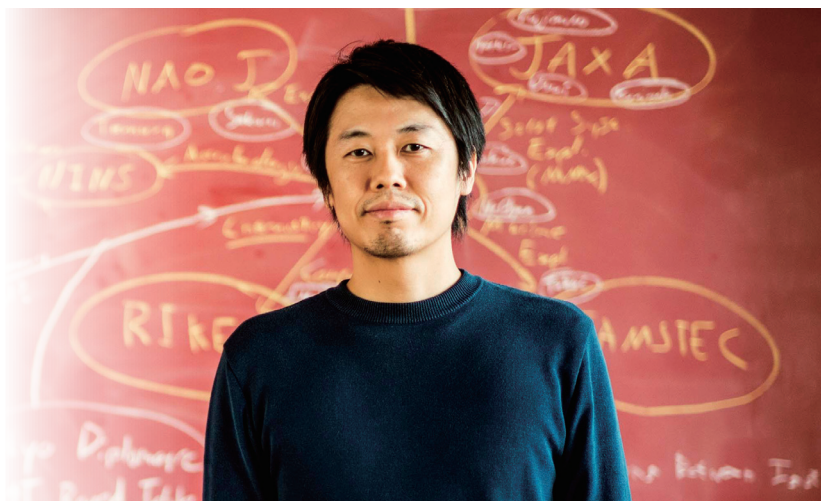


水惑星学の創成

Aqua planetology

[No. **2**]



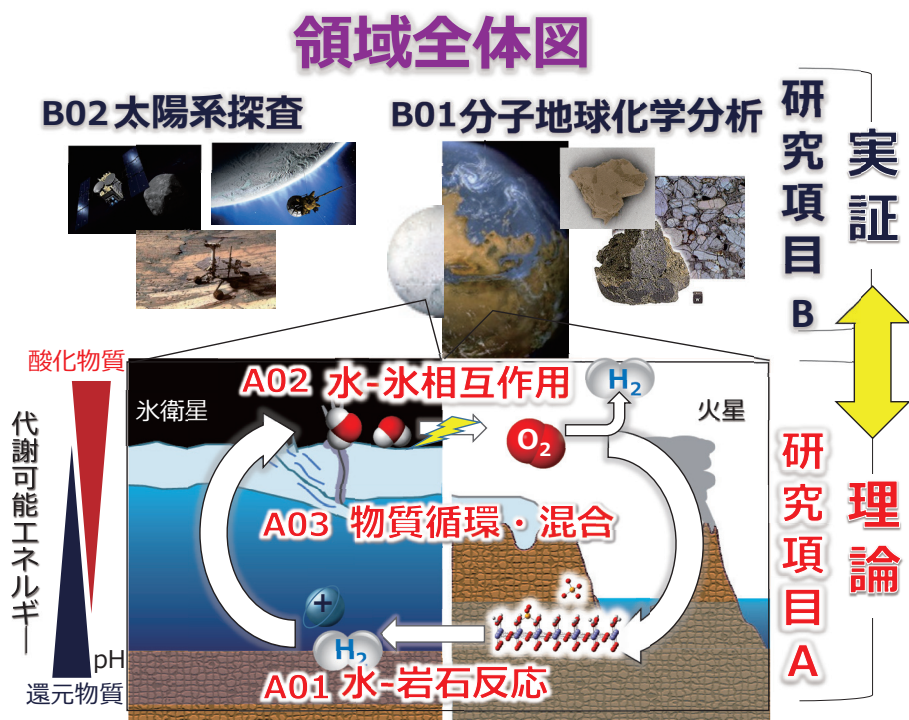


領域代表

関根 康人
kenji kaneko

本領域も2年目を終わりました。探査機「はやぶさ2」は小惑星リュウグウに到着し、困難なミッションを驚くべき順調さでこなしています。探査機の工学運用だけでなく、サイエンス面でも数多くの発見がありました。本稿でも特集を組んでいますので、是非ご覧ください。また、高エネルギー加速器研究機構のPhoton Factoryには、X線顕微鏡（STXM）の専用ビームラインも予定通り構築されました。無事ファーストライトを行い、すでに本格的な分析サイクルが始動しています。こちらも本稿で特集をしています。「はやぶさ2」と「STXMビームライン」という本領域の2つの“目玉”がここまで順調に推移しているのは、多くの領域メンバーの皆さんのご尽力の賜物です。嬉しさと同時に、領域代表としては正直ほっとする気持ちです。

さて、今年は領域の中間審査です。中間目標の達成評価と書くと堅苦しいですが、5年という長期計画の中で、自分たち自身を見直す良い機会と私はとらえています。探査データ、分析装置、実験装置群も完成し、いよいよ本格的な分野間の融合研究が花咲く時期が訪れています。来年度、最終年度にはこれら研究が実を結び、皆で楽しい収穫祭を迎えたいですね。皆さんには、多くの融合研究を楽しんでいただければと思います。



A01 水－岩石反応班

班代表 渋谷 岳造（海洋研究開発機構・主任研究員）

私たちの班では、太陽系の水を保持する天体の海底熱水活動や風化作用など様々な水-岩石反応プロセスを実験や熱力学モデリングによって再現し、発生する水の化学組成を調べています。これまでは、「はやぶさ2」探査対象の小惑星リュウグウが経験した水-岩石反応の予測などを行ってきました。また、地球には存在しないような高圧の水-岩石反応を実験的に再現するために新しい実験装置の開発も行ってきました。今後は、新たに開発した装置も使用して各天体の水-岩石反応を再現し、太陽系内に生命が代謝エネルギーを獲得できるような水環境が存在するかどうかを明らかにしていきます。



A02 水－氷相互作用班

班代表 関根 康人（東京工業大学・教授）

私たちの班では、天体表面の太陽光などに駆動された化学反応や、不純物を含む氷の物性を実験的に調べています。火星、氷衛星、地球などの水惑星表面では、上記の反応で生成する酸化物が表層環境を変化させ、氷物性に影響を与え、海や湖に供給されることで生命のエネルギー源にもなります。これまでに、このような低温での光化学反応や高圧氷の物性を明らかにする実験装置群を構築してきました。そして、過去の火星に、光合成生物誕生後の地球に匹敵するような酸化的な水環境が存在したことなどを明らかにしてきました。今後、これら装置群を使った研究を本格的に進めていきます。



A03 モデル班

班代表 玄田 英典（東京工業大学・准教授）

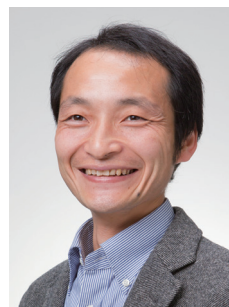
私たちの班では、太陽系における水・物質循環に関する実証可能な物理モデルを構築し、多様な水環境を有する太陽系天体が、いかにしてつくられたのかを明らかにします。実験班により定量化された化学過程を、各天体の物理モデルに組み込み、探査・分析データを実証として、太陽系天体の水・物質循環の歴史を紐解くことを目指します。これまでに、隕石の母天体である微惑星の熱史・衝突過程のモデル化、火星大気大循環モデルの精密化、地球と火星の水量進化モデルの構築、氷天体の内部海の維持の新しいモデル提案などを行ってきました。



B01 分析班

班代表 福士 圭介（金沢大学・准教授）

私たちの班では、先端分析法を駆使することで惑星物質から地球化学的・鉱物学的情報をフルに引き出し、そこに記録された水環境の物理化学的条件（水惑星の水質）を定量的に復元する研究を行っています。これまでに、炭素をはじめとする軽元素の化学状態をナノスケールで局所分析できる軟X線顕微鏡（STXM）の開発を行い、昨年度末にファーストライトを行うことができました。今後は、「はやぶさ2」帰還試料をはじめとする惑星物質のSTXMによる分析結果や本班で開発している分子地球化学プロセスの適用により得られたデータを地球化学モデルにより解析して、水惑星についてのユニークな知見を得ていきます。



B02 探査班

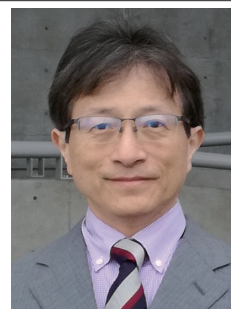
班代表 臼井 寛裕（宇宙航空研究開発機構・教授）

私たちの班では、小惑星探査機「はやぶさ2」による氷微惑星復元を足がかりに、火星・氷衛星の水環境システムを、探査データ・帰還試料を通じて実証的に解明していくことを目指しています。2019年現在、「はやぶさ2」探査は順調に進行しており、対象天体リュウグウの起源や形成過程を知るうえで重要な多くの観測データが得られているだけでなく、リュウグウからのサンプル回収にも成功しました。また、リュウグウの解析に加え、将来の火星探査の実現を目指し、レーダーサウンダー技術を用いた地下水圏の分布を取得するための技術開発も行っています。



