

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 19 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540304

研究課題名（和文）

大質量連星系高エネルギー放射への新しいアプローチ

研究課題名（英文）

New approach to study of high-energy emission mechanisms of HMXBs

研究代表者

河内 明子（KAWACHI AKIKO）

東海大学・理学部・准教授

研究者番号：70332591

研究成果の概要（和文）：ガンマ線に至る非熱的放射が観測されている大質量星連星系、特に PSRB1259-63 の系に対し、流体シミュレーションを用いた新しい放射機構モデルを完成させた。また、大質量星円盤の軌道位相変化を近赤外線での観測で観測し、モデルと比較した。

研究成果の概要（英文）：We have introduced a 3-d hydrodynamic simulations in modeling a Gamma-ray binary, PSRB1259-63 to study emission mechanisms. Our NIR observations of the system constrain the model of the disk of the massive star.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：高エネルギー宇宙物理、シミュレーション、赤外線観測

1. 研究開始当初の背景

(1) Be 星とパルサー PSRB1259-63 の連星系（以下、PSRB1259）からは、特徴的な強度変動を示すガンマ線放射が確認され、高エネルギー天体として様々な放射モデル計算が提案されていた。この系では大質量星の恒星風、パルサーからのパルサー風という粒子 outflow 同士の位置関係が連星軌道によって変化し、衝突・相互作用する。しかし、もう一つの要素、強度変動の鍵を握ると示唆されていた Be 星の「ガス円盤」に対しては古いモデルをそのまま使っていた。また、放射計算は動的ではなく、「スナップショット」的な放射機構の解析のみであり、多くの変数

が介在していた。

(2) ガス円盤にパルサーが突入し、相互作用するような放射モデルが提案されていたが、ガス円盤の変動の観測データはなかった。

2. 研究の目的

(1) Be 星の最新の研究成果をモデルに導入し、3D 流体シミュレーションで連星系の位相変動によるガス円盤・プラズマ流体の相互作用を調べる。このデータを基にそのまま放射光度曲線を計算し、観測される光度曲線と系の物理量を比較検討できる枠組みを作る。

(2) ガス円盤の変動を赤外線・光学で観測し、

- 擾乱の様子をモデルと比較する。
- (3) 高エネルギー放射するいくつかの連星系に枠組みを応用し、放射の条件等の検討を行う。

3. 研究の方法

- (1) 恒星・恒星の連星系用に開発された3D流体シミュレーション (SPH 法) を基礎に、PSRB1259 の系の変数を入れ、最適化・調整を行った。放射機構計算のツールをシミュレーションデータに組み合わせ、観測の光度曲線との比較、物理的な変数への制限・検討を進めた。
- (2) 近赤外線、光学観測が可能な観測所に PSRB1259 の観測提案を提出した。近赤外線は南アフリカの IRSF に観測採択され、興味ある軌道位相の時期 (5 週間) の観測を行った。同時期に提案していた光学観測については不採択となった。
- (3) 同様の高エネルギー放射変動を示す連星系候補天体について、近赤外線の観測を行った。また、シミュレーションのモデル化を進めた。

4. 研究成果

- (1) シミュレーション枠組みの作成

PSRB1259 についてガス円盤だけの簡易なモデルから、パルサー風、Be 星の恒星風を組み合わせたより現実的なモデルを構築し、シミュレーションすることができるようになった。この最初の結果は論文[1]にまとめられており、パルサー風によって Be 星のガス円盤が大きく擾乱されることが初めて示唆された。また、複数流体の衝突により、粒子加速領域である「不連続面」の形成が、系の変数でどう変化するか調べた。

- (2) 高エネルギー放射光度曲線の計算

Be 星の新しい観測結果を取り入れ、モデルを改良。シミュレーションした流体の密度・圧力 (エネルギー) 分布からシンクロトン・制動放射・逆コンプトン等の非熱的放射を計算することによって、放射量の時間変化、つまり光度曲線を計算した (論文[2])。

