

大気汚染低減のための自動車交通対策の効果予測システムに関する研究*

A System For Forecasting Effects Of Traffic Restraint Measures On Reducing Air Pollution

小谷 通泰**, 小牟田 治***, 秋田 直也****

By Michiyasu Odani, Osamu Komuta, Naoya Akita

This study aims to develop a system for forecasting the effects of traffic restraint measures on reducing air pollution in an urban area. In this system, trunk road network data-base in the area is made. The OD trip matrix is first assigned on the road networks and traffic flows on each road link are estimated. Next, NO_x emissions on 1km grid points are calculated on the basis of estimated traffic flows, considering diffusion through the atmospheres. Finally the effectiveness of the system is examined through its application to evaluating the introduction of 'Road Pricing System' in the central part of Osaka City.

1. はじめに

近年の急激な自動車交通量の増大と深刻な交通渋滞により、都市環境の悪化、とりわけ自動車排出ガスによる大気汚染が大きな社会問題となっている。特に、大気中の窒素酸化物については改善の兆しが見られず、都市域では大気汚染に対する自動車の寄与度は50%を上回ると報告されている。こうした大気汚染を低減させるためには、自動車自体の排出ガスの規制を強化するとともに、自動車交通を管理抑制することも求められている。

そこで本研究は、都市域を対象として、交通量予測モデルと大気汚染予測モデルを組み合わせることによって、自動車交通を管理抑制するための様々な対策の効果を、交通流動への影響度と環境目標の達成度の両観点より予測するシステムの開発を目的と

している。なお開発したシステムは、大阪市域を対象に適用し、まず現況の交通流動を把握した上で、NO_xの濃度分布を推定する。そしてさらに、一例として、都心部へ流入する車から料金を徴収する「走行負担金制度」を導入した場合を想定して、その効果を予測することを試みる。また本研究では、効果予測結果のプレゼンテーションにコンピュータグラフィックス(CG)を活用し、効率的かつ効果的な視覚化を図っている。

2. システムの全体構成^{1) 2)}

本研究で提案する効果予測システムの全体構成を示したのが図-1である。図に示すように本システムは、データベース、交通量予測サブシステム、大気汚染予測サブシステムより構成するものとする。

まず、データベースとして、対象都市域内の道路ネットワーク、OD交通量、および気象データを用いる。

そして交通量サブシステムでは、交通量の配分モ

* キーワード：交通量予測モデル、大気汚染予測モデル、交通抑制対策、NO_x濃度

** 正会員 工博 神戸商船大学輸送システム工学講座
(〒658 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

*** (株) 日立物流

**** 学生員 神戸商船大学大学院

デルを用いて、ネットワーク上で車種別にOD交通量を配分し、道路リンク別に交通量を推定する。この推定値から、総走行台キロ、平均走行速度などの指標を算出して交通流動への影響度を明らかにする。

次に、推定した車種別交通量と走行速度から排出原単位を用いることによって、道路リンク別のNOxの排出量を算出する。そして、各道路リンクのNOxの排出量から大気汚染の拡散モデルを用いて、1kmごとの格子点別にNOx濃度を推定する。これをもとに、環境目標の達成度を検討する。

3. システムの概要

3-1 データベース

(1) 道路ネットワークデータ

本研究では、後にシステムの適用対象地域として大阪市域を取りあげる。対象とした道路網は、都市高速道路、市域内の幹線、主要地方道を中心とした道路網であり、これらはノード（点）とリンク（線）からなるグラフとして表現されている。

図-2は、大阪市域内の道路ネットワークを図化したものである。ネットワークデータの規模は、ノード数1,484点、リンク数2,116本、リンクの総延長は820.7kmである。また、ネットワークデータには、各リンクごとに、道路種別、距離、車

線数、道路標高、交通規制、関数種別、料金体系種別が付加してある。

(2) ODデータ

利用する自動車OD交通量は、京阪神都市交通計画協議会によって、昭和55年度のパーソントリップ調査等をもとに推計された昭和75年度将来の自動車OD交通量である。なお本研究では、OD交通

