

11. 中部地方の夏季局地風場におけるオゾンの生成と輸送の3次元特性

—数値シミュレーションと航空機観測結果を用いた推定—

CHARACTERISTICS OF O₃ PRODUCTION AND TRANSPORT IN LOCAL WINDS OVER CENTRAL JAPAN IN SUMMER SEASON

-Numerical simulation and airborne observations-

北田敏廣*・岡村 聖*・中西秀樹*・森 博明*・石坂 隆**

Toshihiro KITADA, Kiyoshi OKAMURA, Hideki NAKANISHI
, Hiroaki MORI, Yutaka ISHIZAKA

ABSTRACT; The central Japan has characteristic topographical features such as high mountains and large plains, and is bounded with complex coast lines of the Pacific Ocean and the Sea of Japan. Thus various types of local flows develop in summer season. It is known that in the daytime, pollutants emitted over the huge coastal-urban areas in the plains such as Tokyo and Nagoya often reach to the central mountainous area within a day, with producing ozone and other products. However, the subsequent behavior and fate of the ozone and others are not clear. In this study, 3D three-days-simulations, during 26-28 July, 1995, of transport/chemistry/deposition of various chemical species were performed to see the behavior of ozone produced in the pollutant rich air mass, which passed over the urban area, particularly Nagoya in the Nohbi Plain, using the calculation domain over the Central Japan. The results were compared with airborne-observation and discussed.

KEYWORDS; local winds, photochemical smog, ozone, Japan, numerical simulation.

1. はじめに

中部地方は、中央に山岳部、沿岸に平野部を持つ地形特性のゆえに、夏季晴天時の傾度風の弱いときには、海風、谷風、平地—台地風が、沿岸部から中部山岳に到る一連の流れを形成して、平野部で排出された大気汚染物質を1日の間に中央の山岳部まで輸送することが知られている(例えば、栗田、植田、1985他:東京湾岸から中部山岳への輸送)。しかしながら、同様の気象場が数日継続した場合に、反応生成物を含むこれらの汚染物質がさらにどのような運命をたどるのかは、必ずしも明らかではない。本報告は、これら汚染物質の3次元空間における数日にわたる挙動を明らかにするために、日本中央部全域を含む、東西550km x 南北450km x 高さ6.5kmの領域を対象に、1995年7月26日から28日の3日間について、微量化学物質の輸送・反応・沈着のシミュレーションを行ったものである。当該期間中、濃尾平野—伊勢湾域では、6ヶ所のパイロットバルーン、1ヶ所のレーウィンゾンデによる上層

*; 豊橋技術科学大学 Dept. Ecological Eng., Toyohashi University of Tecnology, Toyohashi 441-8580, Japan

**; 名古屋大学 IHAS Nagoya Univ., Nagoya 464-8601, Japan

風等の観測が行われ、さらに航空機によってO₃、NO_x、SO₂等の観測が行われた。本報では、特にオゾンの挙動について、シミュレーション、観測を比較しながら、その実態を検討する。

結果は、例えば、濃尾平野排出の化学物質は化学反応しながら、当日午前0時には高山、乗鞍まで到達し、高度1500m付近に高オゾン濃度の気塊を形成、翌日の一般上層風+海風・谷風の反流である北風により濃尾平野、伊勢湾上空にもどり、太平洋上空に流出することを示唆していた。都市起源の汚染大気は、オゾンや酸性物質のみならず、その他の生態系に有害な微量化学物質を含む可能性があり、繰り返し起こる当該気塊の中部山岳における滞留は、都市排出→大気経路山岳部への輸送→(乾性、湿性)沈着→生態系影響→(大気、河川を通じて都市域への輸送)という物質の循環構造の中で長期的な生物への影響を示唆するものと考えられる。

2. 数値モデル

流れ、気温、拡散場は、筆者等のメソスケールモデル (Kitada, Okamura, and Tanaka, JAM, 1998, 印刷中) を用いて推定した。このとき、県の大気環境測定局、アメダス等の地上風と観測上層風をナッジングにより計算に取り込んだ。図1は、1995年7月27日16時における地上風を、また、図2は、同じく27日15時の高度500mにおける濃尾平野該当部の拡大図を示す。図2には、計算で得た流れ場と共にナッジングで取り込んだ観測風も示す。得られた流れ場は、自然でかつ観測風にも良く適合している。物質の輸送・反応モデルは、筆者等が永年、開発してきたもの (Kitada et al., JCAM, 1986; Carmichael et al., Atmos. Environ., 1986; Kitada et al., Atmos. Environ., 1993; Azad and Kitada, Atmos. Environ., 1998) を本研究用に改変したものである。

