

機関番号：12601  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2010  
 課題番号：19540274  
 研究課題名（和文） 超高エネルギーガンマ線天文学の全貌の開拓  
 研究課題名（英文） Understandings of the whole view on very high energy gamma ray astronomy  
 研究代表者  
 木舟 正（KIFUNE TADASHI）  
 東京大学・宇宙線研究所・名誉教授  
 研究者番号：40011621

研究成果の概要（和文）：約半世紀にもわたる努力の結果、最近になって漸く確立した超高エネルギーガンマ線による宇宙観測の全体像を把握すべく考察を試みるために、これまでに検出されたガンマ線天体についてのレビュー論文を作成し、宇宙の超高エネルギー現象についての今後の発展方向を展望した。銀河系内超高エネルギーガンマ線源の位置、広がり大きさなどについて、ガンマ線強度の観測データが銀河河内盤内宇宙線による拡散ガンマ線などによって受ける影響の大きさ、データの取り扱い方の違いが解析結果に与える不定性があることを示した。

研究成果の概要（英文）：The current status of observational study of very high energy gamma rays from various astronomical objects, established recently as one area of astrophysics after the efforts extending for almost half a century, was discussed and our understandings of the whole view of very high energy gamma ray astronomy were summarized as a review paper by a collaborative work with three other colleagues who are working in and leading this field in Europe and United States. In addition, the present data and their interpretation were discussed and analyzed between gamma rays from Galactic sources and extended emission from Galactic plane.

## 交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2007年度 | 800,000   | 240,000 | 1,040,000 |
| 2008年度 | 600,000   | 180,000 | 780,000   |
| 2009年度 | 600,000   | 180,000 | 780,000   |
| 2010年度 | 400,000   | 120,000 | 520,000   |
| 年度     |           |         |           |
| 総計     | 2,400,000 | 720,000 | 3,120,000 |

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：超高エネルギーガンマ線、宇宙線、宇宙線の起源、粒子天体物理学、宇宙の非熱過程、宇宙線の伝播、超新星残骸、活動銀河中心核

## 1. 研究開始当初の背景

宇宙で生起している非熱的な超高エネルギー現象の直接的な観測、すなわち、さまざまな天体における宇宙線加速の様相、超高エネルギー粒子が引き起こす現象を知るための<sup>12</sup>

電子ボルト以上の超高エネルギーガンマ線による観測が1990年代から2000年にかけて確立された。一方、わが国における研究の現状は、現在急速に発展しつつある超高エネルギーガンマ線天文学の全世界的な将来計

画の策定・実施への動向の中で、一つの重要な岐路に立っているとみなすことができる。

すなわち、

(1) 1990年代に入って地上設置の空気チェレンコフ望遠鏡による超高エネルギーガンマ線、0.1TeV から 10TeV に至る領域での観測の窓が開いた。我が国とオーストラリアとの共同研究 CANGAROO 計画による先駆的観測によって、宇宙線の加速源であると想像されてきた超新星残骸からの超高エネルギーガンマ線を検出し、積年の謎であった「宇宙線の起源」の解明に向けての進展の端緒を開いた。さらに、引き続いて、

(2) ヨーロッパ諸国の共同研究 H. E. S. S. の南半球での観測開始や MAGIC グループ、米国の VERITAS グループの観測結果などを合わせ 100 個に迫る数の超高エネルギーガンマ線源が発見され、地上設置の空気チェレンコフ望遠鏡による「超高エネルギーガンマ線天文学」が確立した。その結果、

(3) これまでの超高エネルギーガンマ線観測計画を超えた、より大型で全世界的共同研究が、ヨーロッパを中心とする CTA 計画、アメリカを中心とする AGIS 計画などによって提案されている。

(4) 超高エネルギーガンマ線天文学は 3 桁を超える広いエネルギー領域を観測対象として有している。その中でどのような天体現象・物理過程に重点を置いた研究を行うべきか、多様な発展の可能性をもっているか推察すべきか、期待される多様な発展方向の中から、わが国による超高エネルギーガンマ線天文学への寄与を効率的に最大限に継続・維持・発展させる方向・方法を的確に選択・検討することが必要となっている。

## 2. 研究の目的

宇宙の進化、宇宙に生起しているさまざまな物理過程に於いて非熱的な超高エネルギー粒

子の果たしている役割を探る。超高エネルギーガンマ線観測によって、超新星残骸や銀河団の構造形成等における加速過程など、銀河の構造・進化に関わる超高エネルギー粒子のふるまいと暗黒物質の影響を調べる。また、銀河系外遠方からのガンマ線の吸収伝播等から、背景放射強度を推定し、通常モデルによる解釈と超高エネルギーでの異常な素粒子相互作用との関係を推し量る。超高エネルギーガンマ線観測の直接的な考察の対象となるのは $10^{12}$ 電子ボルト近辺のガンマ線であるが、これを宇宙における非熱的高エネルギー現象全般を理解しようとする観点から眺めるとき、 $10^{20}$ eV(電子ボルト)に達する「最高エネルギー宇宙線」の起源の全貌解明をも視野に入れる必要がある。

(1)  $10^{20}$ eV までの最高エネルギー領域までの宇宙線を視野に入れた超高エネルギー現象とガンマ線

(2) 銀河全体の進化発展と超高エネルギー現象

など、極高エネルギー領域での宇宙線現象、2.7K マイクロ波から赤外線にいたる背景放射、宇宙初期の情報等、広汎な現象を視野に入れつつ、宇宙の非熱的超高エネルギー現象を探る。

