

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 16 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540282

研究課題名(和文)重力波天文学にむけた強重力系、高速天体、初期宇宙からの重力波の理論的研究

研究課題名(英文) Theoretical Study of gravitational waves from strong, fast-moving object and early universe for gravitational astronomy

研究代表者

二間瀬 敏史 (FUTAMASE, TOSHIFUMI)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20209141

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円、(間接経費) 1,110,000円

研究成果の概要(和文)：重力波は宇宙を観測する最終手段でありブラックホール現状や宇宙の始まりの情報を直接引き出す唯一の方法であるが、重力波は非常に微弱で、雑音に埋もれてしまう。その検出には雑音の除去が不可欠である。雑音のうちで重要なものは重力波の伝播における宇宙の大規模構造の影響である。

本研究で非線形領域にも適用できる大規模構造の記述を開発し、電磁波や重力波の伝播における大規模構造の影響を調べた。その影響によって距離と赤方偏移関係が方向によって変化を受け、本研究によってその分散を求めた。この分散を考慮しなければ、観測結果の正しい解釈は得られないことも示された。

研究成果の概要(英文)：Gravitational wave is the last method to observe the universe, and unique method to study black hole phenomena and the beginning of the universe. However its signal is extremely weak and is hidden by various noises. Thus it is essential to get rid of noises for the detection of gravitational waves. Main source of the noise is the effect of large scale structure of the universe on the propagation of the gravitational waves.

In this study I have developed a new method to describe large scale structure which is valid in nonlinear region and studied the effect of large scale structure on the distance redshift relation. We have obtained the dispersion of the magnitude-redshift and showed the correct interpretation is not obtained without taking into account of the dispersion.

研究分野：数物系化学

科研費の分科・細目：物理学 原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：重力波 宇宙の大規模構造 運動方程式

## 1. 研究開始当初の背景

現在、日本を含めて世界の何箇所かで第二世代の重力波望遠鏡の建設が進行中であり、数年という時間スケールで宇宙からの重力波を直接、検出できるようになることが期待されている。重力波は他の手段では不可能なブラックホールや宇宙の始まりなどのほかの観測手段では得られない情報を直接運んでくるため、人類が利用できる最終的な宇宙の観測手段であり重力波によってまったく新しい天文学ができると考えられている。

しかし一般には重力波は極めて微弱なため、観測装置や検出器などの技術的な問題と並んで、重力波源の運動とそれによって放射される重力波の波形の関係の正確な理論予想、および伝播中の宇宙の大規模構造による変形の詳細な知識がなければ正しい重力波源の情報が得られないことが分かっている。現在、将来得られる重力波観測データから正しい重力波源の情報をいかに得るかが急務となっている。

## 2. 研究の目的

上にも述べたように重力波を用いて天文学を行うためには、観測データから重力波源の正しい情報を得ることが大前提である。しかしそれは一般に重力波が極めて微弱であるために非常に困難である。これを克服するには重力波源の運動による重力波の性質を正確に知ること、および重力波が伝播中に宇宙の大規模構造によってその波形がどのような変形を受けるかを正確に評価しなければならない。

本研究の目的は、重力波の直接観測で多く受信されると考えられている銀河中心ブラックホールの周りの星の運動などの高速度天体からの重力波の放射とそれによる運動への反作用、および重力波の伝播に対する宇宙の大規模構造中の影響を調べることである。最終的にはこれらの正確な知識と重力波の観測データから正確な重力波源の情報を引き出すことである。

## 3. 研究の方法

重力波放射に関しては、光速度に比べて十分遅い場合はすでにニュートン近似をもとにした方法が開発されており、この研究過程で点状粒子に対して内部の強い重力場を保ったまま大きさを小さくしていく極限操作を開発した。これは一般相対性理論では点状粒子はそこで曲率が発散し数学的取り扱いができなくなること、および現実には点にな

る前に有限の大きさをもったブラックホールが形成されることを考慮するためである。本研究では光速度程度の運動をしている点状粒子に対しても、この点状粒子近似を用いることで一般相対性理論での運動方程式の定式化を試みた。

重力波伝播に関しては、まず宇宙の大規模構造の非線形領域にも適用できる記述法を定式化する必要がある。本研究では乱流理論で開発された確率場をガウスの性質をもつ場とそれ以外に分けるウィーナ・エルミート法を用いることで密度揺らぎの発展を記述することを考える。この近似方にもとずいて数値シミュレーションに比較して圧倒的に短時間で現実的な宇宙の大規模構造の統計的な性質を再現し、それを用いて重力波あるいは電磁波などの宇宙空間における伝播の統計的な性質を様子を調べ、現実の観測への応用を考える。

## 4. 研究成果

高速天体の運動方程式に関しては任意の外部重力場中を運動する点状粒子に対して有限の大きさをまず考えて、次に点粒子への極限をとるという曲率が発散せず数学的に矛盾のない新たな定式を試みて現在進行中である。この研究過程でドイツ、ポツダムのアインシュタイン研究所に滞在し、シュッツ教授などとの共同研究を行っている。

宇宙の大規模構造による重力波伝播への効果に関しては、ウィーナ・エルミート法に適用して銀河団スケールのような非線形領域でも適用でき、数値シミュレーションの精度に匹敵するに解析的な記述ができた。この方法は数値シミュレーションでは数日かかる計算を10秒程度で行うことができるといった利点がある。この記述をもとに電磁波、重力波の伝播を調べ、距離と赤方偏移関係に方向による変化が存在すること、そして平均値からの分散を求めることができた。その結果、同じ赤方偏移にある重力源から出た重力波に対しても重力源の方向によって距離が違って評価されることが見出され、その平均値からの分散を非一様性の度合いをパラメータとして計算することができた。この分散を考慮しない様・当方な時空での距離と赤方偏移の関係を用いて暗黒エネルギーなどの宇宙論的に重要な量を求めると、正しい解釈ができないことが導かれる。