3. 結果

3. 1 当該期間中、日本中央部は高気圧に覆われ傾度風が弱く、局地風が発達し、猛暑が続いた。27日は、濃尾平野上空 (例えば、1500m) では午前中から弱い北風であり、東寄りの弱風であった26日にくらべて、伊勢湾からの海風の始まりが若干遅かった。26, 27日の両日も濃尾平野では高オキシダント濃度が見られたが、二日目の27日は、どの地上局とも、ほぼ1

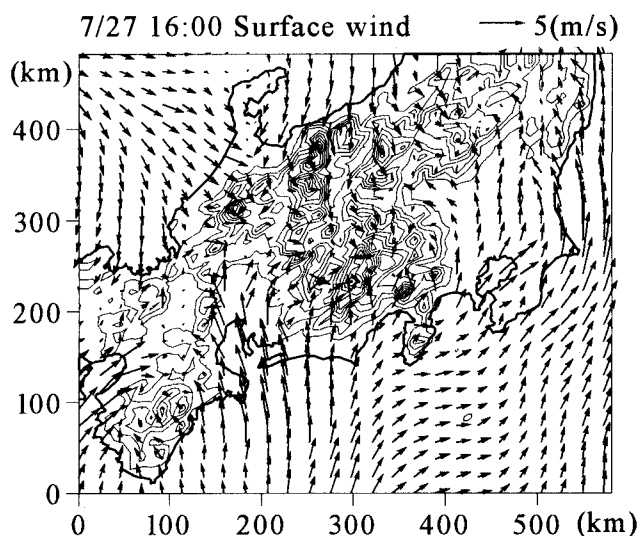


図 1: 1995 年 7 月 27 日 16 時における地上風

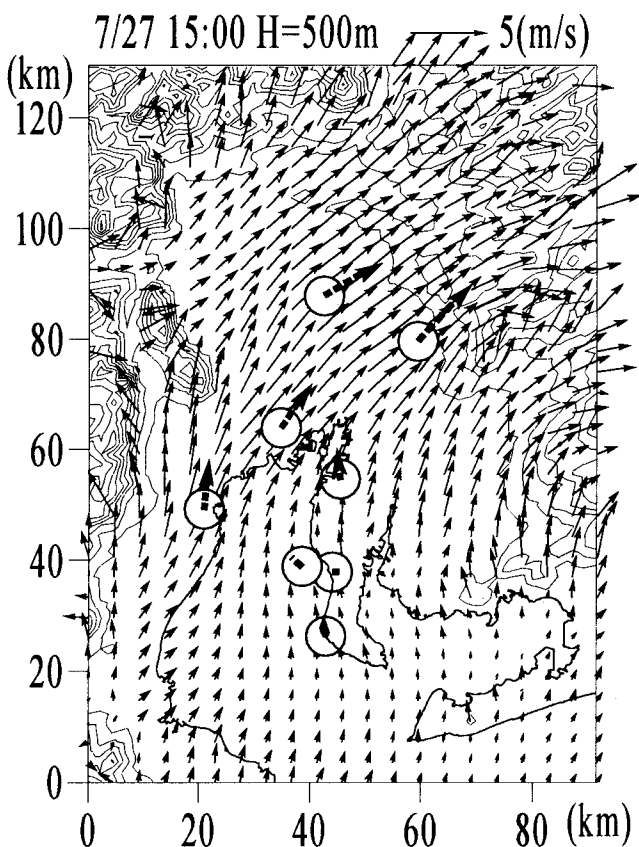


図 2: 27 日 15 時の高度 500m における濃尾平野該当部の拡大図

日中、26日より濃度が大きかった。以上のことは、27日の午前中の上層風が北風であったこと、27日の濃尾平野のオキシダント値が前日より高かったこと、いづれも、前日26日に排出された汚染物質がO₃を反応生成しながら北方の岐阜、長野の山岳部に運ばれ、27日に戻ってきたことを推測させる。図3は、7月27日0時における、尾張一宮を通るオゾンの南北断面図を示し、同じく図4は、27日12時のオゾンを示す。図3は、26日の日中、濃尾平野から排出された汚染質から反応生成したオゾンが、27日0時ごろ岐阜—福井の県境(280km)付近まで達する(上空1400m)ことを示唆している。この汚染気塊は、27日午前中の上層風によって濃尾平野および伊勢湾の上空に輸送されることが図4より読みとれる。27日0時以降、全ての排出源活動を無しにしたシミュレーションとの比較により 図4に見られる伊勢湾下層の高濃度オゾンは、26日に濃尾平野で放出された汚染物質から生成したオゾンが6割強、残りが27日0時以降に排出された物質の寄与によると推定された。図4は、また、濃尾平野上空では混合層の発達により上層の高濃度オゾンが下層に引き下ろされていること、一方、伊勢湾上空では安定成層のゆえに、高濃度層が高度1kmと海面付近の下層に分かれていることを示唆する。この27日午前における伊勢湾上のオゾンの二重極値の構造は、航空機観測でも捕らえられている。図5は、27日8~9時に伊勢湾上空で航空機観測されたオゾンのプロファイルと計算値のそれを示す。細実線が観測値であるが、1200m付近と下層に明確な二つのピークを持つ構造を示す。計算値の方は、上空のピークの鋭さ欠け、また、少し時間遅れがあるが、やはりこのダブル・ピークの特性を再現している。先述のように、上空の高濃度オゾンは、前日(26日)に内陸に運ばれ生成したものであることをシミュレーション結果は示唆している。以上、濃尾平野で放出された汚染物質は、初日、岐阜および長野の山間部に輸送され、その上

