

惑星ラボからこんにちは!その8 ～千葉工業大学・惑星探査研究センター～

黒澤 耕介, 秋山 演亮, 小林 正規, 千秋 博紀, 諸隈 智貴, 和田 浩二, 秋田谷 洋,
石橋 高, 石丸 亮, 大野 宗祐, 山田 学, 奥平 修, 前田 恵介, 三宅 範宗, 岡本 尚也,
木村 宏, 原田 徹郎, 平井 隆之, 和田 豊, 荒井 朋子

1. 千葉工業大学 惑星探査研究センターについて

日本惑星科学会のみなさま, こんにちは! 千葉工業大学惑星探査研究センターです。英語名 Planetary Exploration Research Centerを略してPERC(ぱーく)と覚えていただけましたら幸いです。PERCは私立大学に設置された研究センターの機動性と柔軟性を生かして惑星探査計画に関わり, 比較惑星学, 宇宙生物学の知識の地平線を広げることを目指して活動しています。本稿ではPERCの現在の全体像について簡単にご紹介します¹。2023年3月22日に松井孝典先生(PERC初代所長)が逝去されたことを受け, 2023年4月より荒井朋子主席研究員が2代目所長に就任しております。現在では研究員36名(主席研究員6, 上席研究員6, 研究員3, 嘱託5, 非常勤16)の体制となっています²。

千葉工業大学は1942年に興亜工業大學として設立され, 1946年に現名称へ改称されました。1950年に現在の津田沼校地に移転しました。現存する理工系私立大学では最も長い歴史を持っています。PERCは2009年に学校法人直轄の2つ目の研究センター³として発足しました。PERCが置かれている津田沼キャンパスはJR津田沼駅から徒歩2分に位置しています。JR津田沼駅には東京駅から電車で30分ほどで到着します。羽田, 成田の両空港ともに近く国内の研究拠点としてはこれ以上ない立地となっております。

2. プロジェクト⁴

PERCの活動は「プロジェクト」という単位で研究テーマごとに区切られており, 研究員がそれぞれの得意分野を生かしたプロジェクトに参加し, 研究を進めています。プロジェクトにはJAXA, NASA, ESAが主導する惑星探査計画への参画も含まれています。その他に千葉工業大学の研究予算で遂行する独自の研究プロジェクトと, 後進の育成を目的としたプロジェクトがあります。以下では各プロジェクトについて簡単にご紹介します。細区分記号(a), (b), (c)…に続いて, 当該プロジェクトに参加している主な研究員の名前を示します。

2.1 惑星探査計画への参画

(a) DESTINY⁺ (荒井, 石橋, 小林, 山田, 木村, 平井, 岡本)

DESTINY⁺はDemonstration and Experiment of Space Technology for INterplanetary voYage

¹なおPERC開設時には当時の竝木則行副所長(現 国立天文台教授)が遊・星・人へ紹介記事[1]を寄稿しています, もしよろしければ本稿と見比べて頂き, 何を思ったかこっそり教えていただけたら嬉しいな, と思います。

²2009年の設立時は所長を含め8名でした, 主筆者(黒澤)は2013年度に赴任しました。

³1つ目は未来ロボット技術研究センター(<https://www.furo.org>)です, 千葉工業大学には他にも人工知能・ソフトウェア技術研究センター(<https://stair.center>), 次世代海洋資源研究センター(<https://orceng-cit.jp>), 地球学研究センター(<https://geo-cosmo-cit.jp>), 数理工学研究センター(<https://sites.google.com/view/rcme-cit/>), 変革センター(<https://www.henkaku.center/ja>)が設置されています, なお現在では千葉工業大学に設置されている研究センターは法人から大学へ移管されています。

⁴<http://www.perc.it-chiba.ac.jp/projects>

with Phaethon fLyby and dUst Scienceの略で、JAXA/千葉工大の共同計画です。荒井が理学PI、石橋が光学カメラPIを務めています。DESTINY⁺は小惑星フェートの高速フライバイ観測に挑みます。フェートは高い軌道離心率、軌道傾斜角を持つ直径およそ5 kmの天体です。これまでの地上観測から1自転のうちに異なる分光特性を示すことがわかっており、多様な地質を持つ特異な小惑星です。またふたご座流星群の母天体としても知られており、高速フライバイ観測で宇宙塵の発生過程を直接観察することを目指しています。なお、より詳しい解説は遊・星・人の連載として9月号から順次掲載されていきます。お楽しみに!

