

## 科学研究費補助金研究成果報告書

平成 24 年 4 月 1 日現在

機関番号：11301

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006 ～ 2011

課題番号：18072001

研究課題名（和文） 重力レンズ効果による暗黒物質分布と宇宙の構造形成史の解明

研究課題名（英文） investigation on the history of structure formation in the universe and distribution of the dark matter by gravitational lensing

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

研究成果の概要（和文）：

本領域が開発するすばる望遠鏡の超広視野カメラ HSC による大規模深銀河サーベイによって得られる暗黒物質分布と銀河、銀河団形成について研究した。特に重力レンズ効果に基づいた宇宙の質量分布の解明では、従来用いられてきた弱レンズ効果の解析とは違ったより高精度の背景銀河の形状測定法を開発し、これまで検出できなかった暗黒物質分布の詳細構造を検出した。またすばる望遠鏡の観測で近傍銀河のハローの詳細観測を行い、その組成、構造を調べ、銀河形成過程への重要な知見を得た。また HSC を用いた近傍銀河古成分のサーベイ計画についても検討を行った。

研究成果の概要（英文）：

We have studied the distribution of Dark Matter and the formation history of galaxy and galaxy cluster. In particular we have developed a new method to measure the shape of background galaxies which gives more accurate measurement of lensing signal and applied real data to detect detailed distribution of Dark Matter in some clusters. We have performed deep observation using Subaru for Halo component of nearby galaxies and obtained their detailed structure and components. This give us an important suggestion for the formation of galaxy. We have examined a new possible survey project to observe on the oldest components in nearby galaxies using HSC.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 18 年度	8,300,000	0	8,300,000
平成 19 年度	16,100,000	0	16,100,000
平成 20 年度	13,500,000	0	13,500,000
平成 21 年度	12,800,000	0	12,800,000
平成 22 年度	14,200,000	0	14,200,000
平成 23 年度	13,500,000	0	13,500,000
総計	78,400,000	0	78,400,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学、天文学

キーワード：暗黒物質、重力レンズ

## 1. 研究開始当初の背景

2000年代前半に様々な観測から宇宙が加速膨張をしていること、宇宙の構成要素の約70%が暗黒エネルギー、約25%暗黒物質であることが確からしくなった。しかしこれらの素性は不明で、観測的にそれらの性質を解明しようという機運が高まっていた。そして日本をはじめアメリカ、ヨーロッパで暗黒エネルギー、暗黒物質の観測的研究を行ういくつかのプロジェクトが提案されていた。

## 2. 研究の目的

すばる望遠鏡に新たな超広視野のカメラ(HSC)を開発し、それを用いて大規模な銀河サーベイを行うことによって重力レンズ効果などを使って暗黒エネルギーの解明、暗黒物質分布の研究を行い、かつ超広視野を生かしたユニークな観測を提案する。

## 3. 研究の方法

大規模銀河サーベイによって得られた遠方銀河は途中の宇宙の大規模構造のつくる重力によって重力レンズ効果を受けその形はわずかに変形しているため、その微小な変形を測定し、多数の背景銀河に対して統計平均をとることによって変形の原因である大規模構造の質量分布とその進化についての情報を得ることができる。この方法にもとづいて暗黒エネルギー、暗黒物質の性質を研究する。また超広視野カメラHSCの性能を生かし、宇宙論的にアンドロメダ銀河などのごく近傍の大天体の詳細な構造及びその進化について研究する。

## 4. 研究成果

従来の弱い重力レンズ効果の解析手法では宇宙の大規模構造のレンズ信号を十分な高精度で受けるには不十分であることから、我々は新たな解析方法を開発した。一つは従来形状測定の際に使われている窓関数を観測した形状に自動的に合わせる方法である。また従来使われていなかった形状の高次モーメントを使い有効的にレンズ信号を取り出す方法も開発した。これらの方法を銀河団A1689, A370に適用し従来の方と比べることによって実際に従来検出できなかった暗黒物質の微細構造を検出できることを確認した。また現実的な暗黒物質のつくる大規模構造を通して遠方天体からの光について、重力レンズ効果を考慮したみかけの明るさと赤方偏移の関係を導き、将来の超新星観測で導き出される距離が最大10%程度変化

