

## 研究課題名：MIROC5 モデルをベースにした海洋結合化学気候モデルの開発

課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター 秋吉英治  
共同研究者：国立環境研究所地球環境研究センター 池田恒平  
国立環境研究所地域環境研究センター 菅田誠治  
海洋研究開発機構 山下陽介

実施年度：平成 28 年度～平成 30 年度

### 1. 研究目的

IPCC-AR5 で使われた MIROC5 モデルに化学過程を導入して、海洋結合型の MIROC5 化学気候モデルを開発する。過去の課題では、MIROC3.2 モデルに化学過程を導入して MIROC3.2 化学気候モデルの開発を行った。MIROC3.2 化学気候モデルは国際プロジェクト Chemistry Climate Model Initiative (CCMI) 推奨のシナリオ実験およびその感度実験に使われたが、海洋が結合されていないモデルであった。そのため、微量成分濃度変化と地表近くの対流圏下層の気候との関係や、微量成分濃度変化を介した大気-海洋相互作用を再現できない。オゾン層変動と気候との相互作用や微量成分濃度が介する気候システムをより明確に理解し、温暖化を考慮したオゾン層対策に役立てるため、海洋結合型の化学気候モデルの開発を行う。

### 2. 研究計画

今年度は、海洋を結合した MIROC5 化学気候モデルを開発し、オゾン層破壊物質 (ODS) 濃度と温室効果ガス (GHG) 濃度の将来シナリオに従ったオゾン層の将来予測実験を行う。また、MIROC3.2 化学気候モデルによる 500 アンサンブル実験を前年度に引き続き行い、結果を解析し、オゾン量と ODS 濃度および GHG 濃度との関係を明らかにする。

### 3. 進捗状況

#### 3.1 MIROC5 海洋結合化学気候モデルの開発

本課題で開発を行った MIROC5 化学気候モデルの海洋オフライン版を基に、コード変更を行って海洋結合モデルの開発を行っている。コード変更終了後、試験的に 1 年ランを行い問題無く走ったので、この海洋結合化学気候モデルの長期ランを行ってみた。地表面の ODS 濃度は WMO-A1 シナリオ、GHG 濃度は RCP6.0 シナリオに沿って時間と共に変化させ、1950 年から 2100 年までの連続計算を行った。

結果は、2000 年を過ぎた頃からオゾン全量が異常に減少した。そこで成層圏の反応性塩素 (Cly) 濃度および反応性臭素 (Bry) 濃度を調べたところ、Cly や Bry

の濃度が 2000 年を過ぎた頃から異常に増加していた。このシナリオ計算はうまくいかなかったが、この海洋結合化学気候モデルのオゾン全量と成層圏の Cly や Bry の濃度との関係は妥当なものであり (モデル内で Cly 濃度・Bry 濃度が異常に高くなっている年ではオゾン全量が異常に少なく、Cly 濃度・Bry 濃度が正常に戻った年ではオゾン全量も正常に戻る)、おそらく、設定したハロゲンの地表面濃度が正しく入力されていない可能性がある。海洋結合モデルへのコード変換時に生じたバグが原因ではないかと思われ、それを見つけて除去すれば計算はうまくいくと考えている。

#### 3.2 MIROC3.2 化学気候モデルによる 500 アンサンブル実験-極域オゾン全量の ODS・GHG 濃度依存性

オゾン量の GHG 濃度依存性は緯度・高度により複雑な様相を示す。ODS 濃度がピークを過ぎた 2011 年の春季に突然北極で起こった大規模なオゾン破壊はこの年の安定な北極渦によるものだが、北極大気の大きな年々変動がある中で、ある年の大規模なオゾン破壊を生じるような気象がどのような理由でもたらされたのかを説明することは容易ではない。そこで、MIROC3.2 化学気候モデルを用いて、ODS 濃度と GHG 濃度の複数の組み合わせを設定した 500 アンサンブルメンバー実験とその解析を行い (510 年の連続実験を行って、11 年目から 510 年目の 500 年について解析を行う)、北極域・南極域について、オゾン全量のアンサンブル平均の ODS 濃度・GHG 濃度依存性および個々のアンサンブルメンバーのオゾン全量が 220DU 以下を示す領域面積の ODS 濃度・GHG 濃度依存性についての解析を行った。

