

(様式 3)

平成 25 年度学融合推進センター学融合研究事業 研究成果報告書

研究テーマ名称	自然界の様々なスケールに現れる高エネルギージェット現象の解明
応募事業区分	事業枠①(A)「戦略的共同研究 I」
申請代表者氏名	板倉数記

○ 研究状況報告

本研究テーマである、様々なスケールにおける高エネルギージェット現象の統一的理解が可能かどうかを見極めるという目標のためには、まずそれぞれが行っている研究の相互理解を深める必要がある。本テーマの研究グループの構成は3つの研究機関で異なる研究活動に従事していた研究者からなり、8月に採択されて以降、「高エネルギージェット現象」というキーワードの下で、互いの研究成果を見せ合い、刺激を与え合った。初年度は時間的な制約もあり、具体的な共同研究への発展はないが、互いの議論を通じて、2年度より取り掛かるべきテーマが徐々に見えつつあるのが現状である。その一つを具体的に挙げると、マグネターにおけるバースト現象が、太陽で起こっている爆発現象、より詳細には磁気再結合現象によって本質的に理解できるという可能性を、強磁場中での素粒子反応という新しい知見をとりこみながら吟味するというテーマは、本研究テーマに最適なもののひとつであるという認識に至っている。

○ 当該事業年度において達成された研究成果・今後の展望等

具体的な共同研究の可能性を模索する中で、それぞれが「高エネルギージェット現象」に関係する研究を行ってきた。以下に挙げる成果を得ている。

1. 宇宙ジェットの性質について

- ・特殊相対論的輻射磁気流体計算を用いて輻射によるジェットの形成・加速機構を調べた。
- ・我々は相対論的ジェットの三次元的な安定性について調べる研究を行っている。平成 25 年度は、一様媒質中を伝搬する相対論的ジェットの三次元計算を行い、非軸対称性に起因した Rayleigh-Taylor 不安定性が相対論的ジェットの境界で成長することがわかった。次年度は、この不安定性と速度シアーにともなう Kelvin-Helmholtz 不安定性の成長する条件を明らかにすることでジェットの三次元的な安定性の解明に迫ることを目指す。

2. 高エネルギーバースト現象

- ・中性子星と中性子星などの連星が融合する際に発生するバーストの電磁氣的性質を調べ、同時に放出される重力波を観測するための補助的な役割を果たすことを吟味した。

3. 磁気再結合数値シミュレーション

(様式 3)

## 平成 25 年度学融合推進センター学融合研究事業 研究成果報告書

磁気再結合は粒子の非ジャイロ運動や粒子・波動相互作用など微視的な作用がトリガーとなって引き起こされる現象であるが、他方、磁気再結合が起因して磁場のトポロジー変化や粒子の加速・加熱による粒子輸送(ジェットも含む)など巨視的な現象が引き起こされる。これまで磁気再結合の微視的機構解明のため、運動論的アプローチから電磁粒子シミュレーションなどを行い、また、微視から巨視までの統一的な磁気再結合機構の理解のため、多階層シミュレーションモデルを構築してきた。そこで平成 25 年度は、磁気再結合における微視的効果と巨視的効果の相互作用を系統的に調べるため、また、磁気再結合によるジェット形成と粒子加速の機構解明に取り組むため、それぞれのシミュレーションモデルを発展させた。

## 4. 超強磁場中の新奇現象

非常に強い磁場中では真空中では起こらないような素粒子素過程が可能になる。最近調べているのは、真空中では 2 光子への崩壊と 1 光子と電子陽電子対への崩壊 (ダリツ崩壊) が主である「中性パイ中間子」が、強磁場中で示す新しい崩壊についてである。新しい崩壊モードは、磁場中で 1 光子を伴わずに電子陽電子対に崩壊するもので、強磁場中ではこの新しい崩壊モードが主要な寄与になり得る。マグネターの様な非常に強い磁場がある環境でもし中性パイ中間子が生成したならば、この崩壊モードが効くはずである。そのような現象論的な考察も現在行っている。

## 5. 宇宙初期における非平衡現象

宇宙初期における膨張宇宙の進化を非平衡過程として扱う問題は、高強度場の物理を扱う形式によく似ており、互いに学ぶべき点が多い。本研究では、レプトン数の非対称性の生成過程を Kadanoff-Baym 方程式という非平衡過程の 2 点相関関数の時間発展を扱う形式を用いて調べた。その他にも、宇宙初期における元素合成に対する素粒子標準理論を超える効果の吟味や、axion という軸性スカラー粒子が磁場中で光子に転換することによって 130GeV のガンマ線が生成する可能性についての吟味を行った。

## 6. マグネター観測

これまで超強磁場の中性子星「マグネター」は、全て孤立星として見つかった。では、連星の中にマグネターは存在するか？連星の場合、伴星からの質量降着が生じ、強い磁場による磁気圏があれば、物質との角運動量のやりとりによりマグネターの自転が極めて遅くなると予想できる。X 線衛星「すざく」を用い、これまでに観測された中で最も自転が遅い自転周期 5.4 時間の天体 4U 1954+319 を観測した。マグネター級の磁場がなくても説明可能なものの、それでも球対称降着と  $10^{13}$  Gauss ほどという、過去に知られている X 線連星中の中性子星よりも強い磁場の天体の可能性が示唆され、マグネターを含む中性子星、および X 線連星の進化に新しい研究分野の存在を示している。

(様式 3)

平成 25 年度学融合推進センター学融合研究事業 研究成果報告書

○ 本研究を基に発表した論文と掲載された雑誌名等のリスト (論文があれば添付)

以下は、採択の 8 月以降に発表された論文である。

H. Nagakura, K. Hotokezaka, Y. Sekiguchi, M. Shibata and K. Ioka, "Jet Collimation in the Ejecta of Double Neutron Star Mergers: A New Canonical Picture of Short Gamma-Ray Bursts," *Astrophys. J.* 784 (2014) L28, [arXiv:1403.0956 [astro-ph.HE]].

K. Kohri, M. Koike, Y. Konishi, S. Ohta, J. Sato, T. Shimomura, K. Sugai and M. Yamanaka, "Big-bang nucleosynthesis through bound-state effects with a long-lived slepton in the NMSSM," arXiv:1403.1561 [hep-ph]

M. Yamanaka, K. Kohri, K. Ioka and M.M. Nojiri, "130GeV gamma-ray line through axion conversion," arXiv:1310.3474 [astro-ph.CO].

S. Iso, K. Shimada and M. Yamanaka, "Kadanoff-Baym approach to the thermal resonant leptogenesis," arXiv:1312.7680 [hep-ph].

T. Enoto, et al. "Spectral and Timing Nature of the Symbiotic X-ray Binary 4U 1954+319: The Slowest Rotating Neutron Star in an X-ray Binary System", arXiv:1404.0134