

NICAM-CHASER 非静力学大気モデルによる 領域スケールの大気化学モデリングの研究

2014年3月 地球環境モデリング学分野 47126645 村田諒
指導教員 教授 中島映至

キーワード：対流圏オゾン、大気化学モデル(NICAM-CHASER)、関東地方

1.はじめに

対流圏オゾンは気候・大気汚染問題だけではなく、人間の健康影響や農作物・森林などの植生への影響に至るまで幅広い影響を及ぼす。対流圏オゾンは大気寿命が短く、時空間的に不均一であるために、大気化学モデルによって数値計算した空間分布は未だ不確実性が大きい。この不確実性を軽減する一つの方法として、時空間的な偏在性のある対流圏オゾン濃度を高解像度で計算することが挙げられる。そこで、高解像度で計算可能な新しい大気化学モデルを用いて、空間不均一性の高い大都市近傍を含んだ領域規模でのオゾンおよびその前駆気体のモデルでの再現性を向上させることを本研究の目的とした。

2.手法

本研究では全球雲解像モデル(NICAM)に全球三次元大気化学輸送モデル(CHASER)を組み込んだ NICAM-CHASER モデルに改良を加え、気象場とオゾンおよびそれに関連する微量気体の空間分布と時間変動の再現性の検証を行った。NICAM は全球正 20 面体格子非静力学モデルであり、正 20 面体を細かく分割した多面体格子を用いており、本研究では、全球の格子点を特定の領域に集中させ、計算コストを抑えた高分解能実験を行うことができるストレッチ法を適用した。主な対象領域は、夏季に対流圏オゾン濃度が高くなる関東地方とし、関東地方での水平分解能を約 10km に設定した。対象期間は、観測結果が比較的豊富にある 2007 年 8 月 1 日から 8 月 20 日までとし、モデル時間分解能を 30 秒として数値実験を行った。モデル検証に用いた観測データは、環境省大気汚染物質常時観測データや、微小粒子を対象とした広域的なフィールド集中観測とモデリングのプロジェクト FAMIKA で得た観測データなどを使用し、気象庁メソ客観解析データ(MSM)やモデル比較用に領域化学輸送モデル WRF-CMAQ も使用した。そして、従来の NICAM-CHASER では、観測で得られるようなオゾンの日変動がうまく再現できていなかったが、気相反応の計算モジュールの時間分解能を修正し、光解離反応で重要な物理量である J 値の波長分解能を細かくすることで改良を行った。

3.結果および考察

改良した NICAM-CHASER を用いて検証を行った。風速および風向、それらの日内変動は概ねよく再現できていたが、臨海地域に比べて内陸地域の方が風速の過大評価や風向のずれがみられた。日射量や降水量もよく再現できていたが、日射量は関東南部の川崎で若干の過大評価傾向であった。地表面付近におけるオゾン濃度は、日中高く夜間に低くなるという日変動を良く再現できた(図 A)。オゾン濃度の 1 時間値を観測値と比較した結果、新宿、成田、土浦、多摩、さいたまの各サイトで決定係数が 0.72 以上となり、高い相関が示されたが、市原(0.67)と藤沢(0.62)では比較的相関が低

く、観測値と比べて平均的に過大評価であった。内陸地域にある小山(0.57)や前橋(0.55)では決定係数が小さかったが、この原因は内陸地域にみられる風速、風向のずれによる可能性が高い。しかし、NICAM-CHASER は、比較検証した全ての地点において WRF-CMAQ のモデル結果と遜色ないオゾンの日変動が再現できた。オゾン濃度を決める主要な化学物質である NO_x は、夜間に増加し朝方にピークを迎え昼間は減少する、オゾンとは反対の日変動を示すが、NO_x の日変動も再現できた。オゾンの光解離反応によって生成され、対流圏化学に重要な役割を果たす OH ラジカルは、WRF-CMAQ による結果と比較したところ、ほとんどの地点で 3×10^7 (molecules cm⁻³) 以下の値に収まり、概ね妥当な値であることが示された。NO_x と同様にオゾン濃度を決める重要な化学物質である CO は、一次生成物質であり、大気寿命がオゾンや NO_x よりも長いため、風の場合による移流およびエミッションインベントリの妥当性を調べるができる。観測と比較した結果、市原以外の地点で過小評価がみられ、新宿では 100-200ppbv 程度低い結果となった。このことは本研究で使用した CO のエミッションインベントリの過小評価を示唆しており、工場や道路の他に局地的なバイオマス燃焼を過小評価している可能性がある。

また、越境汚染が顕著に表れる春季の数値実験を行ったところ、大陸から到来するオゾンの流れ出る様子がうまく再現でき、夏季よりも高濃度となる春季のオゾン濃度も NICAM-CHASER で再現することができた(図 B)。

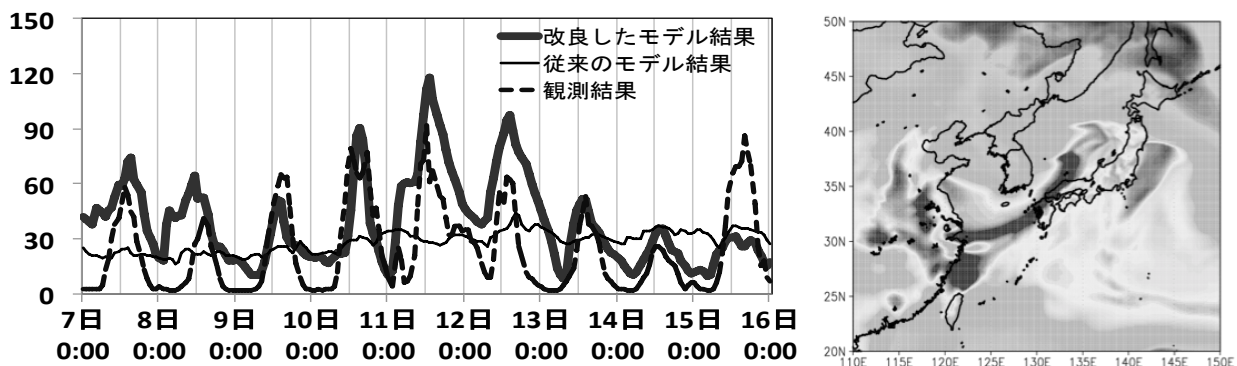


図 A : NICAM-CHASER の改良前、改良後と観測値のオゾン濃度の時系列変化(単位:ppbv)。太黒線が改良後のモデル結果、細黒線が改良前のモデル結果、点線が観測値を表す。

図 B : NICAM-CHASER による関東地方の都市域からのオゾン生成及び大陸からの越境汚染が到来している日の結果。

4.まとめと今後の展望

本研究では、新しい大気化学輸送モデルである NICAM-CHASER を用いて、関東地方に焦点を当てた高解像度実験を行い、関東地方でのオゾンおよびその前駆気体の再現性向上に向けて比較検証を行った。その結果、オゾンは概ね良い再現性が示されたが、CO の過小評価からエミッションインベントリの過小評価が示唆された。そのため、今後はより精度の良いエミッションインベントリを用いた実験を行うと共に、モデルの解像度を上げた実験を行う必要があることが示唆される。今後はオゾンに関連する前駆物質の発生源寄与を算出する数値実験を行い、定量的な越境汚染および都市汚染の見積もりを行いたい。

A study on the regional scale modeling of atmospheric chemistry with a use of Non-hydrostatic atmospheric model NICAM-CHASER

Mar.2014 Numerical Modeling for Global Environment Issues 47126645 Ryo Murata
Professor, Teruyuki Nakajima

Keywords: Tropospheric Ozone, Atmospheric chemistry model (NICAM-CHASER), Regional experiments in the Kanto region

1 Introduction

Tropospheric ozone is known to cause wide-ranging problems including not only global warming and air pollution but also human health and agricultural damage in both regional and global scales. Since a distribution of tropospheric ozone concentrations tends to indicate presence of strong gradients in both spatial and temporal, it is difficult to capture it in model simulations because it requires horizontal grid sizes to be adequately small. Thus, so far, simulating an accurate reproduction and transport of ozone is still plagued by large uncertainties, and to reduce such error, use of precise atmospheric chemistry and detailed regional transport models are necessary. In this study, our focus is to modify and improve atmospheric chemistry model formulations so that it can run together with a state of the art cloud resolving regional climate model, also to verify the concentration of ozone and the related trace gases in such simulations.

