

対流圏オゾンライダーを用いた全球一領域化学輸送モデルの評価

庭野 将徳^a, 滝川 雅之^a, 秋元 肇^a, 高橋 正明^{a,b}, 中里 真久^c, 永井 智広^c, 酒井 哲^c, 真野 裕三^c

^a海洋研究開発機構 地球フロンティア研究センター, ^b東京大学 気候システムセンター, ^c気象庁気象研究所 観測システム研究部

1. はじめに

我が国における光化学オキシダント濃度は、1990年代から増加傾向にあり、モデルを用いた大陸からの越境大気汚染研究や光化学オキシダント予報などが急務である。特に越境汚染を考える上で、越境汚染大気と領域汚染大気の鉛直混合過程が重要となる。しかし、多くの化学輸送モデル(CTM)が領域モデルと off-line であること、モデルで再現されたオゾンの鉛直輸送を評価できる時間-鉛直分解能の高い長期間観測データが日本に存在しないことなどの問題があった。我々のグループは、非静力学モデル WRF と “on-line” 結合した WRF/Chem を用いた全球-領域化学輸送モデルを構築した (Takigawa et al. 2007)。本研究では、最近、Nakazato et al. (2007) によって開発された差分吸収型ライダー (DIAL) による対流圏オゾン観測データを用いてモデルの評価を行った。

2. モデルシステムと観測データ

本研究で用いたモデルは全球-領域化学輸送モデル (Takigawa et al. 2007) で、全球および領域 CTM からなる。全球 CTM は、CCSR/NIES/FRCGC 大循環モデルと on-line 結合した CHASER (Sudo et al. 2002)、領域 CTM は非静力学モデル WRF と on-line 結合した WRF/Chem (Grell et al. 2005) である。領域モデルの実験領域は、第 1 領域は日本と朝鮮半島を覆う領域 (84x84 格子点、水平分解能 27 km)、第 2 領域は関東域を覆う領域 (39x39 点、水平分解能 9 km) を選んだ。鉛直方向には、地表から 100 hPa まで 30 層 (高度 2 km 以下に約 10 層) である。WRF/Chem の外部境界には、気象庁 MSM 解析値を気象場に、CHASER の出力データを化学場に用いる。数値実験は、光化学オキシダントイベントの起きた 2005 年 7 月 25 日-8 月 23 日について行った。モデルの評価には、7 月 27 日-29 日と 8 月 16 日-21 日につくば (140.13°E, 36.05°N) で行われた DIAL 観測のオゾン数密度データを用いた。

3. 結果

3.1. 期間中における全体像

図 1 に、つくばにおける気温、風向、オゾンの地上観測の時系列を示す。ここでは、DIAL のオゾン観測が行われた期間に注目する。7 月 27 日-29 日には、台風 200507 号(Banyan)が日本を通過し、高気圧が太平洋を覆っていた。つくばの風向は東風-南風で、オゾン濃度は 28、29 日に 80 ppbv 近くまで上昇した。領域モデルは、気温、風向、オゾンともに良く再現していた。8 月 16-21 日には、モデルは気温・風向を良く再現したが、18-21 日にオゾン濃度を過大評価した。これは、北関東地方で夕方

ためであると考えられる。また、全期間通じてオゾン濃度増加と減少の遅れがモデルに見られた。

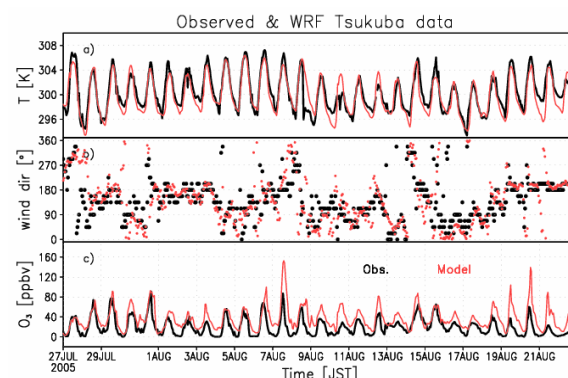


図 1. つくばにおける地上付近の気温 (a)、風向 (b)、オゾン混合比 (c)。観測 (黒)、領域モデル第 2 領域 (赤) の結果を示す。

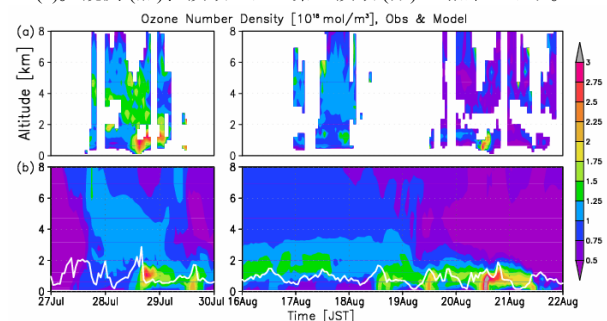


図 2. つくば上空におけるオゾン数密度 (単位 $10^{18} \text{ mol m}^{-3}$) の時間高度断面。DIAL (a) とモデル (b) の結果を示す。

