

地球惑星科学系

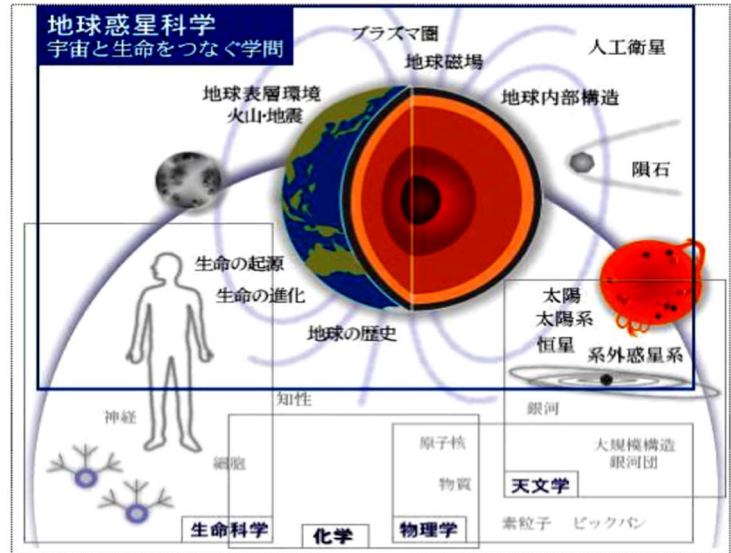
I. 目的・特色

星間雲から原始太陽と原始惑星系ガス円盤ができ、その中で惑星が生まれる。原始地球はマグマの海に覆われるが、やがて冷えて海や大陸ができ、原始生命が誕生する。中心核のダイナモ作用で磁場が発生して変動し、マントルが対流して大陸が移動する。その間、小惑星の衝突をはじめ種々の環境変動が生物の大量絶滅を引き起こし、生物進化を促す。現在に至っても火山が噴き、地震がおきる。

このような地球・惑星の諸現象を理解するために必要な基本的学力を持ち、複雑な現象も科学的に理解しようとする人材の育成を地球惑星科学系は目指します。

地球惑星科学は比較的新しい学問分野です。巨大望遠鏡を駆使する天文学と地形図・ハンマーを手に山を歩く地質学、その中間に地球惑星科学が誕生したのは、惑星探査などによって惑星を地球と同じ目で見る事が可能になったからです。本系の教育は、地球科学・天文学をX軸に、数学・物理学・化学をY軸に、理論・実験観測・野外調査をZ軸にとったとすると、それらの交点を中心としてできるだけ広い領域をカバーします。

学部教育では、学生の「個性・興味」にあった科目を「より自由に選択」できるように、必修科目は2年次の実験科目と3・4年次の研究プロジェクト・学士特定課題研究しかありません。それと同時に多様な科目を用意し、「主体性・自立性」を持って学習できるようにしています。本系では、生命を含む地球や太陽系の起源や進化、そして未来に関心のある人を歓迎します。



II. 学習内容

必修科目は2年次の実験科目と3年次の研究プロジェクト、4年次の学士特定課題研究及び学士特定課題プロジェクト（早期卒業の場合は学士特定課題研究S）だけです。学生が主体的に科目を選択・計画し、学習を進めます。もちろん教員は、適宜相談に乗りアドバイスをします。

1年次：理学院の学生として数学・物理学・化学に加え、入門的な宇宙地球科学を学習します。

2年次：地球惑星科学の概論的な講義を受講するとともに、柔軟な基礎学力を養うために物理数学・力学・電磁気学・熱力学などの基礎科目を習得します。また、国内外において野外実習を行い、雄大な自然現象を直に体験します。

