

## 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

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 野沢 徹・小倉知夫・横島徳太・石崎安洋・加藤悦史

国立極地研究所北極観測センター 阿部 学

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・森正人

実施年度：平成 24 年度～平成 24 年度

### 1. 研究目的

気候変動に対する影響評価、適応策、緩和策などの研究は、大気海洋結合モデルによる気候変動予測実験のデータを元に行われている。しかし、気候変動予測の不確実性は未だ大きく、適応策、緩和策などの政策決定に影響を与えている。本課題では、国立環境研究所が開発・運用に参加してきた大気海洋結合モデル MIROC を用いて数値実験を行い、長期予測と近未来予測のそれぞれの不確実性の要因を研究する。

### 2. 研究計画

今年度は、MIROC シリーズの大気モデルを用いて、気候感度（CO<sub>2</sub> 濃度 2 倍増に対する全球平均地上気温上昇量）の不確実性に関する研究を集中的に行う。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<sub>2</sub> 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。この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 種類の実験を行う。

長期積分：フィードバックの物理スキームの違いによる不確実性と物理パラメータによる不確実性を切り分けるために、MIROC3 と MIROC5 の複数の物理スキームを交換した 8 バージョンの大気モデルを用いて、物理パラメータを不確実性の範囲内で（21 回）走査する「マルチパラメータ・マルチ物理実験」を実施する（全 168 メンバー）。それぞれのメンバーは、コントロール、海面水温上昇、CO<sub>2</sub> 濃度 4 倍増の 3 実験×6 年積分から構成される。

短期積分：CO<sub>2</sub> 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する。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<sub>2</sub> 濃度 4 倍増実験を行う。

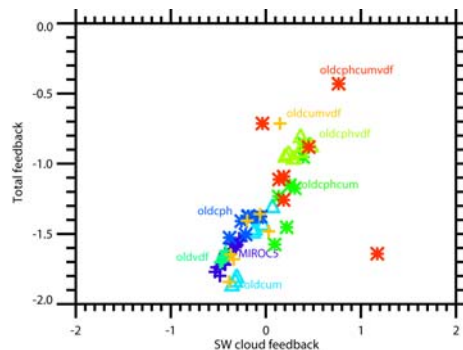


図 1 マルチパラメータ・マルチ物理アンサンブルのトータル・フィードバック（縦軸、W/m<sup>2</sup>/K）と雲短波フィードバック（横軸、W/m<sup>2</sup>/K）。各モデルの説明は講演で行う。

### 3. 進捗状況

物理スキームを交換した 8 モデルの物理パラメータを走査する実験を実施中である。図 1 にトータル・フィードバックの強さ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。トータル・フィードバックのばらつきが、雲短波フィードバックのばらつきと良い相関がある。物理スキームの不確実性も物理パラメータの不確実性も、どちらも大きいことがわかる。短期実験からは、CO<sub>2</sub> 濃度増加後 5–10 日間程度での雲の分布などが大きく変化することがわかった。

### 4. 今後の課題

今後、マルチパラメータ・マルチ物理実験に関してはアンサンブル数を増やしていく。また短期実験に関しては、観測と比較した予報誤差が、CO<sub>2</sub> 濃度増加時の放射強制力とどのような関係にあるかを調べる。

### 5. 計算機資源の利用状況（2012 年 4 月～9 月）

実行ユーザ数: 12 CPU 時間 1 ノード未満: 82 hours,  
1 ノード: 99,027 hours, 2 ノード: 115,330 hours, 計:  
225,271 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

