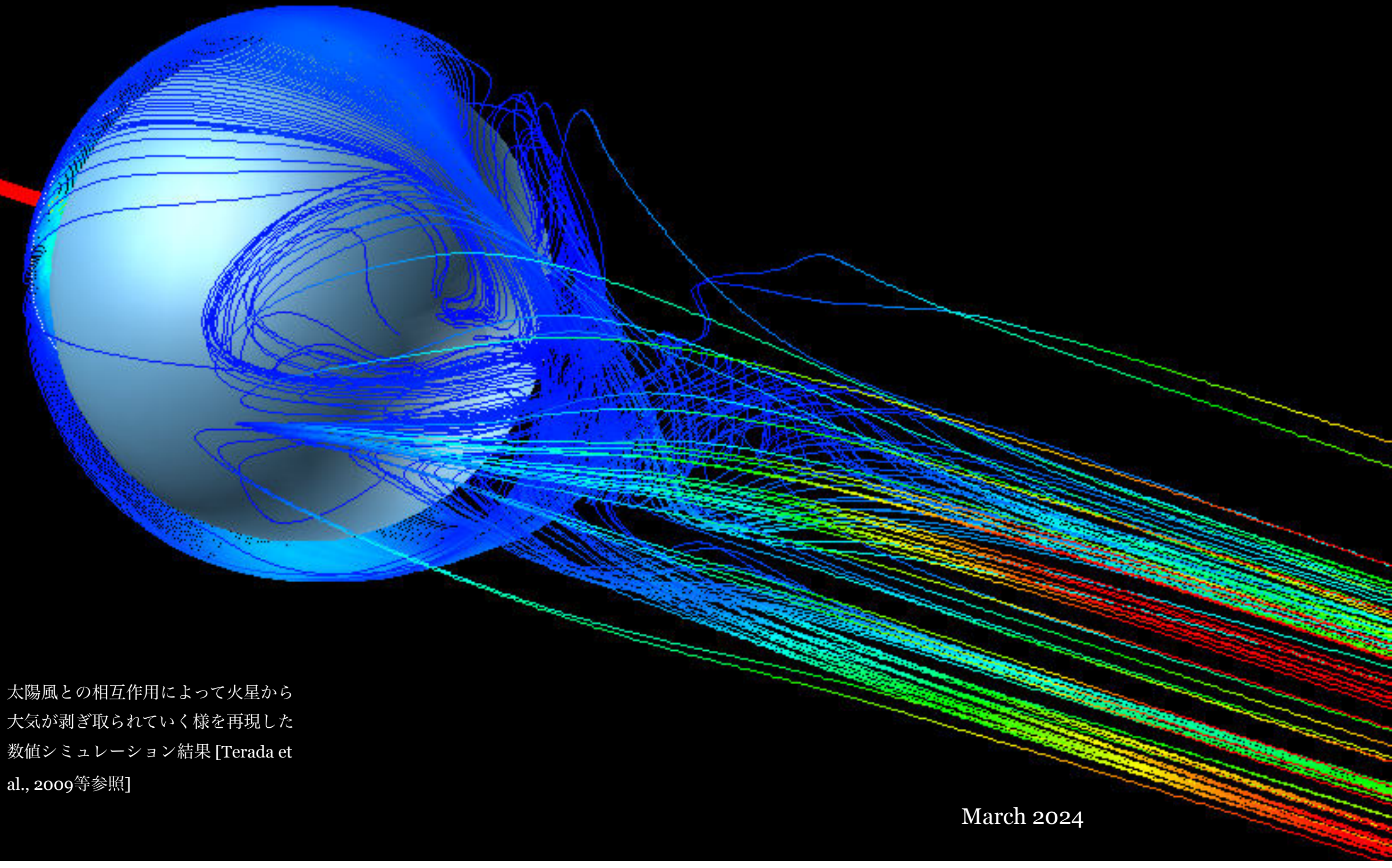


Planetary Atmospheric Physics

東北大学 惑星大気物理学の目指すところ。



太陽風との相互作用によって火星から
大気が剥ぎ取られていく様を再現した
数値シミュレーション結果 [Terada et
al., 2009等参照]

