

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：H19～H22

課題番号：19740099

研究課題名(和文) 宇宙のダークサイドの多角的な探求

研究課題名(英文) Diverse Studies on the Dark Side of the Universe

研究代表者

戸谷 友則 (とたに とも のり)

京都大学 理学研究科 准教授

研究者番号：90321588

研究成果の概要(和文)：宇宙のダークサイドである三つの問題、ダークエネルギー、ダークマター、ダークエイジに関して、研究を進めた。ダークエネルギーに関しては、すばる望遠鏡新観測装置FMOSによる銀河分光サーベイのデザイン研究を進め、実現一步手前までこぎ着けている。ダークマターに関連しては、宇宙ガンマ線背景放射の起源についての研究を進め、特に、活動銀河中心核や星形成銀河の寄与を精密に見積もり、ダークマター探査の基盤を築いた。ダークエイジに関しては、ガンマ線バーストによる高赤方偏移宇宙の観測を続けるとともに、ライマン α 輝線銀河の光度関数の理論モデルを構築することで宇宙再電離に対する新たな示唆を得た。

研究成果の概要(英文)：We studied in the three topics about the dark side of the universe: dark energy, dark matter, and dark age. For dark energy, the design study of galaxy redshift survey using new FMOS instrument of Subaru Telescope has been performed, and the project is close to the realization. For dark matter, we studied about the cosmic gamma-ray background radiation, especially about the contribution from active galactic nuclei and star-forming galaxies. This will become the basis for searching dark matter signal. For the dark age, we continued observational studies of high-redshift universe by gamma-ray bursts, and also we constructed a new model of Lyman alpha emitters, by which we obtained new implications for cosmic reionization.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19年度	900000	0	900000
20年度	800000	240000	1040000
21年度	600000	180000	780000
22年度	600000	180000	780000
年度			
総計	2900000	600000	3500000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：ダークエネルギー、ダークマター、ダークエイジ

1. 研究開始当初の背景

現在の最新宇宙論における重要問題はいくつかあるが、その最大のもの「宇宙のダークサイド(暗黒面)」という言葉で以下の三

つにまとめることができるだろう。すなわち、(1)宇宙を加速膨張させる「ダークエネルギー」、(2)宇宙の重力を支配する「ダークマター(暗黒物質)」、そして(3)宇宙の晴れ上がりから最初の天体形成と宇宙再電離

をつなぐ「ダークエイジ（暗黒時代）」である。これらの問題の解決のため、様々なアプローチで世界中で研究が行われている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、様々な最新観測計画に連携した理論的研究を通じてこれらの重要問題に関するサイエンスをさらに推し進め、宇宙論で残されたフロンティアであるダークサイドの解明に貢献することである。以下、三つそれぞれについて具体的な目的をあげる。

(1) ダークエネルギー：すばるFMOSによるバリオン振動探査 (FastSound 計画)

近年の精密宇宙論観測の結果、宇宙のエネルギー密度は、宇宙膨張を加速させる謎の「ダークエネルギー」が支配的（70%）であることが判明した。このダークエネルギーを解明することは、基礎物理学法則をすらすら書き換える可能性があり、現代物理学上の最大の謎と言っても過言ではない。大規模銀河分光サーベイによるバリオン振動測定は、宇宙物理的な系統誤差が少ない標準長さ指標を与え、宇宙膨張の精密測定を通してダークエネルギー解明への有力なアプローチとして世界的に期待されている。すばるの新観測装置として平成19年にもファーストライトを迎えようとしているFMOSは、直径30分角の領域で一度に400天体もの近赤外スペクトルが取得できるという大変ユニークな装置である。日英豪のFMOSチームを中心に、このFMOSを用いたバリオン振動探査計画が現在検討されている (FastSound 計画)。本研究では、日英豪の研究者と協力し、この計画の実現へ向けてさらに検討を進める。

(2) ダークマター：GLAST衛星とダークマターからの対消滅ガンマ線宇宙の重力を支配するダークマターは、何十年も前から天文学・宇宙論・素粒子物理学の最大の謎でありながら、いまだ解決を見ていない。ダークマターの最有力候補は、超対称性粒子ニュートラリーノである。(素粒子論から予言された粒子が、宇宙論に適用されると自然にダークマター程度の残存密度を予言するため。) ニュートラリーノは対消滅してガンマ線や高エネルギー粒子を生成することが予言され、銀河系中心などの高密度領域からそうした兆候をとらえることができれば、ダークマター問題の解決につながる可能性がある。特に、理論的に予想されている対消滅断面積のパラメータ領域は、来年にも打ち上げが予想されているガンマ線観測衛星GLASTで検出可能な領域を含むので、数年以内

