との関係作りもできたと考える。また、SMA, JCMT の強みやこれから重要となる観測をよく知ることができた。特に、磁場を調べるための偏光観測は大きなサーベイの結果もまとまりつつあり興味深かった。以上のように、今回の研究会に参加したことで様々な面で多くの収穫があった。このような機会を得られたことも早川基金からの援助があつてこそであり、ここに心より感謝申し上げる。