March 2024

WELCOME

未知を切り拓く



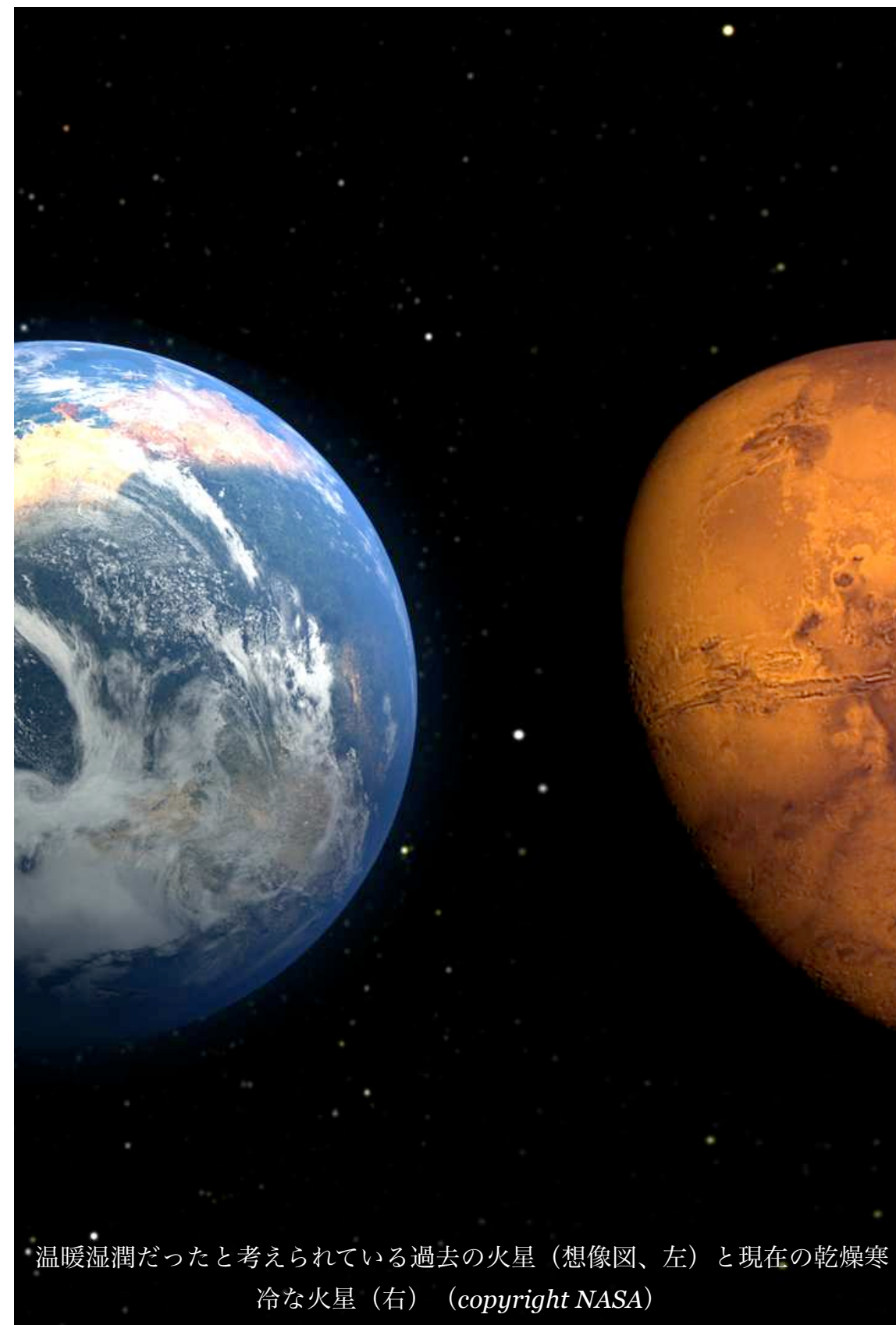
惑星大気の変動・進化過程の比較惑星学的・体系的な理解へ

本研究室は、地球を含む惑星を舞台に、惑星大気変動・進化学の学理の探求と人類の未知の開拓に挑んでいます。研究とは、見えなかったものを見る、できなかったことを可能にするもの。未だ見ぬ世界に挑戦する強い意欲を持ち、自由な発想と想像力を持つ皆さんの参加を待っています。

(教授 寺田 直樹)

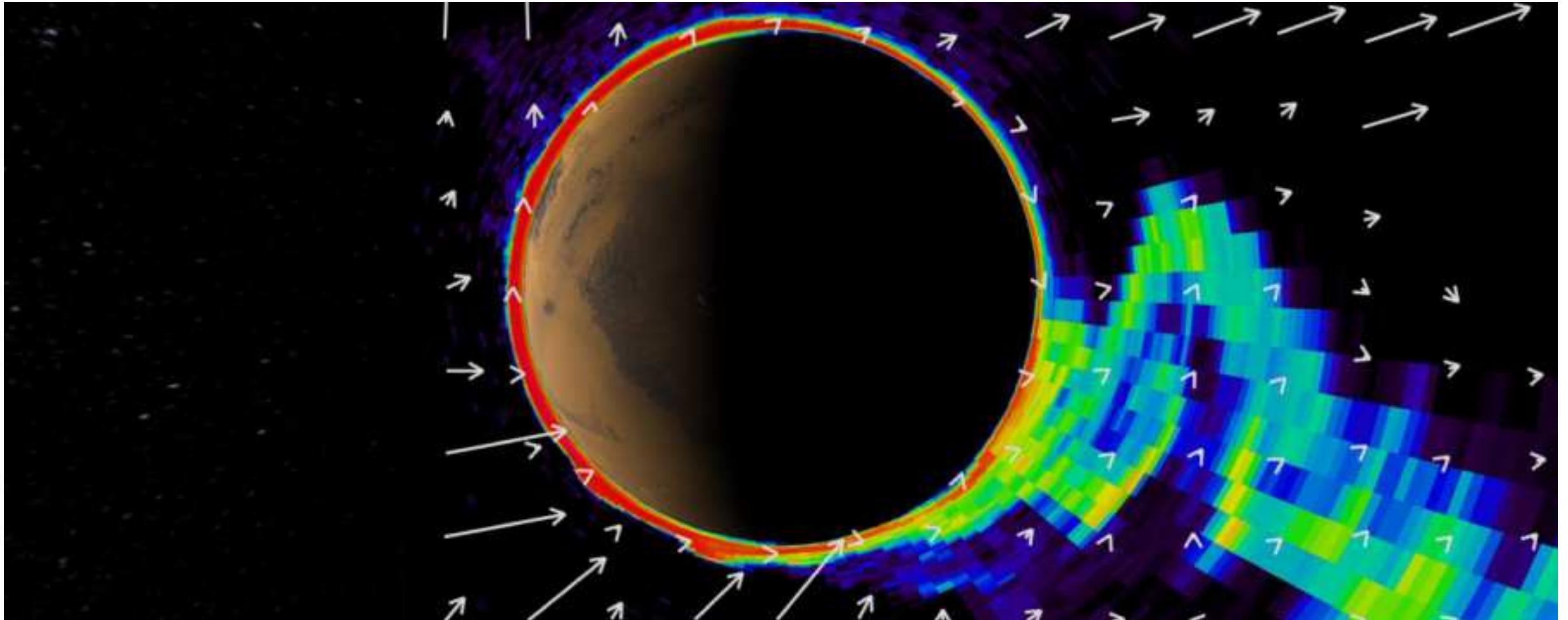
惑星大気の行方

地球や惑星の大気は、太陽紫外放射や太陽風（太陽から常時吹き出す超音速のプラズマ流）の影響を受けて、宇宙空間に絶えず流出しています。惑星が保有する大気量や組成比は、この宇宙空間への大気の流出によって、数～数十億年スケールの長い時間をかけて変遷してきたと考えられています。本研究室では、衛星観測・地上観測・数値シミュレーション・室内実験を組み合わせ、惑星大気の変動・進化過程を明らかにすることで、比較惑星学的・体系的な理解につなげようとしています。それはまさに、生命生存可能環境（ハビタブル環境～液体の水の存在条件）の理解、生命起源（H, O, C, N, + S, Pの進化、生命前駆物質の生命過程等）の理解です。対象は、地球、火星、金星、タイタン、そして系外惑星も含めて、それぞれの惑星環境を比較します。2000年代に入ってから欧米の火星探査機による地形解析や水和鉱物の観測等によって、火星には、その歴史の初期に大量の液体の水を湛えた時期があったことが明らかとなりました。しかし、なぜそのような温暖湿潤な環境から、現在の寒冷乾燥した環境へと変貌を遂げたかは未だ良くわかりません。



