

東京大学大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻

地球惑星科学専攻に関する情報 ・ 問い合わせ先

〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

東京大学理学部1号館 8階 811号室

地球惑星科学専攻事務室 教務担当

電話:03-5841-4501・4502

<http://www.eps.s.u-tokyo.ac.jp/>

目次

1. 本専攻について	1
2. 教育	3
2.1 目的・基本方針・システム・カリキュラム概要	3
2.2 カリキュラム詳細	6
3. 基幹講座	17
3.1 大気海洋科学講座	17
3.2 宇宙惑星科学講座	19
3.3 地球惑星システム科学講座	21
3.4 固体地球科学講座	23
3.5 地球生命圏科学講座	25
4. 協力講座・連携講座	27
4.1 観測固体地球科学講座（地震研究所）	27
4.2 気候システム科学／先端海洋科学講座（大気海洋研究所）	29
4.3 地球大気環境科学講座（先端科学技術研究センター）	31
4.4 学際理学講座（宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所）	33
4.5 学際理学講座（高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所）	35
5. 連絡先・キャンパスマップ	37

1. 本専攻について

概要

地球惑星科学が対象とする領域は、地殻・マントル・コアから成る固体圏，大気・海洋から成る流体圏，地球の周囲を取り巻く磁気圏，地球表面における生命圏及び人間圏，そしてそれらの総体としての地球システム，さらには太陽系を構成する惑星・衛星・小天体から宇宙空間や最近では太陽系外惑星系にまで及んでいます。また，その研究手法も，自然の多様性・複雑性を認識する調査・観測，多様性・複雑性の中から普遍性を抽出する実験・解析・理論，そして全体のシステムを統一的に理解するためのモデリングやシミュレーションなど多岐にわたっています。このように領域的にも手法的にも非常に広範で多様な地球惑星科学の研究を総合的かつ効果的に推進するため，近年では，さまざまな専門分野の研究者及び研究技術者の連携による大規模な学際的研究プロジェクトが，国内的にも国際的にも盛んに実施されるようになってきました。

本専攻は，時間的にも領域的にも手法的にも非常に広範で多様な地球惑星科学の総合的研究と教育を効果的に推進し，それを支える各専門分野の基礎的研究を発展させると同時に，近年益々大規模化する地球惑星科学分野の学際的国際研究プロジェクトを中心となって担う研究者の養成を行っています。

地球惑星科学の社会的使命

近年の地球惑星科学の目覚ましい発展は，惑星周辺空間と地球表層環境と固体地球内部を相互に作用し合うひとつのシステムとして理解し，地球・惑星の形成・進化の歴史から未来の変動予測までを一連の時間発展過程として捉えることを可能にしつつあります。このような科学的認識の変換と研究対象領域の拡大は，周辺科学技術の急速な発展と社会のニーズの増大という二つの研究環境の変化とも密接に関連しています。

周辺科学技術の革新による研究対象領域の拡大は，わが国においては地球環境衛星ミッション，月・惑星探査ミッション，宇宙ステーション開発計画，次世代スーパーコンピュータ計画，国際海洋底掘削計画などの国家的大規模研究プロジェクトの推進にみることが出来ます。このような学際的大規模研究プロジェクトが，今後長期にわたって，地球惑星科学分野の高度な専門性を持つ研究型，技術型，および研究管理・調整型の多くの人材を必要とすることは明らかです。

また，地球惑星科学と人間社会との関係は従来にも増して密接なものとなりつつあります。地震の発生や火山の噴火，異常気象などに関連した自然災害科学・予測科学としての側面，地球の温暖化や砂漠化，エルニーニョによる気候変動，オゾンクライシス，環境汚染，あるいは資源の枯渇といった環境や資源の科学としての側面などがその代表例です。人間活動に重大な影響を及ぼすこれらの問題の究明は社会が地球惑星科学に課した使命でもあり，地球規模での取り組みがすでに始まっています。こうした社会的要請に応えるためには，国際性を備えた，視野の広い，高度な知識と能力を持った多くの若手研究者および研究技術者が必要とされます。さらに，社会一般や産業界においても地球環境変動予測，防災型社会設計，環境保全・環境診断といった新たな職種が登場してきており，地球惑星科学の応用分野として高度な専門性を持つ人材の必要性が高まっています。

組織

本専攻は、有機的に連携した5つの基幹講座（大気海洋科学講座、宇宙惑星科学講座、地球惑星システム科学講座、固体地球科学講座および地球生命圏科学講座）と協力講座、連携講座、流動講座からなります。協力講座は学内にあり、地震研究所に観測固体地球科学講座、大気海洋研究所に気候システム科学講座と先端海洋科学講座、先端科学技術研究センターに地球大気環境科学講座が設置されています。連携講座は学外にあり、国立科学博物館と国立天文台（予定）、学際理学講座として宇宙科学研究所/JAXAと物質構造科学研究所に設置されています。流動講座は5年程度の期間、学外に設置するもので現在は神戸大学、京都大学、東京工業大学、物質・材料研究機構、海洋研究開発機構に設置されています。

これに加えて、理学系研究科附属の宇宙惑星科学機構と地殻化学実験施設、工学系研究科、新領域創成科学研究科、総合文化研究科、空間情報科学研究センター、総合研究博物館等の学内組織に所属する教員と密接に連携して地球惑星科学の教育・研究を推進しています。

地球惑星科学専攻

基幹 講座	大気海洋科学	協力 講座	観測固体地球科学	地震研究所
	宇宙惑星科学		気候システム科学	大気海洋研究所
	地球惑星システム科学		先端海洋科学	
	固体地球科学		地球大気環境科学	先端科学技術研究センター
	地球生命圏科学	連携 講座	学際理学	JAXA/宇宙科学研究所
			物質構造科学研究所	
	進化多様性科学		国立科学博物館	
		観測宇宙惑星科学（予定）	国立天文台（予定）	
		流動 講座	神戸大学、京都大学、東京工業大学 海洋研究開発機構、物質・材料研究機構	

関連専攻・研究科

理学系研究科	その他学内組織	
宇宙惑星科学機構	新領域創成科学研究科	空間情報科学研究センター
地殻化学実験施設	総合文化研究科	総合研究博物館
	工学系研究科	

2. 教育

2.1 目的・基本方針・システム・カリキュラム概要

地球惑星科学専攻が対象とする研究領域は、空間的には地殻・マントル・コアからなる固体圏，大気・海洋からなる流体圏，両者の境界領域に広がる生命圏及び人間圏，地球を取り巻く磁気圏，そしてそれらの総体としての地球システム，さらには太陽系を構成する惑星・衛星・小天体から宇宙空間や最近では太陽系外惑星系にまで及び，時間的には，太陽系が形成された46億年前以前から，現在，そして未来にまで及んでいます。その研究手法も，自然の多様性・複雑性を認識・記述するための調査・観測，多様性・複雑性の中から普遍性を抽出するための実験・解析・理論，それらをシステムとして統一的に理解するためのモデリングやシミュレーションと多岐にわたっています。さらに，近年における地球惑星科学を取り巻く周辺科学技術の急速な発展は，太陽系の惑星空間-地球表層環境-地球内部が複雑に相互作用しあうひとつのシステムとして地球を理解し，その形成・進化の歴史から未来の変動予測までを一連の時間発展過程として捉えることを可能にしつつあります。

このような地球惑星科学における大きな流れを支え，発展させてゆくためには，地球惑星科学分野に関する高度な専門性を持った研究型，技術型，および研究管理・調整型の人材を，長期に渡って安定的に社会に供給してゆく必要があります。そうした人材は，広い視野と高度な知識・能力を持ち，国際性を兼ね備えている必要があります。一方，一般社会や産業界においても，自然災害予防，環境変動予測，環境保全，環境診断などの新しい応用分野が拡大し，広い視野と高度な専門性を持つ人材の必要性が高まっています。

地球惑星科学専攻においては，広い視野と深い専門知識を併せ持った創造性豊かな研究者を育成すると共に，社会的要請に答えることができる幅広く確かな専門知識を持った研究技術者を養成することを目標としています。

教育の目的と基本方針

地球惑星科学専攻における教育は，このような地球惑星科学の新しい展開を主導する，広い視野と深い専門的知識を併せ持った創造性豊かな研究者の養成と共に，環境問題や地震・火山・異常気象災害等への直接的対応に関連して社会的に強く要請される幅広い確かな専門知識を持った研究技術者の養成を目的としています。こうした教育目的を達成するため以下の課程が設置されています。

- 大学院修士課程
大学院修士課程では，専門的研究技術者養成コースと専門研究者養成コースを設け，前者においては一般基礎科目と幅広い専門基礎科目を中心とした教育，後者においては博士課程進学を前提として専門基礎科目及び専門科目を中心とした教育を行います。
- 大学院博士課程
大学院博士課程では，各々の大学院生が広い視野と深い専門的知識を培い，創造性豊かな研究者として成長していくよう，少人数セミナーや個別的研究指導を中心とした多様な教育を行います。

教育システム

本専攻は、我が国における地球惑星科学の研究教育の中核をなすべく、大気海洋科学、宇宙惑星科学、地球惑星システム科学、固体地球科学および地球生命圏科学の5つの基幹講座が有機的に連携し、さらに数多くの学内組織(宇宙惑星科学機構、大気海洋研究所、地震研究所、先端科学技術研究センター、空間情報科学研究センター、総合研究博物館、新領域創成科学研究科、総合文化研究科、工学系研究科、理学系研究科附属地殻化学実験施設、理学系研究科天文学専攻、理学系研究科物理学専攻)および学外研究機関(宇宙科学研究所、物質構造科学研究所、国立科学博物館、国立天文台他)と密接に協力をを行っています。地球惑星科学専攻においては、広い視野と深い専門知識を併せ持った創造性豊かな研究者を育成すると共に、社会的要請に答えることができる幅広く確かな専門知識を持った研究技術者を養成することを目標としています。

必要な単位、カリキュラムの概要

大学院の教育課程では、それぞれの学生の学部教育のバックグラウンドに応じ、基礎的勉強と専門性の高い勉強を自在に組み合わせ、カリキュラムを組むことが可能となっています。

(a) 修士課程

大学院修士課程では、広い視野と深い専門知識を兼ね備えた専門研究者、専門的研究技術者の養成を目指した教育を行っています。本専攻修士課程入学者の半数近くが本学以外からの出身者であり、学部段階で地球惑星科学の専門教育を受けてこなかった者も多いことから、修士課程のカリキュラムに「一般基礎科目」を設け、地球惑星科学に共通する一般的基礎知識が習得できるように配慮しています。学部の講義も受講することが可能であり、単位もつきます。専門教育の学習のためには専門基礎科目を精選して配置し、博士課程での先端的研究に必要な専門的基礎知識が体系的に修得できるように配慮しています。また、興味や理解の程度に応じ、主に博士課程の学生を対象とする専門特論や集中講義などの高い専門性をもつ科目も配置しています。科目とその簡単な内容については科目一覧にまとめられています。

修士課程においては、必修科目と専門科目を合わせ、30単位以上を修得しなくてはなりません。必修科目は、地球惑星科学論文講読I(2単位)、地球惑星科学コロキウムI(2単位)、地球惑星科学特別研究I(10単位)です。残りの16単位は主に、一般基礎科目、専門科目から履修します。

地球惑星科学論文講読Iは、主に指導教員により組織され、ゼミナール形式で、専門の論文や教科書を講読します。これにより、専門に関する深い理解を得ます。地球惑星科学コロキウムIは、いわゆるゼミナールのことで、すべての院生は指導教員の組織するいずれかのゼミナールに参加することが義務づけられています。定期的に研究発表を行い、成果をまとめること、他の人からの意見や助言をうけること、他の院生や教員の発表に対して発言すること、その中身について知識を深めることを行います。地球惑星科学特別研究Iは、いわゆる修士論文のことで、2年間における研究成果を、最終的に修士論文として提出します。修士論文は、関連する3名の教員によって論文審査されるとともに、1-2月に開催される修士論文発表審査会において、10名以上の教員による口頭発表審査を受けます。これに合格することで、最終的に修士号が与えられます。

(b) 博士課程

大学院博士課程においては、修士課程で修得した広い視野と深い専門知識を活用して柔軟で創造力あふれる発想を養うとともに、その発想を基に独創的な研究を行い、成果を国際的な場で発表、議論することができる、創造性と国際性にあふれる研究者の育成を目指しています。学生の自主性が存分に発揮できるコロキウムを博士課程教育の重要部分として位置付け

ています。また、博士課程1年次においては国際的な場で活躍するために必須の英語のスキルを身につける科学英語実習が開講されており、これを受講することが強く奨励されています。

博士課程においては、必修科目と専門科目を合わせ、20単位以上を修得しなくてはなりません。必修科目は、地球惑星科学論文講読II(2単位)、地球惑星科学コロキウムII(2単位)、地球惑星科学特別研究II(10単位)です。残りの6単位は主に科学英語実習、専門特論、先端科目から履修します。

地球惑星科学特別研究IIは、いわゆる博士学位論文のことです。国際的な研究成果の発表能力の涵養を目指して、博士論文提出に際しては、その学生が第一著者である論文が国際誌に出版されていることを条件とし、博士論文を英語で書くことを強く奨励しています。博士論文は、提出の約1~2か月前に開催される学位論文提出審査会において発表し、多くの教員の審査を受け、合格すると、論文執筆が許可されます。提出された論文は、関連分野の教員5名(専攻あるいは東大外部の専門家も含む)以上から構成される学位審査委員会により、厳格な審査をうけます。これに合格すると、博士の学位が授与されることとなります。

2.2 カリキュラム詳細

以下に、地球惑星科学専攻の授業科目とその簡単な内容を示します。一般基礎科目は毎年開講されますが、専門科目の開講は、毎年または隔年等、科目ごとに異なります。

授業科目	授業内容
一般基礎科目（*学部大学院共通講義）	
時系列データ解析	地球科学において時系列データとして記録される多種多様の観測データの解析の基本的な解析手法である Fourier 変換，特に離散フーリエ変換を，その数学的基礎にまで立ち返って講義する．さらに，スペクトルと相関関数，線形システムの応答，スペクトルの推定誤差，簡単な数値フィルター等，時系列データ解析の基本となるいくつかの項目について講義する．地球物理学における時系列データ解析の応用についても紹介する．
*地球物理データ解析	地球惑星物理学では観測データから未知の物理量を推定したり背景にある法則に関する情報を抽出したりする機会が多い。この授業ではそのためのデータ解析手法の基礎理論と地球惑星物理学の諸問題への応用について体系的に解説する。統計学的な基礎の復習からはじめ、モデルに依存しないデータ分析および、モデル推定について解説する。内容には、線形回帰解析、時系列解析、主成分分析、インバージョン解析などを含む。
地球物理数学	学部で数理的手法を学ぶ機会が少なかった人を対象として、地球科学の諸現象・諸過程を記述する数学を理解するうえで必要な基礎的項目について解説する。
*地球物理数値解析	地球惑星物理学に関連する偏微分方程式を数値的に解くための手法を説明する。特に差分法について、その基礎概念から実際に用いられる方程式系の扱い方まで、宇宙惑星、大気海洋、固体の各分野での特性を踏まえて概説する。
*弾性体力学	巨視的なスケールでの物質の力学的挙動を数理的に扱う学問分野である連続体力学は、地球科学を研究する上での重要な基礎である。この授業では、弾性という力学特性を持つ物体の連続体力学（弾性体力学）について、その基本概念と基礎方程式の導出・解法について解説する。
*地球力学	地球や惑星の形状・変形・重力場・回転・内部構造などを扱うための測地学的な理論の基礎を習得する。
*地球流体力学 I	地球科学の問題を考える際に、流体力学の取り扱いが必要となることが多くある。この講義では自然のさまざまな現象を支配する流体力学の基礎を学ぶ。流体運動を記述する基本方程式の導出から始めて、その記述方程式の取り扱い方を示し、複雑な流体運動の性質を説明していく。この講義の受講者は冬学期の地球流体力学 II に円滑に進めるように意図している。
*地球流体力学 II	大気や海洋などの地球流体は、密度成層や地球回転の効果を強く受けるために、通常我々が経験する流体運動とは大きく異なるだけでなく、波や不安定現象などの非常に多様な運動を生ずる。本講義では、流体力学の初歩的な知識を前提として、将来気象学や海洋学を学ぶ上で不可欠な、大気や海洋など地球流体の運動の基礎的概念と解析手法を概説する。