## 3. 研究の方法

超高エネルギーガンマ線天文学の全貌を探ることは、研究目的の項でも触れられたように、10桁を超えるエネルギー領域を対象とする必要がある。この広いエネルギー領域を多岐にわたるさまざまな角度から試みる。すなわち、

(1) まず第一に、これまでの観測結果や解釈を整理し系統的に理解しの現状を把握する。この作業を、欧州の HESS、米国の VERITAS グループの研究者との連携により行った。次いで、  
(2) 100 個を超える多数のガンマ線源を広

い視野から統一的に理解するために、個々の天体毎の特殊性に詳細に関与するのではなく、銀河全体の放射と個々の天体との関係について考察する。すなわち、

(3) 広いエネルギー領域にまたがる宇宙線の非熱的現象について、 $10^{20}$ eV までの最高エネルギー宇宙線の関与する現象や

(4) 宇宙背景放射とガンマ線の相互作用を、宇宙空間における超高エネルギーガンマ線の伝播、電子陽電子生成と二次的ガンマ線放射などの複合的過程・カスケード過程の考察によって分析する。その結果を、

(5) 国際協力による将来の全世界的計画のための準備に役立てることに努める。

#### 4. 研究成果

(1) 「超高エネルギーガンマ線天文学の全貌」を理解する第一段階として、超高エネルギーガンマ線天文学の現状をまとめた。すなわち、海外の研究協力者との総計4人の共著論文として、超高エネルギーガンマ線天文学の現状と将来についてのレビュー論文(英文タイトル”High Energy Astrophysics with Ground Based Gamma-Ray Detectors”)を作成した。現在までに観測されている約70個の天体、すなわち超高エネルギーガンマ線源を整理して分類しカタログとしてまとめるなどの作業を行った。その結果に基づき、超高エネルギーガンマ線が活動銀河や超新星残骸などの各天体についてもたらず情報・知見について、ガンマ線観測と暗黒物質や重力量子効果などとの関係について考察した。

この結果を発展させてさらに、

(2) 銀河系内ガンマ線源と銀河円盤からの一様放射について、超高エネルギーガンマ線源のデータの取り扱い方の違いが解析結果に与える影響について考察した。超高エネルギーガンマ線源の位置、広がり大きさ、ガンマ線強度の観測データが①銀河円盤内宇

宙線による拡散ガンマ線の影響を受け②宇宙線粒子による雑音を補正するために使用するデータセットの選び方、データ解析の方法や望遠鏡の特性に依存することなどを指摘した。具体的な例として、パルサー星雲 PSR B1706-44 について、オーストラリアに於いてこれまで行ってきた観測データの解析結果に対して検討を加え、この天体が広がりを持ったガンマ線源であることを確認・報告した。

(3) 近傍銀河からの超高エネルギーガンマ線検出のもたらす物理的意義と観測可能性についての考察。銀河の形成・進化に非熱の高エネルギー現象が果たす役割・効果、ガンマ線強度や銀河の質量との関係等について整理・検討した。その結果を、日本物理学会の2009年春の年会に於いて、「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」を主題とするシンポジウムを開催した。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」の講演として発表し、わが国における超高エネルギーガンマ線天文学の今後の展望・戦略として用いるべく提案した。

(4) 前項の結果をさらに発展させて、赤外線などの宇宙背景放射、および銀河系外空間に於ける最高エネルギー領域の宇宙線、と超高エネルギーガンマ線との相互作用・伝搬過程近傍銀河からの超高エネルギーガンマ線について、さらに、それらの相互作用が銀河の進化に与える効果について検討中である。今後に残された研究対象として本科研費の終了後も継続して考察する予定である。

#### 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 3件)

①R. Enomoto, J. Kushida, T. Nakamori,

T.Kifune et al., “CANGAROO-III Observation of TeV Gamma Rays from the Vicinity of PSR B1706-44”, *Astronomical Journal*, 703, 1725-1733, 2009, 査読有

② R. Enomoto, J. Kushida, T. Nakamori, T.Kifune et al., “CANGAROO-III search for Galactic Sources”, *Proceedings of 31st International Cosmic Ray Conference (Lodz, Poland)*, 1-4, 2009, 査読無

③ F. Aharonian, J. Buckley, T.Kifune and G. Sinnis, “High energy astrophysics with ground-based gamma ray detectors”, *Reports on Progress in Physics*, 71, No9, 096901-096956, 2008, 査読有

[学会発表] (計 3 件)

① T. Yoshida, S. Yanagita and T.Kifune, “Emissions from supernova remnants in the presence of small scale random and large scale regular magnetic fields”, 30th International Cosmic Ray Conference, 2007年7月, Merida, Mexico

② 木舟 正 「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」、日本物理学会、2009年3月27日、立教大学〈物理学会 XD 会場〉

③ R. Enomoto, J. Kushida, T. Nakamori, T.Kifune et al., “CANGAROO-III search for Galactic Sources”, *Proceedings of 31st International Cosmic Ray Conference (Lodz, Poland)* 2009年7月

[図書] (計 2 件)

① 日本天文学会百年史編纂委員会編、恒星社厚生閣、『日本の天文学会の百年 15章 高エネルギーと重力波ノ天文台 1 宇宙線 2 ガンマ線 3 ニュートリノ』、2008年3月、p207-p213

② 編者: 山田作衛、相原博昭、岡田安弘、坂井典佑、西川公一郎、朝倉書店、『素粒子物理学ハンドブック 3.8 節 宇宙からの素粒子』2010年10月、p452-p458

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

木舟正 (KIFUNE TADASHI)

東京大学・宇宙線研究所・名誉教授

研究者番号: 40011621

### (2) 研究分担者

該当なし

### (3) 連携研究者

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