

日本天文学会 早川幸男基金による渡航報告書

In the footsteps of galaxies: Tracing the Evolution of Environmental Effects

氏 名: 梅畑豪紀 (東京大学天文学教育研究
センター・日本学術振興会特別研究員)

渡航先: イタリア

期 間: 2015年9月5日-12日

私はイタリア共和国カラブリア州カタンザーロ県の都市, ソヴェラートを舞台として開催された国際研究会「In the footsteps of galaxies: Tracing the Evolution of Environmental Effects」に参加しました。本研究会は英国バーミンガム大学が中心となって企画, 運営されたものであり, 近傍宇宙から遠方宇宙まで, 観測的立場から理論的側面まで, 幅広く「銀河団, 原始銀河団」について理解を深めようという趣旨の下で行われました。私は当該の研究会において「Concentration of dusty starbursts and AGNs at a $z=3.09$ protocluster core」と題して口頭講演を行いました。

今回の発表は私がALMA望遠鏡のサイクル2公募で筆頭提案者として応募, 採択され2015年はじめに(部分的に)デリバーされたデータに基づくものです。ALMA望遠鏡はミリ波, サブミリ波と呼ばれる波長の観測を行う望遠鏡ですが, この波長で選択的に観測される銀河にサブミリ波銀河と呼ばれる種族があります。宇宙の中で最も激しく星形成活動を行っている銀河として知られていて, 銀河内で形成された多くの大質量星から放射される紫外線を大量に含まれるダストが吸収し遠赤外線でも再放射した光が, 初期宇宙の銀河では赤方偏移の効果でさらに波長の長いサブミリ波帯で明るく観測されることからその名がつけられています。サブミリ波銀河は銀河成分(星成分)および中心の大質量ブラックホールを成長させている期間だと考えられています。そのような大質量かつ活動的な銀河が宇宙大規模構造の形成,

進化とどのような関係性にあるのか, そこに私の関心がありました。

ALMA望遠鏡では103個もの視野をモザイクすることで, 弱点とされる視野の狭さを克服し, 6平方分を超える範囲を最大0.5秒角という高分解能で観測することができました。このような「アルマディープフィールド」はまだまだ始まったばかりであり, その中でも本サーベイは広さ, 深さ共に最先端に位置するものです。本観測とこれまでの撮像, 分光観測を組み合わせることで8個のサブミリ波銀河(赤外線光度 $10^{12.5}$ - $10^{13.3}$ 太陽光度)が間違いなく「3次元的に」赤方偏移3.09の宇宙大規模構造(Cosmic Web)の中心に位置していることが明らかになりました。さらに, およそ半分のサブミリ波銀河がX線で明るい活動銀河核をもつこともわかりました。赤方偏移3という初期宇宙において, 宇宙大規模構造と爆発的星形成銀河や超大質量ブラックホールの関係を明快に示したという点に本研究の価値を見出すことができます。

今回の発表は幸いにも多くの注目を受けることができました。実際に講演をする前の段階で他の招待講演の方にハイライトしていただいたり, 発表後には活発な質疑応答を行うことができました。また, 赤方偏移3付近を普段研究対象としている私にとって, より低赤方偏移, あるいは近傍の銀河団における研究は初めて接する情報も多くたいへん刺激になりました。研究の手段としても, 近赤外線面分光装置KMOSのグループの方と知遇を得られたのは非常に大きな成果といえます。彼らとの共同研究も模索しつつ, ぜひ今後ALMAに加えてKMOSのような他の装置との相乗効果も積極的に取り組んでいこうと考えています。

最後になりますが、今回いただいた早川幸男基金による渡航への援助に改めて感謝の意を表した

と思います。関係者の皆様、ありがとうございました。

日本天文学会 早川幸男基金による渡航報告書 MSSLとLMUの講演および共同研究打ち合わせ

氏名：井上茂樹（エルサレム・ヘブライ大学
研究員）

渡航先：英国およびドイツ

期間：2016年1月12日-21日

私は今回の日本天文学会早川幸男基金による助成を受け、英国ユニヴァーシティ・カレッジ・ロンドンの附属施設であるマラード宇宙科学研究所（MSSL）、ならびにドイツのルートヴィヒ・マクシミリアン大学ミュンヘン（LMU）の2カ国2カ所を続けて訪ね、それぞれにおいて私が今後進める研究について、議論と綿密な研究打ち合わせを行いました。また同時に、それぞれの滞在先でセミナー講演を行ってきました。

