

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19540307

研究課題名 (和文) 未同定高エネルギー天体の多面的研究

研究課題名 (英文) Multifaceted study of unidentified high-energy sources

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：未同定高エネルギー天体や異なる放射機構の分布が明確に分かれている超新星残骸に対して電波観測を行い、周辺物質分布の高エネルギー放射との相関や、進化に与える影響などを詳細に検討した。また、高エネルギー天体の新しいカテゴリーである大質量星の連星系に対して、大型星ディスク構造の3次元動的シミュレーションを基礎にした新しいモデルの開発を行い、放射機構の時間変動やエネルギー収支に対する考察を進めた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19年度	1,700,000	510,000	2,210,000
20年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
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：宇宙物理学、ガンマ線天文学、電波天文学

1. 研究開始当初の背景

10^{12} eV (TeV) という超高エネルギーガンマ線による天体観測は、大気チェレンコフ光を利用した間接的観測法の確立により、1990年代から本格的に始まった。初期に発見されたTeVガンマ線源は、主に我々の銀河系内の回転駆動型パルサーや若い超新星残骸であり、強い非熱的X線放射を伴う天体だった。従って、パルサー風や超新星爆発によって加速された高エネルギー電子がシンクロトロン機構等でX線を放射する一方、同じ高エネルギー電子が宇宙背景放射等の低エネルギー光

子を散乱する、逆コンプトン散乱によってTeVガンマ線が生成されると解釈された。しかし粒子加速機構を考えると、高エネルギー天体では電子と同様に陽子も加速されていることが期待され、陽子と核子(ハドロン)衝突で生成される中性パイオン崩壊等によって陽子起源でも高エネルギーガンマ線が生成される。実際、周囲の分子雲との相互作用が示唆されている超新星残骸RX J1713.7/3946においては、強いX線は高エネルギー電子、TeVガンマ線は高エネルギー陽子放射という解釈も提案されている。2004年からの大規模な銀河面探査を開始

したHESS チェレンコフ望遠鏡は、10 数個もの「他波長で未同定な」天体を発見し、このエネルギー領域での天体数をほぼ2 倍とした。これらの新しく発見されたTeV 天体の多くはX 線放射が弱く、TeV 放射に高エネルギー電子が大きく寄与しているというシンプルな描像は大幅な変更を迫られている。他の波長・エネルギーで対応天体が確定しない、未同定の高エネルギー天体については、主にX線を中心とした追観測が行われていたが、新しいカテゴリーの天体として様々な波長で放射機構を探る必要があった。さらに、地球に到来する宇宙線（主成分は陽子）の内、100TeV までのエネルギー領域の物は我々の銀河系内起源とされ、加速天体は長年の謎である。このような背景から、高エネルギー陽子が加速されている確定的な証拠探し、その様な天体の発見は、超高エネルギー天体研究分野での基幹の一つとなっている。

2. 研究の目的

X 線強度、ガンマ線強度比から放射機構による違いを検討するため、X 線強度分布が弱い、あるいは分布に特徴を持つガンマ線高エネルギー天体に対し、電波領域の分子雲輝線観測により、周囲物質の密度を詳細に把握する。その上で、計算モデルと合わせて粒子加速や放射機構を議論することを目的とする。また、典型的なガンマ線天体カテゴリーから外れた高エネルギー天体、大質量星が関与する連星系に対し、新しいモデルアプローチを行い、高エネルギー放射天体カテゴリーの包括的な描像を得ようとした。「研究の背景」でも述べたように、宇宙線起源陽子加速の寄与を検証する本課題の成果は宇宙線起源解明の手がかりも与えてくれる。研究体制としては、ガンマ線観測、電波観測、高エネルギー放射モデル計算、と異なる分野を専門とする研究者を集め、学際的な広がり、今後の新領域に発展する可能性も期待した。

3. 研究の方法

TeV ガンマ線放射と分子雲の相関の有無を観測的に明らかにする、ミリ波でのマッピング観測、TeV ガンマ線領域での時間変動追観測および新規候補天体のパイロット的観測、というエネルギーバンドのいわば両端から抑える観測と同時進行で、モデルを進展させ検証していくことを目指した。研究遂行に際しては、代表者河内が研究統括および超高エネルギーガンマ線、電波観測/データ解析、観測装置の開発、分担者岡が電

