

[E] 口頭発表 | セッション記号 P (宇宙惑星科学) : P-PS 惑星科学

■ 2021年6月6日(日) 9:00 ~ 10:30 | 会Ch.04 Zoom会場04

[P-PS04] 太陽系小天体：はやぶさ2等の宇宙ミッションからの新展開

コンビーナ:岡田 達明(宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所)、中本 泰史(東京工業大学)、黒田 大介(京都大学)、座長:岡田 達明(宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所)、中本 泰史(東京工業大学)、YACHEN YANG(Center for Space and Remote Sensing Research)

小惑星、彗星、衛星、惑星間塵など太陽系小天体は、われわれの太陽系の起源と進化の謎を理解するため、また人類を含む生命の誕生をもたらした材料物質を供給源として、きわめて重要である。小天体は地球上や周回軌道からの望遠鏡や現地訪問する探査機による観測的研究によって多くの新発見がなされてきた。隕石や宇宙塵に加えてサンプルリターンによる帰還試料の分析的研究によって太陽系史の新たな描像が加わった。それらの結果と数値シミュレーションを組み合わせた理論的研究や実験的研究によって検証され、また新たな視点が形成されている。本セッションでは、太陽系小天体に関するあらゆる方法論での最新の科学的成果の報告や、新規の方法論の提案を歓迎する。特に「はやぶさ2」での観測結果や帰還試料の分析結果、MMX、Destiny+、Hera、Comet Interceptor、Hayabusa2延長ミッションなど将来のミッションでの期待される成果や準備状況などについての報告を期待する。

9:00 ~ 9:05

[PPS04-01] Introduction

9:05 ~ 9:20

[PPS04-02] はやぶさ2の統合サイエンス

*渡邊 誠一郎¹、藪田 ひかる²、和田 浩三³、平田 成⁴、平田 直之⁵、寫生 有理⁷、野口 里奈⁷、杉田 精司⁶、北里 宏平⁴、岡田 達明⁷、並木 則行⁸、橘 省吾^{6,7}、荒川 政彦⁵、田中 智⁷ (1.名古屋大学、2.広島大学、3.千葉工業大学、4.会津大学、5.神戸大学、6.東京大学、7.宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所、8.国立天文台)

9:20 ~ 9:35

[PPS04-03] Progress report of initial description of the C-type asteroid Ryugu samples returned by Hayabusa2

*矢田 達¹、安部 正真¹、中藤 亜衣子¹、与賀田 佳澄¹、宮崎 明子¹、熊谷 和也²、畠田 健太郎²、岡田 達明¹、西村 征洋¹、古屋 静萌¹、吉武 美和¹、岩前 絢子²、Liu Lucie¹、Lourit Lionel³、Pilorget Cedric³、Hamm Vincent³、Bibring Jean-Pierre³、長 勇一郎⁴、湯本 航生⁴、矢部 佑奈⁴、杉田 精司⁴、橘 省吾⁴、澤田 弘崇¹、坂本 佳奈子¹、林 佑¹、山本 大貴¹、深井 稜汰¹、菅原 春菜¹、塚本 尚義⁵、臼井 寛裕¹、渡邊 誠一郎⁶、津田 雄一¹ (1.宇宙航空研究開発機構、2.マリンワーク・ジャパン、3.仏宇宙天体物理学研究所、4.東京大学、5.北海道大学、6.名古屋大学)

9:35 ~ 9:50

[PPS04-04] 小惑星のレゴリス起伏地形に形成されるクレーターに関する実験的研究

*横田 優作¹、荒川 政彦¹、保井 みなみ¹、山本 裕也¹、長谷川 直²、大川 初音¹ (1.神戸大学大学院理学研究科、2.宇宙航空研究開発機構)

9:50 ~ 10:10

[PPS04-05] The collisional history in the Main Belt

★Invited Papers

*小林 浩¹ (1.名古屋大学理学研究科)