Figure 2: Road Network for Traffic Assignment



図-2 対象地域の道路ネットワーク図

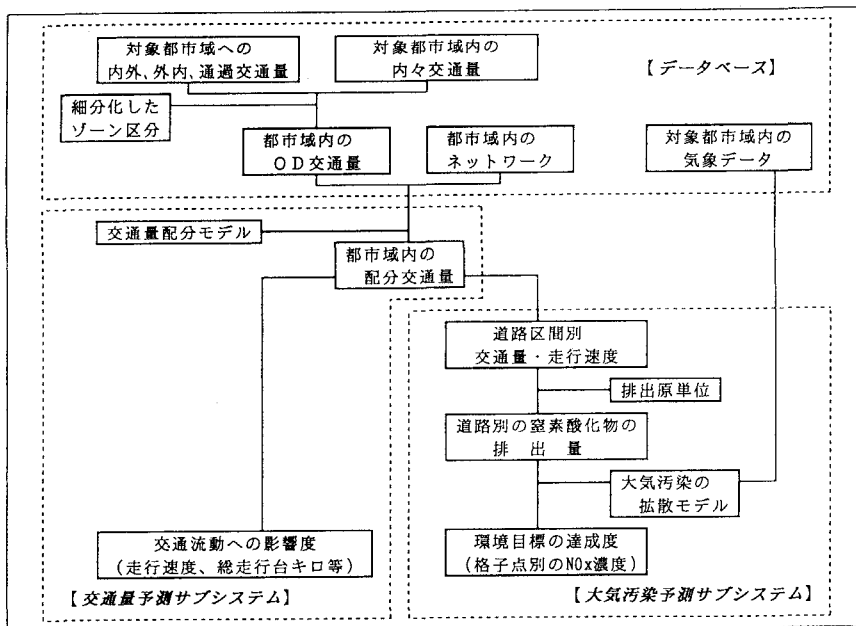


図-1 効果予測システムの全体構成

量を貨物車とその他の一般車に分けて集計することとし、普通貨物車を「貨物車」とし、乗用車、バス、小型貨物車等を合計したものを「その他の一般車」とした。これをもとに、都市域内での内々交通量に関しては、当該都市域内のゾーン間OD交通量を利用し、それに加えて都市域内への流入出および通過交通量に関しては、京阪神都市圏域を対象としたネットワークシミュレーションの結果を用いた³⁾。最終的には、これらをもとに大阪市域における現況（昭和65年）のOD交通量を250ゾーン（市域内215ゾーン、域外35ゾーン）間で求めた。

（3）対象都市域内の気象データ

利用する気象データは、大阪府下全域と兵庫県南東部（明石以東）の範囲の一般環境測定局、気象測定局、気象台のデータをもとに、大阪市によって作成されたものを用いる⁴⁾。まず風向は16方位を設定する。そして、1年を暖房期と非暖房期の2期に、また1日を朝、昼、夜、深夜の4つの時間帯に分け、それぞれの期別、時間帯別に風速を出現頻度に応じた加重平均によって求めた。また、本研究では有風時のみを扱うものとし、無風時は考えないものとする。次に、日射量、雲量、地上風速などの組み合わせによって求められる大気安定度については、対象地域の代表値を用いた。

3-2 交通量予測サブシステム

本研究では、交通量配分モデルとして、等時間配分の状況を近似的に作り出す分割配分法を用いた。また高速道路の料金を配分に反映させるために、次式に示すように、料金を時間損失として換算した値を、実所要時間に加算した値を所要時間とした。

$$t = t_0 + c_0 / \alpha$$

ここで

t : 所要時間（分）

t_0 : 実所要時間（分）

c_0 : 料金（円）

α : 時間価値（円／分）

この際、均一料金制の道路区間に対してはランプ上に、区間料金制の道路区間に対しては本線リンク上に、この換算値を加算するものとする。なお本研究では、 α を既存の研究⁵⁾から推定して98.7円