小惑星リュウグウへの訪問

渡邊 誠一郎 (BO2班 分担研究者、名古屋大学・教授)



探査機「はやぶさ2」は3年半の航海を経て、2018年6月に地球接近小惑星リュウグウの近傍に達した。地上からの電波観測がなかったリュウグウはその形や自転軸の向きは不明だった。6月の約1ヶ月をかけたアプローチの間にリュウグウの形は次第に鮮明となり、高速自転小惑星に多い「こま型」(spinning top shape)で、赤道リッジが顕著であることが判明した(図1)。リュウグウの自転は遅かったので、この形は意外であった。また、多くのボルダーが全域を万遍なく被っており、表面からの試料採取を狙うミッションにとって難敵であった。

「はやぶさ2」は2019年12月までの約1年半、リュウグウの近傍に滞在する。すでに、光学航法カメラ(ONC)、中間赤外カメラ(TIR)、近赤外分光計(NIRS3)、レーザー高度計(LIDAR)による科学観測を継続的に行うとともに、2018年8月には重力測定運用、9月には2台の小型ローバーMINERVA-II1A、B、10月には独仏のチームが開発した小型着陸機MASCOTをそれぞれ小惑星表面に着陸させた。2019年2月には試料採取のための着地(タッチダウン)を実施し、試料採取用の弾丸発射に成功した(図2)。さらに4月には衝突装置SCIを小惑星表面に命中させ、直径10mを超える人工クレーターを穿ち、衝突放出物のカーテンの推移を分離カメラDCAM3で撮像することにも成功した。今後、安全性が確認できれば人工クレーター周辺に2回目のタッチダウンを行う予定である。

近傍運用を通じて、いくつかの重要な発見があった。重力計測運用からリュウグウの質量がわかり、バルク密度は $1.19 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ と求められた。これはCb型小惑星であるリュウグウが炭素質コンドライトと同程度の粒子密度を持つとすると、空隙率(total porosity)が50%を超え、おそらく60%に近いことを示す^[1]。大きなボルダーが点在することとあわせ、リュウグウは母天体の破壊により生じた破片が再集積してできたラブルパイル天体であると考えられる。特に高い空隙率は、母天体が氷微惑星で、その後に揮発成分が抜けたことに起因するかも知れない。

こま型は、かつての高速自転時に回転不安定で生じた可能性が高い^[1]。これは全体に軸対称性が高い形状をしていること、他のコマ型小惑星はほとんどが高速自転天体であることが理由である。高速自転に誘導される変形モードは、表面地滑りか内部変形の可能性があり、小惑星の強度分布や構造に依存する。このため赤道リッジからの試料採取は、変形モードを決めるためにも重要である。

「はやぶさ2」の重要な目的の1つは小惑星帯から地球への水や有機物の輸送過程を制約する物証を得ることにある^[2]。リュウグウは可視・近赤外の反射率が非常に低いことから、有機物の存在量が多いと推定される。NIRS3による近赤外反射率スペクトルの観測により、小惑星表面の全域から波長 $2.72 \mu\text{m}$ を中心とする10%ほどの深さの吸収が発見され、Mg-OHによる吸収と推定された^[3]。吸収スペクトル形状は、不完全な脱水を受けたCM/CIコンドライトに類似するが、完全な一致は見られない。2018年12月にB型小惑星Bennuに到着した米国の探査機OSIRIS-RExによる観測によれば、Bennuにはより強いOHの吸収が見つかっており、両者の比較研究が興味を持たれる。

望遠カメラ(ONC-T)のよる表面の詳細な観測からは、100mを超えるクレーターの数が比較的多いこと、より小さなクレーターはなんらかの過程で消され数が頭打ちになっていること、南極近くにある最大ボルダー「オトヒメ」の新鮮面はBennuのようなB型に近いスペクトルを持つことなどがわかった^[4]。リュウグウの起源を考える上では、内側小惑星帯にあって衝突族を持つC型小惑星495 Eulaliaに似たスペクトルを持つことが注目される。

2020年12月には試料の入ったカプセルが地球に帰還する予定である。分析班BO1のSTXMを初めとする装置や手法によって、リュウグウの歴史や母天体中での反応を読み出すことができれば、母天体のモデリングとあわせて、小惑星上の物質進化と水・有機物の輸送過程を解明できると期待している。

参考文献

- [1] Watanabe, S. *et al.* (2019) *Science* 364, 268.
- [2] Watanabe, S. *et al.* (2017) *Space Sci. Rev.* 208, 3.
- [3] Kitazato, K. *et al.* (2019) *Science* 364, 272.
- [4] Sugita, S. *et al.* (2019) *Science*, doi: 10.1126/science.aaw0422



図1 高度約6.5kmから撮影した小惑星リュウグウ

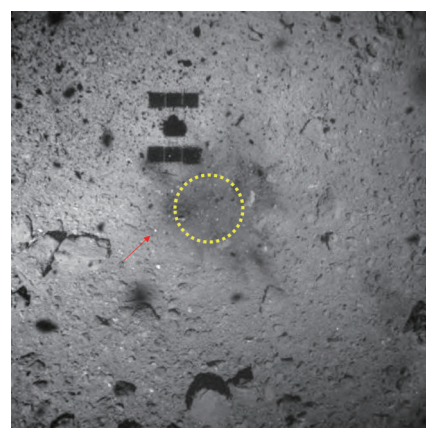


図2 1回目のタッチダウン直後の着地点(黄色の円は目標領域)付近の様子。赤矢印はターゲットマーカー。

図1、図2の提供元: JAXA、東京大、高知大、立教大、名古屋大、千葉工大、会津大、産総研

新ビームライン建設によるSTXMの高度化

B01分析班 高橋 嘉夫・菅 大暉・武市 泰男・木村 正雄・中田 亮一・癸生川 陽子・佐久間 博・福士 圭介

STXMの概要

走査型透過X線顕微鏡（Scanning Transmission X-ray Microscope: STXM）とは、軟X線領域（～2000 eV程度）のX線を集光素子 Fresnel Zone Plate (FZP) によって数10 nmに集光し、そのX線プローブに対して試料を走査することで、局所領域での元素・化学種像と目的部位のX線吸収微細構造（XAFS）スペクトルを取得する装置である。その高い空間分解能に加えて、化学種（例：鉄の価数や炭素の官能基など）の同定が可能で試料損傷が小さいなどの特徴がある。STXMは、他のプローブを用いる顕微分析法であるTEMやSIMSで得られるナノスケールの構造や局所同位体比などの情報と相補性が高いため、物質・材料科学、環境化学、宇宙地球化学などの幅広い分野における顕微分析法として重要な位置を占めている。本新学術領域研究では、水惑星学研究の強力なツールであるSTXMの高度化を図るため、高エネルギー加速器研究機構Photon Factoryに新規ビームラインBL-19の建設を計画した（図1）。

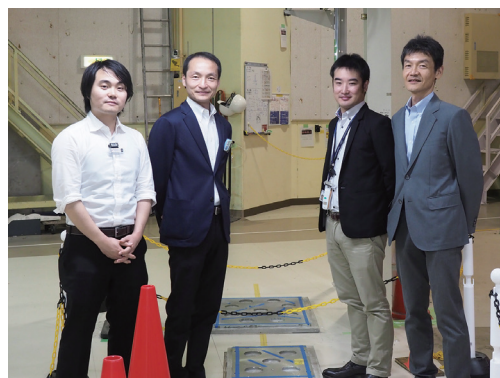


図1 ビームライン建設前のBL-19エリアで微笑むB01分析班メンバー（左から菅、福士、武市、木村）

進捗状況

BL-19/STXMは、本新学術領域研究採択直後から約1年半の間、各パーツの搬入・組立と様々な調整を進めてきた結果、ほぼ予定通り令和元年5月に本格運用に入った（図2）。これまでに比べてエネルギー範囲が広がり測定可能な元素の数が増加、XAFS標準試料の分析が容易なBブランチを装備、ユーザーフレンドリーなシステムの構築、STXM専用BL化によるマシンタイムの増加などの結果、世界的にもトップレベルの性能と使いやすさを兼ね備えたSTXMを実現した。水惑星学メンバーの利用はもちろんのこと、外部ユーザーにも利用して頂くためにSTXM研究推進ボードを設立し、<http://www.aquaplanetology.jp/stxm/index.html>にて新規ユーザーの利用を受け付けている。現在、水惑星学メンバー他による当初計画の8課題に加えて7件の公募課題を受理し、様々なSTXM利用実験が進行中である。

