

|             |                                                                             |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名         | たしろひろゆき<br>田代寛之                                                             |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 (理 学)                                                                   |
| 学 位 記 番 号   | 理 博 第 2984 号                                                                |
| 学位授与の日付     | 平成 18 年 3 月 23 日                                                            |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当                                                     |
| 研究科・専攻      | 理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻                                             |
| 学 位 論 文 題 目 | Primordial Magnetic Fields and Cosmic Microwave Background<br>(原始磁場と宇宙背景放射) |

|        |                      |           |             |
|--------|----------------------|-----------|-------------|
| 論文調査委員 | (主 査)<br>教 授 中 村 卓 史 | 教 授 畑 浩 之 | 助教授 田 中 貴 浩 |
|--------|----------------------|-----------|-------------|

### 論 文 内 容 の 要 旨

星, 銀河, 銀河団等の宇宙の諸階層には普遍的に磁場が存在している。その起源の1つの考え方は, 宇宙初期に降着ディスク等の小さな天体でダイナモ作用によって作られた磁場がジェット等のアウトフローによって宇宙全体に広がったとするものである。もうひとつの考え方は宇宙のインフレーション期や電弱相転移時等に磁場が宇宙全体で生成され, その後重力収縮によって現在の磁場の強さになったとする原始磁場説である。そのどちらであるかについては決着がついていないが, 原始磁場説では現在銀河間空間に0.1ナノからナノガウス程度の磁場が存在していることになる。

申請論文は原始磁場説の詳細を論ずるのではなく, 仮にそうだとすると, 原始磁場の存否とスペクトル分布を宇宙背景放射の非等方性の観測と比較することにより検証しようとするものである。宇宙背景放射の温度揺らぎは主には宇宙のインフレーション起源と考えられ, 現在の観測値は温度にして10万分の1程度である。しかし, 原始磁場のエネルギー密度は温度揺らぎのエネルギー密度と同じくらいになり得るので, まだ観測精度がよくない宇宙背景放射の揺らぎの短波長領域で原始磁場の効果が卓越する可能性があるというのがポイントである。①磁場により赤方偏移が変化する。②磁気圧により音波モードが変化する。③磁場により物質の速度揺らぎが変化して Doppler 効果が変化する等によって原始磁場に起因した温度ゆらぎが生まれる。また, ファラデー回転により偏光も変化する。

申請論文ではまず膨張宇宙の中での磁場の進化を議論している。非線型項も考えるという点が線型項のみを入れる従来の磁場の進化の研究との相違点である。生成された磁場のスペクトルを短波長でのカットオフ入りの冪則で与える。その後の進化は, 物質と光子が一流体と見なせる初期の場合まず慣性項が粘性項より大きい乱流領域となるが, そのうちに光子の平均自由行程が長くなって粘性項が慣性項より大きくなる粘性領域となる。さらに時間が経って物質と光子を一流体と見なせない free streaming 領域となるが, それぞれ3つの領域での磁場の大きさとスペクトルを解析的に議論している。解析的な結果は数値シミュレーションによる結果と定性的に良く一致している。

次に与えられた磁場のスペクトルに対してゲージ不変な摂動論を展開して非等方な温度揺らぎと偏光のスペクトルの数値計算を実行している。典型的なスケールでの磁場の強さが32ナノガウス, 28ナノガウス, 16ナノガウス場合を詳しく計算している。計算結果を最近の WMAP 衛星や BOOMERANG の観測結果と比較することにより, 現在 0.7Mpc 以上のスケールでは, 磁場は28ナノガウス以下であるということが明らかになった。今後 PLANCK 衛星により詳細な短波長での温度揺らぎと偏光の観測が得られた時には, 申請論文の結果との比較により原始磁場の大きさとスペクトルを決定する可能性が開けた。また, 原始磁場の起源の諸説の正否を決めることにも貢献すると考えられる。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

宇宙背景放射に磁場が及ぼす影響に関してはこれまで磁場の大きさとスペクトルの進化に対して磁場の線型項のみを取り入れた研究が主であったが申請論文では非線形効果を考えた点が新しい。まず, 原始磁場の進化を磁場の変化を記述する方

程式でどの項が卓越するかを宇宙膨張の各段階で調べて、乱流領域、粘性領域と free streaming 領域の 3 つの領域が存在することを示した。さらに、与えられた初期の冪則の原始磁場のスペクトルに対して、各領域での原始磁場のスペクトルを解析的に与えた。この表式は数値シミュレーションの結果と定性的に一致するので、今後もこの分野で役に立つ研究として評価できる。

原始磁場の典型的なスケールでの大きさを 3 種類具体的に取り上げて、それぞれの場合に磁場の宇宙背景放射に与える影響を調べ、現在得られている観測値と比較している。その結果、原始磁場の大きさの上限を得ているが、これは現時点で得られる重要な原始磁場に関する情報となっている。将来的には PLANCK 衛星によってより精密な温度揺らぎのデータが得られるので時宜を得た研究として評価できる。特に、原始磁場が宇宙背景放射の偏光に与える影響も詳しく調べているので、原始磁場の大きさとスペクトルを決定する可能性を開く研究となっている。

参考論文は宇宙のインフレーションを引き起こすスカラー場と宇宙のダークエネルギーが同一起源としたときの重力波の背景放射を論じたもので、主論文と深い関係のある内容である。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認められるものである。

主論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。