

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 14 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21340062

研究課題名（和文）高感度全天ガンマ線サーベイで探る宇宙線のエネルギー・空間分布

研究課題名（英文）Study of cosmic-ray energy and spatial distribution by observing Galactic diffuse gamma-ray emission

研究代表者

水野 恒史 (Mizuno Tsunefumi)

広島大学・宇宙科学センター・准教授

研究者番号：20403579

研究成果の概要（和文）：

銀河宇宙線のエネルギー分布と空間分布を明らかにするべく、最新のフェルミ衛星を用いたガンマ線データの解析を 2009 年度から 3 年間に渡り精力的に進めた。その結果 [1] 太陽系近傍の宇宙線スペクトルが、地球上で測られた物に近いことを観測的に明らかにした一方で [2] 太陽系付近の数 100pc 以内で宇宙線強度が 20%程度ばらつくことと [3] 銀河系の外側の領域で、宇宙線強度が従来の予想に反してあまり弱くならないことを見出した。これらの成果のうち、[1][3]は執筆責任者として論文を出版し、[2]も投稿済みである。関連する研究も加えると計 17 編の論文をフェルミチームメンバとして出版した。また多数の国内外の学会で継続的に成果発表を行った。

研究成果の概要（英文）：

In order to investigate the energy and spatial distribution of Galactic cosmic-rays (CRs), we extensively analyzed Galactic diffuse gamma-ray emission. The outcome can be summarized by the following three discoveries: [1] The energy spectrum of Galactic CRs are close to those directly measured at the Earth [2] On the other hand, the CR density differ by ~20% in a few 100 pc scale in the vicinity of the solar system [3] and the CR density distribution in the outer Galaxy is flatter than expectations based on a conventional model.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2010 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
年度			
総計	7,000,000	2,100,000	9,100,000

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：宇宙線, ガンマ線天文学, 星間物質

1. 研究開始当初の背景
宇宙空間から地球に降り注ぐ光速に近い荷

電粒子を宇宙線と総称する。宇宙線は宇宙物理学の主要な研究対象であり、実際地球

近傍では組成やエネルギースペクトルが直接観測により詳細に調べられてきた。しかし太陽系の外や他の銀河における情報は乏しかった。宇宙線は星間物質と反応して広がったガンマ線を作るため、この銀河面ガンマ線放射の観測から宇宙線(特に陽子)のエネルギー・空間分布に迫ることが原理的には可能だが、従来の検出器では視野や観測エネルギー域が狭いため、詳細な議論ができなかった。2008年6月に打ち上げられたフェルミ衛星は、100 MeV から 100 GeV ないしはそれ以上という広いエネルギー範囲で全天を走査することができる画期的なガンマ線衛星であり、この状況を一辺させると期待されていた。

2. 研究の目的

フェルミ衛星を用いた宇宙線研究は大別して、加速の起源(天体)およびメカニズムの特定と、宇宙線の分布の研究に分けられる。本研究では特に後者を目的とし、星間ガスと銀河宇宙線の反応で生じた広がったガンマ線の観測を通じて、銀河宇宙線のエネルギー分布と空間分布を精度よく観測的に求めることを目指す。合わせて、近傍銀河における広がったガンマ線の観測を通じ、宇宙線強度の銀河間の比較も行う。

3. 研究の方法

本研究でとる手法を要約すると、「電波・赤外観測などで既知の星間物質をターゲットとし、宇宙線との反応で発生したガンマ線をフェルミ衛星で精度良く測定して、宇宙線(特に陽子)のエネルギー・空間分布を導き出す」というものである。星間物質の主成分である中性水素原子の分布は21cmの輝線で、分子は水素について量の多いCOからの輝線(2.6mm)によってトレースできる。これらの星間ガスについては、輝線を用いていることから銀河回転を用いて視線方向の重なりを分離することが可能であり、宇宙線の空間分布にまで迫ることができる。加えてこれら伝統的なトレーサーでは検出することのできない状態にあるガスをダストの分布から推測し、ガンマ線との相関を調べることで、銀河宇宙線スペクトルと空間分布を導出した。