本新学術領域研究での展開

STXMでは、生命の起源に関わった可能性のある地球外物質中の有機物や、固体（鉱物や有機物）と水との相互作用を微小スケールで観察することができる。具体的には、試料中の有機物の官能基分布、鉄などの元素の価数別分布、微小領域での鉱物同定などが行える。このような情報に基づいて環境進化過程を推定する分子地球化学プロキシを確立し、地球外物質や地球上の様々な試料に応用することで、惑星の水や大気の水物理化学情報（pH、酸化還元状態、CO₂分圧、温度など）を推定できる。本新学術領域研究開始以降、移設前のBL-13Aでの実験も含めて、STXMを用いた関連研究で8編の論文が出版され（Kebukawa et al., Sci. Rep.; 2019; Uramoto et al., Nat. Commun., 2019; Chan et al., Sci. Adv., 2018; Takahashi et al., Sci. Rep., 2017など）、Zag隕石中の有機物を含む部位が太陽系外縁を起源とする天体由来であると考えられること（図3）や、南太平洋遠洋堆積物に含まれる膨大な量の微小鉄マンガン微粒子の化学性状を解明するなどの成果を挙げた。

今後B01分析班では、STXMなどを用いて、太陽系探査で得られる微量の惑星物質に残された化学反応の痕跡から、各天体の過去から現在に至る水環境の進化や水循環の変遷を解明していく。特にリュウグウ試料については、試料が入手され次第、分子地球化学プロキシを駆使して、C型小惑星母天体の実証的な環境復元を行う予定である。

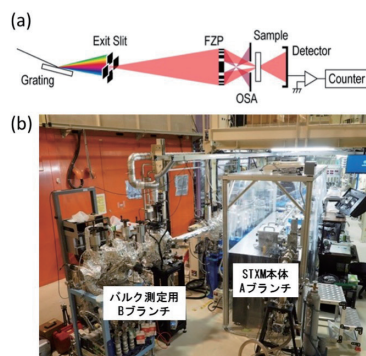


図2 新BL-19/STXMの模式図(a)と完成写真(b)

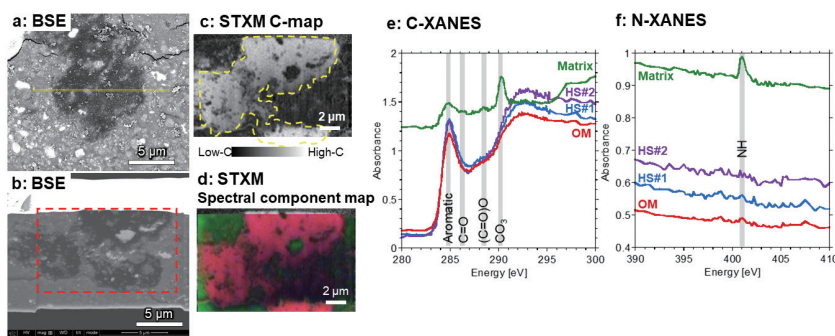


図3 STXMによる隕石中の有機物の分析 (Kebukawa et al., 2019)

A01 水-岩石反応班

(代表)	渋谷 岳造	海洋研究開発機構・主任研究員	(研究員)	深海 雄介	海洋研究開発機構・ ポストドクトラル研究員 (2019.4より学習院大学・助教)
(分担)	廣瀬 丈洋	海洋研究開発機構・ グループリーダー			
	中村 謙太郎	東京大学・准教授		菊池 早希子	海洋研究開発機構・ ポストドクトラル研究員
	西澤 学	海洋研究開発機構・研究員		上田 修裕	海洋研究開発機構・ ポストドクトラル研究員(2019.4より)
	柏原 輝彦	海洋研究開発機構・研究員			
	高谷 雄太郎	早稲田大学・講師			

A02 水-氷相互作用班

(代表)	関根 康人	東京工業大学・教授	(協力)	鍵 裕之	東京大学・教授
(分担)	谷 篤史	神戸大学・准教授		片山 郁夫	広島大学・教授
	荒川 雅	九州大学・助教		久保 友明	九州大学・教授
	野口 直樹	徳島大学・助教		藪下 彰啓	九州大学・准教授
(研究員)	工藤 久志	神戸大学・研究員		寺崎 亨	九州大学・教授
	遠藤 美朗	東京工業大学・研究員(2019.4より)			
	張 乃忠	東京工業大学・研究員(2019.4より)			

A03 モデル班

(代表)	玄田 英典	東京工業大学・准教授	(研究員)	脇田 茂	東京工業大学・研究員(2019.4より ブラウン大学・研究員)
(分担)	倉本 圭	北海道大学・教授		伊藤 祐一	北海道大学・研究員(2019.7よりユ ニバーシティカレッジロンドン・研究員)
	鎌田 俊一	北海道大学・特任助教(2019.4より 准教授)		杉浦 圭祐	東京工業大学・研究員(2019.4より)
	高橋 芳幸	神戸大学・准教授	(協力)	濱野 景子	東京工業大学・特別研究員(2019.4 より研究員)
	市川 浩樹	東京工業大学・研究員(2018.7まで)		東 真太郎	東京工業大学・助教
	黒川 宏之	東京工業大学・研究員			

B01 分析班

(代表)	福士 圭介	金沢大学・准教授	(協力)	小野 寛太	高エネルギー加速器研究機構・准教授
(分担)	高橋 嘉夫	東京大学・教授		足立 伸一	高エネルギー加速器研究機構・教授
	木村 正雄	高エネルギー加速器研究機構・教授		光延 聖	愛媛大学・准教授
	武市 泰男	高エネルギー加速器研究機構・助教		柏原 輝彦	海洋研究開発機構・研究員
	中田 亮一	海洋研究開発機構・技術研究員		笠間 丈史	デンマーク工科大学・上席研究員 (2019.5逝去)
	癸生川 陽子	横浜国立大学・准教授		板井 啓明	東京大学・准教授
	佐久間 博	物質・材料研究機構・主幹研究員			
(研究員)	菅 大暉	東京大学・研究員			

B02 探査班

(代表)	臼井 寛裕	宇宙航空研究開発機構・教授	(研究員)	坂谷 尚哉	宇宙航空研究開発機構・研究員
(分担)	渡邊 誠一郎	名古屋大学・教授		野口 里奈	宇宙航空研究開発機構・研究員
	荒川 政彦	神戸大学・教授		松岡 萌	宇宙航空研究開発機構・研究員
	岡田 達明	宇宙航空研究開発機構・准教授	(協力)	宮本 英昭	東京大学・教授
	竝木 則行	国立天文台・教授		新原 隆史	東京大学・助教
	諸田 智克	名古屋大学・講師(2019.5より東京大 学・准教授)		葛原 昌幸	アストロバイオロジーセンター・特 任助教(2019.6より)
	中村 智樹	東北大学・教授		佐川 英夫	京都産業大学・准教授(2019.6より)

公募研究班

(A01)	北台 紀夫	東京工業大学・研究員	(A03)	横山 哲也	東京工業大学・教授
	末松 久幸	長岡技術科学大学・教授		中川 貴司	海洋研究開発機構・主任研究員 (2018.10より香港大学へ移転のため辞退)
	奥地 拓生	岡山大学・准教授	(B01)	城野 信一	名古屋大学・准教授
	須田 好	産業技術総合研究所・研究員		数田 ひかる	広島大学・准教授(2019.4より教授)
	鹿島 裕之	海洋研究開発機構・ ポストドクトラル研究員		伊藤 元雄	海洋研究開発機構・ グループリーダー代理
(A02)	藪下 彰啓	九州大学・准教授	(B02)	中川 広務	東北大学・助教
	黒澤 耕介	千葉工業大学・研究員(2019.4から 上席研究員)		藤谷 渉	茨城大学・助教

流体包有物から推定する原生代全球凍結時の海水組成

渋谷 岳造 (AO1班 研究代表者、海洋研究開発機構)



約24億年前に地球史最初の全球凍結が起きた。この時代には激しい海水組成変動が起き、その劇的な環境変動が生命進化を促したことで真核生物が誕生したといわれている。特に海水の塩濃度は、海水や熱水に溶存する Mg^{2+} や Ca^{2+} だけでなく生体必須金属などの陽イオンの溶解度を支配するため、海水塩濃度の変動と生命進化は密接に関係する。そこで本研究では、当時の海水塩分濃度について制約を与えることを目的とし、全球凍結時に海底に噴出した玄武岩と海底の水-岩石反応で生じる熱水性石英の中に保存されている流体包有物のC、O、Ar同位体分析を行った。



