



あなたが先駆者になるかもしれない

The University of Tokyo

Earth & Planetary Physics

東京大学理学部 地球惑星物理学科

ち まとい もの ことわり
地の惑、物の理

地球・惑星・宇宙に思いを巡らし、物理で解明しよう

The University of Tokyo

Earth & Planetary Physics 2009



東京大学

国立大学法人

東京大学理学部 地球惑星物理学科

〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1 理学部1号館8階事務室
TEL. 03-5841-4281 FAX. 03-5841-8791
URL. <http://www.eps.s.u-tokyo.ac.jp/jp/gakubu/chibutsu.html>
E-mail. chibutsu-jimu@eps.s.u-tokyo.ac.jp

発行日 2009.2 地球惑星物理学科広報委員会

画像は、以下の機関にご提供いただきました。
大学共同利用機関法人自然科学研究機構国立天文台、米国NASA、独立行政法人海洋研究開発機構、独立行政法人宇宙航空研究開発機構

国立大学法人 東京大学理学部

地球惑星物理学科

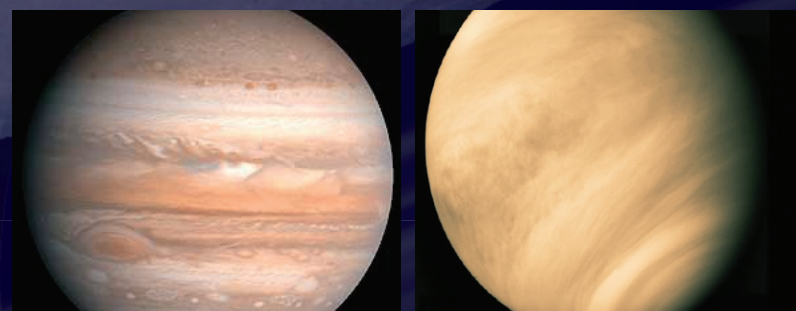


学生の皆さんへ

地球惑星物理学は、地球や惑星上で生起する様々な現象を、物理的手法を用いて解明する学問分野です。天気予報や緊急地震速報といった日常生活上のニーズを背景に、地球惑星物理学の対象は極めて多岐に渡っており、太陽系や惑星の進化、宇宙空間での現象までを含んでいます。近年では地球温暖化予測や深海探査、固体地球深部の探査、宇宙における生命発生の探求など、活躍の場は従来にもまして広がっています。人間活動のフロンティアを地球惑星物理学科でもに学びませんか？

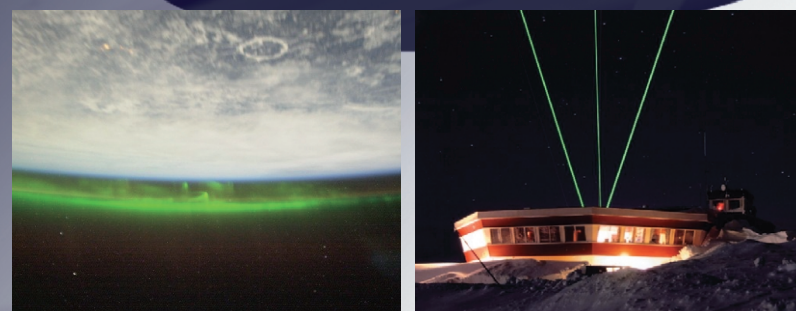
無限の可能性と領域があります。

地球や太陽系は広大な宇宙の普遍的な存在なのでしょうか、それとも、特殊な存在なのでしょうか。私たち生命が地球に誕生し、進化してきたことは必然だったのでしょうか、偶然だったのでしょうか。「私たちはどこから来てどこへ向かうのか」という人類の究極の問いへの答えを地球惑星物理学は明らかにしようとしています。



太陽系には実に多様な惑星が存在しています。水をたたえ、生命を育む地球、赤い荒野が広がる火星、分厚いガスをもった木星や土星。これらの惑星の個性は、46億年前の太陽系の誕生から現在までの個々の惑星の進化を反映しています。

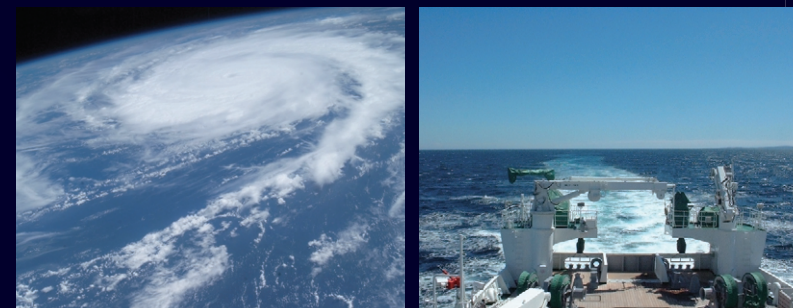
地球や太陽も宇宙の一部です。地球をとりまく宇宙空間とはどんなところなのでしょうか。近年、発見数が増加している太陽系外の惑星にはどのような世界が広がっているのでしょうか。地球惑星物理学は地球や太陽系にとどまらず、宇宙の理解にまでつながる学問です。



宇宙

Space

大気や海洋の中の地球規模の流れや複雑な乱れはどのように生じるのか、その変動を正確に予測するには何が必要なのか。大気と海洋の科学は、集中豪雨や旱魃などの異常気象の母胎となる気候変動、温暖化や砂漠化に代表される気候変化、オゾンクライシスといった重大な環境問題に適切に対処するための基礎であり、その社会的使命はますます重要になっています。



大気・海洋

Atmosphere & Ocean

地球の内部はどのような物質で構成され、どのような構造を持ち、どのような運動をしているのか。大陸の移動や、時に甚大な被害をもたらす地震や火山の活動、方位磁針を北に向ける地球磁場の存在、これらはすべて生きている地球の一側面なのです。

固体地球

Solid Earth



惑星

Planet

INDEX

03-04	地球惑星物理学科の研究	大規模数値シミュレーション
05-06	地球惑星物理学科の研究	大気・海洋分野
07-08	地球惑星物理学科の研究	固体地球分野
09-10	地球惑星物理学科の研究	惑星分野
11-12	地球惑星物理学科の研究	宇宙分野
13-14	地球惑星物理学科の教育	カリキュラム・四年生特別研究
15-16	学生生活・在学生からのメッセージ	
17-18	卒業後の進路・卒業生からのメッセージ	

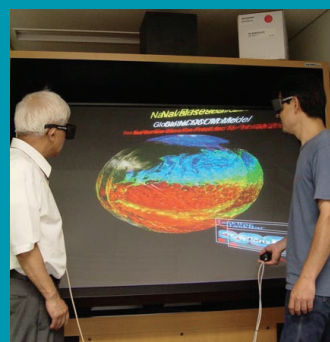
地球惑星物理学では、地球や惑星の上で生起する複雑な物理現象の仕組みを正確に把握するために、数値シミュレーションを積極的に活用して研究を行います。ここには、地球惑星物理学科で行われているスーパーコンピュータを駆使した大規模数値シミュレーションの一例を紹介します。このような数値シミュレーションは現代の地球惑星物理学の英知の結晶とも言えるもので、そこには長年に渡って蓄積された観測事実や理論に基づく数値モデル開発の成果が反映されています。

地球惑星物理学科では、数値シミュレーションの基礎から応用までを学べる様々な講義・演習が用意されています。まず三年に進学すると「地球惑星物理学演習」でプログラミングやデータ解析、データ可視化の基礎技術を習得します。さらに、「地球物理数値解析」では数値シミュレーションの基礎となる偏微分方程式を数値的に解く手法について学びます。その後、四年における「地球惑星物理学特別演習」と「地球惑星物理学特別研究」では、特定の研究課題について数値シミュレーションを実行したり、最先端の大規模数値シミュレーションで得られたデータを解析したりする機会が与えられます。さらに大学院に進学すれば、「大気海洋」「固体地球」「宇宙プラズマ」など各分野の最先端の高度な数値シミュレーション手法についてより詳しく学ぶことができます。

