

研究ノート

地域大気環境の数値シミュレータ

山口 克人*

Numerical Simulator for Regional Atmospheric Environment

Key words : Regional Atmospheric Environment, Numerical Modeling, Land and Sea Breeze, Atmospheric Diffusion

1. はじめに

大気中に生ずる現象は図1¹⁾に示すように小は数cmの小さい風の乱れから大は地球スケールの大気大循環まで、さまざまな時間・空間スケールの現象が階層構造をなしており、各々のスケールの現象間に相互作用はあるもののほぼ独立な現象として存在すると共に、図から解るように時間スケールと空間スケールがほぼ比例しているという秩序を持っている。これらすべてのスケールにわたる現象を一括してシミュレートすることは現在のところ不可能であり、またその必要もない。スケール毎の現象の独立性を

考慮して対象とする現象を適確に表現しうるように基礎方程式をモデル化し、スケール毎のシミュレーションモデルを作成するのが一般である。こうして作られたモデルの例がglobalスケールの大気大循環モデルであり、現在天気の数値予報に用いられている。またこれを用いてCO₂による地球温暖化がある程度定量的に予測され²⁾、はじめて具体的な環境問題として取り上げられるようになったことは周知のとおりである。

我々は現在、「地域大気環境」として図1におけるurbanからmesoに至るスケールの大気現象およびそのもとでの大気汚染物質の輸送拡散現象を対象とした数値シミュレータの構築をめざしている。以下ではこのシミュレータの概要とそれを用いた計算結果の一例を紹介する。

2. 地域大気環境シミュレータの概要

図2にモデル構成を示す。大きく分けて大気の物理的状態量を計算する気象場シミュレータと大気汚染物質濃度を計算する汚染物輸送拡散シミュレータとから成っている。

気象場シミュレータの基本式は地球回転によるコリオリ力を加えた運動量方程式と熱の輸送方程式である。圧力場の決定法として静水力学近似による方法とこの近似を用いない非静水力学モデルがあり、海陸風など鉛直運動が比較的小さい場合に対しては計算が簡単である静水力学モデルを用いることができる。

乱流モデルは地面近くの接地境界層では次に述べる方法で別途求めるが、それより上空のエ

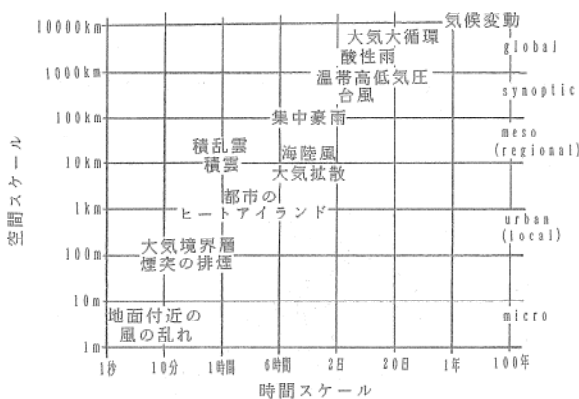


図1 大気現象の時間・空間スケールの階層構造¹⁾



*Katsuhito YAMAGUCHI
1941年12月30日生
昭和39年大阪大学工学部機械工学科卒業
現在、大阪大学工学部環境工学科、教授、工学博士、大気保全学
TEL 06-877-5111 (内線 5166)