(b) MMX (千秋, 小林, 和田⁵, 奥平, 平井, 黒澤)

MMXは2024年打ち上げ予定の火星圏探査計画です。火星衛星フォボスからの~10 gの試料採集に挑む計画です。滞在期間に火星本体の近傍観測やデイモスのフライバイ観測も計画されています。PERCからは千秋がレーザー高度計(LIDAR)[2]、小林がダストモニター(Circum-Martian Dust Monitor, CMDM)のそれぞれの機器PI、和田、千秋が理学検討(Science board)に参加しています。また黒澤はMMXが持ち帰るフォボス試料の惑星検査検討チームに参加し、国際宇宙空間研究委員会(COSPAR)が定める惑星保護基準(Planetary Protection Policy)に抵触しないことを示しました[3-5]

(c) はやぶさ2とはやぶさ2# (和田こ, 千秋, 山田, 石橋, 黒澤, 伊佐)

PERCの所員は「はやぶさ2」のほぼすべての搭載観測機器の検討段階から関わり、小惑星リュウグウの近傍観測の数々の科学成果の創出[e.g., 6-10]を支えました。これらの成果は遊・星・人の連載記事「火の鳥 はやぶさ 未来編」⁶にて詳述されておりますの

⁵PERCには和田浩二主席研究員と和田豊非常勤主席研究員(千葉工業大学 工学部機械電子創成工学科 教授)が在籍しています。両名を区別するために本稿ではそれぞれを和田こ, 和田ゆと記します。

⁶J-STAGE (<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/-char/ja>)の検索窓に「火の鳥 はやぶさ 未来編」を入れれば、過去記事をまとめて読むことができます。

で、ここでは省きます。またはやぶさ2延長ミッションはやぶさ2#にも参画し、理学検討、観測機器の健全性確認などを行っています。黒澤と伊佐(当時PERCの博士研究員)はリュウグウ試料の粗粒粒子⁷[11]と可溶性有機物[12]の初期分析チームに参加しました。

(d) JUICE (小林, 石橋)

2023年4月14日に打ち上げられたことが記憶に新しい欧州木星探査機JUICEにも参画しています。小林、石橋は搭載されたガニメデ・レーザー高度計GALA (GANymede Laser Altimeter)の開発に携わりました。JUICE GALAチームは2034年にガニメデの地形と形状を測定する予定です。形状が木星による潮汐作用で歪む様子から、ガニメデの内部構造(内部海の深さなど)推定することや、氷地殻に形成された衝突クレータの粘性緩和度から熱史を制約することを目的としています。PERCはGALAの受光素子と電気制御計の開発を担当しました。

(e) BepiColombo (小林)

BepiColomboは2025年に水星周回軌道に投入され、1年間の観測を行う予定です。小林は水星ダストモニター(Mercury Dust Monitor, MDM)の2代目機器PIを務めています。水星軌道における惑星間塵流束を観測する予定です。内側太陽系の惑星間塵流束についてはデータに乏しいことが問題とされてきましたが、MDMの観測によって解決される見込みです。

2.2 PERC独自プロジェクト

(a) 超小型衛星(石丸, 小林, 奥平, 前田, 木村)

PERCでは独自の惑星科学探査を行う目的で、石丸を中心に超小型衛星を開発・運用してきました。本プロジェクトの2号機 ASTERISC (Advanced Satellite Toward Exploration of dust enviRonment with In-Situ Cosmic dust sensor)は3ユニットのキューブサット(30 cm × 10 cm × 10 cm)で独自に開発した新方式の面積膜型ダストセンサーを搭載しています(図1a)。ASTERISCは千葉工大津田沼キャンパス内の高層

⁷およそ直径1 mm以上の粒子。

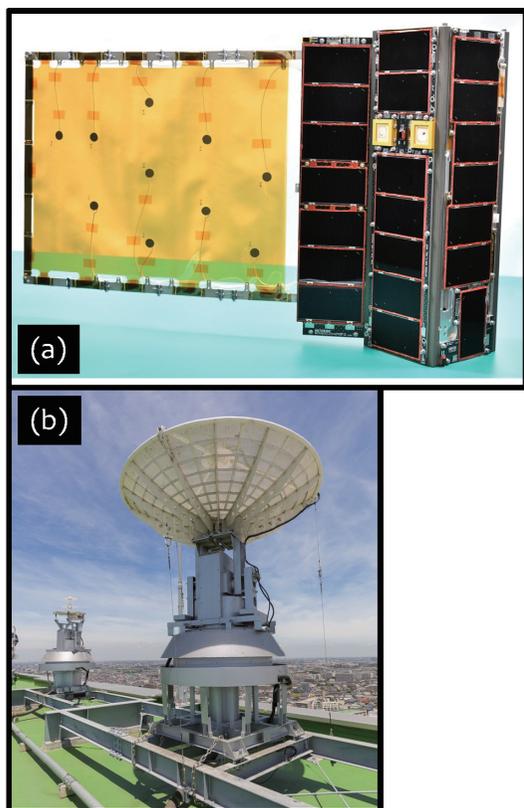


図1: 宇宙塵探査実験衛星ASTERISC. (a)衛星本体の写真.
(b)千葉工業大学に設置されている地上局アンテナ.

ビル屋上(高度100m)に設置されたアンテナ(図1b)を用いて所員により運用されており、すでに軌道上で宇宙塵を検出することに成功しています⁸。また、新規開発のバスシステムの性能が実証されたため、ASTERISCバスを活用したより挑戦的な将来ミッションの検討が進められています。

(b) 成層圏微生物採集実験Biopause (大野, 三宅, 石橋, 奥平, 前田)

JAXAの科学観測用大気球(図2a)を利用し、地球大気の成層圏(高度10–50 km)で微生物を採集(図2b–2d)し、「生物圏界面(biopause)⁹」の上端を決定することを目指しています。過去にも大気球を用いた上空空気の採集と微生物検出を目的とした実験

が行われてきましたが[e.g., 13], 地上微生物の混入との差異をどのように見分けるか, が長年の課題とされてきました。PERCでは大野を中心に地上微生物が混入する可能性が少ない降下式衝突型微生物採集装置を新たに開発しています。異なる高度で実験を実施することで、微生物数密度の高度分布を明らかにしていきます。

(c) 宇宙・成層圏微粒子採集実験 (和田ゆ, 奥平, 前田, 秋山, 三宅, 大野)

ロケット, 気球を相補的に用いて, 様々な高度から宇宙塵を採集することを目指しています。特に流星群発生から間髪入れずに行うことで, 流星群母天体からのサンプルリターンに類する試料を得られると期待しています。このように迅速な実験を行うためには流星群の発生に合わせて, 柔軟に高頻度でロケットや気球を上げる必要があります。和田ゆ, 秋山がそれぞれ機動性の高いロケットの技術開発, 気球の技術開発, 大野が理学検討を取りまとめています。例えばロケットの打ち上げを機動的に行うためには安全性が高く, かつ環境負荷の少ないロケット燃料の開発や射場の確保が重要になります。PERCでは和田ゆを中心にハイブリッドロケットの洋上発射技術の獲得を目指しています(図3)。

(d) 惑星地質(石丸, 三宅, 小松)

PERCでは, 将来の惑星探査を見据え, 地球上に存在する惑星類似地形の地質調査を行っています。多岐に渡る地質を研究することは, 惑星表面の進化プロセスの理解にとどまらず, 宇宙生物学の観点から, 生命がどのような環境に存在しうるのかを議論する上で重要となります。私たちが特に注目するフィールドの一つが泥火山です。泥火山は, 通常の火山と違って, 地下深部から水やメタンなどとともに泥が噴出してできる火山です。掘削せずとも地下深部の物質に容易にアクセスできるため, 「地下への窓」と考えられています。火星にも泥火山様地形が数多く存在し, 将来の火星生命探査の有望な調査対象といえます。PERCではこれまでに国内外(アゼルバイジャン, 新潟県, 秋田県)の泥火山の調査を行い, 地質学, 鉱物学, 化学, 生物学に跨る複合的な分析を実施しています[e.g., 14, 15]。

⁸https://www.it-chiba.ac.jp/topics/pr20220215_1/

⁹大野宗祐 上席研究員, 故松井孝典 初代所長による造語



図2: 成層圏微生物採集実験の様子. (a)から(d)に向かって時系列で示している. パネル(b), (d)にPERCで新たに開発した降下式衝突型微生物採集装置が写っている.

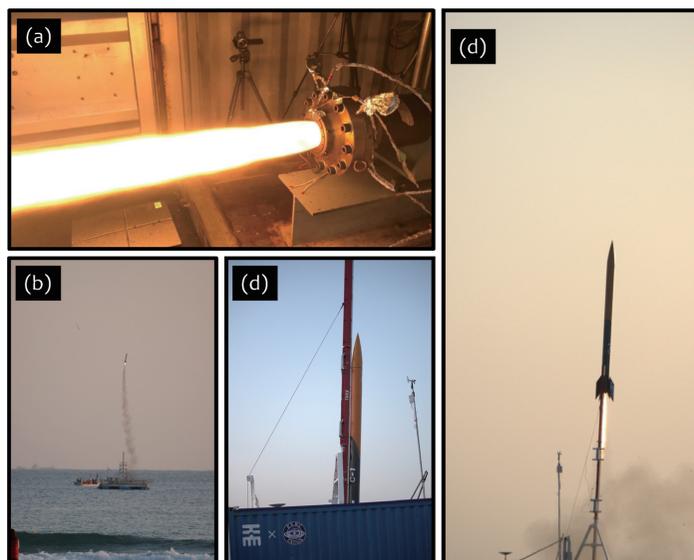


図3: 宇宙塵採集ロケット. (a) ハイブリッドロケット燃料の燃焼実験の様子. (b)2019年3月に行われた国内初のロケットの洋上発射実験の様子. 千葉県御宿町網代湾. (c)千葉工業大学で製作された洋上発射用C1ロケット¹⁰. (d) 2023年3月に行われたC1ロケットの洋上発射実験の様子.

¹⁰千葉工業大学(Chiba Institute of Technology)と洋上(Sea)の発音から故松井孝典初代所長が命名.

(e) 高速度衝突(黒澤, 岡本)

PERCは二段式軽ガス衝撃銃と呼ばれる飛翔体加速器を保有しています(図4)。筆者(黒澤)は本装置を用いて高速度天体衝突で引き起こされる特異な物理・化学素過程を調べてきました[e.g., 16, 17]。PERCの衝突実験室では高速ビデオカメラ(最速で1,000万コマ毎秒)、このカメラと同期するレーザー光源、時間掃引型高速分光計、これらの計測器を動作させる高速自律計算機、衝突発生ガスを直接計測する四重極質量分析計といった機器を揃え、惑星探査の立案や試料分析結果の解釈に必要な基礎データの取得を行っています。具体的には天体衝突による高速度放出物の解像のために数値衝突計算コードに求められる空間分解能の定量化[18]、小惑星リュウグウの衝突乾燥説[7]の検証[19]、リュウグウ試料や隕石に刻まれた衝撃変成組織を紐解くのに必要な衝撃回収実験[20, 21]を行っています。

(f) 観測天文学(諸隈, 秋田谷)

