

1. はじめに

窒素酸化物による大気汚染が依然として重要な環境問題となっている。窒素酸化物による高濃度汚染は冬期に多く出現し、冬期に典型的な気象条件や地域的な局地気象と大気汚染物質濃度の挙動を同時に解析することが重要である¹⁻³⁾。従来、数値モデルによる局地循環と大気汚染濃度の関係の研究^{4,5)}は、夏期の光化学オキシダントがその中心であり、冬期に対するシミュレーションは十分に行われていない。このため、NO₂濃度の生成・維持機構、環境濃度削減のための発生源規制の方向性についての十分な研究はなされていない。本研究では、局地気象数値モデルと光化学反応を含む汚染質の輸送シミュレーションモデルを2段階に組み合わせて、冬期の高濃度汚染の基本的な動態解明と発生源規制効果の検討を行う。

2. 数値モデルの構成と計算条件

ここでは、コロラド州立大学メソスケールモデル (Colorado State University Meso-scale Model; CSUMM⁶⁾) を用いて気流の計算を行った。CSUMMによる計算結果をもとに、汚染物質の輸送・反応の計算を行った。化学反応モデルは最新のモデルであるCBM-4⁷⁾を利用した。計算は、左右対称の2次元の簡易地形を用い(即ち、東側の海岸部に30kmの都市域を置き、その背後に比較的低い山地を設定した)、都市域には窒素酸化物と炭化水素の発生源は東京中心部の平均的な排出強度を与えた。シミュレーションは、3.5日行い、3日目以降の結果を解析の対象とした。モデル計算の詳細は鶴野・若松³⁾を参照されたい。

3. 結果

図1には、都市域でのNO₂、O₃、PAN、温位 Θ の3日目の時空間変化を示す。地点は海岸線から24kmの所であり、図2(d)に示したように深夜から朝にかけては陸風・斜面下降流の影響が、夕刻には海風(左向きのベクトル)のそれが大きい。図中には混合層高度 Z_1 (安定層高度)の時間変化も示した。これらから、NO₂の日中の10~18時の変化はNO₂=30~40ppbレベルが混合層内部とよく対応しており、同時間帯の混合層下部ではNO₂の鉛直勾配はほぼ存在しない。NO₂の最高濃度は上空で18時には60ppbに達し、この濃度域は夜間安定層上部に維持される。濃度は3日目の0時と24時を比較すると24時の方が高濃度化しており、海陸風交替の中で汚染質が蓄積していくことが判る。O₃濃度はバックグラウンド濃度とした35ppbを上回る光化学反応による生成は見られない。最高レベルとしては、地上で23ppbであった。また、18時から24時では日中の混合層中のO₃ゼロ濃度域が上空に残っていることが判る。

4. NO₂濃度と発生源強度の関係

NO₂の環境濃度は移流・拡散・発生源と反応の非線型現象の結果であるため、その濃度を減少するための発生源規制の方向を検討するには、詳細な数値モデルの適用の必要がある。ここでは、今回用いたNO_x、NMHCの発生源強度を一律に規制した場合の地上付近でのNO_{2,max}とO_{3,max}の変化を解析した。計算は、NO_x、NMHCの発生源強度を0.3, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 (=Base Case), 1.25, 1.5, 2.0倍と変化させる組み合わせについて行った。図2には先に示した組み合わせでNO_x、NMHC排出量を規制した場合の地上での午前6時

