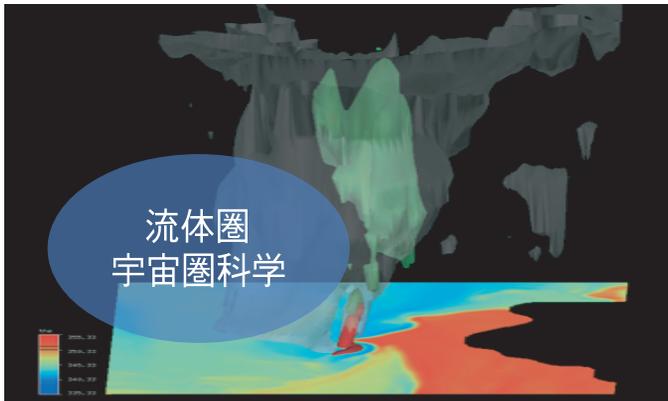


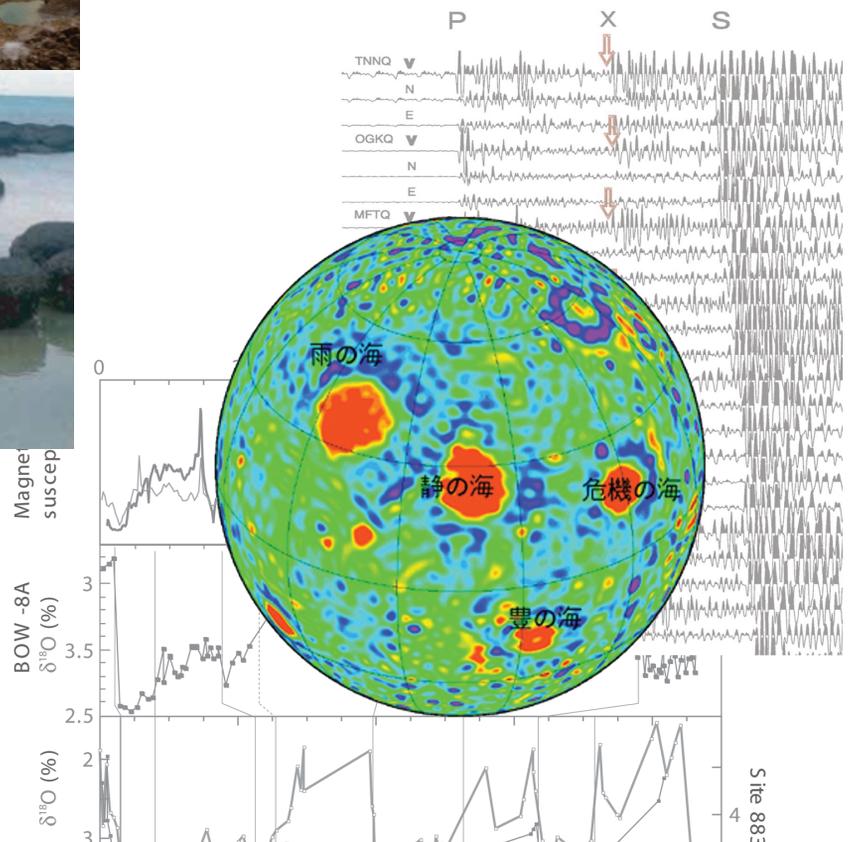
九州大学大学院理学府

地球惑星科学専攻

研究分野 説明資料集



私達の目指すサイエンスは
なぜ面白い？



九州大学大学院理学府 地球惑星科学専攻

Department of Earth and Planetary Sciences,
Graduate School of Science, Kyushu University

福岡市西区元岡744 九州大学大学院理学研究院

TEL: 092-802-4209

mail: senkocho@geo.kyushu-u.ac.jp

homepage: <http://www.geo.kyushu-u.ac.jp/>

2018/2 作成版

九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻 研究グループ説明資料集 目次

地球惑星科学専攻の概要	1-2
-------------	-----

流体圏・宇宙圏専門分野 3-4

太陽地球系物理学	5-6
宇宙地球電磁気学	7-8
大気流体力学	9-12
気象学・気候力学	13-16

固体地球惑星科学専門分野 17-18

地球深部物理学	19-20
地球内部ダイナミクス	21-22
岩石循環科学	23-24
地球進化史	25-26
古環境学	27-28
観測地震・火山学	29-30

太陽惑星系物質科学専門分野 31-32

惑星系形成進化学	33-36
有機宇宙地球化学	37-38
無機生物圏地球化学	39-40
地球惑星物質科学	41-42
地球外物質学	43-44

地球惑星博物学 45-46

地球惑星科学専攻の概要

地球惑星科学専攻 専攻長

地球惑星科学とは？

学問分野の名称として地球惑星科学という言葉が使われるようになったのはそれほど古いことではありません。それまで個別に進められてきた地球物理学、地球化学、惑星科学、地質学など諸分野の研究が互いに連携し、地球惑星の過去・現在・未来を探求することをめざして 1990 年代初期に創成された学問領域です。九州大学は他に先駆けてそのような学問領域の重要性を認識し、1992 年に地球惑星科学専攻を国内で最初に発足させました。

地球惑星科学専攻がめざすもの

わたしたちは地球惑星という巨大な複雑系の起源・進化、現在の姿、将来像そして長い時間スケールで発生するそれらの相互関係を理解することをめざしています。そのためにはまず問題点の発見に始まって、研究を立案・計画することが必要です。つぎに観測・調査、分析、実験、理論、解析などさまざまな手法を駆使して問題にチャレンジしていきます。そして得られた成果を世界に向けて積極的に発信し、研究をさらに発展させることが求められます。九州大学大学院地球惑星科学専攻は、こうした一連の研究過程を進めていくなかで、独創的能力をもつ研究者、豊かな教育能力を備えた教育者、社会全般の中で生じる様々な問題解決を図る能力をもった高度な技術者・専門家を養成することを目的にしています。そのために、わたしたちは太陽・惑星、惑星間空間、宙空、大気、海洋、地球表層、地球内部などを対象として、幅広い視野に立った教育を行っています。

地球惑星科学専攻の構成

本専攻は4つの専門分野で構成されています。各専門分野は1～6研究グループを含んでいて(次ページの表)、教員・院生が活発に研究活動を進めています。この説明会パンフレットには各研究グループの研究内容が紹介されていますので、詳細はそちらを見ていただくとして、太陽惑星系の形成から地球外物質、地球惑星磁気圏・電離圏から地球や惑星の大気圏、地殻表層からマントル・コアに至る地球内部、そして海洋、生物圏までの多彩な対象を研究する教員がみなさんの教育にあたります。

地球惑星科学にチャレンジしてみませんか

教育プログラムのページで紹介されているように、本専攻ではコースワークの充実に力を注いでいます。修士課程での研究を進めていくために欠かせない基礎的内容に絞った講義や演習を開講しています。それはより確かでゆるぎない基礎力を身につけ

ることこそが最先端をめざす研究者、厚い信頼を得る教育者、そして人類の未来を高度な技術で支える専門家の養成に必要であると考えているからです。ぜひ多くの方々が本専攻に入学し、われわれとともに自然界の複雑さに挑戦し、地球惑星のさまざまな問題や疑問を解決して行ってほしいと思っています。

平成30年度 地球惑星科学専攻の研究分野一覧

平成30年度

専門分野	研究グループ	教員			研究内容
		教授	准教授	助教	
流体圏・宇宙圏科学	太陽地球系物理学		渡辺 正和		太陽風-磁気圏-電離圏結合系における大域的プラズマ力学と各領域間相互作用過程の研究
	宇宙地球電磁気学		河野 英昭 吉川 顕正		太陽面から地球圏までの電磁気現象やオーロラなど宇宙天気現象の全地球的観測・解析・理論研究
	大気流体力学	廣岡 俊彦	三好 勉信 Huixin Liu	中島 健介	高度500kmまでの大気の研究, 例えば大循環, 惑星波, 潮汐波, 重力波等の力学, 電離圏中の電離大気の構造と力学, 対流圏・中層大気・熱圏・電離圏の相互作用の研究, および地球大気や惑星大気のふるまいについての地球流体力学的研究
	気象学・気候力学	川村 隆一		川野 哲也	気象, 気候システムに関する研究, 例えば熱帯気象, モンスーン, 温帯低気圧, 台風, シビアストーム, 雲物理, 異常気象, 大気海洋相互作用, 気候変動等の研究
固体地球惑星科学	地球深部物理学	金嶋 聡	高橋 太		地震波動や地磁気の解析による地球深部構造と変動の研究
	地球内部ダイナミクス		吉田 茂生		地球内部構造と地球内部ダイナミクスの研究
	岩石循環科学	寅丸 敦志	池田 剛	宮本 知治	火山噴火のダイナミクス, 岩石パターンの成因, マグマの発泡・結晶化・流動についての研究。変成岩を用いた地殻深部, 上部マントルでの物理化学過程の研究。化学組成とそれに関連する理論に基づく岩石成因の解明
	地球進化史		清川 昌一		堆積岩の形成過程及び島弧・変動帯の堆積作用とテクトニクスに関する地球史的研究
	古環境学		鹿島 薫 岡崎 裕典		第四紀古環境変動の復元に関する研究。 古海洋と海洋沈降粒子の研究。
	観測地震・火山学	※清水 洋	※松本 聡 ※松島 健 ※相澤 広記		地震及び火山現象の観測に基づく地震発生・火山噴火過程の研究
太陽惑星系物質科学	惑星系形成進化学	*関谷 実	町田 正博	岡崎 隆司	理論物理学的手法, 数値シミュレーション及び地球外物質の分析による太陽系及び系外惑星系の起源・進化の研究
	有機宇宙地球化学	奈良岡 浩	山内 敬明	北島 富美雄	有機物の前生命的合成や隕石有機物の解析による化学進化, 古細菌の生物有機地球化学, 有機物の同位体地球化学と生命環境
	無機生物圏地球化学	赤木 右	石橋 純一郎		地球表層の元素の循環と生物の関与に関する地球化学的研究, 無機元素の挙動と濃集過程に関する研究
	地球惑星物質科学		久保 友明	*上原 誠一郎	地球惑星を構成する岩石鉱物の生成環境, 形成機構, 微細構造, 高温高圧物性, 内部構造形成過程の実験物質科学的研究
	地球外物質学	◆野口 高明			隕石・宇宙塵・探査機による回収資料の鉱物学的手法を用いた研究, およびその結果に基づいた太陽系形成過程や月・小惑星の表面での物質進化過程の研究
地球惑星博物学	地球惑星博物学	@前田 晴良		@伊藤 泰弘	古生物学分野: 野外調査に基づく化石の古生態学およびタフオノミーの研究

*2020年3月末日定年退職予定

◆は基幹教育院所属

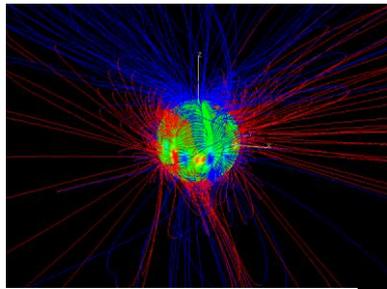
※は地震火山観測研究センター所属

@は総合研究博物館所属

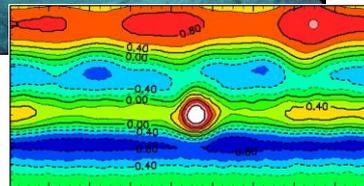
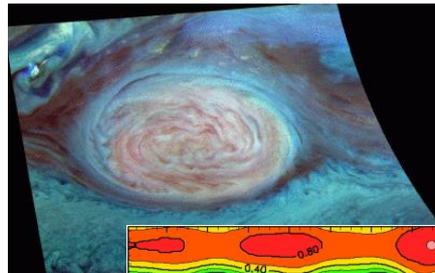
流体圏・宇宙圏 科学講座

- ・ 太陽地球系物理学
- ・ 宇宙地球電磁気学
- ・ 大気流体力学
- ・ 気象学・気候力学

太陽近傍磁場のシミュレーション

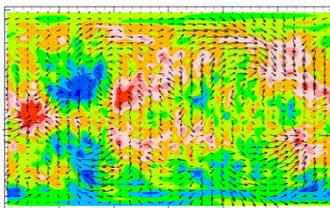
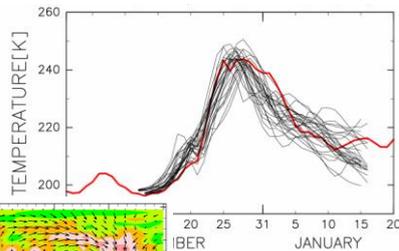
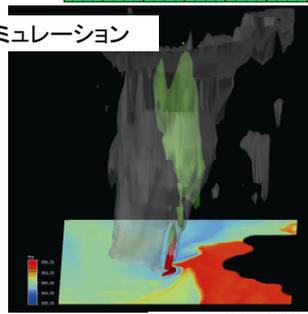


木星大気のシミュレーション

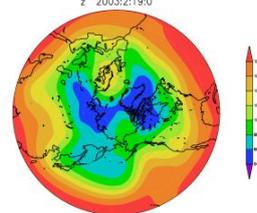


磁場のグローバル観測、宇宙天気

竜巻のシミュレーション



成層圏の予報
熱圏下部の流れ



異常気象(ブロッキング)

流体圏・宇宙圏科学 専門分野

各研究グループの研究内容の概略

研究グループ	研究内容
太陽地球系物理学	太陽風-磁気圏-電離圏結合系における大域的プラズマ力学と各領域間相互作用過程の研究
宇宙地球電磁気学	太陽面から地球圏までの電磁気現象やオーロラなど宇宙天気現象の全地球的観測・解析・理論研究
大気流体力学	500km までの大気の研究, 例えば大循環, 惑星波, 潮汐波, 重力波等の力学, 電離圏中の電離大気の構造と力学, 対流圏・中層大気・熱圏・電離圏の相互作用の研究, および地球大気や惑星大気のふるまいについての地球流体力学的研究
気象学・気候力学	気象, 気候システムに関する研究, 例えば熱帯気象, モンスーン, 温帯低気圧, 台風, シビアストーム, 雲物理, 異常気象, 大気海洋相互作用, 気候変動等の研究

各研究グループのスタッフ

研究グループ	教授	准教授	助教
太陽地球系物理学		渡辺 正和	
宇宙地球電磁気学		河野 英昭 吉川 顕正	
大気流体力学	廣岡 俊彦	三好 勉信 Huixin Liu	中島 健介
気象学・気候力学	川村 隆一		川野 哲也

(1) 太陽地球系物理学

太陽からは可視光が放射されて地球の生命活動に大きな影響を及ぼしていることはよくご存知だと思いますが、実は可視光以外にも、太陽は電波・X線・高エネルギー粒子・磁場を放出しています。気象学が主に太陽放射に関連する現象を扱っているのに対し、太陽地球系物理学は太陽からやってくる高エネルギー粒子と磁場が地球に及ぼす影響を研究する学問分野です。その扱う対象は、地球の上層大気から惑星間空間に至る広大な領域をカバーしています。

(2) 太陽風

太陽からやってくる粒子は「太陽風」と呼ばれています。「風」というと何かさわやかなものを思い浮かべるかもしれませんが、その速度は約 400km/s、温度は約 100,000K で「風」のイメージからは程遠いものです。高温であるため、太陽風は中性の粒子ではなく、電子とイオンに完全に電離した状態にあります。この状態は「プラズマ」と呼ばれており、電気伝導をもつ流体として扱うことができます。また、太陽風は太陽から磁場を引きずり出し、地球周辺の惑星間空間には 5–10nT 程度の磁場（惑星間空間磁場）が常に存在します。この磁場は非常に弱いですが、太陽風のエネルギーを地球に伝える上で重要な役割を果たしています。

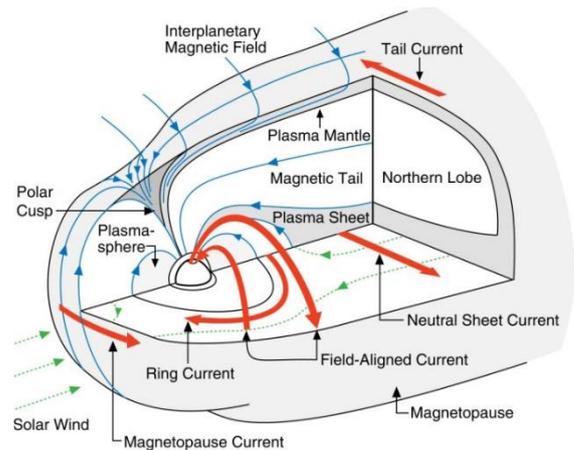


図1 磁気圏の概念図。青線は磁力線を、緑線はプラズマ対流を、赤線は電流を表す。

(3) 磁気圏

ところで、地球は磁気モーメントで約 $8 \times 10^{22} \text{ Am}^2$ の固有磁場をもっています。電磁気学で学んだように、真空中の磁場は導体の中に入っていくけません。言い換えれば、磁場は導体を跳ね返します。したがって太陽風が地球に吹き付けると、地球の周辺に太陽風が入っていくけない「空洞」ができます。これが「磁気圏」です。いま、「空洞」と書きましたが、実は地球磁場による太陽風の遮蔽は完全ではなく、観測によると太陽風起源のプラズマが磁気圏にたくさん侵入してきています。このように太陽風と磁気圏は相互作用をされていて、この相互作用を解明するのが太陽地球系物理学の大きな研究テーマのひとつです。磁気圏は太陽風と同じくプラズマの世界です。

(4) 電離圏

一方、地球は比較的濃い中性の大気をもっています。太陽からの紫外線が当たると、中性大気の一部は電子とイオンに電離します。これにより、大気の上層部に「電離圏」が形成されます。ここで注意しておきたいのは、電離圏といっても、電離しているのは大気全体の高々ほんの数パーセントであることです。電離圏においては、プラズマと中性大気の力学だけでなく、中性大気とプラズマの相互作用・化学反応までも考慮しなければならないので、その正確な扱いは格段に難しくなります。

(5) 多圏複合系の物理

太陽地球系物理学では、太陽風・磁気圏・電離圏をひとつの複合系 (compound system) として扱います。太陽風・磁気圏のプラズマが高温で圧縮性の電磁流体であるのに対し、電離圏プラズマは低温で非圧縮性の電磁流体です。このように性質の異なる複数の領域を磁力線が貫いています。その結果何が起こるかという、各領域は独立に振舞うことができず、お互いに情報をやりとりしながら全体として自己無撞着になるような方向に系が落ち着こうとします。このとき各領域間で情報を伝達するのが磁力線に沿って流れる「沿磁力線電流」です。沿磁力線電流がどのように生成され、どのように閉じているかを調べることは、太陽地球系物理学における大きな研究テーマのひとつです。

