

## 論文審査の結果の要旨

氏名 竹井 洋

本論文は近傍宇宙のバリオンの大半を占めていると考えられている中高温銀河間物質 (WHIM) に関する観測的研究である。WHIM は宇宙における構造形成を考える上で、非常に重要であるにもかかわらず、観測的な困難のためにその実態は謎に包まれている。本論文では銀河団近傍では WHIM の密度が高まっているであろうと予想し、その方向で WHIM を特徴付ける X 線領域の吸収、発光スペクトルの検出を行ったものである。

本論文は全体で 9 章よりなる。第 1 章の導入に引き続いて、第 2 章では宇宙における構造形成と WHIM の位置付けについて広範な視点からレビューしている。第 3 章では本研究でとりあげる銀河団の選択と、個々の銀河団の性質に関するこれまでの研究のまとめを行っている。第 4 章では、観測に用いた XMM-Newton 衛星、Suzaku 衛星について、望遠鏡から検出器にいたるまで詳しく解説されている。ここでまとめられた装置に関する深い理解が、後の章における微弱な信号の有意度の検定における系統誤差の見積りに大きく寄与しているのは注目に値する。

第 5 章が本論文の主要なパートである。かみのけ座銀河団周辺において、XMM-Newton 衛星による観測を行った。この銀河団の背景にたまたま存在する X Comae と呼ばれる X 線源を背景として、銀河団周辺の WHIM による Ne IX の吸収線を  $2.6\sigma$  の有意度で検出することに成功した。また、Ne X, O VII, O VIII の吸収線の兆候も見られ、これらを総合した吸収線検出の有意度は  $3.3\sigma$  であった。一方、銀河団周辺の広がった放射の中に、Ne IX のスペクトル輝線が検出された。このように吸収線と輝線がともに検出されたことは初めてで、両者を相補的に用いることにより、WHIM の密度、および重元素存在比に関する重要な知見を得た。

第 6 章はおとめ座銀河団についての XMM-Newton 衛星による結果である。銀河団の背景にある LBQS1228+1116 を光源とした吸収スペクトルの測定により、WHIM を特徴付けるスペクトル線の一つである O VIII の吸収線を検出した。放射成分の観測は銀河系内成分の寄与の除去が難しかったため、WHIM の密度、および重元素存在比に制限をつけるにとどまった。第 7 章では A2218 周辺に関する Suzaku 衛星による観測結果を述べている。0.3 keV 程度の中高温ガスの兆候が放射スペクトルに見られるが、検出器のキャリブレーションがまだ不完全であるため、確実な WHIM の検出までには至っていない。

第 8 章では以上の結果をまとめ、議論をしている。その結果、WHIM の奥行きと半径の比は 10 より小さいこと、WHIM の質量が  $9.3 \times 10^{12}$  太陽質量以上であること、バリオン密度 (WHIM) が 0.02% 以上であること、WHIM における重元素存在比が銀河系内星間空間の 0.1 倍以上であることなど、非常に重要な知見を得た。これらは宇宙における構造

形成に関する数値シミュレーション結果と矛盾しない。

このように、論文提出者は WHIM の X 線観測を通して、これまで謎にまつまっていた WHIM の物理的性質の一端を明らかにするとともに、この問題に対する観測的アプローチの方法論を実証した。この研究は指導教員の満田教授をはじめとする国際チームにおける共同研究であるが、本論文で示された観測、解析、議論はすべて論文提出者が主体となっていたものであり、論文提出者の寄与は十分であると判断される。よって、博士（理学）の学位を授与できると認める。