／分と仮定した。

一方、道路の混雑状況を配分に反映させるために、道路種別および等級（道路構造令）をもとにQV関数を設定した。このQV関数で用いる交通容量および走行速度のパラメータは、高規格の道路ほど交通容量は大きく、走行速度も速くなっている。

3-3 大気汚染予測サブシステム⁶⁾⁻⁸⁾

各リンクのNOx排出量は、各道路リンク長、および交通量配分モデルによって得られるリンク単位の交通量、ならびに走行速度から、走行速度別排出原単位と車種構成比率を用いて、次式により求めることができる。

$$\Phi_j = \sum_k Z_{jk} \cdot E'_{ks} \cdot Q_j \cdot D_j + E_{2s} \cdot Q_{2j} \cdot D_j$$

Φ_j : リンクjのNOx排出量（g／日）

Q_j : リンクjの一般車の日交通量（台／日）

Q_{2j} : リンクjの貨物車の日交通量（台／日）

D_j : リンクjのリンク長（km）

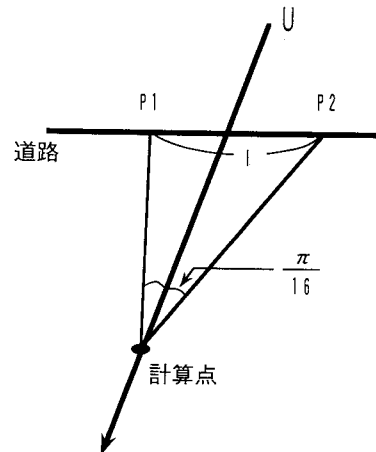
Z_{jk} : リンク別、車種構成比率（貨物車は除く）

E'_{ks} : 車種k, 走行速度sの排出原単位(g/km・台)

E_{2s} : 貨物車, 走行速度sの排出原単位(g/km・台)

k : 車種

次に、拡散モデルとして、風や拡散係数、および排出量を一定とした時の濃度分布を求めるため、比較的計算が簡単なプルーム式を用いた。ただし、風速は有風時のみとし、無風時は考えないものとする。



図一3 プルーム式で影響するリンクの範囲

また、濃度の出現範囲を風下軸を中心として前後各 $\pi/16$ 内に一様に出現すると仮定する。このことは、逆に図-3に示すように、計算点からみると風下軸の前後各 $\pi/16$ 内の線煙源しか濃度に関係しないことになる。したがって、ここでのプルーム式による濃度は次式で表せる。座標は煙源直下の地表面を原点とし、風下方向に x 軸、それと直角な水平方向に y 軸、高さ方向に z 軸をとるものとする。

$$C(x, z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{Q}{\frac{\pi}{8} \cdot x \cdot \sigma_z \cdot U} \left[\exp \left\{ -\frac{(He-z)^2}{2\sigma_z^2} \right\} + \exp \left\{ -\frac{(He+z)^2}{2\sigma_z^2} \right\} \right]$$

ここで、

- x : 計算点までの水平距離 (m)
- z : 計算点の z 座標 (m)
- Q : 煙源強度 (Nm^3/s)
- U : 有効煙源高における風速 (m/s)
- He : 有効煙源高 (m)
- σ_z : 鉛直方向の拡散幅 (m)
- $C(x, z)$: 計算点での濃度 (Nm^3/m^3)

また、 σ_z は、拡散パラメータと呼ばれており、 x, z 方向の煙の拡がり表現するもので、Pasquill-Gifford図を計算に使用するために近似関数を利用した¹⁰⁾。各リンクは、線煙源であるので上式の煙源強度 Q (Nm^3/s) を線煙源の単位長さあたりの煙源強度 Q_L ($\text{Nm}^3/\text{m} \cdot \text{s}$) に置きかえた上で、これを積分して線煙源としての濃度を求める。本研究では、積分近似として、対象リンクを細分し、それぞれの中点を点煙源として計算する方法を用いた。

さらに各リンクから一様に煙源強度 $Q_p = 1$ (Nm^3/s) が排出されていると仮定し、リンク j が観測地点 i に影響を与える排出濃度を算出する。この値を観測地点 i がリンク j から受ける影響係数と定義し、 E_{ij} で表すことにする。