もし、自己無撞着性がある時突然崩れたら…。これが極端な形で現れる現象が磁気圏サブストームです。サブストームはオーロラの爆発的発達を伴い、これまで多くの研究者が興味を持って取り組んできました。しかしその物理機構は未解明で、太陽地球系物理学における最重要課題のひとつです。

(6) 九州大学における研究

九州大学では、グローバル数値シミュレーションと観測データ解析を組み合わせ、磁気圏・電離圏のプラズマ対流、沿磁力線電流、サブストームなどを研究しています。太陽風・磁気圏・電離圏の複合系が織り成す現象は複雑でかつ広大な領域に亘るため、断片的な観測データの解析・解釈だけでは限界があります。近年のコンピュータ能力の著しい向上は数値シミュレーションという新しい研究手法を可能にしました。一例を示します。図2は惑星間空間磁場が真北向きで北半球が真夏の時の磁気圏をシミュレーションしたものです。赤線は磁場トポロジーを決定する境界面 (セパトリックス) を、白線はプラズマ対流を表します。プラズマがセパトリックスを横切って流れているのが見られます。実はこれは磁力線の再結合 (リコネクション) が起こっていることを示しています。そしてその結果駆動される電離圏対流が、正に観測されていることがわかりました。これは観測データを眺めるだけでは中々思いつかないことです。一方、シミュレーションも万能ではなく、結果がもっともらしいかどうかは観測事実と照合しないといけません。また観測事実はこのようなシミュレーションを行う動機づけになっています。地球科学ではまず現象ありきで、どんな理論も現象に制約されます。現象論とシミュレーションを組み合わせた総合的な手法で現象の背後にある本質的な物理過程を抽出することが我々の目標です。

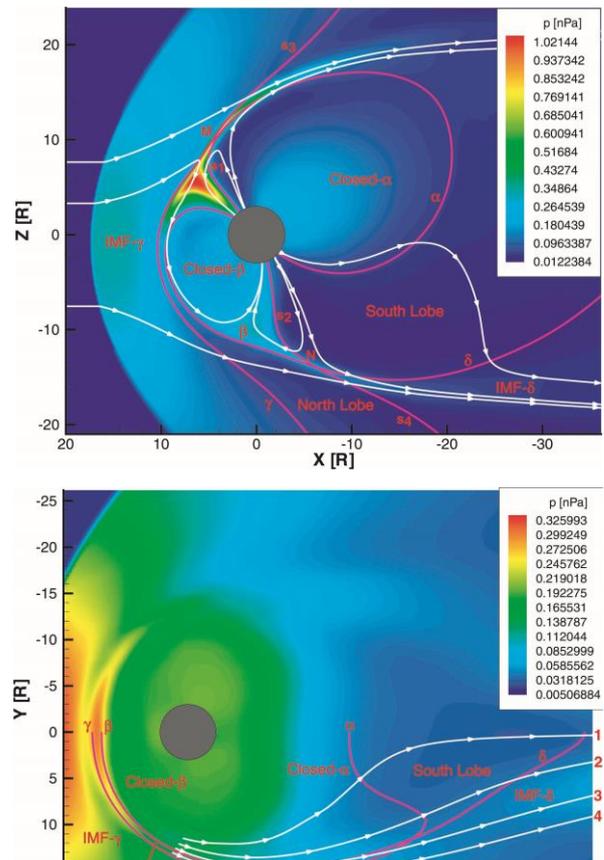


図2 惑星間空間磁場が真北向きで北半球が真夏の時の磁気圏構造。左が太陽方向。上図は真昼と真夜中を通る子午面、下図は赤道面。赤線はセパトリックスを、白線はプラズマ対流を表す。赤道面でのセパトリックスはY=0に対して対称なのでY<0のみ示してある。背景はプラズマ圧を色で表してある。

宇宙地球電磁気学 電磁気学で観る太陽地球系 -宇宙天気から地震まで-

スタッフ

准教授 河野 英昭

准教授 吉川 顕正

今日、人類の宇宙空間利用は着実に進められてきており、私たちの生活に身近なものとなりつつあります。例えば、地球近傍の宇宙空間(宙空領域)における様々な人工衛星の運用は通信・情報化社会における基盤的な役割を担っています。同時にこの領域は太陽活動によって磁気嵐が発生し、高エネルギー粒子による放射線帯が形成される領域であり、宇宙機や生体にとって非常に過酷な環境です。このような宙空環境の変化(宇宙天気)を的確に把握、さらには予測・予報することは多くの研究者にとっての関心事であり、また社会からも大いに期待されていることです。

宇宙天気現象の多くは惑星規模の空間スケールで生じる電磁気学的現象です。それらを正しく捉え、理解すべく当研究分野では“観測・解析・理論”に基づく総合的な視点から研究を行っています。具体的には以下のような現象について研究を行っています。

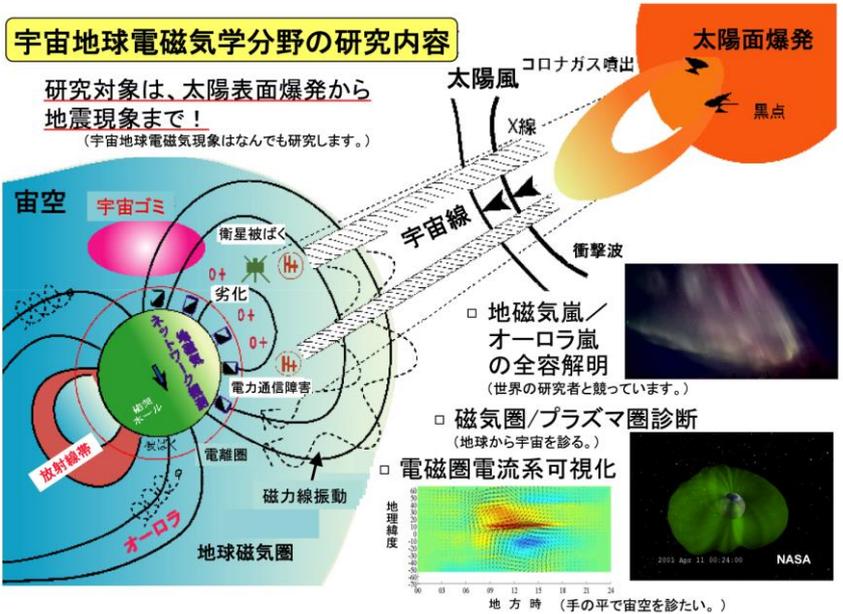


図1. 太陽地球システムにおける宇宙地球電磁気学分野

(1) オーロラ嵐

オーロラ嵐とは夜側の高緯度帯においてオーロラが急激に輝き出す現象です。この現象は、夜側地球磁気圏尾部に蓄えられた太陽風起源のプラズマ粒子が、何らかの理由で突然解放され、極域の高層大気における酸素・窒素の原子・分子と衝突することにより生じる発光です。しかしながら、何が最終的な引き金(トリガー)となってオーロラ嵐が始まるのか、その発生機構については長年の研究にも関わらずほとんどわかっていません。そのため、オーロラ嵐の発生メカニズム解明は“磁気圏物理最大の問題”とされています。私たちはオーロラ嵐開始時に汎世界的に観測される磁気波動現象(Pi2型地磁気脈動)の生成・伝搬特性を調べ、オーロラ嵐の監視・原因解明に取り組んでいます。

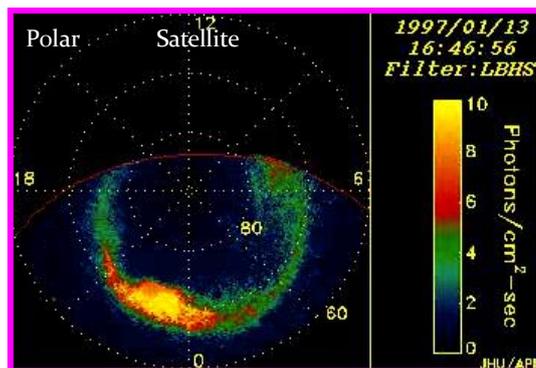


図2. 人工衛星からのオーロラ画像. 宇宙空間から地球の極域を観たところ

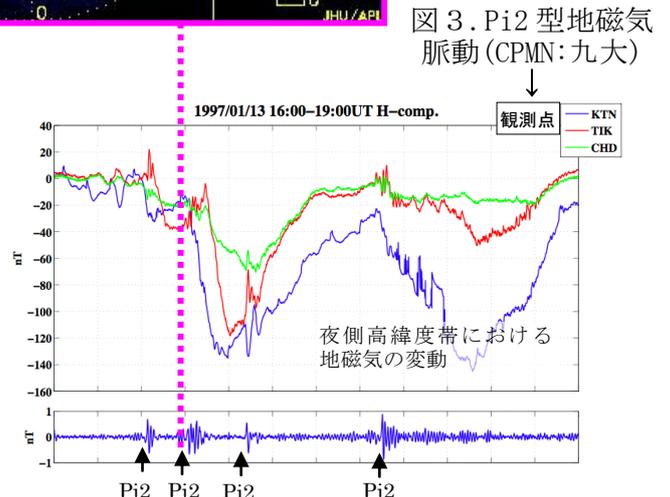


図3. Pi2型地磁気脈動(CPMN:九大)

(2) プラズマ圏診断

電磁流体力学の知識を応用することで、地球近傍の宇宙空間(プラズマ圏; 図4)におけるプラズマ密度を地上から推定する研究を行っています。地上からの地磁気観測により得られたデータと人工衛星で宇宙空間から観測されたデータを組み合わせることで、より精度の高いリモート観測手法の確立を目指しています。このような研究を進展させることは宇宙空間におけるプラズマ環境の監視やその変動を支配している物理解明に大いに役立ちます。

(3) 大規模電離圏電流系

地上約100kmの高層大気(電離圏)では、中性大気の循環運動とプラズマの運動が相互に作用し、大規模な電流系(Sq電流系と赤道ジェット電流)が生成されます(図5)。従って電離圏電流の研究は様々な宇宙天気現象と密接に関係しているばかりではなく、高層大気運動の問題としても重要です。最近の研究では、下層大気(対流圏や成層圏)で生じた大気波動が高層大気(電離圏)におけるプラズマの分布を決める重要な要因であるということがいわれています。研究室では大規模電離圏電流系に見られる上層からの影響(太陽からの光エネルギー及び電磁エネルギー侵入過程)と下層からの影響を正しく評価し、高層大気の長期的気候変動を調べる研究を行っています。

(4) 地震電磁気学現象

これは宇宙天気研究以外で本研究室が取り組んでいる研究課題の一つです。近年、地震に伴った前兆現象として、電磁気学的現象が数多く報告されています。たとえば、地磁気・地電位差変動、震源域上空の電離圏変動による電波の伝播異常などの現象が確認されています。そのなかでもULF波動の異常変動については、比較的信頼のある結果が得られており“地震予知”の観点から大変注目を集めています。地上で観測されるULF波動は太陽風を起源とし、その伝播過程において磁気圏・電離圏・地圏の影響を受けます。そこで、地震前後で観測されたULF波動を地球内部起源の成分と太陽起源の成分とに正しく分離し、それが実際に地震と関係しているかどうかを調べる解析研究を行っています。

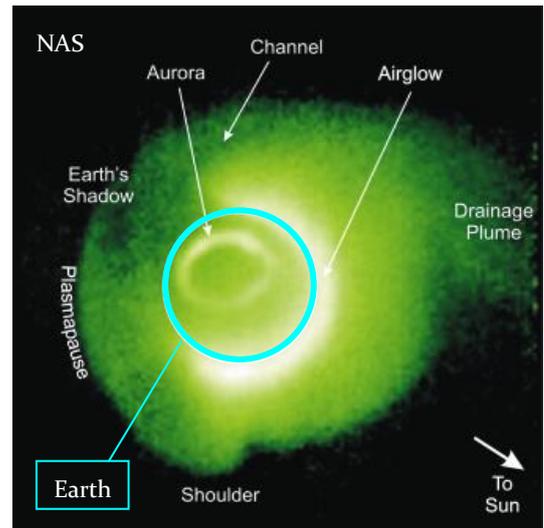


図4. Image衛星によるプラズマ圏の撮像。

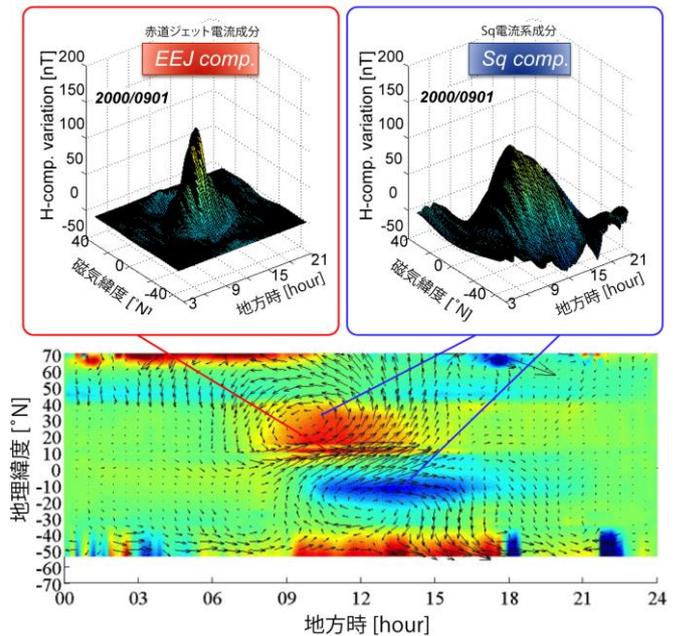


図5. 大規模電離圏電流系の可視化

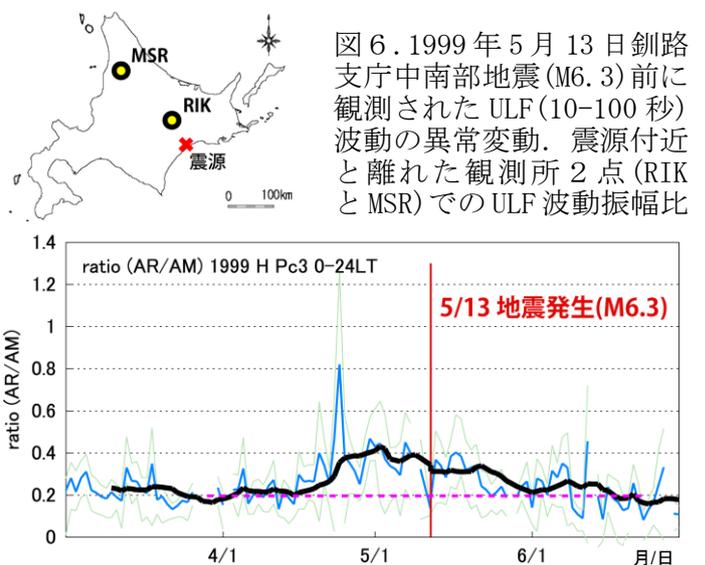


図6. 1999年5月13日釧路支庁中南部地震(M6.3)前に観測されたULF(10-100秒)波動の異常変動. 震源付近と離れた観測所2点(RIKとMSR)でのULF波動振幅比

大気流体力学

青空の先に果てしなく広がる世界を探り、 地球・惑星の「流れ」の謎と不思議に迫る

スタッフ 教授 廣岡 俊彦
准教授 三好 勉信, Huixin Liu
助教 中島 健介

私たちの研究室では、高度およそ 500km くらいまでの大気に関わる力学、電離圏中の電離大気の力学や地球流体の力学について調べています。

大気力学

高度 500km までの大気は、気温の高度方向の変化傾向により、地表から高度 10km くらいまでの対流圏、そこから高度 50km くらいまでの成層圏、さらに 90km くらいまでの中間圏、さらにそれより上の熱圏という 4 つの大気領域を含みます。その中で、高度約 10–110km の大気領域は、その上下の大気と異なる様々な特徴を有し、中層大気と呼ばれています。この領域では、水蒸気が極めて少なく、対流圏のような「雨かんむり」の現象はほとんど存在しません。その代わりに、オゾン層とその紫外線吸収による加熱効果、並びに下層の大気で励起され、選択的に伝播して来た広い時間・空間スケールを持つ大気波動の存在により、中層大気固有の様々な興味深い現象が生じます。また、それより上の熱圏には、大気成分の一部が電離した電離圏が存在し、電離していない中性大気成分との相互作用、中層大気より伝播してきた波動や、さらには様々な時間スケールで変動する太陽活動の影響を受け、激しく変動する現象が数多く存在します。以下では、私たちの研究の中から、中層大気の詳細な天気予報、高度 100km 付近の熱圏下部の流れのシミュレーション、高度 400km 付近の熱圏域波数 4 型構造について説明します。

(1) 中層大気の詳細な天気予報

中層大気中には「成層圏突然昇温現象」と呼ばれる、成層圏極域の気温が数日のうちに 40–50°C も上昇する現象があります。図 1 は、ある年の冬季における極域の気温変化の観測(赤線)と、その予報(黒細線)結果について示しています。12 月の半ばから下旬(12 月 25 日頃)にかけて 40 度以上の昇温が見られるのが突然昇温です。黒細線のスタート時期(上図では 12 月 5 日、下図では同 10 日過ぎ)が予報の開始で、ここでは少し条件を変え、いくつもの予報を実施しています。上図ではどれも昇温をうまく予報できていませんが、下図では全てがうまく予報できています。したがって、この事例では 2 週間も前から予報が成功したことになり、対流圏よりも予報期間はずっと長いといえます。なぜこのように長いのが、今後明らかにすべき課題です。