波観測/データ解析、そして分担者内藤が放射モデルの開発にそれぞれ責任を持ち作業を進めた。観測データをモデルに反映させ、さらにモデルの予言から新規観測を行うような緊密なフィードバックを掛けることを目指した。これまで河内/内藤、内藤/岡はそれぞれ観測データと理論を併せて、新しい天体の解釈を打ち出す共同研究で成果を挙げ、同様な研究遂行を行った。

4. 研究成果

- 1) 未同定高エネルギー天体 TeVJ2032+4130 を観測対象に、野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて分子雲観測を行った。高エネルギー放射領域を中心に周辺を 12C0 (J=1-0) 輝線で探索した結果、近傍・小型の分子雲を発見した。放射機構およびパラメーターとして標準の解釈は難しいため、X 線観測の結果と共に計算を行っており、現在論文の準備中である。

2)

超新星残骸 RCW86 の高エネルギー放射機構を調べるため、周辺分子雲の観測を行った。シェル型リムを持つこの超新星残骸では、リム中の非熱的/熱的 X 線放射分布が異なった構造を持つ。超新星爆発の膨張波と周辺物質の相互作用が、そのような局所的な構造の原因であるとの仮説を元に、国立天文台 ASTE 電波望遠鏡(12C0 J-3-2 輝線)、およびオーストラリア MOPRA 電波望遠鏡(12C0, 13C0 J=1-0)の観測を行った。複数輝線による観測結果の比較から、物質密度、opacity の分布を整理し、これまで観測された X 線、電波連続波分布と超新星残骸との相関を発見すると共に、超新星進化のシナリオについて推論を展開することができた。結果は天文学会で発表され、現在、論文の執筆中である (図 1)

- 3) パルサーと大型星(スペクトル型は Be) の連星系、PSR1259-63/SS2883 に対し、大型星ディスク構造のシミュレーションを基礎にした新しいモデルの開発に参加した。周期的な光度変化を行う、特殊な高エネルギー天体のカテゴリーであり、多波長での詳細な変化をシミュレーションを使ったアプローチで解明することを目的としている。計算の枠組み作成が進行し、国際会議、天文学会での発表を行った (図 2)。シミュレーションから広域放射スペクトルの変化を調べることができることが分かり、今後はパルサー側のプラズマ流も取り込んだシミュレーションを行う予定である。また、連星周期位相で、大型星のディスクがど

のように変動するかが、このモデルの鍵になっており、光学、UV、赤外の観測を準備している。

- 4) オーストラリアの高エネルギーガンマ線観測施設、CANGAROO に設置した小型の光学望遠鏡、CARROTS を整備し、強度変動天体の同時観測を目的とした稼働準備を進めた。一通りの整備は終了し、稼働の確認も兼ねて、限界等級の算出、大気減光の調査などの基礎データを取得することができた。結果は東海大学石岡の修士論文にまとめられた。

- 5) ガンマ線未同定天体の、CANGAROO ガンマ線観測施設を用いた追観測に参加し、データ解析の結果、広域スペクトルの取得とその解釈となるモデル計算に寄与した。

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 7 件) 全て査読あり

- 1) "The Suzaku observation of RCW86 northeastern shell", Yamaguchi, Koyama, Nakajima, Bamba, Yamazaki, Vink, Kawachi, Publication of Astronomical Society Journal Japan, 60, p. S123-S130, (2008)
- 2) "Physical and chemical properties of massive clumps in the AFGL 333 cloud" Sakai, Oka, Yamamoto, Astrophys. Journal, 662, p. 1043-1051, (2008)
- 3) "CANGAROOIII search for gamma rays from Centaurus A and the omega Centauri region", Kabuki, ..., Kawachi, ..., Naito, et al., Astrophys. Journal, 668, p. 968-973, (2007) (全 48 名中河内 15 番内藤 27 番目)
- 4) "Aperture Synthesis Imaging of a High-Velocity Compact Cloud near the Galactic Center", Oka, Hasegawa, White, Sato, Tsuboi, and Miyazaki et al., Publication of Astronomical Society Journal Japan, 60, p. 429-434, (2008)
- 5) "Observation of an extended VHE gamma-ray emission from MSH15-52 with CANGAROOIII", Nakamori, ..., Kawachi, ..., Naito, et al., Astrophys. Journal, 677, p. 297-305 (2008)