地球惑星物理学科では、こうして習得した数値シミュレーション技法を使って皆さんが地球・惑星上の様々な物理現象を見る目を養い、それらを解析し理解することの面白さを学んでくれることを期待しています。



地球シミュレータ(提供:(独)海洋研究開発機構)



四次元シミュレーション可視化装置

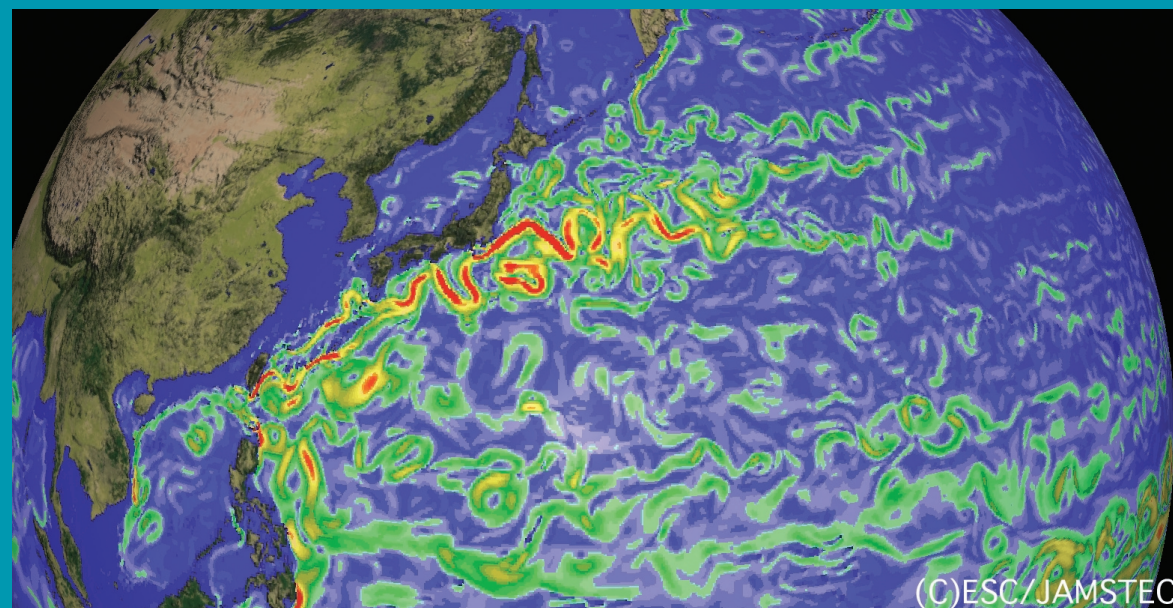


計算機演習

大規模数値シミュレーション

Numerical Simulation

大海原の流れは、ゆったりと、あまり変化していないと考えられることが多いですが、実際には、非常にダイナミックに変動しています。この図は、世界最大規模のスーパーコンピュータである「地球シミュレータ」を利用して、刻々と変化する地球全体の海洋を高解像度でシミュレーションをした結果です。海面での流れの強さを表しており、暖色系の色で示される強い流れが大きく蛇行しながら、時には渦を作りながら流れている様子が明瞭に示されています。海洋物理学と計算科学の連携により、あたかも人工衛星から見たような海洋の変動を再現することが出来るようになりました。(図提供:(独)海洋研究開発機構)

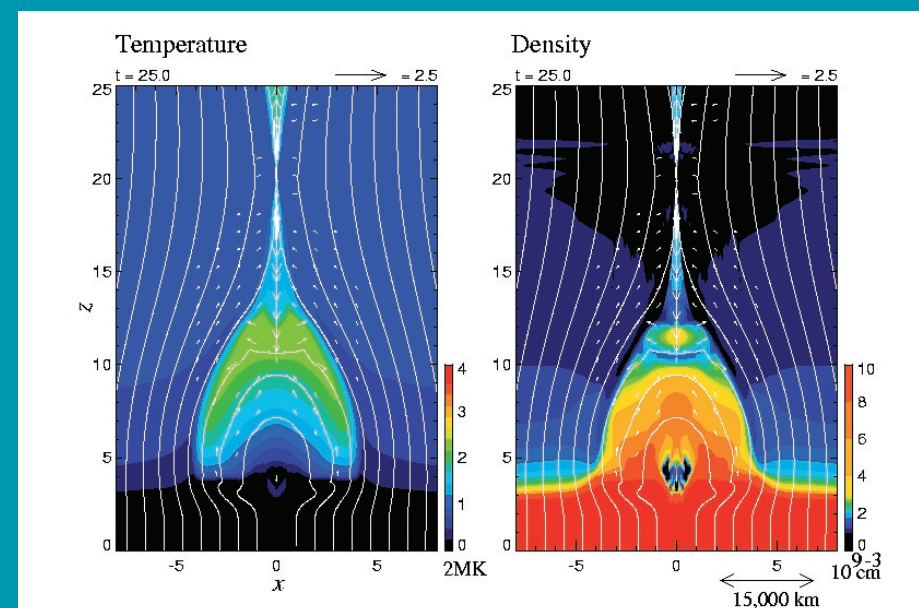


(C)ESC/JAMSTEC

この図は、地球ダイナモ(8ページ・研究トピック8参照)の数値シミュレーションによって得られた、液体金属コア(灰色の球殻部分)の内部およびその周辺の磁力線の様子を、赤道方向から透視したものです。赤色の磁力線は磁場の強いところを示しています。コアの外側は比較的単純な双極子型の磁場ですが、内部の磁場構造は、流体の乱流運動を反映して、きわめて複雑です。とくに赤道面に平行な磁場成分(トロイダル磁場)が卓越していることがわかります。



この図は、太陽大気爆発現象フレア(11ページ・研究トピック13参照)の数値シミュレーションの結果で、磁場と高温プラズマとの相互作用を記述する磁気流体力学の偏微分方程式を連立して解く大規模計算で得られたものです。磁気リコネクション(磁力線のつなぎかえ)という物理機構で発生した熱エネルギーが、磁力線に沿った熱伝導により表面高密度大気に伝わり、急膨張によるプラズマ逆流を誘発して磁気ループを満たしX線を放射するようすが再現されています。じっさい、このような先端の尖った明るいループが衛星搭載望遠鏡で観測されています。

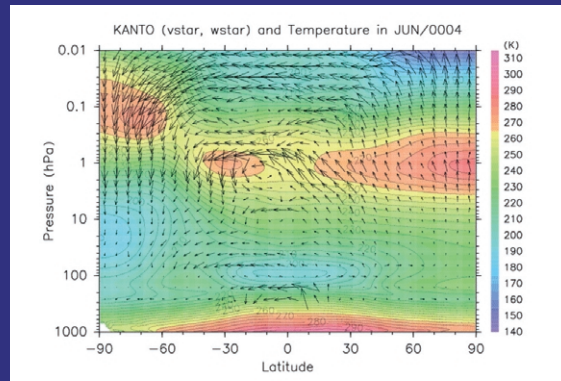


01 地球の大気運動の複雑な階層構造

大気物理学は、地上から高度約100kmにおける地球大気を対象とする分野です。ここには、実に様々な現象が存在しています。地上から高さおよそ10kmまでの対流圏には、数km～数十kmスケールの積雲や竜巻、前線、数百～数千kmスケールの台風や高低気圧、数万kmスケールの蛇行するジェット気流があります。これらの現象は単独でなく、より小さな、またより大きなスケールの現象と相互作用しています。このようなスケール間相互作用は、流体としての大気の物理が非線形であることに起因します。

