

別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目

Probing the cosmic dawn and the epoch of reionization with statistical properties of the cosmological 21cm signal: one-point statistics, power spectrum and bispectrum

(宇宙論的 21cm 線シグナルの統計的性質を用いた宇宙の夜明けと再電離の探査
~1点統計、パワースペクトル、バイスペクトル~)

氏 名 島袋 隼士

論 文 内 容 の 要 旨

宇宙の始まりから現在に至るまでの過程を明らかにすることは、現代天文学の重要な課題の一つである。近年の大規模計算機や観測装置の発展に伴い、我々の宇宙進化に対する理解も深まってきた。その一方で、未だに観測が届いていない宇宙の時期も存在するため、さらなる観測技術の発展と観測データを物理的に解釈するための理論構築が求められる。宇宙の晴れ上がり以降、宇宙にはほぼ中性水素しか存在しない宇宙暗黒時代と呼ばれる時代が続いた。暗黒時代は初期星や初期銀河の誕生によって終わりを告げ、宇宙は夜明けを迎える。さらに、これらの天体から放射される紫外線光子によって中性水素は電離し、宇宙再電離期が始まる。宇宙暗黒時代から宇宙再電離の時期には未だに観測が届いておらず、これらの時期の物理的状态や進化の仕方については詳しく分かっていない。申請者は、宇宙の夜明けから宇宙再電離期に至る過程での銀河間ガスの状態を探るために、中性水素の超微細構造由来の電磁波である 21cm 線電波の統計的性質についての研究を行った。

申請者はまず、21cm 線シグナルのパワースペクトルに対する時間発展を求めることにより、宇宙の夜明けや宇宙再電離期で重要になる要因を調べ、これらの時期ではスピン温度が効いていることを確認した。そこでスピン温度の分布関数に注目して、その分散と歪度を調べた。その結果、宇宙の夜明け以降で重要な時期の一つとなる銀河間ガスの X 線加熱期の始まる時期では歪度が符号を変え、これが X 線加熱期を探る指標となることを示した。また、実際の観測量である輝度温度の歪度についても、スピン温度の歪度と同じ振る舞いをすることを確認した。さらに、輝度温度の歪度の観測可能性についても論じ、次世代大型電波望遠鏡 SKA で $S/N \sim O(1)$ となることを示した。

次に申請者は、X 線加熱等の天体物理学的過程により輝度温度の分布が非ガウス性を持つことに注目して、非ガウス性を探るのに有用な高次統計量であるバイスペクトルを 21cm 線シグナルに適用し、その性質を調べた。その結果、21cm 線シグナルのパワースペクトルとは異なり、バイスペクトルが大スケールと小スケールで相関を持つこと、また、バイスペクトルの波数依存性を見れば、21cm 線シグナルの要因となる密度揺らぎ成分、中性水素揺らぎ成分、スピン温度成分が分離でき

ることを示した。

また、最後に 21cm 線シグナルのバイスペクトルを用いたフィッシャー解析を行い、現在までに観測を開始している観測装置 (MWA, LOFAR)を用いた場合、再電離モデルのパラメータに対してどれくらいの制限を得られるのかを調べた。さらにパワースペクトルを用いたフィッシャー解析との比較を行った。その結果、バイスペクトルを用いた場合には基準となるモデルパラメータに対しておおむね 1%程度の誤差でパラメータ決定が行えることが示され、これはパワースペクトルと比較して 1-2 桁程度厳しい制限となることが示された。

申請者は、以上の理論的研究から 21cm 線シグナルの歪度が X 線加熱期を探る指標となることを示唆し、将来の観測で測定可能であることを示した。また、21cm 線シグナルのバイスペクトルを用いることで異なるスケールの相関を調べることができ、さらにバイスペクトルの波数依存性によって 21cm 線シグナルを決定する各要因を明らかにできることを示した。さらに、バイスペクトルは再電離モデルのパラメータに敏感な依存性を持つことを示し、この性質を用いれば再電離モデルの区別も行える可能性を示した。