

論文審査の結果の要旨

氏名 向江 志朗

本論文は、宇宙の大規模構造における銀河形成をガスの電離状態等に注目しながら分光学的に研究、また将来にむけて口径 30m の次世代大型望遠鏡 TMT の観測装置 IRIS の検討を行ったものである。

本論文は 12 章と付録 3 章からなる。第 1 章は序章である。ビッグバン後、再結合して中性となった水素ガスは、天体の形成と共に電離されていく。銀河形成シミュレーションによると、宇宙大規模構造の中の銀河間ガスは徐々に銀河に降着し、銀河の星生成活動を活発にし、銀河質量を増大させる。したがって、銀河間ガスと銀河分布の関係は銀河形成を理解するために大変重要である。そこで、本研究では背景天体を用いた HI Tomography (以下トモグラフィ) と呼ばれる手法を用いて、環境の違い、すなわち天体の平均的数密度の違いに着目して銀河間中性水素ガスの空間分布を幅広いスケールに渡って調べた。

第 2 章では、本研究で調べた 3 種類の領域 (赤方偏移約 2) と使用したデータについて記している。第一は銀河低密度領域 (COSMOS)、第二は銀河密度超過領域 (BOSS1441)、第三はクエーサーの密度超過領域 (EGS) である。用いたデータは口径 11m Hobby-Eberly Telescope の面分光器 VIRUS によるスペクトル、スローンデジタルスカイサーベイによる分光データ、すばる望遠鏡やキットピーク 4m 望遠鏡による狭帯域撮像データ、Large Binocular Telescope の Large Binocular Camera および United Kingdom Infrared Telescope の WFCAM の多色撮像画像などである。ただし COSMOS 領域においては既存のトモグラフィの結果を用いた。

第 3 章では EGS および BOSS1441 領域のトモグラフィのための分光データの結果がまとめられている。十分な信号雑音比でスペクトルが取得された eBOSS による背景クエーサーは BOSS1441 領域で 117 個、EGS 領域で 43 個であった。申請者はさらに Keck 望遠鏡 LRIS の観測を実施することで、アーカイブデータも加えて BOSS1441 領域では背景銀河 16 個の良質なスペクトルを得ることに成功した。

第 4 章では、中性水素ガスによる吸収量の測定法とトモグラフィの手法が記されている。特に本研究のスペクトルが低分散であるため、先行研究によって高分散スペクトルから得られた赤方偏移ごとの平均の吸収量にあわせるように連続光成分を推定した。その上で、離散的に観測された吸収量を、Wiener フィルターを用いて空間的に連続化した。COSMOS 領域では共動体積で $33 \times 24 \times 444 h^3 \text{Mpc}^3$ の中性水素ガスの 3 次元分布が得られており、今回 BOSS1441 領域では $16 \times 19 \times 131 h^3 \text{Mpc}^3$ の分布を、また EGS 領域では $126 \times 134 \times 444 h^3 \text{Mpc}^3$ の分布を得た。空間分解能はそれぞれ 2.5, 2.6, 20 $h^{-1} \text{Mpc}$ である。

第 5 章は中性水素ガス分布と銀河分布の空間相関について調べている。低密度環境である COSMOS 領域においては、ライマン α 輝線銀河周辺では中性水素ガスが平均よりも超過していた。これに対して銀河密度の高い BOSS1441 領域ではほとんど超過がみられなかった。また 3 個のクエーサーの周辺では逆に平均よりも中性水素ガスが減少している傾向

がみられた。さらにクエーサー密度の高い EGS 領域では、平均よりも中性水素ガスが減少している傾向が得られた。

第 6 章は前章の結果を受けて、銀河とクエーサーの形成の描像を提案している。すなわち銀河形成の初期には、銀河間ガスが銀河に降着していくが、銀河の星生成が活発になると、ガスは次第に銀河やクエーサーからの光で電離されていく。さらにクエーサーが多数形成されるような高密度領域では、巨大な電離水素領域が形成されるという仮説である。

この仮説を検証するためには、電離水素ガスの $H\alpha$ 線等による直接観測が重要であるため、第 7 章で、すばる望遠鏡の近赤外線観測装置 MOIRCS で巨大電離ガス雲領域の観測を試みたことが記されている。しかし $H\alpha$ 線は検出できず、すばる望遠鏡では約 50 夜の観測時間が必要であると推定された。TMT の近赤外線撮像分光装置 IRIS であれば検出できる可能性がある。そこで第 8 章では IRIS の概要が記され、特に高精度相対位置天文学の遂行のため 50 マイクロ秒角の精度で天体の位置を決定できることが IRIS の重要な要求仕様であることが述べられる。第 9 章でその精度を達成するため人工光源を背景にしたピンホールを多数開けた板を並行移動しながら複数回ピンホール位置を測定し、視野全体の光学歪みを測定する方法が示され、ピンホール数や微動量、微動回数などが調整パラメータであることが記される。第 10 章では光学 CAD を用いたシミュレーションによる手法が示され、第 11 章で上記の調整パラメータを適切に選択すれば、本手法により光学歪みによる天体位置測定誤差を 50 マイクロ秒角以下にできることが示された。ただし実際の実験・測定においてはいくつかの課題があることも述べられている。

第 12 章は論文全体のまとめである。

本論文は赤方偏移 2 付近の銀河間中性水素ガスの分布を 3 つの異なる環境で調べ、その分布が環境によって大きく異なるという結果を世界で初めて得た。環境ごとに 1 領域しか調べておらず、空間分解能も互いに異なるなど限界はあるものの、本研究で示された、銀河間ガスが当初銀河に降着して銀河が成長し、その後銀河や活動銀河核からの放射で電離されていく、という銀河形成の描像は大変興味深く、研究手法としても高く評価できる。さらに電離ガスの直接測定を目指して次世代望遠鏡の観測装置の設計に貢献もしており、総じて高く評価できる。

なお本研究は大内正己・Zheng Cai・Khee-Gan Lee・J. Xavier Prochaska・Sebastiano Cantalupo・Zheng Zheng・長峯健太郎・鈴木尚孝・John D. Silverman・三澤透・井上昭雄・Joseph F. Hennawi・松田有一・馬渡健・菅原悠馬・小島崇史・小野宜昭・澁谷隆俊・播金優一・藤本征史・Yi-Kuan Chiang・Haibin Zhang・鹿熊亮太・柿市航樹・田中壱・Michael Rauch・鈴木竜二・早野裕・Brent Ellerbroek・Glen Herriot・Karl Gebhardt および HETDEX チームとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。