

# 日本天文学会 早川幸男基金による渡航報告書

## *Resolving Planet Formation in the Era of ALMA and Extreme AO*

氏名：金川和弘 (University of Szczecin)

渡航先：チリ共和国

期間：2016年5月16日-20日

今回の渡航で私はチリ共和国サンティアゴ市南ヨーロッパ天文台事務所で行われた国際研究会「Resolving planet formation in the era of ALMA and extreme AO」に参加し、「How to identify the mass of the planet within the gap in the protoplanetary disk from observations」という表題で口頭発表を行いました。この研究会は参加者120人超という非常に盛況なもの（口頭発表85件、ポスター講演27件）で、近年発展が著しいアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計（ALMA）やジェミニ望遠鏡などの大型望遠鏡の電波や近赤外線による原始惑星系円盤、デブリ円盤や系外惑星などの最新の観測結果や原始惑星系円盤や惑星形成にかかわる最新の理論が多数発表されており、私にとって非常に興味深いものでした。その中で、私は原始惑星系円盤の巨大惑星が円盤と惑星の相互作用によって作る惑星軌道に沿った低物質密度領域（円盤ギャップ構造）と惑星質量との関係の理論モデルと観測結果への応用についての発表を行いました。

原始惑星系円盤内で十分に成長した惑星は周囲の円盤ガスとの重力相互作用によってガスを吹き飛ばし、円盤ギャップ構造を作ります。このような巨大惑星によって形成されたギャップ構造は、ALMA やすばる望遠鏡、ジェミニ望遠鏡などの大型望遠鏡によって近年多数発見されているリング状の隙間をもつ「前遷移円盤」の形成を説明する有力な説だと考えられています。原始惑星系円盤の直接撮像観測が盛んに行われている現状において、原始惑星系円盤の直接撮像観測から得られ

たギャップ構造（例えば、ギャップの深さや幅）から惑星に対してどのような制限を与えられるのかを議論することは極めて重要です。そこで、われわれは巨大惑星が原始惑星系円盤に作るギャップの深さについて数値流体シミュレーションの結果をもとにした理論モデルを構築し、ギャップの深さおよび幅とその中に存在する惑星質量の関係式を導出しました。この関係は従来研究による数値流体シミュレーションで得られたギャップの深さと惑星質量の関係ともよく一致します。われわれの導出したこの関係式を用いることで、ギャップの深さおよび幅が正確に観測された場合、その中に存在する惑星の質量を理論的に見積もることが可能になります。従来、原始惑星系円盤での惑星によるギャップ形成の数値シミュレーションは多数行われてきましたが、それらの結果は定性的なもので、実際の観測結果と惑星質量を具体的に結びつけるものではありませんでした。今回のわれわれの結果は実際の観測結果と具体的な惑星質量を理論的に結びつける画期的な研究だといえます。

今回の発表では、理論モデルおよび数値流体シミュレーションによって得られたギャップ構造の深さおよび幅と惑星質量の関係を示し、観測結果への応用の具体例としてALMAの長基線試験観測キャンペーンで観測されたHL Tauの原始惑星系円盤のギャップ構造に対し、ギャップ内の惑星質量の見積もり結果も紹介しました。この結果はダストとガスの二流体の数値流体シミュレーションによる見積もりともよく一致します。今回の研究会でも原始惑星系円盤のギャップ構造の観測結果は多数報告されており、そのような場で観測結果と具体的な惑星を理論的に結びつける本研究の成果を発表できたことは非常に有意義でした。

最後になりましたが、今回の渡航に対する日本天文学会早川幸男基金のご支援に心から感謝いた

します。関係者の皆様、および選考委員会の皆様に厚く御礼申し上げます。

## 日本天文学会 早川幸男基金による渡航報告書

### *Hot Spots in the XMM Sky: Cosmology from X-Ray to Radio*

氏 名: 板花まどか (山形大学D2)

