平成１９年度
スーパーコンピュータ利用研究報告会

プログラム

要旨集

平成１９年１１月２０日（火）
１１：００　～　１７：３０
於　（独）国立環境研究所
地球温暖化研究棟 交流会議室

国立環境研究所

地球環境研究センター

表紙の画像

国立環境研究所のスーパーコンピュータ（SX-8R / 128M16）

■仕様■

CPU 数：128CPU（8CPU/ノード、計 16 ノード）　最大ベクトル演算性能：4TFLOPS

主記憶容量：64GB×8 ノード、128GB×8 ノード

平成 19 年度スーパーコンピュータ利用研究報告会プログラム

日時：平成 19 年 11 月 20 日（火）11:00～17:30
場所：独立行政法人 国立環境研究所
地球温暖化研究棟 交流会議室

11:00～11:05 **開会挨拶**
笹野 泰弘（国立環境研究所 地球環境研究センター長）

11:05～11:20 **スーパーコンピュータ利用研究概要および運用状況**
（地球環境研究センター 環境情報センター）

11:20～11:40 **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したモデルの検証**
課題代表者及び発表者：永島 達也（国立環境研究所 アジア自然共生研究グループ）

11:40～12:00 **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：宮嵜 武（電気通信大学大学院 電気通信学研究科）
発表者　　：李 英太（電気通信大学大学院 電気通信学研究科）

12:00～12:20 **流域環境管理に関する国際共同研究**
課題代表者及び発表者：村上 正吾（国立環境研究所 アジア自然共生研究グループ）

12:20～13:40 ***Lunch***

13:40～14:00 **積雲と大規模運動の相互作用の直接計算**
課題代表者及び発表者：中島 健介（九州大学大学院 理学研究院）

14:00～14:20 **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**
課題代表者及び発表者：小森 悟（京都大学大学院 工学研究科）

14:20～14:40 **NICAM による雲降水システムの研究**
課題代表者：佐藤 正樹（東京大学 気候システム研究センター）
発表者　　：柳瀬 亘（東京大学 気候システム研究センター）

14:40～15:00 **CO_2 の地球的及び地域的収支のインバースモデル化研究のための輸送モデルの応用**
課題代表者及び発表者：シャミル･マクシュートフ（国立環境研究所 地球環境研究センター）

15:00～15:20 ***Coffee Break***

15:20～15:40 **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**
課題代表者及び発表者：花崎 直太（国立環境研究所 社会環境システム研究領域）

15:40～16:00 **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**
課題代表者及び発表者：小倉 知夫（国立環境研究所 地球環境研究センター）

16:00～16:20 **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**
課題代表者及び発表者：林 祥介（神戸大学大学院 理学研究科）

16:20～16:40 **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**
課題代表者：中島 映至（東京大学 気候システム研究センター）
発表者　　：向井 真木子（東京大学 気候システム研究センター）

16:40～17:00　**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**
課題代表者及び発表者：柴田 清孝（気象研究所 環境・応用気象研究部）

17:00～17:25　**総合討論**

17:25～17:30　**閉会挨拶**
野尻 幸宏（国立環境研究所　地球環境研究センター副センター長）

＊ なお、18:00 より所内にて懇親会（会費制）を開催します。

発 表 要 旨

目　次

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したモデルの検証 1
○永島達也[1]・野沢 徹[2]・秋吉英治[2]・山田由貴子[2]・塩竈秀夫[3]・竹村俊彦[4]・須藤健悟[5]・高橋正明[6]・比連崎路夫[6]・山下陽介[6]・周 立波[7]
([1] 国立環境研究所アジア自然共生研究グループ、[2] 国立環境研究所大気圏環境研究領域、[3]国立環境研究所地球環境研究センター、[4]九州大学応用力学研究所、[5]名古屋大学大学院環境学研究科、[6]東京大学気候システム研究センター、[7]中国科学院大気物理研究所)

地球流体中の秩序渦構造と 3 次元スカラー輸送現象 2
宮嵜 武・○李 英太
(電気通信大学大学院電気通信学研究科)

流域環境管理に関する国際共同研究 3
○村上正吾[1]・林 誠二[2]・東 博紀[1]・中嶋恵子[1]
([1] 国立環境研究所アジア自然共生研究グループ、[2] 国立環境研究所水土壌圏環境研究領域)

積雲と大規模運動の相互作用の直接計算 4
○中島健介[1]・小高正嗣[2]
([1]九州大学大学院理学研究院、[2]北海道大学大学院理学研究院)

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 5
○小森 悟・黒瀬良一・伊藤靖仁・今城貴徳・藤田彰利
(京都大学大学院工学研究科)

NICAM による雲降水システムの研究 6
佐藤正樹・○柳瀬 亘
(東京大学気候システム研究センター)

CO_2 の地球的及び地域的収支のインバースモデル化研究のための輸送モデルの応用（Application of the transport model for inverse modeling studies of the regional and global budgets of CO_2） 7
○Shamil Maksyutov[1]・Nikolay Kadygrov[1]・Vinu Valsala[1]・Anna Peregon[1]・白井知子[1]・古山祐治[1]・中塚由美子[1]・斎藤 誠[1]・今須良一[2]・丹羽洋介[2]
([1] 国立環境研究所地球環境研究センター、[2] 東京大学気候システム研究センター)

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 8
○花崎直太[1]・伊藤昭彦[2]・沖 大幹[3]・鼎信次郎[3]・山田朋人[3]・内海信幸[3]・山崎 大[3]
([1] 国立環境研究所社会環境システム研究領域、[2] 国立環境研究所地球環境研究センター、[3] 東京大学生産技術研究所)

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 9
○小倉知夫[1]・江守正多[1]・長谷川聡[1]・横畠徳太[1]・木本昌秀[2]・今田(金丸)由紀子[2]・野中(荒井)美紀[2]・近本喜光[2]・高薮 縁[2]・羽角博康[2]
([1] 国立環境研究所地球環境研究センター、[2] 東京大学気候システム研究センター)

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 10
○林 祥介[1]・石渡正樹[2]・森川靖大[2]・山田由貴子[3]・高橋芳幸[4]
([1] 神戸大学大学院理学研究科、[2] 北海道大学大学院理学院、[3] 国立環境研究所大気圏環境研究領域、[4] 神戸大学大学院理学研究科)

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 11
中島映至・Nick Schutgens・○向井真木子・五藤大輔
(東京大学気候システム研究センター)

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 12
○柴田清孝
(気象研究所環境・応用気象研究部)

(○印は発表者)

報告会欠席者の研究概要

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 13
花崎秀史
(京都大学大学院工学研究科)

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したモデルの検証

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　永島達也
参加研究者：国立環境研究所大気圏環境研究領域　野沢 徹・秋吉英治・山田由貴子
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
東京大学気候システム研究センター　高橋正明・比連崎路夫・山下陽介
中国科学院大気物理研究所　周 立波
実施年度：平成 19 年度～平成 21 年度

1. 研究目的

本課題では、次期の IPCC レポートや WMO オゾンアセスメント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し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