最初の滞在先であるMSSLは私のかつての所属機関ですが、今もなお研究の面においてMSSLとのつながりが絶えず続いており、今も私の研究活動において重要な研究機関です。今回のMSSLの滞在は、1月12日から15日までの4日間という短いものでしたが、Readerとして勤務している河田大介氏を訪問し、私がかねてから考えてきたアイデアである、Made-to-Measure（M2M法）を新たに発展させた手法の開発に関する研究打ち合わせを行ってきました。M2M法とは、 N 体粒子による銀河モデルの構築を行う手法であり、仮定した初期条件から N 体粒子系（モデル）の軌道計算を行いながら、モデルを構築したい銀河（ターゲット）の観測値との比較を常時行い、モデルとターゲットの相違に応じて N 体粒子の質量を増減させることで最終的にターゲットと同じ性質をも

つ N 体粒子系を作るという手法です。河田氏はこれまで、彼の学生とともにこのM2M法を発展させ、欧州の位置天文学衛星であるGaiaで得られる、星の3次元位置と速度を（つまり粒子的な観測データを）直接M2M法に取り込み、天の川銀河のモデル化に最適化されたM2M法を開発するなどの実績があります。

私は今回、M2M法とマルコフ連鎖モンテカルロ法（MCMC法）を組み合わせた方法を開発できないか、というアイデアを持ち込み、その実現可能性や有用性について河田氏と議論しました。従来のM2M法は、ターゲットとする銀河の星の分布や視線方向速度などの観測可能量をモデルへの制限量とし、実際の銀河の星系をモデル化するための方法とされてきました。しかし、暗黒物質の分布など、観測不可能なものに関しては何らかの仮定を用いて計算を実行するしかありませんでした。しかし、こうした観測不可能量の仮定が間違っていれば、もちろん結果として得られる N 体モデルも正確ではなくなってきます。M2M法ではモデルとターゲットの一致性（ χ^2 ）を常に計算しながら実行されますが、モデル化が正確ではない場合は χ^2 は大きな値で収束してしまいます。私の新しいアイデアは、この χ^2 をMCMC法の中の尤度計算に使い、MCMC計算の中でM2M法の計算を繰り返すことで、最小の χ^2 を与える観測不可能量の仮定値を探すというものでした。河田氏との議論の結果、矮小銀河の暗黒物質の3次元構造の解明に向けて、局所銀河群内の矮小銀河のモデリングを行うことなどが決まりました。私の

元々のアイデアはかなり詰めの良い部分もありましたが、河田氏との議論を進めていくにつれて、大きく形を変えていきました。M2M法とMCMC法を組み合わせるというアイデアの根本部分には強く興味をもってもらえたらしく、非常に協力的に多くの提案をいただきました。今後、河田氏との共同研究という形でこの研究計画を推進していきます。

次の滞在先であるLMUは週明けの18-21日の期間で滞在しました。LMUはミュンヘンの郊外にある、多数の大学が密集した地域の中に本部を置いており、LMUの研究者の多くも同じく学術地区に在するMax Planck Institute for Extraterrestrial Physics (MPE) などで行っています。その関係もあり、私もMPEのセミナーの時間に講演をする機会を得ることができました。MPEをはじめ、このミュンヘンの学術地区にある研究施設はどれも世界的に有名な組織であり、非常に多くの研究者が集まる場所でもあります。そこでセミナー講演の機会を得たことは、研究成果の発表の場としてはとても良かったのではないかと思います。

共同研究に関しては、LMUの教授であるAndreas Burkert氏や彼のグループに所属する学生やポストドクと議論する機会を得ることができました。私がこれまで行ってきた、形成期円盤銀河の力学不安定性の研究について議論し、この研究の次のステップとして何を行うべきかについて深く意見を交換し、たくさんのアイデアをいただき

ました。私はこれまでの円盤力学不安定の研究では宇宙論的銀河形成シミュレーションのデータを用いて解析を行っていましたが、宇宙論的シミュレーションであるがゆえの複雑さから、次の手の打ち方に迷っていましたが、シェアリングボックスシミュレーションという、局所化された円盤を再現するシミュレーションに切り替えて、基礎物理的な理解を追求するという方針が示されました。

LMUでは非常に近く関連した研究を行っているという関係上、Burkert氏の学生とも大いに議論する時間をもつことができました。研究室全体の雰囲気も非常に良く、セミナー講演のあとは近くのレストランでディナーも催してくれるなど、思っていた以上に歓待していただきました。Burkert氏も忙しい立場にもかかわらず、空いている時間はほとんど私との議論の時間に費やしてくださり、またディナーにもわざわざ出席してくれるなど、人間関係的にもより密接な関係が構築できたと思います。今後、このシェアリングボックスシミュレーションも、LMUとの共同研究として推進していきたいと思います。

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からのご支援に深く感謝いたします。また、助成の際のさまざまな手続きをしていただいた関係者の皆様、審査を行ってくださった同基金の選考委員会の皆様にも厚く御礼申し上げます。