

# 日本天文学会 早川幸男基金による渡航報告書

## *The Dawn of Galaxies 2017*

氏 名: 中島王彦 (European Southern Observatory PD (渡航当時))

渡航先: オーストリア

期 間: 2017年1月14日-18日

私は、2017年1月14日-18日にオーストリアのオーバーグルグルにて開催された国際会議 “The Dawn of Galaxies 2017” に参加し、“A hard ionizing spectrum in Ly-alpha emitters with intense [O III] emission: Analogs of galaxies in the reionization era?” という講演タイトルで口頭発表を行いました。本研究会は、宇宙が誕生してから最初の10億年(赤方偏移到換算して $z \geq 6$ )における銀河の性質や宇宙再電離に果たした役割などを議論し合う場でした。総勢40名程の観測・理論研究者が参加し最新の研究成果の報告・議論を行い、非常に有意義な研究会となりました。

今回私が報告した研究は、赤方偏移 $z=3-4$ のLy $\alpha$ 輝線銀河(LAEs)の静止系可視分光観測結果でした。LAEsは小質量の若い星形成銀河であり、宇宙再電離期のような初期宇宙における典型的な銀河であることが観測的に示唆されています。私は $z=2-4$ ほどのLAEsを初期宇宙の銀河の“近傍対応天体”として詳しく調べ、その知識を宇宙再電離期へ拡張しようとしています。特に着目をしているのが静止系可視域に見られる輝線スペクトルから得られる分光的性質です。静止系可視輝線スペクトルからは、星形成銀河の電離水素ガス領域の物理的性質や、電離源である星種族から放射される電離スペクトルの形などを調べることができます。 $z=2-4$ の遠方銀河からの静止系可視分光スペクトルを得るためには近赤外分光観測が必要なのですが、小質量で暗いLAEsの近赤外分光は困難なためこれまで十分研究できていませんでした。

そこで私たちは独自のLAEsサンプルを対象に深い近赤外分光観測を行い、本研究分野をリードしてきました。最新の結果として、私たちは $z=3-4$  LAEsの深い近赤外分光観測をKeck望遠鏡のMOSFIREで行い、13個のLAEsから重要な輝線である [O III] $\lambda\lambda 5007; 4959$ , [O II] $\lambda 3727$ , H $\beta$ の検出に成功しました。これは [O II] を含む最も大きな遠方のLAEsの可視分光サンプルです。LAEsとほかのより大質量の星形成銀河(主にLyman break galaxies; LBGs)や近傍銀河とを比較してみると、LAEsが見かけ上特に高い [O III]/[O II] 比をもつ傾向が明確となってきました。興味深いことに、近年の研究から宇宙再電離期の遠方銀河も非常に強い [O III] 輝線をもつことが示唆されています。この点からも、“近傍対応天体”であるLAEsの高い [O III]/[O II] 比をよりよく理解することは非常に重要であると考えています。本発表ではこの高い輝線比の解釈を光電離モデルを用いつつ紹介しました。LAEsの平均的に硬い電離スペクトルが観測的に示唆されたことから、LAEsは形成初期段階の若い銀河であり、活発な星形成活動によって電離光子を効率よく生成していると推測されます。その結果、星間の電離水素ガス領域の卓越した状態が実現される可能性があります。この場合、強いLy $\alpha$ 輝線に加えて、とりわけ高い [O III]/[O II] 比が観測されることがわかりました。この解釈が正しいとすると、LAEsは光学的に薄く、電離光子を効率よく銀河外へ放射している可能性があります。初期宇宙の銀河が平均的にLAEsのような銀河種族で代表されるとすると、銀河が電離源として宇宙再電離へ大きく寄与できた可能性を本研究は支持する結果となりました。

また本招待講演では、自身の研究結果のみなら

ず、銀河から観測される静止系可視・紫外域の分光輝線スペクトルから得られる銀河の性質についてレビューを与えることが求められていました。本発表がジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡といったより強力な望遠鏡・分光装置を使って初期宇宙の銀河の性質を探る将来観測プログラム検討につながる講演となったと思います。

今回の会議では、多くの観測・理論研究者から興味深い最新研究結果の報告がありました。これらを通じて、将来どのような観測をして宇宙再電離の謎に迫ることができるか、自分自身改めて考える良い機会となりました。観測面では、初期宇宙銀河の非常に強い [O III]+H $\beta$  輝線や弱い [C II] $\lambda$ 158  $\mu$ m 輝線、紫外域の高電離輝線 C IV $\lambda$ 1549, He II $\lambda$ 1640 の検出等、私の輝線解析研究を刺激する研究成果が続々と報告されました。また、宇宙再電離期の  $z=7-8$  の明るい銀河から Ly $\alpha$  輝線が高い確率で観測同定されたことで、明るい銀河の周辺から銀河間空間の電離が進んでいくという “Patchy Reionization” を支持する観測結果も報告され、興味深く感じました。ほかにも、暗い AGNs の宇宙再電離への寄与など、私の勉強不

