

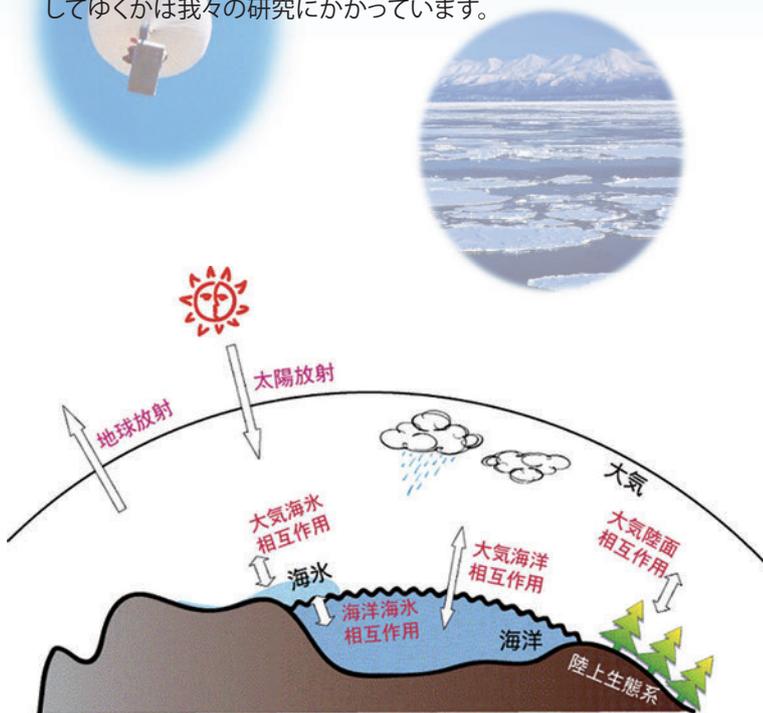
大気海洋物理学・気候力学コース

Course in Atmosphere-Ocean and Climate Dynamics

◎コースの概要

大気と海洋は主に太陽からの入射エネルギーによって駆動され、日々の天気から氷期・間氷期に至る様々な時空間スケールの現象が生み出されています。気候は毎日の天気現象の平均的状态ですが、気候を決定しているのは大気だけではなく、比較的高緯度にあるヨーロッパが暖かいのはメキシコ湾流という暖流が流れているからであり、海洋循環も気候を決定する上で極めて重要です。またエルニーニョ現象に典型的に示されるとおり、気候は大気と海洋が結合したシステムとして理解することができます。大気の流れも海洋の流れも回転する地球上の流体運動という観点から統一的な理解ができ、地球流体力学という学問分野を産みました。前世紀半ばまでは気候研究といえば定性的記述の地理学的研究が中心でしたが、現在ではこのように物理法則に基礎を置いた精密科学としての進化を遂げています。数値予報モデルによる天気予報や大気海洋結合モデルによる気候変動予測などはその好例です。近年の、二酸化炭素などの排出による地球温暖化、フロンなどによるオゾン層破壊、大気エアロゾルによる直接・間接効果は、大気や海洋の物理過程だけでなく、微量物質の化学過程およびそれらの相互作用が気候変動の大きな要因になり得ることを示しています。また、極域の海氷も大気・海洋双方と熱や水を交換することで相互作用しており、気候を維持あるいは変化させるのに重要な役割を担います。このように、さまざまな相互作用の結果として生じるフィードバックの輪を解きほぐし、気候システムの形成・変動メカニズムを解明しようとするのが気候の力学です。気候力学は気象学や海洋物理学をベースとしながらも、それらを超える枠組みを目指す若い学問分野であり、これからどのように発展してゆくかは我々の研究にかかっています。

地球圏科学専攻



気候システム：人間が直接感じることのできる地上付近の温度や湿度、目に見える降水・降雪などを含む気候の状態は、我々が直接には感じることのできないさまざまな要因から成り立っています。大気と海洋、海水や土壌、植生などの地球表面の媒体は互いに独立ではなく、常に相互作用しながら一つのシステムとして現在の気候状態を形成・維持しています。