そして、大阪市域内の道路ネットワーク上に、1 km メッシュを重ね合わせ、各格子点ごとに 221ヶ所の観測地点を設置した。各観測地点の NO_x 濃度は、影響係数と各リンクからの NO_x 排出量を用

いて次式から求める。

$$C_i = \sum_j E_{ij} \cdot \left\{ \Phi_j \cdot \frac{22.4}{46 \cdot 1000} \cdot \frac{1}{86400} \right\}$$

C_i : 観測地点 i での NO_x 濃度 (Nm^3/m^3)

E_{ij} : 観測地点 i がリンク j から受ける影響係数 (Nm^3/m^3)

Φ_j : リンク j の NO_x 排出量 ($\text{g}/\text{日}$)

4. 交通量予測モデルの現況再現性の検討

今回、検証用として利用した実測交通量データは、建設省によって実施された昭和60年度全国道路交通情勢調査である。図-4、図-5は、シミュレーションにより得られた交通量(分割回数15回)と実測交通量を比較検討したものである。

まず、図-4では、縦軸に実測交通量、横軸に配分交通量をとって、大阪市域内における各観測点別に交通量をプロットしたものである。さらに、実測交通量を被説明変数 y 、配分交通量を説明変数 x として、両者の間で回帰分析(y 軸切片を0とする)を行った結果、以下の回帰式が得られた。

$$y = 1.017x$$

このとき、 R^2 は 0.67 となった。また図中には上記で求めた回帰式とともに、実測交通量=配分交通量とした場合の直線も記入してある。この結果からわかるように、実測交通量と配分交通量とは概ね整合性がとれていると考えられる。

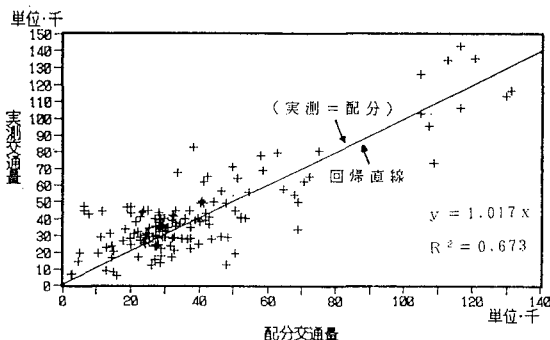
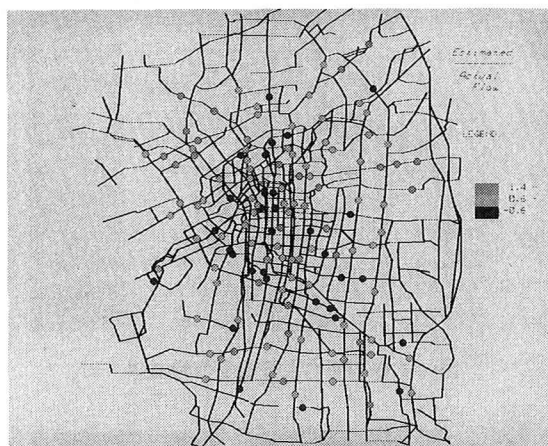


