

## 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：北海道大学大学院地球環境科学研究院 吉森正和  
 情報システム研究機構国立極地研究所 大石龍太・市野美夏・Alexandre Laine  
 東京大学大気海洋研究所 陳 永利・山本彬友・尾崎和海・新田友子・シェリフ  
 多田野サム、小長谷貴志

実施年度：平成 26 年度～平成 26 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。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

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。特に、昨年度行った北極域の海氷変化や海面温度上昇、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を引き起こす要因の分離実験を継続し、その結果の詳細な解析を行う。また、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継続して調べる。その他、個々のフィードバック間の相互作用を調べるために、フィードバックの切り分け実験やパラメータに関する感度実験を検討し、実施する。

### 3. 進捗状況

まず、本課題のこれまでの研究を基に、北極温暖化増幅について、昨年度の Yoshimori et al. (2014a) に引き続き、今年度は Yoshimori et al. (2014b) を出版した。

次に、昨年度行った数値実験結果の解析を詳しく行うために、更新されたコンピュータ SX-9 上で放射カーネル（後の解析のために気温や水蒸気の変化と放射フラックスの変化の対応を事前準備しておくもの）を作成した。Yoshimori et al. (2014b) の気候フィードバック解析手法を適用し、低緯度を中心とした北極外の温暖化が北極の温暖化に遠隔的に及ぼす影響、またその遠隔影響に誘導されて北極の温暖化がローカルに増

幅されるプロセスを調べた。この際、大気海洋結合モデルと異なり、エネルギーサイクルの閉じていない、海面温度 (SST) を与えて行う大気大循環モデル実験にも適用できるように解析方法を発展させた (図 1)。

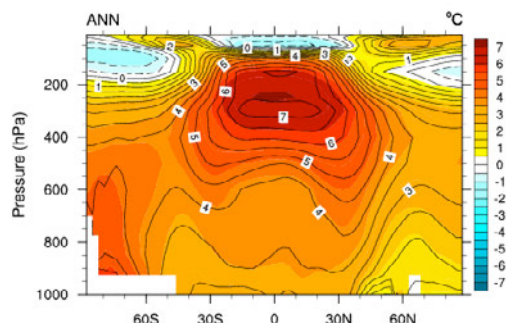


図 1. 高緯度以外は  $2xCO_2$  時の SST を与え、高緯度は  $1xCO_2$  時の SST を与えた実験。陰影はシミュレーション結果、等値線は診断された気候フィードバック各項の総和を表す。

図 2 は、夏の北極域の昇温のうち大規模凝結の寄与 ( $^{\circ}C$ ) を表している。大気海洋混合層モデルで  $CO_2$  濃度を 2 倍にした場合は、高緯度全体にわたり、地表付近と上層で昇温への寄与が見られる (図 2a)。一方、北半球高緯度以外の SST は昇温させず、 $CO_2$  濃度を増加させ高緯度だけ SST の変化を許容した実験では、地表近くでは昇温への寄与が見られるもののその程度は小さい (図 2b)。対照的に、高緯度以外の SST だけを昇温させた実験では、遠隔影響により、図 2a に匹敵する程の昇温への寄与が見られる (図 2c)。さらに、高緯度の SST も  $1xCO_2$  時に固定することにより、遠隔影響のみの効果 (図 2d) と遠隔影響によって北極の SST や海氷が変化し、さらに昇温する効果 (図 2c) に分けることに成功した。このことから、北極の夏の温暖化に対する大規模凝結の寄与は、 $CO_2$  の増加に対して直接高緯度がローカルに応答する効果よりも、低緯度からの水蒸気輸送の増加によってまず高緯度の中・上層の大気が暖められ、それによって地表付近が温暖化、海氷が減少することによって蒸発が増え、さらに大気を温めるという解釈が成り立つ。

この例では、水蒸気輸送と強く関係する大規模凝結の寄与について結果を示したが、要因を切り分ける実験（本例では北極外の昇温と北極の昇温）と気候フィードバック解析を併用することによって、さまざまな相互作用が浮かび上がってくる可能性が示された。