教育理念・システム

本コースは、大気海洋物理学および気候力学に関する学際的な教育・研究を担っていますが、学部をもたない大学院であることを活かして、これまで気象学や海洋学を勉強する機会がなかった理系学部の出身者が基礎から学べるようにカリキュラムを組んでいます。出発点においては物理学と数学の基礎知識のみを前提とし、講義による大気海洋物理学や気候力学の概論的な知識の取得から、次第に専門的な研究へと進みます。従来の多くの教育研究機関では、大気と海洋はそれぞれ別々に研究と教育がなされてきましたが、両者とも回転球面上の流体という力学的基盤やデータ解析・数値計算など研究手法も共通していますし、気候変動の全体像を捉えるには大気と海洋が結合したシステムと考えることが必要不可欠ですので、本コースでは専門分野にかかわらず担当教員が協力し合いながら整合性の取れた教育を行っています。また修士1年前期は幅広く基礎を学ぶことを主眼とし、7月中に学生が自発的に指導教員を選択できる制度となっています。教員は後述するように多彩な専門分野で活躍している18名からなり、地球環境科学研究院、低温科学研究所、北極域研究センターに所属しています。

修士の主な進路

修士課程	気象庁(管区气象台を含む)、民間企業(日本航空、マツダ、ウェザーニューズ、NTTグループ各社、富士通、野村総研、NEC、住商情報システムなど)、財団法人(日本気象協会、リモートセンシング技術センターなど)、官公庁(気象庁、札幌市、北海道庁など) ほか
博士後期課程	大学(東大、京大、名古屋大、富山大など)、国内研究機関(電中研、国立環境研、JAXA、防災技研長岡、海洋研究開発機構、国立極地研究所、地球環境観測研究センター、リモートセンシング技術センターなど)、海外研究機関(英レディング大、米ミネソタ州立大、NASA、シンガポール南洋工科大学など)、気象庁、民間企業(明星電気、構造計画研究所など) ほか

研究室訪問、見学希望については、以下にお問い合わせください。
eoas_info@eoas.ees.hokudai.ac.jp



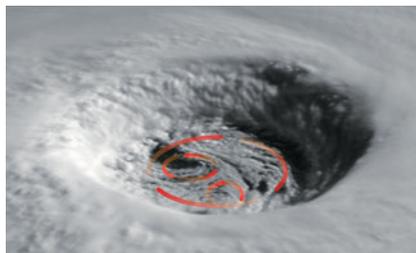
大気を測る、海を測る

現代においては、人工衛星や、天気予報のための定常観測などから得られる膨大なデータを用いて、時々刻々の大気と海洋の状態を知ることができます。しかし、気候システムのより深い理解のためには、新たな手法・新たな場所でのさらなる観測が必要です。例えば、成層圏のオゾンや水蒸気、対流圏の大気エアロゾルは、物理化学過程を介して地球の放射収支に大きく影響するため、高精度な測定が求められ、また新しい技術を応用した観測が求められます。また、大気海洋間の熱交換が世界中で最も盛んである黒潮とその続流域で船舶観測を行い、大気境界層および海面水温の密なデータを得ることは、大気海洋相互作用に関する新しい知見をもたらします。

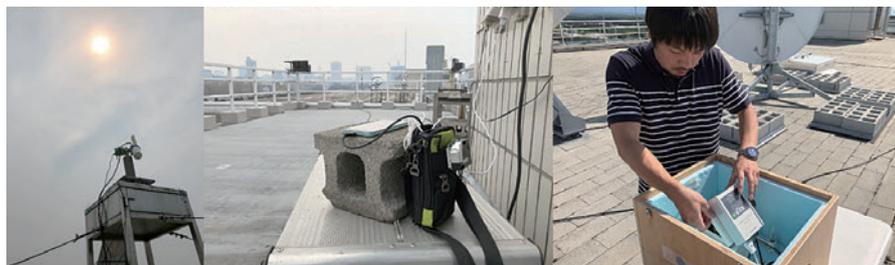
本コースでは、こうした観測計画を研究教育の一環として実施しています。国内外や海洋上で上記に関わる様々な現地観測を展開しています。また、人工衛星による大気・海洋の新たな診断法を開発し（例えば、海洋深層水生成の診断にも役立つ海水生産量マッピング手法、大気海洋に関する様々な情報をもたらすマイクロ波計測法、台風診断革新のための気象衛星画像処理法、金星探査機による風速測定など）、さらに将来の衛星計画に貢献しています。学生には、自らの手で地球を測る喜びを体感してもらいたいと考えています。



