

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究(A)	
研究期間：2005～2008	
課題番号：17204015	
研究課題名（和文）	TeV ガンマ線高角度/高エネルギー分解能観測による銀河宇宙線起源の解明
研究課題名（英文）	Exploration of Galactic Cosmic-ray Origin with High Angular/Energy Resolution TeV Gamma-ray Observation
研究代表者	
氏名（アルファベット）	森 正樹 (MORI MASAKI)
所属機関・所属部局名・職名	東京大学・宇宙線研究所・教授
研究者番号	80210136

研究成果の概要：

オーストラリア・ウーメラに日豪共同で建設した 10m チェレンコフ望遠鏡アレイを用いて超高エネルギーガンマ線の観測を行い、Vela パルサー星雲・超新星残骸 RX J0852.0-04622・活動銀河核 PKS 2155-304・パルサー星雲 MSH15-52・HESS 未同定天体 J1804-216 からの TeV 領域ガンマ線の信号を検出し、これらの天体における高エネルギー粒子の加速現象に関する知見を得た。また、電波銀河 Cen A・球状星団 Cen・超新星残骸 SN1987A およびその近傍の天体・Kepler 超新星残骸・銀河円盤の観測からはガンマ線フラックスの上限値を得た。これらは粒子加速の機構に制限を与えるものとなっている。こうして、銀河系及び系外天体における宇宙線の加速と起源を論じ、解明していくための多くのデータを得ることができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 17 年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
平成 18 年度	9,600,000	2,880,000	12,480,000
平成 19 年度	9,600,000	2,880,000	12,480,000
平成 20 年度	9,500,000	2,850,000	12,350,000
年度			
総計	38,000,000	11,400,000	49,400,000

研究分野：高エネルギー天体物理学・宇宙線物理学

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙

キーワード：宇宙線・天体ガンマ線・超新星残骸

1. 研究開始当初の背景

地球に降り注ぐ高エネルギー粒子、宇宙線がどこで作られて人工粒子加速器をはるかに超える高いエネルギーまで加速されるのか、という宇宙線の起源の問題は、その発見から 90 年以上経つ今も未解決の謎として残されている。超新星残骸は、超新星爆発に伴う衝撃波中で粒子加速が起こると考えられることから、宇宙線を高エネルギーまで加速

する天体の最有力候補として指摘されてきた。しかし、観測的な証拠は超新星残骸 SN1006 についての日本の X 線衛星「あすか」によるシンクロトロン X 線放射の観測による間接的な証拠が初めてといえるものであり、それに続く我々 CANGAROO グループによる超新星残骸 RX J1713.7-3946 や、ドイツを中心とした HEGRA グループによる超新星残骸 Cas A からの TeV ($=10^{12}$ eV) ガンマ線



図1 南オーストラリア・ウーメラに設置された
CANGAROO-III チェレンコフ望遠鏡アレイ

の検出によって、より直接的な証拠が初めて得られたといえる段階にあり、ここ数年でようやく解明の糸口が示され始めたに過ぎず、その例数は統計的な議論に基づいて銀河系全体における宇宙線の加速と起源を論じるには程遠い状態であった。

2. 研究の目的

本研究では、銀河系内天体に有利な南半球オーストラリアに日豪共同で建設されたガンマ線望遠鏡システムを用い、銀河系内の超新星残骸の系統的観測という「ボトムアップ」的な側面から、高エネルギー宇宙線起源とその加速機構の解明を目指す。

3. 研究の方法

オーストラリア・ウーメラに日豪共同で建設した10m チェレンコフ望遠鏡アレイ(図1)を用いて超高エネルギーガンマ線の観測を行う。候補天体として銀河系内天体、特に超新星残骸を中心とし、観測に不利な季節は活動銀河核など銀河系外の天体も対象とする。観測は月明のない晴夜にのみ可能であり、現地に観測者を派遣して下弦から上限までの約2週間の観測期間毎の交代で観測を行い、良い気象条件下で、各天体につき10から50時間程度の観測データを蓄積していく。超新星残骸については、系統的な観測を行い、例数を積み上げていくことにより宇宙線起源についての定量的な探求が行えるようになる。取得したデータは各研究分担者の研究機関に持ち帰って、宇宙線雑音を排除しガンマ線信号を取り出す解析を行った。

