

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 29 日現在

機関番号：23501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2013～2016

課題番号：25400264

研究課題名（和文）宇宙論的観測によるニュートリノ総質量の決定及び質量階層性問題の解決

研究課題名（英文）Determining neutrino masses and hierarchy from future cosmological observations

研究代表者

平野 耕一（Hirano, Koichi）

都留文科大学・文学部・准教授

研究者番号：00558140

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、進行中または将来の宇宙論的観測によりニュートリノの総質量がどの程度制限されるかを見積もることにより、ニュートリノの質量の決定に寄与することである。素粒子標準模型ではニュートリノの質量は0とされているが、ニュートリノ振動実験等によりニュートリノは有限の質量を持つことが報告されている。ニュートリノの質量の決定は、素粒子標準模型を超える物理への手がかりとなるため、極めて重要である。本研究では、Planck衛星による宇宙背景放射のBモードと、将来の広視野銀河サーベイであるEuclidの物質密度揺らぎの成長率の模擬データの組み合わせから得られる、ニュートリノの総質量の制限の精度を求めた。

研究成果の概要（英文）：Constraints on neutrino masses are estimated based on future observations of the cosmic microwave background (CMB), which includes the B-mode polarization produced by CMB lensing from the Planck satellite, and the growth rate of cosmic structure from the Euclid redshift survey by using the Markov-Chain Monte-Carlo (MCMC) method. The error in the bound on the total neutrino mass is estimated to be 0.075 eV with a 68% confidence level. By using the growth rate rather than the galaxy power spectrum, accurate constraints are obtained, since the growth rate is less influenced by the uncertainty regarding galaxy bias than by the galaxy power spectrum.

研究分野：宇宙物理学

キーワード：宇宙論 ニュートリノ 宇宙背景放射 物質密度揺らぎ 構造形成 素粒子論

1. 研究開始当初の背景

(1) 現在の素粒子標準模型では,ニュートリノの質量は0と仮定されているが,ニュートリノ振動実験より,ニュートリノは有限の質量を持つことが報告されている.また,最近の地上実験や宇宙論的観測等から,ニュートリノが質量を持つことを支持する結果が蓄積されつつある.ニュートリノが質量を持つということは,素粒子標準模型の限界への示唆であり,ニュートリノの質量を決定することは,素粒子標準模型を超える物理に迫る手がかりとなり得るため,極めて重要である.

(2)ニュートリノ質量の2乗差の値は実験より精度良く測られているが,ニュートリノの質量固有値の総和の絶対値と階層性構造はまだ分かっていない.ニュートリノの総質量について,これまで様々な実験や観測により,上限が求められてきた.

(3) ニュートリノの総質量決定の手段として近年注目されている宇宙論的観測は,有質量ニュートリノがあった場合の重力による影響を直接受けるため,宇宙に有質量ニュートリノが存在すると仮定した場合の理論予測と比較をすることにより,ニュートリノの総質量への厳しい制限を与えることができる.宇宙論的観測は現在,ニュートリノの質量固有値の総和の絶対値を最も厳しく制限する手段となっている.

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は,進行中あるいは将来の宇宙論的観測によりニュートリノの総質量がどの程度制限されるかを見積もることにより,近い将来のニュートリノの質量の決定に寄与することである.

(2)そのために本研究では,Planck 衛星による宇宙背景放射のBモードと,将来の広視野銀河サーベイである Euclid の物質密度揺らぎの成長率の模擬データの組み合わせから得られる,ニュートリノの総質量の制限の精度を求める.

3. 研究の方法

(1) 有質量ニュートリノを持つ宇宙モデルの予言と,宇宙背景放射のBモードと物質密度揺らぎの成長率の模擬データとを比較することにより行う.

(2) 宇宙モデルとしては,宇宙項を持つ冷たいダークマターモデル(CDMモデル)に,総ニュートリノ質量をパラメータとして加えたモデルを用いた.