高さおよそ10kmから100kmの中層大気（成層圏、中間圏、下部熱圏）は、様々な波動と不安定、大循環が支配する領域です。数十～数千kmスケールの重力波、数千～数万kmのロスビー波と呼ばれる内部波は、おもに対流圏で発生し、上方に伝播して、中層大気の大循環を駆動していると考えられています。この大循環に乗って、熱帯成層圏で光化学反応によって生成されるオゾンが地球全体に行きわたり、オゾン層となって生命を紫外線から守っています。

私たちは、これらのダイナミックな大気の物理を、観測や理論、高解像度気候モデルにより研究しています。人間活動の気候への影響も視野に、地球温暖化やオゾンホール、夜光雲なども研究対象とし、次世代の観測手段として世界初の南極大型大気レーダー設置計画も進めています。



地球シミュレータで再現された地上から約75kmの地球大気の温度構造と物質の流れ（6月）。

大気・海洋 *Atmosphere & Ocean*

02 気候をコントロールする深海の乱流拡散

海洋には「熱塩海洋大循環」と呼ばれる、極域で強く冷やされ沈降した海水が、全海洋の深層を1000年以上かけて満たしていくことで生じるグローバルな循環が存在します。この熱塩海洋大循環は膨大な熱を輸送し、温和な地球気候の実現に大きな役割を果たしています。しかしながら、この循環の実態はまだ完全に解明されていません。沈降した深層水がどこでどのように表層に戻っていくかが謎に包まれているのです。この深層水の上昇(湧昇)を引き起こす最も有力な候補が、海洋中の数cmスケールのマイクロ渦の作用「鉛直乱流拡散」です。これによって日射で暖められた表層水が少しずつ下方に混合し、深層水がゆっくり暖められ軽くなって湧昇すると考えられています。

そこで私たちは、深海の鉛直乱流拡散を生み出す原因と、その空間分布を解明すべく研究を進めています。今までに、国内で唯一所有する超深海乱流計（図）を使った観測を行い、鉛直乱流拡散が緯度30度より低緯度側で著しく強くなることを初めて明らかにしました。そして、この緯度依存性が、潮流が海底地形を乗り越える際に発生する内部潮汐波と呼ばれる波動の非線形干渉によって生じることを理論的に解明しました。この結果、従来のように恣意的でなく物理的根拠に基づく鉛直乱流拡散係数を用いた熱塩海洋大循環の数値モデリングの第一歩を開くことができました。

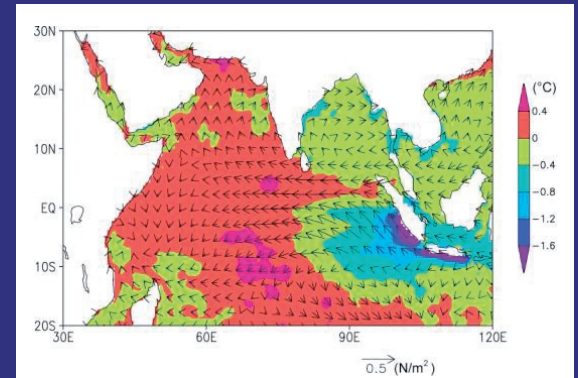


超深海乱流計を使った海洋観測。水深6000mまで自由落下しながら数cmスケール以下のマイクロな流れの強さを測定します。

03 異常気象をもたらす気候変動現象

世界各地に猛暑、冷夏、早魃、豪雨、豪雪等の異常気象をもたらす数年から数十年スケールの気候変動現象が数多く存在することが明らかになっています。例えば、インド洋熱帯域のダイポールモード現象（図）が発生すると、東インド洋熱帯域に正の海面水温偏差、西インド洋熱帯域に負の海面水温偏差が現れます。その結果、インド洋沿岸諸国だけではなく、ヨーロッパや日本の気候にも影響を与えることがわかってきています。

私たちは、観測データ解析や様々な階層の数値モデルのシミュレーションにより、様々な気候変動現象のメカニズムや遠隔地への影響の解明、及び予測に向けた研究を行っています。また、自然変動や地球温暖化により、気候変動現象の発生頻度や強度が長期的に変化することも知られており、その解明に向けた研究も進めています。



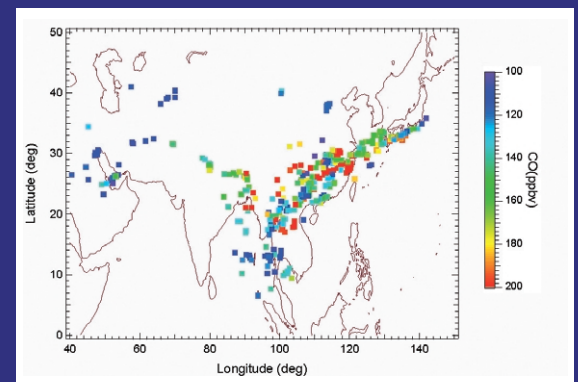
インド洋熱帯域のダイポールモード現象:ピーク時の海面水温と風応力の半年からのずれ



04 地球をめぐるアジアの空気

二酸化炭素など多くの温室効果ガスは、一般に長寿命（大気から除去されにくい）なので、世界のどの場所で放出されたかに関わらず、地球規模で温室効果をもたらす。これに対し、地球の放射バランスや大気の質に多大な影響を与えるオゾンやエアロゾル（大気中に漂う微粒子）は、大気中での化学反応で他の成分に置き換わったり、雲・雨に溶け込んで地上に落下するなどして大気から除去されるため、その濃度は場所や時期により大きく変動します。近年では、これらの成分が地球をめぐる、他の大陸の大気環境にも影響を与えることが分かってきました。中高緯度の対流圏では一般に高度が高いほど西風が強いので、汚染大気などの人為起源物質が上層まで運ばれると、強い西風によって数日のうちにアメリカ大陸まで達する場合があります。またその一部は北極まで輸送され、北極の大気環境に影響をおよぼしている可能性も指摘されています。

そこで私たちは、アメリカの研究者と共同して観測航空機を飛ばしたり、中国や韓国の研究者と共同してアジア各地で観測を実施したりして、各種物質の大気への放出量、大気中での化学反応による変容過程や、輸送過程を解明しています。また化学輸送数値モデルを駆使して、大気質や気候に関わる放射への影響を定量化しています。



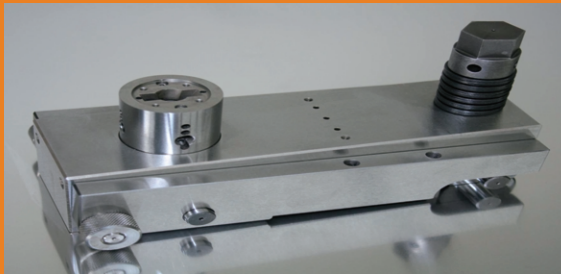
航空機観測をもとにして得られた下層の空気の大気対流圏への上昇場所と、その上昇した空気中での二酸化炭素（CO₂）濃度。CO₂濃度は人間活動の影響の指標として見ることが出来ます。

研究トピック

05 超高压物理

天体の内部には超高压・高温の世界が広がっています。例えば、地球の中心は360万気圧・6000度、太陽系最大の惑星である木星の中心は5000万気圧・2万度にも達します。そのような超高压・高温環境下における物質のふるまいが、われわれの暮らす地球表層環境におけるそれと大きく異なることは容易に想像できるでしょう。これを室内実験や物性理論計算によって理解しようというのが超高压物理学です。例えば、太陽系に最も多く存在し、地球表層環境では二原子分子気体として存在する水素は、木星内部では分子解離を起こし、単原子の液体金属として存在すると考えられています。周期律表において水素と同族の Li、Na、K、Rb・・・はアルカリ金属と呼ばれます。超高压・高温環境において、水素は「アルカリ金属」としてふるまうと考えられているのです。

