

令和 6 年 5 月 23 日現在

機関番号：23401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03907

研究課題名（和文）3次元流体シミュレーションで解き明かす超高速白色矮星とIa型超新星の起源

研究課題名（英文）3-dimensional fluid simulation for the origin of hyper-velocity white dwarfs and type Ia supernovae

研究代表者

谷川 衝 (TANIKAWA, Ataru)

福井県立大学・情報センター・准教授

研究者番号：20550742

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：Dynamically-Driven Double-Degenerate Double-Detonation (D6)と呼ばれるIa型超新星の親星モデルについて大規模数値流体計算を用いて検証した。研究期間の前半には、3次元流体計算に原子核反応を組み込むことによって、D6モデルを大規模数値流体計算によって再現した。また、その特徴がIa型超新星として妥当かどうかを検証し、大枠では妥当であることを示した。研究期間の後半では、上記の計算結果を基に、D6モデルの超新星残骸段階での形状を調べた。その結果、D6モデルの超新星残骸は明るいリング状の構造を持つことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Ia型超新星は、宇宙の標準光源として利用されており、天文学において重要な地位にある。その起源を明らかにすることは、Ia型超新星をさらに精密な標準光源として利用できることにつながる。我々の研究によって、D6モデルがIa型超新星として妥当かどうかを超新星残骸を通して検証可能であることが明らかとなった。検証方法が増えることによってIa型超新星の解明に役立つため、学術的な意義は大きい。また、この結果は日本のX線望遠鏡XRISMがIa型超新星の起源を解明できることを示している。これは日本の国際的な存在感を高めることにつながるため、社会的な意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：We assess one of the most promising type Ia supernova models, Dynamically-Driven Double-Degenerate Double-Detonation (D6) model, by means of massively parallel fluid simulation. In the first half of this project, we combine nuclear reaction network with fluid simulation, and reproduce type Ia explosion along with the D6 model. Then, we show that the explosion features of the D6 model are roughly consistent with observational results of type Ia supernovae. In the last half of this project, we investigate the morphology of the D6 supernova remnant, based on the above numerical simulation. Then, we find that the D6 supernova remnant should have a bright ring structure, which other type Ia supernova models should not have.

研究分野：天文学

キーワード：Ia型超新星 白色矮星 連星 超新星残骸 中間質量ブラックホール

1. 研究開始当初の背景

Ia型超新星は、宇宙の標準光源であり、鉄族元素の主要な起源だと考えられている。それにもかかわらず、Ia型超新星の起源は明らかになっていない。爆発天体が白色矮星だということには広い同意が得られているが、その白色矮星に降着物質を供給する天体が、太陽のような生きた恒星なのか(Single degenerateシナリオ: SDシナリオ)、もう1つの白色矮星なのか(Double degenerateシナリオ: DDシナリオ)、長い論争が続いている。典型的なIa型超新星SN2011feが強くSDシナリオを制限したため、DDシナリオが優勢となった。しかし、DDシナリオにも欠点がある。Ia型超新星を起こすには2つの白色矮星の質量の和がチャンドラセカール限界質量以上である必要があるが、そのような2つの白色矮星が合体する頻度はIa型超新星の発生率を大きく下回っている。そのため、2つの白色矮星の質量の和がチャンドラセカール限界質量未満でもIa型超新星を起こすことができるDynamically-Driven Double-Degenerate Double-Detonation (D6)モデルが考案された。D6モデルはIa型超新星のモデルの1つに過ぎなかったが、これが有力なモデルとなったのは、D6モデルの副産物である超高速白色矮星が2018年に発見されたことによる。そこで研究代表者はD6モデルがIa型超新星と矛盾のない特徴を示すかどうかを数値計算によって検証することにした。

2. 研究の目的

本研究の目的は、D6モデルがIa型超新星と矛盾のない特徴を示すかどうかを検証することである。また、D6モデルの特徴を詳細に調べることによって、D6モデルの特徴を洗い出すことも目的の1つである。このようなD6モデルの特徴を用いることによって、これまで注目されていなかったIa型超新星の特徴が実はD6モデルで説明できる、ということがないかどうかについても調べる。