図 24億年前の全球凍結時の海底玄武岩中に沈殿した熱水性石英の中に保存された流体包有物の顕微鏡写真。室温では気相と液相に分離しているが熱水性石英形成時には液相のみであったと予想される。

その結果、約30億年前の後期太古代から続く大気 CO_2 分圧の減少により全球凍結が起きた可能性が高いこと、そして流体包有物には海底の熱水だけでなく海水が部分的に保存されていることを明らかにした。この流体包有物は、我々のグループの

研究により塩濃度が他の時代の流体包有物に比べ非常に高いことが既に明らかになっており、全球凍結時には大規模な氷床・海氷の形成により海水塩濃度が前後の時代の2~3倍になった可能性があることがわかった。本研究成果は、水-岩石反応で生じる二次鉱物中の流体包有物が、地球の過去の海水組成だけでなく他天体の水組成を復元するためのプロキシとして非常に優れていることを示唆している。

論文情報 (1) 題名: Weak hydrothermal carbonation of the Ongeluk volcanics: evidence for low CO_2 concentrations in seawater and atmosphere during the Paleoproterozoic global glaciation. 著者: 渋谷岳造, 小宮剛, 高井研, 丸山茂徳, M. J. Russell. 出版日: 2017年10月23日. 論文誌: Progress in Earth and Planetary Science, 4:31, doi: 10.1186/s40645-017-0145-6. (2) 題名: Ar-Ar dating for hydrothermal quartz from the 2.4 Ga Ongeluk Formation, South Africa: implications for seafloor hydrothermal circulation. 著者: 齋藤拓也, 邱华宁, 渋谷岳造, 李毅兵, 北島宏輝, 山本伸次, 上田修裕, 小宮剛, 丸山茂徳. 出版日: 2018年9月26日. 論文誌: Royal Society Open Science, 5:180260, doi:10.1098/rsos.180260.

水惑星内部における地震断層運動を室内実験で探る

廣瀬 丈洋 (AO1班 分担研究者、海洋研究開発機構)

渋谷 岳造 (AO1班 研究代表者、海洋研究開発機構)



土星の氷衛星エンセラダスの内部海では、地球とは異なるメカニズムで海底熱水活動が現在起こっていると考えられている。この熱水の組成は、生命が存在可能なのか、可能であるならどのような生命が生息可能なのかを、代謝エネルギー論の視点から探る上で重要である。エンセラダス内部海の熱水組成に影響を及ぼす水-岩石反応には、静的に地質学的な時間をかけて進行する化学反応に加え、土星や近隣の衛星との潮汐力に起因するエンセラダス内部での動的で瞬間的な地震断層運動に伴う化学反応が考えられる。廣瀬らの研究グループでは、このうち潮汐力に伴う内部海海底での地震断層すべり運動を実験室で再現することを試みている。そして、地震断層運動に伴う非平衡水-岩石反応がどの程度エンセラダス内部海の海水組成に影響を及ぼすかを定量的に評価することを考えている。

本研究で開発・調整している回転式熱水剪断試験機(図)は、水惑星内部の地震発生場の熱水・温度圧力条件で、地震断層すべり現象を再現することが可能である。地震発生時には、断層は秒速数メートルの高速でダイナミックにすべる。この

高速すべりに伴って瞬間的に摩擦発熱が生じて、断層帯内部で岩石と水の物理化学反応が劇的に促進される。この動的な物理化学反応が、水惑星内における初期生命の誕生・進化に寄与しているのか、その仮説の検証が期待される。



図 海洋研究開発機構・高知コア研究所に設置されている回転式熱水剪断試験機。すべり速度10 nm/s~1 m/s、垂直荷重150kN、水圧120 MPa、温度500°Cのスペックを有し、円筒形もしくは粉末試料を圧力下でねじり剪断させることによって多様な地震断層すべりを熱水環境下で再現することができる。

融合研究が明らかにした初期火星の酸化的水環境

野田 夏実 (東京大学・関根研究室大学院生) (写真右)
 今村 翔子 (東京大学・関根研究室大学院生) (写真左)
 関根 康人 (A02班 研究代表者、東京工業大学)
 福士 圭介 (B01班 研究代表者、金沢大学)
 高橋 嘉夫 (B01班 分担研究者、東京大学)



NASAの火星探査車キュリオシティとオポチュニティは、太古の火星堆積物中にマンガンに富む脈を発見している。探査データの解析から、このマンガンが初期火星上の地下水中で酸化物として沈殿したことが明らかになっていったが、マンガン酸化物の鉱物・化学組成は不明であった。酸化物の鉱物・化学組成は生成当時の酸化還元状態を反映するため、上記を明らかにすることは、初期火星当時の水環境の解明につながる。

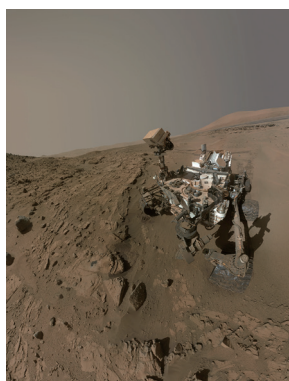


図 NASAキュリオシティ探査車とマンガン酸化物が発見されたWindjanaドリルサイト (Image credit: NASA/JPL-Caltech/MSSS)

マンガン酸化物と共に沈殿している微量元素成分に着目した。火星探査車データを見ると、マンガンだけでなく、ニッケルや亜鉛も共に濃集している一方、クロムなど他の金属の濃集は見

られない。微量元素は、酸化物に取り込まれたり、吸着したりすることで濃集するため、その濃集パターンはマンガン酸化物の鉱物・化学組成を特定する鍵となる。そこで、室内実験に基づき、様々な条件でマンガン酸化物の生成実験を行い、上記の微量元素成分の濃集パターンを調べた。その結果、火星探査車が見つけたマンガン酸化物が、二酸化マンガンであることを明らかにした。二酸化マンガンが沈殿するためには、当時の火星の地下水環境が非常に酸化的である必要がある。その酸素レベルは地球上で酸素発生型光合成生物が誕生し、大気中に酸素が蓄積した後のレベルに匹敵する。酸素分子は、化学合成生物などにとってのエネルギー源となりえるため、火星の大気進化のみならず生命生存可能性を考える上でも重要な意義を持つ。

論文情報 題名: Highly oxidizing aqueous environments on early Mars inferred from scavenging pattern of trace metals on manganese oxides. 著者: 野田夏実、今村翔子、関根康人、他論文誌: Journal of Geophysical Research - Planets, 124, doi:10.1029/2018JE005892

真空中に発生した水滴の凍結過程

安東 航太 (京都大学) (写真)
 荒川 雅 (A02班 研究分担者、九州大学)
 寺寄 亨 (A02班 研究協力者、九州大学)



真空中に発生した直径数十μmほどの小さな水滴は、一瞬で蒸発して消失するようにも想像されるが、 10^3 – 10^4 K/sもの急速な蒸発冷却のため、体積が1割も変化しないうちに蒸発はほぼ止まる。その数msの間に水滴の温度は凝固点を下回り過冷却状態となり、純水の場合、均質凍結核生成の後に凍結に至る。この核生成速度は温度に大きく依存し、しかもいくつかの報告値の間に顕著な差異があったが、近年、235–

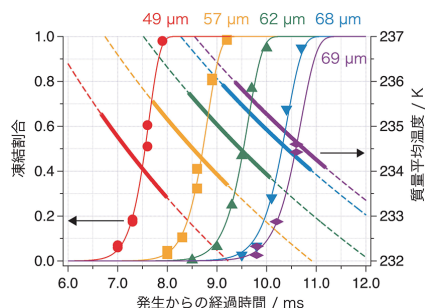


図 マーカー: 凍結曲線 (測定値)、実線: 凍結曲線 (シミュレーション)、破線: 冷却曲線 (太線部は凍結割合が1%から99%に変化した範囲)

238K領域の値が決まりつつある。ただし、真空中の水滴が凍結する更に低温域の報告はなかった。

我々は圧電素子駆動の液滴発生ノズルを用いて、1Paの真空中に49–69μm

の範囲で直径の揃った水滴を多数発生させ、統計的な観察で凍結割合の時間変化 (凍結曲線) を計測した。一方で、蒸発冷却を考慮して水滴の温度変化 (冷却曲線) を計算した結果、凍結時の温度は233–236Kの範囲と推定された。また、凍結曲線の傾きから、1Kの温度低下で凍結速度が10倍以上も増加したことが示唆された。これは核生成速度の増加傾向と一致しており、235–238K領域の既報値を233Kまで外挿し冷却曲線と合わせて数値解析したところ、図の実線のように凍結曲線の測定値をよく再現することが明らかとなった。

蒸発時に拡散律速の無い真空中の微小水滴は、エンセラダスやエウロパから噴出する海水の飛沫と類似している。今後、溶質を含む水滴の観察へと展開し、真空中への液体導入技術が水惑星学の発展に寄与することを期待している。

論文情報 題名: Freezing of micrometer-sized liquid droplets of pure water evaporatively cooled in a vacuum. 著者: 安東航太、荒川雅、寺寄亨. 出版日: 2018年10月26日 (電子版). 論文誌: Physical Chemistry Chemical Physics, vol. 20, 28435–28444. “2018 PCCP HOT Articles” に選出.

冥王星の海はガスハイドレートに包まれている

鎌田 俊一 (A03班 分担研究者、北海道大学) (写真)
 関根 康人 (A02班 研究代表者、東京工業大学)
 倉本 圭 (A03班 分担研究者、北海道大学)
 野口 直樹 (A02班 分担研究者、徳島大学)
 谷 篤史 (A02班 分担研究者、神戸大学)



私たちの住む太陽系には、地球以外にも海を持つ天体がある。その多くが巨大惑星を回る氷衛星であり、潮汐加熱によって内部海は完全凍結を免れている。冥王星も内部海を持つであろうことが分かってきたが、潮汐のない世界でなぜ内部海が完全凍結しないのかは謎であった。

水惑星がどのように生まれ、そして維持されるのかを理解するためには、この謎を解かなくてはならない。

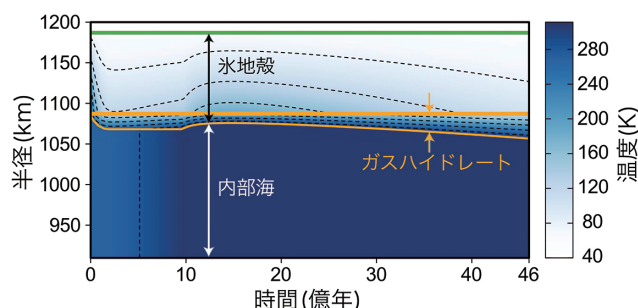


図 46億年間に渡る、冥王星内部の熱・構造進化シミュレーションの例。メタンハイドレートが存在すると、内部海はほとんど凍結しない。

本研究では、内部海と氷地殻の間に薄いガスハイドレートの層が存在するという、新たな内部構造モデルを提唱する。数値シミュレーションの結果、ガスハイドレートが天然の断熱材として機能するため、内部海はほとんど凍結しないことが示された。このモデルは、内部海が凍結していないということ以外にも、冥王星にまつわる複数の謎を同時に解くこともわかった。

本研究の成果は、新たな「内部海長期維持メカニズム」の発見と言え、今後の応用研究が広く期待される。専門性の違う研究者を集結させたからこそ成し得た、本領域ならではの研究成果である。

論文情報 題名: Pluto's ocean is capped and insulated by gas hydrates. 著者: 鎌田俊一, フランシス・ニモ, 関根康人, 倉本圭, 野口直樹, 木村淳, 谷篤史. 出版日: 2019年5月20日 (電子版) 論文誌: Nature Geoscience 12, 407-410

ナノスケールで見る隕石中の有機物と鉱物の相互作用

癸生川 陽子 (B01班 分担研究者、横浜国立大学)



原始的な炭素質コンドライト隕石は有機物を含んでおり、太陽系初期の物質進化過程を記録している貴重な試料であるとともに、原始地球への有機物や水の供給源としても重要な役割を果たした可能性がある。これらのマトリックスは非常に細かい微粒子で構成されているため、有機物が隕石母天体に取り込まれたり、母天体内での形成・進化過程、これらの際の周囲の鉱物との関係性を理解するには顕微的な手法が必須である。赤外分光法は、鉱物と有機物の情報を非破壊で得ることができ、また、観測と実験室での試料分析結果を比較することのできる優れた手法である。しかし、空間分解能が赤外光の波長程度 (1~10μmオーダー) に限られるため、微小領域における分布に関する情報には限界があった。このような赤外分光分析の空間分解能の限界を打破するために、波長可変赤外レーザー光を当てた時の熱膨張 (赤外吸収強度に比例) を原子間力顕微鏡 (AFM) のプローブで感知すると

いう新しい手法であるAFM-IRが近年多様な分野で使われ始めている。

本研究ではAFM-IRを用いて有機物を多く含む原始的な炭素質コンドライトの分析を行った。その結果、有機物とフィロシリケートの共存関係やメチル基とメチレン基の不均一な分布を約30 nmの空間分解能で可視化することに成功した。本手法を用いることで、隕石母天体における水質変質などの過程において、有機物と鉱物がどのような相互作用により進化してきたかに対する新たな知見が得られることが期待される。また、AFM-IRの空間分解能は走査型透過X線顕微鏡 (STXM) と同程度であることから、これらを組み合わせることにより相補的な有機物・鉱物の情報を得ることができるだろう。

論文情報 著者: 癸生川陽子, 小林華栄, 浦山憲雄, 馬殿直樹, 近藤正志, Zolensky, M. E., 小林憲正 (2019). 題名: Nanoscale infrared imaging analysis of carbonaceous chondrites to understand organic-mineral interactions during aqueous alteration. 論文誌: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 116, 753-758.

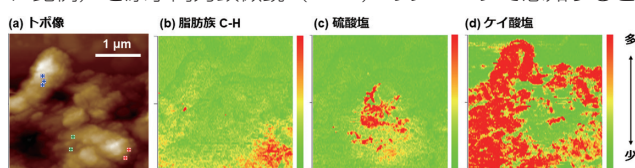


図 AFM-IRによるMurchison隕石の分析

2018年5月22日 **日本地球惑星科学連合2018年大会**

場所：幕張メッセ 国際会議場

「水惑星学セッション」

地 球を始めとする惑星や衛星の形成・進化に対して、液体の水が果たした役割を統一的に理解する「水惑星学」に関する研究発表（18件の口頭発表と12件のポスター発表）が行われました。特に、微惑星での水-鉱物化学反応、原始太陽系での水分布と地球型惑星の水の起源、地球における水循環やその化学的性質の理解、火星、氷衛星における水の挙動と生命生存可能性、水を含む太陽系天体の探査、ハビタブル水惑星の形成・進化など、地球を基礎として太陽系外まで視野に入れた議論が活発に行われました。

2018年8月21日 **小研究会**

場所：東京工業大学・地球生命研究所

「リュウグウ母天体の水循環・化学反応モデルの構築に向けて2」

は やぶさ2」が小惑星リュウグウに到着し、初期観測が行われ始めた。現在までにわかっている情報を元に、もっともらしい母天体進化モデルの枠組みについて多角的に検討を行い、参加者各自の今後の作業について確認しました。



2018年11月13日 **小研究会**

場所：東京工業大学・地球生命研究所

「リュウグウ母天体の水循環・化学反応モデルの構築に向けて3」

小 惑星リュウグウの母天体進化モデルの構築を目指すために重要となってくる物理・化学過程の初期検討結果を各自が発表し、多角的に議論を行いました。また、それらの議論を踏まえて、今後の方針について検討を行いました。

2018年12月21日 **連携会議**

場所：神戸大学・惑星科学研究センター（CPS）

「プロキシ開発2／理論連携会議2」

太 陽系天体における水の水質復元や化学反応プロセス復元の指針となる「プロキシ」開発と適用に関する会議を開催しました。特に火星の水循環・水環境を対象に、物質分析による水環境を解読するためのプロキシの応用の事例、室内模擬実験によるプロキシ開発など、実験・分析を中心とする研究者の情報共有を行いました。また、プロキシ会議に引き続き、室内実験とモデルの融合を目指した理論連携会議も開かれました。プロキシ会議同様、火星に焦点を絞り、探査車キュリオシティの得たデータの紹介や、実験やモデルによるそれらの具体的な解釈の可能性について議論しました。

2018年12月22日、23日

場所：神戸大学・百年記念館（六甲ホール）

第2回水惑星学全体会議

水 惑星学の創成」を目指した全体会議を今年も開催しました。参加者は80名近くにのぼり、各班の進捗状況の報告だけでなく、班員間の共同研究、分野横断型の研究テーマの創造などの促進も図りました。今年は、すべての公募研究の代表者（もしくは代理人）から、研究の目的・計画・現状の説明をしていただきました。また、特別セッションとして、これまで



に複数回行われてきたA01・A02・A03合同の小研究会で検討されてきた「微惑星の水・物質循環の復元モデル」のたたき台について活発な議論を行ってきました。

2019年2月18日～2月21日

場所：東北大学大学

第20回惑星圏研究会

惑 星圏研究会は、国内外で進められている惑星・衛星等に関わる研究について、最新成果の報告・レビューと議論、および、研究課題や展開についての議論を行い、将来に繋がる新しい研究・分野・計画の創成・展開の機会としてゆくことを目的に、毎年、東北大で開催される研究会です。今年も、本新学術との共催で開かれ、多くの班員が、「水惑星学」に関する研究発表を行い、様々な分野の研究者と議論および意見交換を行ってきました。



