

研究課題名：雲・降水プロセスに着目した気候変動予測の不確実性に関する研究

課題代表者：国立環境研究所地球システム領域 廣田渚郎
共同研究者：国立環境研究所地球システム領域 塩竈秀夫・小倉知夫・石崎紀子・林未知也
東京大学大気海洋研究所 渡部雅浩・山上遥航
岡山大学大学院自然科学研究科 野沢 徹
東京大学生産技術研究所 金 炯俊・日比野研志
株式会社三菱総合研究所 井上 剛
気象庁気象研究所 川瀬宏明
株式会社パスコ 姫木祐太郎
エム・アール・アイリサーチアソシエイツ株式会社 櫻木俊輔
茨城大学理工学研究科 若月泰孝

実施年度：令和2年度～令和4年度

1. 研究目的

IPCCでは、気候変動に関する科学的な知見がとりまとめられている。2021年8月に、IPCC第6次報告書が発表され、世界の気候モデル（CMIP6）による気候変動予測シミュレーションの結果が利用された。しかし、CMIP6モデルによる気候変動予測には大きな不確実性がある。たとえば、CMIP6モデルにおける、二酸化炭素倍増時の全球地表気温の上昇量で定義される“気候感度”には1.8～5.6°Cの幅がある。予測不確実性の最大の要因は、温暖化に対する雲・降水プロセスの応答（フィードバック）がモデル間で異なることである（Zelinka et al. 2020）。

本課題の研究目的は、気候モデルによる気候変動予測シミュレーションを行い、予測不確実性や気候変動の影響について、雲・降水プロセスに着目して調べることである。モデルは、主にMIROCを用いる。MIROCは、1990年代からCMIPに参加して、IPCCに貢献してきた気候モデルで、国立環境研究所を含む日本の研究グループで開発されている。近年は、次期CMIP7に向けて、特に雲・降水プロセスを中心に改良が進められている。たとえば、これまで診断的に扱われていた雨と雪の降水粒子を予報変数として扱い、それらの雲との相互作用、放射プロセスへの影響をより精密に表現できるようになった。これらの改良が、モデルによる現在気候の再現性や、その気候変動予測にどの様に影響するのか調べる。また、課題代表者はMIROC開発のとりまとめを担当しており、本課題はその開発の重要な部分を担うものである。

2. 研究計画

MIROCで、従来の診断型降水スキーム（DIAG）と新しく実装された予報型降水スキーム（PROG）を用い

た場合を比較する。DIAGとPROGの現在気候実験と温暖化実験を行う。モデルの大気部分のみを利用し、温暖化時の海洋の状態は、DIAGのMIROC大気海洋結合モデルによって予測されたものを境界条件として与える（Shiogama et al. 2012）。大気モデルのみを利用した方法を用いるのは、PROGのMIROC結合モデルはまだ開発途上（後述）であるためである。

DIAGとPROGの温暖化時の雲フィードバックを比較する。特に雲の日傘効果や温室効果に関わる、雲の量、高さ、厚さの温暖化への応答の違いを調べること、フィードバックプロセスの理解を深めることができる。さらに、世界のCMIPモデルとの比較を行い、MIROCに見られたプロセスの違いが、CMIPモデルの気候感度の不確実性をどの程度説明できるのかを調べる。

PROGのMIROC大気海洋結合モデルの開発も行う。予報型降水スキームを導入すると、特に大気上層の雲量が増加した（Michibata et al. 2019）。上層雲は大温室効果が強く、地球を暖めるので、水蒸気量が増加し、その温室効果がさらに地球を暖める。この様に、降水スキームの変更は、地球の水循環やエネルギー収支に大きく影響を与えるので、他の乱流、対流スキームなども合わせて調整する必要がある。

ここまでMIROCの予報型降水などの改良とそのモデルによる気候変動予測について述べてきたが、既に開発が完了している診断型降水のMIROCなどを用いた影響評価研究も行う。特に生活との関りが大きい降水の変化に着目する。その成果は一般の方にもわかりやすい形で発表する。

3. 進捗状況

昨年度は PROG と DIAG の MIROC の比較を行い、PROG は DIAG に比べて雲フィードバックが大きく、温暖化が促進されることを示した。今年度は、この結果の解析とその違いを理解するためのシミュレーションを行い、メカニズムの理解を進めた。その結果、PROG は、DIAG に見られた上層雲量の過少バイアスが改善され、その上層雲の高度が温暖化の進行と共に上昇することで、温室効果がより効果的に働き温暖化が促進されることがわかった。図 1 のように、この上層雲量と雲の高度が高くなるフィードバックの強さの関係は CMIP モデルにも見られた。

MIROC 大気海洋結合モデルの開発では、特に雲量の再現性の改善に取り組んだ。PROG の大気モデルに海洋を結合すると、雲水量が非常に大きくなるバイアスが発生した。モデルの雲、降水、対流スキームのパラメータを調整し、雲を雨として地面に落としやすくすることで、このバイアスを改善した (図 2a, b, c)。

