

研究課題名：大気海洋結合化学気候モデルを用いたオゾン層変化とその気候変化への影響に関する研究

課題代表者：国立環境研究所地球システム領域 山下陽介
 共同研究者：国立環境研究所地球システム領域 秋吉英治・池田恒平・高橋正明

実施年度：令和2年度～令和4年度

1. 研究目的

海洋を結合した MIROC 化学気候モデルを整備・高度化し、それを用いた数値実験を行うことにより、オゾンなどの大気微量成分濃度変動と、成層圏・対流圏・地表の気候変動との関係を明らかにする。それによって、今後地球温暖化が進む中でのフロン・ハロン対策に資することを目的とする。過去の課題では、MIROC5 モデルの大気部分に化学過程を導入して化学気候モデルを開発し、その後海洋部分との結合を行って海洋結合型の化学気候モデルの開発を行った。本課題では、この海洋結合型化学気候モデル開発を引き続き行うとともに、オゾン層変動と気候変動の関連を解析する。

2. 研究計画

- ① MIROC5 化学気候モデルを使った Chemistry Climate Mode Initiative (CCMI) の推奨実験（オゾン層と気候の過去再現実験および将来予測実験）を行う。海洋はオフラインとしたものと海洋結合したものでオゾン全量等を比較する。
- ② MIROC3.2 化学気候モデルと MIROC5 化学気候モデル（どちらも海洋はオフライン設定）を用いて、将来予想される GHG（温室効果ガス）濃度と ODS（オゾン破壊物質）濃度にペアで設定した 500 アンサンブルメンバー実験を行い、オゾン層変化（特に大気の年々変動の影響を受けた極域の極端なオゾン量変化）と気候変化との関係を明らかにする。
- ③ MIROC3.2 化学気候モデルを用いて、大アンサンブル実験（1000 アンサンブルメンバー実験）を行い、海表面温度 (SST) の南半球成層圏力学場への影響を解析する。

3. 進捗状況

① 昨年度は、海洋をオフライン設定としている MIROC3.2 モデルを使って、CCMI で推奨されたオゾン層と気候の過去再現実験および将来予測実験を行った。今年度は海洋をオフライン設定としている MIROC5 化学気候モデルで同様の長期実験を進めた。SX-Aurora への更新時、事前のベンチマークテストで

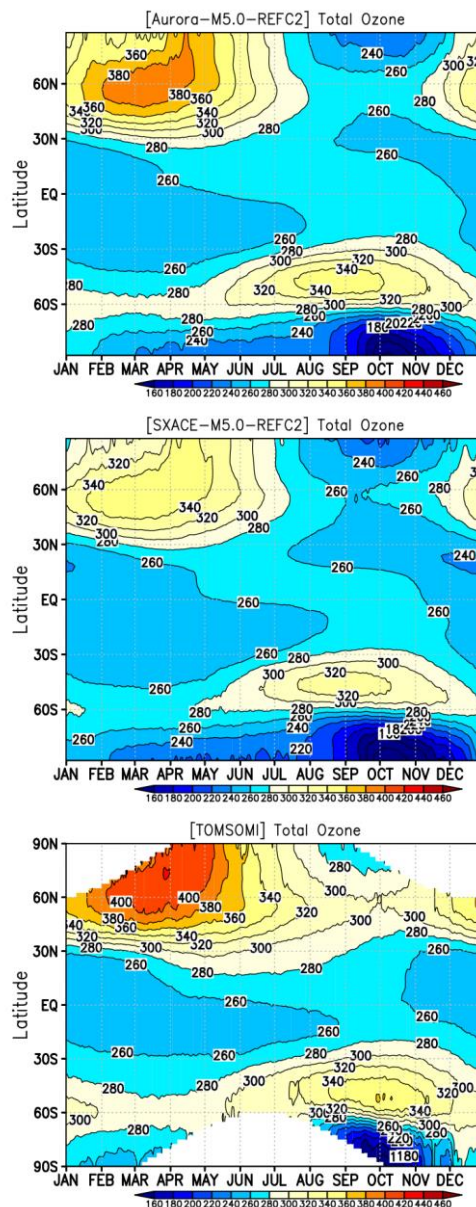


図1. (上) 海洋オフライン設定とした MIROC5.0 化学気候モデルを SX-Aurora で動かした際の日平均オゾン全量の時間-緯度断面図 (1995～2005年)。CCMI 推奨の将来予測 (REF-C2) 実験の結果。比較のため (中) SX-ACE で行った結果と (下) TOMS/OMI 衛星観測を示す。

は、MIROC5 化学気候モデルの1年分の実験が正常に走り結果も問題なかったが、後に長期実験を行うと、開始数年後にオゾン量が異常に減るという不測の事態

が生じた。モデルのタイムステップを短くするという対策を行ったところ、正常に走るようになった。図 1 は将来予測実験のオゾン全量を 1995~2005 年で平均した時間-緯度断面図を表す。SX-Aurora で行った結果は以前に SX-ACE で行った結果と概ね一致しており、衛星観測で見られる南極オゾンホールも再現されている。このモデルでは、海水面温度分布・海氷分布を外から与えたが、MIROC5 化学気候モデルで海洋結合して同様の実験を早急に行う予定である。