2019年2月28日～3月3日

場所：高野山大学

第1回水惑星学国際スクール

講 師として、Robin Wordsworth (Harvard Univ.)、Bethany Ehlmann (Caltech)、Jeffrey Catalano (Washington Univ.)、Vinciane Debaile (Univ. Libre de Bruxelles)、寺田直樹さん（東北大）の5名を招き、水惑星学の研究者育成を目的とした国際スクールを開催しました。大学院生や若手研究者など約30名が参加し、火星を中心とした表層水を保持する天体の内部・表層共進化過程に関連した講義に大いに刺激を受け、講義中のみならず講義後にも活発な議論を行い知識を深めました。宿泊した宿坊「遍照尊院」では、思いのほかボリュームのある精進料理に参加者の皆さんは大満足でした。毎朝6時に、御本尊の前で読経や礼拝のお勤めをし、心を清めました。その際にお坊さんから頂いた説法に「一水四見」というのがありました。同じ水でも見方によって四通りに見える、ということを表した言葉です。人間にとって普通の飲み水であっても、魚にとっては住処であり餌を求める生活の場です。天人には、きれいに透過したガラスのように見え、餓鬼には飲もうとした瞬間、火に変わる苦しみ得水です。まさに、我々が目指している「水惑星の創成」において、水が果たしてきた役割を多角的に捉えることが重要であるということに再認識させていただきました。



2019年3月4日～6日

場所：東京工業大学・地球生命研究所

第1回水惑星学国際ワークショップ

前 週の国際スクールの講師陣を含め、世界をリードする国内外の各分野の研究者を招待し、太陽系内外の“水惑星たち”の形成や進化の包括的理解を目指して議論を行いました。具体的には、水惑星たちを特徴づける要素として「形成」「大気・気候」「表層環境・水環境」「内部」「生命圏・化学進化」に着目し、それぞれの過程やそれらの相互作用を、比較惑星学的視点で議論しました。約70名の参加者の活発な議論と交流によって、水惑星の多様性や普遍性の理解が深まりました。



研究員紹介

菊池 早希子 (きくち さきこ)

計画研究班: AO1班

出身: 広島

血液型: O型

これまでの研究: X線吸収微細構造 (XAFS) 分析やDNA分析などの手法を用いて微生物-鉱物相互作用を理解することで、微生物由来の水酸化鉄にユニークな結晶構造や微量元素の吸着能が生み出されるメカニズムを明らかにしてきました。



本領域での役割: 室内実験と熱力学計算からリュウグウ母天体や火星で生じたと考えられる水-岩石反応を理解することで、水環境 (e.g., pH, 温度, 酸化還元状態) の推定を目指します。また、得られたデータをもとに自由エネルギー計算を行うことで、火星でどのような代謝を持つ微生物が存在し得たかも議論したいと考えています。

本領域への提案 (愚痴): ぜひ、火星アナログサイト巡検の開催をお願いします!

上田 修裕 (うえだ ひさひろ)

計画研究班: AO1班

出身: 東京

血液型: A型

これまでの研究: 現在の地球の熱水系とは異なる岩石組成や海水組成をもつ場合の水岩石反応の理解を目指し、研究を行ってきました。例えば、現在の地球上では観測が不可能であるが、初期地球では存在したコマチアイトの熱水系に注目した。その海水と岩石の反応機構の理解と供給される熱水の性質を理解するため、高温高圧条件下での再現実験を中心



に研究をしてきました。

本領域での役割: 液体の水及び熱水活動が存在していたとされる原始火星において、どのような水岩石反応が起き、どのような性質の熱水を火星表層に供給したのかを理解するために、再現実験を行う予定です。その熱水中の溶存元素濃度を定量化し、供給量に制約を与えることで当時の火星表層環境の理解に貢献していきたい。

本領域に関する提案 (愚痴): 今は特にありません。

工藤 久志 (くどう くい)

計画研究班: AO2班

出身: 東京

血液型: O型

これまでの研究: 修論研究ではラマン分光法を用いたゲル試料中の水分子の構造解析を、D論研究では同位体を用いた北極海の溶存メタンガスの起源解析をテーマとした研究に取り組んできました。前者の研究では、試料の含水率と水分子の分子振動状態との関連性、後者の研究では北極海の高緯度海域や深度ごとのメタンの起源の寄与について、それぞれ明らかにしました。



本領域での役割: 本領域では氷天体条件におけるメタンガスの起源や収支の解析に取り組みさせて頂いております。具体的には、1) 岩石層におけるメタンの起源寄与 (生物起源 or 無機起源) (AO1班と提携)、2) 氷地殻のクラスレート/ハイドレート生成に伴うメタンの同位体分別と物理化学的変化、3) 内部海におけるメタンガスの輸送・拡散の素過程の解析 (AO3班と提携) の3本立てです。来たる氷天体探査を実行する際に必要となる生命活動や天体環境の考察のための基本情報を得ることを目指しております。

本領域への提案 (愚痴): 本領域用のSlackを作り、いつでもメンバー間で情報共有できる環境を整えるのはどうでしょうか。

遠藤 美朗 (えんどう よしあき)

計画研究班: AO2班

出身: 神奈川

血液型: B型

これまでの研究: 初期地球の表層環境、特に大気組成の研究に取り組んできました。初期地球の岩石に記録されている特殊な硫黄同位体分別に注目し、光化学実験による再現実験を行ってきました。それらの研究の結果からCO (一酸化炭素) が初期地球大気に多く含まれていたと主張していま



す。まだコンセンサスには至っていません。

本領域での役割: いろいろな惑星において普遍的であり鍵となる化学過程や物理過程に対し、パラメータの定量化に実験や理論を通して取り組みたいと思っています。まずは初期地球と初期火星の大気の化学組成の解明を目指します。

本領域への提案 (愚痴): 4月から「水惑星学の創成」のメンバーに加入しました。レベルがとても高く、また勢いを感じます。私自身もその流れに飲み込まれたいと思います。

張 乃忠 (ちやう ないちゅう)

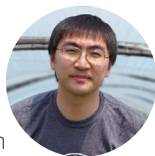
計画研究班: AO2班

出身: 中国山東省

血液型: AB型

これまでの研究: My major research direction during past years was the development and application of carbonate/CO₂ clumped isotope thermometry in various fields, including the atmosphere, terrestrial environment, gas hydrate bearing environment and reconstruction of past ocean changes.

本領域での役割: Methane is considered as an important composition in the early earth and other planets like Mars, Titan, etc.. The isotopic signature of methane has



the ability to provide convincing evidence of whether there is/was life living in these environment. In the coming years, I will focus on the development of most advanced methane clumped isotope analytical technique, and apply the laboratory/analog-based observations in understanding the evolution of these planets.

本領域への提案 (愚痴): As a new research field, I will do my best effort to combine my background (i.e. isotopic analysis tool) with the gas-water-rock reaction systems. In particular, I am eager to collaborate with other talented researchers in this project.

伊藤 祐一 (いとう ゆういち)

計画研究班: AO3班

出身: 東京

血液型: AB型

これまでの研究: 火星及び太陽系外の惑星がどのような表層環境を持ち、また進化をたどっているのかを理論的に明らかにする検討を行ってきました。例えば、昔の火星の温暖な環境の推定、スーパーアースでの大気散逸に伴う惑星の質量進化の予測を行いました。



本領域での役割: 現在だけでなく過去も含め太陽系内惑星で、液体の水が存在できる温暖な表層環境にはどのような大気中の温室効果物質が必要なのかを理論的に調べています。また、班内の連携に活かせるようにも、様々な物質の放射特性が考慮可能な汎用性の高い大気放射モデルの開発・運用を行っています。

本領域への提案 (愚痴): 最近、本領域の研究で冥王星がとてもホットでした。私は冥王星の研究に携わっていませんが、同様にホットな研究が成せるよう精進したい。

杉浦 圭祐 (すぎうら けいすけ)

計画研究班：A03班

出身：愛知

血液型：AB型

これまでの研究：数値シミュレーションを用いて小惑星同士の衝突条件と形成される形状の関係を明らかにすることで、小惑星の形状からその小惑星が過去に経験してきた衝突史に制限を与える研究を行ってきました。

本領域での役割：現在は小惑星リュウグウのようなそろばんの珠



型形状を小惑星の高速自転によって形成するために必要な内部構造・強度・物性などを調べています。将来的には必要な強度や物性を制限することで含水量などに制限を与えることを目指しています。