4. 研究成果

10m チェレンコフ望遠鏡4台のアレイ(CANGAROO-III)を用いて、銀河系内天体を中心に、観測に適した時期に応じて銀河系外天体も候補に加え、超高エネルギーガンマ線天体の観測を行い、そのデータを解析した。観測は各月月明のない晴夜にのみ可能なので、研究者を毎月派遣して、十数個の天体について観測データを蓄積した。特に、南半球のナミビアでドイツなどが建設した同種の装置(H.E.S.S.)との結果の食い違いについて留意しながら、慎重にデータを解析し、

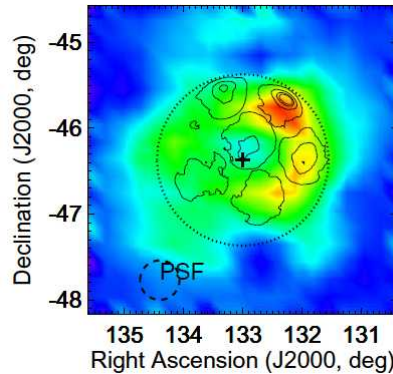


図2 超新星残骸 RX J0852.0-4622 からのガンマ線信号の有意度マップ

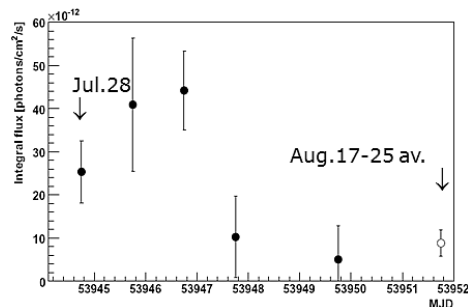


図3 活動銀河核 PKS 2155-304 からのガンマ線信号の時間変化

結果の検討を行った。各天体に対する結果については、2006年6月のイタリア・エルバ島、12月の京都、12月のオーストラリア・アデレード、2007年3月の渋谷、2007年7月の宇宙線国際会議(メキシコ)でそれぞれ行われた国際会議など、各種研究会や国内学会で報告してきた。

Vela パルサーからはガンマ線信号が見られなかったが、Vela X 星雲から H.E.S.S. が報告したのと同様な広がったガンマ線放射が見られたことを学術誌に報告した。

超新星残骸 RX J0852.0-4622 は CANGAROO-II 望遠鏡により我々が超高エネルギーガンマ線の検出に初めて成功していた超新星残骸であるが、ステレオ観測によりガンマ線画像(図2)と高精度のエネルギースペクトルを得ることができ、学術誌に報告した。

爆発的星形成銀河 NGC 253 をステレオ観測したが、ガンマ線信号は得られなかった。以前報告していた CANGAROO-II 望遠鏡での信号解析について問題点を見出し、この結果を Erratum として学術誌に報告した。

活動銀河核 PKS 2155-304 の2006年のフレアについては、時間変動するガンマ線フラックスを観測した結果をまとめ、学術誌で報告した(図3)。

パルサー星雲 MSH15-52 の観測では広が

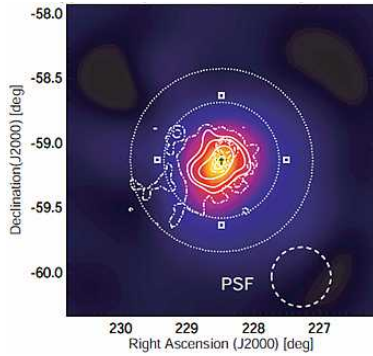


図4 パルサー星雲 MSH 15-52 からのガンマ線信号の有意度マップ

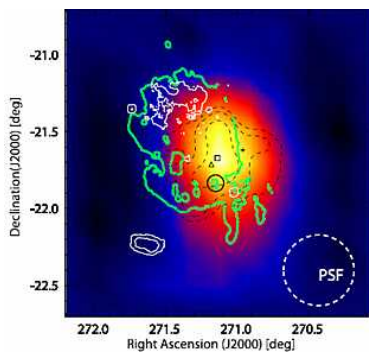


図5 HESS 未同定天体 J1804-216 からのガンマ線信号の有意度マップ

ったガンマ線信号を観測し(図4)論文は学術雑誌で発表した。

電波銀河 Cen A と球状星団 Cen、超新星 1987A およびその周辺天体をそれぞれ観測し、ガンマ線信号の上限値を得て、その意義を論じた論文を学術誌で報告した。