PERCでは2021年度から観測天文学による研究活動も開始しました。国内外の望遠鏡と観測装置を駆使して、様々な天体現象の観測的理解を深めています。注目されるテーマの一つは、重力波望遠鏡群が検出する重力波放射に対応する電磁波源の探査・詳細観測です[22]。諸隈, 秋田谷はPERC着任以前より重力波放射に対応する「電磁波対応天体」の探査チーム[23]に加わり、2017年8月に中性子星連星合体における重力波放射天体からの可視光・近赤外線放射をすばる望遠鏡などで捉え[24]、この種の現象が希少金属の生成の場であることを明らかにしました[25]。しかし、いまだ電磁波源の発見は一例にとどまるため、さらなる観測が期待されます。2023年5月から世界中の重力波望遠鏡が感度を高めて再稼働するのに合わせて、地上の望遠鏡による観測準備を進めています。他にも、リュウグウやフェートン等の小惑星表面の偏光特性を調べ、反射率や表面組成等の解明につなげました[26, 27]。観測天文学ならではの新しい切り口でPERCの研究活動を発展させていきます。また、近紫外線波長帯における効率に最適化した観測装置の開発も進めています。



図4: 二段式水素ガス衝撃銃。

2.3 高度技術者育成プロジェクト

惑星探査計画かぐや、はやぶさ、はやぶさ2の成功や、近年の欧米諸国での宇宙ベンチャー企業の活躍を受けて、日本でも宇宙開発・利用が盛り上がりつつあります。惑星探査に携わる若手研究者が増えた一方で、衛星の設計・製造・運用を支える若手人材の不足が問題となってきています。千葉工業大学ではPERCの秋山主席研究員を代表として高度技術者育成プロジェクトを運用しています。千葉工業大学の学生を募集し、2030年度までに数機の衛星の設計・製造・試験・運用体験を取り入れた実践的な教育過程を実施しています。

3. さいごに

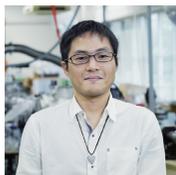
残念ながら、PERCでは学部学生および大学院生を受け入れる制度が現在のところありません。しかし、PERCの常勤研究員は日本学術振興会 特別研究員PDの受け入れ教員になることができます。ここまで紹介してきたように、PERCには様々な学術的背景を持つ研究員が在籍し、多彩な研究設備を備えています。また津田沼キャンパスには惑星科学と親和性の高い人工知能・ソフトウェア技術研究センター、次世代海洋資源研究センターが設置されており、世界最高峰の経験と実績を持つ研究者が在籍しています。発想次第で様々な研究展開が可能だと思います。もしご興味を持たれた方はPERC研究員リスト (<http://www.perc.it-chiba.ac.jp/members>) から個別にご連絡を頂ければ幸いです。

参考文献

- [1] 竝木則行, 2009, 遊星人 18, 159.
- [2] Senshu, H. et al., 2021, EPS 73, 219.
- [3] Fujita, K. et al., 2019, Life Sciences in Space Research 23, 73.
- [4] Kurosawa, K. et al., 2019, Life Sciences in Space Research 23, 85.
- [5] Hyodo, R. et al., 2019, Scientific Reports 9, 19833.
- [6] Watanabe, S. et al., 2019, Science 364, 268.
- [7] Sugita, S. et al., 2019, Science 364, eaaw0422.
- [8] Kitazato, K. et al., 2019, Science 364, 272.
- [9] Arakawa, M. et al., 2020, Science 368, 67.
- [10] Tachibana, S. et al., 2022, Science 375, 1011.
- [11] Nakamura, T. et al., 2022, Science 379, abn8671.
- [12] Naraoka, H. et al., 2023, Science 379, abn9033.
- [13] Yang, Y. et al., 2009, Biological Sciences in Space 23, 151.
- [14] Komatsu, G. et al., 2019, Geomorphology 329, 32.
- [15] Miyake, N. et al., 2022, International Microbiology, <https://doi.org/10.1007/s10123-022-00288-z>
- [16] Kurosawa, K. et al., 2015, JGR-Planets 120, 1237.
- [17] Kurosawa, K. et al., 2019, GRL 46, 7258.
- [18] Okamoto, T. et al., 2020, JGR-Planets 125, e2019JE005943.
- [19] Kurosawa, K. et al., 2021, Communications Earth & Environment 2, 146.
- [20] Kurosawa, K. et al., 2022, JGR-Planets 127, e2021JE007133.
- [21] Ono, H. et al., 2023, GRL 50, e2022GL101009.
- [22] Ohgami, T. et al., 2023, ApJ 947, 9.
- [23] Sasada, M. et al., 2021, Progress of Theoretical and Experimental Physics 2021, 05A104.
- [24] Utsumi, Y. et al., 2017, PASJ 69, 101.
- [25] Tanaka, M. et al., 2017, PASJ 69, 102.
- [26] Kuroda, D. et al., 2021, ApJL 911, L24.
- [27] Geem, J. et al., 2022, MNRAS 516, L53.