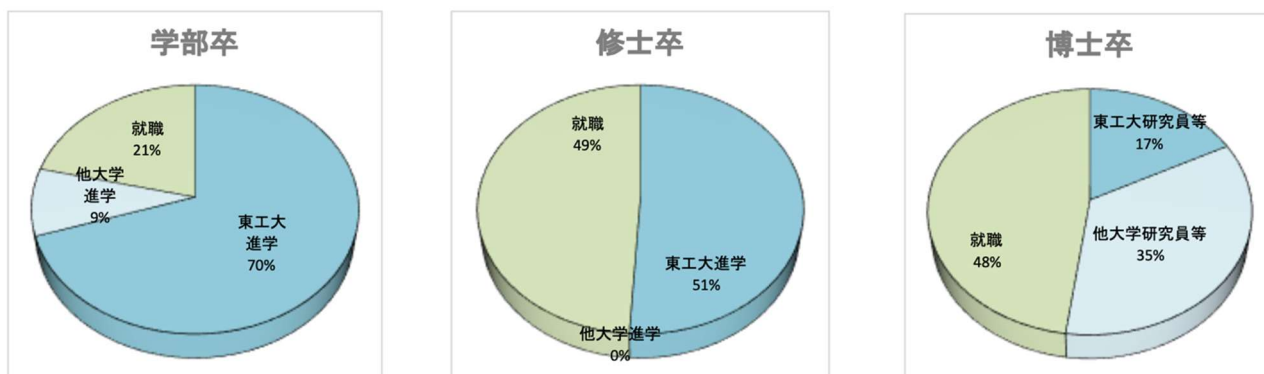
3年次：地球惑星科学の専門科目を学ぶとともに、演習として室内実験やコンピュータシミュレーションなどを行います。研究プロジェクトで研究室所属のための準備をします。

4年次：学士特定課題研究として研究室に所属し、セミナー、実験、観測、野外調査を行いながら、最先端の研究を行います。

Ⅲ. 卒業後の進路

学部卒業生の多くは大学院修士課程に進学しています。もちろん、企業に就職する人もいます。修士課程修了後はさまざまな企業に就職する人が多いですが、博士課程へ進学する人もいます。

(2019～2021年度卒)



就職先(例)

学部卒：アクセンチュア、インテリジェントウェイブ、NTTデータ、NTTドコモ、オリンパス、キーエンス、気象庁、サイバーエージェント、昭和システムエンジニアリング、新日鉄住金ソリューションズ、新生ファイナンシャル、JR東日本企画、チームラボ、東京都庁、TOKAIホールディングス、トヨタ自動車工業、日本航空、日本ユニシス、光通信、日立製作所、富士通、ヤフーほか

修士卒：アクセンチュア、Amazon Japan、伊藤忠テクノソリューションズ、ウェザーニューズ、NEC航空宇宙システム、NTTデータ、鹿島建設、気象庁、キャノン、国土地理院、JR東日本テクノロジー、新生銀行、住友ゴム工業、デジタルプロセス、電通国際情報サービス、東京ガス、東京都庁、TKC、ドコモ・システム、特許庁、トヨタ自動車工業、日本冶金工業、日本ファーンエス、野村総合研究所、日立製作所、日立ソフト、日立ハイテクノロジー、富士通、三井住友銀行、三井住友海上、三菱スペース・ソフトウェア、三菱重工業、三菱総合研究所、三菱東京UFJ銀行、三菱電機、三菱マテリアル、有人宇宙システム、ワークスアプリケーションズ、私立高等学校ほか

博士卒：IHI、AJS、NEC、エリクソン、海上保安庁、海洋研究開発機構、鹿島建設、環境省、気象庁、ケンブリッジテクノロジーパートナーズ、JFEテクノリサーチ、昭栄化学工業、新日鉄ソリューションズ、日本電気航空宇宙システム、古河電気工業、マイクロジェット、メリルリンチ日本証券、ヤフー、私立小学校、私立高等学校、カリフォルニア大学、チューリッヒ大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、国立天文台、JAXA、ボストン・コンサルティング・グループ合同会社、マックス・プランク天文学研究所ほか