図 1

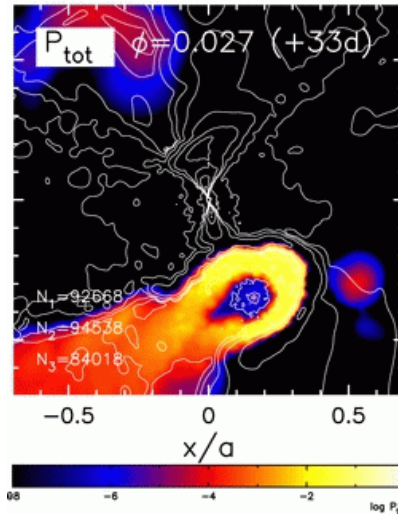
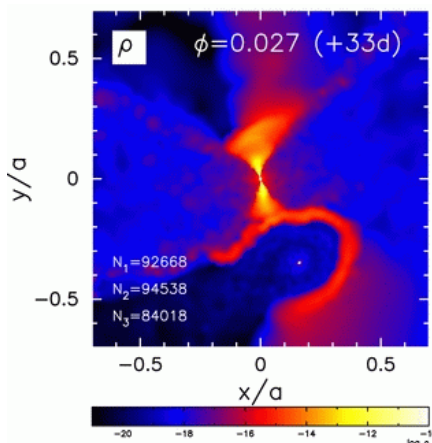


図 1 上) 近星点 (2つの星が最も近づく位相) 33 日後の物質密度分布。白い点がパルサーの位置。ガス円盤に空洞を作っている。

図 1 下) 同じ位相での圧力分布。密度分布で見える「空洞」内の圧力が高いことが分かる。

図に示した軌道位相の辺りでは非熱的放射強度が大きく、光度曲線にピークを作っている。このピークは、ガス円盤にパルサーが入り込んでできる「空洞」が、粒子加速に寄与して起こる。「空洞」が形成される時期や条件は円盤のパラメーターに依っている。

観測結果でも強度のピークは近星点からずれた時期に位置しており、シミュレーションの様な加速機構が発生していることが示唆される。

- (3) 近赤外観測 (PSRB1259)

シミュレーションの結果、ガス円盤の大きな擾乱・変動が予測されたため、円盤の変動を直接観測した。南アフリカの近赤外観測施設 (IRSF) にて、2010 年頭の変動がないとされる時期に数回、年末の近星点前後の期間、5 週間の観測を行い、JHKs の測光観測および、偏光観測データを取得した。

近星点前からの 3 色同時の徐々な増光、および赤化を確認した。ガス円盤を剥ぎ取る効果は頭には見られなかった。解析結果については研究会で発表を行い (学会発表[1])、現在、最終解析と並行してシミュレーションからの計算との比較を行なっている。

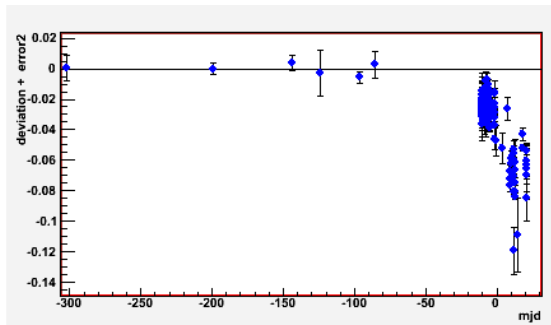


図2: PSRB1259のJバンド観測測光等級の相対変動値。横軸は近星点をゼロとした日付。縦軸下方が明るくなる方向。(preliminary)

(4) 近赤外線観測 (他の連星系)

観測時は連星系であることがまだ確定していなかったガンマ線天体 HESSJ0632+057 の観測を行った。22年度は近星点前の時期、23年度末に追加で近星点時期を観測した。前半の観測解析から近星点前の時期の変動はなく、軌道離心率が大きいことが示唆される。後半データは解析途中である。

(5) ガンマ線衛星データの観測 (PSRB1259)

ガンマ線衛星 Fermi の PSRB1259、近星点近傍の観測データを用い、光度曲線、スペクトル、検出の信頼度等を議論し、学会発表を行った(論文[15])

(6) 研究会 (国際研究会) の開催

本科研費共同研究者が組織委員となり、21年度、『Workshop on Circumstellar Interaction in Massive Binaries』を企画し、それぞれ基調講演を行った(学会発表[15, 16, 17])

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 17 件)

(査読有 計 14 件)

- (1) 岡崎、長滝、内藤、河内、早崎、Owocki、高田;
“Hydrodynamic Interaction between the Be Star and the Pulsar in the TeV Binary PSR B1259-63/LS 2883”; Publication of Astronomical Society of Japan; 63 巻; (2011); pp. 893-901
- (2) 高田、岡崎、長滝、内藤、河内、Lee、森、早崎、山口、Owocki;
“Modeling high-energy light curves of the PSR B1259-63/LS 2883 binary based on 3-D SPH simulations”; The Astrophysical Journal; 750 巻; (2012); ID70