(全 49 名中河内 20 番内藤 29 番目)

- 6) "Very high energy gamma-ray observations of the Galactic Plane with the CANGAROO-III telescopes", Oishi, ..., Kawachi, ..., Naito et al., Astrophysics Journal, 30, p. 47-53 (2008) (全 49 名中河内 20 番内藤 29 番目)

- 7) "Observation of very high energy gamma-rays from HESS J1804-216", Higashi, ..., Naito, ..., Kawachi et al., Astrophys. Journal, 683, p. 957-966 (2008) (全 48 名中河内 20 番内藤 7 番目)

[学会発表] (計 7 件)

- 1) "ASTEによる銀河系中心領域 CO J=3-2 広域観測 (II)", 岡朋治、性全謙仁、永井誠、亀谷和久、田中邦彦

- 2) "銀河系中心領域の高速度コンパクト雲の物理状態", 永井誠、平畑武文、岡朋治、亀谷和久、田中邦彦

- 3) "Sagittarius B1 領域の膨張 CO Expanding Arc と X線中性鉄輝線ソース周辺の SiO シェル", 田中邦彦、岡朋治、永井誠、亀谷和久

以上三つは日本天文学会 2008 年秋季年会、2008 年 9 月 11 日、岡山理科大学

- 4) "3D numerical Simulations of the Binary System PSRB1259-63/SS2883 and High energy Emission from the Disk-Wind Interacting Region", Naito,

Workshop: High energy Phenomena in Massive Stars

2009 年 2 月 2 日, Jaen, Spain

- 5) "コンパクト星を含む連星系からの TeV ガンマ線放射",

内藤統也、2009 年 3 月 10 日、

宇宙線研究所共同利用研究会「高エネルギーガンマ線天体研究会」、東大宇宙線研究所

- 5) "TeV ガンマ線連星 B1259-63/SS 2883 からの高エネルギー放射モデル II: 潮汐相互作用を考慮した場合の非熱的放射",

内藤統也、岡崎敦男、長滝重博、河内明子、早崎公威、

2009 年 3 月 26 日

- 6) "ASTE/MOPRA 電波望遠鏡による SNR RCW86 の周辺物質の探査",

河内明子、横江悠子、岡朋治、馬場彩、山崎了、山口弘悦

2009 年 3 月 27 日

以上 2 つは日本天文学会 2009 年春季年会、大阪府立大学

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 (Naito Tsuguya)

山梨学院大学・経営情報学部・教授

研究者番号：50319084

岡 朋治 (Oka Tomoharu)

慶應義塾大学・理工学部・准教授

研究者番号：10291056

(3) 連携研究者

なし

図 1) MOPRA 電波望遠鏡による、超新星残骸 RCW86、NE シェル近傍の ^{12}CO ($J=1-0$) 輝線の強度分布。視線速度 (距離に対応する) を区切って、分布の違いを調べた。それぞれの距離で、 $\text{H}\alpha$ 輝線分布、電波連続波等、異なる分布との相関が見られた。

MOPRA observation ($^{12}\text{CO}(J=1-0)$)
Integrated for $\Delta 1$ km/s

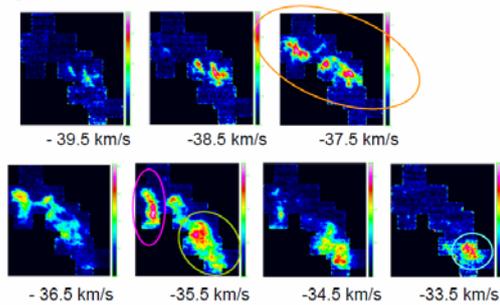


図 2) PSR1259-63/SS2883 連星系に対する 3次元動的シミュレーションの一例。Smoothed Particle Hydrodynamics コードにより、Be 星 SS2883 の周囲の柱密度分布を計算し、近星点 24 日後の様子を軌道平面上に投影したもの。パルサー通過のために、SS2883 のディスクが乱れている様子が分かる。

