

別紙 4

報告番号	※	甲	第	号
------	---	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Theoretical studies for probing the Universe with cosmological 21cm surveys
"from dark ages up to the present time"

宇宙論的 21cm 線観測による宇宙論モデル検証のための理論的研究
～暗黒時代から現在に至るまで～

氏 名 竹内 良貴

論 文 内 容 の 要 旨

近年、大型電波干渉計を用いて銀河間物質を観測し、宇宙の再イオン化時期、および天体が形成される前の暗黒時代と呼ばれる時期の宇宙を探ろうという計画が多数予定されている。主な観測対象は銀河間物質中に含まれる中性水素原子であり、用いられる放射の波長からそのスペクトル線は 21cm 線と呼ばれている。そして、宇宙論的な 21cm 線の観測では、他の観測とはまた違った宇宙の一面を探る事ができることから、さらに精密な宇宙論モデルの検証を可能にすると期待されている。

この 21cm 線は中性水素原子の超微細構造に起因するスペクトル線であり、その波長は遷移エネルギー対応している。その遷移確率は極めて小さく、実験室で観測する可能性がほとんどない禁制遷移である。しかし、宇宙空間にはこの小さな遷移確率を補うほど数多くの水素原子が存在するため、電波望遠鏡を用いて観測することができる。天文学においては非常に強力な観測手段の一つであり、古くから近傍の銀河の観測等に用いられてきた。

本論文では、来たる銀河間物質の大型電波望遠鏡による観測計画を念頭に置き、宇宙論モデルの更なる理解をめざし、その応用を考えた。さらには、将来の観測から期待される宇宙論パラメータの決定精度を理論と数値計算を併用して議論することを目的とし、近傍と遠方の異なる二つの時期における宇宙の観測に焦点を当てて議論を行った。

まず、宇宙を構成する物質の割合は、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) による宇宙の晴れ上がり直後の観測から詳細に得られている。一方で、現在の宇宙における銀河や銀河団等の輝いている天体の観測を通して推定されるバリオン物質の量は CMB から得られる値よりも小さいという矛盾があり、「ミッシングバリオン問題」と呼ばれている。その多くは

銀河間物質中に含まれる明るく光り輝けない物質に起因すると考えられている。ここでは、宇宙に特に多く存在するバリオン物質である中性水素と同位体ヘリウム3の超微細構造線に注目した。そして、特に物質が密に存在しているであろう銀河間空間中のフィラメント構造からのシグナルを推定し、観測による検出可能性を議論した。

次に、より精密な宇宙論モデルの理解を目的として初期等曲率揺らぎが宇宙の構造形成に与える影響を高赤方偏移の宇宙に存在する低質量ハローからの 21cm 線を通して検証した。これらのハローは低温のために星形成を引き起こすことができず、そのため水素原子もイオン化されないまま密に存在していると考えられる。もし、暗黒物質とバリオン物質の作る等曲率揺らぎの違いを観測から区別することが可能であれば、物質の生成機構の観点においても重要であり初期宇宙における物理過程のさらなる理解にも繋がる。本論文では、このようなハローからの 21cm 線のシグナルに初期等曲率揺らぎが与える影響を調べると同時に、将来観測から期待される制限を評価した。

以上の解析から、将来の大型電波望遠鏡を用いた観測では銀河物質中のフィラメント構造に付随した中性水素の 21cm 線のみならず、同位体ヘリウム3の超微細構造線の検出も期待できることが示された。これらの結果を用いると、近傍の銀河間に存在するバリオン物質の分布を探ることができ、ミッシングバリオン問題の解明に繋がると考えられる。また、高赤方偏移ハローからの 21cm 線を通して、初期等曲率揺らぎが宇宙の構造形成に与える影響を見積もり、特に短波長成分の大きな等曲率揺らぎは、ハローの形成過程に特徴的な影響を与えることを示した。また、CMB によるこれまでの初期等曲率揺らぎに対する制限は、21cm 線の将来観測によって大きく改善されることを示した。