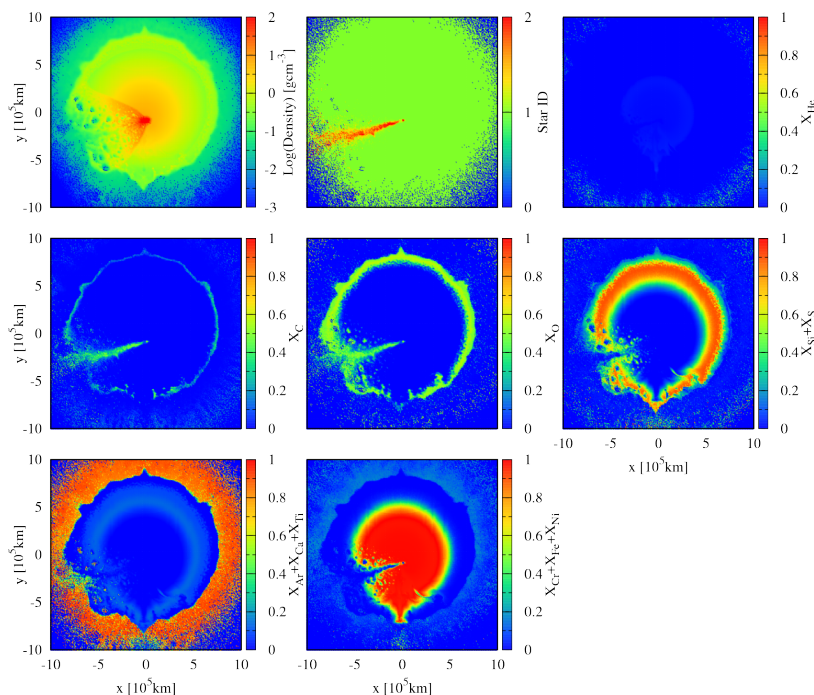


図1: モデル1の結果

以上の目的を達成するために、本研究では様々な連星白色矮星(2つの白色矮星からなる連星)でのD6モデルに対して3次元流体計算を行うことにした。それによってD6モデルはどのような多様性をもつのかを明らかにできる。また、これらの3次元流体計算の結果を改めて初期条件として、D6モデルによって起きたIa型超新星がどのような超新星残骸へと進化するのかについても調べる。銀河系をはじめとした近傍宇宙では、多くのIa型超新星残骸が見つかっている。D6モデルによって起きたIa型超新星残骸の姿を明らかにして、近傍宇宙のIa型超新星残骸と直接比較し、Ia型超新星の起源に迫ることができる。これは特に

2024年に稼働を開始した日本のX線望遠鏡であるXRISMによる観測と合わせると効果を発揮すると期待している。

3. 研究の方法

研究の目的で記述したように本研究は大きく分けて2つの段階で遂行される。1段階目では、原子核反応を組み合わせた3次元流体計算を行う。ここで用いる流体計算はSmoothed Particle Hydrodynamics法と呼ばれる方法である。この計算では、連星白色矮星のうち重い方の白色矮星(主星白色矮星)の爆発、その爆風と軽い方の白色矮星(伴星白色矮星)の相互作用を経て、爆発物が一様膨張に至るまでを追跡する。この過程で伴星白色矮星も爆発するケースもある。扱った連星白色矮星の組み合わせについて述べる。主星白色矮星は全て1太陽質量の炭素酸素白色矮星である。伴星白色矮星には様々なものを設定した。0.6太陽質量の炭素酸素白