次に、DIAL データを用いたモデルの評価について示す。図 2 は、つくば上空におけるオゾン数密度の時間-高度断面図である。DIAL のオゾン数密度 (図 2a) は、日本時間 7 月 28 日 12 時 (JST) から海拔高度 2 km (ASL) 以下で $3.0 \times 10^{18} \text{ mol m}^{-3}$ に達し、その汚染大気は 29 日未明の 04 時 JST まで 1 km ASL 付近で観測された。モデルでは (図 2b)、高濃度オゾンの出現が観測より 2-3 時間遅いこと、夜間の層状構造におけるオゾン濃度が若干低くなることなど観測と若干の違いが見られたが、汚染大気の出現は再現されていた。8 月 17-18 日は、2 km ASL 以下で高濃度オゾンがほとんど DIAL で観測されず、モデルでも境界層内では濃度が低いままであった。19 日は、 $\sim 1.25 \times 10^{18} \text{ mol m}^{-3}$ の層状構造が 12 時 JST から 20 日 10 時 JST 頃まで観測された。モデルは観測結果を過大評価したが、1 km ASL 付近の層状構造を再現した。20 日は、DIAL・モデルとも、12-14 時 JST に地表から 1.5 km ASL に $\sim 3.0 \times 10^{18} \text{ mol m}^{-3}$ のオゾン増加を示した。夕方以降 DIAL データではオゾン濃度は減少したが、モデルでは過大評価していた。この過大評価

は、北関東で発生した雷雨をモデルが再現できなかったためであると考えられる。

表 1 は、各高度におけるライダーとモデルの統計結果を示す。1.5 km ASL 以下では、系統誤差は、下層ほど過大評価傾向にあった (MB \sim 0.33 Emol m $^{-3}$, NMB \sim 41.4 %)。地表観測点を用いた結果と同じ傾向であることから、モデルが NO $_x$ ・オゾンの鉛直輸送量を過少評価していると推察される。また 1.5 km ASL 以上では過小評価傾向にあり (MB \sim 0.31 Emol m $^{-3}$, NMB \sim 30.9 %), モデルが外部境界からの流入を過少評価していると推測される。

表 1. DIAL オゾンデータを用いた統計のまとめ。

| 海拔高度 (km) | <i>r</i> | GE (Emolm $^{-3}$) | MB (Emolm $^{-3}$) | NGE (%) | NMB (%) |
|--------------|----------|------------------------|------------------------|------------|------------|
| 0.0-0.5 | 0.43 | 0.41 | 0.33 | 51.4 | 41.4 |
| 0.5-1.0 | 0.19 | 0.56 | 0.33 | 55.2 | 32.5 |
| 1.0-1.5 | 0.48 | 0.37 | 0.09 | 32.1 | 7.82 |
| 1.5-2.5 | 0.37 | 0.32 | -0.05 | 38.1 | -5.95 |
| 2.5-3.5 | 0.74 | 0.26 | -0.21 | 27.1 | -21.9 |
| 3.5-4.5 | 0.61 | 0.34 | -0.31 | 33.9 | -30.9 |

GE: 平均絶対値誤差, MB: 平均系統誤差, NGE: 標準化平均絶対値誤差, NMB: 標準化平均系統誤差。E mol = 1x10 18 mol。

3.2. 2005 年 7 月 28 日における例

図 3 につくば上空で高濃度オゾン空気塊の層状構造が見られた 7 月 28 日におけるオゾンの水平分布を示す。16 時 JST における地上高度 30 m (AGL) のオゾン濃度 (図 3b) は、100 ppbv 以上の高濃度オゾンが埼玉、群馬、栃木で観測された。モデルでは、栃木、群馬の高濃度オゾンは再現できなかったが、相模湾からの海風が収束する埼玉県付近での高濃度オゾンは再現されていた。1 km AGL では (図 3a)、海風の収束域から鉛直輸送された高濃度オゾンが発散し、東京湾北部の弱風域で浮遊する様子がモデル結果から見られる。20 時 JST になると、1 km (図 3c)、30 m (図 3d) AGL で南風が卓越し始めた。30 m AGL では、海洋起源の清浄大気の進入、沈着過程、NO $_x$ とオゾンとの反応などによるオゾン減少に伴い、オゾン濃度が 30 ppbv 以下に減少した。一方、1 km AGL では、16 時 JST に東京湾上空で漂っていた汚染大気の北方輸送により、関東地方東部では 100 ppbv 以上の汚染大気が漂っている様子をモデルは示していた。

