

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2017

課題番号：26610062

研究課題名(和文) 宇宙論における新しい観測手段の確立

研究課題名(英文) New observational tools in cosmology

研究代表者

山口 昌英 (YAMAGUCHI, Masahide)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：80383511

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：インフレーションにより作られる原始重力波により生成された温度ゆらぎがトムソン散乱により減衰され、スペクトルの歪み(化学ポテンシャル)を生成することを示しました。また、宇宙背景放射の揺らぎは小スケールではdiffusion dampingにより減衰しますが、そこに貯えられていたエネルギーが熱として開放され宇宙を加熱します。この現象の非等方性を用いることにより、小スケールを伴う原始密度揺らぎの非ガウス性に制限を与えました。さらに、この過程は揺らぎの二次以上の効果であり、モード・モード結合を取り入れても超ハッブルスケールで保存するような曲率揺らぎを導入し、音響再加熱について調べました。

研究成果の概要(英文)：We proposed a new mechanism of generating the distortion in cosmic microwave background (CMB) originated from primordial gravitational waves. Such distortion is generated by the damping of the temperature anisotropies through the Thomson scattering, even on scales larger than that of Silk damping. We gave new constraints on small-scale non-Gaussianity of primordial curvature perturbations by the use of anisotropies in acoustic reheating, where the inhomogeneities below the diffusion scale are erased due to Silk damping so that the universe is heated by the conversion of the dissipated energy of photon. We also introduced second order conserved quantities on superhorizon scales (under adequate conditions) even in the presence of the gradient terms by employing the full second order cosmological perturbation theory.

研究分野：宇宙論

キーワード：宇宙背景放射

1. 研究開始当初の背景

宇宙背景放射(CMB)の非等方性の理論と観測の発展等により、ここ数十年で宇宙論は大発展を遂げました。CMBの物理は基本的に線形理論で済むため、大規模構造形成等とは異なって非線形の困難やバイアスの問題がなく、初期宇宙の情報や現在の宇宙の姿の情報を直接引き出すことが出来ます。宇宙の極初期にインフレーションがあったこと、また、それにより生成される密度揺らぎの性質が、ほぼ、断熱的でスケールによらずガウス統計にしたがうこと、さらに、宇宙の構成要素として暗黒物質、暗黒エネルギーと呼ばれる未知の物質が存在すること、また、それらの存在量を確定させるという大成功を収めました。

しかしながら、インフレーションの存在を最終的に決定づける証拠とされるテンソル揺らぎ(原始重力波)はまだ見つかっておらず、また、密度揺らぎの究極的な起源となった場(物質)の正体も同定されておられません。さらに、インフレーションの前の究極の宇宙誕生の秘密、暗黒物質、暗黒エネルギーの正体についてはほとんど手がかりのない状態です。

2. 研究の目的

温度揺らぎについてはPLANCK衛星でほぼ究極的にまで観測され、偏光ゆらぎについても次の衛星でほぼ打ち止めになることから、CMBの非等方性に代わる新たな観測手法の確立が、宇宙論の次の本質的な発展のためには欠かせません。例えば、PLANCK衛星の温度揺らぎの結果により密度揺らぎの大きな非ガウス性はほぼ棄却されました。最終的に発表される偏光観測の結果で、もし(原始)テンソル揺らぎが見つからなければ、初期宇宙に関する研究はほぼ手詰まりになってしまいます。確かに、WMAP衛星やPLANCK衛星の結果により、現在の宇宙の状態や密度揺らぎの性質について多くの情報が得られました。しかしながら、インフレーションを起こした場、密度揺らぎの真の起源となった場、暗黒物質、暗黒エネルギーの正体については全くと言っていいほど分かっておりません。つまり、パラメータの値は決まりましたが、その背後にある物理や正体は依然として謎のままです。

本研究の目的は、次世代の主たる観測手段になりうる候補を探すとともに、それらからどのような物理的情報を引き出すことが出来るかを明らかにすることです。具体的には、密度揺らぎ、テンソル揺らぎそれぞれについて、パワースペクトルの情報(スペクトル指数、その一連の微分)、高次相関関数の情報(バイスペクトラム、トリススペクトラム、より高次の相関関数、また、それらのスケール依存性)をどこまで引き出せるか定量的に

明らかにし、宇宙の構造の究極的な起源である場(物質)に迫ります。さらに、暗黒物質や暗黒エネルギーの性質についてもどこまで情報を引き出せるかを定量的に評価し、これらの正体を同定するという宇宙の究極的な疑問にどこまで答えられるかを明らかにすることを目的としています。