にこの長年の問題が解決されても不思議ではない状況になっている。本研究では、GLASTの打ち上げを踏まえ、GLASTの日本チームと連携を密にしながら、対消滅ガンマ線の検出可能性のより詳細な理論的検討を進め、GLASTが無事打ちあがった場合はデータ解析への参加も視野に入れ、ダークマターの謎の解明に挑む。

(3) ダークエイジ：ガンマ線バーストで探る初代天体形成と宇宙再電離ガンマ線バースト (GRB) は、大質量星の最期の重力崩壊の際に強力なガンマ線が放射される現象で、極めて明るいため、超高赤方偏移の宇宙を探索するプローブとして期待されている。申請者は、GRBのフラックス分布に初めて宇宙の星形成史という概念を導入し、GRBを用いて銀河進化や初期宇宙をさぐるという可能性を世界で初めて指摘した (Totani 1997, *ApJ*, 486, L71)。その後、すばる望遠鏡によるGRB追観測チーム (すばるGRBチーム) に参加し、チームの理論担当として、高エネルギー宇宙物理および宇宙論の知識・経験をもとに積極的に貢献してきた。特に、昨年9月のGRB 050904については、すばる望遠鏡が世界で唯一の可視スペクトルを取得し、GRBの赤方偏移の最高記録となる $z=6.3$ を確定する上で決定的な役割を果たした (Kawai et al. 2006, *Nature*, 440, 184)。このバーストから得られた示唆として特に重要なものに、宇宙の再電離に関するものが挙げられる。引き続きすばるGRBチームとして、すばるで得られる最新データを解析し、理論的考察を加えて論文をまとめる立場としての活動を継続し、GRBを用いてダークエイジと初代天体形成の謎にさらに迫ることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) ダークエネルギー

FastSound 計画の鍵となる、撮像サーベイデータからの分光ターゲット銀河の選択法について検討を進める。とくに、すばるディープフィールド (SDF) やすばるXMMニュートンディープフィールド (SXDF) のデータは、その深さ・広さにおいて世界的にユニークでこの目的に適したデータであり、日本のコミュニティを通じてすでに提供を受けている。まずはこのサンプルから、いくつかのカラーによる選択で、FastSound 計画のターゲットとなる $z\sim 1$ 程度の星形成銀河を効率よく選べるかどうかのテストを行う。

(2) ダークマター

宇宙ガンマ線背景放射にニュートラリーノ

成分が存在するかどうかを観測的に調べるには、もう一つの背景放射の主要成分であるブレーザーの寄与との区別が重要になる。申請者は学生との論文、Narumoto & Totani (2006, ApJ, 643, 81)でブレーザーによる背景放射への寄与の最新のモデルを構築しており、このモデルの精密化・深化を目指すと共に、もう一つの宇宙物理学的ソースである星形成銀河の寄与も見積もる。

(3) ダークエイジ

すばるGRBチームによるGRB残光探索を通じた初期宇宙の探求であり、基本的に現在の路線の継続・発展である。GRBは突発天体であり、その残光探索もGRBの発見の頻度や、観測時の望遠鏡の状態(どの装置がついているかなど)、天候などに大きく左右され、厳密な計画はたてにくい。しかし、我々はすでにGRB 050904において明確な実績を残しており、申請者は引き続き、興味深いデータが取得された場合は迅速に対応して解析と理論的考察を加えて、論文としてまとめていく役割を担っていく予定である。現在、数日に一度の頻度でGRBを検出しているSwift衛星は、少なくとも今後4年は活動を続ける予定であり、本研究で申請する研究期間の間は継続的にすばるGRBチームの活動が続くと考えられる。

4. 研究成果

(1) ダークエネルギー

FastSound計画は、当初予定していたBAO検出はFMOSの性能、必要夜数的に厳しいことが判明したものの、より少ない夜数でダークエネルギーや重力理論に制限がつけられる、redshift space distortion (RSD)を主眼としたサーベイにデザインしなおし、すばる望遠鏡戦略枠提案として提案した。その際、本研究で進めた銀河選択法の基礎研究が大きく役にたった。現在、仮採択され、本採択に向けてさらに準備研究を進めている。

