

論文審査の結果の要旨

氏名 武田直幸

LHC 実験によってヒッグス粒子が発見されたことにより、宇宙の創成と進化を記述する素粒子物理にはスカラー場が存在することが実験的に確認された。素粒子の統一理論にはこのヒッグス場以外にさまざまなスカラー場が登場し、宇宙の進化において多くの役割を果たしたものと考えられている。例えば、宇宙空間の一様・等方・平坦性を実現するために、宇宙がその進化の初期に指数関数的膨張をしたとするインフレーション宇宙論が不可欠なものとなっているが、インフレーションはインフラトンと呼ばれるスカラー場によって起こったものであると考えられている。また、超対称性理論にはバリオン数を持ったスカラー場が多数登場するが、そのコヒーレント成分によって宇宙のバリオン数の起源が説明される可能性も活発に検討されている。

本学位論文は、そのようなスカラー場がソリトンを形成する可能性があることに注目し、宇宙の進化の中でこれが実際に生成されるかどうかをさまざまな観点から検討し、新知見を得たものである。ソリトンとは特定のポテンシャルを持つ場が空間的に局在してエネルギーを持つ安定な塊のことであり、ここでは特にトポロジカルな対称性を伴わない、ノントポロジカルソリトン、特に実スカラー場の振動によってできる I ボールに注目している。

本論文は 7 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 I ボールの生成する宇宙の初期条件を与えるインフレーション宇宙論に関するレビューが述べられている。第 3 章では、本論文の中心課題である I ボールについて、これまでの研究がまとめられている。とくに I ボールが形成するためにはスカラー場のポテンシャルが場の自乗よりも緩やかに変化しなければならないことが強調されている。

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、宇宙背景放射の観測によって強く支持されているスタロビンスキーインフレーションモデルにおいて I ボールが形成するかどうかを解析した結果が述べられている。スタロビンスキーモデルは、重力の高階作用を用いた理論であるが、スカラー場によって既述することもでき、しかもそのポテンシャルは場の正方向は緩やかに変化し、負方向は激しく立ち上がることが知られている。著者はインフレーション後にこのポテンシャルの下でスカラー場が振動する際、I ボールが形成するか否かを、準解析的・数値的手法によって、宇宙膨張を取り入れた場

合と入れない場合、計量のゆらぎを取り入れた場合と入れない場合、それぞれについて解析し、現実的な状況の下ではIボール生成は起こらないことを示した。

第5章では、対数型のポテンシャルについて同様の手法で考察した。インフレーション後にインフラトンの崩壊物で形成される熱浴から補正を受けてスカラー場は対数関数型のポテンシャルに従って振動することが示唆されていること、また量子補正によっても場はこの対数型のポテンシャルを持ち得るからである。結果として、この場合はスカラー場の振動期に確かにIボールが形成することを示し、一次元のシミュレーションに基づき、その典型的な大きさ等を明らかにした。

第6章では、Iボールの安定性を解析的に理解する研究について述べられている。従来、複素場によって構成されるQボールについては、その安定性は保存量によって説明できることが知られていたが、Iボールについてはそのような保存量は存在しない。それに代わる量として、著者は古典力学の振動系でよく知られている断熱不変量に注目した。そして、この断熱不変量がスカラー場の振動においてもよく保存されていることを見いだした。とくに、質量項に対数補正が加わったポテンシャルにおいては、断熱不変量は厳密に保存することを発見した。

第7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。