

平成22年5月31日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19740139

研究課題名（和文） ガンマ線バーストに於けるハドロン加速及び高エネルギー放射

研究課題名（英文）

Acceleration of Hadron and Their High-Energy Emission in Gamma-Ray Bursts

研究代表者

長瀧 重博 (NAGATAKI SHIGEHIRO)

京都大学 基礎物理学研究所 准教授

研究者番号：60359643

研究成果の概要（和文）：ガンマ線バーストからの高エネルギーガンマ線、高エネルギーニュートリノについての研究を行いました。特に、ガンマ線バーストから発せられる TeV エネルギースケールの高エネルギーガンマ線を汎用コード GEANT4 を用いて世界で最も定量的に正しく評価致しました。結果として、私の研究成果は、高エネルギーニュートリノ検出器 IceCube グループにてガンマ線バースト高エネルギー背景ニュートリノのテンプレートとして採用されており、近い将来の検出が期待されています。

研究成果の概要（英文）：Emission of High-Energy Gamma-rays and Neutrinos from Gamma-Ray Bursts are investigated with the support of this program. Especially, I could evaluate the emissivity of TeV gamma-rays from Gamma-Ray Bursts with a help of the toolkit GEANT4, which enables me to estimate the emissivity correctly. Thanks to this program, my study has been the most reliable one in the world. The result of my research is now used as an template of high-energy GRB neutrino background by IceCube team, and the GRB neutrinos are being expected to be detected in the near future.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2007年度 | 1,000,000 | 300,000 | 1,300,000 |
| 2008年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 2009年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 2,800,000 | 840,000 | 3,640,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：ガンマ線バースト、超新星爆発、中性子星、元素合成、核反応、一般相対論

1. 研究開始当初の背景

私は国内に於いてガンマ線バーストからの高エネルギーニュートリノに関する研究を先駆的に始め、ガンマ線バースト背景ニュー

トリノを世界で最も定量的に評価し (Murase and Nagataki PRD 2006)、又最新のガンマ線バースト衛星 Swift により報告された巨大 X 線フレアには高エネルギーニ

ニュートリノフレアーが付随しているであろうという理論的予言をしました (Murase and Nagataki PRL 2006)。また申請者は最高エネルギー宇宙線についての理論的研究を行った経験を持っていました (e.g. Yoshiguchi, Nagataki, Tsubaki, Sato ApJ 2003)。

2. 研究の目的

そのような背景のもと、本プログラムではガンマ線バーストからの最高エネルギー宇宙線と高エネルギーニュートリノの関連についての研究を考えました。更にはガンマ線バーストからの高エネルギーガンマ線についての研究も行い、ガンマ線バーストに付随する高エネルギー現象を包括的に理解したいと考えました。

3. 研究の方法

私は GEANT4 を拡張し、高エネルギーガンマ線のカスケードプロセスを追えるようにしました。加速されたハドロンがガンマ線バースト環境での相互作用により生成するパイオン、及びパイオンのカスケードによるガンマ線、更にカスケードガンマ線が 3K 宇宙背景放射と相互作用をして生成する電子陽電子対の定量的評価では、ターゲットが光子となっておりまして、既存の数値計算コード GEANT4 には入っていないプロセスとなっていました。そこで私はターゲットに光子気体を置けるようにし、量子電磁気学に基づく厳密な光子-光子対消滅微分断面積を用いて電子陽電子生成を評価し、更にその後の電磁カスケードを GEANT4 によって解けるようにしたのです。

4. 研究成果

そのような研究方法を用いて、私はガンマ線バーストからの高エネルギーガンマ線、高エネルギーニュートリノについての研究を行いました。特に、ガンマ線バーストから発せられる TeV エネルギースケールの高エネルギーガンマ線が、宇宙空間を満たしている宇宙背景マイクロ波、宇宙背景赤外線と相互作用を起こし、電子陽電子対が生成されることに着目し、その 2 次的電子陽電子が宇宙背景マイクロ波を逆コンプトン散乱することにより生成される delayed gamma-rays を汎用コード GIANT 4 を用いて世界で最も定量的に正しく評価致しました。又、ガンマ線バーストが高エネルギーハドロンを生成するために必要な、相対論的ガンマ線バーストジェットの形成についても考察を行い、数値計算によって確認を致しました。更に、ガンマ線バーストに於ける最高エネルギーハドロン宇宙線加速の可能性、及びその 2 次粒子としての高エネルギーガンマ線、高エネルギーニュー

