

論文内容の要旨

〈論文題目〉

Systematic Survey of Extended Lyman α Sources
over $z \sim 3 - 5$

(和訳)

赤方偏移 $z \sim 3 - 5$ における、
広がった Lyman α 輝線天体の系統的探査

氏名: 齋藤 智樹

遠方の Ly α 輝線天体 (LAEs) は、若い銀河の候補天体である。それら LAEs に対してはこれまでに多くの探査がなされており、既に数千個の天体が知られている。それらのうちには、輝線等価幅の非常に大きい天体も存在し、有意な星形成を行う前の、形成初期の銀河である可能性もある。しかし、それが本当に形成初期の原始銀河であることを確信するに至る観測的証拠は得られていない。一方、ほとんどの LAEs が比較的コンパクトであることが知られているが、 $z = 3.1$ の高密度領域において、空間的に広がった (~ 100 kpc) 輝線成分を持ち、UV 連続光が非常に暗くコンパクトな天体 “Ly α Blobs” (LABs) が 2 個、偶然発見された (Steidel et al. 2000)。こうした Ly α 輝線成分が広がっていて UV 連続光成分が暗くコンパクトな天体は、銀河形成のごく初期段階にある非常に若い天体の可能性がある。こういった広がった輝線天体の存在は、この 2 つの LABs をはじめとするごく少数が知られていたに過ぎない。これまでに広範囲の系統的な探査がなされていないため、この種の天体が $z \sim 3$ を越える遠方でどれだけ普遍的に存在するかは、今もって解明されていない。また系統的なサンプルが存在しないことから、この種の天体の性質も限られた例を除いて調べられてはおらず、広がった Ly α 輝線の物理的起源が何であるかは知られていない。

そこで、こうした広がった Ly α 輝線天体の系統的なサンプルを得るため、すばる望遠鏡 + Suprime-Cam を用いて、blank-field である Subaru/XMM-Newton Deep Field の深い探査を行った (S02B-163: Kodaira et al.)。Suprime-Cam は、約 900 平方分という広大な視野を持ち、すばる望遠鏡の高い撮像性能とあわせて、多くの遠方銀河を一度に同定することができる。さらに我々は、広範囲の赤方偏移

をカバーするため、一般的に用いられる狭帯域フィルター (帯域幅 $\sim 70 - 80\text{\AA}$) の数倍の帯域幅 ($\sim 300\text{\AA}$) を持つ、中間帯域フィルターを用いた。この中間帯域フィルターを 7 枚用いることで $\sim 5100 - 7300\text{\AA}$ という波長範囲をほぼ隙間なくカバーした。これは Ly α 輝線の赤方偏移にして $3.24 \lesssim z \lesssim 4.95$ という範囲に相当し、これにより $1 \times 10^6 h^{-3} \text{Mpc}^3$ (comoving) という広大な体積を探索することができた。このフィルターは狭帯域フィルターに比べて輝線成分に対する感度が低く、結果として LABs のような等価幅の非常に大きな天体を優先的に (本研究では静止系等価幅 $EW_{rest} \gtrsim 55\text{\AA}$)、広範囲にわたって探索することができる。

この探索の結果、我々は、空間的に広がった Ly α 輝線天体を 41 個同定した。うち 7 天体について すばる + FOCAS による低分散分光観測を行ったところ、7 天体すべてが遠方の Ly α 輝線天体であることが確認された。すなわち、我々のサンプルは誤認天体がほとんど含まれておらず、純度の高いサンプルであることが分かる。これらの天体は、我々が探索した天域・赤方偏移においてほぼ一様に分布しており、その数密度は $\sim 4 \times 10^{-5} h^3 \text{Mpc}^{-3}$ (一般的な LAEs の $10^{-2} - 10^{-3}$ 倍) であった。大きさは典型的に 10–15 kpc 程度 (最大 ~ 30 kpc)、Ly α 輝線光度は $10^{42} - 10^{43} \text{ergs s}^{-1}$ 程度であった。これは 2 つの $z = 3.1$ LABs や、その周辺に同定された広がった Ly α 輝線天体 (Matsuda et al. 2004: M04) よりやや小さな値である。ここで、両者をより公平に比較するため、計算によって検出限界をそろえた画像を得た。この画像に対し、我々の観測データと同じ条件で天体の検出を試みたところ、検出された天体のサイズ分布は、我々のサンプルのものと非常に似通っていることが分かった。すなわち、我々の天体は、より遠方における、M04 天体と同種のものであることが推定される。広がった Ly α 輝線天体は $z \sim 3$ 以遠でも確かに存在したのである。さらに、我々のサンプルの光度関数 (LF) を M04 サンプルの LF と比較することによって、我々の天体の数密度が M04 天体の 10^{-2} 倍程度であることが分かった。このことから、こうした広がった Ly α 輝線天体は、高密度領域に強く遍在していることが明らかとなった。さらに、2 つの LABs のような巨大な天体は我々の探索では同定できなかったことから、こうした巨大で明るいものは高密度領域以外にはほとんど存在しないことが推測された。

