

平成24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 24 (2012) 年 12 月 11 日 (火) 13:00~17:30

於 独立行政法人国立環境研究所
地球温暖化研究棟 1 階 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 : 4.096TFLOPS

主記憶容量 : 64GB×8 ノード、128GB×8 ノード

平成 24 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 24 年 12 月 11 日（火）13:00～17:30

場所：独立行政法人国立環境研究所

地球温暖化研究棟 1 階 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 **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：塩竈 秀夫（国立環境研究所 地球環境研究センター）
報告者：小倉 知夫（国立環境研究所 地球環境研究センター）
- 13:35～13:50 **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**
課題代表者および報告者：永島 達也（国立環境研究所 地域環境研究センター）
- 13:50～14:05 **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**
課題代表者および報告者：秋吉 英治（国立環境研究所 地球環境研究センター）
- 14:05～14:20 **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**
課題代表者および報告者：柴田 清孝（気象研究所 環境・応用気象研究部）
- 14:20～14:35 **風波乱流中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）
- 14:35～14:50 **系外惑星大気シミュレーションモデルの開発：ダスト過程の実装と火星大気実験**
課題代表者および報告者：石渡 正樹（北海道大学大学院 理学研究院）
- 14:50～15:05 **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**
課題代表者および報告者：Shamil Maksyutov（国立環境研究所 地球環境研究センター）
- 15:05～15:25 **Coffee Break**
- 15:25～15:40 **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：幸 昭（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（国立環境研究所 地域環境研究センター）
- 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 **全球気候モデル MIROC への新規陸域モデルの結合とその大気陸域相互作用研究への応用**
課題代表者および報告者：花崎 直太（国立環境研究所 地球環境研究センター）

- 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）
- 16:40～16:55 **全球多媒体モデルを用いた塩素・臭素系有機汚染物質の動態の評価に関する研究**
課題代表者および報告者：河合 徹（国立環境研究所 環境リスク研究センター）
- 16:55～17:25 **総合討論**
- 17:25～17:30 **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）

* なお、18:00 より懇親会（会費制）を開催の予定です。

発表要旨目次

| | |
|--|----|
| 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..... | 1 |
| 塩竈 秀夫 ¹ ・野沢 徹 ¹ ・ [○] 小倉 知夫 ¹ ・横畠 徳太 ¹ ・石崎 安洋 ¹ ・加藤 悦史 ¹ ・阿部 学 ² ・木本 昌秀 ³ ・渡部 雅浩 ³ ・羽角 博康 ³ ・野中 (荒井) 美紀 ³ ・森 正人 ³ | |
| (¹ 国立環境研究所地球環境研究センター、 ² 国立極地研究所北極観測センター、 ³ 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 ¹ ・竹村 俊彦 ² ・須藤 健吾 ³ ・井上 忠雄 ³ ・関谷 高志 ³ ・五藤 大輔 ¹ ・長谷川 晃一 ⁴ ・榊原 篤志 ⁴ | |
| (¹ 国立環境研究所地域環境研究センター、 ² 九州大学応用力学研究所、 ³ 名古屋大学大学院環境学研究科、 ⁴ 株式会社中電シーティアーアイ制御システム部) | |
| 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..... | 5 |
| [○] 秋吉 英治 ¹ ・山下 陽介 ¹ ・菅田 誠治 ² ・高橋 正明 ³ ・中村 哲 ⁴ | |
| (¹ 国立環境研究所地球環境研究センター、 ² 国立環境研究所地域環境研究センター、 ³ 東京大学大気海洋研究所、 ⁴ 北海道大学大学院地球環境科学研究院) | |
| 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..... | 7 |
| [○] 柴田 清孝・出牛 真 | |
| (気象研究所環境・応用気象研究部) | |
| 風波乱流中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..... | 8 |
| 小森 悟 ¹ ・ [○] 黒瀬 良一 ¹ ・高垣 直尚 ¹ ・大原 利真 ² | |
| (¹ 京都大学大学院工学研究科、 ² 国立環境研究所地域環境研究センター) | |
| 系外惑星大気シミュレーションモデルの開発：ダスト過程の実装と火星大気実験..... | 10 |
| [○] 石渡 正樹 ¹ ・林 祥介 ² ・中島 健介 ³ | |
| (¹ 北海道大学大学院理学研究院、 ² 神戸大学大学院理学研究科、 ³ 九州大学大学院理学研究院) | |
| 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 to inverse estimation of greenhouse gas fluxes) | 12 |
| [○] Shamil Maksyutov ¹ ・金 憲淑 ¹ ・佐伯 田鶴 ¹ ・白井 知子 ¹ ・高木 宏志 ¹ ・Mohammed Hayyan Alsibai ¹ ・Rajesh Janardanan ¹ ・石澤 みさ ¹ ・横井 孝暁 ¹ ・Dmitry Belikov ² ・峰島 知芳 ³ ・小田 知宏 ⁴ ・齊藤 誠 ⁵ ・Vinu Valsala ⁶ | |
| (¹ 国立環境研究所地球環境研究センター、 ² 国立極地研究所北極観測センター、 ³ 東京農工大学、 ⁴ Cooperative Institute for Research in the Atmosphere、 ⁵ Laboratoire des Science du Climat et de l'Environnement、 ⁶ Indian Institute for Tropical Meteorology) | |

| | |
|--|----|
| GOSAT データ処理運用システムの定常運用および維持改訂 | 14 |
| 渡辺 宏・横田 達也・Shamil Maksyutov・ [○] 幸 昭・河添 史絵・林 謙二・石原 博成・信田 浩司・宮坂 隆之・國島 和・松澤 邦裕・川崎 裕之・小島 伸 一・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) | |
| 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 | 16 |
| 中島 映至 ¹ ・鶴田 治雄 ¹ ・打田 純也 ¹ ・及川 栄治 ¹ ・ [○] 五藤 大輔 ² ・Nick Schutgens ³ ・中田 (向井) 真木子 ⁴ (¹ 東京大学大気海洋研究所、 ² 国立環境研究所地域環境研究センター、 ³ University of Oxford, Clarendon Laboratory、 ⁴ 近畿大学総合社会学部) | |
| NICAM による雲降水システムの研究 | 18 |
| 佐藤 正樹・ [○] 端野 典平・Woosub Roh (東京大学大気海洋研究所) | |
| 全球気候モデル MIROC への新規陸域モデルの結合とその大気陸域相互作用研究 への応用 | 20 |
| [○] 花崎 直太 ¹ ・伊藤 昭彦 ¹ ・山田 朋人 ² ・鼎 信次郎 ³ ・沖 大幹 ⁴ (¹ 国立環境研究所地球環境研究センター、 ² 北海道大学大学院工学研究院、 ³ 東京工業大学大学院情報理工学研究科、 ⁴ 東京大学生産技術研究所) | |
| 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 | 22 |
| 阿部 彩子 ¹ ・ [○] 吉森 正和 ¹ ・Wing-Le Chan ¹ ・山本 彬友 ¹ ・小澤 祐介 ¹ ・小長谷 貴志 ¹ ・シェリフ 多田野 サム ¹ 、大石 龍太 ² ・市野 美夏 ² (¹ 東京大学大気海洋研究所、 ² 国立極地研究所北極観測センター) | |
| 全球多媒体モデルを用いた塩素・臭素系有機汚染物質の動態の評価に関する研究 | 24 |
| [○] 河合 徹・鈴木規之 (国立環境研究所環境リスク研究センター) | |

([○]印は発表者)

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・小倉知夫・横島徳太・石崎安洋・加藤悦史

国立極地研究所北極観測センター 阿部 学

東京大学大気海洋研究所 木本昌秀・渡部雅浩・羽角博康・野中（荒井）美紀・森正人

実施年度：平成 24 年度～平成 24 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。

2. 研究計画

今年度は、MIROC シリーズの大気モデルを用いて、気候感度（CO₂ 濃度 2 倍増に対する全球平均地上気温上昇量）の不確実性に関する研究を集中的に行う。気候感度の大きさは、フィードバック（全球平均気温の上昇に伴って、気候場・放射場が変わり、気温上昇を増幅・抑制するプロセス）と放射強制力（CO₂ 濃度増加直後に放射バランスが変化するプロセス）の強さによって決まる。このフィードバックと放射強制力の不確実性をそれぞれ調べるために、下記の長期積分と短期積分の 2 種類の実験を行う。

長期積分：フィードバックの物理スキームの違いによる不確実性と物理パラメータによる不確実性を切り分けるために、MIROC3 と MIROC5 の複数の物理スキームを交換した 8 バージョンの大気モデルを用いて、物理パラメータを不確実性の範囲内で（21 回）走査する「マルチパラメータ・マルチ物理実験」を実施する（全 168 メンバー）。それぞれのメンバーは、コントロール、海面水温上昇、CO₂ 濃度 4 倍増の 3 実験×6 年積分から構成される。

短期積分：CO₂ 濃度増加直後の気候場・放射場の時間変化を詳しく解析するために、MIROC5 を用いて、異なる初期値から始めた 10 日間積分を大量に実行し、3 時間解像度のデータを出力する。初期値は、客観解析データから作成し、そこから手を離す「週間予報モード」といわれる設定でコントロール実験と CO₂ 濃度 4 倍増実験を行う。

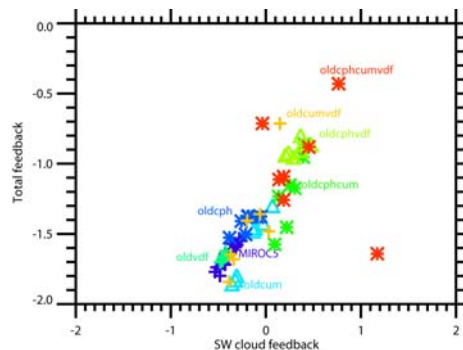


図 1 マルチパラメータ・マルチ物理アンサンブルのトータル・フィードバック（縦軸、W/m²/K）と雲短波フィードバック（横軸、W/m²/K）。各モデルの説明は講演で行う。

3. 進捗状況

物理スキームを交換した 8 モデルの物理パラメータを走査する実験を実施中である。図 1 にトータル・フィードバックの強さと雲短波フィードバック（地上気温の変化に伴い雲が変わり、地上に届く短波放射量が変化することによって、地上気温変化を増幅・抑制するプロセス）の強さを示す。トータル・フィードバックのばらつきが、雲短波フィードバックのばらつきと良い相関がある。物理スキームの不確実性も物理パラメータの不確実性も、どちらも大きいことがわかる。短期実験からは、CO₂ 濃度増加後 5–10 日間程度での雲の分布などが大きく変化することがわかった。

4. 今後の課題

今後、マルチパラメータ・マルチ物理実験に関してはアンサンブル数を増やしていく。また短期実験に関しては、観測と比較した予報誤差が、CO₂ 濃度増加時の放射強制力とどのような関係にあるかを調べる。

5. 計算機資源の利用状況（2012 年 4 月～9 月）

実行ユーザ数: 12 CPU 時間 1 ノード未満: 82 hours,
1 ノード: 99,027 hours, 2 ノード: 115,330 hours, 計:
225,271 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

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

6.2. 昨年度終了研究課題の目的

今年度と同様。

6.3. 昨年度終了研究課題の成果概要

大気海洋結合モデル MIROC シリーズを用いて、気候感度と 10 年スケールおよび季節スケールの内部変動の予測不確実性に関する研究を行った。

気候感度に関しては新旧バージョン (MIROC5 と MIROC3) で瞬時に CO₂濃度を 4 倍にする実験を行い、中層雲の振る舞いの違いが気候感度に大きな差を生じさせることを明らかにした。さらに、MIROC5 を用いて、物理パラメータを不確実性の範囲内で走査する、物理パラメータアンサンブル実験を行なった (図 2)。全てのアンサンブルメンバーが負の雲短波フィードバックをもつため、高い気候感度が現れないことがわかった。加えて、複数の物理スキームを MIROC5 から MIROC3 の物に変更するマルチ物理アンサンブル実験を実行し、雲スキーム+積雲対流スキームまたは雲スキーム+境界層スキームを交換した場合に、温暖化時の雲の応答パターンが変わり、気候感度が大きく変わることを示した (図 3)。

