

氏名・(本籍)	まつ だ ゆう いち 松 田 有 一
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	理博第2171号
学位授与年月日	平成17年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科, 専攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程) 物理学専攻
学位論文題目	高赤方偏移の巨大水素ガス天体と宇宙の構造形成
論文審査委員	(主査) 教授 山 口 晃 教授 土佐誠 (天文学専攻) 助教授 諸 井 健 夫, 林 野 友 紀 山 田 亨 (国立天文台)

論 文 目 次

1. はじめに
2. 宇宙の構造形成
3. 高赤方偏移銀河
4. Ly α 輝線天体の大規模構造
5. 巨大水素ガス天体の統計的性質
6. 巨大水素ガス天体と構造形成
7. まとめ

論 文 内 容 要 旨

私は日本の大型可視近赤外望遠鏡である、口径8.2mすばる望遠鏡を用いて初期宇宙(宇宙年齢が現在のおよそ15%)の広範囲にわたる銀河の3次元地図を作り、初期宇宙における銀河高密度領域のフィラメント状大規模構造(長さが約60Mpc, 1Mpcは約300万光年)の姿を初めて観測的にとらえた。さらにこのフィラメント状大規模構造の中で大質量銀河形成の現場と考えられる巨大な水素輝線ガス天体(サイズが30kpc以上, つまり銀河系のサイズ以上の大きな天体)を多数検出し、初めてその統計的な性質を調べた。私はこの研究により、現在の宇宙で見られる大規模構造や大質量銀河が、いつ、どのように、どのような場所で形成されたのかを観測的に解明することを目指している。

私たちはすばる望遠鏡の主焦点カメラを用いて赤方偏移 $z \sim 3.1$ ($z=3.05-3.12$)のLy α 輝線天体の広範囲にわたる探索(探索領域のサイズは縦46Mpc, 横59Mpc, 奥行き59Mpc)を行った。探索を行ったのは、これまでに初期宇宙で見つかったうち最も大きな密度超過を示す銀河高密度領域(平均密度の6倍)の周囲を、約10倍の体積で取り囲む領域である。この探索の目的は中心部の銀河高密度領域が密度超過を保ったまま周囲に向かってひろがる大構造をなしているかどうか、またその大構造のサイズはどれくらいかを調べることである。CDM構造形成論では初期宇宙で大きな密度超過を持つ銀河高密度領域が数十Mpcを超

えて存在することは非常に稀であると考えられている。この探索では赤方偏移 $z \sim 3.1$ の輝線天体を効率よく検出するために作った独自の狭帯域フィルターおよび広帯域フィルターを用いて撮像観測を行い、 $z \sim 3.1$ の輝線天体を283個検出した。探索領域内の輝線天体の奥行き方向の正確な位置はわからないものの、天球面上に投影した分布を見ると、輝線天体の高密度領域は大きくひろがっており、幅15-20Mpc、長さが60Mpcもあるフィラメント状大規模構造をなしていることがわかった。

この輝線天体のフィラメント状大規模構造の3次元分布を明らかにするためには輝線天体の奥行き方向の正確な位置、つまり詳細な赤方偏移を知ることが不可欠である。そこで私はすばる望遠鏡の多天体分光器FOCASを用いてフィラメント状大規模構造の中の輝線天体の分光観測を行い、56個について正確な赤方偏移を得ることに成功した。その結果、このフィラメント状大規模構造は3次元的に見ても60Mpcのひと続きの構造をしていることがわかった。初期宇宙においてこのような数十Mpcを超える大きなスケールのフィラメント状大規模構造の姿を3次元的に明らかにしたのは世界でこれが初めてである。この結果から、フィラメント状大規模構造が密度超過を保ったまま、今回の探索領域を超えてさらに大規模な構造をなしている可能性も出てきた。今後、探索領域を広げて、この構造がCDM構造形成論の枠内で説明できるものなのかどうかを探ることはCDMモデルの検証という意味で大変重要である。

この領域の中心部にはLy α 輝線の光度や空間的なひろがり(サイズ)が典型的な輝線天体の数十倍の規模の巨大水素ガス天体(Ly α blob, LAB)が2つあることが知られていた。このLABはその巨大なサイズから大質量銀河形成の現場ではないかと考えられており、大質量銀河形成に伴う様々な物理過程の様子を空間的に分解して調べることができる良いサンプルとして注目されている。そこで私は撮像データの詳しい解析を行い、サイズが30kpc以上のLABを新しく33個検出することに成功した。このようなLABの大きなサンプルを取得したのも世界でこれが初めてである。LABの天球面上分布を見てみると、その9割以上が輝線天体のフィラメント状大規模構造の中に分布しており、銀河高密度領域に特有の天体であることがわかった。さらにLABの基本的な性質として、Ly α 輝線光度とサイズの分布は連続的であることがわかった。