実験には、MIROC3.2 化学気候モデル (海洋オフライン型で海水面温度・海表面密度はデータとして与える) を用い、表に示した 23 の ODS 濃度と GHG 濃度の組み合わせについて計算を行った。

表. 500 アンサンブル実験で設定した ODS 濃度と GHG 濃度

実験番号	ODS濃度レベル	GHG濃度レベル
1	2000年	2000年
2	2000年	2030年
3	2000年	2040年
4	2000年	2050年
5	2000年	2095年
6	1990年	2000年
7	1990年	2030年
8	1990年	2040年
9	1990年	2050年
10	1990年	2095年
11	1985年	2000年
12	1985年	2030年
13	1985年	2040年
14	1985年	2050年
15	1985年	2095年
16	1980年	2000年
17	1980年	2030年
18	1980年	2040年
19	1980年	2050年
20	1980年	2095年
21	1960年	2000年
22	1960年	2030年
23	1960年	2050年

表中、GHG濃度の2006年以降の“〇〇年レベル”はRCP6.0シナリオ上での〇〇年に対応する濃度を表す。

500 アンサンブル平均のオゾン全量の ODS 濃度・GHG 濃度依存性は、北極域 (45-90°N) では、ODS 濃度の増加とともに減少、GHG 濃度の増加と共に増加という結果を示した。一方、南極域 (45-90°S) でもオゾン全量は ODS 濃度の増加とともに減少するが、GHG 濃度依存性はほとんど見られない。GHG 濃度の増加によって成層圏の気温が下がること、子午面循環が強化されること、南北両半球のオゾン輸送や極渦の特性に関する差異によって、上記の結果がもたらされたと考える。次に、個々のアンサンブルメンバーのオゾン全量が 220DU 以下を示すような極端なオゾン破壊を起こし

た領域面積の ODS 濃度・GHG 濃度依存性について解析を行い、アンサンブル平均的な振る舞いとの違いを調べた。その結果、北極域では ODS 濃度が高い状態で GHG 濃度が増加するとアンサンブル平均的にはオゾン全量が増加するが、極端なオゾン破壊を起こすアンサンブルメンバーはなくなることがわかった。このことは、2011 年に北極域で起こったようなオゾン破壊は、ODS 濃度がある程度下がらない限り今後も突然起こる可能性があることを示している。南極では、個々のアンサンブルメンバー間のばらつきが小さく、それらはアンサンブル平均的な振る舞いとほぼ同様な傾向を示した。

#### 4. 今後の計画

海洋結合 MIROC5 化学気候モデルの開発を進め、CCMI 推奨の ODS や GHG の地表面濃度シナリオを使った将来予測実験を行い、海洋オフライン型モデルの結果との比較を行って、微量成分の濃度変化が海洋を介して気候と相互作用するプロセスを考察する。また、MIROC3.2 化学気候モデルを使った 500 アンサンブル実験に関しては、ODS 濃度が高い状態で GHG 濃度が増加しても北極域で極端なオゾン破壊がなくなる物理的・化学的メカニズムや、南極域の結果との差異について、解析をさらに進める。

#### 5. 昨年度終了研究課題名

MIROC5 モデルをベースにした海洋結合化学気候モデルの開発

#### 6. 計算機資源の利用状況 (2017 年 10 月 1 日～2018 年 11 月 30 日)

実行ユーザ数: 4

CPU 時間 v\_deb: 0.00 hours, v\_32cpu: 1,984,993.03 hours, v\_96cpu: 148,061.32 hours, v\_160cpu: 0.00 hours, 計: 2,133,054.35 hours