することを示した。

研究分担者のグループは、すばる望遠鏡からさらにステップアップして、ハワイ島に建設予定の30メートル望遠鏡と考案中の新しい中間赤外検出器を用い、銀河スケールにおける暗黒物質の微細構造をどのようにして検出できるか検討し、検出器の性能に対する提案を行った。また局所銀河群の外にある横向き銀河NGC55に対して、すばる望遠鏡を用いた広視野測光を行い、その古成分であるハローと厚い円盤成分を検出することに成功し、さらにハローの部分構造も検出することによって、この銀河の形成過程に制限を与えた。またHSCを用いた近傍銀河の古い恒星種族の研究のため、独自の設計に基づいた狭帯域フィルターを作成し、今後のサーベイ観測に向けて準備を行った。

## 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20件)

1. N.S.Sugiyama, E.Komatsu & T. Futamase  
Non-Gaussianity Consistency Relation for Multifield Inflation, *Physical Review Letters*, 査読有、106巻、2011年、251301-1-4
2. Y. Okura & T. Futamase  
Elliptically Weighted HOLICs for Weak lensing Shear Measurement I, *Astrophysical Journal*, 査読有、730巻、2011年、9-21
3. M. Tanaka & M. Chiba et al.  
Spectrum and Population of NGC 55 Steller Halo from Subaru/Suprime Cam Survey *Astrophysical Journal*, 査読有、2011年、150-158
4. S. Yoshida, N. Uchikata, T. Futamase  
'Quasinormal modes of Kerr-de Sitter Black holes' *Physical Review D* (査読有), 044005, 2010
5. N. Sugiyama & T. Futamase,  
'Non-Gaussianity in the inflationary scenario with nonminimally coupled inflation field', *Physical Review D* (査読有), 023504, 2010
6. N. Okabe, Y. Okura & T. Futamase  
Weak lensing Mass Measurements of Substructures in COMA Cluster with Subaru/Suprime-Cam, *Astrophysical Journal*, 713巻、2010年、査読有、291-3-3,