温暖湿潤だったと考えられている過去の火星（想像図、左）と現在の乾燥寒冷な火星（右）（copyright NASA）

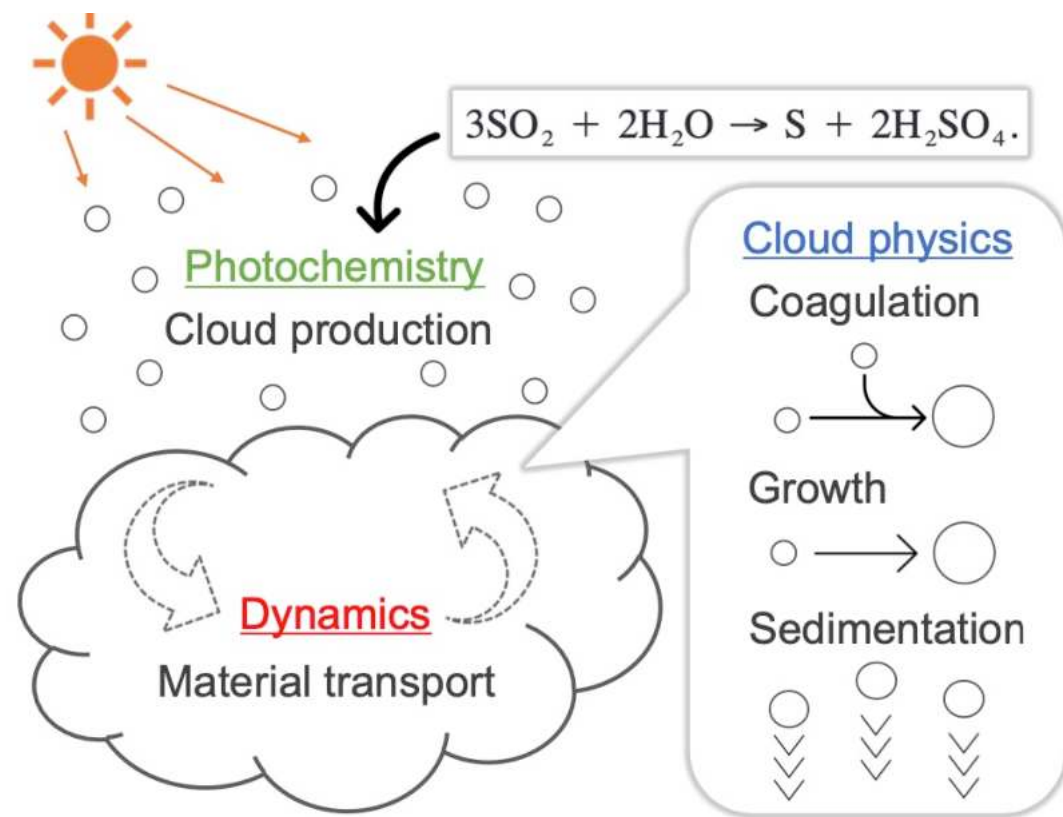
大規模数値シミュレーション



太陽風や太陽放射の影響によって、惑星の大気が宇宙空間に剥ぎ取られる「大気流出」現象は、惑星大気の流出を引き起こす物理機構そのものが研究対象として魅力的であるだけでなく、惑星大気の進化や多様性が生じる原因を理解し、ハビタブル惑星（生命が居住可能な惑星）が成立する条件を理解する上でも重要です。私達は、非磁化惑星の電離圏と太陽風の相互作用を包括的に解く電磁ハイブリッド（粒子イオンと