影響研究では、たとえば、シミュレーション結果を利用して、温暖化の台風への影響を調査し、パンフレット”勢力を増す台風” (環境省 2020) にまとめた。

計算機資源のおおよその使用割合は、予報型降水スキームの気候変動予測への影響についての研究が 3 割程度、MIROC 開発が 5 割程度、影響評価研究が 2 割程度である。

4. 今後の計画

MIROC 大気海洋結合モデルで気候変動予測シミュレーションを行うためには、まずモデルが現実気候を適切に表現することが必要である。ここまでのモデル調整で、雲水量の過剰バイアスは改善されたが、水蒸

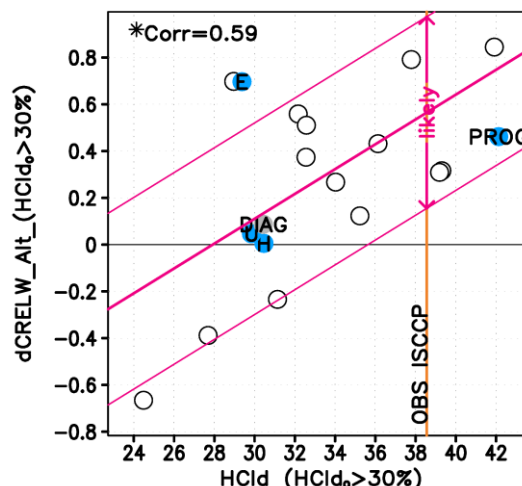


図 1. 雲の高さが関わる長波雲放射フィードバック (縦軸)と上層雲量(横軸)の関係。各点は CMIP モデルと MIROC の PROG と DIAG を表す。オレンジ線は観測の上層雲量を示す。

気量の過剰バイアスが改善されていない(図 2 d, e, f)。水蒸気は大きな温室効果を持つので、このままでは地球の温度が異常に高いバイアスを持ってしまう。引き続きモデルの乱流、降水、対流プロセスなどの調整を行い、気候変動予測に利用できるモデルを開発する。同時に影響評価研究も進めていく。

5. 計算機資源の利用状況 (2020 年 11 月 1 日～2021 年 10 月 31 日)

実行ユーザ数: 15

VE 時間積 v_debug: 87.30 hours, v_normal: 210,712.86 hours, 計: 210,800.16 hours, (全体の VE 時間積に対する占有率: 14.8%)

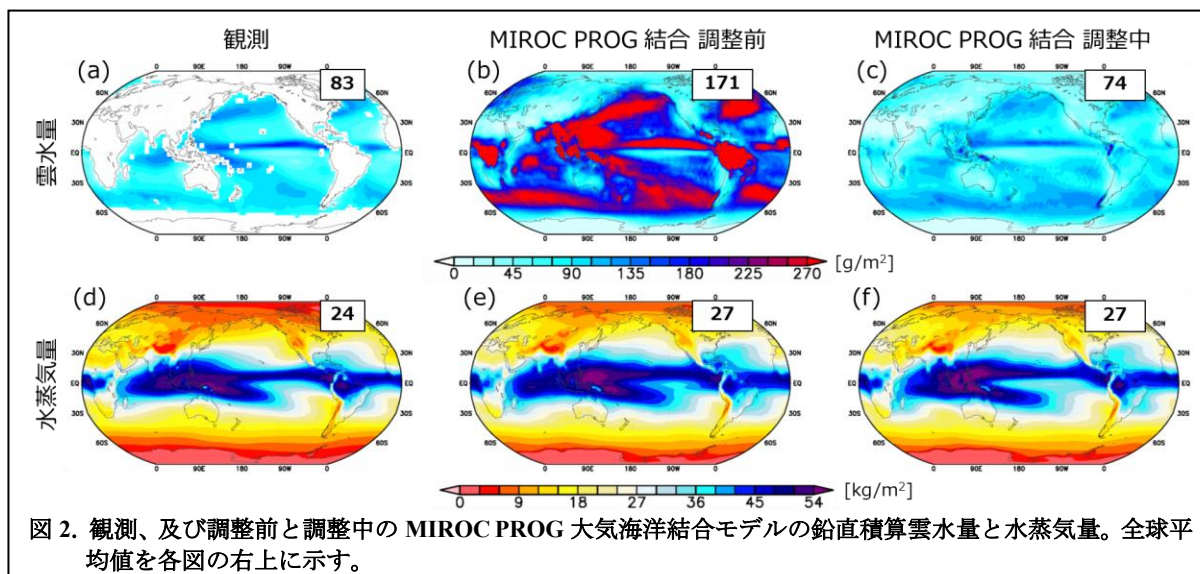


図 2. 観測、及び調整前と調整中の MIROC PROG 大気海洋結合モデルの鉛直積算雲水量と水蒸気量。全球平均値を各図の右上に示す。