

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 秋吉英治
 共同研究者：国立環境研究所地球システム領域 池田恒平・山下陽介・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 MIROC3.2 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。
- ② 気象場をナッジングした MIROC3.2 化学気候モデルによる太陽 11 年周期変動と赤道大気準二年振動 (QBO) の北極オゾン量に与える影響に関するシミュレーション結果の解析を行う。
- ③ 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）を用いた将来の HFC 増加のオゾン層への影響に関する 100 アンサンブルメンバー実験の結果の解析を行う。

3. 進捗状況

① 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 (REF-D1) および将来予測実験 (REF-D2) を行った。図は過去再現実験の 45-90S の領域における 9 月～11 月の期間のオゾン全量最低値の 1960 年から 2018 年までの推移を示す。3 つのアンサンブルとも 1995 年～2005 年あたりで最小を示し、その後少し増加している点は観測と似ている。このモデルでは、海水面温度分布・海氷分布を外から与えるが、今後、海洋結合した化学気候モデル (MIROC5 化学気候モデル) によって、同様な実験を行う予定である。

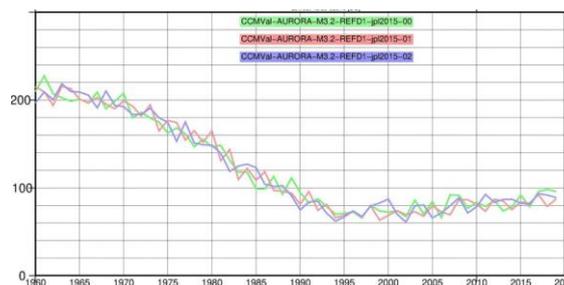


図 1. MIROC3.2 化学気候モデルで計算された南極域オゾン全量最低値の経年変化 (1960 年～2018 年)。CCMI 推奨の REF-D1 実験の結果。45-90S、9 月～11 月のオゾン全量最低値。3 つのアンサンブルメンバーの結果を示す。

- ② 太陽 11 年周期変動 (最大期/最小期) と QBO (10N-10S, 50hPa で東風/西風) の位相によって 1979 年～2011 年までの年を 4 つのグループに分けて等価緯度 70-90N の 3 月のオゾン全量を比較したところ、太陽活動が最小で QBO が西風のときに、北極のオゾン全量がいちばん少ない傾向を示すことがわかった。この結果は、この位相のときに成層圏突然昇温が起こる頻度が最も少ないことと関係していると考えられる。(Yamashita et al., 2021, Atmosphere)

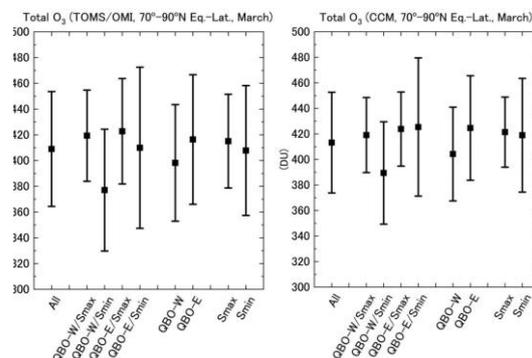


図 2. 太陽活動および QBO の位相による北極域 3 月のオゾン全量値の比較。(左) TOMS オゾン全量データ、(右) 気温と水平風速を ERA-Interim データにナッジングした MIROC3.2 化学気候モデルの結果。

③ HFC は代替フロンとして今後の濃度増加が予想される。HFC が規制なしに今後増加した場合のオゾン層への影響を MIROC3.2 と MIROC5 の 2 つの化学気候モデルを用いて調べた。オゾン層破壊物質 (ODS) 濃度を 2095 年レベル、温室効果ガス (GHG) 濃度を RCP2.6 シナリオの 2095 年レベル、海水面温度を 2090 年～2099 年の 10 年平均値に設定した 100 アンサンブル実験を行った。その結果、オゾン全量への影響は最大 1% 程度となり、影響は小さいことがわかった。特に中低緯度域のオゾン全量の変化が小さいのは、高度によってオゾン濃度が増加するところと減少するところが混在するためであり、また、これらのオゾン変化は HFC の増加による大気加熱の結果として起こる鉛直流変化と化学反応による変化として説明できることがわかった。また、高緯度域 (特に北極域) のオゾン変化について 2 つのモデルの間で一貫性が見られないのは、冬季の大きな波動活動下での HFC の影響がモデルによって大きく異なるためであることがわかった。この 2 つの 3 次元モデルの高緯度域の結果は、先行の 2 次元モデルによる結果 (Hurwitz et al., 2015, GRL) とも異なっている (Dupuy et al., 2021, JGR)。

② オゾン全量の ODS・GHG 濃度依存性と気象場との関連を明らかにするために行った多アンサンブル実験結果の解析を進め、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。

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: 4

VE 時間積 v_debug: 13.35 hours, v_normal: 74,381.18 hours, 計: 74,394.53 hours, (全体の VE 時間積に対する占有率: 5.2%)

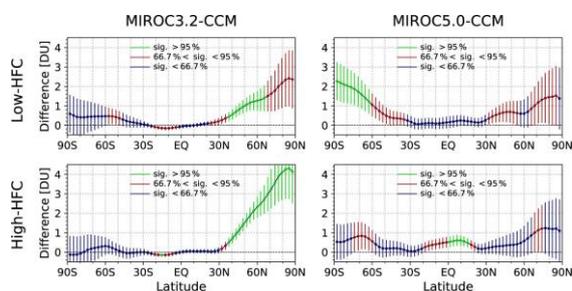


図 3. MIROC3.2 および MIROC5 化学気候モデルで計算された 100 アンサンブル平均の南極域オゾン全量値の HFC 増加による変化 (2095 年大気を想定)。HFC の増加がシナリオの下限の場合 (上) と、上限の場合 (下) について示す。t-検定による信頼性の値によって緯度毎に色分けされている。また、100 アンサンブルメンバーによる値の標準誤差が縦棒で示される。

4. 今後の計画

① 今年度行った海洋オフラインの MIROC3.2 化学気候モデルによる CCM1 推奨のオゾン層と気候の過去再現実験 (REF-D1) および ODS と複数の GHG シナリオを用いた将来予測実験 (REF-D2) に加えて、海洋結合した MIROC5 化学気候モデルを用いた同様な実験を新たに行って、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。