

研究課題名：気候モデル MIROC 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：情報システム研究機構 国立極地研究所 大石龍太
 北海道大学大学院地球環境科学研究院 吉森正和
 東京大学大気海洋研究所 シェリフ多田野 サム
 北海道大学大学院環境科学院 濱野勇臣

実施年度：平成 27 年度～平成 27 年度（平成 27 年度終了課題）

1. 研究目的

全球気候モデルを用いたシミュレーションでは、大気中のCO₂濃度の増加など、空間的に比較的一様な放射強制力を加えた場合に、地上気温の変化が極域で大きく現れることがよく知られている。近年の地球温暖化においても、観測や再解析データから、北極域で気温上昇が顕著に大きくなっていることが確認されている。北極の温暖化は、太陽光の強い夏ではなく、秋から冬にかけて最も大きく現れる。本研究では、こうした北極温暖化増幅のメカニズムを明らかにすることを目的とする。

2. 研究計画

まず、地域的な温度変化の要因を解析するのに適切な方法を MIROC 気候モデルについて確立する。そして、その手法を用いて、北極温暖化増幅に寄与するプロセスをその季節性も含めて明らかにする。

次に、北極温暖化増幅において CO₂ 増加に対する北半球高緯度の直接的な応答と他地域が温暖化することによって遠隔的に北半球高緯度を温暖化させるプロセスを比較し、大気熱輸送の果たす役割を明らかにする。

さらに、気候変化に対する植生分布の応答を考慮し、植生分布の変化が北極域の気候フィードバックを通して北極域の温暖化に寄与する効果を明らかにする。

3. これまでの研究のまとめ

Lu and Cai (2010)によって提唱された気候フィードバック・応答解析法 (CFRAM) は、従来の放射フィードバック解析と異なり、個々の物理プロセスの役割が地表面温度と大気温度変化への寄与として同時に定量化され、地球平均だけでなく地域的な気温変化を決めるプロセスを調べるのに有効である。したがって、大気温度の上昇によって説明されてきた地表面温度の上昇分が各物理プロセスの寄与として説明され、同様に、地表面温度の上昇によって説明されてきた大気温度の上昇分が各物理プロセスの寄与として説明される。具体的には、フィードバックプロセスを各格子点での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、水蒸気の放射効果、地表面アルベドの放射効果、雲の放射効果、力学過程（大気顕熱輸送など）の寄与、積雲対流の寄与、大規模凝結の寄与、地表面熱フラックスと鉛直熱拡散の寄与、海洋熱吸収の効果などに分けて評価する。本研究では特に MIROC 気候モデルの放射伝達プログラムを用いて放射カーネルを作成し、標準的なモデル出力を用いて地域的な温度変化に対する寄与を評価できる手法を提案した。また、雲と地表アルベドの同時変化による短波放射の非線形効果を指摘し、その効果の大きさも推定した。これによって、月平均の標準的なモデル出力を用いて、どの季節のどの地域でも正確かつ詳細なフィードバック解析が可能になった。

次に、数値実験を通して、北極域から遠く離れた海面水温の上昇と北極域の海氷や海面水温の変化の相対的寄与を調べた。遠隔地域の温暖化により、冬季の非定常擾乱を通して水蒸気が高緯度に多く運ばれ潜熱の輸送が増加する一方、北極の温暖化自体は輸送されてくる乾燥静的エネルギーを減少させることが示された。さらに、CFRAM 解析により、モデルにおける大気熱輸送と北極域の各物理プロセス間の関係や相互作用が明らかにされた（図 1）。特に、潜熱輸送は、水蒸気や雲の温室効果を通して冬季に北極の温暖化を促進する効果があることが明確に示された。このことから、大気の熱輸送（乾燥静的+潜熱）の増減は、必ずしも北極温暖化増幅における大気熱輸送の果たす役割を示さないことがわかった。

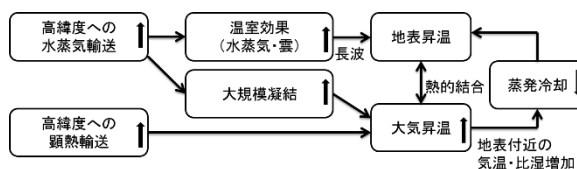


図 1. 低緯度から高緯度への遠隔影響の模式図。上向きと下向きの矢印はそれぞれ増加と減少を表す。おもな過程のみ図示 (Yoshimori et al. 2016, submitted)。

さらに、動態植生モデルを結合させた気候モデルを用いることによって、植生フィードバックが北極の温暖化増幅にもたらすメカニズムを調べた。O'ishi and Abe-Ouchi (2009)と同様に、植生の変化は北極の温暖化を数10%以上増幅させた。植生フィードバックは、春に高緯度の陸上を温暖化させ、北極海を秋から冬にかけて温暖化させる。これについて以下の仮説が立てられた(図2)。春の陸上での温暖化は極域大気的直接循環を変化させ、それによって陸から海への大気熱輸送が増加する。海水アルベドフィードバックを通して、夏に海洋への熱吸収を増加し、温度変化の強く出やすい冬に海洋からの熱放出を増加させることによって海上の温暖化増幅が生じる。

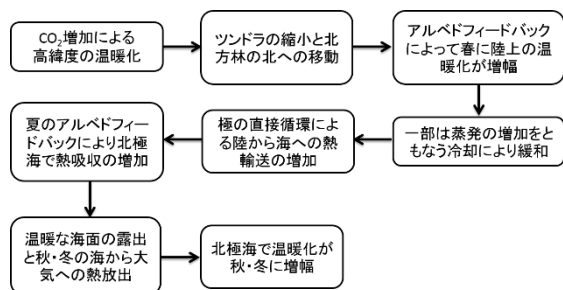


図 2. 植生分布の変化が北極域の温暖化増幅をもたらすメカニズムに関する仮説。

4. 今後の計画

これまでの解析では、北極平均というスケールでのメカニズムはある程度明らかにされたものの、極域大気循環の変化を引き起こすプロセスや、より地域的な応答に関する知見は得られていない。このためには、植生分布が変化したことによる中緯度から高緯度への熱輸送の変化を担っている平均子午面循環の変化が、非断熱加熱によるものなのか、定常擾乱と非定常擾乱による運動量輸送を介して影響を受けているのか、などより詳しい解析が必要である。また、東西平均した循環だけでなく、東西非対称な循環の効果などについても調べていく必要がある。さらに、より現実的な将来予測に役立たせるためには、平衡応答だけでなく、海洋循環の変化、海洋の熱吸収による温暖化の遅れの効果も考慮した大気海洋結合大循環モデルを用いた、植生分布変化の時間発展の効果も調べていく必要がある。

また、これまでに確立された解析手法を駆使して、過去の気候と将来の気候における極域温暖化増幅メカニズムの共通点と相違点を明らかにし、さまざまな時代における極域の気候変動メカニズムを統一的に理解

する必要がある。また、その理解を通じて、過去の気候情報が将来の予測にどのように役立つかを探求する。

5. 計算機資源の利用状況 (2015年6月1日～2016年3月31日)

実行ユーザ数: 5

CPU 時間 v_deb: 8.51 hours, v_32cpu: 1139.29 hours, v_96cpu: 0.00 hours, v_160cpu: 0.00 hours, 計: 1,147.80 hours