超高压・高温状態を実験室内に再現して、物質のふるまい（構造や物性）を観察することは容易ではありません。新しい実験技術を開発して、それまで不可能であった測定を成功させること、これが超高压実験の醍醐味です。図は、超高压実験に広く利用されているダイヤモンドアンビル装置です。



ダイヤモンドアンビル装置。片手で持てる程度のサイズながら、地球中心を超える400万気圧程度までの発生が可能であり、物理、化学、生物、地学の各分野において利用されている。

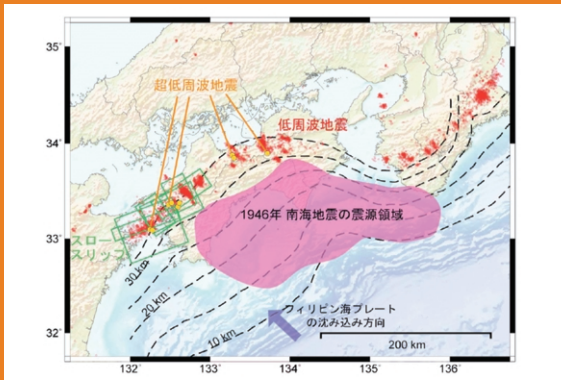
固体地球 *Solid Earth*

研究トピック

06 地震はどのように起きるのか？

日本は世界有数の地震大国です。1995年の阪神大震災を覚えている大学生も少なくなりつつありますが、毎年のように起きる被害地震は、その本質を探究することの重要性を忘れさせません。阪神大震災を契機として、日本の地震研究は大きく変化しました。それまでの、前兆現象を見つけて地震予知を目指すという方向から、破壊を伴う摩擦すべり現象として地震を捉えなおし、その物理特性を明らかにするという方向への変化がそれです。基礎データを得るために展開された地震や地殻変動の観測網は、数々の新発見を生み出しています。

被害を起こすような巨大地震が社会の関心を引く一方で、無数の小さな地震が起きています。最新の地震観測から、「揺れない地震」まであることもわかってきました（図）。これら全部が地震の本質を理解するための手がかりです。新たな実験・観測方法の開発、大量の地震・地殻変動データの分析、現実的な摩擦法則に基づく数値計算、様々なアプローチで地震の本質を極める試みが続いています。「役に立つ地震予知」はまだ視界に入ってきませんが、知りうる範囲の物理から地震の予測可能性を突き詰めるのが当面の目標です。



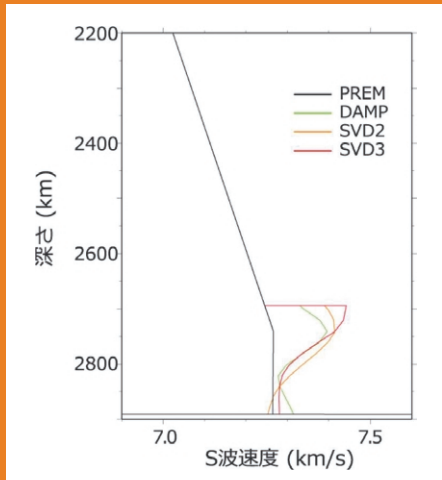
21世紀になって初めて西南日本で発見された様々な「ゆっくり地震」。実はプレート運動の大部分は地震を起こさず解消されている。その物理メカニズムはほとんど謎である。

研究トピック

07 D"（ディー・ダブル・プライム）層

地球の内部は、岩石の層（マントル）と金属鉄の層（コア）の2つの領域に大別されます。これらの領域は、地震の波の伝わり方の特徴から、さらにいくつかの層に分けられます。こうした層構造の中で最近とくに注目を集めているのが、マントルの最下部に位置するD"（ディー・ダブル・プライム）層です。厚さ200 km ほどのこの層は、地球内部の他の層に比べて不均質性が強く、その実態は謎に包まれています。近年、D"層が下部マントル物質の相転移（ある温度・圧力条件下で結晶構造が変わる現象）に起因するという高压実験に基づく説が広く支持されるようになってきました。これが本当ならば、コア・マントル境界付近の温度や組成に関する情報が得られるかもしれないことを示唆します。

われわれはこの数年間、地震波の波形を精度よく計算し、地球内部の地震波速度分布を正確に推定するためのアルゴリズムおよびソフトウェアを開発してきました。そしてこれを応用することで、中米下におけるD"層内部の詳細な地震波速度構造を定量的に推定することに世界で初めて成功しました（図）。推定されたモデルは、相転移がD"層の上面だけでなく、その内部でも二重に起こっていることを示唆しており、そこでの温度構造に関する情報が得られる可能性をもっています。こうした研究を積み重ねることで、地球内部の理解が今後飛躍的に進歩するかもしれません。



中米下のD"層のS波速度構造の標準モデル（PREM）と本研究が推定した3つのモデル。D"層上部では顕著な正の速度異常を示し、下半分では速度異常が小さいことがわかる。

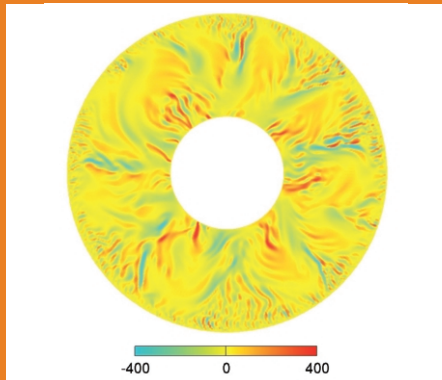


研究トピック

08 地球ダイナモ

地球がもっている強い磁場は、探検家や他の生物（渡り鳥など）が方位を知る際の手助けとなっているだけでなく、高エネルギーの宇宙線の飛来を妨げるなど、地表付近の環境にも大きな影響をもっています。地磁気は、地球中心部を占める液体金属核（コア）に流れる電流を反映しています。この電流は、エネルギーの入力がなければ、電気抵抗によって数万年程度で消失してしましますが、液体であるコアが冷却することによって生じる熱対流運動をエネルギー源とすることにより、おそらく地球誕生のかなり早い段階からずっと、いまと同程度の強度で保たれています。この仕組みは、ちょうど発電機が運動エネルギーを電氣的エネルギーに変換するのとおなじなので、地球ダイナモと呼ばれています。

近年、計算機の進歩により、地球ダイナモのプロセスを、数値シミュレーションによって直接再現する研究が可能になってきました（図）。地球ダイナモの研究は、地球が、その誕生から現在に至るまで、どのように冷えてきたかという進化の問題と密接に関わっています。また他の天体の磁場の存在（または非存在）から、その天体の内部構造や熱進化をひも解くための基礎にもなります。



コア内部の熱対流のようす。赤道面上の流れの動径成分を色であらわしている。値は磁気レイノルズ数。内側の円は固体の内核の断面。はげしい乱流による電磁誘導によって電流が生成する。

研究トピック

09 月・惑星探査

最近の探査により、火星にはかつて大量の液体の水が存在したことは間違いないことが解ってきました。太陽に近くて小さい水星にも希薄な大気があります。主成分はナトリウムなのですが、どうしてナトリウム大気が存在しているのかは分かっていません。わたしたちの衛星、月も魅力的な天体ですが、その成因はいまだに謎につつまれています。金星はなぜ灼熱地獄のような摂氏400度にもなる高温の表面温度を持つのでしょうか？火星は、なぜ地球の1%にも満たない大気しか持たないのでしょうか？これら他の惑星の特徴が何に起因するのかは、それ自身非常に興味深い現象です。しかし同時に、現在の地球の環境がどのようにして成り立っているのかを解く鍵にもなります。

地上望遠鏡により惑星の観測的研究をおこなうとともに、実際それらの惑星周辺に観測器を送りこむことで、惑星大気の成因や短期的な変貌、長期的な変遷を理解しようとしています。



