

# 論文審査の結果の要旨

氏名 高橋史宣

標準ビッグバンモデルは、軽元素の存在比、宇宙背景輻射(CMB)の存在、ハッブルの法則という現象を見事に説明する。その一方で、標準元素合成理論が導くいくつかの軽元素の存在量に関して、観測結果との不一致が存在する。特に、宇宙背景輻射の精密測定により、標準元素合成理論のパラメーターの1つであるバリオン光子比が測定されてことによりその不一致が顕著になった。この不一致は観測の系統誤差が起源という保守的な態度がある一方で、標準元素合成理論を超える新しい物理の存在を示唆していると考えられる。この論文では後者の可能性を追求している。軽元素合成時期バリオン数に比べて大きなレプトン非対称性が存在する場合には観測と存在量が合っていない軽元素のうち  $4\text{He}$  に対し改善が見込まれる。これは主に電子ニュートリノの正の非対称性が陽子と中性子の間のベータ平衡を陽子の方向へずらす為である。ところが、正の大きなレプトン非対称性は、スファレロンと呼ばれるプロセスを考慮に入れると小さなバリオン非対称性の存在と矛盾する事がわかる。なぜなら、スファレロンはレプトン非対称性から同じ程度の大きさ且つ反対符号のバリオン非対称性を生成してしまう為である。従って、大きなレプトン非対称性を生成する無矛盾な宇宙論的シナリオを構築する必要があり、これがこの論文の目的の一つとなっている。

本論文では素粒子の標準模型を越える理論として有望視されている超対称理論にその大きなレプトン数の起源を求めている。超対称理論において宇宙のバリオン数、レプトン数非対称を説明するひとつの有力なアイデアとして、アフleck・ダイン機構が存在する。この機構では、超対称性のもつスカラー場のポテンシャルに平坦方向があることを利用し、バリオン数、レプトン数をもつスカラー場が初期宇宙に凝縮することで宇宙のバリオン数、レプトン数を説明する。この機構のひとつの予言として凝縮したスカラー場が空間的に不安定になって生じる非トポロジカルソリトン、Q ボールの存在がある。作られたレプトン数、バリオン数は一旦 Q ボールに全て取り込まれてしまう為、Q ボールは崩壊するまでの間レプトン数をスファレロンから守る役割を果たすことができる。よって、もしレプトン数をもつスカラー場の Q ボールがアフleck・ダイン機構で作られれば、大きなレプトン数非対称を作れる一方で、周囲のプラズマとの相互作用により Q ボールから蒸発したレプトン数がスファレロン過程によりバリオン数を説明することができる。さらに、適当な平坦方向では、レプトン数非対称性自体はバリオン数非対称性と反対方向である一方で電子ニュートリノに対し正の非対称性を導出することができる。  $4\text{He}$  の存在量を説明する矛盾のないシナリオを構築することができる。

ただし、このシナリオがうまく機能するためには、Q ボールによりレプトン数非対称性が生成された後元素合成時期までの間ニュートリノ振動が抑制される必要がある。ニュートリノ振動は生成された各世代のレプトン非対称性を平均化してしまうため、再び電子ニュートリノ非対称性が例えバリオン数非対称性と同符号で生成されても、全体のレプトン数非対称性が逆符号であれば、元素合成時期の電子ニュートリノ非対称性は再び逆符号になってしまうからだ。論文提出者はニュートリノ相互作用を拡張することでビッグバン元素合成前にニュートリノ振動を抑制する可能性について追求した。そして、マヨロンと呼ばれるスカラー場との相互作用を導入することで、実際にニュートリノ振動が抑制されることを解析的・数値的に示した。

本論文は6章からなる。第1章はイントロダクションである。第2章は超対称理論において宇宙のバリオン生成の起源を説明するアフレック・ダイン機構と、その機構から導かれる非トポロジカル解であるQ ボールのレビューが述べられている。第3章では、そのQ ボールを使うことで大きなレプトン数が生成できる宇宙論的シナリオが構築できることを示してある。第4章ではニュートリノ振動による各世代のレプトン数非対称性の混合をおこし平均化されてしまうことを、第5章では新たなニュートリノの相互作用を導入することでその平均化が回避されることが示されている。第6章は結論である。

なお、本論文第3章の一部は、川崎雅裕、山口昌英両氏との共同研究であり、第5章の一部は Alexander Dolgov 氏との共同研究であるが、論文提出者が主体的になって分析および検証を行ったものであり、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。