図-4 配分交通量と実測交通量の比較

一方、図-5は、実測交通量の観測地点ごとに、実測交通量に対する配分交通量の比率を色分けして示したものである。この図より、各観測地点にお

る実測交通量に対する配分交通量の比率は、ほぼ全域で0.6～1.4の範囲内に収まっているが、周辺地域の一部で両者のズレがやや大きくなっている。



図－5 実測交通量に対する配分交通量の比率

5. システムの適用例

5－1 現況の推定結果

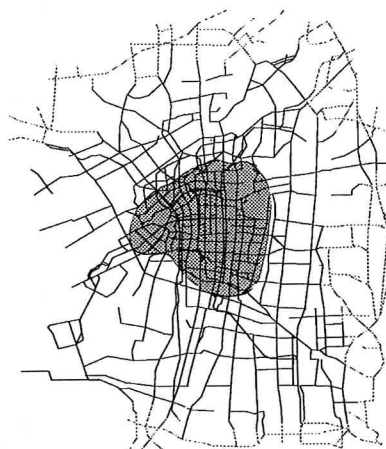
本研究で開発したシステムを用いて、大阪市域を対象に、現況における交通流動とNOx濃度の推定を試みた。まず交通量の予測結果から、500mメッシュ単位に平均走行速度、および総走行台キロを求めたのが、それぞれ図－6、図－7である。また、1kmの格子点ごとに現況のNOx濃度を求めたのが図－8である。なお、これらの図では、大阪市域のネットワークを重ねて描くことによって、各メッシュや格子点の市域内での位置関係がわかるようにした。

図－6から、概ね中心部よりも、市域外周部ほど平均走行速度は高くなる傾向がみられ、また図－7から、都心部に近づくほど総走行台キロが大きくなっていることがわかる。そして、両者を比較すると、総走行台キロの大きいところほど平均走行速度は低下している。

また図－8から、周辺部から都心に近づくにつれて、NOx濃度がしだいに増加している様子がわかる。そして、総走行台キロが大きく、かつ平均走行速度の小さい都心部が、NOxの高濃度地域となっているのがわかる。

5－2 「走行負担金制度」の概要

本研究では開発したシステムを適用して、「走行負担金制度」を導入した場合の効果を予測する。規制区域としては、図－9に示すJR大阪環状線のループ内を想定した。負担金の徴収方法には様々な方式が考えられるが¹¹⁾、ここでは、規制区域の境界線を横切るすべての道路において負担金を課すコードンプライシング方式を想定する。この方式については、最近ノルウェーの諸都市でトルリングシステムとして実施されており、電子情報技術を活用した料金の自動徴収および違反車の取締が行われている。



図－9 想定した規制区域

「走行負担金制度」の導入による自動車利用者の行動予測については充分には解明されていないが、ここでは、システムの有効性を確認するという観点から、以下のように単純化して考えた。すなわち負担金額は、一般車と貨物車の2車種ともに200円とし、負担金による規制区域への交通需要の減少率は、小谷・折田が神戸市域で行ったアンケート調査から¹²⁾、15%減少すると仮定した。

5－3 適用結果の考察

ここでは、5－2で想定した「走行負担金制度」を導入した場合について、システムを適用して交通量を予測し、大気汚染の予測を試みた。そして予測結果を5－1の現況の場合と比較した。なお、「走行負担金制度」を実施した場合には、負担金を交通量配分に反映させるために、規制区域の境界線と交差するリンクを流入する際に、負担金を時間損失として換算した値を、実所要時間に加算する。また、規制区域内に起終点をもつ交通需要については、上