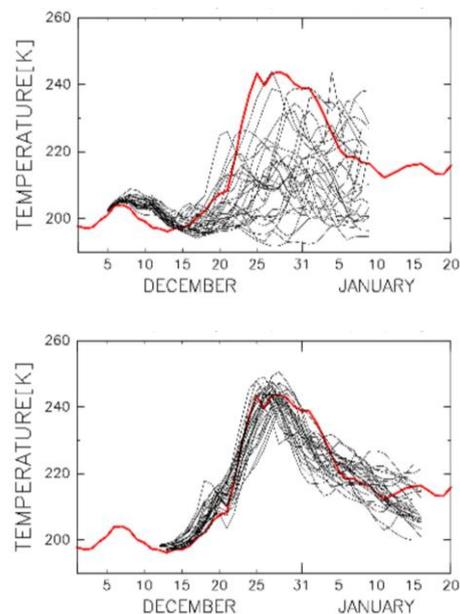


図 1. 高度約 30km 付近の北緯 80 度における気温変化(K)。赤線が観測、黒線が予報。上図は 12 月 5 日、下図は 12 月 12 日の観測値からの予報結果。

(2) 下部熱圏の流れのシミュレーション

私たちの研究室では、独自に開発してきた中層大気大循環モデルと、熱圏のモデルを結合させ、その領域特有の流れの特徴を明らかにするため、さまざまな条件の下での数値シミュレーションを行っています。

図2は、そのようなシミュレーション結果に基づく、高度40kmと100kmでの温度(カラーの陰影)、水平風(ベクトル)分布(9月の例)を描いたものです。40kmでは、中緯度域で西風が卓越し、東西方向の流れが卓越しています。100kmでは、潮汐波やよりスケールの小さい重力波に伴う循環が見え、40km(成層圏)とは大きく異なる循環形態をしています。このように高度域によって、循環は大きく異なり、同じ地球大気でも高度領域により大きく異なる循環のメカニズムを理解することが重要です。

(3) 熱圏の波数4型構造

CHAMPという人工衛星により観測された高度400km付近の熱圏大気密度データには、図3に見られるように、小となる構造を示していますが、この構造は電離大気と中性大気の相互作用により形成されることが知られており、赤道域中性大気質量密度異常と呼ばれています。一方、東西方向を見ると、地球を1周する波数4型の構造が見られます。詳細な解析により、この波数4型の構造は、高度10km付近の積雲対流に伴う加熱により励起された、大気潮汐波と呼ばれる波動が、この高度域まで鉛直伝播することにより引き起こされたものであることが明らかになりました。このことから、この高度領域の現象の正しい理解のためには、地表から熱圏までの全大気領域の力学的上下結合の解明が不可欠であることがわかります。

このように、私たちは、青空の先に果てしなく広がる空間を見つめています。皆さ

んも私たちの研究室の仲間に加わりませんか？

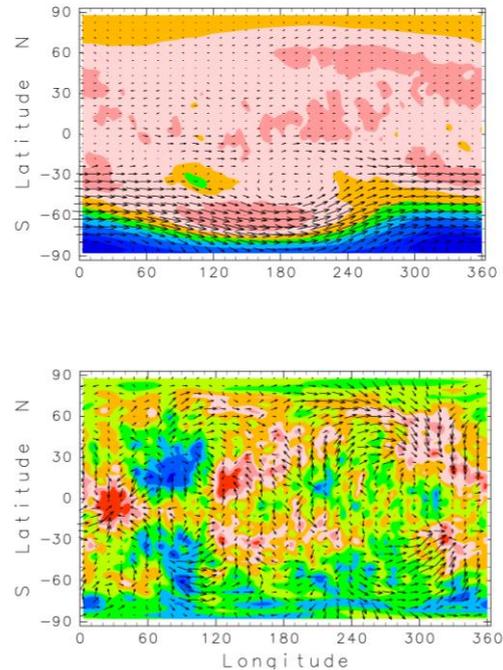


図2. 私たちの研究室で開発した大気大循環モデルを用いたシミュレーション結果に基づく、高度40km(上)、100km(下)での温度(カラーの陰影)、水平風(ベクトル)分布図。暖色系が高温域、寒色系が低温域。縦軸が緯度、横軸が経度。9月の計算例を示す。

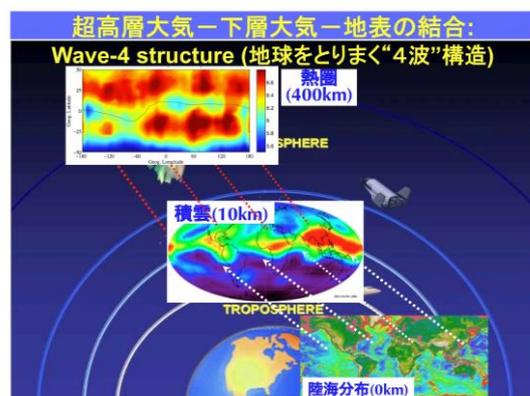


図3. 地表付近から熱圏まで連なる波数4型構造。(下)海陸分布、(中)10km付近の積雲活動を表す外向き赤外放射強度、(上)400km付近の熱圏大気密度の分布を示す。

地球流体力学

皆さんはいつも——お風呂で寛ぐ時、風を切って走る時、喫茶店でコーヒーにミルクを入れる時——流れの不思議を体験しています。でも、地球や惑星のスケールの流れは、お馴染みの風呂桶やコーヒーカップの中の流れとはひと味違います。その様な”惑星スケールの流れ”が「地球流体力学」の対象です。

(1) “丸い”地球と自転の影響

地球が丸いこと、そして地球が自転していることは、惑星スケールの大気運動のあらゆる局面で重要です。例えば赤道上で局所的に海面水温が高いと、その影響は地球の自転の影響で赤道に沿って東に伝わります。現実の地球は複雑な海陸分布がありますが、単純化した仮想世界を構成することにより、その振る舞いがよくわかります(図4)。

(2) “雲”や”雨”の形成

流れが上下に大きな広がりを持つと、物質が大きな圧力・温度の変化を経験する結果、「雲」や「雨」ができます。地球大気の大気や雨は皆さんも良く知っていますが、木星にも水蒸気・アンモニア・硫化水素から生じる雲があり雷が起こっていますし(図5)、土星の衛星タイタンにもメタンの積乱雲が起こります。これら地球以外の天体の雲には多くの謎が残されています。

(3) 地球流体力学から汎惑星流体力学へ

地球流体力学は、地球の大気と海の共通した仕組みを考えることから始まりましたが、その後、太陽系の他の惑星にも踏み出しました。例えば木星大赤斑は、地球の海の数式である程度まで再現できます(図6)。しかし今や惑星は他の星の周囲にも発見され、それらは、太陽系の惑星より

ら系外惑星の大気や海の様子も推測できるような「汎惑星流体力学」を作り上げる

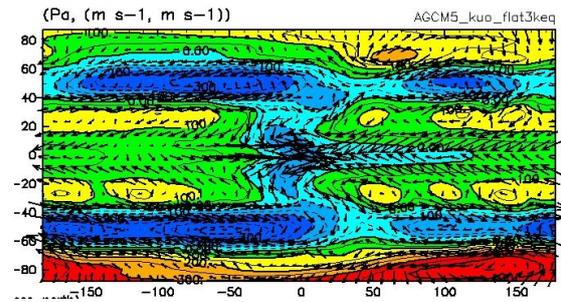


図4. 全表面が海で覆われた仮想惑星(“水惑星”)の大気循環モデル計算。

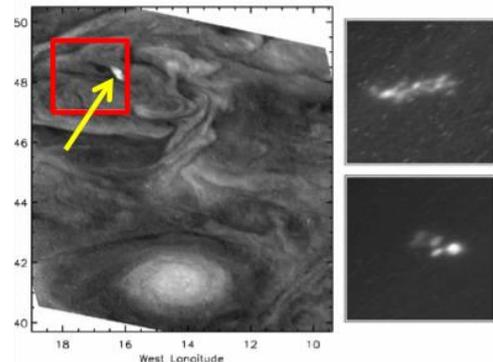


図5. ガリレオ探査機が撮影した木星の積乱雲(左図の黄色の矢印)。赤四角の部分の夜に撮影すると稲光が見える(右図)。

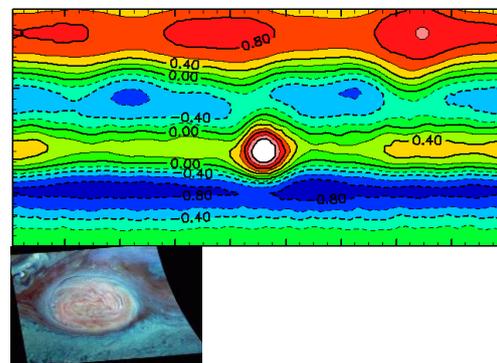


図6. 地球の海の数式に基づいて作成した数値モデルの中に生まれた大規模な渦。木星の大赤斑(下)と構造や振る舞いが似ている。

ことは、大きな夢の一つです。そして汎惑星流体力学は、太陽系の彼方の世界を知ることだけでなく、遠い過去・未来における我々の地球の姿を知ることにも役立つのではないかと私たちは考えています。

気象学・気候力学 対流スケールから全球スケールまでの気象現象を探求する

スタッフ

教授
助教

川村 隆一
川野 哲也

対流圏で起こる気象現象は、私たちの日常生活と深いかわりがあるため、対流圏の気象現象の研究は気象学者の興味の対象として重要であるばかりでなく、気象災害の減災・防災や異常気象の予測に対して社会からの強い要請があります。また気候の将来予測においては、大気循環と海洋循環との相互作用などの気候システムの理解が益々重要となっています。

本研究分野では、対流圏の気象現象を幅広くカバーし、また異常気象や気候変動の研究もしています。研究対象とする現象を水平スケールという観点から見ると、地球規模の大気大循環や惑星波のスケール(10,000km)から、高・低気圧波動や台風、梅雨前線のスケール(2,000km~200km)、竜巻や個々の対流雲のスケール(200~20km)までをカバーしています。また、研究対象を領域という観点から見れば、赤道域から中緯度、極域までを含んでいます。以下では、もう少し具体的に水平スケールごとに研究内容を紹介しましょう。

(1) モンスーン循環と異常気象

モンスーン循環とは季節によって風系が反転する循環のことです。このモンスーン循環は対流圏の大気大循環を特徴づける一大システムであると同時に、アジアモンスーンやオーストラリアモンスーンなど各地域で特徴的な循環システムが存在しています。人口が集中しているモンスーン地域は大規模気象災害に脆弱であり、モンスーン変動は洪水や旱魃による広域的な人的被害・農作物被害などをもたらすため、実用的な災害予測が社会から要請されています。地球観測衛星によるリモートセンシング、数値モデルやデータ同化手法の急速な発展、そして様々な観測プロジェクトにより、モンスーンシステムの多面的な動態が明らかになりますが、モンスーンシステムの揺らぎをもたらす、大気陸面相互作用並びに大気海洋相互作用が複雑に絡み合った現象を紐解いていく試みが益々必要とされています。研究室では、モンスーン変動と関連する異常気象のメカニズムの解明を目指しています。

Reg MOI vs Z500 (DJF)

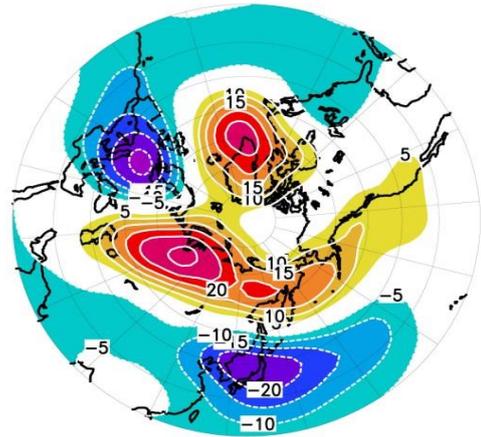


図1 日本に寒冬をもたらす北半球規模の大気循環変動。陰影は500hPa高度偏差。ユーラシア北部を横切る寒帯前線ジェットのスネリングが生じています。

(2) 中緯度域の大気海洋相互作用

熱帯と比べて中緯度では一般的に海面水温が低く、活発な積雲対流活動も弱いいため、大気海洋相互作用と言っても、基本的には大気の強制に対して中緯度海洋は従属的に応答すると考えられてきました。しかし、冬季東アジアモンスーンに伴う北西季節風が卓越する北東アジアでは、西岸境界流である黒潮や対馬海流によって低緯度から多量の熱輸送が生じており、大陸からの寒冷で乾燥した季節風が黒潮・対馬海流上に吹き出すこ

とによって、それらの海域で大気海洋間の活発な熱交換 (hot spot) が生じています。中緯度大気海洋相互作用は未解明の部分が多く、観測データの解析や数値モデル研究などを通して更なる理解が求められています。

(3) 台風や爆弾低気圧の擾乱活動と大規模循環との相互作用

台風と急速に発達する温帯低気圧 (爆弾低気圧) は双璧をなす総観規模擾乱です。両者の擾乱はともに直接的な気象・海象災害をもたらすだけではなく、対流圏上層に強い発散場を形成するために、定常波 (ロスビー波) の励起を通して遠隔影響をもたらすポテンシャルを持っています。具体例として、台風の遠隔影響で日本付近の梅雨・秋雨前線が活発化することが報告されています。また、ロスビー波束の伝播によって異常気象の原因となるブロッキング現象や、成層圏突然昇温発生の引き金となる可能性も考えられます。再解析データ等の解析や、大気大循環モデル・領域気象モデルを用いた数値実験に基づき明らかにし、短期天候予測の改善ならびに減災・防災に貢献していきます。



図2 爆弾低気圧情報データベースを構築し公開しています。

http://fujin.geo.kyushu-u.ac.jp/meteorol_bomb/index.php

(4) 梅雨前線付近のメソスケール気象擾乱

九州地方はその地理的および気象学的環境条件から、梅雨期に集中豪雨が数多く発生します。メソスケール現象というのは水平スケールが2,000kmから2kmまでの気象現象を含んでいて、さらに3つのサブグループ(メソ α 、メソ β 、メソ γ)に分類されます。梅雨前線付近の気象擾乱で重要なのは、メソ β スケール(水平スケール200km~20km)の擾乱であり、本分野ではそれらの発生要因の研究を行っています。過去の豪雨事例のなかから、1993年8月に発生した鹿児島豪雨、1997年7月の出水豪雨、1999年6月の福岡豪雨、2003年7月の福岡豪雨、水俣豪雨などを研究対象として取り上げました。これらの研究を通じて地形によるメソ β 線状収束帯の形成、梅雨前線付近の二次的なメソ β スケール収束帯の形成、メソ対流系と呼ばれる対流雲の集団の形成が重要であることが分かってきました。

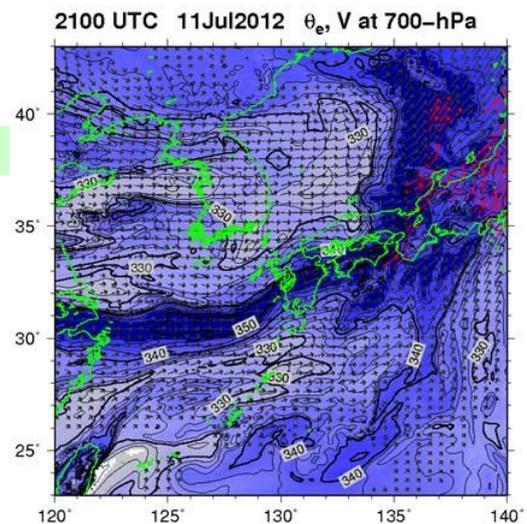


図3 九州北部豪雨発生時の700hPa面の相当温位空間分布。東シナ海上に(いわゆる)湿舌が出現しています。

(5) 竜巻の研究

竜巻といえば北米大陸の中西部で発生する巨大竜巻(トルネード)を連想しますが、規模は小さいものの、日本でも台風接近時や寒冷前線通過時に竜巻が数多く発生しています。近年、特に強い竜巻の発生が目立ち、2006年9月には延岡で1名、同年11月には北海道佐呂間町で9名の犠牲者を出しました。本研究分野では2004年6月27日、佐賀市で発生

した竜巻を対象として、数値モデルによる再現実験と感度実験を行い、それらの結果の解析から、竜巻の発生にとって地表付近の境界(佐賀竜巻の場合には梅雨前線)が非常に重要であることを示しました。そのような境界(前線, ドライラインなど)の重要性は北米大陸のトルネードについても指摘されています。その意味で本研究は1事例解析にとどまらず、竜巻発生の普遍的原因の解明にも大きな寄与をしています。

(6) 冬季北陸の雪雲の微物理的・電氣的構造の研究

冬季に西高東低の冬型気圧配置になるとシベリアから寒気が吹き出します。それと同時に、日本海上では急激な気団変質が進行し、その結果発生・発達した雪雲は日本海沿岸部に降雪をもたらします。この降雪機構を知るためには、雪雲内の微物理構造、すなわち雪や霰の空間分布を測定する必要があります。本研究分野では「ビデオゾンデ」という特殊な観測機器を雪雲内に飛揚し、雪雲内の微物理構造を直接観測する研究を行っています。これまでの観測から、降雪雲のタイプによって雪や霰の空間分布が異なっているという興味深い結果が得られています。また、冬季北陸の雪雲は豪雪をもたらすだけでなく、「一発雷」という単発だけれども電流値の非常に大きな雷を発生させることでも有名です。雲内の電荷の主な担い手は雪・霰であることが知られていますが、ビデオゾンデは粒子の種類・形状・サイズおよび電荷量を同時に測定