H.E.S.S.未同定天体 J1804-216 の観測では H.E.S.S.と同様の広がったガンマ線放射が見られ(図5)学術誌に報告した。

銀河面は衛星で観測した GeV ガンマ線では最も強いガンマ線源であるが、TeV ガンマ線の観測では信号は見られず、上限値を与える結果を得て、学術誌に報告した。

上記以外にも銀河団の観測の論文が現在投稿中である。

以上、観測した十数個のガンマ線源候補からはガンマ線信号が見られたものも、上限値を課す結果となったものもあるが、高エネルギー放射を発する天体の広域スペクトルのうち、最も短い波長での情報を与えることにより、高エネルギー粒子の加速について、加速される粒子の種類や機構など、多くの示唆が得られた。

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 9 件)

• "A Search for sub-TeV Gamma-rays from the Vela Pulsar Region with CANGAROO-III"

R. Enomoto, A. Kawachi (20 番目), M. Mori (30 番目), M. Ohishi (37 番目), T. Yoshikoshi (53 番目), 他 50 名, *Astrophys. J.* 638, 397-408 (2006)

• "CANGAROO-III Observations of the Supernova Remnant RX J0852.0-4622"

R. Enomoto, A. Kawachi (18 番目), M. Mori (29 番目), M. Ohishi (35 番目), T. Yoshikoshi (49 番目), 他 46 名, *Astrophys. J.*, 652, 1268-1276 (2006)

• "CANGAROO-III Search for Gamma Rays from Centaurus A and the ω Centauri Region"

S. Kabuki, R. Enomoto (2 番目), A. Kawachi (15 番目), M. Mori (25 番目), M. Ohishi (31 番目), T. Yoshikoshi (46 番目), 他 42 名, *Astrophys. J.*, 668, 968-973 (2007)

• "CANGAROO-III Search for Gamma Rays from SN 1987A and the Surrounding Field"

R. Enomoto, A. Kawachi (14 番目), M. Mori (21 番目), M. Ohishi (28 番目), T. Yoshikoshi (43 番目), 他 41 名, *Astrophys. J.* 671, 1939-1943 (2007)

• "CANGAROO-III Observations of the 2006 Outburst of PKS2155-304"

Y. Sakamoto, R. Enomoto (6 番目), M. Ohishi (7 番目), A. Kawachi (20 番目), M. Mori (25 番目), T. Yoshikoshi (43 番目), 他 38 名, *Astrophys. J.* 676, 113-121 (2008)

• "Observation of an extended VHE gamma-ray emission from MSH 15-52 with CANGAROO-III"

T. Nakamori, R. Enomoto (5 番目), A. Kawachi (20 番目), M. Mori (28 番目), M. Ohishi (35 番目), T. Yoshikoshi (48 番目), 他 43 名, *Astrophys. J.* 677, 297-305 (2008)

• "CANGAROO-III Search for Gamma Rays from Kepler's Supernova Remnant"

R. Enomoto, A. Kawachi (18 番目), M. Mori (27 番目), M. Ohishi (35 番目), T. Yoshikoshi (48 番目), 他 44 名, *Astrophys. J.*, 683, 383-388 (2008)

• "Observation of Very High Energy gamma rays from HESS J1804-216 with CANGAROO-III Telescopes"

Y. Higashi, R. Enomoto (4 番目), A. Kawachi (20 番目), M. Mori (28 番目), M. Ohishi (35 番目), T. Yoshikoshi (48 番目), 他 43 名, *Astrophys. J.*, 683, 957-966 (2008)

• "Very high energy gamma-ray observations of the Galactic Plane with the CANGAROO-III telescopes"

M. Ohishi, M. Mori, R. Enomoto (9 番目), A. Kawachi (22 番目), T. Yoshikoshi (59 番目), 他 55 名, *Astropart. Phys.*, 30, 47-53 (2008)

[学会発表](計 101 件)