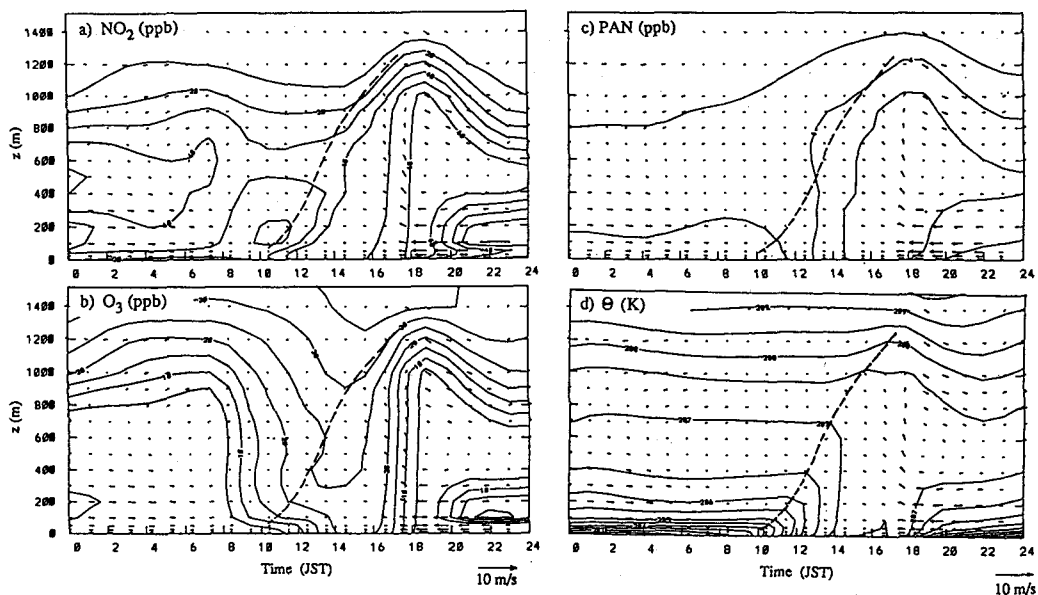


図1 A地点での汚染物質濃度(NO_2 , O_3 , PAN)と温位の時間空間変化(計算開始3日目)。図中の破線は混合層高度の変化を示し、左向きのベクトルは海風を意味する(上昇流 w は風速の水平スケールの30倍でプロットされている)。

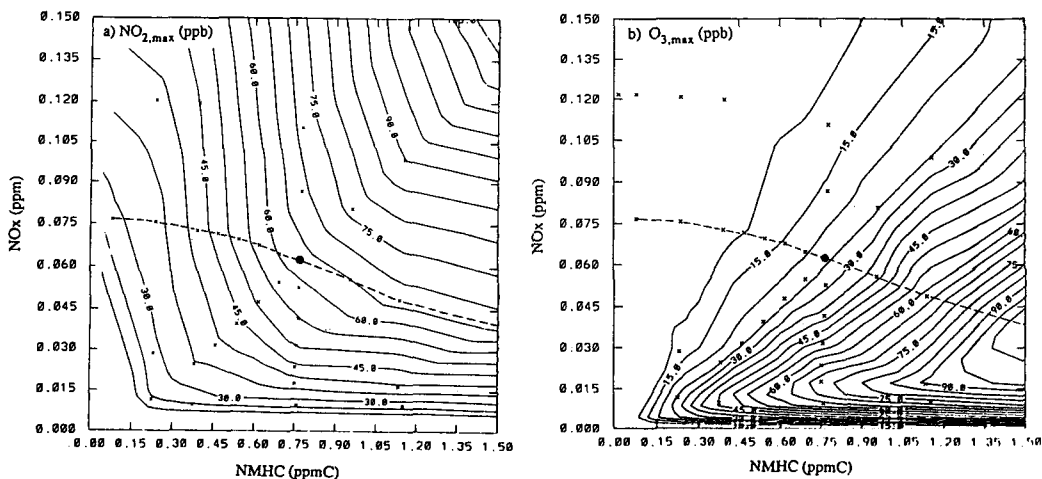


図2 6-8時の地上10mの NO_x , NMHC 平均濃度に対する $\text{NO}_{2,\max}$, $\text{O}_{3,\max}$ の等値線。図中の●は発生源係数=1の場合で、×は主な計算点。図中の破線は NO_x の発生源係数を1のままで、NMHCの発生源係数変化させた結果。

から8時の NO_x , NMHCの平均濃度に対する一時間平均値の最大値 $\text{NO}_{2,\max}$, $\text{O}_{3,\max}$ の等値線を示す。図中の●は Base Case を示し、点線は NO_x を現状のままNMHC 規制を行った場合の変化を示す。図3には、発生源係数に対する $\text{NO}_{2,\max}$ の変化を、 NO_x 単体、NMHC単体、 NO_x +NMHC 同時規制を行った場合について示す。

これらの図から、NO_x単体、NMHC単体、NO_x+NMHC 同時の発生源規制のいずれによっても環境大気中の NO₂ 濃度を減少させることが可能であることが判る。しかし、NO_x 単体の規制では O₃ 濃度は急激に上昇する。また、NO_{2,max} は NO_x 排出量の増加に対して鈍感であり、1.5倍にしても13%しか増加しない。一方、NMHC単体規制では O₃ と HNO₃ 濃度は減少するが NO_x 濃度が増加する。これは、O₃ の低濃度化で反応二次生成物が少なくなり、HNO₃ による NO_x の除去量が減少するためである。

NO₂ 濃度と発生源強度の非線型な関係は、図3に明瞭に示されている。図中の1:1の直線は発生源の規制に対して NO_{2,max} 濃度が線形に応答する場合の変化を示す。NO_x+NMHC 同時規制を行った場合には、この1:1の直線に近い変化を示し、発生源規制が効果的であることが判る。これに対して、NO_x単体、NMHC単体では、両方の場合とも排出量の30%削減に対して、NO_{2,max} は18%の減少となり、発生源規制が効果的に反映されない。

5. まとめ

冬期の高濃度 NO₂ 汚染をメソスケール局地循環モデルと光化学反応を含む移流・拡散モデルを用いた数値シミュレーションにより解析した³⁾。発生源規制の効果を数値シミュレーションから解析し、発生源強度と NO_{2,max}、O_{3,max} の非線型な応答関係を示した。(ここでの結果は、ある仮定された条件での冬期の海陸風循環の中の NO₂ 汚染の一つのパターンを示したものである。また、発生源規制の方向性も現実の排出条件や規制の可能な方向とは必ずしも一致していないことから、ここでの結果は NO₂ 濃度の制御の一つの可能性を示すものである)

文 献

- 1) 鵜野伊津志・植田洋匡・若松伸司：夜間の都市域における NO₂ の高濃度発現メカニズム、大気汚染学会誌、24、130-143 (1989)
- 2) 鵜野伊津志・若松伸司：冬期の高濃度 NO₂ 汚染の光化学ボックスモデルによる解析、大気汚染学会誌、27、246-257 (1992)
- 3) 鵜野伊津志・若松伸司：冬期の高濃度 NO₂ 汚染の数値シミュレーションによる解析、大気汚染学会誌 (投稿中)
- 4) Kimura, F.: A numerical simulation of local winds and photochemical air pollution (I): Two-dimensional land and sea breeze, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 61, 862-873 (1983)
- 5) Wakamatsu, S., I. Uno and K. L. Schere: Application of a three-dimensional photochemical smog formation model to the Tokyo metropolitan area. *Air Pollution Modeling and its Application VI* (ed. H. van Dop), 259-270, Plenum Pub. Co. (1988).
- 6) Kessler, R. C.: User's guide System's Applications Inc. version of the Colorado State University Mesoscale Model (version 2.0), System Application Inc. (1989)
- 7) Gery, M. W., Whitten, G. Z., Killus, J. P. and Dodge, M. C.: A photochemical kinetics mechanism for urban and regional scale computer modeling. *J. Geophysical Res.*, 94, 12925-12956. (1989)

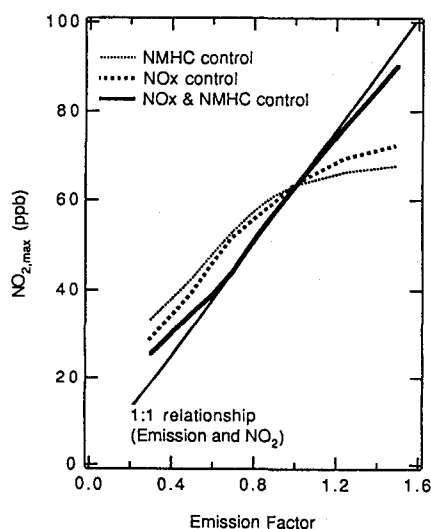


図3 発生源係数に対する NO_{2,max} の応答。
図中の細い直線は発生源規制に対して NO_{2,max} が1:1に対応する場合の変化を示す。