10:10 ~ 10:30

[PPS04-06] Internal structure of pebble-pile comets inferred from thermal and mechanical properties of dust aggregates

★Invited Papers

*荒川 創太¹ (1.国立天文台)

[E] 口頭発表 | セッション記号 P (宇宙惑星科学) | P-PS 惑星科学

[P-PS04] 太陽系小天体：はやぶさ 2 等の宇宙ミッションからの新展開

コンビーナ:岡田 達明(宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所)、中本 泰史(東京工業大学)、黒田 大介(京都大学)、座長:岡田 達明(宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所)、中本 泰史(東京工業大学)、YACHEN YANG(Center for Space and Remote Sensing Research)

2021年6月6日(日) 09:00 ~ 10:30 Ch.04 (Zoom会場04)

小惑星、彗星、衛星、惑星間塵など太陽系小天体は、われわれの太陽系の起源と進化の謎を理解するため、また人類を含む生命の誕生をもたらした材料物質を供給源として、きわめて重要である。小天体は地球上や周回軌道からの望遠鏡や現地訪問する探査機による観測的研究によって多くの新発見がなされてきた。隕石や宇宙塵に加えてサンプルリターンによる帰還試料の分析的研究によって太陽系史の新たな描像が加わった。それらの結果と数値シミュレーションを組み合わせた理論的研究や実験的研究によって検証され、また新たな視点が形成されている。本セッションでは、太陽系小天体に関するあらゆる方法論での最新の科学的成果の報告や、新規の方法論の提案を歓迎する。特に「はやぶさ 2」での観測結果や帰還試料の分析結果、MMX、Destiny+、Hera、Comet Interceptor, Hayabusa2延長ミッションなど将来のミッションでの期待される成果や準備状況などについての報告を期待する。

09:00 ~ 09:05

[PPS04-01]Introduction

はやぶさ2の統合サイエンス

Interdisciplinary Science of Hayabusa2 Mission

*渡邊 誠一郎¹、藪田 ひかる²、和田 浩二³、平田 成⁴、平田 直之⁵、鳶生 有理⁷、野口 里奈⁷、杉田 精司⁶、北里 宏平⁴、岡田 達明⁷、並木 則行⁸、橘 省吾^{6,7}、荒川 政彦⁵、田中 智⁷

*Sei-ichiro WATANABE¹, Hikaru Yabuta², Koji Wada³, Naru Hirata⁴, Naoyuki Hirata⁵, Yuri Shimaki⁷, Rina Noguchi⁷, Seiji Sugita⁶, Kohei Kitazato⁴, Tatsuaki Okada⁷, Noriyuki Namiki⁸, Shogo Tachibana^{6,7}, Masahiko Arakawa⁵, Satoshi Tanaka⁷

1. 名古屋大学、2. 広島大学、3. 千葉工業大学、4. 会津大学、5. 神戸大学、6. 東京大学、7. 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所、8. 国立天文台

1. Nagoya University, 2. Hiroshima University, 3. Chiba Institute of Technology, 4. University of Aizu, 5. Kobe University, 6. University of Tokyo, 7. JAXA/ISAS, 8. National Astronomical Observatory

Asteroid explorer *Hayabusa2* completed its proximity operation around C-type asteroid Ryugu and returned to Earth with surface sample. More than 5 g of the particles in the sample catchers were successfully retrieved and wait for analyses. We will review the interdisciplinary science of *Hayabusa2* mission based on the proximity observations through visible and thermal IR imaging, NIR spectrometer, LIDAR, and the Small Carry-on Impactor (SCI) experiment, which will give a strategy of the return sample analyses. The SCI experiment reveals crater-to-impactor size ratio on Ryugu is more than 60 [1], contrast to the lower value of 10 derived from the size-frequency distributions of the main-belt asteroids and craters on the asteroids already explored [2]. This will change the chronology of the material transport process from the main asteroid belt to the Earth region. Based on the SCI scaling law, the surface age of Ryugu is estimated to be ~16 Ma, which is much shorter than the estimated ages (100 Ma to 1 Ga) of the candidate source collisional families in the inner asteroidal belt. This suggests that Ryugu is a product of a higher generation of the parent body disruption [3] or global resurfacing due to YORP induced past rapid rotation [4]. Visible color variations on Ryugu suggest the reddening of surface material by solar heating and/or space weathering under a temporal excursion near the Sun [5]. These hypotheses based on remote-sensing observations and the SCI experiment will be confirmed through return sample analyses.

