

本論文は9章からなる。第1章はイントロダクションであり、本論文で行った解析についての大まかな説明、および論文の構成についての説明を行っている。続く、第2章から第4章は本論文の解析を理解するための実験的・理論的背景をレビューしている。第5章から第8章が本論文の主要な内容であり、第9章は本論文で行われた提案と解析のまとめを与えている。

この論文では、宇宙に存在している物質（バリオン）とダークマターがほぼ同じくらい存在しているという観測事実を、超対称性を持つように拡張された素粒子の標準模型を用いて説明する2つのシナリオを提唱している。超対称性を持つ理論では Affleck と Dine により提唱されたスクォークと呼ばれる超対称性粒子の崩壊を用いてバリオンとダークマターを両方作り出すことができることが知られており、Affleck-Dine(AD)機構と呼ばれている。本論文の最初の提案は Q ボールと呼ばれる非位相的ソリトンを用いるものであり、第5章と第6章で議論されている。第2のシナリオはインフレーションの直後に AD 機構が働いてバリオンとダークマターが生成されるというものであり、第7章と第8章で議論されている。

第2章では本論文に関連する宇宙論的な問題について解説している。扱われている項目は、宇宙にバリオンがどの程度存在するのか、ビックバン宇宙論でどのようにしてバリオンが生成されるのか、現存するバリオンと反バリオンの量が非対称性である（宇宙には反バリオンがほとんどない）という観測事実を説明するための理論的な条件（サハロフ条件）、ダークマターはどのように発見されたのか、ダークマターがバリオンの5倍ほど多いという観測事実、インフレーションモデルとはどのようなもので何故必要なのか、などである。

第3章は AD バリオン生成機構の解説である。AD 機構ではスクォークと呼ばれる超対称理論に現れるスカラー粒子（以下 AD 粒子と書く）が時間的に振動することによりを用いてバリオンの非対称性を生成する。AD 粒子はいくつかの平坦方向を持つことが知られており、インフレーションのあとに大きな真空期待値を持つことができる。一方で、平坦方向に対して量子論的な補正、宇宙膨張の影響、宇宙の温度による熱力学的補正、繰り込み不可能な高次元補正などで、ポテンシャルエネルギーが与えられることを解説している。また、これらのポテンシャルエネルギー中の運動によりバリオン非対称性がどの程度生じるかについて定量的な評価を、3.4節で行っている。特に、重力を仲介して超対称性を破る模型、ゲージ場を用いて超対称性を破る模型、熱力学的な補正の影響などの詳しい解析が紹介されている。

第4章では第5章、6章で用いられる Q-ball について解説されている。Q-ball とは AD 場に対する非位相的なソリトンであり、空間的な配位に対する運動方程式から導くことができる。Q-ball は第3章で導入した AD 場に対する量子揺らぎとポテンシャルの不安定性により生成され、非常に大きなバリオンチャージを持つ。Q-ball はクォークとゲージノなどの超対称粒子に崩壊するが、その崩壊レートや崩壊温度が 4.3 節にまとめられている。

以上の準備の下に、第5章では本学位論文の主要な主張である Q-ball を用いたバリオンとダークマターの同時生成のシナリオが提案されている。Q-ball は古典的には安定で量子効果などによ

り比較的ゆっくりとバリオンと超対称粒子に崩壊し、後者が bino などのダークマターの候補になっている粒子になるというシナリオである。このようなシナリオは以前にも考えられていたが（文献 24）、スクォークの崩壊反応だけを考えるとバリオンとダークマターが同数発生し、それと観測と合わせるためにはダークマターを構成する粒子の質量が数 GeV 程度になるが、加速器実験からそのようなシナリオは否定された。この論文では、スクォークの崩壊反応だけではなく、Q-ball 内におけるスクォーク 2 個がクォーク 2 個に変化する反応の寄与を取り入れると、バリオンが 100 倍ほど多く生成され、ダークマターの質量を 100GeV のオーダーに変更することが可能となり、加速器実験との矛盾が解消されることを指摘している。バリオンとダークマターの生成源が Q-ball で共通しているため、超対称模型の構成法に依存しないシナリオになっている。続く第 6 章ではこのシナリオと様々なインフレーション模型の間関係を考察している。関連する 3 つの模型、F-term hybrid inflation, D-term hybrid inflation, chaotic inflation などについて AD 場とインフラトンの力学的な関連を調べ Q-ball 崩壊のシナリオは chaotic inflation 模型において自然に解釈できることが示されている。

第 7 章と 8 章では AD 場がインフレーションの終了直後に振動を始めるというもう一つのシナリオが提案されている。この場合はバリオンの非対称性の生成は低エネルギーの SUSY パラメータによらずインフラトンセクターのパラメータのみに依存する。第 7 章では第 6 章で考察された 3 つの模型についてこのようなシナリオでも観測されているバリオン非対称性が説明できることが示されている。また第 8 章ではグラビティーノの崩壊から生じるダークマター生成について考察される。これらのバリオンとグラビティーノ生成は生成されるメカニズムは Q ボールの場合とは違って別のプロセスであるが、依存するパラメータがインフラトンに起因するもので共通しているため、生成される量について関係がつけられることが示されている。

以上のような成果を与え、詳細なレビューも含めた学位論文にまとめたことは、論文申請者が博士（理学）としての十分な学識があることを示している。なお、本論文の解析は、理学系研究科の川崎教授などとの共同研究に基づいているが、論文提出者が主体となって分析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。