2 Methods

We updated an atmosphere chemistry model, CHASER, coupled to the global Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model, NICAM. This model, NICAM-CHASER, includes a global variable resolution mode called “Stretched-NICAM” where initially uniformly distributed horizontal grids can be stretched to vary lengths in grid sizes such that it’s possible to concentrate grid points to the area of interests to save computational resources. Here we focused on ozone and the related trace gases grids around Kanto region, where the detailed observational data is readily available, in high horizontal resolutions (approximately 10km around a Kanto region) during summer (Aug. 1 through Aug. 20) 2007. Results were later compared to observation and other models; Atmospheric Environmental Regional Observation System (AEROS), Fine Aerosol Measurement and Modeling in Kanto Area (FAMIKA), and the Community Multi-scale Air Quality (CMAQ) driven by the Weather Research and Forecasting (WRF) model named WRF-CMAQ. To properly simulate ozone concentrations, we modified the timestep in the gas-phase reaction and a resolution of the wavelength to calculate the photo-dissociation rate, J-value.

3 Results

Simulated wind speeds and direction were generally comparable to the observed ones in the

Kanto region, except for the areas near the mountains. Simulated precipitation and surface downward solar radiation were also compared with the observations. Simulated ozone concentrations by NICAM-CHASER were good agreement with observed ones by FAMIKKA, in terms of its diurnal variation and magnitude (Figure A). Also, on comparison against FAMIKKA, at locations (Sinjuku, Narita, Tsuchiura, Tama and Saitama) the diurnal variations of the simulated ozone were comparable to those of the observed ozone, with high correlation coefficient values of more than 0.72, which is adequately acceptable. At other locations (Ichihara and Fujisawa), the values were estimated to be 0.67 and 0.62, respectively, and the values were consistently larger in models than the observations at those two locations. For locations at inner regions of Kanto, Oyama and Maebashi, correlation coefficients are again smaller (0.57 and 0.55, respectively) due to little deviations of model wind directions from the observational data. Also, for NO_x, a precursor of ozone showed a consistent diurnal cycle to the observed data, where the concentration increases at night and decreases in a day, contrary to ozone. For OH radicals, a resulting product of ozone, resulting concentrations were generally similar to that of WRF-CMAQ outputs. For CO, its simulated concentrations were consistently smaller than observed ones at most stations, except at Ichihara where the CO emissions from surrounding industrialized area are somewhat well represented. However, in general, CO emissions inventory data that we used, tends to show an underestimation.

In spring, where transboundary air pollutions from China to Japan often arrive, NICAM-CHASER properly captured the simulated ozone distributions (Figure B) and their seasonal variation.

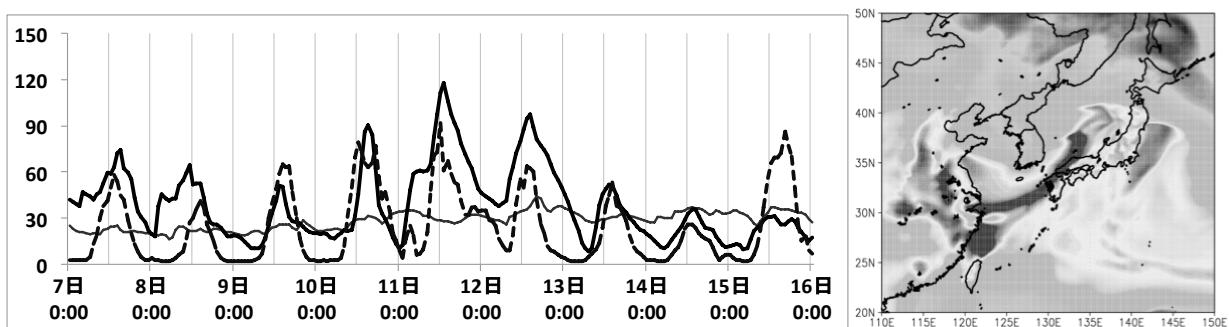


Figure A: Time series graph of tropospheric ozone concentration (ppbv). Thick black line, thin black line, and dotted line represent the modified NICAM-CHASER, the original NICAM-CHASER, and the Observation.

Figure B: Transboundary air pollution from mainly China and South Korea

4 Future works

In this study, our focus is to correctly simulate ozone concentrations by NICAM-CHASER in regional scale, and the results showed decent correlations to the observational data. Still, there is a need to improve CO emission inventory, which tends to underestimate in general. Furthermore, we would need to estimate contributions of transboundary air pollution to the total pollutions by source/receptor experiments.