今年度と同様。

6.3. 昨年度終了研究課題の成果概要

大気海洋結合モデル MIROC シリーズを用いて、気候感度と 10 年スケールおよび季節スケールの内部変動の予測不確実性に関する研究を行った。

気候感度に関しては新旧バージョン (MIROC5 と MIROC3) で瞬時に CO<sub>2</sub>濃度を 4 倍にする実験を行い、中層雲の振る舞いの違いが気候感度に大きな差を生じさせることを明らかにした。さらに、MIROC5 を用いて、物理パラメータを不確実性の範囲内で走査する、物理パラメータアンサンブル実験を行なった (図 2)。全てのアンサンブルメンバーが負の雲短波フィードバックをもつため、高い気候感度が現れないことがわかった。加えて、複数の物理スキームを MIROC5 から MIROC3 の物に変更するマルチ物理アンサンブル実験を実行し、雲スキーム+積雲対流スキームまたは雲スキーム+境界層スキームを交換した場合に、温暖化時の雲の応答パターンが変わり、気候感度が大きく変わることを示した (図 3)。

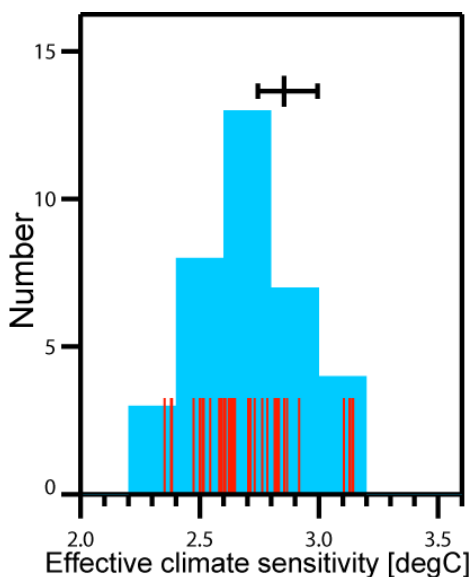


図 2 MIROC5 物理パラメータアンサンブル実験における気候感度のヒストグラム [°C]。赤線は各メンバー。黒のエラーバーは標準設定モデルの 10-90% 不確実性幅をブートストラップ法で求めたもの。

今年度課題では、昨年度終了課題で開発したマルチ物理アンサンブルの 8 モデルを利用して、それぞれの物理パラメータを走査するマルチパラメータ・マルチ物理実験を行っている。

一方、10 年規模内部変動に関しては、海水温度・塩分の歴史的観測データを同化し、ハインドキャスト実験を行った。観測データと比較した結果、熱帯大西洋の南北モードと呼ばれる内部変動に 1 年を超える予測可能性があることが分かった。

季節予測に関しては、MIROC5 を用いてエルニーニョ・南方振動現象の季節予測実験を行い、6 ヶ月以内の予測に関して、他機関のモデルと比較して高い予測スキルをもつことを示した。

今年度は、季節予測実験で開発したシステムを用いて、積分期間 10 日間の週間予報モードで CO<sub>2</sub>濃度を 4 倍増させた実験を行い、数日スケールでの気候場・放射場の応答を解析している。

6.4. 昨年度までの計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 17 CPU 時間 1 ノード未満: 14hours, 1 ノード: 63,341 hours, 2 ノード: 170,773 hours, 計: 234,127 hours

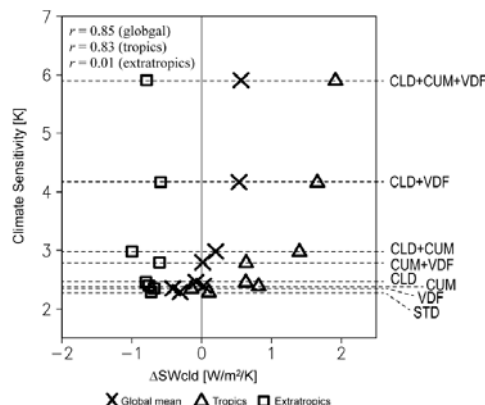


図 3 マルチ物理アンサンブルの気候感度 (縦軸) と雲短波フィードバック (横軸)。STD=MIROC5 標準モデル、VDF=境界層スキーム交換モデル、CUM=積雲対流スキーム交換モデル、CLD=雲スキーム交換モデル、CUM+VDF=積雲対流+境界層スキーム交換モデル、CLD+CUM=雲+積雲対流スキーム交換モデル、CLD+VDF=雲+境界層スキーム交換モデル、CUM+CLD+VDF=積雲対流+雲+境界層スキーム交換モデル。