

## 自己評価報告書

平成23年 4月20日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2011

課題番号：20540231

研究課題名（和文） 活動天体における粒子加速と非熱的放射の理論的研究

研究課題名（英文） Theoretical Study of Particle Acceleration and Non-Thermal Emission in Active Astronomical Objects

研究代表者

高原 文郎 (TAKAHARA FUMIO)

大阪大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：20154891

研究分野：宇宙物理学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：粒子加速、無衝突衝撃波、超新星残骸、相対論的ジェット、活動銀河、パルサー、ビーム不安定、ジッター放射

## 1. 研究計画の概要

宇宙における相対論的エネルギーを持った非熱的粒子の加速機構の解明は長年の大きな課題である。その基礎となる衝撃波による統計加速機構は、多くの長所を持っているものの、定量的な予言、観測との比較の点から見るといまだにさまざまな未解決の問題を抱えている。一方、最近数年の間に空気チェレンコフ望遠鏡HESSによる多数の銀河系 TeV ガンマ線源の発見、チャンドラX線衛星による超新星残骸や活動銀河ジェットの高精度分解能観測、さらには2008年度に打ち上げられたフェルミガンマ線衛星の観測によって、粒子加速に関係する興味ある観測事実が多数発見されてきている。本研究では、これらの観測と対比しながら、非熱的粒子の加速機構と放射機構の理論的研究を行うことを目的としている。具体的には、ミクロなプラズマ過程、マクロな電磁流体過程を踏まえた衝撃波粒子加速過程の検討を行うとともに、超新星残骸、パルサー星雲、活動銀河、マイクロクェーサー、ガンマ線バーストなどの活動天体における粒子加速過程と非熱的放射についての理論を構築し、観測的事実との比較検討を行う。

## 2. 研究の進捗状況

(1) 衝撃波による電子加熱過程に関連して、反射イオンビームの存在下のもとで斜め伝播のイオンプラズマ振動が不安定化することを発見した。このモードは強くイオンを加熱して、イオン音波不安定を抑制するため、超新星残骸の衝撃波において、電子温度が適正に保たれることを見出した。

(2) 衝撃波で加速された宇宙線イオンの存

在により励起される電磁流体不安定の2次元PICシミュレーションを行い、プラズマ物理の観点でもこのモードが存在することを確認した。

(3) 超新星残骸の上流プラズマ中の中性粒子は衝撃波面を自由に通過した後、下流で電離されピックアップイオンとなる。通常の下流プラズマとピックアップイオンの間のビーム不安定により磁場の増幅など興味ある現象が起りえることを論じた。

(4) それほど若くない超新星残骸からのガンマ線放射は多くの場合分子雲に付随している。セドフ膨張の終期に加速された陽子が分子雲中で起こす $\pi$ 粒子生成でこれを説明するモデルを構築した。また、超新星残骸周辺では、宇宙線はアルフベン波の自己励起により自由には逃げられないことを論じた。

(5) パルサー星雲のスペクトル進化のモデル計算を行い、いくつかの天体との比較検討を行った。どの天体でも磁場のエネルギーが粒子のエネルギーに比べ数桁小さいこと、電子数供給率がパルサー磁気圏モデルからの予想値よりも1桁以上大きいことを見出した。

(6) ガンマ線連星LS5039のモデルを構築し、TeV, GeV, X線の間の軌道期に連動した相関反相関を定性的に説明することに成功した。

(7) 乱れた磁場中での荷電粒子の放射スペクトルの数値的な研究をおこない、これまでに知られていない、シンクロトロン放射とジッター放射が重ねあわされた形のスペクトルが現れる領域を発見した。

## 3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

PIC シミュレーションを始めとする数値的研究と理論モデル構築とをあわせて、衝撃波粒子加速における理論的問題の解明について大きな成果をあげることができた。さらに乱れた磁場中の非熱的粒子の放射スペクトルの新たな形を発見したことは、これまで未解決のいくつかの問題について解決の可能性を与えている。超新星残骸、パルサー星雲、ガンマ線連星、活動銀河などについての具体的研究も進めることができた。また、論文発表も順調に進んでいる。

#### 4. 今後の研究の推進方策

最終年度にはこれまでの研究を引き続き進め、研究を取りまとめる。また、以下の3点について特に重点を置く。

- (1) 乱れた磁場中を運動する相対論的粒子からの輻射については、更に理論的研究を進めるとともに、活動銀河、ガンマ線バースト、超新星残骸などへの適用を検討する。
- (2) 超新星残骸周辺など、宇宙線の流れによる自己励起アルフベン波による閉じ込め効果については、さらにその基礎と応用の検討を進める。
- (3) 衝撃波粒子加速におけるさまざまな素過程、フェルミ二次加速への静電ゆらぎの効果などの理論的検討を更に進める。

#### 5. 代表的な研究成果

(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12件)

- ① M. S. Yamaguchi, F. Takahara, Modulation Mechanism of TeV, GeV and X-ray Emission in LS5039, *Astrophysical Journal*, 717, 85-92, 2010, 査読有
- ② S. J. Tanaka, F. Takahara, A Model of the Spectral Evolution of Pulsar Wind Nebulae, *Astrophysical Journal*, 715, 1248-1257, 2010, 査読有
- ③ Y. Fujita, Y. Ohira, F. Takahara, Slow Diffusion of Cosmic Rays Around a Supernova Remnant, *Astrophysical Journal Letters*, 712, L153-L156, 2010, 査読有
- ④ Y. Ohira, T. Terasawa, F. Takahara, Plasma Instabilities as a Result of Charge Exchange in the Downstream Region of Supernova Remnant Shocks, *Astrophysical Journal Letters*, 703, L59-L62, 2009, 査読有
- ⑤ Y. Ohira, B. Reville, J. G. Kirk, F. Takahara,

Two-Dimensional Particle-In-Cell Simulations of the Nonresonant, Cosmic-Ray-Driven Instability in Supernova Remnant Shocks, *Astrophysical Journal*, 698, 445-450, 2009, 査読有

- ⑥ Y. Ohira, F. Takahara, Oblique Ion Two-Stream Instability in the Foot Region of a Collisionless Shock, *Astrophysical Journal*, 688, 320-326, 2008, 査読有

[学会発表] (計30件)

- ① F. Takahara, Physics of AGN Jets: physical properties and central engine, Towards a root of AGN jets: Recent progress 2010年12月14日、国立天文台
- ② 高原文郎, 宇宙線加速に関わる理論的課題、ガンマ線天文学 ~日本の戦略、2010年11月16日、東京大学宇宙線研究所
- ③ 高原文郎, EGRETからFermiへ— 理論的課題、日本天文学会春季年会、2010年3月25日、広島大学
- ④ F. Takahara, Buneman and ion two-stream instabilities in the foot of Collisionless shocks, Kinetic Modeling of Astrophysical Plasmas, Oct. 5-9, 2008 Cracow, Poland