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

CO_2 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ションである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。

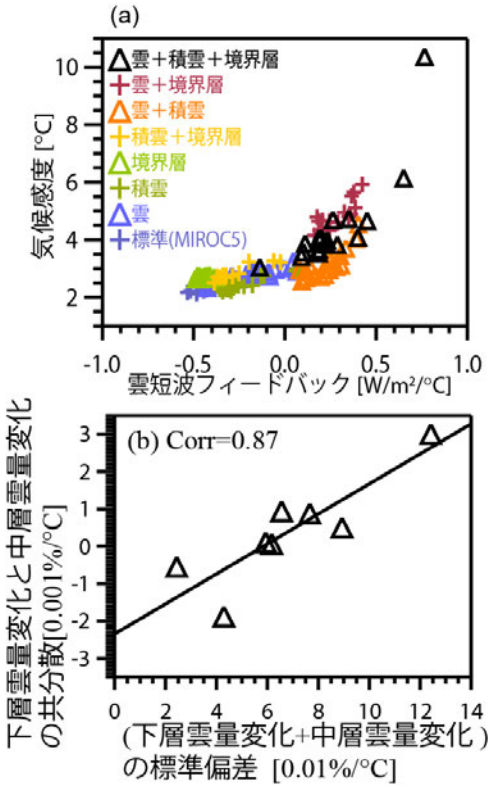

図 1　(a) MPMPE の気候感度と雲短波フィードバックの分布。 (b)MPMPE の各ハイブリッドモデルにおける「下層雲量変化と中層雲量変化の共分散」と「下層雲量変化＋中層雲量変化の標準偏差」の関係。

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（CO_2 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

CO_2 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：CO_2 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 CO_2 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 CO_2 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

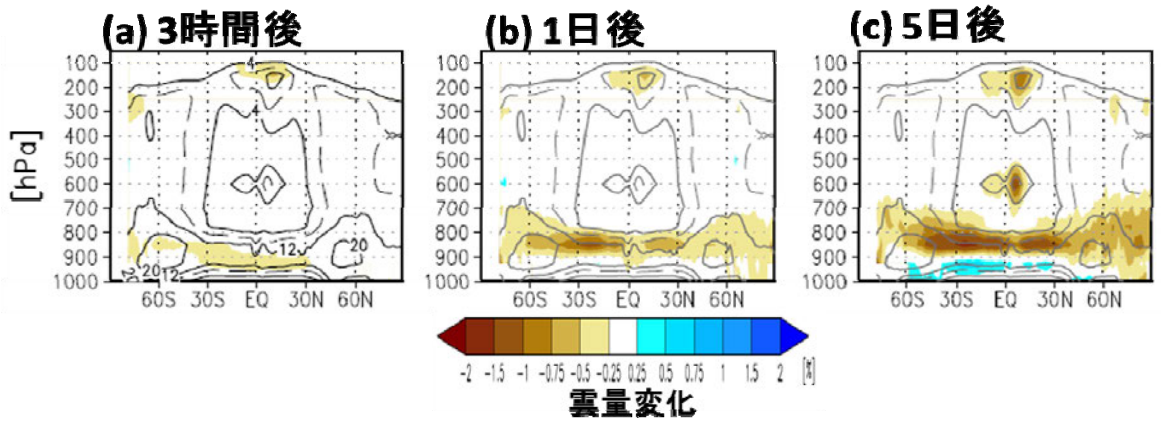

図 2　短期実験における CO_2 濃度増加直後の雲量変化　[陰影, %]。 コンターは、コントロール実験における雲量 [%]。