

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04022

研究課題名（和文）ダークサテライトは存在するか？ コールドダークマターモデルにおける諸問題の解明

研究課題名（英文）Do dark satellites exist?: Resolving critical issues in cold dark matter model

研究代表者

森 正夫（Mori, Masao）

筑波大学・計算科学研究センター・准教授

研究者番号：10338585

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）：本研究では銀河の形成進化の研究を通して、コールドダークマターモデルの抱える諸問題について調査した。そのために宇宙論的シミュレーションと物理的シミュレーションの両方を実行し、それによって得られた結果を解析した。そして、その結果と高精度観測データの詳細な比較を行った。ダークマターハローに対する未解決問題である、“カusp-コア問題”や“ミッシングサテライト問題”を解くための銀河進化過程を精密に調査した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々の住む銀河はどのように誕生し進化してきたのだろうか。本研究では、銀河の形成・進化の研究を通して、宇宙物理学における最大の謎とされているダークマターの性質及びコールドダークマターモデルの抱える諸問題について詳細に調査した。また、本研究ではダークマター自身の性質のみならず、ダークマターハロー重力場中での星形成過程や超新星フィードバック過程等の天体現象を介してお互いに関連しあうため、銀河の形成・進化過程の解明にも意義を持つこととなった。

研究成果の概要（英文）：In this study, the problems facing the cold dark matter model were investigated through the study of galaxy formation and evolution. For this purpose, both cosmological and physical simulations were performed, and then we analysed the results in detail. The results were then compared with recent observational data. The galaxy evolution is precisely investigated to examine the ‘cusp-core problem’ and the ‘missing satellite problem’, which are unsolved problems for the dark matter halo.

研究分野：理論天文学

キーワード：ダークマター 銀河形成 銀河進化

1. 研究開始当初の背景

現在の標準的な構造形成理論であるコールドダークマターモデルは宇宙の大規模構造等の統計的性質を説明することに成功した反面、“カスプーコア問題”や“ミッシングサテライト問題”に代表される銀河スケールで危機的問題が指摘されている。これらは、銀河の形成・進化の問題と密接に関連するものであり、ダークマターの性質を解明する上で非常に重要な問題である。

● カスプーコア問題

ダークマターハローの質量分布に関するこれまでの研究では、ダークマターハローは中心で質量密度が発散するカスプ状構造を普遍的に持つことが強く示唆されている。一方で、近傍矮小銀河の回転曲線の精密観測では多くの場合ダークマターハローの中心質量密度分布はほぼ一定のコア構造、もしくは理論予想よりは滑らかな質量密度分布(冪指数)を持つことが知られている。この理論と観測の矛盾は“カスプーコア問題”として広く知られている。また、質量の中心集中度が高いダークマターハローを持つ大質量衛星銀河が見つからない“Too-big-to-fail問題”も、カスプーコア問題と関連する問題として広く認識されている。これまでの銀河形成シミュレーションの研究により、超新星等のフィードバックが重力場を変化させ、ダークマターハローの質量分布をカスプ構造からコア構造へ遷移させるという現象論的な理解が積みあがってきた。しかしながら、その遷移を支配する基礎物理過程の理解は、未だ根本的な理解に至っていないとはとても言い難い。

● ミッシングサテライト問題

階層的構造形成論に基づいた宇宙論的 N 体シミュレーションによると、銀河系やアンドロメダ銀河程度の質量の銀河には、理論的には数 100 から 1000 個のサブハローの存在が予想されている。一方で、実際にこれらの銀河で観測的に同定された衛星銀河はせいぜい 50 個程度しかない。このような衛星銀河数の一桁以上の不一致は“ミッシングサテライト問題”と呼ばれ、CDM モデルの抱える難問の一つとされている。この問題を解決する糸口として、星がほとんど存在しない、つまり銀河形成に失敗したダークマターハローだけで構成される暗黒銀河(ダークサテライト)の存在が理論予想されている。

