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・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、CO_2 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係する気温・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 CO_2 実験（$2\times CO_2$）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 CO_2 増加に対する応答が北極に及ぼす影響と北極が CO_2 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
$2\times CO_2$	560	ASGCM	ASGCM
RA	280	AGCM, $2\times CO_2$ 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 $2\times CO_2$ 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 $2\times CO_2$ 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、CO_2 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、遠隔地の影響が大気だけでなく、海面水温や海氷などの変化を経由してローカルに大気に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。

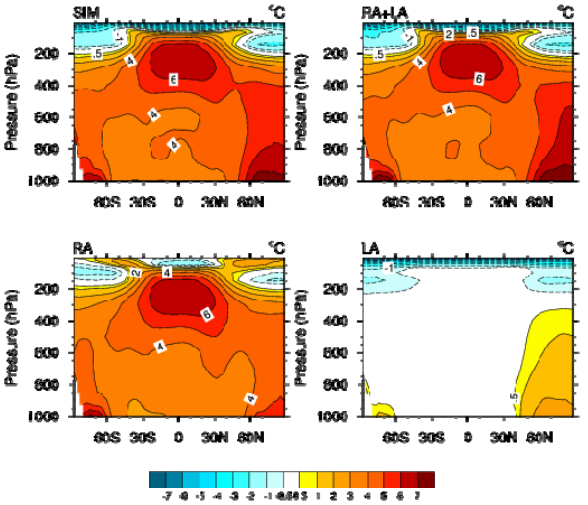

図 1　各実験の標準実験からの気温変化。左上：2×CO_2、右上：RA と標準実験の差と LA と標準実験の差の合計、左下：RA 実験、右下：LA 実験。

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

MICOR で CO_2 レベルを変えた実験（0.5xCO_2, 2xCO_2, 4xCO_2）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、CO_2 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、2xCO_2 と 4xCO_2 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