バsfファインダー探査機の着陸地点の火星表面の風景（NASA提供）

惑星 Planet

研究トピック

10 惑星気象学

太陽系には地球以外にも大気を持った惑星や衛星が多く存在しています。惑星探査機の観測などにより、それらの大気中では地球の気象とはまったく異なる、多彩な大気現象が生じていることがわかってきました。

図はアメリカの探査機ボイジャーが観測した木星の大赤班です。大赤班は少なくとも数百年に渡って存在している巨大な高気圧性の渦ですが、その成因や維持機構などは解明されていません。他にも、金星やタイタンの大気スーパーローテーション（大気全体が自転よりも速く回転している現象）や、火星の大砂嵐、木星や土星にみられる大気表面の縞模様など、地球の気象学では理解することの困難な、興味深い現象が数多く存在しています。

地球惑星物理学科では、こうした惑星の大気現象に対し、惑星気象学（地球の気象学を発展させ惑星大気の運動を理解する）、惑星大気進化学（惑星大気の性質を太陽系や惑星の成り立ちとともに理解する）、惑星探査科学（探査機や望遠鏡によって惑星大気を直接観測する）など、様々な角度からのアプローチが試みられています。2010年には日本の金星探査機 PLANET-C が打ち上げられ、金星大気の謎に迫る貴重な観測データが得られるものと期待されています。本学科はこの計画の立案・実施に重要な役割を果たしています。



アメリカの探査機ボイジャーが観測した木星の大赤班

研究トピック

11 比較惑星学

地球型惑星はどれも非常に個性的であり、その表面の環境は変化に富んでいます。近い将来太陽系外の地球型惑星も見いだされと考えられますが、これもおそらく多様な姿をしているに違いありません。地球型惑星の多様性はどうして生まれたのでしょうか。多様性を生み出す要因を理解することは、個々の惑星の特徴が生成される条件を理解することにつながります。さまざまな惑星を比較し、惑星の個性がいかに決まっていくか、を理解しようとするのが比較惑星学です。

太陽系外の惑星まで視野におき、とりわけ地球の様に生命にとって好適な環境を生み出す要因を明らかにしたいと考えています。そのために、主に惑星初期進化学、惑星気候学から研究を進めています。研究の一例として、生存可能惑星環境の重要な指標として液体の水の存在条件について紹介します。従来の研究では生存可能惑星として地球のようにふんだんにH₂Oがある惑星が考えられてきましたが、H₂Oが少なく砂漠が広く広がっているが、局地的には液体の水があるという場合も生存可能といえ



水星、金星、地球、火星

るでしょう。火星などは過去においてそのような状況にあった可能性があります。このような状況の惑星の気候を検討してみると、直感に反してH₂Oがふんだんに存在する場合よりもはるかに広い条件の下で液体の水が存在できそうであることがわかりました。これはH₂Oが惑星環境を不安定化するような性質を持っていることが原因です。

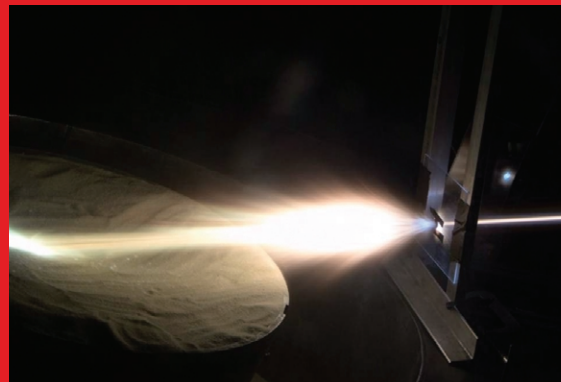


研究トピック

12 超高速衝突と惑星の進化

超高速衝突現象は地球や惑星の進化に重要な役割を果たしてきたと考えられます。惑星形成時の衝突による重力エネルギー解放は天体の熔融を促し、コア、マントルといった岩石天体の内部構造形成（分化）を引き起こします。また、天体衝突時の揮発性成分の脱ガスや天体衝突による大気のはぎ取りは惑星の初期大気の形成や進化に大きな影響を与えます。さらには、衝突で形成される蒸気雲では化学反応が効果的に起こり、有機物の形成もおこなわれ、生命誕生の謎を解く鍵も握っています。地球の場合には、天体衝突は生命の大量絶滅を引き起こし、生命圏の維持、進化にも大きく関わってきました。

地球や惑星の進化に大きな影響を与えてきた超高速衝突現象を理解するために、実験室内でレーザー銃を用いて、超高速衝突現象を模擬し、発光分光的手法を用いて衝突蒸気雲中の様々な熱力学量（例えば温度、密度、化学組成など）を測定し、衝突エネルギーの衝突蒸気雲への分配過程の問題と衝突蒸気雲内での化学反応の問題に取り組んでいます。



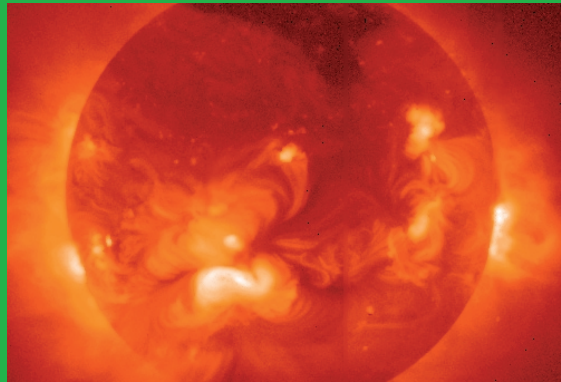
水晶球の弾丸で隕石を撃ち抜く実験

研究トピック

13 太陽の活動現象

太陽活動が極大期に近づくと、太陽の最外層大気コロナでは頻繁に爆発現象が起きます。このような爆発現象はフレアと呼ばれており、現在の太陽系における最大級のエネルギー解放現象です。この現象は、コロナ中に蓄えられた磁気エネルギーが磁気リコネクションという機構で一気に解放される現象であるということがX線観測衛星によって確定視されています。しかしいっぽうで磁気リコネクションの物理理論はまだ完璧ではありません。またフレアにともなって電子や陽子が光速近くまで加速されることがわかっていて、その全粒子の総エネルギーが解放される磁気エネルギーの半分近くに達するという説もあります。しかしその加速物理機構はまだまったくのなぞになっています。さらには、フレアと同時に数十億トンもの大量のプラズマガスの塊が放出されることがあります。

このようなフレア現象をはじめとする、太陽で観測されたダイナミックなプラズマ現象は、「活動的な宇宙」というあたらしい宇宙観をもたらしました。ブラックホールや生まれたばかりの星の周囲でも、おそらくは似たようなダイナミックな現象がおこっているに違いありません。



ようこう衛星による太陽のX線画像 (JAXA提供)

宇宙 Space

研究トピック

14 宇宙プラズマの普遍的理解

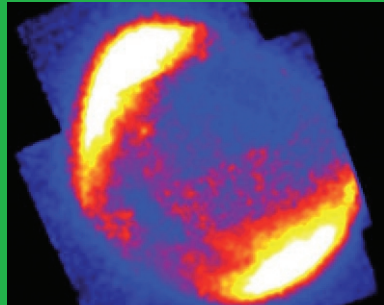
地球周辺の宇宙空間では、非常に希薄なガスが電離していて「プラズマ」と呼ばれる状態になっています。人工衛星を飛ばしてこの宇宙プラズマを「直接観測」するとさまざまなおもしろい現象が起きていることがわかります。地球近傍だけでなく広い宇宙空間の99%以上はプラズマで満たされているといわれていますから、このようなプラズマ現象を調べることで、宇宙での高エネルギー・プラズマ現象の物理に迫ることができます。