このようなダークマターハローの諸問題は、ダークマター自身の性質を理解する上で重要な問題であるとともに、ダークマターハロー重力場中での星形成過程や超新星フィードバック過程等の天体現象を介してお互いに関連しあうため、銀河の形成・進化過程とダークマターハローとの共進化を詳細に調べることが重要となる。

2. 研究の目的

研究では、これまでに構築してきた銀河の光学化学力学進化モデルを駆使して、“カスプーコア問題”及び“ミッシングサテライト問題”といったコールドダークマターモデルの抱える問題を検証する。

“カスプーコア問題”では再帰的な星形成と超新星フィードバックによる重力場の周期的変動がダークマターハローの中心部の質量分布に与える影響を考える。そこでは、重力場の変動を記述する波とダークマターハローを構成する粒子の間の相互作用を考える。本研究では超新星フィードバックによって駆動されたカスプからコアへの遷移の物理過程によって、ダークマターハローの質量分布がその質量とどのような相関を持つのか、観測的に知られているダークマターハローのスケリング則とどのように関係しているのかを調べる。それにより、カスプからコアへの遷移過程を検証する。

“ミッシングサテライト問題”で示唆されるようなダークサテライトが実際に存在するのであれば、その観測的な兆候として銀河とダークサテライトとの衝突現象は観測されないであろうか？本研究では、ダークサテライト同士の相互作用やダークサテライトと銀河との相互作用を詳細に調べる。それにより、ダークサテライトが実在した場合にどのような現象として観測されるのか、あるいはどのような現象を観測すればダークサテライトの存在を実証できるのか？本研究でより詳細で具体的な研究を積み上げていくことでその存在可否を調べる。これはチャレンジングな研究ではあるが、もし、ダークサテライトの存在可能性を強く示すことができれば、現代天文学における新たな研究分野を広げて行くことにつながる。

3. 研究の方法

ダークサテライトと銀河やステラーストリーム、ダークサテライト同士の相互作用に起因する Stream Gap の生成や銀河形成過程に関する基礎的研究を調査する。現在、アンドロメダ銀河のハロー領域に存在するノースウェスタンストリームをプローブとして、ダークサテライトがノースウェスタンストリーム近傍を通過する際に作る“ギャップ”の数を理論的・観測的に評価するという国際共同研究が進行中である。この研究の完成の為、銀河形成シミュレーションを用いてノースウェスタンストリームとダークサテライトの相互作用計算から、Stream Gap の個数

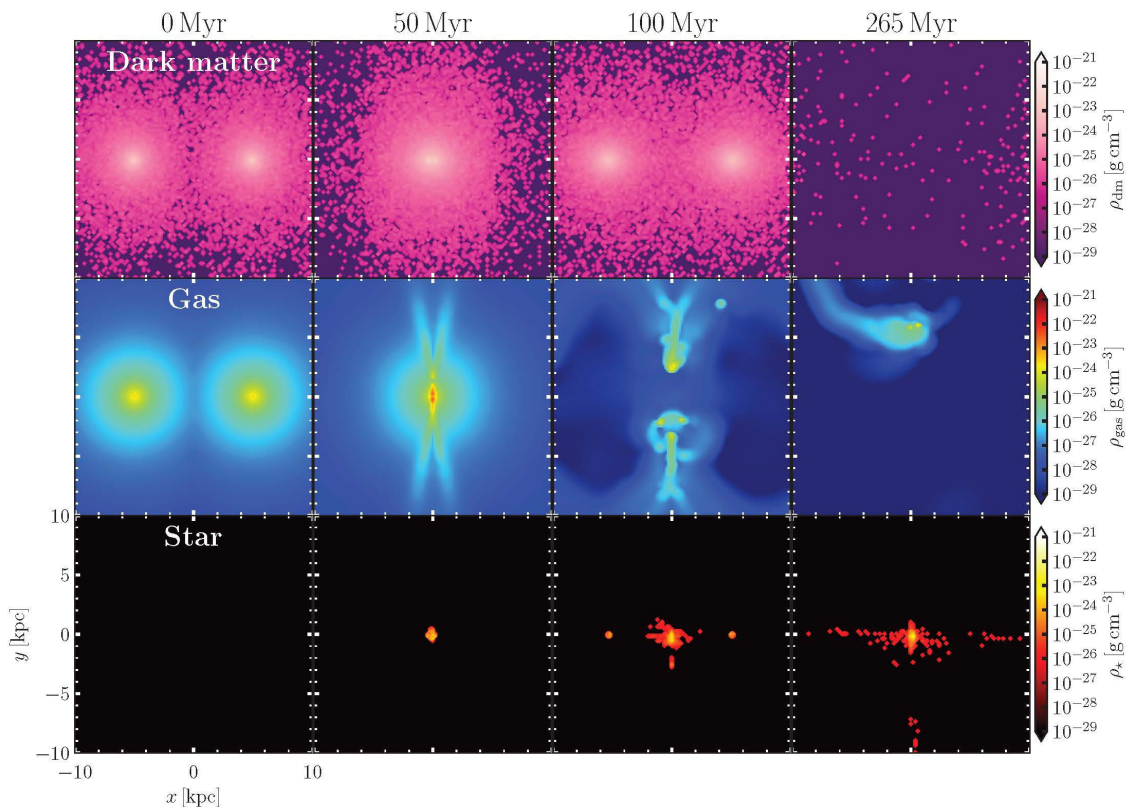
を理論的に評価し、すばる望遠鏡の HSC や PFS を用いて Gap 構造や周辺構造の運動学的性質を観測的に評価する。

