

論文の内容の要旨

論文題目:

Cosmic Chemical Evolution of Low Ionization Metal Absorption
Systems at High Redshift:
Studying with Near-infrared High-resolution Spectroscopy

(高赤方偏移における低電離金属吸収線の宇宙化学進化:
近赤外高分散分光による研究)

氏名：近藤 荘平

宇宙論的な距離に多数存在するクェーサーを背景光として、銀河間に存在するガスによる吸収線を観測することにより、高赤方偏移すなわち過去における元素の化学組成を直接知ることができる。このような「クェーサー吸収線系」の観測研究は、8mクラスの望遠鏡の登場とともに可視高分散分光によって発展し、宇宙論的時間スケールでの化学進化の理解が大きく進んだ。クェーサー吸収線系の研究は、中性水素柱密度が高い Damped Lyman- α systems(以下 DLAs)の観測を中心に進められてきたが、測定された金属量のばらつきは大きく、 $0 < z < 3.5$ の広いタイムスパンにおいても、明確な化学進化が見いだせていない。その一方で近年、DLAsよりも中性水素が比較的少ない「低電離金属吸収線系」の方が、高赤方偏移における銀河の活動的な星形成と密接に関わっており、宇宙論的時間スケールでの化学進化をより正確に反映していることが示唆されている。

高赤方偏移 ($z > 2.5$)におけるこれら低電離金属吸収線の観測は化学進化の研究に欠かせないが、低電離金属吸収線は中性水素や高電離金属の吸収線と比較してより長い波長域に存在するため、赤外線波長域における高感度な高分散分光観測が必要となる。そこで、すばる望遠鏡に搭載された赤外線高分散分光器 IRCS と補償光学 (AO) を組み合わせ、 $z=3.9$ の高赤方偏移重力レンズクェーサー「APM08279+5255」の波長 $1-1.4 \mu\text{m}$ における高分散分光観測を行った (図 1)。その結果、 $z=3.5$ に明確な Mg II $\lambda\lambda 2796, 2803$ 吸収線と微弱な Fe II $\lambda 2383$ 吸収線を検出した。これは高赤方偏移 ($z > 2.5$)に存在する低電離金属吸収線系についての Mg および Fe の初検出であり、8mクラスの高感度な赤外線高分散分光によって初めて実現されたと言える。また AO による高分解能により 2 つの主要な重力レンズ像 A および B (離角 $0''.38$) を分解した分光観測を行い、このガス雲の大きさが 120pc 以上であることを明らかにした。その結果、CLOUDY 光電離モデルを用いる際のパラ

メータに、より強い制限をかけることが可能となり、この吸収線系の金属量 $[Fe/H]$ 、および、化学進化の議論に最も重要なアバundance比 $[Mg/Fe]$ と $[Si/Fe]$ をより正確に導出することができた。

この $z=3.5$ 吸収線系の金属量は、同じ赤方偏移の DLAs よりも高く、むしろ活発な星形成銀河である Lyman break 銀河に近いことがわかった (図 2)。また、この吸収線系のアバundance比は $[\alpha/Fe] < 0$ であることがわかり (図 3)、Ia 型超新星から放出された重金属が強く影響していることが示唆された。 $z=3.5$ においてこのような化学組成を持っていることから、この吸収線系に付随する銀河は、銀河風による星生成の停止および大部分のガスの放出という過程を経ていることが示唆される。また、このような星生成史から、この銀河は現在における早期型の低質量銀河 (dE: 矮小楕円銀河、dSph: 矮小楕円体銀河) の祖先と推定される。まだサンプルは 1 つに過ぎないが、高赤方偏移の低電離金属吸収線系こそが、宇宙の金属量進化、すなわち銀河進化過程を顕著に反映しているであろうこと、またその観測により、大型望遠鏡による深撮像でも検出が難しい早期型低質量銀河の生成期を直接研究できる可能性が示唆された。

また今回の観測によって $z \sim 1$ の 3 つの DLAs に伴う Na I D $\lambda\lambda$ 5891, 5897 の吸収線も検出された (図 1)。これは $z > 1$ における Na I D 吸収線の初検出である。金属のダストへの凝縮度を表す良い指標となる Na I と Ca II のコラム密度比を求めたところ、これら DLAs のダストへの凝縮度は系統的に銀河系よりも低く、近傍矮小銀河である大マゼラン雲と同程度であることがわかった。この結果は、これら DLAs が銀河系よりも矮小銀河に近い環境を持っていることを示唆している。さらに、3 つのうち 1 つの吸収線系は視線方向に新たに出現したガス雲によるものと考えられる。この、クェーサー吸収線系の固有運動の初めての検出により、Na I がトレースする冷たい中性水素ガス雲に数百 AU という小さなスケールの柱密度揺らぎが存在する可能性が示唆された。

以上、高感度な赤外線高分散分光観測によって初めて高赤方偏移における Mg II, Fe II および Na I の吸収線観測が可能となった。われわれはそれによって得られたアバundanceに基づき、高赤方偏移における低電離金属吸収線系の初めての本格的な研究を行った。今回は 1 つのクェーサーについての観測であったが、今後の赤外線高分散分光観測装置の発展に伴いサンプルが質、量ともに増え、宇宙論的時間スケールでの化学進化の研究が飛躍的に進むことが期待できる。