また宇宙論に関する執筆し朝倉書店から刊行した。さらに現在、一般相対性理論とその観測的宇宙論、重力波天文学への応用の教科書を執筆中で日本評論社から刊行予定である。

## 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 14 件)

<sup>1</sup> N.Okabe, T.Futamase, M. Kajisawa and R. Kuroshima, SUBARU WEAK-LENSING SURVEY OF DARK MATTER SUBHALOS IN THE COMA CLUSTER. *Astrophysical Journal*, 査読有、784, 2014, 90(11p)

<sup>2</sup> N. Sugiyama, T. Futamase, Relation between standard perturbation theory and regularized multi-point propagator method, *Astrophysical Journal*, 査読有、769, 2013, 106(11p)

<sup>3</sup> A Lefore, T. Futamase, M. Akhagi  
A Systematic Review of Strong Gravitational Lens Modeling Software, *New Astronomy Review*, 査読有、769, 2013, 1-13

<sup>4</sup> N. Sugiyama, E. Komatsu and T. Futamase, delta N Formalism, *Physical Review D*, 査読有、87, 2013, 23530(12p)

<sup>5</sup> K. Fujio and T. Futamase, Solution Space of Bianchi type I spacetime in loop Quantum Cosmology, *Physical Review D*, 査読有、87, 2013, 64013(10p)

<sup>6</sup> Y. Okura and T.Futamase, Elliptical Weighted HOLICs for Weak Lensing Shear Measurement, part 3, Random Count Noise Effect for Image for Image 's moments in Weak Lensing Analysis, *Astrophysical Journal*, 査読有、771, 2013, 37(1-14)

<sup>7</sup> T. Hamana, S. Miyazaki, Y.Okura, T.Okamura and T.Futamase, Toward understanding the anisotropic point spread function of Suprime-Cam and its impact on cosmic shear measurement, *Publication of Astronomical Society of Japan*, 査読有、65, 2013, 104-120

<sup>8</sup> Y. Okura and T. Futamase, Elliptical Weighted HOLICs for Weak Lensing Shear Measurement, part2, Point-spread Function Correction and Application to A370, *Astrophysical Journal*, 査読有 748, 2012, 112(10p)

<sup>9</sup> N.Uchikata, S. Yoshida and T. Futamase, New Solution of charged regular black holes and their instability, *Physical Review D*, 査読有、86, 2012, 084025(10p)

<sup>10</sup> N. Okabe, G. Smith, K. Umetsu, M. Takada and T. Futamase, LoCuSS: The Mass Density Profile of Massive Galaxy Clusters at  $z=0.2$ , *Astrophysical Journal Letter*, 査読有、769, 2013, 106(5p)

<sup>11</sup> N. Sugiyama and T.Futamase, An Application of Weiner-Hermite Expansion to Non-Linear Evolution of Dark Matter, *Astrophysical Journal*, 査読有、760, 2012, 114(14p)

<sup>12</sup> N. S. Sugiyama, E.Komatsu and T. Futamase, Non-Gaussianity Consistency Relation for Multifield Inflation, *Physical Review Letters*, 査読有、106, 2011, 255551301(6p)

<sup>13</sup> K. Fujio and T.Futamase, Behavior of Bianchi type I spacetime by Path Integral Approach in LQC, *Physical Review D*, 査読有、85, 2011, 124002(12p)

<sup>14</sup> Y. Okura and T. Futamase, Elliptical Weighted HOLICs for Weak Lensing Shear Measurement, part1, Definitions and isotropic PSF correction, *Astrophysical Journal*, 査読有 730, 2011, 9(10p)

[学会発表](計 3 件)

T. Futamase, On the Dark Matter Non-Linear Power Spectrum beyond BAO scale, 3<sup>rd</sup> GIF Meeting, 18<sup>th</sup> July. 2013, Bremen, Germany

T.Futamase, Strong-Field Point particle limit in the Equation of Motion, 524 WE-Heraeus Seminar, EOM in Relativistic Gravity, 20<sup>th</sup> Feb. 2013, Bad Honnef, Germany

<sup>3</sup> T. Futamase, Weak Lensing Study of Cluster DM main and sub halos, 11<sup>th</sup> Asian-Pacific Regional IAU Meeting, 28<sup>th</sup> July 2011, Chiang Mai, Thailand

[図書](計 4 件)

二間瀬敏史. 宇宙物理学、朝倉書店、2014、190p、

二間瀬敏史、ブラックホールに近づいたらどうなるか? さくら社、2014、230p

二間瀬敏史、日本人と宇宙、朝日新書、2013、238p

二間瀬敏史、どうして時間は「流れる」のか、PHP 新書、2012、250p

〔産業財産権〕  
出願状況（計 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 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  
[http://www.astr.tohoku.ac.jp/~tof/index\\_tof.html](http://www.astr.tohoku.ac.jp/~tof/index_tof.html)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者  
二間瀬 敏史 (FUTAMASE TOSHIFUMI )  
東北大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号：20209141

(2) 研究分担者  
( )

研究者番号：

(3) 連携研究者  
( )

研究者番号：