

気候システム研究系

気候モデリング研究部門

Division of Climate System Research, Department of Climate System Modeling

気候の状態は、大気・海洋・雪氷・陸面など、気候システムの構成要素が複雑に相互作用した結果として形作られています。さらに、個々の構成要素の中にも多様な現象が存在し、それらが幅広い時空間スケールにわたって影響を及ぼしあいます。気候の振舞を正しく理解するためには、これらの複雑な現象や相互作用を現実にも即した形で表現する数値モデルを用いることが欠かせませんし、そうした気候の数値モデルを現象理解の深化や計算機の発展にあわせて高度化していく必要があります。気候モデリング研究部門では、気候の数値モデルを継続的に開発しながら、過去から未来にわたる気候変動のメカニズムを解き明かす研究を行っています。

States of the climate are formed as a result of complex interactions among the components of the climate system, such as atmosphere, ocean, cryosphere, and land surface. Each component also contains various phenomena which affect each other over broad spatio-temporal scales. In order to adequately understand the behavior of the climate, we need to utilize numerical models of the climate which represent such phenomena and interactions as realistic as possible, and we also have to sophisticate climate models in accordance with deepening of our knowledge and advance of computers. In Department of Climate System Modeling, we continuously develop numerical models of the climate and try to reveal the mechanisms of climate variations from the past to the future.

WEB page address

<https://ccsr.aori.u-tokyo.ac.jp/>



<https://ccsr.aori.u-tokyo.ac.jp/index-e.html>



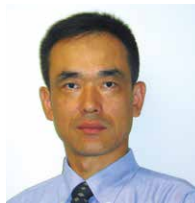
教授 羽角 博康
Professor HASUMI, Hiroyasu

海洋モデリング、海洋大循環
Ocean Modeling, Ocean General Circulation



特任助教 川崎 高雄
Project Assistant Professor KAWASAKI, Takao

海洋モデリング、海洋物理学
Ocean Modeling, Physical Oceanography



教授 今須 良一
Professor IMASU, Ryoichi

大気リモートセンシング、炭素循環
Remote sensing of the atmosphere, Carbon Cycle



教授 鈴木 健太郎
Professor SUZUKI, Kentaroh

大気物理学、雲・エアロゾルの気候影響
Atmospheric Physics, Climatic effects of clouds and aerosols



准教授 岡 顕
Associate Professor OKA, Akira

全球海洋モデリング
Global-Scale Ocean Modeling



准教授 宮川 知己
Associate Professor MIYAKAWA, Tomoki

スケール間相互作用、大気海洋相互作用
Multiscale Interaction, Air-sea Interaction

気候モデリング研究部門 | Department of Climate System Modeling

現在の主な研究テーマ
Ongoing Research Themes

● 温室効果ガスの観測

二酸化炭素(CO₂)やメタン(CH₄)などの温室効果ガスの大気中の濃度分布や循環の様子を調べるため、人工衛星や地上リモートセンシングなどの技術を用いた観測をしています。そのために必要な各種センサーやデータ解析アルゴリズムなどの開発を行っています。観測は、大都市や都市近郊のほか、離島や船舶など、さまざまな場所で行っています。

● 数値シミュレーションによる温室効果ガスの発生源、吸収源の推定
直接観測や人工衛星などのリモートセンシング技術で得られた観測データと、化学輸送モデルによる数値シミュレーションを組み合わせることで、温室効果ガスの発生源、吸収源を推定します。特に、東京などの大都市からの総発生源の推定や、火力発電所などの大規模排出源のモニタリングを目指しています。

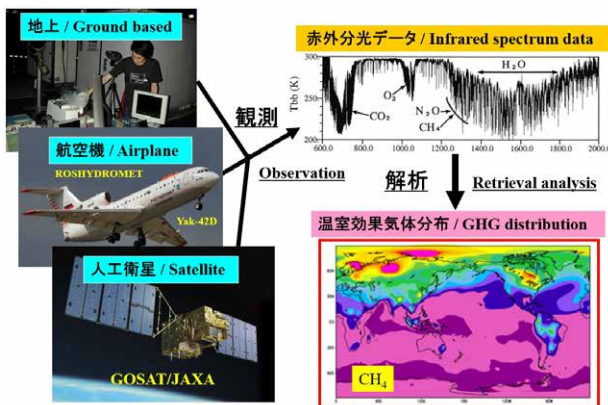
● 雲とエアロゾルの素過程と気候影響に関する研究

大気に浮かぶ粒子である雲とエアロゾルは、太陽からの光や地球自身の出す赤外線のエネルギーの伝達や降水に影響することを通じて地球のエネルギー収支と水の循環に深く関与しています。これらの粒子の大気中での生成や成長を決めている微視的なプロセスを全球規模で適切にモデリングするための手法を開発するとともに、それらが組み込まれた大循環気候モデルと全球雲解像モデルを用いて、雲とエアロゾルが地球の気候をどのように特徴づけているのかを理解し、気候変化の予測精度向上に資するための研究を行っています。

