

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：62616

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K13607

研究課題名（和文）太陽系外縁天体から探る太陽系進化過程

研究課題名（英文）Investigation of the Solar System Evolution based on Trans-Neptunina Objects

研究代表者

寺居 剛 (Terai, Tsuyoshi)

国立天文台・ハワイ観測所・RCUH職員

研究者番号：20624018

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：すばる望遠鏡広視野撮像装置Hyper Suprime-Camによる掃天観測データから太陽系小天体のサイズ頻度分布を高精度で測定する手法を確立し、太陽系外縁天体の中でも始原性の高い天体集団の直径100km前後でサイズ頻度分布を決定した。加えて、同手法によって測定した木星トロヤ群やヒルダ群小惑星は同一のサイズ頻度分布を示すとともに、メインベルト小惑星のそれとは異なるという結果が得られた。このことから、それらの起源は小惑星帯よりも巨大惑星領域で形成された外縁天体集団に近いと推測される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本結果は、太陽系初期における微惑星形成、惑星成長、およびその後起こったと考えられている惑星大移動とそれに伴う小天体の大規模力学進化を理解するうえで重要な手掛かりを与え得る。本研究課題を発展させる必要性があることは明白で、今度さらなる観測研究を推し進めることが求められる。また、将来の大型地上望遠鏡や宇宙望遠鏡、宇宙探査機による観測・探査方針の策定などへの貢献も期待される。

研究成果の概要（英文）：We established a method for accurately measuring the size frequency distribution of small-body population in our solar system based on wide survey data obtained by using the Hyper Suprime-Cam, a wide-field imaging instrument mounted on the Subaru Telescope. Using this technique, we successfully determined the size frequency distribution of the primordial population of trans-Neptunian objects (TNOs) in the size range around 100 km in diameter. We also measured the size frequency distributions of Jupiter Trojan and Hilda asteroids, and found that they have the common shape of size distributions but it is distinct from that of main-belt asteroids. These results indicate that Jupiter Trojan and Hilda asteroids have similar origins to that of the dynamically-hot population of TNOs that are considered to have formed in the giant planet regions rather than that of main-belt asteroids.

研究分野：惑星科学

キーワード：太陽系小天体 太陽系外縁天体 サイズ頻度分布 すばる望遠鏡 サーベイ観測 木星トロヤ群 ヒルダ群小惑星

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

太陽系の惑星は、原始惑星系円盤の中で集積した微惑星の合体成長によって形成された。海王星軌道(日心距離 30 天文単位)以遠の外縁領域(カイパーベルト)に分布する小天体集団である太陽系外縁天体(以下、外縁天体)は、惑星に取り込まれずに現在まで生き残った微惑星であると考えられている。1992年に初めて発見されてから(Jewitt & Luu 1993)これまでに3000個以上(2023年6月現在)の外縁天体が登録されており、その力学的特徴から①海王星と平均運動共鳴にある「共鳴天体」、②海王星に近接遭遇して強い摂動を受け、軌道が重力散乱された「散乱天体」、③軌道離心率が小さく、海王星の重力摂動を受けにくい軌道にある「古典的天体」、④近日点距離が大きいため海王星からの重力散乱を受けない「非接近天体」に分類される。さらに「古典的天体」は、軌道傾斜角(黄道面に対する天体軌道面の傾斜角)が小さなものと大きなものの二成分から構成され、前者は力学的に“cold”な天体集団(以下、cold 集団)、後者は力学的に“hot”な天体集団(以下、hot 集団)と呼ばれる。それらは軌道要素だけでなく、大型天体(直径約 400 km 以上)の個数(hot 集団に偏在)、衛星保有率(cold 集団のほうが顕著に高い)、色指数(波長による反射率の差)分布(cold 集団には赤い天体が多いのに対し、hot 集団は中性(太陽と類似の色指数)から赤色のものまで多様)などに明らかな違いがあり、異なる起源を持つことが指摘されている(Morbidelli et al. 2008)。

近年有力視されている太陽系形成モデルによると、木星から海王星までの巨大惑星は形成後に小天体との重力相互作用により軌道半径が変化し、木星はやや内側に、土星・天王星・海王星は外側へ移動したとされる(Tsiganis et al. 2005)。この惑星大移動により、太陽系全体で小天体の軌道が重力散乱され、大規模な軌道進化が起こった。その過程で、巨大惑星領域で形成された小天体の一部が惑星からの重力摂動によって大きな軌道傾斜角を獲得しつつ外縁天体領域へ運搬され、現在の hot 集団を構成していると推測されている(Levison et al. 2008)。一方、cold 集団は元から外縁天体領域で形成され、大きな軌道進化を経験していない天体と考えられる。このような起源の違いは先述の cold・hot 集団間の異なる特徴を定性的にはうまく説明することができるため、惑星大移動モデルを支持する証拠の1つとされている。しかし、外縁天体は太陽から遠く離れた場所にあつて非常に暗く、系統的な観測を行うことが難しいため、小惑星帯の天体などに比べて不明な点が多い。上記モデルから導かれる起源・進化シナリオを定量的に比較・検証するために必要な情報が著しく不足しているのが現状で、さらなる観測研究の進展が要請される。

2. 研究の目的

(1) 本研究は多角的な観測的事実から外縁天体の起源・進化に対してこれまでよりも精密な制約を与え、惑星大移動モデルの定量的な検証および改良を行うことにより、太陽系進化過程の理解を深めることを目的とする。本研究では特に外縁天体のサイズ頻度分布に着目する。サイズ頻度分布は天体の大きさに対する個数頻度、一般的に小天体は小型のものほど個数が多く、べき乗で増加する。ある天体サイズより大きな範囲では太陽系初期の微惑星の合体成長で形成された天体の大きさが保持されているのに対し、他方はその後の相互衝突による大規模破壊を複数回経験していると考えられる。したがって、前者のサイズ分度分布は微惑星の集積過程を反映しており、成長速度が早いほど大きな天体が形成されやすく、勾配が緩やかな(べき指数が小さな)サイズ頻度分布となる。天体の成長速度は主に天体の軌道半径(もしくは公転周期)に依存するため、天体が形成された微惑星円盤内の位置を示す指標となる。一方、衝突進化が卓越する範囲のサイズ分度分布の勾配・形状は天体の主要組成や内部構造を示す指標となる。どちらも外縁天体の起源と進化を解明するうえで重要である。本研究では大型望遠鏡と広視野撮像装置を用いた掃天(サーベイ)観測により、外縁天体、特に始原性が高いと考えられる cold 集団のサイズ頻度分布を測定し、太陽系初期の外縁領域における微惑星成長を探ることを目的とする。

(2) 一方で、外縁天体の中でも hot 集団に分類される天体は、現在の場所よりも内側の領域で形成され、惑星大移動期に天王星や海王星からの重力摂動を受けて外縁天体領域に運搬されたとの仮説が提案されている(Morbidelli et al. 2008)。このような小天体の大規模な力学進化を解明するための有効な手段として、他の小天体集団を詳しく調査し、外縁天体との関連性を検証ことが挙げられる。中でも木星軌道上のラグランジュ点 L4・L5 近傍に群集する「木星トロヤ群」や木星との 3:2 平均運動共鳴軌道にある「ヒルダ群」に属する小惑星は上記の外縁天体と同一の起源を持つ可能性が指摘されており、巨大惑星領域近傍に位置する点からも惑星移動の痕跡を探るうえで重要な研究対象と言える。本研究ではそれらのサイズ頻度分布を正確に決定し、異なる小天体集団間で比較することによって起源の類似性を議論する。

3. 研究の方法

小天体集団のサイズ頻度分布を精密に測定するには、均質なサーベイ観測によって多数個のサンプル天体の光度データを収集しなければならない。本研究では口径 8.2 メートルの「すばる望遠鏡」と、その主焦点に搭載される超広視野可視光撮像装置「Hyper Suprime-Cam」(以下、HSC)

を使用する。HSC は 2013 年から運用が開始された 104 枚の CCD 素子から構成されるモザイクカメラで、直径 1.5 度角（満月の視直径の 3 倍）の広視野を有し、高い集光力と広域サーベイ能力を合わせ持つ。特に外縁天体のような暗く個数密度の低い小天体を多数検出するには最適な観測装置である。

我々は共同利用観測枠や所員時間観測枠などを通じてすばる望遠鏡の観測時間を獲得し、継続的に HSC を用いた観測を実施してサーベイデータを取得している。太陽系小天体は地球上での位置が時々刻々と変化する「移動天体」であるため、通常とは異なる特別な方法での観測およびデータ解析が必要である。これまでの研究活動で培った技術や経験を活かし、限られた時間で効率よく多数の小天体を検出することに特化した観測デザイン設計と画像解析ツールの開発を行う。検出された天体サンプルからサイズ頻度分布を正確に測定・補正するための測定技術はこれまでの研究活動からすでに確立しており、上記データにそれらを適用することによって先行研究よりも大幅に高い精度でのサイズ頻度分布決定を実現する。

4. 研究成果

(1) すばる望遠鏡 HSC を用いて取得した黄道面領域 14 平方度のサーベイ観測データを解析し、173 個の外縁天体を検出した。そのうち①軌道傾斜角が 10 度未満および②赤いカラーの条件から cold 集団天体候補を選定し、さらに日心距離と絶対等級により制約した結果、直径約 80km までの無バイアスサンプル 47 個を抽出した。それらから導出したサイズ頻度分布は、先行研究 (Fraser et al. 2014) で報告されていたような折れ曲がりを持つべき乗測で近似することができることが確認された一方、先行研究に比べべき指数が小さい、すなわち傾斜がより緩やかであること、また変曲点に相当する天体サイズがより小さいという結果が得られ、これまで指摘されていたよりも散乱天体のサイズ分布とは顕著な差異が見られないことが示された。また、木星トロヤ群のサイズ分布とは全く一致しない一方、海王星トロヤ群のそれとは形状が類似していることが確認された。本研究で得られたサイズ頻度分布の形状は太陽系初期の微惑星集積過程を反映しており、今後さらに他の天体集団と比較することによって cold 集団天体の起源や他集団との関係性を探る有力な手掛かりにつながると期待される。

(2) 上記と同様の手法を適用し、すばる望遠鏡 HSC を用いて木星トロヤ群およびヒルダ群天体を対象にしたサーベイ観測を実施した。すでに我々は木星トロヤ群 L4 のサイズ頻度分布を直径約 2km の範囲まで測定することに成功しており、単一べき乗則で近似される特徴的な形状をもつことを報告済みである (Yoshida & Terai 2017)。本研究でさらにヒルダ群および木星トロヤ群 L5 のサイズ分布を類似のサイズ範囲で測定した。

ヒルダ群に対しては上記の木星トロヤ群 L4 観測と同じデータを使用し、約 29 平方度の天域から 130 個を検出した。検出限界は直径 1km 程度に相当する。それらから抽出した無バイアスサンプル 91 個からサイズ分布を測定したところ、単一べき乗則で近似されることに加えてべき指数は木星トロヤ群 L4 のものと一致することが示され、少なくとも直径 1-10km 前後のサイズ範囲でヒルダ群は木星トロヤ群 L4 と類似のサイズ分布を持つと結論付けられた (Terai & Yoshida 2018)。

さらに、木星トロヤ群 L5 を対象に実施した HSC 観測 15 平方度のデータも解析した結果、無バイアスサンプル 87 天体から得られたサイズ分布傾斜はやはり L4 のそれと一致した。これらを既知天体カタログと組み合わせたと、L4・L5 群のサイズ分布形状は観測されている全てのサイズ範囲（直径 2-100km）にわたって一致することが初めて示され、どのサイズ域でも両者の個数比は一定 (1.40 ± 0.15) であることが分かった (Uehata et al. 2022)。このことから、L4・L5 群間の個数差を生じさせた要因は天体サイズに依存しない力学的なメカニズムであること推測されるとともに、木星トロヤ群とヒルダ群は共通の起源を持つ可能性が高いことが示唆される。

また、我々は火星・木星軌道間に位置する小惑星帯に分布するメインベルト小惑星のサイズ分布も測定し、S 型小惑星に代表される赤いカラーの天体と C 型小惑星のような中性色の天体に二分して比較しても両者は同じサイズ分布形状を持つ (Maeda et al. 2021) 一方で、木星トロヤ群およびヒルダ群のそれとは明らかに異なることが明らかになった (Yoshida et al. 2019)。これらの観測事実から、木星トロヤ群やヒルダ群天体はメインベルト小惑星とは別の場所で形成され、その後に軌道進化を経て現在の軌道に捕獲されたと考えられる。これは巨大惑星領域で形成されたと考えられる hot 集団に属する外縁天体と類似の起源を持つとする理論モデルを強く支持するものであり、太陽系の起源と進化を解明するうえで大変有用な示唆を与える結果である。

<引用文献>

- ① Jewitt, D. and Luu, J. 1993, *Nature*, 362, 730
- ② Morbidelli, A. et al. 2008, *The Solar System Beyond Neptune*, 275
- ③ Tsiganis, K. et al. 2005, *Nature*, 435, 459
- ④ Levison, H. F. et al. 2008, *Icarus*, 196, 258

- ⑤ Fraser, W. C. et al. 2014, *Astrophysical Journal*, 782, 100
- ⑥ Yoshida, F. and Terai, T. 2017, *Astronomical Journal*, 154, 71
- ⑦ Terai, T. and Yoshida, F. 2018, *Astronomical Journal*, 156, 30
- ⑧ Uehata, K. et al. 2022, *Astronomical Journal*, 163, 213
- ⑨ Maeda, N. et al. 2021, *Astronomical Journal*, 162, 280
- ⑩ Yoshida, F. et al. 2019, *Planetary and Space Science*, 169, 78

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Chang Chan-Kao, Chen Ying-Tung, Fraser Wesley C., Yoshida Fumi, Lehner Matthew J., Wang Shiang-Yu, Kavelaars JJ, Pike Rosemary E., Terai Tsuyoshi (以下略)	4. 巻 2
2. 論文標題 FOSSIL. I. The Spin Rate Limit of Jupiter Trojans	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Planetary Science 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) 10.3847/PSJ/ac13a4	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 Maeda Natsuho, Terai Tsuyoshi, Ohtsuki Keiji, Yoshida Fumi, Ishihara Kosuke, Deyama Takuto	4. 巻 162
2. 論文標題 Size Distributions of Bluish and Reddish Small Main-belt Asteroids Obtained by Subaru/Hyper Suprime-Cam	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astronomical 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) 10.3847/1538-3881/ac2c6e	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 Chang Chan-Kao, Chen Ying-Tung, Fraser Wesley C., Lehner Matthew J., Wang Shiang-Yu, Alexandersen Mike, Choi Young-Jun, Granados Contreras A. Paula, Terai Tsuyoshi (以下略)	4. 巻 259
2. 論文標題 FOSSIL. II. The Rotation Periods of Small-sized Hilda Asteroids	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	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) 10.3847/1538-4365/ac50ac	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 Fumi Yoshida, Tsuyoshi Terai, Takashi Ito, Keiji Ohtsuki, Patryk Sofia Lykawka, Takahiro Hiroi, Naruhisa Takato	4. 巻 169
2. 論文標題 A comparative study of size frequency distributions of Jupiter Trojans, Hildas and main belt asteroids: A clue to planet migration history	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Planetary and Space Science	6. 最初と最後の頁 78-85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pss.2019.02.003	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 Jason Rhodes, Takahiro Sumi, David Bennett, ..., Tsuyoshi Terai, et al.	4. 巻 51
2. 論文標題 Subaru and WFIRST: A Partnership for the 2020s	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of the American Astronomical Society	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 無
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 Hiroaki Aihara, Yusra AlSayyad, Makoto Ando, ..., Tsuyoshi Terai, et al.	4. 巻 71
2. 論文標題 Second data release of the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	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) 10.1093/pasj/psz103	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 Terai Tsuyoshi, Yoshida Fumi	4. 巻 156
2. 論文標題 Size Distribution of Small Hilda Asteroids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 30 ~ 30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aac81b	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 Sakugawa Haruka, Terai Tsuyoshi, Ohtsuki Keiji, Yoshida Fumi, Takato Naruhisa, Lykawka Patryk Sofia, Wang Shiang-Yu	4. 巻 70
2. 論文標題 Colors of Centaurs observed by the Subaru/Hyper Suprime-Cam and implications for their origin	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	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) 10.1093/pasj/psy127	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 Shinnaka Yoshiharu, Kasuga Toshihiro, Furusho Reiko, Boice Daniel C., Terai Tsuyoshi, Noda Hiroto, Namiki Noriyuki, Watanabe Jun-ichi	4. 巻 864
2. 論文標題 Inversion Angle of Phase-polarization Curve of Near-Earth Asteroid (3200) Phaethon	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L33 ~ L33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aadb3d	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 Yoshida Fumi, Terai Tsuyoshi, Ito Takashi, Ohtsuki Keiji, Lykawka Patryk Sofia, Hiroi Takahiro, Takato Naruhisa	4. 巻 169
2. 論文標題 A comparative study of size frequency distributions of Jupiter Trojans, Hildas and main belt asteroids: A clue to planet migration history	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Planetary and Space Science	6. 最初と最後の頁 78 ~ 85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pss.2019.02.003	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