気球を用いた対流圏～成層圏の気球観測：1998年から熱帯各地で、オゾン、水蒸気、気温等の気球観測を実施し、熱帯大気の謎の解明に挑んでいます。雲粒子などのセンサーの開発もおこなっています。上のふたつの写真はインドネシアでの観測時のものです。上は、測器に取り付けたカメラで高度29kmから撮影した写真です。下には、放球前の気球と、雲粒子ゾンデ、オゾンゾンデ、水蒸気ゾンデが写っています。



気象衛星ひまわり8号の可視画像を立体処理したもの。矢印は目の中で検出された「メソ渦」を指す。当コースでは新世代の気象衛星を活用して台風の診断を革新するための研究を行っています。



小型PM2.5センサーによる大気汚染微粒子の観測：左：NASAと共同で通年運用しているAERONETサイト（工学部に設置）。中：名古屋大学と（株）パナソニックが共同開発した小型PM2.5センサー。右：同センサーを使ったアラスカでの観測（アラスカ大学の屋上に設置）。国内外で、森林火災などをターゲットに微粒子観測を行っています。

気候をシミュレートする

現在・過去の気候変動を理解し、将来の気候を予測するには、気候システムの物理的・化学的メカニズムを解明する必要があります。本コースでは、コンピューターを用いた気候の数値シミュレーションが可能であり、それをもとに、気候の形成・変動に関わる大気と海洋中の種々の過程や大気海洋間及びこれらと陸面の相互作用を解明するための研究教育を行っています。ここで、数値気候モデルと一言でいっても、大気や海洋をそれぞれ均一な一つの箱で表現するような簡略モデルから、大気・海洋・陸面の状態を3次元空間内の細かい格子点上で表現する複雑なモデルまで、さまざまな階層のものがあります。いかにコンピューターが発達しても、気候を決定するすべての要因を含む完全な数値モデルを作ることには事実上不可能ですから、研究の目的に応じて、どのようなモデルを用いるのか（あるいは作ればよいのか）という点に、科学的洞察に基づいた我々の英知が必要となります。

大気と海洋を統合的に理解する

大気と海洋の結合系は多数の物理過程の複合体であり、これをまるごと理解することは非常に困難です。コンピューターを用いた気候の数値モデルはそのための有力な道具ですが、モデルの扱う個々の物理過程が正しく表現されているかどうかは必ずしも明らかではありません。そこで、我々のコースでは大気・海洋中の様々な現象を特定の切口でとらえ、なるべくシンプルにそしてクリアカットに理解すること、あるいは特定の過程を取り出してそれをできるだけ厳密に取り扱うことを目標とした研究教育も進めています。とりわけ、大気と海洋の大規模運動を、その最大公約数的な特徴である「回転する球面上の成層流体」として共通の視点でとらえる地球（惑星）流体力学は、本コースの柱の一つです。

極域を科学する

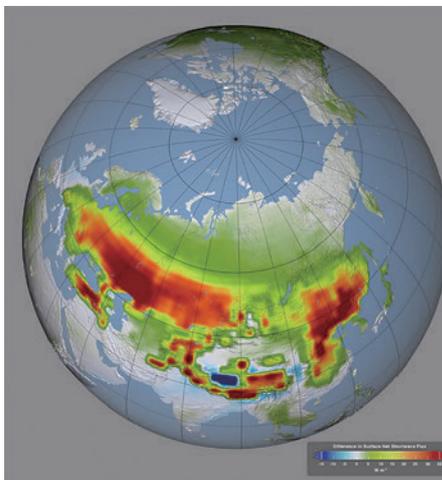
本コースの担当教員の約半数は低温科学研究所の水・物質循環部門、環オホーツク観測研究センターに、また一部の教員は北極域研究センターに所属しています。これらの研究部門を基盤とした、極域（北極・南極）や高緯度の海水域、北極圏及び周辺域に焦点をあてた研究教育も本コースの特徴です。水は、摂氏0度付近を境にして全く性質の異なる物質になります。そのせいもあって、高緯度域は地球全体のエネルギーや熱の吸収や循環に重要な役割を果たしています。雪や氷は太陽からの放射を反射し、地球の吸収する熱エネルギーを減少させます。しかし、太陽光を吸収する大気エアロゾルが雪に沈着し雪が汚れると、雪はその反射率を下げ、太陽からの熱エネルギーを吸収する方向に機能することがこれまでの数多くの研究からわかっています（例えば、右下図を参照）。また、海水は海洋と大気の熱の交換を著しく妨げます。海水が凍るときに生成される低温で高塩分の海水は世界の海洋の深層水の源であり、海洋大循環の駆動源でもあります。南極や北極などの高緯度域は環境の変動に非常に敏感です。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の最新の第5次報告書によると、今後の地球温暖化により北極域はより大きな影響を受けることが予測されています。わずかな温度の変化で、雪は雨に変わり、海水は融けてしまいます。また、春の雪解けが早まれば、その後陸の状態が変化し、大気陸面相互作用によって陸域の環境変化や大気循環などに影響を与えることが懸念されます。これらの変化はさらに地球全体のエネルギーの収支に影響し、極域の環境に跳ね返ってきます。地球の気候の変動が加速的に増大するのか、安定に落ちつくのかは、このフィードバックの性質に大きく依存します。その鍵を握っているのは、雲・降雪システム、海水の形成・融解過程などの個々のプロセスだけでなく、これらに伴う大気・海洋・陸面間や異なったスケール間での相互作用なのです。これらの過程はそれぞれが十分に解明されていないばかりでなく、お互いに複雑に絡み合っています。解明に