また、アンドロメダ銀河の Stream C と Stream D の二つのステラーストリームは、互いの平行な位置関係にあるだけでなくその質量、金属量、視線速度等が大変似通っている事が知られているが、その形成モデルは未だ提案されていない。我々は、この二つのストリームを Parallel Stellar Streams (PSS) と名付け、「元々単一であったステラーストリームにダークサテライトが衝突する事で二つに分裂した」という仮説を提案し、その正当性に対して銀河形成シミュレーションによる検証を行っている(図2右)。PSF の高精度の分光観測の情報を組み合わせる事で本研究を完成させる。

4. 研究成果

銀河をとりまくダークマターハローは、さまざまな観測パラメータ間で強い相関関係を示しており、「ダークマターハローのスケール関係」として知られている。しかし、その起源にはまだ未解明のままであり、これを完全に理解するためには、広範な探求が必要である。我々は、コールドダークマターモデルに基づく宇宙論的 N 体シミュレーションから導かれるダークマターハローの中心集中度とダークマターハロー質量の相関関係 (c-M 関係) を利用して、ダークマターハローの表面質量密度、最大回転速度、スケール半径などの他の物理量間の理論的なスケール関係を導き出した。そして、理論的なスケール関係とさまざまな質量スケールでの観測されたスケール関係を比較することにより、矮小銀河や通常の銀河で観測されるスケール関係がダークマターハローの c-M 関係に由来することが分かった。さらに、この理論的なスケール関係は、銀河団でも成立することを予測した。さらに、我々はコールドダークマターハローで起こると考えられている「カスプからコアへの遷移」の影響を組み込んだ新しい理論的なスケール関係を構築することに成功した。この遷移は、星形成や超新星爆発、その他のバリオン過程によるフィードバックメカニズムによって引き起こされると考えられているが、ここではその物理過程の詳細にはよらないモデルを構築した。これにより、我々は、ダークマターハローにおけるカスプからコアへの遷移プロセスの観測的な検証の可能性について検討した。本研究の成果はすでに学術論文に投稿済みであり、レフリーによるレビューも終了し間もなくアクセプトされる予定である。

現在の標準的な銀河形成モデルであるコールドダークマターによる階層的構造形成論によると、銀河には星質量の倍以上のダークマターを含むことが知られている。しかし、今世紀になり理論的に予測される質量よりも極めて少ないダークマターハローの質量しか持たないダークマター欠乏銀河の存在が続々と報告されはじめた。このようなコールドダークマター宇宙にお



図：ダークマターハローの衝突シミュレーションの結果。ダークマター（上段）、ガス（中段）、恒星（下段）の空間分布の時間変化を示している。10 億太陽質量の二つのダークマターハローが衝突し、その衝突面で高密度のガス層が発生し、爆発的星形成を経てダークマターをほとんど含まない銀河が誕生した。

いて極めて深刻な問題を解決するため、我々は原始ガスを含んだダークマターサブハロー同士の正面衝突現象によって誘発される銀河形成の物理過程を調査した。大質量銀河のホストハローに付随するダークマターサブハロー同士の衝突頻度を解析的に推定した結果、ホストハローのビリアル半径の10%の領域で1,000万年程度の小さな衝突タイムスケールとなり、頻繁にダークマターサブハローの衝突が発生しうることが分かった。また、半径の増加とともに相対速度が増加する様子を示すことにも成功した。次に、解析的モデルと数値シミュレーションを用いてダークマターサブハロー同士の衝突現象を調査した結果、衝突速度に応じてダークマターを大量に含む通常の銀河やダークマター欠乏銀河の形成経路があることを示すことに成功した。相対速度が小さい場合、二つのダークマターサブハローが合体し、ダークマターが豊富な通常の銀河が誕生することになる。一方、中程度の相対速度の場合には、二つのダークマターサブハローは互いに通過してしまう。しかし、ガス成分は衝突して衝突面で急激にガス密度が上昇するため、そこで爆発的な星形成を起こす事になる。最終的に、衝突面ではダークマターをほとんど含まないような銀河が誕生することになった。我々は、これこそがダークマター欠乏銀河形成の重要な過程であると考えた。さらに、相対速度が十分に大きい場合は、衝突面で発生した衝撃波がガスの表面に到達することで生じるショック・ブレイクアウトによって、大部分のガスが系に束縛されることなく雲散霧消してしまうため、銀河が誕生することはなかった。本研究の成果はすでに学術論文として出版済みである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Otaki Koki, Mori Masao	4. 巻 2207
2. 論文標題 The formation of dark-matter-deficient galaxies through galaxy collisions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012049 ~ 012049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2207/1/012049	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 Otaki Koki, Mori Masao	4. 巻 -
2. 論文標題 Study of Galaxy Collisions and Thermodynamic Evolution of Gas Using the Exact Integration Scheme	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 373 ~ 387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-10562-3_27	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 Igarashi Asuka, Mori Masao, Nitta Shin-ya	4. 巻 75
2. 論文標題 Transonic galactic wind model including stellar feedbacks and application to outflows in high/low-z galaxies	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1214 ~ 1245
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psad065	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 Otaki Koki, Mori Masao	4. 巻 525
2. 論文標題 Frequency of the dark matter subhalo collisions and bifurcation sequence arising formation of dwarf galaxies	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 2535 ~ 2552
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stad2432	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 Miki Yohei, Mori Masao, Kawaguchi Toshihiro	4. 巻 5
2. 論文標題 Destruction of the central black hole gas reservoir through head-on galaxy collisions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 478-484
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-020-01286-9	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 -

[学会発表] 計85件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 27件)