Another important issue is the reconstruction of the properties of the parent body. Proximity observations using NIRS3 reveals the presence of global OH bearing minerals on Ryugu [6], whereas the amount is relatively small compared with hydrated carbonaceous chondrites and Bennu [7]. Both partial dehydration and incipient aqueous alteration will produce the weak OH absorption [3], which will be distinguished by return sample analyses. High porosity of Ryugu could be ascribed to loss of water ice during or after the formation of the rubble pile, if its parent body was an icy asteroid [4]. Water-rock ratio of the parent planetesimal with ²⁶Al heating will determine the set of coexisting minerals, which will also be determined by return sample analyses. Size-frequency distribution of surface particles as well as aggregate's constituent particles are important for identifying what kind of dust grains planetesimals are consist of. We will discuss the vision of exploration-based reconstruction of planetesimals.

[1] Arakawa et al. (2020), *Science* **368**, 268; [2] Bottke et al. (2020), *Astron. J.* **160**, 14; [3] Sugita et al. (2019), *Science* **364**, eaaw0422, [4] Watanabe et al. *Science* **364**, 268; [5] Morota et al. (2020), *Science*

368, 654; [6] Kitazato et al. (2019) *Science* **364**, 272; [7] Hamilton et al. (2019), *Nature Astron.* **3**, 332.

キーワード：惑星探査、太陽系物質輸送、惑星形成過程、微惑星

Keywords: planetary exploration, material transport in the Solar System, planetary accretion process, planetesimals

Progress report of initial description of the C-type asteroid Ryugu samples returned by Hayabusa2

*矢田 達¹、安部 正真¹、中藤 亜衣子¹、与賀田 佳澄¹、宮崎 明子¹、熊谷 和也²、畠田 健太郎²、岡田 達明¹、西村 征洋¹、古屋 静萌¹、吉武 美和¹、岩前 絢子²、Liu Lucie¹、Lourit Lionel³、Pilorget Cedric³、Hamm Vincent³、Bibring Jean-Pierre³、長 勇一郎⁴、湯本 航生⁴、矢部 佑奈⁴、杉田 精司⁴、橘 省吾⁴、澤田 弘崇¹、坂本 佳奈子¹、林 佑¹、山本 大貴¹、深井 稜汰¹、菅原 春菜¹、坂本 尚義⁵、臼井 寛裕¹、渡邊 誠一郎⁶、津田 雄一¹

*Toru Yada¹, Masanao Abe¹, Aiko Nakato¹, Kasumi Yogata¹, Akiko Miyazaki¹, Kazuya Kumagai², Kentaro Hatakeda², Tatsuaki Okada¹, Masahiro Nishimura¹, Shizuho Furuya¹, Yoshitake Miwa¹, Ayako Iwamae², Lucie Liu¹, Lionel Lourit³, Cedric Pilorget³, Vincent Hamm³, Jean-Pierre Bibring³, Yuichiro Cho⁴, Koki Yumoto⁴, Yuna Yabe⁴, Seiji Sugita⁴, Shogo Tachibana⁴, Hiroataka Sawada¹, Sakamoto Kanako¹, Tasuku Hayashi¹, Daiki Yamamoto¹, Ryota Fukai¹, Haruna Sugahara¹, Hisayoshi Yurimoto⁵, Tomohiro Usui¹, Sei-ichiro WATANABE⁶, Yuichi Tsuda¹

