

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2009~2011

課題番号：21540245

研究課題名（和文）クエーサー吸収線系と原始銀河の起源と進化の解明

研究課題名（英文）Origin and Evolution of Quasar Absorption Systems and Primordial Galaxies

研究代表者

大越 克也 (Okoshi Katsuya)

東京理科大学・基礎工学部・講師

研究者番号：50453832

研究成果の概要（和文）：

クエーサー吸収線系の物理的・化学的進化を考察することによって、原始銀河の起源や形成過程を解明することが本研究課題の目的である。ここでは、主に水素吸収線系のうち、最も中性水素ガス柱密度が高い系：Damped Lyman  $\alpha$  Absorption Systems (DLA) に注目し、原始銀河の主成分である水素ガスの存在量や空間分布の進化を調べることにより、銀河の起源や進化過程の初期段階の解明を試みた。

成果は以下の通りである。

- (1) DLAは、近傍( $z \sim 0$ )では、主に矮小銀河 ( $\sim 3$  kpc) を母銀河とする。近傍銀河に対する電波観測の結果を踏まえて、DLAの中性水素質量は太陽質量の  $10^8$  倍程度であり、中性水素ガスのサイズと強い相関があることが理論モデルから示された。
- (2) DLAは、高赤方偏移( $z > 2$ )では、星形成領域と強い関連性をもち、現在知られている Lyman  $\alpha$  Emitter 等の進化の初期段階の系である可能性がある。補償光学装置を用いた DLA 銀河探査の暫定的な結果から、その星形成率の上限値は、20 太陽質量/年と見積もられた。

以上の結果から、原始銀河の起源や形成過程を解明するために、近傍に於ける電波観測及び高赤方偏移に於ける可視・赤外観測を実施し、近傍と高赤方偏移を結びつけたガスの進化に関する描像を確立するための統計的に有意な研究が、今後望まれる。

研究成果の概要（英文）：

We have investigated galaxy formation/evolution processes by focusing on quasar absorption systems. In particular, we have explored the evolution of Damped Lyman-alpha (DLA) absorption system which contains most amount of neutral hydrogen in the universe. Specifically, we aim to reveal the mass and spatial distribution of neutral hydrogen gas, giving rise to DLAs, in a purpose to put constraints on an early stage of galaxy evolution.

Our main results are as follows:

- (1) At low redshift ( $z \sim 0$ ), DLA galaxies (typical size  $\sim 3$  kpc), where the HI column densities are as high as those of DLA systems, contribute significantly to the population of HI-selected galaxies at neutral hydrogen mass  $10^8 M(\text{solar})$ . We find a tight correlation between cross sections of HI gas and HI masses. This result based on our theoretical models is consistent with the blind radio observations.
- (2) At high redshifts ( $z > 2$ ), DLAs are associated with gas in star-forming regions under an early stage of galaxy (e.g., Lyman-alpha emitter) evolution. Our result of DLA galaxy surveys using the adaptive optics system puts constraint on an upper limit of the star formation rates of  $20 M(\text{solar}) \text{ yr}^{-1}$ .

Further investigation based on statistically significant sample size is required by carrying out both blind radio and optical/infrared surveys for DLA galaxies.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系化学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：クエーサー吸収線系、銀河、銀河形成、DLA、理論天文学

### 1. 研究開始当初の背景

銀河の起源及び進化は、天文学の根幹をなす課題のひとつである。原始銀河の進化は、ガスの物理的・化学的進化過程に大きく左右される。従来から遠方クエーサーのスペクトルに現れる多様な吸収線（以下、クエーサー吸収線系と呼ぶ）は、遠宇宙の天体によるものであることが知られている。それらを探ることにより、原始銀河や銀河間ガスの存在量や関連性に関する知見が得られることが期待される。しかし、クエーサー吸収線系の起源や進化過程は、理論及び観測的側面から十分な解明がなされていないのが現状である。