気候モデル（MIROC）をベースに開発中の地球システム統合モデルに成層圏化学過程を導入し、また、対流圏化学・エアロゾル過程の高度化を行う。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。また、利用可能な計算機資源との兼ね合いを考慮して、高度化された統合モデルの化学・エアロゾル系の構成やモデル分解能の検討等モデル構成の最適化を行う。

3. 進捗状況

今年度は、統合モデル開発として、成層圏化学気候モデルを参考にして、地球システム統合モデルへの成層圏化学過程の導入を行っている。本予稿執筆時点では、成層圏領域を含めるべく高度領域の拡張とそれに伴う力学パラメタの調整及び塩素系反応の拡張が終了している。また、対流圏エアロゾル過程の高度化に関して検討し、間接効果導入方法の高度化や粒子サイズによる区分け数の増加など、これまでに簡略化して取り扱われていた部分の詳細化を決め、導入に向けた計算コードの調査とテスト実験に着手した。

また、既存モデルを用いた気候研究も継続して行った。今年度は、（1）成層圏化学気候モデルを用いた、成層圏オゾンの長期変動に及ぼす外的な気候強制要因の影響分析（特に太陽 11 年周期の影響に関して）、(2) 気候モデルに外的な気候強制要因の長期変化を同時に与えて気候を再現する場合と別々に与えて個々の強制要因による寄与を分離して評価する手法に関して、強制要因の可算性に関する評価を行うための実験、（3）CHASER を用いた現在の対流圏大気化学場の再現実験及びタグ付きとレーサー輸送モデルを用いた対流圏オゾンの発生源別寄与率評価解析、などを行った。また、来年度以降に実行する予定の過去・現在の気候再現実験を駆動するために必要となる、各種境界条件の再整備を進めている。特にエアロゾルやオゾンの前駆物質に関して排出量算定の基礎となるデータの収集や算定法の検討を行った。

4. 今後の計画

成層圏化学過程の導入を今年度中には完成させ、来年度以降引き続き、対流圏エアロゾル過程の高度化、対流圏化学過程の高度化手法の検討と統合モデルへの実装を着実に進めていく。一方、過去・将来の気候再現実験を実行するための境界条件の整備を平行して進める。高度化された統合モデルを用いて、先ずは過去数十年程度の再現実験を大気モデルとして行い、再現性の検証と各種パラメタの調整を行う。その後、海洋モデルと結合させて、100 年規模の気候再現実験を行いつつ、化学系やモデル分解能などのモデル構成の検討を行う。

5. 計算機資源の利用状況（2007 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：6　CPU 時間：159,847 hours
ベクトル化率（平均）：98%

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

研究課題代表者：電気通信大学大学院電気通信学研究科　宮嵜 武
参加研究者：電気通信大学大学院電気通信学研究科　李 英太
実施年度：平成 19 年度～平成 19 年度

1. 研究目的

大気や海洋等の地球流体現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動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見なすことができ、鉛直高さの異なる層毎の二次元運動の相互作用を考慮した準地衡風近似で記述される。前年度までに秩序渦構造に着目した乱流渦モデル（Li *et al*., 2006）を完成した。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・波動モデルを構築する。

2. 研究計画

最適バランス法によるコードを開発し、SX への最適化を行う。最適バランス近似のもとでの渦・波動相互作用を理論的に調べ、乱流渦モデルへの取り込み方を健闘する。

3. 進捗状況

最適バランス法について、計算コードの動作確認のため、基本サブルーチン（FFT など）の調整を行い、国立環境研究所のスーパーコンピュータへの移植を行っている。今後は引き続き移植作業を行うとともに、高解像計算の為の並列化を準備中である。

一方、準地衡風乱流渦モデルが完成したので、それを用いて多自由度系での模擬乱流数値シミュレーションを行い、統計的性質を調べる。まず、自由度の一番少ない準地衡風点渦モデルを用いて大規模の数値計算を行い、統計的性質を調べた。無限領域中の立方体（2.4323）領域に、点渦（渦数 N=2000、循環 $\hat{\Gamma}_i = 1, i = 1,2,...,N$）をランダムに一様分布させ、その平衡状態を求めた。保存量はエネルギー（E）、渦重心、角運動量であるが、角運動量を用いて長さのスケールは規格化した。また、ミ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した。平衡渦分布（Miyazaki *et al*., 2006）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 = 10～20 で平衡状態となるため、結果は t = 20 以降を時間平均している。図 1 のように、渦度分布に‘end-effect’が現れ、最大エントロピー理論による理論解は数値計算結果とよく一致する。

また、準地衡風楕円体渦周辺のカオス混合について調べた。傾斜回転楕円体渦からアスペクト比をわずかに変化させて楕円体渦にした時、その周辺でのカオス混合を調べる手段としてポアンカレ断面図を用いる。図 2 で、z=0.5, 1.0 のポアンカレ断面図では、サドルポイント付近だけでなく、セパラトリックスに沿ってカオス領域が存在することがわかる。また、渦頭よりもはるかに上の層である z=1.5 の断面でもサドルポイントが存在し、混合が起きているのが確認できる。大きく傾斜した渦の場合には、ポテンシャル渦度が存在しない上層水平面内での流線トポロジーも複雑となり、それに対応してカオス混合が生じることは興味深い。

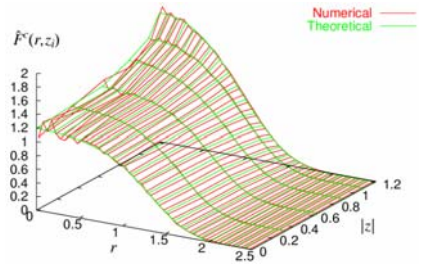

図 1　準地衡風点渦系での平衡渦度分布

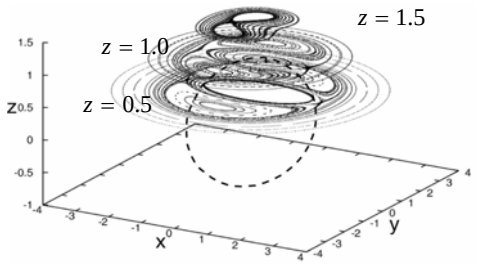

図 2　ポアンカレ断面図

4. 今後の計画

最適バランス法による数値計算準備は整いつつあるので、試行的な計算を実行する。また、渦・波動相互作用に関する理論的考察を進めるとともに、渦構造の安定性に関する検討を行う。最終目標として、エネルギー・運動量輸送の物理過程を正しく反映するサブグリッドスケールの乱流渦・波動モデルを構築する。

（参考文献）

Li,Y., Taira, H., Takahashi, N., Miyazaki, T. (2006) Refinements on the quasi-geostrophic ellipsoidal vortex model. Phys. Fluids, 076604.

Miyazaki, T., Li, Y., Taira, H., Hoshi, S., Takahashi, N. (2006) Statistics of Quasi-geostrophic Vortex Patches. IUTAM, Nagoya.

5. 計算機資源の利用状況（2007 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：0

研究課題名：流域環境管理に関する国際共同研究

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
参加研究者：国立環境研究所水土壌圏環境研究領域　林 誠二
国立環境研究所アジア自然共生研究グループ　東 博紀・中嶋恵子
実施年度：平成 8 年度～平成 22 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は気候変動に伴う水循環変動と水資源に及ぼす影響と、活発な経済活動に伴う水資源枯渇・水質汚染が挙げられている。こうした問題が顕著に現れているのが中国であり、黄河断流、長江大洪水、砂漠化進行等の水循環系の変動が経済活動に大きな影響を与えている。本研究では、地球規模環境問題の解決に当たって、足元の環境問題を解決する空間スケールとしての流域圏の持続性を高めるための生態系機能の疲弊しない最大効率を引き出す流域圏環境管理モデルの開発を目的とする。

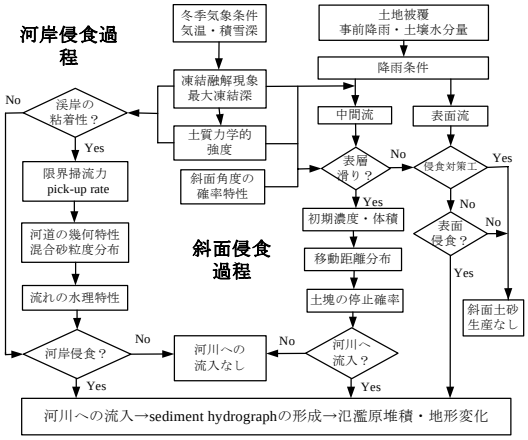

図 1　流域土砂動態モデルの概要

2.　研究計画

本年度は、東シナ海に流入する土砂の年間変動を推定するために、短期の降雨流出のみならず長期降雨流出による土砂の動態をモデル化する。特に中国内陸部では、冬季に土壌凍結が起こり、春先の融雪出水時に大量の土砂移動が起こる。従来型の水文・土砂動態モデルでは、土壌凍結から融雪期における過程が十分に機構モデル化されておらず､推定精度に問題があった。そのため、通年型の長期降雨流出・土砂動態モデルの開発を進めた。

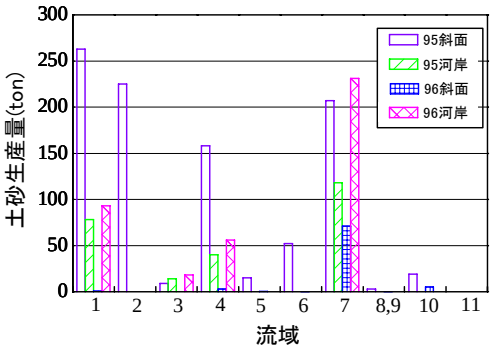

図 2　土砂発生場と生産量の推定

3.　進捗状況

長期にわたる流域土砂管理のためには、短期降雨に対する土砂生産モデルを基本的枠組みとして、これに表層の土壌水分量等の影響が取り込み可能な長期水文流出モデルと組み合わせることが必要である。さらに、対象流域によっては、冬期の凍結と春期の融解・融雪の影響を、水文事象と土砂移動機構に反映させたモデルが必要となる。こうした点に鑑み、本研究では、長期水文流出モデルが想定する流域斜面での表面侵食・表層滑りと河道での河岸侵食を主要な土砂生産の素過程と仮定し、年間単位での土砂動態を追える枠組みの土砂動態モデル（図1）の開発を進め、図2に示すように発生源と生産量に関する数値模擬が可能となった。

4.　今後の計画

これまで主として、降雨流出・土砂動態モデルの精緻化を進めてきたが、今後は長江流域等、陸域由来の環境負荷も動態モデルへの展開を図る予定であり、並行して、負荷の海洋での拡散・動態モデルのプログラム開発も進める予定である。

5.　計算機資源の利用状況（2007 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：1　CPU 時間：189 hours
ベクトル化率（平均）：75%

研究課題名：積雲と大規模運動の相互作用の直接計算

研究課題代表者：九州大学大学院理学研究院　中島健介
参加研究者：北海道大学大学院理学研究院　小高正嗣
実施年度：平成 16 年度～平成 19 年度

1. 研究目的

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、積雲パラメタリゼーションの改良についての情報を得ることを目指す。

2. 研究計画

上の目的のために相互比較を行う対象となる典型的な熱帯擾乱のサーベイを行い、これと並行して可読性の高い積雲対流モデルの開発を行う。

3. 進捗状況

将来の 3 次元並列計算を念頭におき、二種類の非静力学数値モデルの開発を継続して行った。モデル開発と並行して、雲と大規模運動の相互作用の研究の予備実験の一つとして“Diabatic Acceleration and Rescaling”法のテストも行った。

(1) モデル開発

開発したモデルは、一つは準圧縮方程式系に基づき圧力方程式は鉛直陰解法・水平陽解法で解くもので、3 次元化のテストを行った。もう一つは完全圧縮系に基づき圧力方程式は鉛直・水平とも陽解法で解く。いずれも Fortran90 の新しい文法を積極的に使用し、可読性を高めバグの発見を容易する工夫を行っている。しかしその副作用として、SX 計算機上での実行性能が悪いという問題があり、今後改良が必要である。

(2) 相互作用の枠組みのサーベイ

DARE とは、放射冷却や海面フラックスなどの非断熱項を強めることにより、大規模運動のスケールを縮小し、雲と大規模運動が相互作用する系の計算を容易にする、という枠組みである。昨年度の報告（Nakajima et al., 2007）したパラメタ実験において、実際、モデル内部で自然に出現する対流活動集中域の振る舞いは DARE の枠組みが示唆するものとかなり良く似ていた。すなわち、対流活動集中域の間隔は放射冷却の強度に反比例しており、また、集中域を有意な強度で発生させるためには、放射冷却に応じて海面フラックスをコントロールする海面風速を適切に変更する必要があった。今年度は、放射冷却と海面風速の組合わせをさらに広い範囲で変えて、対流集中域出現の存否を調べた。その結果、非常に強い放射冷却と非常に強い海面風速の組み合わせにおいて、非常に狭い間隔で対流活動集中域が出現することが確認された（図 1）。これは、DARE の枠組みにより大規模運動を相当程度縮小することが確かに可能であることを示唆するものであり、そのままでは極端に大きな計算資源を要求する 3 次元計算を、国立環境研究所地球環境研究センターの計算資源でも実施する可能性を開くものである。

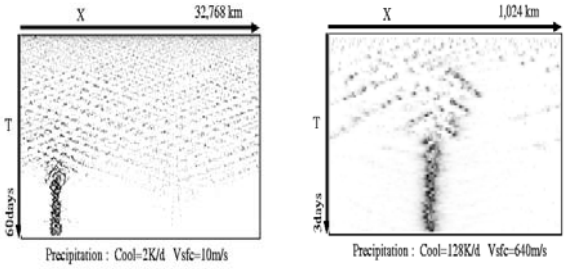

図 1　海面風速を固定した 2 次元モデルにおける降水分布の時間発展。横軸は空間方向、縦軸は下向に時間の進行を表す。左図：領域水平サイズ 32,768 km の通常実験、右図：領域水平サイズ 1,024 km の DARE 実験。

4. 今後の計画

数値モデルの開発を継続し、ある程度の計算速度が達成された段階で、積雲と大規模運動の相互作用システムの数値実験を行う予定である。また、同じモデルを、積雲のパラメタ化を導入した粗い解像度のモデルとしても使用可能な様に拡張し、雲を陽に表現した高解像度の計算との比較を行っていく予定である。これまでは雲と大規模運動の相互作用の計算はすべて 2 次元モデルで行ってきたが、今回テストした DARE 法も併用しつつ、3 次元計算も試みていく予定である。

5. 計算機資源の利用状況（2007 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：0

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

研究課題代表者：京都大学大学院工学研究科　小森 悟
参加研究者：京都大学大学院工学研究科　黒瀬良一・伊藤靖仁・今城貴徳・藤田彰利
実施年度：平成 19 年度～平成 19 年度

1. 研究目的

大気・海洋間での二酸化炭素等の物質輸送機構を明らかにし、その輸送量を正確に評価することを目的として、本研究グループでは、風波気液界面近傍における気流および液流の乱流構造および物質輸送機構に関する 3 次元直接数値シミュレーション（DNS）を行っている。さらに、これらの乱流構造および物質輸送に影響を及ぼす諸因子を明らかにすることも研究目的としている。

2. 研究計画

本研究では、数値シミュレーションと実験の両面から、風波気液界面近傍での乱流構造と気液界面を通しての物質輸送機構の解明およびそのモデル化を行っている。特に数値シミュレーションでは、実験では計測できない気液界面ごく近傍における乱流構造や物質輸送に着目し研究を進めている。しかし、うねりのような低周波数、高波長の波と風波が共存する場合については、気液界面そのものを直接数値計算するのは現在のスーパーコンピュータをもってしても不可能であるので、本発表のように気液界面を波状壁面で近似した波状壁面上の気流を数値計算することにより物質輸送機構を考察している。

3. 進捗状況

これまでに、高風速域に見られる巻き込み気泡や飛散液滴が気液界面を通しての物質輸送に及ぼす影響を明らかにするために、単一液滴・気泡内外での流れおよび界面を通しての物質輸送量を 3 次元直接数値計算（DNS）により明らかにした。さらに、この結果と実験データを併せることで、気泡及び液滴が風波気液界面を通しての物質輸送に及ぼす影響を明らかにした。昨年度からは海洋上に頻繁に見られるうねりに着目し、うねりの存在とその方向が界面近傍の乱流場および界面に作用する抗力に与える影響について検討している。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、図 1 に示すように、うねり（低周波数、高波長の波）のない純風波の場合(Case 1)、うねりが風波と同方向に存在している場合(Case 2)、およびうねりが風波に対して斜めに存在している場合(Case 3)の 3 ケースに対して DNS を適用した。図 2 に気流によって波状壁面に作用する抗力の計算結果を示す。図より、風波に加えてうねりが存在すると圧力抗力は増加、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。本研究グループの風波乱流水槽を用いた室内実験から、風波気液界面を通しての物質輸送速度がうねりにより抑制されるという結果が得られているが、本シミュレーションより、その原因が気液界面上に作用する摩擦抗力の減少に起因することが示唆された。またこれらの効果は、うねりが風波に対して斜めである場合には小さくなり、その摩擦抗力と圧力抗力の値はうねりのない純風波の場合と風波と同方向のうねりがある場合の間の値をとることがわかる。斜めのうねりについては海洋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であると考えられる。

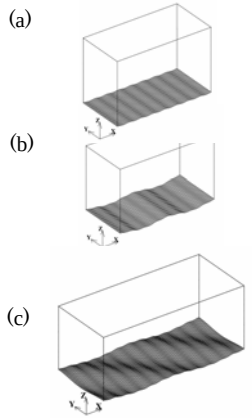

図 1　計算領域

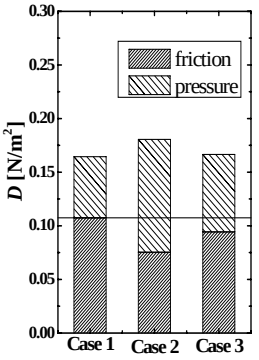

図 2　壁面に作用する抗力

4. 今後の計画

今後は、DNS ではなく LES 等を導入することにより、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数値シミュレーションを行い、風波気液界面近傍の乱流構造および物質輸送機構について詳細に調べる。さらに、これらの結果を用いて、より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（2007 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：2　CPU 時間：10,349 hours
ベクトル化率（平均）：99%

研究課題名：NICAM による雲降水システムの研究

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
参加研究者：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 19 年度～平成 19 年度

1. 研究目的

計算機技術の向上、および、我々のグループで開発された高解像度の全球非静力学モデル NICAM により、数十～千 km のメソスケール雲システムを解像する全球モデルを走らせることが可能となった。我々のグループではメソスケールの対流活動が活発な熱帯域に焦点を当て、熱帯低気圧（台風やハリケーンの総称；以下、熱低と略す）のようにマルチスケールのプロセスが関与する現象の解明に取り組んでいる。地球シミュレーターを用いては、数十日のシミュレーションを従来の全球モデルの十倍以上の解像度で行ない、その中で発生する熱低の分布や力学を気候学的に調べている。一方で、現実に発生する個々の熱低の構造や発達の再現性を検証するような事例解析も重要である。そこで、国立環境研究所で利用できるスーパーコンピュータを併用して、数日予報の積み重ねを通してのモデルの基本的性質の理解と改良を進めていく予定である。また全球モデルのメリットを活かして、広い範囲を移動する熱低のライフサイクルの研究も行なっていく。

2. 研究計画

国立環境研究所のスーパーコンピュータ（2node）を用いて行なう数日予報の解像度は、均一格子では 60～30 km である。さらに、対象領域に格子点を集めて局所的に解像度を 10 km 以下に高めることも可能である。この解像度では従来の粗い全球モデル（格子間隔 100～200 km）と比べて、熱低のエネルギーを生成している中心部 100 km 以内の内部構造がより良く表現でき、強度の再現性の向上も見込まれる。本研究では、

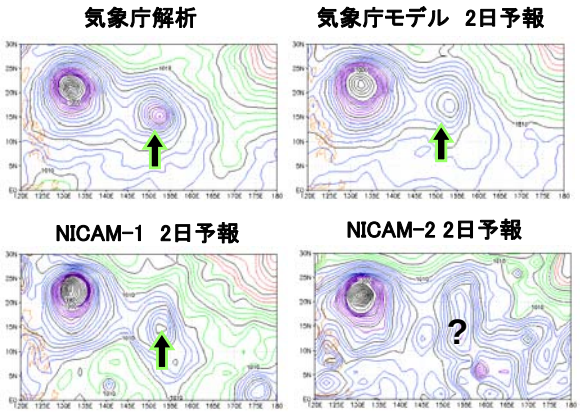

図 1　熱低予報の気圧分布。モデルのバージョンによっても再現性が異なるため、検証とモデル改良が重要。

(1) NICAM が熱低の構造・強度をどれだけ現実的に再現できているか、(2) 熱低の発生プロセスのシミュレーション、(3) 熱低のライフサイクルに伴う構造の変化、という 3 点に焦点を当てて事例解析を行なっていく。

3. 進捗状況

(1) モデル

全球高解像度モデル NICAM は既に雲微物理や乱流過程のスキームが組み込まれており、熱低や MJO の現実事例のシミュレーションにも利用されてきた。また数 km～数十 km の格子間隔に適した積雲スキームの導入も検討されており、これが実現すれば熱低の力学に重要な対流の組織化がより良く表現できると期待される。

(2) 構造の再現性に関する実験

熱帯低気圧のシミュレーションは、初期値に対する依存性が大きいため、再現性を検証する際にモデルの問題と初期値の問題の切り分けが難しいという難点がある。そこで、複数の研究機関が各モデルの再現性の比較を行なった COMPARE というプロジェクトに着目した。そこで対象となった 1990 年台風 19 号（FLO）の予報実験に必要なデータを気象庁から提供してもらい準備を進めている。

(3) 発生プロセスに関する実験

気候学的な発生分布の再現性を議論する際に、そのモデルが現実の事例の発生プロセスをどれだけ良く再現できているかを検証することは重要である。一方で、微小な擾乱から成長する熱低の発生過程を再現することは非常に困難である。そこで、気象庁のデータベースから比較的に発生が再現しやすい事例を調べ、現在シミュレーションを行っている。（図 1）

4. 今後の計画

熱低の構造や発生過程の再現性が検証できた後で、全球モデルのメリットを活かしたライフサイクルの解析へと進む。

5. 計算機資源の利用状況（2007 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：2　CPU 時間：1,804 hours
ベクトル化率（平均）：73%

研究課題名：CO_2 の地球的及び地域的収支のインバースモデル化研究のための輸送モデルの応用（Application of the transport model for inverse modeling studies of the regional and global budgets of CO_2）

研究課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター　Shamil Maksyutov
参加研究者：国立環境研究所地球環境研究センター　Nikolay Kadygrov・Vinu Valsala・Anna Peregon・白井知子・古山祐治・中塚由美子・斎藤 誠
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 16 年度～平成 19 年度

1. Objective

The purpose of this research is to estimate the global and regional distributions of CO_2 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_2 transport is used for the analysis of the global and regional carbon budget. Our current research focuses on the use of the CO_2 data of the whole troposphere as observed by ongoing aircraft measurements and future satellite missions such as GOSAT (Greenhouse gases Observing SATellite). Observational data are used with an inverse model to produce optimal distribution of surface CO_2 fluxes that fits the atmospheric CO_2 data. The inverse model is also used for evaluation of the utility of the future observations.

3. Progress

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_2 seasonal cycle to model parameters, and then finding the set of parameters that provides best fit to the observed CO_2 vertical profile seasonality (Fig. 1). 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_2 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. 2.

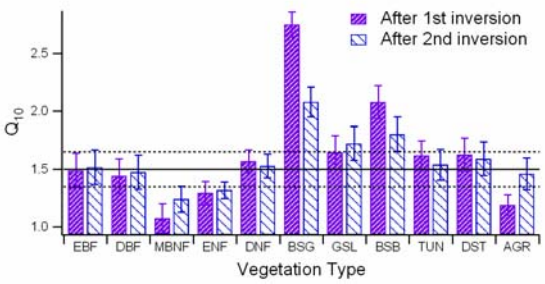

Fig. 1 Optimal ecosystem model parameters (Q10 for each vegetation type and after 1st and 2nd iterations) that provide best fit to observed seasonal cycle of CO_2 concentration.

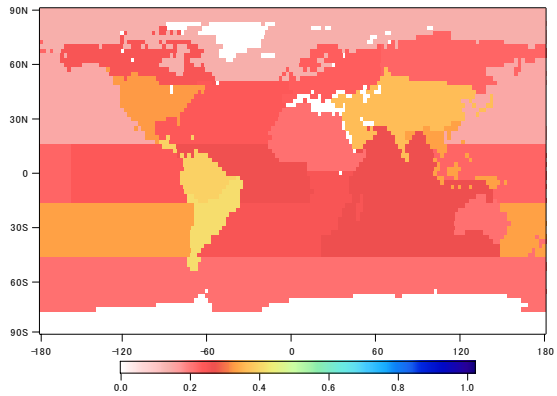

Fig. 2 CO_2 flux uncertainty map (GtC/year/region) after adding satellite observations.

4. Future plan

Simulation of the CO_2 variation observed on JAL aircraft over Narita will be conducted at high resolution. The evaluation of the flux uncertainty with GOSAT CO_2 data will be improved. The data of the airborne observations of CO_2 vertical profiles, along with a global inverse model, will be used for the estimation of the optimal set of parameters for CASA terrestrial biosphere model.

5. 計算機資源の利用状況（2007 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：3　CPU 時間：854 hours
ベクトル化率（平均）：95%

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

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
参加研究者：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・内海信幸・山崎 大
実施年度：平成 19 年度～平成 21 年度

1. 研究目的

全球気候モデル（Global Climate Model、以下 GCM）は地球温暖化による気候変化を予測するために不可欠なツールである。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 MIROC は大気・海洋・陸面モデルからなる GCM である。MIROC は IPCC 第 4 次評価報告書に温暖化実験結果（気候シナリオ）を提出した GCM の一つであり、日本および世界の学術研究や政策立案に多大な貢献をしてきた。近年 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）陸面過程（熱収支と水収支）、2）生態系変動および炭素循環のプロセスに着目し、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）、MIROC-SimCYCLE 結合モデルの開発（課題 2）の 2 つについて研究を行う。初年度は課題毎にモデル開発とシミュレーションを行う。

3. 進捗状況

(1) MIROC への灌漑の導入が大気過程に及ぼす影響

課題 1 における一つの目標として、灌漑や貯水池操作などの人間活動を含む地球水循環がシミュレートできる全球統合水資源モデル（図 1）と MIROC の結合がある。このとき、人間活動の中で最も効果が大きいと考えられる、灌漑が大気過程に及ぼす影響について精査している。灌漑の方法を変えたり、空間解像度を変えたりしながら、灌漑が大気過程のモデルシミュレーションにどのような変化をもたらすか、精査している。人間活動が地球システムモデルに組み込まれたことはこれまでにほとんどなく、ここで得られる知見は今後の MIROC の開発において、貴重な資料となるだろう。

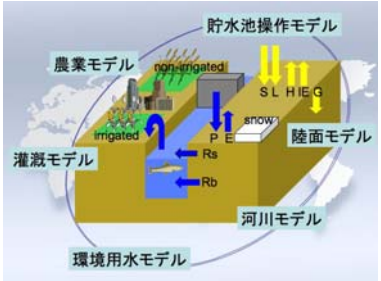

図 1　全球統合水資源モデル

(2) MATSIRO の改良に必要な河川網データ整備

MIROC の大気モデルではスペクトル法が用いられているため、陸面過程モデルの計算格子は緯度経度が非等間隔である。しかし、信頼性の高いデータの入手可能性から、河川網データには緯度経度が等間隔のデータが使われてきた。このため、陸面・河川間のフラックスのやり取りのたびに解像度変換の必要があった。MIROC の改良にあたって大気・陸面・河川間のフラックスのやり取りが飛躍的に増えるため、陸面過程モデルと同じ座標系を持つ全球河川網データの構築を行った。Java を利用した支援ツールを開発することにより、高精度の河道網データを作ることに成功した。

(3) MIROC-SimCYCLE 結合モデルの開発

課題 2 では、これまで主に PC サーバで開発されてきた SimCYCLE をスパコンに対応させる作業を行っている。今年度前半は情報管理室に技術支援を申請してコードの並列化に取り掛かった。

4. 今後の計画

課題 1 については、全球統合水資源モデルと MIROC の結合と MATSIRO の諸過程の改良を並行して進め、結合モデルのシミュレーションを行っていく。課題 2 については、最新版 MIROC と改良版 SimCYCLE を結合する作業を進める。その際、旧コードの改良と最適化、最新モデルのパーツ移植の作業も並行して行う。

5. 計算機資源の利用状況（2007 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：1　CPU 時間：193 hours
ベクトル化率（平均）：98%

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

研究課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター　小倉知夫
参加研究者：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・横畠徳太
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・高薮 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報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、まずアンサンブル予測実験の準備として初期摂動の作成と解析に着手する。また、温暖化に伴う降水変化（極端現象を含む）のメカニズムについて理解を深めるために水惑星実験を行う。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氷のパラメタリゼーションの改良を行う。また、モデルの気候感度に観測データから制約を加えるために火山噴火応答の再現実験の準備を進める。

3.　進捗状況

今年度はアンサンブル予測実験の準備として、まず初期摂動を MIROC で作成できるようシステムの構築を行った。現在はこのシステムを用いてエルニーニョに伴う初期摂動を作成し、そのアンサンブル予測への有用性を検討している。

また、気候変動時の降水変化に関する理解を深めるために、MIROC の大気部分を用いた水惑星実験を行った。即ち、地球温暖化の影響を海面水温上昇と大気中 CO_2 濃度増加の寄与に分けて評価することを狙い、それぞれに摂動を加えた数値実験を行い、解析を開始した。

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、新しい雲氷パラメタリゼーションを MIROC に試験的に導入した。このパラメタリゼーションは Wilson and Ballard (1999)に基づく微物理スキームで、雲氷量を従来の気温による経験的診断に頼らず雲微物理過程に基づいて計算することが可能である。気候感度が雲水の液相/固相の比率という不確実なパラメータに依存しない点が特長として挙げられる。導入の結果、雲水の液相/固相の比率が気温に対して一意に決定されず微物理過程によりばらつく様子が再現できるようになった（図 1）。

さらに、火山噴火応答実験の準備として、現在の気候をモデルで適切に再現できるようモデルの調整を開始した。特に海洋混合層に注目し、海洋熱吸収過程をより現実的に表現できるように検討を進めている。

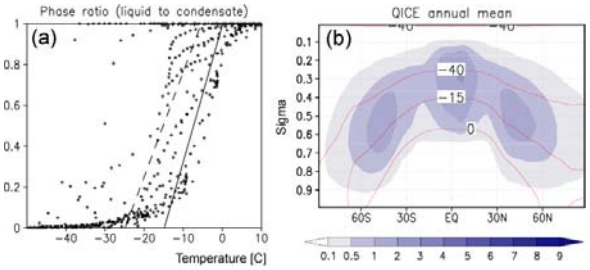

図 1　(a) 雲水（液相+固相）の中で液相の占める比率。丸印が新しい雲氷スキームの出力、直線（低感度バージョン）と破線（高感度バージョン）が従来の大規模凝結スキームの設定。**(b) 新しい雲氷スキームで求めた雲氷量の年、経度平均断面図。**単位は 1.0×10^{-5} [kg/kg]。赤線は気温[℃]。

4.　今後の計画

今年度前半に構築した初期摂動作成システムを用いて、エルニーニョのアンサンブル予測実験に着手する。また、様々な条件の水惑星実験を引き続き実行することで降水変化のメカニズムの理解を図る。雲氷予測スキームは今後、雲氷粒径のばらつきの効果を取り入れることで、その微物理過程の高度化を図る。火山噴火応答実験は、計算コストを抑えつつ現実的な結果が得られるよう、MIROC の海洋混合層過程に改良を加える。

5.　計算機資源の利用状況（2007 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：6　CPU 時間：31,597 hours
ベクトル化率（平均）：90%

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

研究課題代表者：神戸大学大学院理学研究科　林 祥介
参加研究者：北海道大学大学院理学院　石渡正樹・森川靖大
国立環境研究所大気圏環境研究領域　山田由貴子
神戸大学大学院理学研究科　高橋芳幸
実施年度：平成 19 年度～平成 19 年度

1. 研究目的

本研究の目的は、様々な仮想的条件の下で階層的な複雑度をもつ大気大循環モデル(GCM)による数値実験を実行することにより、大循環に内在する力学的構造を抽出理解し、GCM に表現される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モデル(地球型惑星大気大循環モデル、DCPAM Dennou-Club Planetary Atmosphere Model)の設計と実装を進めることにある。

2. 研究計画

昨年に引き続き、GCM に表現される熱帯降水パターンの多様性をターゲットに、これを考察する仮想的な条件として東西一様南北赤道対称の固定海面水温分布を与えた水惑星条件を設定し、wave-CISK 理論からの接続が比較的容易だと期待される簡略な物理過程（Kuo 積雲スキームと固定した放射冷却分布と固定した鉛直乱流輸送係数）を導入して、水蒸気鉛直輸送の降水構造表現への影響を調べる。モデルは、地球流体電脳倶楽部版 AGCM5 を用いる。主な着目点は赤道上に存在するコヒーレントに東進する降水域の発生数(1ないし 2 程度の強い降水領域が現れるか、より多くの領域が赤道円周上均等に現れるか）である。

3. 進捗状況

鉛直拡散係数は既存実験結果を参照して人為的に作成固定し、水蒸気の鉛直拡散係数を 0.1～50 倍に変更して実験を行った。地表面からのフラックスはバルク係数ならびに地表風速固定で計算している。

図 1 は水蒸気の鉛直拡散係数を 0.1 倍ならびに 10 倍にした場合の結果である。拡散係数を大きくすると、水蒸気の西進移流シグナルが弱まり、wave-CISK 的東進構造が顕著になる傾向にあるが、コヒーレントに東進する降水域の発生数には大きな差があるようには見られない。

4. 今後の計画

降水領域発現頻度をコントロールする要因を抽出するには鉛直混合過程のフィードバックをより強めた実験をおこなう必要がありそうだ。本研究で得られる降水構造に関する知見は国際水惑星比較実験（APE）に提供される。wave-CISK 力学や水蒸気輸送の観点からの降水構造の多様性に関する考察結果は、各気象研究機関の大気大循環モデルにおける熱帯降水構造の振る舞いを比較検討する際にも活用できるだろう。

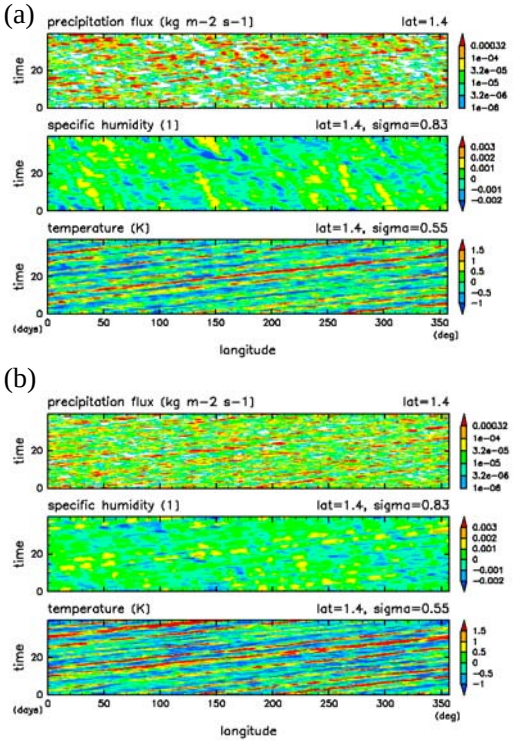

図 1. 拡散係数を変化させた実験の結果。赤道における(上）降水（kg m^{-2} s^{-1}）、(中）σ＝0.83 での比湿（kg kg^{-1})、(下）σ=0.55 での温度（K）の時間変化。(a）水蒸気鉛直拡散係数 0.1 倍、(b)10 倍。

5. 計算機資源の利用状況（2007 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：4　CPU 時間：1,169 hours
ベクトル化率（平均）：96%

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

研究課題代表者：東京大学気候システム研究センター　中島映至
参加研究者：東京大学気候システム研究センター　Nick Schutgens・向井真木子・五藤大輔
実施年度：平成 19 年度～平成 19 年度

1. 研究目的

2008 年に環境省が打ち上げる GOSAT ミッションではフーリエ分光放射系（FTS）を利用して二酸化炭素の気柱量を求める。しかし、これらの衛星受信分光放射輝度のデータには、二酸化炭素以外の様々な影響が同時に含まれており、その除去が二酸化炭素量の導出精度の向上にとって不可欠である。本研究では、これらの影響のうち、エアロゾルと雲の影響除去に関する研究を行うことを目的とする。

2. 研究計画

GOSAT 衛星に同時搭載される雲・エアロゾルイメージャー（CAI）によって行われる衛星観測を支援するために、SPRINTARS エアロゾルモデルを使用しエアロゾルパラメータを運用システムに供給するシステムの構築を行う。

3. 進捗状況

SPRINTARS エアロゾルモデルの再現性の確認や、エアロゾルの気候への影響を調べるためのシミュレーションを行った。全球三次元エアロゾル輸送・放射モデル SPRINTARS は、東京大学気候システム研究センター、国立環境研究所、地球環境フロンティア研究センターが開発を行っている大気大循環モデル（AGCM）を基盤としており、扱うエアロゾルは硫酸エアロゾル、炭素性エアロゾル、土壌エアロゾル、海塩エアロゾルの 4 種類である。モデルではこのようなエアロゾルの発生、移流、拡散、湿生沈着、乾性沈着、重力落下の過程を計算している。また、エアロゾル直接効果（エアロゾルによる太陽・赤外放射の散乱・吸収）およびエアロゾル間接効果（エアロゾルによる雲粒生成機能）も計算に含まれている。

エアロゾルの影響を調べるために、燃料燃焼等の人為起源エアロゾルの増加が顕著な東アジア域におけるエアロゾルの増加とその影響について注目した。図 1 は、現在（2000 年）と産業革命以前（1850 年）のエアロゾル排出量データを用いた数値実験から求めた中国の地域ごとのエアロゾル光学的厚さである。産業革命以前の実験では、現在のデータを用いた場合にはエアロゾル光学的厚さが大きな値を示した地域でも、低い値となった。この実験結果は、燃料燃焼起源のエアロゾルが産業革命以降増加している事を明確に示している。この増加傾向が、特に顕著な地域では観測データが示す日射量の大きな減少がモデルにおいても再現され、エアロゾルの直接効果が強く寄与していることがわかった。またモデルシミュレーションではエアロゾル増加に伴って雲の光学的厚さにも増加がみられた。さらにエアロゾルの影響は放射収支の変化を介して雲量や降水量にまで及ぶことが示唆された。

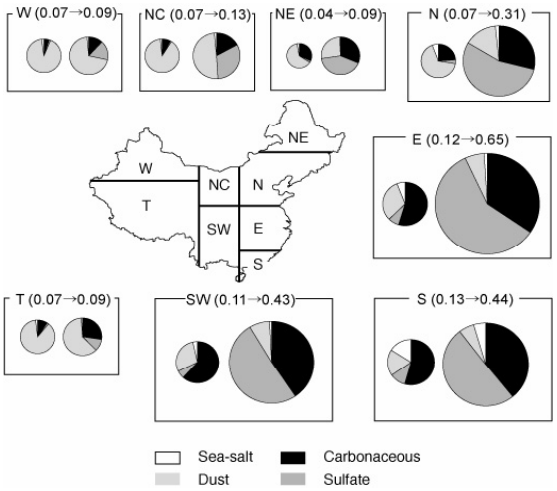

図 1　中国 8 地域における年平均エアロゾル光学的厚さ（550 nm）。左の円グラフは産業革命前、右の円グラフは現在のエアロゾル排出量データを使用したモデルシミュレーション結果。

4. 今後の計画

エアロゾルモデルによって得られるシミュレーションデータをリモートセンシングデータに結合することで、CIA データ解析アルゴリズムの初期値に役立てたり、衛星解析ができない場合の補完データとして利用するシステムの開発を行う。

5. 計算機資源の利用状況（2007 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：3　CPU 時間：16,611 hours
ベクトル化率（平均）：98%

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

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 19 年度～平成 19 年度

1.　研究目的

モントリオール議定書とその改正によるフロン等のオゾン層破壊物質は国際的に規制されフロン類の生産は減少したが、大気中でのフロン類の長寿命のため、今後その濃度がどのように推移し、いつごろオゾンホールが無くなり、1980 年以前の値に回復するかは議論の余地があるところである。さらに、人間活動に伴う温室効果気体の増加により、対流圏の気候は変動し、成層圏は対流圏の気候変動と自身の寒冷化の 2 つの影響を被ると予想され、これらの要因はオゾン層の回復時期の予測にも影響を与えるものである。本研究は化学-気候モデル（CCM）を用いて、可能な限り現実的なフォーシングを与えてオゾン層破壊の長期変動要因の解析といつ頃オゾン層が回復するかの将来予測を行うことを目的とする。

2.　研究計画

温室効果気体、フロン類、海面水温の強制力を与えて CCM を 1950 年代から 2100 年まで長期積分する。過去の強制力は観測値、将来の値は温室効果気体は A1B シナリオ、フロン類は Ab シナリオを使い、海面水温は気象研究所の大気海洋結合モデル結果を用いる。

3.　進捗状況

次期の WMO による「オゾン層破壊の科学的アセスメント」のために SPARC の下の国際プロジェクト化学-気候モデル検証活動（CCM Validation）では 1960 年から 2100 年までの積分を REF2 として位置づけている。現在、積分条件の詳細の最終決定がなされていないので、ここでは、2007 年の WMO「オゾン層破壊の科学的アセスメント」に対応した REF2 の結果を示す。

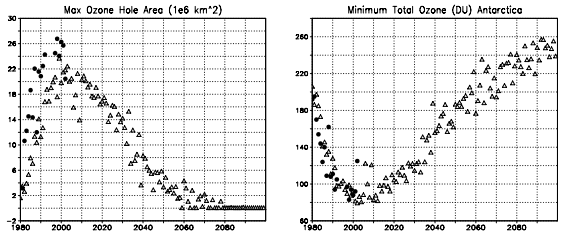

図 1　南極オゾンホール面積（左、単位 10^6 km^2）とオゾン全量（右、単位 DU）の最低値の 1980-2099 年の推移。モデルは三角形（△）、衛星観測（TOMS）は黒丸（●）で示す。

（1）モデル

気象研究所の成層圏化学-気候モデル（MRI-CCM、Shibata et al., 2005）の T42L68 版（水平解像度は T42［緯経度約 2.8 度、約 300 km］、鉛直解像度は 68 層［地表～80 km{0.01 hPa}］を使った。QBO を再現しているのが特色の 1 つである。化学過程は成層圏の主な化学種を含み、7 種のファミリーを含む 36 の長寿命種、15 の短寿命種、80 の気相反応、35 の光化学反応を扱っている。タイプ I、II の 2 種類の極成層圏雲（PSC）と硫酸エーロゾルも含み、PSC 上で 6 種、硫酸エーロゾル上で 3 種の不均一反応を扱っている。

（2）南極のオゾン

南極のオゾンホール面積（図 1 左）では観測より系統的に小さい値であるが 1980 年から 2000 年付近にかけての増加を良く再現している。一方、オゾンの季節最低値（図 1 右）の推移は観測値とほとんど一致している。オゾンホール面積は 2000 年付近で最大値に達した後、年々変動による増減を繰り返しながら、全体的にはほぼ一様に減少し、2070 年頃に平均的にゼロになっており、2080 年以降は完全にゼロである。

オゾンの最低値は、2000 年付近で極値（最小値）をとり、その後は増加することは面積と同じ（ただし極性は逆）であるが、オゾンホール面積がほぼゼロになる 2070 年を越しても増え続け、2099 年でも傾向は同じである。

4.　今後の計画

アンサンブル数は 3 程度を予定しており、解析方法は Multiple Linear Regression を用いて、QBO の影響、ENSO、ハロゲンの影響を調べる予定である。

5.　計算機資源の利用状況（2007 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：0

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

研究課題代表者：京都大学大学院工学研究科　花崎秀史
実施年度：平成 19 年度～平成 19 年度

1. 研究目的

海洋モデルで用いる乱流モデルにおいては、通常、高レイノルズ数極限を仮定し、熱と塩分に等しい乱流（渦）拡散係数（K_{Heat}、K_{Salt}）を用いてきた。

しかし、実際には、熱と塩分の分子拡散係数には100倍の差があるため、渦拡散係数が分子拡散の違いの影響を受ける可能性がある。実際、近年の海洋観測及び室内実験においても、$K_{Salt} < K_{Heat}$ を示すデータが得られている。本研究では、こうした渦拡散係数の差異の発生原因を数値シミュレーションにより解明し、熱塩拡散系における乱流モデルの改良を行う。

2. 研究計画

海洋のように分子拡散係数の異なる 2 種類の物質によって密度成層した流体中の乱流拡散を調べる。特に、物質濃度撹乱の最小の空間スケールである Batchelor スケールに至る物質拡散の構造や、それに対応する Ozmidov スケール（海洋観測で用いられる特徴的長さ）や、浮力レイノルズ数 Re_b=ε/νN^2（N は浮力振動数、ε は運動エネルギーの散逸率）の挙動を解析する。そして、それらが実用上重要なマクロな量である渦拡散係数 K_{Heat} 及び K_{Salt} （鉛直熱塩フラックス）に与える影響を解明する。

以上により、渦拡散の支配パラメータを明らかにし、海洋乱流モデルの改良ポイントを明らかにする。

3. 進捗状況

スペクトル法を用いた 3 次元数値シミュレーションを行っている。渦拡散係数は、浮力レイノルズ数 Re_b に大きく依存することが知られているが、Re_b は、その定義からも明らかなように、海洋乱流に特有の長さスケールである Ozmidov スケール: $L_O = \left(\varepsilon / N^3\right)^{1/2}$ と密接な関係にある。このため、まず、Ozmidov スケールの時間変化を調べた。

Ozmidov スケールは、浮力効果と慣性効果がつりあう長さスケールであり、これより大きいスケールでは浮力項が慣性項よりも大きくなり、浮力効果が卓越する。したがって、L_O が乱流の乱れの代表的な長さスケールに比べて小さくなると、渦拡散係数は、浮力と同時に、物質の分子拡散の影響も強く受けることになる。

図 1 は、L_O などの乱れを特徴づける各種のスケール、すなわち、Ozmidov スケール、速度場の最小スケールである Kolmogorov スケール L_K、及び、物質濃度撹乱の最小スケールである Batchelor スケール L_B の時間変化を示したものである。

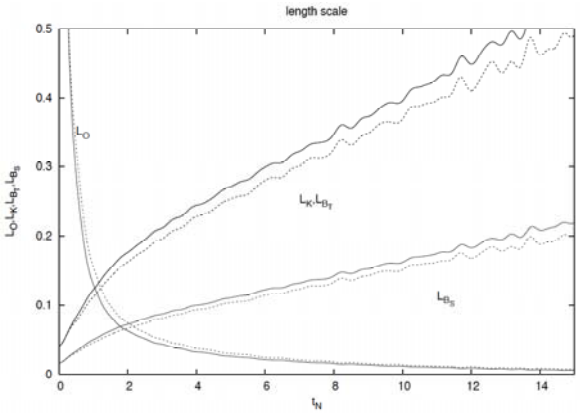

図 1　二重拡散乱流中の長さスケールの時間変化。 L_BT と LB_S は、異なる分子拡散係数の物質の場合の結果を示す(物質 T がプラントル数 Pr=1、物質 S が Pr=6 の場合)。

これより、Ozmidov スケールは時間と共に減少し、短時間のうちに Batchelor スケールよりも小さくなり、成層の効果が早期に全スケールに及ぶことがわかる。このことは同時に、分子拡散の差異が早期に重要になることを示している。Ozmidov スケールの減少は浮力レイノルズ数の減少も同時に意味しており、室内実験において浮力レイノルズ数の減少が $K_{Salt} < K_{Heat}$ に対応していることと考え合わせると、分子拡散の差異と $K_{Salt} < K_{Heat}$ との対応が強く示唆される。

4. 今後の計画

今後、Ozmidov スケール、浮力レイノルズ数などの観測で得られる物理量と渦拡散係数の関係を明らかにし、海洋モデルにおける乱流モデルの改良の方向を明らかにする。

5. 計算機資源の利用状況（2007 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：1　CPU 時間：692 hours
ベクトル化率（平均）：86%

連絡先：

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

TEL:029-850-2347　FAX:029-858-2645

E-mail: cgersc@nies.go.jp

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