

研究課題名：大気海洋結合モデルの物理過程改良および気候変化予測の手法開発

課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター 小倉知夫

共同研究者：国立環境研究所地球環境研究センター 江守正多・長谷川聡・阿部 学
東京大学気候システム研究センター 木本昌秀・今田（金丸）由紀子・
野中（荒井）美紀・近本喜光・高萩 縁・羽角博康
海洋研究開発機構地球環境変動領域 横島徳太

実施年度：平成 19 年度～平成 21 年度

1. 研究目的

地球温暖化が社会・経済に及ぼす影響を把握する上で、今後 30 年程度の近未来に注目した極端現象（豪雨、熱波等）の予測は重要な課題である。近未来の気候予測は経年変動の影響を比較的強く受けるため、経年変動の位相を含めた予測がより望ましい。しかし、そのためには気候モデルによる経年変動の再現性改善、初期値アンサンブル予測の手法開発などの問題を克服する必要がある。そこで本研究では、大気海洋結合 GCM ‘MIROC’ による数値実験とその物理・力学過程の改善を通して、近未来の気候予測の技術的基盤を確立することを目的とする。また、今後 100 年以上の長期に渡る気候予測においては気候感度推定の信頼性向上が重要な課題であるため、これにも併せて取り組むこととする。

2. 研究計画

近未来予測については、実験的気候予測システムを開発することで、十年規模変動の位相を含めた将来予測に取り組む。このシステムは、海洋表層の水温、塩分の観測データを利用して気候モデル MIROC の状態を現実に近づけ（データ同化）、その状態に摂動を加えることで複数の初期値を作成し、得られた初期値からアンサンブル予測を行うものである。この方法で予測する対象は温暖化のトレンドに乗った 30 年先までの気候状態であり、特にその気候状態が十年規模変動でどれだけ変わるかが焦点となる。

気候感度の推定については、不確実性が生ずる最大の要因である雲フィードバックに注目し、気候モデルによるフィードバック推定の信頼性を高めるために雲パラメタリゼーションの精緻化に取り組む。また、モデルで推定した気候感度に観測データから制約を加えるため、1991 年のピナツボ火山噴火について再現実験の準備を整える。この実験は、火山噴火に伴う気温変化を気候モデルで再現し、観測データと比較して再現成績が良いモデルほど気候感度の信頼性が高いと判断するものである。

3. 成果概要

本研究課題では近未来予測の技術的基盤を整えるため、実験的気候予測システム(System for Prediction and Assimilation by MIROC, ‘SPAM’)を開発し、研究ツールとして稼動を開始した。また、SPAM による気候予測の性能を評価するため、数年規模で変動するエルニーニョ・南方振動(ENSO)の予報実験を実施した。その結果、他機関の予報システムと比べて予報成績に改善の余地が認められたため、SPAM の構成要素（データ同化手法、アンサンブル予測手法、気候モデル本体等）に改良を加えて予報精度の向上を図った。例えばアンサンブル予測手法については、新しい初期値作成方法として Analysis Increment Perturbation (AIP)法を開発した。AIP 法は従来の方法（同化アンサンブル）と比べて計算コストが約 1/10 であるにも関わらず、従来と同じ程度の予測精度を示すことが確認できた（図 1、図 2）。また、気候モデル本体については、ENSO の振幅が観測と比べて過小評価される問題があり、この性質が熱帯海洋表層の鉛直温度成層の過小評価と関係していること知られてきた。そこで海洋の移流スキームを Utopia-Quickest 法 からより高精度の Second-Order-Moment 法へ変更したところ、中央・東部熱帯太平洋で表層の温度成層が強化され、ENSO の振幅も観測に近づく成果を得た。このほか、温暖化に伴う降水変化のメカニズムを理解するために数値実験を行い、赤道域と中緯度域の降水増加が海面水温上昇の効果、亜熱帯域の降水減少が CO₂ 増加によることなどを確認した。

本研究課題では気候モデルによる雲フィードバック推定について信頼性を高めるために、雲氷量の計算方法を経験的な診断から物理的な予報へ変更した。新しい計算方法では、雲水の液相・固相の表現がより現実的になるほか、気候感度が不確実なパラメータ値にあまり依存しなくなるという利点がある。気候モデルの改良としてはこのほか、雲量の計算方法を変更し、格子内部で水蒸気の空間分布が変化する効果を採用入れた。以上の改良の結果、モデルで計算した中層雲の分布が衛星観測データに近づく様子が確認できた。また、