1. 宇宙航空研究開発機構、2. マリンワーク・ジャパン、3. 仏宇宙天体物理学研究所、4. 東京大学、5. 北海道大学、6. 名古屋大学

1. Japan Aerospace Exploration Agency, 2. Marine Works Japan, 3. Institut D' Astrophysique Spatiale, 4. University of Tokyo, 5. Hokkaido University, 6. Nagoya University

The Hayabusa2 spacecraft reached the C-type near-Earth asteroid 162173 Ryugu in June 2018 and observed the asteroid with onboard instruments and from the landers [1-8], and accomplished two touchdown samplings on 22 Feb. and 12 Jul. 2019 [9]. After the 2nd touchdown, the sample catcher which contains samples was transferred into its reentry capsule. The spacecraft left the asteroid in Nov. 2019 and returned the capsule to the Woomera Prohibited Area in South Australia on 6 Dec. 2020. The handling processes for the capsule and the sample container in it after its landing have been detailed in a previous report [10].

The clean chambers in the Extraterrestrial Sample Curation Center of JAXA Sagami-hara campus are composed of five chambers; CC3-1~3 and CC4-1~2 [12]. The container was installed into CC3-1 on 11 Dec. 2020 and opened after evacuated to high vacuum. The sample catcher was extracted from the container, and transported to CC3-2. The catcher is composed of three small chambers A, B and C. The chambers A and C contain sample obtained by the 1st and 2nd touchdowns, respectively. As the cover of the chamber A was opened in vacuum in CC3-2, a large number of black particles were observed inside the chamber A, as shown in the Fig. 1. Two particles inside the chamber A were picked up and placed on a quartz glass dish for future science. The catcher with the greater part of samples was transferred to CC3-3, and the gate valve between CC3-2 and CC3-3 was closed. Then, CC3-3 was slowly purged with purified nitrogen gas to the atmospheric pressure, in which the catcher was handled with Viton-coated butyl gloves.

The catcher containing samples was transferred to CC4-2 and its bulk weight was measured with an electronic balance. The total weight of the samples inside the catcher is 5.4g, subtracting the designed weight of the catcher and a tare weight of an attached jig. The catcher was then dismantled to extract samples from the chambers A, B and C to sapphire glass dishes in CC4-1. The bulk samples held in the dishes were photographed with an optical microscope installed above CC4-2. The same microscope was used to take images of the samples with illumination through five filters (0.40 μm (ul), 0.48 μm (b), 0.55

μm (v), $0.59\ \mu\text{m}$ (Na), and $0.70\ \mu\text{m}$ (w)) matched to the ONC-T camera of Hayabusa2 [2]. The weight of each dish was measured with the balance in CC4-2. The bulk samples in the dishes were measured with the FT-IR (JASCO VIR-300) installed to CC4-2 for their average spectra from 1 to $5\ \mu\text{m}$ and were also measured with MicrOmega installed to CC3-3, a noncontact version of the hyperspectral microscope onboard the MASCOT lander [11], to investigate spectral features from 0.99 to $3.65\ \mu\text{m}$ of the samples. After the bulk initial description, individual particles $>1\text{mm}$ in size are handpicked one by one with a vacuum tweezer to be enclosed into individual particle containers. They are to be characterized in the same manner as the bulk samples.