4. 研究成果

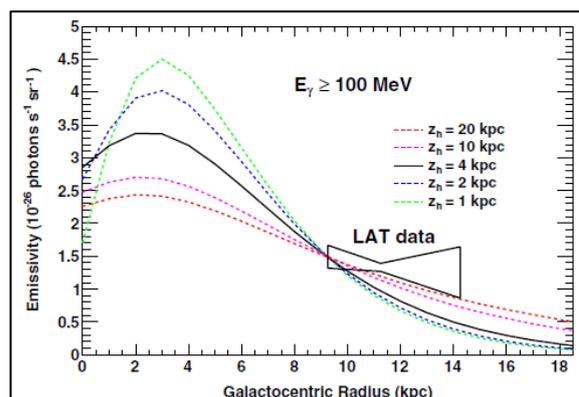
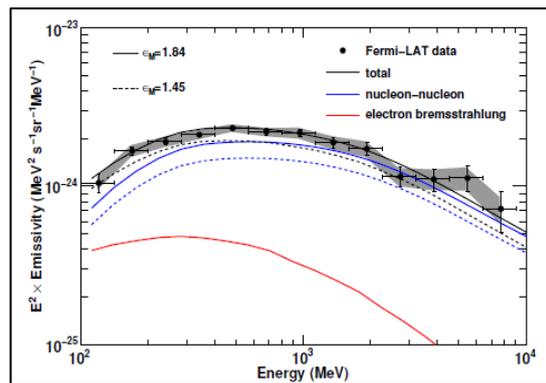
海千山千の国際協力からなるフェルミチームの中にあっても研究代表者は主体的な役割を果たし、大学院生の指導も行いつつ研究を進めた。成果は以下に大別される。

(1) 太陽系近傍の宇宙線スペクトルが地球上で直接測られた物に近いことを、観測的に明らかにした(論文[17])

(2) 一方で太陽系付近の数100pc以内の領域宇宙線強度が20%程度ばらつくことを見出し、「宇宙線源は時間的空間的に連続して分布し、作られた宇宙線が一様に拡散する」という従来の単純化した描像では不十分であることを明らかにした

(3) また銀河系の外側の領域で宇宙線の強度が、予想に反してあまり強くないことを見出し、従来の標準的な宇宙線源・拡散モデルに見直しを迫った(論文[6])

これらの成果のうち、(1)(3)は執筆責任者として論文として出版し(論文[6][17])、(2)も投稿済みである。関連する研究も加えると17編の論文をチームメンバーとして出版した。また代表者本人や直接指導した大学院生が国内外の学会で継続的に成果発表を行った。これまで日本では広がったガンマ線の観測的研究はほとんど下地がなかったにも関わらず、科学研究費補助金のサポートを十分に活用することで、このように世界をリードしつつ優れた成果を上げることができた。



(上図)論文[17]により得られた太陽系近傍の広がったガンマ線スペクトル。地球上で測られた宇宙線スペクトルからの予想を実線で示す。両者は20%程度で一致することが分かった

(下図)論文[6]により得られた銀河系の外側での宇宙線強度分布. 標準的なモデルの予想を黒の実線で示す. 宇宙線強度が予想よりも強いことが分かった.