### 2. 研究の目的

クエーサー吸収線系の物理的・化学的進化を考察することによって、原始銀河の起源や形成過程を解明すること本研究課題の目的である。特に、Damped Lyman  $\alpha$  (DLA) Absorption System と MgII 系に注目して研究を進めた。DLA は、銀河の主な成分である（中性）水素を最も多く内包する系と知られているが、その起源や進化、特にどのような銀河と関連があるか解明されていない。一方、MgII 系は、星形成過程に生成される金属による吸収線系の代表的なものであるため、主に原始銀河の星形成がハロー（もしくは銀河間）ガスにどのように影響を及ぼしているのかを知るのに最も適した吸収線系と考えられている。しかし、これも DLA と同じく、原始銀河及び周辺域に於ける星形成過程にどの程度、起因するものなのか解明されていない。

本研究では、原始銀河の起源や進化過程を探るために、その鍵を握る水素ガスや金属、つまり、クエーサー吸収線系の物理的・化学的特性を理論的・観測的アプローチにより考察した。

### 3. 研究の方法

研究目的を達成するために、研究目的に応じた3つのテーマに絞り、それぞれの研究計画を立てた。(1) DLA母銀河の解明、(2) 吸収線系理論モデルの構築、(3) MgII系の高赤方偏移における進化の解明。

#### (1) DLAの母銀河の解明

本研究の仮説は、「DLAの母銀河は、中性水素が多い原始銀河である」というものである。このため、低輝度であることが予想されるため、補償光学装置(AO)を用いて、DLA周辺の母銀河からの輝線の検出を目指した。

#### (2) 吸収線系理論モデルの構築

DLAを生じさせる原始銀河(DLA銀河)はどのようなものか？つまり、中性水素質量や金属度に応じて、水素ガスがどの程度広がって分布しているかを理論的に見積もる必要がある。このため、DLA形成に関する理論モデルを構築し、DLA、MgII系及び銀河に関する起源・進化過程を理論考察した。

#### (3) MgII系の高赤方偏移観測に於ける進化の解明

MgII吸収線系は、DLAととても強い相関を示すことが知られている。ここでは、特に高赤方偏移( $z>2$ )におけるMgII系の数密度の進化に注目し、原始銀河ハローの進化を考察した。

### 4. 研究成果

#### (1) DLAの母銀河の解明

低輝度であるDLA銀河のうち、星形成率の高い、すなわち、金属度の大きなサンプルを優先的に選び、その輝線検出を試みた。

ハワイ島Keck望遠鏡及びGemini望遠鏡において、Keck/OSIRISおよびGemini/NIFSを用いて、2011年9月～12月に観測を実施し

た。悪天候や装置故障のため、十分な観測時間が得られず、検出には至らなかった。

この結果から、DLA 母銀河の星形成率の上限が得られた。つまり、赤方遷移  $z > 2$  の DLA 母銀河の星形成率（上限）は  $6 M_{\text{sun}}/\text{yr}$  と見積もられた。

一方、従来から進めてきたヨーロッパ南天文台 (ESO) のグループ (J. Fynbo 氏の研究グループ) との共同研究により、同様な観測を VLT で実施し、DLA 銀河 ( $z \approx 2.6$ ) の検出に成功した。その結果、金属度の高い DLA は比較的明るい母銀河 (星形成率  $\sim 20 M_{\text{sun}}/\text{yr}$ ) をもち、ディスクサイズより大きな拡がりをもつダストの存在も確認された。他に、水素分子の存在も初めて示唆された。

### (2) 吸収線系理論モデルの構築

DLA 母銀河の特性を DLA 形成モデルを用いて準解析的なアプローチにより考察した。特に、(1) で挙げた観測的特性 (中性水素ガスのサイズ等) を予測するために、近傍電波観測で得られている DLA と同等な柱密度をもつ銀河に注目し、その中性水素質量と中性水素ガスのサイズを考察した。その結果、両者に正の相関があり、DLA 母銀河の中性水素質量は  $10^8 M_{\text{sun}}$  程度であり、そのサイズは 3kpc 程度であることを示した。