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 前田夏穂、寺居剛、大槻圭史、吉田二美、石原昂将、出山拓門
2. 発表標題 Color and size distributions of main belt asteroids obtained by the Subaru/Hyper Suprime-Cam
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tsuyoshi Terai, Bryan Holler, Fumi Yoshida, Stefanie Milam
2. 発表標題 Solar System Sciences
3. 学会等名 Subaru Roman Synergistic Observations Workshop IV (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大坪貴文, 高田唯史, 古澤久徳, 古澤順子, 寺居剛, 吉田二美, 浦川聖太郎
2. 発表標題 すばる望遠鏡HSCの観測画像・カタログデータベースを活用した既知太陽系小天体探査
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 前田夏穂, 寺居剛, 大槻圭史, 吉田二美, 石原昂将, 出山拓門
2. 発表標題 すばる望遠鏡Hyper Suprime-Cam で得た表面カラーの異なるメインベルト小惑星のサイズ分布比較
3. 学会等名 太陽系天体若手研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺居剛
2. 発表標題 Water ice abundance on small trans Neptunian objects
3. 学会等名 GREX PLUS サイエンス検討会 FY2021
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 寺居剛, 吉田二美, 大槻圭史
2. 発表標題 Measurement of Size Distribution of Cold Classical Trans-Neptunian Objects
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上畑琴美、寺居剛、大槻圭史、吉田二美
2. 発表標題 Size distribution of Jupiter's Trojan asteroids in the L5 swarm obtained by the Subaru/Hyper Suprime-Cam
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田二美、伊藤孝士、浦川聖太郎、寺居剛、富永望、諸隈智貴、酒向重行、大澤亮、田中雅臣、瀧崎凌
2. 発表標題 Phase curves of >20,000 small solar system bodies obtained by the Tomo-e Gozen transient survey
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fumi Yoshida, Takashi Ito, Seitaro Urakawa, Tsuyoshi Terai, Nozomu Tominaga, Tomoki Morokuma, Shigeyuki Sako, Ryou Ohsawa, Masaomi Tanaka, Ryo Hamasaki
2. 発表標題 Phase curves of >40,000 small solar system bodies obtained by the Tomo-e Gozen transient survey
3. 学会等名 14th Europlanet Science Congress 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前田夏穂、寺居剛、大槻圭史、吉田二美、石原昂将、出山拓門
2. 発表標題 すばる望遠鏡Hyper Suprime-Cam で検出された微小メインベルト小惑星のサイズ分布測定
3. 学会等名 日本惑星科学会2020年秋季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fumi Yoshida, Takashi Ito, Seitaro Urakawa, Tsuyoshi Terai, Nozomu Tominaga, Tomoki Morokuma, Shigeyuki Sako, Ryou Ohsawa, Masaomi Tanaka, Ryo Hamasaki
2. 発表標題 Phase curves of >40,000 small solar system bodies obtained by the Tomo-e Gozen transient survey
3. 学会等名 AAS Division of Planetary Science meeting #52 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大坪貴文、高田唯史、古澤久徳、古澤順子、寺居剛、吉田二美、浦川聖太郎
2. 発表標題 すばる望遠鏡HSC データを用いた既知太陽系小天体探査
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 Natsuho Maeda, Tsuyoshi Terai, Keiji Ohtsuki, Fumi Yoshida, Takuto Deyama
2. 発表標題 Size Distributions of Bluish and Reddish Small Main Belt Asteroids
