

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23684007

研究課題名(和文) すばるFMOSの大規模赤方偏移サーベイによるダークエネルギーの研究

研究課題名(英文) Probing Dark Energy by Subaru FMOS Galaxy Redshift Survey

研究代表者

戸谷 友則 (Totani, Tomonori)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90321588

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：すばる望遠鏡の新観測装置FMOSを用いた大規模な高赤方偏移銀河サーベイと、それによる宇宙論、特にダークエネルギーの研究をおこなった。二年間にわたる観測を成功裏に終え、数千の銀河による赤方偏移1を越える宇宙の大規模構造を世界で初めて描き出した。サーベイの概要やカタログなどに関する論文はすでに受理済みあるいは投稿中である。また、主目的である赤方偏移空間の歪みの解析から重力理論の宇宙論的スケールでの検証を行った解析もほぼまとまり、現在論文を準備中である。

研究成果の概要(英文)：We performed a large-scale galaxy redshift survey using the new FMOS instrument of Subaru Telescope, and studied dark energy which is an important problem in cosmology. We successfully completed the two-year observing campaign, and got the large scale structure 3D map beyond redshift one for the first time, by using a few thousand galaxies at $z \sim 1.5$. We are now performing analysis about redshift space distortion, to test the theory of gravitation. The analysis has mostly been completed, and papers are in press, submitted, or in preparation.

研究分野：宇宙物理学

キーワード：宇宙論 ダークエネルギー 加速膨張 銀河分光サーベイ

1. 研究開始当初の背景

WMAP 衛星に代表される精密観測により、宇宙論は精密科学の段階に入った。宇宙膨張を述べるアインシュタイン方程式にノンゼロの宇宙定数を加えたいわゆる Λ CDM 宇宙モデルは広い観測データとよく一致している。しかし、この Λ の起源は理論的に全くの謎として残されている。物理学的には、 Λ は真空のエネルギーとして解釈できるが、観測から示唆される値は量子重力理論的な考察から推測される値より 120 桁以上小さい。小さいだけでなく、長い宇宙の歴史の中でたまたま現在、 Λ が効き始める時代に我々が住んでいるという非常に fine tuning が必要となる。この宇宙項問題を、より一般化してダークエネルギー問題と呼ぶ。この問題の解決は、相対論や量子力学などに匹敵する基礎物理学理論の革命につながるのではないかとさえ言われており、まさに現代物理学および天文学上の最大の難問の一つと言えるだろう (Frieman et al. 2008, ARA&A, 46, 385)。

この問題に対する理論的仮説には大きく分けて二つの方向性がある。一つは、文字通り「ダークエネルギー」として、アインシュタイン方程式の右辺、すなわちエネルギー運動量テンソルに未知のエネルギー形態(素粒子場など)を導入するもの。もう一つは、アインシュタイン方程式の左辺、すなわち重力理論としての一般相対論に修正を加えるもので、様々な理論的可能性が議論されている。一方で、観測的にこの問題に迫るアプローチとしては、(1)宇宙の大規模構造の形成速度の精密測定、(2)宇宙の膨張史の精密測定、が挙げられる。重力理論の修正にしろ、ダークエネルギーにしろ、その性質によってこれらが影響を受けるからである。これらの観測量の Λ CDM モデルからのズレが検出されれば、ダークエネルギー問題は大きく展開するであろう。

2. 研究の目的

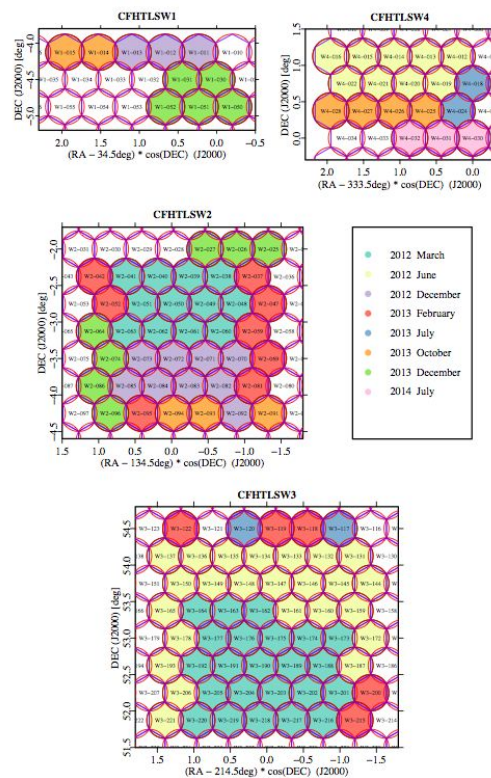
すばる望遠鏡の新観測装置 FMOS を使った遠方銀河分光サーベイを行い、赤方偏移空間歪み効果を検出することで史上最遠方での宇宙論的スケールにおける一般相対性理論の検証を行う。これにより、宇宙の加速膨張の原因がダークエネルギーなのか、重力理論の変更が迫られるのか、についての知見を得る。