Ⅳ. 連絡先

さらに詳しく知りたい方は、遠慮せずに尋ねてください。窓口教員は系主任ですが、具体的な研究分野や内容に興味をもったら、直接その先生を訪ねてみるのもよいでしょう。系ホームページからも、多くの情報が得られます。

系主任 中島淳一教授 (石川台2号館, 事務室208号室, 電話03-5734-2333)

系HP <http://www.geo.titech.ac.jp/>

V. 研究・教育体制

充実した研究・教育体制

地球生命研究所・火山流体研究センターと共同で教育・研究を行っています

地球惑星科学系 (専任教員 16 名)

主な研究テーマ
系外惑星・惑星形成・
隕石と太陽系の歴史・
初期地球の環境・生命の起源・
地球の中心核・地震・
火山噴火・火山性流体

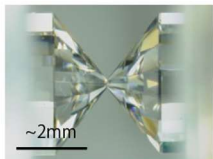
- ✓ 豊富な**野外巡検** (海外含む)
- ✓ **自由な講義選択**
(必修科目が少ない)
- ✓ **多様な研究分野**
- ✓ **最先端の実験機器**
- ✓ **英語による大学院教育**
- ✓ **国際学会での成果発表**
- ✓ 学生の**自主的な運営**
- ✓ 学生による**授業評価**

火山流体研究センター

草津白根山の「ホームドクター」
国内外の火山での観測調査
次世代の火山研究者の育成
(次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト)

地球生命研究所 (ELSI) (地感担当教員 4 名)

世界トップレベルの研究拠点
約 5 割が外国人研究者
研究所内は英語が公用語
英語によるディスカッション



ダイヤモンドアンビルセル

宝石用ダイヤモンドの間に岩石を挟んで押し込むことで圧力を発生させる装置。先端直径 40 μm のダイヤモンドを使用すると地球中心の圧力 (360 万気圧) も発生可能です。



表面電離型質量分析計 (TIMS)

元素をフィラメントと呼ばれる金属線に塗布したのち、電流を流して加熱・イオン化し、検出器で計測することにより、元素の同位体比を精密に測定することができます。

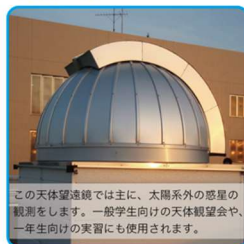
草津白根山の湯釜



ELSI 外観



天文ドーム



この天体望遠鏡では主に、太陽系外の惑星の観測をします。一般生向けの天体観望会や、一年生向けの実習にも使用されます。

高精度質量分析装置



次世代型質量分析計を用いて世界最高レベルの超高精度同位体分析を行っています。

理論・数値シミュレーション

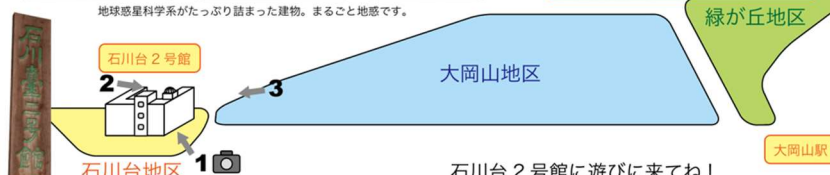


数値シミュレーションも重要な研究手法の一つ。

実験風景



地球惑星科学系がたっぷり詰まった建物。まるごと地感です。



石川台 2 号館に遊びに来てね!

VI. 各研究室の紹介

石川研究室

専門分野 固体地球化学、地球進化学、地質学、岩石学

研究内容 岩石や鉱物など天然地質試料に記録された情報をもとに、地球誕生から現在に至る固体地球圏の変動の歴史を読み解く研究をしています。具体的には以下の研究テーマに取り組んでいます。



- (1) ～現世の地球～ 深部マントルに由来するマグマやマントル捕獲岩の地球化学的解析から、地球内部の物質循環やダイナミクスを理解する。
- (2) ～初期地球～ 世界に分布する太古代地質体の野外調査を行い、得られた岩石試料の分析から誕生直後の地球を支配したテクトニクスを復元する。
- (3) ～地球史における最大の転換点 太古代・原生代境界～ 地球表層環境の激変期として知られる太古代・原生代境界に生じた固体地球変動を探り、両者の因果関係を明らかにする。

