

# 論文審査の結果の要旨

氏名 大里健

本論文は全 8 章からなる。

第 1 章は、イントロダクションであり、過去 20 年近くの詳細な宇宙論的観測データに基づいて、標準宇宙モデルが確立したことがまとめられている。一方で、重力レンズ効果から推定される銀河団の質量が X 線・電波観測から予想される値と矛盾することが知られている。その矛盾を、銀河団ガス内の乱流などに起因すると考えられる非熱的圧力の寄与によって説明することが本論文の目的である。

第 2 章は標準宇宙論の基礎的事項のレビューである。相対論的宇宙モデル、構造形成、宇宙の大構造の統計、宇宙論的観測の基礎がまとめられている。

第 3 章は、重力レンズのレビューである。非一様宇宙における光の伝搬が議論され、本論文で注目する観測データの一つである、弱い重力レンズの基礎とその統計量がまとめられている。

第 4 章は、銀河団の物理過程に関するレビューである。標準的な静水圧平衡モデルが紹介された後で、本論文が注目するもう一つの観測データであるスニャーエフ・ゼルドビッチ効果の基礎とモデル化がまとめられている。

第 5 章は、本論文で用いられる数値シミュレーションの方法論のまとめである。

第 6 章では、カナダ-フランス-ハワイ望遠鏡による Red Cluster Sequence Lensing Survey (RCSLenS) から得られる弱い重力レンズ地図と、Planck 衛星観測データから得られるスニャーエフ・ゼルドビッチ効果の地図との相関を計算した。特に、ダークマターのみを用いた数値シミュレーションを行い、模擬観測を行うことで、共分散行列を計算して、適切な誤差を考慮した。その結果、物質ゆらぎの振幅  $\sigma_8 \sim 0.6$  と銀河団の非熱的圧力の寄与  $\alpha_0 \sim 0.05$  という制限を得た。しかし、これらは、Planck 衛星のスニャーエフ・ゼルドビッチ効果の自己相関から得られる  $\alpha_0 \sim 0.3$ 、 $\sigma_8 \sim 0.85$  とは矛盾している。この結果は、例えば、低質量の銀河団ほど星形成効率が高いという仮定を付け加えることで回避できる。より一般的には、観測がより困難である、高赤方偏移の低質量銀河団の性質の不定性に起因するものである。仮に Planck 観測衛星から推定された  $\sigma_8$  を用いれば、非熱的圧力の寄与が高いことが示される。これは Planck 衛星観測によるスニャーエフ・ゼルドビッチ効果の自己相関関数の解析や、銀河団個数の先行研究とは整合的である。しかしながら、数値シミュレーションや重力レンズ効果とスニャーエフ・ゼルドビッチ効果の両者が観測されている銀河団を解析した結果は、より低い非熱的圧力の寄与を示しており矛盾が生じている。この矛盾の要因として、低質量銀河団の寄与や非熱的圧力の赤方偏移進化が挙げられる。共相関関数の測定においては、低質量銀河団の寄与を直接取り出すことは不可能であるが、より深い重力レンズ効果の観測を用いて赤方偏移の進化を追うこ

とは可能である。

そこで第7章では、すばる望遠鏡による **Hyper-Suprime Cam (HSC) Survey** から得られる弱い重力レンズ地図を用いて、第6章と同様の相関を計算した。**HSC Survey** は **RCSLenS** よりも暗い、したがって、より遠方で低質量銀河団までを含むデータであるので、第6章の結果とは相補的である。残念ながら、本章では第6章と異なるモデル化を用いているため、直接の比較は困難であるが、同じく、**HSC** の弱い重力レンズ地図と **Planck** のスニャーエフ-ゼルドビッチ効果地図との相関の結果は、より強い非熱的圧力の寄与を示している。第6章で用いた **RCSLenS** より遠方の構造に敏感な **HSC** による重力レンズ効果を用いても、推定される非熱的圧力が大きく寄与しているという結果は、非熱的圧力が赤方偏移に対しておおよそ一定であり、高質量銀河団よりも低質量銀河団で顕著であるという質量依存性の効果を示唆している。

最後に、第8章で、本論文全体の結論と展望がまとめられている。

なお、本論文第6章は、**Samuel Flender**、白崎正人、永井大輔、吉田直紀との、第7章は、白崎正人、宮武広直、永井大輔、吉田直紀との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。