トリノの観測可能性を議論し、ガンマ線バーストがこれら高エネルギー天文学の重要なターゲットとなりうることを明確に示しました。またそのようなガンマ線バーストの残骸は、我々銀河系にも存在しているのではないかということ、最近の電波観測と TeV ガンマ線による残骸サーベイによって検証しました。

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 15 件)

- ① K. Murase, K. Toma, R. Yamazaki, S. Nagataki, K. Ioka, High-energy emission as a test of the prior emission model for gamma-ray burst afterglows, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 査読有、402 巻、2010、L54–L58
- ② S. Nagataki, Development of General Relativistic Magnetohydrodynamic Code and its Application to Central Engine of Long Gamma-Ray Bursts, The Astrophysical Journal, 査読有、704 巻、2009、937–950
- ③ K. Kotera, D. Allard, K. Murase, J. Aoi, Y. Dubois, T. Pierog, and S. Nagataki, Propagation of Ultra-High energy Nuclei in Cluster of Galaxies: Resulting Composition and Secondary Emission, The Astrophysical Journal, 査読有、707 巻、2009、370–386
- ④ K. Murase, B. Zhang, K. Takahashi, S. Nagataki, Possible Effects of Pair Echos on Gamma-Ray Burst Afterglow Emission, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 査読有、396 巻、2009、1825–1832
- ⑤ H. Takami, K. Murase, S. Nagataki, K. Sato, Cosmogenic Neutrinos as a Probe of the Transition from Galactic to Extragalactic Cosmic Rays, Astroparticle Physics, 査読有、31 巻、2009、201–211
- ⑥ Y. Fukui, S. Nagataki, A peculiar jet and arc of molecular gas toward the rich and young stellar cluster Westerlund 2 and a TeV gamma ray source, Publication of Astronomical Society of Japan, 査読有、61 巻、2009、L23–L27
- ⑦ Y. Mizuno, B. Zhang, B. Giacomazzo, K. Nishikawa, P. E. Hardee, S. Nagataki, Magnetohydrodynamic Effects in Propagating Relativistic Jets:

