

# 論文審査の結果の要旨

氏名 瀧本真裕

現在の宇宙には、人体や天体を構成するバリオンは5%しかなく、25%程度を占めるダークマター、7割を占めるダークエネルギーの正体を解明することが、基礎物理学の大きな課題になっている。ダークマターは、既知の物質とごく弱い相互作用しかしない、何らかの素粒子によって構成されている可能性が高いが、その有力候補として、素粒子の標準理論の強い相互作用に見られる CP 対称性の問題を解決するために導入された、アキシオンが挙げられている。

アキシオンは宇宙初期に Peccei-Quinn 対称性と呼ばれる大域的 U(1)対称性が破れた後で生成する粒子であるが、この対称性を破る Peccei-Quinn スカラー場（以下 PQ 場）のダイナミクスを初期宇宙で考えることは、アキシオンダークマター説の当否を検討するだけでなく、そもそも CP 対称性の問題を Peccei-Quinn 対称性によって解決できるか否かを判断する上で、極めて重要なテーマである。本学位論文はこの問題にさまざまな観点から取り組み、いくつかの重要な成果を得た。

本論文は6章と付録からなり、各章の構成は以下の通りである。

第1章はイントロダクションであり、上述のような本研究の背景が論じられている。第2章は Peccei-Quinn 機構による CP 対称性の問題解決、及びアキシオンのさまざまな性質に関する素粒子論的観点からのレビューである。これに対して、第3章は PQ 場の宇宙論についてのまとめで、インフレーション宇宙におけるこの場の進化が概説され、既知の問題点が整理されている。

第4章以降が著者のオリジナルな研究の記述である。まず、この章ではインフレーション後に PQ 場の対称性が有限温度・有限密度効果によって回復する場合の宇宙論が考察されている。インフレーションのエネルギースケールが比較的高い場合、インフレーション後にインフラトンが振動を開始した後、宇宙は高密度プラズマで満たされるため、これによって PQ 場の対称性が回復する。温度の低下に伴って相転移が起こり、PQ 場は振動を開始する。この相転移は、超対称性理論に見られるように PQ 場の原点での質量が小さい場合、熱的インフレーションを伴って起こることが予想される。このとき PQ 場のエネルギーが優勢となり、この場の振動から高エネルギーのアキシオン粒子が多数生成してしまうことがこれまで知られていた。このアキシオン粒子は宇宙の晴れ上がりの時まで相対論的であり続けるので、暗黒放射として振る舞い、その存在量は宇宙背景放射の温度ゆらぎの観測から強く制限されている。本論文では、有

限密度下での PQ 場の崩壊と生成したアキシオンのエネルギーの散逸を、熱浴の効果を注意深く取り入れて再計算することにより、これまで知られていた以上に PQ 場の質量と期待値の許容領域が広いことを示した。これによって現実的なアキシオンモデルを構築することが可能になった。

続く第5章では PQ 場の対称性がインフレーション中に破れたまま、現在に至るまで決して回復しない場合について考察した。この場合の最大の問題点はアキシオン場の量子ゆらぎから等曲率ゆらぎが生成してしまい、これがインフレーションのエネルギースケールに対して強い制限を与える、ということだった。本学位論文では、この問題に対して二つの独立した解決法を与えることに成功した。一つは PQ 場のポテンシャルのべきとインフレーション後の宇宙膨張の指数が特定の関係を満たすときに成り立つ擬スケーリング解を利用する方法である。もう一つは、PQ チャージを持つスカラー場が複数個あり、インフレーション中と現在とで支配的な寄与をする成分が異なるモデルである。それらの振幅の比に比例して等曲率ゆらぎが抑制されることが示され、ヒッグスインフレーションにおいてそれが実現可能であることが示された。

第6章は以上の研究の纏めと結論である。

なお、本論文の内容はいくつかの共同研究として刊行されているが、その多くは論文提出者が中心となって行ったものであり、本委員会は同人の貢献を十分と認めた。

さらに、本学博士に相応しい学識を持っているかを口頭にて試問したが、その結果審査員全員一致にて合格と認定した。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。