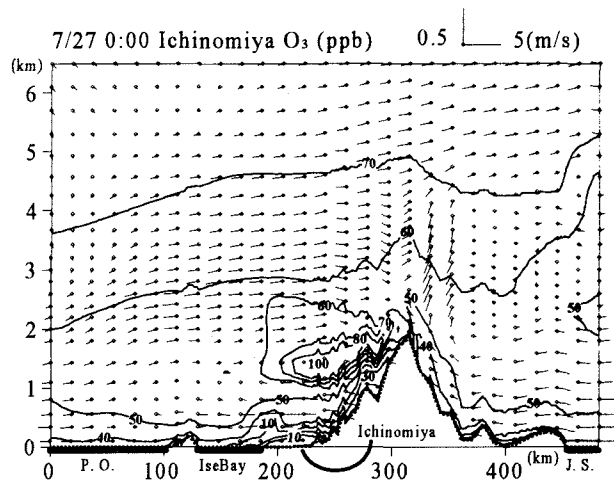


図3: 7月27日0時における、尾張一宮を通るオゾンの南北断面図

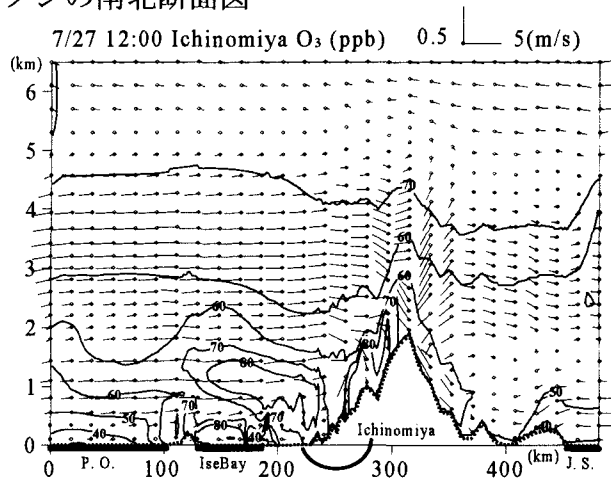


図4: 7月27日12時における、尾張一宮を通るオゾンの南北断面図

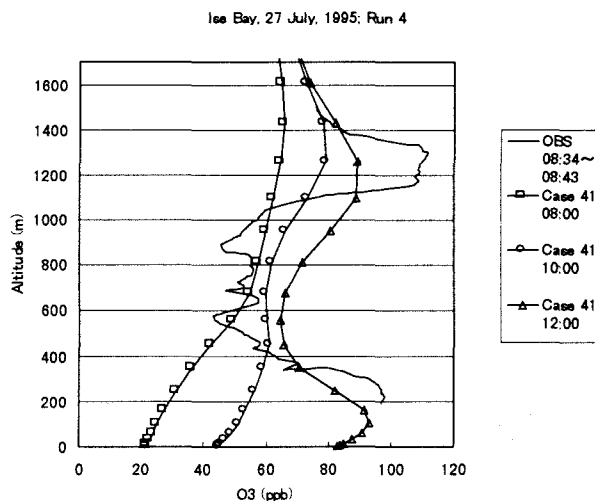


図5: 伊勢湾上空で航空機観測されたオゾンのプロファイル

空に滞留した後、翌日、高度1500m付近を中心に上層風により太平洋上に運び出されることが示された。

3. 2 愛知県等の地方自治体の管理するオゾン測定局が濃尾平野を中心に80局以上あるが、図7はその中の4局(B, D, E, G)におけるオゾン濃度変化の比較である。このとき、観測点の位置は、図7の当該アルファベットの位置に対応する。図7中、白抜きが観測値、黒塗りが計算値を示す。7月26日12時から28日6時(図中54時)まで、42時間分を示す。26日6時から計算を始めたため、26日を助走期間と考え、名古屋市衛生研究所(B)、志段味(D)、多治見—岐阜県(E)、中津川—岐阜県(G)の各観測点でのオキシダント濃度変動を計算値はよく捕らえている。これらの観測点は、B, D, E,

Gの順に庄内川そして木曽川に沿って内陸方向に並んでおり(図6)、したがって、局地風による汚染気塊の輸送の遅れのため、オゾン濃度のピーク到達時間がずれて行くことが再現されている。先述した、「27日0時以降すべての排出源をoff」にするケースとの比較により、多治見