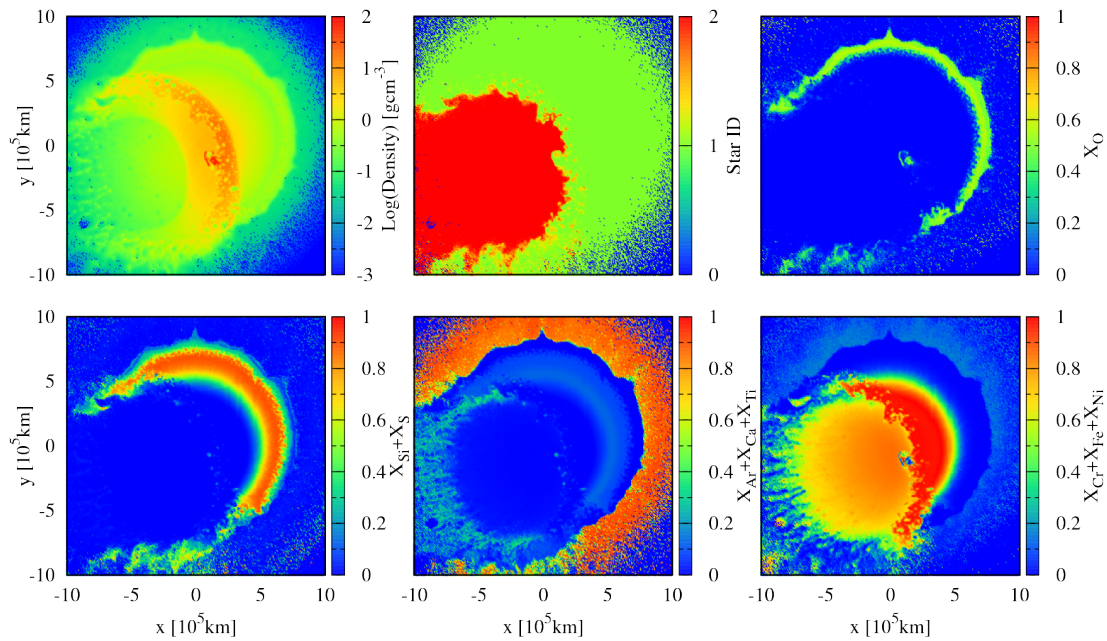


図2: モデル 2 の結果

色矮星（モデル 1）、0.45太陽質量のヘリウム白色矮星（モデル 2）、0.9太陽質量の炭素酸素白色矮星（モデル 3）、同じく0.9太陽質量の炭素酸素白色矮星（モデル 4）である。ただしモデル 4 では、伴星白色矮星の表面には0.054太陽質量のヘリウム層が存在する。

2段階目では、同じく3次元流体計算によって、爆発物が一様膨張に達した後の星間物質との相互作用を追跡し、爆発から1万年間の超新星残骸の進化を明らかにする。今回は特にモデル 1 に対してのみ超新星残骸の進化を調べた。

4. 研究成果

まずは1段階目の結果について述べる。この結果はTanikawa et al. (2018, ApJ, 868, 90; 2019, ApJ, 885, 103)にて公開済みである。まずモデル 1 の結果について述べる(図1参照)。モデル 1 では主星白色矮星のみ爆発した。そのときの爆発物の全質量は0.97太陽質量であり、Ia型超新星の光源であるニッケル56質量は0.54太陽質量である。これらはIa型超新星として典型的なものであり、このケースではD6モデルはIa型超新星に矛盾しないということが明らかになった。ただし爆発物の形状が非球対称になっていることは注目に値することである。この非対称性は伴星