この結果を踏まえて、今後、(1) 高赤方遷移 ( $z > 2$ ) の観測で、母銀河が多数検出できれば、近傍と同様に中性水素質量に対するサイズの相関が得られる。その結果、両者を比較することにより、星形成の材料となるガス (ディスクやハロー内の質量や空間分布) が銀河進化にどのような影響を及ぼしてきたかを解明できることが期待される。

### (3) MgII 系の高赤方偏移観測に於ける進化の解明

高赤方偏移 ( $z > 2$ ) における MgII 系の数密度に関する観測的考察を東京大学 (小林尚人氏の研究グループ) との共同で行った。その結果、単位赤方偏移あたりの MgII 系の個数は  $z > 2$  では、DLA などの水素吸収線系とは大きく異なり、減少することがわかった。検出数は少ないが、それらがハローガス雲に起因するものであれば、ハローサイズの減少を意味し、原始銀河との相関が高いことが示唆される。

今後、DLA と同様に、MgII 系の母銀河の検出により、ハローサイズに制限が加えられ、原始銀河の星形成によるフィードバックがハロー内外のどの範囲まで影響が及ぶのかが解明されることが期待される。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① Okoshi, K., Nagashima, M., Gouda, N., and Minowa, Y.  
“HI-selected Galaxies As a Probe of Quasar Absorption Systems”  
The ASTROPHYSICAL JOURNAL, Vol. 710, 2010, pp. 1295-1309, 査読有
- ② Fynbo, J., Okoshi, K., et al. (17 名、13 番目)  
“Galaxy counterparts of metal-rich damped Ly $\alpha$  absorbers - II. A solar-metallicity and dusty DLA at  $z_{\text{abs}} = 2.58$ ”  
MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, Vol. 413, 2011, pp. 2481-2488, 査読有
- ③ Okoshi, K.  
“HI-selected Galaxies As a Probe of Quasar Absorption Systems”  
Annual Report of the National Astronomical Observatory of Japan, Vol. 12, 2010, p. 7, 査読有
- ④ Okoshi, K., Nagashima, M., Gouda, N., and Minowa, Y.  
“HI-selected Galaxies As a Probe of Quasar Absorption Systems”  
Proceedings of the International Astronomical Union Symposium, Stellar Populations - Planning for the Next Decade, Vol. 262, Vol. 12, 2010, pp. 402-403, 査読無

[学会発表] (計 14 件)

- ① 大越 克也  
「クエーサー吸収線系～原始銀河と周辺域の環境～」, 第 4 回クエーサー吸収線研究会, 2011 年 12 月 10 日, 信州大学 (長野)
- ② Okoshi, K., Nagashima, M., Gouda, N., and Minowa, Y.  
“HI-selected Galaxies As a Probe of Quasar Absorption Systems”, SKA-JAPAN WORKSHOP 2010; “Revealing the Universe with Wide-band cm-Wavelength Observations”, 2010 年 11 月 4-5 日, National Observatory of Japan

③ 大越 克也  
「クエーサー吸収線系から探る原始銀河の進化」, A0188 ワークショップ, 2010年5月24日, 国立女性教育会館 (埼玉)

⑤ 大越克也  
「補償光学装置を用いたDLA母銀河検出の可能性」, 第3回クエーサー吸収線研究会, 2009年12月13日, 雲仙 (長崎)

⑥ Okoshi, K. Nagashima, M., Gouda, N., and Minowa, Y.  
“HI-selected Galaxies As a Probe of Quasar Absorption Systems”, the International Astronomical Union Symposium, Stellar Populations - Planning for the Next Decade, 2009年8月3-7日, Rio de Janeiro (Brazil)

⑦ Okoshi, K. Nagashima, M., Gouda, N., and Minowa, Y.  
“HI-selected Galaxies As a Probe of Ly-alpha Absorption Systems”, XXVth IAP Annual Colloquium, The Lyman-alpha Universe, Paris (France)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大越 克也 (Okoshi Katsuya)

東京理科大学・基礎工学部・講師  
研究者番号: 50453832

(2) 研究分担者 ( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: