

別紙 1－1

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※	甲 第	号
------	---	-----	---

氏 名 田 中 俊 行

論 文 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 21cm 線シグナルに関する理論的研究)

論文審査担当者

主 査	名古屋大学大学院理学研究科	准教授	博士(理学)	市 來	淨與
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	理学博士	杉 山	直
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	博士(理学)	犬 塚	修一郎
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	准教授	博士(理学)	田 村	陽一
委 員	名古屋大学素粒子宇宙起源研究所	准教授	博士(理学)	中 澤	知洋

論文審査の結果の要旨

別紙 1 - 2

宇宙の第一世代の恒星は初代星と呼ばれ、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 年代後半には初代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、個々の初代星が周囲の中性水素からの 21cm 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、初代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、21cm 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。とくに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、従来の見積もりより観測的に検出されやすいことを示した。加えて申請者は、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うえで、SKA を用いても個々の初代星からのシグナルの観測は困難であることを示した。

次に申請者は、宇宙論的スケールにおける初代星起源 21cm 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) 初代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 21cm 線観測量へ与える影響を調査した。

申請者はシミュレーションデータの解析を行い、星からの放射で水素分子が解離すること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、21cm 線観測量に初代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。

本研究を通して申請者は、個々の初代星周囲のシグナルが流体力学的効果により、従来予測されていたより強くなることを初めて明らかにした。個々の初代星からのシグナルは小さいものの、宇宙論的スケールの統計的な 21cm 線観測量から初代星の物理的性質を推定できる可能性があることを示した。この結果は将来の電波干渉計による観測により、初代星の性質にどこまで迫れるか、について初めて定量的に明らかにした研究として高く評価できる。以上の理由により、申請者は博士(理学)の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。