授業科目	授業内容
* 地球惑星内部物質科学	地球惑星内部の高温高圧極限条件下における物質の構造・物性・相転移など、高圧鉱物物理学の必修項目を熱統計力学や量子化学の基礎的内容をもとに解説する。計算機シミュレーションを用いてこれらの性質を非経験的に、すなわち第一原理から予測する手法についても概説する。また、これらの地球惑星内部物質の性質から、地球や惑星の内部構造やダイナミクス、さらにはその形成と進化を如何に理解するか、その最先端を解説する。
* 惑星大気学	太陽の影響を受けて変動する地球型惑星の大気圏・電離圏・磁気圏から惑星間空間における普遍的物理・化学過程を解説し、基礎方程式に基づいて直感的理解にいたることを主目的とする。また、飛翔体やレーダーを用いた各領域の測定手法、および系外惑星大気への応用についても解説する。
* 比較惑星科学基礎論	太陽系内の惑星、衛星、および小天体について、その起源と進化について観測と理論を交えて解説する。
* 地球惑星システム学基礎論	本講義は、地球や惑星を一つのシステムとして統一的に理解するための基礎論である。その代表的な例である水惑星の形成と進化、表層環境の維持に関わる問題を軸とし、地球惑星システムの理解にとって重要なフィードバックや分岐、多重解、時定数などの概念と役割について解説する。
* 地球史学	地球 46 億年の歴史を、地球形成期から現在までの時間軸に沿って、固体地球の進化と表層環境の進化および生命の進化との相互作用の視点から概観する。
* 固体地球科学	現在の地球内部の構造（状態、構成物質、温度・圧力）、ダイナミクス（マントル流とプレート運動、核の対流と地球磁場、熱輸送）、およびそれらと地表面現象（プレート運動、地震、地殻変動、地形形成、火成作用、大陸形成、造山運動）との関連性を解説する。また、地球の誕生から現在までの進化を議論する。
* 宇宙地球化学	地球惑星環境の進化・変動を化学的に捉える上で必要となる基礎原理（化学反応・平衡、元素分配・移動、同位体分別、放射壊変）とその原理に基づく地球化学的アプローチを理解すること。
* 回折結晶学	結晶の構造を原子レベルで理解するため、結晶の対称、結晶による X 線回折現象、X 線構造解析の基礎、粉末 X 線回折、電子回折等を解説する。
* 固体機器分析学	地球惑星科学に関連する固体物質を調べるための、主要な分析機器の原理と分析の実例を解説する。また各分析法の原理を説明した後で分析の実際を実験室で見学する。具体的には 1) 走査電子顕微鏡、2) 赤外・ラマン分光、3) X 線吸収分光、4) X 線組成分析、5) 誘導結合プラズマ質量分析等を解説する。
大気海洋科学専門科目	
大気物理学 I	地球表層の気候システムは太陽から受け取る太陽放射エネルギーと宇宙空間へ射出する地球放射エネルギーによって駆動される熱機関であるため、これらのエネルギーの伝達機構とその地球表層系との相互作用を理解することは、気候の形成・変動メカニズムを理解する上で重要である。また、地球のエネルギー収支に深く影響する雲・降水の生成・維持に関わる雲物理も大気科学における重要な分野である。本講義では、このような重要性を持つ放射伝達過程と雲物理過程の基本的理解とともに、気候形成における放射収支の役割と、その気候モデリング・衛星観測への応用についての基本的知識を学ぶ。

授業科目	授業内容
大気物理学 II	熱帯・亜熱帯域の雲や降水形成を決定するさまざまな不安定、メソスケール構造、大規模波動の基礎を解説する。また、雲降水システムと大規模大気波動や大気循環の間のマルチスケール相互作用、および、気候形成における雲降水システムの役割について、最近の知見を紹介し、論じる。
大気物理学 III	講義の前半では、大気中の波動、不安定、乱流など、大循環からその中に生じる擾乱まで、大気の流れのしくみをきちんと理解してさらに議論を進めていくために最低限必要となる大気力学の理論に関する概観とその解説を行う。講義の後半では、中層大気（成層圏・中間圏・下部熱圏）の科学を解説する。中層大気の運動量収支に重要な波動の力学特性、波動によるラグランジュ循環や赤道大規模振動の駆動の仕組み、オゾンホール生成メカニズムについて解説を行う。
海洋物理学 I	海洋中における乱流混合過程を的確にパラメータ化して海洋大循環モデルや大気海洋結合モデルに組み込むことは、中長期の気候変動の予測精度を向上させる上で不可欠な課題である。実際、深海乱流は、深層海洋大循環の強度やパターンをコントロールする重要な物理過程として位置付けられているし、海洋表層乱流は、海面水温の決定因子の一つとして大気海洋相互作用に重要な影響を与えている。本講義では、これらの乱流混合が励起される物理機構、さらに、その物理機構に基づく乱流強度の定量化の試みを紹介するとともに、乱流混合に代表される微物理過程が海洋大循環や大気海洋相互作用とどのように絡んでいるのかを考察することで、将来の海洋物理学が進むべき新たな方向性を明確にしていきたい。
海洋物理学 II	黒潮や親潮に代表される海洋の風成循環の構造と変動、およびそのメカニズムを学ぶ。また、海洋の水温・塩分構造、とくに表・中層の水塊の分布と変動について学ぶ。最新の海洋観測も併せて紹介する。
海洋物理学 III	全球規模の気候変動の理解に重要となる海洋大循環、とくに海洋深層循環について解説する。海洋大循環モデルをはじめとする数値モデリングの手法についても言及し、それを用いた海洋深層循環についての形成・維持メカニズムおよびその気候への役割について、最近の研究成果も紹介しながら解説を行う予定である。
気候力学 I	海洋が重要な役割を果たしている気候の自然変動、特に熱帯域における大気海洋結合現象に関して、その力学特性やメカニズムについて解説する。観測データを用いた解析結果や数値モデルによるメカニズムの解釈について、理論的考察も含めて議論する。
気候力学 II	主として中高緯度で観測される気候変動の実態と、それに関与する様々な時空間スケールを持つ現象の間の相互作用について議論する。具体的に採り上げる現象は、北大西洋振動や北太平洋の10年規模変動に伴う中緯度での大気海洋相互作用とストームトラックの役割、ENSOの遠隔影響に伴う北太平洋水温偏差の形成における大気海洋相互作用、北太平洋10年規模変動における海洋波動や海洋前線帯の役割、南北半球の環状モード変動におけるストームトラックや惑星波変動の役割などである。

授業科目	授業内容
大気海洋物質科学 I	大気中の物質はその物理化学的特性に応じて、地球の放射収支、大気質、物質循環の担い手として地球システムに多大な影響を与えている。本講義では、まずこれらの大気中の物質の役割を概観し、大気中での化学反応や輸送過程、放射過程の基礎を学ぶ。そして成層圏・対流圏の大気化学の中心であるオゾンや関連する各種のラジカル成分についても概説する。授業の後半では、近年の気候変化で重要な役割を果たしている大気中のエアロゾル（微粒子）について、その生成・消滅過程、放射過程、雲・降水への影響について概説する。雲微物理についてもひととおり概説する。大気物質の観測手法についても触れ、大気環境変動研究や大気物質の気候影響に関する最新の知見を概説する。
大気海洋物質科学 II	海洋物質循環・分布を規定する鍵となる物理・化学・生物の素過程について理解を深めることを目的として、水塊形成・変質・輸送に関わる物理過程及び物質の変質・輸送に関わる化学・生物過程について解説する。本講義では、特に海洋循環や混合に関連する基礎的物理過程とその物質循環・生物生産とそれらの分布・変動に対する影響について、重点をおいて講義を行う。海洋混合とその影響の概説、乱流基礎理論、乱流計測理論、乱流水温計計測手法、物質等密度面解析、混合分布と北太平洋深層循環、北太平洋中層循環と物質循環、海洋気候生態系長周期変動と潮汐 18.6 年周期変動、など最新の研究について基礎の解説を含め概説する。
大気海洋科学特論 I-IV	学内外の研究者を講師として招き、大気海洋科学に関連した最新の話題と研究成果を集中講義で紹介する。
宇宙惑星科学専門科目	
宇宙プラズマ物理学 I	宇宙空間および天体プラズマにおける普遍的な物理過程について議論する。特に高エネルギー粒子の加速過程に着目しながら、無衝突衝撃波、磁気リコネクションおよび種々の不安定性やプラズマ波動現象について概説する。
宇宙プラズマ物理学 II	太陽・天体プラズマ物理学を、磁気流体力学の観点で講義する。理論的観点から、太陽・天体活動現象を題材にしながら、それらに磁気プラズマが関与しているのを解説する。それが磁気流体力学によって理解できること、さらにその基礎方程式を駆使して応用できるようになること、が目標である。
磁気圏物理学 I	太陽風（太陽からの超音速プラズマ流）と惑星の固有磁場・大気が相互作用することによって惑星周辺の宇宙空間に形成される勢力圏を磁気圏と呼ぶ。惑星の持つ固有条件と物理機構の組み合わせにより、惑星磁気圏は多様な様相を示す。本講義では、地球を含む惑星磁気圏の基本的性質について解説するとともに、飛翔体探査によって明らかになりつつある磁気圏の多様性と普遍性について研究の現状と課題を理解することを目指し、議論形式の講義を行う。受講者は、宇宙天気、宇宙気候研究への応用なども含めて、最新のトピックについて選ばれた論文の中から、講義中に 1 回はプレゼンとそれに関する議論をリードすることが求められる。
磁気圏物理学 II	人工衛星・観測ロケット搭載用の様々なプラズマ粒子計測装置の原理について解説した後、地球・水星・木星など磁場を持つ惑星の磁気圏や月など磁場を持たない天体の周辺空間の構造・ダイナミクス・太陽風との相互作用について、実際の観測例を元に解説し未解決の現象について議論する。

授業科目	授業内容
惑星探査学 I	惑星が辿った個性あふれる進化過程，そして惑星近傍の宇宙空間で生じる多様な現象・構造を俯瞰する。さらに，それらの知見をもたらしてきた惑星探査の歴史について解説し，観測技術の詳細にも触れながら，将来の宇宙惑星探査に目を向ける。宇宙惑星探査の歩みを理解するとともに，探査プロジェクトの心意気に触れることを目標とする。
惑星探査学 II	地球・惑星周辺の宇宙空間の成り立ちを理解し，飛翔体を用いた観測技術の基礎を習得する。飛翔体を用いた天体の観測原理・技術と，得られる理学データの解析方法について実例を挙げながら基礎物理を軸に紹介・解説する。また，惑星や彗星への近接・着陸探査について，最新の研究成果と技術的な課題，および将来構想について解説する。
比較惑星学 I	太陽系探査で明らかにされた様々な惑星の姿と起源・進化の様相を理解することを目的とする。
比較惑星学 II	探査機によって観察された天体の中で，特に多くの探査データがある固体天体（火星や金星、小惑星、氷衛星など）をこの講義の対象とする。天体ごとに最新の科学的成果を整理し，それらを相互に比較することで，地球を含む各天体の進化に関する理解を深めることを目的とする。日々刻々と膨大な探査データがもたらされている現在の状況を鑑み、包括的・体系的な解説は必ずしも行わない。むしろ最新の探査データや研究成果を概観しながら，探査により大幅な修正を余儀なくされた過去の内容や、活発な論議を誘発した観察事実を検討し、断片的な探査情報の解釈がしばしば流動的であることを理解する場としたい。
宇宙惑星物質科学 I	地球外物質について、様々な物質科学的・鉱物学的特徴について概観し、それらの結果から得られた情報を元に、それぞれの母天体の形成過程や太陽系における惑星物質の進化過程について解説する。
宇宙惑星物質科学 II	地球外物質，特に未分化な始原物質に注目し，太陽系の起源と進化に関する物質科学の基礎と最先端を理解する。
宇宙惑星科学特論 I-IV	学内外の研究者を講師として招き，宇宙惑星科学に関連した最新の話題と研究成果を集中講義で紹介する。
地球惑星システム科学専門科目	
地球惑星システム学	地球惑星システム学基礎論の発展講義。氷期間氷期気候変動の検討を中心に、二酸化炭素循環、惑星の気候の安定性や、生態系の例なども交えて、地球や惑星の複雑な挙動・現象をシステムという視点から捉える上で有用な考えかたや手法を学び、応用力を身につけることをめざす。特に時定数の概念と応用。地球・惑星システムの連続的あるいは不連続的な変化変動を理解・予測する上で重要な、フィードバック、安定性・不安定性、分岐、振動などの概念の初歩を解説する。

授業科目	授業内容
惑星系形成論	<p>太陽系には8つの惑星があり、内側の4つ（水星・金星・地球・火星）は軽い岩石惑星，中間の2つ（木星と土星）は非常に重いガス惑星，外側の2つ（天王星・海王星）は比較的重い氷惑星である．このような太陽系の基本構造は，少なくとも定性的には，「京都モデル」と呼ばれる太陽系形成標準モデルの枠組みで説明される．しかし，定量的にはいくつかの重要な課題が未解決のままである．さらに，今日までに数千個に及ぶ惑星が太陽以外の恒星のまわりに検出されている．それらは太陽系外惑星あるいは系外惑星と呼ばれる．系外惑星および系外惑星系は，例えば，惑星質量や軌道の特徴，バルク密度などに大きな多様性を見せる．そのような多様性のために，我々は太陽系形成の現在の描像を再検討せざるを得なくなった．惑星および惑星系の多様性をもたらすものは何か．京都モデルが見落としているプロセスは何か．どのような特徴が惑星系一般のもので，どのような特徴が太陽系固有のものなのか．本講義では，進化し続ける惑星系形成理論の基礎を理解することを目指す．</p>
*系外惑星特論 I	<p>1995年の初検出以来、系外惑星は天文学の最もホットなトピックの一つであり、観測的、理論的研究が急速に進んでいる。現在では候補天体も含め5000個を超える系外惑星が見つかっており、分光観測による大気検出など個々の惑星の性質を調べられる段階に至りつつある。授業では系外惑星研究の現状を概観するとともに、系外惑星研究の基礎となる理論や観測について解説し、これら基礎事項の習得を目指す。</p>
系外惑星特論 II～V	<p>1995年の発見以来、太陽系外惑星は天文学の最もホットなトピックの一つになっている。本講義では、太陽系外惑星の観測および理論の両方について、最新の成果を含めて詳細に解説する。</p>
物質循環学	<p>火成岩の元素、同位体組成から地球の化学的進化、物質循環を調べる手法について解説する。また、二次イオン質量分析計の基本的な原理、分析法としての特徴を概説するとともに、ジルコンやアパタイト、モナザイトなどのウラン-鉛年代測定法、希土類元素を中心とした微量元素の地球化学について講義する。さらに、その応用例として、隕石、地球最古の岩石、鉱物、地上に現れた最初の生命などの項目について講義する。</p>
大気海洋循環学	<p>大気（主に対流圏）と海洋の平均的な熱構造や循環構造の実態を概観し、その仕組みの理解のために必要な基礎知識を概説する。また、気候系の形成やその変動における大気・海洋循環の役割にも言及する。必要に応じて数式を用いるが、その導出ではなく、式の物理的意味の理解に重点を置く。</p>
地理情報学	<p>地理情報システム (GIS: Geographical Information Systems) は、地球表層における自然と人間による複合した過程を解析する上で、きわめて有効な方法／視点である。本科目では、地図学を含む GIS の基本的な考え方や手法を解説し、GIS を活用した地球表層システム解析の応用例を紹介する。</p>
*気候システム学	<p>地球上の表層環境を形成する重要な要素である気候について、現在のグローバルな気候システムを形成するメカニズムとそれに関わる物理過程を理解する。気候データ解析と気候モデルの手法に触れつつ、地球温暖化を含む過去から将来までの気候変化とその仕組みを理解する。</p>
*古気候・古海洋学	<p>地球表層環境が、どのようなタイムスケールでどのように変動したのか、そうした変動は、どのような原動力、メカニズムにより引き起こされたのかについて、第四紀を中心とした比較的現在に近い地質時代を中心に、その概要を解説し理解を深める。</p>

授業科目	授業内容
古環境学	古環境復元のためのプロキシの原理とその応用、年代測定法、気候モデルの基本原理・構造・応用について、最新の知見を含めて学ぶ。地球環境変動の理解と将来予測のための古環境学という視点に立って、主に第四紀の環境・気候変動について、具体的事例を交えながら解説する。
環境生態学	地球環境と人間社会・生態系応答に関する、海洋の物語りの転換、人新世、持続可能な海洋の経済に関する論説をレビューする。
地球惑星環境進化学	地球惑星システムにおける物質循環とエネルギー収支という観点から、地球惑星環境の長期的安定性、大気海洋系の進化、地球環境と生命圏の共進化、地球史における地球環境変動、比較惑星環境進化論、ハビタブルプラネットなどの諸問題について解説する。
地球惑星システム科学特論 I-IV	学内外の研究者を講師として招き、地球惑星システム科学に関連した最新の話題と研究成果を集中講義で紹介する。
固体地球科学専門科目	
地震波動論 I	地球での地震波動伝搬現象を理解するための基礎を概観する。
地震波動論 II	不均質な地下構造を伝播する地震波の特性と、地震災害を起こす原因となる強い揺れ（強震動）の生成過程を、観測された波形データの例示と数値シミュレーションに基づき解説する。また、不均質な地下構造と地震発生との関連について理解することを目的に、地震波の伝播特性に基づく地下構造の様々な推定方法と地震活動の性質について学ぶ。
地球内部構造論	地球の内部構造について、物質科学、地震学、地球電磁気学の観点から総合的に解説する。
*地球内部ダイナミクス	地球内部の動的現象（プレート運動、地震・火山活動、地殻変動、マントル対流、コア対流など）の実相と、それにかかわる物理的・化学的な理論・素過程を学ぶ。本講義を通して、地球のダイナミックな営みのメカニズムや時空間スケールを定量的に考察し、個々の地学現象をより正確に理解することを目指す。それにより、惑星「地球」の現在進行中の現象のみならず、歴史と未来を俯瞰することができるようになる。
*地球電磁気学	地球電磁気学の基礎的事項について講義する。地球の電磁気的な性質が、地球の現在の活動と地球誕生後の進化過程に密接に関係していることを理解することに重点を置く。
マグマ学	火山学の一般的な知識と共に、衛星画像に基づいて噴火の推移やプロセスを推定する方法について講義する。地下で生じた高温のマグマが地表に出ることによって噴火が発生する。この噴火の推移・プロセスを知る手立てとして衛星画像に基づく方法があり、その基礎と利用、前提となる火山学の一般的知識を学び理解することを目標とする。
火山学基礎論	火山現象を理解するために必要な知識は、地質学・岩石学・理論・モデリング・地球物理学的観測・実験等多岐に渡る。これらの様々な知識を理解し、観測・解析例を通じて火山の理解を深めることをめざす。
変動帯テクトニクス	地球のプレート境界を特徴づけるのが変動帯である。本講義では、地球物理学的にみた変動帯の様々なスケールでの構造・変動過程と地形・地質学的観測に基づく現在の変動帯の実態について学ぶ。

授業科目	授業内容
地球レオロジー	地球内部のレオロジーは、マントル対流から地震波伝播に至るまで様々なタイムスケールの現象に大きな影響を与えている。この授業では、地球内部のレオロジーを支配しているマイクロなメカニズムを学び、弾性・非弾性・粘性・電気伝導度などの物性がどのような物質科学的性質（温度・物質・流体相・岩石組織など）によって決まっているかを学ぶ。実際の岩石・鉱物組織を見ることも学ぶ。また、岩石のレオロジーが地球のダイナミクスに与えている影響について学ぶ。
海洋底ダイナミクス	プレート境界の大半が海底にあることからわかるように、海底は現在まさに活発な火山活動や構造運動の起こっている場である。この授業では、海底の構造とそこで起こる諸現象、海底に残された地球史の記録、海底調査技術について基礎的な事柄を解説する。さらに、論文購読や演習などを通して、実際の海底のデータや最新の研究結果に触れる。
地形形成進化学	変動帯で形成される地形は、内的作用と外的作用が相互に作用して発達している。この授業ではそれらの概観と一つ一つの要素について説明する。特に内的作用を担う内陸活断層や沈み込み帯の地殻変動などについて、地形の形成を論じる変動地形学、現在の変動を測る測地学、数値モデリングの視点から解説し、実際の研究例を紹介する。
*地震物理学	地震は弾性体岩盤中の破壊を伴う摩擦すべりによる、弾性波動伝播プロセスである。地震の発生過程を理解するための基礎として、弾性体力学の枠組みの中で地震の震源をどのように表現するか、また摩擦や破壊の物理の観点で、地震の破壊すべり過程をどのように扱うか、について体系的に解説する。
地震発生物理学	前半では、地震発生過程を破壊力学理論の立場から体系的に解説する。特に基礎的枠組みの理解に重点を置く。後半では、地震発生の物理の理解のために、断層摩擦則や近年発見された多様なプレート境界面でのすべり、地震のトリガーなどについて解説する。
固体地球観測論	地球物理学の進歩は、観測方法の発展、観測による新発見に拠るところが大きい。この講義では地球物理学観測の原理や手法を学ぶ。
固体地球科学特論 I-VI	学内外の研究者を講師として招き、固体地球科学に関連した最新の話題と研究成果を集中講義で紹介する。
地球生命圏科学専門科目	
地圏環境進化学	炭酸塩岩を中心に据え、そこに記録される地球史、気候変動、生命進化を研究するための基本的情報について学ぶ。
生命圏環境形成論	講義前半では生命体と元素の関りについて、後半では先カンブリア時代から第四紀までの環境を講義する。
生命圏物質解析学	電子線を用いた、地球惑星物質の微細構造を観察・解析するため手法について解説する。
生体鉱物学	生物が、その生命活動の中で自ら形成する無機物質（生体鉱物）は、硬組織として化石記録に残るだけでなく、地球表層の物質循環にも重要な役割を演じる。またその構造は、多くの場合生命活動を維持するために最適化されており、無機的に形成された鉱物とは大きく異なる。本講義では、そのような生体鉱物の種類や構造の特徴、その形成に関与すると考えられる有機高分子やその役割、そこに含まれる生物・環境情報等を概説する。
進化古生物学	古生物学と進化生物学の理論や研究法の基礎を学習し、生命進化のパターンとプロセスを理解する。特に化石の形態学的情報を基に、系統関係や進化の解析を行う方法について紹介する。

授業科目	授業内容
生命圏進化学	地球化学，分子生物学などを含む生命地球科学の理論と方法について習得する。また，その応用として，太古代，原生代，pC/Cの現象に関する理解を深める。
*地球生命進化学	古生物学の理論や研究法の基礎を学習し，生命進化のパターンやメカニズムを理解する。特に古生物学の生物学的側面を中心に据えて，様々な階層のテーマについて，最近の成果を交えて解説する。単なる知識の修得ではなく，進化的な概念，理論の修得に力点を置く。
*地球生命科学	地球史を通じて，表層環境の形成・進化および物質循環に影響を与え続ける肉眼で観察できない生命に焦点を当てる。分子系統学，代謝様式，有機地球化学および生息環境の多様性について学び，地球環境および物質循環との係わりについて数値解析を用いた手法も含めて学習する。また後半は，地球を特徴づける生命とはいかなる存在か，DNA，進化，「かたち」をキーワードに考える。古代ゲノム学，進化発生学，そしてそれらの基礎となる分子系統学の方法論と重要な概念・成果について学ぶ。
*地球環境化学	地球表層での（主に水を介した）元素の挙動を支配する物理化学的な要因を理解し，それを基に主に水圏で起きる化学反応を理解する。またこれらにより記述できる天然系でみられる現象を学ぶ。
地球微生物学	地球史を通じて，表層環境の形成・進化および物質循環に影響を与え続ける肉眼で観察できない生命に焦点を当てる。分子系統，代謝様式および棲息環境の多様性について学び，地球環境および物質循環との係わりについて学習する。また，極限環境における微生物の生態や代謝について学び，生命の起源や地球外生命の存在可能性についても考察する。
*資源地質学	鉱物および燃料資源に関係した物理学的，化学的，生物学的，地質学的な元素濃集のプロセスおよびその探査方法について講義する。地球表層の物質循環の中で元素が濃集し，さらに社会的に経済価値のあるものが資源と呼ばれる。これら濃集プロセスの理解を通じて，元素の濃集の仕組み理解すると共に，その探査法に関する知識も深める
地球生命圏科学特論 I-V	学内外の研究者を講師として招き，地球生命圏科学に関連した最新の話題と研究成果を集中講義で紹介する。
共通専門科目 1. 先端科目	
気候変動予測論 I	短期，長期の天気予報や地球温暖化の予測に関わる基礎的な事項を学び，問題点や課題を議論する。
宇宙地球フロンティア特論 I-II	授業の目標，概要宇宙の始まりから生命の起源と進化まで，様々な分野の最先端の研究を解説する。受講者には，学際研究の面白さを味わって欲しい。また，産業界への応用を意識した内容も紹介する。
共通専門科目 2. 実習・演習	
野外調査実習	地球科学における基礎的な野外調査法の実習，岩石の分布，地質構造，地形，岩石と化石の産状の読み方や，地球環境に関する観察・記載・観測・測定・分布方法等の実習を野外にて行う。
地球観測実習	フィールドでの観測の実習を通して固体地球物理学の観測・計測に必要な基礎知識，測定方法，測定原理について学習する。
機器分析実習 I-II	地球惑星科学の研究分野で汎用されている分析手法の基本原理の解説および分析の実際を体験することにより，地球惑星を構成する物質の物理化学的分析法の習得を目指す。
科学英語演習	研究者にとって必要な英語の会話・発表・作文能力の向上を図る。

授業科目	授業内容
地球惑星科学巡検	野外において地質学・堆積学に関する調査方法を学ぶため、2泊3日の日程で国内に露出する地層や岩石を見学する。
*地球惑星環境学国際研修 I	オーストラリア国立大学(ANU)と進めている国際教育・研究の枠組みの中で行う授業。全学の学生に開講する。ANUから学生が来日し合同でフィールドワークや実験、講義などを行うことにより、国際感覚も養いながら、科学についての理解を進める。
*地球惑星環境学国際研修 II	オーストラリア国立大学(ANU)と進めている国際教育・研究の枠組みの中で行う授業。全学の学生に開講する。”共生”をテーマにANUから学生が来日し合同でフィールドワークや実験、講義などを行うことにより、国際感覚も養いながら、科学についての理解を進める
宇宙地球フロンティア特別演習 I-IV	異なる分野について研究している学生数名が1つのチームとなり、共同研究テーマを見つけ出す演習。この演習を通じて、学生が学際融合研究のプロジェクトの立ち上げを体験することを目標とする。
共通専門科目 3. その他	
海洋基礎科学	海洋は地球上の水の97%を保持しているだけでなく、絶えずそれを循環させ、地球の気候や環境を制御している。また、その中では光合成による活発な一次生産が行われ、豊かな生態系を支えると同時に、地球上の元素循環に大きな影響を与えている。海底では、海洋底の拡大や沈み込みといったダイナミックな運動が見られると同時に、地球上の8割の火山・熱水活動が起こっている。それらは互いに関連しあって地球システムを形成しており、海の理解なしに惑星地球を理解することはできない。この講義では、それらの現象を概観し、環境や資源といった社会とのつながりが深い部分についても触れる。当授業の後半では、多様な海洋生物のそれぞれの特性を活かした研究と今後の展望について、海洋の現場で活躍する臨海実験所・大気海洋研究所の教員が基礎生物学の立場から解説する。
必修科目	
地球惑星科学論文講読 I	地球惑星科学の諸問題について、関連する論文の講読と様々な角度からの議論を通じ、その本質的理解を深める。
地球惑星科学論文講読 II	地球惑星科学の諸問題について、関連する論文の講読と様々な角度からの議論を通じ、その本質的理解を深める。
地球惑星科学コロキウム I	地球惑星科学の諸問題について、学生自身による研究成果の発表とそれに対する様々な質問・討論を通じて研究目的を明確化し、課題設定の仕方、研究の進め方、成果のまとめ方、発表の仕方等を修得させる。
地球惑星科学コロキウム II	地球惑星科学の諸問題について、学生自身による研究成果の発表とそれに対する様々な質問・討論を通じて研究目的を明確化し、課題設定の仕方、研究の進め方、成果のまとめ方、発表の仕方等を修得させる。
地球惑星科学特別研究 I	地球惑星科学に関する問題を特定して研究を行い、その成果を修士論文にまとめることで、前期課程修了者として要求される専門的知識体系と研究能力を修得させる。
地球惑星科学特別研究 II	地球惑星科学に関する問題を特定して研究を行い、その成果を博士論文にまとめることで、後期課程修了者として要求される専門的知識体系と研究能力を修得させる。
理学系研究科共通科目	
科学コミュニケーション科目	複数専攻の学生が受講する科目

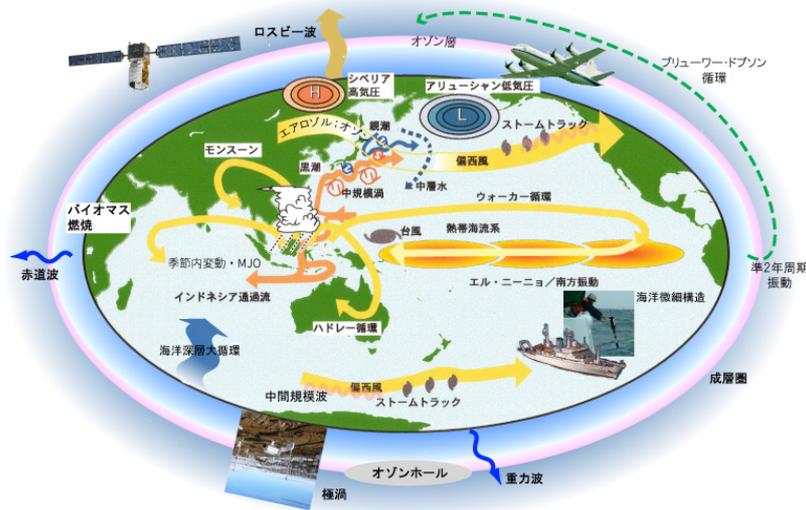
授業科目	授業内容
理学総合科目	
理学フロンティア科目	
海洋学際教育プログラム科目	
海洋問題演習 I	<p>学問分野横断的な思考の獲得および政策立案・問題解決能力を涵養することを目指し、海洋に関わるさまざまな政策課題への総合的なアプローチについて、具体的課題に即して学ぶことを目的とする実践的な科目である。Sセメスターは、海洋に関わる政策的なトピックについて、場の利用、資源の利用、安全な利用といった観点から、沿岸域総合管理、生物多様性、津波・防災、海洋安全保障、海洋ゴミ・プラスチック問題、海洋再生可能エネルギー利用、水産物感染症対策、食料安全保障等各分野の専門家、実務家等を招いて講義を行う。専門分野の違いを超え、問題解決に必要な知見を総合して、政策案を企画する基礎を学ぶことを目指す。Aセメスターは、様々な研究科に所属する大学院生からなるグループを編成し、専門分野の違いを超えて海洋に関わる政策的なトピックについて共同研究を行い、問題解決に必要な知見を総合して政策案の企画に取り組む。</p>

3. 基幹講座

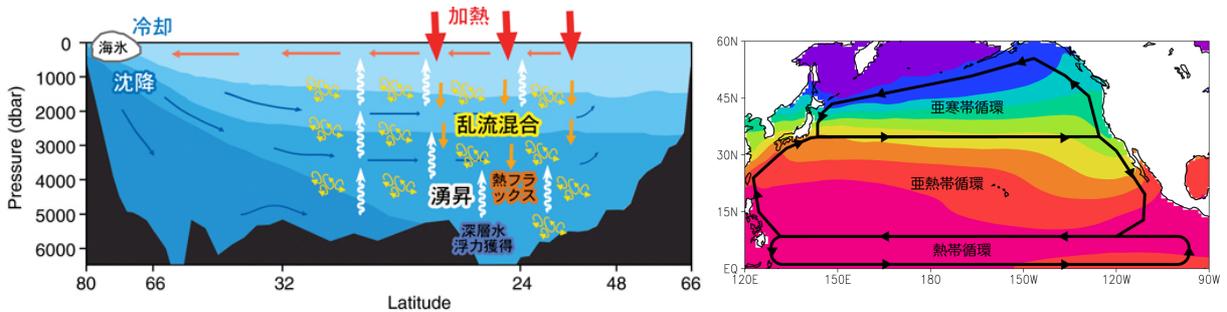
3.1 大気海洋科学講座

地球は水蒸気を含む大気に覆われ、地球表面の7割は海洋が占めています。水が気相、液相、固相のいずれもの状態で存在することは地球の最大の特徴の一つです。気相の水は大気中で太陽放射と地球放射のいずれもよく吸収し、液相の水は大きな比熱を持つとともに流動性を備えたよき溶媒であり、相変化に伴う潜熱は地球のエネルギー収支に大きく寄与しています。水は天気や季節、気候の変化を通して日常を彩る一方で、水のもたらす自然災害と克服の過程は、結果として人類の文明を育んできました。産業革命以降の人間活動による温室効果気体の増加などは、気候などの人間を含む生命の生存環境を変化させつつあります。大気海洋科学講座では、こうした人間社会活動に密接に関連する大気と海洋におけるマイクロなスケールから惑星スケールに至る様々な現象を解明し、その変動予測の基礎を構築することで、社会に貢献することを目指しています。具体的には、データ解析、理論解析、大循環モデルシミュレーション、観測などの手法を総合的に用いて、大気や海洋の流れと乱れの理解の高度化、気候変動を生む大気海洋相互作用のメカニズムの解明、大気海洋物質の組成変動や循環の解明に向けた研究と教育を推進していきます。

上記の目的を達成するため、本講座では以下の、大気物理学、海洋力学、気候力学、大気海洋物質科学の4つのグループを設定して、研究・教育活動を進めています。

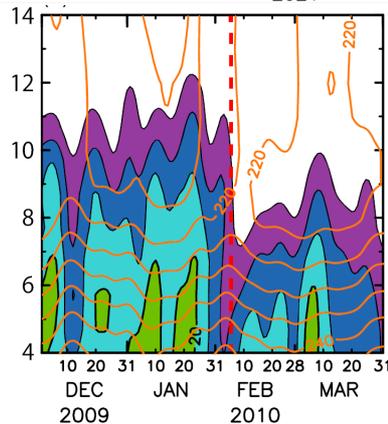
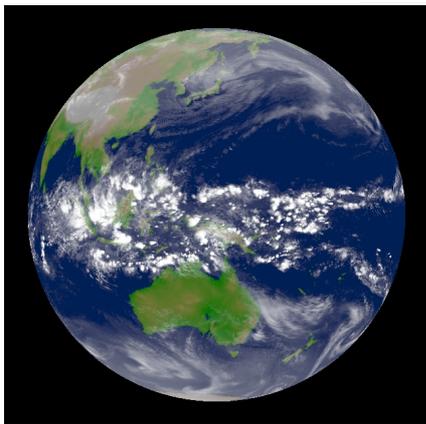
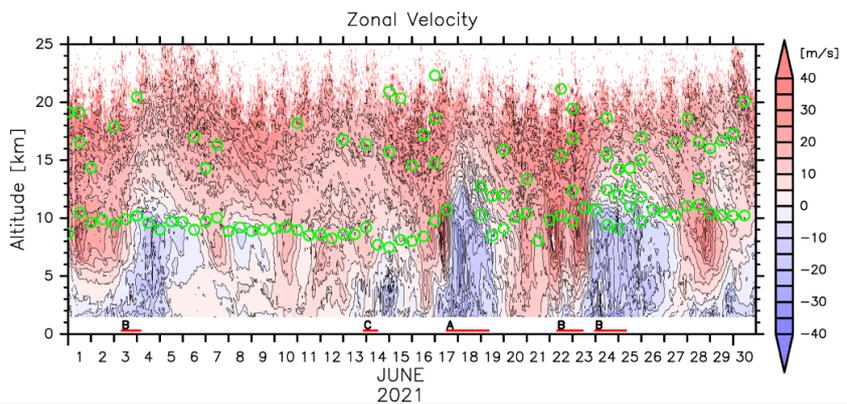


海洋力学 海洋における様々な時空間スケールの物理素過程やその大気海洋相互作用に果たす役割を理論・観測・データ解析・数値実験などの手法を用いて解明することを目指しています。特に、表層風成循環と深層熱塩循環を含む全球規模の海洋循環、大規模な大気海洋相互作用の場となる海洋表層混合層の時空間変動、沿岸海洋や赤道域における湧昇の時空間変動、水温前線域における海洋応答、中規模渦に代表される地衡流乱流から内部重力波の砕波に伴う小規模な乱流まで様々なスケールの乱流拡散過程に関する研究を進めています。



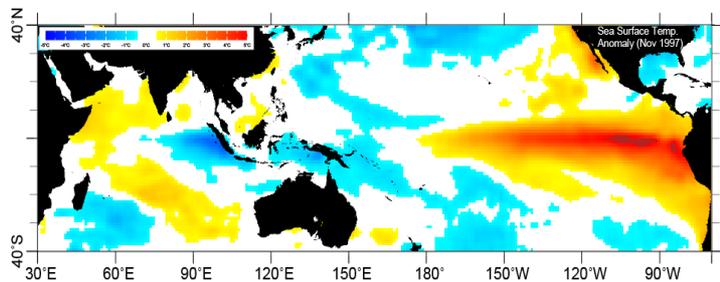
(左) 深層海洋大循環の物理過程と(右) 北太平洋の海洋表層風成循環

大気物理学 地球や惑星の大気現象には、力学、放射、雲物理、乱流などの物理過程が複雑に関係します。その中でも基礎となる大気力学を中心に、理論、観測、データ解析、大規模シミュレーションにより、広範な時空間スケールの現象を研究します。具体的には、大気(対流圏・成層圏・中間圏・下部熱圏)の素過程の力学やその結合過程、エネルギー・運動量収支、グローバルな大気循環と内在する波動や不安定との相互作用、水の相変化が重要な雲の発生とその組織化の物理を解明し、大気現象の予測可能性向上を通じた社会貢献を目指します。



(上)南極昭和基地大型大気レーダーによる対流圏・成層圏観測の例(東西風)。A, B, C はプリザードの等級と期間、○は対流圏界面を示す。
(左下) 全球雲解像モデルにより再現したマッデン・ジュリアン振動の雲群
(右下) 成層圏突然昇温発生時の東西平均雲出現頻度。

気候力学 エルニーニョ現象やインド洋ダイポールモード現象に代表される経年スケールの気候変動、10年から数十年スケールの気候変動、低緯度現象と中・高緯度現象の相互作用のメカニズムなどを対象に、グローバルな視点から理論・データ解析・大循環モデルシミュレーションなどの手法を用いて研究しています。特に、大規模な気候変動現象の予測可能性の研究を高度化することによって、社会への貢献を目指しています。



太平洋のエルニーニョ現象とインド洋のダイポールモード現象

大気海洋物質科学 大気中のエアロゾルや気体成分は、地球の気候、大気質、物質循環に影響を与えています。これらの大気物質の動態を輸送過程や化学反応過程に基づいて理解し、その放射や雲への影響を解明します。大気物質科学と大気物理学を統合させ、その相互作用を体系的に研究する新しい大気科学の構築を目指します。また海洋の中・深層における水塊の性質を決定する淡水や塩類の分布と循環を把握し、その変質・変動プロセスを明らかにします。



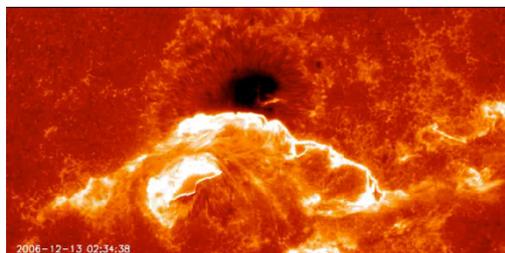
北極域におけるエアロゾルや雲の観測の様子

3.2 宇宙惑星科学講座

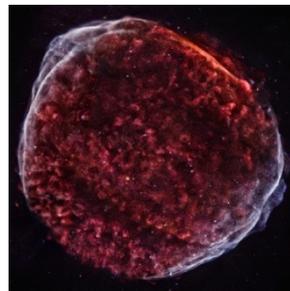
地球をとりまく宇宙空間プラズマ、太陽系内外の惑星などを研究の対象としています。隕石をはじめとする宇宙起源の物質の精密分析、探査機での物理量直接観測、惑星の光学遠隔観測、さらには理論解析・コンピュータシミュレーションや室内物理実験まで、さまざまな角度から研究を行っています。特に、地球磁気圏・惑星探査や太陽大気観測では JAXA と協力しながら観測データ解析や装置開発などの研究・教育を推し進めています。

プラズマ宇宙物理学

宇宙空間を満たしている高温で希薄なガスは、その 99%以上が電離したプラズマ状態にあると言われており、宇宙物理学の様々な局面において、プラズマ物理学の理解が極めて重要になっています。私達は詳細な観測データが得られる太陽系を「宇宙におけるプラズマ実験室」として捉え、高エネルギー粒子加速に重要な衝撃波や、太陽フレア・地球磁気圏のオーロラ爆発を引き起こす磁気リコネクションなどの理解を目指した研究を行い、より一般的な天体現象へも積極的に応用しています。また、これらの宇宙プラズマ現象に内在する非線形性や非平衡状態に着目したプラズマ素過程の基礎研究も行っています。



太陽フレア (JAXA ひので衛星)

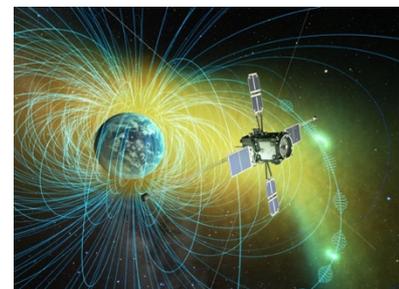


超新星残骸 SN1006
(NASA Chandra 衛星)

太陽惑星系科学

私たちの住む地球も含め、太陽系内の惑星は、太陽や惑星を取り巻く宇宙空間の影響を常に受けています。太陽からは、太陽放射と太陽風と呼ばれる物質流が放出されていますが、その変動は太陽活動に起因しています。本講座では、太陽惑星系のエネルギー源となる、太陽黒点の変動、太陽フレアの発生、コロナの加熱問題に、スーパーコンピュータを使った大規模シミュレーションなどを駆使して挑むとともに、オーロラや放射線帯変動、ジオスペースストームといった宇宙天気現象を引き起こすメカニズムの解明に、あらせ(ERG)等の国内外の科学衛星観測、レーダーなどの地上観測、および数値実験を組み合わせ、取り組んでいます。

惑星は、太陽からの距離、大きさ、固有磁場、大気など、様々な点で異なった特徴を持っています。太陽惑星系はこれらが複雑に相互作用する複合システムですが、異なる条件をもった他惑星の研究を行うことで、特定の要素の影響を切り出すことが可能となります。例えば、地球のように強い固有磁場を持たない火星や金星の研究をすることで、惑星の固有磁場が惑星表層環境の変動に与える影響を明らかにできると考えています。本講座では、ひさき(惑星望遠鏡)、MAVEN、MMX(火星)、あかつき(金星)、BepiColombo(水星)など、国内外で進行・計画中の惑星探査計画との連携を重視して比較惑星研究を推進しています。



あらせ衛星による地球磁気圏観測



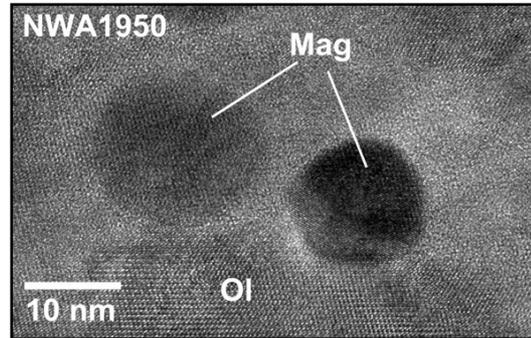
火星の気候変動と火星探査機 MAVEN

惑星物質科学

これまでに人類は地球外物質として様々な固体試料を入手しています。隕石や月の試料、宇宙塵、JAXA「はやぶさ」「はやぶさ2」探査機やNASA「スターダスト」探査機によるサンプルリターンによって得られた小惑星や彗星の試料も含まれます。これらの物質の岩石学、鉱物学、地球化学分析を行うこと、また太陽系を模擬した環境を実験室につくり、地球外物質を再現することで、太陽系がいつどのように誕生して、その後どのような過程を経て現在の姿に至ったかを明らかにしようとしています。



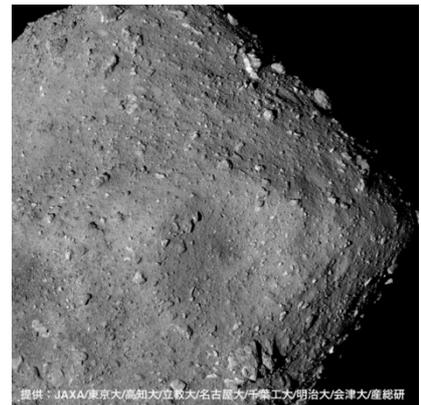
「はやぶさ2」が小惑星リュウグウから持ち帰った粒子 (c) JAXA.



火星隕石中カンラン石の高分解能電子顕微鏡写真

比較惑星学

比較惑星学とは、なぜ地球が水や生命に満ちあふれた現在の姿になり、なぜ我々自身がそこに存在しているのか、という問いに答えることを究極の目的とする学問です。地球の生い立ちや歴史を知ることが我々にとって非常に大きな関心事であることは言うまでもありませんが、地球のみを見ていても、地球の深い理解には至りません。例えば、日本という国を知るためには、外国を研究することが非常に有効であるのと同じことです。近くの惑星、もしくは太陽系外の惑星が、どのような理由でどのように地球と異なっているかを知ることが、地球の本質を理解することに繋がります。このような目的に向かって、当講座では“銀河、分子雲、原始惑星系円盤、惑星、衛星、彗星、小惑星、天体衝突”などをテーマとし、探査、観測、室内実験など様々なアプローチで研究を行っています。



提供：JAXA/東京大/高知大/立教大/名古屋大/千葉工大/明治大/会津大/産総研

「はやぶさ2」が捉えた小惑星リュウグウの姿

宇宙惑星探査

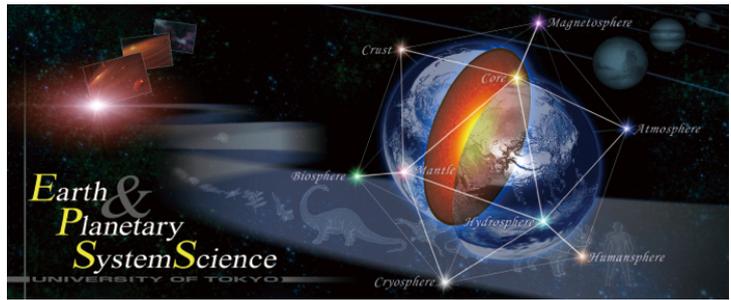
宇宙惑星科学の探査ミッションは、研究者の創案・計画に基づいて作り上げていくものです。そのなかでは、世界に一つの自分だけの観測装置を考案・設計し、組み立て、試験して宇宙に送り出すという作業も含まれます。太陽系・惑星の形成・進化から高エネルギー天体のプラズマ素過程まで、幅広いテーマについて自らの手で立案からデータ取得まで関わられるのが醍醐味です。本講座では、JAXA や工学系研究科、新領域創成科学研究科などと協力しながら、国内外の多様な宇宙惑星探査ミッションに参画しています。



あらせ衛星に搭載した中間エネルギー電子分析器

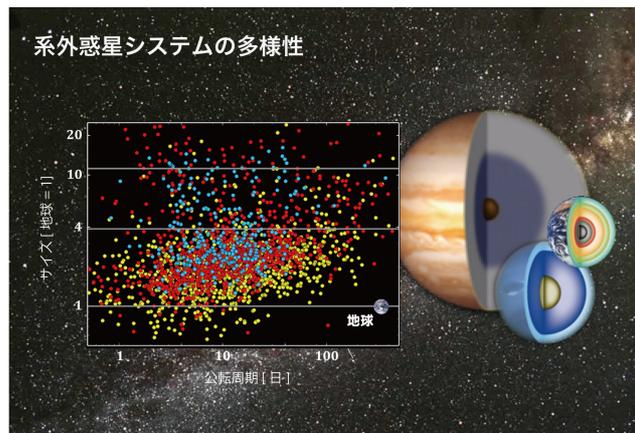
3.3 地球惑星システム科学講座

地球惑星科学が対象とする太陽系空間、地球や惑星の電磁気圏、大気圏、水圏、生物圏、固体圏などの領域は、様々なフィードバックを通じた多圏間相互作用により、互いに影響を及ぼし合っていることが明らかになってきました。私たちは地球や惑星をひとつの巨大システムとして捉え、その構造や挙動、時間発展をシステム科学的立場から理解する新しい研究体系“地球惑星システム科学”の構築を目指しています。



系外惑星システムの多様性

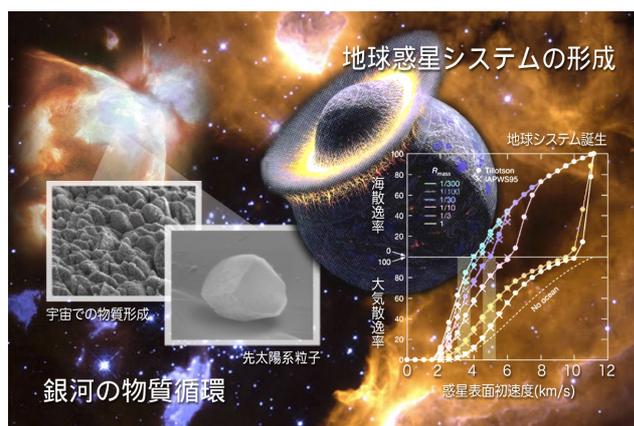
惑星は、太陽系に固有のものではありません。太陽以外の恒星の周りにも惑星の存在が確認されており、その数はすでに4000に届こうとしています。しかも、発見された惑星系の形態は実に多様であることが知られています。私達は、惑星形成過程の理論や観測データ解析に基づいた内部構造推定等を通じて惑星系というシステムの多様性の起源を探る、必要な情報を系外惑星から得るための観測的方法論や開発などを行うことで、太陽系の普遍性・特殊性を理解することに取り組んでいます。



(左図)宇宙望遠鏡 Kepler が検出した惑星候補天体。公転周期を横軸に、サイズを縦軸にプロットした。(右図)太陽系に存在する3タイプの惑星(ガス惑星、氷惑星、岩石惑星)の内部構造の推定図。

銀河の物質循環システム

太陽系は銀河系におけるサブシステムの一つです。太陽系の原材料は、初期太陽系で作られた塵だけではありません。太陽が誕生するより前に、進化末期の星から放出されたガスや宇宙塵、分子雲で作られた物質も含まれます。先太陽系と太陽系システムはどのように繋がり、また次世代の恒星系へと繋がっていくのでしょうか。私達は、実験や分析、理論を組み合わせることで、物質が形成し、星から星へと変質しながら銀河系の中を循環していく過程を理解し、太陽系の起源に迫ろうとしています。



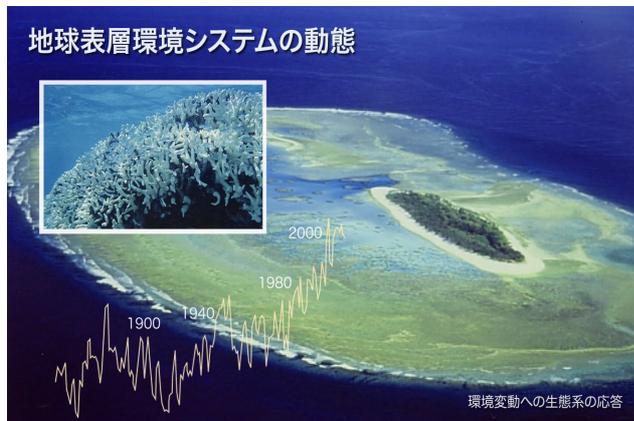
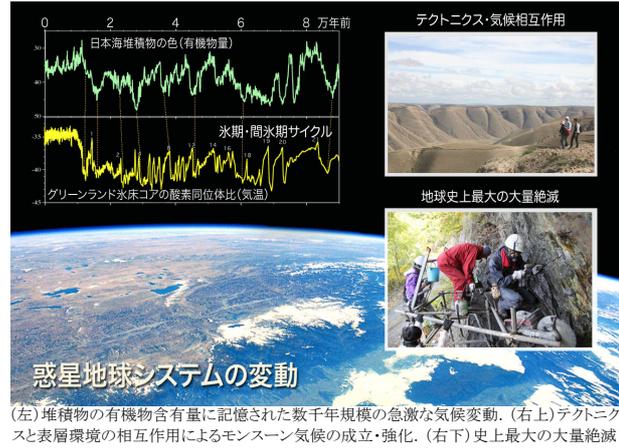
(左写真)進化末期の星の周りでの物質形成を真空実験装置で再現。(右グラフ)惑星システム形成時の巨大衝突時の大気の挙動。海洋の存在が大気の散逸率を大きく変える。

地球惑星システムの形成

地球惑星システムを構成する諸要素やサブシステムはあらかじめ決まったものではなく、新しく形成され、変化していきます。このような地球惑星システムのふるまいは通常システム科学にはない特徴です。私達は原始惑星系円盤での惑星形成、惑星表層での海・大気の形成、惑星内部でのコア・マントル形成といったシステムの中に新たなサブシステムが誕生(分化)することでつくられる地球惑星システムの時間発展や普遍性・特殊性を実験、分析、理論、モデリングの手法を用いて理解することに取り組んでいます。

惑星地球システムの変動

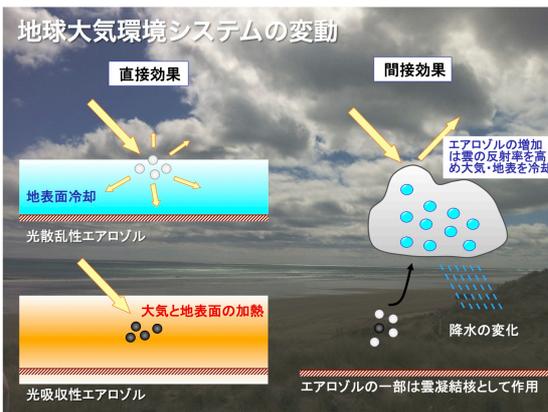
地球システムは、全球凍結するほどの寒冷期から全く氷床のない温暖期まで、内的・外的な作用により、複数の安定状態(モード)を経験してきました。なかには現在の地球温暖化よりも急激な気候ジャンプもあり、地球史上何度も繰り返された大量絶滅を引き起こした環境変動も、地球システムのモードジャンプという視点で捉えることができるかもしれません。地球システムが地球史を通じて経験した変動の規模や様式、時間スケールを、地質調査や試料分析、物質循環モデリングによって明らかにし、地球システムの変動メカニズムを理解することを目指しています。



(上) 地球表層環境システムの急激な変化である地球温暖化がもたらしたサンゴの白化。
(下) 20世紀後半に増大した大気中二酸化炭素濃度

地球表層環境システムの動態

地球表層環境システムの重要な構成要素の1つは、生物圏です。その一部だった人間によって、地球環境は変化しつつあり、生物圏は変化の影響を受けるとともに、フィードバックしています。地球表層環境システム変動に対する生物圏の応答を、野外調査・観測や試料の分析、モデルを通じて解明し、私たち自身の未来を考える上で重要な地球規模変動の正確な予測と対応、さらに将来避けられない地球温暖化の適応・緩和策の提案・試験に取り組んでいます。



(左) エアロゾルの光散乱・吸収による放射効果(直接効果)
(右) エアロゾル上への水蒸気の凝縮(雲粒子生成)による放射効果(間接効果)

地球大気環境システムの変動

太陽から地球に入射する可視光と地球から宇宙に放出される赤外光のエネルギーのバランスにより地球の平均気温が決定されるため、放射収支は気候変動の重要な因子です。太陽・地球放射を散乱・吸収するエアロゾル・雲・温室効果気体の物理的・化学的特性やその挙動に関する知見は気候(気温、降水)や表層システム(大気・海洋、雪氷圏、生命圏など)の変動の理解に不可欠です。最先端の技術によるエアロゾル雲の測定(室内実験・野外観測)と、数値モデルと組み合わせ、地球表層環境の変動の要因、特に人間活動の影響を解明し、その変動の正確な予測につなげます。

どのような人を求めているのか

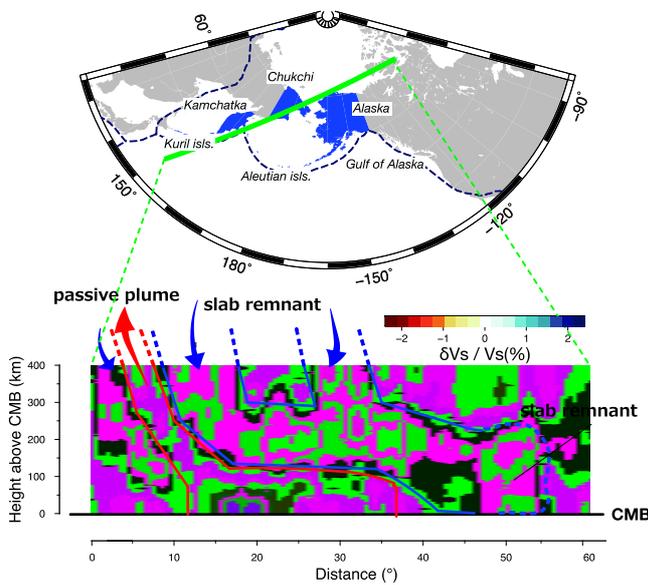
様々なバックグラウンドや特技・興味を持った人の参入を望んでいます。野外調査や実験、分析、計算機シミュレーションなど多様な研究手法の中から自分を活かせる手法を選択し、システムとしての地球や惑星の形成・進化・安定性・変動・動態などについて研究を行いたいと考えている学生を大いに歓迎します。

自分の研究テーマ以外のことも興味を持って積極的に吸収するような能動的な人を求めます。修士課程では一つのテーマに集中し、自分の得意分野や研究手法を確立することができるでしょう。しかし、地球や惑星をシステムとして捉えるためには、自分の研究対象の範囲だけではなく、様々な研究分野と交流し多角的視点を持つことがとても重要です。私達スタッフは研究と教育に情熱をもち、新しい研究分野の開拓や大学院生との共同研究による学問の発展を楽しみにしています。

3.4 固体地球科学講座

私たちの研究グループでは、地殻、マントル、コアからなる固体地球の状態、組成および構造と、様々な時間・空間スケールでの構造形成とその発展の過程を総合的に理解することを目指しています。研究の対象は、地球表層での地震・火山・地殻変動現象と地形形成進化過程、マントルの熱・物質循環と海洋地殻の形成・消滅および大陸地殻の形成・合体・分裂・消滅過程、コアのダイナミクスと地球磁場の成因・変動メカニズム、さらには地球そのものの形成過程などです。

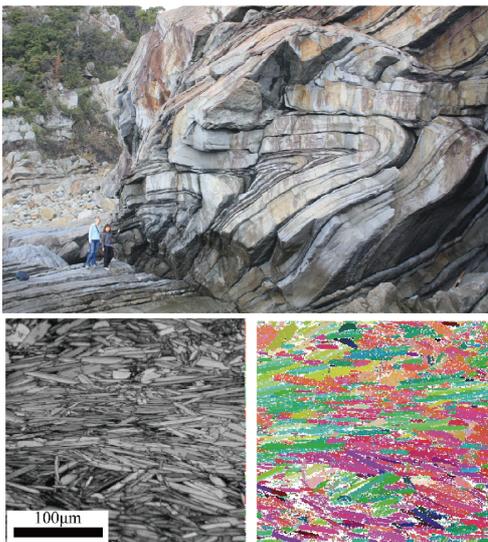
このように多様かつ複雑な固体地球を理解するためには、幅広い視野と様々な研究手法が必要です。それは、地震波トモグラフィ、地震発生物理学、数値シミュレーション、高圧・高温実験、アナログ実験、地質構造解析、グローバル観測データ解析、岩石物理・化学、地形学などにおよんでいます。これらのアプローチの緊密な連携により、地球表層、地殻、マントル、コア間での物理化学的相互作用を明らかにし、地球内部の諸現象・諸過程を定量的に、また包括的に理解することを目指しています。



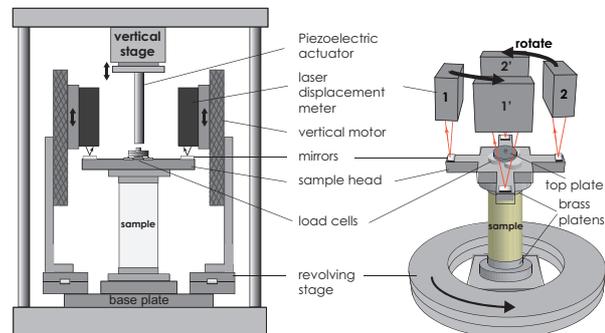
地震波波形インバージョンで見える最下部マントルの構造。



超高压発生用ダイヤモンドアンビル装置。



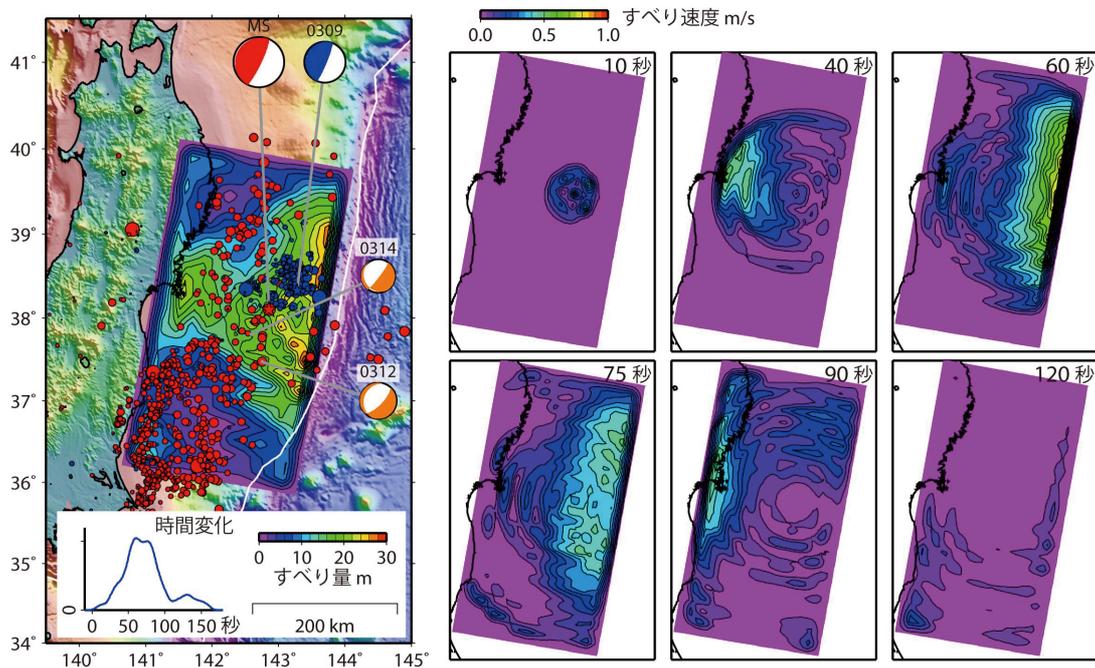
地層、岩石、結晶方位に記録された地殻変動。



岩石粘弾性のアナログ実験。上部マントルにおける地震波速度の低下と減衰のメカニズムを解明。

固体地球科学グループでは、広範な対象に対して、多様な視点と、様々な手法を用いて固体地球の総合的な理解をめざしています。従って、地震、火山、地形、地球内部のダイナミクス、構造形成など特別な対象や現象に強い興味を覚える人や、理論、計算機シミュレーション、実験、フィールドワークなど特別なアプローチに自信のある人など多様な人材を待っています。全固体地球を包括的に理解するという大きな目標に直接アタックしたいという意欲的な学生も大歓迎です。スーパーコンピュータ「富岳」や SPring-8 など大規模実験施設を使った研究、異分野と連携し大規模な共同研究を行う「Slow-to-Fast 地震学」に参加することも可能です。また、研究を通して培われる考え方・知識・技術あるいは問題解決に向けての取り組み方そのものを生かして、社会に貢献する意欲のある方も広く募ります。

あなたの中に秘められた能力を、地球の成り立ちや地球の内部で起きている自然現象のからくりを明らかにすることで、大きく開花させてみませんか。



2011年東北沖地震の断層すべり分布(左)といくつかの時刻におけるすべり速度のスナップショット(右)。



地殻の形成・進化を記録する鉱物の化学分析作業の様子。

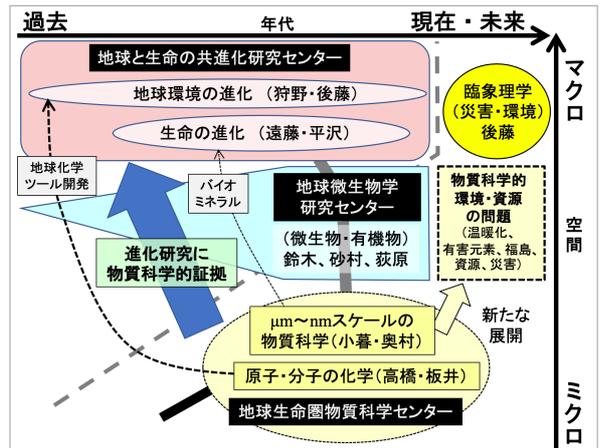


2016年M7.3熊本地震で現れた地表断層。断層に直交する畑の境界で2m以上の右横ずれが生じたことが分かる。右手の穴は地層調査トレンチ。

3.5 地球生命圏科学講座

太陽系において生命を生み育ててきたユニークな惑星地球では、その表層や地下に広がる岩石圏・水圏・気圏の間での様々な相互作用によって、生命活動が営まれる“地球生命圏”と呼ぶべき環境が形成され、生命の誕生・進化と多様性が獲得されてきました。地球生命圏科学講座ではこの地球生命圏を研究フィールドとし、野外における観察、採取試料の分析、室内実験などの一次データを基礎として、長い時間軸を通じて地球生命圏に記録された情報を解読し、そこに特徴的な物質の形成条件、環境の変動メカニズム、生命の誕生と進化の要因に関する科学と教育を推進することを目的としています。さらに、これらの研究を通して地球環境と生命の共進化メカニズムを解明するとともに、21世紀における人類社会と地球環境のあるべき関わり方についてメッセージを提示することを目指しています。

このようなコンセプトのもと、当講座に所属する教員によって、現在は以下の5つの研究グループが教育ユニットとして開かれています。



地球環境進化学セミナー(地球と生命の共進化研究センター、臨象理学)

地球史の描像は次第に明瞭になりつつあります。その背景には、地質学・地球化学・生命科学などの異分野からの知識とデータの統合があり、遺伝子や同位体などの分析技術の飛躍的進歩が大きな役割を果たしてきました。また、深海熱水鉱床、堆積物深部、極限環境では生命の起源につながる微生物群集や新たな代謝様式が発見されており、太古の海洋を模したモダンアナログの研究も盛んに行われています。本セミナーでは、学生の研究テーマに関連した、先カンブリア時代の堆積物中の化石や化学成分、鍾乳石に記録された気候変動情報、温泉環境での生命活動などに焦点を絞り、それらの地球史研究での位置付けについて考え、凝集炭酸同位体温度計という新たな分析方法と応用方法についても扱います。また、災害や環境問題など、人類が直面する諸課題について理学的視点から研究する“臨象理学”という新しい分野を創設しました。主に巨大津波や台風の地質学的痕跡をフィールドワークにより収集し、高度な分析と数値計算技術により実態解明を行います。



進化古生物学セミナー(地球と生命の共進化研究センター)

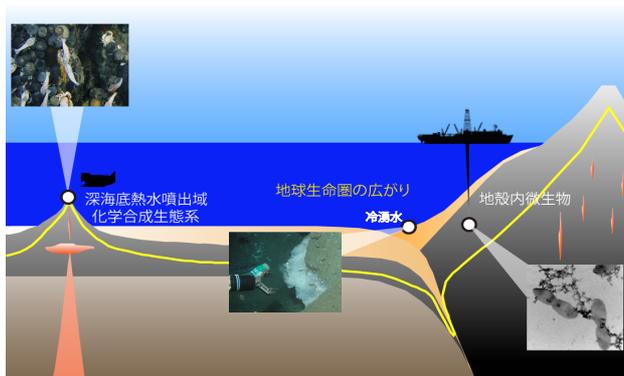
化石と現生生物の比較研究に基づき、古生物のあらゆる生命現象を解析して、40億年におよぶ長い時間軸での生物の進化を明らかにすることを目的としています。現在特に推進している研究分野は(1)分子古生物学、(2)古脊椎動物学および進化発生学、(3)比較形態学および系統分類学です。具体的に(1)では、貝殻基質タンパク質の構造と機能、貝殻の発生とらせん成長の分子機構、化石タンパク質の一次構造解析、現生種のゲノム情報をもとにした冠輪動物等の系統推定や古代ゲノムの復元など、分子生物学的手法を使って生物のさまざまな進化現象にアプローチしています。(2)では、化石標本の精密解析と遺伝子～細胞レベルの発生学実験を駆使して、脊椎動物の形態進化過程およびその背景にあった発生遺伝学的基盤を解明する研究を展開しています。(3)では、古生物と現生生物の比較解剖学的研究、貝殻の微細構造の比較形態学、軟体動物の系統学的・分類学的研究を行っています。



(左)アコヤガイ *Pinctada fucata* の貝殻内表面 (中)ニワトリ胚における腱前駆細胞関連遺伝子 *scleraxis* の発現パターン (右)ミドリシャミセンガイの実験室内での放卵

微生物地球科学セミナー(地球微生物学研究センター)

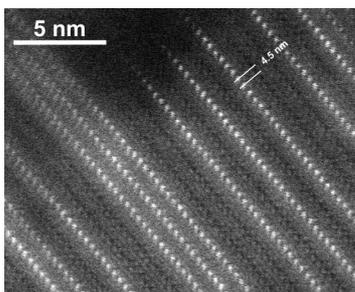
地質時代を通じて地圏は様々な環境を提供し、生命の誕生・進化・多様化・絶滅を駆動してきました。地圏—生命相互作用の理解を深めることは、生態系の成立ちを地球初期まで遡る上で重要です。物質循環と生命現象のフロンティアである深海と地底の「今」を知り、過去の地圏—生命相互作用を復元することを目指しています。本セミナーでは、地質学、鉱物学、地球化学、微生物学を横断して、地圏—生命相互作用を学際的な視点で研究しています。具体的には、陸上温泉や地下施設での調査や海底掘削・深海潜水調査等により採取した試料を研究しています。また、地圏—生命相互作用を模擬した実験により、地球史において重要な物質循環の素過程や反応機構の解明も行っています。



地球上の多様な生命環境

生命圏物質科学セミナー(地球生命圏物質科学センター)

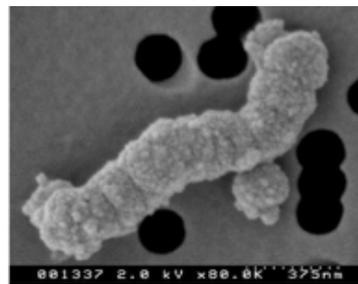
地球の表層環境には大量の水が存在し、また現在では酸化的大気に覆われています。そして地下から地表に露出した岩石・鉱物は、この水や大気との長い時間での反応や相互作用によって、地球表層にしか見られない独特な物質へと変化し、生命を営む環境を形成しています。そして生命圏とも言えるこの環境では微生物から高等生物、さらに人間社会を含めた盛んな生命活動が営まれ、これによっても新規な物質が日々形成されています。本セミナーでは、このような地球表層特有な物質の形成・進化を物質科学的に研究し、特にその反応素過程を様々なナノスケールレベルの解析手法を用いて明らかにしていくことを目指します。具体的には、粘土鉱物や微粒子など非常に微細な地球表層物質の構造と表層環境における役割、生物が形成する無機物質(生体鉱物)の形成機構、微生物の関与した物質形成プロセスなどを扱います。



溶液より雲母の層間に固定されたセシウムイオンを捉えた HAADF-STEM 像



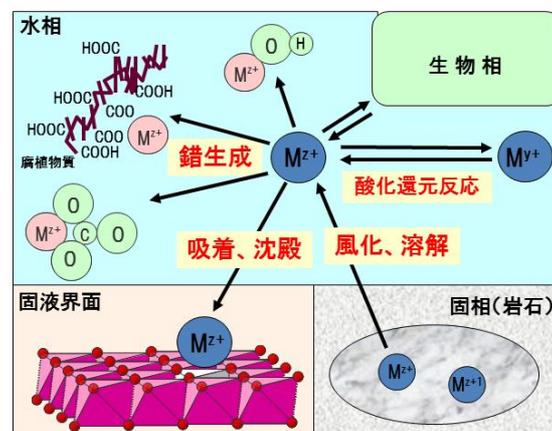
任意の箇所から薄膜 TEM 試料を製作する集束イオンビーム加工装置



微生物が形成する硫化亜鉛鉱物の電子顕微鏡写真

環境地球化学セミナー(地球生命圏物質科学センター)

本セミナーでは、地球表層の大気圏・水圏・土壌圏・岩石圏に存在する様々な元素が受ける化学的な素過程の解明に基づき、物質循環、環境問題、資源問題、地球史などの問題に取り組んでいます。そのために、原子・分子レベルの相互作用を明らかにする手法(X線分光法、X線顕微鏡、熱力学的定数の測定、量子化学計算など)や同位体分析を地球環境化学へ応用し、様々な試料に含まれる元素の濃度や同位体比の測定や解析から、これまで得られなかった試料の起源や挙動に関する新しい地球化学的・環境化学的知見を得ることを目指しています。扱っている問題として、「化学素過程解明に基づく有用元素濃集機構の解明(資源化学)」、「水銀や鉄などの環境化学的に重要な元素の挙動解明」、「海洋中での元素の挙動に基づく古環境解明」、「黄砂やPM2.5などのエアロゾルの化学特性の解明と気候変動への影響の関係」などがあります。



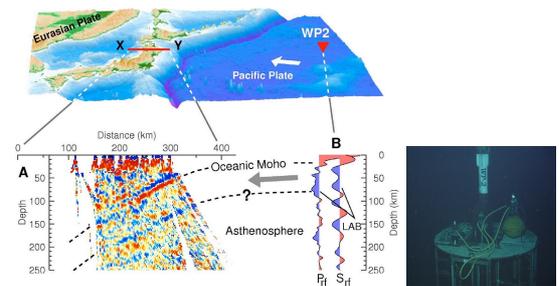
元素Mが表層環境で受ける様々な化学素過程。

4 協力講座・連携講座

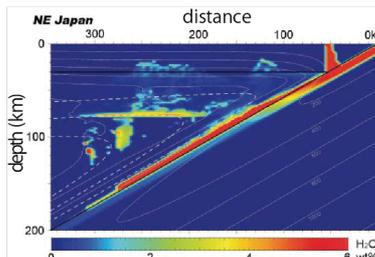
4.1 観測固体地球科学講座（地震研究所）

「地震研究所」では、地震の発生や火山の噴火など、地球で起こる様々な現象を理解するための最先端の研究を行っています。地球の中を良く知るために、地震波・電磁波・素粒子などを用いた地球内部の探査や、計算機シミュレーションによる地球内部の状態の再現と予測、岩石の高温高压物性を調べるための室内実験などが精力的に行われています。地球内部についてはまだ良く分かっていないことが多いため、新しい観測データや実験データが大きなブレークスルーをもたらします。地震研究所では、新しい観測機器や実験装置開発に力を入れ、自分たちのデータから新しい地球観を生み出すことを目指しています。

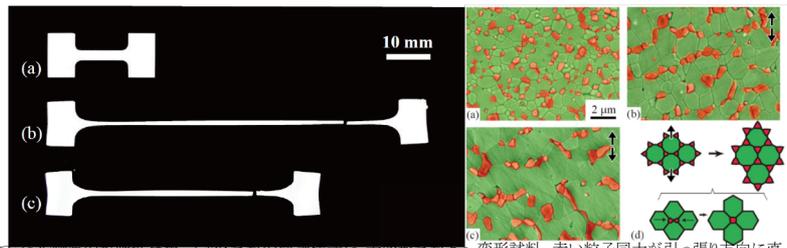
地球の中を診る、調べる 地球内部を「診る」ことは、地震・火山活動やより深部での活動を研究する上での基礎となります。地球の中を直接覗くことはできないため、地震波や電磁波などを用いて調べます。近年、地震や電磁気の観測網が高密度に整備され、地球の内部をこれまでにない高解像度で診ることができるようになり、地球内部への理解が急速に進んでいます。観測点のない海域へ設置する海底地震計の開発や、地震・電磁気観測データから地球内部構造を知るための逆問題解析手法の研究、それによって求められた地球内部の不均質構造から有用な情報を引き出すための岩石物性の研究などが行われています。



左図：東北日本下および北西太平洋下における海洋プレートのイメージング。プレートの底に当たると解釈できる構造がみとめられる。右下写真：北西太平洋深海底に設置された孔内観測点。



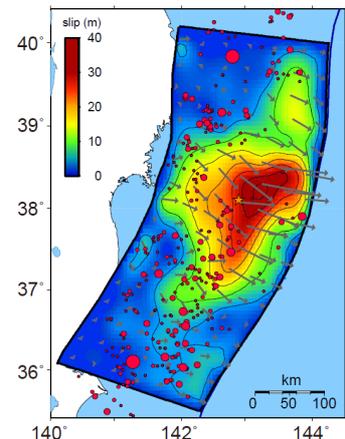
沈み込み帯にける水輸送のシミュレーション。太い斜めの実線が沈み込む海洋プレートの上面で、右上の地震学的イメージングと良い対応が見られる。



左図：マントル物質の超塑性発現。右図：試料の微細構造 (a) 未変形試料 (b) 変形試料。赤い粒子同士が引っ張り方向に直交する方向に衝突合体する。d 粒子レベルでの変形モデル

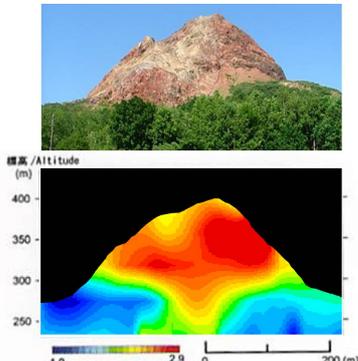
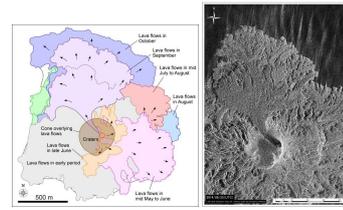
地球内部ダイナミクス 地震発生や火山噴火などの個々の現象は、もっと大きな地球のダイナミクスの一部として捉えることができます。沈み込み帯、さらには地球全体の活動の解明を目指して、マントル対流のシミュレーションや、高温高压実験、放射性元素や微量元素を用いた地球内部の物質循環の研究などが行われています。岩石の物性には未知の部分が多く、鉱物粒界のようなナノスケールの物理化学特性の解明が、マクロスケールの現象の理解を大きく変えてしまう可能性があります。

地震発生のメカニズム GPS や海底圧力計などを用いた地殻変動観測によりひずみの蓄積過程を調べ、地震発生予測につなげることを目指しています。また、発生した地震の震源過程は、地震波、津波、地殻変動、余震分布、重力変動など、地震に伴う様々な現象を観測して多面的に解析されます。そして、断層破壊の室内実験・理論的シミュレーションの結果や地震波の発生と伝播のシミュレーションなどと合わせて、地震発生のメカニズムを明らかにすることを目指しています。地震波を励起しない「ゆっくり地震」など未知の地震現象の発見やそのしくみについての研究や、強震動予測や地震工学など、災害軽減を目指した研究も行なわれています。



東北地方太平洋沖地震の強震動・測地・津波の各観測に基づいた統合震源モデル。矢印は断層の各部分のすべりのベクトルをあらわす。

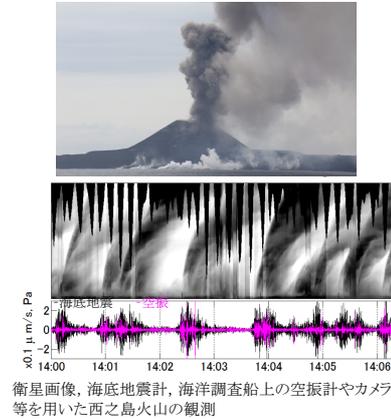
火山噴火のメカニズム 地球内部におけるマグマの発生と上昇は、地球の進化をもたらす重要なプロセスです。また火山噴火は、マグマの発泡や破碎などを伴い、固体、液体、気体がすべて関与するダイナミックな現象です。火山学は、地球物理学と岩石・地質学の両方の側面を持った複合的分野で、地震研究所では、噴火現象の観測やモデリング、マグマの移動や火山性地震の観測、噴出物の分析など、様々な側面から火山現象の解明を進めています。



宇宙線ミュオンラジオグラフィにより得られた昭和
新山内部の密度断面図。



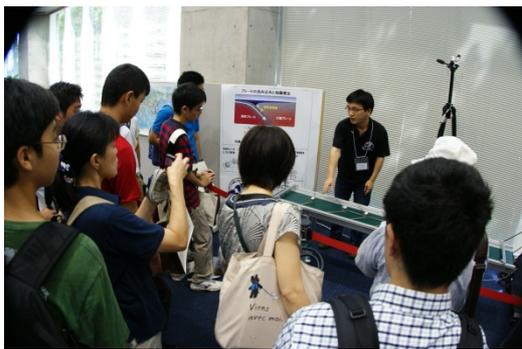
マグマなど地下流体の動きによる重力変化を精密計測するために開発中の小型絶対重力計。



衛星画像、海底地震計、海洋調査船上の空振計やカメラ等を用いた西之島火山の観測

新しい観測のための機器開発 地球科学では、新しい観測が様々なブレイクスルーをもたらしてきました。地震研究所では、海底地震計、レーザー干渉ひずみ計、宇宙線ミュオンを用いた火山体内部のイメージング、低周波微小振幅変形実験装置など、独自の技術を開発して新しい観測を行なっています。

地震研究所への進学 地震研究所の特徴は、地球物理学、岩石学、地質学、物理学、工学など、様々なバックグラウンドを持った研究者が共同して地球の解明を目指している点にあります。また、観測、実験、理論モデリングなど、様々な手法の研究が行われています。異なる視点に立った多様なアプローチに日常的に触れることは、境界領域にある研究課題の開拓や、学問的視野を広げることにつながります。また、観測や実験から得られる1次データに触れ、地球や物質を実感として理解することは、地球科学の研究を行う上で貴重な経験になります。毎年開催される一般公開などを通じて、多くの研究仲間ができると思います。地震研究所は、本郷キャンパスの北端にあります。是非一度来てみてください。