7. D. Carollo, Beers, T. C., Chiba, M., 他6名, Structure and Kinematics of the Stellar Halos and Thick Disks of the Milky Way Based on Calibration Stars from Sloan Digital Sky Survey DR7, *Astrophysical Journal*, 2010年、査読有、712、692--727
  8. Tanaka, M., Chiba, M., Komiyama, Y., Guhathakurta, P., Kalirai, J. S., Iye, M., Structure and Population of the Andromeda Stellar Halo from a Subaru/Suprime-Cam Survey, 2010、*アストロフィジカルジャーナル*、査読有、708、1168-1203
  9. N. Okabe, M. Takada, K. Umetsu, T. Futamase, & G.P. Smith, LoCuSS: Subaru Weak Lensing Study of 30 Galaxy Clusters, *Publication of Astronomical Society of Japan*, 査読有、721巻、2010年、811-870
  10. T. Okamura & T. Futamase, Distance-Redshift Relation in a Realistic inhomogeneous Universe, *Progress of Theoretical Physics*, 122巻、2009年、査読有、511-520
  11. Y. Okura & T. Futamase, A New method for measuring Weak Lensing Shear using Higher-order Spin-2 HOLICs, *Astrophysical Journal*, 査読有、699巻、2009年、1430149
  12. Bekki, K., Tsujimoto, T., Chiba, M., Role of Galactic Gaseous Halos in Recycling Enriched Winds from Bulges to Disks: A New Bulge-Disk Chemical Connection, *Astrophysical Journal*, 査読有、2009年、692、24-28
  13. Y. Okura, K. Umetsu, & T. Futamase, A new Measure for Weak Lensing Flexion, *Astrophysical Journal*, 査読有、660巻、2009年、995-1005
  14. Y. Okura, K. Umetsu & T. Futamase, A New method for Weak lensing Flexion Analysis by HOLICs Moment Approach, *Astrophysical Journal*, 査読有、680巻、2008年、1-16
  15. A. Matsumoto & T. Futamase, The validity of strong lensing statistics for constraints on the galaxy evolution model, *Monthly Notices of Royal astronomical Society*, 査読有、384巻、2008年、843-848
  16. Brown, T. M., Beaton, R., Chiba, M. 他14名、The Extended Star Formation History of the Andromeda Spheroid at 35 kpc on the Minor Axis, *Astrophysical Journal Letters*, 査読有、2008年、685、121-124
  17. H. Tanaka & T. Futamase, A Phantom does not result from Backreaction, *Progress of Theoretical Physics*, 査読有、117巻、2007年、183-185
  18. D. Carollo, D. et al. (including Chiba, M.) ``Two stellar components in the halo of the Milky Way'' *Nature*, 査読有、2007年、450巻、1020-1025
  19. H. Sugai, A. Kawai, A., Shimono, A., Hattori, T., Kosugi, G., Kashikawa, N., Inoue, K. T., Chiba, M. ``Integral Field Spectroscopy of the Quadruply Lensed Quasar 1RXS J1131-1231: New Light on Lens Substructures'' *Astrophysical Journal*, 査読有、2007年、660巻、1016-1022
  20. M. Takada, E. Komatsu & T. Futamase Cosmology with High-redshift Galaxy Survey: Inflation and Neutrino, *Physical review D*, 査読有、73巻、2006年、03520
- [学会発表] (計 13 件)
1. M. Chiba, Galactic Archaeology with Subaru: Prospects for Wide-Field Surveys, The 3rd Subaru International Conference ``Galactic Archaeology'', 2011年11月4日、修善寺
  2. T. Futamase, Weak Lensing study of DM subhalos in Coma clusters, International Conference on "The accelerating Universe", 2011年10月26日、パリ
  3. M. Chiba, New information from the kinematics and chemical abundances of stars in the Milky Way, International Conference on ``The Accelerating Universe'', 2011.10.24、パリ
  4. T. Futamase, Observational Cosmology using Gravitational lensing, 11<sup>th</sup> Asian-Pacific Regional Meeting, 2011年7月27日、チェンマイ
  5. T. Futamase, Weak Lensing of DM subhalos in Coma cluster, The 9<sup>th</sup> Sino-German Workshop, 2011年4月29日、杭州
  6. T. Futamase, Flexion measurement by HOLICs, From Pixels to Shear, 2011年1月27日、エジンバラ
  7. T. Futamase, Recent progress in weak lensing study, KEK Cosmophysics DE2008, 2008年12月11日 筑波
  8. T. Futamase, New Approach to Equation of Motion for a fast-moving particle. 20<sup>th</sup> KGRG, 2010年9月23日、京都
  9. 千葉 柁司、広視野撮像・分光サーベイに

基づく銀河考古学の展開、日本天文学会  
2009年秋季年会、2009年9月16日、山  
口大学

10. T. Futamase, A Method for Weak lEnsing Flexion Analysis by HOLICs, XLIII Rencontres Moriond, 2008年3月18日、La Thuile, Italy
11. 千葉 柁司、SDSSによる銀河系ハローの大局構造、日本天文学会 2007年秋季年会、2007年9月27日、岐阜大学
12. 千葉 柁司、International Conference on Spectroscopic and Photometric Landscape of Andromeda's Stellar Halo "Subaru / Suprime-Cam photometric data", 2007年9月20日、デンバー、アメリカ
13. 千葉 柁司、HyperSuprime が拓く局所宇宙の形成史、すばる S A C 研究会「Hyper Suprime-Cam が拓く天文学」、2007年5月18日、国立天文台

〔図書〕(計5件)

1. H. Asada, P. Hogan and T. Futamase, "Equation of Motion in General Relativity", Oxford University Press, 2011年, 32-54
2. 二間瀬敏史。綿村哲 「解析力学と相対論」朝倉書店、2010年 106-187
3. 二間瀬敏史、他 10名「天体物理学の基礎 1」(観山正見、野本憲一、二間瀬敏史編) 日本評論社、2009年, 178-212
4. 二間瀬敏史、他 5名 「宇宙論 I-宇宙の始まり」(佐藤勝彦、二間瀬敏史編) 日本評論社、2008, 21-37
5. 二間瀬敏史、他 9名、'宇宙論 II-宇宙の進化'(二間瀬敏史、池内了、千葉 柁司編)、61-95、日本評論社、2007

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

二間瀬 敏史 (TOSHIFUMI FUTAMASE)  
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

千葉 柁史 (CHIBA MASASHI)  
東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：50217246

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：