気候感度に観測データから制約を加えるための火山噴火実験については、火山性エアロゾルのデータを境界条件としてモデルに入力する方法を改善し、その結果、火山噴火に伴う気温変化の再現性が向上することを確認した。

4. まとめと今後の課題

本研究課題で実験的気候予測システム SPAM を開発したことにより、MIROC を用いた気候変化の予測に十年規模変動の影響を取り込むことがある程度可能となった。また、雲パラメタリゼーションを精緻化すること等により、MIROC による気候感度推定について信頼性が向上した。これらの成果は、MIROC による将来気候の予測について説得力を増すものと期待される。本研究で開発された SPAM と MIROC は、IPCC 第 5 次報告に向けた将来予測シミュレーションに現在活用されている。このシミュレーションで得られた結果は次期の IPCC 報告書に掲載予定であるほか、社会・経済への温暖化影響を評価する研究においても入力データとして活用される見込みであり、最終的には、日本の環境政策の立案を支援する基礎データとして役立つものと期待される。以上の成果を得るには多くの数値実験を試行錯誤しながら実施する必要があり、そのために NIES SX-8R の計算機資源が不可欠であった。

なお、本研究課題で十分に解決できなかった課題としては、観測データを利用した気候モデル MIROC の性能評価（特に火山噴火再現実験、雲の衛星観測データの活用）を挙げることができる。また、物理摂動アンサンブル（気候モデルのパラメータに摂動を与えることで実施する、温暖化予測のアンサンブル実験）による将来予測の不確実性定量化も重要である。これらは共に、気候の将来予測の不確実性を狭める上で鍵となるテーマであり、NIES SX-8R を用いた研究課題で今後取り組む予定である。

5. 昨年度までの計算機資源の利用状況（2007 年 4 月～2010 年 3 月）

実行ユーザ数：10 CPU 時間 1 ノード未満：710 hrs, 1 ノード：176,579 hrs, 2 ノード：101,175 hrs, 計：278,414 hrs.

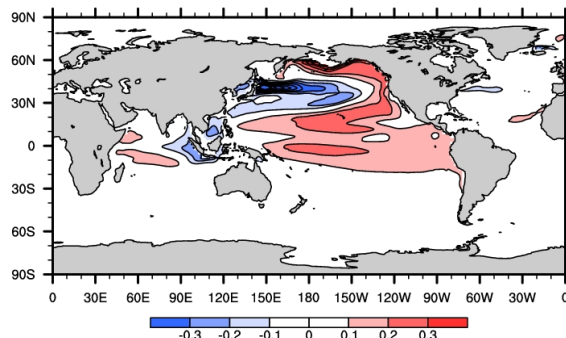


図 1 MIROC によって計算された、北太平洋亜表層水温の年平均偏差場の経験的直交関数第 1 モードに対する回帰係数分布。亜表層水温は表層から深さ 100 m までの鉛直平均値として定義。モデルの内部変動を抽出するために 20 世紀再現実験における 10 アンサンブル平均からの各メンバーの偏差に対して経験的直交関数解析を行った。

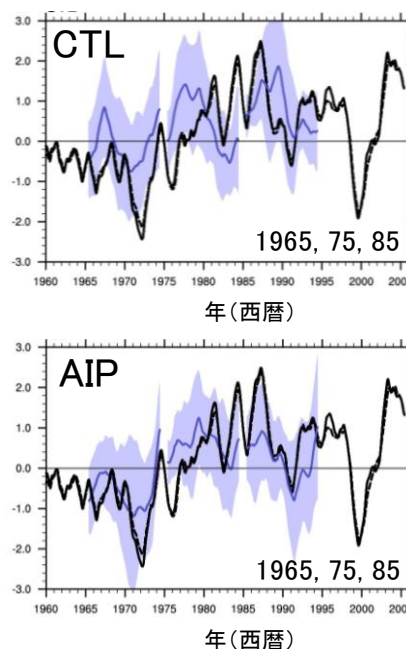


図 2 経験的直交関数第 1 モードの空間パターンに射影した時係数。上(CTL)が同化アンサンブルによる予測、下が AIP 法による予測。初期値を 1965, 1975, 1985 年に設定した結果を示す。黒の実線が観測、破線が同化を示す。青の実線と陰影は予測時におけるアンサンブル平均とアンサンブルスプレッドを示す。