

論文審査の結果の要旨

氏名 市川 和秀

本論文は、全部で6章からなり、第1章は序、第2章が標準宇宙論に関する基礎事項の簡潔なレビュー、第3章は宇宙マイクロ波背景放射の現象論の記述、第4章で宇宙マイクロ波背景放射を用いたニュートリノ質量の制限に関する過去の研究の紹介がなされる。第5章が本論文の主要部であり、宇宙マイクロ波背景放射だけを用いた統計解析の結果とそれによりニュートリノ質量の上限値が得られる物理的理由を議論している。結論は第6章にまとめられ、その後で、本論文で用いた統計解析の方法の有効性と他の方法との比較、宇宙論的摂動論の要約がそれぞれ付録A、付録Bとしてまとめられている。

ニュートリノの質量の絶対値に対する実験的制限は、トリチウムのベータ崩壊実験のスペクトルの端点を調べることで求められる。しかし、この方法では1 eV以下の上限値を得ることは難しい。そのため宇宙論的データを用いてより厳しい制限をつけることが盛んに行われている。実際、大きなニュートリノ質量がある場合には、密度ゆらぎのスペクトルの形を大きく変形させることが知られている。物質の全質量密度の値が小さい宇宙においてはこの影響は特に顕著となり、銀河団の存在量から得た小スケールのゆらぎの情報を宇宙背景放射(CMB)から観測される大スケールでのゆらぎと比較する方法や、銀河のパワースペクトルの形から小スケールのゆらぎを知る方法によって3世代の合計で数eV程度という上限が得られてきた。

この他にもニュートリノ質量はCMBの温度ゆらぎに対しては中間的なスケールで特徴的な影響を与える。WMAP(Wilkinson Microwave Anisotropy Probe)によるCMB観測のデータを用いたニュートリノ質量への制限は、2dFGRS(2dF Galaxy Redshift Survey)の銀河分布データと合わせることによっては0.7 eV以下、SDSS(Sloan Digital Sky Survey)の銀河データと組み合わせた結果は1.7 eV以下(いずれも3世代合計)という上限値を与えている。しかし、宇宙論データをいくつか組み合わせて扱うときには、解析結果がどの観測のどのような特徴によって現れたのか、どんな仮定が効いているのかといったことが不明瞭になるという問題がある。よって、CMB(WMAP)データだけでどれだけの制限が与えられるのかを調べるのは非常に重要である。しかしながら、CMBだけを用いた場合には、従来あまり強い制限が得られない(具体的には、ダークマター

が100%ニュートリノでも許される)とされていた。一方、銀河データを用いる場合には、そのバイアスや非線形効果といった不定性が常につきまとうのに対して、CMBのデータはそのような不定性が混入する余地はほとんどなく、CMBのデータだけでどこまでニュートリノ質量が制限できるかを調べることは重要である。

このような背景と動機の下、本論文では宇宙背景放射のデータのみを用いた、ニュートリノ質量の上限値を再度詳細に計算した。宇宙項を含むCDMモデルにおいて、初期ゆらぎのスペクトルが断熱的でスケールに対して巾則に従うという標準的な枠組みだけを仮定し、宇宙背景放射以外の宇宙論的・天体物理的データは使用していない。

平坦な宇宙を仮定すると、現在のWMAPの観測データによる3世代のニュートリノ質量の和の上限が95%の信頼度で2.0 eVであるという結果を得た。これは各世代のニュートリノ質量が同じだとすると、ある世代のニュートリノの質量の上限は0.66 eVであることを意味する。また、この制限が平坦性の仮定を外してもほとんど変わらないことを示した。さらに、上記の制限の値はニュートリノが再結合(宇宙の晴れ上がり)の時にちょうど非相対論的になり輻射から物質として振る舞うようになる質量に対応していることを見出した。もしニュートリノ質量がこの制限より大きければ、再結合前にゆらぎを消して重力ポテンシャルを減少させることになる。これはアコースティック振動の強制振動を増加させることになり、最終散乱面に大きな痕跡を残すはずである。WMAPはアコースティック振動を2番目のピークまで正確に観測したため、そのようなシグナルは否定され、上限がついたわけである。本論文はパラメータ空間を精密に調べつくす統計方法を用いて従来の結果を覆し、CMBのみによってニュートリノ質量に対して強い制限がつけられることを初めて明確に示したという意味で重要なものである。

なお、本論文の一部は、指導教官である川崎雅裕、及び福来正孝との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析・議論を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって博士(理学)を授与できると認める。