することができるので、ビデオゾンデ観測によって冬季北陸の雪雲の降雪機構や雷活動の解明を目指しています。

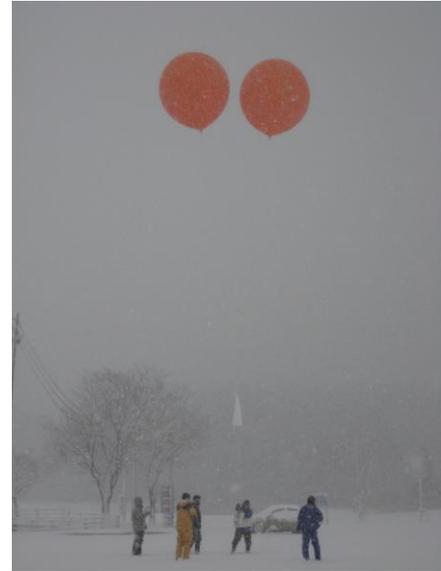


図4 ビデオゾンデを飛揚する直前の様子です。



図5 ビデオゾンデで観測された雪雲内雪片(左)と霰(右)。

固体地球惑星科学 専門分野

- ・地球内部ダイナミクス
- ・岩石循環科学
- ・地球深部物理学
- ・地球進化史
- ・古環境学
- ・観測地震・火山学

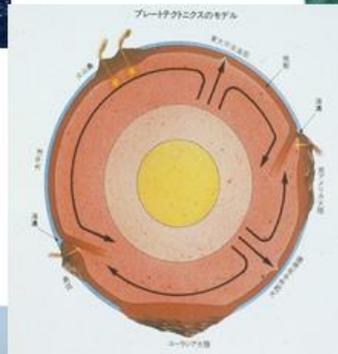
地球惑星 博物学 専門分野

- ・地球惑星博物学



古環境
地質調査

火山・地震



地球・惑星内部



古生物
化石



固体地球惑星科学 専門分野
地球惑星博物学 専門分野

各研究グループの研究内容の概略

研究グループ	研究内容
地球内部ダイナミクス	地球内部構造と地球内部ダイナミクスの研究
岩石循環科学	火山噴火のダイナミクス, 岩石パターン of 成因, マグマの発泡・結晶化・流動についての研究。変成岩を用いた地殻深部, 上部マントルでの物理化学過程の研究。化学組成とそれに関連する理論に基づく岩石成因の解明
地球深部物理学	地震波動や地磁気の解析による地球深部構造と変動の研究
地球進化史	堆積岩の形成過程及び島弧・変動帯の堆積作用とテクトニクスに関する地球史的研究
古環境学	微化石を用いた新生代の地球環境変動の研究
観測地震・火山学	地震及び火山現象の観測に基づく地震発生・火山噴火過程の研究
地球惑星博物学	野外調査に基づく化石の古生態学およびタフォノミーの研究

各研究グループのスタッフ

研究グループ	教授	准教授	助教
地球内部ダイナミクス		吉田 茂生	
岩石循環科学	寅丸 敦志	池田 剛	宮本 知治
地球深部物理学	金嶋 聡	高橋 太	
地球進化史		清川 昌一	
古環境学		鹿島 薫 岡崎 裕典	
観測地震・火山学	※清水 洋	※松島 健 ※松本 聡 ※相澤 広記	
地球惑星博物学	@前田 晴良		@伊藤 泰弘

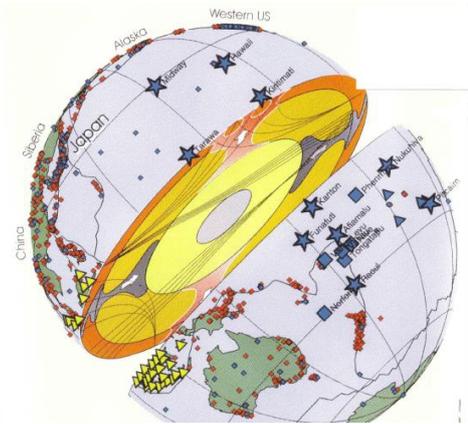
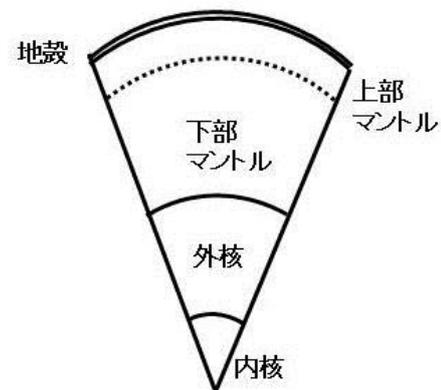
※ 地震火山観測研究センター所属
@ 総合研究博物館所属

地球の内部は45億年の間ダイナミックに運動し変遷してきました。また地球と月は誕生以来お互いに相互作用をしながら進化しました。そのような地球内部と地球・月システムの状態と変遷を理解するために、本研究分野では以下の様な研究を行っています。

(1) 地球の深部はどうなっているのか

アリストテレス自然学においては、地球は不動の世界中心に位置する不毛な土の塊であって、人間の好奇心の対象ではありませんでした。宇宙あるいは星辰の世界に対して人間が深い関心を抱いた事と対照的だった訳です。17世紀に近代的な自然哲学が成立すると、人間にとって地球は、自らの知的活動を通じてその正体を理解すべき驚異に満ちた自然へと変貌しました。そして、19世紀の地質学成立により、地球表層付近に関する人間の理解は著しく進展しましたが、地球の深部は相変わらず神秘のベールに包まれていたのです。地球深部の解明に画期的な進歩をもたらしたのは、20世紀開始と共に始まった地震学をはじめとする地球物理的研究です。地球は地殻、マントル、外核、内核から成り立つ事は良く知られています(図1)。

21世紀の現在、我々は地球深部について、驚くほど詳しく知っています。地表に張り巡らされた地震観測点網により、我々は医者が聴診器によって体内の音を聞くように、地中の音(地震波)に耳をすませます(図2)。そして過去2億年に地表から地球深部に沈み込む海洋プレートはいうに及ばず、最近では、数十億年前に海底を覆っていた地殻と考えられる地球深部の岩塊さえも見つける事ができるようになっています。また、地球の岩石に含まれる諸鉱物は圧力と温度の増加に伴い結晶構造を変化させると推測されていますが、この構造変化が具体的にどの様に起きているのかも徐々に明らかになってきました。人間が直接見ることのできない地球の深部は未だに不明な点が沢山残っていることは言うまでもありませんが、地球深部の年代史を明らかにしています。



(2) 地磁気・月磁気異常の成因に関する研究

地磁気を観測することによっても地球内部の様子を知ることが出来ます。地磁気は地球中心部の外核で作られています。外核は主に鉄で構成されていますが、高温のために液体として存在しています。液体金属である外核は活発に運動しており、電磁誘導による発電作用(ダイナモ)を引き起こします(図3)。このダイナモが地磁気を生成・維持するメカニズムです。地磁気は過去30億年以上前から存在しており、その間に極性を何度も反転させるなど非常にダイナミックに変動しています。上述の通り地磁気の変動は核の運動のダイナミクスの結果であり、核の運動から地磁気の変動を計算することができます。我々はコンピューターシミュレーションによって核と地磁気のダイナミックな現象を精密に表現できるダイナモを実現することを目指して研究を進めています。

また、現在月には地球のような固有の磁場は有りませんが、局所的に磁場の強い地域(磁気異常)が存在しています(図4)。月の磁気異常はどのようにして形成されたのでしょうか。その成因は月の起源や進化を理解する上で重要な情報を含んでいると考えられています。その一つに過去の月にも地球と同じように、核のダイナモによるグローバルな磁場が存在していたのか否かという月の科学上の大問題があります。この問題に答えることは月形成のモデルや材料物質の量、月の熱進化に関する制約条件となります。私達は我が国の月周回衛星かぐやに搭載された月磁力計(LMAG)によって取得された月磁場のデータを詳細に解析することによって、月の起源・進化の解明に迫るべく研究に取り組んでいます。

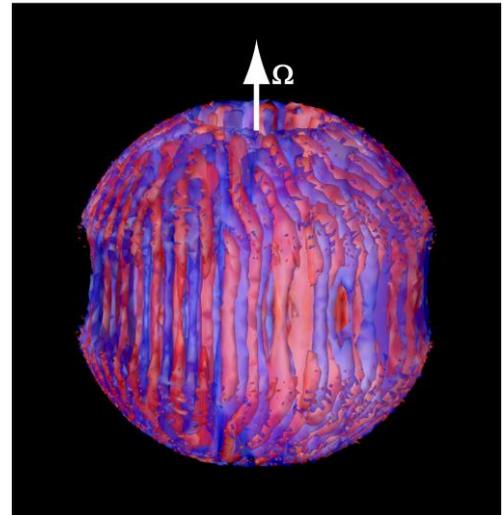


図3 数値シミュレーションによる外核中の流れの構造。青色は時計回りの渦、赤色は反時計回りの渦を表す。矢印は自転角速度ベクトル。

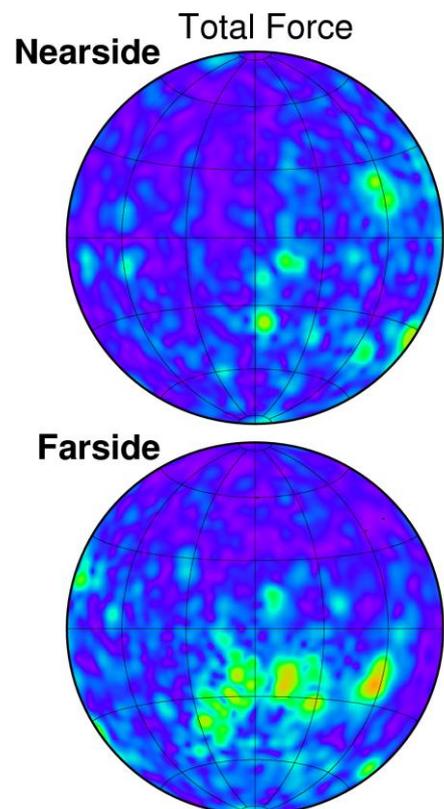


図4 かぐや衛星搭載の月磁力計による月の磁気異常図。(上)表側;(下)裏側。

地球内部ダイナミクス 地球内部の流れをデータ解析と 数値シミュレーションにより探る

スタッフ 准教授 吉田 茂生

地球の内部ではさまざまな運動が起こっています。たとえば、外核内の流れによって地球の磁場が出来ています。マンツルの流れは、プレート運動や地震などの現象と関連しています。火山の噴火や火山に伴う温泉は、私たちも目にするのできる流れです。地球惑星科学の授業を受けたことのない方も、こういった現象についてテレビや新聞等を通してある程度知っていると思います。しかし、実際どのような流れが地球（あるいは惑星）の内部で生じているかとか、それがどのように観察される地学現象に関係しているかなど、私たちが理解していないことがたくさんあります。

当研究分野では、地球内部のさまざまなダイナミカルな現象を理解するために、以下のような研究を行っています。

1) 地球のコアのダイナミクス、マンツル対流 のコアへの影響

コアは直接見ることはできませんが、磁場の変化や地震波の伝わり方を通じて、中で起こっていることを間接的に推測することができます。

(1a) 地球の外核では地球磁場が作られています。このメカニズムは、近年の数値シミュレーションの発達によってだいぶ解明されてきましたが、結果の解釈は依然として難しいという状況です。その解釈に寄与するような基礎過程の研究をしています (図1)。

(1b) 外核の一番外側には成層が安定な層がある可能性があります。もしそのようなものがあるならば、観測される磁場にはその影響が大きく出てくるはずですが。そこで、そのような成層内部のダイナミクスの基礎過程として、波動伝播の性質を調べています (図2)。

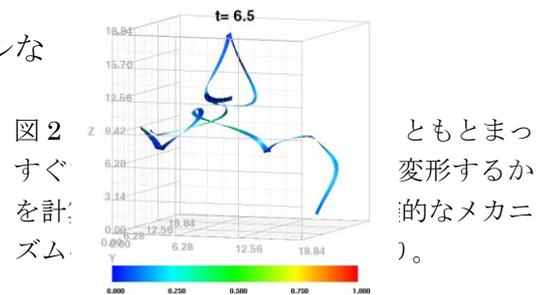


図1 螺旋状の流れによって、もともとまっすぐだった磁力線がどのように変形するかを計算した結果。磁場生成の基礎的なメカニズムを解き明かすための研究より

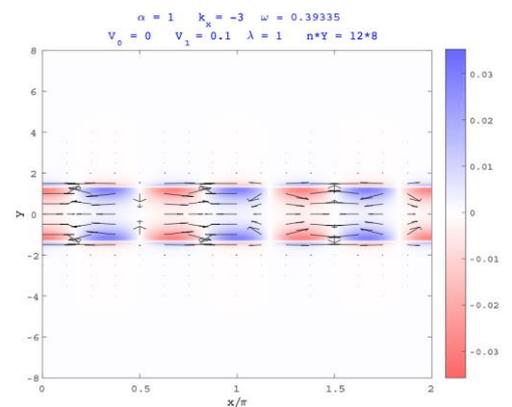
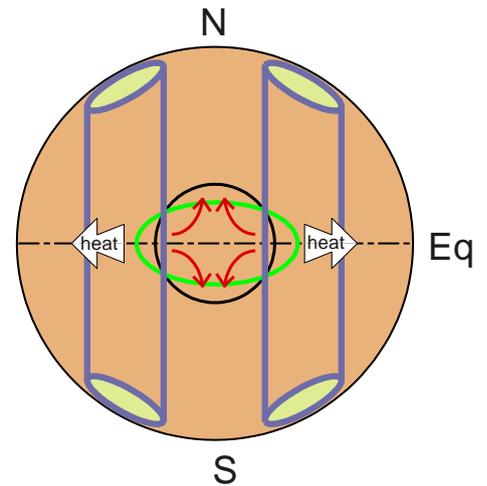


図2 外核最上部の安定成層内に発生する波のパターン。縦軸は緯度方向で中央が赤道、横軸は経度方向。波はある緯度の範囲内にトラップされる。

(1c) 外核の流れはマンテル対流の影響を受けています。そのことによって磁場のパターンとマンテル対流のパターンを比較することによって推測できます。おそらく、マンテル下部の熱境界条件の不均質が外核の中に流れを引き起こしているのだろうと考えられています。その基礎過程を研究しています。

(1d) 内核の内部の地震波の伝わり方が方向によって異なることから内核の中にも流れがあるのではないかと考えられるようになってきました。私たちは、それが外核の対流によって引き起こされていると考えています。そのメカニズムを研究しています (図3)。



(2) 火山噴火や熱水循環のダイナミクス

火山噴火や熱水循環 (温泉水の流れ) は、地下のダイナミクスを直接感じさせてくれる現象です。流れが相変化や化学変化の影響を大きく受けています。

(2a) 爆発的噴火において、噴火が断続的に起こるメカニズムを理論的に研究しています。泡とマグマの相対運動が重要な役割を果たしていることがわかってきました。

(2b) 海底火山の近くには温泉が湧いています。この水を熱水、その水の流れを熱水循環と呼びます。熱水は、元をたどると海水なのですが、流れてくる途中で石と反応したり、海水が薄い塩水と濃い塩水に相分離したりすることによって、いろいろな組成の熱水が出来ます。それから、場所によっては地下に熱水だまりがあることも確認されています。そこで、硬石膏の沈殿物により熱水だまりができるようすの数値シミュレーションをしました (図4)。

(3) 表面張力関連現象

地球科学と直接関係はないのですが、表面張力が巨視的な運動を引き起こす興味深い現象を発見しました。

図3 外核のロール状流れの影響で、内核の中には赤道から極へ向かうような流れができると考えられる。外核に図のような流れがあると、赤道方向に熱が奪われる。そうすると内核は赤道方向に成長する。ところが重力があるために内核内には球に戻ろうとするような流れが出来る。

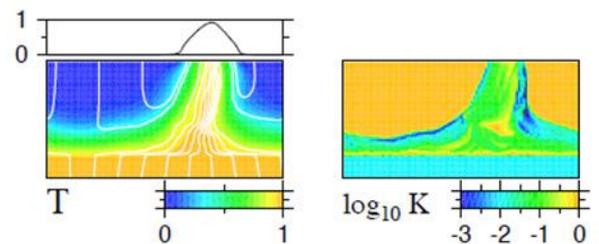


図4 海底熱水循環のシミュレーションで硬石膏の沈殿物によって熱水だまりができたようす。左の図の色は温度分布、白い線は流線である。左上のグラフは海底に噴出する液体の温度を示す。右の図は、沈殿物の量を示す。青いほど沈殿物が多くなっていることを示す。

岩石循環科学 岩石から固体地球の運動を探ろう

スタッフ

教授

寅丸敦志

准教授

池田 剛

助教

宮本知治

固体地球の多くの部分を構成している岩石は、地球の長い歴史の中でさまざまな運動を経験してきました。その運動をいろいろな手法を用いて理解し、固体地球の営みの背後に隠されている普遍的法則性を見つけ出すのが私たちの研究室の目的です。研究においては、従来の手法や考え方にとらわれない手法の開発、モデルや考え方の提出、天然から新しい法則性を示唆する事実を発見することが大変重要であると考えており、このことを意識した研究・教育を行っています。

(1) 火山噴火メカニズムの研究

火山噴火は、マントル中でのマグマの発生・集積・移動過程、結晶化や対流などのマグマだまり過程、マグマの地殻内での上昇の結果起こる地表面現象です。火山噴火を理解するためには、こうしたマグマが関与するあらゆる過程を理解する必要がありますが、本研究分野では主として次の研究を行っています。

- ・天然から採取した軽石や溶岩、マグマだまりの化石である深成岩など火成岩の物質科学的分析をおこない、得られた化学組成や形態学的データを解釈し、火道内部の上昇速度やマグマの冷却過程などマグマの運動を推定します。

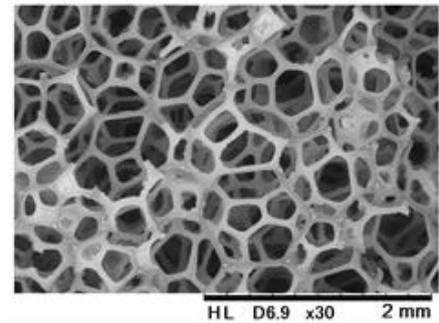
- ・物質科学分析の基礎となるマグマの結晶化と発泡過程の相変化カイネティックスを研究しています。これは未解決な部分が多く、計算機シミュレーションや室内実験によって理解を確かなものにしていきます。

- ・気泡や結晶を含むマグマは多相流体と呼ばれ、複雑な性質を示し、噴火現象の多様性と密接に関係しています。この多相流体の流体力学的振る舞いを理解するために計算機シミュレーションやアナログ実験(マグマと似た振る舞いをする取り扱いやすい物質用いた実験)を行って

- ・以上のアプローチを総合して、噴火している火山の地下で何が起きているか理解していきます。さらには地表で見られる多様な噴火様式や噴火の時間的推移を支配している要因を特定し、噴火予測の基礎を確立することを目指しています。