次に、Yoshimori et al. (2014b) で重要性が指摘された、地表付近の成層過程と北極域の温暖化の関係を調べるために、鉛直拡散に関するパラメータを走査して感度実験をおこなった。パラメータの走査範囲はYoshimori et al. (2011) に基づいて現実的な値と判断されるもののうち最大値と最小値を用いた。2組の実験を行った。1組目はそれぞれのパラメータで1xCO<sub>2</sub>と2xCO<sub>2</sub>実験、2組目は、背景場が変わる効果を除くために、いわゆるQ-fluxをパラメータ値ごとに作成し直し背景場を近づけた上で、それぞれのパラメータで1xCO<sub>2</sub>と2xCO<sub>2</sub>実験を行った。

これまでの初期的な解析では、背景場が異なる場合には、パラメータ値によって北極の昇温の程度は大きく変わるものの、背景場を近づけた実験では、パラメータ値によって大きな違いは見られなかった。このことから、現実的な現在気候を再現するモデルでは、この特定のパラメータ値の不確実性は将来予測に大きく寄与しないことが示唆される。同時に、モデルによる現在気候再現の重要性も指摘される。

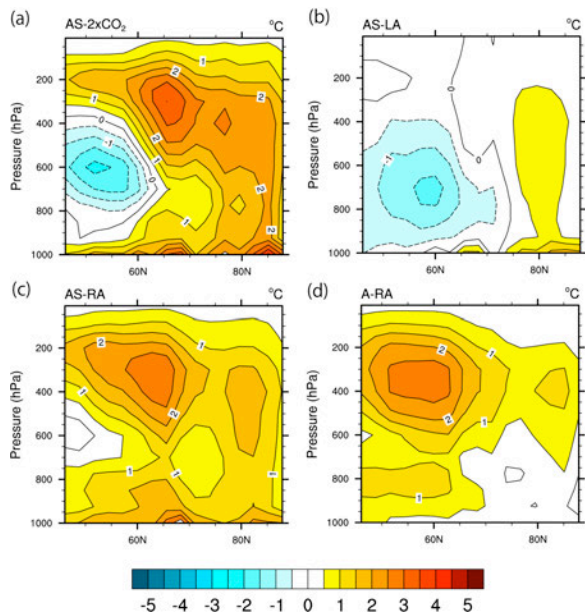


図 2. 夏の昇温のうち大規模凝結過程の寄与(°C)。(a)CO<sub>2</sub> 倍増実験、(b)高緯度以外は SST を 1xCO<sub>2</sub> 時に固定し、CO<sub>2</sub> を倍増した実験、(c)高緯度以外は(a)の SST を与えた実験、(d)高緯度以外は(a)の SST を与え、高緯度は 1xCO<sub>2</sub> 時の SST を与えた実験。

#### 4. 今後の計画

まず、これまでに実施した数値実験結果の解析を継続する。特に、遠隔影響に関する解析を完了させるとともに、鉛直拡散に関するパラメータ摂動実験において、フィードバック間の相互作用について詳しく調べる。また、他のパラメータに関する摂動実験の有効性や実験方法についても検討する。

#### 5. 計算機資源の利用状況（2014年4月1日～11月30日）

実行ユーザ数: 5  
CPU 時間 v\_deb: 0 hours, v\_cpu: 0 hours, v\_8cpu: 1,904.01 hours, v\_16cpu: 0 hours, 計: 1,904.01 hours

#### 6. 昨年度研究課題のまとめ

##### 6.1. 昨年度研究課題名

今年度と同じ。

##### 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

これまで、北極温暖化増幅に寄与する物理プロセスを調べるために、シミュレーション結果の大気熱輸送やその他のエネルギー項の大きさを見積もり、その相対的寄与を調べた。その結果得られるものは、大気熱輸送の効果が含まれた上での各プロセスの相対的寄与である (Yoshimori et al. 2014a)。こうした手法は観測と直接比較できるメリットがある一方、大気熱輸送が他のプロセスに与える影響といったプロセス間の相互作用、すなわちメカニズムを理解するためには限界がある。そのため、ローカルな放射強制による効果と遠隔影響に切り分ける実験を行うことによって、プロセス間の相互作用を調べる方法を試みた。その結果、季節を問わず、北極外の気候変動が北極に与える影響は支配的で、さらに夏には、北極の海洋・海氷の変化を伴わない大気熱輸送変化による北極温暖化への寄与が重要であることが示唆された。

#### 6.4. 昨年度計算機資源の利用状況（2013年6月1日～2014年3月31日）

実行ユーザ数: 12  
CPU 時間 v\_deb: 7.75 hours, v\_cpu: 3.53 hours, v\_8cpu: 4,464.40 hours, v\_16cpu: 0 hours, 計: 4,475.68 hours