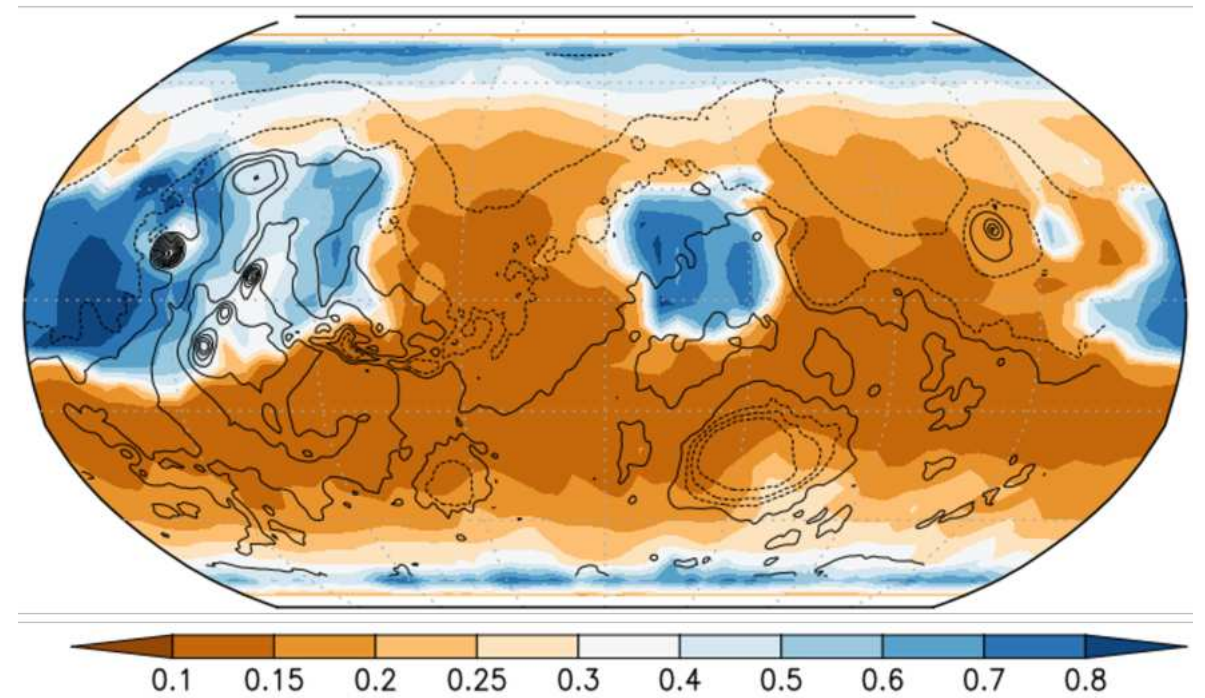
流体電子の混成）シミュレーションや磁気流体力学

（MHD）シミュレーションのコードを世界に先駆けて開発し、惑星起源の電離大気がどのような物理機構により、どのような経路で宇宙空間に散逸するのかを理論的なアプローチで明らかにしてきました。また、数値シミュレーションは、観測が困難な過去や未来に至る宇宙環境を模擬することで、大気進化を知る手がかりを掴むことができます。



1 金星の分厚い硫酸雲層を再現する数値シミュレーション。雲微物理を考慮して、雲粒の凝固、成長、沈降を再現する [Karyu et al., 2024]。

表面には約38億年前にできた液体の水が流れた痕とされる「流水地形（バレーネットワーク）」が数多くありますが、それらの形成に必要な温暖な気候を維持する仕組みはわかりません。これは、当時の太陽が現在より暗く、二酸化炭素の濃い大気をもたせても十分に暖まらないためです。私たちは、地球の気候モデルをベースにこの時代の火星の気候と流水を再現する新たなモデルを開発し、当時の火星が夏に降雨、冬に積雪する「冷涼・湿潤」な気候である可能性を示し、またこの気候が約100万年継続すれば現在の流水地形が形成できることを示しました (Kamada et al., 2020)。また、火星



2

2 不均質な吸着特性を考慮した場合における火星地下2 mまでの総水量（吸着水量と空隙水量の和）の年平均値数値予測。火星レゴリスが水を含んでいる様子が高緯度だけでなく中低緯度にもみられている [Kobayashi et al., in prep.]。

表層レゴリスと大気との水の交換を数値シミュレーションで模擬することで、火星地下2 mまでに存在する総水量を予測しました。これまで考えられてきた高緯度に加えて、中低緯度にも水を含むレゴリス層が存在することが明らかになり、今後の有人探査にも有用な情報になりえます。金星では、1次元光化学モデルに雲微物理を新たに考慮に入れて、硫酸雲層がどのように形成・維持されているのかという長年の未解明問題に挑んでいます。

探査計画への参画・最新探査機のデータ解析



copyright KSC

大気圏を脱出し、宇宙に飛び出して惑星を探査することで、地上からは得ることができない貴重なデータを得ることができます。我々のグループでは、じきけん、あけぼの、Geotail、のぞみ、かぐや、れいめい、あかつき、ひさき、MAVEN、TGO、BeppiColombo、MMX、JUICEなど、これまでに16以上の宇宙探査ミッションに携わっており、国内外の共同研究者らとともに世界的なチームワークのもと未知の



探求に挑んできました。米国のMAVEN探査機観測による火星電離圏イオン散逸の研究、欧州のTGO探査機観測による火星大気上下結合・水物質循環の研究を進める他、日本の次期火星衛星サンプルリターンMMX等の将来計画の中核を担っています。グループの大学院生も、積極的に海外に進出して、最新の探査ミッションに参画することで、世界最先端の研究環境に身を置いて日々精進しています。