たとえば、地球や惑星の周りには太陽風と呼ばれる数百km/sもの超音速プラズマの流れが太陽から吹いています。この流れが惑星磁場と衝突する箇所に衝撃波ができますが、そこでの粒子加速の理解が、超新星爆発衝撃波で生成される宇宙線の起源の解明に密接に係わっています。また地球磁気圏での磁気リコネクション（磁力線つなぎかわり現象）の研究は、パルサー磁気圏・活動銀河核ジェットなどの磁場エネルギー解放の理解の基礎となっています。

地球や木星・土星で観測されるオーロラは、太陽風のエネルギーが磁気圏内部に輸送されることにより起きます。また逆に、惑星大気ガスは、太陽風との相互作用で惑星間空間へと流出しますが、この過程は惑星大気の進化を考える上でも大切な要素です。



地球磁気圏と探査衛星



超新星残骸SN1006のX線像 (あすか衛星撮影:JAXA提供)

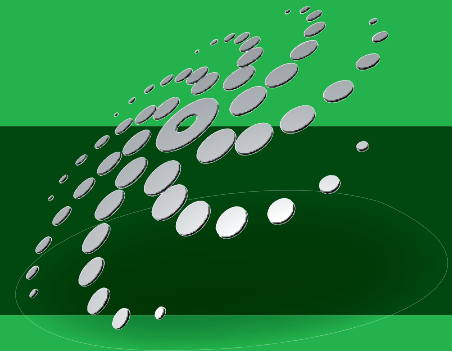
研究トピック

15 太陽系の進化

太陽系初期の記憶をとどめる隕石の年代測定から、太陽系は45億6700万年前に誕生したと考えられています。誕生後の太陽系では、高温ガスからの高温凝縮物の形成、固体物質の急激な加熱冷却による熔融球粒物の形成、それらと細かな塵とが集合しての小天体（微惑星）形成、小天体内部で起こる熱や水による変成、岩石の融点を超えるほどに熱せられた小天体内部での物質の分化（コア-マントル-地殻構造の形成）、小天体同士の衝突による原始惑星の形成など、惑星ができるまでの約1億年の間に太陽系は劇的な進化を遂げます。これらの初期太陽系での様々な進化プロセスが起きた年代や、そのプロセスが起きた環境の物理条件などは隕石に残されています。隕石は様々なプロセスを経た結果として存在するため、各プロセスの情報を引き出すのは簡単ではありませんが、隕石中の特定の微小領域を選んで分析することで、単独のプロセスの情報を得ることが可能になります。微小領域の高精度同位体測定が可能な二次イオン質量分析計を使って、隕石構成物質の年代測定や形成環境を明らかにしようとしています。



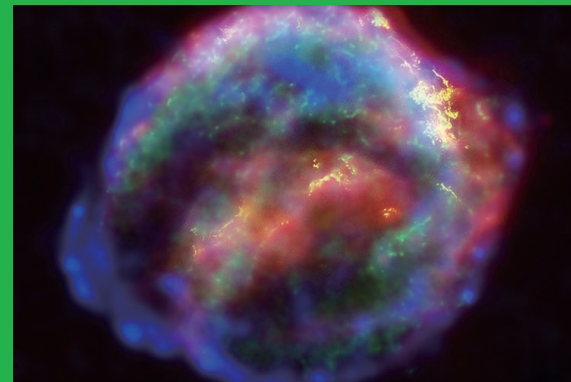
始祖的隕石の薄片写真



研究トピック

16 宇宙物質

赤外線天文観測によって、老いた星が放出するガスの中や若い星の周りの円盤の中で地球にも存在する鉱物や有機物が見つられていること、また、その化学組成や大きさ、形が明らかになってきました。それらの鉱物や有機物はやがて新たな恒星や惑星の材料となり、そこで産まれる生命の材料となるかもしれません。また、太陽系に目を向けると、惑星たちは多彩な姿を私たちに見せてくれます。近年、発見が続く太陽系外の惑星も太陽系と同様に多彩であることを想像させます。このような惑星の多様性は、材料物質の多様性が原因となります。宇宙でどのように多様な物質がつくられ、また、惑星誕生直前の原始惑星系円盤でどのように物質が進化し、多彩な惑星系をつくるにいたるのでしょうか。その謎を明らかにするために、実験室に低圧・高温の宇宙空間を再現し、高温のガスから固体が形成される凝縮過程や固体の蒸発過程を理解するための実験をおこなっています。固体形成の速度やメカニズムの温度や圧力など物理化学条件への依存性を実験で解明し、天文観測や原始惑星系円盤の理論モデルと組み合わせて、宇宙や初期太陽系での物質形成シナリオを描き出すことを目指しています。



チャンドラー-X線衛星が撮影した超新星SN1604の残骸

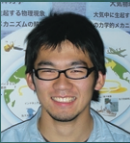
カリキュラム

地球惑星科学は、地球・惑星・太陽系の過去(起源/歴史)・現在・未来のすべてを解きあかそうとする学問ですので、その性格上、広範な科学的知識とそれを活用する能力が不可欠な分野です。この分野を志望する皆さんに対し、本学科では物理学を基礎とした研究学習能力を陶冶する機会・舞台を提供しています。学部の段階では専門を絞り込まないため、地球や惑星上で生起する様々な現象の基礎を広く学ぶことができることも大きな特徴です。

