

氏名	リュウ 劉	コク 國	キン 欽
学位(専攻分野)	博士(理学)		
学位記番号	理博第2297号		
学位授与の日付	平成13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	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻		
学位論文題目	Polarization of the Cosmic Microwave Background (宇宙背景輻射の偏光)		

論文調査委員 (主査) 教授 佐藤文隆 教授 九後太一 教授 中村卓史

### 論文内容の要旨

膨張宇宙の初期では一度は再結合した原子ガスは、天体形成による紫外線放射などに加熱され再びイオン化する。宇宙背景放射はこの再電離後のプラズマによる Thomson 散乱によって温度揺らぎに偏光が伴うことになる。このため温度揺らぎの場合と同様に、偏光の観測によって、宇宙初期の銀河形成に伴う宇宙の再加熱の過程や宇宙論パラメータ、などの情報が得られると期待されている。

宇宙背景放射の偏光で宇宙の情報を引き出す時、通常は統計的相関関数の方法を使う。揺らぎが Gaussian 分布であれば、二点相関関数、またはパワースペクトルが全ての統計的情報を含んでいる。しかし、偏光を記述する物理量である Stokes パラメータは座標に依存するので、そのままでは二点相関関数の計算は困難であり、特別な工夫が必要となる。

申請論文ではこのためまず、Full-sky の二点相関関数の estimators を作り、さらに観測のビームサイズのウインドウ関数、instrumental 雑音をも考慮して、座標によらない Stokes パラメータの二点相関関数を計算することに成功した。これまで行われて来た二点相関関数の研究と比較した結果、申請論文の方法によれば、パワースペクトルを簡単に引き出せることがわかった。

Thomson 散乱によって生成される偏光は、水素原子の再結合の過程と銀河形成に伴う紫外線などによる再電離の過程に非常に敏感である。申請論文では、次に、銀河形成で再電離が起こる宇宙での宇宙背景放射の偏光を実際に計算した。銀河形成については密度成長の準解析モデルである Press-Schechter 理論を使い、銀河内部に吸収されない光子の割合、再電離物質の質量の時間進化を含めて計算し、宇宙再電離時期の歴史への依存性を詳細に分析した。偏光の度合は宇宙背景放射の揺らぎの四重極成分と電離された銀河間ガスの光学的厚みによって決まる。そこで、Boltzmann 方程式の数値計算によって宇宙背景放射の揺らぎの四重極成分を、先の現実的な銀河形成に基づいて計算された銀河間ガスの光学的厚みと組み合わせることで、観測される偏光のパワースペクトルを求めた。その結果、まず宇宙背景放射の偏光のパワースペクトルに新しいピークが生成されることが明らかになった。このピークの角度スケールを測定できれば、再電離の時期を決定できる。

さらに、申請論文では宇宙背景放射の揺らぎの四重極成分と再電離時期に電子密度揺らぎが結合して発生する二次のオーダーの揺らぎの偏光を調べた。まず N-body シミュレーションで密度揺らぎを計算し、次に、電離度の揺らぎの分布に関して、5つのモデルをつくって解析を行った。その結果、電子密度揺らぎの分布は最終的な偏光のパワースペクトルに大きく影響することが示された。逆に、偏光のパワースペクトルを観測によって求めることが出来れば、電子密度の揺らぎの情報を得ることができるのである。

### 論文審査の結果の要旨

クエーサーや銀河などの放射天体の形成に伴って起きたと考えられている宇宙再電離の起きた時期を直接的に観測することは非常に困難である。申請論文はこの時期の情報を宇宙背景放射の偏光によって間接的に得ようとする際に必要

となる計算コードの開発を行ったものである。これは一般的なものであり、今後さまざまな初期天体形成のモデルに対しても適用できるものである。申請論文で提示されている具体的計算結果を越えた有用性がある。

申請者はまず偏光量を記述する Stokes パラメターの相関関数の計算法を提示し、つぎにある天体形成モデルに対してこれの計算を行っている。その際、これまで行われて来たような、非常に単純化した宇宙の再電離の過程、例えば宇宙全体がある時期に瞬時に再電離するといったようなモデルを使わず、より現実的に徐々に放射天体が形成される場合に計算できるよう拡張した。最新の銀河形成論に基づいたより現実的な再電離の過程を用いて、宇宙背景放射の偏光のパワースペクトルを詳細に調べた。このことによって初めて、偏光観測によって宇宙再電離のなにか明らかにされるかが示された。

申請者の求めた結果のなかでも、特に偏光のパワースペクトルに現れるピークによって、再電離の時期を決定できるという主張は注目に値する。これは現在準備されている観測計画によって、近い将来に、実際に観測できる可能性があるので、高く評価できる。

また、効果としては微小なのでまだしばらくは観測することは困難ではあるが、揺らぎの2次のオーダーの効果によって生成される偏光に関しても、現実的な天体形成のモデルに基づいて計算を行った。特に、この2次のオーダーの効果では、偏光相関関数の軸対称性が壊れ、偏光のパリティの異なったモードが生成されること、またその定量的な計算を厳密な形で初めて行ったことは大変重要である。このパリティの違いを用いることで、1次オーダーとは違った宇宙再加熱の過程の情報をもたらす2次のオーダーの偏光を、分離することが可能になるからである。

申請論文は、今後に予定されている観測計画によって得られるであろう結果からどの様にし宇宙進化と宇宙モデルのパラメターに関する物理的情報を引き出せるのか、という意味で非常に意義が高い。

参考論文はいずれも膨張宇宙での揺らぎと構造形成に関する研究であり、申請論文と密接に関連するものである。

よって本論文は、博士（理学）の学位論文としての価値あるものと認める。

平成13年1月17日、主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。