研究課題名：MIROC モデルをベースにした化学気候モデルの開発とオゾン層の将来予測

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　門脇正尚
国立環境研究所地域環境研究センター　菅田誠治
東京大学大気海洋研究所　高橋正明
JSPS 海外特別研究員（レディング大学）　山下陽介
国立極地研究所 GRENE 事業（北海道大学大学院地球環境科学研究院）中村 哲

実施年度：平成 25 年度～平成 27 年度

1. 研究目的

大気中のオゾン濃度は化学と輸送の両方の影響を受けるため、過去のオゾン層変動の再現および将来のオゾン層変動予測の精度を上げるためには、オゾンに係わる化学反応計算の精度を上げるのみならず、気温やオゾンの輸送等、気候に関連する部分の精度を上げることも必要である。そのため、気候変動に関してより信頼性の高いモデルをベースに化学気候モデルの開発を行う。前回までの課題で開発を行ってきた MIROC3.2 化学気候モデルを使って、UNEP/WMO オゾンアセスメントレポート 2014 に向けたオゾン層将来予測実験およびオゾン破壊物質（ODS：フロン、ハロン等）と温室効果ガス（GHG）に関する感度実験を行う。また、IPCC-AR5 の温暖化の将来予測実験で使われた MIROC5 モデルをベースにした化学気候モデルの開発を行う。さらに、これらのモデルを使った数値実験結果を解析し、オゾン層変動と気候変動との関係を明らかにする。

2. 研究計画

今年度は MIROC3.2 化学気候モデルを使って、UNEP/WMO オゾンアセスメントレポート 2014 に向けたオゾン層将来予測実験、およびその ODS 濃度シナリオや GHG 濃度シナリオに対する感度実験を行う。ODS と GHG の影響を切り分けるため、これら両方の濃度の将来シナリオを取り入れた実験（コントロール実験）の他に、GHG 濃度、海水面温度（SST）、海水密度の変化のみ（ODS 濃度は 1960 年値に固定）の実験、ODS の変化のみ（GHG 濃度、SST、海水密度は 1960 年値に固定）を行う。また、GHG 濃度シナリオの違いのオゾン層や気温への影響を明らかにするため、コントロール実験で使用する RCP6.0 シナリオに加えて、RCP4.5, 6.0, 8.5 シナリオによる実験を行う。

3. 進捗状況

予定どおり、MIROC3.2 化学気候モデルによるオゾン層将来予測実験を開始した。図にその途中経過を示す。図 1 (a)には南緯 40 度以南、9 月 7 日～12 月 31 日の期間を対象にしたオゾン全量年最低値の経年プロットを示す。ODS と GHG の両方がシナリオに従って変化する赤線の予測結果は、TOMS の観測データに比べると、オゾンが減少し始める時期が若干早いが、オゾンホールの回復の兆しがはっきりとはわからない現況を再現している。ODS を 1960 年値に固定した場合、オゾン破壊は進まない（緑線）。また、GHG 濃度、SST、海氷密度を 1960 年値に固定して温暖化が進まないようにした実験結果（青線）は、赤線と比べて目立った違いは見られない。

図 1（b）には、この 3 つの実験の 5hPa（高度 37km 付近）の全球平均年平均の気温の時系列を示す。GHG 濃度、SST、海氷密度を固定した青線で示される時系列は、ODS 濃度変化とそれに伴うオゾン濃度のみが反映されている。ODS 濃度の増加に伴い、1990 年代後半から 2010 年にかけて気温がわずかに極小になってい

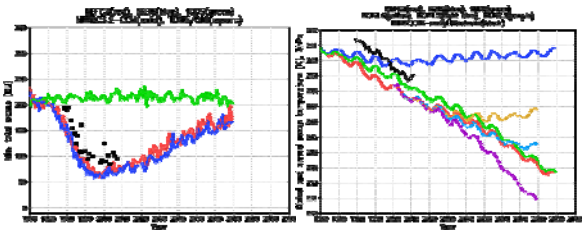

図 1　(左) MIROC3.2 化学気候モデルで計算されたオゾン全量年最低値の経年変化。南緯 40 度以南、9 月 7 日～12 月 31 日の期間を対象としている。■印は TOMS によるオゾン全量の観測値、赤実線は ODS と GHG 濃度の両方の濃度変化を取り入れた実験結果、青実線は ODS の変化のみを取り入れた実験結果、緑実線は GHG の変化のみを取り入れた実験結果。単位はドブソンユニット[DU]。**(右) MIROC3.2 化学気候モデルで計算された 5hPa(～37km)の全球平均年平均気温の経年変化。**黒実線が ERA-Interim の観測値、青実線と緑実線は化学気候モデルによる計算値で(a)と同じ。黄鎖線は GHG の RCP2.6 シナリオによる計算結果、水色鎖線は RCP4.5、紫鎖線は RCP8.5 による結果。なお、コントロールランである赤実線は RCP6.0 のシナリオを使って計算した結果である。単位は[K]。

ることがわかる。2050 年以降は大気中のハロゲンガス濃度の減少によりその影響は小さくなるため、赤線は、ハロゲンガスの増減の影響のない緑線に近づくことがわかる。また、GHG 排出量の多いシナリオほど気温が低下していることがわかる。

本課題では、このような化学気候モデルを使ったシミュレーションのほか、化学気候モデルに ERA-Interim の気象再解析データの気温と水平風速データをナッジングという手法で同化した化学輸送モデルによる研究も平行して行っている。北極域の突然昇温時の下部成層圏のオゾン濃度収支の解析や 2010 年 1 月 15 日の日食に伴うオゾン濃度変動の研究を行っている。

4.　今後の計画

図に示した将来予測実験結果には、火山爆発によって増加する成層圏エアロゾルの放射影響と化学影響は入れられていない。また、SST や海氷密度については、MIROC3.2 大気－海洋結合モデルの温暖化実験の結果を使用している。今後、年末にかけて行う予定の過去再現実験では、火山性エアロゾルの影響も取り入れ、SST や海氷密度の過去の観測データ（HadISST）を使った計算を行う。さらに、MIROC5 をベースにした化学気候モデルの開発を行って、化学スキームはほぼ同一、気候特性が異なる化学気候モデルによるオゾン層変動の計算結果の比較を行う予定である。

5.　計算機資源の利用状況（2013 年 6 月～11 月）

実行ユーザ数: 6　CPU 時間 v_deb: 3.358 hours, v_cpu: 0 hours, v_8cpu: 85.35 hours, v_16cpu: 99,246.50 hours, 計: 99,335.203 hours

6.　昨年度終了研究課題のまとめ

6.1. 昨年度終了研究課題名

成層圏オゾン層の長期変動とその成層圏－対流圏気候への影響に関する研究

6.2. 昨年度終了研究課題の目的

化学気候モデルを用いたオゾン層の長期変動の計算を行い、ハロゲンガス濃度の影響、温暖化ガス濃度の影響、成層圏気象場への影響、および対流圏への影響を明らかにする。

6.3. 昨年度終了研究課題の成果概要

旧化学気候モデル（CCSR/NIES 化学気候モデル）を使ったオゾン層将来予測実験結果について対流圏への影響に着目した解析と、MIROC3.2 化学気候モデルの開発を中心に行った。図 2 は、2003 年の ODS, GHG 濃度を使って計算した年平均全球平均の気温の高度分布である。旧化学気候モデルでは、下部成層圏の気温が観測値に比べて低く、逆に成層圏では高いという不具合があった。緯度的に見ると、特に熱帯上部対流圏で 6～8 度ほど気温が低く、そのため成層圏の水蒸気が実際の量よりも少なくなり、オゾン量が過大になって（図 3）、成層圏気温が実際よりも少し高くなったと考えられる。また、南極のオゾンホールの発達が不十分であった。MIROC3.2 化学気候モデルでは、そのような不具合はほぼ解消された。

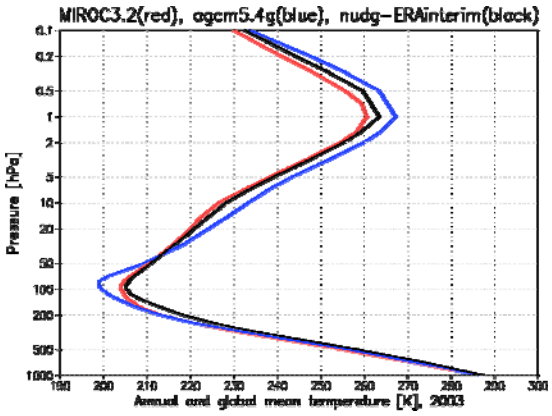

図 2　化学気候モデルで計算された 2003 年年平均全球平均気温の鉛直分布。CCSR/NIES 化学気候モデル（青線）、MIROC3.2 化学気候モデル（赤線）。観測値として ERA-Interim 再解析データを黒線で示す。単位は[K]。

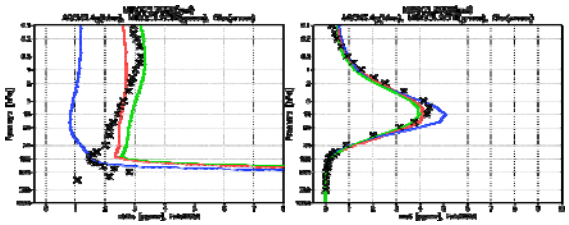

図 3　（左）化学気候モデルで計算された 2003 年 2 月平均 51N-45S 平均の水蒸気と（右）オゾンの混合比の鉛直分布。CCSR/NIES 化学気候モデル（青線）、MIROC3.2 化学気候モデル（赤線）、ERA-Interim データで気温と水平風速をナッジングした MIROC3.2 化学輸送モデル（緑線）。観測値として HALOE データを黒の×印で示す。化学気候モデルの値は HALOE データの緯度範囲（51N-45S）と同じ緯度範囲で平均している。単位は[ppmv]。

6.4. 昨年度までの計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 6　CPU 時間 1 ノード未満：169.358 hours, 1 ノード:133,406.395 hours, 2 ノード:140,141.185 hours, 計：273,716.938 hours