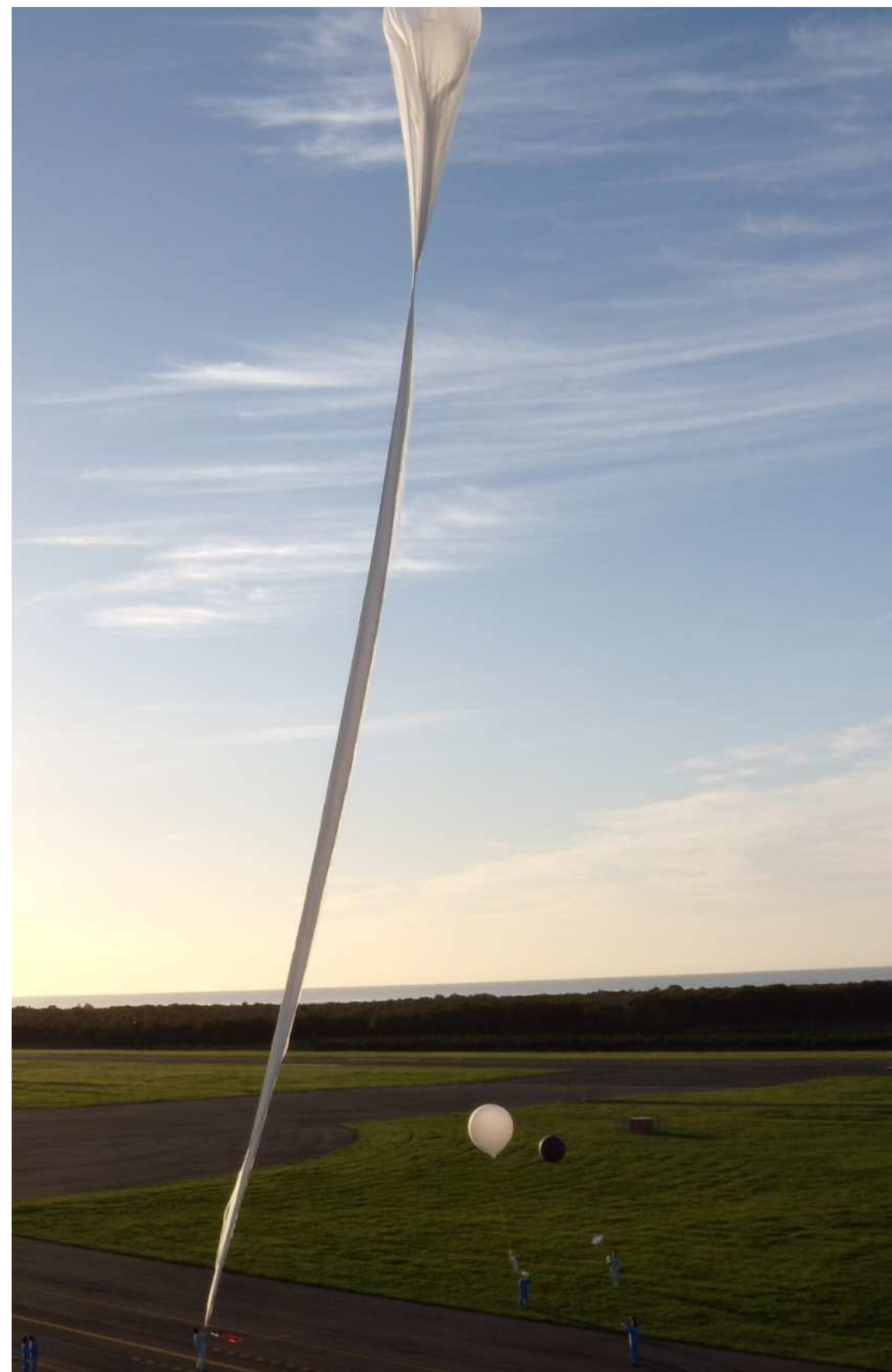


1. 松島での欧州火星探査機TGO搭載NOMADチーム会合集合写真. 2. MMX搭載MIRSチーム会合. 3. 次期欧州火星探査計画M-MATISSEキックオフミーティング

ATMOSPHERIC TRACE SPECIES

地球大気の微量成分分析

「大気微量成分」とは、その名の通り大気中の成分のうちその混合比が0.1%にも満たないような「微量」な成分ことをいいます。有名なものでは温室効果気体である二酸化炭素やメタン、大気汚染物質であるオゾン、二酸化窒素、一酸化炭素などがあります。これらは、量は少ないものの気温や大気の循環などに大きな影響を与えたり生物活動との相互作用があったりします。そのため、「大気環境」を調べる上で微量成分の振る舞いは重要です。我々はこの微量成分の変動を主に分光学的な手法により調べています。たとえばフーリエ変換型分光計を用いて太陽光を光源に観測することで大気中の多くの微量成分の同時観測ができます。また、時には気球に小型分光器を載せて成層圏のオゾン等を観測するほか、経産省プロジェクトにも参画して、ドローンや超小型衛星にセンサを搭載して、森林や工場における環境計測を実施しています。