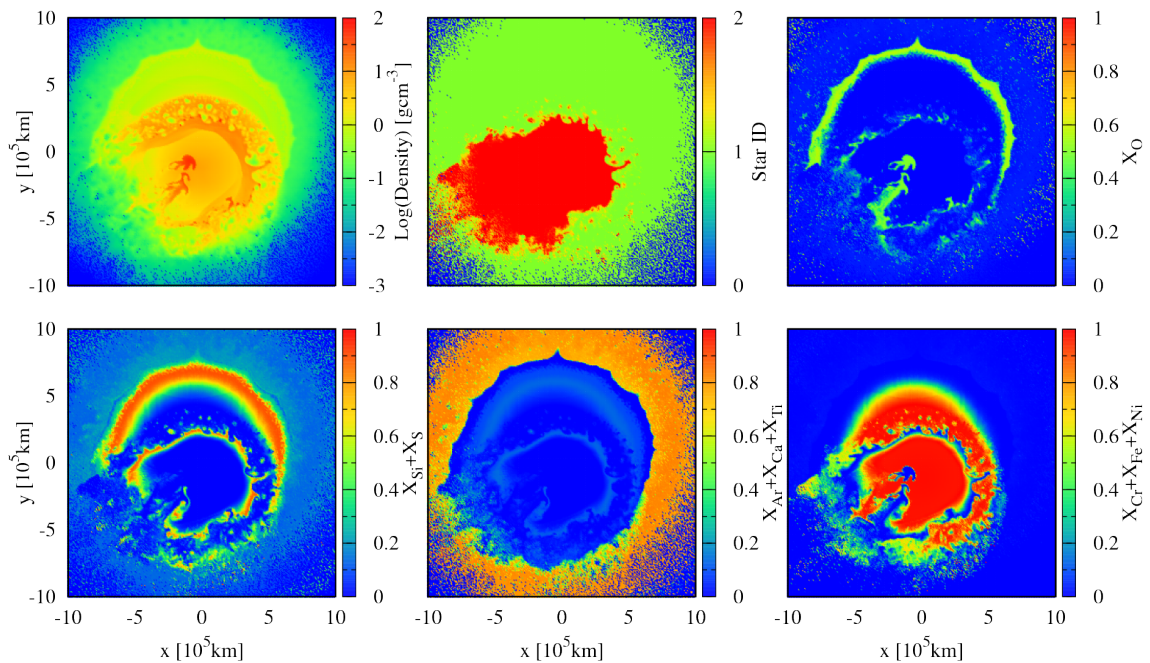


図3: モデル 4 の結果

が爆発物の障害物となることによる。この非対称性が超新星残骸の形状にどれだけ影響を与え

るのが注目点となり2段階目の研究につながることになる。モデル3についてもモデル1と同様の結果が得られた。

モデル2(図2)とモデル4(図3)では、伴星白色矮星も爆発した。これはヘリウムが着火しやすくなることによる。それぞれ爆発物の全質量が1.45、1.90太陽質量であり、ニッケル56質量が0.81、1.01太陽質量であった。ニッケル56質量だけみるとスーパーチャンドラセカールIa型超新星と似ているが、全質量があまり似ていない。他にも様々なIa型超新星のサブクラスと比較検討したが、これらと特徴の似たものは見当たらなかった。このような爆発はあるとしてもかなり稀な現象だと我々は結論づけた。

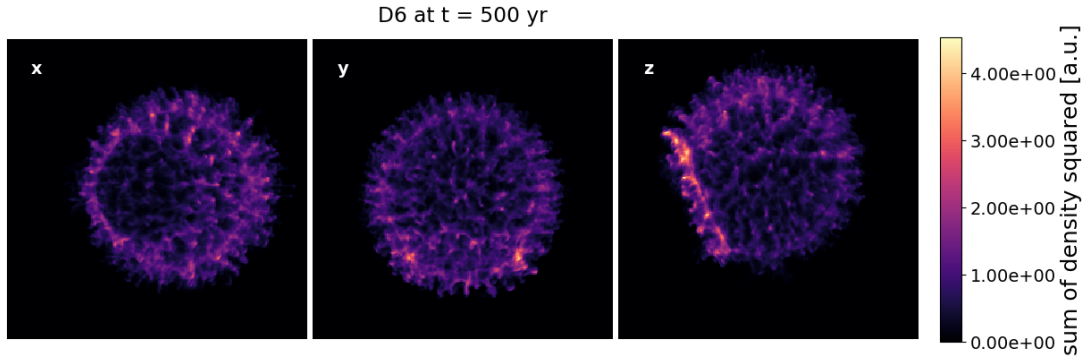


図4: モデル1の爆発500年後の超新星残骸

2段階目の結果について述べる。この結果はFerrand et al. (2022, ApJ, 930, 92)にて公開済みである。この研究ではモデル1の結果を初期条件として、その後1万年間の爆発物の進化を追跡した。超新星残骸では爆発物と星間物質との相互作用で順行衝撃波と逆行衝撃波が発生する。この計算では逆行衝撃波が約5000年で超新星残骸の中心まで到達しているため、その倍の時間を追跡していることになる。順行・逆行衝撃波によって爆発物や星間物質は高温状態になって明るく輝くため、少なくとも逆行衝撃波が超新星残骸の中心に到達するまでの時間を追うことは重要なことである。図4はこの計算結果である。色の明るさはおよそX線の輝度とみなすことができる。3つの図があるのは観測する方向の違いである(シミュレーションにおけるx, y, z軸の方向から見ている)。x軸方向から見ると超新星残骸の左側に暗い穴、y軸方向から見ると下側に明るいリング、z軸方向から見ると明るい筋状の構造、が見える。これらはすべてモデル1の1段階目で現れた爆発物の非球対称性に起因するものである。このことからD6モデルは非球対称な超新星残骸を生み出すことが明らかとなった。また、上記の結果は爆発500年後であるが、この非対称性は2000年程度は持続することも我々の計算で明らかとなった。このような特徴的な構造は、Ia型超新星残骸からIa型超新星の親星を特定するのに役立つと期待している。