上野研究室

専門分野 安定同位体地球化学・地質学・原核生物化石

研究内容 46億年を通して地球生態系と大気・海洋の化学環境がいかに変遷してきたかを明らかにするため、地層に残された記録を解読しています。特に炭素や硫黄の安定同位体組成は当時の生物活動や大気・海洋の物理化学過程を反映します。このシグナルを地層から掘り起こして古環境を復元するために、(1) 野外地質学調査と岩石試料の分析を行っています。(2) 培養実験や現在の海底熱水・成層湖など極限生態系の観測を行い、微生物代謝による同位体分別挙動を明らかにしています。(3) 屋内実験によって大気光化学が生じる同位体分別過程を理解し、地質記録と対比することで初期大気組成とその変動を研究しています。



現在進行中の主な研究内容：

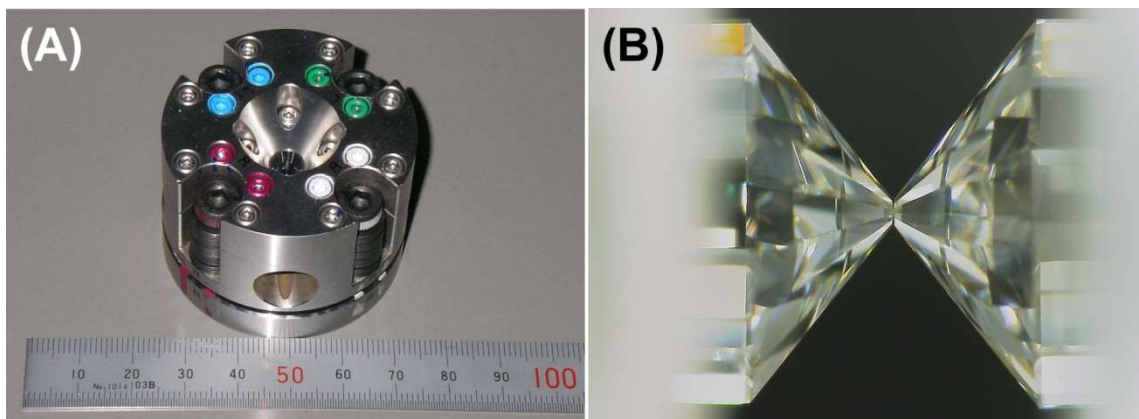
- ① 太古代／原生代の地質記録解読：地球表層の酸化還元分化過程の理解
- ② 光化学的な同位体異常を用いた地球初期大気組成の推定
- ③ 惑星大気から供給される低分子有機化合物と生命起源
- ④ 地質記録から生物活動を検知する手法の開発（微生物培養）
- ⑤ 初期地球に類似する無酸素環境の観測（海底下熱水系など）

太田研究室

専門分野 高圧地球科学、地球内部ダイナミクス

研究内容 ”冷えゆく地球の過去、現在、未来の姿を知るための研究”

地球表層全てがマグマで覆われていた程に高温であった初期地球がどのくらいの速度で冷えて現在の姿となったのか？地球の磁場はいつどのようにして誕生したのか？などといった、地球内部の熱進化やダイナミクスを考える上で、地球を構成する物質の熱伝導率や電気伝導度、弾性波速度などの諸物性値への理解は必要不可欠です。そこで、本研究室では地球や他の惑星を構成する物質の物性を高圧実験という手法を用いて調べています。全く新しい高圧力下その場物性測定手法の開発や、固体水素の金属化を大目標とした超高圧発生技術の開発などにも取り組んでいます。



ダイヤモンドアンビルセル高圧発生装置 (A: 概観、B: ダイヤモンド圧子)