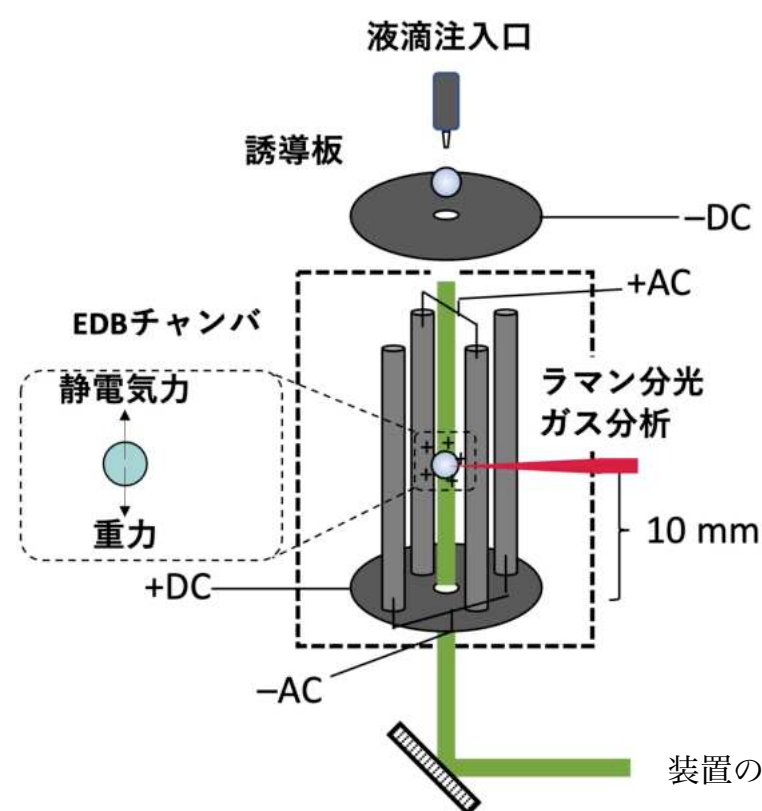




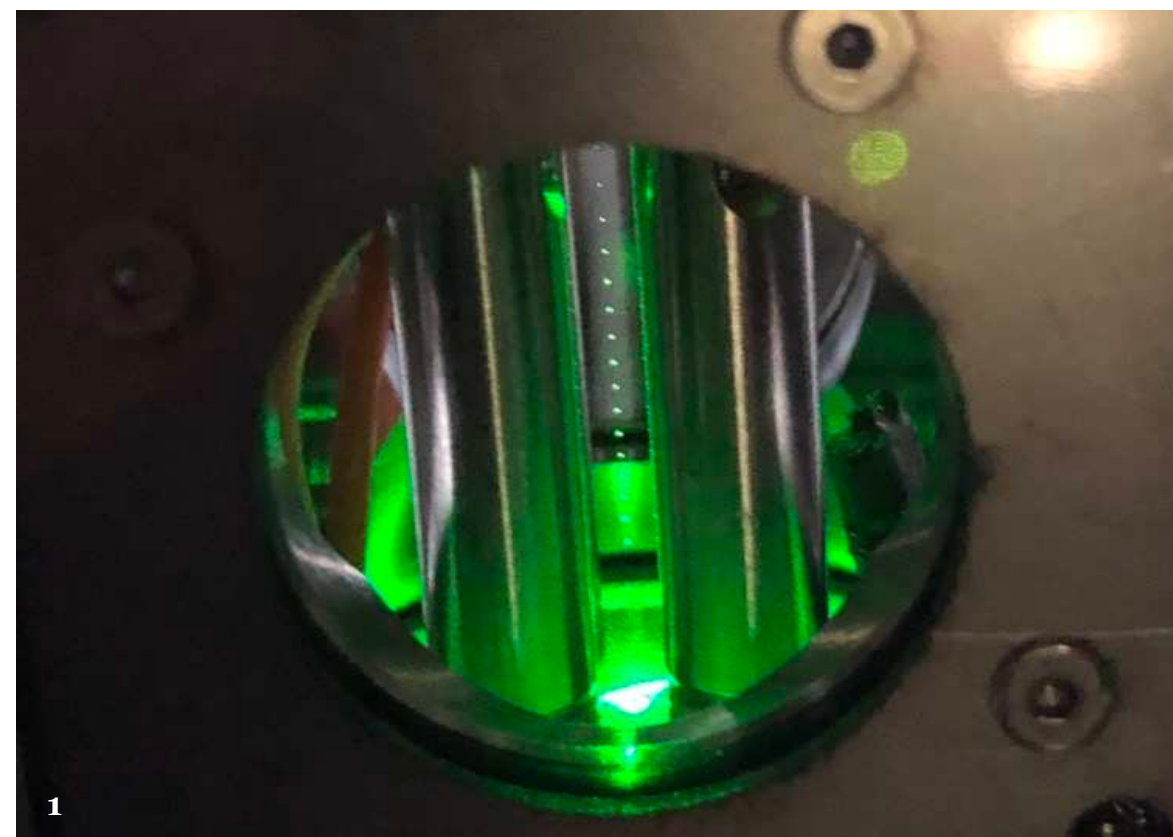
北海道有林にてドローンによるCO2環境計測の様子。

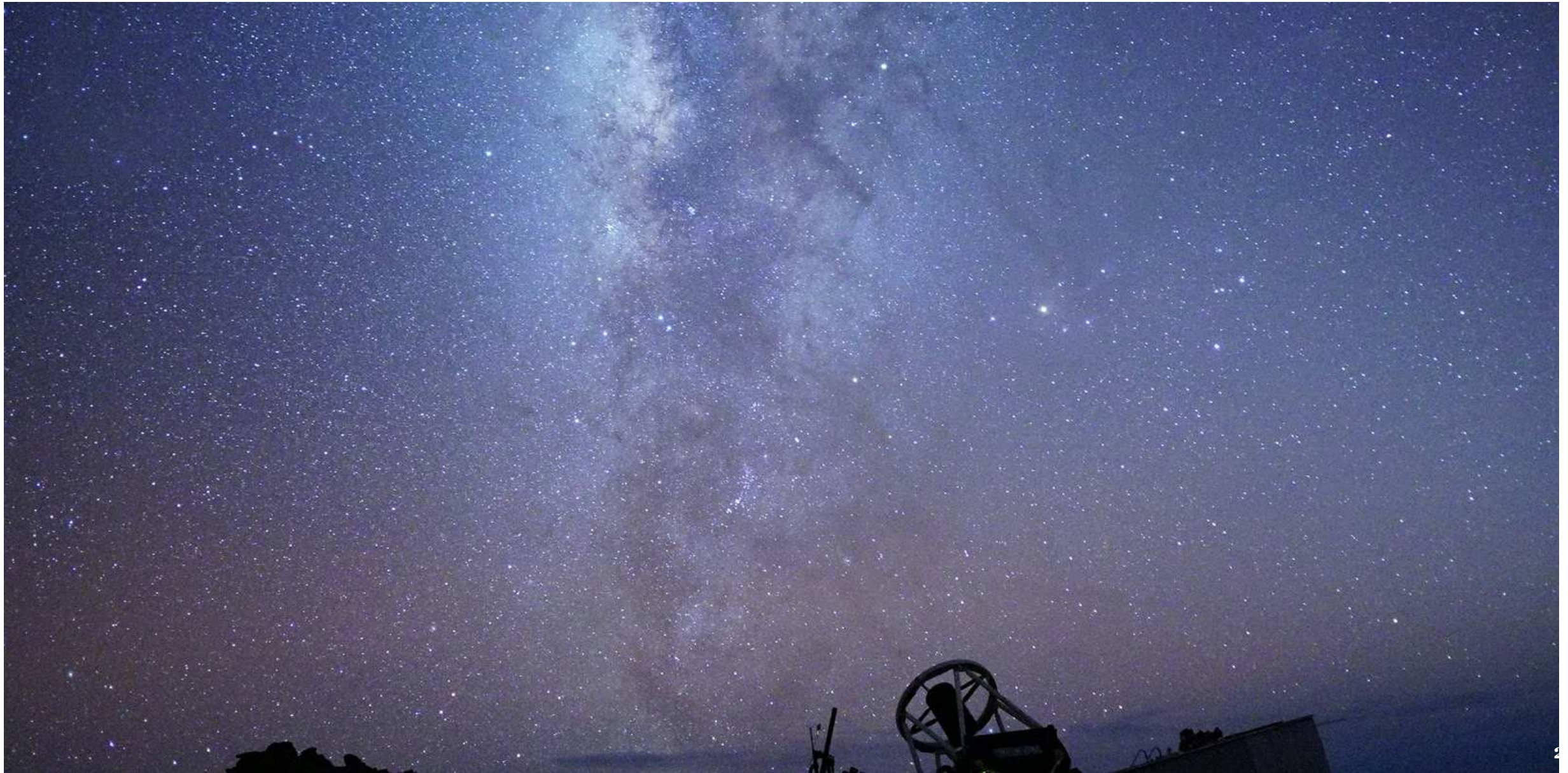
独自の実験装置/観測網

世界的にもユニークなエアロゾルその場測定法を東京工業大学と協力して開発し、金星大気研究の長年の未解明問題である雲層の生成・維持機構の解明に挑んでいます。その場について測定することが難しい金星の硫酸雲粒（液滴）を室内実験で再現して、その光散乱・吸収特性・粒径成長過程をリアルタイムで追跡することができます。得られた物理パラメータを大気モデルに取り込むことで、金星気候変動へのエアロゾルの影響を明らかにして、将来の次世代欧州金星探査計画EnVisionに大きく貢献することができると考えます。



装置の概要図[Gen et al., JPCA, 2023]