(2) 岩石パターンの研究

天然にはさまざまな岩石パターンが存在します。例えば、マグマの冷却固結による柱状節理やリーゼガングリングと呼ばれる反応と拡散によって生じる縞状パター



低粘性の玄武岩質マグマが発泡した結果にできた軽石(ハワイ)。



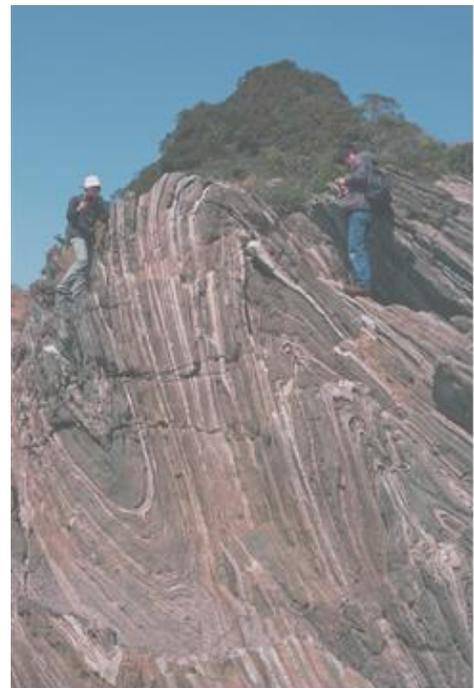
岩床に見られる柱状節理と縞状構造(佐渡島)。縞の間隔は等比数列に従う。

ン、流動変形による墨流しのような構造です。また、多結晶体が織り成す岩石組織もパターンの一つです。これらの岩石パターンの形成過程については理解が遅れており、本研究分野では天然から情報を抽出する記載的研究はもとより、計算機シミュレーションや室内実験を用いて、その形成過程について実証的研究を行っています。

(3) 固体地球の流動と化学反応のカップリング

古来より不動の象徴と詠まれてきた大地も、20世紀後半には年間数センチメートルの単位で相対運動していることが明らかになりました。平行運動でなく相対運動であるということは、固体地球が伸びたり縮んだりしているということです。浅所においてはその歪みを断層という岩石の脆性破壊が担っていますが、深所では塑性変形が卓越しています。塑性変形する岩石では、鉱物どうしの化学反応や流体と岩石の相互作用などの様々な素過程が、岩石組織を形成していきます。

当研究室では、過去の深所で作られた岩石（変形岩、変成岩）を対象として、深所で実現されていた温度、圧力などといった状態量、およびそこで支配していた素過程を明らかにすることを目的としています。



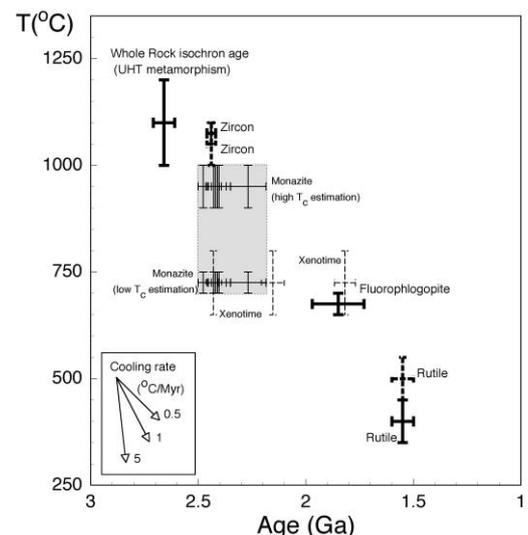
岩石の褶曲 長崎県西彼杵

(4) 岩石の成因と履歴の解明

岩石は主要 10 元素とその他の微量元素から構成されます。その量比には規則性があり、その規則性は岩石を構成する鉱物の種類と量比に、そして岩石の成因に関係します。すなわち、対象が火成岩ならば起源となるマンツルの違いやその後の分化の過程が岩石の化学組成を特徴づけますし、変成岩ならば変成作用における物質移動・同位体均質化の過程が組成的特徴として残っています。いずれも地下深部における現象で直接観察することが出来ませんが、それらを解明するために岩石を元素レベルに解像して目で見るのです。そして岩石が経験した事象を履歴として地史を編むのです。

岩体の地史、そして地球の歴史を解明するためには、それぞれの現象が何時起こったのかも重要な情報になります。そのため放射性核種の崩壊を利用した年代測定を行う必要もあります。一連の岩石の組成変化から岩体の成長の様子を、そして年代測定で岩体形成の時期を特定して、履歴を明らかにするのです。

岩石成因を考察する上で、岩石の組織もまた重要な情報源です。分析値は、様々な情報を持った岩石の初生的特徴を定量化した結果ですので、分析の際に数値では表現できない情報を消去しています。岩石が成長した過程を残す組織、そしてその結果である組成、その両者を有効に矛盾無く体系化することで岩石成因の真実を理解できるのです。



東南極ナピア岩体ワードヒルズにおける被熱履歴。始生代の地殻の最高到達温度が 10 億年かけて低下している様子がわかる。

地層記録から地球史・地球環境・テクトニクスを解読する

スタッフ

准教授 清川昌一

地層は、地球表層部で生じたさまざまな環境変動を記録する最も優れたレコーダーです。地球表層部には、さまざまな周期で、テクトニクスや気候変動、また隕石衝突などのイベントを反映した地層が形成されます。これには、断層や褶曲などの変形構造と共に、海水準や生物多様性の変動が、堆積サイクル、碎屑物の組成変化、含まれる化石遺骸の記録として地層に保存されます。本研究分野の研究は、浮遊性微化石や同位体を用いた地層年代の決定、堆積造構環境を明らかにするための堆積相・変形相データの収集、碎屑物の組成の解析などを通して、地層中に残された変動記録を高い精度で解読し、地球表層部の進化過程を研究します。

研究の対象となる地域には、国内の古～新生界はもとより、海外の先カンブリア時代の地層を始め、様々な地域と時代を含みます。本分野では、地層記録から地球史を明らかにするために、以下の様な研究を行っています。

(1) 失われた海洋底の環境記録

地球表層の7割は海洋地殻からできている、しかしプレートの沈み込みのために、1.8億年以前の海底環境を紐解くには、陸上に残された海洋底の記録を見つけ出す必要がある。日本列島には、付加体の一部として、海洋底起源地層が残されている。この失われた海洋底記録について、詳細な地質調査と年代情報を決める事で、失われた古海洋の地球環境記録を明らかにし、汎世界的な地球環境変動の解明を目指しています。

中生代：温暖化海洋の環境復元**古生代：パンサラッサ海洋の復元****新新生代：スノーボールアース時代****中生代：安定化大陸時代****古生代：大酸化事変****太古代：大陸の形成と酸素濃度上昇史**

調査場所：オーストラリア、カナダ、南アフリカ、ガーナ、エジプト、ブラジル、東チモール、日本列島各地 etc.

太古代 原始海洋：細菌の仲間のシアノバクテリアの活動により酸素の供給が始まりました。酸素は、原始海洋中に大量のイオンとして含まれていた鉄を酸化させ、太古代の海洋底に縞状鉄鉱床(BIF)を形成しました。BIFの出現は、地球の原始海洋での大きな変化を示します。

BIFがどのような海洋環境下とメカニズムで生成するのか、などはまだ十分に明らかではありません。この分野では、当時の原始地球環境が地層記録としても最もよく保存されているオーストラリア西部のピルバラ・クレバビル地域(図

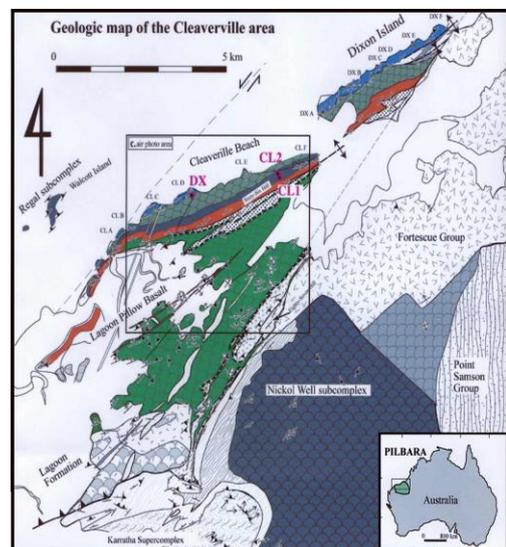


図1 オーストラリア西部クレバビル地域の太古代の地質図。

太古代のコマチアイト質海洋底玄武岩(緑色)の上位に縞状鉄鉱層(BIF:赤色)や黒色チャート層(暗灰色)が重なる。Kiyokawa & Taira (1998)を簡略化して示す。

1) やアフリカ、バーバートン帯が調査地域である。

原生代 海洋環境： 原生代は大陸の安定・分裂の時代になります。初期には酸素濃度上昇事象がおこり、海洋表層では生物が発生、海底はその分解により酸素が奪われ、無酸素でより硫化物に富むユーキシニック海洋になると言われています。大陸分裂時には大プルーム活動がおこり、ロディニアなどの超大陸の形成分裂もおこります。スノーボールアース事件も、地球表層環境の暴走事件として不安定な地球環境の記録を残しています。海底地層はこれらの記録が唯一保存されているタイムカプセルであり、これらの記録をいろいろな手法を使って、解きほぐしていきます。

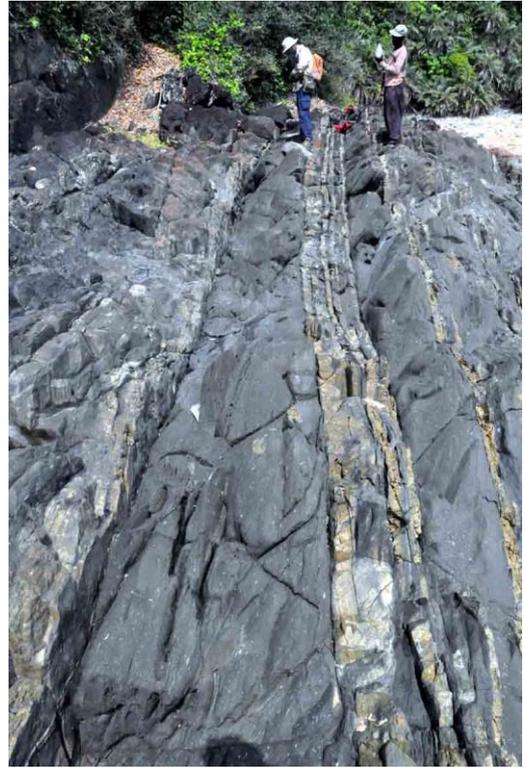


図2 ガーナ 23 億年前の海底堆積層の分布状況。

(2) 現在進行形の地層形成記録

鉄沈殿 (薩摩硫黄島・鬼界カルデラ)

7300 年前に起こった巨大カルデラ噴火 (鬼界カルデラ) の痕跡について、海洋調査をもとに行っており、海底地形・音波探査により海底に埋もれているカルデラ噴火史を明らかにし、カルデラ噴火の周期やそれぞれの規模を決定し、将来の予知に役立てる。

また、カルデラ周辺の現在の地質現象に注目し、1) 鉄沈殿の現世のアナロジーである鹿児島県硫黄島の海底火山活動域において a) 鉄沈殿メカニズム：熱水活動の長期観測・気象条件などとのリンクによる沈殿作用の解明、b) 熱水活動と生物活動：チムニーマウンドでのバクテリアの生物活動の解明、c) 野外証拠の収集と採集した試料の地球化学的分析を通して、原始海洋環境の復元と考察、d) 酸化海洋と生物活動：硫黄島周辺における強酸性温泉水の酸性海洋の生物活動の長期調査から、温暖化にむけての海洋システムの変化予測を試みる。



図3 現在の鉄沈殿場：鹿児島県薩摩硫黄島 (鬼界カルデラの外輪山が陸上にみられる。酸性温泉が流出し、海洋が酸性化している。

人間活動による土地利用や大気組成の改変は、地球環境変動に顕著な影響を与えるようになっており、新しい地質年代として人類の時代を意味する **Anthropocene** が提案されるまでに至っています。変わりゆく地球環境をモニターするため精力的な観測が行われていますが、地球の気候や環境は観測記録よりも長い時間スケールで変化することが知られています。人間活動の影響がない自然の地球環境変動の実態を理解するためには、過去の気候や環境の情報を地質記録から読み解くことが有効な方法です。本研究分野では、主に海洋や湖沼の堆積物から新生代の地球環境変動を復元する古環境研究を行っています。

(1) 環境レコーダーとしての堆積物と微化石

長い時間をかけて降り積もった海底や湖底の堆積物は、過去の地球環境変動を記録する天然のレコーダーです（図 1）。堆積物中には、微化石と呼ばれる肉眼では観察できないほどの小さなプランクトンの化石が豊富に含まれています（図 2）。これら微化石を分類し、群集組成変化を丹念に調べたり化学分析を行ったりすることで、彼らが棲息していた当時の環境や気候の変動史を解読する手がかりが得られます。

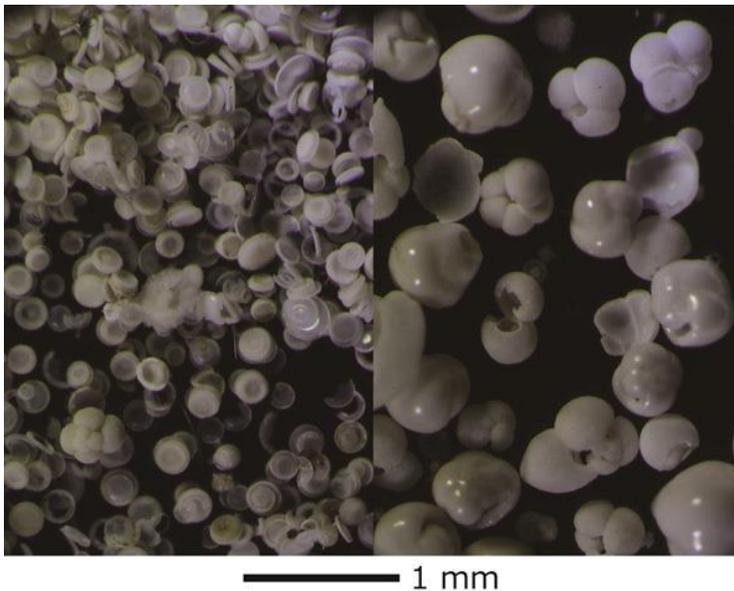


図 2. (左)珪藻殻（ケイ酸塩）に富む堆積物と、
(右)有孔虫殻（炭酸カルシウム）に富む堆積物



図 1. 九州の南東 400 km に位置する九州 - パラオ海嶺北部で採取された過去 15 万年分の堆積物（長さ 460 cm）。巨大噴火による火山灰層がいくつか見られる。

(2) 湖沼や湿原における古環境研究

湖沼や泥炭地の堆積物から、古環境の変動に関する多くの情報を得ることができます。堆積速度が速く、高解像度の環境復元が可能なことから、特に、1000年以内の短い時間スケールでの変動を解明することに適しています。津波、地球規模の温暖化、天然林の消失、砂漠の拡大など、人間生活に関わる重要な問題について、環境と人間活動との関わりの変遷を考察し、そして今後の将来予測のための重要な基礎データを導くことができます。



図3. 三方湖における調査風景

(3) 海洋における古環境研究

深海底は陸上や浅海と比べて環境が安定しているため、長期間にわたり連続的に堆積物が堆積しやすいという特徴があります。このため1000年から数万年スケールを中心に新生代の環境変動を復元するのに適しています。深海底堆積物を採取するためには、研究船を用いた大掛かりな調査が必要となります。そこで、国内外の研究者とチームを組み、協力して海底堆積物を採取します。得られた試料は、共同作業で基礎データを取った後、各研究室に分配し、それぞれの得意とする分析を行います。当研究室では、主に珪質微化石群集（放散虫・珪藻・珪質鞭毛藻）や堆積物の主要化学成分、および有孔虫殻の安定同位体比分析を行っています。より正確な過去の海洋環境復元像を得るため、研究チームのメンバーが様々な分析データを持ち寄り、多方面からデータの整合性を検討します。このような共同研究が古海洋研究の大きな特徴です（図4）。

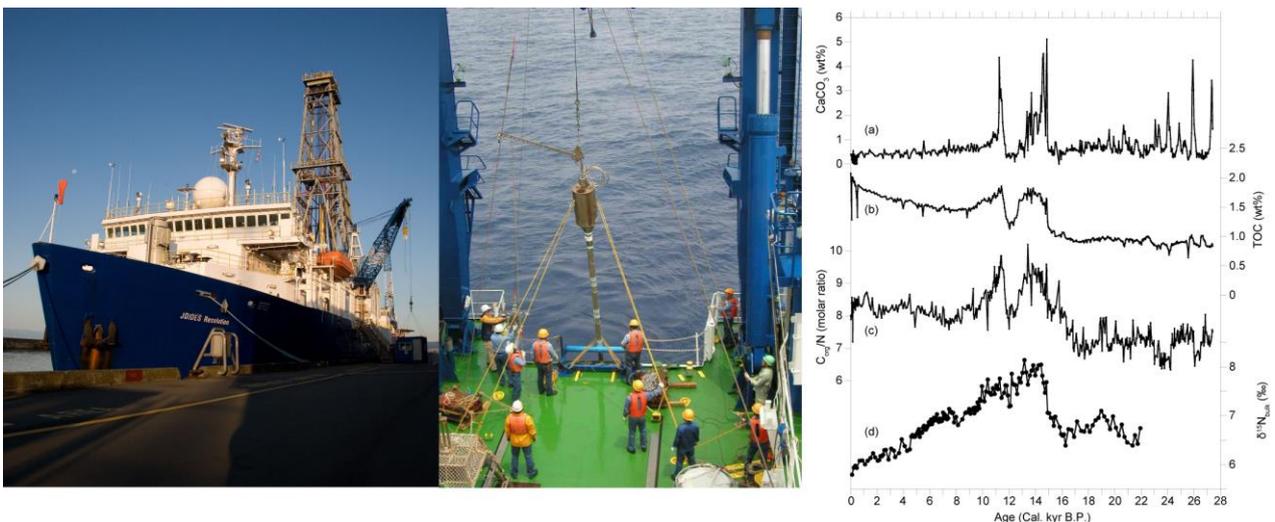


図4. (左) 掘削船 JOIDES Resolution 号、(中央) ピストンコアによる海底堆積物採取の様子、(右) 海底堆積物の分析データの例

観測地震・火山学 地震発生・火山噴火のメカニズムの解明

スタッフ

教授 清水 洋

准教授 松本 聡・松島 健

相澤広記

観測地震・火山学研究分野の主たる研究活動拠点は、長崎県島原市にある地震火山観測研究センターです。本研究分野の学生は、原則として修士課程1年までは伊都キャンパスで指導を受けますが、本人の研究テーマによっては修士課程2年から島原市に在住して研究することになります。

地震火山観測研究センターは国が策定する地震予知・火山噴火予知計画に基づいて全国10の国立大学内に設立された観測・研究・教育のための施設の1つです(図1)。

本研究分野では、地震予知・火山噴火予知の基礎となる、地震発生・火山噴火のメカニズムの解明を様々な手法を用いて研究しています(図2)。具体的には以下のような研究を行っています。

