

# 論文審査の結果の要旨

氏名 山崎 大

本論文は5章からなる。第1章はイントロダクションであり、宇宙の構造形成における初期磁場の重要性、具体的には、初期磁場の形成、増幅のメカニズムと、初期磁場が CMB (マイクロ波背景放射) 非等方性や大規模構造にどのように影響するかについての従来の理解がまとめられ、本論文でどのように初期磁場を研究していくかの方針が示される。本論文では CMB については、その高次のモーメントに対する、再結合前に生成された初期磁場の影響が考察される。また大規模構造については、密度ゆらぎと磁場の間の相関を考慮した時にどのような影響があるかについて検討がなされる。

第2章では、初期磁場のスカラーモード、ベクターモード、テンサーモードについての定式化が与えられる。特に、従来用いられていた近似は初期磁場のパワースペクトルのインデックス  $n_B$  が  $-1$  にごく近い時にのみ有効であったのに対して、本論文での定式化は任意の  $n_B$  の値について正確な値を与えるものであることが述べられる。さらに、密度ゆらぎの発展に対する磁場の影響の定式化が与えられる。

第3章では、CMB 非等方性に対する初期磁場の影響が議論される。現在の標準的な宇宙モデルと、CMB 非等方性の観測値の間には、角度スケール  $0.1$  度程度の高次の領域で観測値がモデルの予測値の数倍大きいというずれがあることが知られている。この領域では観測値の不定性が大きいためこのずれは決定的なものではないが、初期磁場としてある程度の強さのものを考えることでこのずれをなくすことができることが示される。具体的には、磁場のパワースペクトルのインデックス  $n_B$  を  $-1.5$  とするなら、共動座標で  $1\text{Mpc}$  スケールでの磁場強度  $B_\lambda$  が  $4$  ないし  $8\text{ nG}$  程度であると観測と良く一致する。またこの強度が  $4\text{ nG}$  であるなら、 $n_B$  が  $-0.5$  前後であるなら観測と良く一致する。この結果から、観測と矛盾しない  $n_B$  と  $B_\lambda$  の組み合わせの範囲に制限をつけることができた。 $n_B < -2$  では、この制限はおよそ  $B_\lambda < 8\text{ nG}$  となる。これは、初期磁場の強度について、銀河団磁場の観測とは別に上限を与える重要な結果であるといえる。

第4章では、構造形成に対する初期磁場の影響が議論される。Tashiro and Sugiyama (2006) が初期磁場の、非常に初期の構造形成、特に種族 III 星の形成時期への影響について議論しているが、彼らは初期磁場が密度ゆらぎと無相関な場合だけを扱っている。初期磁場の形成メカニズムによっては無視できない相関があるケースも考えられるため、本論文では密度の初期ゆらぎと初期磁場の相関係数をパラメータ

として扱うことで、従来考えられていなかった相関があるケースについて調べている。観測的な情報が現段階では不足しているため実際に初期磁場がどの程度影響をするのかについての定量的な議論は十分行えない。しかしここで行われた議論や手法は、今後初期磁場の形成過程と構造形成への影響を考える上で重要な第一歩になると考えられる。第5章は結論にあてられている。

以上の結果の中で特に重要なことは、スペクトルインデックス  $n_B$  の広い範囲で適用可能な初期磁場のパワースペクトルの計算式を初めて定式化したこと、その結果を用いて CMB の観測結果から初期磁場の強度に対して制限を与えることに成功したことである。さらに、構造形成の観測自体から初期磁場の強度、形成メカニズムに対して制限を与える可能性も示唆された。これらの結果は磁場の起源の理解に対して重要な意味をもつものであり、高く評価できる。

本論文の第2章から第4章までについては、市來淨與、梅津健一、G. J. Mathews、梶野敏貴、及び花山秀和との共同研究であるが、論文提出者が主体となって定式化、数値計算を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。従って、博士(理学)の学位を授与できると認める。