1. 発表者名 Masao Mori, Shunji Tanaka
2. 発表標題 Influence of dark matter on the dynamical evolution of satellite galaxies associated with the Galaxy
3. 学会等名 International Conference on Resolving Galaxy Ecosystems Across All Scales (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yuka Kaneda, Andreas Burkert, Yohei Miki, Masao Mori
2. 発表標題 Formation of parallel stellar streams via bifurcation of a single stellar stream and its physical condition
3. 学会等名 International Conference on Resolving Galaxy Ecosystems Across All Scales (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Misa Yamaguchi, Ayami Hotta, Koki Otaki, Masao Mori
2. 発表標題 Formation of the Andromeda giant stream and chemical evolution of the progenitor galaxy
3. 学会等名 International Conference on Resolving Galaxy Ecosystems Across All Scales (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yuka Kaneda, Andreas Burkert, Koki Otaki, Yohei Miki, Masao Mori
2. 発表標題 Formation of parallel stellar streams via bifurcation of a single stellar stream and its physical condition
3. 学会等名 The Present and Future of Galactic Archaeology and Near-field Cosmology (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Misa Yamaguchi, Ayami Hotta, Koki Otaki, Masao Mori
2. 発表標題 Chemical evolution of the progenitor galaxy of the Andromeda Giant Southern Stream
3. 学会等名 The Present and Future of Galactic Archaeology and Near-field Cosmology (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Masao Mori
2. 発表標題 Galaxy collisions and stellar streams in the Andromeda Galaxy
3. 学会等名 The Present and Future of Galactic Archaeology and Near-field Cosmology (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Koki Otaki, Masao Mori
2. 発表標題 Dark matter subhalo collisions arising formation of dwarf galaxies
3. 学会等名 The Present and Future of Galactic Archaeology and Near-field Cosmology (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yuka Kaneda, Koki Otaki, Masao Mori
2. 発表標題 The origin of the constant central surface density of galactic dark matter halos and a new scaling relation for wide-scale objects
3. 学会等名 Osaka-CCA-Pisa mini-ILR workshop (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森正夫、堀田彩水、山口未沙、大滝恒輝、桐原崇亘
2. 発表標題 Galaxy collisions and stellar streams in the Andromeda Galaxy: Once and future in Andromeda
3. 学会等名 日本天文学会2024年春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 山口未沙、森正夫、桐原崇亘
2. 発表標題 Galaxy collisions and stellar streams in the Andromeda Galaxy: Chemical evolution of the progenitor galaxy of the Andromeda Giant Southern Stream
3. 学会等名 日本天文学会2024年春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 金田優香、Andreas Burkert、三木洋平、森正夫
2. 発表標題 Bifrucation of a stellar stream by a collision with a dark satellite or wandering black hole
3. 学会等名 日本天文学会2024年春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大滝恒輝、森正夫
2. 発表標題 Formation of dwarf galaxies induced by dark matter subhalo collision
3. 学会等名 日本天文学会2024年春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大滝恒輝、森正夫
2. 発表標題 Dark Matter Subhalo衝突とMissing Satellite問題
3. 学会等名 日本天文学会2023年秋季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山口未沙、森正夫、堀田彩水、桐原崇巨
2. 発表標題 Galaxy collisions and metal gradients of the Andromeda Giant Southern Stream
3. 学会等名 日本天文学会2023年秋季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金田優香、森正夫、Andreas Burkert、三木洋平
2. 発表標題 Stellar stream の分裂可能性と parallel stellar streams の形成
3. 学会等名 日本天文学会2023年秋季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 湯浅拓宏、森正夫
2. 発表標題 Godunov SPH法の改良: 接触不連続面での問題解決を目指して
3. 学会等名 日本流体力学会年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大滝恒輝、森正夫
2. 発表標題 ダークマターサブハロー衝突による誘発的矮小銀河形成
