



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Phenomenological and cosmological aspects of string axion and supersymmetric standard models [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	大本, 直哉
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第13561号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74269
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Naoya_Omoto_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(理学) 氏名 大本 直哉

学位論文題名

Phenomenological and cosmological aspects of string axion and supersymmetric standard models
(弦理論アクシオンと超対称標準模型の現象論的かつ宇宙論的側面についての研究)

近年の技術的な発展によって、現在までに 17 種類の素粒子が発見されており、これらは「標準理論」と呼ばれる数学的モデルによって記述することができる。標準理論は実験や観測から得られたデータから徹底的に検証され、我々の身の回りの自然の現象を精度よく説明することができる。一方で、宇宙論に関しては、これまでの天体観測に基づき、宇宙の誕生から現在までの発展を「ビッグバン理論」によってその仕組みを理解できる。

さて、これらの理論は非常に優秀であるが、しかし、完全に物理現象を記述できていないのが現状である。我々の宇宙を支配する最も基本的な原理を追及するためには「宇宙」と「素粒子」を包括する新しい理論の模索が我々の最重要テーマとなる。以上を踏まえ、本論文ではトップダウン、ボトムアップ双方の立場から初期宇宙について議論し、我々が提案したモデルの宇宙論的かつ現象論的側面についての研究を行った。

本論文は二つのパートに分かれている。最初のパートでは、インフレーション模型について言及した。インフレーションは宇宙初期に起きたとされる加速膨張を意味し、ビッグバン理論における初期値問題について理論的な解決策を与える。現在までに様々なインフレーション模型が議論されているが、特に本研究では、弦理論アクシオンによる small-field インフレーションを提案した。超弦理論には余剰次元のコンパクト化により複数のモジュライ場が存在するため、アクシオンは普遍的に存在する粒子と考えられる。これらアクシオンは連続対称性を持ち、摂動論の範囲でポテンシャルが禁止されるが、非摂動論効果によって連続対称性が離散対称性に破れる。この特徴をうまく使ったインフレーション機構をナチュラルインフレーションと呼ぶ。ところで、一般的にナチュラルインフレーションは観測結果と無矛盾であるために、プランクスケールを超えるアクシオンの崩壊定数が必要である。この事実は超弦理論の有効理論を考えた場合において非常に不都合に思われる。

以上を踏まえ、本論文では、これまでほとんど議論されてこなかったアクシオンの small-field インフレーションに注目し、我々の提案したモデルが観測に無矛盾なインフレーションとなるかを検証した。この研究により、アクシオンの崩壊定数と観測パラメータが関係付けられるなど、非常に有益かつ興味深い結果が得られた。この研究についての構成は次のとおりである。2 章で一般的なインフレーション模型の側面についてレビューをした後、3 章で我々の研究に基づいて具体的な模型を提案し、さらに宇宙論的考察を行った。

もう一方のパートでは標準理論を超対称的に拡張した超対称標準模型を用いて、宇宙論をベースとした現象論的研究を行った。先に述べたように、標準理論は $O(100)$ GeV の素粒子実験を非常によく説明できるが、一方で標準模型だけでは説明できない困難も数多く抱えている。一般的に、そういった困難は新しい対称性を導入することにより解決されるが、単純性と最小性の観点からそれら対称性は統一的に記述できることが望ましい。超対称性理論はこの思想に基づいた新物理として期待されており、自然界の統一的な基本法則を予言する。特に、標準理論に超対称性理論を組み込んだ超対称標準模型は超弦理論などの根源的な理論の低エネルギー極限として実現され、初期宇宙の進化において重要な役割を果たしたと考えられている。また、初期宇宙においては、もう一つ重要なテーマとして、我々の住む宇宙の物質と反物質の非対称問題がある。これは素粒子論および宇宙論が解明すべき極めて重要な課題のひとつであり、本論文でもこの問題について言及した。

さて、これらの事実を踏まえて、まず4章で最小超対称性標準模型とその宇宙論の一般的な関係性について言及したのち、5章では、次最小超対称性標準模型(NMSSM)におけるドメインウォール問題について研究をまとめた。NMSSM には μ 問題を解決するために導入された Z_3 対称性により、ドメインウォールと呼ばれる壁状の場の配位を宇宙初期に形成してしまう問題がある。長寿命なドメインウォールは宇宙のエネルギー密度を支配し、現在の標準宇宙論と矛盾する結果を与えてしまうため、これまで問題になっていた。そこで我々は、 Z_3 対称性は明確に破れているが、その破れのサイズを電弱スケールよりも小さいと仮定することで、 μ 問題を解決しながらドメインウォールを進化の途中で崩壊させるシナリオを考えた。本研究はドメインウォールの崩壊による宇宙論的影響に着目して、観測的制限を与えた初めての研究である。

6章では新しい Affleck-Dine レプトジェネシスについての解析をまとめた。超対称性理論にはスカラーポテンシャルの平坦方向を用いて非常に効率よくバリオン数を生成する Affleck-Dine 機構が知られている。我々はこの機構に着目して、右巻きスニュートリノが作る平坦場を使った、Affleck-Dine レプトジェネシスを提案した。この模型では CP 非対称な項によりレプトン数が生成され、その後、スファレロン過程を経てバリオン数が生成される。特に、関連する先行研究と比較して、インフレーション中および終了後の平坦場の時間発展を注意深く追うことで、不必要な対称性をそぎ落とした、よりシンプルな模型構築を行った。

いずれの研究も超対称標準模型を用いることで、現象論ならびに宇宙論的性質に示唆を与える重要な成果を挙げることができた。特に、右巻きスニュートリノを加えた我々のモデルは基礎的な理論で記述でき、素粒子論の統一的な理解に貢献できる一方で、統一理論からの有効理論としても自然に実現されるため、具体的なモデルに依らずに広く応用可能である。また、他の模型と比べて実験による検証可能性があるため、新粒子発見を目指す素粒子実験に強い動機付けを与えられる。

なお、最後の7章で本論文の総括を、補遺で本論文のノーテーション及び、本研究に必要な補足的知識についてまとめた。