

研究課題名：化学気候モデルを用いた全大気を包括する物質循環と気候影響に関する研究

課題代表者：国立環境研究所地球システム領域
共同研究者：国立環境研究所地球システム領域

山下陽介
秋吉英治・池田恒平

実施年度：令和5年度～令和7年度

1. 研究目的

海洋過程を結合した化学気候モデルに対流圏～熱圏までの大気微量成分の入力が可能なモデルを整備・高度化する。それによって、大気微量成分濃度変動、および、成層圏から対流圏への輸送と大気微量成分による地表の気候影響を明らかにし、将来予測の不確実性を減らすことにつなげることを目的とする。前研究課題では、海洋を結合した MIROC 気候モデルを整備・高度化し、それらを用いた数値実験を行った。本課題では、この海洋結合型化学気候モデルを引き続き整備・高解像度化するとともに、NICAM へもオゾン化学過程を導入し、これらのモデルを用いて物質輸送と気候変動への影響の解析を行う。

2. 研究計画

- ① 海洋結合ありなし両方の MIROC 化学気候モデルを用いた Chemistry Climate Mode Initiative (CCMI) - Phase2 推奨実験の解析を行い、前課題で行った MIROC 化学気候モデルで T42 の低解像度を用いた同様の実験結果と比較する。
- ② 成層圏と対流圏の間の物質輸送と気候変動への影響の解析を行う。
- ③ 水平低解像度 T42 の MIROC5、MIROC6 化学気候モデルを T85 に高解像度化する。

3. 進捗状況

① 前研究課題では、海洋を結合した水平解像度 T42 の MIROC 気候モデルを整備・高度化した。今年度は海洋をオンライン設定としている T42 の MIROC5 モデルを使って、CCMI で推奨されたオゾン層と気候の将来予測実験 (REF-D2) を行った。オゾン破壊物質の地表濃度は WMO2018 シナリオで与えた。温室効果ガス濃度は、SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP3-7.0 シナリオの3種類の実験を行った。比較のため海洋をオフライン設定とした同様の実験も行った。

図1は将来予測実験のオゾン全量最低値の時系列を表す。海洋オンラインで行った結果は、オフラインで行った結果と比べ、オゾン回復時期が遅くなるものの、

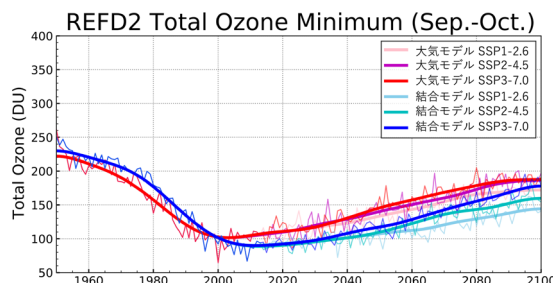


図1. MIROC5.0 化学気候モデルを海洋オフラインとオンライン設定で動かした際の日平均オゾン全量最低値 (南極域 9～10 月)。CCMI 推奨の将来予測 (REF-D2) 実験の結果。凡例は上から海洋オフラインで行った SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP3-7.0 シナリオ実験、海洋オンラインで行った同様の実験。細線は毎年の値で太線は平滑化したもの。

温室効果ガス濃度の増大に応じて今世紀末までの回復が大きくなる特徴は似ている。

② 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 (sudden stratospheric warming : 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2は 60°S、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、2002 年、2019 年 (赤) とともに、気候値的な海面水温を与えた実験 (黒) よりも対流圏から成層圏への波伝播が活発になるため、南極渦強度の低下に対応する箱やひげの下方シフトが見られる。また、南極域のオゾン全量を調べると、南極渦強度の低下と整合的に増加していた。なお、分布の 25%を示す箱の下端は下方にずれ、分布の 1%を示すひげの下端は下方に大きく拡がり、さらに、1%から外れたアンサンブルメンバー (○) も下方に大きく拡がっている。このように、大アンサンブル実験を行うことで、2002 年、2019 年の海面水温によって成層圏の南極渦やオゾン層に、稀ではあるが大きな変動が起こり得ることを示すことができた (Yamashita et al., 2023)。

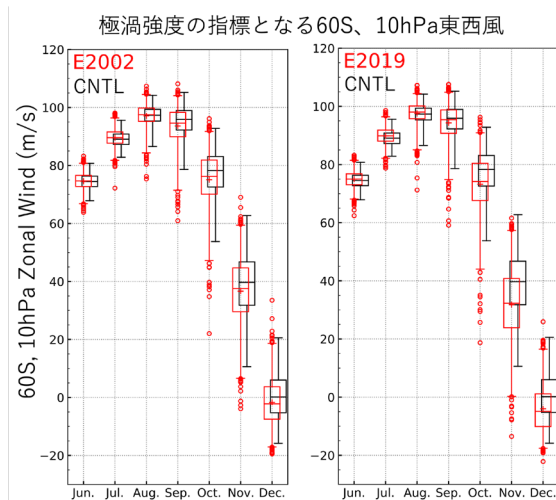


図 2. MIROC3.2 化学気候モデルによる 1000 アンサンブル実験から計算された南極渦強度の箱ひげ図。(左) 2002 年、(右) 2019 年の SST を与えた実験。赤色の箱ひげは、比較のため気候値の SST を与えた実験結果を表す。平均値は+、中央値は横線、箱は 25~75%、ひげの範囲は 1~99%、外れ値は丸で表示。Yamashita et al. (2023) の Fig. 3 を再掲 (改)

太陽プロトンイベントに伴う高エネルギー粒子の流入による大気応答を調べるため、1859 年の巨大フレア、キャリントンイベント級の NO_x を MIROC3.2 化学気候モデルに入力した実験を行なった。これまでの予備的なシミュレーションでは、アンサンブル平均を行なった場合、粒子降下の影響が 20 hPa 以下の成層圏で識別しにくくなっているが、100 アンサンブルの個々の結果を見ていくと、対流圏まで影響が伝わっているケースが数例あることがわかった (図 3)。今後、こうした特異なケースがどのような気象場、粒子降下のもとで見られるかを詳細に調べる。

③ 水平低解像度 T42 の MIROC5、MIROC6 化学気候モデルの T85 への高解像度化であるが、現在、高解像度に変更したモデルの調整に時間がかかっており、本格的なシミュレーションは来年度になる見込みである。

4. 今後の計画

今年度行った水平解像度 T42 の MIROC5 化学気候モデルによる海洋結合ありなし実験に加えて、水平解像度 T85 の同様な実験を新たに行い、解像度を上げたモデルで物質輸送と気候変動への影響の解析を行う。また、太陽プロトンイベント実験の詳細な解析結果からオゾン層や気候への影響を明らかにする。

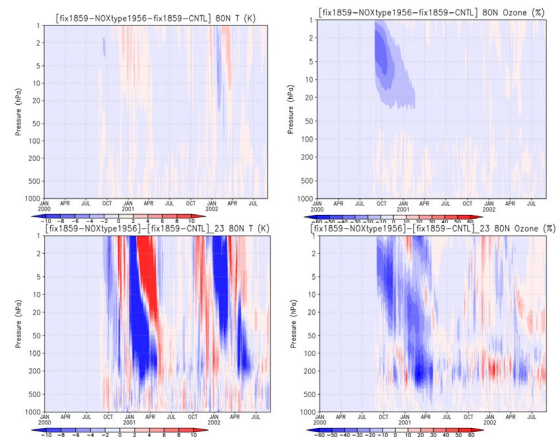


図 3. MIROC3.2 化学気候モデルによる 1859 年の巨大フレア、キャリントンイベント級の影響シミュレーション。(上) 100 アンサンブルの平均と (下) その中の一つのアンサンブルメンバ#23 の結果。(左) 気温と (右) オゾン混合比の実験間の差。約 2 年分の高度—時間変化を示す。

5. 計算機資源の利用状況 (2023 年 4 月 1 日 ~ 2023 年 10 月 31 日)

VE 時間積 v_debug: 119.2 hours, v_normal: 844,175.2 hours, 計: 844,294.4 hours, (全体の VE 時間積に対する占有率: 11.5%)