(1) 九州の地震活動と地下構造

地殻内の地震活動は別府から雲仙に至る別府-島原地溝帯に沿って活発です。その震源メカニズムはおよそ南-北方向に伸張する軸をもち、この地域で起こる地震が南北に引っ張られて生じていることを示しています。また別府-島原地溝帯の西端にある雲仙地溝は年間約1.4cmずつ南北に伸びていることが地殻変動データから分かっています。九州東方の日向灘から九州内陸の深部にかけては、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う地震が観測されます。フィリピン海プレートは、九重、阿蘇、霧島、桜島などの火山列下では100-150kmの深さに達しています。

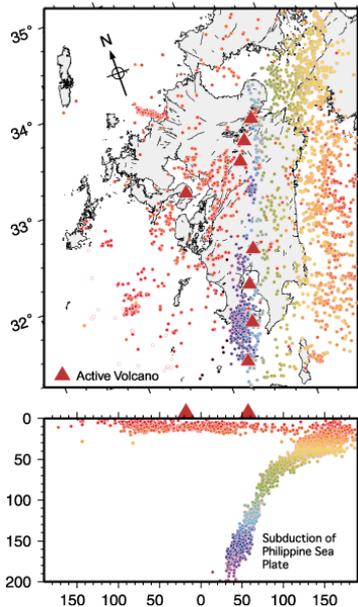


図3九州地区で発生した地震の分布

深さ20kmでは活火山に沿って低速度域が見られます。深さ50kmでは九州東岸の沖に沈み込むフィリピン海プレートに対応した高速度域が、九州東岸に沿って低速度域が見られます。この低速度域は蛇紋岩化したマンタルウェッジの存在を示唆しています。プレート沈み込み方向に沿った断面でも沈み込むプレートでの高速度域やマンタルウェッジでの低速度域が確認されます。

図4トモグラフィ解析による九州の地下速度構造

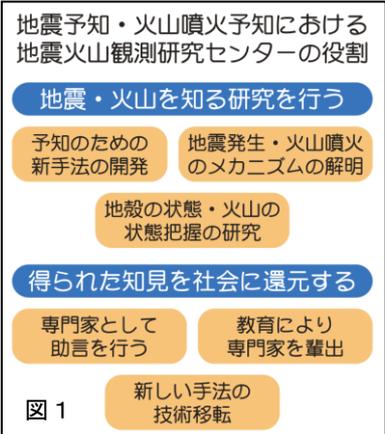


図1

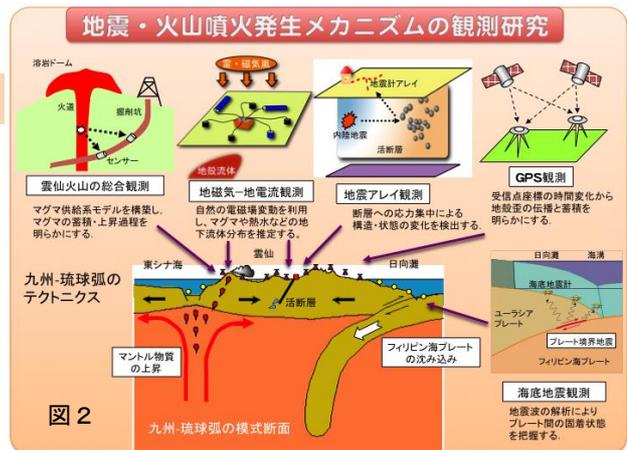
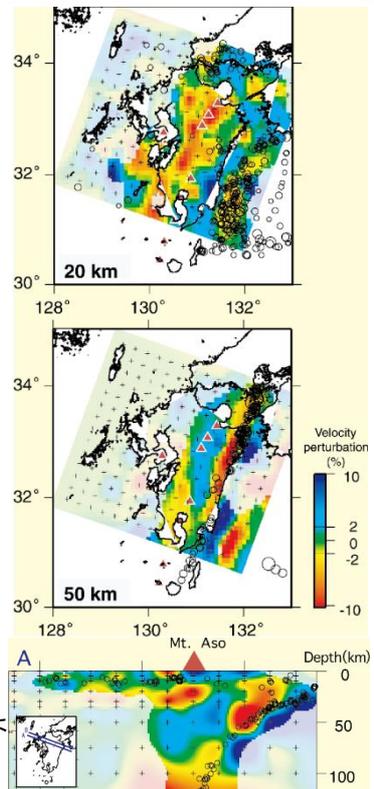


図2



(2) 雲仙火山のマグマ供給系とマグマ蓄積過程の解明

火山はひとたび噴火すると、甚大な被害をおよぼすことから、火山噴火の予知は非常に需要です。これまでの研究で、火山噴火の前兆については検知がある程度可能になりつつあります。しかし、マグマ供給系（マグマ溜まりや火道などの位置・形状・物性）やマグマ上昇プロセスや蓄積率（マグマの収支）に未解明な点が多いため、確度の高い予知は容易ではありません。

本センターでは、地震や地殻変動の観測データから1990年から95年にかけて活動した雲仙火山のマグマ供給系の高解像度イメージングとモデル化を行っています。そして再びマグマの蓄積期に入ったと考えられる雲仙火山深部のマグマ供給率を推定し、次の雲仙火山噴火に至る準備過程の解明を目標としています。

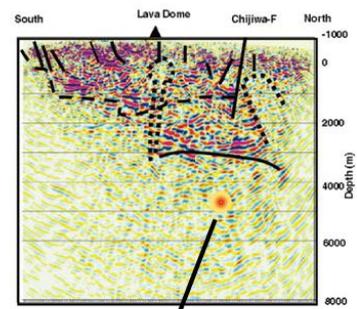
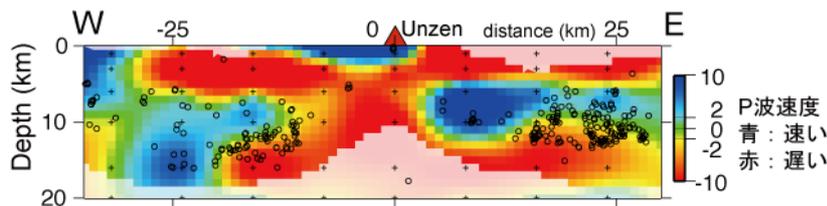


図5 反射体イメージング

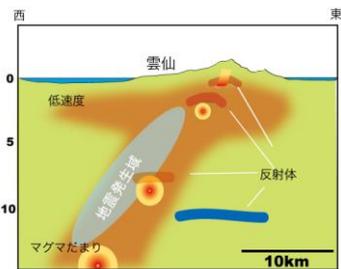


図6 雲仙火山直下の構造モデル

図7 地震波速度トモグラフィ結果

(3) 2011年霧島火山・新燃岳噴火の観測研究

九州南部の霧島火山の新燃岳は2011年1月、52年ぶりに爆発的噴火を起こし、本格的なマグマ噴火が始まりました。地下から湧き出たマグマは火口を満たし、しばしば大きな空振をともなう爆発を起こしました。

本センターでは地震および地殻変動の観測機器を多数設置して調査しています。また岩石循環科学研究分野と連携して、火山灰・噴石のサンプリングを行っています。

火口から約3km離れた新潟地区に設置された地震計アレイは25台の地震計からなる観測システムで、地下のレーダーのように微小な地震波を検知し、火山性地震や微動の到来方向や深さを把握することができます。

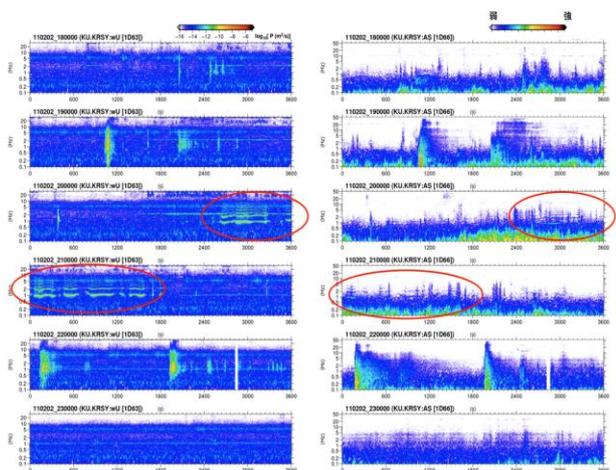
また地震計・空振計のデータの一部は気象庁や大学合同観測班に即時伝送され、火山噴火状況の把握や予測に役立てられています。観測により得られた研究結果を火山噴火予知連絡会に逐次報告するとともに、マスコミやホームページを通して一般に調査成果を還元しています。



図8 活発な噴煙を上げる新燃岳(2011年1月28日)

図9 新潟観測点で記録された地震・空振動のランニングスペクトル解析

図10 地震観測装置



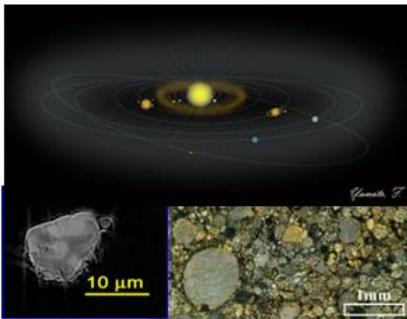
広帯域地震計(上下動)

空振計

太陽惑星系物質科学

専門分野

- 惑星系形成進化学
- 有機宇宙地球化学
- 無機生物圏地球化学
- 地球惑星物質科学
- 地球外物質学



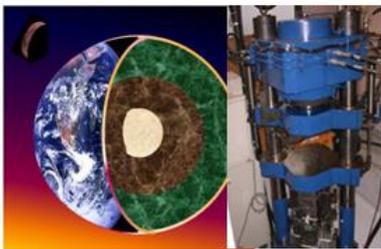
隕石・宇宙塵
惑星形成
生命起源物質



初期地球
極限物性
天体内部



地球史と生物環境の
起源と進化



地球環境・海洋
資源エネルギー



太陽惑星系物質科学 専門分野

各研究グループの研究内容の概略

研究グループ	研究内容
惑星系形成進化学	理論物理学的手法, 数値シミュレーション及び地球外物質(隕石)の分析による太陽系及び系外惑星系の起源・進化の研究
有機宇宙地球化学	有機物の前生命的合成や隕石有機物の解析による化学進化, 古細菌の生物有機地球化学, 有機物の同位体地球化学と生命環境
無機生物圏地球化学	地球表層の元素の循環と生物の関与に関する地球化学的研究, 無機元素の挙動と濃集過程に関する研究
地球惑星物質科学	地球惑星を構成する岩石鉱物の生成環境, 形成機構, 微細構造, 高温高圧物性, 内部構造形成素過程の実験物質科学的研究
地球外物質学	隕石・宇宙塵・探査機による回収資料の鉱物学的手法を用いた研究, およびその結果に基づいた太陽系形成過程や月・小惑星の表面での物質進化過程の研究

各研究グループのスタッフ

研究グループ	教授	准教授	助教
惑星系形成進化学	*関谷 実	町田 正博	岡崎 隆司
有機宇宙地球化学	奈良岡 浩	山内 敬明	北島富美雄
無機生物圏地球化学	赤木 右	石橋純一郎	
地球惑星物質科学		久保 友明	*上原誠一郎
地球外物質学	◆野口 高明		

*2020年3月末日定年退職予定

◆ 基幹教育院所属

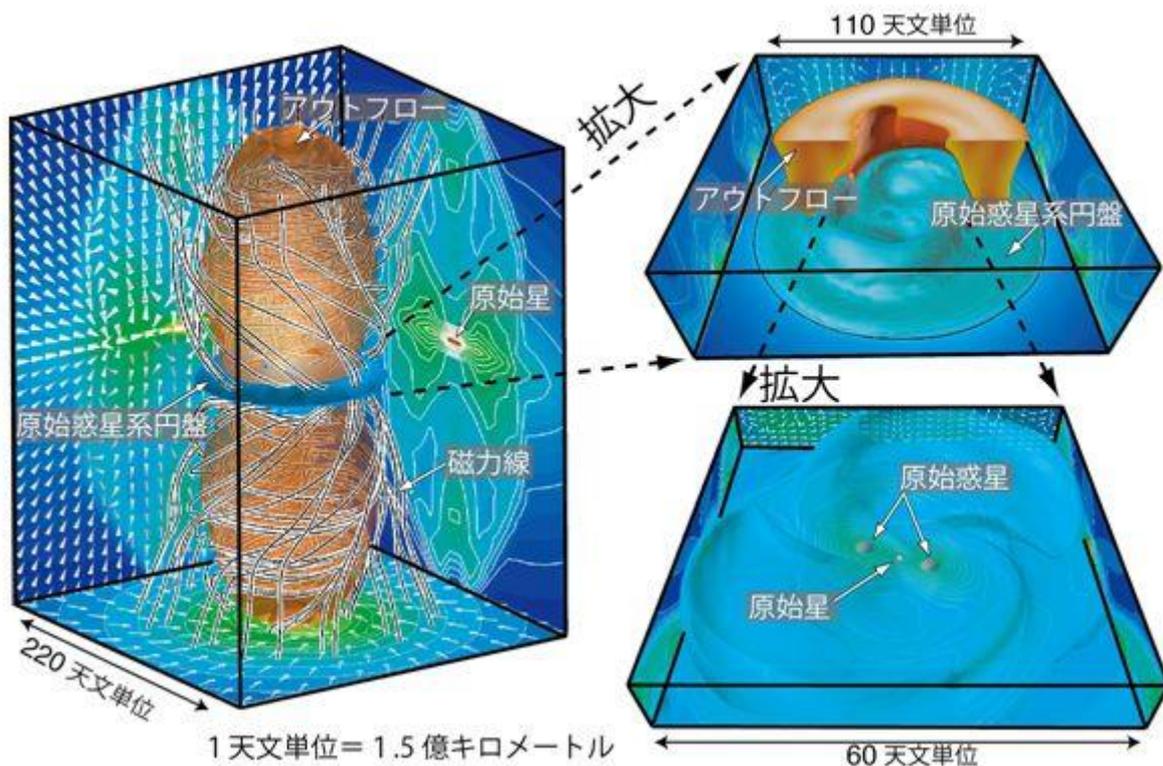
スタッフ 教授 関谷 実* (理論系)
 准教授 町田 正博 (理論系)
 助教 岡崎 隆司 (実験系)

*2020年3月末日 定年退職予定

太陽系は、太陽という中心星のまわりを公転する惑星、準惑星、小惑星、太陽系外縁天体などや、惑星のまわりを公転する衛星などから成るシステムです。最近の天文観測の発展により、太陽系以外にも中心星のまわりを惑星が公転する惑星系が多数あることが分かってきました。当研究分野では、惑星系の形成・進化過程を解明することを目指して、以下のような研究を行っています。

(1) 分子雲の中で星や惑星が誕生する過程の数値シミュレーションによる研究

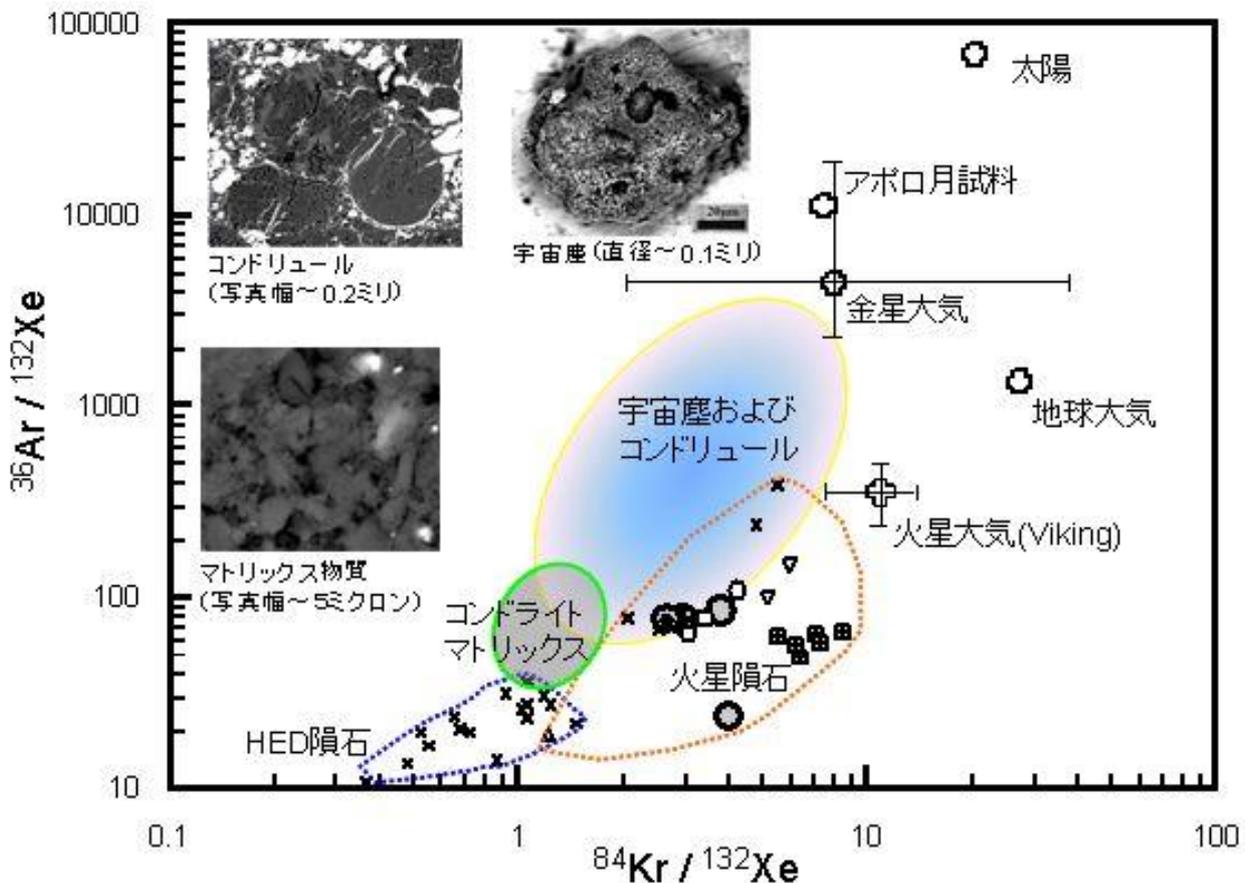
星や惑星系は、分子雲が自分自身の重力によって収縮することにより、形成されます。下の図は、その過程をスーパーコンピュータで数値シミュレーションした結果を示しています。左側の図で、白と黒の線は磁力線を、オレンジ色の部分は原始星アウトフローを示しています。星は誕生する瞬間に、磁場の力(ローレンツ力)によってガスを放出します。このガスの速度は、時速10万キロメートル以上です。図のオレンジ色の部分が放出されたガスに対応します。また、右下の図から円盤の中で木星のようなガス惑星が2つ誕生しているのが分かります。



