

学位申請論文公開講演会

日時： 2021年2月5日（金）13:30-

申請者： 田中俊行

場所： 物理会議室（C207）

題目： Neutral Hydrogen 21-cm Signature Originated from
the First Generation of Stars in the Universe

（宇宙の第一世代星に由来する中性水素 21-cm 線シグナルに関する理論的研究）

主論文の要旨

宇宙初期のガスから形成される恒星は種族 III 星と呼ばれ、宇宙の熱史や構造形成史において重要な役割を担う。その重要性を決定づける星質量などの物理的性質は主に理論研究によって調べられてきたが、各研究間で未だ合意形成に至っていない。一方、観測においては、中性水素の超微細構造に由来する波長 21cm の光を捉える大規模電波望遠鏡である Square Kilometre Array (SKA) が建設中であり、2020 年代後半には種族 III 星に由来するシグナルの初検出が期待されている。しかし、将来観測との比較に耐えうる精度を持つ理論モデルは存在せず、その構築は喫緊の課題である。

申請者はまず、個々の種族 III 星が周囲の中性水素からの 21-cm 線シグナルに及ぼす影響を明らかにするための理論的研究を実施した。これまでに考慮されてこなかった流体力学的な時間変化を取り入れた輻射流体シミュレーションコードを開発し、種族 III 星の形成場所であるハロー内部の高密度ガスの状態を計算した。その結果、高密度ガスの流体力学的効果により、21-cm 線シグナル構造の時間進化に 2 つの段階があることを発見した。また申請者は、その初期段階にて深い吸収線領域が形成され、シグナル強度が増すことにより、従来考えられていたより観測的に検出されやすいことを示した。さらに、恒星周囲のシグナル構造の星質量、ハロー質量、赤方偏移依存性を明らかにした。しかし、SKA を用いても個々の種族 III 星からのシグナルの観測は困難であることが示された。

次に申請者は、宇宙論的スケールにおける種族 III 星起源 21-cm 線シグナルに関する理論的研究を実施した。宇宙論的シミュレーションのサブグリッドスケールに対応する物理過程、具体的には 1) 電離光子脱出率のハロー質量と星質量依存性、2) 種族 III 星からの紫外線によるガス加熱、について、上記の輻射流体シミュレーションの結果を取り入れることで考慮できる手法を開発した。その手法を公開されている準数値的シミュレーションコードである 21cmFAST に組み込み、各物理過程が 21-cm 線観測量へ与える影響を調査した。シミュレーションデータを解析することで、星からの放射が水素分子を解離により星形成可能な最小ハロー質量が時間と共に増加することを考慮するモデルでは、宇宙の電離度が低く推移することを示した。また、宇宙の平均電離度が約 1% を超える時代には、紫外線によるガス加熱の影響が無視できないこと、さらに、電離度がおよそ 1% 以上の場合には、21-cm 線観測量に種族 III 星の星形成率密度と典型的な星質量の情報が現れることを明らかにした。