(3) 観測データとしては,Planck 衛星による宇宙背景放射のBモードと,将来の広視野銀河サーベイである Euclid の物質密度揺らぎの成長率を採用した.観測を特徴づける量

の値より,模擬観測データを作成した.

(4) 宇宙モデルと(模擬)観測データの比較には,最尤度法を用いた.また,モデルパラメータを効率良くサーチするために,マルコフ・チェーン・モンテカル口法を用いた.

(5) パラメータの見積もりの精度は,観測の設計から分かるが,将来観測の中心値は前もって知ることができない.よって本研究では,ニュートリノ質量の値そのものではなく,将来観測によるニュートリノ質量の制限の精度を見積もることを主眼としている.

4. 研究成果

(1) 求めたニュートリノ質量の制限の精度を図を用いて示す.

(2) 図1は,ニュートリノ総質量 m と相対論的ニュートリノの有効自由度 N の,模擬観測データと合致する領域を示したものである.青線の内部が Planck 衛星による宇宙背景放射の B モードのみを用いた場合の領域,赤線の内部が,Planck 衛星による宇宙背景放射の B モードと Euclid の物質密度揺らぎの成長率の模擬データの組み合わせから得られる領域である.同一の色の線が2本ずつあるのは,それぞれ内側から1 (68%の信頼度),2 (95%の信頼度)を表す.観測の中心値はそれぞれ, $m = 0.06$ eV, $N = 3.046$ と仮定している.

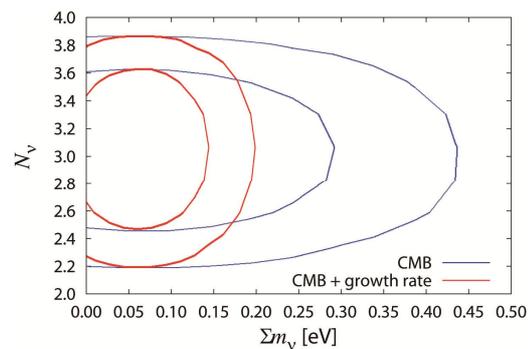


図1: ニュートリノ総質量 m と相対論的ニュートリノの有効自由度 N の,模擬観測データと合致する領域

(3) 図2は,ニュートリノ総質量 m と物質の密度パラメータ mh^2 の,模擬観測データと合致する領域を示したものである.観測の中心値はそれぞれ, $m = 0.06$ eV, $mh^2 = 0.1426$ と仮定している.図2では,Planck 衛星による宇宙背景放射のBモードと Euclid の物質密度揺らぎの成長率の模擬データを組み合わせることにより,ニュートリノ総質量と物質の密度パラメータの縮退が解けていることが見てとれる.これは Euclid の物質密度揺らぎの成長率のデータにより,物質の密度パラメータの値が厳しく

制限されるためである .

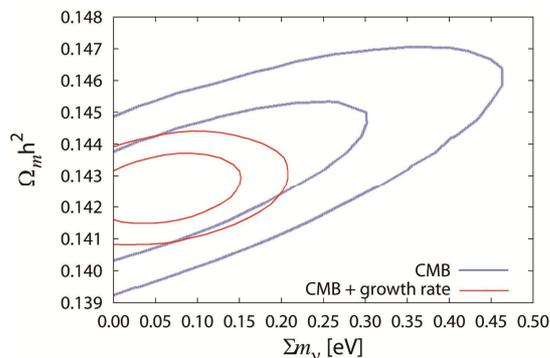


図 2: ニュートリノ総質量 m と物質の密度パラメータ $\Omega_m h^2$ の, 模擬観測データと合致する領域

(4) ニュートリノ総質量の制限の精度(中心値から 1 の幅)は, 以下の様に求められた .

