

# 学位審査報告書

(ふりがな) 氏名	やまうち だいすけ 山内 大介
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第 号
学位授与の日付	平成 23年 3月 23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究 物理学・宇宙物理学 専攻
(学位論文題目)  Cosmic Microwave Background from Cosmic Strings/Cosmic Superstrings (宇宙弦/宇宙超弦からの宇宙マイクロ波背景輻射)	
論文調査委員	(主査) 佐々木 節 教授 國広 悌二 教授 田中 貴浩 教授

理学研究科

京都大学	博士 ( 理 学 )	氏名	山内 大介
論文題目	Cosmic Microwave Background from Cosmic Strings/Cosmic Superstrings		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>宇宙初期の相転移時に、理論に含まれる対称性が自発的に破れ、位相欠陥が現れ得ることが多くの素粒子模型によって支持されている。特にその中でも宇宙弦と呼ばれる紐状の位相欠陥は現在の精密観測と矛盾せず、現在まで存在することが期待されている。また近年、宇宙弦の生成がほぼ不可避であることが示され、その宇宙論的な探索の重要性が再認識されている。また一方で、近年の弦理論的宇宙論の発展により、弦理論のエッセンスを取り入れたインフレーション模型、ブレーンインフレーション最終模型において通常知られる宇宙弦とは異なる種類の宇宙弦、宇宙超弦がインフレーションの終段階で生成されることが指摘された。宇宙超弦を探索することは、弦理論の新しいプローブになりえることから、素粒子論的な観点からも重要となる。よって、宇宙弦/宇宙超弦は、宇宙初期の超高エネルギー物理の痕跡を今に残すものであり、その観測可能性を探ることは非常に重要である。</p> <p>宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の温度揺らぎは、初期宇宙や高エネルギー物理の重要なプローブである。CMB 温度揺らぎパワースペクトルの音波振動の発見により、宇宙弦/宇宙超弦は大スケール温度揺らぎに主要な寄与をしていないことが明らかになったが、いまだ CMB を用いて宇宙弦/宇宙超弦の存在を探索していくことができる。申請者は、CMB を用いた宇宙弦/宇宙超弦の観測可能性を議論した。</p> <p>申請者は、宇宙弦/宇宙超弦を観測的に区別するためには繋ぎ換え確率に注目することが重要であることを指摘した。通常宇宙弦動詞が衝突した場合には完全に繋ぎ変わることが知られている一方、宇宙超弦の場合には、衝突したとしてもある確立で繋ぎ変わらない。この性質に注目し、宇宙弦/宇宙超弦それぞれの CMB 温度揺らぎへの影響を調べた。</p> <p>最初に、宇宙弦/宇宙超弦から導かれる小スケール CMB 温度揺らぎの一点分布関数を解析的及び数値的に計算した。繋ぎ換え確率を考慮した宇宙論的な宇宙(超)弦ネットワークを表現できる解析模型を構築するとともに、弦及びキントクの数の発展を求めた。そこで宇宙弦/宇宙超弦が一点分布関数に与える影響を3つに分類できることを示した。1つ目は直線的な弦によって生成されるガウス分布的な温度揺らぎ、2つ目はキントクと呼ばれる弦上の小スケール欠陥から作られる非ガウス的なベキ、3つ目は弦の曲率と速度に現れる相関が作る一点分布関数の歪みである。特に、繋ぎ換え確率を小さくするとき、一点分布関数の標準偏差が大きくなり、非ガウス的なベキと歪みは抑制されることを見出した。</p> <p>また、申請者は宇宙弦/宇宙超弦が作る小スケール CMB 温度揺らぎのパワースペクトルを解析的に計算する手法を確立した。パワースペクトルはポアソン分布をする直線的な弦が支配的な寄与をすることを見出すとともに、繋ぎ換え確率によらず、大スケールでは平坦、小スケールではベキ的な振る舞いを見出すことを見出した。これらの振る舞いから繋ぎ換え確率へ制限をすることができる。繋ぎ換え確率を小さくすると、パワースペクトルの振幅が大きくなることから、より小さな繋ぎ換え確率を持つ弦は厳しく制限される。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

申請者は、宇宙弦/宇宙超弦からの小スケール CMB 温度揺らぎの一点分布関数を実際に計算することで分布を形作っている要因を求めている。宇宙弦/宇宙超弦ネットワークの発展は非常に非線形であり、解くことは容易ではない。そこで解析的にネットワークを扱うことができるモデルを提案している。弦ネットワークが典型的な物理量(相関長、速度)によって特徴づけられるとし、それらの発展方程式を導出するとともに、その繋ぎ換え確率を含んだ一般化を行っている。今後、宇宙超弦が観測的により興味を持たれた際、この定式化は基礎的な方程式として重要になる。ネットワークを構成している直線的な弦の温度揺らぎを調べることで、温度揺らぎの一点確率分布関数における主要なガウス分布の源になっていることを見出した。また、大域的なネットワークの発展だけでなく、小スケールの構造にも注目している。キンクと呼ばれる弦上の欠陥は繋ぎ換え時に生成、離脱することから、繋ぎ換え確率に鋭敏である。それらを考慮に入れたキンク数の発展についても現象論に扱えるような定式化を行った。キンクは特徴的な温度揺らぎの信号を持つことから、一点確率分布関数に対して、非ガウスのベキを与えることを見出した。また、弦ネットワークの発展方程式から弦は統計的に曲率を持つ必要があり、それは弦の速度と相関がなければならないことがわかる。そこで弦に発展方程式から与えられる曲率を持たせ、モンテカルロシミュレーションを行った結果、曲率-速度の相関を与えることによって CMB 温度揺らぎ一点確率分布関数に歪度が現れることを見出した。繋ぎ換え確率を含んだ拡張を行ったことにより、初めて繋ぎ換え確率と CMB 温度揺らぎの非ガウス性との関係性を明らかになった。これは今後の将来観測により CMB 温度揺らぎ非ガウス性を精密に決めることで繋ぎ換え確率を観測できる可能性を示している。

また、申請者は CMB 温度揺らぎのパワースペクトルを解析的に計算する手法を確立した。これまでの研究においては、パワースペクトルを知るためには数値シミュレーションを行うより他になかったが、申請者の提案した方法を用いることで繋ぎ換え確率まで考慮したパワースペクトルを容易に計算できるようになった。また、パラメータを詳細に決めることなく、数値シミュレーションによって得られた結果と整合的な成果を得られることができる。パワースペクトルはポアソン分布した直線的な弦が支配的な寄与を与えていることを見出すとともに、繋ぎ換え確率によらず、大スケールでは平坦、小スケールではベキ的な振る舞いを見せることを見出した。これらの振る舞いから繋ぎ換え確率へ制限をすることができる。また、繋ぎ換え確率を小さくすることで、弦の数密度が上がることから振幅は大きくなり、張力への制限はより厳しくなることを見出した。

これらの成果により初めて宇宙超弦が CMB に与える影響が計算可能になるとともに宇宙弦/宇宙超弦を観測的に区別可能であることを示した重要な仕事である。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成23年1月14日、論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降