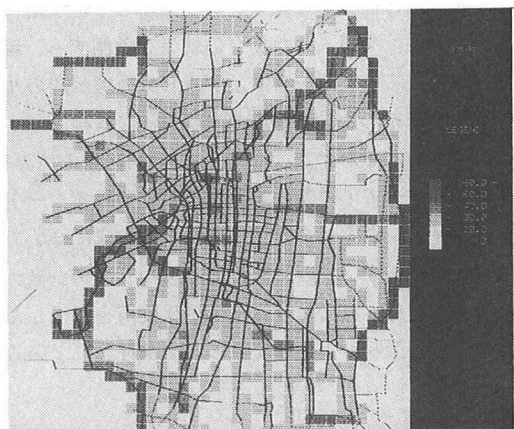


図-6 現況におけるメッシュ単位の平均走行速度

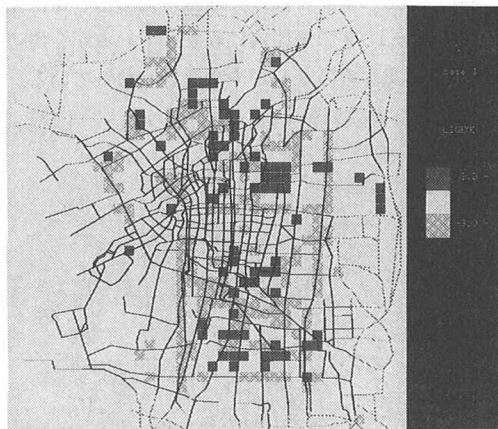


図-10 平均走行速度の増減率

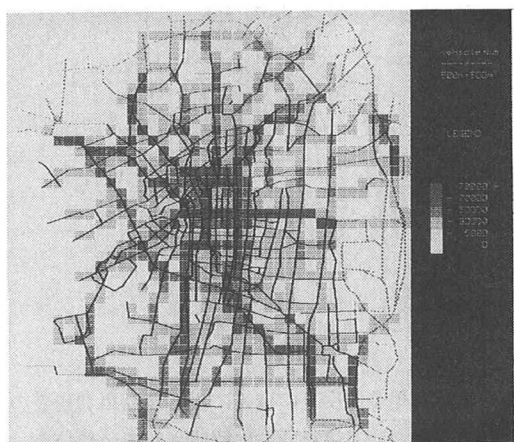


図-7 現況におけるメッシュ単位の総走行台キロ

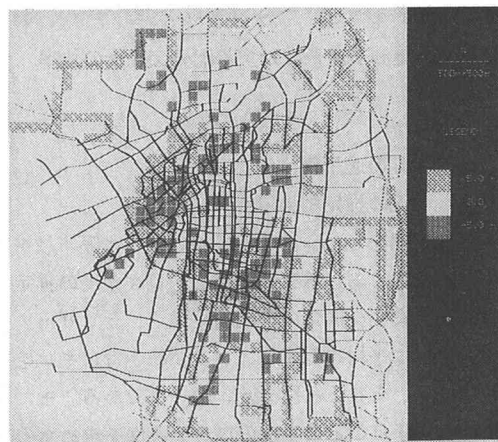


図-11 総走行台キロの増減率

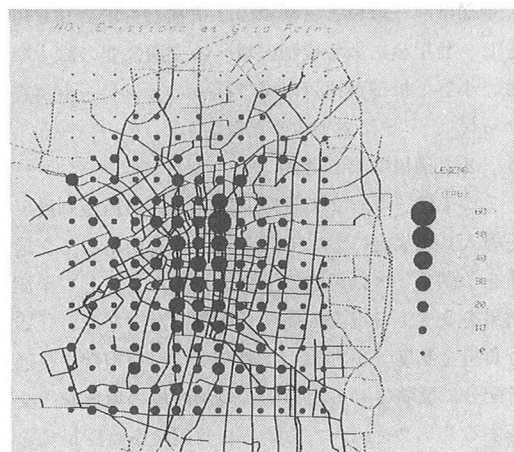


図-8 現況における格子点毎のNOx濃度

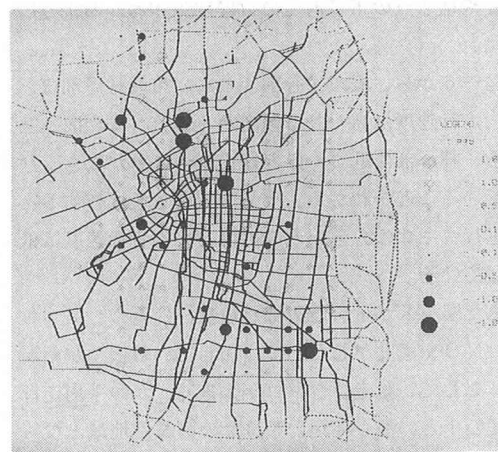


図-12 NOx濃度の増減量

述の比率で直接減少させるようにした。

まず交通流動への影響度の観点から、500mメッシュ単位に、平均走行速度と総走行台キロを求めた。図-10は、平均走行速度の現況からの増減率を、また図-11は、総走行台キロの現況からの増減率を示したものである。さらに環境目標の達成度の観点から、1km間隔の格子点ごとにNOx濃度を求めた。図-12は、現況からのNOx濃度の増減量を表したものである。