最後に将来展望について述べる。上記の結果はおよそX線の輝度を表しているが、精密な輻射輸送計算によって得た結果ではない。日本のX線望遠鏡であるXRISMやその他世界のX線望遠鏡による観測結果と照らし合わせるには、精密な輻射輸送計算を行って、上記の非対称性が観測できるかどうか検討する必要がある。現在、Ferrand et al. (in prep.)によってその結果を検討中であり、1年以内には公開できるはずである。最終的にはD6モデルの是非を明らかにすることができるであろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計31件（うち査読付論文 30件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Tanikawa Ataru, Hattori Kohei, Kawanaka Norita, Kinugawa Tomoya, Shikauchi Minoru, Tsuna Daichi	4. 巻 946
2. 論文標題 Search for a Black Hole Binary in Gaia DR3 Astrometric Binary Stars with Spectroscopic Data	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 79 ~ 91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acbf36	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Shikauchi Minoru, Tsuna Daichi, Tanikawa Ataru, Kawanaka Norita	4. 巻 953
2. 論文標題 Spatial and Binary Parameter Distributions of Black Hole Binaries in the Milky Way Detectable with Gaia	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 52 ~ 75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acd752	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Tanikawa Ataru, Cary Savannah, Shikauchi Minoru, Wang Long, Fujii Michiko S	4. 巻 527
2. 論文標題 Compact binary formation in open star clusters ? I. High formation efficiency of Gaia BHs and their multiplicities	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4031 ~ 4039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stad3294	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Tanikawa Ataru, Moriya Takashi J, Tominaga Nozomu, Yoshida Naoki	4. 巻 519
2. 論文標題 <i>Euclid</i> detectability of pair instability supernovae in binary population synthesis models consistent with merging binary black holes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L32 ~ L38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/slac149	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kamlah A W H, Spurzem R, Berczik P, Sedda M Arca, Dotti F Flammini, Neumayer N, Pang X, Shu Q, Tanikawa A, Giersz M	4. 巻 516
2. 論文標題 The impact of stellar evolution on rotating star clusters: the gravothermal-gravogyro catastrophe and the formation of a bar of black holes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3266 ~ 3283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac2281	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Long, Tanikawa Ataru, Fujii Michiko	4. 巻 515
2. 論文標題 Gravitational wave of intermediate-mass black holes in Population III star clusters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5106 ~ 5120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac2043	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kinugawa Tomoya, Takeda Hiroki, Tanikawa Ataru, Yamaguchi Hiroya	4. 巻 938
2. 論文標題 Probe for Type Ia Supernova Progenitor in Decihertz Gravitational Wave Astronomy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 52 ~ 52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac9135	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tanikawa Ataru, Giersz Mirek, Arca Sedda Manuel	4. 巻 515
2. 論文標題 MOCCA-SURVEY Database I: tidal disruption events of white dwarfs in globular clusters and young mass clusters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4038 ~ 4054
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac2000	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Trani Alessandro Alberto, Rieder Steven, Tanikawa Ataru, Iorio Giuliano, Martini Riccardo, Karelin Georgii, Glanz Hila, Portegies Zwart Simon	4. 巻 106
2. 論文標題 Revisiting the common envelope evolution in binary stars: A new semianalytic model for N-body and population synthesis codes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 43014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.106.043014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tanikawa Ataru, Chiaki Gen, Kinugawa Tomoya, Suwa Yudai, Tominaga Nozomu	4. 巻 74
2. 論文標題 Can Population III stars be major origins of both merging binary black holes and extremely metal poor stars?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 521 ~ 532
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ferrand Gilles, Tanikawa Ataru, Warren Donald C., Nagataki Shigehiro, Safi-Harb Samar, Decourchelle Anne	4. 巻 930
2. 論文標題 The Double Detonation of a Double-degenerate System, from Type Ia Supernova Explosion to its Supernova Remnant	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 92 ~ 92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac5c58	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Trani A A, Tanikawa A, Fujii M S, Leigh N W C, Kumamoto J	4. 巻 504
2. 論文標題 Spin misalignment of black hole binaries from young star clusters: implications for the origin of gravitational waves events	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 910 ~ 919
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab967	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Long, Fujii Michiko S, Tanikawa Ataru	4. 巻 504
2. 論文標題 Impact of initial mass functions on the dynamical channel of gravitational wave sources	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5778 ~ 5787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab1157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hijikawa Kotaro, Tanikawa Ataru, Kinugawa Tomoya, Yoshida Takashi, Umeda Hideyuki	4. 巻 505
2. 論文標題 On the population III binary black hole mergers beyond the pair-instability mass gap	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L69 ~ L73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/slab052	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanikawa Ataru, Kinugawa Tomoya, Yoshida Takashi, Hijikawa Kotaro, Umeda Hideyuki	4. 巻 505
