

概要

宇宙再電離とは、高赤方偏移 ($z \geq 6$) において一度中性化した宇宙を満たしていた水素が、再び電離された現象のことである。宇宙再電離のプロセスは、Planck 衛星による宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) が再電離期の自由電子によるトムソン散乱を受けることで生じる偏光強度の観測や、高赤方偏移キューサーにおける Gunn-Peterson 検定の観測から、 $z \sim 15$ 付近で始まり、 $z \sim 6$ までに完了することが示唆されている。再電離源の主な候補として、初期宇宙で形成された星形成銀河が挙げられるが、どれほど再電離に寄与しているかは未だ議論が続いている状況である。星形成銀河からの寄与を考えるには、銀河が放出した、銀河間物質 (IGM) 内の中性水素ガスを電離する総電離光子数 (\dot{N}_{ion}) を求める必要があり、これは、UV 光度密度 ρ_{UV} と、電離光子生成効率 ξ_{ion} 、そして電離光子脱出率 f_{esc} の積から導かれる。2021 年に打ち上げられたジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) の観測結果により、 ρ_{UV} 及び ξ_{ion} は、 $z \approx 10$ まで比較的良好な精度で推定された。しかし、 f_{esc} は、 $z \geq 4.5$ では IGM により電離光子の吸収・散乱が起こるため、直接観測が不可能となる。また、最近の JWST の観測結果から導出された ρ_{UV} と ξ_{ion} の値と、低赤方偏移における星形成銀河の Lyman Continuum (LyC) 観測から導出された f_{esc} を用いて宇宙の電離度の赤方偏移による進化を求めると、高赤方偏移で大量の電離光子が生成され放射され、再電離はこれまで観測から示唆されていた $z \sim 6$ よりもかなり早期 ($z \geq 8$) に完了してしまう電離光子過多問題が示唆された。そのため、高赤方偏移銀河から f_{esc} を測定することは、再電離への寄与及び Gunn-Peterson 検定の観測から推定される再電離期の歴史との矛盾を解決する上でも重要である。本研究では、JWST Advanced Deep Extragalactic Survey (JADES) の GOODS-S 領域における分光赤方偏移 $6 \leq z < 10$ の 121 天体のサンプルを活用し、 f_{esc} の推定を行った。推定に使用した方法は、H β 輝線の等価幅 EW(H β) と UV Slope β の 2 つの物理量を用いて間接的に f_{esc} を推定する Zackrisson Method である。Zackrisson Method は、他の間接的な手法よりもシンプルかつ必要な仮定の少ない手法である。ただし、この推定方法を用いるには、ダストによる減光がないとみなせる場合か、適切なダスト減光補正が必要である。そこで本研究では、電離ガス由来の輝線比である Balmer decrement (H α /H β) を用いる方法と、広い波長範囲での測光データを用いた SED フィッティング解析を用いる方法の 2 つから、ダスト減光量の評価を行った。結果、補正に必要な輝線の検出や測光データが存在し、ダスト減光補正が行えた天体は 121 天体中 72 天体で、そのうち 46 天体では Balmer decrement を用いた減光補正が、62 天体では SED フィッティングを用いた減光補正を行うことができた。そのうち、それぞれ 21 天体、42 天体から Zackrisson Method を用いて f_{esc} の推定が行えた。本研究で推定された各天体の f_{esc} は幅広い値を持っており、平均値はそれぞれ $\langle f_{esc}^{Balmer} \rangle = 0.24$ 、 $\langle f_{esc}^{CIGALE} \rangle = 0.31$ であった。また、各天体の f_{esc} を平均するのではなく、 β の誤差付きで Zackrisson Method の f_{esc} モデルに整合する天体の EW(H β) と UV Slope β の 2 つの物理量の値の加重平均から f_{esc} の値を求めたところ、それぞれ $f_{esc}^{Balmer} = 0.38^{+0.17}_{-0.26}$ 、 $f_{esc}^{CIGALE} = 0.47^{+0.27}_{-0.39}$ であった。本研究における f_{esc} 天体の特徴を調べた結果、 f_{esc} が大きい天体は、低赤方偏移における LyC 放出銀河の特性と類似しており、青い UV スロープ β を持ち、低光度かつコンパクトなサイズを持っていることが分かった。また、これらの平均値を用いて宇宙の電離度の進化を求めると、星形成銀河は、宇宙再電離を少なくとも $z \geq 9$ までに完了させてしまい、電離光子過多問題は解決されないことが示された。また、 $z \geq 6$ の銀河の f_{esc} は、近傍銀河よりも大きい可能性を示唆する結果であることから、電離光子過多問題の解決には、想定されていた再結合の効率よりも 10 倍以上大きい効率が必要となる。