これらの図より以下の点が指摘できる。規制区域とした都心部では、総走行台キロは減少し、また平均走行速度も上昇しており、NOx濃度も減少している。また市域南西部では、都心部へ向かう流入交通量の多い路線に沿ってNOxの低減がみられる。しかし、逆に規制区域の周辺道路では、負担金による抵抗があるため規制区域を迂回する交通が生じ、総走行台キロが増加傾向を示しNOx濃度の増加が見られる。なおここで推定したNOx濃度は自動車交通によるものであり、これにバックグラウンドの濃度を加算すれば、各格子点の濃度を環境基準と比較してその達成度を検討することができる。

6. おわりに

本研究は、大気汚染低減のための交通対策の効果を予測するシステムの開発を目的としており、本論では主としてシステムの全体構成とシステムを構成するデータベース、および交通量予測、大気汚染予測のための2つのモデルについて詳述してきた。また、システムの有効性を大阪市域を対象として単純化した適用例を通じて確認した。

まず得られた成果を要約すると以下の通りとなる。

①交通量予測モデルと大気汚染予測モデルを組み合わせたことによって、「走行負担金制度」を例として、自動車交通対策による大気汚染の低減効果を予測することができることを示した。

②500mメッシュ単位での平均走行速度、総走行台キロおよび1km間隔の格子点毎にNOx濃度を求めているため、自動車交通対策の効果を交通流動への影響度と環境目標の達成度の両観点から、きめ細かく評価できるようになった。

③「走行負担金制度」を実施した場合、規制区域内では交通量は減少し、逆に規制区域の周辺部で増加

することがわかった。これに応じて規制区域や規制区域への流入交通量の多かった路線に沿ってNOx濃度の低減が見られた。しかし、その反面、規制区域周辺部でのNOx濃度が増加することがわかった。

次に、今後の課題としては以下の点があげられる。

①交通量の予測モデルについては現況再現性を確認したが、大気汚染の予測モデルについても、実測濃度とモデルによる推定結果の比較検討を行い、拡散式のパラメータ等を調整する必要がある。また、バックグラウンドのNOx濃度を与えることによって、市域内の各格子点ごとに環境基準の達成度を直接的に検討できるようにする必要がある。

②自動車交通対策としては、「走行負担金制度」をはじめとして、車線数の削減やバイパス道路の整備、またナンバープレート制など様々な方法がある。こうした具体的な交通対策に対する自動車利用者の行動モデルを、意識調査等を行って構築することが必要である。

<参考文献>

- 1)小谷・小牟田・牧野：都市圏における道路ネットワークシミュレーションシステムの開発、土木学会第47回年次学術講演会概要集、平成4年9月
- 2) M. ODANI: A Computer-Aided Planning System For Road Networks, In A Metropolitan Area, Proc. of The 5th WCTR, 1992
- 3)小谷・白尾・小牟田：広域幹線道路網計のコンピュータ・グラフィックスの応用に関する研究、土木計画学研究講演集 No13, 1990. 11
- 4)大阪市環境保健局：大阪市大気環境保全基本計画策定に係る大気汚染予測調査報告書、昭和59年1月
- 5)青山・西岡：交通計画における時間価値研究の系譜、第2回土木計画学研究発表会講演集、1980
- 6)環境庁編：窒素酸化物一総量規制マニュアル、公害研究対策センター、1988. 5
- 7)前掲 4)
- 8)青山貞一：マイコン利用の環境計画入門、1985、村上書店
- 9)日野・西村・谷口：線形計画による環境交通容量へのアプローチ、土木計画学研究講演集、No. 15, 1992. 11
- 10)前掲 4)
- 11)太田勝敏、原田昇、他：ロードプライシングの理論とその適用性、国際交通安全学会<269>プロジェクト報告書、pp. 62-64, 1990年3月
- 12)小谷・折田：事業所からみた自動車交通抑制対策の評価に関する考察、土木学会48回年次学術講演会概要集、平成5年(掲載予定)