ハワイ・ハレアカラ山頂にある東北大学観測施設にて

惑星の大気現象や電磁現象は、様々なタイムスケールでダイナミックに変動しており、それらを理解するためには、長時間連続して観測する必要があります。しかし、すばるなどの大型望遠鏡は、一般的に公募型のため、長期に連続観測を実施することは不可能です。我々は、惑星を連続的に監視可能な自前の観測施設に最先端の装置を実装することで、世界的にもユニークな観測網を展開しています。我々の研究室で

は惑星観測専用の赤外ヘテロダイン分光器MILAH Iの開発に成功し、2018年に発生した火星全球を覆うダストストーム時の大気応答を観測、高度80 kmにおいて約200 m/sにも及ぶ高速の東西風が吹いていることを発見しました(Miyamoto et al., 2021.)。近年は、中空ファイバカップラーを用いてファイバー化を進めています (Nakagawa et al., 2023)。

ラボの面々



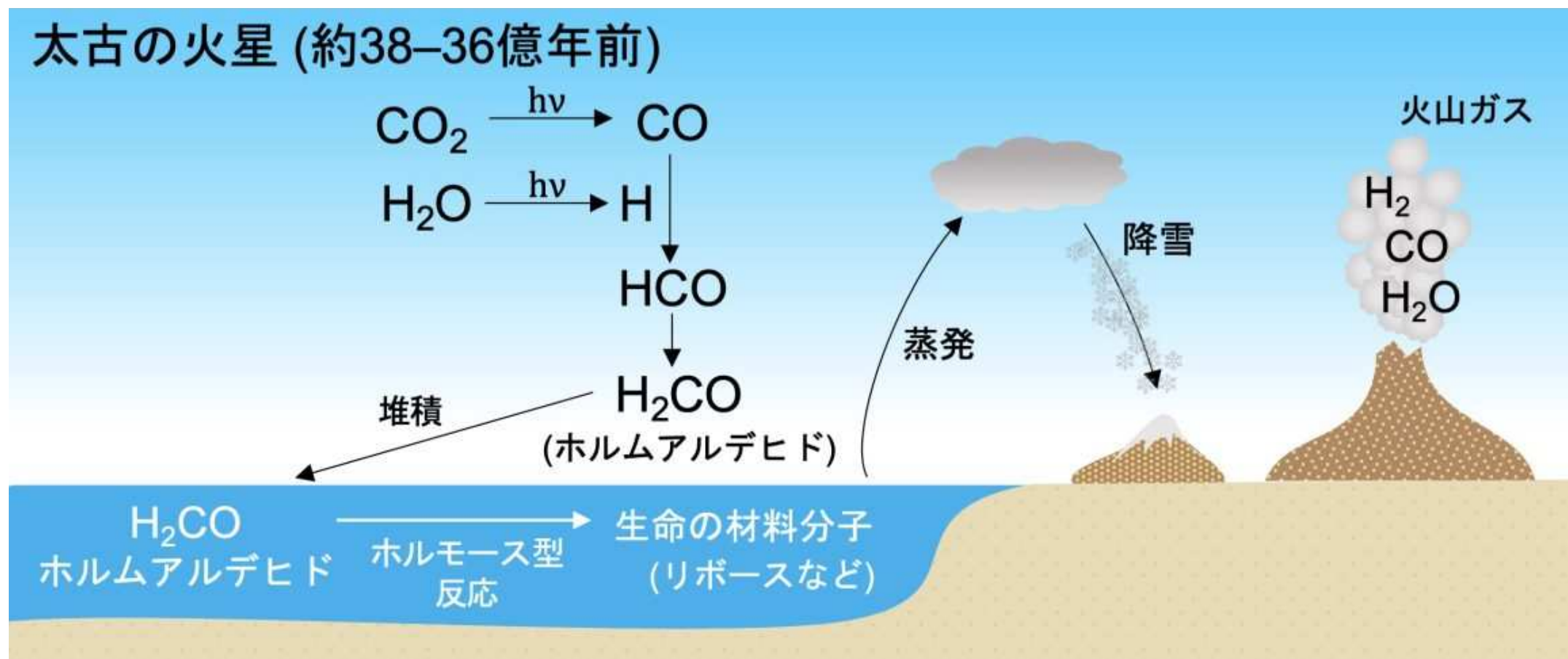
2024年度現在、寺田直樹教授をはじめ教員8名、研究員3名、秘書1名、博士後期課程学生3名、前期課程学生8名、学部生4名の計27名が本研究室に所属しています。研究室はイベントも多く、お花見やBBQ、芋煮、忘年会のような季節行事だけでなく、誕生日会やみんなで料理をしたり、交流が盛んです。また、サイエンス・デイや仙台市天文台における公



開サイエンス講座にも積極的に参加して、学外の幅広い年代の方に地球物理学の面白さを伝える活動を学生自ら企画して行っています。海外との行き来も活発で、今年はベルギー・ブリュッセルに2名、フランス・パリに1名の博士学生を派遣する一方で、海外から客員教授のAnn Carine Vandaele博士、François Leblanc博士をお迎えします。



太古火星で生命材料分子



太古の温暖な火星でホルムアルデヒド (H_2CO)が大気中で生成され、海の中で生命の材料分子に変換されるプロセスの概念図 ((c) Shungo Koyama)

ホルムアルデヒドはアミノ酸や糖などの生命材料分子の原料となる重要な分子です。約38-36億年前の火星は、今の地球のように温暖で海が存在していた時代があったと考えられています。しかし、そのような環境でホルムアルデヒドがどの程度生成されるかは分かっていませんでした。本研究室の小山俊吾 大学院生と寺田直樹教授らの研究グループは、大気的光化学モデルを用いて太古の火星大気中におけるホルムアルデヒドの生成量を推定し、ホルムアルデヒドが太古の火星の温暖な時代に継続的に生成されていたことを示しました。本研究の成果によって、リボ核酸 (RNA) を構成する要素の一つであるリボースに代表される生命の材料分子である糖が、太古の火星の温暖な時代に継続的に生成されていた可能性が示唆されました (図)。本研究成果は、2024年2月9日に科学誌Scientific Reportsに掲載されました。