このように分子雲コアの中で星が誕生し、星の周りに原始惑星系円盤が形成し、さらにその円盤中で惑星が生まれるまでを計算し、様々な惑星系がどのように出来るのかを説明しています。また、南米チリのALMA望遠鏡の観測データとシミュレーションのデータを比較することによって星や惑星の形成・進化を説明する研究も行っています。

(2) 地球外物質の元素・同位体分析による実験的研究

地球外物質の化学組成や同位体組成は多様性に富み、これらは物質の起源や進化過程を知る手がかりとなります。本研究室では微量（原子数で5000個あれば検出可能）の希ガス同位体分析が可能な世界でも珍しい研究室です。これまでも探査機「はやぶさ」の回収した微粒子分析や、日本に落下した貴重な隕石の鑑定などを行ったりしています。2020年帰還予定の「はやぶさ2」探査機回収試料の分析も予定しています。



希ガス同位体は地球外物質の様々な重要な情報を我々に与えてくれます。その一例として希ガスの元素組成を示します。上図において太陽の組成は右上に位置します。太陽より左下に月の表土、宇宙塵、コンドライト隕石中のコンドリュールがあり、これらの物質には元素分別した太陽風起源の希ガスが含まれており、太陽風に晒されたことを示しています。また、玄武岩質の火星隕石には火星大気に似たガスが含まれていますが、これは火星表面で衝撃の際に大気が岩石中に混入したためです。一方、コンドリュールの隙間を埋める微粒子の集合体（マトリックス）は太陽組成に比べて重い元素に富む組成を持ち、これは太陽系星雲起源と思われるガスを含んでいるためです。マトリックス

には太陽系物質以外にも、太陽系ができる前から存在した他の恒星起源（赤色巨星や超新星）の微粒子（プレソーラーグレイン）もわずかながら存在しています。プレソーラーグレインは化学組成などでは太陽系物質と見分けることができませんが、同位体組成が太陽系物質とは全く異なるため、同位体分析によって始めて太陽系外であることが証明できます。ネオンやキセノンといった希ガス同位体はプレソーラーグレインの発見に役立てられてきました。

上記の地球外物質の起源や進化過程を解明するには、天体形成した年代や加熱を受けた時期など、「いつ」という年代情報が重要です。希ガス同位体には「時計」として用いることのできる様々な同位体が存在します。例えば、天体が形成した時期を反映するXeを使った消滅核種による年代（I-Xe年代、Pu-Xe年代）や天体同士の衝突時期を示すガス損失年代（K-Ar年代）、隕石が小惑星などの元々の天体から放出されて地球に落下するまでに宇宙空間を浮遊していた期間を表す宇宙線照射年代（ ^{21}Ne 年代、Kr-Kr年代）などがあります。

このように、希ガスや他の元素の同位体組成および元素組成を手がかりにして、物質の起源、進化過程、年代情報をすべて組み合わせて、地球外物質の進化過程解明を目指しています。例えば、太陽系の材料物質がどのような恒星からいつごろ放出されたものなのか、小惑星や微惑星形成の順番や形成領域、惑星大気進化過程など、宇宙や太陽系の進化に関する多様な情報を読み取ろうとしています。

有機宇宙地球化学 宇宙・地球環境における有機物の存在と役割

スタッフ

教授

奈良岡 浩

准教授

山内 敬明

助教

北島 富美雄

宇宙において最も存在度の高い元素である水素、酸素、炭素、窒素などは地球生命の基本骨格をなす有機化合物を構成する元素です。星間空間から隕石・宇宙塵などの地球外物質にも有機分子は存在し、有機物からどのように生命が誕生したかは大きな謎です。また、誕生した生命の活動は地球表層環境を大きく変えてきました。例えば、光合成などによって作られた有機物が堆積物中に埋没することにより、大気には酸素が蓄積されました。一方、堆積物や様々な年代の堆積岩中には地球史における生命活動の記録が刻まれており、生物が作り出したバイオマーカーと呼ばれる有機分子化石が生命と地球環境の相互作用の謎解きをさせてくれます。

有機物は炭素の化学結合の多様性から、実に様々な化合物を形成します。また、その構成する炭素、水素、酸素、窒素は安定同位体 ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, D/H, $^{18}\text{O}/^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) を持ち、それらの同位体比は起源 (source) と物理・化学および生物的過程 (process) により変動します。よって、自然界に存在する様々な有機物の構造と同位体組成を研究することにより、宇宙・地球環境における化合物の成り立ちや生命活動を解析することができ、さらに地球史における環境変遷なども知るすることができます。

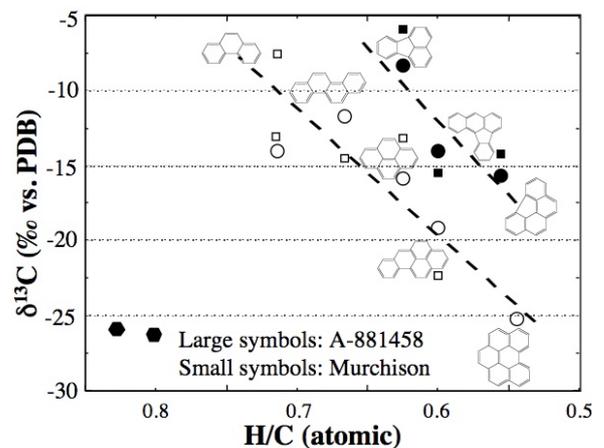


図1 炭素質隕石中の PAHs の炭素同位体比 (地球上では見られない値を持ち、2つの反応系列がある)

(1) 隕石中の有機化合物の起源と生成過程に関する研究

地球外物質で最大約 5% の有機物を含んでいる炭素質隕石があります。マーチソン炭素質隕石や南極産炭素質隕石にはアミノ酸やカルボン酸、多環芳香族炭化水素 (PAHs) などの有機化合物が検出され、その存在状態 (例えば、アミノ酸の左右構造の優位性) や安定同位体比を調べることで、有機物の起源や生成過程を明らかにします (図 1)。また、微小領域のラマンスペクトルや赤外吸収スペクトルなどの顕微分光の手法を用いることにより微小領域の炭素質物質の同定が可能となってきました (図 2)。

室内におけるシミュレーション実験を通して隕石母天体などで起こった反応や条件などの考察も行います。また、地球外物質に含まれる微量有機物の新たな分析法の開発も行っています。

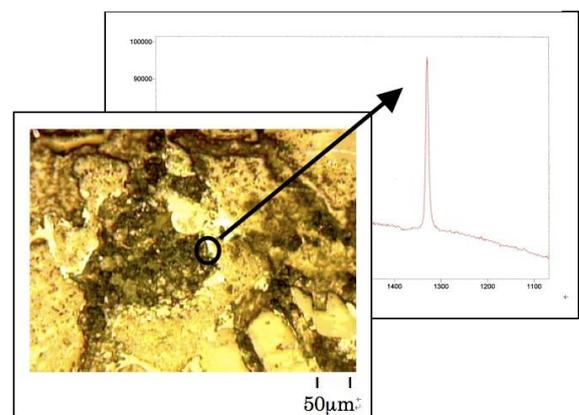


図2 Kenna 隕石 (ユレイライト) 中のダイヤモンドの顕微ラマンスペクトル

(2) 様々な年代の堆積物に含まれるバイオマーカーの分析と地球環境との関係

地球史の古い堆積岩から現在の海洋や湖沼の堆積物には生物種に特有な指標有機分子(バイオマーカー)が含まれています。特にステランやホパン(図3)はそれぞれ真核生物と真正細菌の活動を表す指標とされ、生物進化の年代を決めるためにも用いられています。バイオマーカーの安定同位体比は生物の代謝と強く結びついており、地球の古環境(温度や酸化還元状態など)の変遷や水圏における栄養塩などに関連した一次生産などについて教えてください。

また、統合国際深海掘削計画などによって採取した深海掘削堆積物を分析することによって、地球表層に匹敵すると言われる深層生物圏の研究や、ガスハイドレートと呼ばれる炭化水素ガスと水からなる氷が形成される際の微生物活動の研究も行っています。

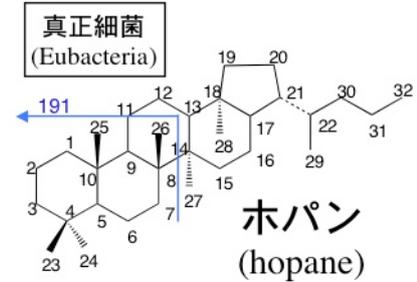
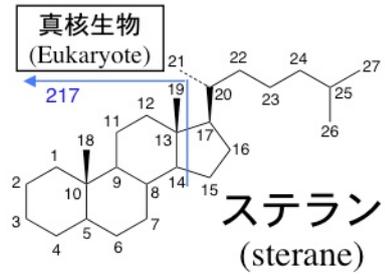


図3 真核生物と真正細菌にそれぞれ特有なステランとホパンの化学構造

(3) 古細菌の膜脂質の存在形態と地球環境との関連に関する研究

地球上の温泉や高塩分度などの極限環境にも様々な微生物活動があることがわかってきました。これらは古細菌と呼ばれる生物界をなしています。古細菌は原始生命との関係が深い微生物とされ、極限環境(熱や強い酸性、高い塩分濃度)に強い生体膜構造を持っています(図4)。

古細菌について、その姿を微生物側から研究する(代謝や極限耐性の研究)一方で、この膜由来の有機物でのフィールドでの探査と成分分析や、古細菌の生態、生理、そして地球上での活動状況を調べ、環境との関係を探ることを行っています。



生育至適pHは 2~3! (左) 培地のみ (右) 接種8日後

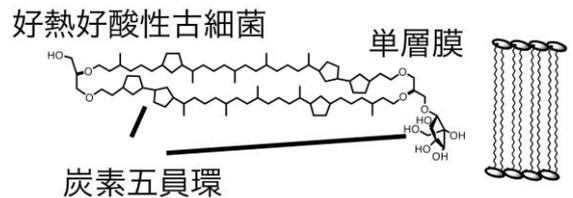


図4 好熱好酸性古細菌の培養と膜脂質

(4) 化学進化と生命の起源に関わる実験的研究

地球史45億年の中で生命は38-35億年前の比較的早い時期に誕生したと考えられています。生物活動の痕跡をどのようにして評価かの分析・解析手法を開発することは重要なことです。また、地球初期におこった化学進化(図5)によって、生命誕生に必要な有機分子の片手構造(例えば、L-アミノ酸やD-糖)の構築や膜構造形成がいかに起こったかも研究します。

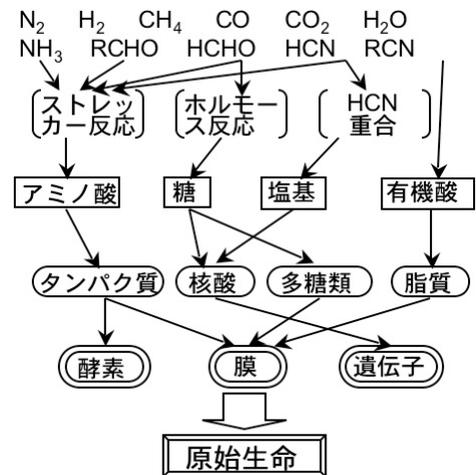


図5 生命誕生に至る化学進化仮説

無機生物圏地球化学 生物と地球システムとの関係を探りたい

スタッフ

教授
准教授

赤木 右
石橋純一郎

地球は太陽系の中で唯一生物が繁茂している惑星です。地球は生物の存在によってどのような影響を受けているのでしょうか。その答えは、生物と共存しながら生きて行かなければならない人間にとって、極めて重要かもしれません。地球上の物質の動きや反応には度々生物が関わります。生物が元素の動きや反応に関わることによって、地球全体にどのような影響を及ぼすか、その影響を探ります。また、様々な元素が集まり、資源を形成するまでの過程にも生物が関わっています。

(1) 海洋生物の役割と地球環境変化との関係

海洋で最も第一次生産量の大きなプランクトンはケイ藻です。ケイ藻は、海洋表面で光を浴びて、海水から溶存ケイ酸を吸収し、オパールを作ります。ケイ藻とそのオパールが海洋でどのような元素循環に関わっているのか、全く分かっていませんでした。

それには理由があります。ケイ藻の作るオパールが、すぐに変質したり、別の物質にまとわりついていたりするなど、化学的に極めて捉えにくい性質を持っているからです。言い換えれば、ケイ藻のオパールは、科学者の接近を妨げる分厚い障壁に守られていたのです。

この研究室での理論的な考察によって、その障壁を解決できることが分かりました。すると、意外にもケイ藻オパールは大変重要な役割を担っているプランクトンであることが次々と分かって来ました。海洋で未解決な様々な課題（海洋での元素の鉛直分布、海底資源の成因）や地球環境の様々な未解決の問題が解決されるだけでなく、将来の大気二酸化炭素の増加の問題をも、解決する可能性を持っています。化学的に見ても、このオパールの性質は興味深く、ケイ酸錯体の化学という未知の領域へと誘います。

海洋生物だけではなくありません。陸上の植物も積極的に陸の構成物質を溶かし、海に運んだり、大気中の二酸化炭素循環に関わったりします。また、生物のそのような関与が生物の進化にも何らかの影響をもたらしているかも知れません。そのような観点で生物を見直し、地球のシステムの中で生物の総合的な役割を理解することにトライします。

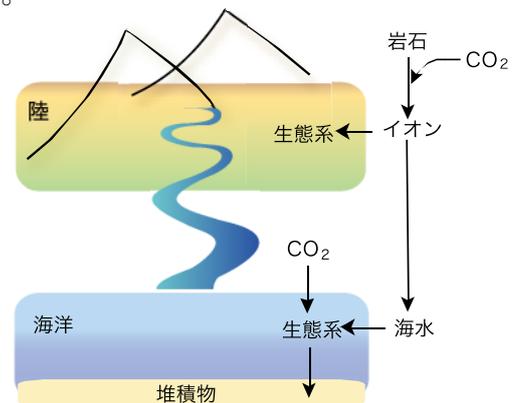


図1 地球システムにおける生物の二つの大きな役割

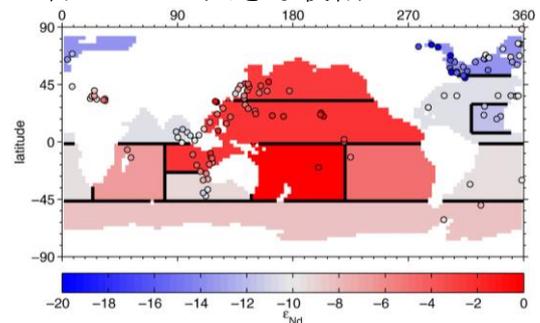


図2 海洋化学における未解決の課題の一例 ネオジムの同位体比の分布が説明されていない。Siddall ら (2008)



図3 海水ケイ酸錯体の新発見

(2) ミズゴケの蓄える水から過去の気候を知る。

ミズゴケ（写真1）は非常に珍しいいくつかの特徴を持っています。1) 過去およそ一万年にわたって堆積し、ドーム状に盛り上がった湿原を形成することがあります。2) ミズゴケは、スポンジの様に、水を吸収し、また水を保持する器官を備えています。自身の重さの20倍以上もの水を持っているのです。この水は、水素、酸素からなりますが、水素、酸素には異なる同位体があります。その同位体の割合は、気候条件によって異なるため、昔の水をミズゴケ堆積層から回収できれば、昔の気候が分かるかも知れません。その可能性を探っています。



写真1 ミズゴケ

(3) 地殻内流体に支えられた物質移動と生命の繁栄

これまで暗黒の世界と思われていた深海底にも、活発な物質の動きと生物の繁栄があることが明らかになってきました。中でも海底温泉の湧き出し口（熱水噴出孔）の周囲に見られる豊かな生物群集（写真2）の発見は、地球上の生物圏はすべて太陽エネルギーに依存しているという常識を覆すものでした。こうした生態系の一次生産者である「化学合成」微生物は、海底下を流れている熱水流体によって運ばれてくるメタンや硫化水素などの還元性物質が持つ化学エネルギーを利用して、有機物を生産し生命活動を維持しているのです。さらに最近では、こうした化学合成微生物群集は酸素が地球表層を覆う以前の原始地球において原始生命から初期進化した姿を保持するものであるという考えが提唱されており、多くの科学者の注目を集めています。



写真2 海底熱水噴出孔の周囲に発達する化学合成生態系

天然鉱物と高圧実験から固体天体内部の現象を探る

スタッフ 准教授 久保 友明
助教 上原 誠一郎*

*2020年3月末日 定年退職予定

プレート運動やマントル対流運動など固体地球惑星で起こるダイナミックな現象を理解する鍵はミクロな物質科学にあります。我々は、岩石、鉱物、隕石、氷など地球惑星を構成する物質を対象に、主に二つのアプローチによって固体天体内部で起こる様々なプロセスの解明に取り組んでいます。

一つは地球表層を構成する鉱物をナノスケールで研究する“Nano Mineralogy”です。天然の鉱物にはそれが形成された環境やプロセスに関する様々な情報が記録されています。国内外でのフィールド調査により鉱物試料を採集し、X線回折分析や電子顕微鏡観察による詳細な分析からそれらを解き明かします。

もう一つは人間が到達できない惑星内部の高圧環境を実験室に再現して研究する“High-Pressure Mineral Physics”です。扱える試料サイズは小さいですが、地球物理学的な観測事実に基づいて作業仮説を立て系統的な実験を行っていくことで、天体内部のマクロな現象を支配しているミクロな岩石プロセスに迫ることができます。

