

# 平成23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23年11月25日（金）

13:00 ~ 17:10

於 国立環境研究所

地球温暖化研究棟 交流会議室



独立行政法人国立環境研究所

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 23 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 23 年 11 月 25 日（金）13:00～17:10

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

- 13:00～13:05 **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）
- 13:05～13:20 **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／環境情報部）
- 13:20～13:35 **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**  
課題代表者及び報告者：花崎 直太（国立環境研究所 地球環境研究センター）
- 13:35～13:50 **長期気候変動予測と近未来気候変動予測に関わる不確実性の理解と制約**  
課題代表者及び報告者：塩竈 秀夫（国立環境研究所 地球環境研究センター）
- 13:50～14:05 **広域大気汚染物質の発生源別寄与率解析と気候影響評価**  
課題代表者及び報告者：永島 達也（国立環境研究所 地域環境研究センター）
- 14:05～14:20 **成層圏オゾン層の長期変動とその成層圏-対流圏気候への影響に関する研究**  
課題代表者及び報告者：秋吉 英治（国立環境研究所 地球環境研究センター）
- 14:20～14:35 **相互比較を通じた大気場およびオゾン関連化学種の同化実験**  
課題代表者及び報告者：柴田 清孝（気象研究所 環境・応用気象研究部）
- 14:35～14:50 **大気海洋間の気液界面を通しての運動量とスカラの輸送に及ぼす風波と降雨の影響**  
課題代表者：小森 悟（京都大学大学院 工学研究科）  
報告者：黒瀬 良一（京都大学大学院 工学研究科）
- 14:50～15:10 **Coffee Break**
- 15:10～15:25 **GOSAT データ処理運用システムの定常運用および維持改訂**  
課題代表者：渡辺 宏（国立環境研究所 地球環境研究センター）  
報告者：渡辺 宏または幸 昭（国立環境研究所 地球環境研究センター）
- 15:25～15:40 **大気輸送モデルとインパ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**  
課題代表者及び報告者：Shamil Maksyutov（国立環境研究所 地球環境研究センター）
- 15:40～15:55 **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 大気海洋研究所）  
報告者：五藤 大輔（東京大学 大気海洋研究所）
- 15:55～16:10 **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 大気海洋研究所）  
報告者：端野 典平（東京大学 大気海洋研究所）
- 16:10～16:25 **非静力対流モデルを用いた湿潤大気構造の太陽定数依存性に関するパラメータ実験**  
課題代表者および報告者：林 祥介（神戸大学大学院 理学研究科）

16:25～16:40 **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：阿部 彩子（東京大学 大気海洋研究所）

報告者：吉森 正和（東京大学 大気海洋研究所）

16:40～17:05 **総合討論**

17:05～17:10 **閉会挨拶**

向井 人史（国立環境研究所 地球環境研究センター副センター長）

# 発表要旨



# 目 次

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.....	1
○花崎直太 <sup>1</sup> ・伊藤昭彦 <sup>1</sup> ・山田朋人 <sup>2</sup> ・鼎 信次郎 <sup>3</sup> ・沖 大幹 <sup>4</sup> ・Yadu Nath Pokhrel <sup>4</sup> ( <sup>1</sup> 国立環境研究所地球環境研究センター、 <sup>2</sup> 北海道大学大学院、 <sup>3</sup> 東京工業大学大学院、 <sup>4</sup> 東京大学生産技術研究所、)	
長期気候変動予測と近未来気候変動予測に関わる不確実性の理解と制約.....	2
○塩竈秀夫 <sup>1</sup> ・野沢 徹 <sup>1</sup> ・川瀬宏明 <sup>1</sup> ・小倉知夫 <sup>1</sup> ・江守正多 <sup>1</sup> ・阿部 学 <sup>1</sup> ・横皇徳太 <sup>1</sup> ・石崎安洋 <sup>1</sup> ・木本昌秀 <sup>2</sup> ・渡部雅浩 <sup>2</sup> ・羽角博康 <sup>2</sup> ・高藪 縁 <sup>2</sup> ・近本喜光 <sup>2</sup> ・野中（荒井）美紀 <sup>2</sup> ・安中さやか <sup>2</sup> ・森 正人 <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> 国立環境研究所地球環境研究センター、 <sup>2</sup> 東京大学大気海洋研究所)	
広域大気汚染物質の発生源別寄与率解析と気候影響評価.....	3
○永島達也 <sup>1</sup> ・竹村俊彦 <sup>2</sup> ・須藤健吾 <sup>3</sup> ・井上忠雄 <sup>3</sup> ・関谷高志 <sup>3</sup> ・長谷川晃一 <sup>4</sup> ・榊原篤志 <sup>4</sup> ( <sup>1</sup> 国立環境研究所地域環境研究センター、 <sup>2</sup> 九州大学応用力学研究所、 <sup>3</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科、 <sup>4</sup> 株式会社中電シーティーアイ)	
成層圏オゾン層の長期変動とその成層圏-対流圏気候への影響に関する研究.....	4
○秋吉英治 <sup>1</sup> ・菅田誠治 <sup>1</sup> ・山下陽介 <sup>1</sup> ・中村 哲 <sup>1</sup> ・高橋正明 <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> 国立環境研究所地球環境研究センター、 <sup>2</sup> 東京大学大気海洋研究所)	
相互比較を通じた大気場およびオゾン関連化学種の同化実験.....	5
○柴田清孝・出牛 真（気象研究所環境・応用気象研究部）	
大気海洋間の気液界面を通しての運動量とスカラの輸送に及ぼす風波と降雨の影響.....	7
小森 悟・○黒瀬良一・高垣直尚（京都大学大学院工学研究科）	
GOSAT データ処理運用システムの定常運用および維持改訂.....	9
○渡辺 宏・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・小林弘幸・宮坂隆之・菊池信行・國島 和・松澤邦裕・川崎裕之・小島伸一・○幸 昭・池上久通・松原 聖・原田昌紀 (国立環境研究所地球環境研究センター)	
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 of greenhouse gas fluxes).....	10
○Shamil Maksyutov・Dmitry Belikov・Vinu Valsala・高木宏志・白井知子・古山祐治・小田知宏・齊藤 誠・佐伯田鶴・金 憲淑・峰島知芳 (国立環境研究所地球環境研究センター)	

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 .....	12
中島映至 <sup>1</sup> ・Nick Schutgens <sup>1</sup> ・ <sup>○</sup> 五藤大輔 <sup>1</sup> ・鶴田治雄 <sup>1</sup> ・ 中田（向井）真木子 <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所、 <sup>2</sup> 近畿大学総合社会学部)	
NICAM による雲降水システムの研究 .....	14
佐藤正樹・柳瀬 亘・ <sup>○</sup> 端野典平・Woosub Roh (東京大学大気海洋研究所)	
非静力対流モデルを用いた湿潤大気構造の太陽定数依存性に関するパラメータ 実験 .....	16
<sup>○</sup> 林 祥介 <sup>1</sup> ・中島健介 <sup>2</sup> ・石渡正樹 <sup>3</sup> ・小高正嗣 <sup>3</sup> ・山下達也 <sup>3</sup> ・ 高橋芳幸 <sup>1</sup> ・西澤誠也 <sup>1</sup> ・納多哲史 <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> 神戸大学大学院理学研究科、 <sup>2</sup> 九州大学大学院理学研究院、 <sup>3</sup> 北海道大学大学院理学研究院)	
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 .....	18
阿部彩子・ <sup>○</sup> 吉森正和・陳 永利・浅田真也・住吉政一郎・若松俊哉 (東京大学大気海洋研究所)	

(<sup>○</sup>印は発表者)



## 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：国立環境研究所地球環境研究センター 花崎直太  
 共同研究者：国立環境研究所 伊藤昭彦 北海道大学 山田朋人  
 東京工業大学 鼎信次郎 東京大学 沖 大幹・Yadu Nath POKHREL  
 実施年度：平成 22 年度～平成 23 年度

### 1. 研究目的

陸域モデルを全球気候モデルと結合する意義の一つは、CO<sub>2</sub> など温室効果ガス収支の変化を介したフィードバック効果を陽に取り入れることで予測信頼度を向上させることにある。陸域生態系の温室効果ガス収支は、数年までの時間スケールでは多くの観測が行われ、モデル解析も進められているが、数十年以上の時間スケールにおける変動パターンやメカニズムに関しては未解明点が多い。これは今世紀中盤以降への気候長期予測における大きな不確実性要因となり得る。そこで本研究では、陸域における長期 CO<sub>2</sub> 収支変動を解明するため、過去の気象条件を用いた長期 off-line 実験を実施し、気象テレコネクション指標との相関解析を行って変動パターンとメカニズムを考察した。

### 2. 研究計画

将来的な結合モデルを用いた on-line 実験を行うに先立ち、過去の気象データを入力する off-line 実験を実施する。陸域生態系モデル VISIT を用いた 1901～2005 年の長期実験を行い、光合成・呼吸・正味収支を推定する。その時系列データを用いて、代表的な気象テレコネクション指標（エルニーニョ・南方振動[ENSO]、太平洋十年規模振動[PDO]、大西洋数十年規模振動[AMO]）との相関を求めるとともに、様々な移動平均時間で平滑化を行うことで異なる時間スケールの変動を解析する。

### 3. 進捗状況

今年度は、大気-陸域間の温室効果ガス交換を介したフィードバック効果を導入した結合モデル開発の一環として、off-line 実験による長期変動の解析を行った。陸域モデル VISIT は、植生および土壌の炭素・窒素循環を、生理生態学的な関係式と比較的シンプルなコンパートメントモデルを用いて推定するモデルである。

従来の研究により、陸域生態系の炭素収支には明らかな経年変動成分が存在することが示されており、その最も重要な要因は ENSO であることが示唆されていた。つまり、ENSO 発生年には太平洋低緯度域で高温・

乾燥イベントが発生し、植生の光合成低下とともに呼吸放出増加が起こる（例えば 1997-98 年）。一方、ENSO 以外の気象テレコネクションの影響について研究例は少なく、特に長期変動に関してはほとんど分かっていなかった。本研究により、陸域炭素収支には数ヶ月～数年の変動に加えて、数十年規模の変動成分がある可能性が示された（図 1）。

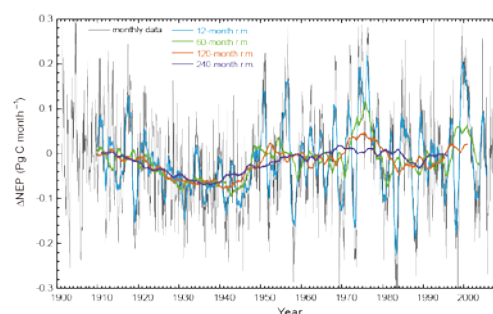


図 1：陸域モデルによって再現された 1901～2005 年の陸域正味炭素収支アノマリー（黒線）。異なる移動平均時間で平滑化された曲線（色付）も示されている。

全球スケールおよび格子点ごとの相関解析により、10 年以上の長期変動に着目した場合には、ENSO 指標との相関は相対的に低下する一方、PDO および AMO 指標との相関が高まることが明らかとなった。これは、気候-陸域モデルによる長期シミュレーション出力の検証や解釈に重要な示唆をもたらすと考えられる。