奥住研究室

専門分野 宇宙物理学、惑星形成論

研究内容 我々の住む地球は直径10,000kmにも及ぶ巨大な固体の塊ですが、宇宙に漂う固体といえはミクロンサイズに満たない微粒子（塵）ばかりです。私たちは、このような微粒子の合体成長を支配する物理現象を理論的に理解することを通じて、微粒子が惑星を形作るまでの全工程を解明することを目指しています。具体的には、(1)惑星と塵の中間に位置する「微惑星」の形成にまつわる謎の解決、(2)微粒子の静電気が惑星形成に及ぼす影響の理解、(3)氷微粒子が原始惑星に水を供給する過程の解明、などに取り組んでいます。また、宇宙における微粒子成長と類似の現象である、惑星大気における雲や霧(もや)の形成過程の研究にも取り組み始めています。



尾崎研究室

専門分野 地球システム科学、地球惑星進化学、アストロバイオロジー

研究内容 地球はなぜ生命の星なのか？この問いの答えを見つけるための理論研究を行っています。惑星表面での物質循環やエネルギー収支についてのモデリングを主たる研究手法としていますが、地質記録を併用した古環境実態解明や現在の地球上で生じている物質循環素過程の解明も対象です。得られた知見からハビタブル惑星の進化論を構築することを目指しています。主な研究テーマは以下の通りです：



- (1) 地球史を通じた大気海洋環境と生命の共進化についての研究
- (2) 顕生代の大量絶滅事変の発生メカニズムの解明と古環境変動復元
- (3) 古環境アナロジー環境での物質循環素過程の解明
- (4) 太陽系外惑星生命探査に向けたバイオシグネチャー探査指針の構築

ジルベル研究室

専門分野 有機地球化学・生物地球化学

研究内容 My research consists in exploring the isotopic structure of organic molecules. Organic molecules are mainly made of elements CHONS. Each element can be substituted by its heavy isotope in the structure of the molecule. Any substitution leads to a new molecule called "isotopologue". For instance, for ethanol C_2H_6O , there are 276 possible isotopic substitutions (276 isotopologues; See figure opposite). When isotopologues have the same isotopic substitution but at different positions, they are called isotopomers. The relative concentration of isotopomers is called position-specific isotope analysis.



佐藤研究室

専門分野 光赤外線天文学（系外惑星・恒星）

研究内容 様々な恒星の周りに存在する多様な惑星系（系外惑星系）を発見し、その性質を観測によって明らかにする。これをもとに、惑星系の形成と進化の統一的な理解を目指す。現在は主に太陽型恒星や中質量巨星を対象とした系外惑星探索を進めている。観測手法としては、惑星の引力による恒星の微小な視線速度変化を精密分光観測によってとらえるドップラーシフト法、惑星が恒星の前を通過する際の食を精密測光観測によってとらえるトランジット法を主に用いており、これらの手法の開発・高精度化にも取り組んでいる。観測には主に国立天文台の望遠鏡（岡山天体物理観測所188cm 望遠鏡・ハワイ観測所8.2m望遠鏡）や東工大に設置した30cm 望遠鏡を使用し、また、東アジアを始めとする世界各地の研究者との共同観測も積極的に推進している。他にも、惑星をもつ恒星の性質（化学組成、恒星振動など）を明らかにする研究や、惑星形成論の理論グループとの共同研究も行っている。



中島研究室

専門分野 地震学, 沈み込み帯の地震・火山テクトニクス

研究内容 日本列島が位置するプレート沈み込み帯では、地震・火山活動が非常に活発です。では、冷たいプレートが沈み込む領域で、なぜ熱いマグマ活動が生じるのでしょうか？沈み込むプレート（スラブ）内で深さ700km 付近まで地震が発生するのはなぜでしょうか？これらを紐解く鍵は「水」です。本研究室では、沈み込み帯におけるスラブ内地震の発生メカニズムやマグマの生成・上昇過程の解明を目的に、(1) 三次元地震波不均質構造の高精度推定、(2) 震源過程の物理パラメータの決定、(3) 震源分布と脱水反応の関係解明などを行っています。地震波形データを用いて地球内部の「水の影」を見つけ出すことが主要な研究テーマです。他にも関東地方の地震テクトニクスの研究や内陸地震・プレート境界地震・深部低周波地震の研究も進めています。