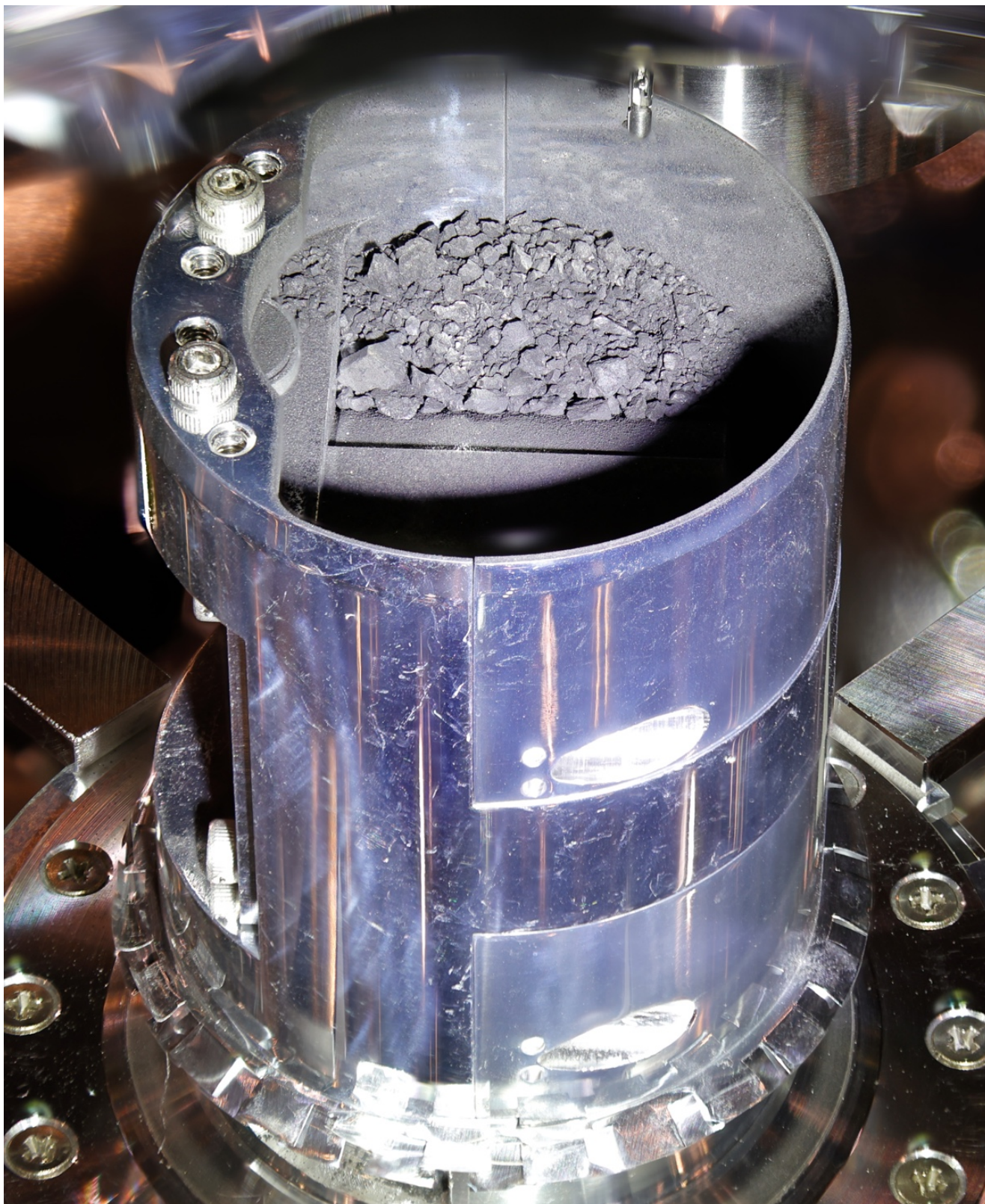
The sample distribution plan was detailed in [12]. JAXA plans to release the announcement of opportunity for the Hayabusa2 samples to the international science community with the sample catalog after 18 months from their return to the Earth.