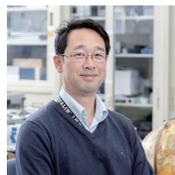
著者紹介

黒澤 耕介



上席研究員. 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 複雑理工学専攻 博士課程修了. 博士(科学). 主に高速度衝突プロジェクトを担当している.

小林 正規



主席研究員. 早稲田大学 大学院博士課程修了. 博士(理学). MMX, BepiColomboに搭載するダストモニターの機器PIを務めている.

秋山 演亮



主席研究員. 東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 博士課程単位取得退学. 博士(理学). 主に高度技術者育成プロジェクトを担当している.

千秋 博紀



主席研究員. 東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 博士課程修了. 博士(理学). MMXに搭載予定のレーザー高度計の機器PIを務めている.

諸隈 智貴

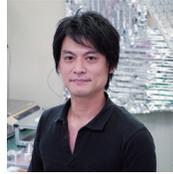
主席研究員. 東京大学 大学院理学系研究科 天文学専攻 博士課程修了. 博士(理学). 観測天文学プロジェクトを担当している.

山田 学

主席研究員. 北海道大学 大学院博士課程修了. 博士(理学). 主にはやぶさ2光学航法カメラの運用を担当している.

和田 浩二

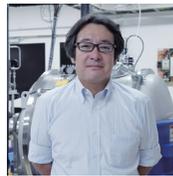
主席研究員. 東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 博士課程修了. 博士(理学). MMX の Science board メンバー.

奥平 修

研究員. 早稲田大学理工学研究科修了. PERC独自プロジェクト全般で機器開発を担当している.

秋田谷 洋

主席研究員. 東北大学 大学院理学研究科 天文学専攻博士課程修了. 博士(理学). 観測天文学プロジェクトを担当している.

前田 恵介

研究員. 広報とPERC独自プロジェクト全般の機器開発を担当している.

石橋 高

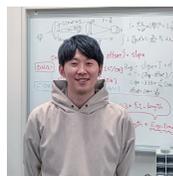
主席研究員. 東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 博士課程修了. 博士(理学). DESTINY⁺に搭載予定のカメラの機器PIを務めている.

三宅 範宗

研究員. カーディフ大学 大学院宇宙生物学博士課程修了. 博士(理学). PERC独自プロジェクトの生物分析全般を担当している.

石丸 亮

主席研究員. 東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 博士課程修了. 博士(理学). 超小型衛星プロジェクトと惑星地質プロジェクトを担当している.

岡本 尚也

研究員(嘱託). 神戸大学 大学院理学研究科 博士課程修了. 博士(理学). DESTINY⁺に搭載予定のカメラの光学較正を担当している.

大野 宗祐

主席研究員. 東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 博士課程修了. 博士(理学). 主に成層圏微生物採集実験プロジェクトBiopauseを担当している.

木村 宏

研究員(嘱託). 神戸大学 大学院博士課程修了. 博士(理学). DESTINY⁺の理学検討を担当している.

原田 徹郎



研究員(嘱託). 高度技術者育成プロジェクトを担当している.

和田 豊



非常勤主席研究員. 千葉工業大学 工学部機械電子創成工学科教授. 総合研究大学院大学博士課程修了. 博士(工学). 宇宙微粒子採取ロケットプロジェクトを担当している.

平井 隆之



研究員(嘱託). 総合研究大学院大学 物理科学研究科 宇宙科学専攻修了. 博士(理学). DESTINY+のダスト計測器開発を担当している.

荒井 朋子



主席研究員. 所長. 東京大学 大学院理学系研究科 博士課程修了. 博士(理学). DESTINY+の理学PIを務めている.