サイエンスの特色としては、現在世界的に大きく注目されている宇宙論目的の高赤方偏移銀河分光サーベイの競争の中で、赤方偏移レンジ $z \sim 1.2-1.5$ というユニークな領域に初めて切り込めることが最大の特色であり、強みである。さらに、FastSound が実現すれば、日本が主導するものとしては初めての本格的な宇宙論目的の大規模赤方偏移銀河分光サーベイとなる点も注目すべきであろう。現在、さらに次世代の大規模 RSD/BAO

計画も国内外で検討されている(日本では SuMIRe 計画などが、本計画よってもたらされる経験や人材育成は、そうした次世代計画の path finder としても貴重なものになるはずである。

3. 研究の方法

FMOS は近赤外波長域のファイバー多天体分光器で、視野が直径 30 分角、ファイバー数 400 と、8m 級望遠鏡の装置としては極めてユニークである。この FMOS を用いて、約 20 平方度の領域で、約 100 億光年遠方の数千の銀河の H 輝線を検出し、銀河の三次元地図を得る。この立体地図の解析から、赤方偏移空間歪み効果が検出される。これは、宇宙の大規模構造の成長速度を表すので、これを測定し、重力の標準理論である一般相対性理論の予言と比較する。

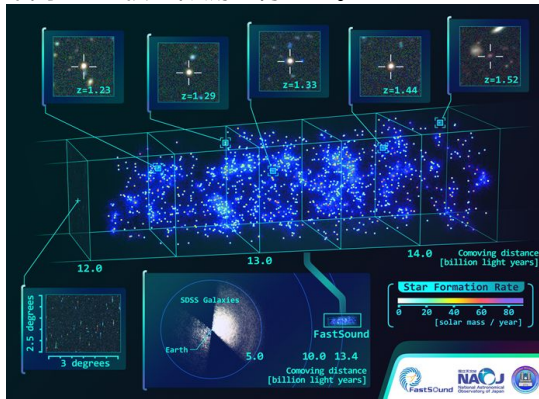


(図の説明: FastSound で観測した 4 領域の視野配置図)

4. 研究成果

このプロジェクトでは、直径 30 分角 (满月 1 つ分) という広視野で、近赤外領域で 400 天体を同時に分光できる FMOS の高い性能を活かし、約 20 平方度にわたり H 輝線で銀河をサーベイして三次元分布を描き出し、RSD を検出した。既存の可視域でのサーベイ (赤方偏移 $z < 1$) と異なり、FMOS の観測する波長領域は近赤外 (1.45-1.65 μm) であるため、銀河から放出されるもっとも強い輝線である H 輝線 (実験室で 0.6563 μm) を $z=1.2-1.6$ で効率的にとらえることができる。本計画は、すばる望遠鏡の「戦略枠プログラム」の 2 例目として、2012-2014 年の 2

年間で 40 夜の観測を行った。



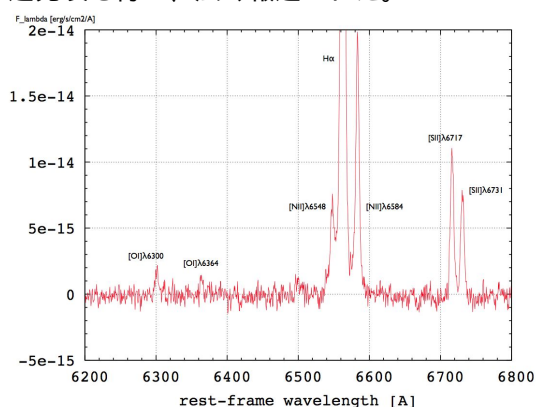
(図の説明: FastSound によって明らかにされた 100 億光年遠方宇宙の大規模構造。一つ一つの点が銀河である。)

観測領域は、カナダ・フランス・ハワイレガシィサーベイの領域で行い、4つのサブフィールドに分かれている。それぞれで、史上最遠方における宇宙の大規模構造が明確に描き出された。また、これら数千の銀河は、実際に H 輝線が 90%以上であることも、複数輝線検出天体やスタックスペクトルの詳細な研究により明らかにされた。当初の予定をほぼ満たす結果である。

(図の説明: FastSound サーベイで検出された数千の銀河の合成スペクトル。H 輝線が非常に強く検出されると同時に、ケイ素、酸素、窒素などの元素の輝線が見られる。)