2. 論文標題 Population III binary black holes: effects of convective overshooting on formation of GW190521	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2170 ~ 2176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab1421	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanikawa Ataru, Yoshida Takashi, Kinugawa Tomoya, Trani Alessandro A., Hosokawa Takashi, Susa Hajime, Omukai Kazuyuki	4. 巻 926
2. 論文標題 Merger Rate Density of Binary Black Holes through Isolated Population I, II, III and Extremely Metal-poor Binary Star Evolution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 83 ~ 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac4247	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wang Long, Tanikawa Ataru, Fujii Michiko S	4. 巻 509
2. 論文標題 The impact of primordial binary on the dynamical evolution of intermediate massive star clusters	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4713 ~ 4722
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab3255	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Trani Alessandro A, Rastello Sara, Carlo Ugo N Di, Santoliquido Filippo, Tanikawa Ataru, Mapelli Michela	4. 巻 511
2. 論文標題 Compact object mergers in hierarchical triples from low-mass young star clusters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1362 ~ 1372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac122	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shikauchi Minori, Tanikawa Ataru, Kawanaka Norita	4. 巻 928
2. 論文標題 Detectability of Black Hole Binaries with Gaia: Dependence on Binary Evolution Models	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 13 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac5329	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ferrand Gilles, Tanikawa Ataru, Warren Donald C., Nagataki Shigehiro, Safi-Harb Samar, Decourchelle Anne	4. 巻 -
2. 論文標題 The double detonation of a double degenerate system, from Type Ia supernova explosion to its supernova remnant	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tanikawa Ataru, Susa Hajime, Yoshida Takashi, Trani Alessandro A., Kinugawa Tomoya	4. 巻 910
2. 論文標題 Merger Rate Density of Population III Binary Black Holes Below, Above, and in the Pair-instability Mass Gap	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 30 ~ 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abe40d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kumamoto Jun, Fujii Michiko S, Tanikawa Ataru	4. 巻 495
2. 論文標題 Merger rate density of binary black holes formed in open clusters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4268 ~ 4278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa1440	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanikawa Ataru, Yoshida Takashi, Kinugawa Tomoya, Takahashi Koh, Umeda Hideyuki	4. 巻 495
2. 論文標題 Fitting formulae for evolution tracks of massive stars under extreme metal-poor environments for population synthesis calculations and star cluster simulations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4170 ~ 4191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa1417	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shikauchi Minoru, Kumamoto Jun, Tanikawa Ataru, Fujii Michiko S	4. 巻 72
2. 論文標題 Gaia's detectability of black hole?main sequence star binaries formed in open clusters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 45 ~ 53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa030	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanikawa Ataru, Kinugawa Tomoya, Kumamoto Jun, Fujii Michiko S	4. 巻 72
2. 論文標題 Formation rate of LB-1-like systems through dynamical interactions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 39 ~ 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kirihiro Takanobu, Tanikawa Ataru, Ishiyama Tomoaki	4. 巻 486
2. 論文標題 Effect of interstellar objects on metallicity of low-mass first stars formed in a cosmological model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5917 ~ 5923
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz1277	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanikawa Ataru, Nomoto Ken'ichi, Nakasato Naohito, Maeda Keiichi	4. 巻 885
2. 論文標題 Double-detonation Models for Type Ia Supernovae: Trigger of Detonation in Companion White Dwarfs and Signatures of Companions' Stripped-off Materials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 103 ~ 103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab46b6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawana Kojiro, Maeda Keiichi, Yoshida Naoki, Tanikawa Ataru	4. 巻 890
2. 論文標題 Rapid Transients Originating from Thermonuclear Explosions in Helium White Dwarf Tidal Disruption Events	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L26 ~ L26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab7209	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kumamoto Jun, Fujii Michiko S, Tanikawa Ataru	4. 巻 486
2. 論文標題 Gravitational-wave emission from binary black holes formed in open clusters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3942 ~ 3950
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz1068	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 谷川衝	4. 巻 113
2. 論文標題 Ia型超新星と二重白色矮星の数値的研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 天文月報	6. 最初と最後の頁 22 ~ 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Arimoto Makoto, et al., Tanikawa Ataru, et al.	4. 巻 2023
2. 論文標題 Gravitational wave physics and astronomy in the nascent era	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 103 ~ 185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab042	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計38件(うち招待講演 11件/うち国際学会 20件)

