

# 論文審査の結果の要旨

氏名 米田浩基

本論文は9章からなる。第1章は序論であり、本論文の動機と構成を示している。第2章では本論文の背景であるガンマ線連星について、これまでに得られた観測的知見と関連する物理過程を概説している。第3章では、本論文で使用した衛星搭載 X 線及びガンマ線観測装置について概略を述べている。第4章では、本論文の主題であるガンマ線連星 LS 5039 の硬 X 線帯域観測データについて詳細を述べ、そのスペクトル解析の方法と結果を示している。第5章では前章のデータについて周期解析を行い、硬 X 線帯域でパルサーを探索した結果について述べている。第6章では LS 5039 の GeV ガンマ線観測データについて詳細を述べ、そのスペクトル解析の結果を示している。第7章では前章までに得られた観測結果に基づき、LS 5039 の非熱的放射機構について基礎的なモデル化を行い、第8章ではさらに斬新な仮説を導入することで LS 5039 の包括的な描像について議論している。最後に第9章では結論を述べている。また、付録 A では第5章で採用した周期解析の手法について詳細を述べている。

ガンマ線連星は、その非熱的放射が TeV 帯域まで及ぶことが近年になって発見された、比較的新しい種類の天体である。それを構成するコンパクト星の正体および放射機構は、盛んに議論されているものの解明に至っておらず、高エネルギー天体物理学における謎の一つである。LS 5039 はガンマ線連星の中で最も明るく多波長での調査が進んでいる天体であるが、最近になって、過去の MeV 帯域データの再解析からこの帯域の非熱的放射が卓越していることが新たに判明し、放射モデルの抜本的修正を迫られている。本論文は、LS 5039 の硬 X 線及び GeV ガンマ線帯域における新たな観測データから観測的知見をさらに深め、このガンマ線連星の正体と複雑な放射機構を包括的に明らかにしようと試みたものである。

論文提出者はまず、NuSTAR 衛星で観測した LS 5039 の一軌道周期（約 3.9 日）にわたる硬 X 線データを解析し、70 keV まで単一の放射機構で説明できることを見出した。また、同データで連星運動に変調した強度変化を確認した後、それを「すざく」衛星の過去の硬 X 線観測結果と比較した。その結果、約 9 年の時間間隔で 10% 程度の強度変動があることを明らかにした。さらに論文提出者は、「すざく」、NuSTAR それぞれのデータからコンパクト星由来の硬 X 線パルスの検出を試みた。連星運動に伴うドップラー効果を考慮した注意深い周期解析の結果、両データセットから約 9 秒の周期性を検出することに成功した。NuSTAR の結果は探索の自由度を考慮すると統計的に有意なレベルに達していないが、もしこの周期性が本物であれば LS 5039 から初めてパルサーを発見したことになり、同時にコンパクト星の正体が中性子星であるという強い制限を与えることになる。また GeV ガンマ線帯域においては、約 11 年にわたる Fermi 衛星の観測デー

タを用いた高精度解析を行い、軌道位相に依存したスペクトルの変化を確認すると共に、GeV 帯域で 2 つの放射成分が存在することを明らかにした。以上のように、論文提出者は LS 5039 に関し多くの観測的知見をもたらし、その理解の深化に貢献している。

上記の観測結果と MeV 帯域の先行研究の結果を合わせることで、論文提出者は LS 5039 の非熱的放射モデルを構築した。まず、仮定を極力排除した基礎的なモデルから放射領域の物理量を制限することを試み、1) MeV 放射は X 線と異なる加速、放射領域を起源とする、2) MeV 放射の元となる加速機構は極めて効率が良く、直接加速である可能性が高い、という結論を導いた。これらと第 5 章で見出したパルサー周期及びその変化率を考慮すると、LS 5039 のコンパクト星は約  $10^{15}$  G の強磁場を持つマグネターである可能性が高く、強磁場領域での磁気リコネクションが MeV 放射の起源であるという仮説を立てている。細部の解釈については課題を残しているものの、本仮説は LS 5039 の keV から TeV にわたる広帯域非熱的放射スペクトルを定性的に説明することに成功しており、ガンマ線連星の普遍的な理解を前進させるものと評価できる。

以上本論文は、ガンマ線連星 LS 5039 の加速機構、非熱的放射機構を新しい観測データに基づき議論し、独創的な仮説を構築してガンマ線連星の理解に興味深い示唆を与えたものであり、高エネルギー天体物理学において重要な貢献をもたらしている。

なお、本論文の第 5 章を含む内容は、牧島一夫、榎戸輝揚、Dmitry Khangulyan、高橋忠幸との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。