

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博士（理学）	氏名	坂本 弘 樹
学位授与の要件	学位規則第4条第①・②項該当		
論文題目 Inflationary models improved by quantum corrections (量子補正によって改良されたインフレーションのモデル)			
論文審査担当者 主 査 教授 稲垣 知宏 (情報メディア教育研究センター) 審査委員 教授 小嶋 康史 審査委員 教授 志垣 賢太 審査委員 准教授 石川 健一			
〔論文審査の要旨〕 宇宙初期において空間が急激に加速膨張するインフレーション期を経ることで、地平性問題、平坦性問題、モノポール問題といった宇宙論の諸問題を、初期状態の微調整無しに解決することが可能になる。加速膨張を引き起こすエネルギー源としては、インフラトンと呼ばれるスカラー場のポテンシャルエネルギーが宇宙を支配していると仮定する。このインフラトン場がある値のポテンシャルエネルギーを持った状態から基底状態へとゆっくりと変移する事で、十分な宇宙膨張が引き起こされたのちにインフレーション期は終焉すると考えるのが、一般的なスローロールシナリオである。インフラトン場のポテンシャル項に対しては、プランク衛星による宇宙背景輻射とその温度揺らぎの詳細な観測により厳しい制限が得られている。 本論文は、量子補正が本質的な役割を果たす新しいインフレーションモデルを構築することを目的としている。低いエネルギースケールで量子補正が重要になるケースはいくつか知られているが、その一つが強い相互作用等で見られるフェルミオン対の凝縮である。強い相互作用のエネルギースケールをインフレーション期のエネルギースケールまでスケールアップした理論を考えると、凝縮したフェルミオン対がインフラトンとみなせる可能性がある。一方、宇宙初期において量子補正が無視できなくなると考えられているのが量子重力の効果である。量子重力の理論は分かっていないが、強い重力場中では量子重力の効果が一般相対性理論を修正すると考える事で、物質場によるエネルギー源無しに宇宙が加速膨張する可能性が知られており、宇宙背景輻射の観測と矛盾しないモデルもいくつか研究されている。 本論文は全4章から成る。第1章では、宇宙背景輻射の観測の進展とインフレーションのモデル検証可能性に注目するに至る本研究の背景と強い相互作用のスケールアップした理論の可能性、修正重力理論の可能性について概観し、量子補正が本質的な役割を果たすインフレーションモデルの構築とその検証を目的とすることを述べている。第2章では、宇宙論の諸問題とインフレーションの必要性について、一様等方時空中でのアインシュタイン方程式であるフリードマン方程式を出発点に、スローロールシナリオを記述するパラメータと宇宙背景輻射の揺らぎのパラメータの関係について、一般的なモデルの下で論じ			

ている。第3章では、量子補正が本質的な役割を果たすインフレーションモデルを構築する。凝縮したフェルミオン対をインフラトンとみなすゲージ化された4体フェルミ相互作用によるインフレーションモデル、及び一般相対性理論を記述するアインシュタイン・ヒルベルト作用の曲率項 R を関数 $F(R)$ で置き換えた $F(R)$ 修正重力理論における新しい関数系のモデルを提案し、宇宙背景輻射の揺らぎの観測と矛盾しないパラメータを求めている。第4章では、結果を総括し、その物理的意味と今後の課題が述べられている。

フェルミオン対の凝縮はインフレーションを抑制すると考えられてきたが、本論文では共形変換不変性を破る重力との相互作用を導入することでフェルミオン対によるインフレーションモデルを実現している。さらに、フェルミオン凝縮を引き起こす強い相互作用に加えて非常に弱いゲージ相互作用を導入する事で、宇宙背景輻射の揺らぎの振幅を再現することに成功している。フェルミオンのフレーバー数とゲージ相互作用の結合定数の大きさを変えながら宇宙背景輻射の揺らぎのパラメータを解析していく中で、特徴的なアトラクター構造が得られているが、より一般的なモデルの分類に繋がる科学的な知見である。

$F(R)$ 修正重力理論においては、宇宙背景輻射の揺らぎを求める一般公式を導くことに成功している。公式の一部はすでに知られていたものであるが、揺らぎの非ガウス性の一般公式は新しい結果である。得られた公式はあらゆる $F(R)$ 修正重力理論に適用できることはもちろん、スカラーモードの数を限定せずに示された導出方法は、より広い範囲の修正重力理論への一般化、物質場によるモデルとの統合の可能性を残した成果であり、今後の発展が期待できる。

著者は、量子補正が本質的な役割を果たすことをキーワードにインフレーションモデルの構築を行い、宇宙背景輻射の揺らぎのパラメータに現れるモデルの特徴を明らかにすることに成功している。解析の過程で導かれた公式と分析手法は、様々なモデルに適応可能で、当該分野の進展に寄与するものと判断する。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認める。

公表論文

1. “Exploring the inflation of $F(R)$ gravity”,
Tomohiro Inagaki and Hiroki Sakamoto,
to appear in International Journal Modern Physics D.

参考論文

1. “An Alternative Attractor in Gauged NJL Inflation”,
Tomohiro Inagaki, Sergei D. Odintsov and Hiroki Sakamoto,
Europhysics Letters 118 (2017) 29001.
2. “Inflation from the Finite Scale Gauged Nambu-Jona-Lasinio Model”,
Tomohiro Inagaki, Sergei D. Odintsov and Hiroki Sakamoto,
Nuclear Physics B919 (2017) 297-314.
3. “Gauged Nambu-Jona-Lasinio inflation”,
Tomohiro Inagaki, Sergei D. Odintsov and Hiroki Sakamoto,
Astrophysics and Space Science 360 (2015) 2, 67.