3. 学会等名 52nd Lunar and Planetary Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fumi Yoshida, Tsuyoshi Terai, Takashi Ito, Keiji Ohtsuki, Patryk Sofia Lykawka, Takahiro Hiroi, Naruhisa Takato, Takuto Deyama
2. 発表標題 A comparative study of size frequency distributions of Jupiter Trojans, Hildas and main belt asteroids: A clue to planet migration history
3. 学会等名 The Main Belt: A Gateway to the Formation and Early Evolution of the Solar System (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺居 剛, 吉田 二美, 関口 朋彦, 阿部 新助, 石黒 正晃, 白井 文彦, 大坪 貴文, 河北 秀世, 新中 善晴, 高遠 徳尚, 長谷川 直, 渡部 潤一
2. 発表標題 TMT/IRIS による太陽系外縁天体の近赤外線分光観測
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田 二美, 寺居 剛, 伊藤 孝士, 大槻 圭史, Lykawka Sofia Patryk, 廣井 隆弘, 高遠 徳尚
2. 発表標題 木星トロヤ群、ヒルダ群、およびメインベルト小惑星のサイズ頻度分布の比較研究：太陽系初期の惑星移動への手がかり
3. 学会等名 日本惑星科学会秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 癸生川 陽子, 小林 仁美, 高橋 葵, 大坪 貴文, 寺居 剛, 吉田 二美, 長谷川 直, 白井 文彦, SPICA太陽系・系外惑星サイエンス検討班
2. 発表標題 SPICA の中間赤外線分光観測で探る木星トロヤ群小惑星の科学
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Terai Tsuyoshi、Yoshida Fumi
2. 発表標題 Comparison of the Size Distributions among Jupiter Trojan, Hilda, and Main-Belt Asteroids
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名	Terai Tsuyoshi、Yoshida Fumi、Ohtsuki Keiji、Lykawka Patryk Sofia、Takato Naruhisa、Higuchi Arika、Ito Takashi
2. 発表標題	Multi-band Photometry of Trans-Neptunian Objects in the Subaru Hyper Suprime-Cam Survey
3. 学会等名	Japan Geoscience Union Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	Sakugawa Haruka、Terai Tsuyoshi、Ohtsuki Keiji、Yoshida Fumi
2. 発表標題	Colors of Centaurs observed by the Subaru/Hyper Suprime-Cam
3. 学会等名	Japan Geoscience Union Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	Shinnaka Yoshiharu、Kasuga Toshihiro、Furusho Reiko、Namiki Noriyuki、Noda Hiroto、Terai Tsuyoshi、Watanabe Jun-ichi
2. 発表標題	Polarimetry of Near-Earth Asteroid (3200) Phaethon on 2017 December
3. 学会等名	Japan Geoscience Union Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	寺居 剛、吉田二美、P9/RRLサーベイプロジェクト
2. 発表標題	Planet Nine サーベイの進行状況とデータ解析
3. 学会等名	日本天文学会秋季年会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名 Shinnaka Yoshiharu、Kasuga Toshihiro、Boice Daniel、Terai Tsuyoshi、Furusho Reiko、Noda Hiroto、Namiki Noriyuki、Watanabe Jun-ichi
2. 発表標題 Wide phase-polarization curve of asteroid (3200) Phaethon during December 2017
3. 学会等名 American Astronomical Society, DPS meeting #50 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Deyama Takuto、Terai Tsuyoshi、Ohtsuki Keiji、Yoshida Fumi
2. 発表標題 Size and Color Distributions of Small Main-Belt Asteroids Observed by the Subaru/Hyper Suprime-Cam
3. 学会等名 50th Lunar and Planetary Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2019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

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