2年冬学期	3年夏学期	3年冬学期	4年夏学期	4年冬学期
必修科目	選択必修科目A	選択必修科目A	選択科目	選択科目
物理学I* 複素関数、Cauchyの積分公式、Fourier級数と積分変換等について解説する。	地球流体力学I 様々な自然現象や身の回りの日常現象を支配する流体力学の基礎原理を学ぶ。	地球流体力学II 密度成層や地球回転の影響を受ける地球流体の運動の基礎的概念と解析手法を解説する。	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・相転移等を解説する。	大気海洋系物理学 大気海洋間の力学的・熱力学的相互作用に与える様々な時空間規模の過程を概説する。
物理実験* 物理実験に必要な基礎知識(基礎物理定数、計測法、誤差論等)について講義する。	弾性体力学 連続体力学(弾性体力学)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 地球の形状・重力場・潮汐等の測地学の基礎論とグローバルな地球変形について解説する。	気象学 地球大気の特徴を観測した後、水の相変化、対流、波動等の各物理過程の理論を展開する。	太陽地球系物理学 地球大気圏・電離圏から惑星・太陽にいたる太陽地球系空間に生起する現象を解説する。
電磁気学I* 電磁気学の基礎を特殊相対性理論との関係として解説する。	太陽地球系物理学基礎論 地球大気圏・電離圏・磁気圏から太陽地球系空間までの普遍的物理・化学過程を解説する。	統計力学II* 相互作用がある系での統計力学の手法を説明し、相転移の基礎的な概念・機構を説明する。	海洋物理学 平衡状態にある海洋に外力が加わり、その平衡状態が乱された時の力学的応答を解説する。	プレートテクトニクス* プレートテクトニクスの基礎的事項を学習し、これまでの知見及び現在の課題を紹介する。
解析力学・量子力学I* 解析力学の体系と量子力学の初歩を学ぶ。	量子力学II* 中心場中の定常状態のSchrodinger方程式の解、角運動量の諸性質等について解説する。	選択科目	宇宙空間物理学II プラズマ諸現象を磁気流体力学・プラズマ運動論の基礎過程とともに解説する。	地球内部ダイナミクス 固体地球ダイナミクスの基礎的概念と関連する諸現象、及び概念の歴史的発展を解説する。
地球惑星物理学基礎演習I 解析力学・量子力学Iに関する演習問題を解く。	電磁気学II* 電磁場の基本法則、静電場、静磁場と定常電流、電磁波について解説する。	大気海洋物質科学 大気及び海洋中の物質の分布とそれを支配する各過程の基礎について概説する。	比較惑星学基礎論 地球型惑星とその衛星等の最新の科学的見地の紹介と太陽系の起源や進化の解説を行う。	地球物質循環学* 大気・海洋・生命圏間、地球表層・内部間での物質循環と地球環境進化の関係を理解する。
地球惑星物理学基礎演習II 物理学I、電磁気学Iに関する演習問題を解く。	統計力学I* 熱統計現象を微視的視点から記述しようとする統計力学の成立基礎と基本概念を学ぶ。	宇宙地球物質科学 物質科学の観点から、太陽系の起源、地球・惑星の起源と進化についての理解を目指す。	地震物理学 地震の発生過程を理解するために地震の震源の表現、及び地震破壊過程の扱いを解説する。	地球惑星システム学 地球惑星システムの時間発展、安定性や不安定性に関する基礎概念について概説する。
選択科目	物理学II* 量子力学や電磁気学など物理学一般に広く用いられる数学的道具・手法を解説する。	宇宙空間物理学I プラズマ諸現象をプラズマ物理の基礎概念及び電磁流体力学の基礎過程とともに解説する。	火山・マグマ学* マグマの生成・移動・固結・分化・混合や噴火の基礎的過程を学習する。	地球物理データ解析 インバージョン解析の基礎理論とその地球科学の諸問題への応用について解説する。
情報科学* 集合・関係・束、情報理論、代数(群・環・体)とその情報科学的应用を学ぶ。	選択科目	地球電磁気学 地球の電磁気的な性質と地球の現在の活動、誕生後の進化過程の関係について解説する。	地球惑星システム学基礎論 地球・惑星を構成する各圏の特徴と相違点、各圏間の相互作用と発展について解説する。	選択必修科目B
形式言語理論* 形式言語とオートマトン、および、計算可能性の初歩について講義する。	大気海洋循環学* 大気と海洋の熱構造や循環構造を概観し、その仕組みの理解に必要な基礎知識を概説する。	弾性波動論 弾性波の伝播の基礎を学ぶ。解析解を導くとともに数値シミュレーション手法を学ぶ。	地球物理数値解析 偏微分方程式を数値的に解くための手法(差分法、有限要素法)を説明する。	地球惑星物理学特別研究 特定の研究課題を選び、その課題を主体的に解決することを目的として実習を行う。
天文学概論* 現代の宇宙観までの道のり、宇宙の起源と現在の姿、恒星、元素の起源等について学ぶ。	固体地球科学* 地球内部構造、レオロジーとダイナミクス、及びそれらと地表現象の関連性を解説する。	電磁気学III* 電磁波が荷電粒子の運動からどのように放射されるかを講義、光学法則について解説する。	天体力学* 太陽系天体の運動に代表される質点系力学の定量的かつ定性的な性質を論じる。	
地球惑星物理学概論 地球科学的なもの、および現代の地球・惑星観について概説する。	物理学演習III* 量子力学IIと物理学IIに関する演習問題を解く。	量子力学III* 散乱の量子論、多粒子系の量子論、経路積分による量子論について解説する。	電波天文学* 銀河および銀河系の構造と活動および進化等について、電波天文学の視点から理解する。	
化学熱力学I* 熱力学第一、第二、第三法則、エントロピー、化学平衡、溶液化学等について学ぶ。	物理学演習IV* 統計力学I、電磁気学IIに関する演習問題を解く。	物理学演習V* 量子力学IIIに関する演習問題を解く。	選択必修科目B	
量子力学I* 原子・分子系の量子力学の基礎(分子論、分子回転と元素原子の量子力学)について学ぶ。	選択必修科目B	物理学演習VI* 統計力学II、電磁気学IIIに関する演習問題を解く。	地球惑星物理学特別演習 英文の論文・教科書の講読を行い、講読内容の理解を助けるための実習を行う。	
無機化学I* 無機化学に重要な基本的な概念(多電子原子の性質、分子の構造と結合等)を学ぶ。	地球惑星物理学演習 地球惑星物理学の諸問題を解決する際に必要な数値計算・情報処理の基礎技術を習得する。	選択必修科目B		
		地球惑星物理学実験 地球惑星物理学の研究を行うのに必要な基礎的実験・観測技術を習得する。		
		地球惑星化学実験 地球及び惑星を構成する物質の物理化学的性質の理解とその測定方法を習得する。		

4年生演習

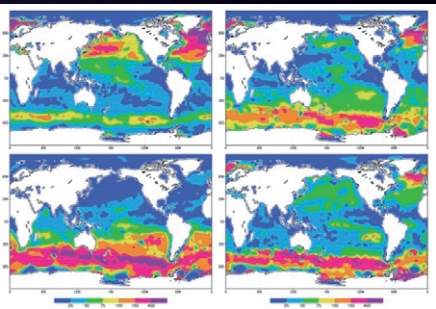
地球惑星物理学科には卒業論文や卒業研究はありませんが、それに代わるものとして、地球惑星物理学特別演習(第4学年夏学期)と地球惑星物理学特別研究(第4学年冬学期)が開講されます。各学期の終わりには、成果を発表する機会が設けられています。



<テーマ>
LESモデルを用いた海洋表層混合層の数値シミュレーション
金山 裕介 担当教員: 日比谷 紀之、丹羽 淑博

【内容】
海洋表層混合層とは、海表面から水深数十メートルに存在する水温・塩分が鉛直方向に一樣な層ことを言います。この混合層は大気と海洋内部とを結びつけるバッファーとして長期の気候変動に大きな影響を与えています。

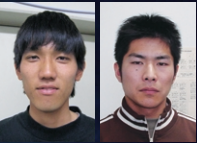
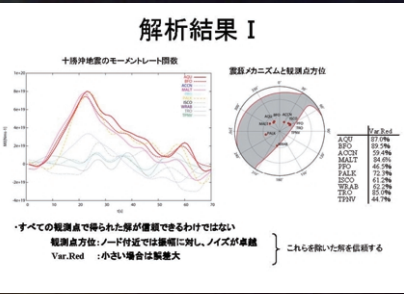
【感想】
この演習では、気候値データを解析することにより表層混合層の層厚の全球分布やその季節変動を調べ(図)、その特徴を混合層内の基本的な物理プロセスを組み入れた鉛直一次元数値モデルを使って再現することを試みました。実際に演習を受けて、論文中の式の意味を理解したり、得られた解析結果を見てなぜそうなるのかを説明したり、することが容易ではないことを実感しました。しかし、指導教官や大学院生の皆さんと議論を繰り返すうちに、論文を理解する楽しさを感じられるようになりました。また、単純な解析でも意外と労力がかかることを実感し、結果が得られたときは感動しました。



<テーマ>
地震発生論入門: 地震データ解析とスケーリング
太田 和晃 担当教員: 井出 哲

【内容】
岩石の微小破壊から巨大地震まで地震には様々なサイズがあります。規模の違う地震がそれぞれどのような時間経過をたどって発生したか、地震波形の分析から明らかにしました。

【感想】
最初は基礎の論文講読から始まりました。わからない単語だけではなく読み進める内に徐々に慣れていきます。解析では、地震波形データから、地震のモーメントレート関数を推定するためのプログラムを、3年時に学習したFortran言語を駆使して組み上げました。途中で何度も挫折しましたが、その度に先生や先輩に助けをもらい、最後の結果が出たときは感動ものでした。研究の大変さを知ると共に、楽しさ・面白さを実感できる貴重な経験ができたと思います。

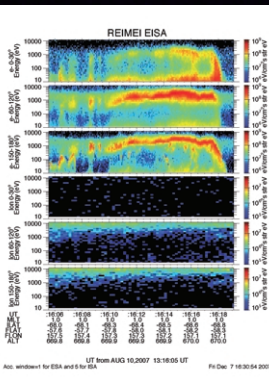


<テーマ>
「れいめい」データによるオーロラの画像
足立 潤・北川 直優 担当教員: 平原 聖文

【内容】
オーロラの空間分布や時間変動を地球大気圏の外から観測する場合、オーロラを引き起こすプラズマ粒子の計測も同時に可能になります。世界初の観測データの解析、というのは骨太の思考と刺激的な経験をもたらす良い機会になります。