3. 学会等名 第36回 理論懇シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金田優香、Andreas Burkert、三木洋平、森正夫
2. 発表標題 カスプ-コア遷移の効果を組み込んだダークマターハローのスケーリング則
3. 学会等名 第36回 理論懇シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山口未沙、森正夫、桐原崇亘
2. 発表標題 Formation of the Andromeda Giant Southern Stream and chemical evolution of the progenitor galaxy
3. 学会等名 第36回 理論懇シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金田優香, Andreas Burkert, 大滝恒輝, 三木 洋平, 森正夫
2. 発表標題 Bifurcation of a stellar stream by a collision with a dark satellite or wandering black hole
3. 学会等名 すばるPFSが拓く銀河・銀河系の形成進化：サテライトワークショップ（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金田優香, Andreas Burkert, 大滝恒輝, 三木 洋平, 森正夫
2. 発表標題 Parallel stellar streams の形成と stellar stream の分裂条件
3. 学会等名 宇宙天体形成史初代星から生命の起源まで
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大滝恒輝, 森正夫
2. 発表標題 Frequency of the dark matter subhalo collisions and bifurcation channel for the formation of dwarf galaxies
3. 学会等名 銀河・銀河間ガス研究会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金田優香, Andreas Burkert, 大滝恒輝, 三木 洋平, 森正夫
2. 発表標題 Parallel stellar streams の形成と stellar stream の分裂条件
3. 学会等名 銀河・銀河間ガス研究会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Koki Otaki; Masao Mori
2. 発表標題 Study of galaxy collisions and thermodynamic evolution of gas using the Exact Integration scheme
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Computational Science and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Koki Otaki; Masao Mori
2. 発表標題 Study of collision frequency between dark matter subhalos in a host galaxy
3. 学会等名 Conference on Computational Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masao Mori; Yuka Kaneda,; Yudai Kazuno; Koki Otaki
2. 発表標題 Evolution of dark matter subhalos with an effect of tidal stripping from the growing Milky-Way-like host halo
3. 学会等名 IAU General Assembly, Division Meeting: Interstellar Matter and Local Universe (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ayami Hotta; Masao Mori; Koki Otaki
2. 発表標題 Formation of the Andromeda Giant Southern Stream and the 10 kpc ring in the Andromeda galaxy
3. 学会等名 IAU General Assembly, Division Meeting: Interstellar Matter and Local Universe (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Koki Otaki; Masao Mori
2. 発表標題 Bifurcation between the formation of dark-matter-dominated galaxies and dark-matter-deficient galaxies via dark matter subhalo collisions
3. 学会等名 IAU Symposium 373: Resolving the Rise and Fall of Star Formation in Galaxies (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Otaki, Koki; Mori, Masao
2. 発表標題 Physical conditions for collision-induced formation of galaxies
3. 学会等名 9th East Asian Numerical Astrophysics Meeting (EANAM9) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuka Kaneda; Koki Otaki; Masao Mori
2. 発表標題 The effect of the cusp-to-core transformation on universal scaling relations of dark matter haloes
3. 学会等名 KASHIWA DARK MATTER SYMPOSIUM 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Koki Otaki; Masao Mori
2. 発表標題 Galaxy Collisions and Formation of Dwarf Galaxies
3. 学会等名 KASHIWA DARK MATTER SYMPOSIUM 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 M. Mori; A. Hotta; K. Otaki; T. Kirihara
2 . 発表標題 Formation of the Andromeda Giant Southern Stream and the ring structures in the Andromeda Galaxy
3 . 学会等名 Dynamical Masses of Local Group Galaxies (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Y. Kaneda; K. Otaki; M. Mori
2 . 発表標題 Dynamical evolution of the sub-galactic dark matter halos and the effect of the cusp-to-core transformation
3 . 学会等名 Dynamical Masses of Local Group Galaxies (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Mori, Masao
2 . 発表標題 Galaxy Collisions and Evolution of Galaxies