(2) ダークマター

ブレーザーと呼ばれる活動銀河中心核からの宇宙ガンマ線背景放射への寄与について、さらに精密なモデルを提唱し(Inoue & Totani 2009)、直後に発表されたフェルミ(旧名GLAST)衛星のデータと良く一致していたため、世界的に大きな注目を浴びた。また、星形成銀河の寄与を、精密に見積もって論文にまとめた(Makiya et al. 2010)。これらの成果によって、宇宙ガンマ線背景放射については我々のグループが最もアクティブに活躍している状態で、国際会議でも何度か招待講演の依頼を受けた。

(3) ダークエイジ

GRB 080913は、当時最遠方であったGRB 050904を上回る $z=6.7$ のガンマ線バーストであった。私は欧州の望遠鏡で取得されたこのバーストの可視残光の解析を依頼され、ライマン α 減衰翼の定量解析を行った。それにより得られた再電離への示唆について、論文執筆に貢献し、欧州主体のチームの中で存在感を発揮することができた。

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)

1. Contribution from Star-forming Galaxies to the Cosmic Gamma-ray Background Radiation

Makiya, Ryu; Totani, Tomonori; Kobayashi, Masakazu A. R.

The Astrophysical Journal, Volume 728, Issue 2, article id. 158 (2011) (査読有り)

2. Luminosity Distribution of Gamma-ray Burst Host Galaxies at Redshift $z = 1$ in Cosmological Smoothed Particle Hydrodynamic Simulations: Implications for the Metallicity Dependence of GRBs

Niino, Yuu; Choi, Jun-Hwan; Kobayashi, Masakazu A. R.; Nagamine, Kentaro; Totani, Tomonori; Zhang, Bing

The Astrophysical Journal, Volume 726, Issue 2, article id. 88 (2011) (査読有り)

3. Size Evolution of Early-Type Galaxies and Massive Compact Objects as Dark Matter

Totani, Tomonori
Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 62, L1--L4 (2010) (査読有り)

4. Lyman Alpha Emitters in Hierarchical Galaxy Formation II. UV Continuum Luminosity Function and Equivalent Width Distribution

Kobayashi, Masakazu A. R.; Totani, Tomonori; Nagashima, Masahiro

The Astrophysical Journal, Volume 708, 1119-1134 (2010). (査読有り)

5. The Blazar Sequence and the Cosmic Gamma-Ray Background Radiation in the Fermi Era

Inoue, Yoshiyuki; Totani, Tomonori

The Astrophysical Journal, 702, 523-536

(2009) (査読有り)

6. GRB 080913 at Redshift 6.7
Greiner, J.; Krühler, T.; Fynbo, J. P. U.;
Rossi, A.; Schwarz, R.; Klose, S.;
Savaglio, S.; Tanvir, N. R.; McBreen, S.;
Totani, T.; and 37 coauthors
The Astrophysical Journal, 693, 1610-1620
(2009) (査読有り)

7. Delay Time Distribution Measurement of
Type Ia Supernovae by the
Subaru/XMM-Newton Deep Survey and
Implications for the Progenitor
Totani, T.; Morokuma, T.; Oda, T.; Doi, M.;
Yasuda, N.
Pub. Astron. Soc. Jpn., 60, 1327-1346
(2009) (査読有り)

8. The Cosmic MeV Gamma-Ray Background and
Hard X-Ray Spectra of Active Galactic
Nuclei: Implications for the Origin of Hot
AGN Coronae
Inoue, Yoshiyuki; Totani, Tomonori; Ueda,
Yoshihiro
The Astrophysical Journal, Volume 672,
L5-L8. (2008) (査読有り)

9. Dark matter annihilation or unresolved
astrophysical sources? Anisotropy probe
of the origin of the cosmic gamma-ray
background
Ando, Shin'Ichiro; Komatsu, Eiichiro;
Narumoto, Takuro; Totani, Tomonori
Physical Review D, vol. 75, 063519-1 to
063519-17 (2007) (査読有り)

10. Ly α Emitters in Hierarchical Galaxy
Formation
Kobayashi, Masakazu A. R.; Totani,
Tomonori; Nagashima, Masahiro
Astrophys. J. 670, 919-927 (2007) (査読
有り)

[雑誌論文] (計 24 件)

[学会発表] (計 12 件)

[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

戸谷 友則 (TOTANI, Tomonori)
京都大学大学院理学研究科・准教授
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：