地震研究所の一般公開で実験の説明をする大学院生。



〒 113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1 <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/>
地下鉄南北線「東大前」下車徒歩 5 分、または千代田線「根津」下車徒歩 10 分。

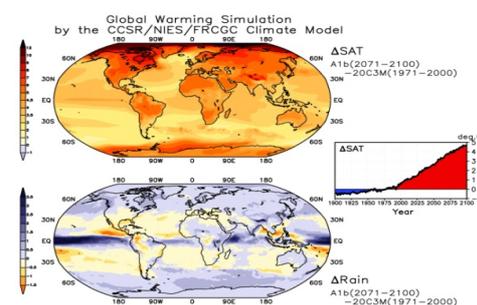
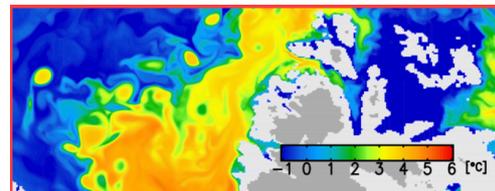
4.2 気候システム科学／先端海洋科学講座（大気海洋研究所）

大気海洋研究所は、海洋研究所と気候システム研究センターが学内統合して、2010年4月に発足しました。その主旨は、地球表層環境、気候変動、生命の進化に重要な役割を果たしてきた海洋と大気の基礎的研究を発展させることにあります。先端的なフィールド観測、精密実験による検証、生命圏変動解析、数値モデリングなどの研究を展開することを通じて、最終的に人類と生命圏の存続にとって重要な課題の解決につながることを目標としています。具体的な研究内容は、以下をご覧ください。

気候システム研究系

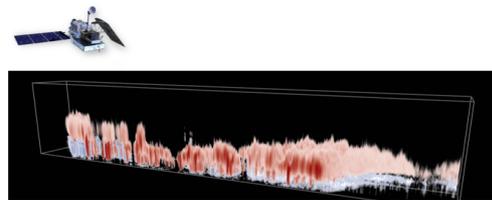
気候モデリング研究部門

大気・海洋・陸面・雪氷圏を総合的に扱う気候システムモデルの開発とその構成要素である物理素過程の改良を推進します。雲の微物理や積雲対流など重要な大気物理過程と大規模な気候変動の相互作用を衛星観測データや全球雲解像モデリングとも組み合わせて理解し、それらのパラメタリゼーションを高度化するとともに、大気化学過程のモデリング、地球温暖化物質の観測・モデリングによって環境問題の研究を行います。また、海洋大循環や海洋物質循環の成因、およびそれらと気候の関わりについて、様々なスケールの海洋現象に関する物理・化学・生物過程の数値モデリングを通して研究します。さらに、過去の気候変動と海洋との関わりを調べるための古海洋モデリングを行います。



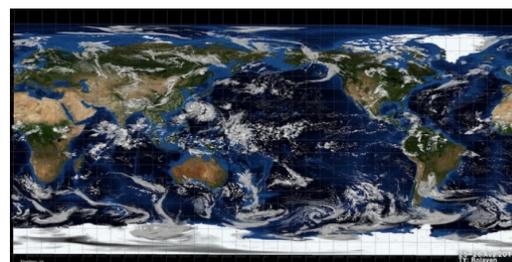
気候変動現象研究部門

気候システムモデルによる長期シミュレーションのデータ及び観測された気候データを用いて、異常天候やエルニーニョ、十年規模変動、地球温暖化現象などの気候変動の仕組みや予測可能性について研究します。また、気候システムと雪氷圏や植生との相互作用を考慮することによって、地球史の時間スケールを含む過去・現在・未来の気候ダイナミクスや気候システムを特徴づけるフィードバックのメカニズムを研究します。さらに、人工衛星によるリモートセンシングデータ、全球気象データ等の観測データと大循環気候モデル、全球雲解像モデル等のモデルデータを総合的に解析して、雲や降水の物理から、エルニーニョ、地球温暖化に伴う気候変動まで、マルチスケールで相互作用する気候の仕組みを研究します。



海洋地球システム研究系

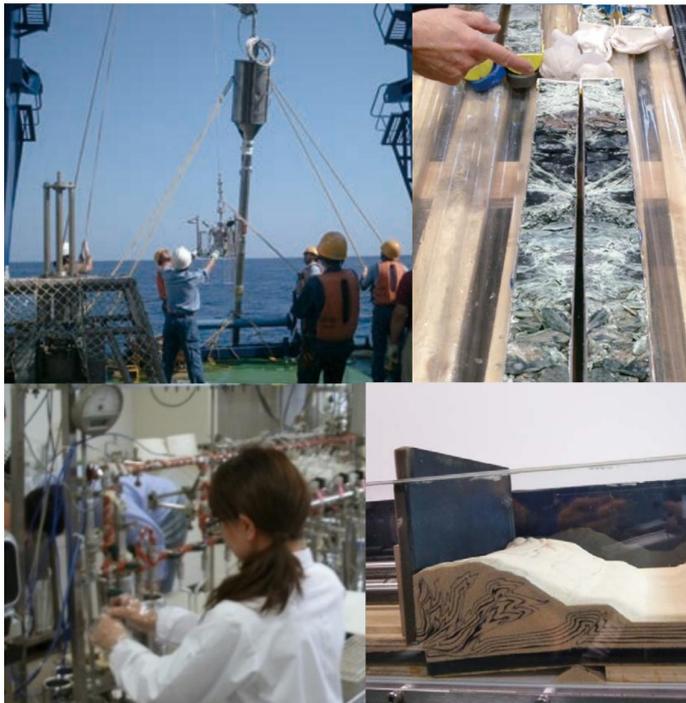
海洋物理学部門 海洋大循環や水塊の形成・維持、海洋・気候の長期変動機構と海洋物質循環・生態系への影響、大気及び海洋の擾乱の構造とメカニズムについて、係留系やCTDによる観測及びデータ解析、理論や様々なスケールの高分解能モデルによる数値実験・室内実験による研究を行っています。黒潮、親潮、中・深層循環、渦、潮汐、乱流、メソスケール大気擾乱、集中豪雨などを研究対象としています。



海洋化学部門

地球環境における陸圏・大気圏・海洋圏をめぐる物質循環の機構とその変化要因を解明するための研究を行っています。化学成分、放射性核種・安定同位体などの分析をもとに、現在の変化しつつある地球環境や気候と海洋の相互関係を究明しています。過去・現在・未来、固体地球・生命人間圏・宇宙惑星、微生物から大型動物まで、様々な試料を対象に地球化学的分析を駆使することで地球科学の多様な謎に迫ります。

海洋底科学部門 ダイナミックに変動する海洋底を対象に、さまざまな角度から地球の構造と運動、物質循環や歴史を研究しています。音波や地震波、重磁力などの地球物理探査から、堆積物や岩石、生物を用いた地質・地球化学・古海洋学的手法まで幅広い調査研究が行われています。海底掘削や潜水船の調査にかかわる研究も多く行われています。調査している海域は日本近海の沈み込み帯からインド洋の中央海嶺、太平洋の巨大海台から極域まで世界中に広がっています。



所在地

〒 277-8564 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

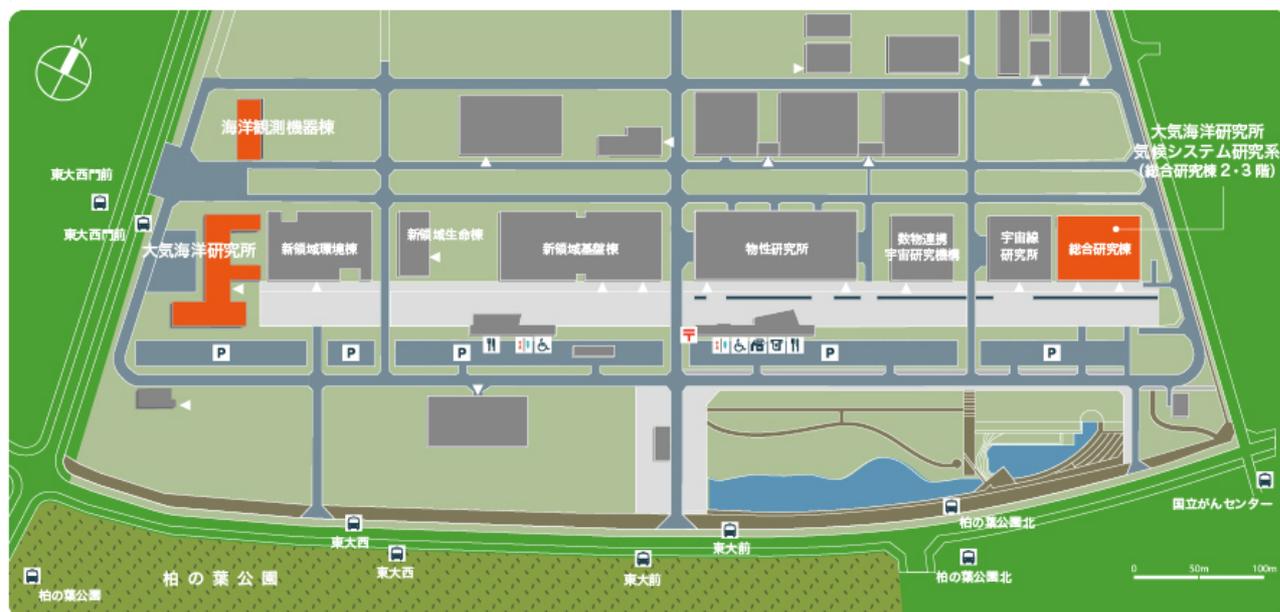
柏キャンパスへのアクセス

(A) つくばエクスプレス「柏の葉キャンパス駅」西口よりバス約 10 分 (東京大学シャトルバスもあります)

(B) JR 常磐線「柏駅」西口よりバス約 30 分

(C) 東武野田線「江戸川台駅」より徒歩 30 分

柏キャンパスの地図



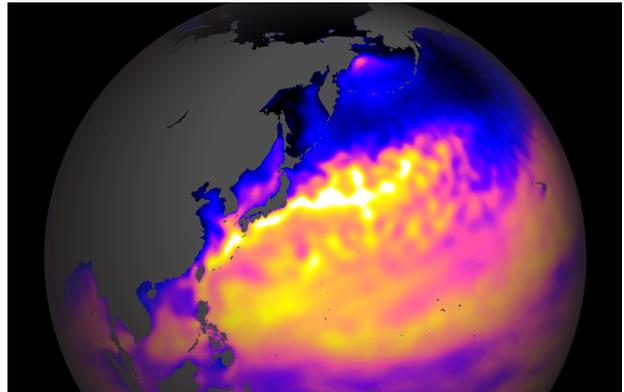
詳細はホームページ (<http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/>) をご覧下さい。

4.3 地球大気環境科学講座（先端科学技術研究センター 気候科学グループ）

本講座では、気候系の形成やその自然変動、それに伴う異常気象やその予測可能性、さらには将来の温暖化に伴う気候変化に関わる力学的・物理学的研究課題に取り組んでいます。特に、以下に述べるように、地球の気候系で起こる様々な時空間規模の多様な現象のメカニズムや予測可能性、それらの相互作用の解明を目指す研究を、観測データの統計解析・力学的診断や大気大循環モデル・気候モデルモデルシミュレーションにより推進しています。地球気候に関わるこれらの研究課題に興味を抱く大学院生を歓迎します。詳しくは <https://www.atmos.rcast.u-tokyo.ac.jp/> をご覧下さい。

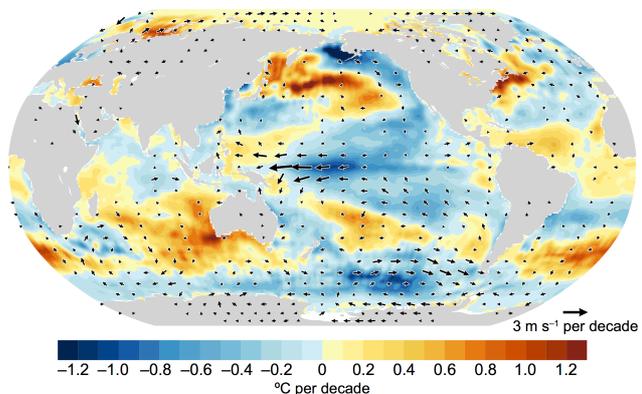
《気候系形成：地球の気候系がその現在の姿を形づくるメカニズムは何か》

① 亜熱帯高気圧の形成力学を、亜熱帯域の海陸加熱差への大気応答とそれに伴う大気海洋相互作用、さらにモンスーンや中緯度移動性高低気圧活動からの影響を含めた新しい観点から研究している。② 各大洋における中緯度海洋前線帯域の急激な水温変化が、移動性高低気圧の活動のみならず、下層雲や対流性雲の分布、海上風の収束・発散や熱帯低気圧(台風)に及ぼす影響を包括的に探求している。



《気候変動と気候変化：気候系はどのようにして揺らぎ移ろうのか》

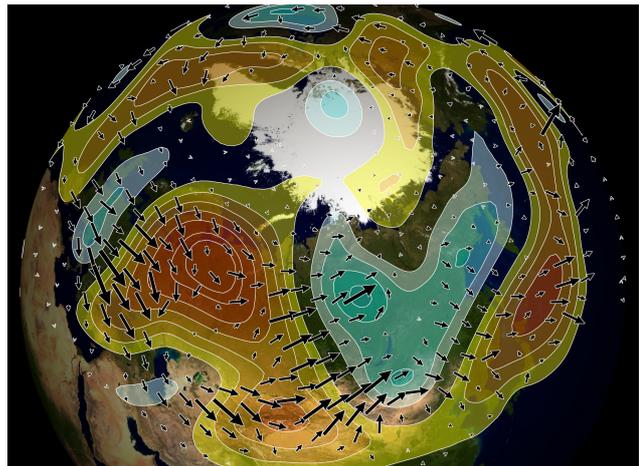
③ 中緯度大気海洋結合の観点から大気大循環とその卓越変動の力学の再検証を進めている。特に、中緯度の暖流や大陸縁辺海からの熱や水蒸気の供給が、移動性高低気圧活動を通じて、偏西風ジェット気流の形成や「環状モード変動(北極振動・南極振動)」の振幅や構造(成層圏・対流圏結合変動を含む)に如何なる影響を与えるかをモデルシミュレーションなどから探求している。④ 北太平洋十年規模気候変動の定説を覆し、熱帯からの直接の影響は亜熱帯海洋循環系に留まる一方、北西太平洋の亜寒帯前線帯(黒潮・親潮合流域)に集中した海水温変動がアリューシャン低気圧の変動と結合した中高緯度独自の変動を含むことを示し、このメカニズムの解明に取り組んでいる。⑤ 近年の地球温暖化の停滞(ハイエイタス)が熱帯太平洋における十年規模の自然気候変動と人為起源の気候変化との相殺によって起こっていることを示し、このような自然変動と地球温暖化の競合によって全球および地域的・季節的に引き起こされる気候変動を気候モデルシミュレーションなどにより研究している。⑥ 地球温暖化が東アジアの夏冬の気候にもたらす変化とそのメカニズムの解明に取り組んでいる。温暖化に伴って春一番が早く吹くようになる可能性を指摘した。また温暖化に伴う北極域・オホーツク海の海氷減少によるユーラシア・極東域への遠隔影響に着目し、気候モデルシミュレーションを用いて研究している。



《異常気象：そのメカニズムと予測の鍵は何か》

⑦ 大気ロスビー波束の3次元群速度伝播を表わす診断法を開発し、気象庁の定例気候診断や異常気象分析検討会など国内外で広く活用されている。これにより、⑧ 成層圏の波動擾乱が対流圏循