3 . 学会等名 The 30th Anniversary Symposium of the Center for Computational Sciences (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Otaki; M. Mori
2 . 発表標題 Physical Conditions for Collision-Induced Formation of Galaxies
3 . 学会等名 EARLY DISK-GALAXY FORMATION FROM JWST TO THE MILKY WAY (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Kaneda; K. Otaki; M. Mori
2. 発表標題 The Evolution and Scaling Relations of Dark Matter Haloes
3. 学会等名 EARLY DISK-GALAXY FORMATION FROM JWST TO THE MILKY WAY (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金田優香; 数野優大; 大滝恒輝; 森正夫
2. 発表標題 ダークマターハローの Scaling Relation
3. 学会等名 銀河・銀河間ガス研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大滝恒輝; 森正夫
2. 発表標題 大質量銀河に付随するダークマターサブハロー同士の衝突頻度の解析
3. 学会等名 日本天文学会2022年秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀田彩水; 森正夫; 大滝恒輝
2. 発表標題 Andromeda Giant Southern Stream の形成過程と progenitor の起源
3. 学会等名 日本天文学会2022年秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中駿次; 森正夫
2. 発表標題 銀河系衛星銀河の軌道運動と潮汐効果
3. 学会等名 日本天文学会2022年秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金田優香; 数野優大; 大滝恒輝; 森正夫
2. 発表標題 ダークマターハローのc-Mrelationと観測との比較
3. 学会等名 日本天文学会2022年秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 湯浅拓宏; 森正夫
2. 発表標題 Density-Independent SPH 法及び Godunov SPH 法への Integral Approach の適用とその性能
3. 学会等名 日本天文学会2022年秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金田優香; 数野優大; 大滝恒輝; 森正夫
2. 発表標題 ダークマターハローのスケーリングとカस्पコア遷移
3. 学会等名 天体形成研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤創太; 森正夫
2. 発表標題 galaxy collisionとstellar streamsの形成
3. 学会等名 天体形成研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤圭太; 森正夫
2. 発表標題 中心ブラックホールを持つ矮小銀河の潮汐進化
3. 学会等名 天体形成研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中駿次; 森正夫
2. 発表標題 銀河系衛星銀河の軌道運動と潮汐効果による質量損失
3. 学会等名 天体形成研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大滝恒輝; 高橋大介; 森正夫
2. 発表標題 GPUを用いたSPH法の高速度化
3. 学会等名 天体形成研究会2022(PH)の再構成, Godunov DISPH法について
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 湯浅拓宏; 森正夫
2. 発表標題 Riemann solverを用いたDensity-Independent Smoothed Particle Hydrodynamics(DISPH)の再構成, Godunov DISPH法について
3. 学会等名 天体形成研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀田彩水; 森正夫; 大滝恒輝
2. 発表標題 アンドロメダ銀河の力学進化とAndromeda Giant Southern Streamの形成過程
3. 学会等名 天体形成研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大滝恒輝; 森正夫
2. 発表標題 Milky Way-likeホストハローにおけるダークマターサブハロー同士の衝突頻度
3. 学会等名 第35回理論懇シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金田優香; 大滝恒輝; 森正夫
2. 発表標題 ダークマターハローのカスプ-コア遷移とスケールリング則
3. 学会等名 第35回理論懇シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森正夫; 堀田彩水; 大滝恒輝
2. 発表標題 Galaxy Collisions and Dynamical Evolution of the Andromeda Galaxy
3. 学会等名 日本天文学会2023年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 湯浅拓宏; 森正夫
2. 発表標題 改良版Balsara Switchを用いた、SPH法の持つ空間ゼロ次誤差が誘発する偽Kelvin-Helmholtz不安定の抑制
3. 学会等名 日本天文学会2023年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金田優香; 大滝恒輝; 森正夫
2. 発表標題 ダークマターハローのscaling relationの起源とカスプ-コア遷移
3. 学会等名 日本天文学会2023年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大滝恒輝; 森正夫
2. 発表標題 銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成: フィードバックモデル依存性について
3. 学会等名 日本天文学会2023年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Otaki, Koki; Mori, Masao
2. 発表標題 The formation of dark matter deficient galaxies through galaxy collisions
3. 学会等名 Conference on Computational Physics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Otaki, Koki; Mori, Masao
2. 発表標題 Dark matter subhalo collisions and formation of dark-matter-deficient galaxies
3. 学会等名 Kashiwa Dark Matter symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kaneda, Yuka; Kazuno, Yudai; Otaki, Koki; Mori, Masao