私はこのLABの詳しい赤方偏移とガスの運動の様子を探るために、口径10mのKeckII望遠鏡の多天体分光器DEIMOSを用いて16個のLABに対して深い可視分光観測を行った。赤方偏移を調べた結果、大半のLABは3次元的に見ても輝線天体の高密度領域に集中していることがわかった。LABが銀河高密度領域に集中する理由として、(1)大質量ダークマターハローに付随している、(2)銀河高密度領域では銀河の活動性が高い、(3)銀河高密度領域内の銀河には水素ガスの量が多いなどの可能性が考えられるが、解明には今後のさらなる研究が必要である。また輝線の速度幅を調べた結果、LABのLy α 輝線のサイズと輝線速度幅の間に正の相関があることをつきとめた。この結果からもLABは、もしLy α 輝線ガスが重力的に束縛されている場合には大きな力学質量を持つ天体であること、重力的に束縛されていない場合にはガスの吹き出しなどの激しい活動を行っている天体であることが示唆される。

さらに私はLABにおける大規模な星形成活動の証拠を得るために欧米の研究者と共同でサブミリ波望遠鏡JCMTのSCUBAを用いてLABに対してサブミリ波測光観測を行った。ダスト(塵)に覆われた大規模な星形成活動を起こす銀河では星からの紫外線で暖められたダストが強い遠赤外線放射を出すことが知られている。サブミリ波に赤方偏移したダストからの遠赤外線放射を検出することができれば、LABにおける大規模な星形成活動の証拠になる。そして観測の結果、17個中4個でサブミリ波を検出することに成功した。

私は初期宇宙において数十Mpcにわたる輝線天体のフィラメント状大規模構造の様子を3次元的に明らかにし、さらにこのフィラメント状大規模構造の中で大質量銀河形成の現場と考えられる天体、LABの大サンプルを取得し、その基本的性質を調べた。これらはどちらも世界で初めての成果であり、宇宙の

構造形成の研究，特に初期宇宙における大規模構造と大質量銀河形成の研究に大きな進展をもたらしたと言える。将来的には観測範囲を拡張し初期宇宙における詳細な銀河の3次元地図が作ることができれば，冷たい暗黒物質(CDM)による構造形成論からの予想と定量的に比較することで，CDMモデルを検証することができるはずである。

論文審査の結果の要旨

宇宙の大規模構造や大質量銀河の存在とその性質の解明は世界的にも始まったばかりである。暗黒物質による構造形成論では初期宇宙で大きな密度超過を持つ銀河高密度領域が数10Mpcを超えて存在することは稀であると考えられている。従って、銀河高密度の大規模構造の探索は天体物理学や素粒子物理学にとって重要な研究課題である。

本論文はこのような背景のもとで、すばる望遠鏡の主焦点カメラを用いて赤方偏移 $z=3.1$ 付近のライマン α 輝線銀河の広範囲にわたる探索を行い、大規模構造や大質量銀河の形成を観測的に解明したものである。赤方偏移 $z=3.1$ 付近の輝線銀河を検出するために、独自の狭帯域フィルターおよび広帯域フィルターを用いて観測を行ない、輝線銀河を283個検出した。天球面上に投影した分布から高度領域の幅15-20Mpc、長さが60Mpcもあるフィラメント状大規模構造を形成していることを解明した。

これら輝線銀河に対し、すばる望遠鏡の多天体分光器FOCASを用いて輝線天体の分光観測、口径10mのKeckII望遠鏡の多天体分光器DEIMOSを用いて可視分光観測、サブミリ波望遠鏡JCMTのSCUBAを用いてサブミリ波測光観測を行っている。これらの観測結果から、輝線銀河が3次元的に60Mpcのひと続きの構造をもつこと、中心部には30kpc以上のひろがりを持つ巨大水素ガス天体が存在すること、赤方偏移の結果から3次元的にも輝線天体が高密度領域に集中していること、また輝線の速度幅の測定からライマン α 輝線のサイズと輝線速度幅の間に正の相関があること、ダスト(塵)に覆われた巨大水素ガス天体の大規模な星形成活動であることを解明した。

このように、初期宇宙における銀河高密度領域のフィラメント状大規模構造の姿を初めて3次元的に観測し、大規模構造の中で大質量銀河形成の巨大な水素輝線ガス天体を多数検出し、初めてその統計的な性質を調べた。これらは世界で初めての成果であり、宇宙の構造形成の研究、特に初期宇宙における大規模構造と大質量銀河形成の研究に大きな進展をもたらした。暗黒物質モデルによる構造形成論の検証、さらには暗黒エネルギーの進化に迫ることができる意味で大変重要である。

よって本論文は、著者が自立して研究活動を行なうに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。したがって、松田有一提出の論文は博士(理学)の学位論文として合格と認める。