1. 発表者名 Ataru Tankawa
2. 発表標題 Gaia BH formation in open star clusters
3. 学会等名 3,2,1: Massive Triples, Binaries and Mergers 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ataru Tanikawa
2. 発表標題 Double white dwarf mergers and type Ia supernovae
3. 学会等名 The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects VI (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ataru Tanikawa
2. 発表標題 Toward understanding of binary black hole formation
3. 学会等名 II SYNERGIES AT NEW FRONTIERS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 谷川衝
2. 発表標題 不活性コンパクト連星のフォローアップ分光観測
3. 学会等名 2023年度せいめいユーズーズミーティング
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 谷川衝
2. 発表標題 不活性コンパクト連星のフォローアップ分光観測
3. 学会等名 2023年度なゆたユーズーズミーティング
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 谷川 衝
2. 発表標題 Gaiaによる不活性コンパクト連星探査とその形成の理論研究
3. 学会等名 初代星・初代銀河研究会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 谷川 衝
2. 発表標題 Gaia DR3の不活性コンパクト連星候補の分光追観測
3. 学会等名 GAOES-RV研究会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 谷川 衝
2. 発表標題 不活性コンパクト連星の探査
3. 学会等名 2023年度連星系・変光星研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 谷川 衝
2. 発表標題 不活性コンパクト連星の探査と理論研究
3. 学会等名 ブラックホール大研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Ataru Tanikawa
2. 発表標題 Binary white dwarf merger simulations
3. 学会等名 Exploring The Transient Universe (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ataru Tanikawa
2. 発表標題 Formation mechanisms of GW190521-like and GW190412-like events from Population III binary stars
3. 学会等名 Gravitational Wave Physics and Astronomy Workshop (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ataru Tanikawa
2. 発表標題 Population III binary black holes: filling the pair instability mass gap
3. 学会等名 AAPPs-DPP2022 6th Asia Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ataru Tanikawa
2. 発表標題 Binary population synthesis for merging binary black hole formation
3. 学会等名 EANAM9 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ataru Tanikawa
2. 発表標題 Population III binary black holes and pair instability supernovae
3. 学会等名 The 15th Asia Pacific Physics Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ataru Tanikawa
2. 発表標題 Merging binary black holes formed through isolated binary stars with all the metallicities
3. 学会等名 23rd International conference on general relativity and gravitation (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ataru Tanikawa
2. 発表標題 Binary black hole mergers formed through isolated binary stars with all the stellar metallicities
3. 学会等名 Symposium on Gravitational wave physics and astronomy: Genesis (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷川 衝
2. 発表標題 連星ブラックホール形成過程の理論研究
3. 学会等名 初代星・初代銀河研究会2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tanikawa Ataru
2. 発表標題 Importance of Convective Overshoot for GW190521 formation from Population III binary stars
3. 学会等名 Exploring the Black Hole Mass Gap, 16th Marcel Grossmann Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tanikawa Ataru
2. 発表標題 Formation of merging binary black holes from isolated binary stars with all metallicities
3. 学会等名 Genesis: Group A Area Workshop 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷川 衝
2. 発表標題 孤立連星から形成される連星ブラックホールと初代星の重要性
3. 学会等名 初代星・初代銀河研究会2021
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷川 衝
2. 発表標題 全金属量の孤立連星から形成される連星ブラックホールの性質の数値研究
3. 学会等名 連星系変光星研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷川 衝
2. 発表標題 全金属量の孤立連星から形成される連星ブラックホールの性質の数値研究
3. 学会等名 理論懇シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷川 衝