② 図 2 はオゾン層破壊物質 (ODS) 濃度を 1995 年レベル、温室効果ガス (GHG) 濃度を 2000 年レベルに設定した 500 アンサンブルメンバー実験に対して、(上) ODS-1960&GHG-2000、(中) ODS-1995&GHG-2095、(下) ODS-1960&GHG-2095 に設定した実験の 3 月の経度平均気温を比較したものである。将来の ODS 濃度減少に相当する 1995 年から 1960 年レベルへの変化により、北極域下部・中部成層圏の気温が上昇する。将来の GHG 濃度が 2000 年から 2095 年レベルに増加すると、北極域上部・中部成層圏気温が下降する。ODS 濃度・GHG 濃度ともに変化させると、北極域気温の変化は両者の足し合わせに近くなる。(Akiyoshi et al., 投稿準備中)

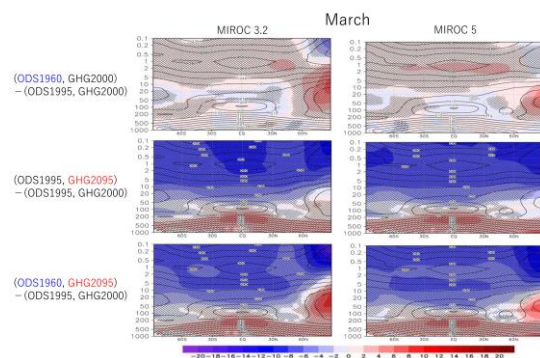


図 2. ODS 濃度、GHG 濃度を固定して行った実験同士で北極域オゾンが低い 50 メンバーを取り出した場合の 3 月の帯状平均気温偏差の比較。ODS-1995&GHG-2000 に対して、(上) ODS-1960&GHG-2000、(中) ODS-1995&GHG-2095、(下) ODS-1960&GHG-2095 を比較したもの。(左) MIROC3.2 化学気候モデルと (右) MIROC5.0 化学気候モデルの結果。

③ 海表面温度の南半球成層圏力学場への影響を調べるため、南半球では異例となる成層圏突然昇温 (SSW) が発生した 2002 年、2019 年の SST を与えた大アンサンブル実験 (1000 アンサンブルメンバー実験) を行った。図 3 は 60S、10hPa の東西風を指標とした南極渦の強度を箱ひげ図にしたもので、SSW が発生していた 8

~9 月頃や、最終昇温が早期化していた 10~12 月頃ともに、2002 年、2019 年条件の実験で極渦強度の弱化や成層圏への波伝播の促進が見られていた。また、2002 年実験では 8 月の東西波数 2 成分が、2019 年実験では 8~11 月にかけての波数 1 成分の強化が顕著で、2002 年の SSW が波数 2 型であり、2019 年の SSW が波数 1 型であったことと整合的であった。極渦の弱化と整合的に、南極域オゾン全量が増加する特徴が見られていた。これらの結果は、2002 年、2019 年の SST 分布が成層圏への波伝播を促進して成層圏の極渦を弱め、南極域オゾン全量にも影響したことを示唆している。

(Yamashita et al., 投稿準備中)

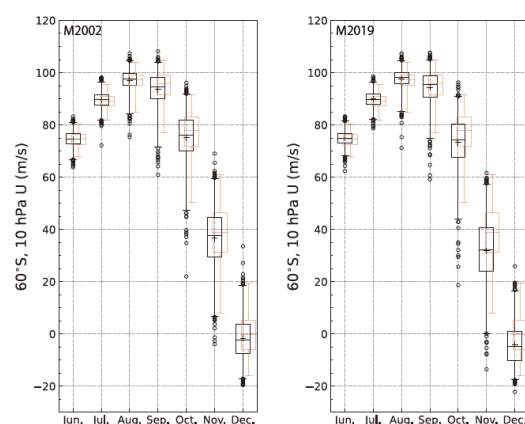


図 3. MIROC3.2 化学気候モデルによる 1000 アンサンブル実験から計算された南極渦強度の箱ひげ図。(左) 2002 年、(右) 2019 年の SST を与えた実験。赤色の箱ひげは、比較のため気候値の SST を与えた実験結果を表す。ひげの範囲は 1~99%、外れ値は丸、box は 25~75%、中央値は横線、平均値は+で表示。

4. 今後の計画

今年度行った海洋オフラインの MIROC5 化学気候モデルによる過去再現実験および将来予測実験に加えて、海洋結合した MIROC5 化学気候モデルを用いた同様の実験を新たに行い、海水面変化の影響を介したオゾン層変化と気候変化との関係を明らかにする。

5. 計算機資源の利用状況 (2021 年 11 月 1 日~2022 年 10 月 31 日)

実行ユーザ数: 4

VE 時間積 v_debug: 0.00 hours, v_normal: 72,160.69 hours, 計: 72,160.69 hours (全体の VE 時間積に対する占有率: 5.7%)