

|         |  |        |      |
|---------|--|--------|------|
| 氏名(本籍)  | 矢島秀伸(福島県)  |        |      |
| 学位の種類   | 博士(物理学)  |        |      |
| 学位記番号   | 博甲第5269号   |        |      |
| 学位授与年月日 | 平成22年3月25日   |        |      |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当   |        |      |
| 審査研究科   | 数理解物質科学研究科   |        |      |
| 学位論文題目  | <b>Ultraviolet Radiation Transfer in Dusty Primordial Galaxies</b><br>(ダスト形成中の原始銀河における紫外線輻射輸送) |        |      |
| 主査      | 筑波大学教授   | 理学博士   | 中井直正 |
| 副査      | 筑波大学教授   | 理学博士   | 梅村雅之 |
| 副査      | 筑波大学准教授  | 博士(理学) | 森正夫  |
| 副査      | 東京大学准教授  | PhD    | 吉田直紀 |

### 論文の内容の要旨

本論文では、3次元輻射輸送計算を行うことにより、銀河の電離光子脱出確率を詳細に見積った上でどのような銀河が宇宙の電離源を担っているかを調べた。その際にダストによる減光や、さまざまな質量の銀河に対して調べることで、電離光子脱出確率がどのような重元素依存性や質量依存性を持っているかについて調べた。

結果として、活発に星形成を行っている銀河では、銀河内が星からの紫外線輻射によって高度に電離する事により、光学的に薄くなって電離光子脱出確率は大きくなる事が分かった。その脱出確率は大きい時には約50%という値を持つ。しかし、銀河進化と共に星の分布が中心に密な構造になる効果と、超新星爆発によるダスト汚染の効果によって光学的厚さは大きくなり、その脱出確率は2倍程度小さくなる事を示した。また、銀河の質量が大きくなるにつれ矮小銀河が衝突、合体を繰り返しているため、銀河内のガスの構造は非常に複雑になり多数の高密度ガス雲が集まった不規則な形状を示す。そのため、電離光子もそのような多数のガスクランプに効率的に吸収されるために、脱出確率は質量増加に伴って急激に小さくなる事を示した。これらの結果を使って銀河による銀河間ガスへの電離の影響を調べた結果、赤方偏移3から6においては、現在観測されているような星形成銀河が宇宙の電離源になりうる事を示した。その際電離光子脱出確率の質量依存性の効果によって、銀河間ガスへ放出される全電離光子数の内、ハロー質量が10の10.5乗太陽質量以下の低質量銀河から70%以上の電離光子が放射されている事が分かった。そして、赤方偏移7以上においては現在観測されているような星形成銀河では宇宙を電離する事が難しく、他の電離源を考慮する必要がある事が示唆された。

また、銀河内でダストによって吸収された電離光子や紫外連続波は赤外線により再放射される。高赤方偏移銀河から放射されたこの赤外線は宇宙膨張によるドップラーシフトによって地上ではサブミリ波として観測される。我々は銀河内のダストの温度を解いた上で、モデル銀河が赤方偏移3に分布していると仮定し、このサブミリ波の総量、輝度分布を見積った。結果として、ダストの温度は星団付近では約35K、そこから離れるにつれ10K程度まで下がる事が分かった。またサブミリ波の分布は星形成領域をトレースしており、銀河進化における初期の段階では空間として非常に広がった構造を示し、その後中心で密に光る構造へと進

化していく事を示した。そして  $850\ \mu\text{m}$  におけるフラックスの総量は約  $0.3\text{mJy}$  と近年のライマンブレイク銀河におけるサブミリ波とよく一致している事が分かった。

さらに、銀河内に電離されずに残る中性水素は Damped Lyman Alpha systems (DLAs) と呼ばれるクエーサーのスペクトルに見られる吸収線系に寄与する可能性がある。DLAs は柱密度が単位面積あたり  $10^{20.3}$  乗個を超える大量の中性水素ガスで、高赤方偏移における星形成の材料となる事が考えられるが、銀河との関連がこれまでよく分かっていなかった。我々は新たに、自己遮蔽効果を取り入れた紫外線背景輻射を導入し、また内部の星団からの輻射による電離も考慮してハロー内の中性水素分布を計算し、DLAs に対する寄与を調べた。結果として星からの輻射は近傍の高密度ガス雲に効率的に吸収されてしまうためあまり影響を与えない事を示した。また新たに導入した紫外線背景輻射モデルにより、ハロー内の柱密度が広いレンジに渡って SDSS 観測による柱密度分布を再現する事が分かった。そして総質量が  $10^{10}$  乗から  $10^{11}$  乗太陽質量のハローが赤方偏移 3 における DLAs の約 70% を担っている事を示した。

### 審 査 の 結 果 の 要 旨

近年の観測により、赤方偏移約 1100 で一度中性化を迎えた宇宙は、その後再び電離状態へと引き戻され、現在まで高度に電離した状態を維持している事が明らかとなっているが、宇宙再電離史や電離源について詳細は解明されていない。これまでの研究では、銀河の電離光子脱出確率の不正確さが解析を困難にしていた。本論文では正確な 3 次元輻射輸送計算によって電離光子脱出確率に関する詳細な解析を行い、どのような原始銀河が宇宙再電離に寄与することが可能であるかを明らかにした。この結果は、宇宙再電離史の解明において重要な知見を与えるものであり、その学術的価値は高く評価される。

よって、著者は博士（物理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。