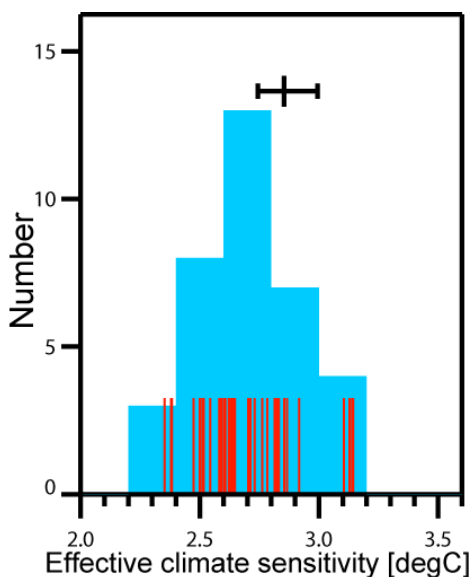


図 2 MIROC5 物理パラメータアンサンブル実験における気候感度のヒストグラム [°C]。赤線は各メンバー。黒のエラーバーは標準設定モデルの 10-90% 不確実性をブートストラップ法で求めたもの。

今年度課題では、昨年度終了課題で開発したマルチ物理アンサンブルの 8 モデルを利用して、それぞれの物理パラメータを走査するマルチパラメータ・マルチ物理実験を行っている。

一方、10 年規模内部変動に関しては、海水温度・塩分の歴史的観測データを同化し、ハインドキャスト実験を行った。観測データと比較した結果、熱帯大西洋の南北モードと呼ばれる内部変動に 1 年を超える予測可能性があることが分かった。

季節予測に関しては、MIROC5 を用いてエルニーニョ・南方振動現象の季節予測実験を行い、6 ヶ月以内の予測に関して、他機関のモデルと比較して高い予測スキルをもつことを示した。

今年度は、季節予測実験で開発したシステムを用いて、積分期間 10 日間の週間予報モードで CO₂濃度を 4 倍増させた実験を行い、数日スケールでの気候場・放射場の応答を解析している。

6.4. 昨年度までの計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 17 CPU 時間 1 ノード未満: 14hours, 1 ノード: 63,341 hours, 2 ノード: 170,773 hours, 計: 234,127 hours

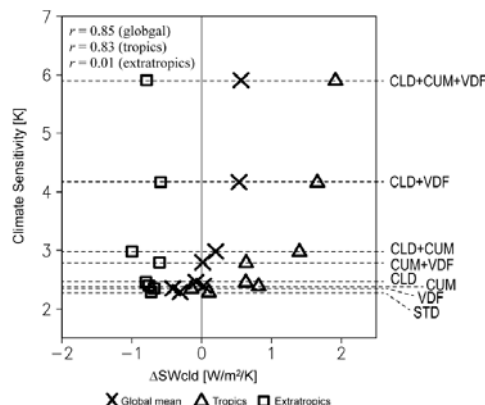


図 3 マルチ物理アンサンブルの気候感度 (縦軸) と雲短波フィードバック (横軸)。STD=MIROC5 標準モデル、VDF=境界層スキーム交換モデル、CUM=積雲対流スキーム交換モデル、CLD=雲スキーム交換モデル、CUM+VDF=積雲対流+境界層スキーム交換モデル、CLD+CUM=雲+積雲対流スキーム交換モデル、CLD+VDF=雲+境界層スキーム交換モデル、CUM+CLD+VDF=積雲対流+雲+境界層スキーム交換モデル。

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
 国立環境研究所地域環境研究センター 五藤大輔
 株式会社中電シーティーアイ 制御システム部 長谷川晃一・榊原篤志

実施年度：平成 24 年度～平成 24 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。更に、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

全球規模の対流圏・成層圏大気化学・エアロゾルモデル（地球システム統合モデル：MIROC-ESM）を用いて、現状（2005 年）相当の大気汚染物質（エアロゾルやオゾン前駆気体）エミッションを与えた実験と、2030 年を想定した 3 種類（①現状政策（Current Legislation：CLE）、②二酸化炭素換算濃度 450ppm 安定化（450ppm）、③最大限削減（Maximum Feasible Reduction：MFR））のシナリオ実験を行い、各シナリオによる放射強制力の変化を評価する。また同時に、東アジアにおける大気質の変化についても評価し、気候変化、大気質変化の両面から各シナリオの検討を行う。なお、大気質に関して評価を行う対象は、主にオゾン及びエアロゾル（PM2.5）を想定している。

3. 進捗状況

水平分解能 T42（格子長≒300 km）の MIROC-ESM を用いて、2005 年相当+2030 年相当 3 シナリオ、の合計 4 種の実験を行った。温暖化や大気汚染に対する特段の対策を考慮しない CLE シナリオでは、2005 年に比べて大気汚染物質の放出量に大きな変化はなく、地球温暖化緩和のための有効なシナリオとして頻りに引き合いに出されている 450ppm シナリオでは、多くの大気汚染物質において全球積算した放出量が 1 割ほど小さくなっている。一方、MFR シナリオでは、二酸化炭素の放出量が 2005 年に比べて 1/3 以下になるなど、大気汚染物質の削減量が非常に大きく見積もられている。下図に各シナリオで計算された、全球平均した放射強制力の 2005 年からの変化を示した。450ppm や

MFR シナリオでは、メタン（CH₄）やオゾン（O₃）の減少によって負の放射強制力（冷却効果）が現れているが、一方でエアロゾルの減少に伴う冷却効果の減少も著しく、これによる正の放射強制力がかなり大きくなっている。これらが互いに打ち消しあい、CH₄、O₃、エアロゾルを合わせた短寿命気候強制要素（SLCFs）による正味の直接的な放射強制力は大きな値にはなたないが、エアロゾルの間接効果が減ることによる正の放射強制力まで含めると SLCFs の削減によって温暖化が逆に促進される可能性を示唆する結果となった。

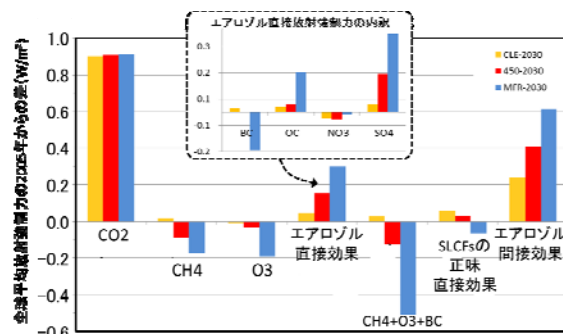


図 各シナリオにおける放射強制力の変化 (2030-2005)

4. 今後の計画

今回示された SLCFs の削減策による正の放射強制力の強化は、エアロゾルが減少することによって冷却効果が失われる事が原因であった。しかしそうした効果の定量的な評価には、多くの不確実性があり、それらを考慮した上で、各シナリオの検討を行う必要がある。エアロゾルの光学特性パラメータに関する依存性を調査したり、間接効果の取り込み方による違いを評価するなど、が次のステップとして考えられる。また、各シナリオの東アジア大気質への影響評価を進める予定である。

5. 計算機資源の利用状況 (2012 年 4 月～9 月)

実行ユーザ数: 8, CPU 時間 1 ノード未満: 16 hours, 1 ノード: 14,990 hours, 2 ノード: 50,642 hours, 計 65,648 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

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

6.2. 昨年度終了研究課題の目的

今年度と同様。

6.3. 昨年度終了研究課題の成果概要

本課題では、対流圏化学輸送モデル CHASER、対流圏エアロゾル輸送モデル SPRINTARS、地球システム統合モデル MIROC-ESM の 3 モデルを用いて、広域大気汚染とその気候影響に関する研究を行った。以下に得られた代表的な成果を列記する。

(1) 日本の地表オゾンに関する発生源別寄与率の長期変化の評価

CHASER を用いたタグ付きトレーサー実験を 1980 年から 2005 年の 26 年間について行い、日本の地表オゾンに関する発生源別寄与率の長期変化を評価した。モデルは、同期間で観測された日本域での地表オゾン増加トレンドを過小評価気味ではあるが再現し（観測：0.32ppbv/年、モデル：0.23ppbv/年）、この日本の地表オゾン増加トレンドに対する、オゾンの各発生源領域からの寄与の長期変化の特徴は以下のようにまとめられた。年平均した寄与は、日本、成層圏、自由対流圏、遠方の北半球中緯度（北米、欧州等）の順番に大きく、それらに続くのが、欧州・北米、中国であるが、この両者の大小関係は、26 年間で大きく変化した。すなわち、1980 年代では欧州・北米>中国であるが、1990 年代の半ばには両者の寄与はほぼ等しくなり、その後は中国>欧州・北米、となった。計算された日本の地表オゾン増加率に対する、各発生源領域起源オゾンの増加トレンドの比を計算すると、この 26 年における地表オゾンの増加トレンドに関しては、中国の上空で作られたオゾンの増加が最も大きく寄与しており、増加トレンドの約 40%はこれで説明出来ることが分かった。また、日本国内及び朝鮮半島で作られたオゾンにも増加傾向があり、それぞれ 1 割程度の寄与を示している事が分かった。

(2) 手法の相違による地表オゾンの発生源別寄与率評価の違い

CHASER による発生源別寄与率評価を二つの手法（タグ付トレーサー法、エミッション感度法）を用いて行い、その結果を詳しく比較した。特に、東アジア

の地表オゾンに対する、遠方領域（欧州や北米）起源の寄与に関して解析を行った結果、両手法による寄与の評価結果には、季節ごとに若干の違いが見られるものの、概してほぼ同じような値を示すことが分かった。しかし、例えば欧州起源オゾンの寄与に関して、タグ付きトレーサー法による評価（欧州内で生成されたオゾン）とエミッション感度法による評価（欧州で排出されたオゾン前駆気体から生成されたオゾン）の共通する部分、つまり、欧州で排出されたオゾン前駆物質から欧州内で生成されたオゾンの割合は季節によって異なっており、秋・冬の寒候期にはその共通部分が約 7 割を占めるものの、夏には 4 割と半分以下になっていた。この結果から、両手法による地表オゾンの推定値は同じような値を示すものの、その中身は大きく異なり得ることが示された。

(3) MIROC-ESM を用いた短寿命気候影響物質の放射強制力評価

MIROC-ESM を用いて、1850 年と 2000 年相当のエアロゾルやオゾン前駆気体エミッションを与えた実験を行い、この間の放射強制力を評価した。この際、土地利用形態の変化（森林→農地など）による植物起源の揮発性有機化合物のエミッション変化とそれに伴う二次有機エアロゾル（SOA）の変化も考慮に入れている。計算の結果、オゾン（O₃）や黒色炭素粒子（Black Carbon: BC）による大気の加熱、硫酸塩や硝酸塩などの吸湿性エアロゾルによる冷却が顕著であることが分かった（直接+間接効果合計で全球平均約-1.5W/m²）。また、土地利用変化に伴う SOA の変化はインド・中国などのアジアや北米で顕著な加熱を示し、全球平均への寄与も+0.5W/m² という比較的大きな値となった。また、O₃ と BC による放射強制力への寄与を合わせると、全球平均で二酸化炭素による加熱効果の約半分に達すると見積もられた。]

(4) その他

SPRINTARS や MIROC-ESM を用いて、各種のモデル相互比較プロジェクト（AeroCom、HTAP、ACCMIP）のプロトコルに準拠した数値実験を行い、提出されたデータは数多くの論文で利用され、解析されている。

6.4. 昨年度までの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: 7 hours, 1 ノード: 40,264 hours, 2 ノード: 59,270 hours, 計: 99,541 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 山下陽介
 国立環境研究所地域環境研究センター 菅田誠治
 東京大学大気海洋研究所 高橋正明
 北海道大学大学院地球環境科学研究院 中村 哲

実施年度：平成 24 年度～平成 24 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。今年度は次期 CCMVal (CCMVal3) への準備として、旧モデルで行った化学気候モデルによる過去再現実験(REFB1 実験)と同様な実験を、開発した MIROC3.2 化学気候モデルで行い、太陽活動 11 年周期、QBO、火山爆発の影響を受けつつ進行するオゾン破壊の推移などについての性能を確認する。また、前回の CCMVal (CCMVal2、WMO オゾンアセスメントレポート 2010 に引用されている)で行った旧モデルによる実験の解析をさらに進め、海表面温度の違いが成層圏へ及ぼす影響、およびオゾン層破壊物質(ODS)と温暖化ガス(GHG)を極端に変化させた実験についての解析を行う。

3. 進捗状況

(1) MIROC3.2 化学気候モデルで過去再現実験(REFB1 実験)を行った。このシミュレーションには、太陽活動 11 年周期、QBO、火山爆発の影響が含まれている。図 1 に、高緯度におけるオゾン全量の年最小値の経年変化を、旧モデルによる結果および TOMS による観測データとともに示す。旧モデルでは、最低値の値が観測値よりも高く、1980 年以降のオゾンホール発達期におけるトレンドが小さかったが、MIROC3.2 化学気候モデルではこれらの不具合はほぼ解消されている。しかしながら、グローバル平均でのオゾン全量が観測より若干高い問題が依然としてある。昨年度は、太陽活動

11 年周期、QBO、火山爆発の影響のない将来予測実験(REFB2)について、良好な結果を得ている。

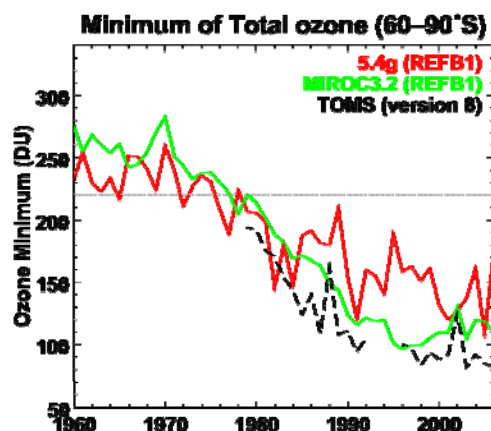


図 1 REFB1 実験による南半球高緯度 (南緯 60°-90°) におけるオゾン全量年最小値の経年変化。赤は旧モデル、緑は MIROC3.2 化学気候モデル、黒は TOMS の観測値。

(2) 前回の CCMVal2 で行った旧モデルによる実験の追加実験を行って、海表面温度の違いが成層圏極渦へ及ぼす影響についての解析を行った。その結果、海水面温度の南北勾配最大の緯度(南緯 55°付近)が異なると傾圧擾乱の成長率に違いを生じ、それが成層圏への波動の伝搬に影響を及ぼし、南極渦の強さ、さらにはオゾン破壊に影響することがわかった。

(3) オゾン破壊の大気変動への影響および GHG の増加が北極オゾン破壊へ及ぼす影響について調べるため、以下の 2 つの実験を行った。

- World-Avoided 実験 (ハロゲンの規制なしの実験)
- ODS を 2000 年の濃度とし、GHG を A1B シナリオの 2050 年の値 (CO₂ は 522 ppm)、2100 年の値 (CO₂ は 703 ppm) にした実験

4. 今後の計画

MIROC3.2 化学気候モデルを使って CCMVal3 の推奨

実験を行う。また、旧モデルを用いた追加実験(2)、(3-a)、(3-b)については、さらに解析を進め論文化する。

5. 計算機資源の利用状況 (2012 年 4 月～9 月)

実行ユーザ数: 6 CPU 時間 1 ノード未満: 10 hours, 1 ノード: 65,909 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 65,919 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

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

6.2. 昨年度終了研究課題の目的

今年度と同様。

6.3. 昨年度終了研究課題の成果概要

6.3.1 MIROC3.2 ベースの新化学気候モデルを使った計算

(1) 新しく開発した MIROC3.2 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、旧モデルと同様なオゾン層破壊-将来回復結果を得た (図 2、オゾン全量年最低値の経年推移)。このシミュレーションには、太陽活動 11 年周期、QBO、火山爆発の影響は含まれない。旧モデルによる結果はオゾン全量最低値の年々変動が観測に比べて大きかったが、MIROC3.2 化学気候モデルによる計算ではそれが解消された。

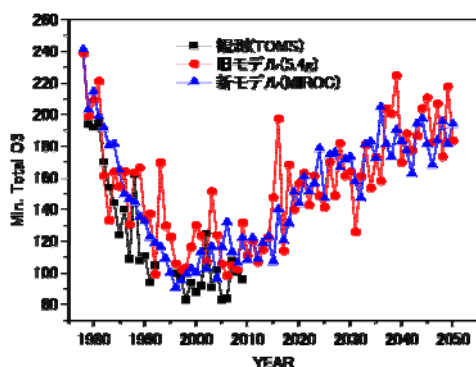


図 2 REFB2 実験による南半球高緯度 (南緯 60°-90°) におけるオゾン全量年最小値の経年変化。赤は旧モデル、青は MIROC3.2 化学気候モデル、黒は TOMS の観測値。

(2) 新化学気候モデルに ERA-Interim 再解析データの東西風、南北風、または、東西風、南北風、気温をナ

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た。

6.3.2 旧モデルによる REFB1 実験結果と JRA25 再解析データを用いた太陽活動と QBO の位相、および北極渦との関係の解析

太陽活動と QBO の位相、および北極渦との関係の解析を 1960 年～2006 年の 47 年間の期間について行った。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た。その結果、QBO が赤道上空 50hPa の高度で西風かつ太陽 11 年周期による活動が最大の年には、北極渦が 12 月～1 月に強まり、その影響は対流圏にまで及ぶことがわかった。この成果を論文にまとめ、今年度投稿した。

6.4. 昨年度までの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: 76 hours, 1 ノード: 155,869 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 155,945 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：気象研究所環境・応用気象研究部 柴田清孝
共同研究者：気象研究所環境・応用気象研究部 出牛 真

実施年度：平成 23 年度～平成 23 年度

1. 研究目的

大気汚染警報、紫外線予報、オゾンホール監視などで利用されているオゾンなどの大気微量成分に関する実況監視予測には、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するため種々の相互比較同化実験を行う。

2. 研究計画

対流圏と成層圏のオゾン関連の化学過程を考慮した気象研究所の化学-気候モデル (MRI-CCM2、Deushi and Shibata, 2011) を使って大気や化学物質の同化実験を行う。モデル出力を観測値に同化するため、多数のメンバーでアンサンブル積分を行い、アンサンブル・カルマンフィルタ (EnKF) を使ってモデル出力を最適値に修正し、解析値を作り、その精度検証を行う。

3. 成果概要

同化実験で使った衛星観測オゾンデータとしては MLS による 3 次元オゾン濃度観測データおよび OMI による 2 次元オゾン全量観測データである。また大気場 (東西風、南北風、気温) の観測データとして、気象庁が作成した再解析データ (JCDAS) を利用している。オゾン場と大気場の両方について EnKF 手法によるデータ同化を行っているが、本データ同化システムではオゾン濃度場との背景誤差共分散は考慮していない。本データ同化での EnKF 法は、Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF; Miyoshi and Yamane, 2007) である。LETKF 法で使ったパラメータは以下のとおりである。アンサンブル数：32；同化解析サイクル：6 時間；背景誤差共分散の局所化距離：水平方向 650 km、鉛直方向 対数気圧で 0.4；背景誤差共分散の膨張：Adaptive (最大 20%)。

2006 年 6～10 月の期間について、観測データで同化する変数の変化がオゾンに与える影響を調べるため次の 4 種類の同化実験を行った：(実験 1) 大気場および OMI、MLS 観測データすべてを同化、(実験 2) 大気場および OMI 観測データのみ同化、(実験 3) 大気場および MLS 観測データのみ同化、(実験 4) 大気場の観測データのみ同化。

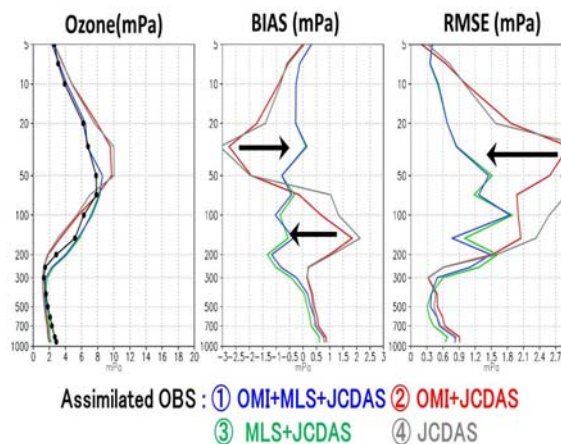


図1. オゾン解析値のオゾンゾンデ観測データとの比較。南半球高緯度域(90S-60S)の2006年8～9月平均値。(左) オゾン濃度、(中央) バイアス、(右) 二乗平均平方根誤差の鉛直プロファイル (単位: mPa)。黒: オゾンゾンデ観測値、青: 実験1、赤: 実験2、緑: 実験3、灰: 実験4。

この4つの実験で得られたオゾン解析場を衛星観測オゾンとは独立であるオゾンゾンデ観測値で検証した結果を図1に示す。ただし、積分の最初の1ヵ月間はスピニングアップ期間とし精度検証に用いていない。大気場だけや大気場と OMI の同化の比較から、OMI を同化に使うと期待されたようにオゾン全量は改善されたが (図略)、両実験ともプロファイルが約 60hPa より上層で負の誤差、その下で正の誤差という系統的なバイアスが存在し、オゾンプロファイルの改善は見られない。しかし、図中の黒矢印で示すように、MLS のオゾンプロファイルを同化することでこの系統バイアスが顕著に解消されることがわかった。二乗平均平方根誤差についても同様な改善がみられた。

4. まとめ

今回の結果から、当然のことではあるが、より多くの観測値を同化した方が高精度のオゾン解析値を得られることを確認した。

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 hr, 1 ノード: 18,173 hrs, 2 ノード: 0 hr, 計: 18,173 hrs

研究課題名：風波乱流中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
 国立環境研究所地域環境研究センター 大原利真

実施年度：平成 24 年度～平成 24 年度

1. 研究目的

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（砕波やうねり等を含む）や降雨の効果が全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

高速条件下の風波乱流中に生成される砕波を再現可能な数値シミュレーション法を確立する。また、単一液滴の気液界面衝突により生じる気液間のスカラ輸送現象を再現可能な数値シミュレーション法を確立する。

3. 進捗状況

3.1 風波乱流場の数値シミュレーション

図 1 に VOF（Volume of Fluid）法に基づく 2 次元数値シミュレーションにより得られた風波乱流中気液界面の砕波の様子を示す。図より、まだ試行段階ではあるが、本手法が風波の砕波現象を模擬しうる事が確認できる。

3.2 単一液滴界面衝突の数値シミュレーション

図 2 に VOF 法に基づく 3 次元直接数値シミュレーション（DNS）により得られた単一液滴の界面衝突後のある時刻における瞬間スカラ濃度分布を示す。図より、液側に形成される渦がスカラを下方へと輸送する様子が確認できる。

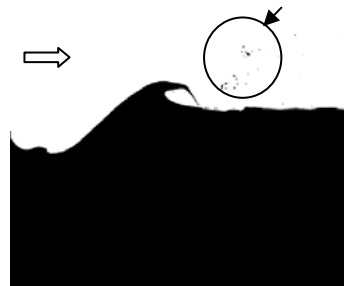


図 1 風波乱流中気液界面の砕波現象。

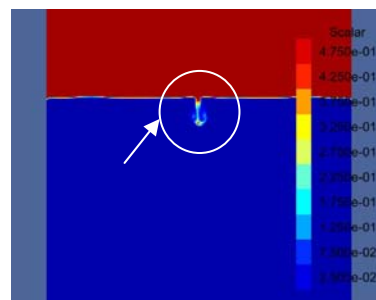


図 2 液滴衝突により生じる瞬間スカラ濃度分布。

4. 今後の計画

- (1) 風波乱流場の数値シミュレーションを 3 次元計算へ拡張する。
- (2) 実測値との比較により本計算の妥当性を検証する。

5. 計算機資源の利用状況(2012年4月～9月)

実行ユーザ数: 3 CPU 時間 1 ノード未満: 15 hours,
 1 ノード: 12,570 hours, 2 ノード: 523 hours,
 計: 13,107 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