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 18 件)

[1] Ackermann, M., Mizuno, T. et al. “Fermi-LAT Observations of the Diffuse γ -Ray Emission: Implications for Cosmic Rays and the Interstellar Medium,” *ApJ* (査読有) 750 (2012) 3 (1-35)

[2] Ackermann, M., Mizuno, T. et al. “The cosmic-ray and gas content of the Cygnus region as measured in gamma-rays by the Fermi Large Area Telescope,” *A&A* (査読有) 538 (2012) A71 (1-15)

[3] Ackermann, M., Mizuno, T. et al. “Measurement of Separate Cosmic-Ray Electron and Positron Spectra with the Fermi Large Area Telescope,” *PRL* (査読有) 108 (2012) 011103 (1-7)

[4] Ackermann, M., Mizuno, T. et al. “Anisotropies in the diffuse gamma-ray background measured by the Fermi-LAT,” *PRD* accepted (査読有) (2012)

[5] Ackermann, M., Mizuno, T. et al. “A cocoon of freshly accelerated cosmic rays detected by Fermi in the Cygnus superbubble,” *Science* (査読有) 334 (2011) 1103-1107

[6] Ackermann, M., Mizuno, T. et al. “Constraints on the Cosmic-Ray Density Gradient beyond the Solar Circle from Fermi gamma-ray Observations of the Third Galactic Quadrant,” *ApJ* (査読有) 726 (2011) 81 (1-15)

[7] T. Mizuno et al., “Monte Carlo simulation study of in-orbit background for the soft gamma-ray detector onboard ASTRO-H,” *Proc. SPIE* (査読無) 7732 (2010) 773239 (1-7)

[8] Abdo, A. A., Mizuno, T. et al. “Detection of the Small Magellanic Cloud in gamma-rays with Fermi/LAT,” *A&A* (査読有) 523 (2010) A46 (1-14)

[9] Abdo, A. A., Mizuno, T. et al. “Fermi Large Area Telescope observations of Local Group galaxies: Detection of M31 and search for M33,” *A&A* (査読有) 523 (2010) L2 (1-7)

[10] Ackermann, M., Mizuno, T. et al. “Fermi LAT observations of cosmic ray electrons from 7 GeV to 1 TeV,” *PRD* (査読有) 82 (2010) 092004 (1-2-)

[11] Ackermann, M., Mizuno, T. et al. “Searches for Cosmic-Ray Electron Anisotropies with the Fermi Large Area Telescope,” *PRD* (査読有) 82 (2010) 092003 (1-15)

[12] Abdo, A. A., Mizuno, T. et al. “Observations of the Large Magellanic Cloud with Fermi,” *A&A* (査読有) 512 (2010) A7 (1-15)

[13] Abdo A. A., Mizuno, T. et al. “Spectrum of the isotropic diffuse gamma-ray emission derived from first-year Fermi Large Area Telescope data,” *PRL* (査読有) 104 (2010) 101101 (1-7)

[14] Abdo, A. A., Mizuno, T. et al. “Fermi observations of Cassiopeia and Cepheus: diffuse gamma-ray emission in the outer Galaxy,” *ApJ* (査読有) 710 (2010) 133-149

[15] Abdo, A. A., Mizuno, T. et al. “Detection of Gamma-Ray Emission from the Starburst Galaxies M82 and NGC 253 with the Large Area Telescope on Fermi,” *ApJL* (査読有) 709 (2010) L152-L157

[16] Abdo A., A., Mizuno, T. et al. “Fermi Large Area Telescope measurements of the diffuse gamma-ray emission at intermediate Galactic latitudes,” *PRL* (査読有) 103 (2009) 251101 (1-6)

[17] Abdo, A. A., Mizuno, T. et al. “Fermi LAT Observation of Diffuse Gamma-Rays Produced Through Interactions between Local Interstellar Matter and High Energy Cosmic Rays,” *ApJ* (査読有) 703 (2009) 1249-1256

[18] Abdo, A. A., Mizuno, T. et al. “Measurement of the cosmic ray $e^+ + e^-$ spectrum from 20 GeV to 1 TeV with the Fermi

Large Area Telescope,” PRL (査読有)102 (2009) 181101 (1-6)

[学会発表] (計 17 件)

[1] 水野 恒史 「Fermi ガンマ線衛星による暗黒物質探査」(招待講演), Workshop on Particle Physics of the Dark Universe, 2012年3月2日, IPMU (柏市)