- "CANGAROO III: Status report", M. Mori, "Towards a Network of Atmospheric Cherenkov Detectors VII", Palaiseau, France, April 27-29 (2005)
- "Beyond CANGAROO", T. Yoshikoshi, *ibid.*
- "CANAGROO", M. Mori, "Astrophysics of Ultra-High Energy Cosmic Rays, Photons, and Neutrinos", KITP, UCSB, USA, May 02-20 (2005)
- "CANAGROO", M. Mori, "Third Workshop on Science with the New Generation of High Energy Gamma-ray Experiments, Cividale del Friuli, Italy, May 30-June 1 (2005)
- "Optical measurements for CANGAROO-III", R. Kiuchi, "ICRC2005 Satellite Workshop on New Generation Cerenkov Imaging Telescopes", Mumbai, India, August 01-02 (2005)
- "CANGAROO-III and beyond", M. Mori, *ibid.*
- "Status of the CANGAROO-III Project", K. Nishijima, "29th International Cosmic Ray Conference", Pune, India, August 03-11 (2005)
- "Recent status of the analyses for stereoscopic observations with the CANGAROO-III telescopes", T. Tanimori, *ibid.*
- "Search for Very High Energy Gamma-Rays from Active Galactic Nuclei with CANGAROO-III Telescope", Y. Sakamoto, *ibid.*
- "Observation of TeV Gamma-ray from the Active Radio Galaxy Centaurus A with CANGAROO-III", S. Kabuki, *ibid.*
- "Performance of the Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope System of CANGAROO-III", T. Yoshikoshi, *ibid.*
- "Very high energy gamma-ray observations of the Galactic plane with the CANGAROO-III telescopes", M. Ohishi, *ibid.*
- "Optical measurements by cooled CCD cameras for CANGAROO-III", R. Kiuchi, *ibid.*
- "Stereoscopic observations with the CANGAROO-III telescopes at the large

zenith angles", T. Nakamori, *ibid.*

- 「CANGAROO-III ステレオ観測の 17 年度観測および解析状況報告」谷森達、日本物理学会 2005 年秋季大会、大阪市立大学、September 12-15, 2005
- 「CANGAROO-III における Vela と RXJ0852.0-4622 の結果」榎本良治、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による超新星残骸 SN1987A 領域の TeV ガンマ線探索」土屋兼一、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による超新星残骸のステレオ観測及び解析報告」西田大輔、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡によるブレーザーからの超高エネルギーガンマ線の探索」坂本由起子、*ibid.*
- 「大気チェレンコフ望遠鏡大口径化についての考察」湯川洋平、*ibid.*
- "Considerations of beyond-CANGAROO projects", T. Yoshikoshi, "Workshop: Ground-based Gamma-ray Astronomy: Towards the Future", Los Angeles, USA, October 20-21, 2005
- 「Super CANGAROO 計画」吉越貴紀、「宇宙線将来計画シンポジウム」, 東京大学宇宙線研究所、05 - 06 Dec (2005)
- 「カンガルー」吉田龍生、「宇宙線研究所共同利用研究成果発表会」, 東京大学宇宙線研究所、16 - 17 Dec (2005)
- "Ground-based observation of very high energy gamma-rays", 森正樹, 「第一回日本学術振興会先端研究拠点事業シンポジウム」, 名古屋大学、21 - 22 Dec (2005)
- "Recent Results from CANGAROO", M. Mori, "International Workshop on Energy Budget in the High Energy Universe", Kashiwa, Japan, February 22-24, 2006
- "Optical Measurements for CANGAROO-III", R. Kiuchi, *ibid.*
- "Consideration of Cassegrain Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes", Y. Yukawa, *ibid.*
- "Cosmic-Ray & CDM by Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes", R. Enomoto, KEK Theory Meeting 2006 "Particle Physics Phenomenology", KEK, Tsukuba, Japan, March 2-4, 2006
- 「CANGAROO-III 望遠鏡 維持整備作業・観測報告」湯浅翠、日本物理学会第 61 回年次大会、松山市、March 27-30, 2006
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による超新星残骸の観測」渡辺至緒、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡のステレオ解析手法の検討」中森健之、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 解像型チェレンコフ望遠鏡におけるエネルギー分解能の向上」川崎