は地道な観測と、計算機による数値モデリング、理論的研究などの手法を有機的に結びつけた研究が必要となります。中緯度や赤道域の研究に比べ、観測データが限られている極域及び海水域の研究は大きく遅れていました。しかし、近年、衛星による観測や新しい観測技術の進展によって、海水・大気エアロゾルや極域の大気・海洋に関して多くの新しい情報が得られるようになってきました。本コースでは、地球全体の環境に極域が果たしている役割や、他の気候帯に発生する気象・海洋現象との比較といったことにも教育の焦点をあてます。そして、高緯度・極域における気象・海洋の現象やその相互作用を研究し、その特異性、重要性を明らかにすることをめざしています。

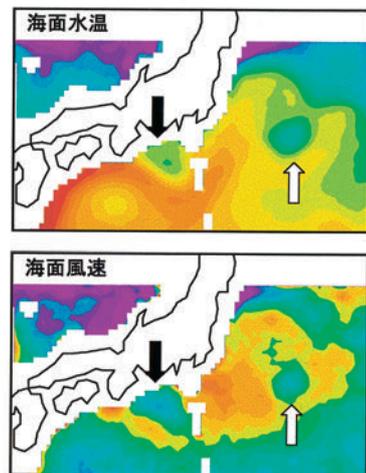


オホーツク海水域を進む海上保安庁の砕氷巡視船「そうや」

本コースの学生は、毎年乗船して海水・海洋観測に参加している。オホーツク海は北半球の海水域の南限であり、最もアクセスしやすい絶好の観測サイトになっている。（海上保安庁撮影協力）



全球シミュレーション：太陽光吸収性エアロゾル（ダスト・ブラックカーボン・オーガニックカーボン）による春の時期の積雪汚染効果（snow-darkening effect, NASA Goddardとの共同研究による）。積雪汚染効果が存在していることで、中緯度では春季に正味の短波放射収支が増加し（左図）、その地域で雪の汚れがない場合に比べて積雪水量が減少する効果があることがわかる（右図）。

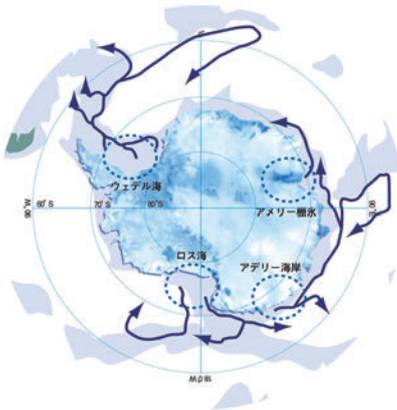


黒潮に関わる大気と海洋：熱帯降雨観測衛星（TRMM）により観測された黒潮流域における海面水温（上図）と海上風速（下図）。黒潮の蛇行によってできる冷たい渦の上で風が弱まっています（図中の矢印で示す）。これは大気と海洋の関係性の一例ですが、このような関係性を広く調べることで、大気海洋相互作用系の仕組みの理解を進めています。

