

論文審査の結果の要旨および担当者

| | |
|------|---------|
| 報告番号 | ※ 甲 第 号 |
|------|---------|

氏 名 堀口 晃一郎

論 文 題 目

Probing the observational signatures of cosmological phase transitions

(天文観測で探る宇宙論的相転移の歴史の解明に向けて)

論文審査担当者

| | | | | |
|-----|---------------|-----|--------|---------|
| 主 査 | 名古屋大学大学院理学研究科 | 教 授 | 理学博士 | 杉 山 直 |
| 委 員 | 名古屋大学大学院理学研究科 | 教 授 | 博士(理学) | 棚 橋 誠 治 |
| 委 員 | 名古屋大学大学院理学研究科 | 准教授 | 理学博士 | 南 部 保 貞 |
| 委 員 | 名古屋大学大学院理学研究科 | 准教授 | 博士(理学) | 竹 内 努 |
| 委 員 | 名古屋大学大学院理学研究科 | 准教授 | 博士(理学) | 市 來 淨 與 |

論文審査の結果の要旨

宇宙初期に存在していた場が、現在に至るまでに、対称性が失われることで相転移を起こすと、その際に生まれる宇宙論的位相欠陥という特徴的な構造が宇宙に残り続ける可能性がある。宇宙論的位相欠陥を観測することは、初期宇宙での場やその相転移を解明する鍵となり得る。

相転移で生じる位相欠陥には、磁気単極子、宇宙ひも、ドメイン・ウォール、テクスチャーなどがある。これらの構造は、重力的効果を通じて、物質密度揺らぎや、磁場、さらには重力波などの観測量を生み出す。これらを観測と比較することで位相欠陥に対して制限をつけることが可能となる。観測量を見積もるためには、通常、宇宙論的摂動論を用いる。摂動は一般にスカラー、ベクトル、テンソル型の三種類に分類される。ここでスカラー型は位相欠陥に起因しない通常の密度揺らぎも含む。密度揺らぎは、膨張宇宙で成長していくために、位相欠陥起源だけを取り出すことは難しい。一方、ベクトル型は膨張宇宙では減衰していくために、位相欠陥のような揺らぎのみなもとが存在する場合に固有な成分といえる。テンソル型は成長しないので、やはり、位相欠陥が生み出す成分を見るのに適している。

本論文では、申請者は、位相欠陥の中でも、宇宙ひもとテクスチャーに注目し、それらが生み出すベクトル型、及びテンソル型の摂動を計算し、観測量を定量的に見積もり、観測可能性を評価した。

申請者はまず、ベクトル型摂動を用いて、宇宙ひもとテクスチャー、それぞれの宇宙論的位相欠陥による磁場生成を計算した。その結果、位相欠陥が確かにベクトル型摂動を生成し、ビッグバンでの光子バリオン混合流体の運動に影響を与え、磁場が生成されることを導き、さらに生成される磁場の強度を定量的に精密に評価することに成功した。

続いて申請者は、テンソル型摂動を通して生成される重力波について検討を行った。宇宙ひもでは、キンクと呼ばれる尖った構造の運動により、重力波が生成される。そこで、宇宙ひもの相関長や速度、キンクの分布などを同時に数値的に解くことで、キンクが生成するテンソル型摂動の発展を導き、その結果、過去の論文で予想されていたより 100 倍近い重力波を放出し得ることを突き止めたことは高く評価される。

次に申請者は、観測量として重力レンズ効果に注目した。宇宙マイクロ波背景放射や銀河の光は、観測者との間に位相欠陥が存在していると、特有の重力レンズ効果を受ける。申請者はテクスチャーを考え、そのベクトル型、及びテンソル型摂動に起因するレンズ効果を定量的に評価し、これら光源からの光の歪みを求めることに成功した。その結果を用いて、将来の可視光や電波観測によるテクスチャーの観測可能性について検討を行ったことは、価値が高い。

参考論文は、宇宙マイクロ波背景放射温度揺らぎの角度パワースペクトルに観測的に見られる特異構造を、密度揺らぎの初期構造で説明できるかの検討を行ったもので、高く評価される。

以上の理由から申請者は博士（理学）の学位を与えられるに相応しいと認められる。