● **Observation of greenhouse gases:** We are observing greenhouse gases such as carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) using satellite and ground-based remote sensing for investigating their spatial distributions and circulations in the atmosphere. For this purpose, we develop various types of sensors and data analysis algorithms. Observations are carried out in various places such as big cities, suburbs, remote islands, and ships.

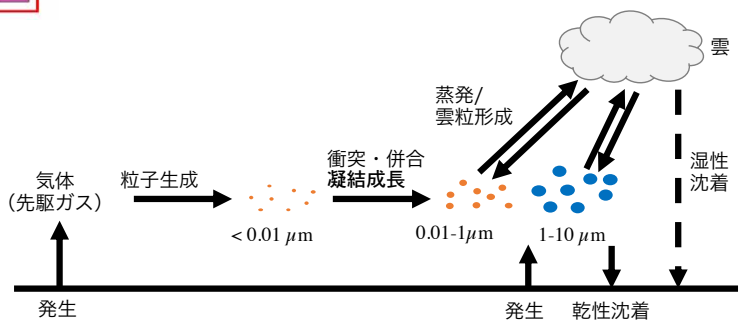
● **Estimation of sources/sinks of greenhouse gases based on the numerical simulation:** By combining numerical simulations using a chemical transport model with observational data obtained by in situ measurements and remote sensing techniques such as satellites sensing, we estimate the sources and sinks of greenhouse gases. In particular, we aim to estimate total emissions of the gases from big cities such as Tokyo and to monitor large emission sources such as thermal power plants.

● **Understanding cloud-aerosol processes and their impacts on climate:** Clouds and aerosols, suspended particles in atmosphere, play a fundamental role in Earth's energy budget and hydrological cycle through their effects on solar and terrestrial radiative transfer and precipitation. We develop methodologies for realistically modeling the microphysical processes responsible for formation and growth of these particles. The global models implemented with these processes are then employed to understand how global climate is characterized by these particles and to improve the accuracy of climate change prediction.



観測とデータ解析の概念図
Schematic of observations and data analysis

エアロゾルから雲・降水へと至る粒子の成長とその主要プロセス
Particle growth from aerosols to cloud and precipitation through various processes



気候モデリング研究部門 | Department of Climate System Modeling

現在の主な研究テーマ Ongoing Research Themes

●衛星観測を活用した数値モデルの高度化

気候予測に用いられる大循環気候モデルや全球雲解像モデルは観測情報に基づいて絶え間なく評価・改良していくことが必要ですが、数値モデルにおいて特に不確実性が大きい構成部品は雲と降水に関わる物理プロセスの表現です。この長年の問題にアプローチするために、近年の衛星観測がもたらす雲・降水の様々な情報を複合的に活用して、その物理プロセスの現実の姿に迫るとともに、その観測情報に基づいて数値モデルにおける雲・降水の表現を高度化する研究に取り組んでいます。

●組織化した対流活動に関連したスケール間相互作用・大気海洋相互作用・熱帯・中緯度の相互作用

高解像度の全球非静力モデルNICAMやその海洋結合版NICOCOを用いた巨大雲群マッデン・ジュリアン振動(MJO)の研究をはじめ、組織化した対流活動や赤道波について、その性質・スケール間相互作用・大気海洋相互作用・熱帯・中緯度の相互作用・地球全体の熱サイクルにおける役割などを中心に、“再現”し、“理解”し、“予測”する研究をしています。特に、メソスケールと呼ばれる水平数十～数百km規模の雲システムが高解像度モデルで直接的な計算により陽に表現されることの影響について、積雲パラメタリゼーションによる表現との違いや水平解像度依存性に着目した研究に力を入れています。

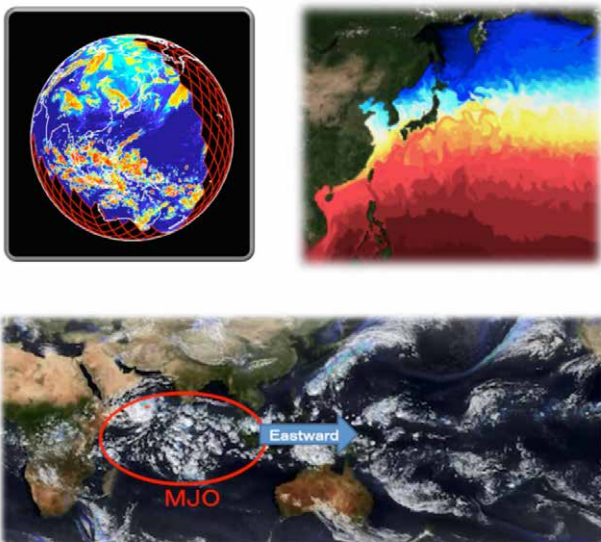
●極端気象現象の季節予測

スーパーコンピュータ「富岳」を用いて台風や豪雨といった極端気象現象について、MJOのように寿命の長い大規模現象の予測が可能な数値モデルを用いて初期値の少しずつ異なる多数のアンサンブルメンバーによる実験を行うことにより、週～季節程度の時間スケールでの確率的な予測可能性の研究を推進しています。また世界各国で開発の進んでいる全球雲解像モデルの比較プロジェクトをリードするなど次世代の気象・気候モデル開発の方向性の検討にも携わっています。

●Improving global models with satellite observations: Numerical global models need to be readily evaluated and improved against observations, particularly for their representations of cloud and precipitation, which remains the most uncertain “building block” in the models. For addressing this long-standing issue in climate modeling, we exploit multi-sensor, multi-platform satellite measurements of cloud and precipitation to observationally diagnose their physical processes and to inform the models of their better representations of the processes.

●Multiscale interactions, air-sea interactions, tropical-extratropical interactions of organized convective systems.: We conduct researches to “reproduce,” “understand,” and “predict” atmospheric and oceanic phenomena, with the aid of the high-resolution global non-hydrostatic model NICAM and its ocean-coupled version NICOCO. We study the nature and related internal/external interactions of organized convective activity and equatorial waves, such as the Madden-Julian oscillation (MJO), a giant complex of cloud systems characterized by its month-long lifetime and eastward propagation. We particularly focus on the effects of explicitly resolving the details of the so-called “Mesoscale” cloud systems, which range from several 10 to 100 km in its horizontal scale, instead of parameterizing them or calculating them at a crude resolution.

●Seasonal prediction of high-impact weather events: By We explore the extended predictability of high-impact weather phenomena, such as Typhoons and heavy rainfall. On the supercomputer Fugaku, we use models capable of predicting large scale phenomena of relatively long lifespan such as MJOs. We aim to develop a probabilistic prediction method of high-impact weathers by carrying out large ensemble member simulation series with slightly different initial conditions. We lead an international intercomparison project of global cloud/storm resolving models and participate in the consideration of next generation weather/climate model developments.



全球大気を高解像度で表現する数値モデルNICAM (左上) と、その海洋結合版モデルNICOCOが表現した海面水温分布 (右上)。NICAMが再現したマッデン・ジュリアン振動の東進する雲群 (下)。
A global high-resolution model NICAM (upper left), and the sea surface temperature reproduced by its ocean-coupled version NICOCO (upper right). An envelope of eastward migrating cloud systems of a Madden-Julian oscillation reproduced by NICAM (below).

気候モデリング研究部門 | Department of Climate System Modeling

現在の主な研究テーマ
Ongoing Research Themes

●海洋深層循環

地球の気候はさまざまな時間・空間スケールで変動しますが、数十年以上の長期気候変動においては海洋が重要な働きをします。なかでも海洋の深層まで含めた循環（海洋深層循環）は、1000年以上の時間スケールで全球的な気候に影響しています。例えば、氷床コアデータによると、氷期において最大10度程度の温暖化イベントが数千年程度の周期で何度も起こっていることが見出されており、それは海洋深層循環の変動によるものと考えられています。海洋深層循環を気候モデル・海洋モデルによって再現するとともに、その安定性や変動のメカニズムを理解するための研究を行っています。また、海洋深層循環は、海洋中に溶存する炭素などの物質循環を理解する上でも重要となります。その理解のために、海洋物質循環モデルを用いた研究も行っています。

●海洋大循環のモデリング

海洋大循環は、乱流混合などのミクロな物理現象と、海洋全体の熱収支などのマクロな側面の両方にコントロールされます。その両方の視点から、海洋大循環のコントロールメカニズムを解き明かす研究を行っています。

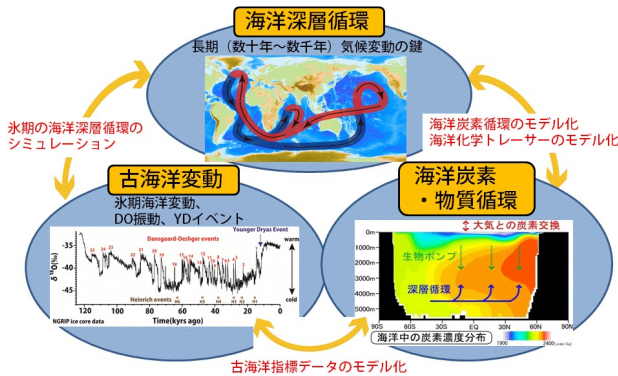
●極域海洋のモデリング

海洋深層循環の起点となる深層水形成は、主に極域海洋のごく限られた領域で生じます。海氷過程など、そこで重要となる特有の海洋プロセスの詳細なモデリングを通して、深層水形成に重点を置いた研究を進めています。

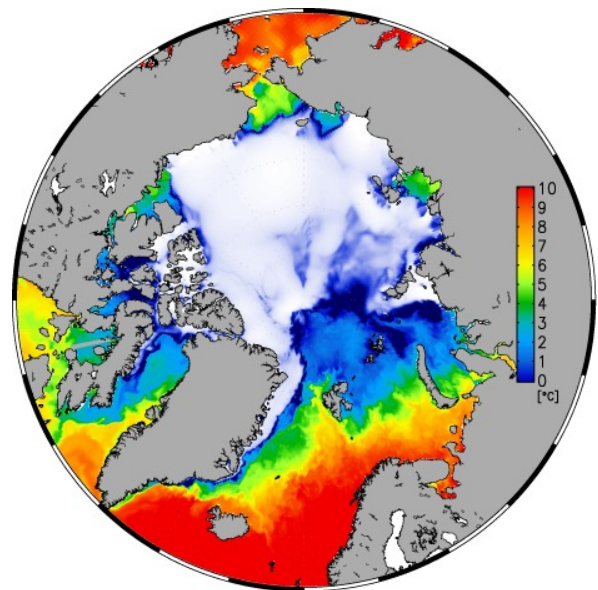
●Deep ocean circulation: The Earth's climate varies over a variety of temporal and spatial scales, in which the oceans play an important role in long-term climate change over several decades. The circulation that includes the deeper layers of the ocean (the deep ocean circulation) affects the global climate on a time scale of more than 1,000 years. For example, ice core data shows that warming events of up to 10 degrees Celsius have been found to occur many times during glacial periods with cycles of several thousand years, which are thought to be due to changes in the deep ocean circulation. We are working to reproduce the deep ocean circulation with climate and ocean models, and to understand the mechanisms of its stability and variability. The deep ocean circulation is also important for understanding the ocean biogeochemical cycle, such as the carbon cycle in the ocean. We are also conducting research using an oceanic biogeochemical model.

●Ocean general circulation modeling: The ocean general circulation is controlled by both microscopic physical processes and the macroscopic budget of heat and substances. We are striving for revealing the controlling mechanisms of the general circulation of the ocean from both perspectives.

●Polar ocean modeling: Deep water formation, which is the starting point of the oceanic deep circulation, is a highly localized phenomenon in the polar oceans. We place a special emphasis on the processes peculiar to the polar oceans.



海洋深層循環に関する研究トピック
Research topic about the deep ocean circulation



高解像度北極海モデリング
High-resolution modeling of the Arctic Ocean

気候システム研究系

気候変動現象研究部門

Division of Climate System Research, Department of Climate Variability Research

人類や生物の生存環境は、さまざまな時空間スケールの気候変動現象に大きく左右されます。毎日の天気始まり、数十日の異常気象、季節の移り変わり、エルニーニョなどの年々変動、十年規模変動、地球温暖化の長期トレンドからさらには氷期-間氷期のような万年スケールの現象まで、時間スケールの異なる現象はお互いに影響しあって複雑な気候のシステムを形成しています。気候変動現象研究部門では、現在進行している温暖化および、さまざまな自然の気候変動現象のメカニズムを理解することを目標として、気候モデルや地球システムモデルなどの数値モデル実験と、現地観測から衛星観測までの観測データ解析とを利用して研究を進めています。

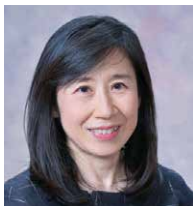
Living environments for human being and all other species on Earth are always under influence of climate variations at various temporal and spatial scales: weather extremes at daily and weekly time scales, seasonal migration, interannual fluctuations such as El Niño, decadal variations, climate change associated with the global warming, and paleoclimate variations at millennial and longer time scales. These phenomena coexist and interact with each other, constituting a complex climate system. Primary goals in the Department of Climate Variability Research are to understand the mechanisms of the natural climate variability, in addition to the ongoing anthropogenic climate change. To meet this end, we perform researches based on numerical simulations using global climate and Earth system models, as well as various observations using modern instruments, paleoclimate proxy, and satellite remote sensing.

WEB page address

<https://ccsr.aori.u-tokyo.ac.jp/>



<https://ccsr.aori.u-tokyo.ac.jp/index-e.html>



教授
Professor
阿部 彩子
ABE-OUCHI, Ayako

気候力学、古気候モデリング
Climate dynamics, Paleoclimate modelling



講師
Lecturer
横山 千恵
YOKOYAMA, Chie

雲降水システム、衛星観測
Cloud-precipitation systems, Satellite observation



教授
Professor
渡部 雅浩
WATANABE, Masahiro

気候力学、気候モデリング
Climate Dynamics, Climate Modeling



特任助教
Project Assistant Professor
高橋 千陽
TAKAHASHI, Chiharu

気候変動、極端気象
Climate change, Extreme weather



兼務教授
Professor
芳村 圭
YOSHIMURA, Kei

統合陸域モデリング、同位体水文気象学
Integrated Land Modeling, Isotope Hydro-meteorology



准教授
Associate Professor
吉森 正和
YOSHIMORI, Masakazu

気候変動、極域気候
Climate Change, Polar Climate



准教授
Associate Professor
今田 由紀子
IMADA, Yukiko

気候力学、極端現象
Climate Dynamics, Extreme Events

気候変動現象研究部門 | Department of Climate Variability Research

現在の主な研究テーマ
Ongoing Research Themes

●地球温暖化の物理的理解

20世紀後半以降の温暖化が人間活動により生じたことにもはや疑う余地はありませんが、既に起こりつつある様々な気候システムの変化について物理学的に解明されていない課題はまだ多く残されています。それらの問題に、全球気候モデルなどを用いた数値的アプローチで取り組んでいます。

●自然の気候・気象変動(エルニーニョ、10年規模変動、異常気象)のメカニズム

気候は複雑かつ非線形なシステムで、仮に外力が一定でも、さまざまな時間スケールで気候・気象の変動が自発的に生じます。特に、社会に大きな影響をもたらす、異常気象からエルニーニョ、さらに10年規模の気候変動のメカニズムを、気候モデルを用いて理学的立場から明らかにする研究を行っています。

●雲降水と気候のマルチスケール相互作用の解明

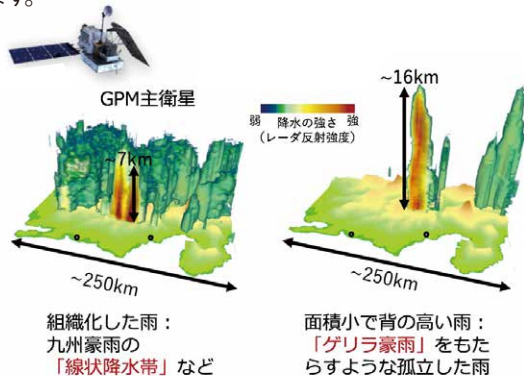
地球の気候形成には、水蒸気・雲・雨・雪氷・海水と様々な形態の水が重要な役割を果たしています。水の介在によって、雲粒の生成から、熱帯対流、エルニーニョ、地球温暖化まで時間空間スケールの異なる現象が互いに影響し合います。本部門では、その複雑な気候システムの形成と変動の仕組みを物理的に理解し紐解くため、最新の人工衛星によるリモートセンシングデータなどの地球規模の観測データ、再解析気象データ、気候モデル実験データ等を用いて研究しています。

