

日本天文学会早川幸男基金渡航報告書

2016年06月10日採択

申請者氏名	麻生有佑 (会員番号 5704)
連絡先住所	〒 181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1 国立天文台内
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	D3
任期 (再任昇格条件)	
渡航目的	研究集会での口頭発表
講演・観測・研究題目	ALMA observations of Keplerian disks around protostars
渡航先 (期間)	イギリス (2016年8月21日～8月27日)

早川基金からの援助を得て、イギリスのエクセター大学で開かれた国際研究会 Star Formation 2016 にて口頭発表を行ったので研究会、発表内容および成果を報告する。共同研究者は大橋永芳 (国立天文台ハワイ観測所) 教授、西合一矢 (大阪府立大学) 研究員、Yen Hsi-Wei (台湾中央研究員)、黒瀬一平 (東京大学) らである。

今回の渡航の趣旨である研究会 Star Formation 2016 はその名の通り星形成に関わる研究を幅広く対象とした研究会である。今回扱われた星形成という分野は星が生まれる環境である分子雲や将来星になると考えられるコアから、作られる星の分布、星が作られる過程で生じる円盤や分子流、惑星までを含む。これら星形成が扱う対象は天体の中でも最小単位であり、星形成は天文学の中でも極めて基礎的な分野と言える。また Spitzer, Hershel などの赤外衛星や ALMA, NOEMA などの電波望遠鏡を用いた観測的研究と、磁場の役割を検証するシミュレーションや観測を再現するモデル計算などの理論的研究の両面が研究会の対象であった。会期中の五日間はそれぞれ分子雲、原始星コア、原始星星団、円盤、およびスプリンターセッションに分けられていた。なお、スプリンターセッションはさらに若い星の年齢、惑星形成撮像、理論計算、温度密度測定、若手キャリアと細かく分かれ、これら五つのセッションが並行して開かれていた。それぞれのセッションでは共通の問題を持つ参加者が短い発表を行い、他の参加者と共に解決策を議論した。

スプリンターセッションを除く四つの日程の中で申請者は原始星コアの枠にて「ALMA Observations of Keplerian disks around protostars」というタイトルの発表を行った。この枠では個々の原始星を中心に 0.1 pc スケールのコアから 10 AU スケールの円盤が対象であり、申請者の研究は原始星に付随する円盤の観測的研究である。星形成において円盤は惑星の母体となる、そのケプラー回転速度が中心星の力学質量を与える、分子流やジェットを駆動する、磁場と相互作用するといった重要な役割を果たす。1990年代のミリ波干渉計の開発にともない、比較的進化した段階にある T タウリ型星の周りに円盤が同定された。T タウリ型星は中心星と円盤からなる単純な系のため、その後も T タウリ円盤は個別にも統計的にも研究が進んだ。このような円盤は T タウリよりも若い原始星の段階で作られるという予想のもと原始星周りの円盤を捉える観測も試みられた。しかしながら、原始星は 1000 AU スケールのエンベロープに覆われているために可視光での観測は不可能であり、さらにエンベロープも円盤と同じように回転し、円盤状の構造を持った

めにエンベロープと円盤の切り分けが最大の課題であった。この課題の解決を目指して申請者らのグループは高感度高空間分解能を誇る電波干渉計 ALMA を用いて三つの星形成領域にある八つの原始星からの $C^{18}O$ $J = 2 - 1$ 輝線と 220 GHz 連続波を観測した。連続波と $C^{18}O$ の積分強度図は概ねそれぞれの原始星に付随する分子流に直行する方向に伸びており、 $C^{18}O$ の平均速度図は伸びの方向にはっきりと速度勾配を示すものからほとんど速度勾配を示さないものまで様々である。伸びの方向の速度勾配は円盤またはエンベロープの回転によるものと考えられるので、伸びの方向に切った位置速度図を使ってより詳細にこの回転速度を調べた。その結果、1. 回転を示さない、2. 中心星からの距離（半径）の -1 乗に比例する回転速度分布を示す、3. 外側は半径の -1 乗に、内側は半径の $-1/2$ 乗に比例する回転速度分布を示す、4. 半径の $-1/2$ 乗に比例する回転速度分布を示す、という四つに分類できることがわかった。これは一定の比角運動量を持つ収縮領域が拡大することで徐々に大きな角運動量が外側から内側へ運ばれ、それが円盤を形成・成長させるという進化モデルを支持する。1. から 4. はそれぞれエンベロープなし（または極めて小さいエンベロープ）、エンベロープのみ、エンベロープとケプラー円盤、ケプラー円盤のみという進化段階に対応すると考えられる。進化にともなって全輻射温度や中心星質量が増加すると予想されるが、その傾向は見られなかった。今後はサンプルを増やすとともに星形成領域ごとの違いにも注目して研究を進めるつもりである。八つの原始星の中でも L1527 IRS については連続波のビジビリティを方位角方向に平均化せずに解析を行った。これには ALMA のような高感度が必要となる。このビジビリティをモデルフィットすることで、ダスト円盤が面密度のジャンプを持つこと、ジャンプの半径が $C^{18}O$ から求めたケプラー円盤の半径と一致すること、加えて円盤の高さは赤外線観測から測られた温度で決まる静水圧平衡で説明できることを示した。なお、本研究で用いたデータは申請者の指導教員である大橋永芳教授と共同研究者である Yen Hsi-Wei 氏が観測提案を ALMA へ提出して観測したものである。データ解析は共同研究者である Yen Hsi-Wei 氏、黒瀬一平氏とともに分担している。特に 2 天体 TMC-1A、L1527 IRS の解析を申請者が担当し、これら 2 天体に関わるデータ解析、議論は全て申請者が中心となって行っている。モデルフィットには共同研究者である西合一矢研究員から提供された IDL コードを用いた。

申請者の発表に対しては、中心星質量の計算方法、進化の解釈、若いケプラー円盤の信頼性への質問があった。発表後も内容について興味を持った参加者から声をかけられたことから自分たちの研究をしっかりと発信できたと思う。この意味で五日間のうちの二日目に発表できたことは幸運であった。また、原始星コア枠の観測レビュー担当者の発表で申請者の論文が取り上げられるなど、国際的な研究の場で認知されていることを実感できた。他の機会に知り合ったアメリカテキサス州の若手研究者とも再会し、新たな友人もできた。同じ分野で研究している彼らとは今後とも交流していきたいと思う。より近い分野のフランスと台湾の教授らに対してはポストドクに就けないかという相談もでき、いずれも好意的な返答が得られた。彼らの学生とも議論でき、近い分野だからこそその実用的な情報が得られた。今回の研究会はイギリスで開催ということもあり、東アジアでの研究会よりも欧米からの参加者が多く、英語の発表の質の高さにも良い刺激を受けた。目指すべきプレゼンの形がはっきりしたので、これからはそれを目指して自分のプレゼンを洗練させていこうと思う。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ってこそであり、ここに厚く感謝申し上げる。