

## 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）を併用できるように、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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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-0.5xCO<sub>2</sub>、AS-2xCO<sub>2</sub>、AS-4xCO<sub>2</sub>、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-2xCO<sub>2</sub>、AO-4xCO<sub>2</sub>）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

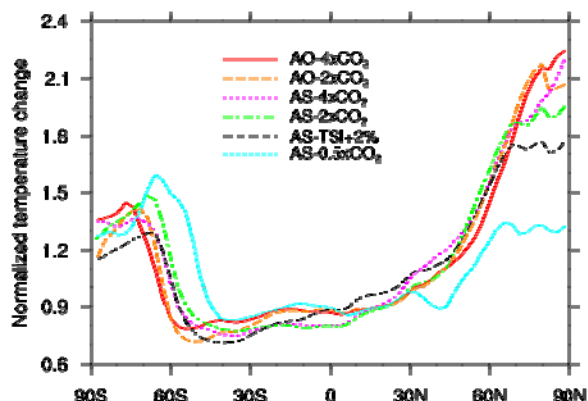


図 1 全球気温変化で規格化された各実験の産業革命前標準実験からの帯状平均気温偏差。横線は全球気温変化レベルに相当する。

化増幅が見られ（図 1）、特に、太陽放射照度の変化や CO<sub>2</sub> 濃度低下にともなう北極域の気温変化比は CO<sub>2</sub> 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)。

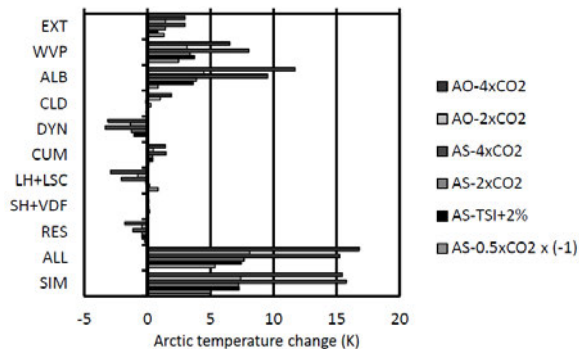


図 2 : 北極域 (65N-90N) の大気最下層の気温変化への各フィードバックプロセスの寄与。フィードバックプロセスの項をエネルギーフラックス収束への寄与を通して、外部強制による寄与 (EXT)、水蒸気の放射効果 (WVP)、地表面アルベドの放射効果 (ALB)、雲の放射効果 (CLD)、乾燥力学過程 (大気顕熱輸送など) の寄与 (DYN)、積雲対流の寄与 (CUM)、地表面潜熱フラックスと大規模凝結の寄与 (LH+LSC)、地表面顕熱フラックスと鉛直熱拡散の寄与 (SH+VDF)、その他 (RES) に分けて評価。

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。

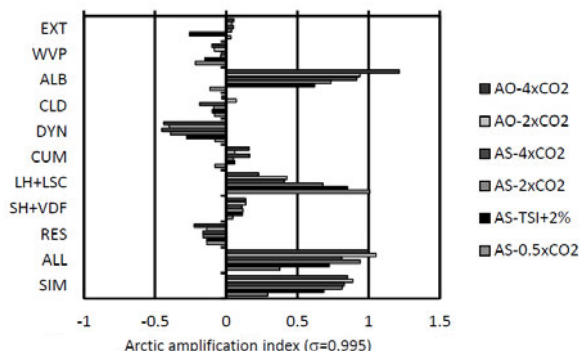


図 3 : 大気最下層における北極域 (65N-90N) と全球平均気温変化の差への各フィードバックプロセスの寄与。正 (負) は北極域の気温変化を全球に比べて大きく (小さく) するように寄与することに相当。

#### 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