中本研究室

専門分野 惑星科学, 理論天文学

研究内容 太陽系を含む一般的な星・惑星系の形成過程を、物理を基礎にして理論的に追究する。星間ガス雲が重力収縮して星とその周囲の原始惑星系円盤が誕生する。原始惑星系円盤の内部ではダスト粒子が集まって微惑星が形成され、さらに微惑星から惑星が形成される。本研究室の現在の主な研究対象は、星形成、原始惑星系ガス円盤の形成と進化、円盤内ダスト粒子の進化、隕石の形成など。ガス、ダスト粒子、輻射、磁場、などが絡んだ現象に挑戦中である。



横山研究室

専門分野 同位体宇宙地球化学, 分析化学

研究内容 元素合成に端を発する太陽系の形成から46億年にわたる現在までのプロセスを、元素及びその同位体を利用して化学的に解明することを目的とする。私たちの体や地球を構成する元素は、主にビッグバンやそれ以降の恒星内における核融合、および超新星爆発によって合成された。隕石はそのような合成過程だけでなく、初期太陽系内で生じたさまざまな出来事を記録している太陽系最古の「化石」である。地球外物質（隕石や月試料）を対象に、最新の質量分析計を用いて超高精度同位体分析（分析誤差0.001%以下）を行い、太陽系の形成・進化過程を明らかにしていく。また、超高精度同位体分析が切り開く新しい地球化学的研究にも着手している。貴重な試料から極微量の目的元素を汚染なく抽出するため、クリーンルームにおける化学分析が必須となる。



主な研究テーマは次の通り。

- ① 元素合成プロセスの解明（プレソラー粒子）
- ② 初期太陽系の年代学（精密絶対年代測定法の開発と、相対年代法との融合）
- ③ 新しい同位体トレーサーを用いた地球化学（地球内部物質循環の解明）
- ④ 新しい分析法の開発とその応用

地球生命研究所



井田研究室

専門分野 惑星形成論・宇宙生物学

研究内容 地球外生命が住む天体はどのようなものなのでしょうか？ そのような天体は、この宇宙にどれくらい存在するのでしょうか？ 太陽系や太陽系外の惑星や衛星の形成・進化の物理過程を理論的に考えることを研究の中心にしていますが、地球外生命に結びつける切り口も大事にしています。太陽系外の惑星のデータは急速に増え、海を持つかもしれない惑星のデータも届くようになってきました。太陽系内でも地下に海を持つ氷衛星（エンケラドス、エウロパ）のデータも増えています。このような実証データをベースに、地道な物理過程のシミュレーションによって、惑星や衛星の形成・進化過程を明らかにし、地球外生命の問題にもチャレンジしています。



玄田研究室

専門分野 比較惑星学、水惑星学

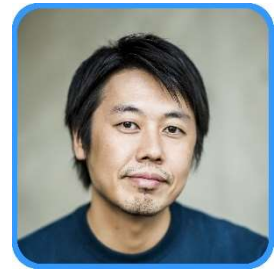
研究内容 私は惑星の特徴がどのようにして作られたのかを明らかにしたく研究をしています。「惑星の特徴」とは、例えば、海が存在し生命が誕生・進化したことは地球の特徴です。一方、金星は地球とは異なる大気量・組成を持った灼熱の惑星です。なぜ、地球と金星はまったく異なる惑星へと進化したのでしょうか？そもそも、太陽系には8つの惑星が存在しており、大きさも組成も衛星の有無も異なります。それはなぜでしょうか？このような惑星の基本的な特徴は、惑星の誕生時に決定した可能性が高く、惑星形成および惑星の初期進化に重点を置いた研究を進めています。他の惑星と地球を、俯瞰的な立場で比較検討することによって、最終的には地球の普遍性・特殊性、究極的には、なぜ地球上に生命が誕生したのか？を解明したく、主に理論とシミュレーションを駆使して楽しく研究をしています。知識も大切ですが、想像力は知識よりも大切だと思っています。