この膨大なデータを解析するため、FMOS のスペクトルから自動で輝線を検出するソフトウェアも、我々のグループで独自開発した。FMOS のように近赤外域で観測されるスペクトルは地球大気の一酸化炭素輝線によって邪魔をされるのが最大の問題であるが、輝線 S/N>5 では偽検出率を低く抑えながら、効率よく自動で輝線が検出できるようになり、このソフトウェアのアルゴリズムを論文化すると同時に、FMOS ユーザへ向け広く公開した。

すでにサーベイの概要をまとめた第一論文は PASJ 誌に受理済みであり、カタログや輝線天体の基礎的な性質をまとめた第二論文、銀河の金属量から銀河進化について議論した第三論文は PASJ 誌に投稿中である。主目的である、宇宙論の検証については、チーム内で最終結果をまとめつつあり、今年度中に論文を公開する予定である。また、得られた三次元地図の画像およびムービーを作成し、ホームページで広く公開すると共に、報道発表も行い、広く報道された。



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4件)
(以下、全て査読あり)

1. FIELD: Automated emission line detection software for Subaru/FMOS near-infrared spectroscopy
Tonegawa, Motonari; Totani, Tomonori; Iwamuro, Fumihide; Akiyama, Masayuki; Dalton, Gavin; Glazebrook, Karl; Ohta, Kouji; Okada, Hiroyuki; Yabe, Kiyoto
PASJ in press (2015)

2. The Subaru FMOS Galaxy Redshift Survey (FastSound). I. Overview of the Survey Targeting on H alpha Emitters at $z \sim 1.4$
Tonegawa, Motonari; Totani, Tomonori; Okada, Hiroyuki; Akiyama, Masayuki; Dalton, Gavin; Glazebrook, Karl; Iwamuro, Fumihide; Maihara, Toshinori; Ohta, Kouji; Shimizu, Ikkoh; Takato, Naruhisa; Tamura, Naoyuki; Yabe, Kiyoto; Bunker, Andrew J.; Coupon, Jean; Ferreira, Pedro G.; Frenk, Carlos S.; Goto, Tomotsugu; Hikage, Chiaki; Ishikawa, Takashi; Matsubara, Takahiko; More, Surhud; Okumura, Teppei; Percival, Will J.; Spitler, Lee R.; Szapudi, Istvan
PASJ in press (2015)

3. A study of selection methods for H α -emitting galaxies at $z \sim 1.3$ for the Subaru/FMOS galaxy redshift survey for cosmology (FastSound)
Tonegawa, Motonari; Totani, Tomonori; Akiyama, Masayuki; Dalton, Gavin; Glazebrook, Karl; Iwamuro, Fumihide; Sumiyoshi, Masanao; Tamura, Naoyuki; Yabe, Kiyoto; Coupon, Jean; Goto, Tomotsugu; Spitler, Lee R.
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 66, Issue 2, id.43 (2014)

4. On the systematic errors of cosmological-scale gravity tests using redshift-space distortion: non-linear effects and the halo bias
Ishikawa, Takashi; Totani, Tomonori; Nishimichi, Takahiro; Takahashi, Ryuichi; Yoshida, Naoki; Tonegawa, Motonari
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 443, Issue 4, p.3359-3367 (2014)

〔学会発表〕(計 4 件)

1. FastSound: A Galaxy Redshift Survey for Cosmology at $z \sim 1.3$ using Subaru/FMOS
Tomonori Totani

Invited talk given at “TAO / AIUC Joint Workshop for Optical/IR Astronomy at Cerro Chajnantor”, Nov. 19, 2014, Santiago, Chile

2. FastSound: Probing the Origin of Cosmic Acceleration by Galaxy Clustering at $z \sim 1.3$ with Subaru/FMOS

Tomonori Totani

Invited talk given at 12th Asia-Pacific Regional IAU Meeting, Aug. 18-22, 2014, Daejeong, Korea

3. FastSound: Testing modified gravity by redshift-space distortion beyond $z=1$
Tomonori Totani

An invited talk given at the conference “Return of de Sitter II” at MPA, Munich, Germany, 2013 Oct. 16

4. FastSound: Testing Gravity by Redshift Space Distortion using Subaru/FMOS
Tomonori Totani

talk given at 26th Texas Symposium on Relativistic Astrophysics Sao Paulo, Brazil, December 15 - 20, 2012

〔図書〕(計 件)

〔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:

出願年月日:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/Fastsound/>

ound/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

戸谷 友則 (TOTANI, Tomonori)

東京大学大学院理学系研究科 教授

研究者番号: 90321588

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: