

平成25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 25 (2013) 年 12 月 19 日 (木) 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-9/A(ECO))

■仕様■

CPU 数 : 128CPU (16CPU/ノード、計 8 ノード) 最大ベクトル演算性能 : 13.1 TFLOPS

総主記憶容量 : 4 TB (512 GB/ノード × 8 ノード)

総 目 次

平成 25 年度スーパーコンピュータ利用研究報告会プログラム	1
The 21st NIES Supercomputer Workshop Programme	3
発表要旨目次	5
発表要旨	9

平成 25 年度スーパーコンピュータ
利用研究報告会プログラム

平成 25 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 25 年 12 月 19 日（木）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**
向井 人史(国立環境研究所 地球環境研究センター長)
- 13:05～13:15 **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)
- 13:15～13:27 **気候変動予測における不確実性伝播過程に関する研究**
課題代表者および報告者：塩竈 秀夫 (国立環境研究所 地球環境研究センター)
- 13:27～13:39 **広域大気汚染構造の理解と対策評価に関する研究**
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)
- 13:39～13:51 **MIROC モデルをベースにした化学気候モデルの開発とオゾン層の将来予測**
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)
- 13:51～14:03 **GOSAT による濃度データの高精度モデル予測と温室効果ガスの地表面吸収排出量の推定**
課題代表者：Shamil Maksyutov (国立環境研究所 地球環境研究センター)
報告者：齊藤 誠 (国立環境研究所 地球環境研究センター)
- 14:03～14:15 **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：及川 栄治 (東京大学 大気海洋研究所)
- 14:15～14:27 **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：沢田 雅洋 (東京大学 大気海洋研究所)
- 14:27～14:44 **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 (終了報告)**
課題代表者および報告者：花崎 直人 (国立環境研究所 地球環境研究センター)
- 高度な陸域要素モデルの開発とそれを用いた全球スケールの気候変動研究 (年度報告)**
課題代表者および報告者：伊藤 昭彦 (国立環境研究所 地球環境研究センター)
- 14:44～14:56 **風波乱流中の気液界面を通じた運動量とスカラ輸送に及ぼす碎波と降雨の影響**
課題代表者および報告者：小森 悟 (京都大学大学院 工学研究科)
- 14:56～15:08 **希少野生動物のゲノム解析**
課題代表者：中嶋 信美 (国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター)
報告者：遠藤 大二(酪農学園大学 獣医学類)
- 15:08～15:28 **Coffee Break**

- 15:28～15:40 **気候モデル MIROC および氷床力学モデル IcIES を用いた過去と将来の気候モデリング**
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)
- 15:40～15:52 **GOSAT データ処理運用システムにおける確定再処理用参照データの作成**
課題代表者および報告者：網代 正孝 (国立環境研究所 地球環境研究センター)
- 15:52～16:04 **陸域炭素循環モデルと衛星観測データの融合実験**
課題代表者および報告者：市井 和仁(国立環境研究所 地球環境研究センター)
- 16:04～16:16 **高分解能でのリモートセンシング解析情報を用いた土地利用モデルシミュレーション**
課題代表者：山形 与志樹 (国立環境研究所 地球環境研究センター)
報告者：瀬谷 創 (国立環境研究所 地球環境研究センター)
- 16:16～16:28 **樹木年輪セルロースの酸素同位体を使った気候モデル MIROC の気候変動再現性評価**
課題代表者および報告者：栗田 直幸 (名古屋大学大学院 環境学研究科)
- 16:28～16:40 **海洋混合層スキームの高度化と流動・水質・生態系シミュレーションへの応用**
課題代表者：東 博紀 (国立環境研究所 地域環境研究センター)
報告者：古市 尚基(国立環境研究所 地域環境研究センター)
- 16:40～16:52 **全球多媒体モデルを用いた残留性有機汚染物質の海洋水産資源への曝露評価手法の開発**
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)
- 16:52～17:04 **系外惑星大気シミュレーションモデルの開発:火星ダスト循環過程の実装実験**
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)
- 17:04～17:25 **総合討論**
- 17:25～17:30 **閉会挨拶**
三枝 信子 (国立環境研究所 地球環境研究センター副センター長)

○利用研究報告会終了後 18:00 より懇親会（会費制¥3,500/人程度、場所は当研究所近辺）を開催する予定です。

The 21st NIES Supercomputer Workshop

Date: December 19 (Thu), 2013, 13:00–17:30

Place: Conference Room, Climate Change Research Hall (Ground Floor),
CGER, National Institute for Environmental Studies (NIES)

Contact: Supercomputer Secretariat

Tel: 029-850-2409, Fax: 029-858-2645, E-mail: www-cger@nies.go.jp

- 13:00~13:05 **Opening address**
Hitoshi MUKAI (CGER, NIES)
- 13:05~13:15 **Operation status of the NIES supercomputer system and outline of research applications**
CGER/Environmental Information Department
- 13:15~13:27 **Studies on uncertainty cascades in climate change simulations**
Hideo SHIOGAMA (CGER, NIES)
- 13:27~13:39 **Understanding of the air pollution structure and evaluation of its measures**
Tatsuya NAGASHIMA (CRER, NIES)
- 13:39~13:51 **Development of chemistry-climate models based on the MIROC model and future projection of the ozone layer**
Hideharu AKIYOSHI (CGER, NIES)
- 13:51~14:03 **High resolution transport modeling for GOSAT retrieval and inverse modeling of surface green house gas fluxes**
Makoto SAITO (CGER, NIES)
- 14:03~14:15 **Development of a combined system for CAI-satellite imager analysis and model simulation**
Eiji OIKAWA (The University of Tokyo)
- 14:15~14:27 **Numerical study on cloud systems using NICAM**
Masahiro SAWADA (The University of Tokyo)
- 14:27~14:44 **Incorporation of new land process schemes into the MIROC global climate model and its application to land-atmosphere interaction studies**
Naota HANASAKI (CGER, NIES)
Development of land component models and application to global-scale climate change studies
Akihiko ITO (CGER, NIES)
- 14:44~14:56 **Effects of breaking waves and rainfall on momentum and scalar transfer across the gas-liquid interface in wind-driven turbulence**
Satoru KOMORI (Kyoto University)
- 14:56~15:08 **Genome analysis of endangered species**
Daiji ENDO (Rakuno Gakuen University)

15:08~15:28

Coffee Break

15:28~15:40 **Climate modeling of the past and the future using a climate model (MIROC) and an ice sheet model (IcIES)**

Masakazu YOSHIMORI (The University of Tokyo)

15:40~15:52 **Reference data production for reprocessing at the GOSAT DHF**

Masataka AJIRO (CGER, NIES)

15:52~16:04 **Model-data fusion experiment using terrestrial carbon cycle model and remote sensing data**

Kazuhito ICHII (CGER, NIES)

16:04~16:16 **Simulation of integrated land-use models using high resolution remote sensing information**

Hajime SEYA (CGER, NIES)

16:16~16:28 **Evaluation of the simulated past climate variability through comparison with tree-ring oxygen isotope records**

Naoyuki KURITA (Nagoya University)

16:28~16:40 **Improving parameterizations of ocean mixing processes and their application to coupled ocean physical-biogeochemical-ecosystem simulation**

Naoki FURUICHI (CRER, NIES)

16:40~16:52 **Global-scale prediction of POPs exposure to marine fishery resources using a 3D dynamic multimedia environmental fate model**

Toru KAWAI (CERR, NIES)

16:52~17:04 **Development of atmospheric simulation models for exoplanets: Implementation experiment of Martian dust circulation processes**

Masaki ISHIWATARI (Hokkaido University)

17:04~17:25 **Discussion**

17:25~17:30 **Closing address**

Nobuko SAIGUSA (CGER, NIES)

The reception will be held after the workshop near NIES.

発表要旨

発 表 要 旨 目 次

気候変動予測における不確実性伝播過程に関する研究.....	9
○塩竈 秀夫 ¹ ・小倉 知夫 ¹ ・石崎 安洋 ¹ ・釜江 陽一 ¹ ・木本 昌秀 ² ・渡部 雅浩 ² ・羽角 博康 ² ・野中 (荒井) 美紀 ² ・阿部 学 ³ ・野沢 徹 ⁴	
(¹ 国立環境研究所地球環境研究センター、 ² 東京大学大気海洋研究所、 ³ 国立極地研究所北極観測センター、 ⁴ 岡山大学大学院自然科学研究科)	
広域大気汚染構造の理解と対策評価に関する研究.....	11
○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 ・渡邊 真吾 ⁵	
(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ーアイ制御システム部、 ⁵ 海洋研究開発機構地球環境変動領域)	
MIROC モデルをベースにした化学気候モデルの開発とオゾン層の将来予測.....	13
○秋吉 英治 ¹ ・門脇 正尚 ¹ ・菅田 誠治 ² ・高橋 正明 ³ ・山下 陽介 ⁴ ・中村 哲 ⁵	
(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 JSPS 海外特別研究員 [レディング大学]、 ⁵ 国立極地研究所 GRENE 事業 [北海道大学大学院地球環境科学研究科])	
GOSAT による濃度データの高精度モデル予測と温室効果ガスの地表面吸収排出量の推定 (High Resolution Transport Modeling for GOSAT Retrieval and Inverse Modeling of Surface Greenhouse Gas Fluxes)	15
Shamil Maksyutov ¹ ・白井 知子 ¹ ・中山 忠暢 ¹ ・○齊藤 誠 ¹ ・金 憲淑 ¹ ・横井 孝暁 ¹ ・Rajesh Janardanan ¹ ・石澤 みさ ¹ ・高木 宏志 ¹ ・馬淵 和雄 ¹ ・佐伯 田鶴 ¹ ・Mohammed Hayyan Alsibai ¹ ・Dmitry Belikov ² ・Vinu Valsala ³ ・小田 知宏 ⁴ ・峰島 知芳 ⁵	
(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 Indian Institute for Tropical Meteorology、 ⁴ Cooperative Institute for Research in the Atmosphere, Colorado State University、 ⁵ 東京農工大学工学部化学システム工学科)	
CAI 衛星解析とモデルシミュレーションの統合システムの構築.....	17
中島 映至 ¹ ・井上 豊志郎 ¹ ・打田 純也 ¹ ・Yong Yu ¹ ・○及川 栄治 ¹ ・Nick Schutgens ² ・中田真木子 ³	
(¹ 東京大学大気海洋研究所、 ² University of Oxford, Clarendon Laboratory、 ³ 近畿大学総合社会学部)	
NICAM による雲降水システムの研究.....	19
佐藤 正樹・端野 典平・○沢田 雅洋・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	21
○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所、 ⁴ 東京大学生産技術研究所)	
高度な陸域要素モデルの開発とそれを用いた全球スケールの気候変動研究	23
○伊藤 昭彦 ¹ ・横畠 徳太 ¹ ・花崎 直太 ¹ ・加藤 悦史 ¹ ・増富 祐司 ² ・山田 朋人 ³ (¹ 国立環境研究所地球環境研究センター、 ² 埼玉県環境科学国際センター、 ³ 北海道大学大学院工学研究院)	
風波乱流中の気液界面を通しての運動量とスカラ輸送に及ぼす砕波と降雨の影響	24
○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)	
希少野生動物のゲノム解析	26
○中嶋 信美 ¹ ・大沼 学 ¹ ・遠藤 大二 ² (¹ 国立環境研究所生物・生態系環境研究センター、 ² 酪農学園大学獣医学群)	
気候モデル MIROC および氷床力学モデル IcIES を用いた過去と将来の気候モデリング	27
阿部 彩子 ¹ ・○吉森 正和 ¹ ・Wing-Le Chan ¹ ・山本 彬友 ¹ ・尾崎 和海 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 ・新田 友子 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)	
GOSAT データ処理運用システムにおける確定再処理用参照データの作成	29
○網代 正孝・横田 達也・幸 昭・河添 史絵・宮坂 隆之・池上 久通・中村 東奈 (国立環境研究所地球環境研究センター)	
陸域炭素循環モデルと衛星観測データの融合実験	30
○市井 和仁 ¹ ・近藤 雅征 ² (¹ 国立環境研究所地球環境研究センター、 ² 福島大学共生システム理工学類)	
高分解能でのリモートセンシング解析情報を用いた土地利用モデルシミュレーション	31
山形 与志樹・○瀬谷 創 (国立環境研究所地球環境研究センター)	
樹木年輪セルロースの酸素同位体を使った気候モデル MIROC の気候変動再現性評価	32
○栗田 直幸・中塚 武 (名古屋大学大学院環境学研究科)	

海洋混合層スキームの高度化と流動・水質・生態系シミュレーションへの応用.....	33
東 博紀・○古市 尚基 (国立環境研究所地域環境研究センター)	
全球多媒体モデルを用いた残留性有機汚染物質の海洋水産資源への曝露予測 手法の開発.....	34
○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)	
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	36
○石渡 正樹 ¹ ・林 祥介 ² ・荻原 弘堯 ³ ・中島 健介 ⁴ (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 北海道大学大学院理学院、 ⁴ 九州大学大学院理学研究院)	

(○印は発表者)

【CPU 時間の表記について】

現行のシステム SX-9/A(ECO)においては、1 ノードあたり 16CPU を搭載しており、各キューは以下のような構成となっております。平成 25 年度の CPU 時間については、このかたちで記載いたします。

- v_deb: 1~16CPU 利用可能 (無指定時: 1CPU、最大 1 ノード内の実行)
- v_cpu: 1~7CPU 利用可能 (無指定時: 1CPU、最大 1 ノード内の実行)
- v_8cpu: 1~8CPU 利用可能 (無指定時: 8CPU、最大 1 ノード内の実行)
- v_16cpu: 1~16CPU 利用可能 (無指定時: 16CPU、最大 1 ノード内の実行)

研究課題名：気候変動予測における不確実性伝播過程に関する研究

課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター 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 小倉知夫・石崎安洋・釜江陽一
 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
 国立極地研究所北極観測センター 阿部 学
 岡山大学大学院自然科学研究科 野沢 徹

実施年度：平成 25 年度～平成 26 年度

1. 研究目的

CO₂ 倍増時の全球平均地上気温上昇量を示す気候感度は、その重要性から長年研究されているにもかかわらず、不確実性の幅を縮めることが出来ていない。また気候感度や他の外部強制力に対する気候応答の不確実性が、過去の気候変動要因推定や将来予測の不確実性にどのように伝播するかに関しては、簡易気候モデル（エネルギーバランスモデル等）を用いた研究は多いが、大気海洋結合モデルの大規模アンサンブル実験による系統的な研究は十分に行われていない。本課題では、大気海洋結合モデル MIROC を用いて、これらの問題に取り組む。

2. 研究計画

大気海洋結合モデル MIROC シリーズを用いて様々な実験を行い、気候感度に不確実性をもたらす要因に関して研究を行う。さらに気候感度の不確実性が、エアロゾルに対する気候応答の不確実性とどのように関係するかを調べる。その上で、気候感度とエアロゾル気候応答の不確実性が、過去気候再現実験（産業革命前から現在まで）や将来予測実験の不確実性にどのように伝播するかを調査する。

3. 進捗状況

気候感度がモデルごとに異なる要因としては、モデル間で物理スキーム（パラメタゼーション）の作り方が異なるという「構造不確実性」と、同じ物理スキームであってもパラメータ値が異なればモデルの応答が変わるという「パラメータ不確実性」がある。これまで、我々はパラメータ不確実性を調べるために、大気海洋結合モデル MIROC5 のパラメータ値を変えて気候感度を調べる大規模な「物理パラメータ・アンサンブル実験」を実施した。また気候感度の構造不確実性を研究するために、MIROC5 の複数の物理スキームを旧バージョンである MIROC3 のものと入れ替える「物理スキーム・アンサンブル実験」も行った。

昨年度から本年度にかけて、物理スキーム・アンサンブル実験で用いた 8 個の MIROC5/3 ハイブリッドモ

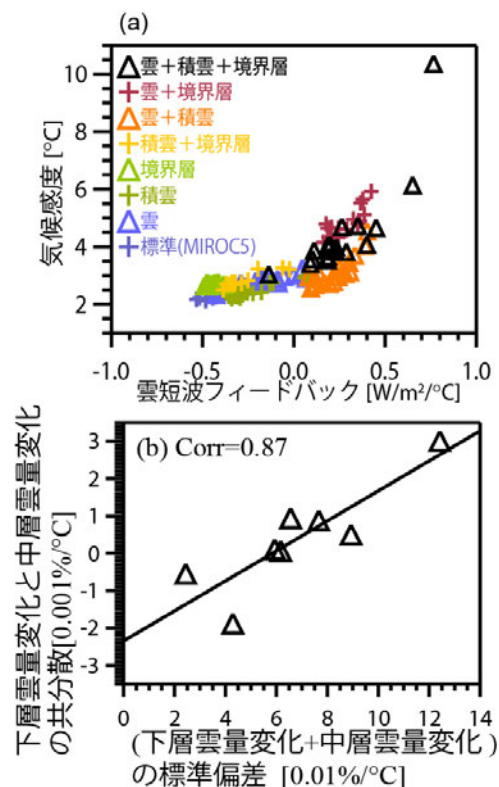


図 1 (a) MPMPE の気候感度と雲短波フィードバックの分布。(b) MPMPE の各ハイブリッドモデルにおける「下層雲量変化と中層雲量変化の共分散」と「下層雲量変化+中層雲量変化の標準偏差」の関係。

デルを使って、パラメータ値に摂動を与える「マルチパラメータ・マルチ物理・アンサンブル実験(Multi Parameter Multi Physics Ensemble, MPMPE)」を実施し、気候感度の構造不確実性とパラメータ不確実性の要因を分析した。

図 1 a に気候感度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。気候感度と雲短波フィードバックの間に強い相関がある。また各ハイブリッド

モデルにおける雲短波フィードバックのパラメータ不確実性の大きさは、下層雲量変化と中層雲量変化間の共分散関係によって決まることも明らかにした (図 1b)。

4. 今後の計画

MIROC5 モデルの物理パラメータ値に摂動を与えた上で、人為起源エアロゾルに対する気候応答を調べる物理パラメータ・アンサンブル実験を行う。既に実施した気候感度を調べる物理パラメータ・アンサンブル実験の結果と比較することで、異なる外部強制力に対する気候応答のパラメータ不確実性の関係を調べる。さらに気候感度とエアロゾル気候応答の不確実性が、過去気候再現実験や将来予測実験の不確実性にどのように伝播するかを研究する。

5. 計算機資源の利用状況 (2013 年 6 月～11 月)

実行ユーザ数: 10 CPU 時間 v_deb: 227.144 hours, v_cpu: 0 hours, v_8cpu: 1,629.90 hours, v_16cpu: 73,956.22 hours, 計: 75813.267 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

MIROC シリーズを用いて、気候感度の不確実性に関する研究を集中的に行った。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。フィードバックと放射強制力は、その時間スケールが異なる。昨年度課題においては、短期 (数日) と長期 (数年から数十年) の 2 つの異なる時間スケールの数値実験を行うことで、フィードバックと放射強制力の両者の不確実性を調べることを目的とした。

6.3. 昨年度終了研究課題の成果概要

CO₂ 濃度増加に対する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 種類の実験を行った。

(1) 長期積分: 昨年度から本年度にかけて、前述した MPMPE を行い、フィードバックの不確実性を調べた。

(2) 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した。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 倍増実験を行った。高いシグナル・ノイズ比を得るために、64 アンサンブルメンバー計算した。

図 2 に、短期積分実験における CO₂ 濃度増加後 5 日間の雲量変化を示す。1 日目から対流圏下層の雲が減り始め (地上に届く短波放射量は増加)、最初の 5 日間程度で対流圏調節が起きることが分かった。

6.4. 昨年度までの計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 13 CPU 時間 1 ノード未満: 466.361 hours, 1 ノード: 136,453.204 hours, 2 ノード: 189,457.439 hours, 3 ノード: 75,730.320 hours, 計: 402,107.324 hours

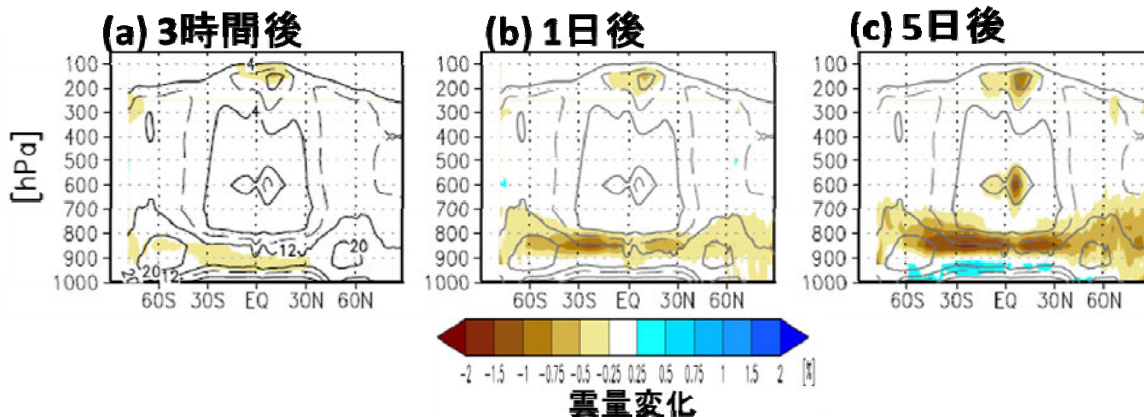


図 2 短期実験における CO₂ 濃度増加直後の雲量変化 [陰影, %]。コンターは、コントロール実験における雲量 [%]。

研究課題名：広域大気汚染構造の理解と対策評価に関する研究

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

海洋研究開発機構地球環境変動領域 渡邊真吾

実施年度：平成 25 年度～平成 27 年度

1. 研究目的

全球規模の化学・エアロゾル輸送モデルを用いて、オゾン・エアロゾル (PM_{2.5}) の東アジア域におけるローカルな汚染、遠隔領域からの汚染、成層圏からの流入などの寄与を評価し、大気汚染の重層的な構造に関する定量的な理解を進める。更に、我が国を中心に東アジアの近隣諸国における、真に有効な大気汚染対策の構築に資するため、各種対策シナリオの大気質改善効果および気候変化の緩和効果を評価して、対策シナリオ構築へのフィードバックを行う。

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-CHEM)。を用いて、前年度までに行ってきた近未来 (2030 年) の大気質・気候影響変化予測のシナリオ実験の結果をより詳しく解析すると共に、その結果を参考にしてリバイズされた将来シナリオを用いた実験を行い、同シナリオの評価を行う。また、MIROC-ESM-CHEM の改善を更に進めるために、計算結果と観測データとの比較を引き続き進め、エアロゾル等の再現性に関する検証を深化させる一方、異なる空間分解能を設定した計算を行い、その効果を検証する。

3. 進捗状況

昨年度に行った 2030 年を対象とする近未来の大気質・気候変化の予測シナリオ実験の結果について、領域規模の化学輸送モデルを用いてダウンスケールし、東アジアの大気質への影響に関して詳細な解析を行った。日本域の PM_{2.5} に関しては、オゾンでは状況の悪化をもたらすと評価されたシナリオ (CLE シナリオ) であっても、年平均、日平均の環境基準 (それぞれ 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) がほぼ達成される、という結果となった。しかし、中国東部や朝鮮半島では、中庸なシナリオ (450ppm シナリオ) であっても十分な改善が図られず、東アジア全体の大気質を改善させるためには、より強力な対策を行う必要性が示唆された。そこで、東アジアにおける大気汚染物質前駆体の発生量を更に押さえた近未来シナリオを、450ppm シナリオを

ベースとして作成し (450cntr シナリオ)、その大気質・気候への影響を評価する実験を行った。年平均した地表におけるオゾンと PM_{2.5} の濃度変化を、2005 年想定の実験からの差を取って評価すると、450cntr シナリオでは、450ppm シナリオに対して東アジア域で大幅な大気質の改善が図られていることが分かる (図 1)。中国域で平均すると、年平均オゾンの変化量は、450ppm シナリオでは微増であったところが、450cntr シナリオでは減少に転じ、同じく PM_{2.5} でも、減少量が 450ppm シナリオの場合に比べて 3 倍程度に増えていることが分かった。

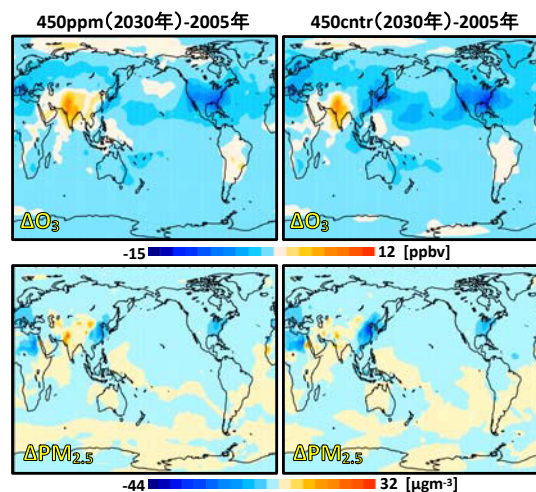


図 1 年平均した地表オゾン (上段)、地表 PM_{2.5} (下段) の現状シナリオとの差。左：450ppm シナリオ、右：450cntr シナリオ。

4. 今後の計画

450cntr 実験の結果を、放射強制力の観点から解析するとともに、ダウンスケールして東アジアの大気質への影響を評価する。また、MIROC-ESM-CHEM を、100 km 程度のより高い空間分解能の設定で実行し、大気化学成分の再現性の向上に関して検証を行う。

5. 計算機資源の利用状況 (2013 年 6 月～11 月)

実行ユーザ数: 7 CPU 時間 v_deb: 54,741 hours, v_cpu: 0 hours, v_8cpu: 17,656.408 hours, v_16cpu: 83,309.79 hours, 計: 101,022.804 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

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。

6.3. 昨年度終了研究課題の成果概要

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-CHEM）を用いて、現状（2005年）相当の短寿命気候強制因子（Short-lived Climate Forcers：SLCFs；オゾンやエアロゾルなど）前駆物質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））の将来シナリオ実験を行い、各シナリオによる将来影響の違いを評価した。

年平均した地表オゾン濃度は、現状（2005年）と比較した場合、CLEシナリオでは、中国やインドを中心に最大で5~10ppbv程度増加する一方、北米や欧州では前駆物質の減少によって著しい減少が見られた。このような傾向は450ppmシナリオでもほぼ同様であった。日本においては、両シナリオともオゾン減少という結果になっている。一方、MFRシナリオでは、世界的なオゾン減少となった。PM2.5に関しては、CLEや450ppmシナリオにおいて、インド周辺で増加が大きく、北米と欧州で顕著に減少する傾向はオゾンと共通であるが、東アジアにおいては、オゾンの場合と異なり、CLEシナリオでも中国東部の中心域で濃度が減少し、更に450ppmシナリオでは華北平原において最大で約30%もの減少が見られた。ただし、減少するとはいえ、中国域で平均した場合の年平均PM2.5濃度は、450ppmシナリオにおいても、日本の環境基準(15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を超過しており、一層の削減が必要であることが分かった。更に、このような全球規模モデルによる将来の大気質変化の評価結果を、領域規模の化学輸送モデルでダウンスケールしより詳細に解析した。図2は、地表オゾンの日最高8時間平均値が、米国環境保全局（EPA）の基準である75ppbvを超過する日数をシナリ

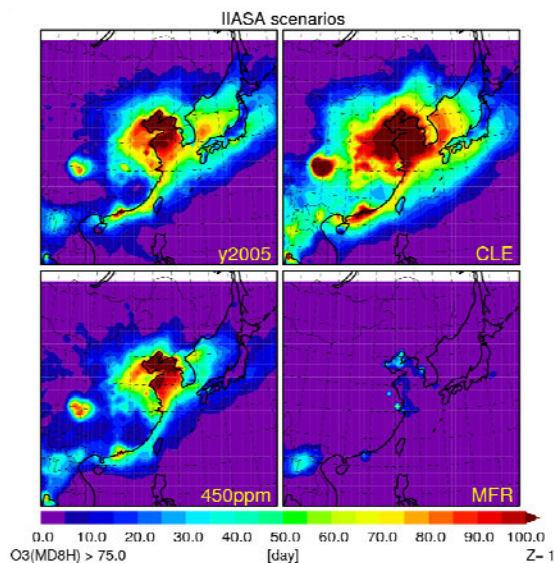


図2 地表オゾンの日最高8時間平均値が75ppbvを超過する日数の分布。

オごとに示したものである。日本域に注目すると、CLEシナリオでは基準超過日数が西日本を中心に増加する一方、450ppmシナリオでは、超過日数が大幅に減少している。日本における地表オゾンの年平均値は、両シナリオで共に減少しており、大気質の改善効果を評価する場合には、年平均値でみるか、汚染の程度を示す指標でみるかによって結果が異なることが分かった。

このように計算されたSLCFs量の変化による全球平均した放射強制力の変化をみると、SLCFs前駆物質の削減量が大きなMFRや450ppmシナリオでは、オゾンやメタンなどの温室効果気体濃度の減少により正の放射強制力が減少するが、一方でそうしたシナリオでは、太陽光を散乱する硫酸塩エアロゾルや有機炭素エアロゾルの量が減ることによって負の放射強制力が減少し、オゾン・メタン・エアロゾルを合わせた、SLCFs全体による放射強制力の変化はあまり大きくはならなかった。しかし、これにエアロゾルの間接効果の変化による放射強制力の変化を加えると、SLCFs全体として、大きな正の放射強制力を引き起こすという結果となっており、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

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: 1,539.601 hours, 1ノード: 348,031.820 hours, 2ノード: 149,938.836 hours, 計: 499,510.257 hours

研究課題名：MIROC モデルをベースにした化学気候モデルの開発とオゾン層の将来予測

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 門脇正尚
 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
 JSPS 海外特別研究員（レディング大学） 山下陽介
 国立極地研究所 GRENE 事業（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 25 年度～平成 27 年度

1. 研究目的

大気中のオゾン濃度は化学と輸送の両方の影響を受けるため、過去のオゾン層変動の再現および将来のオゾン層変動予測の精度を上げるためには、オゾンに係わる化学反応計算の精度を上げるのみならず、気温やオゾンの輸送等、気候に関連する部分の精度を上げることも必要である。そのため、気候変動に関してより信頼性の高いモデルをベースに化学気候モデルの開発を行う。前回までの課題で開発を行ってきた MIROC3.2 化学気候モデルを使って、UNEP/WMO オゾンアセスメントレポート 2014 に向けたオゾン層将来予測実験およびオゾン破壊物質 (ODS: フロン、ハロン等) と温室効果ガス (GHG) に関する感度実験を行う。また、IPCC-AR5 の温暖化の将来予測実験で使われた MIROC5 モデルをベースにした化学気候モデルの開発を行う。さらに、これらのモデルを使った数値実験結果を解析し、オゾン層変動と気候変動との関係を明らかにする。

2. 研究計画

今年度は MIROC3.2 化学気候モデルを使って、UNEP/WMO オゾンアセスメントレポート 2014 に向けたオゾン層将来予測実験、およびその ODS 濃度シナリオや GHG 濃度シナリオに対する感度実験を行う。ODS と GHG の影響を切り分けるため、これら両方の濃度の将来シナリオを取り入れた実験（コントロール実験）の他に、GHG 濃度、海面温度 (SST)、海水密度の変化のみ (ODS 濃度は 1960 年値に固定) の実験、ODS の変化のみ (GHG 濃度、SST、海水密度は 1960 年値に固定) を行う。また、GHG 濃度シナリオの違いのオゾン層や気温への影響を明らかにするため、コントロール実験で使用する RCP6.0 シナリオに加えて、RCP4.5, 6.0, 8.5 シナリオによる実験を行う。

3. 進捗状況

予定どおり、MIROC3.2 化学気候モデルによるオゾン層将来予測実験を開始した。図にその途中経過を示す。図 1 (a)には南緯 40 度以南、9 月 7 日～12 月 31 日

の期間を対象にしたオゾン全量年最低値の経年プロットを示す。ODS と GHG の両方がシナリオに従って変化する赤線の予測結果は、TOMS の観測データに比べると、オゾンが減少し始める時期が若干早い、オゾンホール回復の兆しははっきりとはわからない現況を再現している。ODS を 1960 年値に固定した場合、オゾン破壊は進まない (緑線)。また、GHG 濃度、SST、海水密度を 1960 年値に固定して温暖化が進まないようにした実験結果 (青線) は、赤線と比べて目立った違いは見られない。

図 1 (b) には、この 3 つの実験の 5hPa (高度 37km 付近) の全球平均年平均の気温の時系列を示す。GHG 濃度、SST、海水密度を固定した青線で示される時系列は、ODS 濃度変化とそれに伴うオゾン濃度のみが反映されている。ODS 濃度の増加に伴い、1990 年代後半から 2010 年にかけて気温がわずかに極小になってい

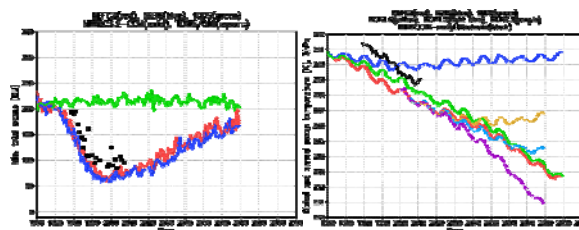


図 1 (左) MIROC3.2 化学気候モデルで計算されたオゾン全量年最低値の経年変化。南緯 40 度以南、9 月 7 日～12 月 31 日の期間を対象としている。■印は TOMS によるオゾン全量の観測値、赤実線は ODS と GHG 濃度の両方の濃度変化を取り入れた実験結果、青実線は ODS の変化のみを取り入れた実験結果、緑実線は GHG の変化のみを取り入れた実験結果。単位はドブソンユニット [DU]。(右) MIROC3.2 化学気候モデルで計算された 5hPa (～37km) の全球平均年平均気温の経年変化。黒実線が ERA-Interim の観測値、青実線と緑実線は化学気候モデルによる計算値で (a) と同じ。黄鎖線は GHG の RCP2.6 シナリオによる計算結果、水色鎖線は RCP4.5、紫鎖線は RCP8.5 による結果。なお、コントロールランである赤実線は RCP6.0 のシナリオを使って計算した結果である。単位は [K]。

ることがわかる。2050 年以降は大気中のハロゲンガス濃度の減少によりその影響は小さくなるため、赤線は、ハロゲンガスの増減の影響のない緑線に近づくことがわかる。また、GHG 排出量の多いシナリオほど気温が低下していることがわかる。

本課題では、このような化学気候モデルを使ったシミュレーションのほか、化学気候モデルに ERA-Interim の気象再解析データの気温と水平風速データをナッジングという手法で同化した化学輸送モデルによる研究も平行して行っている。北極域の突然昇温時の下部成層圏のオゾン濃度収支の解析や 2010 年 1 月 15 日の日食に伴うオゾン濃度変動の研究を行っている。

4. 今後の計画

図に示した将来予測実験結果には、火山爆発によって増加する成層圏エアロゾルの放射影響と化学影響は入れられていない。また、SST や海水密度については、MIROC3.2 大気-海洋結合モデルの温暖化実験の結果を使用している。今後、年末にかけて行う予定の過去再現実験では、火山性エアロゾルの影響も取り入れ、SST や海水密度の過去の観測データ (HadISST) を使った計算を行う。さらに、MIROC5 をベースにした化学気候モデルの開発を行って、化学スキームはほぼ同一、気候特性が異なる化学気候モデルによるオゾン層変動の計算結果の比較を行う予定である。

5. 計算機資源の利用状況(2013年6月~11月)

実行ユーザ数: 6 CPU 時間 v_deb: 3.358 hours, v_cpu: 0 hours, v_8cpu: 85.35 hours, v_16cpu: 99,246.50 hours, 計: 99,335.203 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

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。

6.3. 昨年度終了研究課題の成果概要

旧化学気候モデル (CCSR/NIES 化学気候モデル) を使ったオゾン層将来予測実験結果について対流圏への影響に着目した解析と、MIROC3.2 化学気候モデ

ルの開発を中心に行った。図 2 は、2003 年の ODS, GHG 濃度を使って計算した年平均全球平均の気温の高度分布である。旧化学気候モデルでは、下部成層圏の気温が観測値に比べて低く、逆に成層圏では高いという不具合があった。緯度的に見ると、特に熱帯上部対流圏で 6~8 度ほど気温が低く、そのため成層圏の水蒸気が実際の量よりも少なくなり、オゾン量が過大になって (図 3)、成層圏気温が実際よりも少し高くなったと考えられる。また、南極のオゾンホールが発達が不十分であった。MIROC3.2 化学気候

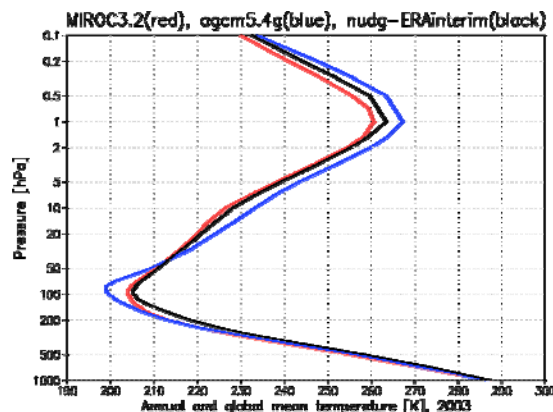


図 2 化学気候モデルで計算された 2003 年年平均全球平均気温の鉛直分布。CCSR/NIES 化学気候モデル (青線)、MIROC3.2 化学気候モデル (赤線)。観測値として ERA-Interim 再解析データを黒線で示す。単位は[K]。

モデルでは、そのような不具合はほぼ解消された。

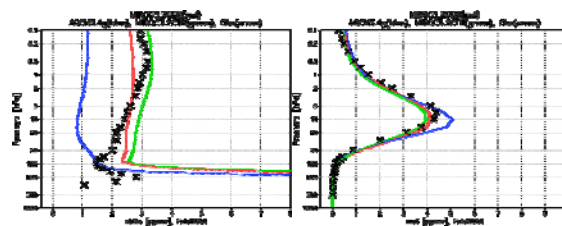


図 3 (左) 化学気候モデルで計算された 2003 年 2 月平均 51N-45S 平均の水蒸気と (右) オゾンの混合比の鉛直分布。CCSR/NIES 化学気候モデル (青線)、MIROC3.2 化学気候モデル (赤線)、ERA-Interim データで気温と水平風速をナッジングした MIROC3.2 化学輸送モデル (緑線)。観測値として HALOE データを黒の×印で示す。化学気候モデルの値は HALOE データの緯度範囲 (51N-45S) と同じ緯度範囲で平均している。単位は[ppmv]。

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: 169.358 hours, 1 ノード: 133,406.395 hours, 2 ノード: 140,141.185 hours, 計: 273,716.938 hours

研究課題名：GOSAT による濃度データの高精度モデル予測と温室効果ガスの地表面吸収排出量の推定

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 白井知子・中山忠暢・齊藤 誠・金 憲淑・横井孝暁・Rajesh Janardanan・石澤みさ・高木宏志・馬淵和雄・佐伯田鶴・Hayyan Alsibai
国立極地研究所北極観測センター Dmitry Belikov
Indian Institute of Tropical Meteorology Vinu Valsala
Cooperative Institute for Research in the Atmosphere, Colorado State University 小田知宏
東京農工大学工学部化学システム工学科 峰島知芳

実施年度：平成 25 年度～平成 25 年度

1. 研究目的

温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) レベル 4 (L4) プロダクトは、GOSAT 搭載の光学センサーで測定した輝度スペクトルから算出した大気 CO₂ 濃度カラム量や地上観測データをもとに、モデルを使用して全球 CO₂ 吸収排出量及び全球 3 次元 CO₂ 濃度分布を導出したものである。この GOSAT L4 プロダクトは、気候変動予測や温室効果ガスの排出削減に向けた対策を議論する際の有益な情報と成り得る一方で、より確かな情報を発信するためにはプロダクトに内在する不確実性を低減し、モデルの推定精度を更に高める必要がある。そこで本研究では、L4 プロダクトの核となる大気輸送モデルの先験情報の一つ、陸域生態系の正味 CO₂ 交換速度 (NEE; Mg C ha⁻¹ d⁻¹) を推定する陸域生態系モデル VISIT の精度向上を目的とする。

2. 研究計画

地上観測大気 CO₂ 濃度 (ppm) 及び地上バイオマスデータ (AGB; Mg C ha⁻¹) へ VISIT を同化する。まず、VISIT から求めた全球 NEE と、海洋及び化石燃料消費による CO₂ 吸収・排出量変動を入力情報として、大気輸送モデルを使用して大気 CO₂ 濃度の季節・年変動を推定する。この濃度推定値と地上観測大気 CO₂ 濃度データ (GLOBALVIEW)、及び VISIT から求めた AGB と観測データにもとづいて作成された全球 AGB データ (IIAS) を比較する。観測データとモデル推定値の誤差を低減するために、逆推定手法を用いて VISIT の生理生体パラメータの改良を行う。この工程を繰り返しモデルと観測値の誤差を最小化することで、VISIT の推定精度を高め、その結果を GOSAT L4 プロダクトの精度向上へ還元する。

3. 進捗状況

今年度は上記研究計画の初期段階として、一連の計算実験を行うためのシステム構築を行った。システムの初期運用確認、及び地表面 CO₂ 吸収・排出量推定への有用性を検討するため、現在は VISIT の空間解像度を低めた状態で運用している。また、VISIT を除く CO₂ 吸収・排出量変動情報の不確実性を狭めるために、使用する大気 CO₂ 濃度観測データの選別を実施した。最適化する生理生体パラメータに関しては、感度実験を実施し、NEE 及び AGB に対して高い感度を示す上位 12 個のパラメータを抽出し、実験に用いた。

構築したシステムを導入した結果、全ての観測地点において大気 CO₂ 濃度の季節変動をより現実的に表現出来るようになった (図 1)。また、大気 CO₂ 濃度に

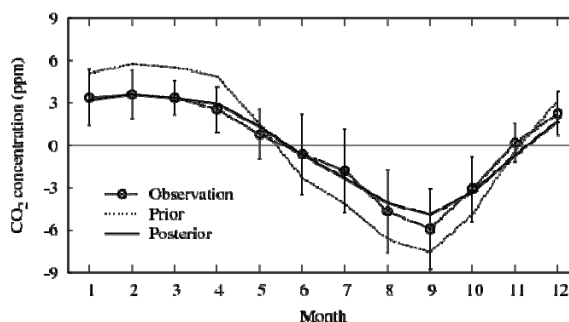


図 1 Wendover station, Utah, USA における大気 CO₂ 濃度 (ppm) の季節変動。丸印が観測値、破線が初期状態、実線が VISIT 改良後の NEE を使用した大気 CO₂ 濃度。

加え AGB データを同化に使用したことで、全球における AGB 分布の再現性が高まっただけでなく、例えば光合成吸収量や葉面積指数など解析対象外の生態系プロセスの再現性も保持された。これらの結果から、現在のシステムが本研究目的に有意であると同時に、

システムの改良が更なる精度向上につながるものと期待される。

4. 今後の計画

より広範囲の領域に渡ってモデルの再現性を高めるため、観測データを最新のものに更新し、大気 CO₂ 濃度地上観測点数の増加を図る。VISIT の空間分解能の高解像度化を実施し、より現実的な植生分布をモデル内で再現することに努めると同時に、森林火災及び土地利用変化の効果を組み込み、炭素循環メカニズムにおける攪乱要因の影響と大気 CO₂ 濃度変動への影響について理解を図る。また、本研究で使用する大気輸送モデルを最新バージョンへ更新し、逆推定手法に改良を加えることで、大気輸送過程の高度化を図り、且つ、その結果を VISIT の改良に還元することを目指す。

5. 計算機資源の利用状況 (2013 年 6 月～11 月)

実行ユーザ数: 16 CPU 時間 v_deb: 0 hours, v_cpu: 63.514 hours, v_8cpu: 0 hours, v_16cpu: 0 hours, 計: 63.514 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

6.2. 昨年度終了研究課題の目的

大気輸送モデル及びインバースモデルを高精度化し、且つ、新たな観測データをモデルに組み込むことで、全球及び領域スケールでの CO₂・CH₄ 地表面フラックスの推定精度を高める。

6.3. 昨年度終了研究課題の成果概要

全量炭素カラム観測ネットワーク (TCCON) の CO₂・CH₄ データを使用して大気輸送モデルの検証作業を実施し、大気輸送モデルが推定する CO₂・CH₄ カラム量の全球時空間変動の再現性を確認した。

GOSAT が提供する CO₂ カラム量データ (GOSAT FTS SWIR レベル 2 プロダクト; SWIR L2 プロダクト) をインバースモデルに組み込み、全球 CO₂ 地表面フラックスの推定を行った。従来の地表面観測データに加え、新たに SWIR L2 プロダクトを使用することで、これまで地上観測点が無かった地域、例えばアフリカ及びアメリカ大陸の熱帯域、における CO₂ 地表面フラックス推定値の不確実性を低減させ、推定精度を高めることに成功した。

インバースモデルを高精度化することで、より短い時間間隔で大気輸送モデルとインバースモデルを連動させて走らせことが可能になった。このインバースモデルを用いて、西シベリアにおける CO₂ 地表面フラックスについて重点的に解析を行った。また、このモデルを CO₂ のみならず CH₄ 地表面フラックス推定への適用を試みた。

6.4. 昨年度までの計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 14 CPU 時間 1 ノード未満: 230.630 hours, 1 ノード: 0 hour, 2 ノード: 0 hour, 計: 230.630 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 井上豊志郎・打田純也・Yong Yu・及川栄治

University of Oxford, Clarendon Laboratory Nick Schutgens

近畿大学総合社会学部 中田真木子

実施年度：平成 25 年度～平成 25 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

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第 5 次報告書に向けて、新しいバージョンの大気海洋結合モデル MIROC5 が開発された[Watanabe et al., 2010JC]。それに伴い、我々が使用している全球エアロゾルモデル SPRINTARS も最新版の MIROC5 と結合した MIROC5-SPRINTARS3.84 が開発されている。そこで、前年度まで開発を進めてきたエアロゾル同化システムを MIROC5-SPRINTARS3.84 に適用した。

前年度までに開発されてきた MIROC-SPRINTARS の晴天時のエアロゾルの直接放射強制力が -1.6Wm^{-2} と比較に用いられた 5 つのモデルの中でもっとも小さい値であると報告されている [Yu et al., 2006ACP]。MIROC-SPRINTARS では、エアロゾルの光学特性は SPRINTARS で計算され、放射計算は MIROC の放射コード MSTRN で行われるため、SPRINTARS と MSTRN のエアロゾルの光学特性に違いがあるのではないかと考え、調査を開始した。

3. 進捗状況

MIROC5-SPRINTARS3.84 の同化システムに地上観測ネットワークである AERONET のエアロゾルの光学的厚さ (AOT) とオングストローム指数を同化させた

実験を行った。サハラ砂漠の西端にある AERONET サイト Dakar におけるモデルの標準実験結果は、エアロゾルの増減の日変動を捉えられているものの過小評価であった (図 1 上図)。データ同化により、この過小評価が改善されている。一方、ギリシャの Forth Crete では、モデルの標準実験でヨーロッパ起源の硫酸塩により AOT が 1 を超える日が数日あるが、観測ではそれがみられず、同化実験でも抑えられている (図 1 下図)。AERONET とモデル実験の AOT の相関係数は、モデルの標準実験で 0.055 であるのに対し、同化実験では 0.64 と大幅な改善がみられた。

報告会当日は、SPRINTARS と放射コード MSTRN の光学特性の比較および改良についても発表する予定である。

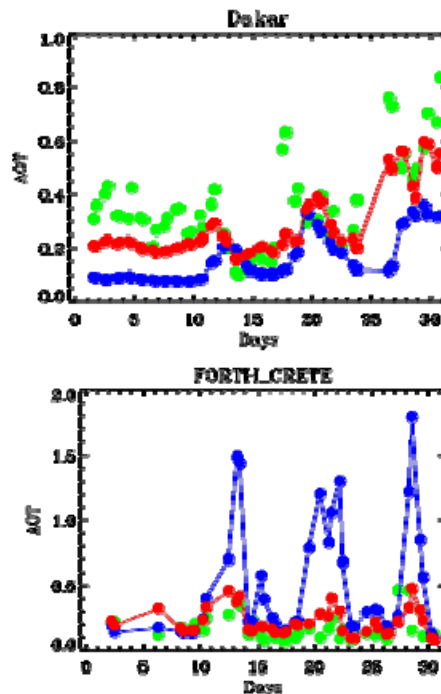


図 1 AERONET サイトにおけるエアロゾルの光学的厚さの観測値とモデル値の比較。上図は Dakar (14°N, 16°W) のもので、下図は Forth Crete (35°N, 25°E) のものである。各点は、AERONET の観測値 (緑色)、モデルの標準実験 (青色)、同化実験 (赤色) を表している。

4. 今後の計画

開発中のデータ同化システムでは、エアロゾルの排出量に摂動を与えたアンサンブル同化実験を行っており、モデル内の気象場の誤差が及ぼすエアロゾルの輸送過程への影響については、評価が行えない。そこで、エアロゾルの輸送過程を評価するため、ナudgingに用いる気象場の風速データに摂動を与え同化実験を行うことで、より現実に近いエアロゾル分布が得られると考えている。

現在、GOSAT チームでは GOSAT 衛星のよる温室効果ガスの導出におけるエアロゾルの影響除去のために本研究で確立した SPRINTARS の運用を行っているが、本年度からさらに本同化システムの業務システムへの組み込みも開始しているので、その助言活動を続ける予定である。

また、長期的な実験を行い、人為起源の黒色炭素が地表面気温や海面水温、海面高度にどの程度影響を与えるのか評価する予定である。

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

実行ユーザ数: 6 CPU 時間 v_deb: 162.879 hours, v_cpu: 207.666 hours, v_8cpu: 2,476.098 hours, v_16cpu: 11,115.02 hours, 計: 13,961.667 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

今年度と同様。

6.3. 昨年度研究課題の成果概要

2006 年に CALIPSO 衛星が打ち上げられたことにより、エアロゾルと雲の鉛直分布が全球的に得られるようになった。CALIPSO 衛星と Aqua 衛星の MODIS センサのデータを用いることにより曇天大気・全天大気におけるエアロゾルの直接放射強制力の計算を行った。モデル MIROC-SPRINTARS のシミュレーション結果を用いて同様の計算を行うことで、モデルと観測の放射強制力の比較を行うと、全天大気での南緯 60° から

北緯 60° における年平均値はモデルが -0.58Wm^{-2} で、観測が -0.61Wm^{-2} となり、非常に近い値となった。

また、これまで開発してきたエアロゾル同化システムを用いてのエアロゾルの排出量推定を行い、その推定された排出量を用いた MIROC-SPRINTARS のシミュレーションも行った。従来の手法による排出量と比較して、土壌性粒子の排出量は減少し、海塩粒子と炭素性粒子の排出量は増加した。推定した排出量を用いたシミュレーションによる AOT は、従来のものと比べて全球的に観測と近くなった。しかし、中央アフリカや南アジアなどの同化に用いる観測データの少ない領域では、過大評価となった。

本研究によって開発されてきた MIROC-SPRINTARS システムは、GOSAT ミッションにおける TANSO-FTS 放射計による気柱二酸化炭素量の導出アルゴリズムにも使用され始めている。

6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 6 CPU 時間 1 ノード未満: 471.107 hours, 1 ノード: 6,443.511 hours, 2 ノード: 0.940 hours, 計: 6,915.558 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・沢田雅洋・Woosub Roh

実施年度：平成 25 年度～平成 25 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実性が大きく、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、その不確実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。大気場の初期値に由来する不確実性を評価するため、データ同化システムの構築に、スーパーコンピュータへの実装に

着手する。その後、同化システムの動作確認のため、観測システムシミュレーション実験（OSSE）を行う。

3. 進捗状況

昨年度に行った雲微物理スキームに関する感度実験結果を使って、TRMM の PR と VIRS で観測される物理量を再現し、実際の観測と比較した。NICAM による数値実験は、水平格子をターゲット領域に集中させる手法を用い、解析領域内(170E-170W、10S-10N)での水平解像度は約 5 km とした。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。標準実験を CON と記述する。これに加えて、雪の粒径分布に関する感度実験を行った。Field et al. (2005) の観測結果に基づいた定式化を用いた感度実験で、FS05 と記述する。

図 1 に TRMM PR/VIRS による Joint histogram を示す。図 1 の頻度を、赤外輝度温度（縦軸）で分けることにより、推測される雲頂温度とエコー頂高度から雲降水システムを定義することができる。どの実験においても、エコー頂高度 7-15 km、輝度温度 200K 付近にピークがあり、対流雲と層状雲を含む deep clouds を過大評価傾向であることがわかる。CON では高度 13 km 付近にピークが現れ、detrainment された Anvil cirrus 内の降水粒子の出現頻度が過大評価されていることが示唆される。FS05 は 8.5 km 付近にピークが現れ、CON の過大評価を改善している。FS05 では、雪カテゴリの粒径の大きい粒子が減少したためである。Shallow clouds（エコー頂高度 5 km 以下、赤外輝度温度 280K 以上）も観

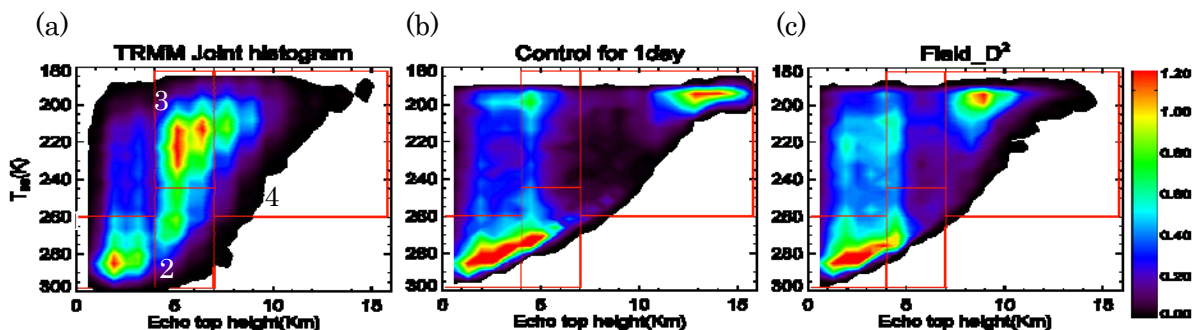


図 1 TRMM (PR, VIRS) joint histogram での比較。横軸はエコー頂高度、縦軸は赤外輝度温度。(a) Observation, (b) CON, (c) FS05. 各赤枠は雲タイプの違いを表し、shallow(1), congestus(2), mid-cold(3), deep(4)となる。

測に比べて過大評価である。一方、観測で見られる congestus と mid-cold clouds (エコー頂高度 4-7 km、赤外輝度温度 200-280K) の顕著なシグナルはどの実験においても見られず、過小評価である。CON において、エコー頂高度 5km 以下について、小さい輝度温度 (<220K) の頻度が過大評価されている。これは cirrus と shallow clouds の overlap が多すぎることを示唆する。FS05 では輝度温度が大きい方に改善されている。これは、雪の平均粒径が小さくなり粒子数が増え、雲氷を併合する過程が促進され、雲氷の減少とともに雲頂高度が減少したと考えられる。

東大気海洋研究所で構築した NICAM-LETKF をスーパーコンピュータに実装し、OSSE を行った。LETKF 本体は Miyoshi and Kunii (2011) とほぼ同様のものである。水平解像度は約 112 km と全球同様とした。アンサンブルメンバー数は 20 である。初めの 2 日間は同化せず、スピンアップとする。2011 年 11 月 1 日から 7 日積分を行い、これを真値とした。図 2 は、真値に対する u と T の RMSE の時系列を示す。初めの 2 日間は同化していないため、大きな RMSE であるが、同化開始直後に、RMSE が減少する。その後、5 日積分で同化システムは安定に動作することが確認できた。

4. 今後の計画

以上の結果、上層で見られた氷雲の過大頻度バイアスが存在し、雪の粒径分布のパラメタリゼーションを修正することで改善することが確認できた。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、霰や雨に関しても、観測に基づく改良を試みる予定である。

雲微物理量の再現性だけでなく、力学過程の再現性向上を目的として、LETKF を用いたデータ同化システム(NICAM-LETKF)を構築し、動作確認をした。今後は、積分時間を延ばし、長期積分で安定に動作するか調べる予定である。

5. 計算機資源の利用状況 (2013 年 6 月～11 月)

実行ユーザ数: 4 CPU 時間 v_deb: 0.682 hours, v_cpu: 0 hours, v_8cpu: 26.489 hours, v_16cpu: 0 hours, 計: 27.171 hours

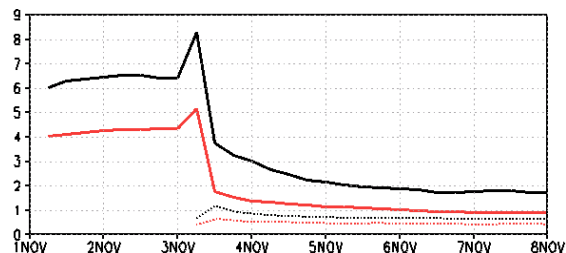


図 2 高度約 1570m の u (黒), T (赤)の誤差の時間変化。横軸は時間、縦軸は RMSE (m/s か K)。

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、衛星観測と衛星データシミュレータを用いることにより、全球非静力学モデル NICAM にて再現された雲降水システムを評価し、雲微物理スキームの改善を探ることができた。スーパーコンピュータを利用して、2008 年 6 月に発生した台風 Fengshen の領域に絞った再現実験を数多く行った。CloudSat と CALIPSO による観測値を、Joint-Simulator を用いて再現し、雲頻度、レーダー反射因子と気温の頻度解析、そしてライダーとレーダーの両方用いた粒径と質量の診断を行った。新しい雪と霰のパラメタリゼーションにより、高層での大きい雪の頻度を減少させることができた。ただ、高層雲の頻度の過大評価、粒径を過大、質量を過少評価するバイアスは依然残ることがわかった。

6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 3 CPU 時間 1 ノード未満: 16.312 hours, 1 ノード: 1407.846 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 1424.158 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所 梶 信次郎
 東京大学生産技術研究所 沖 大幹

実施年度：平成 22 年度～平成 24 年度

1. 研究目的

近年の全球気候モデル（Global Climate Model, 以下 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 における陸域過程の精緻化が大きな課題となっている。本研究は 1) 陸面過程（熱収支と水収支）、2) 生態系変動および炭素循環のプロセスに着目し、東京大学大気海洋研究所・国立環境研究所・海洋研究開発機構で開発した全球気候モデル Model for Interdisciplinary Researches on Climate (MIROC)の陸域過程の精緻化に資することを目的とする。

2. 成果 1：陸面過程

人工衛星や現地観測により得られたデータを加工し、陸面過程モデルに与えることで得られる”準観測”土壌水分データを初期値として GCM による過去 10 年間の予報実験を実施し、1～2 か月スケールの水文気象諸量の予報精度がどの程度改善されるのか、気候システムにおける土壌水分の役割について予測という観点から議論を行った。

本研究では 1988 年夏に北米を襲った大旱魃（通称 The Drought of 1988）の予報スキルに与える土壌水分初期情報の影響について、大気メモリの期待出来ない予報開始後 31～45 日目に着目した。図 1 は地表 2m 気温（以降、地表気温）について Series-1（図 1-a）、観測値（図 1-b）、Series-2（図 1-c）の予報スキルを示した。この予報スキルとは 1986～1995 年 8 月上旬に対する 1988 年 8 月上旬の平均気温の偏差を意味する。図 1-b（観測値）より 1988 年 8 月上旬は平年値（1986～1995 年）と比較して北米のロッキー山脈から東部の広範囲にかけて温暖年であることがわかる。土壌水分情報に頼らない予報実験である Series-2 では、予報開始後 31～45 日目の結果として北米の旱魃を予報できていな

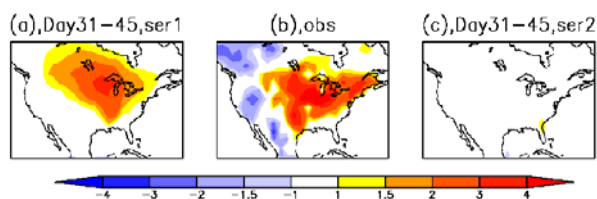


図 1 1988 年夏に北米を襲った大旱魃の予報スキル。いずれも 1988 年 8 月上旬の地表 2m 気温を示す。図 1-a は大気変数と SST に加え土壌水分の初期値化を行った Series-1 の予報結果、図 1-b は観測値、図 1-c は大気変数と SST のみの初期情報による予報結果である。図中の色は 1986～1995 年の 8 月上旬の気候値（平均値）に対する 1988 年 8 月上旬の結果の偏差を示す。予報開始日: Series-1 と-2 ともに 1988 年 7 月 1 日。

ことが確認できる。この大旱魃の発生原因として太平洋上の SST 偏差の重要性が指摘されているが、大気中のメモリは 1～2 週間程度とされていることから、大気データに加え SST を予報初期値に利用しても大旱魃を準季節スケール（ここでは 31～45 日前）で予報することは困難である。一方、図 1-a の Series-1 は北米の中部から東部にかけて温暖年であることを 31～45 日前から予報している。つまり、大旱魃が発生する 1 ヶ月以上前から今年温暖年の可能性があるという情報が得られること、水資源に関わる人間活動を行う上で何らかの事前対策が実施し得ることを示唆するものである。

2. 成果 2：生態系変動

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。本研究では代表的な気象テレコネクション指標であるエルニーニョ・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]と陸域炭素収支の相関を求めた。この結果、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 2）。

4. 成果 3：人間活動

最後に全球水資源モデル H08 の人間活動に関するモデルのコードを陸面仮定モデル MATSIRO に移植した（図 3）。また、関連する諸問題の改良も並行して行った。

まず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。

3. 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: 0.348 hours, 1 ノード: 0.610 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 0.958 hours

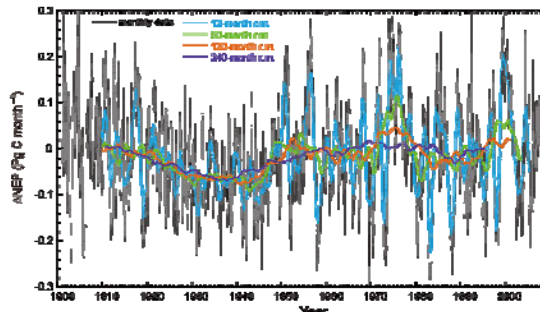


図 2 陸域モデルによって再現された 1901～2005 年の陸域正味炭素収支アノマリー（黒線）。異なる移動平均時間で平滑化された曲線（色付）も示されている。

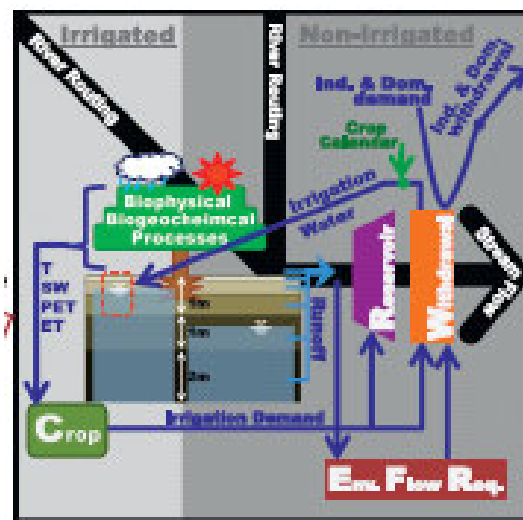


図 3 人間活動を考慮した陸面過程モデルの概念図 Pokhrel et al. (2012, Journal of Hydrometeorology) の図 1 を一部改変。

研究課題名：高度な陸域要素モデルの開発とそれを用いた全球スケールの気候変動研究

課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター 伊藤昭彦
 共同研究者：国立環境研究所地球環境研究センター 横島徳太・花崎直太・加藤悦史
 埼玉県環境科学国際センター 増富祐司
 北海道大学大学院工学研究院 山田朋人

実施年度：平成 25 年度～平成 27 年度

1. 研究目的

陸域には自然生態系、農地・牧草地、河川・湖沼、雪氷、都市などが存在するため空間的不均質性が極めて高く、そこで行われる大気との相互作用や物質循環は非常に複雑である。気候変動がこれら陸域要素に与えるリスクを評価し、適切な緩和策・適応策を検討するには、高度な陸域要素モデルを開発して統合的な解析を実施する研究が必要である。そこで本研究では、陸域要素モデルを開発運用している研究者により、陸域管理戦略の検討に資するよう、モデル高度化による推定信頼度の向上と全球スケールの解析を行うことを目的とする。本研究の実施を通じて環境省推進費 S-10 「地球規模の気候変動リスク管理戦略の構築に関する総合的研究」の推進を図る。

2. 研究計画

研究参画者らが開発または利用してきた陸域生態系モデル (VISIT)、水資源・水管理モデル (H08)、陸面物理過程モデル (MATSIRO)、農業モデル (SWAT) を用いて、気候変動によって生じるリスクの評価、緩和策・適応策の評価について推定精度を向上させるための高度化を進める。各要素モデルにおける不確実性の原因となっているプロセスを特定し、モデル表現の改良を行う。適切な気候・土地利用シナリオを用いて将来の全球スケールの解析を進める。

3. 進捗状況

今回は主に陸域生態系モデル VISIT に関する進捗状況を報告する。今年度は影響評価モデル相互比較プロジェクト (ISI-MIP) に対応した実験の実施、および気候工学の影響評価実験を主に実施した。

ISI-MIP においては、4 種類の排出シナリオ (RCP2.6、4.5、6.0、8.5)、5 種類の地球システムモデル (GFDL、IPSL、HadGEM、MIROC-ESM、NorESM) 実験に基づいて、21 世紀の気候変動が陸域生態系に与える影響評価を行った。計算の空間分解能は 0.5 度、時間分解能は 1 ヶ月で 2099 年までの計算を実施した。将来の大気 CO₂ 濃度上昇と気候変動により、植生の光合成生産とバイオマス量は増加することが示唆されたが (図 1)、

VISIT モデルによる応答幅は他の生態系モデルよりもやや小さい傾向が見られた。一方、土壤炭素の応答は、同じ温度上昇幅について、VISIT モデルは比較的高い感度を持っていることが示された。

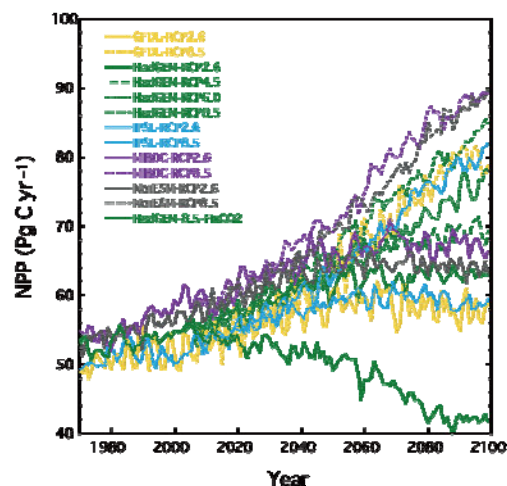


図 1 生態系モデル VISIT で推定された全陸域の純一次生産量 (NPP) の時間変化。ISI-MIP プロトコルによる複数シナリオに基づく計算結果。“FixCO₂”は 2000 年以降の大気 CO₂ 濃度を固定したため施肥効果が働かず NPP が低下している。

4. 今後の計画

引き続き陸域要素モデルの高度化を進めるとともに、モデル間の結合に向けた作業を開始する。結合は各モデル出力データを相互に利用するオフライン計算から始め、徐々にコードレベルのオンライン結合を進めていく。IPCC 第 5 次報告書などで用いられている将来シナリオに基づき、陸域の各セクターに生じるリスク要因に関する評価を進める。緩和策・適応策について、モデル計算を踏まえてセクター間のトレードオフや最適利用に関する検討を実施する。

5. 計算機資源の利用状況 (2013 年 6 月～11 月)

実行ユーザ数: 6 CPU 時間 v_deb: 0.82 hours, v_cpu: 3,416.955 hours, v_8cpu: 0 hours, v_16cpu: 0 hours, 計: 3,417.774 hours

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輸送に及ぼす砕波と降雨の影響

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 25 年度～平成 25 年度

1. 研究目的

風波乱流中の気液界面を通しての運動量およびスカラの交換機構を解明することは、地球温暖化等の気候変動予測において重要となる大気・海洋間の炭素収支や熱収支を見積もるうえで、また、近年問題とされる地域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、運動量およびスカラの交換速度に及ぼす風波（砕波やうねり等を含む）や降雨の効果は未だ解明されていない。本研究では、気液二相乱流である風波乱流場に対して直接数値計算（DNS）を適用することにより、風波、砕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（物質および熱）輸送に及ぼす影響を明らかにし、それらの影響をモデル化することを目的とする。

2. 研究計画

昨年度までに物質輸送に関する評価を行ったため、今年度は熱輸送に関する調査を行う。具体的には、まず気液界面を通しての潜熱と顕熱の輸送を考慮可能なプログラムの開発を行い、その後、風波、砕波および降雨が潜熱と顕熱の輸送に及ぼす影響を調査する。

3. 進捗状況

液側流体の蒸発を考慮した気液界面温度は

$$T_i = T_l - \frac{L \Delta M_{evp}}{c_p M_{water}}$$

で与えた。ここで、 T_i [K]は気側の界面温度、 T_l [K]は液側の界面温度、 L [KJ/Kg]は水の蒸発潜熱、 ΔM_{evp} [Kg]は界面を通して蒸発した水の質量、 c_p [KJ/(K・Kg)]は水の定圧比熱、 M_{water} [Kg]は蒸発潜熱の影響を受ける界面付近の水の質量である。

図 1 に気液各側の初期温度を 300K、320K に設定して開始した DNS の途中経過を示す。液側流体の蒸発に伴う潜熱輸送と対流伝熱に起因する顕熱輸送により、気側流体の温度および比湿が上昇することが分かる。また、その特性は気側の乱流の影響を受けていることも確認できる。

4. 今後の計画

風波が発達するまで本計算を継続し、十分に発達した後、潜熱および顕熱の輸送メカニズムを詳しく調べる。また、潜熱係数、顕熱係数、およびそれらの比を評価する。

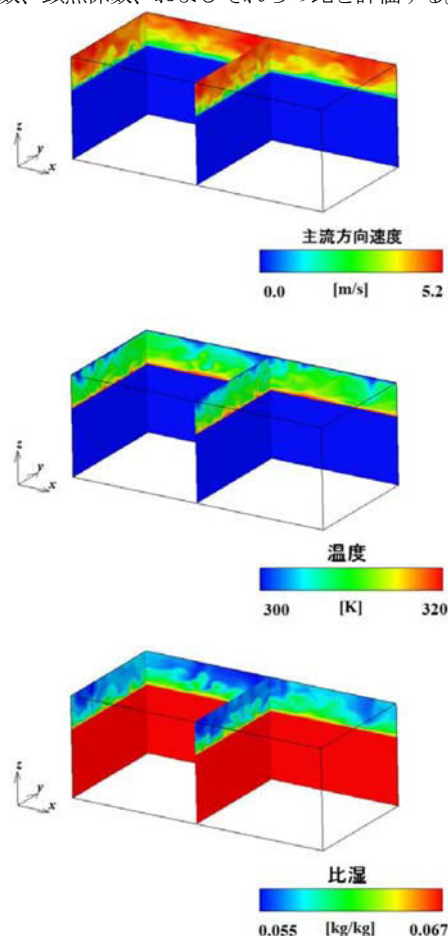


図 1 気側の瞬間速度、温度、比湿分布。

5. 計算機資源の利用状況（2013年6月～11月）

実行ユーザ数: 3 CPU 時間 v_deb: 1,607.125 hours,
 v_cpu: 0 hours, v_8cpu: 715.059 hours, v_16cpu: 14,175.13
 hours, 計: 16,497.316 hours

6. 昨年度研究課題のまとめ

6.1. 昨年度研究課題名

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

6.2. 昨年度研究課題の目的

風波乱流場および単一液滴の気液界面衝突現象に対して高精度の数値シミュレーションを適用することにより、砕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の輸送に及ぼす影響について検討する。

6.3. 昨年度研究課題の成果概要

6.3.1 風波乱流場の砕波の数値シミュレーション

本計算では複雑な移動、変形を伴う気液界面を扱う手法として、Volume of Fluid (VOF) 法と Adaptive Mesh Refinement (AMR) 法のカップリング法を採用した。

図2に気液界面形状の一例を示す。波頭において波の先端が微粒化し、液滴が飛散する様子が確認できる。図3に飛散液滴が発生する波頭付近におけるスカラ濃度の瞬間分布を示す。白線は界面の位置を表す。飛散液滴内のスカラ濃度はほぼ1と高いことが分かる。既往研究では、スカラ濃度が低い液滴が飛散し、気側においてスカラを十分に取り込んだ後に再び液側へ付着することで、スカラ輸送に影響を及ぼす可能性が指摘されていた。しかしこの結果は、液の微粒化によるスカラ輸送への影響は軽微であることを示唆している。

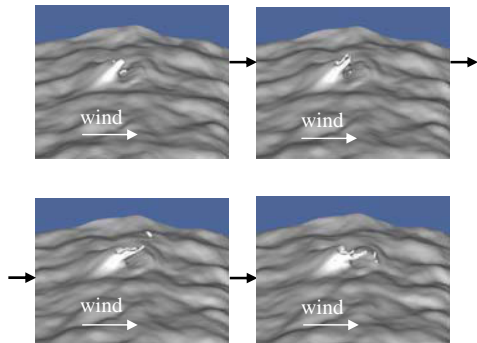


図2 微粒化現象。

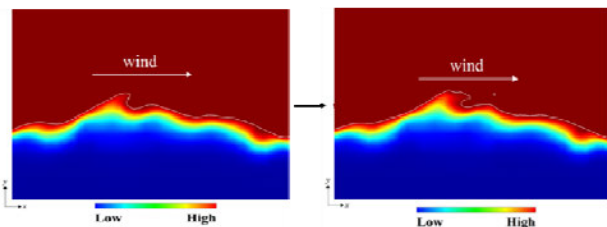


図3 飛散液滴によるスカラ輸送。

6.3.2 単一液滴界面衝突現象の数値シミュレーション

本計算手法は前節と同様である。計算領域を一辺が 30.0 mm の直方体とし、計算領域内の下端から 20.0 mm を液体で満たした。初期条件として、液滴は静止水面直上の計算領域中心に配置し、気側にスカラ濃度 $C = 1$ を満たした。

表1に計算条件をそれぞれ示す。計算は、水平方向に速度をもたない4ケース(鉛直衝突)と速度をもつ2ケース(斜め衝突)の計6ケース実施した。

鉛直衝突および斜め衝突のスカラ濃度の瞬間分布の一例を図4および図5にそれぞれ示す。液滴の界面衝突により生成される液側の渦によってスカラが液側下方へと巻き込まれていく様子が確認できる。また、斜め衝突の場合には下方へ向かう渦と同時に液側の界面近傍を滑るように水平方向に進む渦も生成され、これらの渦がスカラの輸送に影響を及ぼすことも分かる。

表1 計算条件。

Run	d_p [mm]	v_p [m s ⁻¹]	u_p [m s ⁻¹]
A-1	1.2	1.5	0.0
A-2	1.6	1.5	0.0
A-3	1.6	2.0	0.0
A-4	2.2	1.5	0.0
B-1	1.2	1.5	1.3
B-2	1.2	1.5	2.7

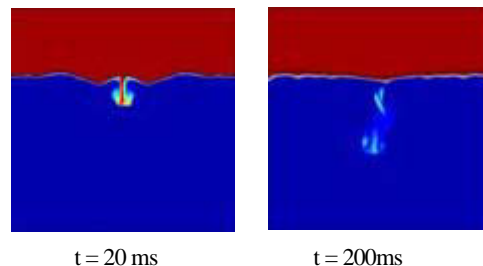


図4 スカラ濃度の瞬間分布 (鉛直衝突, A-4)。

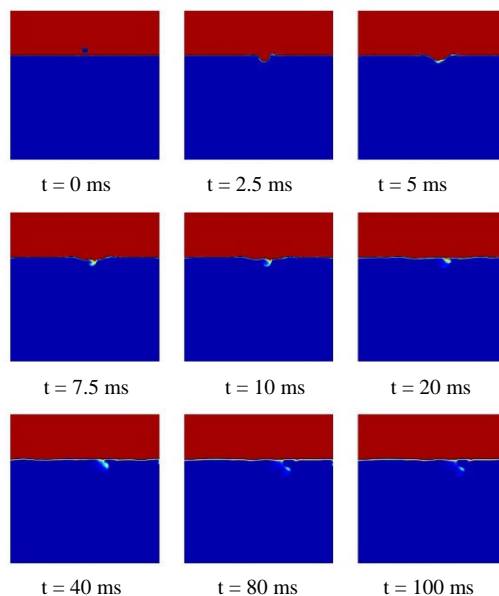


図5 スカラ濃度の瞬間分布 (斜め衝突, B-1)。

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: 14,992 hours, 1ノード: 12,570.109 hours, 2ノード: 46,098.222 hours, 計: 58,683.323 hours

研究課題名：希少野生動物のゲノム解析

課題代表者：国立環境研究所生物・生態系環境研究センター 中嶋信美
共同研究者：国立環境研究所生物・生態系環境研究センター 大沼 学
酪農学園大学獣医学群 遠藤大二

実施年度：平成 25 年度～平成 25 年度

1. 研究目的

本年度、生物・生態系環境研究センターでは運用コストが低く高性能な次世代シーケンサーを導入した。さらに、当該シーケンサーの利用を動物園関係者に一部公開することにより、希少野生動物のゲノムデータが集積する基盤を整備した。ゲノム全長のデータは ENSEMBL サイトに 40 種の哺乳動物と 5 種の鳥類がすでに掲載されているが、野生動物の進化および種の保全に関する知識としての実用性を求めた場合、10,000 種が取得目標とされている (10k プロジェクト)。その実現のためには、次世代シーケンサーによる得られるランダムな塩基配列データを連結して基本的には重複の無い遺伝子情報として解析可能にし、さらに蛋白質機能についての相互比較を行う必要がある。そのため技術・プログラムは日々開発が進められ、オープンソースとして公開されているが、本研究では、次世代シーケンス、ゲノムおよび遺伝子分析プログラムをスーパーコンピュータ上に展開し、次世代シーケンサーデータを元に遺伝子の機能予測を可能にすることを目的とする。

2. 研究計画

最終的な機能解析を可能にするため、本年度においては次世代シーケンサーの生データを連結して遺伝子情報を含むゲノム断片とするアSEMBラー、既知の塩基配列と比較するための相同性検索プログラムに加え、既知のゲノムデータに対し次世代シーケンサーデータを配置するためのアライメントソフトをスーパーコンピュータ上に配置し、一連の操作を行う体制を整備する。ゲノム分析については、多数のプログラムが公開され、ゲノム研究者がそれぞれ利用しているため、来年度においてプログラムの追加と連結した分析操作を可能にする。

3. 進捗状況

今年度においては、ヤンバルクイナゲノムから次世代シーケンサーより得られた 142GB 約 2.75 億本の塩基配列データを元にゲノムデータの構築を進めている。

従来の計算方法では、1,000GB 程度のメモリー容量を必用としたが、低メモリーで次世代シーケンサーからの生データを連結するプログラムとして

SparseAssembler をスーパーコンピュータの前段階としてスカラー計算機の半分のメモリー量のパーソナルコンピュータで稼働した。結果として、1,770,973 本 (平均 1,474bp) の連結配列 (Contig) を構築した (図 1)。これらの Contig 配列を、鳥類の典型例としてのニワトリの遺伝子との相同性を確認したところ、「塩基配列が Contig 上に予測される遺伝子数の割合」は 88.4% となった。

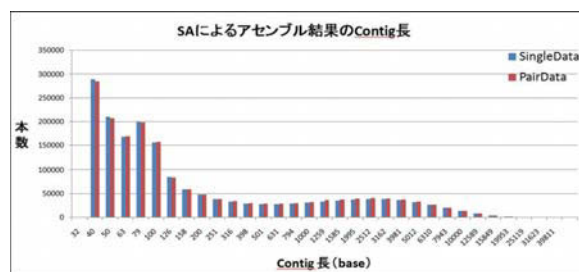


図 1 ヤンバルクイナゲノムデータのアSEMBル結果。SparseAssembler により構築された Contig のサイズ分布。横軸にサイズ、縦軸にその本数を示す。アSEMBル過程ではシーケンサーデータがある程度の長さのゲノム断片の両側で得られたことを仮定する PairData 解析と、そのような仮定を導入しない SingleData 解析が行われるが、本年度の解析では双方についてほぼ同様な結果が得られることが示された。

4. 今後の計画

アSEMBル過程についてスカラー計算機で実際の計算を実施するとともに、ゲノムおよび遺伝子情報が公開されている鳥類の遺伝子との相同性検索を実施し、ヤンバルクイナの遺伝子群を、すでにゲノム全長が報告され遺伝子配列が推定されているニワトリ、七面鳥、キンカチョウ、ガチョウおよびヒタキと比較し機能について推定する予定である。

5. 計算機資源の利用状況 (2013 年 6 月～11 月)

実行ユーザ数: 3 CPU 時間 v_deb: 0 hours, v_cpu: 0 hours, v_8cpu: 0 hours, v_16cpu: 0 hours, 計: 0 hours

研究課題名：気候モデル MIROC および氷床力学モデル IcIES を用いた過去と将来の気候モデリング

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・尾崎和海・小澤祐介・小長谷貴志・シュリフ多田野サム

国立極地研究所北極観測センター 大石龍太・市野美夏・新田友子・Alexandre Laine

実施年度：平成 25 年度～平成 25 年度

1. 研究目的

気候モデル MIROC と氷床モデル IcIES を用いた過去の気候再現を通じた長期気候変動特性把握および将来長期予測に関する様々な感度実験を行う。特に、全球規模、極域や寒冷圏など地域規模の気候フィードバックメカニズムを調べ、その理解を深める。国立環境研究所のスーパーコンピュータシステムを利用した過去の類似課題「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」で行われてきた知見を生かして、本課題では、全球だけではなく、極域など地域的な気候変動を規定する気候フィードバックを調べ、さらに感度実験を行うことにより理解を深める。

2. 研究計画

まず、スーパーコンピュータが一新されたことから、気候モデル MIROC を用いて標準的な実験（産業革命前コントロール実験、CO₂ 増加実験など）を行い、モデルの動作・性能確認とともに、今後の SX-9 を用いた実験と比較するための参照データを作成する。次に、北極域温暖化増幅メカニズムを調べるために、気候モデル MIROC を用いて数値実験を行う。北極域の海氷変化や海面水温上昇、それ以外の地域の温度上昇などが熱輸送変化を通じて北極域の温暖化に引き起こす影響、グリーンランド氷床の質量収支に関する気温・降水量への影響などを調べる。

3. 進捗状況

まず、MIROC3 の大気大循環・海洋混合層モデル (ASGCM) を用いて、産業革命前標準実験 (CTRL) と 2 倍 CO₂ 実験 (2×CO₂) を行った。スーパーコンピュータシステムが新規に導入されたため、実行スクリプトを書き換え、積分を行った後、以前のシステムでの結果と比較を行った。その結果、気候感度も以前と同じ約 4℃であり、平衡状態での平均的気候値に違い

は見られなかった。また、1 年あたりの計算時間は 40 分程度から 30 分程度に短縮した。

次に、北極温暖化増幅のメカニズム理解を深めるために、感度実験を行った。ここでは、温暖化時に遠隔地域の CO₂ 増加に対する応答が北極に及ぼす影響と北極が CO₂ の増加にローカルに応答する影響を調べるために、要因分離実験を行った (表 1)。これは、北極温暖化メカニズムの本質的な理解とともに、たとえば、多数モデル間でグリーンランド氷床上の温度上昇が全球的な応答である気候感度と強い相関がある理由について間接的な説明を与えうる実験でもある。

表 1 実験リスト。

実験名	CO ₂ (ppmv)	45N 以南	45N 以北
CTRL	280	ASGCM	ASGCM
2×CO ₂	560	ASGCM	ASGCM
RA	280	AGCM, 2 ×CO ₂ SST	ASGCM
LA	560	AGCM, CTRL SST	ASGCM

年平均気温の標準実験 CTRL からの変化を図 1 に示す。これによると、要因分離実験 RA と LA の和が 2×CO₂ にほぼ一致することから、応答の線形性が確認され、それぞれの寄与を調べることは 2×CO₂ の結果の解釈に役立つことが示される。RA 実験と LA 実験の結果を比べると、北極対流圏下層の温暖化には、CO₂ 増加に対する北極のローカルな応答が効いているが、45N 以南の遠隔地の温暖化によって引き起こされる北極の温暖化の方がその寄与が大きく、また対流圏上層にまで広がっていることがわかる。

4. 今後の計画

まず、上記実験の季節性などについて詳しい解析を行うとともに、遠隔地の温暖化が北極地域の温暖化を

引き起こすメカニズムについて調べる。またグリーンランド氷床や地域的な影響についても調べる。さらに、RA 実験では、遠隔地の影響が気候だけでなく、海面水温や海氷などの変化を経由してローカルに大気を与える効果も含まれているため、これらを切り分ける実験を追加する。

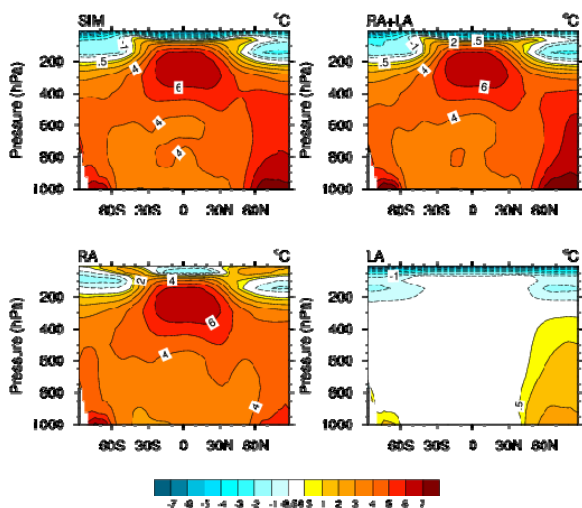


図 1 各実験の標準実験からの気温変化。左上：2×CO₂、右上：RA と標準実験の差と LA と標準実験の差の合計、左下：RA 実験、右下：LA 実験。

5. 計算機資源の利用状況 (2013 年 6 月～11 月)

実行ユーザ数: 12 CPU 時間 v_deb: 7.753 hours, v_cpu: 0 hours, v_8cpu: 3,296.554 hours, v_16cpu: 0 hours, 計: 3,304.307 hours

6. 昨年度研究課題のまとめ

6.1. 昨年度研究課題名

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

6.2. 昨年度研究課題の目的

北極温暖化メカニズムの解析手法の導入と適用により、シミュレーション結果における個々のフィードバックプロセスの寄与を調べる。特に、1) 近年提案された気候フィードバック・応答解析法 (climate feedback-response analysis method: CFRAM, Lu and Cai, 2009) が、湿潤過程も含む GCM に適用可能であるかを MIROC GCM に適用して検証する。2) 個々のフィードバックプロセスの北極温暖化増幅への寄与を定量化し、アルベドフィードバックや湿潤過程を含まない GCM を用いて先行研究 (Lu and Cai, 2010) で示された

乾燥静的エネルギー輸送の北極温暖化増幅メカニズムとしての役割を検証する。本年度課題では、全てのフィードバックが同時に働いている結果を調べるのではなく、実験中にフィードバックをオフにすることによって、それらの効果を調べる点で異なっている。将来的には両方のアプローチを組み合わせることによって、大きく理解が進展することが見込まれる。

6.3. 昨年度研究課題の成果概要

MIROC で CO₂ レベルを変えた実験 (0.5xCO₂, 2xCO₂, 4xCO₂) および太陽定数を 2% 増加させた実験の解析を行った。その結果、CO₂ 2 倍増および 4 倍増の平衡状態における北極の地上気温応答は、フィードバックが働かないと仮定した場合に比べて、アルベド・水蒸気・大規模凝結フィードバックにより温度上昇が増幅され、その一部は蒸発冷却によって緩和されることが示された。また、北極の地上気温応答が全球平均に比べて大きくなるのは、主にアルベドフィードバックが高緯度の温暖化を増幅することと蒸発冷却が低緯度の温暖化を抑制する効果によることも示された。これらの定性的な結果は実験によらないが、相対的寄与は実験の種類によって異なることも示された。また、2xCO₂ と 4xCO₂ 実験において海洋循環の変化を抑制した実験から、海洋循環の北極温暖化増幅への寄与は二次的であることが示唆された。さらに、モデルの現在気候の再現性 (バイアス) の影響が地域的に大きく表れることから、将来予測にとって現在気候をまずは正しく再現することが重要であることが改めて確認された。これらの結果の一部は、Yoshimori, M, M. Watanabe, A. Abe-Ouchi, H. Shiogama, and T. Ogura (2013): Relative contribution of feedback processes to Arctic amplification of temperature change in MIROC GCM として、今年度 Climate Dynamics 誌に論文が受理された。

6.4. 昨年度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: 988.551 hours, 1 ノード: 12,695.382 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 13,683.933 hours

研究課題名：GOSAT データ処理運用システムにおける確定再処理用参照データの作成

課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター 網代正孝

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・幸 昭・河添史絵・宮坂隆之・池上久通・中村東奈

実施年度：平成 25 年度～平成 25 年度

1. 研究目的

GOSAT の観測データを定常処理 (JAXA からのデータ受信、処理、再処理、保存、提供) することを目的に、GOSAT DHF の開発・整備・維持改訂を行い、運用している。プロダクトの一つである FTS SWIR L2 プロダクトの精度向上のため、NIES SC を利用して処理に必要な参照用データの作成を行う。

2. 研究計画

改良版のエアロゾル輸送モデルである Assimilation SPRINTARS を利用するために NIES SC 上に入力データの整備を行い、NIES SC 上で Assimilation SPRINTARS からの出力結果を生成する。Assimilation SPRINTARS からの出力結果を FTS SWIR L2 処理の入力として研究処理を実施し、FTS SWIR L2 プロダクトに対する影響調査を実施する。

3. 進捗状況

東京大学大気海洋研究所から提供された Assimilation SPRINTARS は、NIES SC (設備更新前) 上で別研究課題により開発、coding、tuning がなされているため、NIES SC 上での動作実績が保障されている。まず、NIES SC 設備更新後の運用環境下での Assimilation SPRINTARS の動作結果を確認した。次に、GOSAT データ処理用設備である DHF への Assimilation SPRINTARS 移植結果の妥当性確認のため、短期 (数日) および長期間 (数か月) のシミュレーションを実施して参照用データを作成した。

4. 今後の計画

DHF に移植した Assimilation SPRINTARS を FTS SWIR L2 処理への入力として処理したプロダクト (研究処理と称する) への影響を継続的に調査する際、適時 NIES SC での Assimilation SPRINTARS の結果を参照する。

5. 計算機資源の利用状況 (2013 年 6 月～11 月)

実行ユーザ数: 7 CPU 時間 v_deb: 61.486 hours, v_cpu: 303.044 hours, v_8cpu: 2,090.424 hours, v_16cpu: 550.31 hours, 計: 3,005.268 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

GOSAT データ処理運用システムの定常運用および維持改訂

6.2. 昨年度終了研究課題の目的

GOSAT の観測データを定常処理 (JAXA からのデータ受信、処理、再処理、保存、提供) することを目的に、GOSAT DHF の開発・整備を行い、運用している。衛星打ち上げ前はシステムの開発と整備を着実にを行い、衛星打上後はデータ処理・再処理・検証・保存・提供を行い、観測データが温暖化研究等の推進に十分に活用されることを目指す。

6.3. 昨年度終了研究課題の成果概要

GOSAT のレベル 4 データ処理における「大気輸送モデル計算処理」と「炭素収支モデル計算処理」では、定常処理に向けてアルゴリズム及びプログラムを開発し、その結果を用いて平成 24 年 12 月に「レベル 4A 全球 CO₂ 吸収排出量プロダクト」、「L4B 全球 CO₂ 濃度プロダクト」を一般に公開した。

6.4. 昨年度までの計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 13 CPU 時間 1 ノード未満: 18.681 hours, 1 ノード: 3.017 hours, 2 ノード: 0 hour, 計: 21.698 hours

研究課題名：陸域炭素循環モデルと衛星観測データの融合実験

課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター 市井和仁
 共同研究者：福島大学共生システム理工学類 近藤雅征

実施年度：平成 25 年度～平成 26 年度

1. 研究目的

現在、地球システム統合モデルなどを利用した温暖化実験が行われているが、陸域炭素循環モデルの不確実性が温暖化予測に大きな不確実性を与えると考えられている。陸域炭素循環モデルの不確実性の原因の一つとしては、検証・制約データの不足が挙げられるが、近年、衛星観測をベースにした広域物理量プロダクトが提供されるようになってきた。従って、様々な衛星データを用いて、モデルに組み込む（データ・モデル融合）ことが望まれており、これによって、陸域炭素循環モデルの精度が向上されると期待される。

2. 研究計画

陸域炭素循環モデルとして、Biome-BGC の類似モデルを構築しつつ、このモデルを衛星データを用いて制約・最適化し、既存のモデルよりも正確な陸域炭素循環モデルを構築する（図 1）。様々な衛星データ（雪・蒸発散・光合成量・葉面積指数・バイオマスなど）を制約条件に用いた陸域炭素循環モデルのパラメータ最適化を行う。この際に、一度にパラメータの最適化を行うことは困難であるので、モデルの構造に着目し、モデルをいくつかの階層に分けることにより、モデルパラメータの自由度を小さくしながら、モデルパラメータの最適化を行う。

3. 進捗状況

現在は、実験の準備として、様々な衛星データの構築を行ったのち、陸域炭素循環モデル Biome-BGC の改良版のパラメータを最適化するルーチンをくみ上げているところである。まず、アジア域に着目をして、地上観測データと衛星観測データを組み合わせた経験的な広域推定プロダクト（図 2）を構築した。

Biome-BGC モデルの最適化については、制約とする観測項目に対して感度の高いパラメータの抽出を行ったのちに、選択されたパラメータを観測データに対して最適化するルーチンの構築を進めているところである。例えば、衛星データから推定された積雪分布・積雪日数データを用いて、Biome-BGC における雪モデルのパラメータの最適化を行った。また、蒸発散量の広域データを用いることで、植生の根の深さや最大気孔コンダクタンスを推定することで、モデルにおける蒸発散の推定値の改善を試みた。さらには、炭素循環部

分として、光合成量を制約として、葉の炭素：窒素比を逆推定するなど、様々なパラメータの最適化と陸域モデルの改善に取り組んでいる。

4. 今後の計画

一旦は通常の計算機においてモデルスピンアップ時間を短縮させた条件で予備実験を行い、モデルをおおよそ完成させる。その後、すべてのプログラムをスーパーコンピュータ上に移植を行い、通常のスピンアップを行うことで、モデルを完成させる。また、アジア域からグローバルに実験範囲を拡張する。

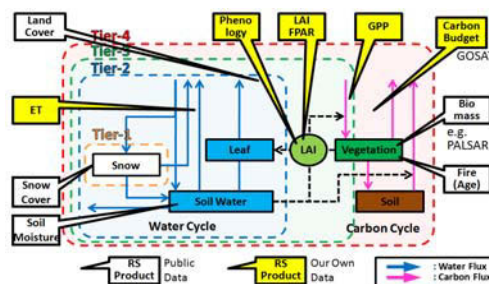


図 1 衛星観測データと陸域炭素循環モデルの融合のための概念図。様々な衛星データベースのプロダクトをモデルパラメータ最適化の制約として用いる。

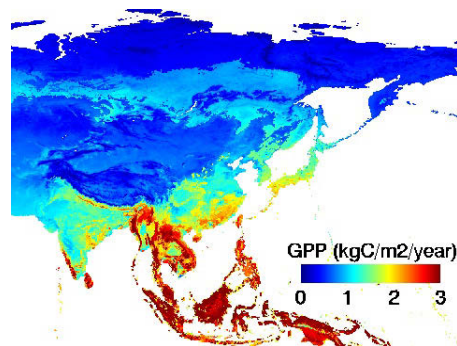


図 2 衛星観測データと地上観測データを組み合わせて推定した年間光合成量。これら類似のデータをモデルパラメータ推定の際の制約として用いている。

5. 計算機資源の利用状況 (2013 年 6 月～11 月)

実行ユーザ数: 2 CPU 時間 v_deb: 0 hours, v_cpu: 0 hours, v_8cpu: 0 hours, v_16cpu: 0 hours, 計: 0 hours

研究課題名：高分解能でのリモートセンシング解析情報を用いた土地利用モデルシミュレーション

課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター 山形与志樹
共同研究者：国立環境研究所地球環境研究センター 瀬谷 創

実施年度：平成 25 年度～平成 25 年度

1. 研究目的

人口データは、気候モデルだけでなく、気候変動影響評価や適応策の検討においても最も重要なパラメータのひとつである。わが国においては、地域メッシュ統計において、3、4 次メッシュの人口データが公開されているが、世界レベルでのメッシュ人口データセットは数えるほどしかない。代表的なものとしては、SEDAC の Population Count Grid v3 (PCGv3) (2.5 arc sec.) や Population Density Grid, v1 (30 arc sec. 約 1km²) が挙げられる。しかし、これらは県・市のような行政区のデータの面積按分 (areal weighting) によって作成されているため、同じ行政区中のメッシュの値は均一となっている。したがって例えば、気候変動影響評価における暴露人口として用いるには心もとない。

そこで本研究では、小地域での人口データの取得(整備)が難しい途上国にも適用可能な一般性を考慮して、リモートセンシングデータと空間統計手法を用いた新たな世界レベルのメッシュ人口データセット整備手法の開発を行う。

2. 研究計画

ダウンスケーリング、地理学の用語でいえば面積補間 (areal interpolation) による、メッシュ人口の推計は、市・県等の上位ゾーンの値を、メッシュ (下位ゾーン) に面積按分することで行われることが多い。近年では、土地被覆データにおける都市や農地のみに、面積に応じて按分を行うデジメトリック法 (Dasymetric mapping) が用いられることも多く、特に欧州で人口メッシュデータ作成に適用した研究例が散見される。

しかし、デジメトリック法は統計的な意味での予測誤差が算出できず、また、土地被覆だけでなく、インフラの整備率等、他データと組み合わせた推計 (インフラ整備率が高ければ、人口が多い等) も重要である。そこで我々は、考慮する各説明変数の人口への寄与率を上位ゾーンごとに最適化する、**地理的加重ポアソン回帰型面積補間モデル**を開発し (「村上大輔・瀬谷 創・山形与志樹・堤 盛人 (2013) 空間統計モデルを用いた建築物ストックの詳細推計、第 27 回応用地域学会」)、これを用いて人口データセットを構築することとした。

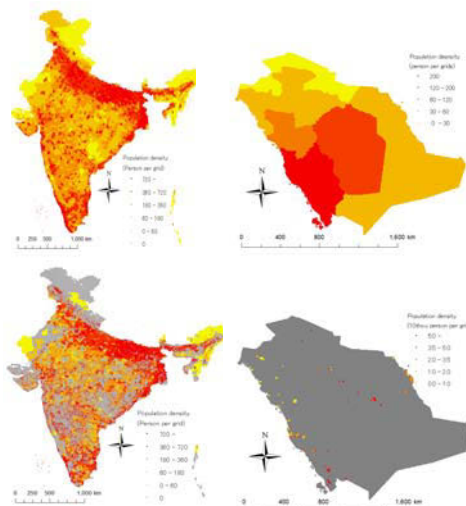


図 1 ダウンスケーリング結果 (インドとサウジアラビア) 上：実行前、下：実行後。

3. 進捗状況

本年度は、試行として上位ゾーンの数が非常に少ないことに起因して逆に計算が難しいサウジアラビアと、サンプル数・人口ともに非常に多いインドで、開発した手法の適用性を検討することとした。具体的には、まず PCGv3 のポイント (メッシュ中心点) 人口データを GIS 処理することでメッシュ化、上位ゾーンを復元し、続いて上位ゾーンの値を土地被覆分類で都市・農地とされたメッシュに開発した手法で統計的に按分することを試みた。

図 1 に、結果の例を示す。サウジアラビアで、砂漠地帯にも一様に人口が分布していた現象が改善されていることが分かる。なお、わが国の 3 次メッシュを用いた精度評価の結果、面積按分、デジメトリック法と比較して、精度の向上が確認されている。

4. 今後の計画

本年度は、開発した手法をサウジアラビア、インドに適用し、有用性を確認した。今後手法を可能な限り自動化し、他国への適用を拡大していく計画である。

5. 計算機資源の利用状況 (2013 年 6 月～11 月)

実行ユーザ数: 2 CPU 時間 v_deb: 0 hours, v_cpu: 0 hours, v_8cpu: 0 hours, v_16cpu: 0 hours, 計: 0 hours

研究課題名：樹木年輪セルロースの酸素同位体を使った気候モデル MIROC の気候変動再現性評価

課題代表者：名古屋大学大学院環境学研究科 栗田直幸
共同研究者：名古屋大学大学院環境学研究科 中塚 武

実施年度：平成 25 年度～平成 25 年度

1. 研究目的

長期的な地球環境変化を正確に予測することを目指した地球システム統合モデル (ESM) が開発され、その不確実性評価を行う為に、これまで以上に長期間の検証データが渴望されている。そこで本研究では「古気候学分野において、高時間分解能をもった古気候データが近年急増している」という古気候学の進展に着目し、これら古気候データを使った気候モデルの長期気候再現性の検証を行う。

2. 研究計画

本申請課題では、最新の気候モデルを使って古気候データを直接出力できる、フォワードモデルの開発を行い、その結果を古気候データと直接比較することを通じて気候モデルの気候再現性評価を行う。対象とする古気候データとしては、申請者が多数所有している、日本の樹木年輪の酸素同位体比データを用いる。

モデルの再現性検証作業としては、現在の気候状態における樹木年輪の酸素同位体比と気候場の関係をモデルが再現できることを確認し、その後、長期積分実験を行い、その変動の振幅や周期性を確認することを予定している。

3. 進捗状況

今年度は、最新の気候モデル(MIROC5)を使って樹木年輪同位体比を予報することを目指し、MIROC5 に水の安定同位体比スキームを組み込む作業から開始した。具体的には、申請者が開発した同位体気候モデル (MIROC4.1-iso) に組み込まれていた同位体スキーム (主に物理過程) を MIROC5 に移植するとともに、MIROC5 から新しく導入されたスキームにおいては、新規に同位体モデルの開発を行った。この作業は、当初予定よりも時間を要し、現在は、その開発作業がちょうど終了した段階である。

また、モデル開発作業を行っている間、並行して樹木年輪の酸素同位体比と気候場の関係について解析を行うとともに、既存の同位体気候モデル (MIROC4.1-iso) を使って、その再現性について検討を行った。まず、中部日本で採取されたヒノキを使って過去 100 年間の樹木年輪同位体比変動を明らかにし、気象データとの比較から、その変動を支配する鍵因子

の特定をおこなった。樹木年輪の酸素同位体比は、夏期降水(梅雨期)の同位体比変動と密接に関係しており、その降水の酸素同位体比変動は、太平洋十年規模変動 (PDO) によく対応していることが明らかになった(図 1)。しかし、既存の同位体気候モデルを使った現在気候再現実験では、客観解析データをナッジングしても夏期降水同位体比を正確に再現できず、この観測結果を表現することができない。

これは、今回の実験に用いた中解像度モデル (T42L20) では、風場をナッジングしても梅雨前線を形成する積雲対流システムを正確に表現できず、下層水蒸気が梅雨前線を越えて高緯度に侵入し、結果として梅雨前線を挟んだ同位体傾度分布 (南北分布) を再現できないことが理由であると考察している。

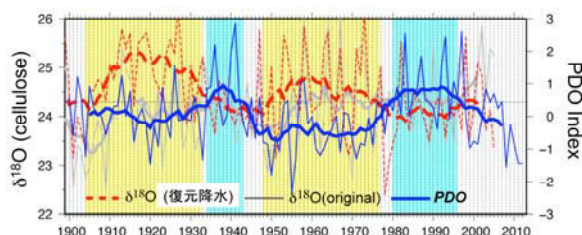


図 1 木曾ヒノキから復元した過去 100 年間の樹木年輪の酸素同位体比変化と太平洋十年規模振動 (PDO) の関係。樹木年輪の酸素同位体比から復元した降水の同位体比変化 (赤破線) と PDO (青色) には明瞭な逆相関関係がみられる。

4. 今後の計画

開発した同位体気候モデル(MIROC5)を使って現在気候再現実験 (JRA55 の風場をナッジング) を高解像度 (T106L40) でを行い、梅雨期の降水同位体比変動の再現性を向上させるとともに、観測データから得られた PDO と樹木年輪の酸素同位体比の関係が正確に表現できるか検証を行う。予定していた長期積分実験については、今年度は時間の都合で割愛する。

5. 計算機資源の利用状況 (2013 年 6 月～11 月)

実行ユーザ数: 1 CPU 時間 v_deb: 95.235 hours, v_cpu: 0 hours, v_8cpu: 0 hours, v_16cpu: 1,450.713 hours, 計: 1,545.948 hours

研究課題名：海洋混合層スキームの高度化と流動・水質・生態系シミュレーションへの応用

課題代表者：国立環境研究所地域環境研究センター 東 博紀
共同研究者：国立環境研究所地域環境研究センター 古市尚基

実施年度：平成 25 年度～平成 25 年度

1. 研究目的

海洋における乱流混合過程は、海洋流動場のみならず、大気-海洋間での酸素・二酸化炭素等のガス交換、海洋内部における有機物・無機栄養塩輸送、赤潮・貧酸素水塊の発生・消滅など様々な物質循環や海洋環境の形成にも大きく影響している。その一方で、既存の海洋混合層モデルではその効果を十分にパラメータ化できていないことが指摘されており、海面水温や流速、物質濃度・溶存酸素などの時空間変動の再現・予測精度低下の大きな要因となっている。

本課題は、海洋混合層モデルの改良を通じて、海洋流動・水質・生態系モデルを用いた水・物質循環および生態系機能の評価・予測能力を向上させることを目的とする。

2. 研究計画

LES (Large Eddy Simulation) モデルを用いて海洋表層および海底混合層の発達過程を直接に再現する数値実験を行うとともに、その結果に基づき既存の混合層モデルを検証・改良する。改良した混合層モデルを海洋流動・水質・生態系モデルに組み込み、その性能を確認する。このようにして海洋混合層変動の再現性を可能な限り改善した後、大陸の人為的負荷の増大が東シナ海・日本近海の広域海洋環境に及ぼす影響を数値シミュレーションで定量的に評価する。

3. 進捗状況

本年度は、水平・鉛直解像度が数十 cm、計算領域が水平数百 m、鉛直 100 m 程度の LES モデルを用いて、台風の通過、日中の加熱・夜間の冷却、潮汐流の変動等に対する海洋表層および海底混合層応答の数値実験を多数実施するとともに、その結果に基づき混合層モデル内の様々な乱流パラメータを流速、密度等の巨視的情報のみならず、乱流エネルギー、乱流長さスケール等の微視的観点まで踏み込んで検証・改良している。

LES 実験の一例として、潮汐流による海底混合層の発達に関する結果を示す(図 1a-d; w' と θ' はそれぞれ流速擾乱および水温擾乱)。潮汐流変動に応答して海底乱流が発達し、その結果、混合層上端付近で暖かい(冷たい)水が下方(上方)に輸送され、水温場が次第に混合されていく様子が見てとれる。次に、LES と同一条件下での

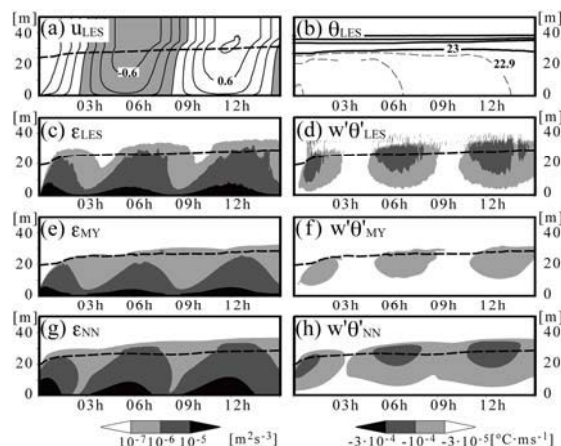


図 1. (a) (b) LES から得られた潮汐流の長軸方向流速 (u_{LES} , 等値線間隔: 0.2 ms^{-1}) と水温 (θ_{LES} , 等値線間隔: 実線 -1°C , 破線 -0.1°C) の水平平均値。(c)-(h) LES, MY, NN の各々から得られた乱流エネルギー消散率 ϵ および乱流熱フラックス $w'\theta'$ 。ただし、LES の結果は水平平均値。(a), (c)-(h)内の破線は海底混合層の上端を示す(水温がその最深値より 0.1°C 高い深度で定義)。各パネルの縦軸は海底からの高さ。

海底混合層の消長を、従来広く使われてきた Mellor-Yamada (Mellor and Yamada, 1982, MY) や近年大気境界層における良好な性能が報告されている Nakanishi-Niino (Nakanishi and Niino 2009, NN) の手法を組み込んだ鉛直 1 次元モデルを用いて計算し、その結果を LES の実験結果と比較した。ただし、NN 内の乱流長さスケールに関しては、安定成層下でさらに制限されるように表式を少し修正した (Furuichi et al. 2012)。図 1e-h に示すように、この実験では、MY で計算された乱流の発達は LES と比べて抑制されてしまう一方で、NN で計算された乱流の発達は LES に匹敵する良好な結果となった。

4. 今後の計画

改良した海洋混合層モデルを海洋流動・水質・生態系モデルに組み込んで東シナ海や東京湾を対象とした海洋環境の再現実験を実施し、その効果を確認する。

5. 計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 2 CPU 時間 v_deb: 473.558 hours, v_cpu: 944.203 hours, v_8cpu: 23.75844722 hours, v_16cpu: 52,371.12 hours, 計: 53,812.634 hours

研究課題名：全球多媒体モデルを用いた残留性有機汚染物質の海洋水産資源への曝露予測手法の開発

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 25 年度～平成 25 年度

1. 研究目的

残留性有機汚染物質（POPs）は地球規模における生態系への悪影響が特に懸念されてきた化学汚染物質である。POPs を対象とした多媒体モデルの開発はこれまでに広く行われており、環境媒体中の濃度を予測することは可能となってきた。一方、これら全てのモデル研究において、環境媒体中の濃度から生物への曝露量を予測できる段階には至っていない。本課題では筆者らが開発している全球多媒体モデル FATE に生態系モデルと生物濃縮モデルを導入し、POPs の海洋水産資源への曝露量を地球規模で推定することを目的とする。

2. 研究計画

衛星データ（SeaWiFS）を用いて、i) 海洋低次消費者のバイオマス、ii) 海洋内部における生物学的な炭素循環、及び iii) 栄養段階別の海洋中-高次消費者（魚類）のバイオマスを予測する生態系モデルを開発し、これと、既存の生物濃縮モデルを全球多媒体モデル FATE に導入する。開発したモデルを用いて、百年スケールのシミュレーションを実施し、POPs の海洋水産資源（魚類）への曝露量を推定する。さらに、全球の水産統計データを整理し、FATE より得られた魚類中濃度の推定結果を用いて、漁業による POPs の陸域への輸送量を国家/漁業海域毎に評価する。

3. 進捗状況

衛星データベースの実験モデルを統合した海洋低次生態系モデル（Junne et al., 2007; Stramska, 2009）、マクロ生態系理論に基づく海洋中-高次生態系モデル（Jennings et al., 2008）、及び、TMF (trophic magnification factor) を用いた生物濃縮モデルを FATE に導入した。これにより、上記の海洋の生態系構造を衛星データのみを用いて推定し、全栄養段階にある海洋生物への POPs の曝露量を地球規模で推定することが可能となった。

代表的な工業起源の POPs である PCB153 を取り上げ、過去約 80 年間（1930-2007）のシミュレーションを実施した。2007 年における、浅海（0-200m）に生息する全魚類中の PCB153 含有量を解析した結果（図 1(a)）、地中海や北大西洋中-高緯度に比較的濃度レベ

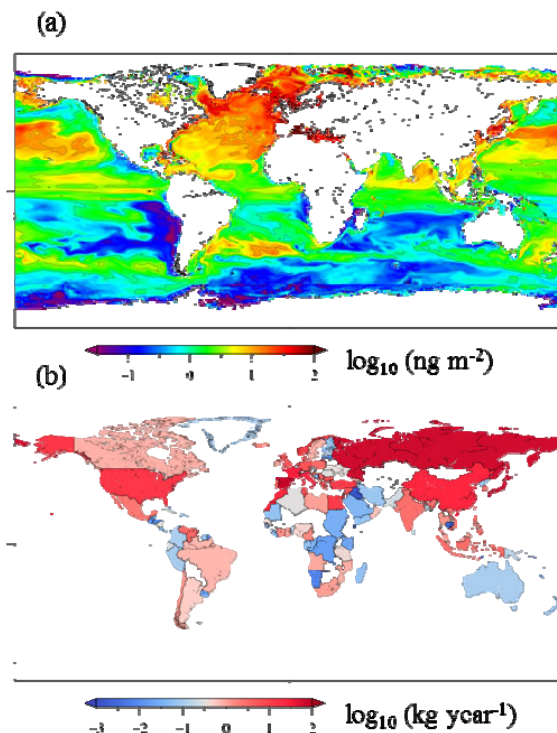


図 1 (a) 浅海（0-200m）に生息する全魚類中の含有量の年平均値と、(b) 漁業による陸域への年間輸送量の推定結果（PCB153, 2007 年）。

ルの高い 'hotspot' が形成され、対照的にペルー沖付近に濃度レベルの低い海域が形成されるという推定結果が得られた。

FAO の 245 国家、19 海域、2119 魚種別の水産統計データ（FISHSTAT）と、FATE による魚類中濃度の推定結果を用いて、漁業による陸域への PCB153 の年間輸送量を推定した（図 1(b)）。2007 年の結果を解析したところ、同年の全球排出量の約 7% に相当する 585kg の PCB153 が人為的な要素により陸域生態系へもたらされているという推定結果が得られた。

4. 今後の計画

本課題で予定しているモデル開発はほぼ完了している。今後は不確実性の大きい、TMF 等の生物濃縮に関するモデルパラメータを精緻化し、PCBs 以外の POPs、及び POPs 候補物質を対象としたシミュレーションを実施する。

5. 計算機資源の利用状況 (2013 年 6 月～11 月)

実行ユーザ数: 1 CPU 時間 v_deb: 1.421 hours, v_cpu: 23.840 hours, v_8cpu: 159.511 hours, v_16cpu: 2,565.750 hours, 計: 2,750.520 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

全球多媒体モデルを用いた塩素・素系有機汚染物質の動態の評価に関する研究

6.2. 昨年度終了研究課題の目的

分子構造より物質の物理化学特性を推定する QSPR (quantitative structure-property relationships) モデルを全球多媒体モデル FATE に導入し、FATE を塩素・臭素系有機汚染物質 1,411 種 (PCBs, PCNs, PCDDs, PCDEs, PCDFs, PBBs, PBNs, PBDDs, PBDEs, PBDFs) に拡張する。開発されたモデルを用い、これらの物質の長距離輸送特性 (LRTP) と総括残留性 (P_{OV}) を評価することを目的とする。

6.3. 昨年度終了研究課題の成果概要

FATE で用いられる、物質固有のモデルパラメータ (分配係数、分解率等) を推定する QSPR モデルを国際共同研究 (JSPS2 国間交流事業) において開発し、FATE に導入した。また、工業起源の物質に対する仮想排出量インヴェントリを作成した。これにより、本課題で対象とする塩素・臭素系有機汚染物質 1411 種のシミュレーションを行うことが可能となった。開発されたモデルを用いて、代表種 300 種を取り上げ、各 10 年間のシミュレーションを実施した。

有機汚染物質の地球規模動態を評価するスクリーニング指標には LRTP と P_{OV} が用いられている。この内 LRTP の定義は研究者によって大きく異なっており、いずれの指標を用いても遠隔地や点排出源の場所の設定等に結果が依存するという問題がある。本課題では、このような恣意的な条件設定により結果が依存しづらい LRTP の指標として、ソース-レセプター解析に基づく新指標 (IF_{global}) を導入した。 IF_{global} は大気境界層内の対象物質の含有量に対する領域外寄与率の含有量重み付け全球平均値として定義される。ソース-レセプター解析には排出量感度法を用い、ソース・レセプター地域には国連区分に基づく 8 地域を定義した。

得られた結果は IF_{global} と P_{OV} の相関図を用いて整理した (図 2)。 IF_{global} は PCBs/PBDDs で、それぞれ、最大/最小となった。これらの物質の大気濃度の空間分布は実際に大きく異なっており (図 3)、PCBs は、長距離輸送の結果として、PBDDs に比べて地球規模でより広く輸送されている。全般に、塩素系物質

($IF_{global}=0.25$) に比べて臭素系物質 ($IF_{global}=0.17$) の結果が小さくなる結果が得られた。

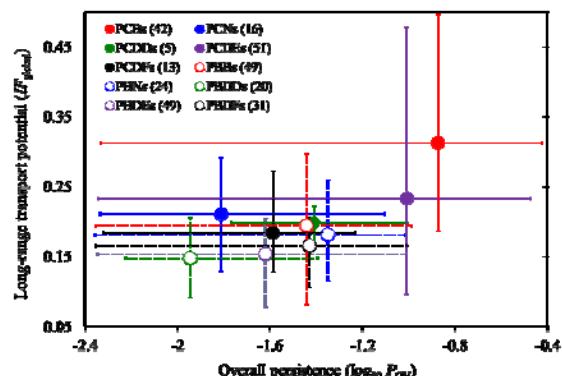


図 2 塩素・臭素系有機汚染物質 300 種の長距離輸送特性 (IF_{global}) と包括残留性 (P_{OV}) の相関図。括弧内の数字は解析を行った同族種の数を表している。

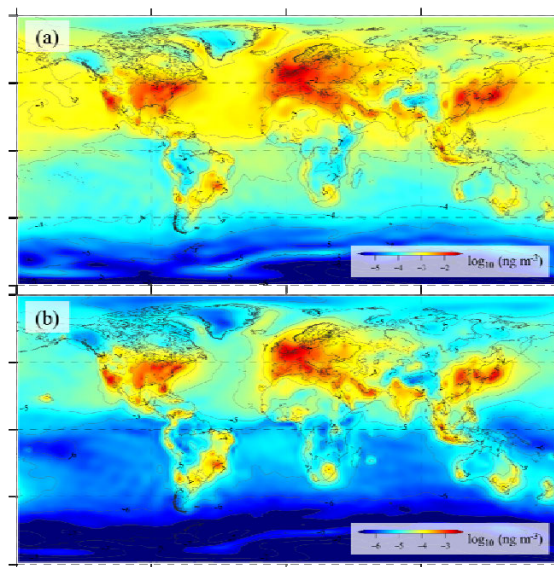


図 3 IF_{global} が最大となった (a) Σ PCBs ($IF_{global}=0.31$) と、(b) 最小となった Σ PBDDs ($IF_{global}=0.16$) の大気最下層濃度の計算結果 (2007 年)。

6.4. 昨年度までの計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 1 CPU 時間 1 ノード未満: 56.650 hours, 1 ノード: 1,223.119 hours, 2 ノード: 0 hours, 計: 1,279.769 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:火星ダスト循環過程の実装実験

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：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院 荻原弘典
 神戸大学大学院理学研究科 林 祥介

実施年度：平成 25 年度～平成 25 年度

1. 研究目的

本研究における目的は、天文観測で次々と発見されている系外惑星の気候探索にも切り込んでいける惑星大気用大循環モデルの開発である。そのために、観測可能な太陽系内の惑星を参照点としてとらえ、その数値実験を通してモデルのポリッシュアップをおこない系外惑星計算にも耐えるモデルの開発を目指すものである。本課題はその取り組みの一環として、火星気候を特徴づけるダストの循環過程に関する数値スキームの増強整備とそれらを用いた実装実験、観測との比較実験を中心に行う。火星では、数年周期で惑星全体を覆う大砂嵐（グローバルダストストーム）が発生する。グローバルダストストームの発生条件を含め、火星ダスト動態には未解明な部分が多く残されている。これに対して、火星のダストの動態を探ることを1つの目的とした日本による探査計画（MELOS）が進められている。本課題のモデル開発は探査計画の遂行に必要な火星大気のシミュレーションモデルの構築にも資するものとなる。なお、実装実験においては、火星設定の計算のみならず、水蒸気の移流を扱う地球設定実験も行い、適宜地球における観測結果と比較しながら、スキームの改良につなげることにする。

2. 研究計画

大気大循環モデルに、火星に固有なダスト過程、すなわち大規模風応力による巻き上げ過程、局所的な対流による巻き上げ過程、移流過程、重力沈降過程を実装し、その実装実験を行う。昨年度は、大規模風応力による巻き上げ過程および物質移流過程の実装作業をおこなった。本年度は局所的な対流による巻き上げ過程と重力沈降過程の実装を行う。その後に観測との比較実験をおこなう。実装実験に関しては、まず昨年度導入したセミラグランジュ法物質移流スキームの性能評価を行うため、地表面ダストフラックスとして一般的な値を与えた場合についての計算をおこなう。その後、順次巻き上げ過程を組み入れた実験をおこなっていく。用いるモデルは、我々がこれまでに開発を行ってきた大気大循環モデル dcpam5 (<http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam>) である。こ

れは、三次元球殻上のプリミティブ方程式を用いたスペクトルモデルである。

3. 進捗状況

モデルの実装作業に関しては、現在までにダストの重力沈降過程を表現するスキームを導入した。このスキームは、Conrath (1975) の沈降速度の表式と Lin and Rood (1996) の移流スキームに基づくものである。

実装実験として、ダストの重力沈降過程と昨年度に導入したセミラグランジュ法物質移流スキームのテスト計算をおこなった。この実装実験では、地表面のダストフラックスとして水平方向に一様な値を与えた。地表面条件に関しては、Mars Global Surveyor (MGS) による観測から得られた地表面の熱慣性、アルベド、地形高度の水平分布を与えた。惑星半径、自転角速度、

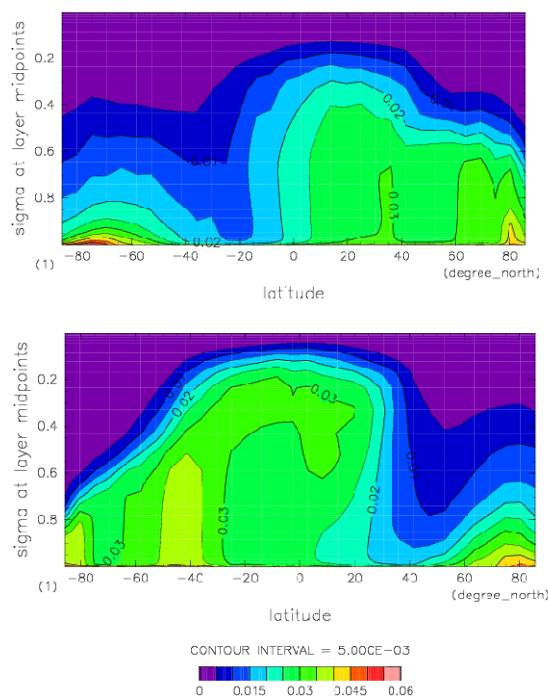


図 1 一様地表ダストフラックスを与えた場合に得られる東西平均ダスト量の子午面分布。(上図) 北半球夏季における 1 ヶ月平均分布。(下図) 北半球冬季における 1 ヶ月平均分布。単位は [kg/kg]。横軸は緯度、縦軸は σ である。

重力加速度などのパラメータについては、火星の値を用いた。実装実験の解像度は T21L36 とした。

図 1 に実装実験で得られた、北半球の夏季と冬季におけるダストの子午面分布を示す。大気最下層に与えられたダストが、両極冠の境界付近と夏半球の緯度 40 度域において大気中層まで輸送される様子が示された。上記のダスト分布がどのように決定されているのかを明らかにするため、今後詳細な解析をおこなう予定である。また、実装実験の実行を通じて、過去の GCM 計算と同様の境界層の構造を得るためには、鉛直層内に 10 層程度の鉛直レベルを置くこと、乾燥対流調節を導入することの必要があることもわかった。

4. 今後の計画

現在、セミラグランジュ法物質移流スキームに加えて大規模風応力巻き上げスキームも入れた実装実験を実行中である。今後は、局所的な対流による巻き上げ過程として Renno et al. (1998) のスキームを実装し、ダスト過程に関するスキーム実装を完成させる。更に、実装したダスト過程の全てを用いた実装試験をおこない、観測との比較実験をおこなう。少なくとも T85L36 以上の高分解能実験を行い、ダスト動態の解像度依存性を明らかにする予定である。加えて、地球大気設定のテスト計算を実施し、水蒸気分布に対するセミラグランジュ法物質移流スキームの性能評価および問題点の洗い出しをおこなう。

5. 計算機資源の利用状況 (2013 年 6 月～11 月)

実行ユーザ数: 4 CPU 時間 v_deb: 1.139 hours, v_cpu: 3,349.564 hours, v_8cpu: 0 hours, v_16cpu: 0 hours, 計: 3,350.706 hours

6. 昨年度研究課題のまとめ

6.1. 昨年度研究課題名

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

6.2. 昨年度研究課題の目的

昨年度は、ダスト過程の実装に着手する前に、ダスト過程を全く入れない場合について火星大気の再現性を確認する実験の実施、火星ダスト過程に関するスキームおよび物質移流スキームの実装を進めることを目的とした。実際には、大規模風応力による巻き上げスキームの実装およびその実装実験と物質移流スキームの実装を行うことにとどまった。

6.3. 昨年度研究課題の成果概要

まず、ダスト過程をまったく入れないで、MGS の観測から得られたダストの鉛直分布を与えた、火星大気の再現性を確認する 5 火星年積分を実行した。表面温度、大気温度、子午面循環の季節変化パターンは、観測および過去の GCM 結果 (Kahre et al., 2006) とよく似たものとなっていることが確認された。

次に、大規模風応力巻き上げスキームの一つである KMH スキーム (Kahre et al., 2006) を導入した。このスキームを用いてダスト巻き上げフラックスを診断する 3 火星年の積分を行った。図 2 は、最後の 1 火星年で得られた、日平均東西平均したダスト巻き上げフラックスの季節変化を示したものである。横軸の Ls は、火星中心黄経 (軌道上の火星の位置をあらわす角度) であり、Ls = 0, 90, 180, 270 はそれぞれ北半球の春分、夏至、秋分、冬至に対応する。ダスト巻き上げフラックスは、北半球の秋から冬にかけての北緯 50 度付近と南緯 30 度付近で、および北半球の春から夏にかけての南緯 50 度付近で増加する結果が得られた。これは過去の研究結果とも整合的なものである。

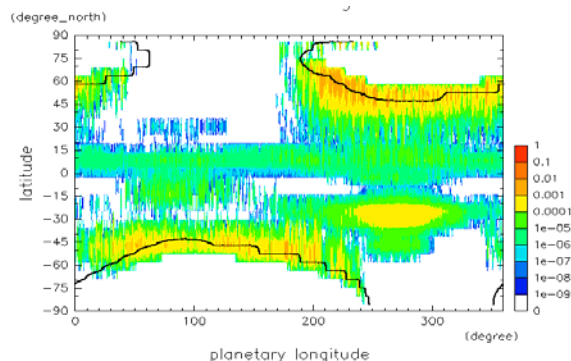


図 2 ダスト巻き上げ診断実験で得られた東西平均ダスト巻き上げフラックス $[\text{Kg m}^{-2} \text{s}^{-1}]$ 。縦軸は緯度 [degree]、横軸は火星中心黄経 [degree] である。実線は極冠の境界をあらわす。

最後に、Kashimura et al (2013) のセミラグランジュ法物質移流スキームを dcpam5 に導入した。このスキームに関しては、理想的な計算設定を用いた試験実験ではその保存性が高いことを確認した。

6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 3 CPU 時間 1 ノード未満: 872.318 hours, 1 ノード: 0 hours, 2 ノード: 0 hours, 計: 872.318 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>