References: [1] Watanabe S. et al. (2019) *Science* 364, 268. [2] Sugita S. et al. (2019) *Science* 364, 252. [3] Kitazato K. et al. (2019) *Science* 364, 272. [4] Jaumann R. et al. (2019) *Science* 365, 817. [5] Grott M. et al. (2019) *Nat. Astron.* [6] Okada T. et al. (2020) *Nature* 579, 518. [7] Morota T. et al. (2020) *Science* 368, 654. [8] Arakawa M. (2020) *Science* 368, 67. [9] Tachibana S. et al. (2020) 51st LPSC, #2027. [10] Tachibana S. et al. (2021) 52nd LPSC, #1289. [11] Bibring J.-P. et al. (2017) *Space Sci. Rev.* 208, 401. [12] Yada T. et al. (2021) 52nd LPSC, #2008.

Figure 1. A photograph of the sample catcher of Hayabusa2 after opening its chamber A in CC3-2. A large number of black particles are observed inside the chamber. An outer diameter of the catcher is 48mm.

キーワード：はやぶさ2、リュウグウ、小惑星、帰還試料、炭素質コンドライト、C型小惑星

Keywords: Hayabusa2, Ryugu, asteroid, return samples, carbonaceous chondrite, C-type asteroid



小惑星のレゴリス起伏地形に形成されるクレーターに関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON IMPACT CRATERS FORMED ON MOUNTAIN-LIKE SURFACE TOPOGRAPHY OF ASTEROIDS

*横田 優作¹、荒川 政彦¹、保井 みなみ¹、山本 裕也¹、長谷川 直²、大川 初音¹

*Yusaku Yokota¹, Masahiko Arakawa¹, Minami Yasui¹, Yuya Yamamoto¹, Sunao Hasegawa², Hatsune Okawa¹

1. 神戸大学大学院理学研究科、2. 宇宙航空研究開発機構

1. Graduate School of Science, Kobe University, 2. Japan Aerospace Exploration Agency

衝突クレーターは、小惑星や衛星のような固体天体において主要な地質学的特徴の1つである。平面に形成されるクレーターは円形である一方、斜面に形成されるクレーターは楕円形であることがわかっている。特に、小惑星や衛星には斜面やバルジ、峡谷など、様々な地形が存在する。近年、はやぶさ2やOSIRIS-RExなどの探査機によって、小惑星リュウグウやベンヌは赤道域に巨大なバルジ地形を有していることがわかった。さらに、リュウグウのバルジ上には、非対称なプロファイルを持つクレーターがいくつか見つかった。ところが、これまでのクレータースケール則は、平面の標的に対して行われた実験の結果をもとに構築されたものである。従って、小惑星表面の起伏地形に形成されるクレーターの形成過程に適用するためには、小惑星表面の起伏地形の影響を考慮したクレータースケール則が必要である。そこで本研究では、小惑星表面の起伏地形を模擬した粉粒体標的に対してクレーター形成実験を行い、クレーターサイズや形状、エジェクタ放出過程における表面地形の影響を調べた。

小惑星表面の起伏地形を模擬するために、山脈型と円錐型の2種類の形状を持つ粉粒体標的を用意した。山脈型標的の傾斜角 θ は 20° と 30° 、円錐型標的の傾斜角 θ は 30° とした。また、それぞれの標的に対して、平面($\theta=0^\circ$)においても実験を行なった。山脈型標的では、山頂から衝突点までの水平距離 d を変化させ、円錐型標的では、すそ野の幅 w を変化させて実験を行なった。

クレーター形成実験は、神戸大学の縦型一段式軽ガス銃と宇宙科学研究所の縦型二段式軽ガス銃を用いて行なった。衝突速度は、 $69\sim 202$ m/s (山脈型標的)と 41 m/s ~ 4.21 km/s (円錐型標的)とした。また、クレーター形状を調べるために、PhotoScan Proというソフトウェアを使用して、クレーターの3次元形状モデルを構築した。