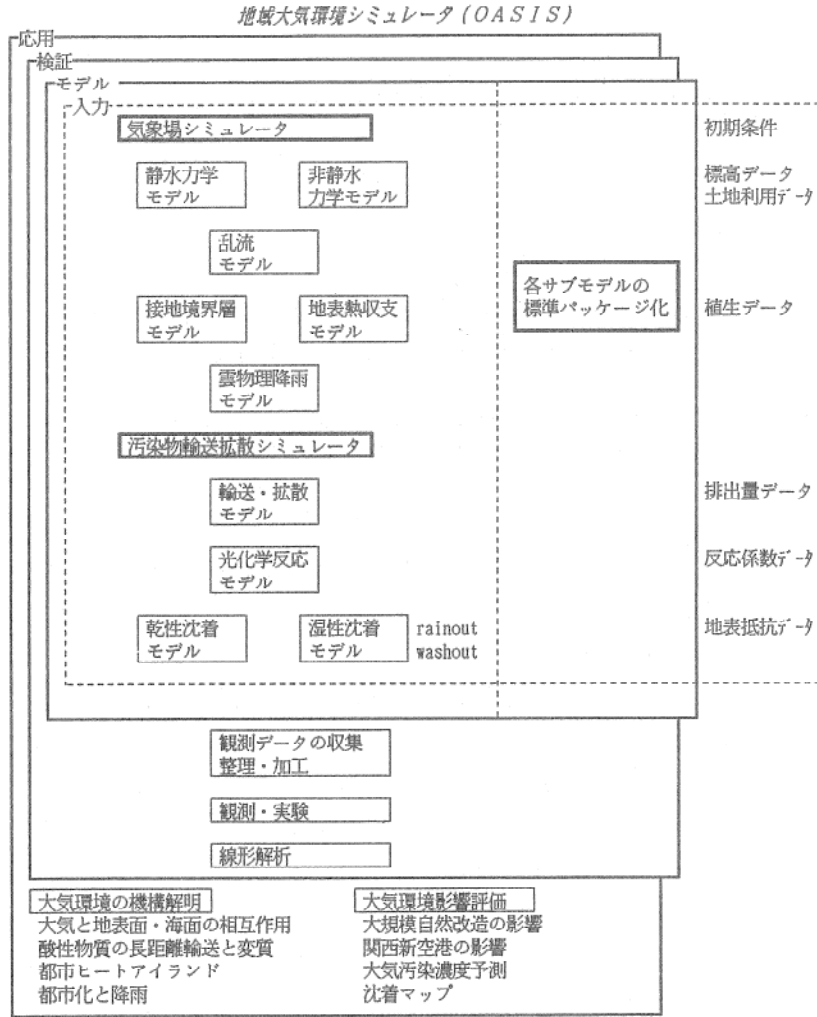


図2 地域大気環境シミュレータのモデル構成

クマン層に対しては一般に乱流 closure モデルと呼ばれる応力方程式モデルを用いる³⁾。

地表面近くの接地境界層においては鉛直方向の諸量の変化が大きく、かつ地表面での運動量や熱、水分の交換が大気境界層全体を支配する重要な過程であるので、モーニン・オブコフ相似理論に基づいた接地境界層モデルおよび地表面における熱と水分の交換を詳細にモデル化した地表面熱収支モデルを使用する。

降雨現象は水文学的に重要であるばかりでなく、酸性雨の形成や大気汚染物質の除去過程に対して重要であるので、水蒸気の凝結による雲粒の形成に始って雲氷、雨、雹、雪などさまざまな水分形態の相互変換および降水落下過程をモデル化したものを作成している。

次に汚染物輸送拡散シミュレータの基本式は

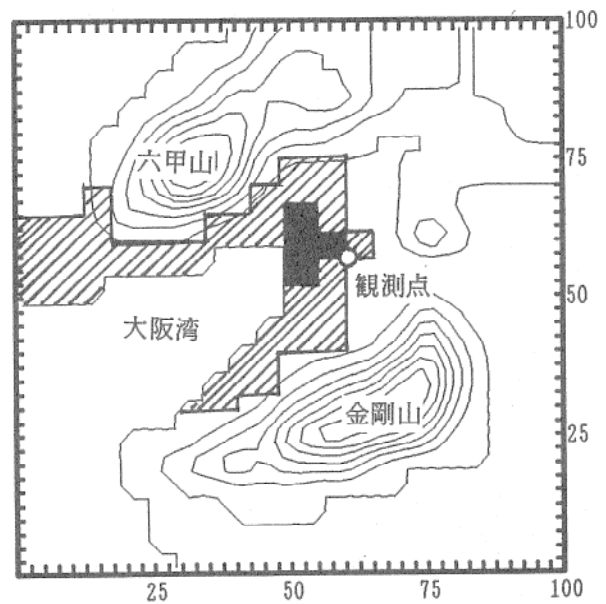


図3 計算対象領域(数値は距離 [km])

