

## 研究課題名：流域環境管理に関する国際共同研究

課題代表者：国立環境研究所アジア自然共生研究グループ 村上正吾  
 共同研究者：国立環境研究所水圏環境研究領域 林 誠二・中嶋恵子  
 国立環境研究所アジア自然共生研究グループ 東 博紀  
 実施年度：平成19年度～平成23年度

### 1. 研究目的

21世紀の地球規模環境問題で東アジア地域において出現する可能性の高い問題として、気候変動が水循環や水資源に及ぼす影響や、経済活動の発展による水資源枯渇・水質汚染が挙げられている。本研究では、こうした問題が顕著に現れている中国を対象に、数理モデルを開発、適用することによって、様々なスケールの陸域～沿岸域～海洋の広義の流域圏における様々な生態系機能及び水・物質循環機構の解明と、流域の土地改変、社会経済活動変化に伴う負荷発生構造の変化、沿岸域の貧酸素水塊の形成等、海洋生態系変化に伴う生物生産への影響等の評価を目的としている。

### 2. 研究計画

主たる研究内容の一つである生態系機能評価モデル開発の一環として、長江流域の洞庭湖周辺域で実施されている大規模生態系修復事業である退田還湖の治水効果を検討する。まず、退田還湖による遊水池機能強化を反映させた洞庭湖の流出モデルの改良を行う。次いで、前世紀二番目の規模となった1998年の大洪水を対象に、退田還湖による長江中流域での洪水抑止効果について、三峡ダムの貯留操作や長江本流から洞庭湖へ分流する分洪操作も考慮しつつ検討を行う。

### 3. 進捗状況

洞庭湖における退田還湖は、水田等の干拓地を湖に戻すことで、2010年までに1998年当時の湖の水表面積を2倍にするという政策である。本研究では、まず、本政策に関する資料に基づき退田還湖の対象となる地域の特定と、詳細な数値標高データを用いたこれら地域を含めた洞庭湖の水位－容積曲線式を推定した。

次いで、これまでに本研究において長江流域を対象に開発してきた統合型流域水文モデルへ上記曲線式や三峡ダム放流操作条件、長江本流からの分洪操作条件をそれぞれ組み込み、1998年を対象とした長江中流域における日単位の流出シミュレーションを実施した。これにより、洪水期の洞庭湖の日平均水位や洞庭湖合流前後での長江本流の日平均水位や流量の経時変化を算定した。

退田還湖のみの効果を検討した計算結果では、その大幅な貯水量の増加にも関わらず、洪水防御効果は洪水初期に限定され、洞庭湖と長江の合流点付近の洪水防御水位（34.4m）を日平均水位で計38日超過する結果となった（図1）。これは、遊水池面積の増加により洪水初期の貯水量の増加に対する湖の水位上昇が抑制される一方、高水位を呈する長江本流の背水の影響のため湖から長江への流出量が低下した結果、湖の貯水量が著しく増加したためである。さらに、三峡ダム放流操作や、洞庭湖合流部上流区間での長江から洞庭湖への分洪操作を取り入れて計算を行ったところ、退田還湖の実施後においても、ダム放流操作と分洪量の増加操作を組み合わせることで、初めて全期間において上記防御水位を下回る結果を得た（図1）。これは、1998年のような全流域型の大洪水発生時には、総合的な洪水防御手法が不可欠であることを示唆している。

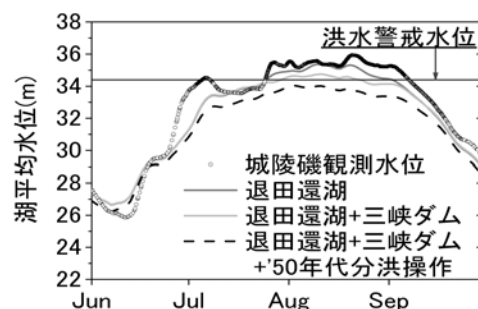


図1 1998年洪水期を対象とした統合型流域水文モデルによる洞庭湖日平均水位算定結果。三峡ダムの放流操作は、中国長江水利委員会が想定する操作条件を適用。また、1950年代の分洪操作条件を適用したケース以外は、1998年の実際の分洪データを適用。

### 4. 今後の計画

長江中流域の低平地を対象に、これまでの計算結果を活用した2次元水・土砂洪水氾濫計算に着手する。その一環として、まず、国内テストサイトである釧路湿原において、水理観測データを較正、検証データとした数値氾濫モデルの精緻化を図る。

### 5. 計算機資源の利用状況（2008年4月から10月まで）

実行ユーザ数：4 CPU時間 1ノード未満：0 hour,  
 1ノード：16 hours, 2ノード：0 hour, 計16 hours

## 研究課題名：全球気候モデルMIROCの陸域過程の精緻化及びそれを用いた大気陸面相互作用の研究

課題代表者：国立環境研究所社会環境システム研究領域 花崎直太

共同研究者：国立環境研究所地球環境研究センター 伊藤昭彦

東京大学生産技術研究所 沖 大幹・鼎信次郎・山田朋人・山崎 大・鈴木 聡・

Jaecil Cho・Hyungjun Kim

実施年度：平成19年度～平成21年度

### 1. 研究目的

近年の全球気候モデル(Global Climate Model; GCM)の時空間解像度の向上と温暖化研究の高度化に伴い、陸域過程が大気過程や海洋過程に及ぼすフィードバックの重要性が増し、GCMの陸域過程の精緻化が大きな課題となっている。本研究は 1) 熱収支と水収支を中心とする陸面過程、2) 生態系変動および炭素循環のプロセスに着目し、国立環境研究所・東京大学気候システム研究センター・地球環境フロンティア研究センターで開発されてきたGCMであるMIROCの陸域過程の精緻化に資することを目的とする。

### 2. 研究計画

本研究ではMIROCの陸面過程モデルMATSIROの改良と拡張(課題1)およびMIROC-SimCYCLE結合モデルの開発(課題2)を行う。

### 3. 進捗状況

課題1ではサブグリッドスケールの地形を考慮した陸域水循環モデルの開発を行っている。河川の流れや湖沼・湿原の形成といった陸域における水循環過程は、流域内の細かな地形分布に規定されている。しかし、これらの地形分布は気候モデルの解像度では表現できないため、MIROCではサブグリッドスケールの現象として統計的に処理されるか、まったく考慮されていなかった。そこで、近年利用可能になった超高解像度(全球1kmメッシュ)の水文地形データ(GDBD・SRTM30)を用いて、サブグリッドスケールの地形を、気候モデルのグリッドに物理的に反映させる手法を開発中である(図1)。超高解像度の水文地形データの導入は、蛇行の様子や湖沼・湿原の形成といった特性を流域ごとに個別に表現することを可能とする。湖沼・湿地の形成は、大気陸面間の水・熱収支に影響を与えるだけでなく、河川流量の季節変化を通して海洋大循環にも影響するため、これらを気候モデルで考慮することは重要と考えられる。現在、サブグリッドスケール地形の表現方法を改善すると共に、MIROCの陸面過程へのコードの結合に取り掛かっている。

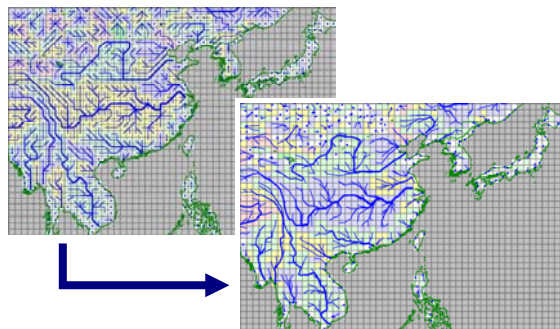


図1 既存の河道網(左)とサブグリッドスケールの地形分布を考慮した河道網(右)

この他に、課題1では全球水資源モデルH07をMIROCに結合する作業も進めている。平成19年度にはH07とMIROCの結合を行った。この結果、主要な人間活動である灌漑が大気過程に及ぼす影響について高度なシミュレーションが可能になった。平成19年度後半から平成20年度前半にかけて、灌漑の導入が大気過程をどのような影響を与えるかについての詳細な数値実験を行った。本予稿の執筆時点で、国際誌への投稿原稿をまとめているところである。

課題2では、陸域モデルVISIT(Sim-CYCLE改良版)をアジア地域で高分解能に適用するためのコード改良を行った。同時進行しているモデル相互比較プロジェクトの仕様に合わせ、日本周辺について緯度経度2分メッシュで計算を行い、生態系炭素収支推定を試行した。このモデルではメタン・亜酸化窒素交換も同時に推定され、温室効果ガス収支の評価に利用される。

### 4. 今後の計画

課題1については、H07-MIROC結合モデルとMIROCの水循環過程の改良を並行して進める。課題2については、陸面過程モデルと生態系モデルVISITの結合に取り組み、温室効果ガス収支の変化を取り入れた気候モデルに向けた開発を進める。

### 5. 計算機資源の利用状況(2008年4月から10月まで)

実行ユーザ数：9 CPU時間 1ノード未満：28 hours,  
1ノード：461 hours, 2ノード：0 hour, 計489 hours

## 研究課題名：気候モデル中の物理化学諸過程の高度化及び過去-現在気候の再現実験を通じたモデルの検証

課題代表者：国立環境研究所アジア自然共生研究グループ 永島達也  
共同研究者：国立環境研究所大気圏環境研究領域 野沢 徹・秋吉英治・中村 哲・菅田誠治  
国立環境研究所地球環境研究センター 塩竈秀夫  
九州大学応用力学研究所 竹村俊彦  
名古屋大学大学院環境学研究科 須藤健悟・高瀬健太郎  
東京大学気候システム研究センター 高橋正明・山下陽介・笹田将矢  
実施年度：平成19年度～平成21年度

### 1. 研究目的

本課題では、次期IPCCレポートやWMOオゾンアセスメント等への貢献を見据えた地球システム統合モデル開発一端を担う目的の下、大気化学・エアロゾル過程を高度化し、過去・現在気候の再現実験を通じた統合モデルの調整と検証を行う。また、上記の過程で計算される過去・現在の気候再現計算の結果や、既存の各種モデルを用いた実験の結果を利用して、気候変動・気候変化のメカニズム研究も行う。

### 2. 研究計画

今年度は、気候モデル(MIROC)をベースとした地球システム統合モデルへの成層圏化学過程の導入を完了させ、対流圏化学・エアロゾル過程の具体的な高度化作業を行う。高度化された統合モデルを用いて過去・現在の気候再現実験を行い、観測データや既存モデルの結果を使った検証と調整を行う。

### 3. 進捗状況

昨年度までに地球システム統合モデルへの成層圏化学過程導入のうち、塩素系と臭素系の気相反応の導入が終了しており、本年度は極域成層圏雲上の不均一反応の導入を行い、計算結果の検証と調整を行った。調整は現在も継続中であり、特に南極オゾンホール再現性向上が目下の課題である。対流圏エアロゾル過程の高度化に関しては、これまでに簡便化していた扱いを改め、エアロゾルの粒子径による区切りを詳細化したり、間接効果の導入手法を高度化したりするなど、各種の変更を施した。また、このように高度化された対流圏エアロゾル過程と対流圏化学過程を結合する作業が現在進行中である。

一方、今年度はこれまでに既存のモデルを用いて以下のような研究が行われた。

[1] 成層圏化学気候モデルの相互比較プロジェクト(CCMVal)へのデータ提出を目的として、2000年相当の各種境界条件を課した定常実験、過去(1960-2006)

再現実験、将来予測実験(1960-2100)の3実験(現在も実験継続中)を行った(これらは、今後アンサンブル数の増加を計画している)。

[2] 対流圏エアロゾルモデルを用いて、IPCC SRESシナリオに基づいた21世紀のエアロゾルの全球分布および放射強制力の将来予測実験。

[3] 対流圏化学モデルを用いた過去(約25年前)から現在にわたる対流圏大気化学場の再現実験。特に2000年代に関しては、観測データとの詳細な比較による検証が行われ、モデルの問題点の把握と改善がなされた。また、日本をはじめとしたアジア各領域における地表オゾンに対して、オゾン前駆物質(NO<sub>x</sub>やVOC等)の発生源別に寄与率の評価を行うため、タグ付きトレーサー輸送実験を行った。

[4] 地上気温の変化に対する降水量の変化の仕方が、排出シナリオによって大きく異なることを明らかにし、またその原因を探るため、MIROCを用いた多数の感度実験を行った。

### 4. 今後の計画

本課題で開発中の地球システム統合モデルは、来年度実施予定のIPCCレポート用実験(本実験及び境界条件作成用実験)、WMOオゾンアセスメント用実験への使用が期待されており、それらに間に合うように適宜開発を進めていく。今年度の残り期間において、成層圏化学過程の最終調整、対流圏化学過程と対流圏エアロゾル過程の統合などを完了させ、統合後のテストや調整を来年度早々にも終わらせたい。その後は、上記した各種実験の実行を他機関との調整を図りながら行う。

### 5. 計算機資源の利用状況(2008年4月から10月まで)

実行ユーザ数：12 CPU時間 1ノード未満：136 hours  
1ノード：126,491 hours, 2ノード：73,465 hours,  
計 200,092 hours

## 研究課題名：オゾン層破壊の長期変動要因の解析と将来予測に関する研究

課題代表者：気象研究所 環境・応用気象研究部 柴田清孝  
 実施年度：平成20年度～平成20年度

### 1. 研究目的

フロンガス等のオゾン層破壊物質の国際的な規制の結果として、種々の観測データの解析から成層圏オゾン減少のトレンドがストップしていたり、南極のオゾンホールが頭打ちになっていたりしている。今後の関心は、成層圏オゾンがいつごろ増加に転じ、また、南極オゾンホールがいつごろ消滅するかにある。しかし、個々の地域で成層圏オゾンがどのように推移するかは温室効果気体増加による地球温暖化が少なからぬ影響を与える。その評価のため気候モデルの温暖化実験でえられた海面水温の将来予測値や温室効果気体・オゾン層破壊物質の将来シナリオを使って、化学-気候モデル(CCM)のランを行い、オゾン層に関する上記の疑問に答えることを目的としている。