Planck 衛星による宇宙背景放射の B モードのみによる場合

$$m = 0.20 \text{ eV} \quad (68\% \text{の信頼度})$$

Planck 衛星による宇宙背景放射の B モードと Euclid の物質密度揺らぎの成長率の組み合わせによる場合

$$m = 0.075 \text{ eV} \quad (68\% \text{の信頼度})$$

(5) ニュートリノ質量の階層性が逆階層の場合, ニュートリノ総質量の下限が 0.1 eV 程度となることが知られている . よって本研究の結果より, 観測の中心値によっては逆階層が棄却される可能性があることが分かった .

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

Koichi Hirano,

Cosmological tests of modified gravity with future observations of growth rate of matter density perturbations, Proceedings of 12th International Conference on Low Energy Antiproton Physics (JPS Conference Proceedings), Refereed, 印刷中, 2017

Koichi Hirano,

Observational tests of Galileon gravity with growth rate, General Relativity and Gravitation, Refereed, Vol. 48, No. 10, 2016, pp.1-12, DOI: 10.1007/s10714-016-2129-z

Koichi Hirano,

Neutrino masses from CMB B-mode polarization and cosmic growth rate, International Journal of Modern Physi

cs A, Refereed, Vol. 30, No. 1, 2015, pp.1-9,

DOI: 10.1142/S0217751X15500013

Koichi Hirano,

Constraints on neutrino masses from future cosmological observations, Proceedings of the 12th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (AIP Conference Proceedings), Refereed, Vol.1594, 2014, pp.35-40, DOI: 10.1063/1.4874041

[学会発表](計7件)

平野 耕一,

Distinguishing modified gravity from Λ CDM with cosmic growth rate, 松江素粒子物理学研究会, 2016年3月25日, 島根大学(島根県・松江市)

Koichi Hirano,

Cosmological tests of modified gravity with future observations of growth rate of matter density perturbations, 12th International Conference on Low Energy Antiproton Physics, 2016年3月7日, Kanazawa-Kagekiza(石川県・金沢市)

平野 耕一,

物質密度揺らぎの成長率の将来観測による CDM モデルと修正重力理論との判別の可能性, 日本天文学会 2015 年春季年会, 2015 年 3 月 19 日, 大阪大学 豊中キャンパス(大阪府・豊中市)

平野 耕一,

物質密度揺らぎの成長率の将来観測による CDM モデルと修正重力理論との判別の可能性, 日本物理学会 2014 年秋季大会, 2014 年 9 月 20 日, 佐賀大学(佐賀県・佐賀市)

平野 耕一,

Determination of neutrino masses from future observations of CMB B-mode polarization and the growth of structure, 第 26 回理論懇シンポジウム, 2013 年 12 月 25 日, 東京大学 柏キャンパス(千葉県・柏市)

HIRANO, Koichi,

Constraints on neutrino masses from future cosmological observations, The 12th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies, 2013 年 11 月 20 日, EPOCHAL TSUKUBA(茨城県・つくば)

市)

平野 耕一，
Planck 衛星 B モードと BigBOSS 銀河サーベイによるニュートリノ総質量の制限の精度
日本物理学会 2013 年秋季大会，2013 年 9 月 21 日，高知大学（高知県・高知市）

〔図書〕(計 1 件)

Nicholas Campion, Abdessamad Abada, Salah Nasri, Paraskevi C. Divari, Luca Lusanna, Ruggero Stanga, Valeriy I. Sbitnev, Marco Fedi, Koichi Hirano, Weiguang Cui, Youcai Zhang, Brian Albert Robson, E.A. Mena-Barboza, L.F. Escamilla-Herrera, J.C. López-Domínguez, J. Torres-Arenas, Chun-Hung Chen, Hing-Tong Cho, and Alan S. Cornell
InTech, Trends in Modern Cosmology, 2017, pp.115-136

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

平野 耕一 (HIRANO, Koichi)
都留文科大学・文学部・准教授
研究者番号：00558140