

別紙 4

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Gravitational wave background from cosmic strings and
cosmic superstrings

(宇宙ひもと宇宙超ひもから放出される背景重力波)

氏 名 西田 由佳

論 文 内 容 の 要 旨

我々が住むこの宇宙は、誕生してから今もなお膨張し、成長し続けているとてもダイナミカルな存在である。その宇宙の成長を解明することが宇宙論の大きな目標である。様々な波長の電磁波による宇宙の観測は宇宙の歴史解明に大きな貢献を果たしているが、宇宙誕生直後の初期宇宙は高温高密度であり、その当時に放出された電磁波が我々の元にたどり着くことができないため、初期宇宙の電磁波での直接観測は不可能である。ところが幸運なことに、近年我々は重力波と呼ばれる新たな観測手段を手に入れた。地上にある重力波干渉計の LIGO によって、ブラックホール連星や中性子星連星からの重力波が観測されたのだ。電磁波と異なり、初期宇宙で放出された重力波は現在の我々の元に届くため、重力波の観測によって初期宇宙を観測的に解明し、初期宇宙の理論モデルを制限することが期待される。この主論文では、初期宇宙で生成され、重力波を放出すると考えられる「宇宙ひも」と「宇宙超ひも」に注目した。

初期宇宙では様々な相転移が起きたと考えられ、その際に位相欠陥の一種である宇宙ひもと呼ばれる宇宙サイズほどの長さであるひも状の高エネルギー天体の生成が予言されている。宇宙の標準的な理論モデルであるビッグバンモデルは初期宇宙において問題点があり、それを解決するインフレーション期と呼ばれる宇宙の加速膨張期が初期宇宙にあったと示唆されている。近年、初期宇宙の理論モデルの1つである超弦理論に基づいたインフレーション期の終わりには、ひも状の天体である宇宙超ひもが生成されると提唱されている。これらの宇宙ひもや宇宙超ひもは、宇宙マイクロ波背景放射の温度ゆらぎや重力レンズ効果を利用した観測によって熱心に探索されているが、未だ発見されていない。

宇宙ひもや宇宙超ひもは宇宙空間を漂い、ひも同士の衝突や組み換えを繰り返すことで複雑なネットワークを形成していく。宇宙超ひもの場合、ネットワークに三又構造の Y ジャンクションが存在する。ひも同士が組み換わる際に、キンクと呼ばれる尖った構造が作り出される。キンクは曲がったひも上を伝搬する時やキンク同士が衝突する時に重力波を放出し、それらが重なり合って背景重力波を形成することが知られている。

先行研究では、宇宙ひも上のキンクから放出される背景重力波のパワースペクトルが見積もられているが、キンクの尖り具合とその数を表すキンクの分布関数の時間発展が考慮されていなかった。そこで主論文では、まず、宇宙ひも上のキンクの分布関数の時間発展方程式を数値的に計算した。続いて、宇宙超ひもの場合のキンクの分布関数の時間発展方程式を立式した。その際、宇宙超ひもはひもの組み換わる確率が低いこと、Y ジャンクションがあることを考慮した。そして、その時間発展方程式を数値計算した結果、キンクの分布関数は、組み換え確率が低くなるにつれてキンクの生成数が増加することと、Y ジャンクションによってキンクの尖りが鈍されて尖ったキンクが減少することのバランスによって決定されることが判明した。

次に、得られたキンクの分布関数を用いて、宇宙ひも、宇宙超ひも上のキンクから放出される背景重力波のパワースペクトルを数値的に見積もった。その結果、両者のパワースペクトルは異なっていたため、重力波の観測によって宇宙ひもと宇宙超ひもを区別できる可能性があることを示した。さらに、宇宙ひも、宇宙超ひも上のキンク同士の衝突によって放出される背景重力波のパワースペクトルを立式し、数値的に計算した。その結果、宇宙超ひもの組み換え確率が 10%の時に、宇宙超ひも上のキンク同士の衝突による背景重力波が増加することが明らかになった。そして、将来運用予定の重力波観測機器を用いれば、それらの背景重力波が観測可能であることを示唆した。このようなキンクの分布関数の時間発展を考慮した宇宙超ひも上のキンク、キンク同士の衝突による背景重力波の形成の見積もりは本研究が初めてであり、本研究で確立したキンクの分布関数の時間発展を用いることで、従来の宇宙ひもや宇宙超ひもから放出される背景重力波の見積もりの精度を向上させることが可能となる。そして本研究によって、宇宙の歴史において未解明である初期宇宙の様子を観測的に解明することが大いに期待できる。