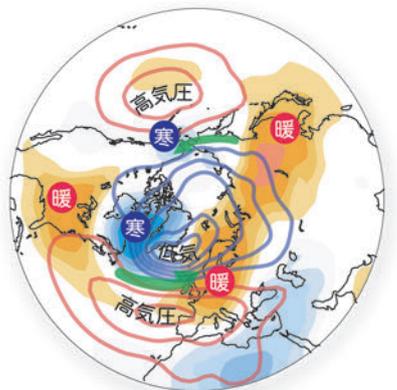


南極昭和基地周辺（奥に見える建物群）での海水観測

日本南極地域観測隊の隊員として参加した本専攻の出身学生・教員は約30名にもものぼり、観測隊の主力になっている。



世界の海で一番重い水：南極大陸沿岸では冷たい南極底層水が海底近くに沈み込んでいき、世界の全大洋の深・底層水の源となっています。海洋深層の循環は気候と密接にかかわっています。本コースでは、南極底層水の生成量や輸送経路、そしてその変化を調べることで、気候とその変動の研究をすすめています。



北極振動：北半球冬季に卓越する大気循環変動である北極振動（AO）は、日本の天候異常などにも密接に関わっています。上の模式図は、AOの正位相時の海面気圧（等値線）と地上付近の気温（カラー）の平年からのずれを示したもので、このような冬には東アジア域で暖冬傾向になりやすいことを表しています。

担当教員紹介

●江淵 直人 教授
ebuchi@lowtem.hokudai.ac.jp
Naoto Ebuchi, Professor
海洋物理学、
海面のマイクロ波リモートセンシング

●大島慶一郎 教授
ohshima@lowtem.hokudai.ac.jp
Keiichiro Ohshima, Professor
海洋物理学、海水・海洋結合システム

●久保川 厚 特任教授
kubok@ees.hokudai.ac.jp
Atsushi Kubokawa, (Specially Appointed)
Professor
海洋学、地球流体力学

●谷本 陽一 教授
tanimoto@ees.hokudai.ac.jp
Youichi Tanimoto, Professor
大気海洋相互作用、気候変動、気候力学

●深町 康 教授
yasuf@arc.hokudai.ac.jp
Yasushi Fukamachi, Professor
海洋物理学、海水・海洋結合システム

●堀之内 武 教授
horinout@ees.hokudai.ac.jp
Takeshi Horinouchi, Professor
気象学、地球流体力学、数値モデリング、
人工衛星

●三寺 史夫 教授*
humiom@lowtem.hokudai.ac.jp
Humio Mitsudera, Professor
地球流体力学、海洋循環の数値モデリング

●渡辺 力 教授*
t-wata@lowtem.hokudai.ac.jp
Tsutomu Watanabe, Professor
大気圏 - 生物圏 - 雪氷圏相互作用

●青木 茂 准教授*
shigeru@lowtem.hokudai.ac.jp
Shigeru Aoki, Associate Professor
海洋物理学、極域気候変動、
大気-海洋相互作用

●佐藤 友徳 准教授†
t_sato@ees.hokudai.ac.jp
Tomonori Sato, Associate Professor
気候学、気象学、地域気候モデル

●富田 裕之 准教授
Hiroyuki Tomita, Associate Professor
大気海洋相互作用、人工衛星観測

●藤原 正智 准教授
fuji@ees.hokudai.ac.jp
Masatomo Fujiwara, Associate Professor
大気科学、微量気体観測、測定器開発、
大気化学

●中村 知裕 講師
nakamura@lowtem.hokudai.ac.jp
Tomohiro Nakamura, Lecturer
海洋物理学、海洋の数値モデリング、内部波

●川島 正行 助教*
kawasima@lowtem.hokudai.ac.jp
Masayuki Kawashima, Assistant Professor
メソ気象力学、雲システムの数値モデリング

●豊田 威信 助教*
toyota@lowtem.hokudai.ac.jp
Takenobu Toyota, Assistant Professor
海水-大気-海洋相互作用

●中山 佳洋 助教
Yoshihiro.Nakayama@lowtem.hokudai.ac.jp
Yoshihiro Nakayama, Assistant Professor
極域海洋学、海洋の数値モデリング、
海洋氷床相互作用

●水田 元太 助教
mizuta@ees.hokudai.ac.jp
Genta Mizuta, Assistant Professor
海洋物理学、地球流体力学

●安成 哲平 助教
t.j.yasanari@arc.hokudai.ac.jp
Teppe J. Yasanari, Assistant Professor
大気エアロゾル・PM2.5、物質輸送・沈着、気
候モデル、大気-雪氷相互作用

* 専攻内複数コース担当
† 環境起学専攻兼務