(3) 村上、北本、河内、中森;
“Detection of X-Ray Emission from the Unidentified TeV Gamma-Ray Source TeV J2032+4130”; Publication of Astronomical Society of Japan; 63 巻; (2011); S873-S878

(4) Carciofi、Bjorkman、Otero、岡崎、Stefl;
“The First Determination of the Viscosity Parameter in the Circumstellar Disk of a Be Star”; Astrophysical Journal of Letters; 744 巻; (2012); L15-18

(5) Madura、Gull、Owocki、Groh、岡崎、Russel;
“Constraining the absolute orientation of eta Carinae’s binary orbit:a 3D dynamical model for the broad [Fe III] emission”; Monthly Notice of Royal Astronomical Society; 420 巻; (2012); pp. 2064-2086

(6) 早崎;
“Radiatively inefficient accretion flows induced by gravitational-wave emission before massive black hole coalescence”; Astrophysical Journal of Letters; 726 巻; (2011); L14-17.

(7) Moritani、…、岡崎 敦男、他;
“High-dispersion spectroscopic monitoring of the Be/X-ray binary A0535+26/V725 Tau-I. The long-term profile variability”; Monthly Notices of Royal Astronomical Society; 405 巻; (2010); pp. 467-476.

(8) 早崎公威、Ueda、Isobe;
“Mass Function of Binary Massive Black Holes in Active Galactic Nuclei”; Publication of Astronomical Society of Japan; 62 巻; (2010); pp. 1351-1360.

(9) 早崎公威;
“Radiatively Inefficient Accretion Flows Induced by Gravitational-wave Emission Before Massive Black Hole Coalescence”; The Astrophysical Journal Letters; 726 巻; (2011); L14-17.

(10) 吉越、…、河内明子、…、内藤、…他;
“Reanalysis of Data Taken by the Cangaroo 3.8 Meter Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope: PSR B1706-44, SN 1006, and Vela”; The Astrophysical Journal; 702 巻; 2009; 631-648.

(11) 林、…、河内、…、内藤、…他；“Search for VHE gamma rays from SS433/W50 with the CANGAROO-II telescope”；Astroparticle Physics；32 卷；(2009)；112-119.

(12) 木内、…、河内、…、内藤、…他；“CANGAROO-III Search for TeV Gamma Rays from Two Clusters of Galaxies”；The Astrophysical Journal；704 卷；(2009)；240-246.

(13) 早崎、岡崎；“A new approach for probing circumbinary disks”；The Astrophysical Journal Letter；691 卷；(2009)；5-8.

(14) 早崎；“A new mechanism for massive binary black hole evolution”；Publications of Astronomical Society of Japan；61 卷；(2009)；565-574.

(査読無 計 3 件)

(15) 森、河内、長滝、高田；“GeV Gamma-ray Emission from the Binary PSR B1259-63/SS2883 During the 2010 Periastron Passage”；2011 Fermi Symposium proceedings；(2012)；in printing.

(16) 内藤統也、岡崎敦男、Nagataki、河内明子、早崎公威；“3D Numerical Simulations of the Binary System PSRB1259-63/SS2883 and High-energy Emission from the Disk-Wind interaction Region”；ASP Conf. Series, “High Energy Phenomena in Massive Stars”；422 卷；(2010)；69-76.

(17) 岡崎敦男、Nagataki、内藤統也、河内明子、早崎公威、Owocki、Takata；“Interaction between the Be Star and the Compact Companion in TeV gamma-ray Binaries”；IAU Symp. “Active OB Stars: Structure, Evolution, Mass loss and Critical Limits”；272 卷；(2010)；6280.