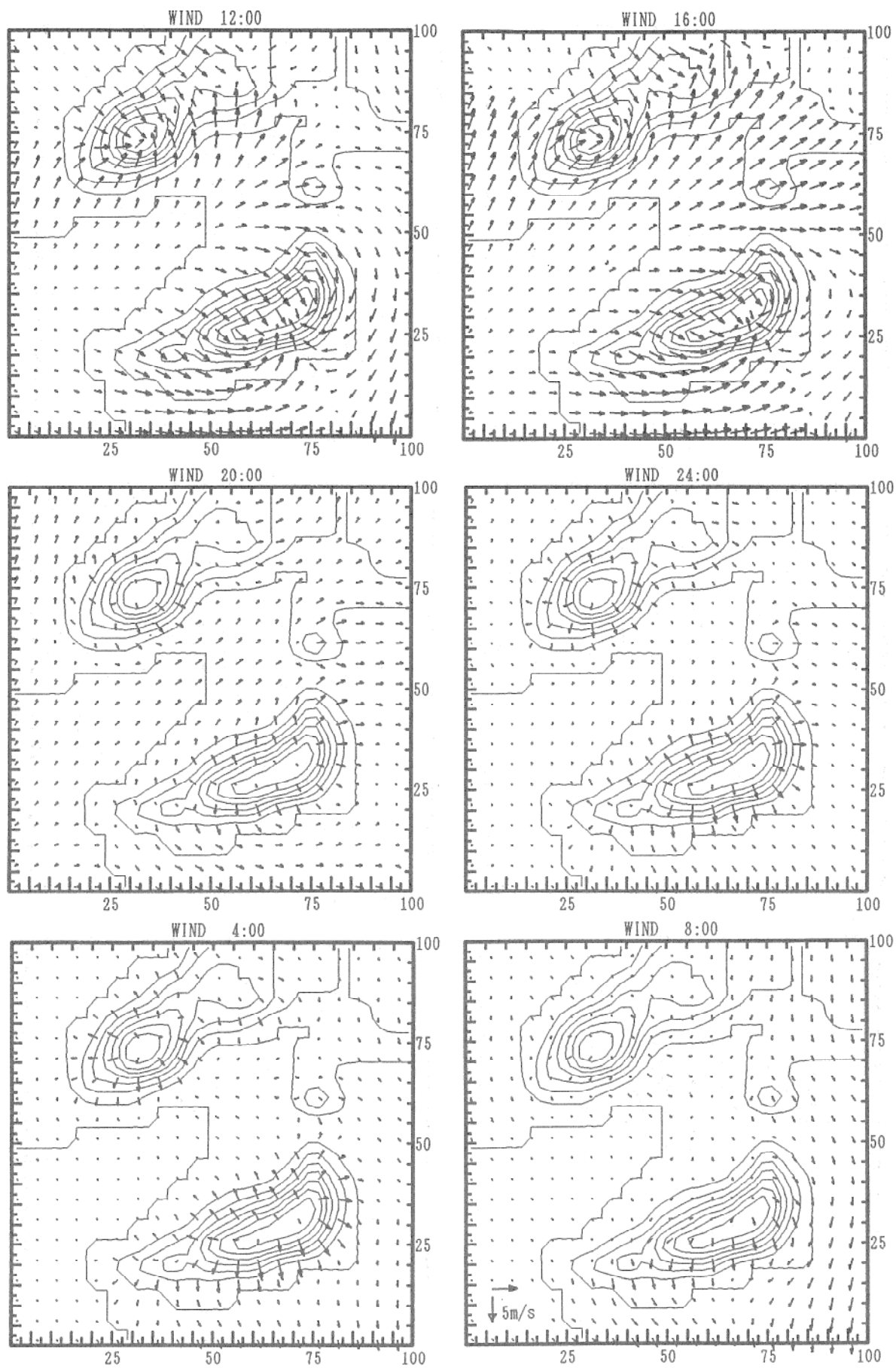


図4 大阪平野の風系の経時変化

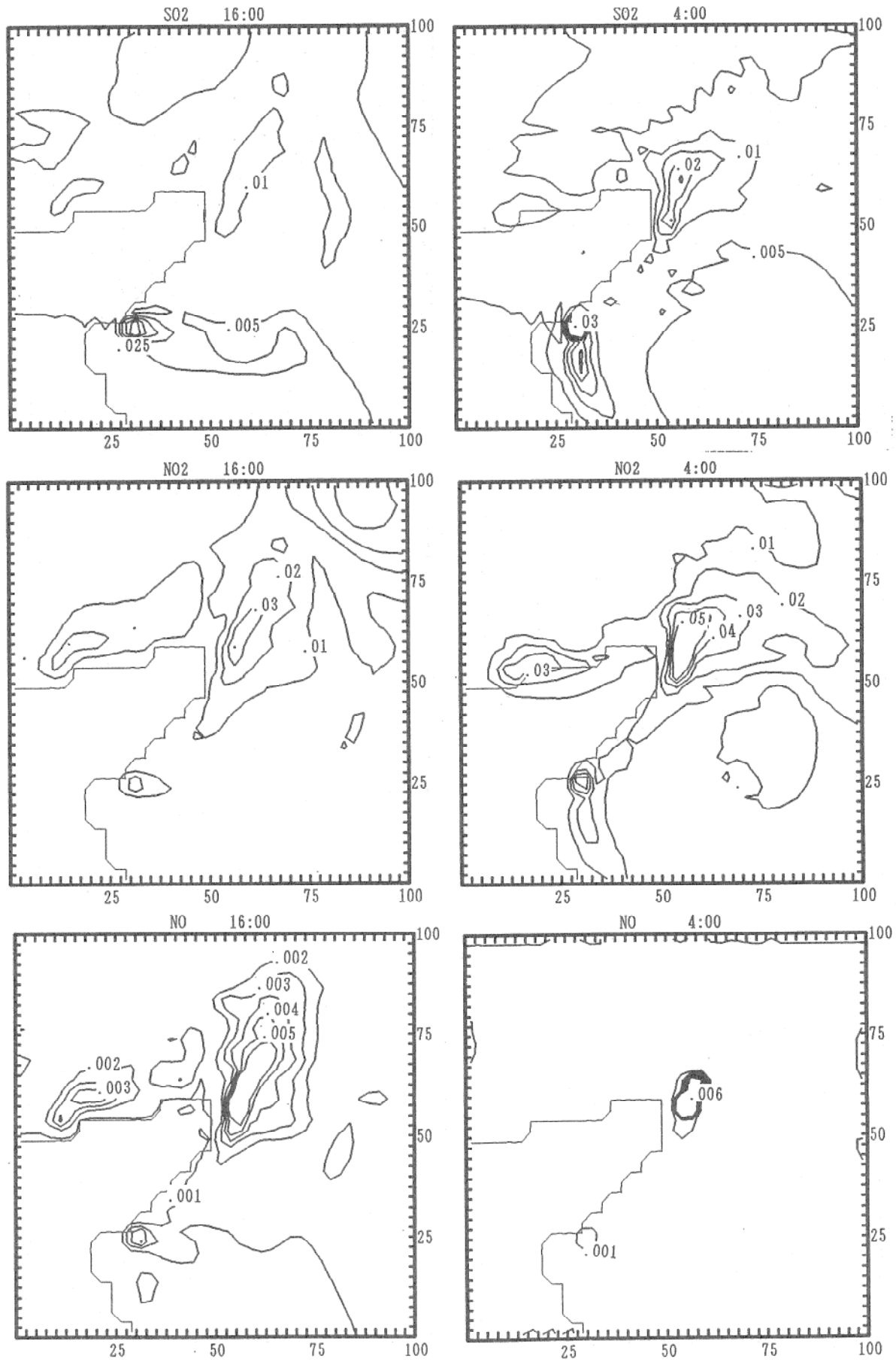


図5 大阪平野のSO₂, NO₂, NOの濃度分布図(濃度の単位 [ppm])

大気汚染物質の種類毎の輸送拡散方程式であるが、これに人工排出量および光化学反応による生成と消滅を source 項として導入する必要がある。光化学反応モデルは反応に寄与する化学物質がきわめて多く、完全なモデル化は困難であるが、本シミュレータでは現在 11 の化学物質による 18 本の光化学反応式を用いている⁴⁾。汚染物はまた大気過程を通じて地表へ降下し除去される。これには降雨過程による湿性沈着とそれ以外の乾性沈着があるが、前者はさらに雲粒形成の核として汚染物が取り込まれる rain-out と降下中の雨が周囲の汚染物を取り込む washout がある。乾性沈着モデルは現在実現しているが湿性沈着については現在未完成である。

以上がシミュレータの概要であるがその他に入力条件として初期条件以外に計算対象とする地域の標高や土地利用、植生分布のデータ、汚染物排出量の時間、空間分布などが必要であり、さらにモデルに含まれる多くのパラメータを決定し入力する必要がある。現在モデルパラメータは文献調査によっているが不十分であり、より精度の高いパラメータ決定が課題となっている。

次にこうして作成したシミュレータの出力結果がどこまで現実の現象を正確に表現しているかどうかの検証を欠かすことはできない。しかし観測データの不足は決定的でありとくに上空のデータはほとんど存在しないのが現状である。そのため十分な検証を行うに至っていないが、出来る限りのデータを収集した必要な観測も行いつつ検証を集めているところである。

3. 三次元海陸風場と大気汚染物質濃度のシミュレーション

上述のシミュレータを海陸風の発達しやすい 8 月の晴れた日の大阪平野に適用し、実測との比較によりモデルの安全性を検討した結果を示す⁵⁾。

計算対象領域は図 3 に示すとおりであり、水平方向メッシュ分割は 41×41、格子間隔は 2.5km 一定、鉛直方向は 10 分割で地表面近くほど細かい不均等格子である。計算領域を土地利用に従って都市（黒い塗りつぶし部）、半市街