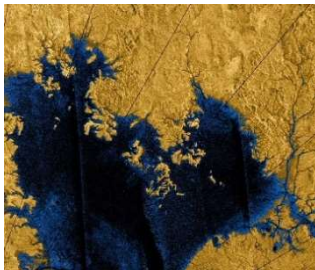
関根研究室

専門分野 地球惑星進化学、アストロバイオロジー

研究内容 「宇宙に生命を宿す天体は存在するのか、地球はなぜ生命あふれる惑星になったのか」という問いに答えることは、自然科学の大目標の一つです。私は、この問題に対して、大気・海洋といった生命を育む惑星の表層環境が、どのように形成し、進化してきたかを化学的に理解することを目指して、下のようなテーマに取り組んでいます。手法は、室内実験やその結果を組み込んだ数値モデル、地球上にある火星類似フィールドの調査など多岐にわたります。



1. 大気海洋の形成：惑星を作った小天体内の化学反応、大気や海、生命の材料物質
2. 宇宙における生命：氷衛星（エウロパ、エンセラダス、タイタン）の大気・海洋の化学組成や物質循環、生命存在可能性
3. 地球型惑星の環境進化：初期火星の水・物質循環や環境の推定、生命存在可能性、初期地球の大気海洋進化、それらに基づく系外地球型惑星の大気組成や表層環境の予測



タイタンの液体メタンの海



火星を探索する探査車 Curiosity (共に画像提供 NASA)

Hernlund 研究室

専門分野 地球物理モデリング

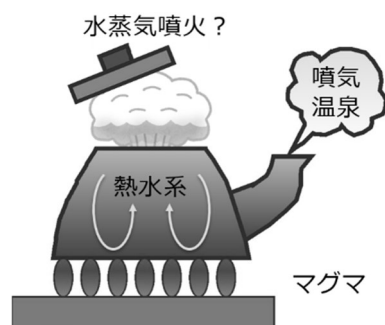
研究内容 I am a natural scientist who is broadly interested in the evolution of interactions between processes and matter. My aim is to further our understanding of the birth, collaboration, and evolution of planetary processes across deep time and space. Such processes include planet accretion/differentiation, melting/freezing, compositional segregation, mantle convection and plate tectonics, atmosphere and ocean evolution, core dynamics, planetary dynamos, origins of life, among others. My current interests are in the development of what I call *planet behaviorism*, an effort to understand how past events influence the future evolution of a planet, and the mechanisms that underlie planet-scale hysteresis and coordination of processes across enormous scales.



神田研究室

専門分野 火山物理学、地球内部電磁気学

研究内容 近年、水蒸気噴火が相次いで発生しています。水蒸気噴火は、規模が小さく、予測することが難しい噴火ですが、たとえ小規模な噴火でも近くにいれば甚大な被害に見舞われます。本研究室では、この水蒸気噴火が発生する場である「火山熱水系」を主な研究対象としています。熱水系とは、マグマから放出された火山性流体や熱せられた地下水が混合し、この流体を介して地表へ熱を伝えるシステムです。噴気や温泉は熱水系が地表に現れたものです。研究手法としては、比



抵抗という物理量を野外で測定する手法を主に用いています。この物理量の地下の分布を知ることによって、熱い場所や水分の多い場所などを知ることができます。ほかにも、ガスや温泉水の成分を測定したり、熱水の上昇を妨げる（蓋の役目をする）浸透性の悪い土壌の物性を測定したりしています。これらの研究は、他機関の多くの研究者との共同研究により進めています。