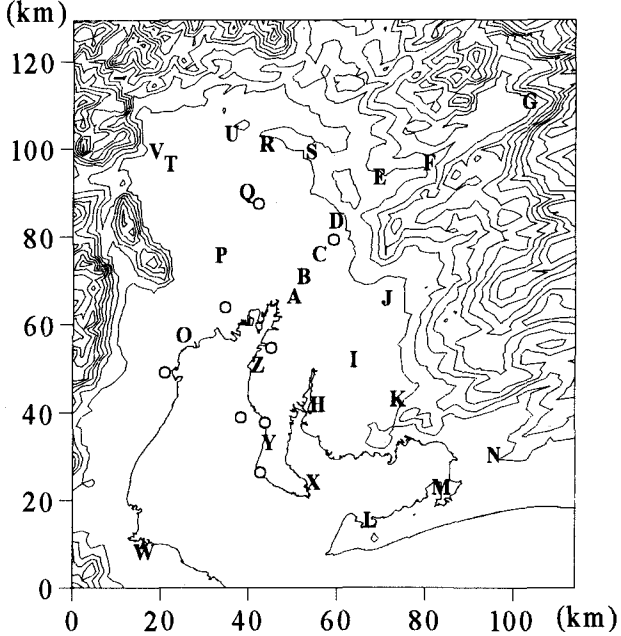


図6: 愛知県等の地方自治体の管理するオゾン測定局

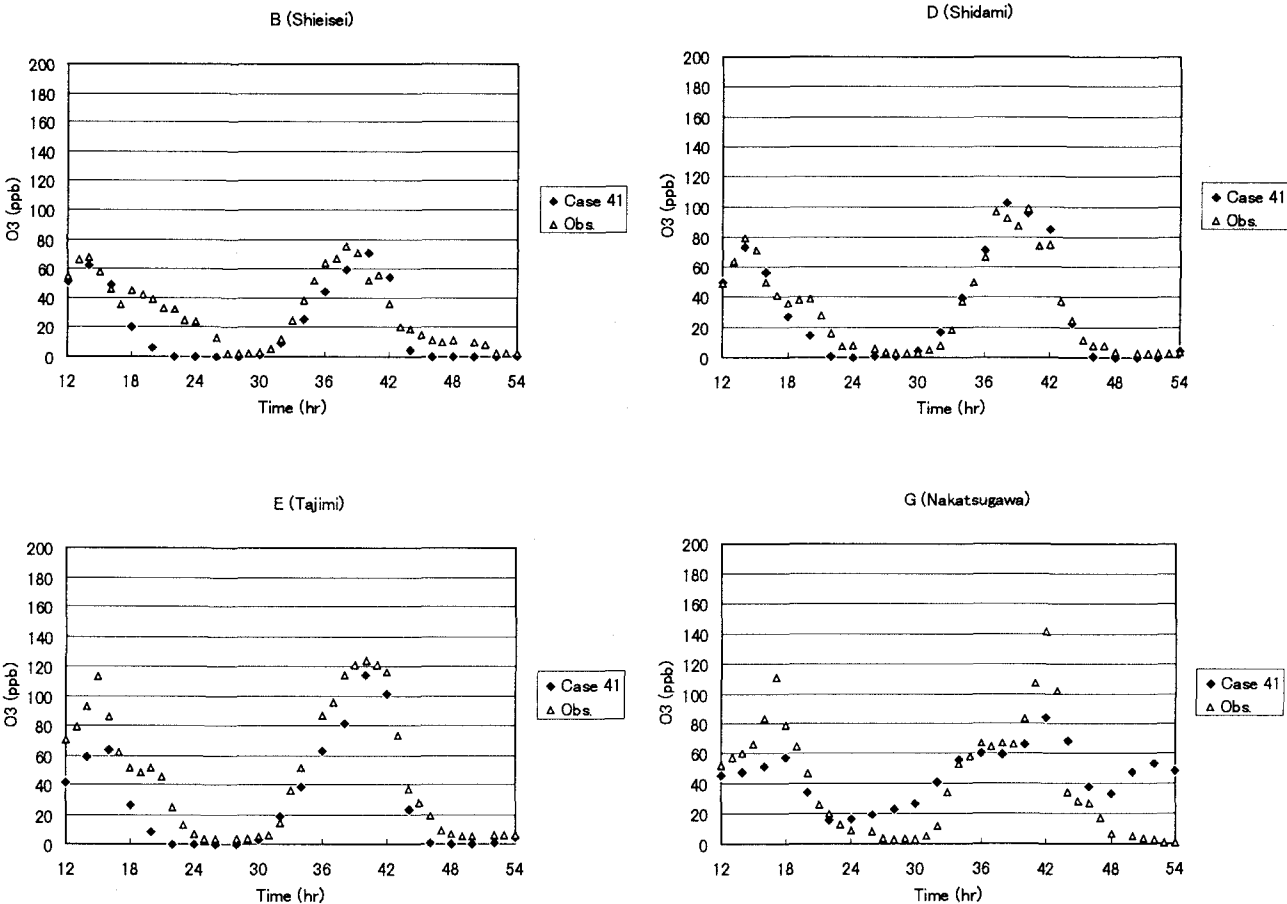


図7: オゾン濃度変化の比較

(E)、中津川 (G) では27日のオゾン最高値が、いずれも約50 ppb減少し、(計算では) ピーク値の約4割強が、27日に排出された汚染物質から反応生成したものであることを示唆している。一方、名古屋市衛生研究所 (B) では、27日0時以降排出源 off によって、オゾン最高値はほとんど影響を受けなかった。このことは、一律に同じ排出源制御を行っても、反応生成物が一次汚染物質かによって、また、観測点の排出源地帯との位置関係、地形に基づく流れ場の特性によって、その効果が同じではないことを示唆する。

3. 3 夜間の中部山岳部でのオゾンおよび硫酸エアロゾル濃度

図3にも見られるように、夏季の局地風場の下では、沿岸の大都市域から中部山岳部まで大気汚染物質の輸送と滞留が予測される。このことを確かめるために、図8, 9に、7月27日0時における、高度1500 m面でのオゾンおよび硫酸エアロゾル濃度を示す。図中、影付きの部分は高度1500 m以上の山岳部を表す。図8, 9は、オゾン、硫酸エアロゾルともに、中部山岳の上空で高濃度であることを示している。予想通りオゾン濃度と硫酸エアロゾル濃度の相関は高く、これらがいずれも都市大気起源の汚染物質から輸送の過程で化学反応によって生成したものであることを示唆している。この高度で特に高濃度となっている場所は、東京の西部である秩父・丹沢の山塊、および濃尾平野の北方に位置する白山山麓、御嶽山・乗鞍山山麓である。丹沢山塊では、大山などがすでに植生被害で有名であり、この計算による結果と符合するのではないかと考える。乗鞍でも名大グループの観測がある。また、これらの図は、植生被害が単一ではなく複合的な汚染の結果であることも示唆する。