【感想】
オーロラはその成因を理解するには、地球磁気圏という大きなスケールを考えなければなりません。テレビなどでも見ることもある身近な現象ですが、科学的には分かっていないことが多いという点に魅力を感じました。また、データ自体が新しいものであり、テーマを見つけることに非常に苦労したが、一方で非常に挑戦的な特別研究であり、やりがいを感じました。(足立)

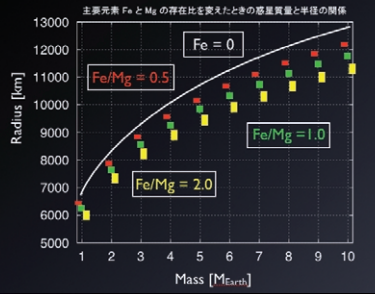
本研究ではオーロラがところどころで小さく渦巻く現象に着眼して、渦が観られたときに大気に入射した電子のエネルギー分布の特徴を見出そうとしました。その結果、渦巻くオーロラが発生するときには地球磁場に平行な方向に入射する電子が多いという結論に達しました。オーロラを飽きるほど観続けるという珍しい半年間でした。(北川)



<テーマ>
系外地球型惑星の内部構造
安福 一快・川上 悦子・三木 順哉 担当教員: 阿部 豊

【内容】
太陽系外には様々な大きさや化学組成の地球型惑星があり得るでしょう。多様な系外地球型惑星の内部構造について、物質の状態方程式に基づいた理論的推定を試みる演習を行いました。

【感想】
「地球型惑星の質量—半径関係」というテーマで研究を行いました。近年ますます注目される系外惑星にまで焦点を当て、地球型惑星の質量と半径の関係について考察し、質量と半径の観測から系外惑星の組成を推定できる可能性が示唆されました。成果は、全国から地球惑星科学者が集まる地球惑星科学連合大会でも発表しました。"実際の地球"に対する考察の下で思考を深め、我々が存在する意味を求めていくことが、地球惑星科学の大きな魅力の1つだと思います。



学生生活

あらゆる機会・舞台が存在します。

生 活



仲間たち



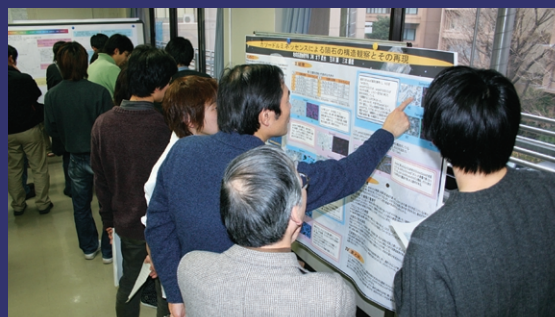
懇親会



野外実習風景



4年演習風景



実験発表

2年冬学期

駒場ではじめる地物生活

9月	進学内定・ガイダンス
10～2月	基礎演習で基礎物理・物理数学を鍛える
12月	新入生歓迎会 初めて会う先輩・教員

3年夏学期

本格的な地物生活スタート

4月	めでたく本郷に進学
4～7月	計算機演習では院生TAが手取り足取り
5月	五月祭恒例の公開実験
9月	試験、レポート、追試、追々試?

3年冬学期

実験に明け暮れる日々

10月	地物実験開始(計6テーマ)
10～2月	とにかく実験 時間がかかるが面白い

4年夏学期

進路・将来に悩む頃

4～9月	前期演習は初めてのテーマ研究
5月	学会を見学して研究の最先端を知る
7～8月	夏休み 試験や大学院の研究室選びに悩む
8～9月	大学院入試 合格発表

4年冬学期

やりのこしたことはないか?

10～2月	後期演習は最先端研究への入口
10～11月	大学院進学研究室訪問&決定
2月	後期演習発表会
3月	晴れて卒業

人員構成・場所

教員：教授9名 准教授11名
助教7名
居室／理学部1号館・3号館他 (平成21年3月1日現在)

学生：3年生30名
4年生38名(定員32名)
学生控室／理学部3号館 (平成21年3月1日現在)

時間割例

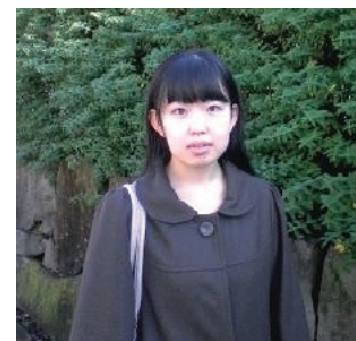
【3年夏・冬学期】					
	1	2	3	4	5(限)
月	講義		演習・実験		
火	講義		講義		
水	講義		演習・実験		
木	講義		演習・実験		
金	講義		講義		

【4年夏・冬学期】					
	1	2	3	4	5(限)
月	講義		講義		
火		講義	特別演習		
水		講義	特別演習		
木	講義		講義		
金	講義		特別演習		

MESSAGE

FROM STUDENTS

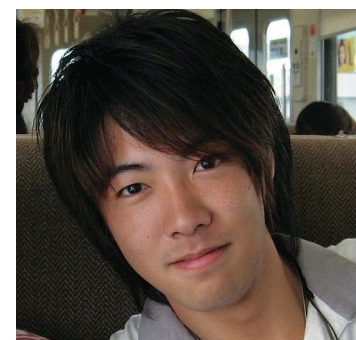
在学生からのメッセージ



宇井 麻衣子

学部生・4年

この学科では、地球や惑星に関することを幅広く学ぶことができます。具体的にやりたいことが見つからない人でも、この学科で様々なことを学んでいく中で、必ず興味を持つことを見つけられると思います。私自身も、身の回りの自然現象について考えることが好きだからという漠然とした理由でこの学科を選んだのですが、できるだけ多くの授業を受けることで、興味を持つことを見つけるとともに、幅広い見方を身につけることができたと思います。



前田 俊介

学部生・3年

地球惑星物理学科はとても楽しい学科です。地球に関する色々な分野に触れることができるのもあります。しかし僕がなにより素晴らしいと思うのは学部生、院生、先生方の間に大きな壁がないことだと思います。演習や実験などでは、TAの院生や担当の先生に気軽に質問をすることができ、私自身も先生や先輩と授業中の質問をきっかけに親しくなることができました。授業以外でも先生方とお話のできる機会は多くあるので、自分の興味のある分野の先生から直接話を聞くことができます。みなさんが地球惑星物理学科に興味を持ってくださったら幸いです。



堀田 英之

学部生・4年

地球惑星物理学科では、3年の夏学期に地球惑星物理学演習という授業が週三回必修であり、計算機の使い方(UNIX、プログラミングなど)を学びます。私は駒場で授業を受けたときはプログラミングに苦手意識を持っていたのですが、ここでみっちり鍛えられ大学院ではシミュレーションを用いて研究を進めていこうと思うまでになりました。また、この学科で扱う内容は固体地球、大気海洋、宇宙惑星と、とても広いのできっと皆さんのやりたいことが見つかると思います。



酒井 理紗

学部生・4年

地球惑星物理学科の最大の特徴は、地球内部から宇宙惑星まで広がる分野の幅広さです。学部で講義では大気海洋・地震・宇宙惑星などの物理を基礎から学び、演習では1～2人毎に興味のある内容を選んで、実用的な実験や観測を先生がたの熱心で丁寧な指導のもと行うことができます。大学院では学部で学んだことをもとに自分の進みたい分野を決め、さらに深く研究していきます。地震や環境問題を含め、地球惑星に対して好奇心を持っている人なら必ず興味のある研究を見つけることができると思います!