[2] 水野 恒史 「Fermi GeV ガンマ線衛星による3年間の成果」(招待講演), Multi-Messenger Astrophysics and CTA, 2011年9月30日, 宇宙線研究所 (柏市)

[3] 水野 恒史 「Fermi-LAT Study of Diffuse gamma-rays and cosmic-rays in the outer Galaxy」ICRC2011 (宇宙線国際会議), 2011年8月11日, 北京(中国)

[4] 林 克洋 「フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡による近傍分子雲領域の観測」日本天文学会秋季年会, 2011年9月21日, 鹿児島大学 (鹿児島市)

[5] 水野 恒史 「Fermi 衛星による広がったガンマ線・宇宙線電子の観測と基礎物理への制限」(招待講演), 基研研究会「素粒子物理学の進展 2011」, 2011年3月3日, 京都大学

[6] 水野 恒史 「Recent Results on Cosmic-Rays by Fermi-LAT」(招待講演), 日本物理学会秋季年会 特別セッション, 2010年9月13日, 九州工業大学

[7] 水野 恒史他 「Monte Carlo simulation study of in-orbit background for the soft gamma-ray detector on board ASTRO-H」, 2010 SPIE Symposium, 2010年6月27日, San Diego, USA

[8] 林 克洋 「Observation of Chamaeleon molecular cloud region by Fermi Gamma-ray Space Telescope」, 38th COSPAR Scientific Assembly, 2010年7月18日, Bremen, Germany

[9] 水野 恒史 「フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡による銀河宇宙線の分布」, 日本天文学会春季年会, 2010年3月25日, Hiroshima, Japan

[10] 佐田 貴幸 ほか 「Fermi-LAT による太陽系近傍の小型分子雲の観測」日本天文学会春季年会, 2010年3月25日, Hiroshima, Japan

[11] 水野 恒史 「Fermi-LAT Study of Cosmic-Ray Gradient in the Outer Galaxy; Fermi-LAT view of the 3rd Quadrant」, The 2009 Fermi Symposium, 2009年11月3日, Washington, USA

[12] 水野 恒史 「Fermi による拡散ガンマ線と高エネルギー電子の観測」(招待講演), 「ガンマ線バーストで読み解く太古の宇宙」領域シンポジウム, 2009年9月26日, Gifu, Japan

[13] 水野 恒史 「フェルミ衛星による、拡散 γ 線放射の観測と銀河系宇宙線」, 日本天文学会秋季年会, 2009年9月15日, Yamaguchi, Japan

[14] 林 克洋 ほか 「Fermi ガンマ衛星によるカメレオン座分子雲の観測」, 日本天文学会秋季年会, 2009年9月15日, Yamaguchi, Japan

[15] 水野 恒史 「フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡による、銀河系宇宙線の観測」(招待講演), 日本物理学会秋季年会, 2009年9月11日, Kobe, Japan

[16] 水野 恒史 「Gamma-Ray Particle Astrophysics -- the First Year of the Fermi Gamma-ray Space Telescope」(招待講演), Physics In Collisiton 2009, 2009年9月2日, Kobe, Japan

[17] 水野 恒史 「Fermi-LAT Study of Galactic Cosmic-Rays by Observing Diffuse Gamma-Rays from Mid-Latitude Region」, Energetic Cosmos: from Suzaku to ASTRO-H, 2009年7月1日, Otaru, Japan

[その他]

平成21年度天文学会春季年会での記者発表を行った。Webページを以下に記す。 <http://www-heaf.hepl.hiroshima-u.ac.jp/glast/100324press/GalacticCR/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水野 恒史 (Mizuno Tsunefumi)
広島大学・宇宙科学センター・准教授
研究者番号：20403579

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

片桐 秀明 (Katagiri Hideaki)
茨城大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：50402764

深沢 泰司 (Fukazawa Yasushi)
広島大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：60272457

釜江 常好 (kamae Tsuneyoshi)
東京大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：90011618