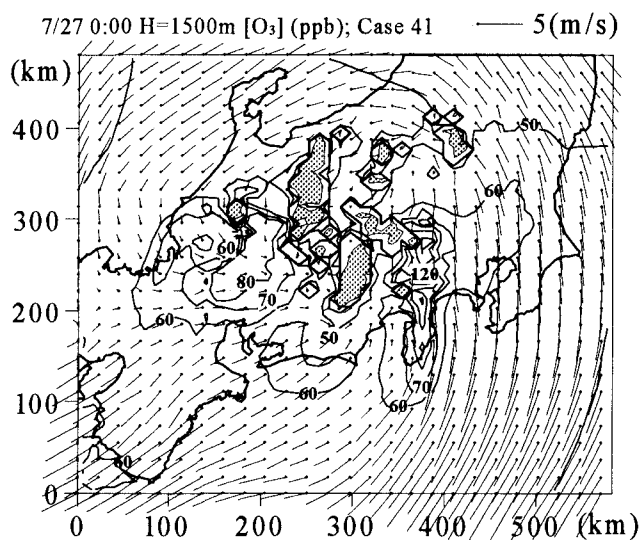


図8: 7月27日0時における、高度1500 m面でのオゾン濃度

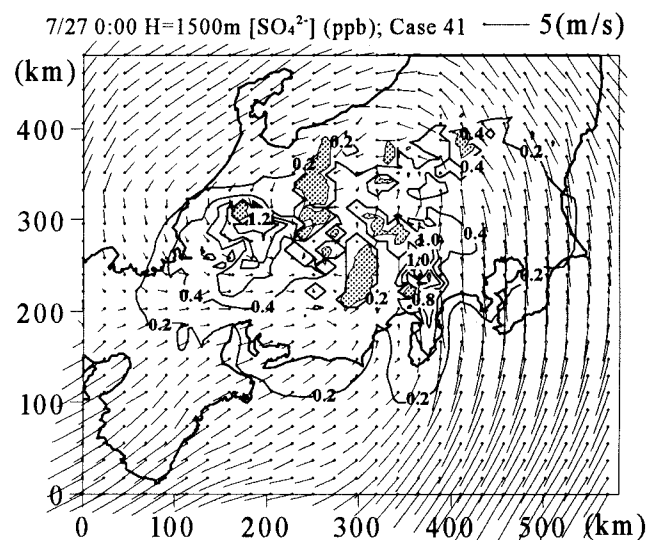


図9: 7月27日0時における、高度1500 m面での硫酸エアロゾル濃度

4. まとめ

以上、夏季の日本中央部での高気圧支配下において、大都市起源の汚染物質が、どのように移動し変質するかを丸2日 (足掛け3日) 間に渡って、筆者等の輸送・反応モデル、局地気象モデルを用いてシミュレートした。その結果、オゾン、硫酸エアロゾルなど都市大気から化学反応で生成する汚染物質が、中部山岳の上空の広域に渡って滞留すること、それらが、翌日の一般風+海風・谷風・平地—台地風等の反流によって沿岸部上空にもどってくること、また日中の陸上での混合層活動によって平野部のバックグラウンド濃度を高めること等が明らかになった。このことは、航空機観測の結果とも符合する。

排出源の制御（土地利用計画）によって、状況がどのように改善されるかを予測するツールとしても、筆者等のモデルが使える目途が立った。

参考文献

Azad, A. K., and T. Kitada, 1998: Characteristics of the air pollution in the city of Dhaka, Bangladesh in winter. *Atmos. Environ.*, Vol. 32, in press.

Carmichael, G. R., L. K. Peters, and T. Kitada, 1986: A second generation model for regional scale transport/chemistry/deposition. *Atmos. Environ.*, Vol. 20, pp. 173-188.

Kitada, T., K. Igarashi, and M. Wada, 1986: Numerical analysis of air pollution in a combined field of land/sea breeze and mountain/valley wind. *J. Climate and Applied Meteorology*, Vol. 25, pp. 767-784.

Kitada, T., P. C. S. Lee, and H. Ueda, 1993: Numerical modeling of long range transport of acidic species in association with meso- β -convective cloud across the Japan Sea resulting in acid snow over coastal Japan. *Atmos. Environ.*, Vol. 27A, pp. 1061-1076.

Kitada, T., K. Okamura, and S. Tanaka, 1998: Effects of topography and urbanization on local winds and thermal environment in nohbi plain, coastal region of central Japan, *J. Appl. Meteor.*, Vol. 37, in press.

栗田秀実、植田洋匡, 1985: 傾度風が弱い場合の大気汚染物質の長距離輸送と熱的低気圧および総観気象の関係. *大気汚染学会誌*, Vol. 20, pp. 251-260.