●極端降水メカニズムの解明

特に近年は、気候変動に伴う降水の激甚化などが社会問題となっています。降水形成の物理過程と気候状態との相互関係を調べ、地球規模の気候変動が地域的な極端降水に影響するメカニズムを理解するための研究を行っています。

●イベント・アトリビューション(極端現象の要因分析)

特定の極端現象に気候変動や地球温暖化がどの程度影響を与えているかを定量化することは容易ではありません。気候モデルを用いて、異なる気候条件下で極端現象の発生・発達の特徴を比較するイベント・アトリビューション研究に取り組んでいます。



衛星搭載降雨レーダを活用して、極端降雨の仕組みを研究する。熱帯降雨観測計画 (TRMM)衛星観測データを用いた立体図。GPM主衛星はTRMM衛星の後継機

Analysis of extreme precipitation utilizing three-dimensional precipitation data observed with the precipitation radar data on board the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite and the Global Rainfall Measurements (GPM) core satellite. Left panel shows the "organized precipitation" which sometimes brings torrential rainfall, while right panel shows the "isolated tall precipitation" which brings intense but short duration rainfall.

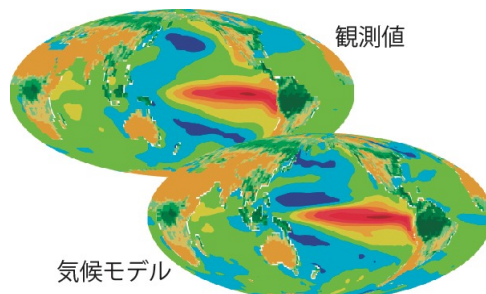
●Physical understanding of human induced climate change: It is unequivocal that human activity has warmed this planet since the industrial revolution, and yet there remain many scientific questions regarding mechanisms of the climate response to anthropogenic drivers. We attempt to clarify them by means of a state-of-the-art global climate system model.

●Clarifying mechanisms of natural climate variability: from weather extremes to ENSO: In a complex nonlinear system of climate, fluctuations spontaneously occur at various time scales even if external conditions to the system are unchanged. In particular, understanding and predicting weather extremes, El Niño-Southern Oscillation, and decadal climate variations are important as they influence society. Using a climate model and other dynamical models of climate, we perform research to clarify the mechanisms of climate variability on the basis of physical sciences.

●Multi-scale interactions between cloud-precipitation systems and climate variability: Various forms of water such as vapor, clouds, rain, ice, snow, and sea, play crucial roles in the formation of the Earth's climate. To physically understand multi-scale interactions through wide range of scales from the formation of cloud droplets, cumulus convection, El Niño, to the global warming, we utilize state-of-the-art satellite remote sensing data, global reanalysis data, and climate model simulation data.

●Extreme precipitation and climate: Recent increase of torrential rainfalls has become a serious social issue, upon which effects of the climate change are indicated. We aim to study the interaction mechanisms between cloud and precipitation systems and climate states, to clarify how the climate change can affect the regional extreme weather.

●Event attribution: It is not easy to quantify the impact of climate change (including global warming) on a specific extreme event. We are working on event attribution research using climate models to compare the characteristics of the extreme events under different climate conditions.



観測されたエルニーニョの海面水温パターンと、気候モデルMIROCによるシミュレーション
El Niño sea surface temperature pattern in observations and a climate model MIROC

気候変動現象研究部門 | Department of Climate Variability Research

現在の主な研究テーマ
Ongoing Research Themes

●過去の気候変動の理解と将来予測への貢献

過去の気候・環境変動の謎を解明することは、それ自体たいへん興味深い課題です。加えて、過去を知ることは、人類が経験したことのないほどの大きな将来の変化について考えるのにも役立ちます。単に鏡に映る未来像を地球史の中に探すのではなく、変動メカニズムの理解を通して古気候から学んだことを将来予測に役立てる研究に取り組んでいます。

●極域気候変動メカニズムの解明

過去の気候変動からは極域において温度変化が大きく現れることが知られており、現在進行中の地球温暖化でも北極域の地表付近で秋から冬にかけて顕著な昇温が見られます。極域では、大気-海洋-海氷の相互作用や気候-氷床の相互作用など、他地域とは異なる物理過程も考慮したメカニズムが重要であり、こうした極域気候システムの統合的理解に取り組んでいます。

●統合陸域モデリング

人類は陸域で生活しており、気候がわずかに変化しただけでもその社会影響は甚大です。また陸域は、地球システムの重要な要素の一つであり、気候に与える影響も無視できません。気候から陸域への影響と陸域から気候への影響を正確に推定するために、陸域での地質的・物理的・化学的・生物学的のプロセスに加え人為的・社会的プロセス等を組み込み、より高い空間分解能で表現した統合陸域モデルを開発し、単体や大気モデル・海洋モデルと結合して用いることで様々な研究を行っています。

●水の同位体比を使った地球水循環の解明

地球上の水は、とても簡略化すると海洋→蒸発→大気→凝結→陸域→流出→海洋という具合に循環していますが、その詳細は極めて複雑です。水の同位体比は、水が相変化する際に決まった変化をすることが知られており、複雑な水循環過程を追跡するための目印になります。この水同位体の特徴を組み込んだ気候モデルや人工衛星も使った観測によって、地球水循環過程の解明に取り組んでいます。

●Understanding of paleoclimate changes and contribution to future projections:

It is extremely exciting to solve riddles of paleoclimate changes. In addition, knowing the past is of practical importance in building plausible perspective on greater future changes than those humans have ever experienced. We are making effort in applying 'lessons' learned from the past to future projections.

●Elucidating mechanism of polar climate change:

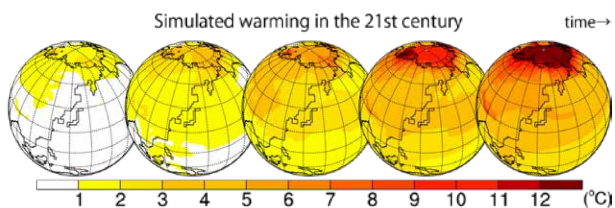
From paleoclimate studies, it is known that temperature changes in polar regions generally appear greater than the rest of the world. In the ongoing global warming, prominent near-surface warming occurs in the Arctic during the cold seasons. The consideration of additional processes such as atmosphere-ocean-sea ice interaction and climate-ice sheet interaction are required in polar studies, and we investigate the mechanism of changes in the state of polar climate system.

●Integrated land modeling:

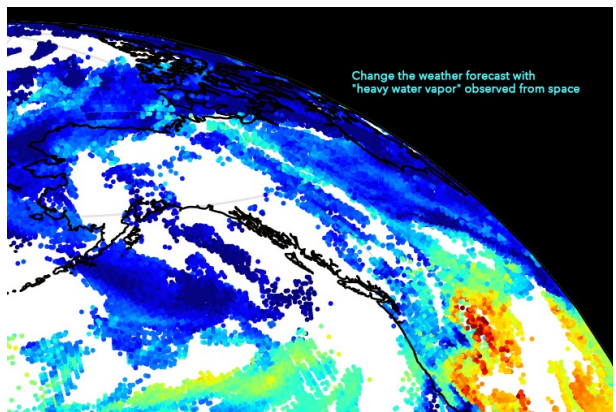
Humans live on land, and even a slight change in climate can have a profound social impact. The land area is also an important component of the Earth system, and its impact on climate cannot be ignored. In order to accurately estimate the impact of climate on land and land on climate, we have developed an integrated land model that incorporates geological, physical, chemical, biological, anthropogenic, and social processes on land and expresses them with higher spatio-temporal resolution. We use it in stand-alone mode or coupled with the atmosphere and ocean models.

●Investigation of the global hydrological cycle using water isotopes:

The global hydrological cycle in a very simplified manner is like: ocean → evaporation → atmosphere → condensation → land → runoff → ocean, but the details are extremely complex. As the isotopic ratios of water change as water makes a phase change, they act as tracers of the complex water cycle process. We try to elucidate the processes of the global water cycle with isotopic climate models that incorporate the characteristics of water isotopes and with isotope observations using satellites.



気候モデルMIROCによる将来気候予測シミュレーションと北極域温暖化増幅の一例
An example of future climate simulation using climate model, MIROC, with Arctic amplification of warming



人工衛星から観測した水蒸気同位体比の様子
Isotope ratio of column water vapor observed from a satellite sensor