祥、*ibid.*

- 「CANGAROO-III 望遠鏡への Flash ADC 導入試験」水上拓、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡光学システムの性能評価 - III」木内隆太、*ibid.*
- “Recent Results from CANGAROO”, M.Mori, “4th Workshop on Science with the New Generation of High Energy Gamma-ray Experiments”, Isola d’Elba, Italy, June 20-22, 2006
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による超新星残骸 RX J0852.0-4622 の解析の最終結果報告と放射機構の考察」渡辺至緒、日本物理学会 2006 年秋季大会、奈良市 September 20-23, 2006
- 「CANGAROO-III 全天赤外線雲モニターの開発と製作(I)」西嶋恭司、*ibid.*
- 「次世代チェレンコフ望遠鏡用金属鏡の開発」河内明子、*ibid.*
- 「大口径大気チェレンコフ望遠鏡の光学系に関する考察」湯川洋平、*ibid.*
- “Recent Results from CANGAROO TeV gamma-ray observations”, T.Tanimori, “The Extreme Universe in the Suzaku Era”, Kyoto, Japan, December 4-8, 2006
- “Detection of VHE gamma-ray γ are from PKS 2155-304”, K.Nishijima, *ibid.*
- “Recent results from CANGAROO-III”, M.Mori, “Locating PeV Cosmic-Ray Accelerators: Future Detectors in Multi-TeV Gamma-Ray Astronomy”, Adelaide, Australia, December 6-8, 2006
- “Simulations and R & D Studies for 100 TeV Gamma-Ray Astrophysics with a Large Effective Area IACT Array”, T.Yoshikoshi, *ibid.*
- “Nearby galaxies, 10^{20} eV cosmic rays and the 10TeV 10km^2 project”, T.Kifune, *ibid.*
- 「カンガルー」谷森達、「宇宙線研究所共同利用研究成果発表会」、東京大学宇宙線研究所、15 - 16 Dec (2006)
- 「CANGAROO 望遠鏡による TeV ガンマ線観測」吉越豊紀、「太陽圏シンポジウムおよび STE 研究集会」、名古屋市、January 29-31 (2007)
- “Recent results from CANGAROO-III”, M.Mori, “International Workshop on “Cosmic-rays and High Energy Universe”, Aoyama Gakuin Univ., Shibuya, Tokyo, March 05-06 (2007)
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による HESS J1804-216 のステレオ観測」東悠介、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による PKS2155-304 の 2006 年 TeV ガンマ線アウトバーストの観測報告(I)」坂本由起子、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による PKS2155-304 の 2006 年 TeV ガンマ線アウ

トバーストの観測報告(II)」水上拓、*ibid.*

- 「CANGAROO-III 望遠鏡による Abell 銀河団の観測」木内隆太、*ibid.*
- “CANGAROO”, M.Mori, “VERITAS First Light Fiesta: Science Workshop”, Tubac Country Club, AZ, USA, April 27 (2007)
- “Observation of VHE gamma-ray from HESS J1804-216 with CANGAROO-III Telescopes”, Y.Higashi, “30th International Cosmic Ray Conference”, Merida, Mexico, July 03-11 (2007)
- “Observation of clusters of galaxies with the CANGAROO-III telescope system”, R.Kiuchi, *ibid.*
- “Observation of HESS J1303-631 with the CANGAROO-III telescopes”, J.Kushida, *ibid.*
- “Observations of extended VHE gamma-ray emission from MSH 15-52 with CANGAROO-III”, T.Nakamori, *ibid.*
- “Time variation of the flux of TeV gamma-rays from PKS 2155-304”, K.Nishijima, *ibid.*
- “Status of CANGAROO-III”, M.Mori, *ibid.*
- “Detection of 2006 TeV-outburst of PKS 2155-304 with the CANGAROO-III telescope”, Y.Sakamoto, *ibid.*
- “Development of Gigahertz Analog Memory for Front-End Electronics of Imaging Air Cherenkov Telescopes”, T.Mizukami, *ibid.*
- “CANGAROO MWL strategies, policies and outcomes”, M.Mori, “The 2nd Multi-wavelength Workshop for Next-Generation Gamma-Ray Experiments”, Chicago, USA, August 9-10 (2007)
- “Status of the CANGAROO-III”, T.Nakamori, “TeV Particle Astrophysics”, Venice, Italy, August 27-31 (2007)
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による PSR B1509-58 のステレオ観測(2)」中森健之、日本物理学会第 62 回年次大会、札幌市、September 21-24, 2007
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による超新星残骸 RX J1713.7-3946 のステレオ観測」中野晋太朗、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による Vela SNR 広域観測」湯川洋平、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による HESS J1303-631 の観測」齋藤浩二、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による PKS2155-304 のフラックス時間変動の観測」坂本由紀子、*ibid.*
- 「CANGAROO-III による Cen-A、オメガ、SN1987A、その他からのガンマ線探査」榎本