これらの天体の物理的性質をより詳細に調べるため、我々は、ESO VLT + VIMOS を用いて更なる深い高分散分光観測を行った。VIMOS の広視野 ($\sim 220 \text{arcmin}^2$) および高分解能 ($R \sim 2160$) の多天体分光機能を持ち、VLT (口径 8m) の集光力とあわせて、一度に多くの天体の深い分光観測を行うことができる。これによって、41 天体のうち 18 天体について、積分時間 6.5 – 9.5 時間という非常に深い分光データを得ることに成功した。その結果、18 天体すべてが非常に大きな輝線等価幅 ($80\text{\AA} \lesssim EW_{rest} \lesssim 660\text{\AA}$, median $\sim 140\text{\AA}$) を持つことが分かった。特に 6 天体に関しては、Salpeter の初期質量関数および金属量 $1/20Z_{\odot}$ を仮定した通常の星形成では説明のつかない、 $\gtrsim 200\text{\AA}$ という大きな等価幅を持っていた。また、Ly α 輝線の速度幅も高精度で測定することができ、 $\gtrsim 500 \text{km s}^{-1}$ の 4 天体を除くすべてが $\sim 300 - 400 \text{km s}^{-1}$ 程度に分布することが分かった。さらに、輝線プロ

ファイルの定量的な解析を行うことにより、5 天体について、Ly α 輝線の長波長側に高速度な wing 成分を検出することができた。この 5 天体のうち 1 天体は、2次元スペクトル上で、銀河風に特徴的な速度構造を示しており、空間方向に数十 kpc、速度方向に $\gtrsim 3000 \text{ km s}^{-1}$ もの広がりを持つ高速度成分を持っていた。

これらの結果は、我々のサンプルが、銀河形成のごく初期段階の非常に若い天体を含んでいることを示唆している。すなわち、降着の過程で放射冷却を行っている primordial gas (cooling clouds) や、初期の星形成による超新星爆発で駆動される銀河風をもつ天体、などが含まれる可能性がある。約 1/3 にあたる 5 天体は、非常に大きな等価幅を持ち、wing 成分に代表される銀河風的な速度構造を有意には示していない。さらにこれら 5 天体は、Ly α 輝線の光度と速度幅の間に、正の相関を示している。この結果は、これら 5 天体が銀河形成の最初期段階、cooling clouds の有力な候補であることを示している。こうした銀河形成最初期の天体候補を系統的に探査したサンプルはこれまでに存在せず、本研究によって初めて、理論と観測の比較が可能となった。今回、cooling clouds の最有力候補と同定された 5 天体が実際に重力エネルギーによる放射冷却を行っていると仮定すると、単純なモデルから、系の総質量が $10^{11} - 10^{12} M_{\odot}$ と見積もられる。一方、CDM モデルの計算によれば、 $z \sim 4$ における同質量のダークハローは、今回の 5 天体の $\sim 10^4$ 倍の個数を持つ。この結果は、同質量のダークハローが $1/10^4$ の確率で我々の観測にかかっていることを意味し、こうした cooling clouds として観測にかかる段階の寿命が非常に短いことを示唆している。

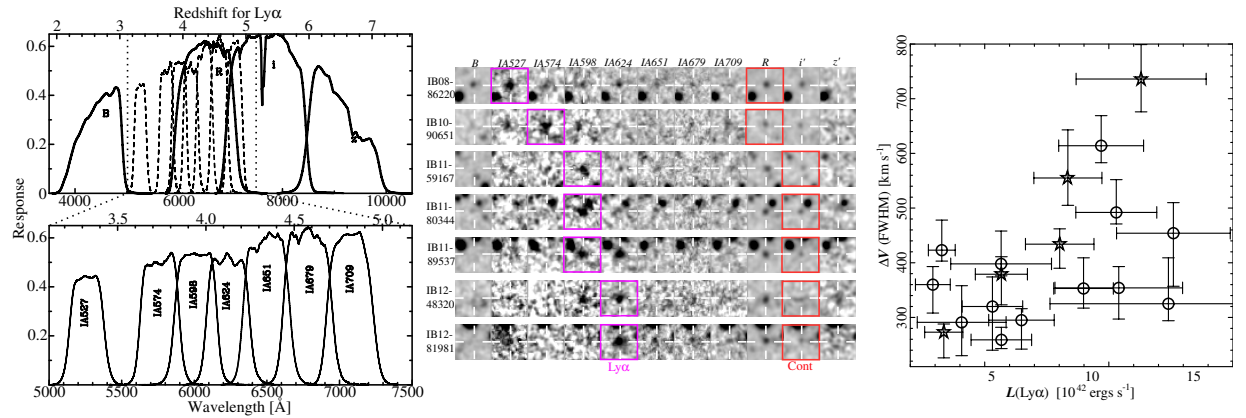


図 1: [左] 広帯域および中間帯域フィルター (R23 IA filter system: Hayashino et al. 2000) の感度特性。下段は中間帯域の拡大図。[中] サンプル天体の画像の例。Ly α (赤紫) で広がっており、静止系 UV 連続波 (赤) で暗くコンパクト。[右] VIMOS で得られた分光サンプルにおける、Ly α 輝線光度と Ly α 輝線の速度幅の関係。cooling clouds 最有力候補 5 天体は星印で示してある。