本領域への提案 (愚痴)：なかなか他の班の方々とお会いする機会がないので、自分からも積極的に交流できるように頑張っていると思いますが、時々でも交流を持てる機会をもらえると嬉しいです。

菅 大暉 (すが ひろき)

計画研究班：B01班

出身：広島

血液型：O型

これまでの研究：学部時代から高エネルギー加速器研究機構のPhoton Factoryにて日本独自のSTXMの開発を行い、様々な地球表層物質を分析してきました。代表的なものとしてはチェルノブイルや福島の中の粒子分析があります。考えがエンジニア寄りの人間ですが、博士号を取ったら分析屋さんとして「水惑星学の創生」にて惑星の水サイエンスがしたいと考えて今に至ります。

本領域での役割：本領域の目玉である水惑星STXMをPhoton



FactoryのBL-19Aにて建設・安定運用する事が私の仕事です。また、これには本領域メンバーの分析のサポートも含まれます。自身の研究としては、火星隕石ナクライトの水質変質物質中に記録された元素の価数や微量元素分配などの情報を用いて、変質に寄与した水の温度やEh-pH環境までを復元することを目指しています。これにはSTXM以外の放射光分析技術も駆使します。

本領域への提案 (愚痴)：STXMに興味をお持ちであれば、いつでもご連絡ください。基本どんな試料でも分析できます。また、野球は特別好きではないですが(球場でバイトをする程度です)、一応カープファンです。観戦に誘ってください。今年度は目に見える形で水惑星に貢献していきます。

野口 里奈 (のぐち りな)

計画研究班：B02班

出身：福井

血液型：A型

これまでの研究：火星と地球で共通して見られる火山地形：ルートレスコーンがどのような環境で形成されるのかを知るために、可視画像・地形リモートセンシングデータや現地調査(これは残念ながら地球上のみ)による地形・岩石データの解析、模擬物質を用いた形成実験などに取り組んできました。それから発展して、火山爆発強度の水環境依存性に



いて火山灰の解析などを通じて研究してきました。

本領域での役割：太陽系固体天体において過去/現在どのような表層・地下環境であった/あるのかについて、リモートセンシングデータを用いて検証しています。とくに、火星の赤道域における地下氷圏の存在を検証するため、地下レーダーサウンディングデータと超高解像度地形データを解析しています。はやぶさ2プロジェクトでは、形状モデルデータの解析と地名命名に関わっています。

本領域への提案 (愚痴)：私もモンゴル行きたいです。

坂谷 尚哉 (さかたに なおや)

計画研究班：B02班

出身：新潟

血液型：O型

これまでの研究：惑星や微惑星の熱進化・熱環境の理解のため、真空下での粉体物質の熱物性に関する実験的研究を行ってきました(実験では水は邪魔者でしかなかったです)。また、はやぶさ2の中間赤外カメラ TIR、小型分離カメラDCAM3の開発・地上試験なども行ってきました。



本領域での役割：はやぶさ2の科学観測計画の立案・手順作成を行いつつ、中間赤外カメラTIRと可視分光カメラ ONC の統合解析を行っています。現在のRyugu表面の物理状態や表面でのレゴリス進化のプロセス、母天体での熱進化過程を理解したいと思っています。

本領域への提案 (愚痴)：かなり自由にやらせて貰ってるので感謝してます。愚痴は、、無いです。

松岡 萌 (まつおか もえ)

計画研究班：B02班

出身：秋田

血液型：O型

これまでの研究：C型小惑星は太陽系形成初期の始原的物質を保存しており、太陽系のなりたちと地球生命の起源を解き明かす重要な研究対象と考えられます。私はC型小惑星観測データから表層物質情報を詳細に引き出すことを目指し、C型小惑星から地球へ飛来した隕石の分光学的・物質科学的研究を行ってきました。

本領域での役割：主に探査機はやぶさ2が現在まで取得したデー



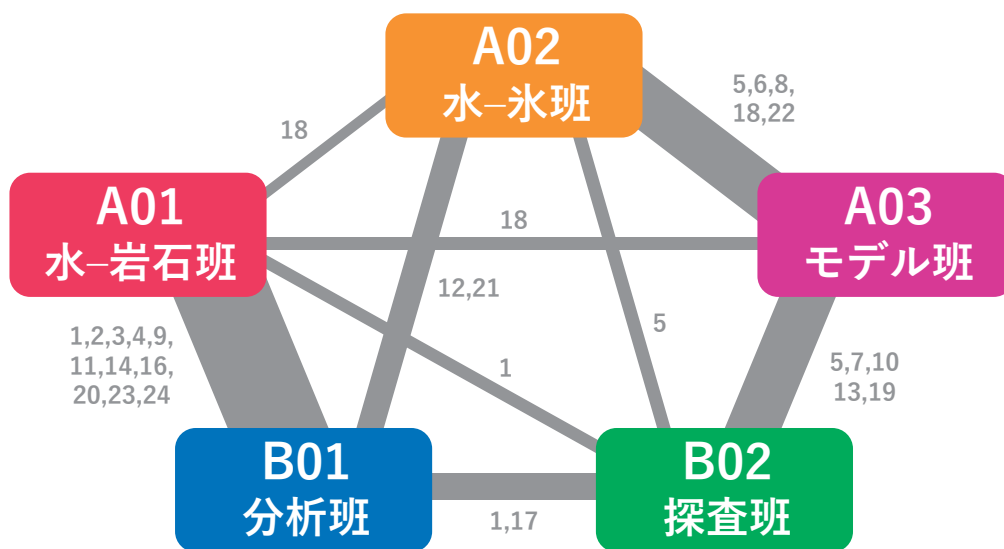
タを用いて、これまでに実験室で得られている隕石スペクトルの可視-赤外における吸収帯・傾き・反射率といった分光学的特徴に基づき、来るサンプルリターンに向けてリュウグウ表層に分布する物質の推定を行っています。原始惑星系円盤、またその後形成した微惑星における水のふるまいを復元するため、理論モデルも考慮した物質科学・分光学的側面からのアプローチによって、始原小天体の形成-変質プロセスを明らかにしたいと考えています。

本領域への提案 (愚痴)：水惑星ロゴステッカーが欲しいです。



本新学術領域がスタートして以来、班間ので多くの融合研究が開始されました。まだ、論文になっていない研究もありますが、現時点（2019年5月末）で融合研究として出版済みの論文リストと図を掲載します。

ここでは、複数の班のメンバー（代表者、分担者、連携研究者、ポスドク研究員、公募代表者）が著者として出版された学術論文（すべて査読あり）のみを対象としています。リスト中の著者の色は、図中の所属班の色に対応しています。図中の番号は、論文リストの番号に対応しています。



