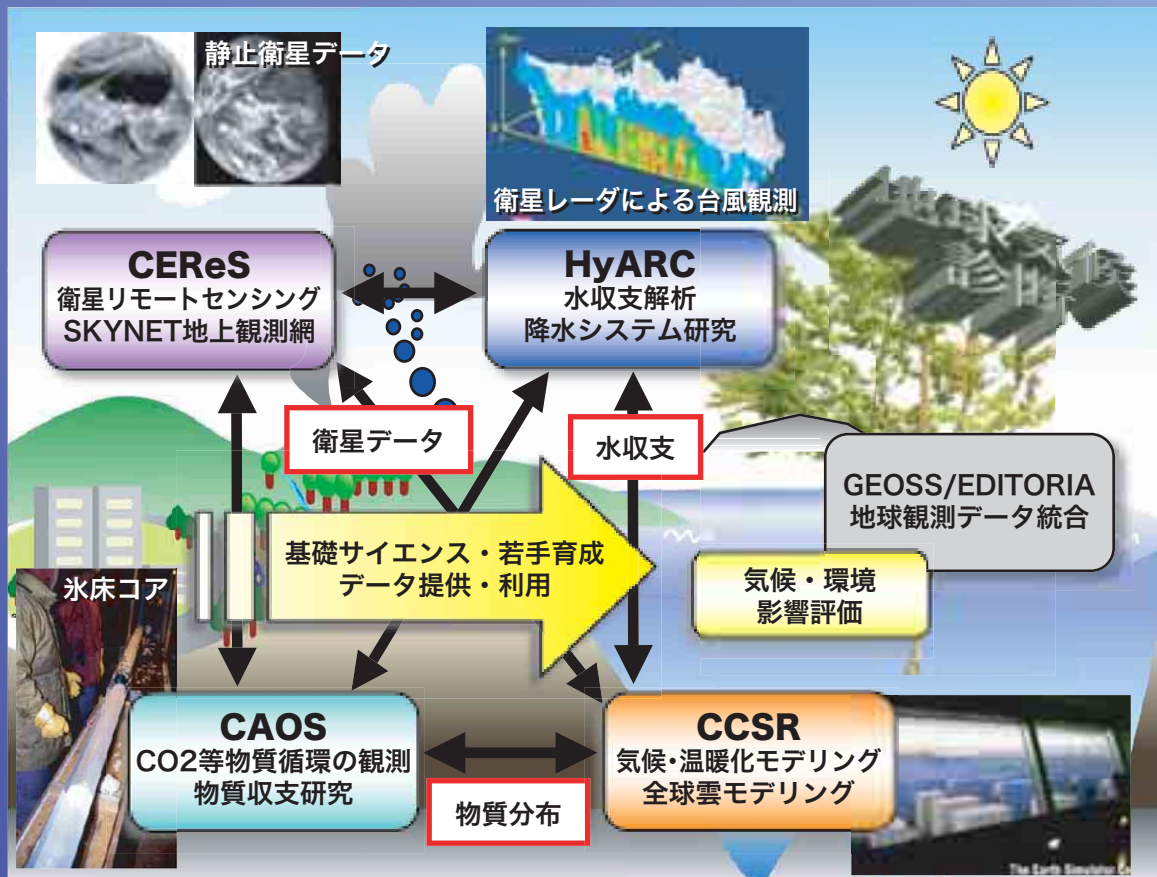


文部科学省特別経費事業

# 地球気候系の診断に関わる バーチャルラボラトリーの形成 (気候診断VLプロジェクト)



## 地球気候環境研究の連携に関する 大学附置研究センター協議会



東京大学気候システム研究センター (CCSR)  
名古屋大学地球水循環研究センター (HyARC)  
東北大学大気海洋変動観測研究センター (CAOS)  
千葉大学環境リモートセンシング研究センター (CEReS)

## 文部科学省特別経費事業 地球気候系の診断に関わるバーチャルラボラトリーの形成 (気候診断VLプロジェクト) の概要

### 気候診断VLプロジェクトとは？

現在、地球温暖化などの地球環境と気候変動の問題が懸念されており、そのために第3次科学技術基本計画のもとで重点的な研究が進められています。しかし、これらの重点研究を支えるためには、基礎研究基盤の充実と次世代の育成が必要です(図1)。

そこで、地球表層系の研究に関わる大学附置研究センターである東京大学気候システム研究センター(CCSR)、名古屋大学地球水循環研究センター(HyARC)、東北大学大気海洋変動観測研究センター(CAOS)、千葉大学環境リモートセンシング研究センター(CEReS)は、文部科学省教育特別経費事業「地球気候系の診断に関わるバーチャルラボラトリーの形成」(平成19年から平成25年)において研究センター同士が初めて組織的に連携して、変化する地球気候を総合的に診断する研究を開始しました。

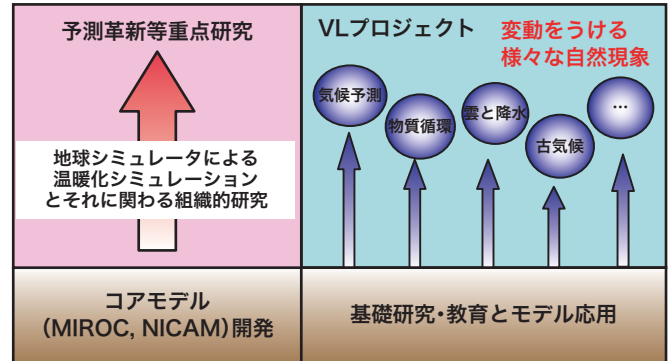
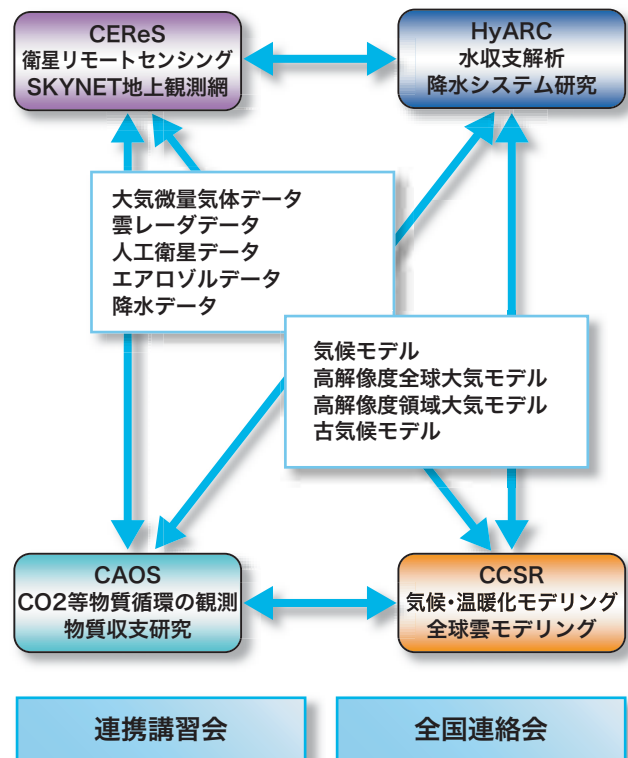


図1. 気候診断VLプロジェクトの役割。

### VLプロジェクトの概要

温暖化など大きなストレス下にある地球気候系では、様々な変化現象が起こっており、その診断を行うために、非常に多くのきめ細かい研究が必要です。このような研究には、大学附置研究センターの特色と研究資産を活かした研究の分担と連携が有効です。そこで本プロジェクトでは、気象予測、エアロゾルと微量気体の動態、雲と降水現象、古気候に関わるデータ取得と解析、モデル比較を、4センターで連携して行っています(図2)。また、これらの研究を支える基礎知識の学習を目的に、連携講習会を全国の学生にむけて開講しています。このような連携によるシナジー効果によって、地球気候系の診断を行うとともに、現場教育を通して当該分野の若手研究者の育成を図ります。プロジェクトの大きな成果として、地球気候系診断学とも言える知識体系の確立を目指します。



### 全国連絡会

本プロジェクトを進めるに当たっては、プロジェクトに参加していない全国の研究グループや、他研究機関との連携や意見を反映するために、全国連絡会を適宜開催し、意見交換を行っています。

# 東京大学気候システム研究センター

(2010年4月から大気海洋研究所に改組されます)

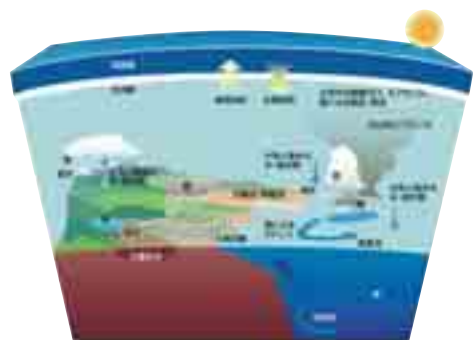
## 沿革

気候システム研究センター（以下CCSR：Center for Climate System Research）は気候モデルによる気候システムに関する研究を行うこと、また、関連する分野の研究者の利用に供することを目的として、全国共同利用施設として、平成3年4月12日に設置されました。当センターはIPCCの評価作業や人・自然・地球共生プロジェクト（RR2002）にも大きく貢献してきました。現在は当該研究である「地球気候系の診断に関わるバーチャルラボラトリーの形成」をスタートさせ、企業連合が作る「気候環境アプリケーション創成コンソーシアム」との共同研究も始めています。

CCSRでは各種プロセスを組み込んだ全球気候モデルの開発や、それを使った地球気候の研究を行っています。気候モデルによって、全球の大気と海洋の速度場、温度場、様々な組成の分布などが計算されます。これらを衛星観測、地上観測、アイスコアなどのデータと比較して、モデルの改良や実際に起こっている現象の解明を行うことは、地球気候の形成と変動のメカニズムを理解するうえで非常に重要です。そのために国内外の様々なグループと協力して、モデル比較、気候データの作成やデータ解析を行うことは、CCSRの重要な活動のひとつです（図1）。

気候診断VLプロジェクトでは、大気微量気体データ、雲レーダデータ（東北大学）、様々な衛星データ、エアロゾルデータ（千葉大学）、降水データ（名古屋大学）などが得られますが、これらをモデルと比較することによって、モデルの改良と現象研究を行っています。

CCSRではこれらの活動を支援するために領域創成プロジェクト室を設置して、連携講習会や気候モデルと気候データの利用促進にも努めています（図3）。



文部科学省予測革新プロジェクト、国立環境研究所・海洋開発研究機構との協力

図1. 地球の気候モデリング

## 気候診断VLプロジェクトの研究

CCSRは次の研究で、気候診断VLプロジェクトに大きく貢献しています（図2）。

- ・エアロゾル、微量気体のモデリング研究
- ・全球雲解像モデリング研究
- ・季節予報モデリング研究
- ・古気候モデリング研究

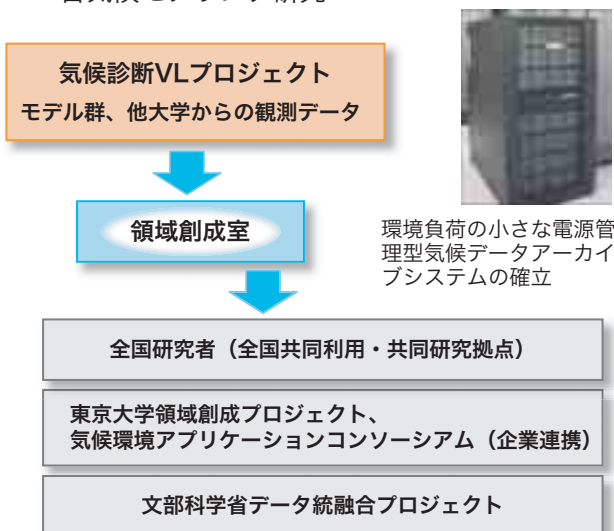
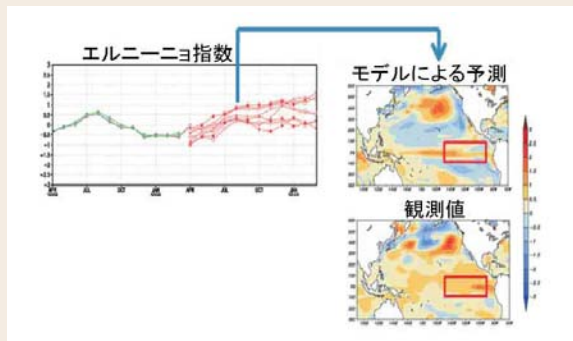


図3. 気候モデルとデータ利用のながれ

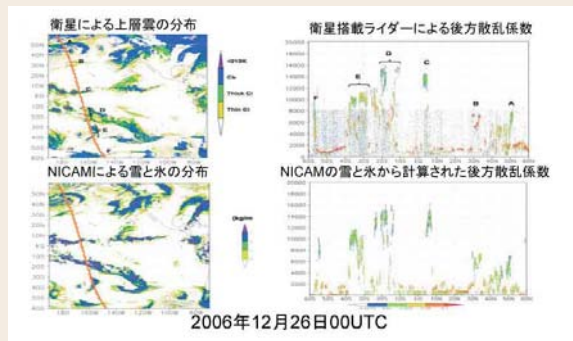


図2. 気候診断VLプロジェクトに関わる研究



### 季節予報研究

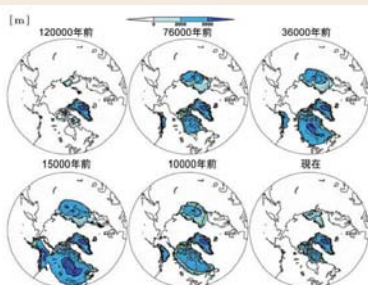
数か月～1年程度の気象予報は、農業・水文等広い範囲の分野との連携が期待されています。観測データの同化や気象情報利用分野へデータ提供を含めた、実験的季節予測システムの構築を行っています。現在は、データとシステムを整備し、3か月ごとに季節予測実験ができる環境を整えています。図に太平洋海面水温の予測結果の例を示します。今後はさらに良い予測精度に取り組みます。



### 雲のモデリング

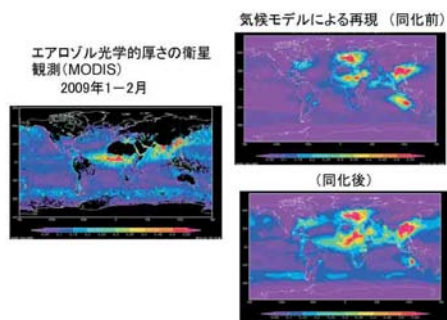
雲は太陽光の反射や熱放射の吸収・射出を通して気候に大きな影響を及ぼすため、気候モデルにおける雲の再現をいかに良くするかは重要な課題です。NICAMによって再現された氷と雪の分布図（左下）と衛星で観測された上層雲（左上）、またオレンジ色の線に沿う衛星搭載雲ライダーによる観測（右上）とNICAMの氷と雪のデータから計算された後方散乱係数を示します。上層雲の位置や鉛直構造がよく表現されていることがわかります。

モデルによる12万年前からの北極域での氷床の変動



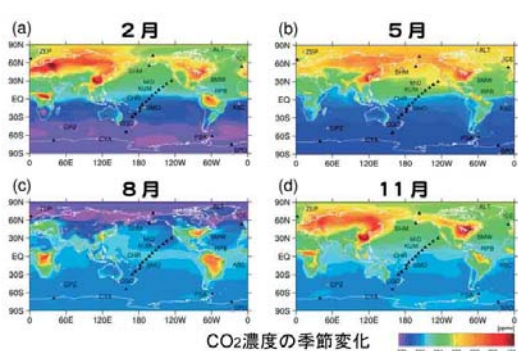
### 古気候モデリング

地球温暖化などの将来の気候変動を理解するためには、過去の気候変動を理解することも非常に重要です。図には、過去12万年までの大陸氷床の数値気候モデルによる再現実験を示します。このような結果を、アイスコアから得られる気候変動のデータと比較することによって、長い時間スケールでの気候変動のメカニズムや氷床の変化について知ることができます。これらの知見は現在の地球温暖化現象において氷床がどのような速度で変化してゆかなどを研究することにも役立ちます。



### エアロゾルのデータ同化

エアロゾルも大きな気候影響を及ぼしますが、そのメカニズムや発生源分布についてはまだ良くわかっていません。そこで、エアロゾル輸送放射モデル (SPRINTARS) を用いた観測データの同化システムを開発・検証しています。通常モデルシミュレーション (右上) と新たに開発された手法による結果 (右下) を比較すると、光学的厚さの分布が衛星観測 (左) に近づきます。



### CO<sub>2</sub>のデータ解析

NICAMを用いた微量気体輸送モデルを開発しています。さらに、CO<sub>2</sub>観測データ同化システムの開発・検証も行っています。図はモデル計算された地表付近のCO<sub>2</sub>濃度の季節変化を示します。データ同化で用いている観測データ (地上観測、航空機、船舶) の一部の位置を三角で表しています。

# 名古屋大学地球水循環研究センター

## 沿革

世界各地で集中豪雨、豪雪、洪水や渇水等が報じられ、地球を循環する水の振る舞いについての理解を求める要請が強まっています。地球表層の水循環の構造と変動に関する研究、特に、南アジア、東南アジアの人々と共同して水循環変動の実態を観測し、水循環の変動予測を行う必要が高まっています。このような世界的背景に立ち、地球表層の水循環システムの構造と変動を明らかにし、将来の気候変動予測や水資源変動予測につなげる研究を行うべく、平成13年4月1日に大気水圏科学研究所が改組され、地球水循環研究センターは環境学研究所と同時に発足しました。

## 役割

当研究センターは名古屋大学内の諸研究機関・研究者との連携のもとに地球水循環や関連する物質循環に関する研究において国内外の活動をリードする全国共同利用施設として位置づけられています。当研究センターは全国共同利用施設として、国内外の関連研究者との協力によって地球水循環の研究を行い、気候変動や水資源予測に関する国際共同研究の日本における中心的機関のひとつとしての役割を果たしてまいります。

## 組織

当研究センターでは、局域水循環過程研究部門と広域水循環変動研究部門を設け、広域の水循環と局域水循環の両面から研究を進めています。研究機関研究員、PD研究員の参加を得、観測・データベースの作成には技術職員による支援を受け、研究の推進をはかっています。「地球気候系の診断に関わるバーチャルラボラトリーの形成」の推進のために「大気圏水循環研究推進チーム (VL推進室)」を設け、部門や研究室を越えた研究協力体制をとっています。

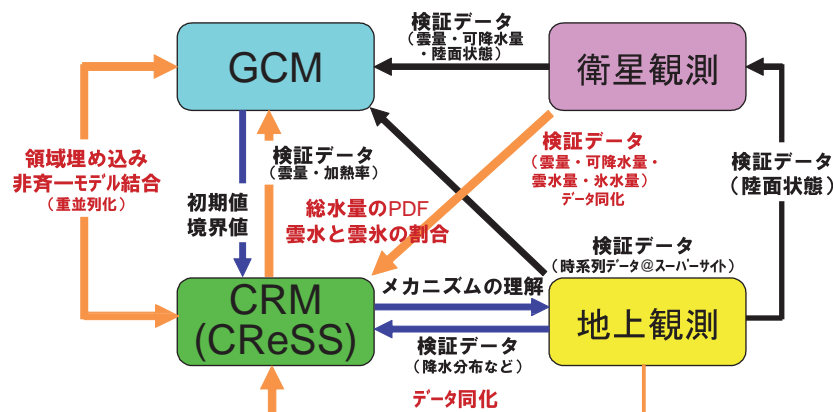
## 研究

当研究センターでは、地球表層における水循環システムを様々な時間・空間的なスケールが重層したシステムとして取り扱い、その構造と変動の機構解明を目指します。局域的な水循環システムの素過程に関する多面的なプロセス観測研究と数値モデルの開発、及び広域的な水循環システムの変動に関する時系列データの解析研究と数値モデルの開発を推進しています。

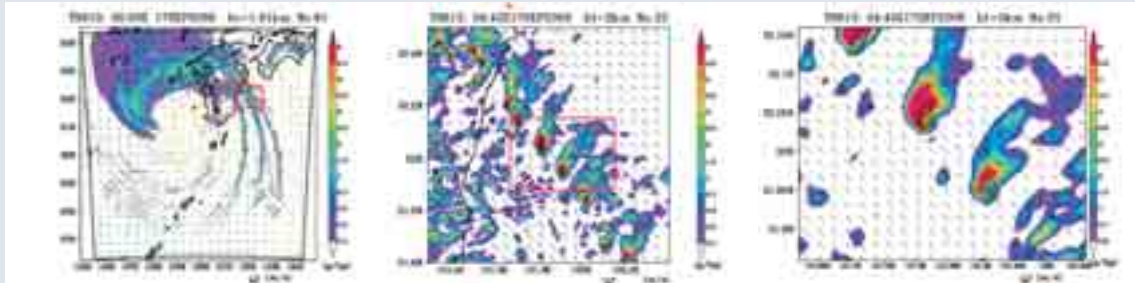
## VL推進室の設立

名古屋大学地球水循環研究センターでは、雲・降水システムを対象として主に事例解析を中心とした研究を実施しています。具体的には、マルチパラメータレーダを中心とした観測結果や、地球水循環研究センターで開発中の雲解像モデルCReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) を用いて、個々の降水現象の内部構造や発生・成長過程を理解する研究を行っています。また、衛星データ・シミュレータユニットSDSU (Satellite Data Simulator Unit) を開発し、衛星搭載マイクロ波放射計、レーダ、可視赤外イメージャから得られたデータをシミュレートしています。「地球気候系の診断に関わるバーチャルラボラトリーの形成」における大気圏水循環研究推進チーム (VL推進室) では、従来の手法に加えて下記の研究課題を設けています。

- ◎CReSSの開発
- ◎CReSSを用いたシミュレーション結果の検証方法の確立
- ◎CReSSへの観測データ同化過程の導入
- ◎SDSUの開発

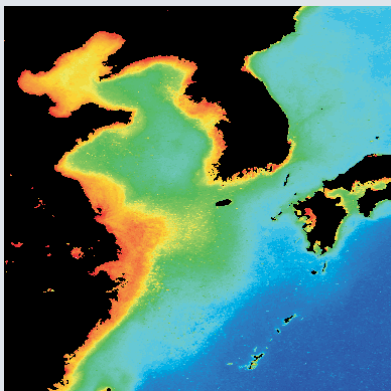


### 台風モデリング



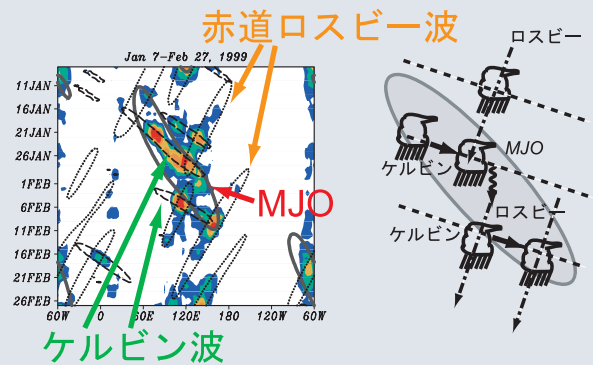
宮崎県延岡市周辺に竜巻をもたらした台風T0613号を対象として、雲解像モデルCloud Resolving Storm Simulator (CReSS) を用いて再現実験を行った結果。水平分解能は500mである。中央図は左図の赤枠の領域を拡大したもので、右図は中央図の赤枠の領域を拡大したものである。色は高度2kmにおける雨水混合比を、矢印は同高度における水平風を、中央図と右図の黒実線は竜巻の親雲となるメソサイクロンの存在（鉛直渦度）を示す。

### 植物プランクトン分布解析



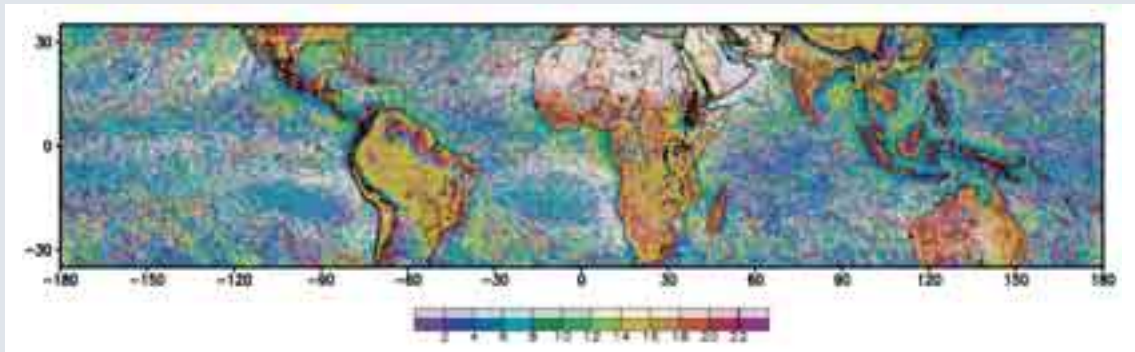
海の色を測定するリモートセンシングセンサー-SeaWiFSで得られた1998年から2006年の8月の平均クロロフィルa濃度（植物プランクトンの色素）。中国の大河川長江起源の栄養塩で増加した植物が日本周辺まで到達していることが分かる。

### 熱帯の雲活動研究



衛星データ解析からマデン・ジュリアン振動 (MJO) および赤道大気波の相互作用を捉えた図（とその概念図）。熱帯の雲対流活動を支配する大気力学に新たな示唆を与えた。

### 全球降水分布研究



熱帯降雨観測衛星 (Tropical Rainfall Measuring Mission : TRMM) のレーダのデータによる世界の降雨の日周変化。色は降雨のもっとも多い地方時を示し、暖色が午後の、寒色が午前を示す。大陸での午後の雨、大陸に近いところでの明け方の雨がきれいに見える。

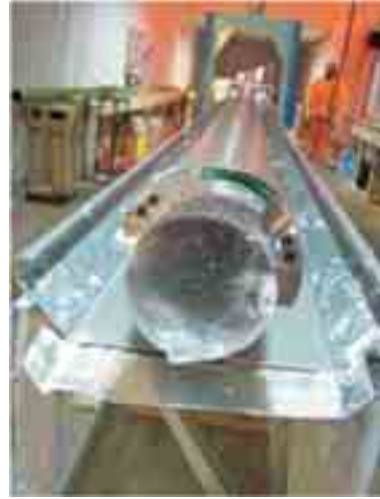
# 東 北 大 学 大 気 海 洋 変 動 観 測 研 究 セ ン タ ー

## 沿 革

大気海洋変動観測研究センター (CAOS) は、観測・解析に基づいて大気海洋変動の実態とメカニズムを定量的かつ総合的に解明するという目標を掲げて、1990年に新設され、物質循環観測研究部、大気放射観測研究部、海洋環境観測研究部、大気海洋交換研究部から構成されています。

## 氷床コア分析による過去の環境・気候の研究

温室効果気体の循環を理解するためには、濃度や同位体比の長い変動の記録が必要です。また、地球はこれまでに氷河期や間氷期といった大規模な気候変動を繰り返してきましたが、温室効果気体はこのような気候変動に密接に関係しています。私たちは、国立極地研究所と共同で、南極やグリーンランドで掘削した氷床コアから昔の空気を取り出し、それを分析することによって過去の大気組成の変動を復元し、長期にわたる温室効果気体の循環を明らかにするとともに、気候との関連について研究を進めています。



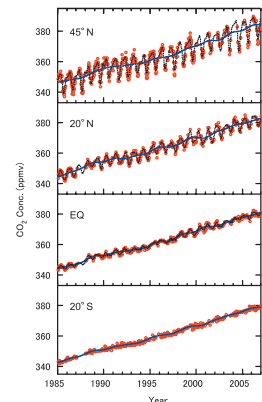
南極ドームふじ基地で掘削された氷床コア

## 航空機と船舶を用いたグローバル大気観測

大気中における温室効果気体の地球規模変動の実態を明らかにするために、私たちは民間定期航空機、チャーター航空機、国内外航路に就航しているフェリーやコンテナ船などを用いた観測を行っています。右の図は、商船を用いて太平洋で観測した緯度別の二酸化炭素濃度の変動を表しています。二酸化炭素濃度は、人間活動の影響を受けて、どの緯度でも急速に増加し続けていることがわかります。また、濃度の季節変化は、北半球の高緯度で最も大きく、赤道に向かって小さくなり、南半球ではほとんど見られないこともわかります。



大気採集に利用している  
ジェット旅客機とコンテナ船



船舶観測によって得られた  
緯度別二酸化炭素濃度の変化

## 大気球を用いた成層圏大気観測

人間活動によって地上付近で放出された温室効果気体は、対流圏を経てより高い成層圏に到達します。重要な温室効果気体である一酸化二窒素は、対流圏においては非常に安定していますが、成層圏で光化学反応によって消滅します。また、メタンにとっても成層圏での光化学反応が重要な消滅源となっています。したがって、これらの気体の地球規模での循環を定量的に理解するためには、成層圏の観測が不可欠です。私たちは、宇宙航空研究開発機構の協力を得て、大気球を用いた成層圏大気観測を1985年から日本上空で継続的に実施しています。また、国立極地研究所などと共同で南極域や北極域での成層圏大気観測も行っています。

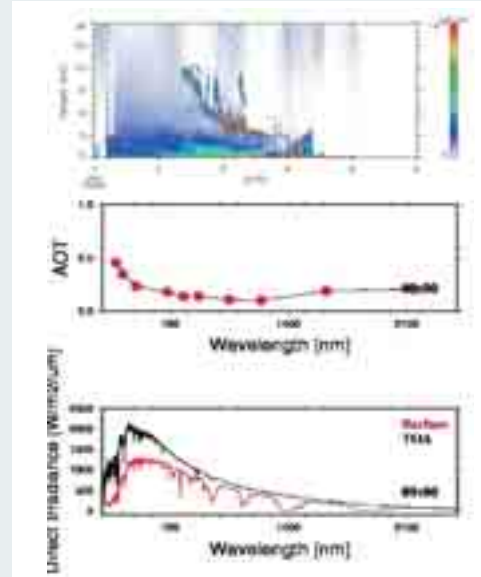


南極昭和基地における成層圏大気観測

### エアロゾル・雲・大気放射の 地上総合観測とその応用

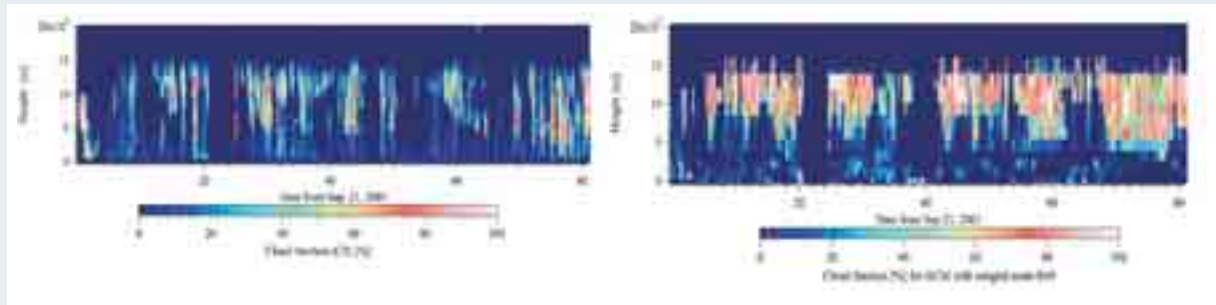
エアロゾルと雲は放射過程や水循環過程を通して気候に深く関与しており、地球の気候変動にとって極めて重要な要素です。私たちは、ライダーや様々な放射計を用いてエアロゾル、雲、放射の総合観測を実施しています。さらに、国内外の観測ネットワークと協力して観測を進めるとともに、衛星観測データの解析や大気化学輸送モデルによるシミュレーションを併せて行なうことにより、エアロゾルと雲の時空間変動の実態、メカニズム、そして気候変動における役割を解明します。

地上設置型ライダーで観測された雲・エアロゾルの後方散乱係数（右上段）。分光放射計で観測されたエアロゾルの光学的厚さ（右中段）及び太陽放射スペクトル（右下段）。



### 雲レーダ・ライダー観測による大気大循環モデルの検証

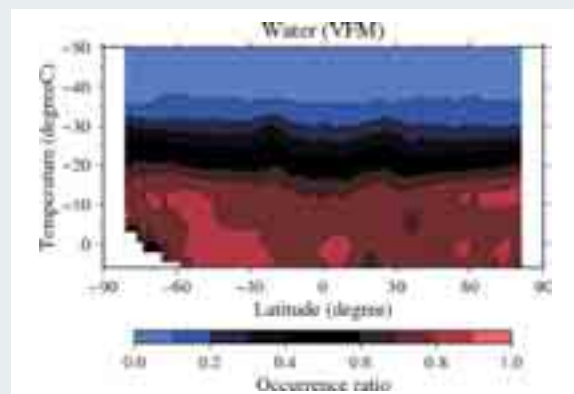
雲は、気候システムにおける放射収支と水循環に大きな影響を与えていますが、その評価に対して雲の鉛直構造が大きな不確定性要因の一つとなっています。しかし、最近、雲レーダやライダーを用いることにより、これまで測定が困難だった雲の鉛直構造を明確にとらえることが可能になりました。私たちは、2001年よりこれらの測器を観測船「みらい」に搭載して観測を行い、得られた結果を基に、大気大循環モデルによって雲がどの程度再現されるか詳しく検証しています。これまでの研究から、モデルによる上層雲と下層雲の再現には大きな問題があることを見いだしています。



観測船みらいに搭載した雲レーダとライダーによって得られた雲の高度時間断面（左図）と大気大循環モデルによって再現された結果（右図）。

### 衛星搭載レーダ・ライダーによる 雲の全球分布の研究

雲レーダを搭載したCloudSat衛星とライダーを搭載したCALIPSOが2006年4月に打ち上げられ、雲とエアロゾルの3次元分布の全球観測が継続的に行われています。CALIPSO衛星によって雲粒子の偏光解消度を観測することができ、水と氷の識別が全球にわたって可能となりました。得られたデータを解析した結果、水と氷の比は、緯度に依存していることが初めてわかりました。この他、氷や水粒子の質量分布を求めるアルゴリズムを開発し、衛星データの解析を進めています。



水の存在比の緯度-温度分布。



# 千葉大学環境リモートセンシング研究センター

## 沿革

千葉大学環境リモートセンシング研究センター (CEReS) は、千葉大学工学部の伝統を引き継ぐ写真・印刷・画像工学の分野から発展した学内共同利用施設「映像隔測研究センター」を基盤として、1995年に設立された全国共同利用施設です。CEReSの設置目的は「リモートセンシング技術の確立と環境への応用」であり、「リモートセンシング」の名を有する国立大学法人で唯一の全国共同利用施設です。CEReSは設立以来、リモートセンシングに関する先端的な研究とこれを利用した環境研究を推進し、GMS5 (ひまわり5号)~MTSAT-1R (ひまわり6号) 等の静止気象衛星、極軌道気象衛星NOAA/AVHRRの受信・処理・公開を行い、衛星データ利用促進を進めてきました。2005年にはデータ収録システムの全面的な見直しを行い、より多くユーザーから衛星データ利用が可能となりました。累計400万以上のデータがインターネットを通じ取得され、衛星データセンターとしての機能を果たしています。

れています。次世代の衛星開発も行っています。世界初の円偏波合成開口レーダ (CP-SAR) を搭載した衛星を、2014年打ち上げを目標に開発しています。衛星研究は社会との繋がりも強いいため、2008年から気象情報サービスを行うウェザーニューズ社の寄附を受け、地球温暖化に関する寄附研究部門を設立し、リモートセンシング技術の社会への還元を進めているところです。

## 多様なリモートセンシング研究

衛星から得られる情報を基に地球環境に関わる様々な分野で成果を挙げています。例として大量の衛星データ処理を行い、全球土地被覆分類図 (右下)、および全球樹木被覆率図 (左下) を作成しました。特に後者は世界に類を見ない研究例であり、これらの成果も公開しています。また、リモートセンシング技術の実利用にも取り組んでおり、農業、地域環境に関する情報発信も行っています。CEReSでは地上検証、アルゴリズム開発にも注意を払っています。大気環境では放射観測ネットワークSKYNETをCEReSが中心となって運営し、衛星データ検証に利用されています。また、植生の3次元構造を衛星からモニターするために無人ヘリコプターシステムを開発し、植生のみならず、さまざまな分野で利用さ

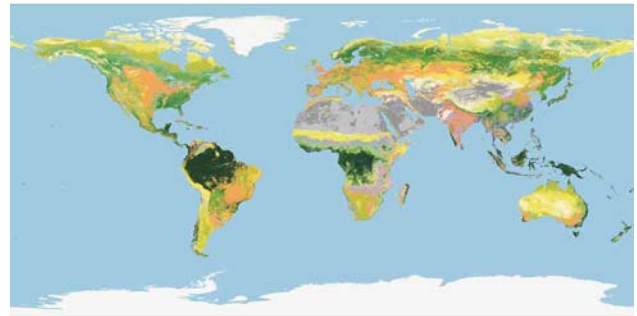


Global Map - Percent Tree Cover

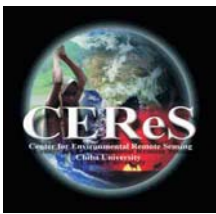


© CEReS, GSI, collaborating organizations

Global Map - Global Land Cover (GLCNMO)



© CEReS, GSI, collaborating organizations



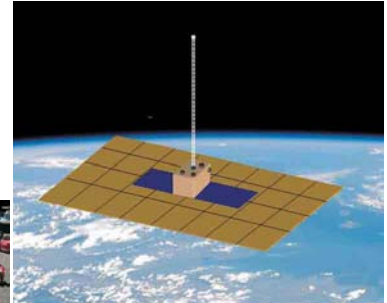
# Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University



SKYNET観測風景 (辺戸岬)



無人ヘリコプターでの観測

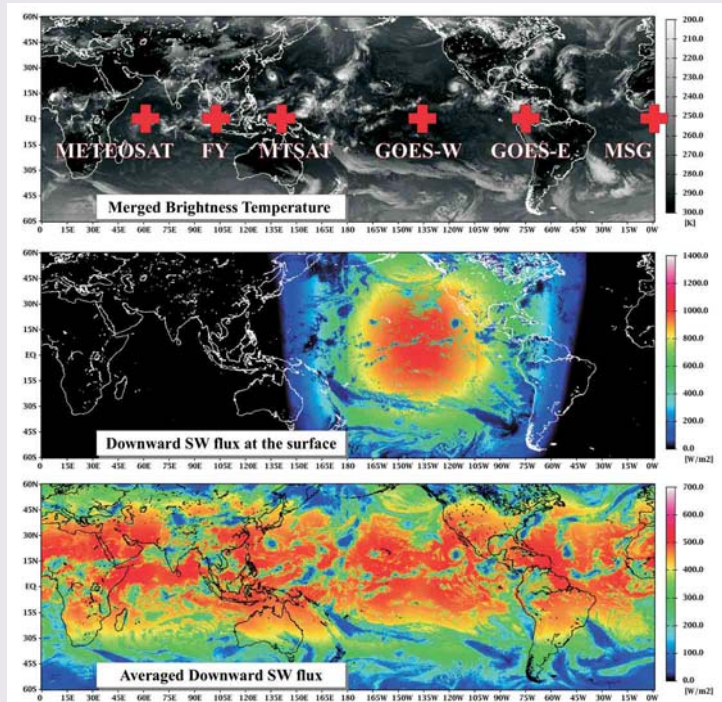
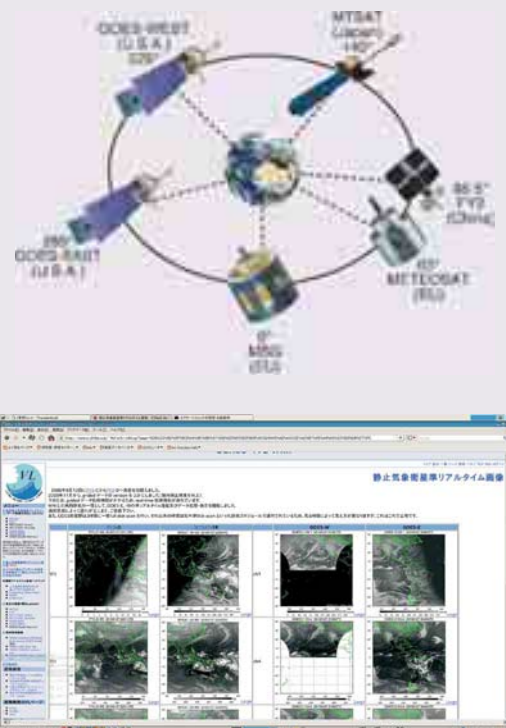


円偏波合成開口レーダ衛星

## 全球静止気象衛星データの収集、公開、地球気候系診断へ向けた高度化

静止気象衛星が持つ大きな利点は、一定時間間隔の定期観測を行うことで広範囲かつ高い時間分解能を持つ可視・赤外データが得られることです。ただし、単独の静止気象衛星では全球をカバーできず、地域間の比較研究、全球での解析には限界がありました。しかし、米国、欧州、中国等が運用している静止気象衛星データを組み合わせることで上記の要件をクリアすることができます。衛星データの収集・公開はCEReSの基幹活動であることから、VLでのCEReSの役割は、各衛星現業機関で運用されている静止気象衛星データを収集・処理・公開することで気候診断に役立てることで、これまで取得、処理されたデータの多くはインターネットを通じ一般公開してい

ます。また、地球の“今”をモニタリングするため、ウェザーニューズ社の協力も受け、全球の殆どの領域をカバーした準リアルタイム画像もウェブ上で公開しています。さらに地球気候系の診断を行うためには、地球の放射収支を正確に知ることが不可欠です。静止気象衛星データはこの目的にも合致します。ただし、正確な放射収支推定のためには、各衛星の厳密な校正、そのための手法開発、静止気象衛星の観測データから放射収支を推定するためのアルゴリズム開発が必要となります。CEReSでは気象庁との共同研究や国際的なフレームワークの中でこうした研究にも貢献していきます。



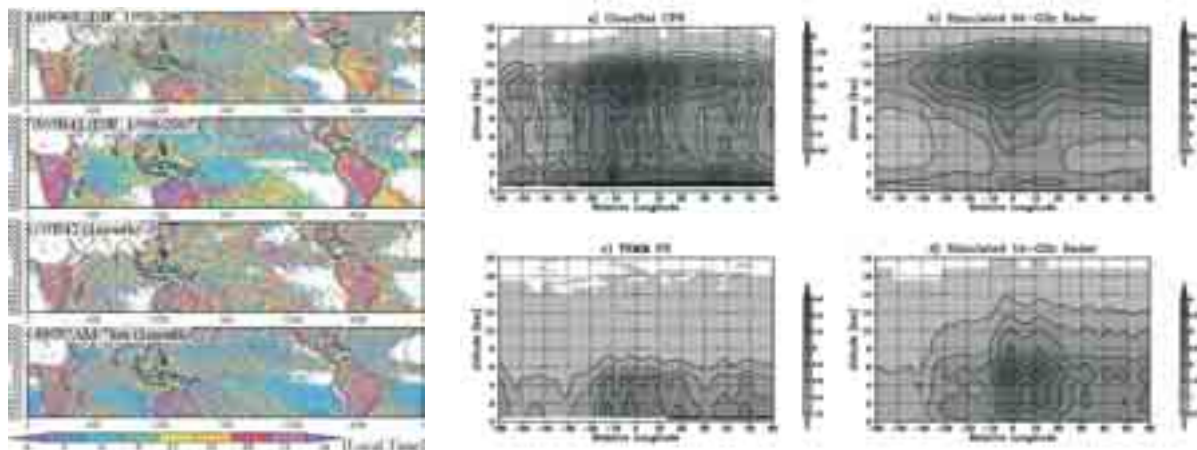
上：全球合成輝度温度と各静止気象衛星の位置、中：校正した合成静止気象衛星データから求められた地表面での下向き短波放射量（日射量）の1時間瞬間値、および下：2日間の日中分を合成した下向き短波放射量。

# 衛星データを通じた連携

(各種気候・気象モデル検証のための衛星データ利用)

## 全球雲解像モデル (NICAM) の衛星検証

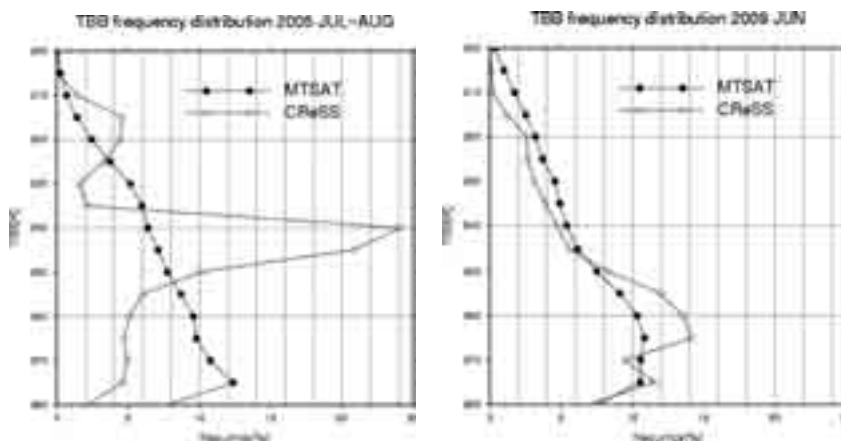
CCSRと海洋研究開発機構 (JAMSTEC) で開発されている全球雲解像モデルNICAM (Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model) は地球表面を正20面体で覆う座標系を採用した気象モデルです。地球シミュレータにより、全球を3.5kmで解像した計算が可能となりました。計算された結果を検証するためには実測データが必要不可欠です。例として、下左図は衛星観測から得られた降水イベントのピーク時間とNICAMの再現結果を比較しています。また、モデルは各種物理過程に基づき計算しますが、過程の検証および改良も衛星データから可能です。下右図は衛星搭載レーダから得られた雲、雨の鉛直構造と、NICAM計算出力から衛星観測仕様に合うようシミュレートされた結果による比較を行っています。



左：衛星観測による降水イベントのピーク時間 ((a)-(c))、およびNICAMから得られたピーク時間 (d) の比較。NICAMは雨の日周期特性をシミュレートしています (佐藤ほか、2009、JC)。  
右：衛星搭載雲レーダ (a) および雨レーダ (c) で実測したレーダエコー頻度および、NICAM出力より計算した結果との比較 (b、d、増永ほか、2008、JGR)。

## 雲解像モデル (CReSS) の衛星検証

HyARCで開発されている雲解像モデルCReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) は、地球シミュレータのみならず、一般的な計算機でも稼働する非静力学モデルです。NICAMのように全球計算はできませんが、多くの事例で計算が可能です。事例を積み重ねることで、対応する衛星観測を増やすことが可能であり、モデル検証に役立てることが出来ます。左図は静止気象衛星ひまわりから得られた温度分布とCReSS+SDSUで計算された温度分布を比較したものです。CReSSとひまわりでは結果が大幅に異なりますが、CReSSに改良を加えることにより、観測に近くなりました (右)。



左：CReSS とSDSUによって計算された輝度温度と実測 (ひまわり) の頻度分布の比較。ここではCReSSでの計算結果が240K (-30°C) に集中し過ぎている。  
右：CReSSの雲物理過程を改良した後での比較。240K付近の集中がなくなり、観測結果とよく一致していることがわかります。

# エアロゾルの観測とモデリング

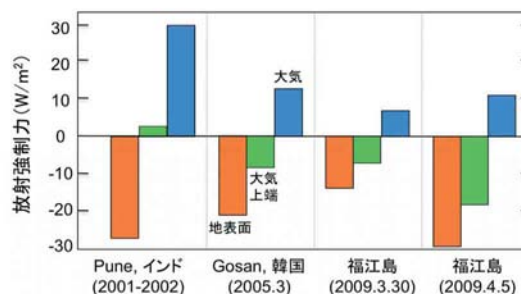
## エアロゾル

大気微粒子（エアロゾル）には、火山活動、人間活動、土壌や海洋から大気中に、直接放出されるものと、前駆物質から大気中で生成されるものがあります。最近では、このようなエアロゾルが、温室効果気体に匹敵する大きな気候影響を及ぼすことがわかってきました。エアロゾルは直接、太陽放射を散乱・吸収することによって、エネルギー収支に影響を与えます（直接効果）。また、様々なプロセスを通して雲を変化させる効果（間接効果）を引き起こします。しかし、その気候影響評価には未だ多くの不確実性が残っており、その改善のために、さまざまな観測やモデリング研究をVLプロジェクトのセンターが連携して行っています。これらの研究を通して、IPCC、UNEP/ABCなどへの国際貢献もしています。



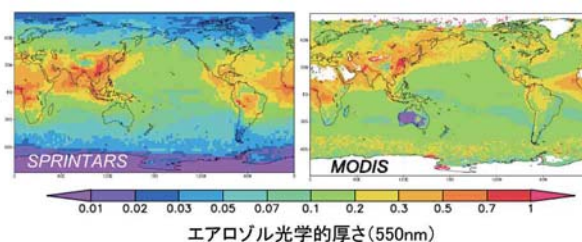
## エアロゾルの観測

エアロゾル特性と広域分布を把握するために、地上放射観測ネットワーク（SKYNET）を展開しています。また、エアロゾルの雲への影響を調べるために、最新の雲レーダーおよびライダーによる観測を行っています。これらのデータからエアロゾルの形成過程や放射エネルギー収支の評価を行うことができます。その結果、エアロゾルによるアジア域の地表面放射収支の変化は $-10\text{W}/\text{m}^2$ 以上になることや、大気上端での放射強制力の符号が場所によって変わることがわかってきました。そのために、モンスーン循環や降雨に変化を引き起こす可能性があります。

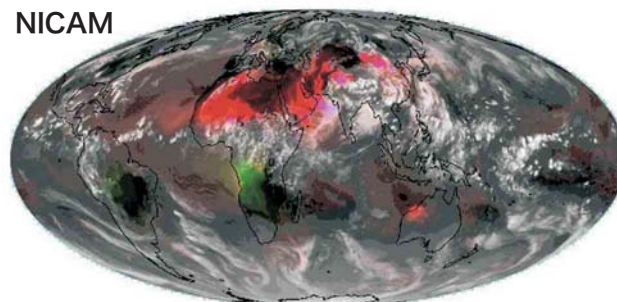


## エアロゾルのモデリング

エアロゾルの気候影響を全球スケールで評価するためには、全球モデルを用いた研究が必要です。そこで、大気海洋結合大循環モデル（MIROC）に、三次元エアロゾル輸送モデル（SPRINTARS）を組み込んで、エアロゾルの気候影響を定量的に研究しています。その結果、各種エアロゾルモデルを改善することによって、NASA/MODISなどの衛星観測結果をより良く再現できるようになりました。さらに、全球雲解像モデル（NICAM）にSPRINTARSを組み込むことによって、より正確なエアロゾルの間接効果を再現できるようになりました。格子間隔3.5kmの数値実験では、エアロゾルが低気圧に伴う雲域や台風などに取り込まれる様子も再現されています。



## NICAM



# 氷床コア分析およびモデルシミュレーションによる過去の気候変動の研究

## 現状：

1) 東北大学大気海洋変動観測研究センターでは、過去70万年間におよぶ温室効果気体の濃度や各種大気成分の同位体の復元を目指して、ドームふじ深層氷床コアの分析を行っています。

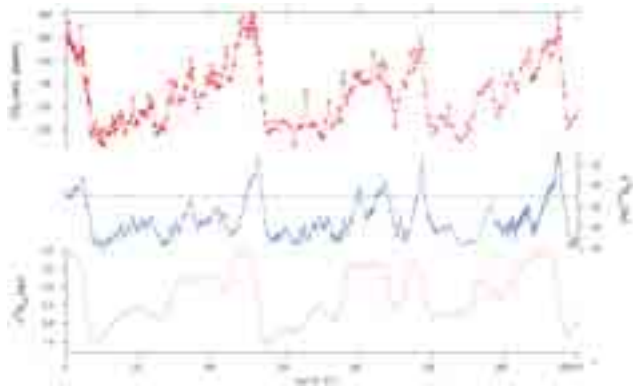
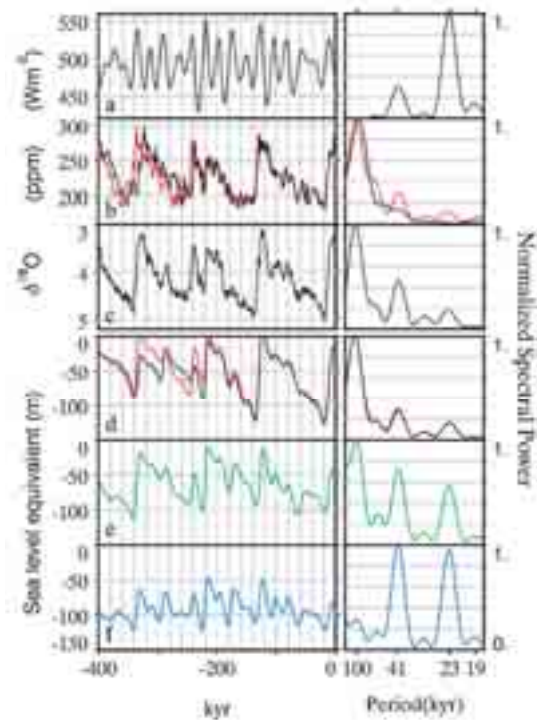


図1. 南極ドームふじ氷床コアから復元された過去40万年間のCO<sub>2</sub>濃度（赤丸）と氷の $\delta^{18}\text{O}$ （青線）の変動。海底コアから推定された海水の $\delta^{18}\text{O}$ （橙線）も下段に示す。

2) 東京大学気候システム研究センターでは、大気・海氷・海洋大循環モデルや氷床力学モデル等を結合した気候システムモデルを開発し、地球温暖化の数値実験および過去の氷河期や温暖期の気候と環境のシミュレーションを行っています。

図2. (a) 過去40万年間の65°Nにおける夏至の日射量、(b) 大気中のCO<sub>2</sub>濃度、(c) 海底コアの $\delta^{18}\text{O}$ 、および (d) 気候システムモデルによるシミュレーション結果（sea level 相当に換算）、(e) CO<sub>2</sub>濃度を220ppmで一定とした場合のモデルの感度実験結果、(f) (e) の条件で、かつ地殻マンツルの時定数を0とした場合のモデルの感度実験結果。右図は各変動量のパワースペクトルである。(b) および (d) の黒線はVostokコアのCO<sub>2</sub>濃度に対しVostokコア年代を適用した場合、赤線はドームふじコアで開発された $\delta$  (O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>) 年代を使用した場合である。



## 計画および展開

氷期最盛期から間氷期への急激な温暖化（Termination）や、氷期中に起こった北極と南極の位相がずれた気温変動（Bipolar seesaw）現象に着目し、ドームふじコアを用いた大気成分の詳細解析を進めます。こうして得られたデータを気候システムモデルに入力し、これらの特徴的な気候変動を数値モデルにより再現することにより、そのメカニズムの解明をめざした研究を進めます。

## 新たな連携研究

東京大学で開発した大気大循環モデルをベースにしたCO<sub>2</sub>循環モデルに、船舶や航空機、大気球などの機動力を駆使して東北大学が得た地球規模のCO<sub>2</sub>濃度および同位体データを提供し、現代の全球炭素循環に関する共同研究を新たに開始します。

# 雲・雨についての解析

## マルチパラメータレーダを用いた解析

2007年11月、HyARCにXバンドマルチパラメータレーダ（以下MPLレーダ）が導入されました。MPLレーダは水平偏波だけでなく垂直偏波も用いることにより、降水粒子の形状や平均的な大きさを観測することができます。この特性を利用して、地上降水量の定量的な見積りや、降水システム内に存在する粒子の種類（雨・雪・霰・雹など）の識別を行うためのアルゴリズムの開発・調整を行っています。MPLレーダの観測結果を用いて、CCSRで開発を進めているNICAMやHyARCで開発を進めているCReSSのシミュレーション結果について、雲微物理学的な考察・検討を行うこと、およびCAOSで開発されているCalipso衛星データによる粒子の形状の推定アルゴリズムの検討を行うことが可能になると期待されています。

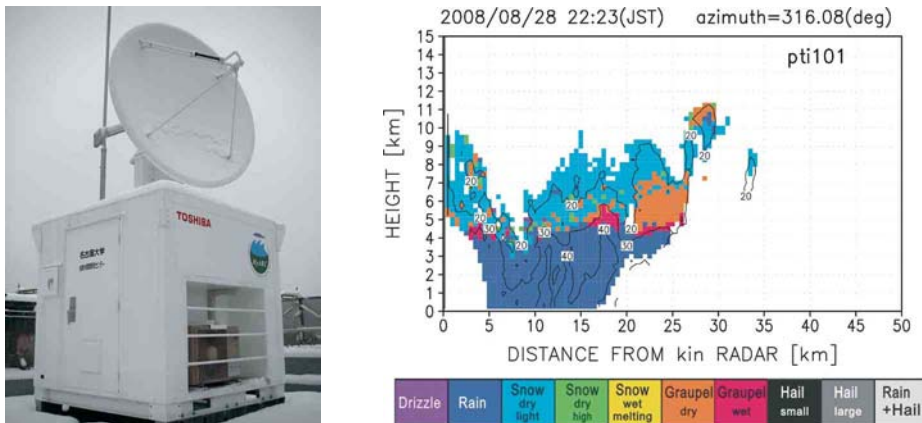


図. 名古屋大学MPLレーダの外観（左）とMPLレーダにより推定された降水粒子の鉛直分布（平成20年8月末豪雨のケース：右）。

## 衛星データと雲解像モデルを用いた雲・降水システムの研究

雲解像モデルを用いたシミュレーション実験の結果から雲に関連するパラメータを抽出し、衛星データとの比較を行うことによって、雲・降水システムの雲微物理学的構造についての理解を深めるための研究をHyARCとCReSSで行っています。HyARCにおいて顕著現象に対応してCReSSを用いたシミュレーションを実施し、その結果にSDSUを適用したものとCReSSで取得している衛星データとの比較を行っています。具体的には、赤外画像との比較により雲頂温度（高度）の分布を、可視画像との比較により光学的厚さの分布を、マイクロ波放射計（AMSR/E、TRMM-TMI）との比較により可降水量や積算雲水量の分布などの比較を行います。また、TRMM-PRやCloudSatレーダを解析に含め、雲域や降水域の鉛直構造についての検討を行うことも予定しています。

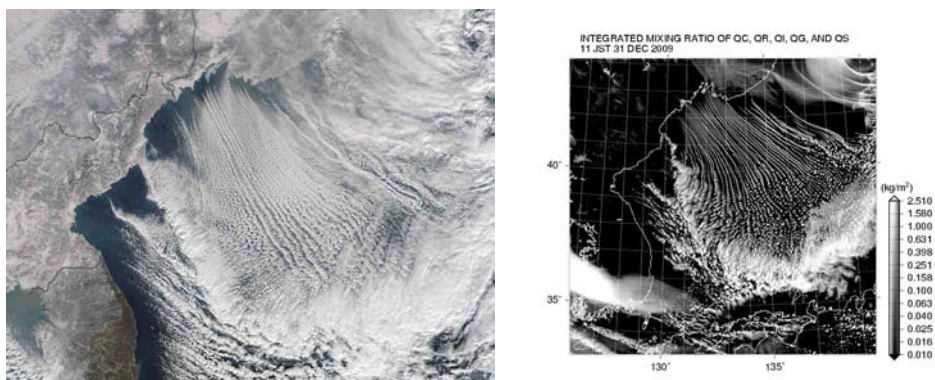


図. Terra-MODISにより取得された2009年12月31日0200UTCの日本海周辺の可視画像（左）とほぼ同時刻（0200UTC）の水平解像度1kmのCReSSを用いたシミュレーション結果による鉛直積算凝結物の混合比（右）。日本海上の筋状雲、帯状雲の様子が再現されている様子を見ることができる。

# 各種観測データ, 研究ツール公開, 講習会

## 衛星データ公開

CEReSでは、VLで推進している静止気象衛星データのみならず、様々な地球観測衛星データを処理、公開しています。また、公開しているデータフォーマット、所在を示すナビゲーションとしてwikiを作成し、ユーザーがより利用しやすいようにしています。これまでに多くの研究者からデータ利用がなされ、累計400万ファイル以上ダウンロードされています。

CEReS データセット

wiki : <http://www.cr.chiba-u.jp/~database-jp/wiki/wiki.cgi>



## 大気放射観測網SKYNET

地球気候を理解する上で、エネルギー収支を正確に計測することは非常に重要です。VLを構成するCEReS、CCSR、CAOSおよび関連機関より運用されているSKYNETは詳細な放射、エアロゾル計測網を展開することで現象理解を深めることに役立っています。各観測サイトで得られたデータはほぼリアルタイムでSKYNETサーバに格納され、公開されています。得られた観測データは、衛星観測から推定される放射量の検証等に利用することができます。

SKYNET: <http://atmos.cr.chiba-u.ac.jp/>



## 雲解像モデルCReSS (Cloud Resolving Storm Simulator)

HyARCで開発している雲解像モデル CReSSは汎用計算機でも稼働する汎用性を持っています。メソスケールでの雲・降水研究で利用することができます。CReSSはソースコードレベルでの公開をしています（ただし、登録が必要です）。

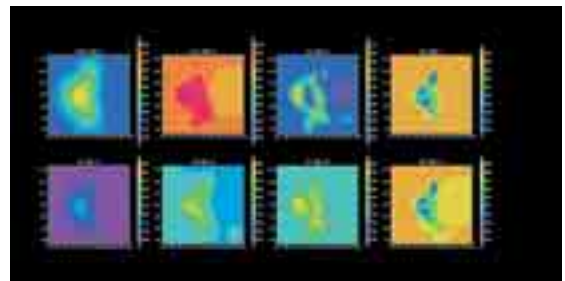
[http://www.rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~tsuboki/cress\\_html/index\\_cress.html](http://www.rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~tsuboki/cress_html/index_cress.html)



## 衛星データ・シミュレータ SDSU (Satellite Data Simulator Unit)

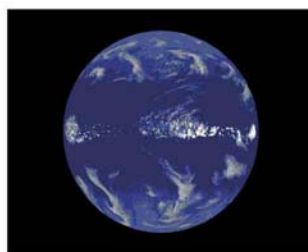
数値モデルで計算された仮想気象は実際の現象と比較することが必要です。衛星観測とモデル出力の比較はそれぞれが異なる特性を持つためこれまで困難でした。衛星データシミュレータSDSUは、モデル出力から各種衛星データ（レーダ、マイクロ波・光学放射計）を計算することで直接比較が可能となります。SDSUはソースコード公開をしています（ただし、登録が必要です）。

SDSU:<http://precip.hyarc.nagoya-u.ac.jp/sdsu/sdsu-main.html>

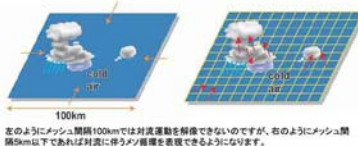


## 全球雲解像モデルNICAM (Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model)

気候システム研究センターと海洋研究開発機構で共同開発したモデルNICAMは、正20面体分割格子を用いた先進的な全球非静力学大気モデルです。超高解像度の全球雲解像シミュレーションだけでなく、領域モデルとしてもあるいは低解像度のGCM（大気大循環モデル）としても利用することができます。NICAMの出力データやモデルは、関心ある研究者に利用が可能です。  
<http://www.nicam.jp/>



水平メッシュ間隔3.5kmの全球雲解像モデルによって得られた雲画像。大気上層での赤外線放射で、白い楕円は高度が高い雲を表します。全地球が海洋に覆われていると仮定した水蒸気放射により計算された結果。

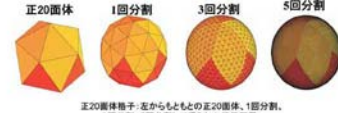


左のようにメッシュ間隔100kmでは対流運動を解像できないのですが、右のようにメッシュ間隔5km以下であれば対流に伴う渦巻を表現できるようになります。

気候システム研究センターでは、「全球雲解像モデル」の開発を進めています。全球雲解像モデルは、地球全体を5km以下の水平メッシュで覆う超高解像度の大気モデルです。従来の道徳性学問等に用いられていた大気大循環モデルは、水平解像度が数10km以上にとどまらざるを得ず、大気大循環の駆動源として重要な雲の雲降水プロセスを解像することができませんでした。このような雲降水プロセスの不確実性が、気候予測の最大の不確実性の原因のひとつとなっていました。全球雲解像モデルは、雲降水プロセスを忠実に表現することで、この不確実性を取り除こうとするものです。



モントリオールにあるバイオスフェア。Buckminster Fuller 設計(1967)。



正20面体格子。左から右へともとの正20面体、1回分割、3回分割、5回分割して得られた格子配置。

## OpenCLASTR

気候モデル用の放射伝達コードやエアロゾルモデル、衛星データ解析のためのソフトウェアを世界の研究者と共同開発するために、OpenCLASTRウェブページを通してプログラムの公開や、開発のための情報交換を行っています。  
<http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp/~clastr/>



## 講習会

地球気候系の診断に取り組む大学院生および若手研究者の育成と、大学・研究機関間の気候研究の連携促進を目的として講習会を開催しています。この講習会は各センターが所有するツールやデータといった研究資産を利用して、気候診断を行うために必要となる技術の講習を各センターが持ち回りで行っているものです。具体的には気候・気象をシミュレートする数値モデルや、エアロゾル、雲・降水粒子、植生指標、温暖化指標物質などの各種データとその解析ツールを、講習者には実際にコンピュータ上で扱ってもらい技術を獲得してもらいます。講習会で扱うツールやデータは、各センターが公開し講習会後も入手できるものを使用し、実際に描画するところまでを実習することで、講習者のその後の研究に直結できる内容となっています。さらに、講習以外にも座学の時間を設け、講習会で用いるツールやデータを使用した最近の研究や、ツールの開発状況などを合わせて紹介することで、大学院生や若手研究者が研究



スーパーコンピュータにリモートアクセスして行った講習の様子。

の先端に触れられるような構成となっています。講習会は、毎年、全国の大学・研究機関から40名前後の参加者を募って開催し、参加に関するサポートも行っています。





#### 東京大学気候システム研究センター

〒277-8568 千葉県柏市柏の葉5-1-5 総合研究棟  
Tel : 04-7136-4371 Fax : 04-7136-4375  
URL : <http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp>

#### 名古屋大学地球水循環研究センター

〒464-8601 名古屋市千種区不老町F 3-1 (200)  
Tel : 052-789-3466 Fax : 052-789-3436  
URL : <http://www.hyarc.nagoya-u.ac.jp>

#### 東北大学大気海洋変動観測研究センター

〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉6-3  
Tel : 022-795-5793 Fax : 022-795-5797  
URL : <http://caos-a.geophys.tohoku.ac.jp>

#### 千葉大学環境リモートセンシング研究センター

〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33  
Tel : 043-290-3832 Fax : 043-290-3857  
URL : <http://www.cr.chiba-u.jp>