

# 論文審査の結果の要旨

氏名 加藤 佑一

本論文は、衝突銀河団候補 CIZA J1358.9-4750 (以下 CIZA J1359) に対し X 線観測を行い、2つの銀河団の間に衝撃波があることを示し、CIZA J1359 が衝突初期の2つの銀河団であると結論付けている。

本論文は10章および1章の補遺からなる。第1章は、イントロダクションであり、衝突中の銀河団に対して、銀河団高温ガスを調べる意義を紹介している。第2章は、銀河団高温ガスの物理状態と X 線放射の関係、さらに衝突する銀河団の物理的背景などが述べられている。第3章は、本研究に用いた3つの X 線観測衛星、Suzaku、Chandra、XMM-Newton、とそれらの検出器について解説している。第4章は、研究の背景について述べられ、CIZA J1359 に関する既知の性質や本研究で用いた観測データがまとめられている。第5章は、Suzaku データの解析を述べ、CIZA J1359 の2つの銀河団の間の温度と密度の空間分布とその不連続部分の存在を示している。2つの銀河団の間の不連続部分の温度の差に対して、ランキン・ユゴニオ関係を仮定して計算した結果、マッハ数  $1.44^{+0.21}_{-0.15}$  が得られた。さらに、北東の NW4 と NW5 と呼ぶ領域の間に有意な温度差を見つけ、アウトフローの存在の可能性を議論している。第6章は、Chandra データの解析が述べられ、高い角度分解能で得られた X 線輝度の空間分布に基づいて2つの銀河団に cold front があることを示唆している。第7章は、XMM-Newton のデータ解析について述べた上で、2つの銀河団の間に存在する温度および密度の不連続部分を報告している。第8章は、第5章から第7章で示された Suzaku と Chandra、XMM-Newton のデータを比較し、これらの観測結果が、系統誤差も合わせた場合、統計誤差の範囲で一致していることを示している。第9章は、以上により得られた観測結果から、CIZA J1359 が衝突の初期段階にある銀河団であると結論付けている。XMM-Newton データの密度分布投影の効果や Suzaku 衛星の角度分解能の大きさなどの制限から、第5章で得られたマッハ数  $1.44^{+0.21}_{-0.15}$  よりも実際のマッハ数は大きいことが示唆され、(マッハ数が有意に1を超えていることから) 2つの銀河団の間に衝突に伴う衝撃波が存在することを定量的に示している。さらに2つの衝撃波 SS と NS が存在していることを議論し、これらの衝撃波面が速度  $1300 \text{ km s}^{-1}$  でそれぞれの

銀河団コアに向かって進んでいると考察している。このとき、衝撃波の年齢は 55Myr であり、極めて若い衝撃波年齢であると結論付けている。第 10 章は、本論文の結論が述べられている。

論文提出者の成果は、大きく分けて 2 つある。1 つ目は、2014 年から 2016 年にかけて、研究代表者として、CIZA J1359 に対する Suzaku、Chandra、XMM-Newton 衛星による観測時間を獲得し、観測を行ったことである。2 つ目は、CIZA J1359 の 2 つの銀河団の間に衝撃波があることを定量的に示し、衝突の初期段階にある可能性を示したことである。

本研究で用いた観測データのうち、2013 年に取得された Suzaku 衛星のデータは、共同研究者により取得されたものであるが、これを除く大半の観測データは論文提出者が取得したものである。さらに、上記のデータ解析を主体的に行い、CIZA J1359 の 2 つの銀河団の間に衝撃波が存在し、衝突初期の銀河団であることを定量的に示したのは初めてであり、独自性が高い。なお本論文の第 4 章と第 5 章の一部は、中澤和洋、Liyu Gu、赤堀卓也、滝沢元和、藤田裕、牧島一夫との共同研究であるが、論文提出者が主体となって観測及び解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上により、博士（理学）の学位を授与できると認める。