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

6.3.1 目的

砕波を伴わない低速条件下の風波乱流場に数値シミュレーションを適用することにより、スカラ輸送係数 k_L の再現性を実測値との比較によって評価

する。また、単一液滴の気液界面衝突現象に数値シミュレーションを適用することにより、気液界面を通しての運動量輸送機構を検討する。

6.3.2 風波乱流場の数値シミュレーション

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 3 に計算領域の概略を示す。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。今回の計算は、初期気側一様流速 $U_{\infty,ini}$ および気側高さ δ 基準の Reynolds 数 Re_{ini} を 4340 ($U_{\infty,ini} = 5.2 \text{ m/s}$, $\delta = 1.25 \times 10^{-2} \text{ m}$)、11550 ($U_{\infty,ini} = 7.0 \text{ m/s}$, $\delta = 2.5 \times 10^{-2} \text{ m}$) とした 2 ケースに対して行った。なお、 Re_{ini} が比較的低い前者のケースに対しては乱流モデルを用いない直接数値シミュレーション (DNS) を、 Re_{ini} が高い後者のケースに対しては乱流モデルを用いる Large-Eddy Simulation (LES) を適用した。

図 4 に、風波気液界面を通してのスカラ輸送係数 k_L と摩擦速度 u_{*a} の関係を風洞装置を用いた既往実測値と比較して示す。ここで、 k_L は以下の式で求められる。

$$k_L = \frac{1}{(C_s - C_b)A} \int_S D \frac{\partial C}{\partial n} dS$$

式中の A は界面の表面積、 C はスカラ濃度、 D は拡散係数、 n は気液界面に対する法線方向座標である。また、 $C_s - C_b$ は界面とバルクの濃度差である。図より、計算値は実験値と良く一致することがわかる。

6.3.3 単一液滴界面衝突の数値シミュレーション

本数値計算における計算領域を図 5 に示す。直径 d_p の球形液滴を静止気液界面上方から鉛直および水平方向に速度 (v_p, u_p) を与えて落下させ、この液滴の界面衝突に伴う気液界面の変形および液側流動場を 3 次元 DNS により調べた。

図 6 に水平方向に速度をもたない場合 (鉛直衝突する場合) ともつ場合 (斜め衝突する場合) の液滴の運動量 (横軸) と液滴衝突により生成される渦輪の強度 (縦軸) の関係を実測値と併せて示す。ここで、 d_p は液滴径、 v_p は液滴衝突速度、 r_{VR} は渦輪半径、 V_{VR} は渦輪の中心移動速度である。図より、鉛直衝突する場合の運動量と渦輪強度の間には実測値と同様の乗数則が成り立つことがわかる。一方、斜め衝突をする場合の渦輪の強度は、実験相関式よりやや大きな値を取ることがわかる。このことは、

鉛直衝突とならぬ衝突では液滴衝突により形成される渦輪等の流動構造が異なること、また、これに伴って液滴衝突により引き起こされる気液間物質輸送の機構が異なることを示唆している。

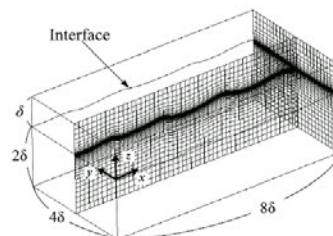


図 3 計算領域と計算格子。

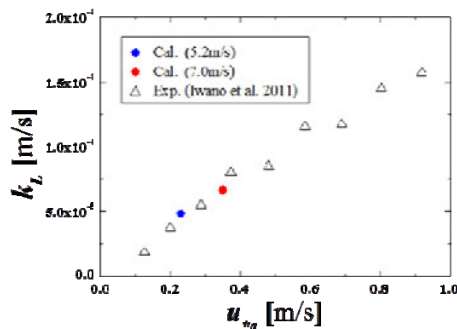


図 4 スカラ輸送係数 k_L の実測値との比較。

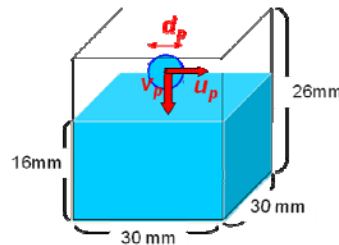


図 5 計算領域。

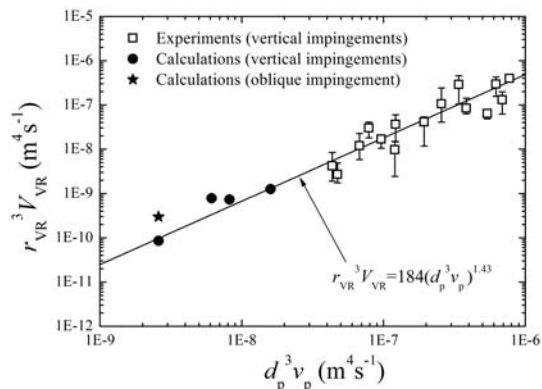


図 6 衝突液滴の運動量と渦輪強度の関係。

6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 3 CPU 時間 1 ノード未満: 349 hours, 1 ノード: 3,524 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 3,873 hours

研究課題名：系外惑星大気シミュレーションモデルの開発： ダスト過程の実装と火星大気実験

課題代表者：北海道大学大学院理学研究院 石渡正樹
共同研究者：神戸大学大学院理学研究科 林 祥介
九州大学大学院理学研究院 中島健介

実施年度：平成 24 年度～平成 24 年度

1. 研究目的

ここ数年の系外惑星観測で複数の地球型惑星が発見され、系外惑星の気候推定が盛んにおこなわれるようになった。我々の研究グループも、科学研究費・新学術研究領域の計画研究「系外惑星大気の数値モデリングと形成進化理論」に参加し、数値モデルを用いた系外惑星気候の多様性の探索をおこなう計画を進めている。これまで、我々は、ごく単純化された物理過程を持つモデルを用いた外部パラメータ変更実験を行い、多様な仮想惑星との比較を通じて地球気候を記述することをめざす活動をおこなってきた(林他, 2011 など、これまでの申請課題)。これに対して、系外惑星の観測からは様々な情報が得られつつあり、惑星の気候に関してより高精度な結果が求められる状況になってきた。これに対応するべく、我々がこれまでに開発・使用してきた数値モデル群の物理過程を強化し、より現実的な惑星を想定した数値計算の実行をめざすことにした。惑星大気モデルの物理過程の開発では、観測可能な太陽系内の惑星を参照点とした物理過程のスキーム改良やパラメータチューニングも必要となる。このため、系外惑星を想定した数値計算だけではなく、太陽系内の各惑星に固有な物理過程が実装されたシミュレーションモデルを用いた観測結果との比較計算もおこなっていかねばならない。特に、火星に関しては、日本による探査計画 (MELOS) が進められており、火星シミュレーションモデルの整備は喫緊の課題となっている。

本申請課題では、火星大気の状態および気象現象を再現できる火星モデルの構築をめざし、火星大気に固有な物理過程の強化およびそれらの実装実験を行うものとする。これまでにも、我々は火星大気大循環モデルの開発、CO₂ 大気の大気対流計算をおこなってきた。しかし、ダスト過程など火星に固有な物理過程が未実装あるいは不十分な状態であり、現実の火星大気で得られた観測結果と比較しうる数値実験をおこなえる段階には到達していなかった。ここでは、ダスト過程を実装し、火星気象現象の代表例であるダストストームに関する数値実験を実施することを目的とする。

2. 研究計画

火星のダスト過程を大気大循環モデル dcnam (高橋ら, 2012) に実装する。ダスト過程として考えるものは、地上からのダストの巻き上げ (モデルで表現される風場による巻き上げとサブグリッドスケールのローカルダストストームによる巻き上げの 2 種)、大気中におけるダストの輸送、ダストの沈降である。実装するダスト過程を用いた実装実験結果と現実の火星における背景ダスト分布などの観測結果との比較を通じて、ダスト過程の改良を進める予定である。

3. 進捗状況

これまでに、モデルで表現される風場によるダスト巻き上げを表現する 1 つのパラメタリゼーションスキームである KMH スキーム (Kahre et al., 2006) の実装を行った。現在は、火星探査機マーズグローバルサーベイヤーによって得られたダスト鉛直分布を放射スキームに与えた低分解能 (T21L22) 計算を行っている。まだ、ダストの輸送(移流)は考慮しておらず、火星の平均的な大気構造が得られる状況において巻き上げられるダスト量を診断している段階である。5 年程度の積分を行った予備的な結果として、夏から秋にかけて北緯 60 度付近の領域でダストフラックスが増加するというものが得られているが、観測結果を用いた比較検討はこれからの課題である。

4. 今後の計画

まずは、実装した KMH スキームの振舞いを把握することを優先する。放射計算に与えるダスト分布や地形分布を変更した場合について、上記と同様のダストフラックス診断計算を行い、ダストフラックスの値がどのように変化するかを調べる。その後、ローカルダストストームによる巻き上げや大気中のダスト輸送など他の過程の実装に進む予定である。

5. 計算機資源の利用状況 (2012 年 4 月～9 月)

実行ユーザ数: 3 CPU 時間 1 ノード未満: 411 hours,
1 ノード: 0 hour, 2 ノード: 0 hour, 計: 411 hours

6. 昨年度研究課題のまとめ

6.1. 昨年度研究課題名

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(代表: 神戸大学大学院理学研究科 林祥介)

6.2. 昨年度研究課題の目的

昨年度課題では、地球設定から暴走温室状態までに至る広い範囲での湿潤対流大気構造の多様性の探索を目的として、雲と放射の相互作用の効果も考慮した雲対流モデルによるパラメータ実験の実施をめざした。昨年度以前までに我々が行ってきたパラメータ実験では放射過程は簡略化したもののみを用いており、昨年度課題は、この制限を取り払うための最初の試みとして実施したものであった。しかし、以下に述べるように、モデルにおける質量保存性が大幅に損なわれているという問題点が顕在化したため、後半においては、モデルチェック作業および長時間積分を可能とするための方策の検討が主たる研究内容となった。

6.3. 昨年度研究課題の成果概要

雲対流モデル deepconv/arare (杉山ら, 2009)に Chou and Lee (1996) と Chou et al. (2001) に基づく地球用放射スキームを導入し、水蒸気、CO₂、O₃、雲による吸収を考慮するようにした。短波放射計算では地球赤道域を想定した短波フラックスを与えた。下部境界では一様一定の海面温度 (302K) を与えた。計算領域は水平 512 km、鉛直 30 km の 2 次元矩形領域である。格子間隔は水平方向には 1km、鉛直方向には 300m とした。Kessler (1969)のパラメタリゼーションにおいて、

雲水から雨水へ変換が起こる雲水質量密度の閾値として、標準値である 10⁻³ g/m³を用いた場合 (閾値あり実験)と 0 とした場合(閾値無し実験)の計算を行った。

80 日の積分の結果、両実験で地表面気圧の領域平均値が時間とともに減少し続け、質量保存性が破れていることがわかった。閾値無し実験の場合、計算開始からの気圧の減少は 8%以上(相対値)に達した。本モデルで用いている準圧縮方程式系の導出過程に立ち返り検討したところ、圧力方程式を簡略化する際に、落したいくつかの項が、実際には無視できない大きさになっている可能性があることがわかった。今後は、圧力方程式で無視した項の大きさを求め、それが気圧減少を説明するか否かを確認し、この問題の解決策を探ることとした。これは平成 23 年度中に終了しておらず現在も検討を継続している。

上記実験で現れたたもう一つの課題は、雲粒から雨粒へ変換が起こる雲水混合比の閾値の重要性である。閾値有り実験では対流圏上部が継続的に雲に覆われたのに対して、閾値無し実験では対流雲は短い時間限って存在した (図)。変換閾値の設定によっては全域が曇るということは Held et al.(1993) でも指摘されている。この問題の掌握のためのパラメータ実験の実施、及び、より進んだ微物理パラメタリゼーションの実装には、質量保存性の問題の解決後に進む予定である。

6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 8 CPU 時間 1 ノード未満: 2,360 hours, 1 ノード: 0 hour, 2 ノード: 0 hour, 計: 2,360 hours

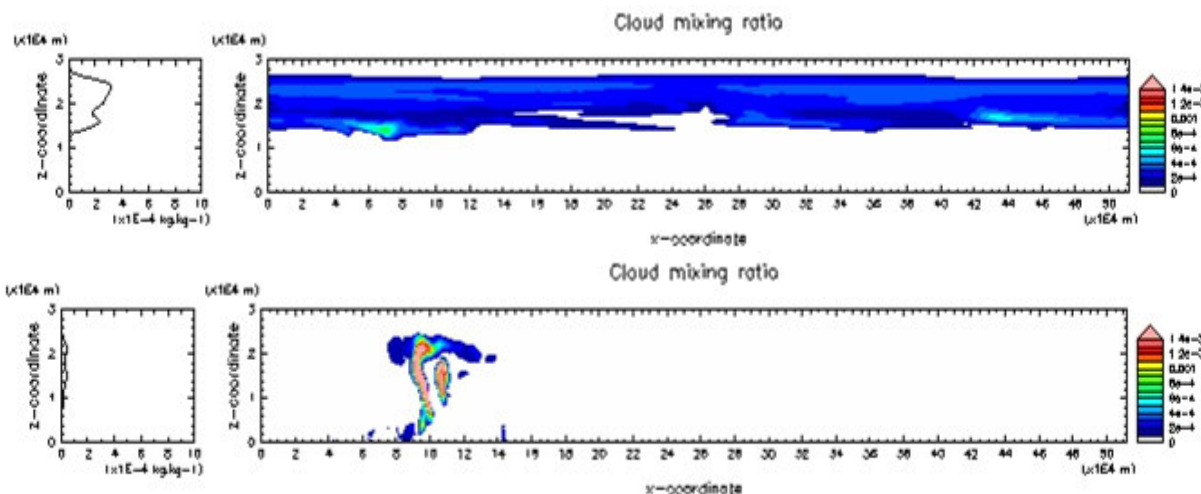


図 雲水混合比 [Kg/Kg] のスナップショット。右側の図は雲水混合比の水平分布、左側の図は雲水混合比の水平平均の鉛直分布を示す。43 日目の結果を示す。(上図) 閾値あり実験の結果、(下図) 閾値なし実験の結果。

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)

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 金 憲淑・佐伯田鶴・白井知子・高木宏志・

Mohammed Hayyan Alsibai・Rajesh Janardanan・石澤みさ・横井孝暁

国立極地研究所北極観測センター Dmitry Belikov

東京農工大学 峰島知芳

Cooperative Institute for Research in the Atmosphere (U.S.A.) 小田知宏

Laboratoire des Science du Climat et de l'Environnement (France) 齊藤 誠

Indian Institute for Tropical Meteorology (IITM) Vinu Valsala

実施年度：平成 24 年度～平成 24 年度

1. Objective

We study the global and regional distributions of CO₂ and CH₄ surface fluxes that are estimated with inverse model of the atmospheric transport 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 CO₂ and CH₄ 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 along with observations by 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 tuned and improved.

3. Progress

The GOSAT SWIR Level 2 v.02 XCO₂ data were analyzed with the GOSAT Level 4 v.02.01 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-2011 database were combined with GOSAT observations to estimate a set of monthly CO₂ fluxes for 64 regions. 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, 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. We have completed analysis of the global flux variability for years 2000-2010 using NOAA flask data, and GOSAT Level 2 v.02 data. Comparison of the long term flux record with the inverse modeling data during GOSAT observation period provides additional information for assessing the variability of the GOSAT-based flux estimations with interannual variability of the inverse model fluxes.

The Kalman smoother approach was applied to the estimation of CH₄ fluxes for 43 regions (42 terrestrial and 1 oceanic) globally during period of 2006-2010 using data from WDCGG database and NIES observations over Siberia. We use surface fluxes by EDGAR and GISS inventories, and VISIT model fluxes for wetlands and rice paddies. The multiyear mean seasonal cycle of estimated fluxes compare well with inverse model fluxes by LSCE presented at Carboscope database. Preliminary results with inclusion of the GOSAT Level 2 in the inversion were obtained, which confirmed close fit between GOSAT data and model simulation.

4. Future plan

The inverse modeling of global surface CO₂ and CH₄ fluxes with GOSAT data will be extended to year 2011. A first version of the GOSAT Level 4 CH₄ fluxes will be estimated, and GOSAT Level 4 CO₂ flux estimation algorithm will be extended to treatment of raw flask data instead of Global view fitted and filtered data in current Level 4 method.

5. CPU use in the current year (from April to September 2011)

14 users, CPU hours<1 node: 61 hours, 1 node: 0 hour, 2node: 0 hour, total: 61 hours

6. Summary of 2011

6.1. 昨年度研究課題名 2011 Research Topic

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 2012.

6.3. Summary of results

A modified Kuo-type cumulus convection parameterization scheme is implemented and validated. This scheme computes the mass of air transported upward in a cumulus cell using moisture conservation and a detailed distribution of convective precipitation provided by a reanalysis dataset. The representation of vertical transport within the scheme includes entrainment and detrainment processes in convective updrafts and downdrafts. The output from the proposed parameterization scheme was employed in the National Institute for Environmental Studies (NIES) global chemical transport model driven by JRA-25/JCDAS reanalysis. The simulated convective precipitation rate and mass fluxes were compared with observations and reanalysis data. A simulation of the short-lived tracer ^{222}Rn was used to further evaluate the performance of the cumulus convection scheme. The simulated distributions of ^{222}Rn were validated against observations at the surface and in the free troposphere, and compared with the outputs from the models that had participated in the TransCom- CH_4 Transport Model Intercomparison.

The GOSAT SWIR Level 2 XCO_2 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 (1) were combined with GOSAT observations (2) to estimate a set of monthly CO_2 fluxes for 64 regions. Monthly averages of GOSAT observations for each 5×5 degree grid were used in the analysis. We compared these two sets of results in terms of change in uncertainty associated with the flux estimates. The rate of reduction in the flux uncertainty, which represents the degree to which the GOSAT XCO_2 retrievals contribute to constraining the fluxes, was evaluated. We found that the GOSAT XCO_2 retrievals could lower the flux uncertainty by as much as 48% (annual mean). A pronounced uncertainty reduction was found in the fluxes

estimated for regions in Africa, South America, and Asia, where the sparsity of the surface monitoring sites is most evident.

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_2 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. We first estimated monthly carbon fluxes by inversion using dense CO_2 measurements from a Siberian observational network, consisting of nine towers and four aircraft sites and surface background measurements. Inversion with only background data yielded a boreal Eurasian CO_2 flux of -0.56 ± 0.79 GtC yr $^{-1}$, whereas inclusion of the Siberian data weakened the uptake of CO_2 to -0.35 ± 0.61 GtC yr $^{-1}$. On average, inclusion of the Siberian network data reduces the regional uncertainty by 22%. In an analysis of eight subregions of boreal Eurasia, the seasonal cycles and interannual variations of the carbon fluxes were spatially heterogeneous.

The same Kalman smoother approach was applied to the estimation of CH_4 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_4 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.

6.4. CPU use in the previous year

12 users, CPU hours<1 node: 939 hours, 1 node: 0 hour, 2node: 0 hour, total: 939 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・幸 昭・河添史絵・林 謙二・石原博成・信田浩司・宮坂隆之・國島 和・松澤邦裕・川崎裕之・小島伸一・池上久通・松原 聖・原田昌紀

実施年度：平成 24 年度～平成 24 年度

1. 研究目的

温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) は平成 21 (2009) 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、CO₂、CH₄ 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・排出量を推定するなどの役割を担っている。

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 4 の中で炭素収支モデル計算処理、およびその中で使われる大気輸送モデル計算処理に利用される。レベル 4 処理結果については、既に一部のデータをプロダクトとして作成し研究者に提供しているが、本年度に一般公開を目指している。

3. 進捗状況

現在、定常的なデータ処理を実施している。

特に、FTS SWIR レベル 2 プロダクト (二酸化炭素 (CO₂) やメタン (CH₄) のカラム平均濃度) については、今年度実施したアルゴリズム改訂に伴うバージョンアップにより、バイアスやばらつきなどが旧バージョンより少なくなった。例として、2009 年 7 月の FTS SWIR L2 CO₂ プロダクトのカラム平均濃度 2.5 度メッシュ全球マップを図 1 に示す。

本年度バージョンアップした FTS SWIR レベル 2 プロダクトを用いてレベル 4A (吸収排出量) プロダクト (図 2)、L4B (全球 CO₂ 濃度) プロダクト (図 3) を作成し、研究者に提供している。

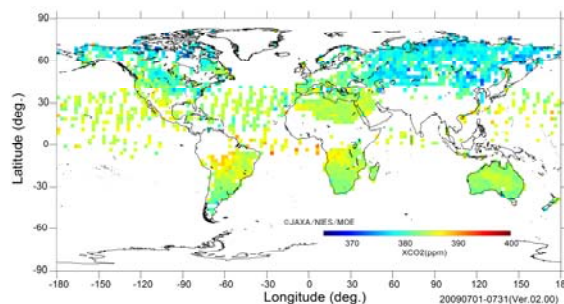


図 1 2009 年 7 月の FTS SWIR L2 CO₂ プロダクトのカラム平均濃度 2.5 度メッシュ全球マップ

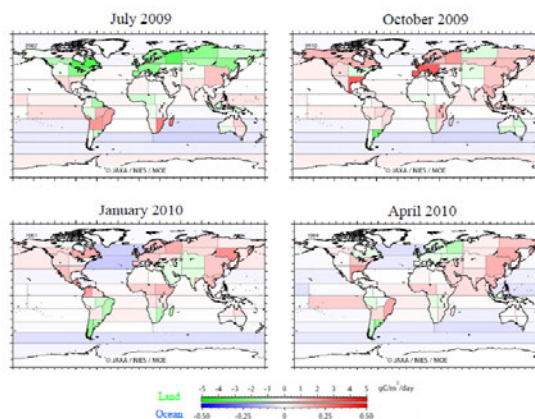


図 2 レベル 4A の例 (2009 年 7 月, 2009 年 10 月, 2010 年 1 月, 2010 年 4 月)

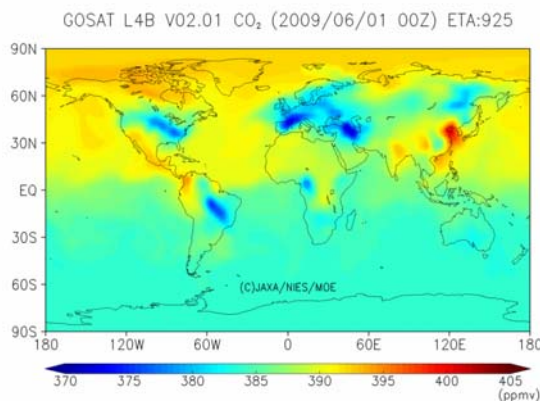


図 3 レベル 4B の例 (2009 年 6 月 1 日 0:00, 925 hPa の気圧高度面)

4. 今後の計画

GOSAT プロジェクトでは、上述のように GOSAT により観測されたデータを用いてプロダクトを作成し、順次一般への公開を行っている。幸いにして、GOSAT は打上げ 3 年半を経て順調に稼働を続けている。今後もプロジェクトでは、GOSAT により観測されたデータからプロダクトを作成し、それらの安定した提供を続ける。併せて、プロダクトのデータ質の向上を図るため、バージョンアップの検討を行い、更に登録研究者用プロダクトの作成と提供も行う予定である。レベル 4 プロダクトを中心としたプロダクト作成・アルゴリズム改訂作業を行う中で、NIES スーパーコンピュータの継続的な利用を予定している。

5. 計算機資源の利用状況 (2012 年 4 月～9 月)

実行ユーザ数: 13 CPU 時間 1 ノード未満: 1 hour,
1 ノード: 0 hour, 2 ユーザ: 0 hour, 計: 1 hour

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

GOSAT データ処理運用システムの試験および定常運用

6.2. 昨年度終了研究課題の目的

本年度と同様。

6.3. 昨年度終了研究課題の成果概要

NIES スーパーコンピュータを、レベル 2 処理の中で TIR L2 濃度 CO₂, CH₄ プロファイル算出の前処理として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で利用した。その結果を用いて、TIR L2 CO₂, CH₄ 濃度プロファイルプロダクトを一般ユーザに公開した。併せて、本年度一般公開予定のレベル 4 処理のアルゴリズム検討およびプロダクト作成に利用した。

6.4. 昨年度までの計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 17 CPU 時間 1 ノード未満: 21 hours,
1 ノード: 76 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 97 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 鶴田治雄・打田純也・及川栄治
 国立環境研究所地域環境研究センター 五藤大輔
 University of Oxford, Clarendon Laboratory Nick Schutgens
 近畿大学総合社会学部 中田（向井）真木子

実施年度：平成 24 年度～平成 24 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

前年度までに開発した東京大学大気海洋研究所 (旧気候システム研究センター:CCSR) / 国立環境研究所 (NIES) / 海洋開発研究機構 (旧地球フロンティア研究センター: FRCGC) で共同開発された大気大循環モデル (CCSR/NIES/FRCGC-大気大循環モデル、以下 MIROC) とエアロゾル放射モデル (SPRINTARS) を結合したモデル (MIROC-SPRINTARS) による全球エアロゾルの放射強制力の評価を行い、衛星搭載ライダー (CALIPSO/CALIOP) と放射伝達コード FSTAR (Flux version of the System of Transfer of Atmospheric Radiation) を用いて計算した結果との比較を行った。

また、エアロゾル同化システムに関しては、前年度から継続的に開発を進めているシステムを用いて、エアロゾル排出量インベントリの推定を行い、その結果を境界条件として MIROC-SPRINTARS を用いて数値実験を行った。また、これまでは Terra や Aqua などの衛星に搭載されたイメージャー (MODIS) と AERONET 地上観測網を用いて同化システム化を進めてきたが、本年度は CALIPSO を用いてデータ同化を行った。さらに、データ同化システムで利用していた MIROC-SPRINTARS を最新版 (v3.84) に更新した。

3. 進捗状況

モデルで計算したエアロゾル放射強制力を検証するために、今回は CALIPSO/CALIOP と MODIS による結果を用いて、MIROC-SPRINTARS モデルの結果の検証を行った。CALIPSO/CALIOP はライダー観測であるために、雲とエアロゾルの鉛直構造による情報が得られ、より詳細な検証を行うことが可能となる。ここではエアロゾルの分布の違いによる放射強制力の差を知るために、放射強制力の計算では共通の放射伝達コード FSTAR を使用した。その結果、図 1 で示すように、モデルと衛星の結果とでは、エアロゾル層が雲の上にある状況と雲の下にある状況でのエアロゾル放射強制力の値が大きく異なることがわかった。これは、雲の上に光吸収性の強いエアロゾル層が存在すると、短波吸収量が増加するために、放射強制力の正の値が増加するためである。また、モデルと観測の結果の差は、そうした鉛直構造の違いに加えて、雲量の違いが影響していると考えられる。しかし、晴天・曇天の全ての状況下での結果での全球平均値は、衛星では -0.61 Wm^{-2} であるのに対して、モデルでは -0.58 Wm^{-2} となり、両者は近かった。

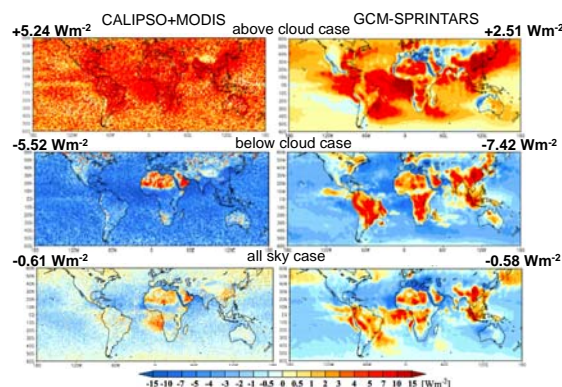


図 1 エアロゾル層が雲上にある場合(above cloud case)、雲下にある場合(below cloud case)、全ての場合(all sky case)に対する、衛星 (CALIPSO+MODIS) とモデル (MIROC-SPRINTARS) で計算された短波におけるエアロゾル放射強制力の全球分布図(Wm^{-2})。

前年度までは、2 つの同化システム（カルマンフィルタ法とカルマン smoother [Kalman Smoother: KS] 法）を開発し、さらに KS 法を用いてエアロゾルの排出量推定を行った。今年度は、その推定排出量を用いてデータ同化なしの MIROC-SPRINTARS でエアロゾル光学的厚さ（Aerosol Optical Thickness: AOT）とオンゲストローム指数を計算し、AERONET と比較を行うことで、新しく推定した排出量の検証を行った（図省略）。その結果、KS 法を用いて推定した排出インベントリを用いた実験結果の方が、AERONET 観測結果に対するバイアスが小さくなり、特に AOT に関してはその傾向が顕著であることがわかった。このような変化を全球規模で見たのが図 2 に対応する。全球で見ると、特に海上での AOT の変化が顕著で、KS 法で推定した海塩粒子の排出量が標準版に比べて最大 2 倍となったためである。その一方で、土壌粒子の排出量は、AOT の全球分布を変化させるほどの大きな変化は見られなかったが、土壌粒子発生源付近ではその発生量やタイミングが変化した。

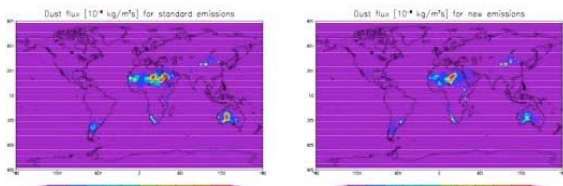


図 2 2009 年 1 月のエアロゾル光学的厚み（AOT）。元々の排出量データを用いて計算した AOT（左）と、KS 法のデータ同化システムを使用して推定した排出量データを用いて計算した AOT（右）を示す。

また、これまでは MODIS 衛星と AERONET 地上観測網を用いて同化システム化を進めてきたが、今年度は、衛星ライダー観測（CALIOP/CALIPSO）の 532nm における減衰付き全後方散乱係数を利用したシステムの適用も開始した。さらに、データ同化システムで利用していた MIROC-SPRINTARS の版を最新版（v3.84）に更新したので、その結果に関する報告も行いたい。

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 の放射強制力の評価を達成することができた。また、同化システムを衛星搭載ライダーにも適用し、MIROC-SPRINTARS の最新版にも適用し、正常に稼働することが確認できた。

今後も継続して、MIROC-SPRINTARS とエアロゾル同化システムの改良を行い、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していきたい。

5. 計算機資源の利用状況（2012 年 4 月～9 月）

実行ユーザ数: 5 CPU 時間 1 ノード未満: 16 hours, 1 ノード: 983 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 1,000 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 MIROC-SPRINTARS による全球エアロゾルシミュレーションシステムで取り扱っているブラックカーボン（BC）の大気変質過程改良に伴う光学特性および放射強制力の変化を見積もった。その結果、他のエアロゾル輸送モデルで使用されている過程は、本年度導入した改良版よりも光吸収量が小さく見積もられ、放射強制力の差が $+0.3 \text{ Wm}^{-2}$ にも達することがわかった。また、前年度までに開発したエアロゾル同化システムを適用し、エアロゾルの排出量推定を行った結果を用いて、MIROC-SPRINTARS を計算すると得られた結果はエアロゾル地上観測網（AERONET）の観測データとの整合的であった。また今年度は、地上ライダー観測と衛星ライダー観測を用いたデータ同化に試み、前年度とは異なる観測量を用いたデータ同化手法を開発することができた。地上ライダー観測を用いたデータ同化研究によって、MIROC-SPRINTARS の境界層内でのエアロゾル分布に問題があることを示唆され、今後のモデル改良に繋がる発見であった。また、衛星ライダー観測（CALIOP/CALIPSO）を用いたデータ同化では、得られた結果も AERONET 観測データとの整合的であった。

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: 320 hours, 1 ノード: 10,410 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 10,730 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 端野典平・Woosub Roh

実施年度：平成 24 年度～平成 24 年度

1. 研究目的

温暖化問題において、エアロゾルや雲降水システムの不確定性が大きく、温暖化ガスによる放射強制力に匹敵する強制力を生み出す可能性が指摘されている。また、近年、放射雲エアロゾル観測衛星(EarthCARE 衛星：計画中)を含む様々な衛星がエアロゾルと雲システムを観測し、その不確定性を減らす努力がなされている。気候予測精度を向上させるには、エアロゾル含む雲降水システムの再現性を向上させる必要がある。また衛星データの同化の観点からも、再現性向上が必要である。本研究では、全球非静力学モデル NICAM にて再現される雲降水システムの検証を、衛星観測を包括的に用いて行うとともに、雲降水システムの物理・力学過程の理解を深めることを目的とする。

2. 研究計画

昨年に引き続き、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、物理過程の解析を行う。NICAM の雲微物理量の出力から、衛星データシミュレータを用いて、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、降雨レーダーを搭載した TRMM、A-train に含まれる雲レーダーを搭載した CloudSAT やライダー搭載の CALIPSO などを利用する。また、熱帯域での改善が見られた場合、北極層雲の再現性の評価を、観測船みらいの観測を用いて行う。

3. 進捗状況

まず、昨年度に行った雲微物理スキームに関する感度実験の結果を使って、CloudSat と CALIPSO の観測を再現し、実際の観測と比較した。使用する雲微物理スキームは、雲水、雨、雲氷、雪、霰の 5 種類の水粒子の質量を予測する。ここでは、雪と霰のカテゴリの粒径分布の定数を double-moment scheme により同定した場合 (SDGD)、そして、霰は前者と同じで、雪のカテゴリの粒径分布は観測をもとに同定した場合 (SEGD) の結果を示す。ともに雪の密度として、最大粒径に依存する経験式を新たに設定した。

図 1 に解析領域内(100E-160E、20S-40N)での、CloudSat の雲レーダーと CALIPSO のライダーにより定義される cloud fraction を示す。雲微物理過程への依存を明らかにするため、大気の温度を鉛直軸として利用している。観測(OBS)に比べ、雲レーダー(C1)とライダー(C2)ともに、すべての再現実験において、上層($T < -40^{\circ}\text{C}$)の雲の出現頻度が過大評価されていることがわかる。雪と霰の感度実験では、このバイアスはあまり改善されないことがわかる。

図 2 に領域内での、95GHZ レーダー反射因子の頻度分布を示す。各温度レベルにおいて、頻度が正規化されている。CTR(b)では、 $-25 < T < 0^{\circ}\text{C}$ 、5dBZ 付近に高頻度が存在し、観測(a)に比べてレーダー反射因子が過大評価される傾向がある。また $T > 0^{\circ}\text{C}$ において、-20dBZ 以下の頻度が卓越している。SEGR(c)では、 $T < -15^{\circ}\text{C}$ でのレーダー反射因子の中央値が CTR よりも減少し、過小評価している。 $T > -10^{\circ}\text{C}$ でのモードは観測に比べ、過大評価している。これらは、前回得られた TRMM(熱帯降雨観測衛星)との比較結果と整合的である。また、 $T > 0^{\circ}\text{C}$ においては、CTR と変化はなく、雲粒子によるバイアスが見られる。现阶段では、SEGR が CTR よりもよいとは必ずしも言えない。

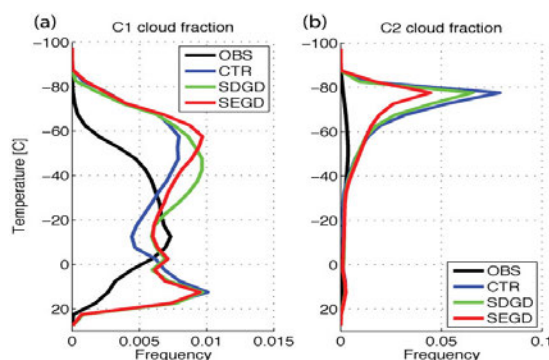


図 1 Cloud fraction の鉛直分布の比較。(a) C1(CloudSat) cloud mask.(b) C2(CALIPSO) cloud mask.

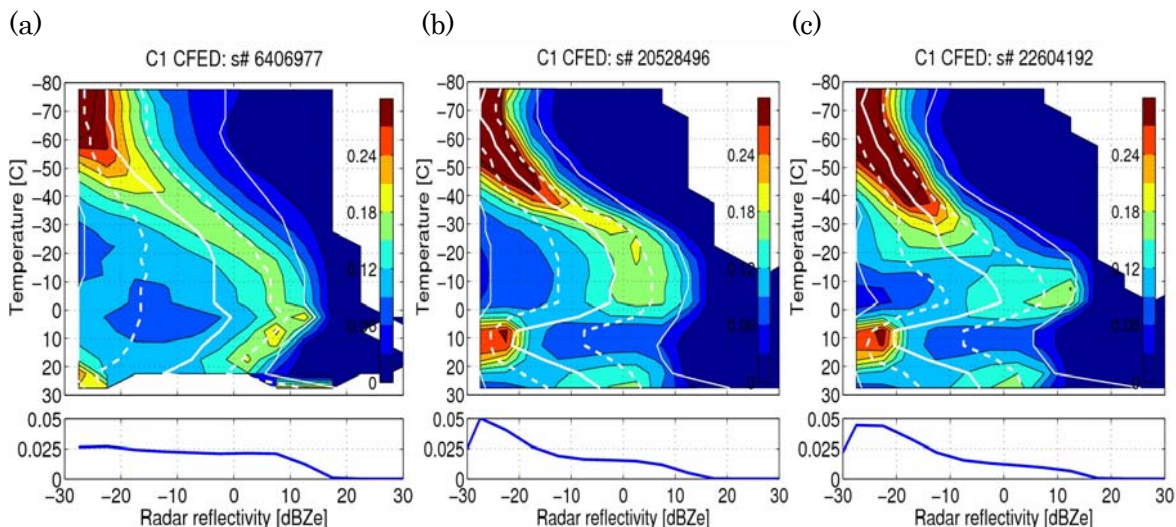


図 2 CloudSat95GHz レーダー反射因子の Contoured Frequency by tEmperature Diagram (CFED)。(a) Observation, (b) CTR, (c) SEGD. 白線は 5th, 25th, 50th, 75th, 95th percentile を示す。

4. 今後の計画

以上の結果、上層において、氷雲の過大頻度バイアスが存在することを確認した。これは、全球高解像度実験においても見られるバイアスであり、領域版 NICAM でバイアスを改善することで、全球実験でのバイアスの改善が予期される。今後は、飽和度の仮定や雲氷と雪の関係性を見直し、このバイアスを減らす方法を検討する。また、霰や雨に関して、観測に基づく改良を試みる予定である。

5. 計算機資源の利用状況 (2012 年 4 月～9 月)

実行ユーザ数: 3 CPU 時間 1 ノード未満: 0 hour,
1 ノード: 592 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 592 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。

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 に伴う雲システムの再現性の評価と雲微物理スキームの改良に関する研究を行った。NICAM から得られる雲物理量を、衛星データシミュレータに入力し、TRMM (熱帯降雨観測衛星) の観測する放射物理量を再現し

た。可視赤外観測装置と降雨レーダーを組み合わせることで、再現された降雨システムの種類とレーダー反射因子を評価した。雲微物理スキームにおける雪と霰の粒径分布のパラメータを、飛行機観測や他のスキームより同定した。感度実験を行った結果、再現される降雨システムの頻度と反射因子の高度依存性において、改善が見られた。包括的な衛星観測と衛星データシミュレータの利用は、雲微物理スキームの評価と改良に効果的であることがわかった。

6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 4 CPU 時間 1 ノード未満: 294 hours,
1 ノード: 2,049 hours, 2 ノード: 915 hours, 計: 3,257 hours

研究課題名：全球気候モデル MIROC への新規陸域モデルの結合とその大気陸域相互作用研究への応用

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：国立環境研究所地球環境研究センター 伊藤昭彦
 北海道大学大学院工学研究院 山田朋人
 東京工業大学大学院情報理工学研究科 鼎信次郎
 東京大学生産技術研究所 沖 大幹

実施年度：平成 24 年度～平成 24 年度

1. 研究目的

全球気候モデルを構成する要素の一つである陸面過程モデルには、これまで人間活動の要素がほとんど入っていない。しかし、70 億の人間が世界中で生活し、それに伴って土地・河川・湖沼は大いに開発されている。全球気候モデルの詳細化や精緻化が進むにつれ、人間活動の要素が与える水循環や熱収支への影響も無視できないと考えられるようになってきた。そこで、全球気候モデル MIROC の陸面過程モデル MATSIRO を、主要な人間活動を扱えるように改良することを目的とする。

2. 研究計画

人間活動を考慮できる全球水文モデルの一つに、H08 (Hanasaki et al., 2008, Hydrology and Earth System Sciences) がある。このモデルは最も単純な陸面過程モデルである①Bucket モデル(Manabe, 1969, Monthly Weather Review)を基礎に、②河川の流下、③作物の成長(農業用水の推計に使われる)、④農業・工業・生活用水の取水、⑤大規模貯水池の操作、⑥環境用水の設定(川に常に維持する流量)に関するサブモデルがあり、それらの相互作用を扱うことができる。ただし、設計上大気モデルとの結合はできない。そこで、H08 の陸面以外の諸過程のソースコードを MATSIRO に移植することにより、目的の達成を試みた。

3. 進捗状況

まず、MATSIRO への H08 の人間活動モデルのコードの移植を実施した(図 1)。また、関連する諸問題の改良も並行して行った。

次に、人間活動が扱えるようになった MATSIRO の性能評価を実施した。MATSIRO に信頼性の高い全球格子気象データと最新の土地被覆データを与え、1986-1995 の 10 年分のシミュレーションを行った。ここで我々が着目したのは、土壌水分、積雪量、河道内貯水量、ダム貯水量などの陸域貯水量である。これら

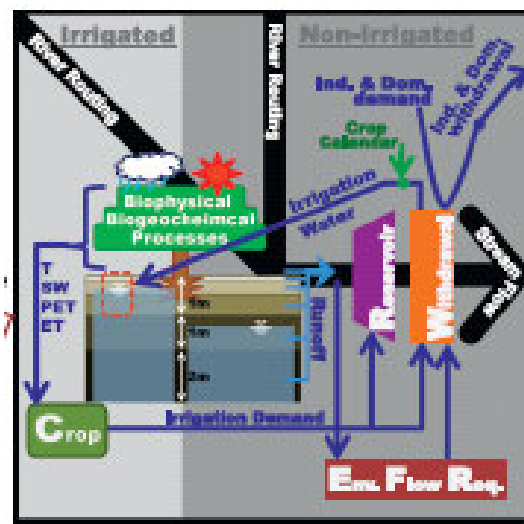


図 1. 人間活動を考慮した陸面過程モデルの概念図。Pokhrel et al. (2012, Journal of Hydrometeorology)の図 1 を一部改変

のモデル出力値を衛星重力ミッション GRACE による観測と比較した結果、おおむねよい再現性を示し、少なくとも H08 よりも性能が格段に向上したことが確認できた。

続いて、モデルを使って 20 世紀後半の長期シミュレーションを実施した。20 世紀後半は灌漑面積が飛躍的に拡大し、大規模ダムが多数建設された期間であり、この期間中の地球の水循環に対する人間活動の影響は大きな関心事となっている。我々は①自然の貯水量(土壌水分、積雪量、河道内貯水量の変動)、②貯水池貯水量(貯水池建設による陸域貯水量の増加)、③地下水量(地下水くみ上げによる陸域貯水量の減少)の経年変化を求めた。この結果、②と③が 1980 年頃まで拮抗したものの、以降③が凌駕し、陸域貯水量が減少しているという結果を得た。なお、②や③と比較すると①の長期的な効果は小さかった。陸域貯水量の減少分は長期的には海洋に加えられるため、20 世紀中の人間

活動の影響は海面上昇に正の影響をもたらすことをこの結果は示唆している。

貯水池操作と地下水取水のモデル化は検証データの不足やスケール問題により困難であり、現時点で得られる結果には相当な不確実性がある。現在は特に地下水取水に関して、モデルの改良に取り組んでいる。

4. 今後の計画

全球気候モデル MIROC の陸面過程モデル MATSIRO において、主要な人間活動を扱えるようになった。ただし、現在は陸面過程モデル単体での利用にとどまっている。今後は、全球気候モデル全体を利用した研究に着手する。具体的には、予備的に検討していた灌漑が気候システムに与える影響の詳細化などが挙げられる。ここで、無視できないとはいえ、人間活動の影響は他の要素に比べて小さい。よって、気候システム上の応答を正確に捉えるには空間解像度を上げる必要がある。よって、超高解像度の気候シミュレーションを可能にする全球雲解像モデルへの移植も検討する必要があるかもしれない。

5. 計算機資源の利用状況 (2012 年 4 月～9 月)

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

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

全球気候モデル MIROC への新規陸域モデルの結合とその大気陸域相互作用研究への応用

6.2. 昨年度終了研究課題の目的

今年度と同様。

6.3. 昨年度終了研究課題の成果概要

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) 全球気候モデル Model for Interdisciplinary Researches on Climate (MIROC) への陸域生態系モデルの組み込みと大気 CO2 濃度上昇への応答実験、2) 陸面情報を用いた水文気象予報スキルの評価と MIROC の大気陸面相互作用の解明に関する研究を行った。

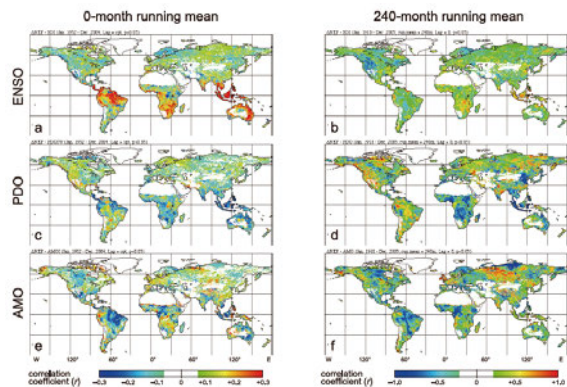


図2. 陸域の正味炭素収支におけるアノマリー成分と各テレコネクション指標 (ENSO、PDO、AMO) との相関係数の分布。平滑化なし (a、c、e) と20年移動平均 (b、d、f) について。

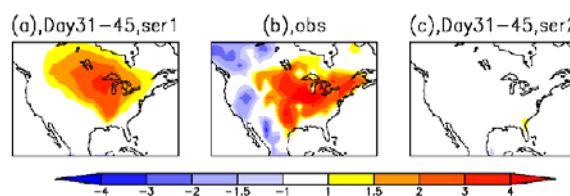


図3. 1988年夏に北米を襲った大旱魃の予報スキル。a) 大気変数と SST に加え土壌水分の初期値化を行った実験、b) 観測、c) 大気変数と SST のみの初期情報による予報結果。

1) については、環境研のスーパーコンピュータを利用して、生態系モデル Vegetation Integrative Simulator for Trace gases (VISIT) を用いた長期シミュレーションを実施した。各種のテレコネクション指標と炭素収支アノマリーとの間の相関を解析し、太平洋 10 年規模変動 (PDO) や大西洋数十年規模振動 (AMO) が長期の炭素収支変動に対しては相当の寄与がある地域が示された (図 2)。

2) については、環境研のスーパーコンピュータを利用して、全球気候モデルによる準季節予報シミュレーションを実施した。この結果、水文気象予報スキルは地表面情報、特に土壌水分量により改善されることが示された (図 3)。この結果は、開発中の人工衛星による陸面モニタリングシステムにより水文気象予報の信頼性が向上する可能性を示唆している。

6.4. 昨年度までの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: 48 hours,
1 ノード: 801 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 849 hours

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・Wing-Le Chan・山本彬友・小澤祐介・小長谷貴志・シェリフ多田野サム
 国立極地研究所北極観測センター 大石龍太・市野美夏

実施年度：平成 24 年度～平成 24 年度

1. 研究目的

本研究では、全球気候モデル MIROC 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）を併用できるような、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、二酸化炭素増加時に北極が全球平均に比べて著しく温暖化する現象（北極温暖化増幅）のメカニズムについて新しいフィードバック解析手法を導入して調べる。これは過去の温暖期と将来の気候変動の両者の理解に役立つと期待される。

2. 研究計画

まず、MIROC モデルを用いていくつかの CO₂ レベルや太陽放射照度を変えた理想化実験を行い、北極域温暖化増幅応答を系統的に把握する。既存の実験については、2009 年に Lu and Cai によって提案された新しい解析手法（CFRAM=climate feedback-response analysis method）に必要な変数を追加出力する。同時に、MIROC モデルを利用して、放射カーネルを作成する。ここで言う放射カーネルとは、気温 1℃上昇毎に変化する（規格化された）長波放射フラックスを指し、解析の際にエネルギーフラックス収束から気温変化に逆変換する際に使用する。過去において作成された放射カーネルでは、大気上端での放射フラックス情報のみを保存し解析に使用したが、今回は鉛直全てのレベルでの放射フラックス情報を必要とするため、新しく作成する。また、実際に CFRAM を MIROC に適用し、その適用可能性を調べ、様々な実験結果の解析を行う。必要に応じて過去に行った PRP（partial radiative perturbation）解析も利用、追加する。

3. 進捗状況

MIROC3.2 を用いて、大気中 CO₂ 濃度を 0.5、2、4 倍に変化させた実験を行った。また、太陽定数を 2% 増加した実験を行った。これらの実験は、海洋混合層モデルに結合された大気 GCM（AS-0.5xCO₂、AS-2xCO₂、AS-4xCO₂、AS-TSI+2%）を用い、2 倍増、4 倍増実験のみ大気海洋結合 GCM の平衡実験結果（AO-2xCO₂、AO-4xCO₂）も解析した。

いくつかの実験において異なった強さの北極気温変

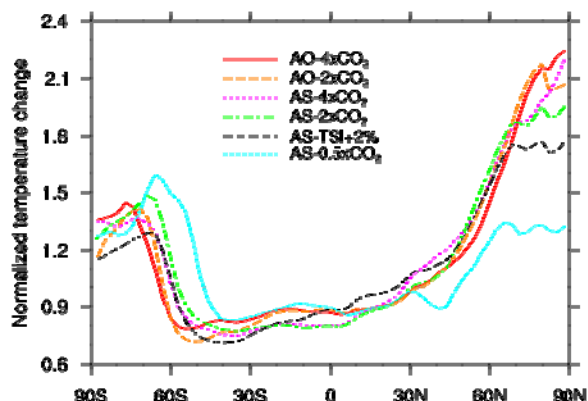


図 1 全球気温変化で規格化された各実験の産業革命前標準実験からの帯状平均気温偏差。横線は全球気温変化レベルに相当する。

化増幅が見られ（図 1）、特に、太陽放射照度の変化や CO₂ 濃度低下にともなう北極域の気温変化比は CO₂ 濃度上昇にともなうものに比べてやや小さいことが示された。

まず、北極域の気温変化に寄与するプロセスについて調べる。シミュレーションにより得られた北極域の気温変化（図 2、SIM）が、CFRAM により独立に求められた各フィードバック項の和（ALL）で再現できたことから、CFRAM の本 GCM への適用可能性と個々の寄与への分離評価が可能であることが示された。アルベドフィードバック（ALB）の寄与は予想通り大きい、水蒸気フィードバック（WVP）も同様に大きいことがわかった。蒸発冷却と極域への潜熱輸送の増加

は互いに北極の気温変化を打ち消し合うため、実験によって水循環の寄与の正負は微妙なバランスで決まる (LH+LSC)。一方で、力学過程は北極域の温暖化の抑制に寄与している (DYN)。これは、低緯度からの顕熱輸送の減少と整合的である (図省略)。

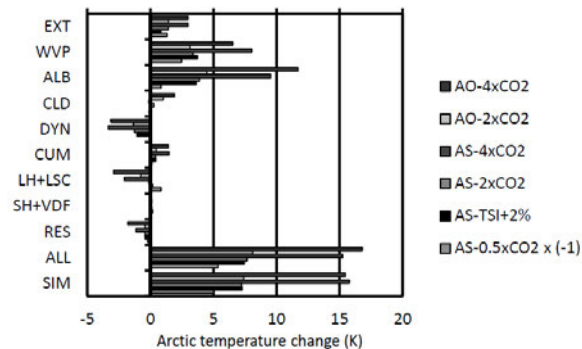


図 2 : 北極域 (65N-90N) の大気最下層の気温変化への各フィードバックプロセスの寄与。フィードバックプロセスの項をエネルギーフラックス収束への寄与を通して、外部強制による寄与 (EXT)、水蒸気の放射効果 (WVP)、地表面アルベドの放射効果 (ALB)、雲の放射効果 (CLD)、乾燥力学過程 (大気顕熱輸送など) の寄与 (DYN)、積雲対流の寄与 (CUM)、地表面潜熱フラックスと大規模凝結の寄与 (LH+LSC)、地表面顕熱フラックスと鉛直熱拡散の寄与 (SH+VDF)、その他 (RES) に分けて評価。

次に、北極域の気温変化が全球平均より大きくなる理由について調べる。図 3 より、アルベドフィードバック (ALB) と水循環 (LH+LSC) は北極域の気温変化と全球の気温変化の差を大きくする方向に寄与し、力学過程 (DYN) は小さくする方向に寄与していることがわかる。ただし、AS-0.5xCO2 実験においては、アルベドフィードバックが 65N 緯南でより大きいため、わずかに負の寄与になっている。これらのことから、北極温暖化増幅の理解には、アルベドフィードバックだけでなく、蒸発冷却や潜熱輸送など水循環にも注目する必要があると言える。

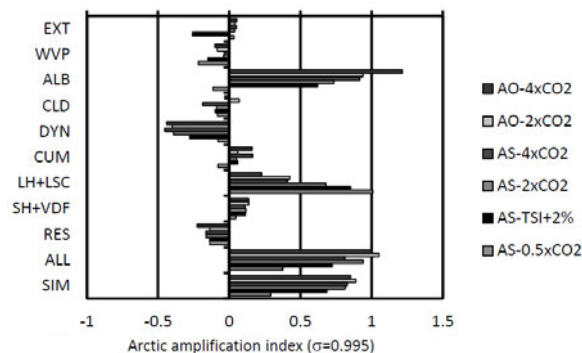


図 3 : 大気最下層における北極域 (65N-90N) と全球平均気温変化の差への各フィードバックプロセスの寄与。正 (負) は北極域の気温変化を全球に比べて大きく (小さく) するように寄与することに相当。

4. 今後の計画

現在の CFRAM 解析は年平均気温変化の解析には適用できるが、季節変動応答などの解析には直接適用できない。これらの適用可能性について検討するとともに、季節変動場などを調べることでより解釈を補足する。また、新モデル MIROC5 との比較を行う。さらに、マルチモデル解析などへの応用についても検討を開始する。

5. 計算機資源の利用状況 (2012 年 4 月～9 月)

実行ユーザ数: 9 CPU 時間 1 ノード未満: 0 hour, 1 ノード: 3,787 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 3,787 hours

6. 昨年度研究課題のまとめ

6.1. 昨年度研究課題名

今年度と同様。

6.2. 昨年度研究課題の目的

MIROC を用いて、古気候数値実験を行い、氷期および将来気候に関する気候感度と気候フィードバック解析を行う。特に、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追加実験とその解析を行う。

6.3. 昨年度研究課題の成果概要

本研究では将来の温暖化と最終氷期最盛期 (Last Glacial Maximum: 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追加実験を行い、特に氷床がもたらす影響について数値実験を通して調べた。氷床の効果をその高い反射率と表面高度に分離し、その雲フィードバックへの寄与を定量的に調べた。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主に引き起こされ、高い氷床の存在により LGM 氷床の偏西風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。

6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ: 6 CPU 時間 1 ノード未満: 0 hour, 1 ノード: 2,524 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 2,524 hours

研究課題名：全球多媒体モデルを用いた塩素・臭素系有機汚染物質の動態の評価に関する研究

課題代表者：国立環境研究所環境リスク研究センター 河合 徹
共同研究者：国立環境研究所環境リスク研究センター 鈴木規之

実施年度：平成 24 年度～平成 24 年度

1. 研究目的

残留性有機汚染物質 (POPs) は遠隔地 (例えば極域) の高等生物からも高濃度で検出される等、とりわけ地球規模での生態系への悪影響が懸念されてきた化学汚染物質である。筆者らは、POPs の大気-海洋-陸域-生態圏における動態を複合的に評価する全球多媒体モデル FATE (Finely-Advanced Transboundary Environmental model) の開発を行っている。本課題では、物質の物理化学特性を分子構造より推定する QSPR (quantitative structure-property relationship) モデルを FATE に導入する。これにより、FATE を、理論上可能な全塩素・臭素系物質に拡張する。これらの物質の地球規模動態を評価することを目的とする。

2. 研究計画

物質の物理化学特性を QSPR モデルより推定するサブモデルを開発する。また、本課題に関連するモデルプロセスの改良を行う。その後、物理化学特性からみて代表的な塩素・臭素系有機汚染物質を 20-30 種程度選別してシミュレーションを実施する。この結果を用い、長距離輸送特性 (LRTP; long-range transport potential) と環境中における残留性 (Pov; overall persistency) を評価する。

3. 進捗状況

本モデルでは、各種分配係数 (K_{AW} , K_{OW} , K_{OA} , P_L) と吸着係数 (有機炭素への吸着係数, K_{OC} , 等)、相移動の内部エネルギー、環境媒体中での分解率 (又は半減期) を用いる。これらを QSPR モデルより推定するサブモデルを開発した。また、GDP 等の経済指標と人口分布を取りまとめ、仮想排出量シナリオを作成した。これにより、全塩素・臭素系 POPs (1436 種) のシミュレーションを行うことが可能となった。

本課題と関連し、QSPR モデルより推定した K_{OC} と衛星データ (SeaWiFS) をベースにした炭素循環モデルを用いた、海洋低次生態系への生物移行サブモデルを開発した。これにより、生物ポンプによる POPs の (中) 深海への輸送プロセスが精緻化された。

本計算に先立ち、代表的な塩素系 POPs である PCBs (polychlorinated biphenyls) を取り上げ、過去 80 年間 (1930-210) のシミュレーションを行った。ソース-レセプター解析により LRTP を評価することを試みている。大気・海洋境界層における PCBs の発生源寄与率を推定した。図 1 は海洋混合層内の PCB153 に対する、主要なソース地域 (北アメリカ, ヨーロッパ) の寄与率の空間分布である。北アメリカは北大西洋の中・低緯度、ヨーロッパは極域の PCB153 汚染に対する主要なソース地域になっていることが示された。

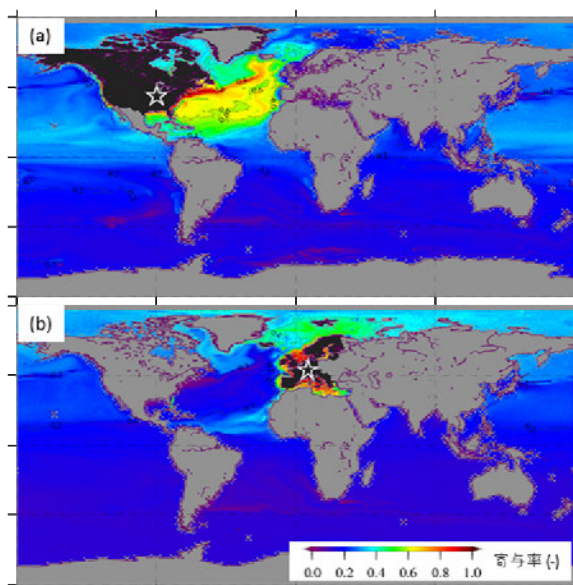


図 1 海洋混合層内の PCB153 への (a) 北アメリカ、(b) 北南西ヨーロッパの寄与率。2010 年の予測結果。☆は排出量の重心。

4. 今後の計画

これまでに (4-9 月)、研究計画前半に記した、モデル開発に関連する作業はほぼ完了した。今後は選別した塩素・臭素系 POPs を対象としたシミュレーションを行い、これらの物質の LRTP と Pov を議論する。

5. 計算機資源の利用状況 (2012 年 4 月～9 月)

実行ユーザ数: 1 CPU 時間 1 ノード未満: 15 hours,
1 ノード: 928 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 943 hours



**独立行政法人国立環境研究所
地球環境研究センター**

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