2. 発表標題 Rate density of tidal disruption events of white dwarfs in the local universe
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷川 衝
2. 発表標題 Binary black hole mergers
3. 学会等名 J-Gem Kick-off workshop (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷川 衝
2. 発表標題 Numerical study of the origin of merging binary black holes
3. 学会等名 JpGU 2021: M-GI135 「計算科学が拓く宇宙の構造形成・進化から惑星表層環境変動まで」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tanikawa Ataru
2. 発表標題 Merging binary black holes in dense star clusters and in Pop. III environments
3. 学会等名 Genesis: The Fourth Annual Area Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tanikawa Ataru
2. 発表標題 Study of thermonuclear explosions of white dwarfs
3. 学会等名 12th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tanikawa Ataru
2. 発表標題 Binary Black Holes from First stars: Dependence on Initial Conditions and Stellar Models
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷川 衝
2. 発表標題 連星ブラックホールGW190521は初代星起源か?
3. 学会等名 連星系・変光星研究会2020
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷川 衝
2. 発表標題 連星ブラックホール形成：孤立連星と球状星団
3. 学会等名 初代星初代銀河研究会2020（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷川 衝
2. 発表標題 連星ブラックホールGW190521は初代星起源か?恒星進化、特に対流のオーバーシュートへの依存性について
3. 学会等名 研究会「星の錬金術から銀河考古学へ」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷川 衝
2. 発表標題 70Msunのブラックホールを持つとされる連星系LB-1の形成過程について
3. 学会等名 日本天文学会2020年秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ataru Tanikawa
2. 発表標題 Three-dimensional simulations of double detonations in the double-degenerate models for type Ia supernovae
3. 学会等名 The Beginning and Ends of Double White Dwarfs (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ataru Tanikawa
2. 発表標題 Three-dimensional simulaitons of double detonations in the double-degenerate models for SNe Ia
3. 学会等名 Progenitors of Type Ia Supernovae (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ataru Tanikawa
2. 発表標題 Progenitor and explosion models of type Ia supernovae
3. 学会等名 The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects V (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ataru Tanikawa
2. 発表標題 Effects of companion white dwarfs in D6 explosions for modeling type Ia supernovae
3. 学会等名 Collaborative Meeting on Supernova Remnants between Japan and USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ataru Tanikawa
2. 発表標題 High-resolution numerical studies for tidal detonation of a white dwarf
3. 学会等名 Tidal Disruptions in Kyoto: Confronting Theory with Observations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ataru Tanikawa
2. 発表標題 Formation rate of LB-1 like systems through dynamical interactions
3. 学会等名 Innovative Area Gravitational Wave Physics and Astronomy: Genesis The Third Annual Area Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Ia型超新星の起源解明の道標：超新星残骸に刻まれた超高速度白色矮星の痕跡 https://www.c.u-tokyo.ac.jp/info/news/topics/files/20220506-topics-sobun-01.pdf Hyperfast white dwarf stars https://www.riken.jp/en/news_pubs/research_news/pr/2022/20220513_2/index.html Hyperfast white dwarfs moving https://news.umanitoba.ca/hyperfast-white-dwarfs-moving-like-billiard-balls-may-change-understanding-of-supernovae/</p>
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	Max Planck Institute for Astrophysics	University of Heidelberg	Argelander-Institut für Astronomie	他1機関
中国	Sun Yat-sen University	Peking University	Xi'an Jiaotong-Liverpool University	
ポーランド	Nicolaus Copernicus Astronomical Centre			
イタリア	University of Padova			
カナダ	University of Manitoba			

共同研究相手国	相手方研究機関			
フランス	Paris-Saclay University			