2. 発表標題 Evolution of the sub galactic dark matter halos in the cosmological context
3. 学会等名 Kashiwa Dark Matter symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masao Mori
2. 発表標題 Evolution of the local galaxies・13th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences
3. 学会等名 CCS International Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大滝恒輝; 森正夫
2. 発表標題 ダークマター欠乏銀河形成条件の解析
3. 学会等名 銀河・銀河間ガス研究会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大滝恒輝; 森正夫
2. 発表標題 銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成：金属量依存性について
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 数野優大; 森正夫; 大滝恒輝
2. 発表標題 低質量ダークマターハローの成長過程 について
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 大滝恒輝; 森正夫
2. 発表標題 ダークマター欠乏銀河形成の流体力学模型
3. 学会等名 日本流体力学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大滝恒輝; 森正夫
2. 発表標題 銀河衝突とガスの熱力学進化
3. 学会等名 日本天文学会 2022 年春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 数野優大; 大滝恒輝; 金田優香; 森正夫
2. 発表標題 ダークマターサブハローの力学進化過程
3. 学会等名 日本天文学会 2022 年春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金田優香; 数野優大; 大滝恒輝; 森正夫
2. 発表標題 ダークマターサブハローの力学進化と近傍銀河・銀河団観測との比較
3. 学会等名 日本天文学会 2022 年春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀田彩水; 森正夫
2. 発表標題 銀河衝突によるアンドロメダ銀河の力学進化
3. 学会等名 日本天文学会 2022 年春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中駿次; 森正夫
2. 発表標題 銀河系衛星銀河の潮汐破壊による質量損失と近点距離の関係
3. 学会等名 日本天文学会 2022 年春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大滝恒輝; 森正夫
2. 発表標題 The formation of dark-matter-deficient galaxies through dark matter subhalo
3. 学会等名 第3 4 回理論懇シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中駿次; 森正夫
2. 発表標題 銀河系衛星銀河の潮汐破壊による質量損失と近点距離の関係
3. 学会等名 第3 4 回理論懇シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金田優香; 数野優大; 大滝恒輝; 森正夫
2. 発表標題 高分解能宇宙論的N体シミュレーションにおけるサブハローの進化
3. 学会等名 第3 4 回理論懇シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森正夫
2. 発表標題 Formation of local galaxies
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 大滝恒輝, 森正夫
2. 発表標題 ダークマター欠乏銀河の形成シミュレーション
3. 学会等名 銀河・銀河間ガス研究会 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 五十嵐朱夏, 森正夫, 新田伸也
2. 発表標題 遷音速アウトフローモデルによる高赤方偏移星形成銀河の mass loading factor の推定
3. 学会等名 銀河・銀河間ガス研究会 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大滝恒輝, 森正夫
2. 発表標題 銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成シミュレーション
3. 学会等名 日本流体力学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 五十嵐朱夏, 森正夫, 新田伸也
2. 発表標題 遷音速銀河風モデルによる星間ガス流出量の推定
3. 学会等名 日本流体力学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大滝恒輝, 森正夫
2. 発表標題 銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成：衝突速度依存性について
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 大滝恒輝, 森正夫
2. 発表標題 銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成：質量依存性について
3. 学会等名 天体 形成研究会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中駿次, 森正夫
2. 発表標題 天の川銀河衝突シミュレーションに向けて
3. 学会等名 天体形成研究会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大滝恒輝, 森正夫
2. 発表標題 銀河衝突によるダークマター欠乏銀河形成の解析
3. 学会等名 初代星初代銀河研究会 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大滝恒輝, 森正夫
2. 発表標題 銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成シナリオ
3. 学会等名 第33 回理論懇シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 数野優大, 森正夫
2. 発表標題 Milky Way like な銀河に付随するDark Matter Sub-halo の衝突頻度
3. 学会等名 第33 回理論懇シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大滝恒輝, 森正夫
2. 発表標題 ダークマターサブハロー衝突によるダークマター欠乏銀河の形成過程
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 数野優大, 森正夫
2. 発表標題 Dark Matter Sub-haloの衝突頻度計算
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 三木洋平, 森正夫, 川口俊宏
2. 発表標題 Hungry black hole: 銀河衝突によるAGNの活動停止とduty cycleとの関係
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究協力者	三木 洋平 (Miki Yohei)		
研究協力者	桐原 崇亘 (Kirihara Takanobu)		

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			