（本研究の内容は J.Meteorol.Soc.Jpn より印刷中）

### 4. 今後の計画

今回使用した陸域生態系モデル VISIT と気候モデル MIROC の結合を進め、on-line 実験の準備を進める。土地利用変化を含めた人為要因が長期炭素収支変動に与える影響の分離や、可能であれば CO<sub>2</sub> 以外の温室効果ガス交換によるフィードバック効果の解析を可能にするモデル開発に着手する。

### 5. 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：長期気候変動予測と近未来気候変動予測に関わる不確実性の理解と制約

課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター 塩竈秀夫

共同研究者：国立環境研究所地球環境研究センター 野沢 徹・川瀬宏明・小倉知夫・  
江守正多・阿部 学・横畠徳太・石崎安洋

東京大学大気海洋研究所 木本昌秀・渡部雅浩・羽角博康・高藪 縁・近本喜光・  
野中（荒井）美紀・安中さやか・森 正人

実施年度：平成 22 年度～平成 23 年度

### 1. 研究目的

気候変動に対する影響評価、適応策、緩和策などの研究は、大気海洋結合モデルによる気候変動予測実験のデータを元に行われている。しかし、気候変動予測の不確実性は未だ大きく、適応策、緩和策などの政策決定に影響を与えている。本課題では、国立環境研究所が開発・運用に参加してきた大気海洋結合モデル MIROC を用いて数値実験を行い、長期予測と近未来予測のそれぞれの不確実性の要因を研究する。特に長期予測に関しては気候感度の不確実性、近未来予測に関しては内部変動の不確実性に着目し、その低減を目指す。

### 2. 研究計画

長期予測に関しては、大気海洋結合モデル MIROC5 を用いて、積雲対流、雲、境界層、エアロゾル、雪氷に関する 10 種類のパラメータを走査する大規模なアンサンブル実験（物理パラメータアンサンブル実験）を行ない、気候感度（CO<sub>2</sub>濃度 2 倍増に対する全球平均地上気温上昇量）の物理パラメータ不確実性を調べる。さらに、MIROC 5 の物理スキームを旧モデル MIROC3 へと戻すマルチ物理アンサンブル実験を行い、気候感度の構造不確実性も調べる。

一方、近未来予測については、エルニーニョ・南方振動(ENSO)の季節～年々予測実験に向けて、MIROC5 を用いた予測システムの構築を行う。

### 3. 進捗状況

物理パラメータアンサンブル実験に関しては、これまでに実験方法の開発を完了し、35 メンバーのコントロール実験と温暖化実験を行った。このアンサンブルにおける気候感度の幅は 2.2–3.4°C である（図 1）。雲短波フィードバックのばらつきが、気候感度の分散の大部分をもたらしている。全てのメンバーで雲短波フィードバックが正値を持たないため、高い気候感度が現れない。このモデルでは、温暖化時に中層雲の雲量が増えることで、雲短波フィードバックが負になる。

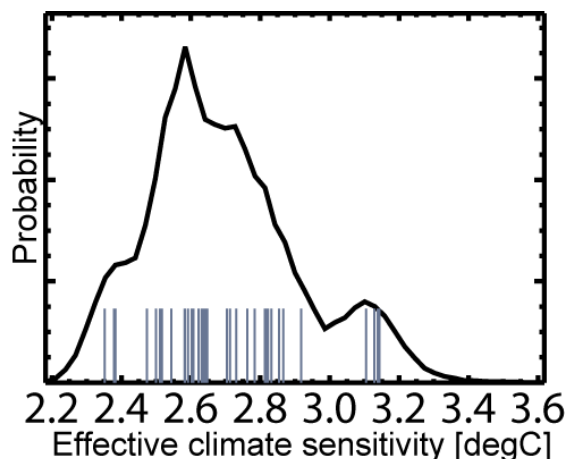


図 1 MIROC5 物理パラメータアンサンブル実験における気候感度[°C]の分布。灰色の縦線は各メンバーの気候感度を示す。折れ線は、ブートストラップ法で求めた確率密度関数。

MIROC3 は MIROC5 よりも高い気候感度 (4°C 以上) をもつ。マルチ物理アンサンブル実験を実行し、雲、乱流などの複数スキームを MIROC5 から MIROC3 の物に変更すると、温暖化時の雲の応答パターンが変わり、気候感度が高くなるのが分かった。

近未来予測に関しては、上記の MIROC5 を用いて ENSO の季節～年々の予測を行うべく、準備を進めている。初期値化を行うために、海洋の水温・塩分の観測データを同化するシステムを構築した。さらに、大気の観測データを同化することによって、どの程度予測性能が向上するかを調べている。

### 4. 今後の計画

気候感度に関しては、物理パラメータアンサンブル実験の解析を進める。近未来の内部変動予測に関しては、ENSO の予測実験を行う。

### 5. 計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 16, CPU 時間 1 ノード未満: 9 hours, 1 ノード: 7,796 hours, 2 ノード: 121,080 hour, 計: 128,885 hours

## 研究課題名：広域大気汚染物質の発生源別寄与率解析と気候影響評価

課題代表者：国立環境研究所地域環境研究センター 永島達也

共同研究者：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・井上忠雄・関谷高志

株式会社中電シーティーアイ 長谷川晃一・榊原篤志

実施年度：平成 22 年度～平成 23 年度

### 1. 研究目的

全球規模の対流圏化学輸送モデルおよび成層圏・対流圏の化学過程とエアロゾル過程が結合した地球システム統合モデルを用いて、東アジア域のローカルな大気汚染、遠隔領域からの輸送、成層圏からの流入などの個別の寄与、すなわち大気汚染の構造を定量的に明らかにする。これにより、大気汚染物質の削減策による大気質改善効果を評価する。さらに、そうした大気汚染防止策の温暖抑止効果に関して定量的な評価を行う。

### 2. 研究計画

今年度は、異なる手法を用いた地表オゾンの発生源別寄与率解析の比較を様々なソース領域に関して行い、結果の整理を行う。また、地球システム統合モデルを用いた過去の対流圏化学場の再現実験を完了させ、オゾンやエアロゾルなど化学的に寿命の短い気候変化因子 (Short-Lived Climate Forcers: SLCF) による気候強制力とそれによる地表気温の変化など気候の変化を評価する。更に、同モデルに温室効果気体等の将来変化シナリオ (RCP シナリオ) を与えた実験を行う。

### 3. 進捗状況

昨年度に中国を対象に行った、異なる二つの手法 (Tag 付トレーサー法、ゼロエミッション法) を用いた地表オゾンの発生源別寄与率の比較解析を、北米と欧州という遠隔地のソース領域に関して行い、大陸規模の越境大気汚染量の定量的な評価に関して詳しく検討を行った。日本における両地域からの影響は、若干エミッション感度法による評価の方が大きい。季節毎に見ると、その差は暖候期に大きくなるが、これは対流活動が活発化して各ソース領域から自由対流圏にまで運ばれた後にオゾンが生成される場合が多くなるためと考えられた。また、両手法を組み合わせて用いることにより、手法間の評価結果の相違をより詳細に理解する事ができた。

これと並行して、地球システム統合モデルを用いた 1850 年～2000 年の対流圏化学場再現実験を行った。得られた SLCF の分布や経年変化を各種の観測値を用い

て検証し、良好な再現性を確認することが出来た。また、各 SLCF の変化によってこれまでに地球環境に与えられてきた放射強制力を見積もり、地球全体の温暖化に対する、オゾン、黒色炭素粒子 (BC) の影響の大きさを確認した。また、土地利用の変化に伴う二次生成有機エアロゾルの変化が、インド・中国・北米などの領域においては主要な温暖化促進要因となっていた可能性に関して示唆的な結果を得た。

地球システム統合モデルや対流圏エアロゾル輸送モデル (SPRINTARS) を用いて IPCC 第 5 次評価報告書で用いられる新しい排出量予測シナリオ (RCPs) に準拠した実験を行った。SPRINTARS を用いた計算結果からは、全球合計で BC、有機炭素粒子、硫酸塩といったエアロゾルはいずれも、すべてのシナリオで 21 世紀末へ向けて徐々に減少することが示された。ただし、今後 10～20 年程度はアジア域で高濃度が維持され、また、アフリカでの森林火災を起源とするエアロゾルは今世紀中にあまり変化しないことも示されている。これらの変化とともに、エアロゾル直接効果放射強制力の負値が小さくなっていくと予測された。地球システム統合モデルを用いた RCPs 準拠の将来予測実験の結果も RCPs の幾つかのシナリオに関して完了し、国際的なモデル間相互比較プロジェクトに参加するためにフォーマットの変換などの加工がなされ、順次データの提出を行っている。

### 4. 今後の計画

対流圏オゾンの発生源別寄与評価の手法間の相違に関する調査を整理してまとめる。また、地球システム統合モデルで行った過去再現実験に対する感度実験を行い、オゾンとともにエアロゾルの発生源別寄与解析に取り組む。また、将来シナリオや大気質改善対策の有効性評価を行う。

### 5. 計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 7, CPU 時間 1 ノード未満: 3 hours, 1 ノード: 13,888 hours, 2 ノード: 28,569 hour, 計: 42,460 hours

## 研究課題名：成層圏オゾン層の長期変動とその成層圏－対流圏気候への影響に関する研究

課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター 秋吉英治  
 共同研究者：国立環境研究所地球環境研究センター 菅田誠治・山下陽介・中村 哲  
 東京大学大気海洋研究所 高橋正明  
 実施年度：平成 22 年度～平成 23 年度

### 1. 研究目的

化学気候モデルを用いたオゾン層の長期変動の計算を行い、ハロゲンガス濃度の影響、温暖化ガス濃度の影響、成層圏気象場への影響、および対流圏への影響を明らかにする。

### 2. 研究計画

化学気候モデルと温暖化ガスおよびフロン・ハロン濃度の長期シナリオを用いたオゾン層の長期変動の計算と複数の感度実験を行って、ハロゲンガス濃度の影響、温暖化ガス濃度の影響、成層圏気象場への影響、対流圏への影響などの解析を行う。今年度は、CCMVal および CCMVal2 で行った、現行の化学気候モデル (CCSR/NIES AGCM 5.4g ベース) を用いたオゾン層将来予測実験結果の解析を進める。また、前年度開発を行った MIROC3.2 ベースの新化学気候モデルを使った計算を行う。

### 3. 進捗状況

#### 3.1 CCMVal および CCMVal2 オゾン将来予測実験の解析

- (1) 1990-2009 年のオゾンホールが十分に発達した期間について、9 月の南半球の波動活動と、オゾン層破壊およびそれに関わる化学微量成分濃度との年々変動の関係を解析している。
- (2) QBO の位相と北極渦との関係の解析を行っている。特に、従来あまり議論されなかった 10hPa 付近での大気波動の伝搬と収束・発散、それに伴う子午面流変化、気温変化、東西風変化に着目した解析を行っている。
- (3) Nakamura et al. (2009, GRL) では、北半球中緯度下部成層圏に単純化した形でオゾン量の正偏差(増加部分)を置いた場合、対流圏から成層圏への波動伝搬の変化、それに伴う子午面循環の変化、顕熱および潜熱の変化によって対流圏の気温に影響が及ぶ事を示したが、このメカニズムが CCMVal2-REFB2 の将来予測実験でも見られるかどうかの解析を、この実験に参加した他の研究機関の計算結果も含めて解析を行っている。

#### 3.2 MIROC3.2 ベースの新化学気候モデルを使った計算

- (1) 新化学気候モデルを用いて、1980-2050 年の期間について、CCMVal-REF2(CCMVal2-REFB2 も同様)シナリオに沿ったオゾン層将来予測実験を行い、現行 5.4g モデルと同様なオゾン層破壊－将来回復結果を得た。年々変動には若干の違いが見られる。
- (2) 新化学気候モデルに ERA-Interim 再解析データの東西風および南北風をナッジングにより同化して化学輸送モデルとし、SMILES 観測期間のオゾン分布についての解析を進めている。

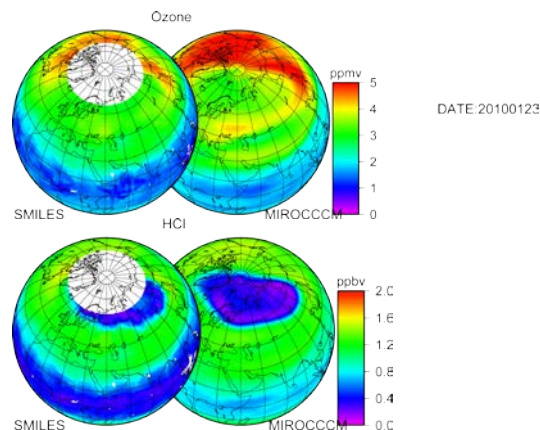


図 オゾンと HCl 分布の SMILES による観測 (左) と化学輸送モデルによる計算結果 (右)。2010 年 1 月 23 日の突然昇温時の分布。上がオゾン、下が HCl。高度 50hPa の分布。

### 4. 今後の計画

3.1(1)(3)、3.2(2)については、今後さらに解析を進めて論文にまとめる。(2)についてはすでに論文化されており、今後、太陽 11 年周期の影響を含めたメカニズムについての解析を進める。来年度は、新化学気候モデルを用いて 3.2(1)以外の幾つかのシナリオに沿ったオゾン層将来予測実験を行う予定である。

### 5. 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:41hours, 1 ノード: 89,364 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 89,405 hours

## 研究課題名：相互比較を通じた大気場およびオゾン関連化学種の同化実験

課題代表者：気象研究所 柴田清孝  
 共同研究者：気象研究所 出牛 真  
 実施年度：平成 23 年度～平成 23 年度

### 1. 研究目的

オゾンなどの大気微量成分に関する実況監視予測情報が、社会にリアルタイムで提供されるようになり、その分布変動に関する情報は、大気汚染警報の発令、紫外線予報、オゾンホール監視などに広く利用されている。これらの実況監視予測情報作成には、観測に加えて化学輸送モデルの利用も進められているが、化学輸送モデルの予測精度は、初期条件（微量成分の3次元分布）の精度およびモデルの性能に強く依存する。この研究はオゾン関連化学種の実況監視予測の改善のため、高度な4次元データ同化手法を導入し、高精度な初期条件を提供できるシステムを構築することを目的としている。

### 2. 研究計画

非線形システムでも比較的容易に導入可能とされているアンサンブルカルマンフィルターを化学-気候モデルに適用して大気およびオゾン関連の化学種の同化実験の比較を行う。

環境研究所と気象研究所のそれぞれの化学-気候モデルを用いて同一条件で大気およびオゾン関連の化学種の同化実験を行い、比較する。モデルの系統誤差に依存するエラーや依存しないエラーを評価でき、今後のモデル改良に資することができる。また、各観測の有無による同化実験を通してその観測のインパクトを調べる。

### 3. 進捗状況

化学種の数や化学反応の数がそれぞれ 90、247 と成層圏をターゲットにした MRI-CCM1 の約2倍になっている成層圏と対流圏の両方を扱える MRI-CCM2 を使ってアンサンブルカルマンフィルターによる同化実験を行っている。同化のオゾンデータは衛星データを使い、鉛直プロファイルのMLSとコラム量のOMI-TOMSを使った。気象データは気象庁の最解析システムのJCDASを使った。同化の種類は(1) JCDAS,MLS,OMIの3つを同化する、(2) JCDAS,MLS、(3) JCDAS,OMI、(4) JCDAS のみの4つである。オゾンと気象場は別々に同化し、メンバー数は 32、同化間隔は 6 時間、最大インフレーションは 20%、局所化は水平 650km、鉛直は気圧の対数は 0.4 に設定した。期間は 2006 年の6月から9月である。

図1にMLSオゾンと4つの同化オゾンとの比較を示す。大気場のみ同化よりオゾンの同化を含めた方が観測に近くっており、コラム量だけでなくプロファイルの情報を同化する方が、同然、良くなっている。オゾンゾンデとの比較でも同様の結果である（図略）。その他の量で比較しても定性的に同様のことが言え、同化の量が多いほどモデルのオゾンは良くなる。

オゾンホール面積で比較したのが図2である。観測

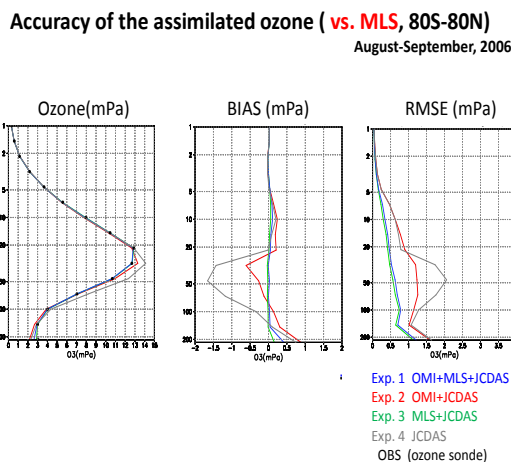


図1 MLSオゾンとMRI-CCM2による同化オゾンの80S-80N平均、8-9月平均のプロファイル(200-1hPa)の比較。(左)オゾン分圧、(中)バイアス、(右)RMSE。単位は全てミリパスカル。

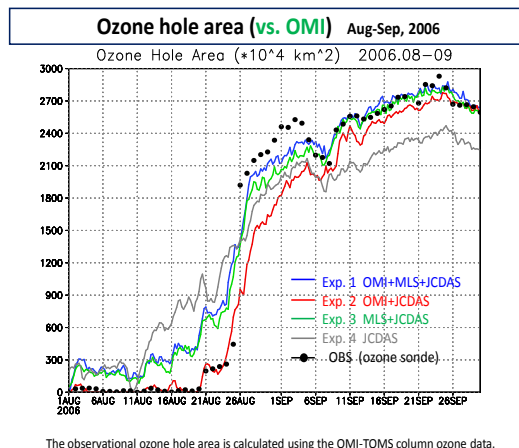


図2 2006年の南極オゾンホールに対するオゾンゾンデとの同化オゾンの比較。

は OMI-TOMS に基づく。オゾンホールが急速に広がる 8 月 26 日前までは OMI と JCDAS の組み合わせが最良で、観測と良く符合している。しかし、8 月 26 日以降は、OMI と JCDAS の組み合わせはオゾンホール面積の過小評価の程度が大きくなっており、MLS の同化が含まれているデータの方が観測値に近くなっている。特に、9 月 6 日以降は、MLS 同化オゾンはいずれも非常に観測値に近い。

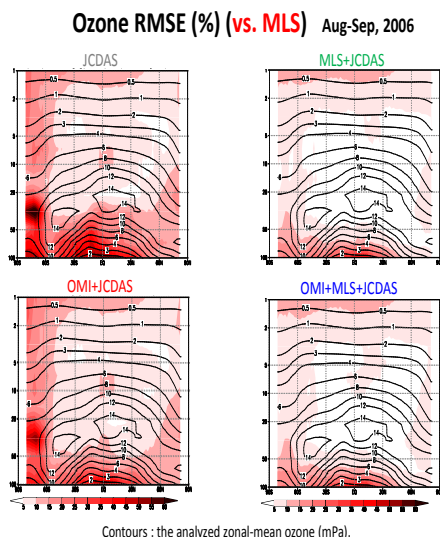


図 3 各オゾン同化の MLS オゾンに対する RMS (%) の 2006 年 8-9 月平均の緯度—高度断面(100-1 hPa)。

8-9 月平均の MLS オゾンに対する RMSE の緯度-高度断面 (100-1hPa) を示したのが図 3 である。成層圏オゾンと比較しているため、明らかに MLS オゾンと同化したものがそうでないものより RMSE が小さくなっており、特に、南極上空は格段に小さくなっている。このことは、モデルの系統誤差を小さくするために、プロファイルオゾンと同化することの影響の大きさを表している。

#### 4. 今後の計画

オゾンと同化したことによって、その放射効果がどの程度、どのように力学にフィードバックしているのかを解析する。これらの結果を環境研で行っている同化実験と比較する。

#### 5. 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: 9,426 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 9,426 hours

## 6. 昨年度研究課題のまとめ

### 6.1. 昨年度研究課題名

化学-気候モデルによる温暖化の将来予測における対流圏オゾンと成層圏オゾンの役割評価

### 6.2. 昨年度研究課題の目的

対流圏オゾンと成層圏オゾンはそれぞれ対流圏や成層圏の大気大循環の複雑な力学系、化学系および両者の相互作用で濃度分布が決められ、その放射過程を通して気候に大きな影響を及ぼしている。対流圏オゾンと成層圏オゾンの濃度を精度よく計算する力学と化学を含んだ数値モデル (化学-気候モデル) を使い、両オゾンが地球温暖化の将来予測においてどのような役割を果たすのかを化学-気候モデルの数値積分を行い評価する。

### 6.3. 昨年度研究課題の成果概要

海面水温などの外部条件に 1990 年代の気候値を使ってモデルを約 10 年間積分した時の対流圏オゾンや関連化学種を調べた。地表オゾンの季節サイクルでは以下のような特徴を現実的に再現していた。春季 4 月は太陽が北半球にあるので、北半球亜熱帯から中緯度に高濃度域があり、それがアフリカ、ヨーロッパ、アジア、北米に帯状分布している。秋季 10 月は太陽が南半球へ移動するが、インドや中東ではなお高濃度オゾンがある。中央アフリカや亜熱帯付近のアフリカ、南米での高濃度域はバイオマス燃焼によるものである。対流圏中層 (500hPa) で見ると、アフリカや南米での地表のバイオマス燃焼による高濃度 CO が東風で西に輸送されているのが明瞭である。

MRI-CCM2 の境界条件を与える MRI-CCM1 の過去再現-将来予測 (1960-2100) 実験について、対流圏-成層圏質量交換と成層圏から対流圏へのオゾン流入をしらべ、ブリューワー・ドブソン循環がコンスタントに増加していること、それに対応して 2090 年代は 2000 年代に比べて低緯度のオゾン減少、中高緯度のオゾン増加が見られることが解析された。

### 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: 22,058 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 22,058 hours

# 研究課題名:大気海洋間の気液界面を通しての運動量とスカラの輸送に及ぼす風波と降雨の影響

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 23 年度～平成 23 年度

## 1. 研究目的

地表面上の約 7 割を占める海洋と大気間の運動量およびスカラの輸送量を正確に評価するモデルを構築することは、地球温暖化予測において必要不可欠であるグローバルなスケールでの炭素収支や熱収支を見積もるうえで、また、近年問題とされる局所的に甚大な被害を及ぼすハリケーン、台風、集中豪雨等の異常気象の発生成長過程および進路等を正確に予測するうえで、極めて重要である。しかし、現在の大気海洋大循環モデル (GCM) で用いられているサブモデルでは、運動量およびスカラの交換速度は風速でのみ相関されており、風波 (碎波やうねり等を含む) や降雨の効果がかく考慮されていない。そこで本研究では、大気海洋間の風波や降雨を伴う気液二相乱流場に対して数値シミュレーションを適用することにより、風波および降雨が気液界面を通しての運動量およびスカラ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

気液二相乱流場の数値シミュレーションを様々な風速条件のもとで実施することにより、風波気液界面を通しての運動量とスカラの輸送機構を検討する。また、単一液滴周りの流れや単一液滴の界面衝突現象の数値シミュレーションを実施することにより、碎波液滴や降雨の挙動を検討する。

## 3. 進捗状況

### 3.1 風波気液界面の数値シミュレーション

初期気側一様流速  $U_{\infty,ini} = 7.0 \text{ m/s}$  の計算を引き続き実施中である (後述の 6 節参照)。

### 3.2 単一液滴界面衝突の数値シミュレーション

気液界面を追跡する手法の 1 つである Level-Set 法を用いた 3 次元直接数値シミュレーション (DNS) コードを新たに作成し、本コードの液滴衝突現象への適用可能性について検討を進めている。

本数値計算における計算領域を図 1 に示す。直径  $d_p$  の球形液滴を静止気液界面上方から落下させ、この液を詳しく調べた。図 2 に本数値計算により再現された

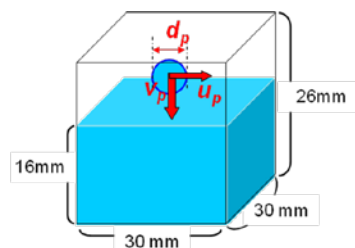


図 1 計算領域。

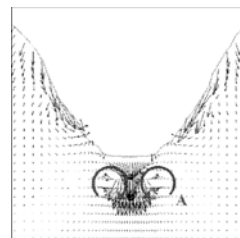


図 2 液滴衝突後の界面形状。

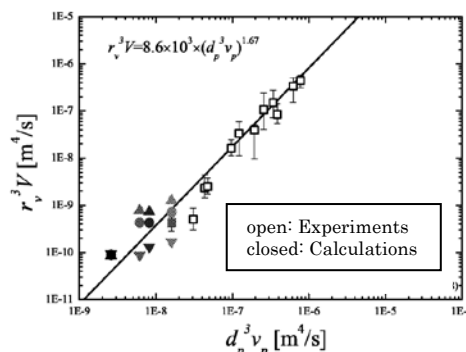


図 3 衝突液滴の運動量と渦輪強度の関係。

クレータと渦輪の様子の一例を示す。また、図 3 に衝突液滴の持つ運動量と液滴衝突により生成される渦輪の強度の相関関係を示す。ここで、 $d_p$  は液滴径、 $v_p$  は液滴衝突速度、 $r_v$  は渦輪半径、 $V$  は渦輪の中心移動速度である。図より、実験では確認できなかった自然界に多く存在する直径 1~2mm 程度の小さな液滴に対しても、運動量と渦輪強度の間には既往実験で報告されている乗数則が成り立つことがわかる。

## 4. 今後の計画

今年度前半に構築した液滴の界面衝突を再現可能なコードを用いて、液滴が水面に対して斜めに衝突する

場合の運動量と渦輪強度との関係を明らかにする。また、これらの結果をもとに、風波気液界面を通しての物質移動に及ぼす風波と降雨の相乗効果を調べる。

**5. 計算機資源の利用状況**

実行ユーザ数：3, CPU 時間 1 ノード未満: 0 hour, 1 ノード: 2,027 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 2,027 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**

うねりを伴う海水面を通しての乱流拡散機構および物質交換機構を調査するうえで有用となる、移動・変形を伴う風波気液界面を再現可能で、かつ高 Reynolds 数、高 Schmidt 数条件に適用可能な数値シミュレーションコードを開発する。また、このコードを用いて、風波気液界面を通しての乱流拡散機構およびスカラ輸送機構を詳しく調べる。

**6.3. 昨年度研究課題の成果概要**

**6.3.1 目的**

移動・変形を伴う風波気液界面を再現可能で、かつ高 Reynolds 数、高 Schmidt 数条件に適用可能な数値シミュレーションコードを開発する。また、このコードを用いて、風波気液界面を通しての乱流拡散機構およびスカラ輸送機構を詳しく調べる。

**6.3.2 計算方法**

一昨年度は移動・変形を伴う風波気液界面を再現可能な気液二相流の直接数値シミュレーション (DNS) コードの開発に成功し、風波気液界面を通してのスカラ輸送機構について検討を行った。しかし、DNS では計算コストの制約から、その適用可能な条件が低 Reynolds 数、低 Schmidt 数 ( $Sc = 1$ ) に限られていた。そこで昨年度は、より高い風速もしくはより広い領域を対象とした高 Reynolds 数条件下の計算や、実際の物質 ( $CO_2$ ) の輸送を対象とした高 Schmidt 数 ( $Sc \approx 600$ ) 条件下での計算を可能とするため、DNS コードのラージ・エディ・シミュレーション (LES) コードへの拡張を行い、そのコードを用いた検討を行った。本計算では、界面追跡手法として風波気液界面の形状に合わせて計算領域全体の格子形状を境界適合座標系により時々刻々再構成する ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian Formulation) 法を採用した。図 4 に計算領域を示す。

$x, y, z$  方向をそれぞれ主流、スパン、鉛直方向として、気液界面を挟んで鉛直上側を気相、鉛直下側を液相とした。計算領域および格子点数は主流、スパン、鉛直方向にそれぞれ  $8\delta \times 4\delta \times 3\delta, 200 \times 100 \times 180$  とした。気側高さ  $\delta$  m および初期気側一様流速  $U_{\infty,ini}$  m/s を  $(\delta, U_{\infty,ini}) = (2.5 \times 10^{-2}, 5.2), (5.0 \times 10^{-2}, 7.0)$  の 2 ケースに変化させた。これらの初期の摩擦速度  $u_{*a, ini}$  およびレイノルズ数  $Re_{ini}$  はそれぞれ  $u_{*a} = 0.25, 0.35$  m/s,  $Re_{ini} = 4340, 11550$  となる。

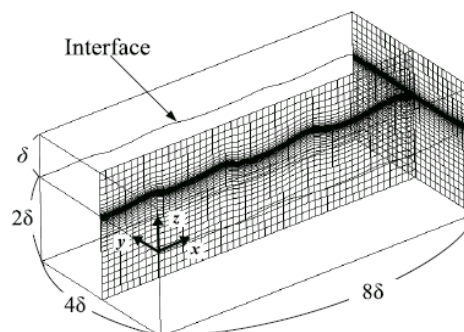


図 4 計算領域と計算格子。

**6.3.3 計算結果および考察**

図 5 にスカラ輸送係数  $k_L$  の計算値 ( $U_{\infty,ini} = 5.2$  m/s) と実験値の比較を示す。図より、 $k_L$  の計算値は実験値と良好に一致することわかる。計算値は実験値よりもわずかに高い値を示すが、これは実験で見られる表面活性剤による  $k_L$  の低減効果を数値シミュレーションでは考慮していないためであると考えられる。なお、 $U_{\infty,ini} = 7.0$  m/s のケースについては計算継続中である。

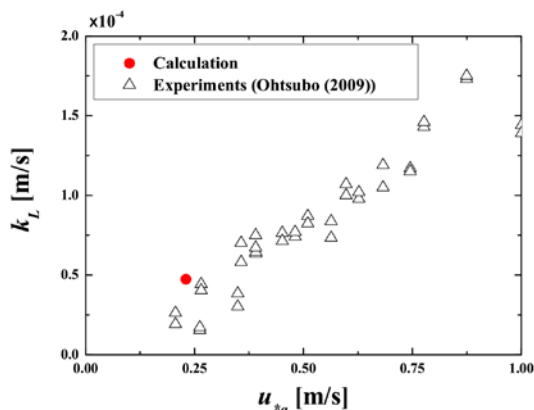


図 5 スカラ輸送係数の比較。

**6.4. 昨年度計算機資源の利用状況**

実行ユーザ数：3, CPU 時間 1 ノード未満: 0 hour, 1 ノード: 12,342 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 12,342 hours



## 研究課題名：GOSAT データ処理運用システムの定常運用および維持改訂

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・小林弘幸・宮坂隆之・菊池信行・  
國島 和・松澤邦裕・川崎裕之・小島伸一・幸 昭・池上久通・松原 聖・原田昌紀

実施年度：平成 22 年度～平成 23 年度

### 1. 研究目的

温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) は平成 21 年 1 月 23 日に打ち上げられた。国立環境研究所 (NIES) では、GOSAT の観測データの高次処理を行い、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・排出量を推定している。

### 2. 研究計画

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 に設置された GOSAT データ処理運用施設 (GOSAT DHF) で高次処理を行い、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) を連携して利用する。NIES スーパーコンピュータは、レベル 2 処理の中で CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> のカラム濃度算出の前処理として、それらの大気輸送モデル計算処理及びエアロゾル輸送モデル計算処理、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に利用されている。

### 3. 進捗状況

現在、定常的なデータ処理を実施している。

CO<sub>2</sub> カラム濃度算出の前処理としての大気輸送モデル計算及びエアロゾル輸送モデル計算は観測開始から継続的に処理している。これらの結果を GOSAT のそれぞれの観測位置、時刻に対応して空間、時間的に補間してカラム平均濃度算出時の先験値として利用する。大気輸送モデル計算結果の例 (7 月 1 日 6 時 UT) を図 1 に示す。2009 年 7 月 1～31 日の間に観測した FTS の短波長赤外 (SWIR) バンドから求めた CO<sub>2</sub> カラム濃度の全球分布を図 2 に示す。また、2011 年 5 月 16 日に FTS の熱赤外 (TIR) バンドから求めた CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> 濃度プロファイルを特定研究者に公開した。次期バージョンに向けてエアロゾル輸送モデル計算処理のバージョンアップ等のアルゴリズムの改善と、品質条件のチューニング検討を進めている。

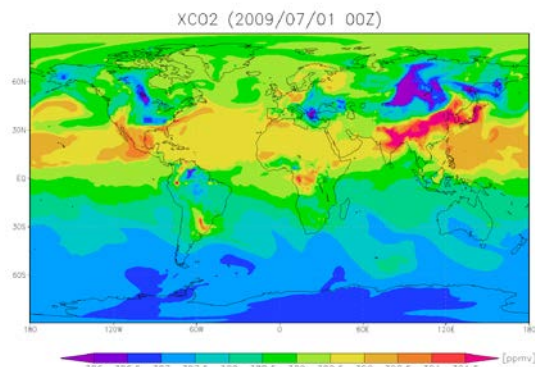


図 1 大気輸送モデル計算処理結果。2009 年 7 月 1 日 6 時の例。

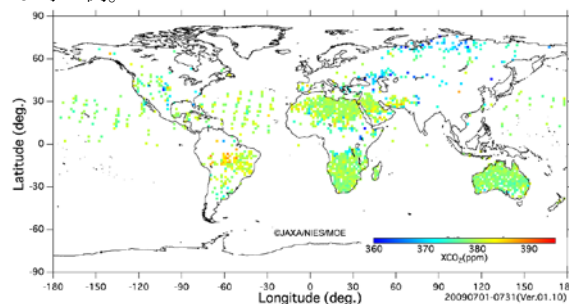


図 2 SWIR バンドから求めた CO<sub>2</sub> カラム平均濃度。2009 年 7 月 1-31 日の観測例。

### 4. 今後の計画

レベル 4 処理については、現在準備を進めており、今年後半よりモデル研究者コミュニティに対して公開を開始する予定である。

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。

また、算出されたレベル 2 プロダクトは、プロダクトの検証作業を経たのち、ユーザへ配布を行っている。レベル 3 プロダクトも順次公開している。

### 5. 計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 20, CPU 時間 1 ノード未満: 17 hours, 1 ノード: 76 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 93 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 of 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・Vinu Valsala・高木宏志・  
白井知子・古山祐治・小田知宏・齊藤 誠・佐伯田鶴・金 憲淑  
東京農工大学 峰島知芳

実施年度：平成 23 年度～平成 23 年度

### 1. Objective

Using forward and inverse tracer transport modeling algorithms, we study the global and regional distributions of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> surface fluxes that are estimated from ground-based and airborne observations as well as spaceborne GOSAT data.

### 2. Research plan

The current research focuses on the reconstruction of surface fluxes based on the observations of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in the whole troposphere collected in airborne and ground based monitoring programs and the GOSAT Project. Numerical simulation is used to explain seasonal and interannual variations of the greenhouse gases and other relevant tracers along with observations by JAL aircraft and NIES monitoring programs over Siberia, East Asia, and Pacific Ocean. For obtaining more accurate estimates of the surface fluxes, the NIES atmospheric transport model and inversion algorithms are being tested, tuned and improved.

### 3. Progress

The NIES atmospheric tracer transport model was validated using ground-based FTS observations of atmospheric CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> collected in the TCCON network. The results suggest that the model can reproduce spatial and seasonal variability of the total column carbon dioxide (X<sub>CO<sub>2</sub></sub>) and methane (X<sub>CH<sub>4</sub></sub>). The model's ability to reproduce observed X<sub>CH<sub>4</sub></sub> proves the improvements in simulating upper tropospheric and stratospheric three-dimensional distributions.

The GOSAT SWIR Level 2 X<sub>CO<sub>2</sub></sub> data were analyzed with the GOSAT Level 4 operational data processing algorithm to produce a set of fluxes over one year starting from June 2009. The data from ground based observations by GLOBALVIEW-2010 database were combined with GOSAT observations to estimate a set of monthly CO<sub>2</sub> fluxes for 64 regions. Monthly averages of GOSAT observations for each 5×5 degree grid were used in the analysis. A comparison of the surface flux results with and

without GOSAT data suggests that the GOSAT observations change the surface fluxes of under constrained regions, such as tropical Africa and America, and reduce the uncertainty of those fluxes.

The improvement of the Kalman smoother algorithm for the inverse modeling of surface fluxes was completed. The improved version allows for efficient forward transport simulations of the response matrix for short assimilation windows. The result matches with that from the conventional approach with full-length pre-calculated response matrixes. The improved scheme was applied to the analysis of global atmospheric CO<sub>2</sub> fluxes over 2000-2009 period that targeted the analysis of the West Siberian carbon cycle. Several regularization options, which includes Bayesian inversion and truncated SVD solutions, were considered here. The truncated SVD solution produces less noisy fluxes for Siberia.

The same Kalman smoother approach was applied to the estimation of CH<sub>4</sub> fluxes for 43 regions (42 terrestrial and 1 oceanic). A preliminary test was conducted by using NOAA ESRL flask observations over a two year period and surface fluxes prepared for Transcom-CH<sub>4</sub> intercomparison with VISIT model fluxes for wetlands and rice paddies. A fairly good match between model and observations was obtained without inverse model corrections. The inverted fluxes therefore did not deviate considerably from the first guess except for two regions.

### 4. Future plan

The inverse modeling of global surface CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes over 2000-2010 period will be completed. The inverse model analysis of the GOSAT data will be extended to 2010 and methane fluxes will be estimated.

### 5. 計算機資源の利用状況

11 users, CPU hours <1 node: 67 hours, 1 node: 0 hour, 2 node: 0 hour, total: 67 hours

## 6. 昨年度終了研究課題のまとめ

### 6.1. 昨年度終了研究課題名

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 Transport Modeling to Inverse Estimation of Greenhouse Gas Fluxes)

### 6.2. Objective

Same as this year.

### 6.3. Summary of results

A preliminary version of the GOSAT CO<sub>2</sub> flux inversion system was developed and applied to the analysis of the GOSAT data obtained in 2009. The estimated fluxes were similar to those estimated from ground-based observations only. The system uses improved flux models of terrestrial biosphere, ocean exchange and fossil fuel combustion categories developed in the GOSAT project.

For eliminating stratospheric transport biases and attaining a better performance in tracer transport simulations above the tropopause, we applied hybrid sigma-pressure and hybrid isentropic vertical coordinate systems to the NIES atmospheric transport model. In order to compare the degree to which each of the hybrid vertical coordinate systems improves the transport performance, we implemented five-year forward transport simulations of SF<sub>6</sub>, an atmospheric tracer often used for validating transport models. Better simulations of the stratospheric air age and methane vertical profile were obtained with hybrid isentropic vertical coordinate. Steeper air mass age gradients are evident nearby the tropopause level (about 150 hPa), and aged air masses are well stratified anywhere above that level.

We developed a high resolution global Eulerian-Lagrangian hybrid transport modeling scheme with which pinpoint simulations of CO<sub>2</sub> concentrations are possible. In this scheme, a Lagrangian particle dispersion model is operated over a short simulation period, and the simulation result is used as a boundary condition for global transport modeling carried out by a Eulerian transport model. For this fine-scale transport modeling, we prepared a 1 km resolution dataset of anthropogenic emissions, terrestrial biosphere fluxes and air-sea fluxes. The model improves simulations of CO<sub>2</sub> at Minamitorishima, London

and Tsukuba in comparison with Eulerian models and medium resolution Lagrangian transport models.

The version 05 of the NIES atmospheric transport model was used to simulate global CO<sub>2</sub> concentrations which were used as a priori concentration data in the retrieval of the column-averaged volume mixing ratios of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>. The model uses semi-Lagrangian transport scheme and operates in horizontal and vertical resolutions of 0.5 degree at 47 levels, using the 3 hourly JMA GPV data at 21 levels on 0.5 degree grids. A surface flux dataset with inverse model-derived corrections was used for the CO<sub>2</sub> simulation. For CH<sub>4</sub> simulations, a CH<sub>4</sub> flux dataset prepared by Patra et al. (2009) was used together with CH<sub>4</sub> sinks defined by climatological OH concentrations and a temperature-dependent reaction rate. The simulated monthly mean concentrations were compared to GLOBALVIEW CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>. The variability in concentrations observed at sites within the marine boundary layer and the free-troposphere was reproduced fairly well by the model.

An ocean tracer transport model, OTTM, was operated to simulate ocean-atmosphere CO<sub>2</sub> fluxes using NCEP-GODAS re-analysis ocean current data. In OTTM, the simulated surface ocean partial pressure of CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>) was optimized with observed surface ocean pCO<sub>2</sub>. The model biases and systematic errors were minimized through optimization. Using this system, a dataset of monthly air-sea CO<sub>2</sub> flux (1°×1° resolution) was produced.

Climatological methane fluxes for 12 global regions were estimated via inverse modeling. The surface flux for West Siberia was estimated to be 3.0 Tg/year, and this matched with a value obtained via a bottom-up approach.

### 6.4. 昨年度までの計算機資源の利用状況

11 users, CPU hours <1 node: 6,507 hours, 1 node: 318 hours, 2 node: 0 hour, total: 6,825 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

課題代表者：東京大学大気海洋研究所 中島映至  
 共同研究者：東京大学大気海洋研究所 N.A.J.Schutgens・五藤大輔・鶴田治雄  
 近畿大学 中田（向井）真木子  
 実施年度：平成 23 年度～平成 23 年度

### 1. 研究目的

本研究では、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT; Greenhouse gases Observing Satellite)に同時搭載される雲・エアロゾルイメージャー (CAI) によって得られるリモートセンシングデータと、エアロゾル気候モデルによって得られるシミュレーションデータを結合して、CAI データ解析アルゴリズムの初期値に役立て、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。従って、リモートセンシングデータとシミュレーションデータの融合のためのエアロゾル同化システムの構築が第一の目的であり、この目的を精度良く達成するために、シミュレーションの精度向上のためのモデル改良が第二の目的となる。

### 2. 研究計画

これまで開発を続けてきた CCSR/NIES/FRCGC-大気大循環モデル (MIROC-AGCM) と SPRINTARS エアロゾル放射モデル結合した MIROC-SPRINTARS による全球エアロゾルモデルを、今年度は光吸収性のあるブラックカーボン(BC)に関する改良を行った。

また、エアロゾル同化システムに関しては、前年度の MODIS 衛星と AERONET 地上観測網を用いたシステム化に続き、今年度はライダー観測網を利用したシステムの適用を開始した。また、同化システムで利用する主要観測データである MODIS 衛星の光学的厚さに含まれるバイアスを算出し、補正式を導入することでより精度の良い観測データを得た。

### 3. 進捗状況

前年度まで行った MIROC-SPRINTARS の主要な光散乱成分である硫酸塩過程と硝酸塩過程のモデル改良の次のステップとして、主要な光吸収成分である BC のモデル改良を行った。従来までの方法(標準版 SPRINTARS)では BC が大気中で硫酸ガスなどによって被覆されるような大気変質過程を取り扱っていなかったために、親水性 BC と疎水性 BC の割合が遠方で観測事実と異なることがわかった(図 1(a))。しかし図 1(b)に示す改良版では、Oshima and Koike (in preparation,

2011)によって開発された BC の大気変質過程を加味した式を MIROC-SPRINTARS に組み込むことで、発生源近傍で多くの疎水性 BC が親水性 BC に変化することにより、遠方に行くほど疎水性 BC の割合が小さくなり、遠隔地域では 10%以下となる結果を得た。このような発生源から遠方までの BC の特性変化の結果は、観測事実と同様のセンスであるため、BC の大気変質過程を SPRINTARS モデルに組み込むことが重要であることがわかった。

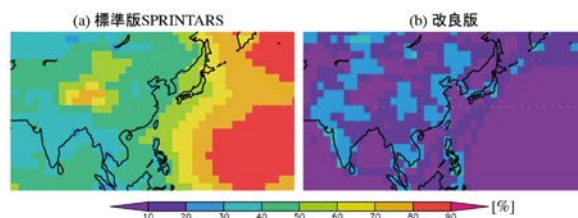


図 1 東アジアでの全 BC 濃度に占める疎水性 BC 濃度の年平均割合(%). (a) 標準版 SPRINTARS の結果、(b)改良版の結果。

エアロゾル同化研究では、今年度はライダー観測網を利用したシステムの適用を開始した。ライダー比(後方散乱係数と消散係数の比)を観測結果と比較したところ、データ同化を施しても、結果があまり改良されなかった(図 2)。これは、MIROC-SPRINTARS のモデルで再現されたエアロゾルが境界層内に多く分布しており、自由対流圏に抜けていくエアロゾルの割合が非常に少ないことが第一要因として考えられる。

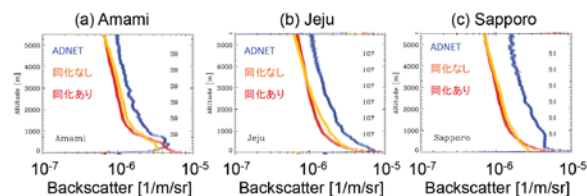


図 2 ライダー比の鉛直分布比較(データ同化なし、同化あり、ADNET による観測結果)。 (a) 奄美大島、(b) 济州島、(c) 札幌における結果。

また、データ同化に使用する観測データにも誤差が含まれる場合があり、この誤差はデータ同化システムの精度に影響を及ぼすため、本研究では同化シス

テムで利用する MODIS 衛星の光学的厚さ(海上)に含まれるバイアスを算出した。主に、雲量が多い場所や風速が強い場所で誤差が増える傾向がわかり、雲量と風速による補正関数を導入することで、MODIS の光学的厚みの改良を行った(図 3)。今後は、この補正を他の衛星にも適用し、データ同化のためのより良い観測結果を導出する。

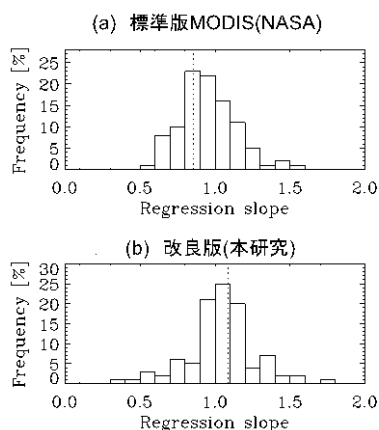


図 3

**AERONET 観測と MODIS 衛星によって得られた光学的厚さの比較。** 横軸は両者の相関係数、縦軸は規格化した頻度を表す。(a) NASA が配信する MODIS 標準版の結果、(b) 本研究における改良版。

#### 4. 今後の計画

本年度で、GOSAT チームが利用している現行の MIRIC-SPRINTARS に関して、その化学成分の高精度化が達成できた。しかし、ライダーと比較した結果から認識されたエアロゾルの鉛直分布の再現性の問題は、今後もモデル改良の点から取り組むべき課題となった。

今後は、改良した MIROC-SPRINTARS とエアロゾル同化システムの組み合わせを行い、GOSAT ミッションに対してより正確なエアロゾル情報を提供する研究と、逆に GOSAT のデータを本モデルと組み合わせることによって、より正確なエアロゾルの放射強制力の評価を試みる予定である。

#### 5. 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: 313 hours, 1 ノード: 7,116 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 7,429 hours

#### 6. 昨年度研究課題のまとめ

##### 6.1. 昨年度研究課題名

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

##### 6.2. 昨年度研究課題の目的

今年度と同様

##### 6.3. 昨年度研究課題の成果概要

前年度までに開発した CCSR/NIES/FRCGC-大気大循環モデル (MIROC-AGCM) と SPRINTARS エアロゾル放射モデル結合した全球エアロゾルシミュレーションシステムの性能の検証を AERONET スカイラジオメーター網のデータで行った。その結果、エアロゾルの光学的厚さ、オングストローム指数、一次散乱アルベドについて、改善されたモデル結果が標準版よりも実測値に近づくことを確認した。また、前年度までに開発したエアロゾル同化システムを MODIS 衛星と AERONET から得られる実データに適合して、システムの検証を行った。その結果、同化によってエアロゾルの光学的厚さとオングストローム指数の全球分布がより観測結果と整合的になることを確認した。今年度は、GOSAT/CAI エアロゾルからの成果物の初期的な結果も得られた。世界的にも GOSAT/CAI のみに搭載されている 380 nm バンドの放射輝度を含む 4 バンドから全球の海域と陸域でエアロゾルの光学的厚さが妥当に得られることを確認した。モデル値が観測値に近づくことを確認した。さらに、GOSAT/CAI 衛星データを想定したシミュレーションを行い、当初の期待したように、EKF 法によって、モデル結果が良い一致度で同化されることを確認した。

##### 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: 310 hours, 1 ノード: 25,522 hours, 2 ノード: 1 hour, 計: 25,832 hours

## 研究課題名：NICAM による雲降水システムの研究

課題代表者：東京大学大気海洋研究所 佐藤正樹  
 共同研究者：東京大学大気海洋研究所 柳瀬 亘・端野典平・Woosub Roh  
 実施年度：平成 23 年度～平成 23 年度

### 1. 研究目的

台風やスコールラインに代表される雲降水システムは、地球上の至るところにおいて様々な形態で発生している。地球環境が変化した場合には、雲降水システムに伴う豪雨や強風などの顕著現象の分布も変化し、人間社会に大きな影響を及ぼすと考えられる。また、雲降水システムに伴う潜熱解放や放射の変化は気候システムの重要なプロセスとして地球環境に影響がある。

本課題では、国立環境研究所のスーパーコンピュータを利用して、全球雲解像モデル NICAM(Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model; Satoh et al. 2008)を様々な実験設定で走らせることにより、雲降水システムの統計分布と基礎プロセスを理解することを目指す。従来の全球気候モデルは解像度や物理過程の扱いの点から、雲降水システムを明に表現することができなかった。しかし NICAM は高解像格子 (10km 以下) でのシミュレーションを前提とし、雲降水システムを明に表現するので、地球環境と雲降水システムとのフィードバックを解明するのに有用な手法である。また NICAM は、格子内での雲の分布を考えない雲微物理モデルを用いるため、人工衛星観測を用いた評価と改良が比較的容易である。その一方、多大な計算資源を必要とするので、スーパーコンピュータの利用は不可欠である。

### 2. 研究計画

今年度は、熱帯の雲降水システム・積雲クラスターのライフサイクルの再現性の改善を図り、力学と雲微物理過程の解析を行う。NICAM の大気熱力場と雲微物理量の出力から、衛星データシミュレーターを用いて、衛星で観測される物理量を再現し、実際の観測値と直接比較検証する。衛星としては、熱帯降水観測衛星 TRMM や A-train(Afternoon train)に含まれる雲レーダを持つ CloudSAT やライダーを備えた CALIPSO などを利用していく予定である。

### 3. 進捗状況

解析対象を熱帯 10S-10N、170E-190E に発生する雲降水システムを対象とし、NICAM を約 1 週間、積分する。水平格子を集中させるストレッチ格子の手法により、水平解像度を 3.5~5km に設定する。評価改良を行う雲微物理スキームは、雲水、雨、雲氷、雪、霰のカテゴリの質量を予報する 1-moment 法、NSW6(Tomita, 2008)である。衛星データシミュレーターとして、Satellite Data Simulation Unit (SDSU, Masunaga et al. 2010)を用いる。

TRMM 衛星を用いた雲解像度モデルの降水を伴う雲システムの評価方法として、T3EF(TRMM Triple Sensor Three-step Evaluation Framework, Matsui et al. 2009)が提唱されている。この手法は、降雨レーダによ

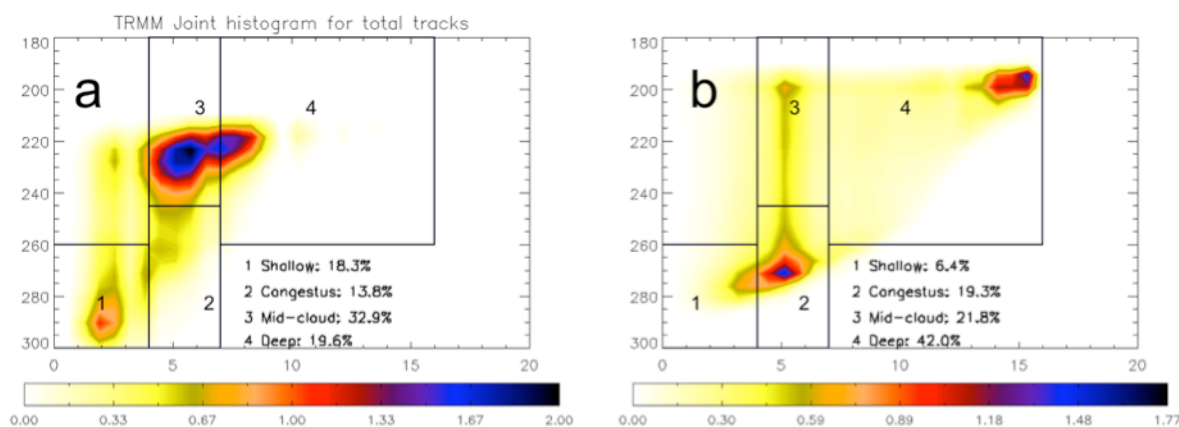


図 1 赤外輝度温度(y-axis)とレーダーエコー高度(x-axis)の Joint histogram。(a) TRMM 観測、(b) NICAM のコントロール計算。長方形内の数字は 4 つの降水を伴った雲の種類を表し、右下は発生頻度を示す。

って定義されるエコー頂高度と、赤外輝度温度の joint histogram を作ることで、雲の種類を定義し、発生頻度を評価することができる。図 1(a)には TRMM 衛星の観測を示し、図 1(b)は NICAM からの結果を示している。NICAM は、観測に比べ、深い対流を伴う降雨プロファイル(4)が多いこと、熱帯において中間高度に存在する congestus(2)と、深い層雲(3)の頻度が少ないこと、雲頂高度と降雨高度が高いことがわかる。

雲微物理を変化させた感度実験を行った結果、NSW6 の水粒子のカテゴリのうち、雪と霰の粒径分布がレーダーエコー頂高度 に大きな影響を与えることがわかり、雪の粒径分布の定数に飛行機観測に基づく経験式を用いた場合に、改善が見られた。

#### 4. 今後の計画

NICAM は観測に比べ、主に液相粒子を含む Congesuts(2)を過大評価しているため、雨の粒径分布の感度実験により改良を試みる。T3EF の次のステップとして、各雲タイプについての降雨レーダの高度分布解析とマイクロ放射計の頻度分布解析があり、逐次、こちらの評価を進めていく。また、高い雲頂高度のバイアスに関しては、雲水や雲氷の生成過程を見直す必要がある。NSW6 は、雲内での水蒸気量を、液相と固体相の飽和水蒸気圧を気温により重み付けした蒸気圧に、調整する。そして moist internal energy を保存するように雲水と雲氷を決定するが、物理過程に基づいた定式化と、比較する必要がある。

T3EF に見られる NICAM のバイアスについて、雲微物理以外の理由としては、境界層モデルや水平と鉛直の解像度の問題が挙げられる。順次、これらの感度実験と評価を行なってゆく。

#### 5. 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: 294 hours, 1 ノード: 0 hour, 2 ノード: 10 hours, 計: 304 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

今年度と同様だが、昨年度は台風の力学過程に焦点を合わせていた。

##### 6.3. 昨年度研究課題の成果概要

昨年度は 2008 年 6 月に発生した台風 Fengshen の進路の再現性に関する研究を行った。台風 Fengshen の

数値シミュレーションには、全球非静力学モデル NICAM を用いた。ストレッチ格子の手法により、台風の周りで水平格子間隔 14km の解像度で実験を行った。雲の微物理過程には NSW6 スキームを用い、積雲対流のパラメタリゼーションは用いずに雲降水システムを直接に表現した。境界層の乱流混合の表現には、MYNN スキーム(Nakanishi and Niino, 2009)を用いている。SX-8R により物理過程を変えた数多くの感度実験を行ったところ、乱流スキームにおいて水蒸気の混合の強さを変えた実験において結果が大きく異なることがわかった。混合が小さい実験(MIXS)と比較して、混合が大きい実験(MIXL)では、西北西進しながらフィリピンを通過する Fengshen の経路が再現されることがわかった(図 2)。Fengshen の北進成分には水平移流項が寄与する一方で、西進成分には台風中心の西側で活発な対流に伴う渦の引伸ばしが寄与していることがわかった。このことは台風の進路予報においても、雲降水システムの正確な表現が重要となる事例があることを示している。

#### 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: 0 hour, 1 ノード: 6,045 hours, 2 ノード: 4,702 hours, 計: 10,747 hours

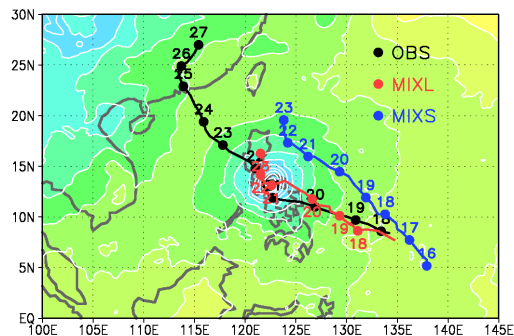


図 2 台風 Fengshen の移動経路。観測(黒)、実験 MIXL(赤)、実験 MIXS(青)。2 桁の数値 XY は日時を示す(6 月 XY 日 00UTC)。シェードは実験 MIXL の 6 月 21 日 00UTC の海面気圧分布。

## 研究課題名：非静力対流モデルを用いた湿潤大気構造の太陽定数依存性に関するパラメータ実験

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：九州大学大学院理学研究院 中島健介  
北海道大学大学院理学研究院 石渡正樹・小高正嗣・山下達也  
北海道大学低温科学研究所 杉山耕一朗  
神戸大学大学院理学研究科 高橋芳幸・西澤誠也・納多哲史  
実施年度：平成 23 年度～平成 23 年度

### 1. 研究目的

本課題の研究目標は、惑星大気を含む様々な状況における数値計算を通じて大気循環の多様性を探索し地球を含む湿潤大気構造に関する地球流体力学的考察を行うことである。このような研究目標のもとに、我々は大気大循環モデル (GCM) と非静力学対流モデルを中心としたモデル群の開発およびそれらを用いた基礎的実験を実施してきた。基礎的実験の主たるものは、水惑星設定における大気構造の太陽定数・日射分布依存性実験(Ishiwatari et al., 2007; 納多他, 2011)、火星大気を念頭に置いた主成分凝結対流実験であった(林他, 2010, スーパーコンピュータ利用年報)。しかし、これまでの基礎的実験では、放射過程として灰色放射あるいは一様冷却層など簡略化したもののみを用いており、雲と放射の相互作用は全く考慮していなかった。

本年度は、雲と放射の相互作用の効果も考慮したもとの湿潤大気放射対流平衡状態の多様性探索に向けた実験を行う。雲による放射吸収を考慮して放射対流平衡状態を求める試みは、既に Held and Hemler (1993) や Tompkins and Craig (1998) などにより行われてはいる。これらはいずれも地球的な状況を想定した数値計算を行ったものである。これに対して、我々は、地球条件に留まらず、暴走温室状態など仮想的な設定におけるパラメータ実験を通じて放射対流平衡状態の多様性を探索することを目指している。

本課題では、複数の吸収気体と雲粒による吸収散乱を考慮した、現実の地球の放射過程に近づけた放射スキームを非静力学対流モデルに導入する。現在の地球の太陽定数の値を用いた実装実験をおこなった後に、様々な太陽定数を与えた実験をおこない大気構造の太陽定数依存性を調査する。

### 2. 研究計画

昨年度課題で整備・実装実験を行った非静力学対流モデル `deepconv` に Chou et al. (1998) 及び Chou et al. (2001) に基づく放射スキームを導入する。`deepconv` の基礎方程式は Klemp and Wilhelmson (1978) に基づく

準圧縮系方程式である。導入する放射スキームは、我々の大気大循環モデル `dcpam5` に実装されているものであり、短波 11 バンド、長波 10 バンドを用いて、水蒸気、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_3$ 、雲による吸収を考慮する。

上記モデルの実装実験として、2 次元領域において現在の地球の太陽定数を与えた場合について以下の 2 種の比較実験をおこなう。1 つは、放射スキームを用いて陽に冷却率を計算する場合と、冷却率鉛直分布を固定した場合 (Nakajima and Matsuno, 1988 など) との比較実験である。もう 1 つは、雲による放射吸収の効果がある場合と、雲の光学的厚さを強制的にゼロとして雲による放射吸収の効果を無くした場合との比較実験である。計算領域の大きさは、鉛直方向に 30km、水平方向には 500km から 4,000km とする。これらの実装実験によりモデルの振舞いを掌握した後に、様々な太陽定数の値を与えた場合についての数値実験に進む。

### 3. 進捗状況

これまでに、2 節で述べた放射スキームの `deepconv` への実装までをおこない、同一放射スキームを用いた GCM と非静力学対流モデルの比較実験に向けてのモデル整備を進めることはできた。しかし、放射スキームの実装作業において `deepconv` の力学コアに新たに発見された不具合に対処する必要があったことなどにより、本格的な数値実験を開始するには至っていない。

### 4. 今後の計画

2 節で記述した実装実験を実施し、雲と放射の相互作用を考慮した場合に Nakajima and Matsuno (1988) と同様の結果が得られるかどうかを確認する。水平方向 500km の小領域実験から開始し、順次領域を広げた実験をおこなっていく。

### 5. 計算機資源の利用状況

実行ユーザ数：9, CPU 時間 1 ノード未満: 1,577 hours, 1 ノード: 0 hour, 2 ノード: 0 hour, 計: 1,577 hours



## 6. 昨年度研究課題のまとめ

### 6.1. 昨年度研究課題名

湿潤惑星大気用数値モデル群の開発および基礎的実験

### 6.2. 昨年度研究課題の目的

惑星気候の多様性を探索する調査として、同期回転惑星の全球循環と凝結性成分を主成分とする大気中の雲対流に関する数値実験を行った。同期回転惑星とは自転周期と公転周期が等しい惑星であり、系外惑星の 1 つの姿であると考えられている。ここでは、昼半球と夜半球が恒常的に存在する水惑星 GCM を用いた数値実験を行った。一方、凝結性成分を主成分とする大気中の雲対流は、火星における雲対流を念頭においたものである。非静力対流モデルを用いた数値実験により、二酸化炭素のみから成る大気における循環構造および雲分布を求めた。

### 6.3. 昨年度研究課題の成果概要

GCM を用いた同期回転設定における数値実験に関しては、一昨年末までは、T21 の低解像度モデルを用いた自転角速度依存性の調査に留まっていた。昨年度は T85 から T319 までの高解像度実験を行い、分解能依存性の調査を行った。その結果、表面温度分布も降水分布もともに解像度によらず同じパターンを示した(図 1 には表面温度分布のみを示す)。モデルにおける小スケールの混合過程の詳細は、同期回転水惑星設定における気候学的状態に対して大きな影響をもっていないという結果となった。雲の存在しない簡単な設定での探索的計算は昨年度でおおむね完了したものととして、本年度より雲の放射吸収の効果を考慮した数値実験へと移行している。

非静力学対流モデルを用いた主成分凝対流実験に関しては、一昨年末までは統計的平衡状態を得ることができないでいた。昨年度はその原因となっていたモデルコードの不具合を修正した上で再計算をおこなった。水平 50 km、鉛直 20km の 2 次元矩形領域において飽和に達すると凝結が起こると仮定した場合について統計的平衡状態を得ることができた。得られた平衡状態では、高度 7km 以下の下層に乾燥領域、7km 以上の領域ではほぼ水平一様な雲層が形成された(図 2a)。しかし、乾燥領域と雲層で循環は分割されずに 1 セルの循環構造が得られた(図 2b)。

### 6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数:7, CPU 時間 1 ノード未満: 945 hours, 1 ノード: 2,167 hours, 2 ノード: 153 hours, 計: 3,265 hours

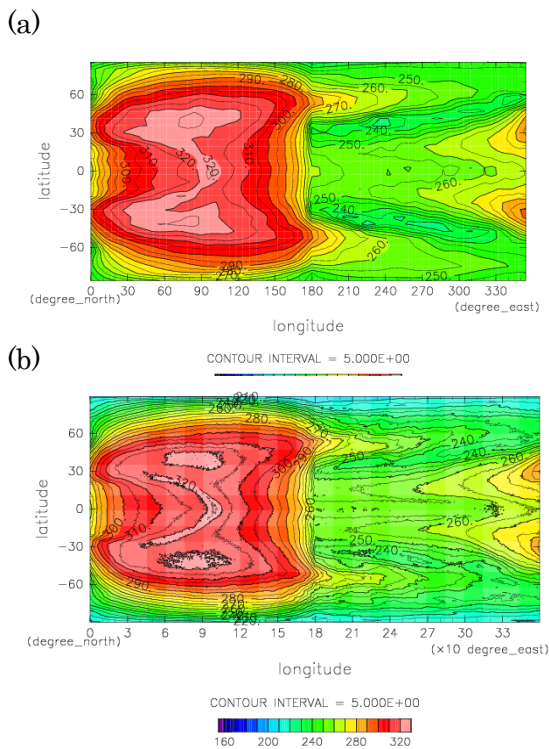


図 1 同期回転惑星設定における GCM 計算で得られた表面温度分布。(a) T21 の場合。(b) T319 の場合。等値線間隔は 5 [K]。

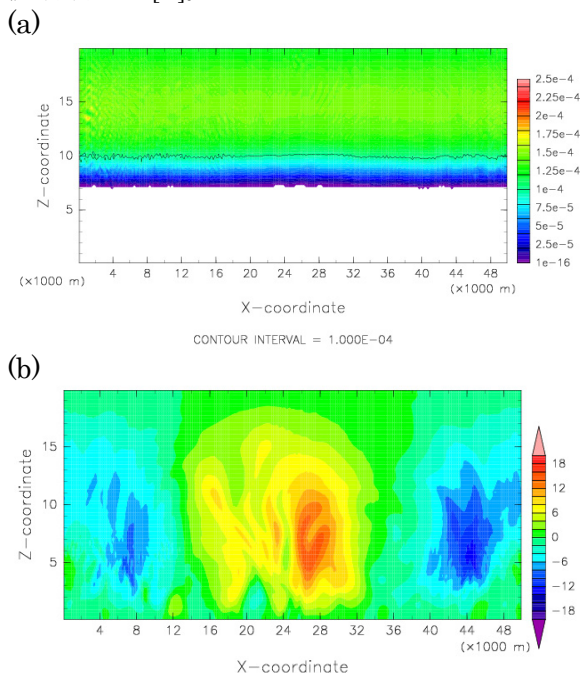


図 2 主成分凝結対流計算の結果。(a) 雲密度。単位は  $[Kg\ m^{-3}]$ 。(b) 鉛直速度。単位は  $[m\ sec^{-1}]$ 。いずれも 4 日目のスナップショットを示す。

## 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：東京大学大気海洋研究所 阿部彩子  
 共同研究者：東京大学大気海洋研究所 吉森正和・陳 永利・浅田真也・住吉政一郎・若松俊哉  
 実施年度：平成 23 年度～平成 23 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 動態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、古気候の中では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。また全球気温変化を決めるフィードバック過程などに関する解析を行って変動特性を明らかにしていく。本年度は特に、昨年度までの研究で残された課題の 1 つである将来の温暖化と最終氷期最盛期(LGM)における雲のフィードバックメカニズムの違いを理解するために必要な実験を行い、また将来起こるであろうと予測されている海水分布や海水温の変化が極域、特に氷床にもたらす影響について数値実験を通して調べる。

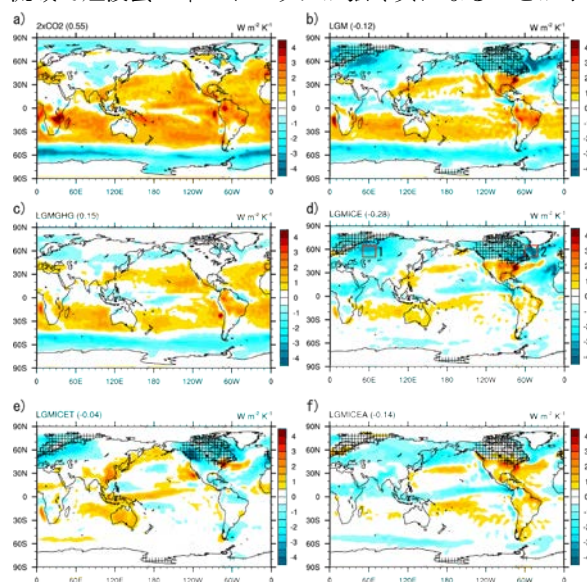
### 2. 研究計画

LGM では外部フォーシングとして主に、温室効果ガスの変化と氷床の存在がある。気候モデル MIROC の大気大循環-海洋混合層モデルを用いた温室効果ガスのみを変えた実験(LGMGHG)については既に昨年度までに行われている。今年度はさらに氷床の存在の影響のみを取り出すために、氷床のみを外部フォーシングとして与えた実験(LGMICE)、氷床の分布(アルベドの変化)のみを外部フォーシングとして与えた実験(LGMICEA)、アルベドは変えずに、氷床の高度情報のみを外部フォーシングとして与えた実験(LGMICET)などを行う。これらの実験の雲フィードバックの違いを調べることによって、それぞれの外部要因により生じる雲変化のメカニズムについて研究する。

また、大気大循環モデル(AGCM)に、将来予想される代表的な海水分布などを外部境界条件として与えることによって、それらが極域氷床の質量収支に与える影響を調べる。

### 3. 進捗状況

研究計画の前半部分の LGM に関する外部フォーシングの切り分け実験を行った。各実験は約 60 年積分を行った。解析は現在進行中であるが、高緯度の負の短波雲フィードバックは LGM 氷床のアルベドによって引き起こされ、高い氷床の存在により LGM 氷床の下流域で短波雲フィードバックが強く負になることが示



された(図1)。

図1 APRP 法によって推定された標準実験に対する雲の短波領域におけるフィードバック。安定した最後の30年を解析に用いた: a) 2xCO<sub>2</sub>; b) LGM; c) LGMGHG; d) LGMICE; e) LGMICET; and f) LGMICEA 実験。値はa)については2xCO<sub>2</sub> 実験、b)-f)についてはLGM 実験の全球平均気温変化で規格化されている。括弧内の数字は全球平均値を示す。LGM の氷床には陰影がかけられている。

### 4. 今後の計画

LGM の雲フィードバックについては、モデル内の雲生成消滅項を解析することによりメカニズムの詳細に踏み込んで調べる。

AGCM を用いた海水分布などに関する感度実験については、使用する海水分布などのモデルの境界条件を作成し、数値実験を実際に行う。

## 5. 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: 1,619 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 1,619 hours

## 6. 昨年度終了研究課題のまとめ

### 6.1. 昨年度終了研究課題名

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. 昨年度終了研究課題の目的

260 万年前頃に始まった第四紀の氷期・間氷期サイクルは、主に約 4 万 1 千年周期の変動を繰り返した後、100 万年前頃からは主に約 10 万年周期で変動を繰り返している。これまで、気候モデルや氷床モデルに地球の軌道要素の変動による日射や温室効果ガスのデータを与えることによって、数万年以上の時間スケールでの氷床変動について多くの研究がなされてきた。一方、10 万年周期の氷期・間氷期サイクルの中には、ダンスガード・オシュガー (D-O) イベントと呼ばれる、比較的ゆっくりとした寒冷化とその後の急激な温暖化で特徴付けられる数千年スケールの気候変動が古気候指標を通して観測されている。この変動そのもののメカニズムを理解することと、この変動が氷床の成長や縮小に与える影響を調べることは、氷期サイクル、さらには気候システムの振る舞いを理解する上で重要であるが、現実的なモデルを使った定量的な研究例は非常に少ない。本研究では、数千年スケールの気候変動が氷床に与える影響を調べる。

### 6.3. 昨年度終了研究課題の成果概要

本研究では淡水流入実験から得られた気候変動を数千年スケールの気候変動と仮定し、氷床モデルに数千年スケールの気候変動を入力し、その影響を調べた。日射量変動の 2 万年周期の極小期には成長を促進させる効果があり、極大期には氷床の退氷を促進させる効果があることがみられた。したがって、氷床変動の 2 万年周期の振幅を大きくさせることがわかった。また、日射量変動が小さい期間では数千年スケールの気候変動の寒冷化により氷床は成長、温暖化により氷床は後退する。数千年スケールの気候変動に顕著に反応する影響がある。以上の効果はどの氷期間氷期サイクルでも同様の影響があることがわかった。また、タイミングによって氷床量の大きさに違いを生じさせるが、周期や頻度に依らず本質的な氷床への影響は同じである。

自転軸の傾きにより日射量変動が小さい数千年スケ

ールの気候変動が連続して起こる期間では数千年スケールの気候変動の温暖化により、氷床が融解水を放出することがみられた。連続して数千年スケールの気候変動が起こっているため、融解水放出の後、寒冷化の前に融解水が起こっている。この結果は、仮定して入力した数千年スケールの気候変動実験と整合的な結果である。よって連続的に起こる数千年スケールの気候変動は氷床から流出する融解水から起こることが示唆された。

数千年スケールの気候変動が連続的に起こるメカニズムとして、以下のような仮説が示唆される。

1. 日射量増加などにより北半球氷床が北大西洋域に淡水を流入する
2. 海洋循環が低下し、北半球への熱の流入が低下する
3. 北半球が寒冷化
4. 氷床が融解が止まる、または成長し、淡水の流出を止める
5. 海洋循環が回復し、北半球への熱の流入が回復する
6. 北半球が温暖化
7. 北半球氷床が融解し、次の D-O イベントを引き起こす (2 に戻る)

また、理想化した周期的な気候変動を与えた結果、数千年スケールの気候変動の起こりやすい時期が日射量の極大期やその前後、さらに D-O イベントが実際に頻繁に起きた MIS3 (海底堆積物同位体ステージ 3) であることが示唆された。

### 6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数:8, CPU 時間 1 ノード未満: 1,548 hours, 1 ノード: 3,258 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 4,806 hours







**独立行政法人国立環境研究所  
地球環境研究センター研究支援係**

〒305-8506  
茨城県つくば市小野川 16-2  
TEL 029-850-2409  
FAX 029-858-2645  
E-mail [cgersc@nies.go.jp](mailto:cgersc@nies.go.jp)  
<http://www.cger.nies.go.jp>