足を今回の機会に補うことができました。また理論面では、小質量ハロー銀河の電離光子放射と宇宙再電離への重要な寄与が報告されました。観測的には直接同定することはまだ難しそうなのですが、観測研究者としていかに理論研究にインプットを与えることができるか、改めて考えさせられました。さらに、発表を聞くだけでなく、会議中には多くの研究者と直接議論・意見交換をすることもできました。最遠方銀河観測をリードする Daniel P. Stark 博士や Pascal A. Oesch 博士とは宇宙再電離期の銀河の分光観測について有意義な意見を直接聞くことができました。また遠方銀河からの電離光子放射研究の第一人者である Eros Vanzella 博士には私たちの研究を高く評価していただき、今後どのような観測によって銀河からの電離光子放射量を推定していくべきか意見交換をすることができました。これらは私の今後の研究にとってたいへん価値ある収穫でした。

最後になりましたが、今回の渡航に対し多大な援助をいただいた、日本天文学会 早川幸男基金 および関係者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 *p*-process Workshop 2017

氏名：佐々木宏和（東京大学／国立天文台 D1  
（渡航当時））

渡航先：アメリカ インディアナ州

期間：2017年6月27日-7月3日

私は、2017年6月29日から7月1日にアメリカのインディアナ州、ノートルダム大学で開催された研究会「*p*-process Workshop 2017」に参加しました。この研究会は核図表の陽子過剰側に分布する安定な *p* 核元素の合成過程の理解や起源天体の解明を目的としています。研究会には主に *p* 核

合成の鍵を握る陽子捕獲反応の測定を試みる実験家や、爆発的天体現象で合成される *p* 核を見積もる理論家が集まりました。本研究会は参加者が30人程度と少人数であり、参加者同士で気兼ねなく自由に議論を交わすことができ、私にとって非常に中身の濃い研究会となりました。

本研究会は「Experimental efforts」や「Experimental methods」, 「Reaction rates」, 「*p*-process nucleosynthesis」の四つのセッションに分かれており、私は「*p*-process nucleosynthesis」のセッションで「The importance of collective neutrino

oscillations for  $\nu p$  process nucleosynthesis in core-collapse supernovae」という題目で口頭発表を行いました。重力崩壊型超新星では爆発後、中心に原始中性子星が形成され、重力エネルギーのおよそ99%が大量のニュートリノにより持ち出されます。中心から放出されたニュートリノは、中心からおよそ100 km付近でニュートリノ同士のコヒーレント散乱によりニュートリノの種類や運動量によらない集団振動を引き起こします。ニュートリノ集団振動はニュートリノのフラックスを劇的に変化させ、原子中性子星から吹くニュートリノ駆動風内部での爆発的元素合成に多大な影響を与えます。特に $\nu p$ プロセス元素合成はニュートリノ集団振動に敏感で、 $p$ 核の合成を促進する可能性を秘めています。そこで、本研究ではこれまで定性的にしか取り入れられてこなかった集団振動の効果をより現実的なニュートリノ振動の計算法を用いて $\nu p$ プロセス元素合成に応用しました。数値計算の結果、ニュートリノ振動を考慮しない場合に比べ $p$ 核の合成量が $10$ - $10^4$ 倍程度増大することが明らかとなり、元素合成計算に対する集団振動の重要性を示すことができました。

口頭発表後、コーヒブレイクや夕食会で、

ニュートリノ振動や元素合成への影響に関する質問を理論家、実験家を問わず多数いただきました。研究会の参加者にニュートリノ振動の元素合成への影響を広く認知してもらえたと思います。 $\nu p$ プロセスの第一人者であるCarla Fröhlich教授や、実験家で $\nu p$ プロセスの元素合成計算を行っていたPanagiotis Gastis氏と投稿中の論文や、 $\nu p$ プロセスの振る舞い、NiCuサイクルに関して議論できたことはたいへん有意義でした。また、以前オーストリアで開かれた研究会で一緒になった多くの研究者と再会できたことは大きな喜びとなりました。

アメリカを訪れるのは初めてであり、研究会には日本人がいなかったので少し不安もありましたが、無事渡航を終え、研究に対する理解を深めることができました。サイエンスのみならず、渡航中、アメリカの広大さを肌で感じ、現地の人々との交流をもつことができたことは私にとって良い経験となりました。

最後に、充実した時間を過ごせたのも早川幸男基金、および、その関係者の皆様にご支援いただいたおかげです。心より感謝申し上げます。