オゾン濃度の増加が観測よりも遅い原因を調べるため、風速の水平分布を図 4 で調べた。オゾン濃度増加が遅れた 16 時 JST より前の 12 時 (図 4a)、14 時 JST (図 4b) には、相模湾から東京で 4.4 m s $^{-1}$ 以上の海風が観測された。しかし、モデルの海風は 2-4 m s $^{-1}$ と観測より弱く、これが汚染大気の北方輸送が遅れた原因と思われる。海風の進入が遅れる原因のひとつとして夜間気温の冷却傾向が考えられる。原因を特定するために、気象場の 4 次元データ同化などを用いて、オゾン濃度の再現性が良くなるか確かめる必要があるだろう。

参考文献

- Grell et al. (2005), *Atmos. Env.*, 39, 6957-6975.
 Nakazato et al. (2007), *Appl. Opt.*, 46, 2269-2279.
 Sudo et al. (2002), *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2001JD001113.
 Takigawa et al. (2007), *SOLA*, in press.

まとめ

本研究では、非静力学モデル WRF と “on-line” 結合した WRF/Chem を用いた全球-領域化学輸送モデルの評価を行った。2005 年 7-8 月における DIAL 対流圏オゾン観測の結果との比較から、モデルが観測結果を概ね再現していることが示された。しかし、1.5 km ASL 以下でモデルが過大評価、1.5 km ASL 以上で過少評価していることが明らかになった。また地表オゾンの増加・減少が遅れる傾向があることも判明した。モデルをより精確に評価し改良するため、より長期の観測データやデータ同化の使用が有効であろう。

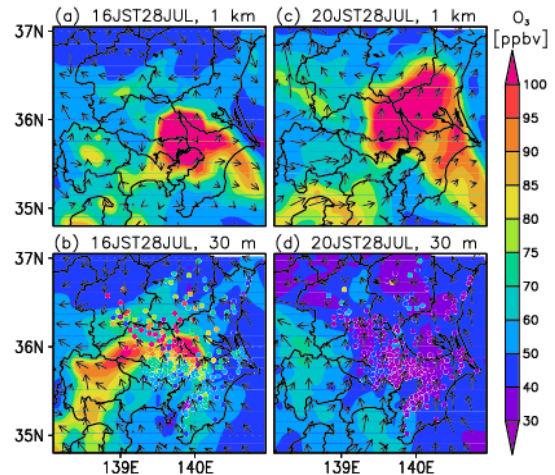


図 3. モデルの地上 1 km (a, c), 30 m (b, d)におけるオゾン混合比 (カラー)、及び風向(矢羽)。丸印の色で地上観測におけるオゾン混合比の値を示す。日本時間 16 時(a, b) と 20 時(c, d)の結果。

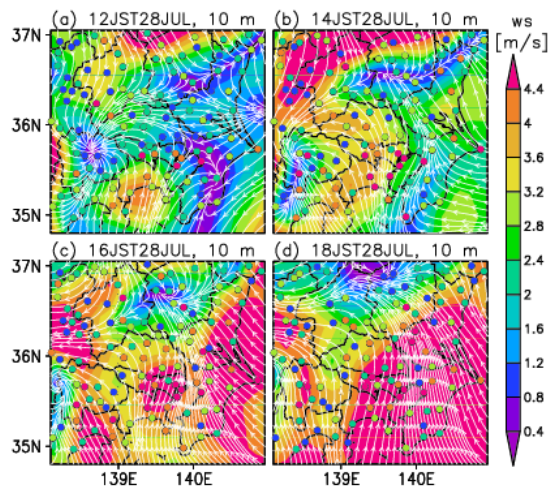


図 4. モデルの地上 10m における風速 (カラー)、及び風向 (流線)。丸印の色で地上観測における風速の値を示す。日本時間 12 時(a), 14 時(b), 16 時(c), および 18 時(d)の結果。