

論文審査の結果の要旨

氏名 中島 王彦

本論文は、赤方偏移 $z = 0 - 3$ の星形成銀河における星間物質の物理状態、特にその金属量および電離パラメータを調べ、星形成銀河の電離パラメータが強い赤方偏移進化をしていることを示すとともに、電離パラメータ・星質量・金属量・星形成率の間に赤方偏移依存しない基本的な関係が存在していることを新たに示したものである。

本論文は7章から構成される。第1章はイントロダクションであり、これまでの遠方銀河の金属量と電離パラメータについての研究がまとめられている。

第2章ではまず、スローンデジタルスカイサーベイ(SDSS)のカatalogにある近傍($z \sim 0$)の140000銀河について酸素原子輝線比 $[\text{OIII}]\lambda 5007/[\text{OII}]\lambda 3727$ (O32 比)および $([\text{OIII}]\lambda 5007 + [\text{OII}]\lambda 3727)/\text{H}\beta$ (R23 インデックス)をプロットし、その結果を光電離モデルと組み合わせることにより近傍銀河が典型的に金属量 $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \sim 9.0$ 、電離パラメータ $\log(q_{\text{ion}}/[\text{cm/s}]) \sim 7.3$ を持つことを明らかにした。また、これら銀河が星質量・星形成率・金属量・電離パラメータの4次元空間内でひとつの曲面上に分布する可能性を指摘した。この曲面上では星質量が小さく高い星形成効率(星形成率/星質量)をもつ銀河ほど、高い電離パラメータと低い金属量を持つ。

第3章では上記研究を遠方に拡張するため、すばる望遠鏡/Suprime-Cam に独自の狭帯域フィルタ NB387 を搭載して $z = 2.2$ のライマン α 輝線銀河(LAE)のサンプルを構築した。これは典型的に $10^{9.5}$ 太陽質量以下の、これまでの観測では欠けている遠方低質量銀河の物理状態を明らかにしようとするものである。Keck/NIRSPEC および Magellan/MMIRS による近赤外線分光観測により、2天体から $[\text{OII}]$, $\text{H}\beta$, $[\text{OIII}]$, $\text{H}\alpha$ などの複数輝線の検出に初めて成功し、非常に高い電離パラメータと低い金属量を持つことを示した。また、これ以外の100個のLAEをまとめて狭帯域撮像画像のスタッキング処理を行い、それらの平均的金属量の下限値を与えることに成功した。以上の結果はLAEに対して行われた初めての観測であり、遠方小質量銀河の性質について新たな知見を与えるものである。

第4章では第3章もふくめこれまでの観測で得られた $z = 2 - 3$ にある星形成銀河39天体、および $z = 0.5 - 1.5$ にある69天体の物理状態を第2章と同様にO32比とR23インデックスで調べたものである。その結果、 $z = 2 - 3$ の銀河はSDSSに比べて4 - 10倍以上高い電離パラメータをもつものに対し、 $z = 0.5 - 1.5$ 銀河はその中間であることが明らかになり、電離パラメータが赤方偏移とともに増加していることを示した。さらに、これらの銀河は第2章で得られた星質量・星形成率・金属量・電離パラメータ関係を満たしている。そこで、申請者はこの4次元空間内での関係が赤方偏移に依存しない普遍的な関係(基本電離関係)であるという仮説をかかげた。

第5章は前章までに得られた結果を考察したものである。これまでの研究では、星質量・星形成率・金属量の間に普遍的な関係が $z < 3$ で存在しているものの、 $z > 3$ で金属量のみが急激に増加していると考えられていた。しかし申請者はこの増加の原因が、電離パラメ

ータを近傍銀河と同じであると仮定することによって輝線比を解釈したためであり、本研究によって得られた電離パラメータの進化を考慮すると、この増加はもともと存在していない可能性が高いことを示した。

次に、近傍のライマン連続光を放射する銀河は基本電離関係に比べて高い **O32** 比を持つことから、ライマン連続光が漏出するような銀河では通常に比べて高い電離パラメータを持つ可能性があることを指摘した。これを検証するため光電離モデルを構築し、このような銀河が周囲の中性ガスをすべて電離した **HII** 領域モデルで再現でき、電離光子脱出率が高いほど **O32** 比が高くなることを示した。

以上のことから、遠方の **O32** 比が高い銀河、特に **LAE** は電離光子脱出率が高い銀河の候補と考えられ、このような天体が宇宙の再電離に大きな役割を果たした可能性を示唆する。

第6章は全体のまとめであり、第7章で今後の研究の展望を述べている。

以上、本論文はこれまでの銀河の物理量進化を探る上で十分に検討されていなかった電離パラメータを含めた解析を行い、 $z = 0 - 3$ の星形成銀河の物理状態を明らかにするとともに、その電離パラメータが強い赤方偏移進化を示すことを明らかにしたものである。特に、 $z > 2$ での小質量星形成銀河である **LAE** の系統的観測は初めての試みであり、学問的価値も高い。更に、星質量・星形成率・金属量・電離パラメータに基本的な関係があることを示し、電離パラメータが金属量を観測的に探る上で重要な物理指標であることを示したことは銀河の化学進化の今後の研究に大きな影響を与える重要な結果である。

なお、本論文の第2章および第4章は大内正己、第3章および第5章は大内正己、嶋作一大、小野宜昭、橋本拓也、岡村定矩、Janice C. Lee、Sebastien Foucaud、Chun Ly、Daniel A. Dale、Samir Salim、Rose Finn、Omar Almaini との共同研究であるが、論文提出者が主体となって観測、データ解析、及び科学的議論を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって、博士（理学）の学位を授与できるものと認める。

最終試験の結果の要旨

氏名 中島 王彦

成績 合 格

本委員会は、論文提出者に対し平成26年1月28日、学位論文の内容及び関連事項について、口頭試験を行った。

その結果、論文提出者は、天文学、特に銀河天文学について博士（理学）の学位を受けるにふさわしい十分な学識を持つものと認め、審査委員全員により合格と判定した。