良治、*ibid.*

- 「PKS 2155-304 の 2006 年 TeV ガンマ線フレアの観測」坂本由紀子、日本天文学会秋季大会、岐阜大学、September 26-28, 2007
- 「天体における粒子加速：観測的側面から」森正樹、*ibid.*
- “Recent results from CANGAROO-III”, Y.Yukawa, “10th International Conference on Topic in Astrophysics and Underground Physics (TAUP2007)”, Sendai, Japan, September 11-15 (2007)
- “Status of the Japanese Gamma-ray Community”, T.Tanimori, “Toward the Future of Very High Energy Gamma-ray Astronomy”, SLAC, CA, USA, November 8-9 (2007)
- 「CANGAROO 実験」森正樹、「宇宙線研究所共同利用研究成果発表会」、東京大学宇宙線研究所、December 14-15 (2007)
- “Future plans of Japan (mainly CANGAROO Japan) in TeV gamma rays”, T.Tanimori, “CTA Meeting in Barcelona”, Spain, January 24-25 (2008)
- “Recent Topics on Very High Energy Gamma-ray Astronomy”, M.Mori, “International Workshop on Advances in Cosmic Ray Science”, Waseda Univ., Tokyo, March 17-19 (2008)
- 「CANGAROO-III によるケプラー超新星残骸、その他の観測」榎本良治、日本物理学会第 63 回年次大会、東大阪市、March 22-26, 2008
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による HESS J1804-216 のステレオ観測(2)」東悠介、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による銀河中心の観測」水上拓、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による Abell 銀河団の観測 (2)」木内隆太、*ibid.*
- “CANGAROO-III Search for TeV Gamma-rays from Two Clusters of Galaxies”, R.Kiuchi (M.Mori), “Astrophysics with All-Sky X-Ray Observations – 3rd International MAXI Workshop”, Riken, Saitama, Japan, June 10-12, 2008
- “Status of CANGAROO-III Project”, R.Enomoto, “4th International Symposium on High Energy Gamma Ray Astronomy”, Heidelberg, Germany, July 7-11, 2008
- “CANGAROO-III observation of gamma rays from the Galactic Center”, T.Mizukami, *ibid.*
- “The implications from CANGAROO-III observations of TeV blazar PKS 2155-304”, K.Nishijima, *ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による PKS2155-304 の観測データの解釈」西嶋恭

司、日本物理学会 2008 年秋季大会、山形市、September 20-23, 2008

- 「CANGAROO-III 望遠鏡による PSR B1706-44 領域の観測」榎本良治、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による SNR-SN1006 の TeV ガンマ線放射上限値の最終報告」谷森達、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による W44 の観測」湯川洋平、*ibid.*
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による Abell 3376 の観測」平井康文、*ibid.*
- 「CANGAROO 実験」榎本良治、「宇宙線研究所共同利用研究成果発表会」、東京大学宇宙線研究所、December 19-20 (2008)
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による銀河系外天体の観測結果」秋元美知代、日本物理学会第 64 回年次大会、豊島区、March 27-20, 2009
- 「CANGAROO-III 望遠鏡による HESS J1614-518 のステレオ観測」水上拓、*ibid.*
- 「次世代大気チェレンコフ望遠鏡のための高感度光検出器 PPD(MPPC)の基礎特性評価」水村好貴、*ibid.*
- 「シンポジウム 超高エネルギーガンマ線天文学の展望 - 宇宙線物理学の将来：世界と日本：はじめに」吉田龍生、*ibid.*
- 「シンポジウム 同上：TeV ガンマ線による近傍銀河の系統的研究 物理的意義と観測可能性について」木舟正、*ibid.*
- 「シンポジウム 同上：日本の将来計画と R&D の現状」榎本良治、*ibid.*
- 「シンポジウム 同上：まとめ + 議論」柳田昭平、*ibid.*

〔その他〕

ホームページ

<http://vesper.icrr.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 正樹 (MORI MASAKI)
東京大学・宇宙線研究所・教授
研究者番号：80210136

(2) 研究分担者

榎本 良治 (ENOMOTO RYOJI)
東京大学・宇宙線研究所・准教授
研究者番号：80183755
吉越 貴紀 (YOSHIKOSHI TAKANORI)
東京大学・宇宙線研究所・准教授
研究者番号：30322366
大石 理子 (OHISHI MICHIKO)
東京大学・宇宙線研究所・助教
研究者番号：10420233

(3) 連携研究者

河内 明子 (AKIKO KAWACHI)
東海大学・理学部・准教授
研究者番号：70332591