3. 研究の方法

CMBのスペクトルの歪み、特に化学ポテンシャル μ を用いて初期揺らぎ並びに暗黒物質の性質について調べます。CMBのスペクトルの歪み自身はCMBの研究が始まった頃から調べられてきたテーマですが、近年の観測手段の発展のおかげで、これまででは考えられなかったほどの精度で歪みを測ることが出来るようになってきており、観測的にはほぼ打ち止めの非等方性にとって代わる手段として再び注目され始めています。将来計画で現在の制限($\mu < 10^{-4}$)に対して約四桁改善した 10^{-8} の制限が得られ、より将来ではさらなる高精度での観測が期待されています。化学ポテンシャルは、基本的には、double Compton散乱のような光子数を変えるような反応が切れ($z < 10^6$)、一方、Compton散乱等によって依然として運動学的には平衡になれる($z > 10^5$)とき、つまり、 z が大体 10^5 から 10^6 の間のみ生成されます。この時期にsilk dampingのようなエネルギー散逸の効果があると化学ポテンシャルが生成されます。

本研究では、種々の提案されているスペクトル歪みを起こす可能性に対して、それぞれの歪みの大きさを見積もります。これらの評価から、どのくらいの精度で将来的にスペクトルの歪み、特に化学ポテンシャルの観測を行えば非等方性を用いた制限を越えることが出来、さらに望む精度での制限、情報を得ることが出来るのかを明らかにします。

4. 研究成果

従来考えられていた宇宙背景放射のスペクトルの歪みを生成する機構とは全く異なる新しい機構を提唱しました。インフレーションにより作られる原始揺らぎとして、密度揺らぎの他に原始重力波(テンソル揺らぎ)があります。この原始重力波により生成された温度ゆらぎがトムソン散乱により減衰され、スペクトルの歪み(化学ポテンシャル)を生成します。この機構は、従来考えられてきた原始密度揺らぎによる生成機構、つまり、密度揺らぎがシルク減衰機構により減衰しスペクトルの歪みを生成する機構、とは大きく異なります。この新たな生成機構により、小スケールでの重力波の振幅に制限をつけることが可能になることを示しました。

具体的には、もし、スケール不変な原始重力波が存在すると仮定した場合には、現在の

PLANCK 衛星からの制限を考慮すると密度揺らぎから作られるスペクトルの歪みよりも小さいスペクトルの歪みしか作られないことが分かりましたが、小スケールでより大きな振幅を持つ原始重力波に対しては強い制限をつけることが出来ることが分かりました。

音響再加熱と呼ばれる現象に着目しました。宇宙背景放射の揺らぎは小スケールでは diffusion damping により減衰しますが、そこに貯えられていたエネルギーが熱として開放され宇宙を加熱します。この現象の非等方性を用いることにより、小スケールを伴う原始密度揺らぎの非ガウス性に制限を与えました。具体的には、音響再加熱の非等方性は原始密度揺らぎの高次の効果として現れるため、作られる温度揺らぎも二次の効果となります。従って、この効果により作られる温度揺らぎは原始密度揺らぎの高次相関関数の情報を含みます。

また、この温度揺らぎの大きさが種々の衛星で実際に観測された温度揺らぎの大きさを越えてはならない、という条件から原始密度揺らぎの非ガウス性に制限を与えることを見出し、実際に制限を加えました。

宇宙背景放射の揺らぎは、小スケールでは diffusion damping により減衰し、そこに貯えられていたエネルギーが開放される結果、音響再加熱と呼ばれる現象が起きます。この現象を、再結合近くのトムソン散乱が重要になる時期において調べました。音響再加熱は揺らぎの二次以上の効果であるため、モード・モード結合が重要になりえます。このような場合でも、散乱やや非断熱非等方圧力がない場合に、超ハップルスケールで保存するような曲率揺らぎを導入し、音響再加熱について調べました。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

Atsuhisa Ota, Tomo Takahashi, Hiroyuki Tashiro, Masahide Yamaguchi,
“CMB mu distortion from primordial gravitational waves”,
JCAP 10 (2014) 029、査読有、
DOI:10.1088/1475-7516/2014/10/029

Atsushi Naruko, Atsuhisa Ota, Masahide Yamaguchi,
“Probing small-scale non-Gaussianity from anisotropies in acoustic reheating”,
JCAP 05 (2015) 049、査読有、
DOI: 10.1088/1475-7516/2015/05/049

Atsuhisa Ota, Masahide Yamaguchi,
“Secondary isocurvature perturbations from acoustic reheating”,
JCAP、印刷中、査読有

[学会発表](計3件)

Masahide Yamaguchi, Atsushi Naruko, Atsuhisa Ota:
Probing Small-Scale Non-Gaussianity from Anisotropies in Acoustic reheating,
in Gordon Research Conferences: String Theory & Cosmology (Hong-Kong, Jun, 2015).

Masahide Yamaguchi, Atsushi Naruko, Atsuhisa Ota:
Probing Small-Scale Non-Gaussianity from Anisotropies in Acoustic reheating,
in International Workshop for String Theory and Cosmology (Busan, Jun, 2015).

Masahide Yamaguchi, Atsushi Naruko, Atsuhisa Ota:
Secondary isocurvature perturbations from acoustic reheating,
in The origin and evolution of the Universe (Jeju, May, 2017).

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 昌英 (YAMAGUCHI Masahide)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：80383511