### 2. 研究計画

国際的プロジェクトの化学-気候モデル検証活動(CCM Validation) (Eyring et al., 2005) に参加し、そこで定められた課題のシミュレーションを行う。強制力、シナリオの与え方、積分期間等が異なる4つのシミュレーションを複数のラン(アンサンブルラン)で行う。その4つの内訳は以下の通である。

- REF-B0 (2000年、積分20年以上)、現在気候再現
- REF-B1 (1960-2006)、過去再現
- REF-B2 (1960-2100)、過去再現-将来予測
- CTL-B0 (1960年、積分20年以上)、過去気候再現

### 3. 進捗状況

温室効果気体、フロン、成層圏エーロゾル表面積データが前回と異なったデータセットを指定されているので、その処理を行うと同時にモデルのマイナーなバージョンアップを行った後、積分を開始した。大気と異なり成層圏の化学種は落ち着くのに時間が大幅に必要とするので、その安定化のため設定積分開始年の約10年前の1950年代から積分を始めた。現在、REF-B1は1990年まで、REF-B2は1984年の積分が終了した。今回のシミュレーションの性能をquick-lookで調べるために、南極(80S)のオゾン全量の経年変化を前回のCCMValへの参加データ(積分開始が1980年)と比較を行った(図1)。前回(REF1)は1980-2004年であり、

今回(REF-B1)は1960-1990年なので、両者は1980-1990の10年間で重なっている。

図1の各年の最低オゾン全量が南極オゾンホールの尺度に対応しており、今回(図1の下図)の方が最低オゾン全量が小さくなっており、より現実的になっている。この直接的な原因としては全塩素量Clyが考えられ、事実、図2に示すように今回の場合の方がClyは多い。

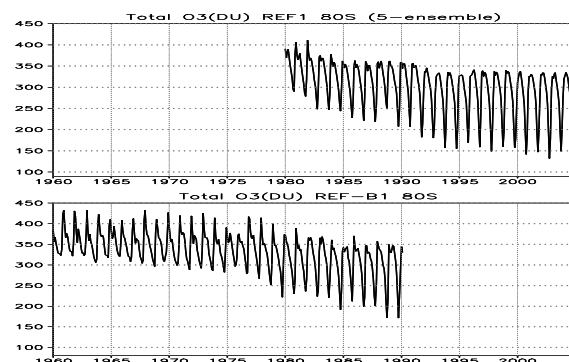


図1 南極(80S)でのオゾン全量(DU)の経年変化。(上)前回のラン(REF1)の5メンバーの平均、(下)今回のラン(REF-B1)、ただし、1メンバー。

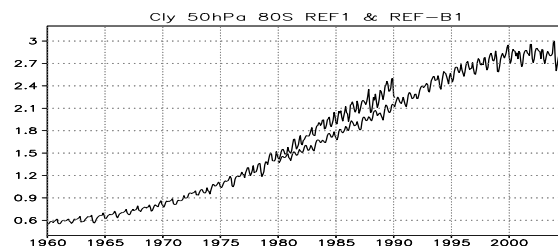


図2 南極成層圏(80S, 50hPa)でのCly(ppbv)の経年変化。(上の線)今回のラン(REF-B1)、(下の線)前回のラン(REF1)。

### 4. 今後の計画

引き続き積分を実行し、REF-B1とREF-B2については複数のランを行う。

### 5. 計算機資源の利用状況(2008年4月から10月まで)

実行ユーザ数：1 CPU時間 1ノード未満：2 hours,  
 1ノード：19,322 hours, 2ノード：0 hour, 計 19,324 hours

## 6. 昨年度研究課題のまとめ

### 6.1. 昨年度研究課題名

オゾン層破壊の長期変動要因の解析と将来予測に関する研究

### 6.2. 昨年度研究課題の目的

今年度と同じ。

### 6.3. 昨年度研究課題の成果概要

前回の「オゾン層の科学的アセスメント」(WMO, 2007)の結果の過去再現部分についてはEyring et al.(2006)で解析されているが、これとは別の観点でMRI-CCMのトレンド、QBO、太陽変動、エルニーニョ/南方振動(ENSO)、火山噴火のシグナルについてはShibata and Deushi(2008)で報告されている。次期の次期WMOオゾン科学アセスメント(2010年出版予定)にデータを提供するために気象研究所の化学-気候モデルの長期ランを平成19年度中に行う予定であった。しかし、そのシナリオの詳細に関して化学-気候モデル検証プロジェクト(CCMVal)の世界の参加グループから注文がいろいろ出され、議論が続き、なかなか決まらず、最終的に決まったのは年末であった。気象研は、このシナリオが決まらない状況が長く続きそうなので、この期間を利用して、化学-気候モデルの力学モジュールを気候システムモデル(ターゲットは対流圏)で使われているものに入れ替える作業に入った。当初の見込みでは3~4ヶ月で終わる予定であったが、対流圏の気候を変えないで成層圏や中間圏の表現を良くすることに時間がかかり、結果的には半年以上も費やしてしまった。

新モデルでのQBO調整作業を行って、それが終わった時点で長期ランを開始する予定であったが、QBOが2~3サイクル出た後、QBOが途絶えるという想定外の現象が起きた。そのため、新モデルの使用を一応断念し、旧のモデルを使うことにした。

### 6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数：1 CPU時間 1ノード未満：0 hour,  
1ノード：0 hour, 2ノード：0 hour, 計0 hour

## 研究課題名：海洋中の熱塩循環の渦拡散係数の乱流シミュレーションによる予測とモデル化

課題代表者：京都大学大学院工学研究科 花崎秀史  
 共同研究者：京都大学大学院工学研究科 宮尾武寛  
 実施年度：平成20年度～平成20年度

### 1. 研究目的

海洋循環は塩分と熱の浮力効果によって生じる循環であり、熱塩循環とも呼ばれる。通常、海洋モデルにおいては、乱流のモデル化に際し、熱と塩分に等しい乱流拡散係数（渦拡散係数とも呼ばれる）を用いてきた。しかし、熱と塩分の分子拡散係数（プラントル数）には100倍の差があるため、乱れがそれほど強くない場合には、乱流拡散係数が分子拡散の違いの影響を受ける。本研究では、熱と塩分の分子拡散係数の違いによって生じる differential diffusion による渦拡散係数の違いを乱流の数値シミュレーションにより調べ、その発生メカニズムを室内実験と理論を併用して解明する。同時に、熱塩二重拡散系における乱流モデルの改良を行う。

### 2. 研究計画

本研究では、物質拡散の小スケール（速度場の最小スケール）での挙動が渦拡散係数に与える影響を解明すると同時に、渦拡散係数とその時間平均値を決定する支配パラメータを明らかにし、現行の海洋渦拡散モデルの改良すべきポイントを明らかにする。また、海洋分野では従来、成層乱流に関しては内部重力波間の相互作用のみが議論されてきたが、こうした「波動成分」と同等のエネルギーを持つ「渦成分」の挙動についての解析を行い、波動成分と同等の寄与をすると推測される渦成分の挙動とその重要性を明らかにする。

### 3. 進捗状況

昨年度開発したプログラムを用いて、「波動-渦分解」を用いた解析を行っている。その結果、波動成分はエネルギーの順カスケードを行うのに対し、渦成分は逆カスケードを行うことがわかった。同時に、小スケールでは波動成分が支配的となる一方、大スケールでは渦成分が支配的となることがわかった。

また、熱と塩分のように、密度成層を構成する物質が2種類ある場合、その成層への寄与の比率（浮力比：buoyancy ratio）が問題となる。それが流れ場に与える影響を調べた。高プラントル数物質の比率が50%程度になると、高プラントル数物質の分布構造は、その比率

が100%の時とほぼ同じになることがわかった。実際の海洋では、高緯度では、塩分成層 > 温度成層のため、50%以上、低緯度では逆に50%以下であるが、50%程度が多い。このことは、高プラントル数物質（塩分）の散逸構造は、場所にあまり依存しないことを示している。

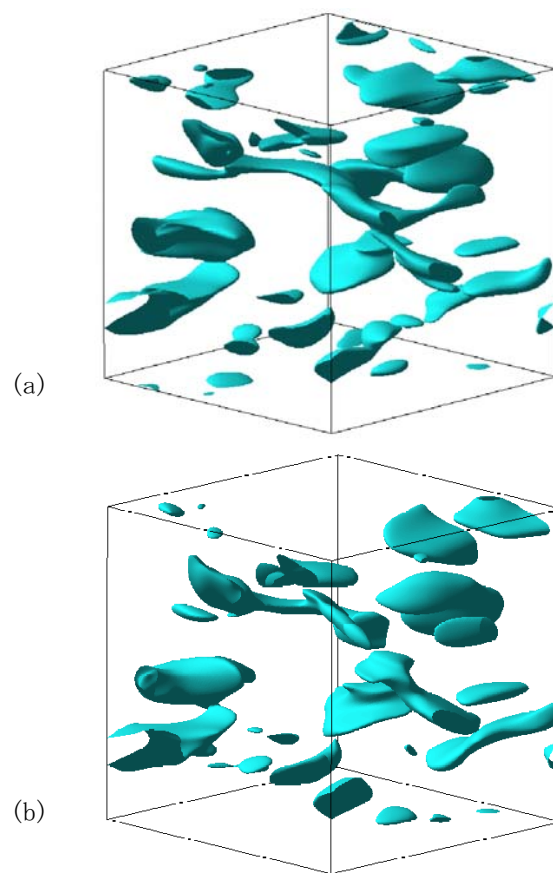


図1 高プラントル数物質の散逸率の空間分布。高プラントル数物質の密度成層への比率が、それぞれ、(a)50%、(b)100%、の時。両者の構造に大きな差は見られない。

したがって、鉛直フラックス（渦拡散係数）も、浮力比が場所によって変化しても大きくは変化せず、その値は、高プラントル数である塩分による浮力比が100%の状態に常に近いと予測される。しかし、その散逸構造は、小スケール成分が大きい通常の高プラント

係数の差異が、ある程度の時間が経過すると、実は小さくなることを示唆している。

#### 4. 今後の計画

今後、その他の重要なパラメータである、成層の強さ（フルード数）、プラントル数依存性などの解析を、物質フラックス（渦拡散係数）の解析と同時に進めて行く。

#### 5. 計算機資源の利用状況（2008年4月から10月まで）

実行ユーザ数：1 CPU時間 1ノード未満：0 hour,  
1ノード：2,206 hours, 2ノード：0 hour, 計 2,206 hours

#### 6. 昨年度研究課題のまとめ

##### 6.1. 昨年度研究課題名

海洋中の熱塩循環の渦拡散係数の乱流シミュレーションによる予測とモデル化

##### 6.2. 昨年度研究課題の目的

熱と塩分の分子拡散係数の違いによって生じる differential diffusionによる渦拡散係数の違いを乱流の数値シミュレーションにより調べ、その発生メカニズムを室内実験及び理論的な考察を併用して解明すると同時に、こうした熱塩二重拡散系における乱流モデル改良の指針を立てる。

##### 6.3. 昨年度研究課題の成果概要

速度成分を、内部重力波動的な波動線分と渦運動的な渦成分に分ける「波動-渦分解」を行うプログラムを開発し、「波動成分」と同時に「渦成分」の挙動の解析を行った。その結果、波動成分は、小スケールにおいて、高プラントル数の成層物質（温度、塩分）の位置エネルギーから変換された運動エネルギーを供給されるため、高プラントル数物質が成層している場合には、波動成分のエネルギーが大きくなることがわかった。

##### 6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数：1 CPU時間 1ノード未満：8 hours,  
1ノード：6,535 hours, 2ノード：0 hour, 計 6,543 hours

## 研究課題名：海水面および海中での物質の乱流拡散機構の解明と海水面を通しての物質の交換機構に及ぼすうねりの効果

課題代表者：京都大学大学院工学研究科 小森 悟  
 共同研究者：京都大学大学院工学研究科 黒瀬良一・高垣直尚  
 実施年度：平成20年度～平成20年度

### 1. 研究目的

地球温暖化およびそれに伴う異常気象の発生や海洋汚染の予測を正確に行ううえで、大気・海洋間での炭酸ガスなどの物質の交換速度を正確に評価することは極めて重要である。本研究では、うねりを伴う風波気液界面に対して直接数値計算（DNS）を適用することにより、うねりが海水面近傍の乱流構造や物質輸送に及ぼす影響を明らかにし、その影響をモデル化することを目的とする。

### 2. 研究計画

本研究では、まず初めに、うねりを伴う風波気液界面を模した波状壁面上の乱流場にDNSを適用し、うねりが波状壁面上の乱流構造および壁面に作用する抗力に及ぼす影響を評価する。次に、気液界面を壁面とみなすことなく移動・変形する風波気液界面を再現可能な気液二相流のDNSを行い、風波気液界面近傍の乱流構造および物質交換機構について詳細に調べた後、より正確な物質交換モデルの考案を試みる。

### 3. 進捗状況

今年度は気液二相流のDNSコードの開発を行った。本研究では、界面を追跡する手法としてALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) 法を用いた。図1に吹送時間 $t=4.5s$ における風波気液界面形状を示す。図より、スパン方向にほぼ一様の2次元的な風波が発達しており、風波の下流側斜面にはリップルが形成されていることが確認できる。この結果は、低風速域の室内実験において観測される風波と一致する。図2に $t=4.5s$ における液側流動場の第二不変量の等値面を示す。図は、計算領域の下側から見たものである。図より、界面近傍には馬蹄形渦が見られ、一般的な壁面乱流場によく見られるバースティング運動が発生していることがわかる。また、風波の下流側で形成されるリップルによって強い渦が形成されていることもわかる。

さらに、本研究では、気液界面から液流側にスカラを浸透させる計算を行い、風波気液界面を通してのスカラ輸送機構と界面近傍液側の乱流構造との関連性について検討を行った。図3に $t=4.5s$ における気液界面を

通しての局所スカラフラックスの瞬間分布を示す。図より、風波気液界面を通してのスカラフラックスは、ストリーク状に低い値をとり、液側乱流が強い値を示す風波の下流側斜面において高い値をとることがわかる。これらの現象は、液側のバースティング運動やリップルの存在に起因するものと考えられる。室内実験では風波気液界面極近傍における流動場を三次元的に調査することは困難であるため、これらの知見は非常に有用なものである。

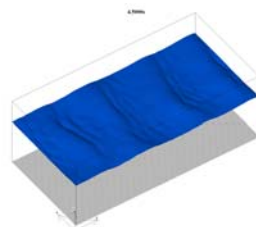


図1 風波気液界面形状

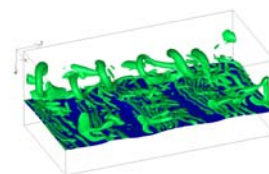


図2 液側流動場の第二不変量の等値面

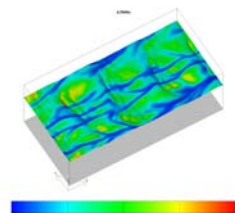


図3 局所スカラフラックスの瞬間分布

### 4. 今後の計画

今後は、引き続き風波乱流場のDNSを行い、風波気液界面近傍の乱流構造および物質輸送機構をより詳細に調べる予定である。また、LESを導入することにより、より高風速域における風波乱流場やうねりを伴う風波乱流場の数値シミュレーションを行い、正確な物質輸送モデルを考案する予定である。

### 5. 計算機資源の利用状況（2008年4月から10月まで）

実行ユーザ数：3 CPU時間 1ノード未満：393 hours, 1ノード：24,436 hours, 2ノード：0 hour, 計 24,829 hours

## 6. 昨年度研究課題のまとめ

### 6.1. 昨年度研究課題名

海水面および海中での物質の乱流拡散機構の解明と海水面を通しての物質の交換機構に及ぼすうねりの効果

### 6.2. 昨年度研究課題の目的

今年度と同じ。

### 6.3. 昨年度研究課題の成果概要

#### 6.3.1 目的

風波気液界面の形状を模した波状壁面上の乱流場にDNSを適用することにより、気液界面近傍の乱流構造や界面に作用する抗力に及ぼすうねりの影響について検討を行う。

#### 6.3.2 計算方法

非圧縮性流体の支配方程式である連続の式およびNavier-Stokes方程式の解法には有限差分法に基づくMAC(Marker And Cell)法を用いた。図4に各場合における計算領域の概略を示す。本研究では、風波やうねりの位相速度が風速に比べて十分に小さいことから、気液界面を固定の波状壁面とみなし、気流のみを解いた。計算は、うねりのない純風波の場合(Run 1)、うねりが風波と同方向(0°)に存在している場合(Run 2)、および、うねりが風波に対して斜め(27°, 48°, 70°)に存在している場合(Run 3, 4, 5)、およびうねりが風波に対して垂直方向(90°)に存在している場合(Run 6)の計6つのケースについて行った。計算領域の鉛直下壁を気液界面で模した波状壁面とし、鉛直上側を平滑面とした。主流方向およびスパン方向には周期境界条件を用い、主流方向に平均圧力勾配を作用させることで流れを発生させた。

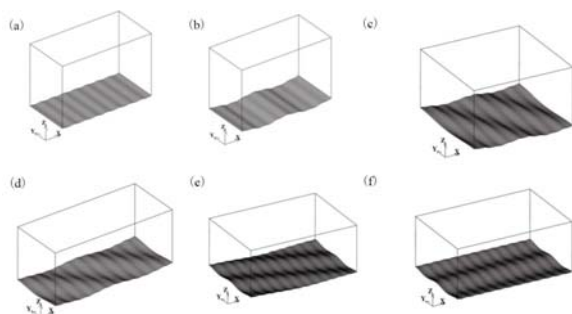


図4 計算領域の概略図。(a) Run 1, (b) Run 2, (c) Run 3, (d) Run 4, (e) Run 5, (f) Run 6.

#### 6.3.3 計算結果および考察

図5に、下側波状壁面に作用する摩擦抗力 $D_{F,w}$ と圧力抗力 $D_{P,w}$ 、および上側滑面に作用する摩擦抗力 $D_{F,f}$ の割合を示す。図から、風波に加えてうねりが存在すると波状壁面上の圧力抗力は増加、摩擦抗力は逆に減少し、それらの和である全抗力は増加することがわかる。また、これらの効果は順うねりの場合に最も大きく、うねりの角度が大きくなるにつれて小さくなる。

図6に、波状壁面に作用する摩擦抗力 $D_{F,w}$ とうねりの角度 $\theta$ の関係を示す。図から、摩擦抗力はうねりの角度の増加に伴い直線的に増加し、双方には図中の近似式で表わされる相関関係があることがわかる。

現実の風波乱流場では摩擦抗力が液側の表面更新渦の発生に寄与することを考慮すると、これらの結果は、風波気液界面を通しての物質交換速度がうねりにより抑制されること、この抑制効果が順うねりの場合に最も顕著でうねりの角度が大きくなるにつれて弱くなること、また、その効果は本研究で提案したモデルを用いて定量的に予測可能であることを示唆している。なお、斜めのうねりについては観測および室内実験では調査するのは困難であるため、この知見は非常に有用なものとなる。

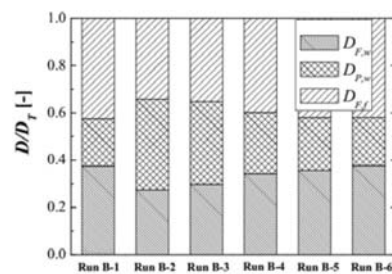


図5 波状壁面に作用する抗力。

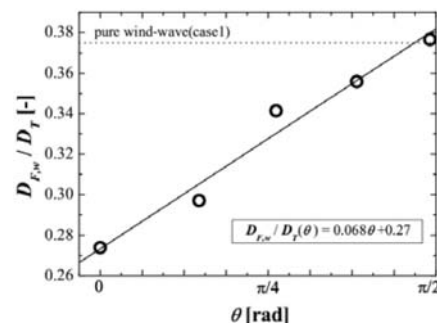


図6 摩擦抗力とうねりの角度の関係。

### 6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 4 CPU時間 1 ノード未満: 5,407 hours, 1 ノード: 44,570 hours, 2 ノード: 188 hours, 計 50,166 hours

## 研究課題名：CAI衛星解析とモデルシミュレーションの統合システムの構築 (Development of a combined system for CAI-satellite imager analysis and model simulation)

課題代表者：東京大学気候システムセンター 中島映至

共同研究者：東京大学気候システムセンター Nick Schutgens・五藤大輔

宇宙航空研究開発機構 向井真木子

実施年度：平成20年度～平成20年度

### 1. Purpose

Our main purpose is to improve model prediction of global aerosol loads for the GOSAT mission. These aerosol loads are required for correct interpretation of the GOSAT FTS data. A secondary purpose is the improvement of the SPRINTARS global aerosol model.

### 2. Method

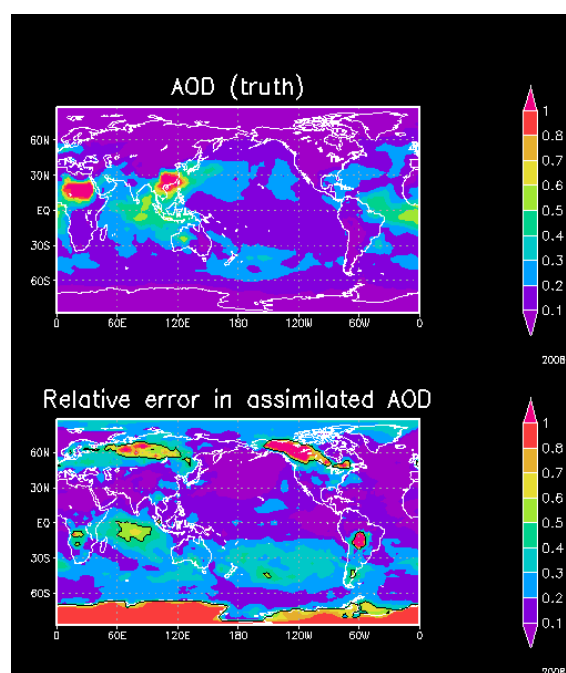
We will implement an ensemble assimilation system for SPRINTARS and use a variety of aerosol observations to improve modeled aerosol loads. Since aerosol emission inventories are considered unreliable, our first goal will be to improve aerosol loads by varying emission inventories.

### 3. Results

We have implemented a Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF) for SPRINTARS that assimilates either ground-based or space-borne Aerosol Optical Depth (AOD) observations every 3<sup>hr</sup> or 6<sup>hr</sup>. The ensemble consists, at present, of 40 members that each have slightly different emission inventories (boundary conditions). The observations come from either the ground-based AERONET dataset or the CAI sensor aboard GOSAT.

In Fig. 1, we show results for an experiment with simulated GOSAT AOD. Here it is assumed that the assumed carbon and sulfate aerosol inventories are overestimated by 50%. Still, LETKF-SPRINTARS improves on the AOD error through assimilation of (simulated) observations.

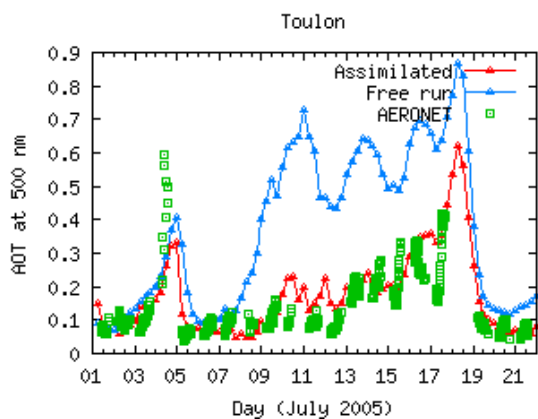
In Fig. 2, we show AOD with and without assimilation if real AERONET 675 nm AOD observations are used. The comparison is made with an AERONET site (Toulon) that was not used in the assimilation. Clearly, assimilation can significantly improve the aerosol loads.



**Fig. 1 Improvement in AOD after assimilation.** Perfect model experiment with simulated GOSAT AOD at 675 nm.

### 4. Future plans

Sofar, we have used only simulated satellite observations, but soon we hope to conduct experiments with real MODIS AOD. The assimilated products can be validated through comparison with AERONET observations. Once sufficient GOSAT observations have become available, these may similarly be used (note that there are significant differences between MODIS and GOSAT). Also, it will be interesting to extend the assimilation system to allow direct retrieval of improved emission inventories, and to allow variation of several physical parameters such as those that govern wet and dry deposition.



**Fig. 2 Improvements in AOD after assimilation. Actual AERONET observations were used for both the assimilation and the validation.**

## 5. CPU use in the current year (from April to October 2008)

4 users, CPU hours < 1 node : 114 hours,  
 1 node : 38,049 hours, 2 node : 0 hour,  
 total : 38,163 hours

## 6. Summary of Research during the last year

### 6.1. Title

Development of a combined system for CAI-satellite imager analysis and model simulation

### 6.2. Purpose

The purpose of 2007 research is the same as that of 2008

### 6.3. Summary of Results

In 2007, we developed and implemented the assimilation system. In addition, comparative studies between observed and simulated aerosol characteristics for March, April & May 2005 in South-East Asia were conducted. These comparative studies focused on AOD observed by the ground-based SKYNET system and on attenuated backscatter observed by the LIDARS of the ADnet system.