1. [Kitadai, N.](#), H. Oonishi, K. Umemoto, [T. Usui](#), [K. Fukushi](#), S. Nakashima (2017) Glycine polymerization on oxide minerals. *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 47, 123–143.
2. [Suga, H.](#), [S. Kikuchi](#), [Y. Takeichi](#), C. Miyamoto, M. Miyahara, [S. Mitsunobu](#), T. Ohigashi, K. Mase, K. Ono, [Y. Takahashi](#) (2017) Spatially resolved distribution of iron species around microbe at submicron scale in the natural bacteriogenic iron oxides. *Microbes Environment* 32, 283–287.
3. [Nakada, R.](#), [T. Shibuya](#), K. Suzuki, [Y. Takahashi](#) (2017) Europium anomaly variation under low-temperature water-rock interaction: A new thermometer. *Geochemistry International* 55, 822–832.
4. Watanabe, Y., [T. Kashiwabara](#), J. Ishibashi, O. Sekizawa, K. Nitta, T. Uruga, [Y. Takahashi](#) (2017) Different distribution behaviors of molybdenum and tungsten in a sediment–water system under various redox conditions. *Chemical Geology* 471, 38–51.
5. [Kurokawa, H.](#), [K. Kurosawa](#), [T. Usui](#) (2018) A lower limit of atmospheric pressure on early Mars inferred from nitrogen and argon isotopic compositions. *Icarus* 299, 443–459.
6. [Kurosawa, K.](#), [H. Genda](#) (2018) Effects of friction and plastic deformation in shock-comminuted damaged rocks on impact heating. *Geophysical Research Letters* 45, 620–626.
7. Pignatelli, F. C., S. Charnoz, P. Rosenblatt, R. Hyodo, [T. Nakamura](#), [H. Genda](#) (2018) On the impact origin of Phobos and Deimos. III. Resulting composition from different impactors. *The Astrophysical Journal* 853, 118(12pp).
8. [Kurosawa, K.](#), T. Okamoto, [H. Genda](#) (2018) Hydrocode modeling of the spallation process during hypervelocity impacts: Implications for the ejection of Martian meteorites. *Icarus* 301, 219–234.
9. [Kitadai, N.](#), K. Nishiuchi, A. Nishii, [K. Fukushi](#) (2018) Amorphous silica-promoted Lysine dimerization: A thermodynamic prediction. *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 48, 23–34.
10. [Kurokawa, H.](#), J. Foriel, M. Laneuville, C. Houser, [T. Usui](#) (2018) Subduction and atmospheric escape of Earth’s seawater constrained by hydrogen isotopes. *Earth and Planetary Science Letters* 497, 149–160.
11. Nakashima S., [Y. Kebukawa](#), [N. Kitadai](#), M. Igisu, N. Matsuoka (2018) Geochemistry and the origin of life: From extraterrestrial processes, chemical evolution on Earth, fossilized life’s records, to natures of the extant life. *Life* 8, 39.
12. 野田夏実, 今村翔子, 関根康人, 上杉宗一郎, 栗栖美菜子, 高橋嘉夫, 寺田直樹, 福士圭介 (2018) マンガン酸化物と室内実験から示唆される初期火星の酸化的表層環境. *日本惑星科学会誌 遊星人* 27, 138–146.
13. 倉本主, 川勝康弘, 藤本正樹, 玄田英典, 平田成, 今村剛, 亀田真吾, 松本晃治, 宮本英昭, 諸田智克, 長岡央, 中川広務, 中村智樹, 小川和律, 大嶽久志, 尾崎正伸, 佐々木晶, 千秋博紀, 橘吾吾, 寺田直樹, 白井寛裕, 和田浩二, 渡邊誠一郎, MMX study team (2018) 太陽系ハビタブル惑星の成立を探る火星衛星探査計画MMX. *日本惑星科学会誌 遊星人* 27, 207–215.
14. [Kashiwabara, T.](#), R. Toda, [K. Nakamura](#), S. Kubo, K. Yasukawa, K. Fujinaga, T. Nozaki, [Y. Takahashi](#), K. Suzuki, Y. Kato (2018) Synchrotron X-ray spectroscopic perspective on the formation mechanism of REY-rich muds in the Pacific Ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 240, 274–292.
15. Tanaka, M., D. Ariga, [T. Kashiwabara](#), [Y. Takahashi](#) (2018) Adsorption mechanism of molybdenum (VI) on manganese oxide causing a large isotopic fractionation. *ACS Earth and Space Chemistry* 2, 1187–1195.
16. Yang S., S. Uesugi, H. Qin, M. Tanaka, M. Kurisu, C. Miyamoto, [T. Kashiwabara](#), A. Usui, [Y. Takahashi](#) (2019) Comparison of arsenate and molybdate speciation in hydrogenetic ferromanganese nodules. *ACS Earth and Space Chemistry* 3, 29–38.
17. Chan, Q.H.S., A. Nakato, [Y. Kebukawa](#), M.E. Zolensky, [T. Nakamura](#), J.A. Maisano, M.W. Colbert, J.E. Martinez, A.L.D. Kilcoyne, [H. Suga](#), [Y. Takahashi](#), [Y. Takeichi](#), K. Mase, I.P. Wright (2019) Heating experiments of the Tagish Lake meteorite: Investigation of the effects of short-term heating on chondritic organics. *Meteoritics and Planetary Science* 54, 104–125.
18. [Sekine, Y.](#), [T. Shibuya](#), [S. Kamata](#) (2019) Enceladus: evidence and unsolved questions for an ice-covered habitable world. In *Astrobiology – From the Origins of Life to the Search for Extraterrestrial Intelligence*, A. Yamagishi, T. Kakegawa and T. Usui (Eds.), Springer, Singapore, pp. 399–407.
19. Hareyama, M., Y. Ishihara, H. Demura, N. Hirata, C. Honda, [S. Kamata](#), Y. Karouji, J. Kimura, [T. Morota](#), H. Nagaoka, R. Nakamura, S. Yamamoto, Y. Yokota, M. Ohtake (2019) Global classification of lunar reflectance spectra obtained by Kaguya (SELENE): Implication for hidden basaltic materials. *Icarus* 321, 407–425.
20. [Kikuchi, S.](#), [T. Kashiwabara](#), [T. Shibuya](#), [Y. Takahashi](#) (2019) Molecular-scale insights into differences in the adsorption of cesium and selenium on biogenic and abiogenic ferrihydrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 251, 1–14.
21. Noda, N., S. Imamura, [Y. Sekine](#), M. Kurisu, [K. Fukushi](#), N. Terada, S. Uesugi, C. Numako, [Y. Takahashi](#), J. Hartmann (2019) Highly oxidizing aqueous environments on early Mars inferred from scavenging pattern of trace metals on manganese oxides. *Journal of Geophysical Research – Planets* 124, DOI:10.1029/2018JE005892
22. [Kamata, S.](#), F. Nimmo, [Y. Sekine](#), [K. Kuramoto](#), [N. Noguchi](#), J. Kimura, [A. Tani](#) (2019) Pluto’s ocean is capped and insulated by gas hydrates. *Nature Geoscience* 12, 407–410.
23. Qin, H., S. Uesugi, S. Yang, M. Tanaka, [T. Kashiwabara](#), [T. Itai](#), A. Usui, [Y. Takahashi](#) (2019) Enrichment mechanisms of antimony and arsenic in marine ferromanganese oxides: insights from the structural similarity. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 257, 110–130.
24. Shiraishi, F., Y. Matsumura, R. Chihara, T. Okumura, [T. Itai](#), [T. Kashiwabara](#), A. Kano, [Y. Takahashi](#) (2019) Mn(II) oxidation processes at the surface of microbially colonized manganese deposits, Sambe hot spring, Japan. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 258, 1–18.

受賞・今後の活動

受賞

日本惑星科学会の2017年度最優秀研究者賞

鎌田 俊一氏（A03班分担研究者）が日本惑星科学会の2017年度最優秀研究者賞を受賞しました。この賞は優れた研究業績を挙げている若手研究者に与えられます。鎌田氏は固体惑星や衛星の内部構造と進化に関する研究に取組み、研究手法や国内外での幅広い研究活動とその成果が高く評価されました。



国際宇宙空間研究委員会（COSPAR）の若手賞（Yakov B. Zeldovich Medal）

さらになんと、鎌田 俊一氏（A03班分担研究者）が、国際宇宙空間研究委員会（COSPAR）の若手賞（Yakov B. Zeldovich Medal）も受賞しました。月や衛星の内部構造や熱的状态に関する深い洞察と太陽系の宇宙研究における幅広い活動が評価されました。なお、約30年の歴史の中で日本人研究者として2人目の受賞となりました。



日本地球化学の奨励賞(2018年度)

中田亮一氏（B01班分担研究者、左写真）と北台紀夫氏（公募班代表研究者、右写真）が、日本地球化学の奨励賞(2018年度)を受賞しました。この賞は、受賞年度時点で35才未満の研究者を対象として、地球化学の進歩に寄与する優れた研究を行い、将来有望な日本地球化学会員に贈られる賞です。2018年度は、奨励賞受賞者2名中の2名が本新学術のメンバーでした！

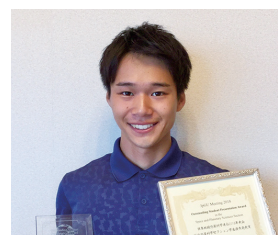


日本有機地球化学会の奨励賞

中田亮一氏（B01班分担研究者）が2018年8月29日～31日に東京海洋大学で開催された有機地球化学2018品川シンポジウムにて有機地球化学会奨励賞を受賞しました。この賞は、35歳未満の方を対象として、有機地球化学、石油地質学、堆積学の3分野のいずれかで優れた研究を行い、将来研究の発展を期待できる方に贈られる賞です。

学生優秀発表賞

中村麻也氏（A02班代表関根研究室大学院生）が、日本地球惑星科学連合(JpGU)2018年連合大会にて、学生優秀発表賞を受賞しました。発表タイトルは、「初期火星における化学風化の評価に向けた実験的・地質学的研究」でした。かなりのイケメンです。



今後の活動

第3回水惑星全体会議

開催日：2019年11月12日～14日

場所：オーテピア、高知県

概要：各班の進捗状況の報告、班員（公募研究も含む）の研究トピックの紹介などを行い、本新学術の目的と今後の研究計画の確認およびブラッシュアップを行います。また、この会議を通じ、班員間の共同研究、分野横断型の研究テーマの創出などの促進も図ります。



<http://www.aquaplanetology.jp/>