渡航先: ギリシャ

期 間: 2016年6月14日-19日

今回の渡航では、ギリシャ・ミコノス島で行われた研究集会“Hot spots in the XMM sky: Cosmology from X-ray to Radio”に参加し、口頭発表を行いました。本研究会は、銀河団と活動銀河核 (AGN) に関してX線から電波にわたる多波長観測から議論することを目的とした研究会です。

本研究会において申請者は、“Suzaku Observations of the Galaxy Cluster 1RXS J0603.3+4214”というタイトルで口頭講演を行いました。申請者は現在、すざく衛星により観測された電波レリックをもつ銀河団のデータ解析を行っています。電波レリックとは銀河団外縁部に細長く広がっている非熱的な電波放射領域であり、銀河団衝突時に発生した衝撃波と強く関連していると考えられています。銀河団1RXS J0603.3+4214は衝突銀河団の一つであり、直線に近い形状の電波レリックをもつことから“Toothbrush”の愛称で知られています。電波観測により電波レリック外縁での衝撃波のマッハ数 $M_{\text{radio}} \sim 4$ が得られています。このマッハ数が本当に存在する場合、銀河団中の衝撃波としては最強ものとなります。XMM-Newtonによる観測では表面輝度解析により電波とのマッハ数の食い違いが示唆されていますが、得られたマッハ数は三次元密度分布モデルを仮定しマッハ数を算出しているため、モデルによる不定性が高いという問題点が挙げられます。さら

に、XMM-Newtonは検出器バックグラウンドの再現性の問題から精度の良い温度測定が行えていませんでした。これらを解決するために検出器バックグラウンドが低く安定している日本のX線天文衛星「すざく」を用いて観測し、視線方向の構造による影響がより少ない温度分布から衝撃波のマッハ数の決定を行いました。その結果、統計誤差、系統誤差の両方を考慮しても電波観測から算出されたマッハ数と食い違う結果が得られました。これは、電波観測において衝撃波のマッハ数を算出する際に仮定した単純な衝撃波統計加速理論では説明できないことを示唆するものであり、銀河団中における粒子加速機構が含む問題点を明らかにしました。また、電波レリックにある高エネルギー電子は宇宙マイクロ波背景放射光子を逆コンプトン散乱で叩き上げることにより非熱的なX線を放射すると考えられており、シンクロトロン電波との比較により磁場強度を見積もることが原理的には可能です。非熱的なX線の検出には至りませんでした。得られた上限値から見積もつ



会議中に行われた食事会の様子。

た磁場の下限値により、熱的放射の温度や電波のべき不定性を考慮した解析をしても、確かに数  $\mu\text{G}$  の磁場が存在することが確認されました。さらに、得られた結果から熱的な粒子のエネルギー密度、磁場のエネルギー密度の下限値を算出し比較をとったところ、熱的な粒子に対して磁場のエネルギー密度が数 % 以上になる可能性を示唆しており、系の形成に磁場が関連していることを示唆しています。

本研究会には、銀河団と AGN に関して X 線から電波まで多波長にわたる観測に携わっている研究者が多く参加していました。その中で口頭発表を行うことで、多くの研究者に研究成果を知ってもらい議論できたため、非常に有意義な研究会となりました。本研究会は、X 線から電波まで幅広

い波長帯が対象の研究会であり、さまざまな波長帯における最先端の研究に触れることができました。特に、本研究会のメインの一つである XXL survey の最新結果は非常に興味深く、今後の研究の参考になりました。また、Chandra や XMM-Newton 衛星の観測データを扱う研究者が多く解析手法などの話を聞くことで、これまですざく衛星の観測データしか扱っていなかった申請者にとって、得られたものは多く今後の研究の方針を考える良い機会となりました。

本研究会への参加は、今後研究を進めるうえで非常に貴重な経験となりました。最後になりますが、今回の研究集会参加に多大なる援助をいただきました日本天文学会早川幸男基金関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。