[学会発表] (計 21 件)

(1) 河内；『ガンマ線連星系の近赤外観測』；IRSF 共同利用研究会；2012 年 3 月 28 日；名古屋大学 (名古屋市)

(2) 岡崎；“Be stars, Be disks & models in the context of explaining the BeXRB phenomenon” (招待講演)；Be/X-ray Binary Workshop 2011；2011 年 7 月 13 日；

Valencia (Spain)

(3) 河内、岡崎；『超高エネルギーガンマ線連星系の高エネルギー放射モデル』；学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第 3 回シンポジウム；2011 年 7 月 15 日；THE GRAND HALL (品川区)

(4) 岡崎；“Dynamics of circumstellar disks in Be-star binaries” (招待講演)；Workshop on Circumstellar Dynamics at High Resolution；2012 年 2 月 29 日；Foz do Iguassu (Brazil)

(5) 岡崎；“Accretion vs. Pulsar Wind Models for the TeV Gamma-ray Binary LS I+61 303”；日本天文学会 2011 年秋季年会；2011 年 9 月 21 日；鹿児島大学 (鹿児島市)

(6) 早崎；A Road to Supermassive Black Hole Merger；Workshop on “Gravitational Wave Astrophysics, Binary Supermassive Black Holes, and Galaxy Mergers”；2011 年 8 月 1 日；Lijiang (China)

(7) 岡崎；Modeling gamma-ray binaries with Be stars”；Be/X-ray Binary Workshop 2011；2011 年 7 月 14 日；Valencia (Spain)

(8) 早崎；『Swift J164449.3+573451 の X 線光度曲線のダブルピークの理論的解釈』；日本天文学会春季年会；2012 年 3 月 20 日；龍谷大学 (京都)

(9) 早崎；巨大ブラックホール合体前における降着円盤からの電磁波放射 (招待講演)；第 9 回 DECIGO ワークショップ；2010 年 11 月 24 日；国立天文台.

(10) 早崎；巨大ブラックホール合体時に放射される重力波の予兆光；第 23 回理論懇話会シンポジウム；2010 年 12 月 20 日；京都大学基礎物理研究所.

(11) 岡崎；Simulations of accretion in binaries formed by an OB star plus a compact object；Workshop on “Variable Galactic Gamma-Ray Sources”；2010 年 12

月 1 日; Heidelberg (Germany).

(12) 岡崎; Interaction between the Be star and the compact companion in TeV gamma-ray binaries; 日本天文学会秋季年会; 2010 年 9 月 23 日; 金沢大学.

(13) 河内; IceCube での Calibration; 宇宙ニュートリノ」研究会; 2011 年 3 月 9 日; 東京大学宇宙線研究所.

(14) 河内、稲場、他; IceCube 実験 47: 絶対較正された光検出器を用いた水中での光の伝搬の研究 3; 日本物理学会春の年会; 2010 年 3 月 22 日; 岡山大学

(15) 河内; A review of multi-wavelength observations of the high-energy binaries; Workshop on Circumstellar Interactions in Massive Binaries; 2010 年 3 月 17 日; 北海道大学.

(16) 岡崎; Numerical simulations of gamma-ray binaries; Workshop on Circumstellar Interactions in Massive Binaries; 2010 年 3 月 17 日; 北海道大学.

(17) 早崎; “A new approach for probing binary supermassive black holes”; Workshop on Circumstellar Interactions in Massive Binaries; 2010 年 3 月 17 日; 北海道大学.

(18) 岡崎; 3-D Numerical Simulations of Colliding Winds in eta Car & WR140; XXVIth IAU General Assembly, Joint Discussion 13; 2009 年 8 月 13 日; Rio de Janeiro (Brazil).

(19) 岡崎; Wind accretion in the gamma-ray binary LS 5039; 日本天文学会 2009 年秋季年会; 2009 年 9 月 14 日; 山口大学.

(20) 早崎; A new approach for probing a massive binary black hole; Massive black hole binaries and their coalescences in Galactic Nuclei”; 2009 年 7 月 24 日; Kavil Institute for Astronomy & Astrophysics (中国北京市).

(21) 早崎; 巨大ブラックホールの起源: 原始

バイナリーブラックホールとその宇宙論的進化; 日本天文学会 2009 年秋季年会; 2009 年 9 月 14 日; 山口大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河内 明子 (KAWACHI AKIKO)

東海大学・理学部・准教授

研究者番号: 70332591

(2) 研究分担者

内藤 統也 (NAITOU TSUGUYA)

山梨学院大学・経営情報学部・教授

研究者番号: 50319084

岡崎 敦男 (OKAZAKI ATSUO)

北海学園大学・工学部・教授

研究者番号: 00185414

早崎 公威 (HAYASAKI KIMITAKE)

京都大学・大学院理学系研究科・研究員

研究者番号: 30374218

長瀧 重博 (NAGATAKI SHIGEHIRO)

京都大学・基礎物理学研究所・准教授

研究者番号: 60359643