PEOPLE

とある学生の1日のスケジュール

6:00	仙台港でサーフィン。朝食は港の近くで朝ラーメン
8:30	NBAを観ながらコーヒー焙煎
9:30	ラボに到着。コーヒーを淹れて一息
10:00	研究開始
12:00	ラボメンバーと昼食
13:00	指導教員とミーティング
15:00	ラボメンバーとコーヒーブレイク
15:30	ヨギボーに移動。論文を読む
18:00	帰宅。夕食準備
21:00	netflix。コーヒーに関する本を読む
23:00	就寝



MEMBERS

寺田 直樹	教授	大気の流れ・長期進化、大循環・化学過程
村田 功	准教授	地球大気微量成分の変動観測
中川 広務	准教授	惑星の超高層大気変動と進化過程
黒田 剛史	助教	大気大循環モデル～その構築と大気力学・物質輸送の研究
堺 正太郎	助教	電磁圏シミュレーション～大気散逸の研究
川島 由依	助教	系外惑星および褐色矮星大気の理論・観測
Ann Carine Vandaele	客員教授	惑星大気観測のための分光装置開発と大気放射伝達モデル
François Leblanc	客員教授	火星・水星探査
吉田 辰哉	研究員	惑星大気の進化
鎌田 有紘	研究員	過去火星環境・フォボス水進化のシミュレーション
坂田 遼弥	研究員	電磁圏シミュレーション～過去火星大気の散逸
丹野 都	事務補佐	
小山俊吾	D3	火星における生命関連分子の生成
狩生 宏喜	D2	金星硫酸雲の生成・循環・消滅
古林 未来	D1	火星表層レゴリスー大気の水相互作用
川村 陽	M2	系外惑星における水蒸気大気の流れと進化
小泉 海翔	M2	火星中間圏雲の形成過程
長谷部 聖憲	M2	火星大気の炭素同位体比・大気進化
池田 有里	M2	火星ダストストームの再現と予測
生方 颯真	M1	金星エアロゾル室内実験
鹿志村 樹	M1	火星ダストストーム機械学習
北村 光	M1	温室効果ガス局所放出源周辺の環境計測
佐藤 礼一	M1	火星水循環モデリング
平林 龍弥	B4	未定
會田 陽貴	B4	未定
栗生 大竣	B4	未定
木津 裕人	B4	未定

進学希望の方へ

受験を考えている方は是非一度、研究室訪問においでください。学内・学外問わず、歓迎いたしますので、いつでも研究室メンバーまで、気軽にご連絡ください。受験案内・過去問等は[地球物理学専攻ウェブページ](#)もご参照ください。

大学進学を考える方へ	「理学部物理系」を受験してください。受動的に「知識」を集めるよりも、能動的に「知恵」を求めてください。「能動的に没頭した」量が、強力な素養となります。
物理系1-2年生の方へ	2年生後期の分野配属時に、地球物理コースを選んでください。講義・演習を能動的に求めることを強く勧めます。体力・対人能力・言語能力を含む、広い意味での「体力」をつけてください。
宇宙地球物理学科地球物理コース3年生の方へ	年末に研究室分属決定（定員上限約3人）がやってきます。研究室見学などで積極的に相談しに来てください。迷うより、まず飛び込むこと。何ができるか、それを決めるのはあなた次第です。
修士課程への進学	「理学研究科地球物理学専攻」（定員上限なし）または「環境学研究科環境地理群（地球システム計測学）」を受験してください。他分野・他大学で学んだ人も歓迎します。「違うこと」は武器だからです。大学院こそが「大学の中核」です。ウェブや本に頼らず、相談においでください。
博士課程への編入	「理学研究科地球物理学専攻」（定員上限なし）または「環境学研究科環境地理群（地球システム計測学）」を受験してください。他分野・他大学で学んだ人も歓迎します。

卒業後の進路

大学・研究機関	北海道大学、北海道情報大学、東北大学、東京大学、駒澤大学、成蹊大学、立教大学、サレジオ高専、信州大学、名古屋大学、神戸大学、極地研究所、気象研究所、環境研究所、フランス宇宙物理・惑星科学研究所(IRAP), イタリア宇宙物理・惑星科学研究所(IAPS), ベルギー・超高層大気研究所(IASB)
宇宙・気象関係	IHI, ウェザーニューズ, 宇宙技術開発, NEC, NEC航空宇宙システム, NEC東芝スペースシステム, 三菱電機, 三菱スペースソフトウェア, 宇宙航空研究開発機構(JAXA), 情報通信研究機構, 気象庁
企業など	旭化成ホームズ, アサヒpriteック, アジア航測, アパホテル, イオン, 伊藤忠テクノソリューションズ, NEC, NTT, NTTデータ, NTTコミュニケーションズ, 科学情報システムズ, キッズランド, キヤノンソフトウェア, コダック, CRC総合研究所, 新日鉄ソリューションズ, セイコーエプソン, ソニープラザ, ソフトウェアクレイドル, ソリマチ, 中電シーティーアイ, 電通, 東芝, 凸版印刷, 土木地質, トヨタ, 豊田テクノ, ニコン, 日本IBM, 日本オラクル, 日立システム, 日立ソフトエンジニアリング, 富士写真工業, 富士総合研究所, 富士通, 富士通FIP, フジノン, フューチャーシステムコンサルティング, ペンタックス, メイテック, メディアシステム株式会社, Yahoo, 日本経済新聞社, 毎日新聞社, 誠基学園, 千歳空港, 仙台市役所, 川越市役所, 沖縄県庁, 群馬県庁, 国土地理院, 防衛省, 高校教員(東京都)

ACCESS

アクセス

惑星大気物理学分野は、青葉山北キャンパス（MAP）の合同C棟（H04）3階に研究室があります。地下鉄東西線北1出口より徒歩1分、セブンイレブンの1つ上の階です。

JR仙台駅からのアクセス

地下鉄

JR仙台駅西口、地下鉄東西線仙台駅より
地下鉄東西線「八木山動物公園行き」にて9分、「青葉山駅」下車。片道250円。

タクシー

仙台駅から約15分。約2,000円。

東北大学大学院理学研究科
地球物理学専攻 惑星大気物理学分野
〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6番3号
www.pat.gp.tohoku.ac.jp
令和6年3月発行