地（斜線部）、田園、海の 4 つに分類し、粗度、日射の透過率、植生分布、アルベド、人工排熱等をそれぞれ適切な値に設定した。SO_x と NO_x の排出はすべて面源排出とし、固定発生源と移動発生源に分けてそれぞれに 1 日の排出量の時間変化パターンを仮定して排出量を決定した。

以上の条件で午前 8 時を起点として時間ステップ 2 分で 2 日間の計算を行い後半の 1 日分を結果として以下に示す。なおここでは日射による地面加熱は 1 日を周期として同じパターンを繰り返すものとしていわゆる周期定常解を求めているが、初期条件の影響は比較的すみやかに消滅し、2 日目以降はほぼ周期定常となることは別途確かめてある。

図 4 に高さ 50m での 12 時から 4 時間毎の風系を示す。午前中に海風が形成され、午後 4 時頃に最も発達し、日没と共に弱まって夜間に陸

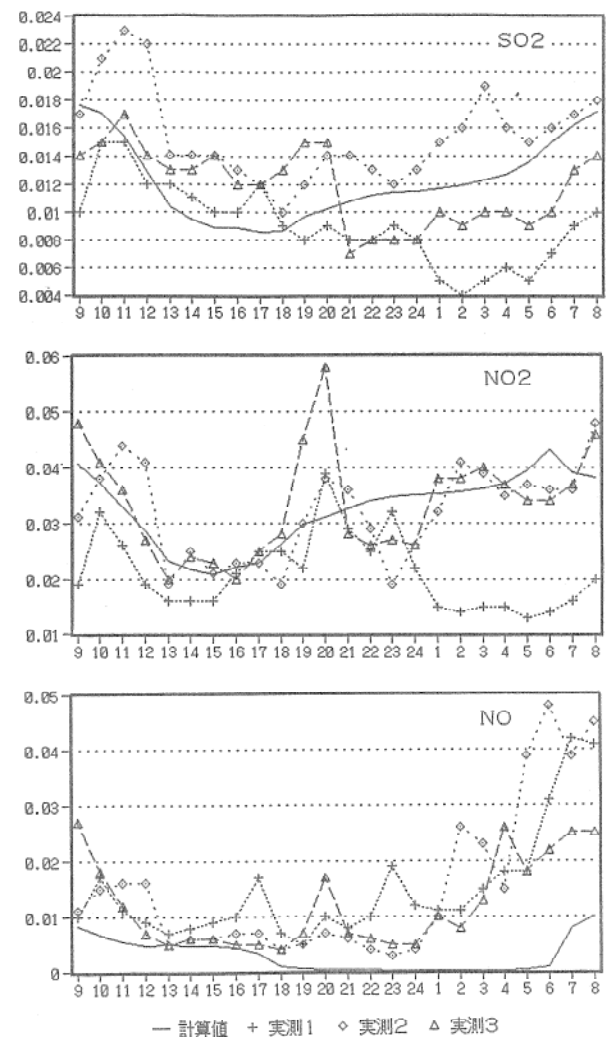


図 6 SO₂, NO₂, NO の計算値と実測値の比較

風に転換することや、六甲、金剛の山谷風と海陸風が結合していることなど風系の特徴がほぼ再現されている。図5はこの風系の下での汚染物の高さ50mにおける濃度分布である。また図6は大阪府公害監視センター（図1に観測点として示す）における実測値と計算値を比較したものである。実測値1, 2, 3は計算で仮定した条件と比較的一致した1988年8月の快晴日（17日, 23日, 30日）の実測値である。実測値は日によってばらつきが大きく厳密な比較は困難であるが、濃度の日変化の傾向はほぼ再現できていると考える。ただしNOについては全般に計算値が低く、なお検討の余地がある。

参 考 文 献

- 1) 木村竜治：流れの科学，東大出版会（1979）に掲載の図を一部修正
- 2) Manabe, S and R. T. Wetherald : J. Atmos. Sci., 32, 3-15 (1975)
- 3) Mellor, G. L. and T. Yamada: J. Atmos. Sci., 31, 1791-1806 (1974).
- 4) 吉川, 山口他；大気汚染学会誌, 23, 52-63 (1988)
- 5) 山口, 近藤, 鶴川：衛生工学研究論文集, 28, 75-83 (1992)