山脈型標的では、稜線方向の長さ(長径)が斜面方向の長さ(短径)よりも長い楕円形のクレーターが形成された。さらに、形成されたクレーターの堆積リムは、稜線方向には見られたが、斜面方向には見られなかった。また、クレーター形状の非対称性は d に強く依存していた。そこで、長径と短径の比をアスペクト比と定義すると、 d が大きいほど、長径が小さいほどアスペクト比が小さくなることがわかった。この傾向は、 $\theta=20^\circ$ の標的においても確認されたが、 d と長径が同じクレーターでは、 $\theta=20^\circ$ よりも $\theta=30^\circ$ の方がアスペクト比は大きくなった。また、 π スケールリングによって山脈型標的のクレータースケール則を構築した。規格化クレーター半径 π_r は θ に依存し、平面の π_r の方がおよそ1.3倍大きくなった。

円錐型標的では、衝突前の山の高さ H_0 と衝突後の山の高さ H_1 の比を観察した。弾丸の運動量を標的の質量で割った値を特性速度 v^* と定義し、様々な衝突速度における v^* と衝突前後の高さ比の関係性を調べた。 v^* が 0.5 m/sより小さい範囲では、衝突速度に関係なく、 v^* の増加に伴って高さ比が指数関数的に減少した。従って、衝突前後の標的の高さ比は弾丸の運動量で整理できることがわかった。 v^* が 0.5 m/sより大きい範囲では、標的のほとんどが掘削され、高さ比がほぼ0になった。また、円錐型標的に形成されたクレーターの直径は、同じ衝突エネルギーでは平面に形成されたクレーターの直径とほぼ同じ大きさであった。

キーワード：クレーター

Keywords: crater

The collisional history in the Main Belt

*小林 浩¹

*Hiroshi Kobayashi¹

1. 名古屋大学理学研究科

1. Department of Physics, Nagoya University

Asteroids in the Main Belt Mean collisional velocity between them is estimated to be about 5 km/s so that collisions lead to fragmentation. The collisional timescale for 100 km-sized or larger asteroids is estimated to be much longer than the age of the Solar System, while smaller asteroids are expected to have experience of catastrophic disruption. This estimate is consistent with the fraction of asteroids in collisional families. Therefore, such large asteroids may have formed in the planet formation era. The mass distribution of 100km-sized or larger main belt asteroids is explained by the onset of runaway growth of planetesimals. On the other hand, smaller bodies are fragmented into still smaller bodies. The mass distribution of 10km-sized or smaller asteroids is in the quasi steady state of the collisional cascade. However, the collisional lifetimes of such small asteroids highly depend on collisional outcome models. According to the collisional theory, we may discuss the possible histories of kilometer sized asteroids.

キーワード：小惑星、微惑星、衝突

Keywords: Asteroids, planetesimals, Collisions

Internal structure of pebble-pile comets inferred from thermal and mechanical properties of dust aggregates

*荒川 創太¹

*Sota ARAKAWA¹

1. 国立天文台

1. National Astronomical Observatory of Japan

The *Rosetta* mission has provided new data to better understand what comets are made of. The weak tensile strength of the cometary surface materials suggests that comet 67P/Churyumov–Gerasimenko is a hierarchical dust aggregate formed through gravitational collapse of a bound clump of small dust aggregates so-called 'pebbles' in the gaseous solar nebula. Recently, we calculated the thermal inertias and thermal skin depths as functions of the size of pebbles (Arakawa & Ohno 2020). We found that the thermal properties of the comet are consistent with the hierarchical aggregate of cm- to dm-sized pebbles. This estimate is also consistent with the mechanical strength of the nucleus. In addition, we reanalyzed the stickiness of icy dust particles using a viscoelastic contact model. Our results indicate that not only H₂O ice but also CO₂ ice particles could easily grow into cm-sized large pebbles in the solar nebula (Arakawa & Krijt 2021), and this size estimate may be consistent with that from thermal and mechanical analyses on comet 67P.

キーワード：彗星、熱慣性、ダスト成長

Keywords: Comet, Thermal inertia, Dust growth