### 6.4. CPU use in the previous year

4 users, CPU hours < 1 node : 18 hours,  
 1 node : 31,725 hours, 2 node : 142 hours,  
 total : 31,866 hours

**研究課題名：・GOSATデータ処理運用システムの開発  
・GOSATデータ処理運用システムの試験および定常運用**

課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター 渡辺 宏  
 共同研究者：国立環境研究所地球環境研究センター 横田達也・Shamil Makshutov・松永恒雄・  
 開 和生・河添史絵・林 謙二・石原博成・信田浩司・吉田保衡・太田絵美・菊地信弘・  
 村上忠義・仁衡琢磨・小林弘幸・宮坂隆之・菊地信行  
 実施年度：平成 19 年度～平成 21 年度

**1. 研究目的**

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(Greenhouse gases Observing Satellite; GOSAT)の打上げが平成 20 年度冬期に予定されている。国立環境研究所(NIES)では、GOSATの観測データの処理を行い、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>濃度を算出し、それら濃度分布に基づいて、大気輸送モデルを利用して、亜大陸規模別に炭素の吸収・排出量を推定する役割を担い、そのためのGOSATデータ処理運用施設(GOSAT DHF)の整備を 19 年より進めてきた。

**2. GOSAT DHFの概要**

(1)GOSAT DHFと外部とのインターフェース

GOSATにより観測されたデータは、JAXA/EORCにて受信し、レベル 1 処理が行われた後、NIESへ送信される。GOSAT DHFではレベル 1 プロダクト以外にもデータ処理に必要な客観解析気象データなどの参照データを参照データ提供機関から取得する。必要データが収集された後、データ処理を行い、レベル 2, 3, 4 プロダクトを作成する。データ処理には、3 つの施設の計算機 (GOSAT DHF内に設置する計算機、NIESスーパーコンピュータ、東京大学T2Kオープンスパコン) を利用する。作成されたプロダクトは、検証作業により妥当性が確認された後、研究者や一般の利用者へ提供される (図 1)。

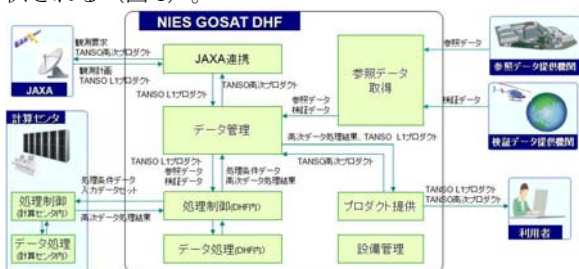


図 1 NIES GOSAT DHFの機能構成と外部とのインターフェース。

(2)データ処理と生成されるプロダクト

高次処理は、レベル 2 処理、レベル 3 処理、レベル 4 処理の 3 つに大別される。レベル 2 処理ではセンサの観測点に対応した物理量 (例：TANSO-FTS (温室効

果ガス観測センサ)の視野位置に対応するCO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>のカラム濃度、TANSO-CAI (雲・エアロゾルセンサ)の画素毎のエアロゾルまたは雲の微物理パラメータなどが生成される。レベル 3 処理は 3 日～3 ヶ月の観測期間に含まれる複数の観測点に対応するレベル 1、2 プロダクトをある時間空間範囲で統計的に処理して全球データ (格子点データ) を作成する。レベル 4 処理はレベル 2 プロダクトと炭素収支モデル計算、大気輸送モデル計算により亜大陸規模の炭素の吸収・排出量フラックスを推定し、それに基づく温室効果ガスの全球 3 次元分布の推定を行なう。

これらの処理のうち、NIESスーパーコンピュータでは、レベル 2 処理の中でCO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>のカラム量算出の前処理としてのエアロゾル輸送モデル計算処理、大気輸送モデル計算処理を実施し、レベル 4 の中で炭素収支モデル計算処理、大気輸送モデル計算処理を実施する。

**3. 研究公募について**

GOSATプロジェクトの成果をより豊かで有効なものとするために、研究公募(Research Announcement)を実施した。1 回目の公募は既に締め切られたが、GOSAT 打上げ後に、2 回目の公募を実施する予定である。採用された研究の実施者には、研究目的の達成に必要な観測要求を出すこと、早期の標準プロダクト提供の要求、研究プロダクト提供の要求の権利が与えられる。

**4. 進捗状況と今後の計画**

現在は各計算機設備の導入、施設運用要員の調達を終え、各種試験を実施している段階である。

GOSAT打上げ後、3 ヶ月以降、データの定常的な処理が開始される予定である。算出されたプロダクトは、プロダクトの検証作業を経た後、一般にも配布される。また、データ処理アルゴリズムの改訂やシステムの維持・改訂を行い、プロダクトの精度向上を目指す。

**5. 計算機資源の利用状況 (2008 年 4 月から 10 月まで)**

実行ユーザ数：17 CPU時間 1 ノード未満：3 hours, 1 ノード：0 hour, 2 ノード：0 hour, 計 3 hours

## 研究課題名：大気輸送モデルとインバースモデルによる温室効果ガス収支量の推定とその高精度化に関する研究 (Application of the transport models for inverse modeling studies of the greenhouse gas fluxes)

課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター Shamil Maksyutov  
 共同研究者：国立環境研究所地球環境研究センター Dmitry Belikov・Nikolay Kadygrov・  
 Vinu Valsala・Heon-Sook Kim・白井知子・古山祐治・中塚由美子・齊藤 誠・  
 佐伯田鶴・齊藤 龍・小田知宏  
 東京大学気候システム研究センター 今須良一・丹羽洋介  
 実施年度：平成 14 年度～平成 20 年度

### 1. Objective

The purpose of this research is to estimate the global and regional distributions of CO<sub>2</sub> fluxes with the available ground-based and aircraft observations as well as forthcoming satellite observation data.

### 2. Research plan

Inverse model of the atmospheric CO<sub>2</sub> transport is used for the analysis of the global and regional carbon budget. Our current research focuses on the use of the CO<sub>2</sub> data of the whole troposphere as observed by monitoring programs and GOSAT satellite. To provide more accurate estimation of the surface fluxes with inverse modeling, both atmospheric transport model and inversion algorithms have to be improved.

### 3. Progress

We completed development and testing of a flux form version of the global tracer transport model with is suitable for carbon flux inverse modeling using 4-D variational assimilation approach, based on adjoint code of a transport model. The model uses a 2-nd order mass conservative algorithm (van Leer scheme), and a mass conservation enforcement based on wind correction scheme employing a 2-D Poisson equation solver. The Poisson solver is implemented with library procedures for 2-D FFT transformations. In addition to improved mass conservation properties, a new model shows better balance between vertical mixing and surface CO<sub>2</sub> flux seasonality (Fig.1), and reasonable inverse model results for north hemispheric extratropical carbon sink.

We also completed an evaluation of global distribution of the transport model biases and errors for use in the GOSAT column CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> concentration retrievals. A global map of the tracer concentration variability and

model errors at synoptic, seasonal and interannual scales were constructed (Fig. 2).

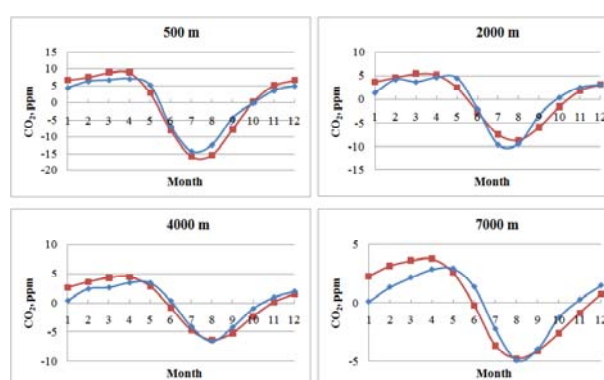


Fig. 1 Seasonal cycle amplitude of the atmospheric CO<sub>2</sub> over Siberia is simulated reasonably well both in PBL and free troposphere (red – observations, blue - model).

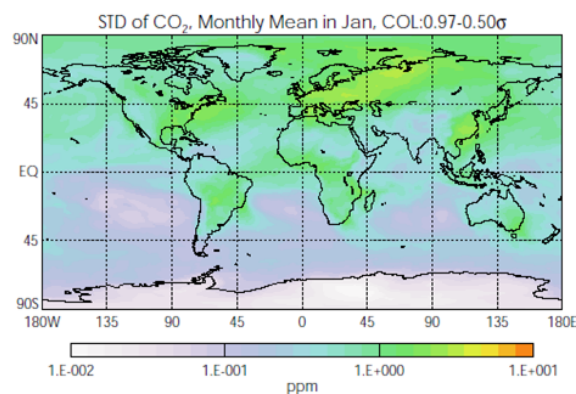


Fig. 2 Global distribution of the short-term CO<sub>2</sub> variability.

### 4. Future plan

The recently developed transport modeling tools will be applied to analysis of the global carbon cycle for last 15-20 years using ground based airborne and satellite data. A global distribution of the seasonally varying regional CH<sub>4</sub> surface fluxes will be studied with inverse model.

**5. CPU use in the current year (from April to October 2008)**

14 users, CPU hours < 1 node : 2,819 hours,  
1 node : 82 hours, 2 node : 1 hour, total : 2,902 hours

**6. Summary of Research during the last year**

**6.1. Title**

Application of the transport model for inverse modeling studies of the regional and global budgets of CO<sub>2</sub>

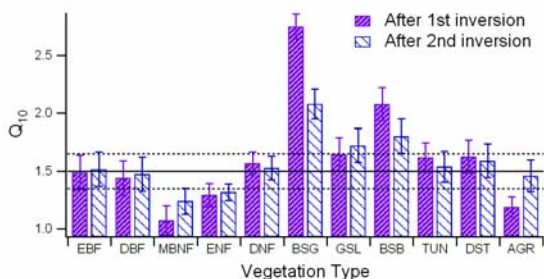
**6.2. Objective**

The purpose of this research is to estimate the global and regional distributions of CO<sub>2</sub> fluxes with the available ground-based and aircraft observations as well as forthcoming satellite observation data.

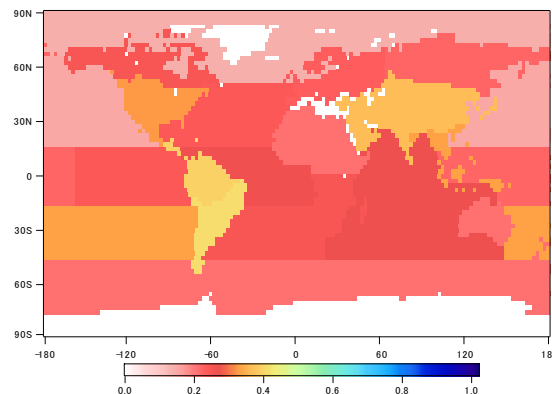
**6.3. Summary of Results**

A global inverse model was used to estimate the optimal set of parameters for CASA terrestrial biosphere model, by first calculating sensitivities of the CO<sub>2</sub> seasonal cycle to model parameters, and then finding the set of parameters that provides best fit to the observed CO<sub>2</sub> vertical profile seasonality (Fig 3). For this purpose, the data from several continuous ground-based observations were used in addition to the vertical profiles from airborne measurements and GLOBALVIEW dataset.

Also, based on GOSAT orbit data coupled with the results of transport model, the satellite observations and data uncertainties were simulated. Our results show that, when relatively low biases are present in the observation, the forthcoming GOSAT data can reduce the uncertainties of monthly regional surface-CO<sub>2</sub> fluxes by up to 60% in comparison with the case when the same prior flux uncertainties are assumed but without satellite observations. Map of flux uncertainty reductions shown on Fig 4.



**Fig. 3 Optimal ecosystem model parameters (Q10 for each vegetation type and after 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> iterations) that provide best fit to observed seasonal cycle of CO<sub>2</sub> concentration.**



**Fig. 4 CO<sub>2</sub> flux uncertainty map (GtC/year/region) after adding satellite observations.**

**6.4 CPU use in the previous year**

13 users, CPU hours < 1 node : 1,138 hours,  
1node : 0 hour, 2 node : 303 hours, total : 1,440 hours

## 研究課題名：東アジアにおける大気の運動と大気質の特性

課題代表者：日本環境衛生センター・酸性雨研究センター 植田洋匡

共同研究者：東京農工大学農学部 畠山史郎

法政大学生命科学部 村野健太郎

日本環境衛生センター・酸性雨研究センター 仲山伸次・青柳文子

東京大学先端科学技術研究センター 梶野瑞王

実施年度：平成 8 年度～平成 19 年度

### 1. 研究目的

東アジアにおける大規模な大気汚染物質の排出とその輸送が日本を含め近隣諸国に及ぼす影響を監視し、調査・解析・対策の早急な実施のための現状解析と将来予測は、もはや東アジア全域における課題となる。

本研究は、数千～一万km規模の対流圏大気の運動と大気質に関する数値モデルによる大気汚染物質の輸送過程を比較検証することを目的とする。また同時にこれらの数値モデルを超並列処理環境下で高速計算、分散処理の遂行を目指す。そして、これらのモデルを用いた数値計算を行い、東アジアにおける大気の運動と大気質の特性およびその将来を解明することを目的とする。

### 2. 研究計画

気候変動、環境酸性化など環境変化を引き起こす微量気体、大気エアロゾルの性質、動態、変質を表現する東アジア領域スケールの非静力学気象モデルと連携するエアロゾル化学輸送モデルを開発し、エアロゾルの光学特性、活性化から雲凝結核化に関して大きな影響を及ぼす、化学組成、粒径分布、混合形態、粒子形状を詳細に表現し、気候変動への影響を定量的に高精度で評価することが目的である。

### 3. 進捗状況

本研究では、3次元対流圏輸送モデルであるMSSPを用いたが、ベクトル化、並列化のコーディング途中段階であったため、自所有もしくは他研究機関の計算機にて実験を行っている。

現段階でMSSPモデルは、オフライン結合された気象-化学輸送モデルである。東アジア領域で水平 100×70、ランベルト座標系、60 km間隔で、鉛直は 10 kmまで地形準拠座標で 12 層に分割している。全球解析データ(NCEP/FNL, ds083.2)を初期値、境界値として、ナッジングをかけながら領域気象モデルWRF/ARW Ver2.2 で気象場を計算する。TOMSオゾンカラム量を用いてオフラインで光解離定数を計算し、排出インベントリには、アジア域の人為起源はStreetsらのもの、

アジア域以外の人為起源はEDGAR3.2、バイオマス燃焼はGFED2、自然起源VOCはGEIAを用いた。また、領域外の影響を考慮するために全球化学モデル(GOES/chem)の月平均結果を上部、側面境界濃度として固定した。また、より現実的な植生分布を反映した乾性沈着速度を計算するために、中分解能撮像分光放射計(MODIS)の月平均葉面積指数LAIを用いている。エアロゾル動力学は常に対数正規分布に従うモーメント法を用いている。凝集過程に際し、非球形性粒子のフラクタル次元を考慮した定式化を新たに開発し、それを導入した。

図 1 に計算結果の 1 例を示す。韓国済州島におけるブラックカーボン濃度の時系列である。アジア大陸からの前線に伴う輸送、汚染空気塊の停滞などの輸送イベントの時空間スケールがモデルで再現された。モデルは半分程度の過小評価、相関係数Rは 0.76。

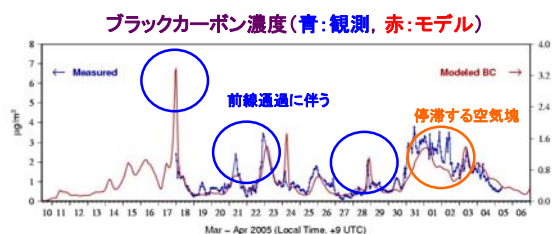


図 1 韓国済州島におけるブラックカーボン濃度の時系列図。青が観測値、赤がモデル値。

### 4. 今後の計画

引き続き開発を行うが、同時に高速化の為のコーディングを行う。様々な観測データと比較を行い、モデルの妥当性を評価する。例えば、東大先端研のエアロゾル組成や混合状態のアジア大陸アウトフロー領域における地上大気観測データ及び航空機観測データ、EANETのアジア域の湿性沈着、乾性沈着データなどを用いて検証する。

## 5. 昨年度研究課題のまとめ

### 5.1 昨年度研究課題名

東アジアにおける大気の運動と大気質の特性

### 5.2 昨年度研究課題の目的

今年度と同じ。

### 5.3 昨年度研究課題の成果概要

モデルは、PILSにより測定されたPM2.5、PM10の無機エアロゾル成分と、PSAPにより測定されたブラックカーボン粒子のアジア大陸からのアウトフローによる輸送イベントを再現した。またガス・エアロゾルの境界条件をON/OFFした感度実験により、アジア領域外からの輸送の寄与を調べた。観測期間中に、前線に伴う輸送イベントは3回あり、硫酸エアロゾル濃度ピークはそれぞれ、26.0(53.0)、16.8(7.1)、18.6(19.2)  $\text{mg}/\text{m}^3$ であった(括弧内はモデル値)。輸送イベント時の領域外の寄与は1%以下であり、ほとんどアジア大陸起源であった。一方、高気圧通過に伴う大規模下降流が卓越する期間では、50~90%が領域外の影響であった(図2)。月平均で、観測値は3.0  $\text{mg}/\text{m}^3$ 、モデル値は3.44  $\text{mg}/\text{m}^3$ 、領域外の寄与は17.0%であった。済州島においては、アジア大陸起源以外の硫酸エアロゾルの寄与が、月平均値レベルで無視出来ないことが示唆された。

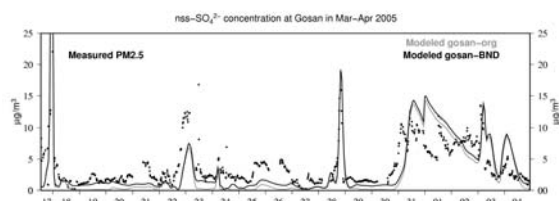


図2 ABC-EAREX2005 期間における PM2.5 の硫酸エアロゾル濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )。点線は観測値、黒実線は GEOS-chem 結果を境界値としたもの、灰色実線は境界濃度ゼロ。

### 5.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数：6 CPU時間 1 ノード未満：0 hour,  
1 ノード：0 hour, 2 ノード：0 hour, 計 0 hour

## 研究課題名:MIROC中解像度版および氷床力学モデルと炭素循環モデルを用いた古気候数値実験と温暖化予測

課題代表者：東京大学気候システム研究センター 阿部彩子

共同研究者：東京大学気候システム研究センター 吉森正和・岡 顕・大石龍太・倉橋貴純・

井手智之・松尾勇氣

実施年度：平成20年度～平成20年度

### 1. 研究目的

本研究では、MIROC気候モデルに氷床モデルおよび炭素循環モデル（海洋はNPDZモデルや堆積モデル、陸域はLPJ動的植生炭素循環モデル）を併用できるよう、必要な結合作業やモデル開発を行う。さらに、最近ではもっとも変化シグナルとフォーシングがはっきりしている最終氷期などの古気候実験を行い、大気水循環のほか、熱塩循環、海洋炭素循環、陸域炭素循環、植生、氷床、海洋トレーサー、ダストなどの変化特性を調べる。またフィードバック解析などの解析を行って変動特性を明らかにしていく。

### 2. 研究計画

雲によるフィードバック解析を高度別に行うなどして、昨年度より詳細なフィードバック解析を行う。また、氷床の表面質量収支を正確に見積もるため、MIROCのサブグリッドレベルで表面エネルギー収支を計算し質量収支を求めるためのモデルコードの変更を行う。その第一段階および比較対象として、複数の大気大循環モデルの出力を質量収支モデルの入力として用い、将来の海面水準予測およびその不確定性の推定も行う。さらに、氷期における海洋循環のシミュレーションを行い、氷期の大西洋深層循環の弱化的要因について調べるための感度実験を行う。

### 3. 進捗状況

MIROCモデルを使用して、二酸化炭素0.5, 2, 4倍実験、また、最終氷期極大期(LGM)、LGMの温室効果ガスのみを規定した実験において、雲の高度別フィードバック解析法を検討し、実際に行った。その結果、高高度、中高度、低高度別に全雲のフィードバックへの貢献度を定量的に評価できた(図1)。この結果から、温暖化と寒冷化実験での気候感度の違いは、中・高緯度帯においては低層雲の応答の仕方、低緯度帯においては中層雲の応答の仕方の違いによるものであることが明示された。

MIROCのサブグリッドレベルでの氷床表面質量収支を計算するためのコードの変更を試みた。現在の変

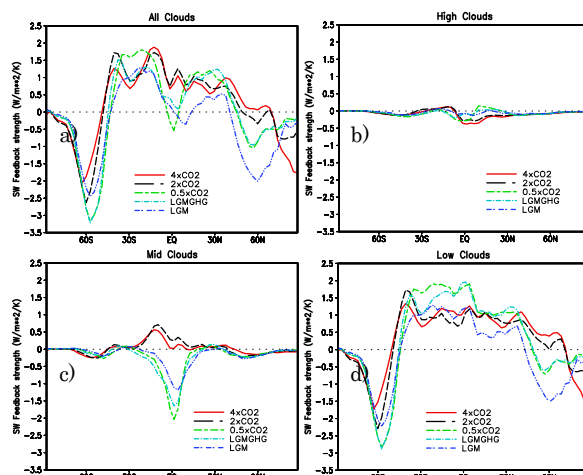


図1 二酸化炭素0.5, 2, 4倍(0.5xCO<sub>2</sub>, 2xCO<sub>2</sub>, 4xCO<sub>2</sub>)、最終氷期極大期(LGM)、LGM温室効果のみ(LGMGHG)の実験の雲フィードバックの強さ。(a)全雲の短波フィードバック；(b)高高度の雲の短波フィードバック；(c)中高度の雲の短波フィードバック；(d)低高度の雲の短波フィードバック

更されたコードは計算効率が十分でなく、高解像度にサブグリッド分割するためには、さらなるコードの改良が必要であることがわかった。

MIROCモデルを用いた氷期のシミュレーションにおいては、大西洋深層循環の弱化的再現ができなかった。そこで、海洋大循環モデルを用いた感度実験を行い、氷期における海面熱フラックス、水フラックス変化がどのように影響したかを評価した。その結果、熱フラックスによって大西洋深層循環は強まる一方、水フラックスによって弱化的引き起こされることがわかった。氷期の大西洋深層循環の再現には、熱フラックスと水フラックスの両者の定量的な効果を適切に表現する必要があることが示唆された。

### 4. 今後の計画

MIROC気候モデルと氷床モデルの結合と高精度化のため地球粘弾性モデルと結合する。南極、グリーンランド氷床プロセスの導入を行う。氷期気候におけるダスト発生および輸送の再現とプロセス研究(エアロ

ゾル輸送モデルSPRINTARS使用)を行う。海洋炭素循環の氷期、現在の再現実験を行う。海洋炭素循環変化における海洋熱塩循環の役割を調べる。陸域炭素循環および植生の氷期、現在の再現実験を行い、さらにダスト発生に対する植生変化の影響を調べる。またモンスーンにおける大気植生フィードバックの役割を調べる。気候感度の温暖化と寒冷化時の違いについてさらに詳しく調べる。

## 5. 計算機資源の利用状況 (2008 年 4 月から 10 月まで)

実行ユーザ数 : 7 CPU時間 1 ノード未満 : 483 hours,  
1 ノード : 18,182 hours, 2 ノード : 0 hour, 計 18,664 hours

## 6. 昨年度研究課題のまとめ

### 6.1. 昨年度研究課題名

MIROC中解像度版および氷床力学モデルと炭素循環モデルを用いた古気候数値実験と温暖化予測

### 6.2. 昨年度研究課題の目的

CCSR/NIES/FRCGCで開発されたMIROC3.2 の大気大循環モデルと海洋混合層モデルを用いて、二酸化炭素倍増実験と最終氷期極大期実験のフィードバック過程を定量的に調べ、比較検討する。また、今後氷床モデルの入力に使用する予定である、多くの異なった気候感度をもったモデルバージョンの出力を解析するための、簡便なフィードバック解析手法の精度確認も行う。

### 6.3. 昨年度研究課題の成果概要

将来の気温変化の程度を表す指標である気候感度が大気モデル内でどのようなフィードバック過程によって決められているのかを定量的に調べた。また、気候感度の推定幅の制約のための古気候情報の利用可能性についても調べた。具体的には、IPCC第四次報告書において使用された大気大循環モデルを用いて二酸化炭素倍増実験および最終氷期極大期実験を行い、それぞれの実験において、フィードバックの強さを水蒸気、断熱減率、表面アルベド、雲によるものに分離した(図2)。その結果、二酸化炭素倍増実験と最終氷期極大期実験においてはその気候感度に違いがあり、その差は主に雲の短波のフィードバックによるものであることが明らかになった。さらに、これらの解析に用いられた詳細なフィードバック解析結果を参照し、簡便なフィードバック解析法の精度確認を行った。

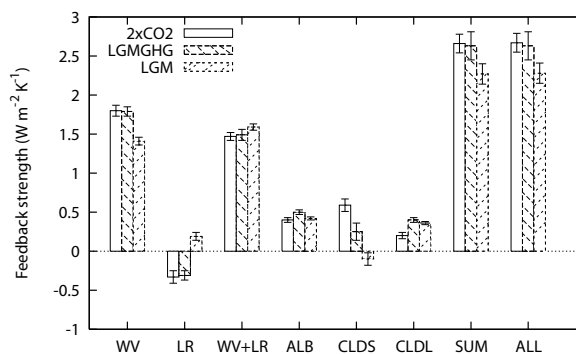


図 2 二酸化炭素 2 倍 (2xCO<sub>2</sub>)、最終氷期極大期 (LGM)、LGM 温室効果のみ (LGMGHG) の実験におけるフィードバックの強さ。WV、LR、ALB、CLDS、CLDL はそれぞれ、水蒸気、断熱減率、アルベド、雲の短波、雲の長波のフィードバックを表す。WV+LR は水蒸気と断熱減率フィードバックの和を表す。SUM はそれぞれのフィードバックの強さを別々に評価した時の和を表し、ALL は全てのフィードバックを同時に評価した場合を表す。エラーバーは、+/-1 標準偏差を示す。

### 6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数 : 10 CPU時間 1 ノード未満 : 284 hours,  
1 ノード : 15,232 hours, 2 ノード : 0 hour, 計 15,516 hours

## 研究課題名：大気海洋結合モデルの物理過程改良および気候変化予測の手法開発

課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター 小倉知夫

共同研究者：国立環境研究所地球環境研究センター 江守正多・長谷川聡・横島徳太・阿部 学  
 東京大学気候システム研究センター 木本昌秀・今田（金丸）由紀子・  
 野中（荒井）美紀・近本喜光・高萩 縁・羽角博康

実施年度：平成 19 年度～平成 21 年度

### 1. 研究目的

地球温暖化が社会・経済に及ぼす影響を把握する上で、今後 30 年程度の近未来に注目した極端現象の予測は気候感度の不確実性低減と共に重要な課題である。しかし、上記の課題を達成するには気候モデルによる経年変動の再現性改善、初期値アンサンブル予測の手法開発などの問題を克服する必要がある。そこで本研究では、大気海洋結合GCM "MIROC"による数値実験とその物理・力学過程の改善を通して、近未来の気候変化予測の技術的基盤を確立すること、及び気候感度推定の信頼性を向上することを目的とする。

### 2. 研究計画

近未来予測については、過去に発生したエルニーニョ現象に注目してアンサンブル予測実験を行い、昨年度から構築してきた実験的気候予測システムの動作を検証する。また、東アジアモンスーンの経年変動について観測や数値実験結果の解析を行い、その予測可能性について検討する。気候感度の推定については、雲フィードバックの不確実性を狭めるために雲のパラメタリゼーションの精緻化を進める。

### 3. 進捗状況

今年度はMIROCを用いた実験的気候予測システムにより 1980 年～現在までの約 30 年間に発生したエルニーニョ現象の事後予測実験を行った。初期摂動の作成には成長モード生育法 (BGM) と時間差法 (LAF) を併用し、両者による予報成績を比較することで、BGMの有用性について検討を加えた。

また、東アジアモンスーンの予測可能性について探るため、MIROCに境界条件として海面水温を与えた過去 20 年間の再現実験を行い、出力を解析した。年々変動の再現性は高解像度モデル (T106L56) を用いた場合、良好であった。解析の結果、夏季の東アジアモンスーンの年々変動に対する東シベリア～北西太平洋域及び西部太平洋域の重要性が示唆された。

上記に並行して、気候感度推定の不確実性を狭めるためにMIROCの雲パラメタリゼーションの精緻化を行った。今年度は雲微物理スキームのコーディングを

完了させ、別途開発された雲量予報スキームと統合した。雲量予報スキームの特長は、総水量（水蒸気＋雲水＋雲氷）のサブグリッドスケールの分布について、確率密度関数の分散と歪度を予報できることである。両スキームの統合により、雲微物理過程が分散や歪度に影響する有様をモデルで取扱うことが可能となった（図 1a）。さらに、大気中CO<sub>2</sub>濃度倍増に対するMIROCの過渡的応答から気候感度を見積もり、前のバージョン (MIROC3.2) と比べて大きく変わらないことを確認した (3.3[K]、図 1b)。

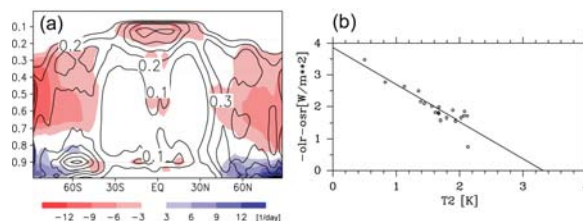


図 1 (a) サブグリッドスケールの総水量分布の歪度の時間変化率（雲微物理過程による寄与を赤～青の濃淡で示す）、および雲量（黒の等値線）。MIROC4.1 による 1 月 1 日からの 7 日積分の時間経度平均値。縦軸は sigma。(b) 大気中 CO<sub>2</sub> 濃度倍増に対する過渡的応答（全球年平均値）。縦軸は大気上端の正味下向き放射フラックス、横軸は地表面気温。二変数間の回帰直線を重ねて示す。MIROC4.1 による 20 年間の数値実験結果から各年の値を丸印で示す。

### 4. 今後の計画

今年度に着手したアンサンブル予測実験によりモデルや初期値化法、アンサンブル生成法に種々の問題があることがわかったため、一つ一つ解決すべく作業を進める。また東アジアモンスーンについて、大気海洋相互作用の観点からAOGCM実験とAGCM実験の結果の比較も行い、その変動のメカニズムを明らかにする。今年度に雲スキームを更新したMIROCについては、観測データに基づき雲分布の再現性を検証すると共に、モデルの調整を通して性能の向上を図る。

### 5. 計算機資源の利用状況（2008 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：11 CPU時間 1 ノード未満：100 hours,  
 1 ノード：32,899 hours, 2 ノード：4,033 hour,  
 計 37,031 hours

## 研究課題名：湿潤惑星大気用数値モデル群の開発および基礎的実験

課題代表者：神戸大学大学院理学研究科 林 祥介  
共同研究者：神戸大学大学院理学研究科 高橋芳幸・森川靖大  
北海道大学大学院理学研究院 石渡正樹・小高正嗣  
九州大学大学院理学研究院 中島健介  
実施年度：平成20年度～平成20年度

### 1. 研究目的

本研究の目的は、惑星大気も含めた多様な湿潤大気の考察に適した数値モデル群の整備と、それらを用いた基礎的数値実験の実行である。多様な湿潤過程を想定したパラメータスタディを実行することにより湿潤大気構造に内在する普遍的な力学的構造を明らかにし、その上に地球の大気の構造を位置付、あるいはその特殊性を明らかにすることを目指す。整備されるべき数値モデルの姿は、このような目的にふさわしい、パラメータの変更や物理過程の交換を容易に実現できるソフトウェアの構造を持ったモデル群である。これまでの林および中島の2課題においてそれぞれ開発されてきた全球モデルと対流モデルをモデル群の中心に据え、更に軸対称2次元モデルや鉛直1次元放射対流モデルなどの縮小モデルを加えた様々な階層のモデル群を同じソフトウェアの枠組みで開発・整備する。統合的なモデルフレームワークを指向した海外のモデル開発の例としては GFDLの気候モデルの枠組であるFMSがある(<http://fms.gfdl.noaa.gov/>)が、これは複雑なサブシステムの集積によって構成される気候モデルの開発を効率よく行うためのソフトウェア構造であった。これに対する我々の試みの独自性は、気候システムの構造的な理解により便利なソフトウェア構造の検討に取り組むことであり、それにより種々の階層の簡単概念モデルの結果と上位のモデルで得られる循環構造との比較を実現し、計算結果に対する力学的因果律の記述を明解に示すことを目指すところにある。

### 2. 研究計画

モデル整備として、これまでに開発を行ってきた球面3次元プリミティブモデルDCPAMと非静力学対流モデルdeepconvにおいてデータ入出力インターフェース、プログラム構造、ソースコードの書式の統一化を進める。これを通じて、物理過程(乱流拡散過程、放射過程、湿潤物質の凝結過程など)の数値スキームの交換・脱着が容易であり、かつ全球モデルでも雲解像モデルでも同一の数値スキームが利用可能となるプログラム構造を模索する。

実装実験としては、現在の地球的な設定を中心に、

過去を含む地球型惑星の設定や、系外惑星として想定される設定を含む湿潤惑星大気のパラメータ依存実験を行う。太陽放射分布などの外的条件や大気成分を変化させた数値計算を行い、広いパラメータ空間における湿潤大気の振る舞いを調査することを目指す。

### 3. 進捗状況

DCPAMとdeepconvにおいてデータ入出力インターフェースとプログラムの構造の統一化を進めるために、入出力インターフェースの改良とメインプログラムの構造の設計の見直しを行った。入出力インターフェースに関しては、我々が開発したデータ入出力ライブラリgt4f90ioを更に改良し、より簡素な入出力インターフェースを持つ階層の数値モデル群のためのFortran 90/95ライブラリgtool5を開発し、公開した(<http://dennou-k.gfd-dennou.org/library/gtool/gtool5.htm>)。プログラム構造に関しては、DCPAMとdeepconvのメインプログラムを、gtool5を活用した形で構造と書式をそろえるべく再設計をおこなった。この設計に基づき、DCPAMとdeepconvのメインプログラムの再構成を行っている段階である。

DCPAMの実装実験としては、これまで行ってきた地球状況での水惑星実験によるモデルの検証を行うとともに、系外惑星的な状況を想定した同期回転惑星の計算を開始した。同期回転惑星とは恒星のごく近傍に存在し公転周期と自転周期が等しい惑星である。そのような惑星は永続的な昼半球と夜半球を持つ。我々が行って来た予備的な実験によれば、地球と同じ自転角速度をもつ同期回転惑星では、赤道域においては赤道波に、中緯度域においては傾圧不安定擾乱に伴う東西熱輸送が起こる(図1)。今後は、DCPAMを用いた自転角速度変化実験を行い、熱輸送形態の依存性を調査する予定である。

### 4. 今後の計画

実装実験として、湿潤惑星大気の循環構造に関するより広汎なパラメータ依存性実験を予定している。地球条件においては、懸案となっているAPE(国際水惑星比較実験)の最終報告に貢献するべく実験結果の確

認のための検証実験を行う。より広範なパラメータ実験としては、自転角速度、惑星半径、太陽定数などの外部パラメータを変化させ、湿潤大気の振る舞いを調査することを目指す。DCPAMとdeepconvの両モデルを用いて数値計算を実行し、全球スケールから雲対流スケールに至る考察を試みる。地球的な設定と外惑星的な設定のいわば両極端ともいえる状況を考えることにより、モデル設定や物理過程の変更のしやすさのテストを行なうと同時に、地球から惑星大気に至るパラメータ空間における湿潤大気の振る舞いを調べる予定である。

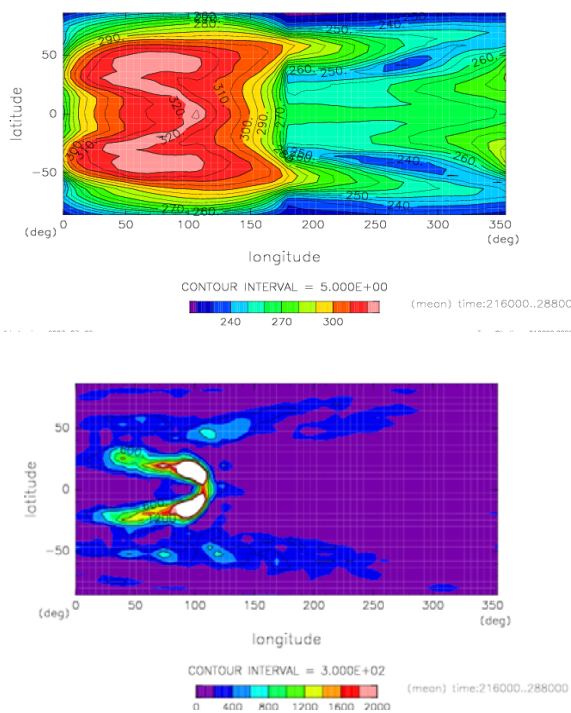


図 1 西半球を永続的な昼とした同期回転惑星の表面温度(上図)と凝結加熱率(下図)。横軸は経度、縦軸は緯度である。上図の単位は [K], 等値線間隔は 5K である。下図の単位は  $[W/m^2]$ , 等値線間隔は  $200 W/m^2$  である。下図では  $2000 W/m^2$  以上の等値線は示していない。これまでに我々が使用して来た 3 次元プリミティブモデル(地球流体電脳倶楽部 AGCM5) を用いて得られた計算結果の 150 日から 200 日までの時間平均を示す。

## 5. 計算機資源の利用状況 (2008 年 4 月から 10 月まで)

実行ユーザ数 : 6 CPU時間 1 ノード未満 : 8 hours,  
1 ノード : 0 hour, 2 ノード : 0 hour, 計 8 hours

## 6. 昨年度研究課題のまとめ

### 6.1. 昨年度研究課題名

大気大循環モデルに見られる赤道域降水活動の表現の多様性に関する研究

### 6.2. 昨年度研究課題の目的

昨年度研究課題の目的は、物理過程を簡略化した大気大循環モデル(GCM)を用いた水惑星実験を通して、GCMで表現される熱帯降水構造の振舞いの多様性を掌握し、GCMに組み込まれるべき物理過程の表現方法に関する知見を得ることにある。また、そのような研究に供されるGCMとして、パラメータの変更や物理過程の交換が容易に実現可能な大気大循環モデルの設計と実装を進めることにある。昨年度は、地球の熱帯降水構造の多様性を考察する観点から、GCMの物理過程変更実験とモデルの設計を行ったものである。本年度の研究目的は、更に惑星大気にまで広げた視点のもとで、階層モデルの姿を模索するものである。

### 6.3. 昨年度研究課題の成果概要

簡単な放射過程と水文過程を持つ球面 3 次元プリミティブ方程式系に基づく地球流体電脳倶楽部版 AGCM5 (Hayashi et al., 2005) を用いて、水蒸気の鉛直拡散係数の大きさを変化させた実験を行った。その結果、西進構造の発現は水蒸気の拡散係数の大きさを増加させると弱くなること、東進構造は水蒸気拡散係数の大きさには大きな依存性を持たないことが示された。残念ながら、東進構造の発生数を規定する過程を特定するには至らなかった。東進降水構造の数および広がりを掌握するためには、放射冷却率、鉛直拡散係数、地表面フラックスを制御した更に多数の数値実験を行う必要があると思われる。このような数値実験を行う際にパラメータの変更や物理過程の交換が容易となるように、今年度以降もDCPAMの設計と実装作業にも反映させていく予定である。

### 6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数 : 5 CPU時間 1 ノード未満 : 1,819 hours,  
1 ノード : 596 hours, 2 ノード : 0 hour, 計 2,415 hours

## 研究課題名：地球流体中の秩序渦構造と3次元スカラー輸送現象

課題代表者：電気通信大学大学院電気通信学研究科 宮崎 武  
 共同研究者：電気通信大学大学院電気通信学研究科 高橋直也・岡田拓也  
 実施年度：平成20年度～平成20年度

### 1. 研究目的

大気や海洋等の地球流体现象では秩序渦構造が長く安定を保ち、その相互作用が乱流力学やスカラー輸送を支配する。大規模な地球流体運動は地球の自転と密度成層効果のために準二次元的なものとなることができ、鉛直高さの異なる層間の相互作用を考慮した準地衡風近似で記述される。我々は秩序渦構造に着目した乱流渦モデル (Li et al., 2006) を構築したが、その中では慣性重力波の影響を考慮することは出来ない。そこで、本研究では慣性重力波の影響を考慮した「最適バランス近似」のもとでの秩序渦構造の性質を調べ、乱流渦・波動モデルを開発する。

### 2. 研究計画

2006年度まではCASL(Contour Advective Semi Lagrangian)法を用いて直接数値計算を行なった。そして2007年度よりCASL法を拡張した「最適化バランス法」への取り組みを開始し、それによって慣性重力波の存在を取り込むことが可能となった。年度当初は、開発・動作確認が終了した後、2007年度末を目処にスーパーコンピュータで稼働させる予定であった。しかし確認作業が予定どおり進まず、2007年度中の稼働は実現することが出来なかった。2007年度末に動作確認が終了したため、2008年度中にスーパーコンピュータでの実行を開始する予定である。

### 3. 進捗状況

最適バランス法について、最新版のコードを一般的なLinuxマシンでの動作テストを行い、問題がないことを確認した。これにより並列化前での実行は、基本サブルーチン(FFTなど)を含めておおむね問題がないことがわかった。また、このコードの元になったCASLコードのMPIによる並列化も完了した。今後は、両者のコードを比較・修正を行うことにより、環境研スーパーコンピュータ環境下でのMPIによる並列化を行う。これにより高解像かつ高速度での実行が期待できる。

一方、準地衡風乱流渦モデルを用いた多自由度系での模擬乱流数値シミュレーションを昨年度より継続して行い、さまざまな状況における統計的性質を調べた。

我々は前報で報告したように、無限領域中の立方体(2.444)領域に、点渦(渦数 $N=2000$ 、循環 $\Gamma_{i=1,2,\dots,N}=1$ )をランダムに一様分布させマイクロカノニカル統計的にサンプル数 $10^6$ 個の系を用意し、エネルギー最頻度( $E=E_c$ )となる場合で数値計算を行った(以降'Case A')。今回は'Case A'に対して、鉛直方向に渦度領域を約4倍とした場合('Case B')、およびエネルギーの低い状態('Case C')・エネルギーの高い状態('Case D')における統計性について調べた。ここで保存量はエネルギー、渦重心、角運動量であり、長さのスケールは角運動量を用いて規格化し(Lundgren and Pointin, 1997)、

時間にはポテンシャル渦度で無次元化した。平衡状態の渦分布は渦重心に対してほぼ軸対称であったため、周方向は一様であるとみなして平均を取り、対称軸からの距離を $r$ 、鉛直方向の座標 $z$ とした平衡分布 $F(r, z)$ を調べた。 $t=10\sim 50$ で平衡状態となるため、数値計算結果は $t=50$ 以降を時間平均している。

'Case B'では初期状態として図1(a)に示すように立方体内部にランダムかつ一様に渦を配置した。平衡状態の渦分布は図1(b)及び図2のようになった。図3に示す鉛直方向角運動量分布より'Case A'に対して'Case B'ではより狭い鉛直方向渦度領域で角運動量が減少し、対称軸に対して渦分布が集中する現象('end-effect')がより顕著に確認された。

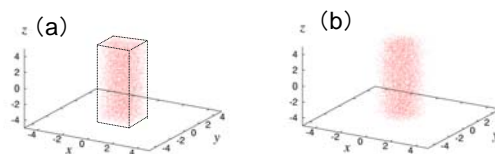


図1 三次元渦分布(Case B) : (a)初期状態、(b)平衡状態

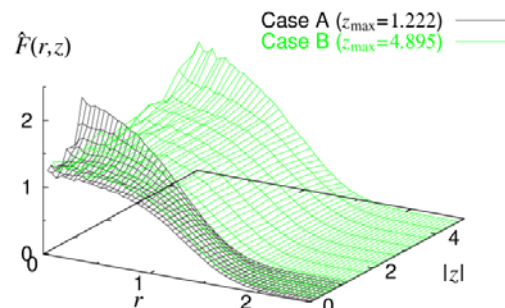


図2 平衡渦分布：Case AとCase Bの比較

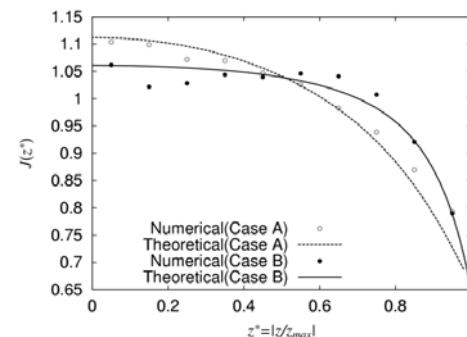


図3 鉛直方向角運動量分布：Case AとCase Bの比較

図4に平衡状態の角運動量分布のエネルギー依存性、図5にy方向より見た平衡渦分布('Case A'・'Case B')を示す。'Case A'に対して'Case C'で角運動量は中心層

で大きくなり上下層で小さくなった。よって'end-effect'がより顕著となる平衡渦分布となった。'Case D'で角運動量分布は中心層で小さくなり上下層で大きくなった。図5に示す平衡渦分布からも対称軸に対して渦が中心層では集中し上下層では拡散している様子がわかる。これは'Case A'・'Case C'とは上下層と中心層の分布が逆転した全く異なる分布であり'inverse-end-effect'とも呼べる分布となった。

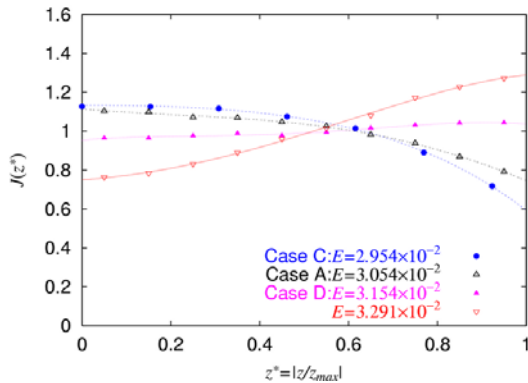


図4 鉛直方向角運動量分布：エネルギー依存性

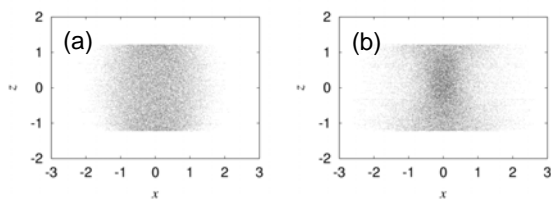


図5 y方向より見た平衡渦分布：(a) Case A (b) Case D

また、最大エントロピー理論を用いて'Case A~D'の条件の下で理論解析を行った。最大エントロピー理論を用いて平衡状態の連続分布解を予測するのは変数が多いため収束解を得るのが難しい。そこで連続分布を"top hat"型に近似した"Patch Model"の仮定の下に鉛直方向の角運動量分布を調べた。'Case A'に対応する場合の鉛直方向角運動量分布を図3の破線で、"Case B"に対応する(鉛直方向に渦度領域を約4倍とした)場合を実線で示す。直接数値計算結果と同様に、より狭い鉛直方向渦度領域で角運動量が減少し"end-effect"がより顕著に現れた。また図6に鉛直方向角運動量分布のエネルギー依存性を示す。直接数値計算結果と定性的な一致が見られ、エネルギーが低いほど角運動量は中心層で大きくなり、上下層で小さくなる。つまり"end-effect"はより顕著となる。一方、エネルギーを高くすると角運動量分布はエネルギーが低い場合と対照的な分布となる。角運動量は中心層において小さくなり上下層において大きくなる。

角運動量分布とエネルギーの関係は次のように考えることが出来る。中心層における渦分布がエネルギーを支配するため、よりエネルギーが低い場合は中心層における分布は対称軸に対して広がり角運動量は大きくなる。しかし角運動量の制約条件により上下層では分布が対称軸に対して収縮し、角運動量は小さくなる。同様にエネルギーが高い場合では中心層での角運動量

は小さくなり、上下層での角運動量は大きくなると考えられる。

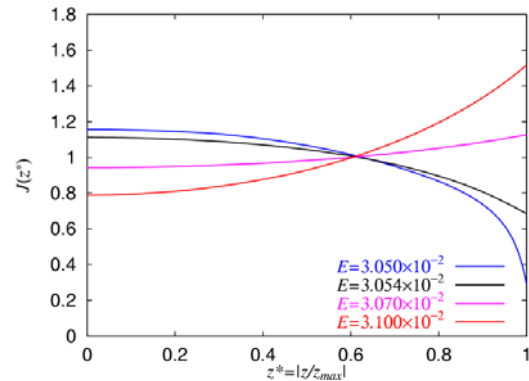


図6 最大エントロピー理論による鉛直方向角運動量分布：エネルギー依存性

#### 4. 今後の計画

CASL法コードの並列化結果と共に、最適バランス法の汎用並列コード(MPI)による並列化を進める。またもっとも計算量の多い部分(FFT)をSX用の並列サブルーチンと入れ替え、効率の上昇を図る。

#### 5. 計算機資源の利用状況(2008年4月から10月まで)

実行ユーザ数：3 CPU時間 1ノード未満：0 hour,  
1ノード：0 hour, 2ノード：0 hour, 計0 hour

#### 6. 昨年度研究課題のまとめ

##### 6.1. 昨年度研究課題名

地球流体中の秩序渦構造と3次元スカラー輸送現象

##### 6.2. 昨年度研究課題の目的

今年度と同じ。

##### 6.3. 昨年度研究課題の成果概要

数値計算のパラメータ領域を拡大し、さまざまなアスペクト比やエネルギーレベルでの平衡状態を得た。また最大エントロピー理論を展開し数値計算結果との一致をみた。

##### 6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数：2 CPU時間 1ノード未満：0 hour,  
1ノード：0 hour, 2ノード：0 hour, 計0 hour

#### 参考文献

Li Y., Taita H., Takahashi N., Miyazaki T. (2006) Refinements on the Quasi-geostrophic Ellipsoidal Vortex Model. Phys. Fluids, 18 (7), 076604 1-8  
Lundgren T.S., Pointin Y.B. (1997) Statistical Mechanics of Two-Dimensional Vortices. J. Stat. Phys., 17(5), 323-355

## 研究課題名：積雲と大規模運動の相互作用の直接計算

課題代表者：九州大学大学院理学研究院 中島健介  
 共同研究者：北海道大学大学院理学研究院 小高正嗣  
 実施年度：平成19年度～平成19年度

### 1. 研究目的

大気大循環モデルの多くは100 km程度以下のスケールを解像することができないため、1 kmスケールである積雲はパラメタライズされ、このことが気候シミュレーションの不確実性の要因の一つとなっている。最近になって積雲に近い解像度を持つモデル(NICAMなど)も現れたが、必要な計算資源は莫大であり、長期間の或いは多様なシナリオでの気候シミュレーションにおいては、積雲パラメタライゼーションの必要性は近い未来には消えない。そこで、積雲対流と大規模運動の相互作用の直接計算を行い、その結果を、積雲をパラメタライズしたモデルを用いた数値実験の結果と比較し、積雲パラメタライゼーションの改良にかかわる情報を得ることを目指す。

### 2. 研究計画

積雲を解像したモデルと積雲をパラメタライズしたモデルの相互比較の対象の候補として、これまで、擾乱の風速が海面からの熱・水蒸気フラックスを介してフィードバックする伝播性のもと、このようなフィードバックが存在しない条件でも生じる停滞性のものであることを報告してきたが、後者のメカニズムは明確でなかったためこれについて集中的に解析を行う。

これと並行して、大規模並列計算に有利な準圧縮方程式系に基づく3次元モデルの開発を継続する。

### 3. 進捗状況

非弾性方程式系に基づく水平鉛直2次元の積雲対流モデルを用いて行ってきた熱帯海洋上を想定した数値計算の解析、ならびに、準圧縮方程式系に基づく3次元の対流モデルの実装実験を行った。前者は過去に国立環境研究所地球環境研究センターのスーパーコンピュータを使用して行ってきた数値計算結果の自所有計算機上での再解析であり、後者は自所有の計算機による試行的小規模計算であったため、いずれにおいても、スーパーコンピュータを使用しなかった。

図1に32,768 kmの領域内の一か所に自発的に雲活動が集中したケースでの大規模擾乱の構造を示す。これより、雲活動域への水平収束を駆動する下層の圧力分布は、大気下層ではなく対流圏上部の温度偏差によってもたらされていることがわかる。この温度構造、

具体的には雲が無い領域での負の温度偏差を生成するためには、この高度での放射冷却が強くなければならないが、この実験の設定は正にその様になっている。これは、放射冷却の鉛直分布と大規模構造の成否についての、線型論とは独立な新しい解釈である。

準圧縮系の新しいモデル開発は、3次元の乾燥対流モデルとしての一応の実装が終わり、並列化に取り掛かっている。

### 4. 今後の計画

本研究の目標である、雲と大規模運動の相互作用の定量的研究を、より組織立てて行うためには、積雲対流モデルの開発を大循環モデルと統合的に行う必要があり、平成20年度以降、地球流体電脳倶楽部の惑星大気循環モデルとのより密接な共同研究を行い、その中で地球の雲対流の構造化および積雲パラメタライゼーションについても検討を進める予定である。

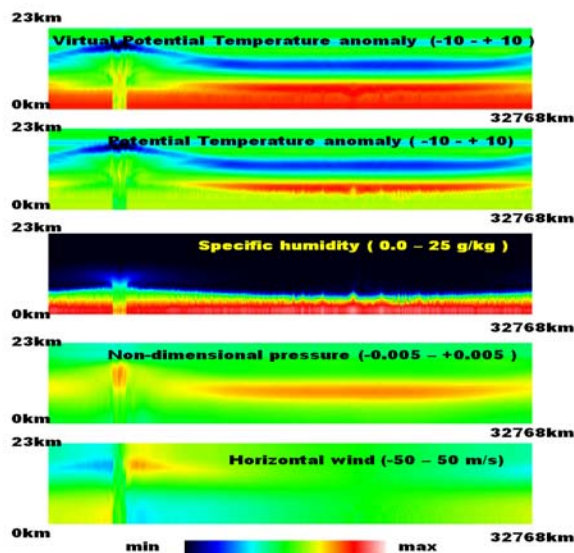


図1 上層冷却実験で生じる停滞性擾乱の構造。上から仮温位偏差、温位偏差、水蒸気混合比、圧力偏差、水平風。いずれも全計算領域（水平・鉛直）を示す。大きい値は暖色系、小さい値は寒色系で示す。

### 5. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数：2 CPU時間 1ノード未満：0 hour,  
 1ノード：0 hour, 2ノード：0 hour, 計0 hour

## 研究課題名：NICAMによる雲降水システムの研究

課題代表者：東京大学気候システム研究センター 佐藤正樹  
 共同研究者：東京大学気候システム研究センター 柳瀬 亘  
 実施年度：平成20年度～平成21年度

### 1. 研究目的

全球非静力学大気モデルNICAMは、正二十面体を細かく分割する方式により全球準一様な水平格子を実現している。これにより地球シミュレータでは14 km, 7 km, 3.5 kmの全球一様格子シミュレーションを行うことが可能となり、広領域・高解像度モデルが必要となる熱帯低気圧の分布やマッデンジュリアン振動などのマルチスケール現象のシミュレーションを行っている。一方で、NICAMはターゲットとする領域に格子点を局所的に集める使い方（ストレッチ格子）も可能であるため、広い領域で高解像度を必要としない現象のシミュレーションを低い計算コストで行うことも可能である。本研究では、このNICAMストレッチ格子を環境研SX-8R上で用いて、熱帯の雲降水システム、特に熱帯低気圧の発生過程を調べることを目的とする。

熱帯低気圧はある程度の強さの渦が最初にあると、積雲対流の凝結熱や海面からの潜熱供給との相互作用により渦が自励的に発達することができるが、そもそもの最初の渦がどのようにしてできるかというのが発生過程の問題である。台風の発生が何日も前から予報できれば防災的な観点からも有用な情報となるが、通常は2～3日前からでも再現が難しく、先行研究も数少ない。熱帯低気圧発生においては、発生の起源となる現象が発生に都合の良い環境場にきた時に、積雲対流活動を通じて熱帯低気圧へと構造を変化すると考えられている。発生の起源には熱帯波動や中緯度擾乱など様々な候補が挙げられているため、事前に起源となる現象を知ることは難しく、また、熱帯海洋上の粗い観測網で現象が十分にとらえられているかも自明ではない。そこで本研究では、環境研SX-8R上で数多くの実験を行うことにより、熱帯低気圧の発生を再現しやすい事例・初期場について調べていく。また、再現性の良かった実験に関しては、高解像度データを解析して、積雲対流の組織化の様子を調べていく。

### 2. 研究計画

熱帯低気圧の発生しやすい北太平洋西部やベンガル湾などのターゲット領域で、格子間隔を7 kmにしたNICAMストレッチ格子シミュレーションを行う。各事例に対して様々な初期時刻やデータセット（気象庁や

NCEPの解析データ）を試し、再現性の良い条件について調べる。また、再現性の良い実験に関しては、発生メカニズムに関して詳細な解析を行う。

### 3. 進捗状況

昨年度までは全球一様格子での実験しか行えなかったため、60 kmの粗い格子で不明瞭ながら低気圧が発生するかどうかの予備実験を行うに留まり、高解像度の実験は地球シミュレータを利用する必要があった。

今年度は環境研SX-8R上でストレッチ格子の実験を行う準備が整ったため、格子間隔7 kmで熱帯低気圧発生のシミュレーションに取り組んでいる。特に再現性の難しい事例も含めて取り組むことで、初期値問題や解像度などの問題について解析を行っている。ターゲットの一つは2008年5月にミャンマーに大きな被害をもたらしたサイクロンNargisである。Nargisはモンスーンオンセットの頃に発生したサイクロンであるため、モンスーンのような大きなスケールの環境場の変化におけるサイクロン発生を再現できるかに焦点を当てる。もう一つは、2008年に集中観測が行われた台風6号（Fengshen）である。観測からはメソスケールの対流が台風へと組織化する様子がとらえられたため、高解像モデルがメソスケールの特徴も含めて再現できるかを確かめる。

### 4. 今後の計画

サイクロンNargisや台風Fengshenに関して、再現性の良いシミュレーションを行うため、初期値やモデルの設定を変えた実験を行なう。また、他の事例にも取り組むことで、多様な発生メカニズムの理解を深める。

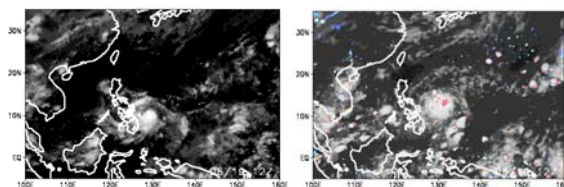


図1 2008年6月19日12UTCにフィリピン付近で発生した台風Fengshenの雲パターン。(a)衛星観測のIR画像。(b)6月16日12UTCを初期値としたNICAM7kmストレッチ格子シミュレーションのOLR(グレー)と降水(カラー)。

## 5. 計算機資源の利用状況 (2008年4月から10月まで)

実行ユーザ数：2 CPU時間 1ノード未満：27 hours,  
1ノード：9,959 hours, 2ノード：19,063 hours,  
計 29,049 hours

## 6. 昨年度研究課題のまとめ

### 6.1. 昨年度研究課題名

NICAMによる雲降水システムの研究

### 6.2. 昨年度研究課題の目的

今年度と同じ。

### 6.3. 昨年度研究課題の成果概要

NICAMを全球一様格子モデルとして用い、60 kmの格子間隔で熱帯低気圧の発生が再現されるかどうかを調べた。台風の構造や強度は60 km格子では表現が難しいため、環境研SX-8Rでは再現性の良い事例のあたりをつける予備実験のみを行い、本番の実験は地球シミュレータで行った。環境研SX-8Rでは数多くの実験を行うことができるので、効率良く対象事例を探すことができた。

台風発生の再現がしやすい事例として、2006年の台風21号(Durian)が3日以上前から発生を予報できることが分かった。台風Durianは150°E付近で雲クラスターが組織化することで発生し、西進しながらフィリピンを通過する事例であったが、その様子が不明瞭ながらも再現できた(図2)。また、この事例では発生域の東側と西側から5000~10000 kmもの距離を伝播

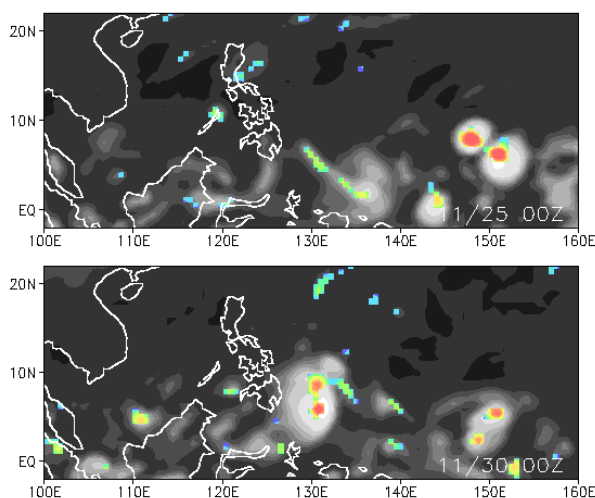


図2 格子間隔約60 kmのNICAMで再現された台風DurianのOLR(グレー)と降水量(カラー)。2006年11月25日(上図)では150E付近に2つの雲クラスターが存在し、それらが西進するとともに11月30日(下図)では台風へと発達している。

する熱帯波動が台風の発生・発達に重要な役割を及ぼしていることが感度実験によりわかった(図3上)。これらの結果は、地球シミュレータの14 km格子実験でより定量的に確かめられた(図3下)ため、定性的な再現は60 km格子でもある程度可能であることがわかった。低解像度で定性的な特徴が調べられることは、数多くの予備実験を必要とする熱帯低気圧の発生研究の戦略上重要である。また熱帯波動と台風発生との関係の理解が深まったため、波動が伝播する領域を含んでいれば、局所的に高解像度にしたシミュレーションでも妥当であることがわかり、本年度からのストレッチ格子を利用した実験の戦略を採用する上で有用な知見となった。

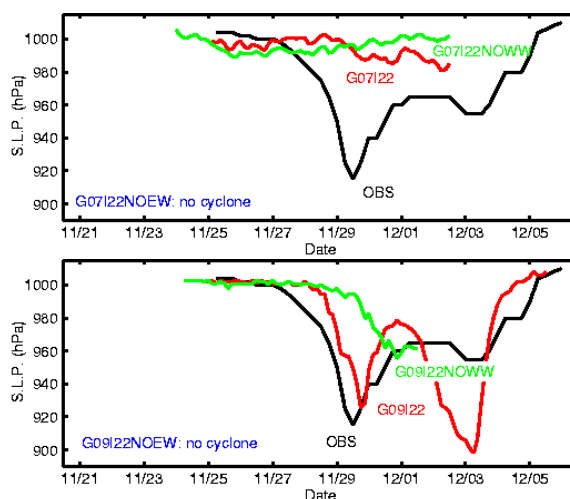


図3 台風Durianの中心気圧の時間発展。(a)60 km格子の実験。(b)14 km格子の実験。ベストトラックの推定値(OBS;黒線)、標準実験(赤線)、東起源の波動を除いた実験(NOEW;青;台風が発生しなかったため線なし)、西起源の波動を除いた実験(NOWW;赤線)。60 km格子の実験には環境研SX-8Rを、14 km格子の実験には地球シミュレータを利用した。

### 6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数：2 CPU時間 1ノード未満：10 hours,  
1ノード：1,939 hours, 2ノード：4,926 hours,  
計 6,876 hours

## 研究課題名：雲解像モデルを用いた豪雨と暴風の数値シミュレーション

課題代表者：名古屋大学地球水循環研究センター 坪木和久

共同研究者：名古屋大学地球水循環研究センター 篠田太郎・大東忠保・加藤雅也・吉岡真由美  
野村光春・前島康光・上伏仁志・日置智仁

実施年度：平成20年度～平成20年度

### 1. 研究目的

名古屋大学地球水循環研究センターでは、雲・降水システムとそれに伴う激しい気象の研究を、雲解像モデルを用いて進めている。本研究課題では、雲・降水現象のシミュレーションのために開発された雲解像モデルCReSSを用い、台風や局地豪雨、豪雪などのシミュレーションを行う。

### 2. 研究計画

台風や局地豪雨など激しい気象について、雲を解像する高解像度シミュレーションを行う。特に台風については観測された台風だけでなく、温暖化実験でGCMによりシミュレーションされた台風についても、雲解像シミュレーション実験を行いこれらの量的評価を行う。

### 3. 進捗状況

#### 3.1. 2004年の福井豪雨

福井豪雨は2004年7月18日未明から昼頃にかけて、福井県嶺北地方を中心に発生した局地豪雨である。この豪雨については、これまで数値モデルを用いた研究がなされているが、降水の発生時刻、持続時間、降水量などについて十分再現されておらず、降水システムの発生・発達については未解明な点が多い。本研究では初期値（2004年7月17日18UTC）と境界値を気象庁領域客観解析データから与え、水平解像度1km（格子数：水平510×500、鉛直68）のシミュレーションを行った。その結果、福井県沖から愛知県まで伸びる降水域の形状・分布や、3時間積算雨量100mmを越える降水域が福井市一帯に分布している点が観測と比較してよく再現された（図1）。

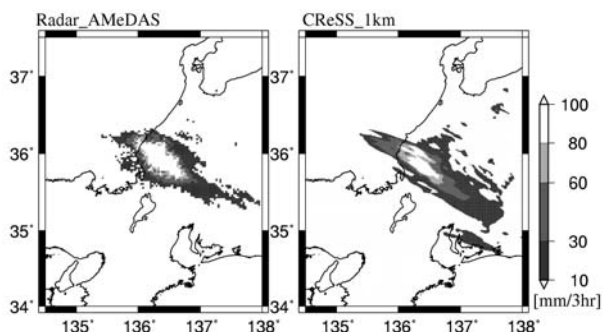


図1 (左)Radar-amedas、(右)CReSSによる17日2300～18日0100UTCの3時間積算雨量。

#### 3.2. 豪雪をもたらす日本海上の小低気圧

日本付近で冬型の気圧配置が強まると朝鮮半島の付け根から北陸地方にかけて、帯状収束雲と呼ばれる幅の広い雲が形成され、これに沿って直径50km程度の

メソ擾乱が発生することがある。本研究では2005年1月31日に日本海西部で発生したメソスケールの擾乱の事例について、擾乱の発生発達過程や3次元構造を調べた。その結果、高高度の領域、位相速度ともに衛星画像で観測されたメソ擾乱と整合的な値が再現された。

#### 3.3. 台風0712号

台風の発達メカニズムについては多くの研究がある。しかし、台風の急発達の要因やそのメカニズムについては未解明な点が多い。本研究では42時間で中心気圧が69hPa低下した台風0712号を対象に数値実験を行い、その急速な発達の再現と、台風の中心部の構造を調べた。その結果、眼の壁雲域で収束・上昇した空気は、上層で外側及び内側へと発散していた。内側へ吹き込んだ空気は台風の中心付近で収束・下降しており、断熱圧縮によって高度8km付近での昇温に寄与していると考えられる。中心付近の高度6kmから12kmでは空気が外側へ排出されており、気圧低下に寄与したと考えられる。

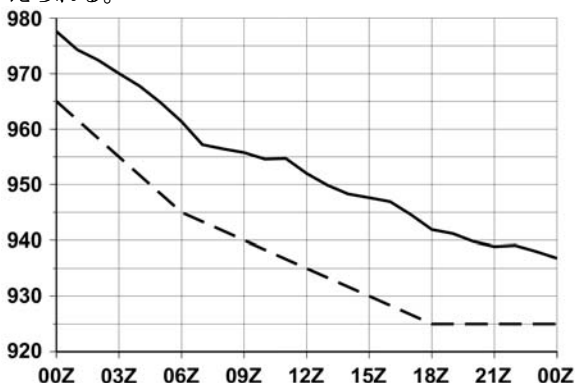


図2 2007年9月17日00UTCから24時間の台風0712号の中心気圧の時間変化(hPa)。実線がシミュレーション結果、破線がベストトラックの中心気圧。

### 4. 今後の計画

今後は、台風を中心にさらにシミュレーションを行う。実際に観測された台風だけでなく、温暖化実験でGCMが再現した台風について雲解像モデルを用いた実験を行う。また、顕著現象のひとつとして、「平成20年8月末豪雨」についても、再現実験を行う予定である。

### 5. 計算機資源の利用状況（2008年4月から10月まで）

実行ユーザ数：9 CPU時間 1ノード未満：405 hours, 1ノード：11,766 hours, 2ノード：19,811 hours, 計31,982 hours



**独立行政法人 国立環境研究所  
地球環境研究センター 交流係**

---

〒305-8506

茨城県つくば市小野川 16-2

電話 029-850-2347

FAX 029-858-2645

E-mail [cgersc@nies.go.jp](mailto:cgersc@nies.go.jp)

<http://www-cger.nies.go.jp/index-j.html>