(1) Nano Mineralogy: 地球表層部での鉱物多様性の実証的解明

地球の表層部には多量の水が存在します。地球生成以来、水と岩石が反応し、鉱物の生成と変化を繰り返しています。溶液を反応場とする鉱物、特に粘土鉱物の生成と変化を明らかにし、地球表層部の進化の理解を深めることを目指します。一方で、微粒の粘土鉱物は極めて反応性に富む鉱物であり、その分布は人類の生活の場と重なり、粘土鉱物の性質を理解することは、有害物質による汚染等の環境問題や新しい機能を有する物質の創製にも寄与しています。また、地球表層は私たちが鉱物を直接手にとって観察し、採集出来る貴重なフィールドです。ここでは約5000種の鉱物が記載されていますが、まだ、未発見の新種の鉱物も残されていますので、記載鉱物学的手法による鉱物の多様性に関する研究も進めています。最新のX線回折装置と電子顕微鏡を相補的に用いて、ナノスケールにおよぶ詳細な物質研究を展開しています(図1)。

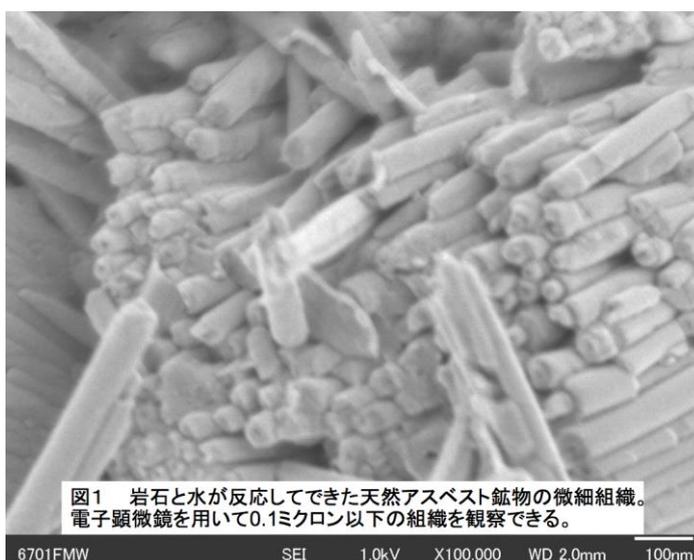


図1 岩石と水が反応してできた天然アスベスト鉱物の微細組織。電子顕微鏡を用いて0.1ミクロン以下の組織を観察できる。

(2) High-pressure Mineral Physics: 地球惑星深部で起こる相転移と流動現象の解明

岩石惑星や太陽系外縁部の氷天体内部では、岩石や氷が高密度の結晶構造に相転移して層構造が形成されるとともに、それらが固体のまま流動して熱対流運動が起こっています。我々は“Deep Rock Dynamics”をキーワードに、直接見ることのできない惑星内部の Deep な現象を高圧変形装置によって再現し、放射光 X 線を使ってその場観察する実験研究を行っています。研究対象となる Rock とは、地球深部岩石や高压鉱物、惑星氷、衝撃を受けた隕石などです。特に相転移動力学や固体流動など岩石の Dynamics に着目し、惑星内部の動的挙動を理解することを目指しています。

例えば、地球深部に沈み込んだプレートで起こる深発地震や月内部で起こる深発月震は大きな謎です。我々は高压下で岩石が相転移や部分熔融することで、変形が局所化して断層運動(つまり地震)が起こる可能性について検討しています(図2)。

また太陽系氷天体のテクトニクスや内部海の存在、系外氷惑星のマンテル対流運動に関連した惑星氷の相転移や変形実験も行っています(図3)。惑星氷はこれまでの予想以上に塑性流動しやすいことが明らかになりつつあり、極低温環境下で活発な地質活動が起こる原因と考えられます。

さらに隕石の衝撃変成作用の解明にも取り組んでいます。天体衝突によって高温高压状態が発生しますが、その時間スケールは数秒以下と短いため、隕石中には非平衡もしくは準安定な相転移がしばしば観察されません。それを実験的に再現し衝突の時間スケールを見積もることで、impactor サイズを制約することができます。このように惑星深部物質の相転移と流動現象を実験的に解明しながら、天体内部で起こる様々なダイナミック現象を解き明かす研究を行っています。

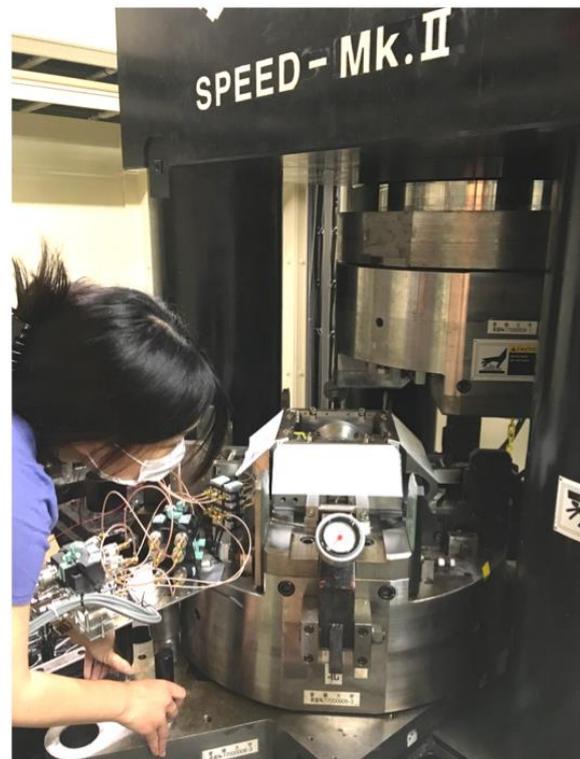


図2 放射光X線を使って高温高压下で岩石の相転移や変形挙動、断層運動などをその場観察できる実験装置

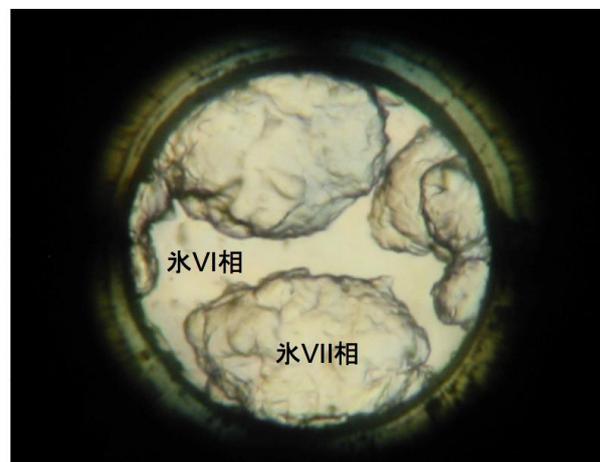


図3 大型氷天体内部の層構造形成に関わる氷のVI-VII相転移の観察(常温, 約2万気圧, 穴の直径が約300ミクロン)。

さまざまな地球外物質から太陽系の形成から現在までを調べる

スタッフ 教授 野口 高明

現在私たちはさまざまな種類の地球外物質を分析することで太陽系の形成から現在までを調べることができるようになっています。どの天体由来か分からない場合がほとんどなのが隕石や宇宙塵（大きさ 2mm 以下の地球外物質）です。一方、月、ヴィルト第 2 彗星、小惑星イトカワから持ち帰られた物質を分析することも可能になりました。私は、隕石・宇宙塵・リターンサンプルを用いて、鉱物学的視点から研究してきました。特に、近年では、以下の二つのテーマについて特に研究を進めています。

(1) 氷小天体（氷小惑星・彗星）の構成物質の解明と初期太陽系における物質移動

小惑星と彗星の違いは、天文学的には、天体から物質の放出が観測されるかどうかにもとづきます。彗星は、氷・鉱物（無機物）・有機物の混合物（汚れた雪玉）であると言われてきました。しかし、近年、小惑星と認識されていた天体から物質の放出が観測される、表面に水の氷が存在することが確認された小惑星が見つかるなど、氷を保持している氷小惑星が存在することは確実です。両者の境界はあいまいになってきています。

また、地球に衝突してくる地球外物質である隕石には、水と鉱物・有機物が反応（水質変成作用）した、CI や CM 炭素質コンドライト隕石が以前より知られています。こうした隕石の母天体（起源天体のこと）も、もともとは、氷・鉱物・有機物が集積して作られたのが、 ^{26}Al などの短寿命放射性核種の壊変熱によって天体の温度が上昇し、氷が融解したものだと考えられています。ということは、太陽系形成時には、いろいろな氷小天体があり、あるものは、氷が大規模に融解してしまい、あるものは、ほとんど融解しなかったということになります。水素の安定同位体比（水素と重水素の比）、窒素の安定同位体比（ ^{14}N と ^{15}N の比）を調べると、地球のこれらの同位体比は、上記の炭素質コンドライトに近く、彗星とは異なっているということになっています。このことは、氷小天体には、含まれている有機物や鉱物の異なるいくつかの種類があることが予想されます。そして、これら各種の氷天体起源の鉱物と有機物を調べることで、地球の有機物や水の起源を検討するのに役立つと考えられます。

私の研究室では、南極のドームふじ基地近くの表層雪に含まれる微隕石（宇宙塵の一種）の中で、特に多孔質で鉱物学的に彗星起源とされてきたものがどのような鉱物学的に多様性を持っているか研究しています。鉱物は私達で研究していますが、有機物については、広島大学の藪田先生や地惑の奈良岡先生と研究しています。また、宇宙塵が大気に高速で突入して加熱を受けると、太陽風起源の希ガスの一部は宇宙塵から放出されます。宇宙塵を段階的に加熱すると、大気圏突入時の最高温度より高い温度で希ガスが放出されるため、希ガス放出温度は大気圏突入時の最高温度の指標となります。その測定は地惑の岡崎先生と研究しています。この研究から、物質科学的に巨大惑星の軌道進化についても制約を与えられることを期待しています。

(2) 月とイトカワ表面物質の研究：大気の無い天体表面で何が起きているのか？

太陽系の大気の無い天体表面は、非常に過酷な環境に曝されています。これは単に大気がないことで昼と夜の温度差が非常に大きいというだけでなく、低エネルギーの陽子、ヘリウムイオン、電子などからなる太陽風に常に曝され、また、より高エネルギーの太陽宇宙線と銀河宇宙線にも曝されています。さらに、微小なメテオロイド（流星物質）も衝突しています。こうした過程が影響して、特に、反射スペクトルの形状変化がおこることが月では知られており、宇宙風化作用と呼ばれています。月表面の未固結な物質である月レゴリス試料の研究から、スペクトル変化は、微小なメテオロイドの衝突によって月物質のごく表面が加熱・蒸発し、それが再凝縮して形成された100ナノメートル程度の厚さの非晶質層内に形成されたナノサイズの微細な金属鉄のためであるとされています。ところが、このような再凝縮物の非晶質層中のナノサイズの微細な金属鉄は、イトカワ試料の表面にはほとんどないことが私達の研究で明らかになりました（図1）。海外の研究者は、部分的に構造が壊れているのではなく、微細に再結晶しているのだと主張しています。このことを解明するために表面付近の内部組織の研究と、太陽風起源の希ガスの打ち込まれ方をおなじイトカワ粒子で、私と岡崎さんと分析してきました。

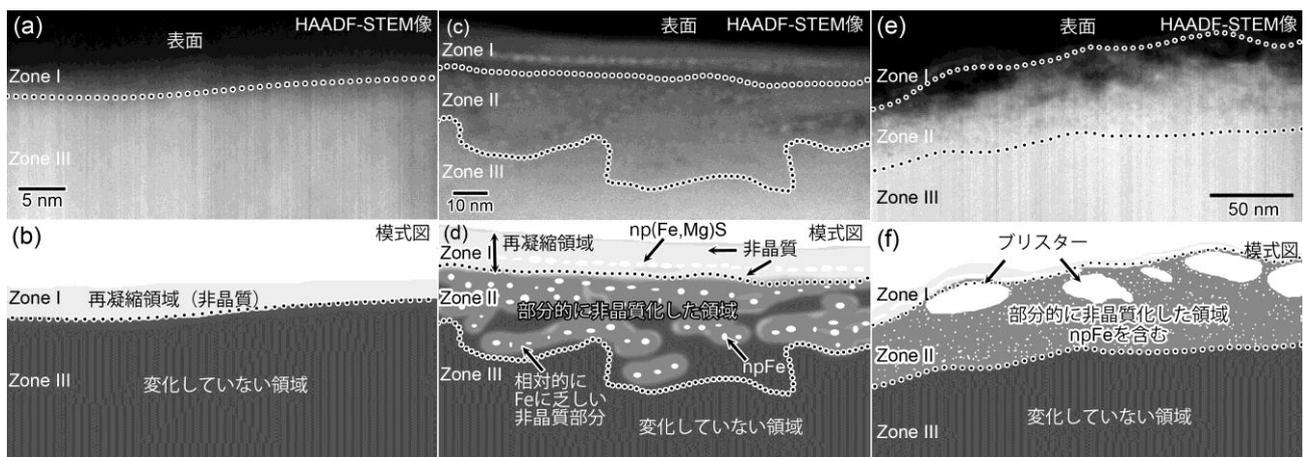


図1 イトカワから持ち帰られた粒子ごく表面に見られる3種類の組織（野口ら，2013）

上記の研究を行うことで、イトカワの微粒子の表面をよく観察することが大事であることに気がきました。そこで、月表面層の未固結な試料である、月レゴリス試料について、太陽風照射や微小なメテオロイド衝突によって試料ごく表面にどのような変化が生じるのかを、私達は調べています。

また、普段太陽からもたらされるプラズマ流の1000倍以上のエネルギーを持つ荷電粒子が放出されるできごとである、太陽フレアの痕跡をもっと丁寧に調べることで、近年注目されているスーパーフレアの痕跡が月試料に残っていないのかも探し始めています。

化石から地球の歴史と生物進化を探る

スタッフ

教授 前田 晴良

助教 伊藤 泰弘

太陽系は46億年の歴史を持っていますが、太陽系ができて数億年後には、既に現在とほぼ同様の姿になっていたと考えられています。その中で地球上の生物には約30億年の歴史があり、私たちが身の回りで普通に見る生物の祖先はおよそ6億年前まで遡ることができます。

本研究分野では、地球と生物の歴史を理解するために、さまざまな地質時代の化石生物の古生態を解明し、さらに『生物の遺骸が、なぜ化石として保存されるのか？』という根本的な疑問に答えるために、詳細な野外調査に基づく化石の古生物学的研究を行っています。また研究の基盤となる全国の標本データベース化作業も行っています。

（1）白亜系層序とアンモナイト類の研究

地球温暖化が最も進んだ白亜紀の地史を理解するためには、太平洋固有の環境や化石群が記録されている極東白亜系の全貌を明らかにする必要があります。そこで、未踏査地域を含む極東ロシアや北海道の白亜系層序と化石群を精査して層序や生物相の復元に取り組んでいます。同時に、白亜系から豊富に産するアンモナイト化石について、個体変異や個成長を考慮した生物集団の概念に基づく新しい分類学的手法を導入して分析しています。例えば、従来は2科2属4種に分類されていたものが、同一種内の二型現象であったことをつきとめるなど、その系統分類の再構築に取り組んでいます

（図1）。

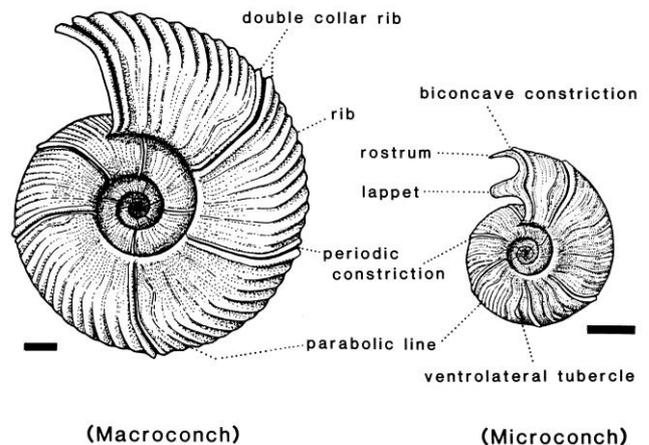


図1. *Yokoyamaoceras ishikawai* の二型

（2）タフォノミーの研究（化石鉱脈の解明）

化石の産状は情報の宝庫です。アンモナイトの化石化作用の研究（タフォノミー）を日本で最初に立ち上げ、彼らの遺骸が植物片やパミスとともに密集する掃き寄せ保存など、アンモナイトに固有な化石化メカニズムを明らかにしてきました（図2）。

さらに、普通なら腐ってしまう皮膚や筋肉までもが例外的に保存された化石（化石鉱脈）の研究にも力を入れ、眼や付属肢がついたまま立体的に保存されている古生代カンブリア紀末期（約4億9,500万年前）のオルステン化石群の成因を世界で初めて解明し

ました (図3). この分野では日本唯一の研究拠点としての役割を担っています.

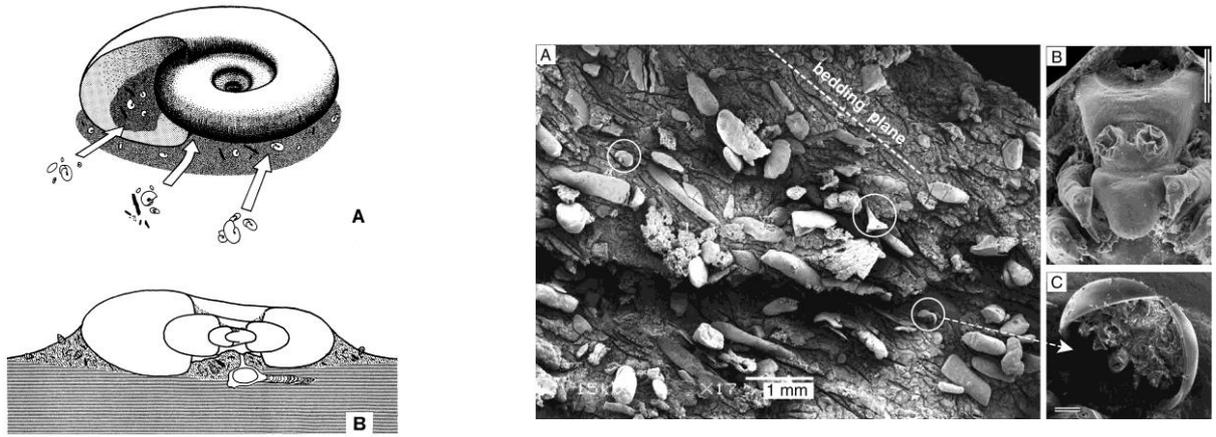


図2. アンモナイトの掃き寄せ産状. 図3. 糞粒中に保存されるオルステンの3D化石(SEPM).