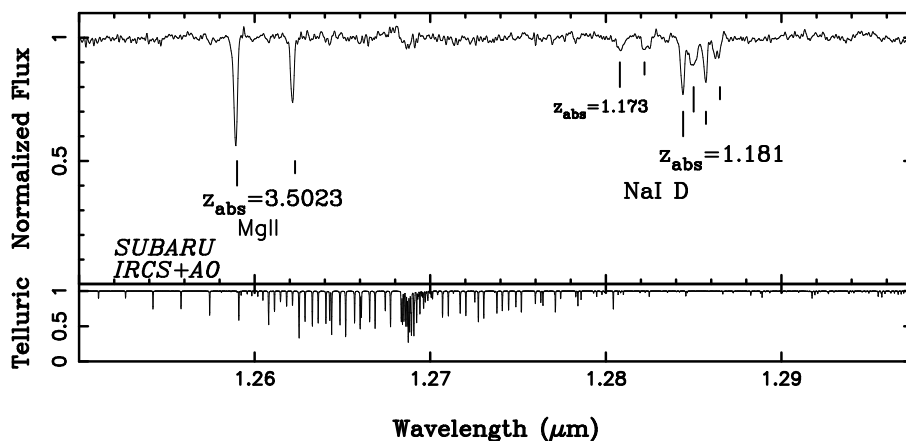


図 1 すばる望遠鏡に搭載された IRCS で得られた高赤方偏移クェーサー「APM08279+5255」の赤外線高分散分光スペクトルの一部。横軸は波長、縦軸は規格化したフラックを表している。 $z=3.5$ の Mg II $\lambda\lambda$ 2796, 2803 吸収線、 $z=1.17$ および $z=1.18$ の Na I D $\lambda\lambda$ 5891, 5897 吸収線が明確に確認される。下のパネルは大気の吸収スペクトルを表している。

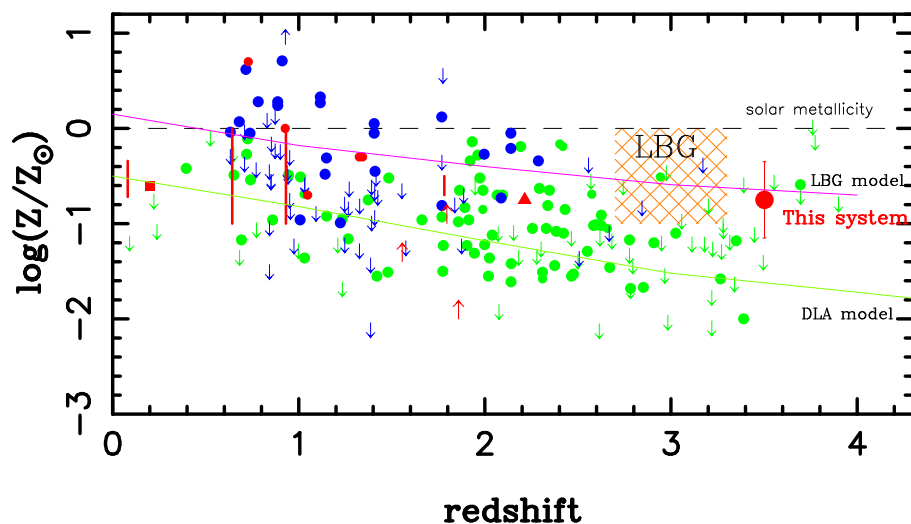


図2 吸収線系の赤方偏移と金属量の関係。赤色の円は $z=3.5$ 吸収線の値、緑色の記号は DLAs の値を表している。また青色の記号は DLAs よりやや中性水素が少ない sub-DLAs の値、その他の赤色の記号は低赤方偏移の低電離金属吸収線系の値を表している。薄い緑色とマゼンタ色の実線はそれぞれ DLA や Lyman break 銀河の化学進化モデルを示す。オレンジ色の領域は Lyman break 銀河の金属量の領域を示している。

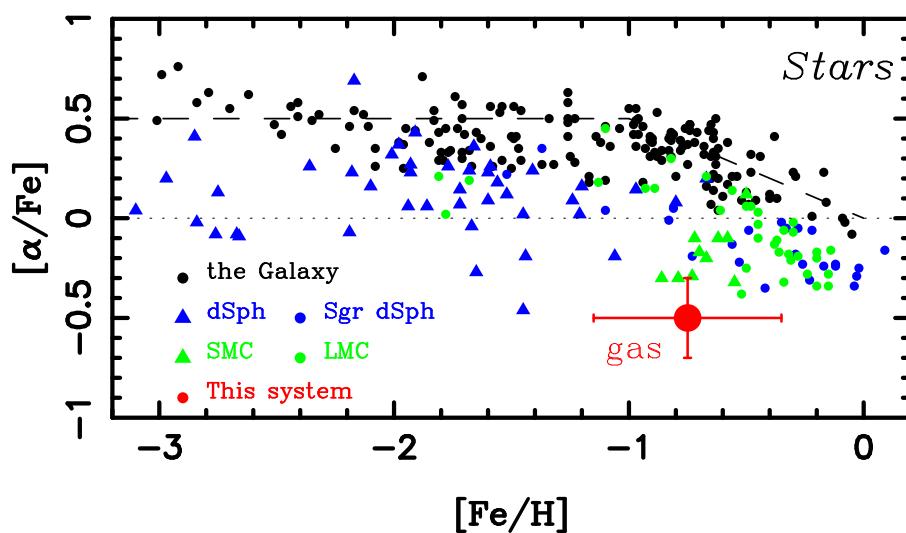


図3 $z=3.5$ 吸収線系および銀河系、LMC、SMC、dSph の星についての金属量 ($[\text{Fe}/\text{H}]$) と化学組成比 ($[\alpha/\text{Fe}]$) の関係。赤色の円は $z=3.5$ 吸収線系の値を表している。黒色の円、緑色の円、緑色の三角形、青色の円、青色の三角形はそれぞれ銀河系、大マゼラン雲、小マゼラン雲、射手座矮小楕円体銀河、その他の矮小楕円体銀河の星の値を表している。