- Reverse Shock and Magnetic Acceleration、The Astrophysical Journal Letters、査読有、690 巻、2009、47-51
- ⑧ K. Tanabe, S. Nagataki、Extended monopole solution of the Blandford-Znajek mechanism: Higher order terms for a Kerr parameter、Physical Review D、査読有、78 巻、2008、024004
- ⑨ K. Murase, K. Ioka, S. Nagataki, T. Nakamura、High-energy cosmic-ray nuclei from high- and low-luminosity gamma-ray bursts and implications for multimessenger astronomy、Physical Review D、査読有、78 巻、2008、023005
- ⑩ K. Murase, K. Takahashi, S. Inoue, K. Ichiki, S. Nagataki、Probing Intergalactic Magnetic Fields in the GLAST Era through Pair Echo Emission from TeV Blazars、The Astrophysical Journal Letters、査読有、686 巻、2008、67-70
- ⑪ K. Takahashi, K. Murase, K. Ichiki, S. Inoue, S. Nagataki、High-energy cosmic-ray nuclei from high- and low-luminosity gamma-ray bursts and implications for multimessenger astronomy、The Astrophysical Journal Letters、査読有、687 巻、2008、5-8
- ⑫ K. Murase, S. Inoue, S. Nagataki、Cosmic Rays above the Second Knee from Clusters of Galaxies and Associated High-Energy Neutrino Emission、The Astrophysical Journal Letters、査読有、689 巻、2008、105-108
- ⑬ Okita, T., Nagataki, S., Kojima, Y.、Nonrelativistic and Relativistic Treatments for Propagation of Torsional Resonant Alfvén Waves Strongly Magnetized Neutron Stars、Progress of Theoretical Physics、査読有、119 巻、2008、39-58
- ⑭ Nagataki, S., Takahashi, R., Mizuta, A., Takiwaki, T.、Numerical Study of Gamma-Ray Burst Jet Formation in Collapsars、The Astrophysical Journal、査読有、659 巻、2007、512-529
- ⑮ Murase, K., Asano, K., Nagataki, S.、Effects of the Cosmic Infrared Background on Delayed High-Energy Emission from Gamma-Ray Bursts、The Astrophysical Journal、査読有、671 巻、2007、1886-1895
- ① S. Nagataki、GRB-SN Connection: Central Engine of Long GRBs and Explosive Nucleosynthesis, Galileo - Xu Guangqi meeting, 2009 年 10 月 28 日, Shanghai, China
- ② S. Nagataki、GRB-SN Connection: Central Engine of Long GRBs and Explosive Nucleosynthesis, "The Shocking Universe" Gamma-Ray Bursts and High Energy Shock phenomena, 2009 年 9 月 16 日, Venice, Italy
- ③ S. Nagataki、Ultra-High Energy Cosmic Rays and Cosmogenic Neutrinos, APCTP Focus Program on Recent Developments in Neutrino Physics and Astroparticle Physics, 2009 年 6 月 25 日, Pohang, Korea
- ④ S. Nagataki、Toward Understanding of GRB-Supernova Connection by General Relativistic MHD Simulation, APCTP Focus Program on Recent Developments in Neutrino Physics and Astroparticle Physics, 2009 年 6 月 24 日, Pohang, Korea
- ⑤ S. Nagataki、High-Energy Neutrino Astronomy and Gamma-Ray Bursts, APCTP Focus Program on Recent Developments in Neutrino Physics and Astroparticle Physics, 2009 年 6 月 23 日, Pohang, Korea
- ⑥ S. Nagataki、Toward Understanding of GRB-Supernova Connection by General Relativistic MHD Simulation, 4th International Sakharov Conference on Physics, 2009 年 5 月 23 日, Moscow, Russia
- ⑦ S. Nagataki、A Key to Understand Supernova-GRB Connection: Explosive Nucleosynthesis, KIAA Program on GRB Physics, 2009 年 5 月 21 日, Beijing, China
- ⑧ S. Nagataki、Toward Understanding of GRB-Supernova Connection by General Relativistic MHD Simulation, KIAA Program on GRB Physics, 2009 年 5 月 20 日, Beijing, China
- ⑨ S. Nagataki、High-Energy Neutrino Astronomy and Gamma-Ray Bursts, KIAA Program on GRB Physics, 2009 年 5 月 18 日, Beijing, China
- ⑩ 長瀧重博、ロングガンマ線バーストの中心エンジン、特定領域「ガンマ線バースト」シンポジウム、2008 年 12 月 15 日, 東京, 日本
- ⑪ S. Nagataki、Relativistic Jets from Massive Stars: Supernovae and Gamma-Ray Bursts Connection,

Astrophysical Jet Workshop by the JSPS Global-COE program "Quest for Fundamental Principles in the Universe", 2008年11月14日, Nagoya, Japan

- ⑫ 長瀧重博, ある理論屋の視点：宇宙線天文学, 第38回天文天体物理若手夏の学校宇宙線分科会, 2008年7月29日, つくば, 日本
- ⑬ S. Nagataki, Numerical Simulations of the Central Engine for Long Gamma-Ray Bursts, 37th COSPAR Scientific Assembly, 2008年7月16日, Montreal, Canada
- ⑭ S. Nagataki, High Energy Neutrino Astronomy, International School of Cosmic Ray Astrophysics 16th Course, 2008年7月7日, Erice, Italy
- ⑮ S. Nagataki, Numerical Study on the Central Engine of Long GRB, YongPyong 2008 Astrophysics, 2008年2月26日, YongPyong, Korea

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長瀧 重博 (NAGATAKI SHIGEHIRO)
京都大学・基礎物理学研究所・准教授
研究者番号：60359643

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：