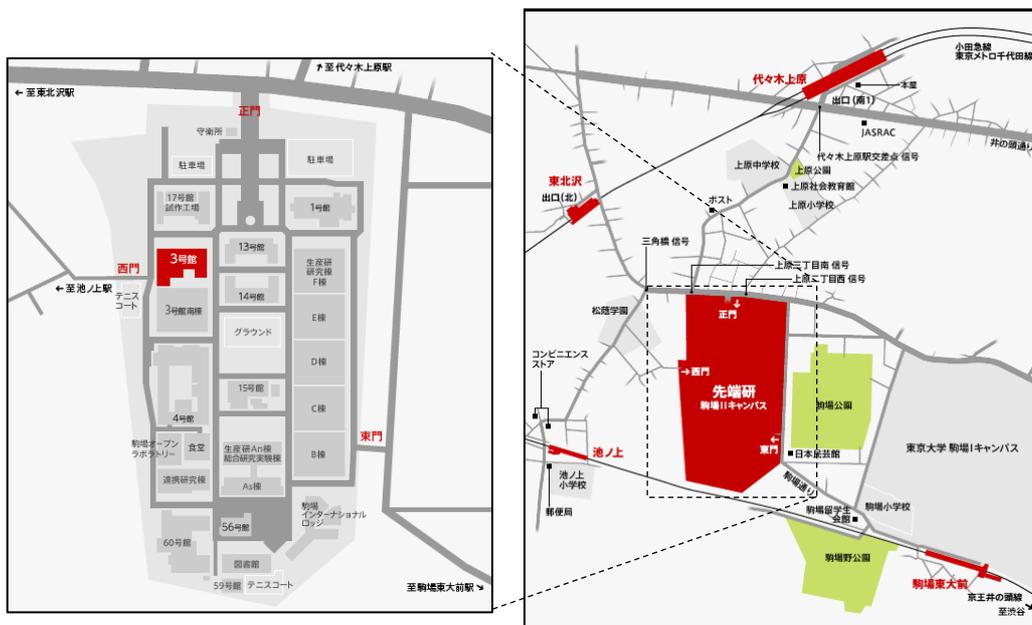
環異常の発達に与える影響や、成層圏と対流圏の相互作用現象などを見出した。また、⑨ 停滞性ロスビー波束の伝播阻害と局所砕波というブロッキング高気圧形成の新理論を提示し、この型のブロッキングが⑩ 日本に冷夏をもたらすオホーツク海高気圧や冬の寒波をもたらすシベリア高気圧などの地表寒冷高気圧を増幅させることを示した。⑪ 夏の小笠原高気圧と熱帯対流活動との結合変動「太平洋-日本(PJ)パターン」のメカニズムを、夏季気候系に卓越する「湿潤力学モード」の観点から探求し、その数ヶ月以上前からの季節予測や地球温暖化に伴う長期変動の解明に取り組んでおり、また⑫ 小笠原高気圧を変動させるもう1つの循環変動「シルクロードパターン」の力学と地球温暖化に伴う長期変動も探求している。⑬ 日本に寒波や暖冬をもたらす対流圏循環偏差「西太平洋パターン」の形成力学を探求するとともに、そのオーストラリアモンスーン変動による遠隔励起を見出した。⑭ 北極域の海氷融解がユーラシア・東アジアに寒波をもたらす可能性を提示し、そのメカニズムの解明に取り組んでいる。



アクセス

- 1) 地下鉄千代田線・小田急線「代々木上原」駅から徒歩 12 分
- 2) 小田急線「東北沢」駅から徒歩 7 分
- 3) 井の頭線「駒場東大前」・「池ノ上」駅からともに徒歩 10 分

※ 本郷キャンパスから約 50 分です。根津から代々木上原まで地下鉄千代田線をご利用下さい。この他、本郷三丁目・新宿西口間地下鉄大江戸線、新宿・東北沢間小田急線の利用も可能です。
 ※ 地球大気環境科学講座／気候変動科学分野・グローバル気候力学分野は先端科学技術研究センター3号館4階です。



4.4 学際理学講座（宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所）

<http://sprg.isas.jaxa.jp/>

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所(JAXA・ISAS)では、地球惑星科学、太陽圏科学、天文学など、宇宙科学の各分野において、1)大気球・観測ロケット・科学衛星などによる科学観測、2)飛翔体搭載用観測機器の研究開発、3)理論・数値シミュレーション、などの手段を使って様々な研究を行っています。

地球惑星科学や太陽圏科学関連の観測や探査の対象は、太陽や惑星間空間、地球や惑星と月などの衛星の固体・大気・超高層大気・電離層・磁気圏および小惑星や彗星などの小天体、とますます拡大しています。研究所設立以来、多数の人工衛星・探査機・ロケットなどによって様々な観測を行い、その結果の解析結果が新たな知見や疑問をもたらし、それらが次世代の計画に繋がりました。宇宙科学はこうしたサイクルによって発展しており、全国の理学・工学の研究者や大学院生が協力することで発展が支えられています。

JAXA・ISAS に所属する大学院生は、科学衛星・探査機などが企画・製作・運用されているまさにその現場で研究を進めるといふ、貴重な体験をすることになります。そこでは、様々な分野の研究者が「宇宙」という共通のキーワードの下に集い、同じ目的に向かって研究開発を進める雰囲気になります。専門分野を横断して協力しながら自分の役割を果たすことについて強い動機付けが生まれるはずで、「理学志向」と自分では思っていた院生が、いつのまにか衛星開発という「工学」的な要素にのめり込むということも珍しくはありません。もちろん、実験や観測だけではなく、理論や数値シミュレーション・モデリング研究も大事な要素です。大きなプロジェクトを成功させるには、様々なタイプの研究者の参加が必要なのです。

これまでの科学衛星 最近の太陽圏科学・地球惑星科学関連の科学衛星の例を以下に示します。これらは大きな科学的成果をあげていますし、その創出においては、大学院生が活躍をしています。

1980年	「さきがけ・すいせい」	ハレー彗星探査
1989年	「あけぼの」	オーロラ物理の総合観測
1991年	「ようこう」	太陽 X 線観測
1992年	「GEOTAIL」	地球周辺宇宙空間(磁気圏)の観測
1998年	「のぞみ」	火星上層大気観測(火星周回軌道投入には失敗)
2003年	「はやぶさ」	2010年に小惑星からのサンプルリターンに成功
2006年	「ひので」	太陽観測衛星
2007年	「かぐや」	月探査
2010年	「あかつき」	金星大気の観測
2013年	「ひさき」	惑星紫外線分光観測
2014年	「はやぶさ2」	2020年に小惑星からのサンプルリターンに成功
2016年	「あらせ」	放射線帯・ジオスペース探査衛星
2018年	「みお」	水星磁気圏・内部太陽圏探査

「GEOTAIL」 打上げから 30 年近くにわたってプラズマで満たされた地球周辺宇宙空間を観測し続けています。太陽活動 11 年周期の 2 周期を超えて観測を続け、地球周囲の宇宙空間が太陽の影響下でどのように変動するのかを理解する上で、世界的に貴重な観測データを提供しています。

「はやぶさ」 小惑星イトカワ表面にタッチダウンを行い、その際に取得したサンプルを地球に持ち帰りました。そのサンプルは地上の装置による詳細な分析を受けるべく、世界中の研究者に配布されています。そこから、太陽系の進化の姿を探るための手掛かりが得られています。

「かぐや」 月表面の詳細なイメージ・データを鉱物学的な視点から解析することにより、月形成に関する新しい知見をもたらしました。また、「かぐや」には月周辺宇宙環境を計測する装置も搭載されており、太陽風などの宇宙プラズマと月表面が(磁場や大気のクッションが入ることなく)直接接触するという状況でのプラズマ物理に関しての全く新しい知見をもたらしています。

「ひので」 高い空間分解能で太陽表面を観測する可視光望遠鏡とガスの運動診断が可能な紫外線分光装置と X 線望遠鏡を搭載することで、太陽表面から浸み出す磁場の支配下にある太陽大気プラズマのダイナミクスを明らかにしています。

「あかつき」 金星周回軌道にて赤外線や紫外線などの光で金星を探査して金星全体の大気の動きを調べ、長年の謎であったスーパーローテーションのメカニズムを明らかにするなど、金星の気象学を確立することを目指して研究が進められています。

「ひさき」 紫外線による惑星撮像のための軌道望遠鏡で、惑星大気と太陽風の相互作用を調べ、木星プラズマのエネルギー源を調べています。

「あらせ」 地球周辺に広がる高エネルギー粒子に満ちた放射線帯の成因はその発見以来 60 年来の謎です。「あらせ」は地球周辺の宇宙空間(ジオスペース)において、どのように高エネルギー粒子が加速されるか、など、太陽活動に応じて激しく変動する放射線帯のメカニズムの解明をすることを旨として、放射線帯の中心部の観測を続けています。

「はやぶさ2」 小惑星リュウグウのタッチダウンに成功し、サンプルを地球に持ち帰りました。イトカワよりも太陽系のより初期の状態を記録していると考えられる採取サンプルの解析はまさにこれから本格的にはじまるところで、その結果には世界中が注目しています。また、人工クレータ実験にも成功して、その観測データの取得やサンプルが採取されています。

「BepiColombo みお」 BepiColombo は日欧共同で水星探査を行う探査機です。日本はプラズマ観測がメインである「みお」(水星磁気圏探査機)を担当し、欧州が担当する水星惑星探査機とともに、水星という謎に満ちた世界を解明します。水星には 2025 年に到着予定です。また、水星に到達するまでのクルージング中に太陽に近い領域で太陽風を観測し、内部太陽圏探査も行います。

観測ロケット・大気球 本格的な衛星・探査機計画は時間のかかるものです。そのため、大学院生のライフ・サイクルとは必ずしも合致しません。しかし、現場を経験することはたいへん重要なことです。そこで、準備期間の比較的短い観測ロケット・大気球・小型衛星などを用いた観測も ISAS では推進されています。飛翔体搭載観測機器の開発に関わることで、観測的研究を推進する素養が獲得できます。例えば、小型衛星計画として、オーロラ画像とそれを光らせているオーロラ粒子加速を同時観測する「れいめい」が打ち上げられ、オーロラ科学にユニークな貢献をしました。

今後予定される科学衛星 将来も魅力的なミッションの開発がはじまったり、検討されたりしています。(火星衛星探査計画 MMX, 木星氷衛星探査計画ガニメデ周回衛星 JUICE, 深宇宙探査技術実証機 DESTINY+, 高感度太陽紫外線分光観測衛星 Solar-C(EUVST), など) その企画検討や科学的な検討や搭載観測装置の基礎開発研究などにおいて、多くの大学院生が活躍しています。

大学院生活 このように活発な現場においての大学院生活は、刺激に満ちたものです。さまざまな宇宙科学・工学分野の研究者とも交流が可能であることも、宇宙科学研究所に所属することの魅力です。研究手法は、観測機器開発から理論研究まで、幅広く選択できます。

様々な人と交流することを通して、多様な手法に通じることが当然であると思うようになるでしょう。最先端の世界の研究者と触れ合う機会が豊富にあることはもちろん、自らも最先端の現場に飛び出すことのできるチャンスに恵まれているともいえます。実験であれ理論研究であれ、自ら手を動かして何かをやらせようと思っている「宇宙好き」には、楽しいと思える研究環境のはずです。選択肢は多岐にわたります。研究所を訪問し、まず見て、話をして下さい。



<https://www.isas.jaxa.jp/>

- 1) 新宿駅より京王線で橋本駅へ。橋本駅より横浜線で淵野辺駅へ。淵野辺駅より宇宙科学研究所まで徒歩 18 分。
- 2) 小田急線で町田駅へ。町田駅より横浜線で淵野辺駅へ。淵野辺駅より宇宙科学研究所まで徒歩 18 分。
- 3) 小田急相模大野駅より相模原駅行きバス。宇宙科学研究所本部入口下車。宇宙科学研究所まで徒歩 5 分。

4.5 学際理学講座(高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所)

高エネルギー加速器研究機構 (KEK)・物質構造科学研究所では、加速器によって発生させる量子ビーム (放射光、中性子、ミュオン、低速陽電子) を用いて、物質や生命の構造と機能に関する研究を進めています。現在、東京大学大学院理学系研究科には、地球惑星科学専攻・量子ビーム地球惑星科学分野の船守研究室と化学専攻・放射光化学分野の雨宮研究室がある他、新領域創成研究科に構造生物学分野の千田研究室があり、東京大学の大学院生を受け入れて、研究・教育を行っています。



写真1 Photon Factoryの光源加速器。周回する25億電子ボルトの電子ビームから発生する放射光が、リング壁を隔てた実験ホールに輸送され、分光器やミラーで加工された後、実験ステーションにおいて各種測定に利用される。

KEKは、量子ビームの発生・輸送から加工・利用(実験)までの全過程の専門家を有する大学共同利用機関法人です。大学共同利用機関法人では、各大学が単独で維持・運営することの困難な大型の装置・設備を大学等の研究者に供与しています。Photon FactoryやJ-PARC/MLFなどが、これに該当します。現在、地球惑星科学専攻の幾つかの研究グループがKEKの施設を利用していますが、地球惑星科学の研究室が物質構造科学研究所に誕生したことで、今後、更に利用が増加していくものと期待されます。

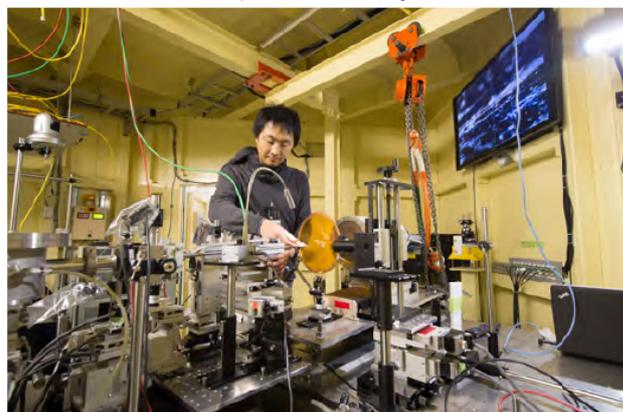
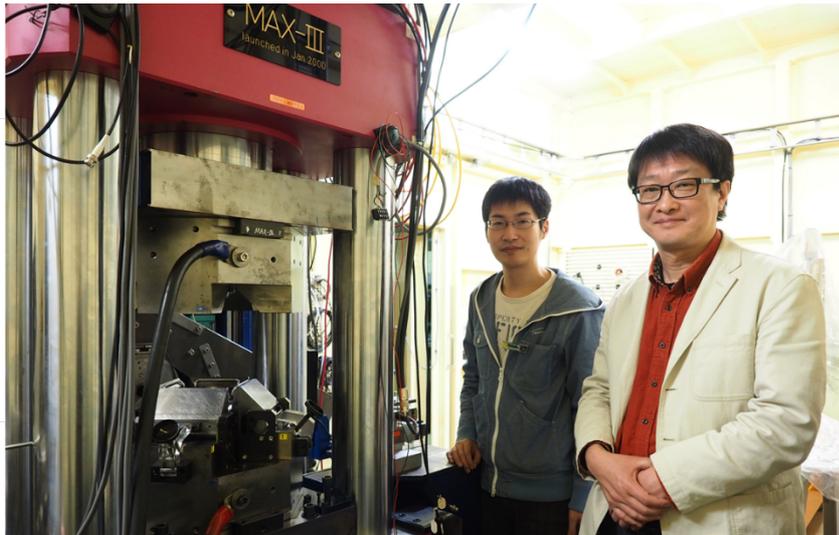


写真2 実験ステーションAR-NW14Aで装置試験をする野澤俊介准教授。NW14Aでは、弾塑性転移や天体衝突のダイナミクスの解明などを目的として、衝撃圧縮下時間分解X線回折のための技術開発が進められている。(Photo: ISHIKAWA MICHITO)



写真3 実験ステーションAR-NE5Cで500tonプレスの加圧準備をする若林大佑助教。NE5Cでは、液体の相転移や微量元素の化学状態の変化の観察を目的として、高温高圧下X線回折・XAFS複合測定のための技術開発が進められている。



KEK の研究室に所属することのメリットは？

まず、第一に挙げるべきは、量子ビームの発生にまで遡って、最上流から研究を組み立てることが可能なことでしょう。既成の装置・技術を上手く利用して行うサイエンスも重要ですが、独自の装置・技術を開発して行うサイエンスが極めて重要であることは説明を必要としないと思います。専門家集団の手厚いサポートにより、これが高い次元で可能になります。第二には、全国の研究者との交流が挙げられるでしょう。長期滞在する様々な分野の研究者との交流（相互作用）は、新しい発想の根源となり、また、研究者としての人脈の形成につながります。特に、KEK では、地球惑星科学分野に留まらない交流が可能なところに特徴があります。

どんな研究室？

当学際理学講座は、基幹講座（本郷の固体地球科学講座）にあった船守研究室の移転に伴い、東京大学と KEK の協定書を改訂することで、2016 年 4 月に設置されました。施設利用者であった当時よりも、量子ビーム利用の面ではより深く、研究対象の面ではより広く、地球惑星科学に取り組みたいと考えています。最近では、研究室の 2 名の若手（若林大佑助教、柴崎裕樹特別助教）とともに、X 線顕微鏡の開発を進めています。地球惑星内部から宇宙空間まで、地球惑星物質を扱う実験系を志望する皆さん、遠慮せずに連絡をください。施設見学も歓迎します。

連絡先

〒305-0801 つくば市大穂 1-1
KEK 物質構造科学研究所 船守展正
029-879-6256
nobumasa.funamori@kek.jp

